

# 工业工程典型案例分析

Case Study for Industrial Engineering

蒋祖华 奚立峰 等 编著

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书通过 18 个实际案例的提炼和分析,介绍了工业工程的一些实际应用情况。案例发生在汽车制造业、钢铁制造业、船舶制造业、电子制造业等行业,内容包含基础工业工程和现代工业工程,涉及工作研究、作业测定、设备管理、库存管理、现场管理、质量管理、零缺陷控制、装配作业仿真、技术管理、生产线分析、设备监控等方面。本书可供工业工程和机械工程专业的本科生在生产实习中参考,也可供制造业和服务业的工业工程师等工程技术人员以及有关的工程管理人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

### 图书在版编目(CIP)数据

工业工程典型案例分析/蒋祖华,奚立峰等编著. —北京:清华大学出版社,2005.3  
ISBN 7-302-10279-1

工... . 蒋... 奚... 工业工程 - 案例 - 分析 F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 143580 号

出 版 者: 清华大学出版社	地 址: 北京清华大学学研大厦
<a href="http://www.tup.com.cn">http:// www .tup .com .cn</a>	邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175	客户服务: 010-62776969

责任编辑: 张秋玲

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 17 字数: 349 千字

版 次: 2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10279-1/ TB · 86

印 数: 1~3000

定 价: 29.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

# 前言



生产实习是工业工程专业本科教学活动中很重要的实践环节。由于我国工业工程专业设置较晚,相关的实践指导书太少,而全国目前有 100 多所高校设立了工业工程本科专业,因而迫切需要一本指导本专业实习的案例集。为了满足学生在实习中的多种工作需求,特编写此书。通过多个实际案例的提炼和分析,帮助学生深入了解企业实际情况,并解决实习中遇到的工程管理和技术管理等问题。

本书主要考虑了一些基础工业工程和现代工业工程方面的实际应用问题,如工作研究、作业测定、设备管理、库存管理、现场管理、质量管理、零缺陷控制,以及装配作业仿真、技术管理、生产线分析、设备监控等应用案例,涉及汽车制造业、钢铁制造业、船舶制造业、电子制造业。

希望本书对制造业和服务业的工业工程部门或相关管理部门的工作开展起到指导作用,使工业工程的原理和方法在企业中进一步深化应用,从而提高企业的管理效率和效益。

本书共有 18 章,蒋祖华负责撰写第 1~2,5~7,9,11~14 章,奚立峰和潘尔顺负责撰写第 15~18 章,蒋祖华和周毅负责撰写第 3~4,8 章,于谨维负责撰写第 10 章。

由于作者水平有限,加之时间仓促,本书有不少不尽如人意之处,恳请各位读者批评指正。

蒋祖华

2004 年 12 月于上海

Email: zhjiang@sjtu.edu.cn

# 目录

1	钢厂备件安全库存分析 .....	1
1.1	需求概述 .....	1
1.2	备件库存策略与方法 .....	2
1.2.1	备件管理的任务 .....	2
1.2.2	备件库存控制的方法 .....	3
1.3	备件库存控制应用实例 .....	4
1.3.1	确定型需求的库存控制模型实例 .....	4
1.3.2	随机型需求的库存控制模型实例 .....	7
1.3.3	用 ABC 分析法控制库存 .....	10
2	备件管理信息系统的应用 .....	11
2.1	引言 .....	11
2.2	需求分析 .....	11
2.2.1	需求概况 .....	11
2.2.2	管理业务流程 .....	12
2.2.3	组织结构及分工 .....	13
2.2.4	仓库管理流程 .....	14
2.3	系统概述 .....	15
2.3.1	系统总体目标 .....	15
2.3.2	系统功能分析和信息模型 .....	16
2.4	系统主要功能及应用 .....	17
2.4.1	物料管理 .....	17

2.4.2	库存设置和库位可视化管理 .....	18
2.4.3	仓库出入库管理 .....	18
2.4.4	监测和统计分析 .....	20
2.5	小结 .....	22
3	设备故障数据统计及可靠性分析 .....	23
3.1	引言 .....	23
3.2	可靠性可维护性分析技术 .....	25
3.2.1	可靠性可维护性流程 .....	25
3.2.2	可靠性计算的概率公式 .....	25
3.3	设备运行数据的采集 .....	26
3.4	超声波焊机可靠性指标计算 .....	29
3.4.1	前右焊机运行数据分析 .....	29
3.4.2	前左焊机运行数据分析 .....	32
3.4.3	后左焊机运行数据分析 .....	33
3.4.4	后右焊机运行数据分析 .....	35
3.5	可靠性可维护性指标计算分析 .....	36
3.5.1	可靠性可维护性指标比较 .....	36
3.5.2	系统的可靠性与可维护性 .....	37
3.5.3	4 台焊机的故障分布 .....	38
3.6	设备可靠性可维护性标准指标设定 .....	39
3.6.1	按设备综合利用率要求设定可靠性可维护性指标 .....	39
3.6.2	按连续生产班次要求设定可靠性可维护性指标 .....	41
4	超声波焊机的设备失效模式和故障分析 .....	42
4.1	引言 .....	42
4.2	门板超声波焊机的结构功能展开 .....	42
4.3	门板超声波焊机故障树分析 .....	44
4.4	设备失效模式及后果分析 .....	45
4.4.1	设备失效模式及后果分析的作用 .....	45
4.4.2	EFMEA 的编制与讨论步骤 .....	46
4.4.3	风险评估指标等级分类 .....	47
4.5	超声波焊机设备控制计划 .....	52

5	功效系数法在设备预防性维修审核中的应用	54
5.1	引言	54
5.2	预防性维修审核	54
5.2.1	审核指标体系	55
5.2.2	预防性维修的流程审核和内容审核	55
5.3	基于功效系数法的预防性维修审核技术	57
5.3.1	功效系数法的原理	57
5.3.2	基于功效系数法的预防性维修审核技术	57
5.4	企业预防性维修审核的实践案例	58
5.4.1	预防性维修审核的目标对象	58
5.4.2	预防性维修审核的数据来源说明	58
5.4.3	输送链系统预防性维修审核指标计算	58
5.4.4	分析说明	59
5.5	小结	60
6	超声波焊机的设备预防性维修审核	61
6.1	预防性维修审核的目的和意义	61
6.1.1	预防性维修审核的概念	61
6.1.2	预防性维修审核的意义	61
6.1.3	预防性维修审核的操作流程	63
6.2	超声波焊机的 PM Audit 实例	63
6.3	PM Audit 后可靠性、可维护性指标比较	67
6.4	PM Audit 后维修费用比较	69
7	设备管理及监控的应用分析	72
7.1	引言	72
7.2	TFM 系统的主要功能简介	72
7.2.1	TFM 系统概述	72
7.2.2	TFM 系统的功能与特点	74
7.3	TFM 系统在设备管理应用中的案例分析	74
7.3.1	应用 TFM 的实时可视化功能	74
7.3.2	TFM 系统查询功能	76
7.3.3	TFM 监控系统对设备的可靠性数据分析	78

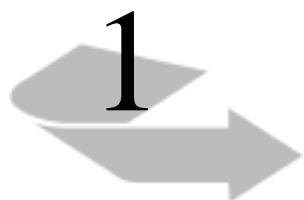
7.3.4	TFM 系统标杆功能的应用 .....	79
7.3.5	TFM 系统分析比较功能的应用 .....	80
7.4	小结 .....	82
8	专用设备的 DFMEA 及应用 .....	83
8.1	概述 .....	83
8.2	非标专用设备的 DFMEA .....	83
8.2.1	DFMEA 的概念 .....	83
8.2.2	非标专用设备 DFMEA 的目的 .....	84
8.2.3	非标专用设备 DFMEA 建立的时机和组织形式 .....	84
8.3	保险杠超声波焊机设计实例 .....	85
8.3.1	前保险杠超声波焊机工艺背景简介 .....	85
8.3.2	DFMEA 的编制步骤 .....	85
8.4	非标专用设备 DFMEA 的若干要点 .....	92
8.5	小结 .....	92
9	汽车配件公司设备维护与管理的信息化应用 .....	93
9.1	公司设备维护概况 .....	93
9.2	设备维护与管理工作的分析 .....	94
9.2.1	维修业务流程 .....	94
9.2.2	保养业务流程 .....	95
9.3	设备维护与管理软件系统 .....	97
9.3.1	系统总体目标 .....	97
9.3.2	系统功能 .....	97
9.4	设备维护与管理应用 .....	99
9.4.1	资源管理 .....	99
9.4.2	故障管理 .....	103
9.4.3	维修工作管理 .....	104
9.4.4	保养计划 .....	108
10	船厂埋弧焊作业工作研究 .....	119
10.1	埋弧焊工作现状描述 .....	119
10.2	埋弧焊作业工作单元提取 .....	120
10.3	工作单元时间计算 .....	126

10.4	单道焊作业时间计算 .....	128
10.5	工作效率的实例比较 .....	130
11	装配操作的人机工程仿真与分析 .....	133
11.1	研究对象分析 .....	133
11.2	仿真软件介绍 .....	137
11.3	典型工序的操作仿真及改进 .....	141
11.3.1	活塞环装配工序 .....	141
11.3.2	部件装配工序 .....	147
11.3.3	氦气检漏工序 .....	155
12	电子制造业公司业务流程分析 .....	163
12.1	电子制造业公司的生产背景 .....	163
12.2	订货及产前准备阶段 .....	165
12.3	新机种试做阶段 .....	170
12.4	量产实现阶段 .....	171
12.5	抽验及出货阶段 .....	175
13	制造业技术信息管理 .....	178
13.1	需求概述 .....	178
13.2	技术信息管理分析 .....	179
13.3	技术信息管理概述 .....	180
13.3.1	更新信息的提示 .....	180
13.3.2	主控界面 .....	180
13.4	技术信息管理系统的特点 .....	190
14	印刷线路板装配质量管理 .....	191
14.1	背景介绍 .....	191
14.2	印刷线路板装配的主要技术 .....	192
14.2.1	印刷板元件面的表面贴装 .....	192
14.2.2	印刷板焊接面的表面贴装 .....	192
14.2.3	印刷板的装配流程 .....	193
14.3	印刷板生产质量的分析与调查 .....	194
14.4	质量问题的原因分析与改进措施的提出 .....	195
14.5	进一步的思考 .....	197



15	发动机厂零缺陷质量过程控制	203
15.1	零缺陷质量管理的含义、目标和原则	203
15.1.1	零缺陷的含义	203
15.1.2	零缺陷质量管理的目标	204
15.1.3	零缺陷质量管理的基本原则	204
15.2	零缺陷活动开展背景	204
15.3	零缺陷质量管理的理念	205
15.4	零缺陷质量过程控制体系的建设	206
15.4.1	人员管理零缺陷	206
15.4.2	设备管理零缺陷	208
15.4.3	物流管理零缺陷	211
15.4.4	标准化作业零缺陷	213
15.4.5	持续改进零缺陷	215
15.5	零缺陷质量过程控制活动的总结与思考	217
16	将 6 管理作为持续改进的突破性策略	219
16.1	引言	219
16.2	6 质量战略	219
16.3	6 管理方法	221
16.3.1	DMAIC 流程模式	221
16.3.2	过程的思考	222
16.3.3	统计工具的应用	222
16.3.4	质量改进团队	223
16.4	项目组织方式	223
16.5	6 改进项目实例	224
16.5.1	项目背景	224
16.5.2	项目实施过程介绍	225
16.6	形成追求“第一”的企业文化	231
16.7	取得的成果	232
17	应用 6 方法缩短交货周期	233
17.1	6 实施方法——DMAIC	233
17.2	应用 DMAIC 方法缩短交货周期	234

17.2.1	背景分析 .....	234
17.2.2	定义阶段 .....	234
17.2.3	测量阶段 .....	235
17.2.4	分析阶段 .....	239
17.2.5	改进阶段 .....	242
17.2.6	控制阶段 .....	244
18	田口参数实验设计 .....	245
18.1	田口方法的起源 .....	245
18.2	田口方法的基本思想和研究内容 .....	246
18.3	田口质量损失函数 .....	248
18.4	信噪比与正交表 .....	249
18.5	田口参数设计的流程 .....	251
18.6	田口参数设计案例 .....	251



# 钢厂备件安全库存分析

## 1.1 需求概述

国内某钢厂一方面备件库存积压,一方面设备维修经常面临缺货,目前尚无一个完整的库存解决方案。库存备件从财务的角度来看,构成了企业的生产要素,但是需要占用企业庞大的流动资产;从实物的角度来看,支撑着设备的正常运转,但是需要占用企业宝贵的仓储面积与空间。如果备件储备过少,将影响设备的开动率,继而导致产品产量的减少;如果备件储备过多,长期闲置,将导致备件锈蚀、老化、失效,丧失使用功能,并造成资金积压,影响周转。具体表现为:

(1) 库存结构不合理,备件库存中有3年以上库龄的备件仍占30%,而事故件比例偏低,计划件比例偏高。

(2) 各单元之间备件库存的比例不平衡;三期单元备件的平均单价明显高于一期、二期;领用机、电、仪备件的比例与库存机、电、仪备件的比例不匹配;临时库存的领用率逐年下降,说明不能用的备件积压沉淀,并且随着时间的推移,沉淀备件领用概率会越来越小,直至存放在仓库中完全不用。仓库中库龄长的备件实物量大。

(3) 过量库存、积压库存、缺货,称为备件库存的三大弊病。过量的库存超过了实际的需要;积压的库存只能等待报废;因库存不足而产生的缺货,会导致设备生产、维修的停顿,继而影响企业产品产量,使资本投入不能收回现金,并失去市场与客户的信任。

针对备件库存管理中存在的问题,迫切需要对存在的问题进行分析,通过建立安全库存机制,建立库存备件最佳订购批量、最佳订购周期等重要参数,结合供应链、业务流程再造、企业资源计划等理论,在需要与可能之间寻找一个最佳平衡点,在盘活流动资产、提高资金利用效率的同时,确保设备的正常生产、维修。

合理备件库存的确定有着重要的意义:

(1) 从设备维修、生产方面考虑,为了使设备维修、生产稳定进行,企业应保证有足够

的库存,这样才能满足因接受大量订货任务而急剧增加产量时对设备备件的需要,满足因采购遇到意外而不能及时购得备件、材料时的需要。

(2) 从流动资金方面考虑,备件库存在企业总资金中所占比例较大,备件存储会产生附带损失和存储费用,一般包括:利息,存储损耗、陈旧、降价所造成的损失,备件的税金和保险费,仓库管理费。

(3) 从订购方面考虑,希望订购次数越少越好,即每次订购量越多越好。同时还需从合理交货期方面考虑,给供应商合理的制造周期,减少紧急备件的计划量。

## 1.2 备件库存策略与方法

### 1.2.1 备件管理的任务

设备在运转使用过程中,有些零件由于相对运动的摩擦会产生磨损,磨损到一定程度时配合间隙增加,直接影响到设备的精度、效率和被加工零件的质量;有些零件由于受周期性冲击负荷的作用,会产生裂纹和损坏;还有一些零件虽无相对运动,但都有一定的使用寿命,超过使用寿命也会降低使用性能和失效。

备件就是在设备维修工作中,为了缩短修理停歇时间,事先为进行各种修理所准备的零(部)件。根据零件磨损规律、生产技术特征、工厂生产条件和市场供应情况,有计划地存储一定数量的某些备件,不仅可以显著地缩短设备维修时间,提高设备利用率,而且还可以降低备件的制造成本或购置费用。事先储备合理数量的备件,可以消除维修前赶制配件等突击现象,有利于提高维修质量。

备件管理的主要任务是:

(1) 要为企业的设备维修系统及时供应合格的备件,以减少设备修理停歇时间,提高维修效率。

(2) 保证关键设备正常运转。关键设备对企业的产品产量和质量影响大,备件管理系统的工作重点首先就是确保关键设备的正常运转,尽量减少停机损失。

(3) 在保证备件供应的前提下,要尽可能减少备件占用资金,加速备件资金的周转。

(4) 提高备件的收发和库存管理工作水平,减少库存亏损等。

确定备件储备工作,是备件存储管理的一个重要环节,只有在合理选定备件储备的基础上,正确地选择备件储备形式和制定备件储备定额,才能用最少的备件购置和库存费用及时供应合格的维修备件。确定备件储备工作时,应综合考虑零件磨损规律、使用寿命、故障性质、平均消耗量、价格、制造过程复杂程度、设备停工损失、维修水平、备件生产能力、市场供应情况和备件资金等因素。

## 1.2.2 备件库存控制的方法

### 1. 确定型需求的库存控制

这种控制方法就是决定应当在什么时候订货以及补充库存,每次订货的数量是多少,要求既能保证设备生产、维修的正常进行,又可以节省库存费用,获得最佳的经济效益。其控制方法有:

(1) 经济订货批量,即在年总成本(购买费用、订货费用、库存持有费用三者之和)最小的前提下,求出经济订购批量。该模型比较适合于外购备件的库存,如密封圈等低值易耗品。

(2) 允许适度缺货情况下的库存控制。有时库存费用的提高可能远远超过缺货损失,从而得不偿失,因此需要在库存费用增长与缺货损失之间寻求平衡。

(3) 有数量折扣的库存控制。有时供应商为了鼓励大宗购买,会采用数量折扣策略。企业为了享受折扣价,趋向加大订购批量,减少订购次数。但批量增加后,势必增加库存持有费用,因此必须权衡利弊后再作决策。

此外,还有经济订货周期、经济制造批量、经济制造周期等方法。

### 2. 随机型需求的库存控制

现实的库存需求往往呈随机变化的特征,即每次需求虽有随机性,但在一个较长时期内的整体需求却服从某种统计规律,因此可以利用统计规律进行库存控制。它的变化因素有:

(1) 需求发生随机变化。

(2) 订货提前期出现随机变化。

(3) 需求与订货提前期都发生随机变化。随机变化的结果可能导致缺货,为了减少缺货风险,必须增加保险库存。保险库存越大,缺货风险越小,但过高的保险库存就不经济了。

### 3. ABC 分析法

ABC 库存分类是一种应用广泛的库存管理方法。这种方法是从巴雷特法则派生出来的,认为在某一指定的群体中,影响大的个体只占总数的小部分,而大多数个体都对总体影响不大(20%的个体对总体产生 80%的影响)。也就是说,占用总库存资金 80%的往往集中在只占库存量 20%的那几种库存项目上。我们将企业名目繁多的库存项目,按各品种库存占用年物资储备资金总额的多少,将物资分为 ABC 三类。通常将占用年物资储备资金总额最高的物资划分为 A 类,次高的划分为 B 类,低的划分为 C 类。

(1) A 类备件:品种占 5% ~ 10%,金额占 70% ~ 75% ;

(2) B 类备件:品种占 15% ~ 25%,金额占 20% ~ 25% ;

(3) C 类备件:品种占 65% ~ 75%,金额占 5%

ABC 分类的目的在于对不同类的物资进行分类控制与管理。因此,对占用储备资金总额高的 A 类物资,在订货和库存储备方面,应实行重点控制;对中间状态的 B 类物资,实现一般管理;对 C 类物资,采取放松管理的措施。

### 1.3 备件库存控制应用实例

#### 1.3.1 确定型需求的库存控制模型实例

##### 1. 经济订货批量、订货周期、总成本

经济订购批量  $Q$  为

$$Q = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (1.1)$$

式中,  $R$  为(年)使用量;  $C$  为处理一次订货业务的平均成本,即每次的订货费用;  $H$  为保存成本,它与备件单价  $P$  成正比,比例系数为 0.08,即

$$H = 0.08 \times P \quad (1.2)$$

根据式(1.1),可以推出 1 年的订货次数  $N$  为

$$N = R/Q \quad (1.3)$$

经济订货周期  $T$  为

$$T = \sqrt{\frac{2C}{HR}} = \sqrt{\frac{2C}{0.08PR}} \quad (1.4)$$

年总成本  $TC$ (total cost)为

$$TC = R \times P + R \times C/Q + H \times Q/2 = R \times P + R \times C/Q + 0.08 \times P \times Q/2 \quad (1.5)$$

式中,  $R \times P$  为购买成本;  $R \times C/Q$  为总的订货业务成本;  $H \times Q/2$  为保存成本。

例如,6308ZZ 轴承的年需求量为 829 个,每次的订货费用为 60 元,每个轴承的单价以 60 元计,存储费用为 8% (每件轴承存储 1 年所需的存储费用为轴承价格的 8%)。

因为  $C=60$ ,  $R=829$ ,  $P=60$ ,由式(1.1)~式(1.5)可得:

经济订购批量

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 60 \times 829}{0.08 \times 60}} = 144(\text{个})$$

1 年的订货次数

$$N = 829/144 = 5.76(\text{次}) \quad 6(\text{次})$$

经济订货周期

$$T = \sqrt{\frac{2 \times 60}{0.08 \times 829 \times 60}} = 0.174(\text{年}) = 63(\text{天})$$

年总成本

$$TC = 829 \times 60 + 829 \times 60 / 144 + 0.08 \times 144 \times 60 / 2 = 50431(\text{元})$$

以 1999 年为例,该轴承的采购到货情况如表 1.1 所示。

表 1.1 轴承采购入库清单

序号	合同号	入库日期	件数/ 个	金额/ 元	单价/ 元
1	A	1999 .01 .27	16	878 .72	54 .92
2	B	1999 .02 .25	109	6046 .23	55 .47
3	C	1999 .03 .08	62	3423 .74	55 .22
4	D	1999 .05 .12	2	163 .60	81 .80
5	E	1999 .04 .26	53	3209 .39	60 .55
6	F	1999 .03 .25	10	818 .00	81 .80
7	G	1999 .05 .18	62	3783 .86	61 .03
8	H	1999 .07 .26	66	4004 .58	60 .68
9	I	1999 .06 .15	4	327 .20	81 .80
10	J	1999 .07 .01	74	4501 .22	60 .83
11	K	1999 .10 .14	105	6394 .35	60 .90
12	L	1999 .11 .03	66	4027 .98	61 .03
13	M	1999 .11 .02	92	5599 .76	60 .87
14	N	1999 .11 .03	64	3905 .92	61 .03
15	O	1999 .11 .01	22	1603 .80	72 .90
合 计			807	48688 .35	

从表 1.1 看出,1999 年订货 15 次,远远大于经济订货次数 6 次,因此需要调整订货次数。

## 2. 有数量折扣的库存控制

以型号为 3QT(R25)的张减辊为例,2002 年采购入库情况如表 1.2 所示。

表 1 2 张减辊采购入库清单

序号	合同号	入库日期	件数/ 个	金额/ 元
1	A	2002. 01. 14	54	80247 .73
2	B	2002. 02. 05	90	132834 .60
3	C	2002. 04. 04	63	92984 .22
4	D	2002. 04. 15	72	106267 .68
5	E	2002. 05. 15	54	79700 .76
6	F	2002. 06. 04	54	79700 .76
7	G	2002. 06. 12	72	106267 .68
8	H	2002. 06. 25	36	53133 .84
9	I	2002. 07. 04	54	79700 .76
10	J	2002. 08. 14	54	79700 .76
11	K	2002. 09. 20	45	66417 .30
12		2002. 09. 27	54	79700 .76
13		2002. 11. 20	36	53133 .84
14		2002. 12. 11	54	78919 .38
合 计			792	1168710 .07

该张减辊年消耗 792 个,假定 1 ~ 299 个的单价是 1475 元,300 ~ 599 个的单价为 1400 元,600 个以上的是 1328 元,每次订货费用 1500 元,单个轧辊库存持有费用为价格的 8%,求以最低价计算经济订货批量。

第 1 步: 计算经济订货批量

(1) 计算价格  $P_1 = 1328$  元时的经济订货批量

由式(1.1)得

$$Q = \sqrt{\frac{2RC}{0.08 \times P}} = \sqrt{\frac{2 \times 792 \times 1500}{0.08 \times 1328}} = \sqrt{22364.5} \quad 150(\text{个})$$

因为  $Q < 600$  个,所以 150 个不是价格  $P_1 = 1328$  元时的经济订货批量,计算无效。

(2) 计算价格  $P_2 = 1400$  元时的经济订货批量

$$Q = \sqrt{\frac{2RC}{0.08 \times P}} = \sqrt{\frac{2 \times 792 \times 1500}{0.08 \times 1400}} = \sqrt{21214.3} \quad 146(\text{个})$$

因为  $Q < 300$  个,所以 146 个不是价格  $P_2 = 1400$  元时的经济订货批量,计算无效。

(3) 计算价格  $P_3 = 1475$  元时的经济订货批量



$$Q_3 = \sqrt{\frac{2RC}{0.08 \times P}} = \sqrt{\frac{2 \times 792 \times 1500}{0.08 \times 1475}} = \sqrt{20135.6} \quad 142(\text{个})$$

因为  $Q_3 < 300$  个, 所以 142 个是价格  $P_3 = 1475$  元时的经济订货批量。由式(1.5), 此时的总库存费用为

$$\begin{aligned} TC_{142} &= R \times P + R \times C \times Q + 0.08 \times P \times Q / 2 \\ &= 792 \times 1475 + 792 \times 1500 / 142 + 0.08 \times 1475 \times 142 / 2 \\ &= 1168200 + 8366 + 8378 = 1184944(\text{元}) \end{aligned}$$

第 2 步: 计算各间断点的库存总费用

间断点为 300 个和 600 个, 所以由式(1.5), 其库存总费用分别为

$$\begin{aligned} TC_{300} &= 792 \times 1400 + 792 \times 1500 / 300 + 0.08 \times 300 \times 1400 / 2 \\ &= 1108800 + 3960 + 16800 = 1129560(\text{元}) \\ TC_{600} &= 792 \times 1328 + 792 \times 1500 / 600 + 0.08 \times 600 \times 1328 / 2 \\ &= 1051776 + 1980 + 31872 = 1085628(\text{元}) \end{aligned}$$

第 3 步: 综合分析

由于  $TC_{600} < TC_{300} < TC_{142}$ , 故订购批量为 600 个(此时价格为 1328 元)时为最佳经济批量。

### 1.3.2 随机型需求的库存控制模型实例

下面以型号为 650 575 \* 1580 \* 5350 的 F4-7 工作辊为例, 计算需求发生随机变化的库存控制模型。

保险库存是库存的一部分, 主要是为了应对需求和订货点发生短期的随机变动而设置的。通过建立适当的保险库存, 可以减少缺货的可能性, 从而在一定程度上降低库存短缺成本。但保险库存的加大会使库存持有成本增加, 因此, 必须在缺货成本和库存成本之间进行权衡。

假设需求变化符合正态分布, 由于提前期是固定数值, 因而可以直接求出在提前期内的需求分布的均值和标准差。一定顾客服务水平下需求变化的安全系数如图 1.1 所示, 从而可以得出安全系数表(表 1.3)。

表 1.3 安全系数表

库存耗尽的危险率	1	5	10	15
安全系数 $Z$	2.33	1.65	1.28	1.00
备件的重要程度	特别	大	中	小

通常是根据备件重要程度的大、中、小取  $Z=1.65 \sim 1.00$  较为恰当。

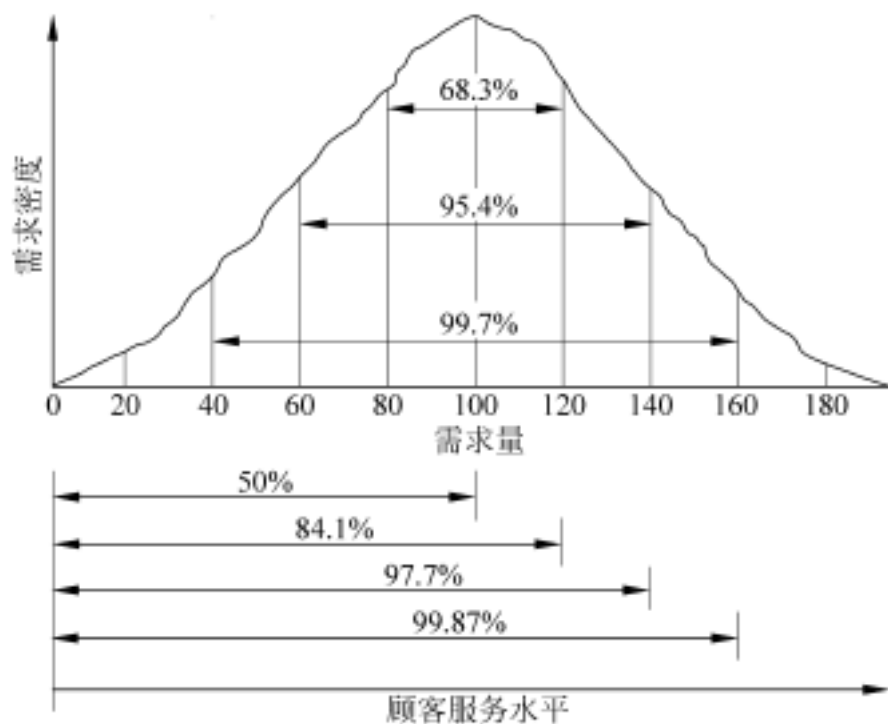


图 1.1 需求量、需求密度与顾客服务水平的关系

保险库存为  $Z \sqrt{LT} \sigma_d$

订货点  $ROP = \bar{d} \cdot LT + Z \sqrt{LT} \sigma_d$

式中,  $\bar{d}$  为平均月需求;  $\sigma_d$  为月需求标准差;  $LT$  为订货提前期天数。

以型号为 650 575 \* 1580 \* 5350 的 F4-7 工作辊为例, 采购周期为 4 个月, 2002 年 1 ~ 8 月的领用记录如表 1.4 所示。

表 1.4 领用记录

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	合计	月平均
领用量	6	6	24	20	8	4	8	22	98	12

标准差  $\sigma_d$  的计算方法有很多。对于不要求精确的备件来说, 采用极差  $R$  法来推算标准差定值的方法既简单又实用, 即

$$\sigma_d = R \frac{1}{d_k}$$

式中,  $\frac{1}{d_k}$  是一个修正系数, 它与样本容量  $N$  有关, 其值见表 1.5。

表 1.5 修正系数  $\frac{1}{d_k}$  的值

$N$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{1}{d_k}$	0.886	0.591	0.486	0.430	0.395	0.370	0.351	0.337	0.325	0.315	0.307

由表 1.5 可知,样本容量  $N=8$  时,  $\frac{1}{d} = 0.351$ , 所以,

$$\sigma_d = 0.351 \times (22 - 4) = 6.32, Z = 1.65$$

$$\text{保险库存} = Z \sqrt{LT} \sigma_d = 1.65 \times \sqrt{4} \times 6.32 = 21(\text{个})$$

$$\text{订货点 } ROP = \bar{d} \cdot LT + Z \sqrt{LT} \sigma_d = 12 \times 4 + 1.65 \times \sqrt{4} \times 6.32 = 48 + 21 = 69(\text{个})$$

经过计算,该工作辊的最低库存量为 21 个,订货点为 69 个。2002 年实际订购情况如表 1.6 所示。

表 1.6 2002 年实际订购数据

序号	合同号	入库日期	件数/ 个	金额/ 元
1	A	2002.02.26	12	1489608.00
2	B	2002.04.10	2	244800.00
3	C	2002.04.22	12	1489608.00
4	D	2002.06.10	8	993072.00
5	E	2002.09.09	4	489600.00
6	F	2002.09.12	6	744804.00
7	G	2002.04.09	4	606195.14
8	H	2002.04.18	2	255596.25
9	I	2002.04.18	8	1018563.00
10	G	2002.05.15	6	909292.70
11	I	2002.05.22	2	254640.75
12	H	2002.05.29	4	511192.50
13	J	2002.05.29	10	1254093.80
14	K	2002.08.20	2	256392.50
15	L	2002.08.20	4	517790.00
16	M	2002.08.26	2	263672.50
17	K	2002.09.16	2	256392.50
18	M	2002.09.16	4	580079.50
19	L	2002.09.29	2	310674.00
20	K	2002.09.29	2	307671.00
合 计			98	12753738.14

由表 1.6 可知,2002 年购买 13 次,平均每次 7 个,远比最佳订购点 69 个少,因此需要调整订购点,减少订购次数。

### 1.3.3 用 ABC 分析法控制库存

连铸机下线四大周转件的备件 800 多种。如果用经济批量法逐个品种地计算和求出最佳库存量,工作量十分巨大,而如果用 ABC 分析法去控制库存,就能对库存备件、材料进行价值分析,进行有重点地控制。

通过对连铸机下线四大周转件的备件库存的统计分析,得出如下结论:

(1) 备件单价在 10 万元以上的备件种类为 21 种,但是这 21 种备件占四大周转件备件总金额的 90.3%,而所占的项目数仅为 2.1%。故在进行 ABC 分类时,将这 21 种单价在 10 万元以上的备件直接作为 A 类备件。

(2) 对于 10 万元以下的备件进行 ABC 分类。根据 ABC 的分类原则, A 类备件: 单价 > 4857 元,占剩余总项数的 5.4%;总价值 72.63 万元,占剩余总金额的 75%。 B 类备件: 414 元 < 单价 < 4857 元,占剩余总项数的 24.3%;总价值 25.97 万元,占剩余总金额的 20%。 C 类备件: 单价 < 414 元,占剩余总项数的 70.3%;总价值 5.21 万元,占剩余总金额的 5%。

由以上两个步骤得到最终的分类:

A 类备件: 单价 > 4857 元;

B 类备件: 414 元 < 单价 < 4857 元;

C 类备件: 单价 < 414 元。

# 2

## 备件管理信息系统的应用

### 2.1 引言

设备维修物料备件是构成企业生产要素的一部分,直接影响到生产成本;设备维修物料管理作为设备维修活动的重要组成部分,是保证生产设备正常运转的重要工作。只有科学合理地储备与供应维修物料,才能使工厂设备经济可靠地运行。否则,如果维修物料储备过多,则会造成积压,不但影响企业流动资金的周转,增加产品成本,而且增加库房面积和保管费用;如果维修物料储备过少,供应不及时,就会给企业带来风险,增加停机时间,使企业的生产活动和经济效益遭受重大损失。

随着计算机和信息技术的迅猛发展,国内外各种仓储管理均采用各种不同形式的管理信息系统。在设备管理领域则借鉴国外同行的先进经验应用了综合信息管理系统。但此系统面向公司整体层面,侧重普遍性,具体到类似炼钢厂连铸维修业务等具体现场应用,针对性不强。为了更好地规范连铸维修业务管理流程,必须对进出连铸维修工场的各类物料,包括备品、备件和资材等进行封闭式管理,提高物料管理的效率和精度,从而更有效地控制生产成本。

### 2.2 需求分析

#### 2.2.1 需求概况

连铸机周转件维护检修工作,在厂房初始设计时没有考虑机旁维修物料的存放仓库。日常维修作业过程中却需更换大量的维修物料,消耗很多专用资材。随着生产的发展和市场的需要,连铸机的生产能力已大大超过设计能力,生产所需的四大周转件更换量也相对增加,造成设备维修量增加,维修物料的数量也随之增加。以 300T 单元为例,现场库

区存有各种机旁维修物料、专用物资资材 1000 种之多,每年占用采购资金近千万元。目前这些维修物料和物资存放在维修场地腾出的库区内,由于场地有限,管理不规范,造成取用、盘库极其不便。为了提高维修物料使用率、计划申报的准确率,摸索出最低库存周转量的合理性,消除原先存放的杂乱性,提高保管存放的科学性,必须建立和应用计算机管理系统。

在构建连铸车间的设备管理体系时,我们以整合规范维修物料管理业务流程、做好维修物料的科学管理为目的,根据现代化管理的需求和目前的管理水平,加速各种业务信息的传输与反馈,建立一个计算机管理信息系统,对维修物料、仓库、生产部门、供应商、人事以及与机旁维修物料管理相关的动态数据进行收集、处理与控制。

### 2.2.2 管理业务流程

在对企业维修物料管理工作业务流程进行调研的基础上,总结出维修物料管理业务流程图。图 2.1 所示是企业当前对维修物料进行申购、入库、保管、出库等业务的具体过程,每个业务步骤中,都与一些管理信息有相应的关系。图 2.2 所示是业务流程与管理信息分析图,显示了在整个物料管理业务流程中具体的业务步骤所涉及的管理信息的载体,包括各种表格和卡片等,通过对其进一步的分析,就可以获得在每个不同业务步骤中的信

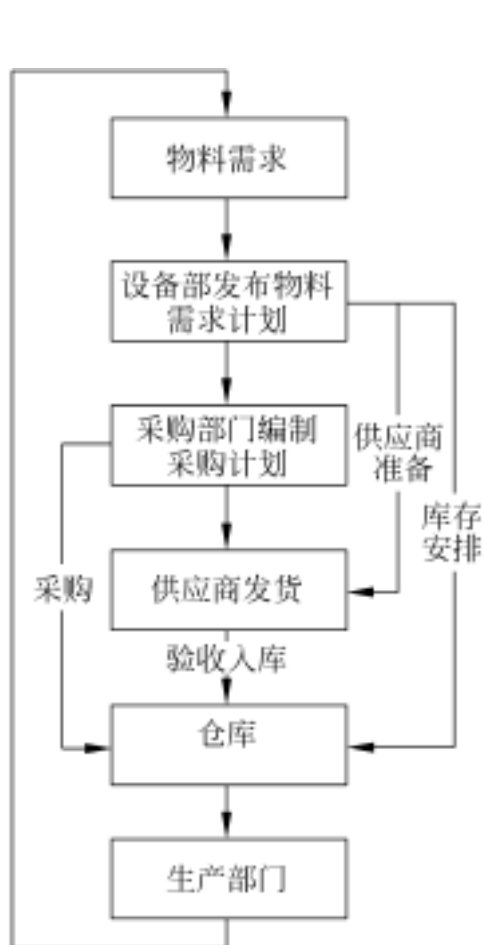


图 2.1 维修物料管理业务流程图

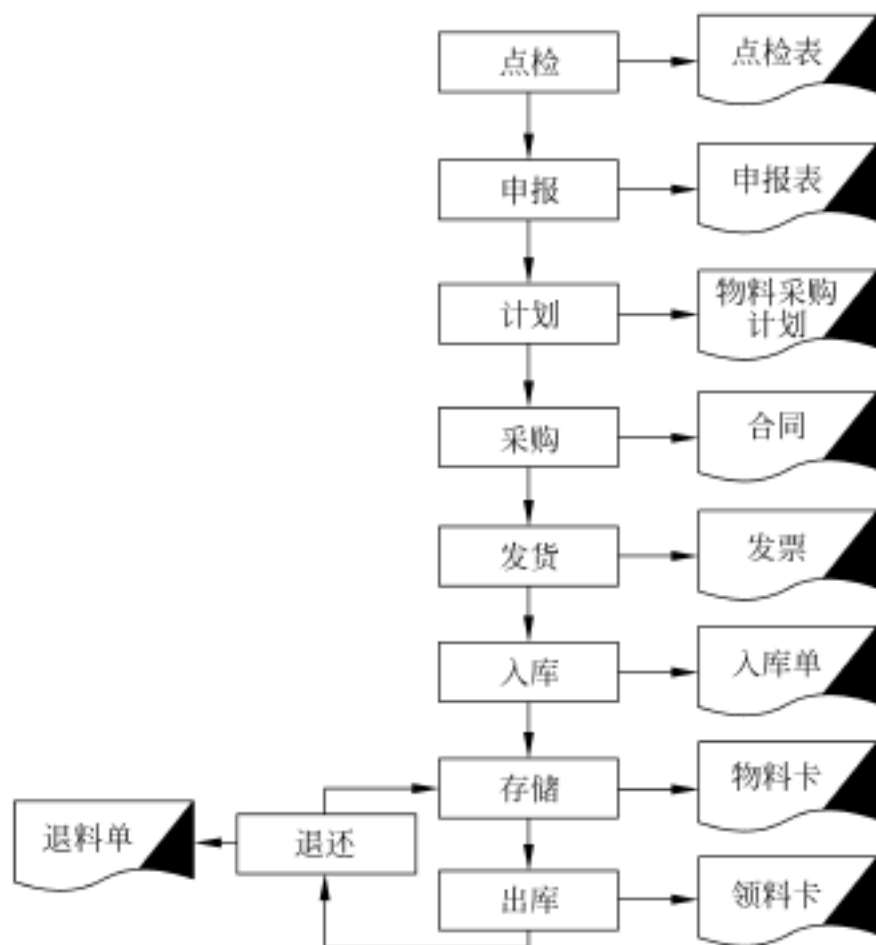


图 2.2 业务流程与管理信息关系图

息需求。图 2.2 中只显示了每个业务步骤所对应的管理信息,在图 2.3 中则清楚地显示了每个业务步骤对管理信息的具体操作和需求。通过对图 2.3 的分析,就可以得到管理信息系统具体的主要功能和对企业信息的需求。

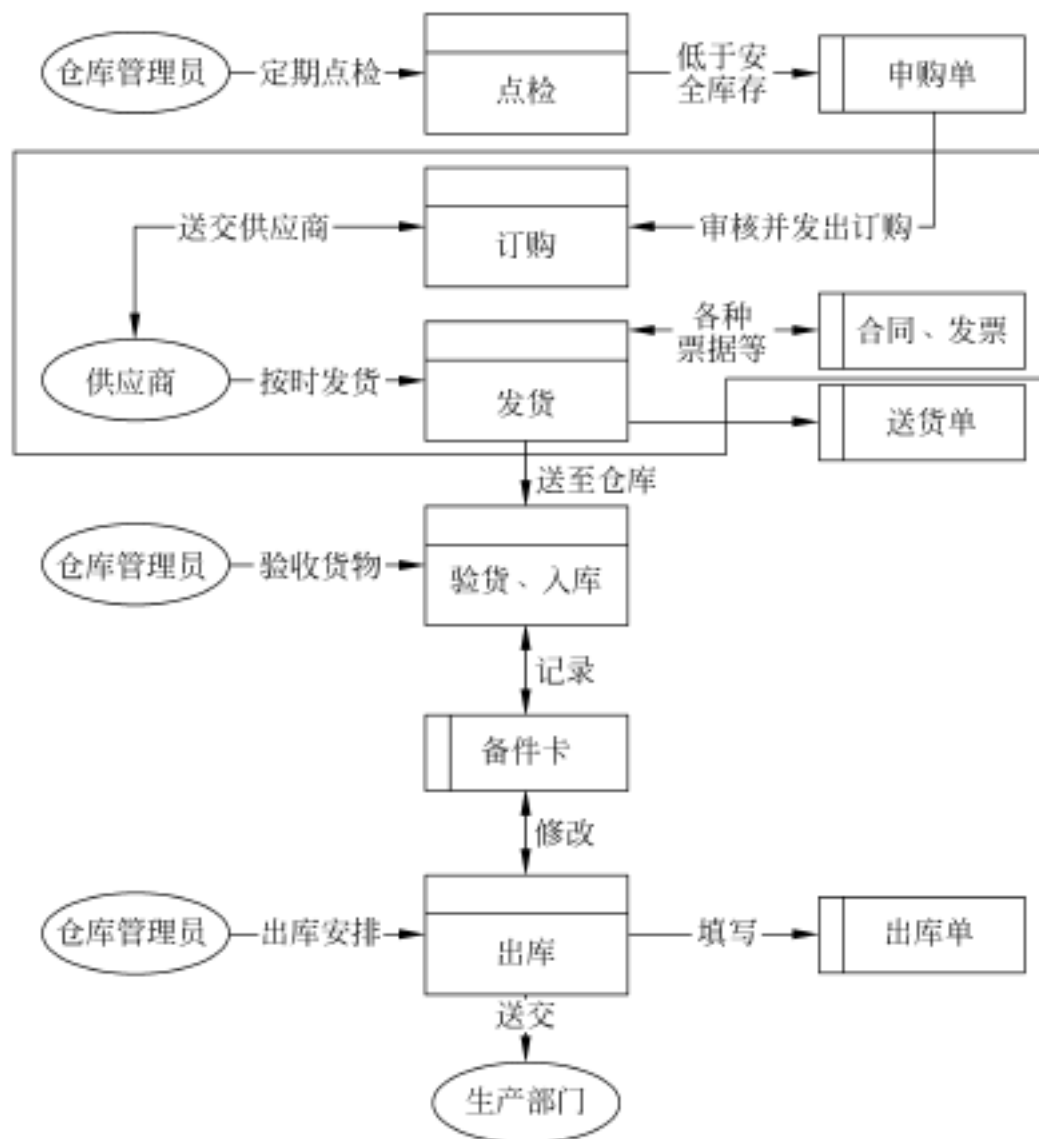


图 2.3 业务流程信息分析图

### 2.2.3 组织结构及分工

在企业中,具体的业务对应相应的部门职能,而不同的业务所对应的管理信息系统中的功能也不同,所以对企业中的管理组织结构也需要进行一定的分析,并在此分析的基础上,对不同部门的业务进行相应的功能设计,以满足其不同的需求。如图 2.4 所示,企业中与连铸维修物料管理工作相关的部门和组织及其主要业务如下:

- (1) 炼钢厂管理部门: 对连铸设备维修业务进行管理和监管;
- (2) 职能部门: 负责安全、行政、技术、质量管理等;
- (3) 点检作业区: 负责连铸机下线四大周转件的维修调度安排;
- (4) 生产作业区: 负责连铸机下线四大周转件的维修生产、维修物料领用;

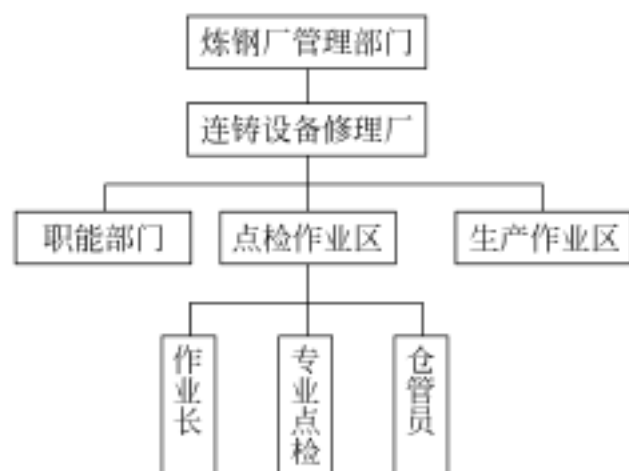


图 2.4 维修物料管理组织结构图

(5) 专业点检：负责连铸机下线四大周转件的点检、维修物料管理。

#### 2.2.4 仓库管理流程

如图 2.5 所示,进行出库或盘库操作后,如果发现备件库存量低于安全库存,则需要根据预定规则计算申购数量,经管理员确认后加入到申购列表中,申购时统计输出(见图 2.5(a))。盘库前输出备件列表,待点检员盘库完成后,根据当前库存情况对备件当前库存量进行修改。到货经检查后,确认满足入库条件则对物料进行入库操作并记录,

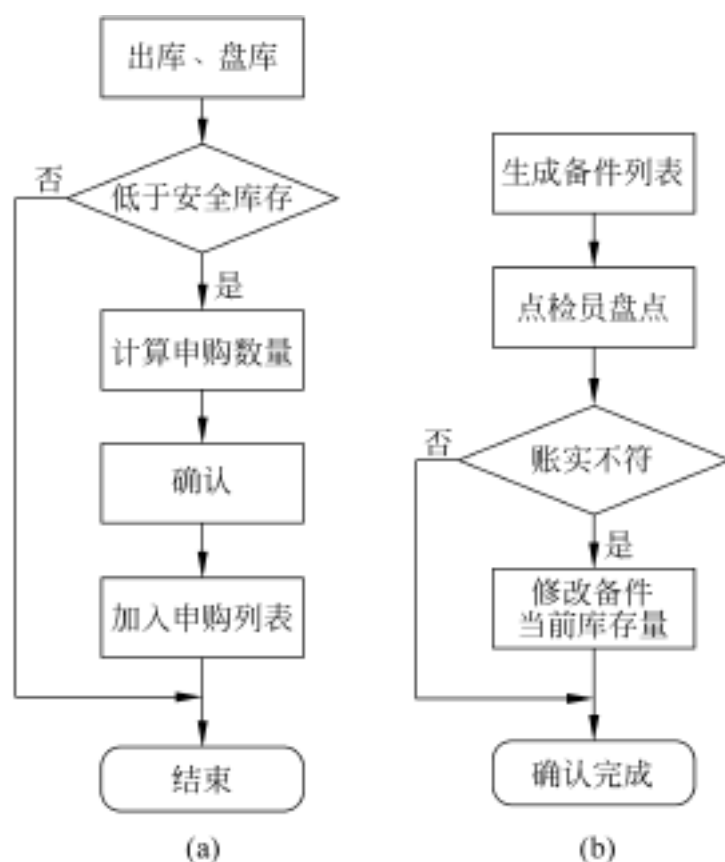


图 2.5 申购流程和盘库流程

(a) 申购流程; (b) 盘库流程



同时修改备件库存量。确认领料信息后,根据领料申请对相应的备件库存量进行调整(见图 2.5(b))。

退料操作流程除进行退料记录外,还需要对备件库存数量进行修改(见图 2.6(a))。

根据设定的触发条件,对备件信息进行检查,按照呆滞期的设定对备件操作信息进行确认,如果超过呆滞期,则列表输出(见图 2.6(b))。

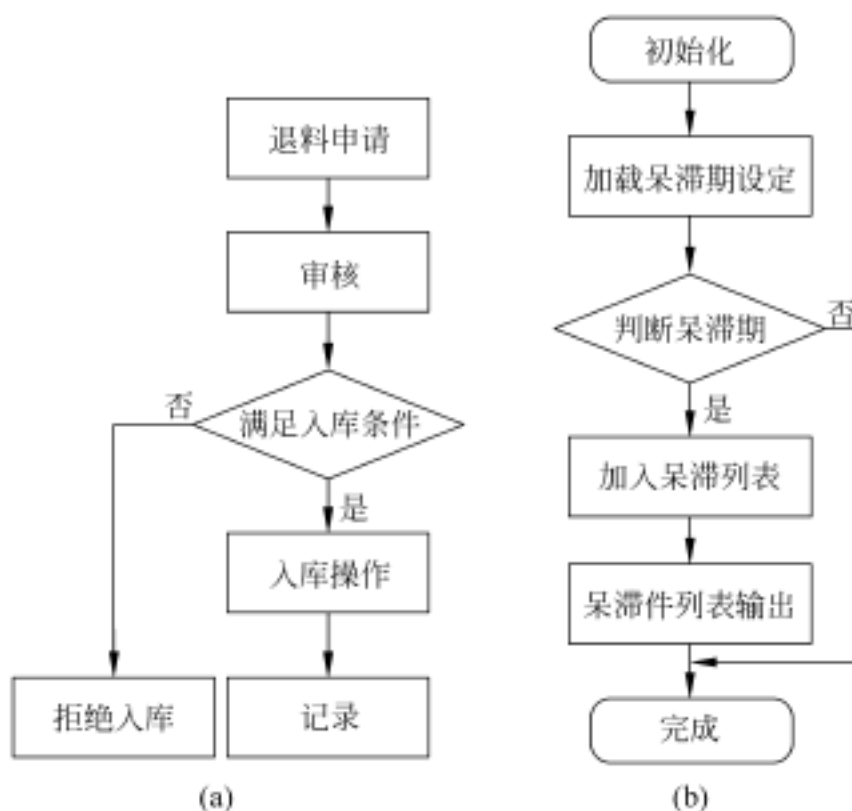


图 2.6 退料和呆滞件监测流程

(a) 退料; (b) 呆滞件监测

## 2.3 系统概述

### 2.3.1 系统总体目标

结合企业现状以及当前所存在的问题,对系统总目标进行更进一步的分析。系统总体目标是:以整合规范备品连铸物料管理业务流程、做好备品连铸物料的科学管理为目的,根据现代化管理的需求和目前的管理水平,加速各种业务信息的传输与反馈,逐步建立对连铸物料、仓库、生产部门、供应商以及人事等与机旁连铸维修物料管理相关的各个方面的动态数据的收集、处理与控制。主要包括以下几个方面:

- (1) 提供一个基于网络的连铸物料管理体系和连铸物料管理业务的信息处理平台;
- (2) 对连铸物料的各种信息进行统一管理,保证信息准确并且账物一致;

- (3) 通过对业务流程的实时管理,实现对整个业务流程的监控,提高工作的协调能力;
- (4) 建立初步的智能辅助模块,对连铸物料库存统计实现智能化;
- (5) 设定连铸物料库存量提示,及时运算汇总连铸物料相关信息;
- (6) 实现对仓库库位的可视化管理;
- (7) 系统操作简便,调用数据准确方便。
- (8) 全面考虑管理流程中的各种业务情况,系统具有灵活性。

### 2.3.2 系统功能分析和信息模型

通过需求分析,系统功能主要以连铸物料的申购、入库、仓储、出库以及盘点、监控等主要业务的管理为主线,能够生成相关的各种单据及统计报表,并完成打印。物料管理系统的具体功能(见图 2.7)应包括以下几种。



图 2.7 系统功能结构图

(1) 系统管理: 其中的权限管理是为系统使用者分配不同的权限,可以事先根据用户的不同需求对功能的使用做相应的限定,以确保数据的安全性和可靠性;数据库备份是保证数据安全性的重要措施,可随时调出库房内现有各类连铸物料的所有历史资料、进出库房情况、目前库存量。

(2) 基本信息管理: 连铸物料信息指库存数量、型号、规格等; 供应商信息可以方便申购人员的申购工作, 以确保申购工作的及时性; 人事信息是对相关人事进行管理, 是权限管理的数据来源; 相关设备信息指设备名称、编号、规格等。

(3) 业务管理: 主要包括连铸物料的申购、盘库、入库、出库以及退料等操作。可按送货单、领用单进行管理, 并能够汇总输出各种统计报表。

(4) 库位可视化管理: 针对每一个库位的连铸物料存储位置情况进行可视化管理, 以便库管人员能够及时地查到所需连铸物料库位的库存信息。库房管理人员根据领用单的输入, 系统能自动检索出该连铸物料的在库量及位置, 指导领用者进入到指定库位取用。

(5) 查询与统计分析: 对连铸物料管理的各种相关信息进行快速查找, 以方便管理, 同时对各种信息进行计算和统计汇总, 使管理人员能够随时掌握总体情况, 并产生统计分析报告。

(6) 库存控制及申购: 通过对连铸物料进行库存数量的持续监测, 发现呆滞件; 建立安全库存原则, 设定库存量提示; 系统可监控当前库存量, 以便订货申购计划报告。

物料管理系统采用 C/S 结构设计, 即系统的数据库和服务器端软件安装在系统服务器上, 系统服务器可以通过网络被设在点检部门和库管部门的客户端计算机访问。在点检部门设有多台客户机, 点检部门的计算机安装点检客户端软件, 用于满足点检部门对连铸物料信息的管理需求。库管部门也设有多台客户机, 客户机安装库管客户端软件, 满足库管部门对连铸物料信息和仓库信息的管理需求。

## 2.4 系统主要功能及应用

系统功能包括: 基本信息管理、备件和设备的关联设置、业务管理、仓库可视化管理、库存控制、查询分析、统计报表等 7 部分。

### 2.4.1 物料管理

维修物料备件信息包括: 备件编号、备件名称、备件别名、型号规格、最高储备量、最低储备量、备件类别、备件来源、生产类备件大类码、备件管理号、成本中心代码。对物料信息可进行添加、删除、修改、查询等操作(图 2.8)。

【添加】功能中, 绿色文本框表示必填内容, 红色文本框表示必填并且必须为数字的内容。

【查询】功能分模糊和精确两种方式。【模糊】表示如果现有信息中有包含该文本框内容的, 就进行选择; 【精确】表示现有信息必须与文本框内容完全相同时才会被选中。【同时满足】表示如果多项查找时, 各个项目必须同时满足后信息才可被选中, 【单项满足】表



图 2.8 物料管理界面

示只要各项目当中有一项满足即可。

#### 2.4.2 库存设置和库位可视化管理

单击库存量菜单,出现图 2.9 所示库存设置界面。由此,可以对物料的最高储备量、安全库存、当前库存量等信息进行【添加】、【删除】、【修改】、【查询】等基本操作。

系统可显示被查询仓库的布局俯视图。单击某货架,会出现该货架的正视图,直观看到该货架的分层结构以及当前库存数量的示意图和基本信息等。如图 2.10 所示,货架上每个库位上部有其编号,下部标注备件的名称和大概数量。其中绿色表示该物料的储存高于安全库存;灰色表示该物料的储存低于安全库存;黑色表示该库位没有装任何备件。如果选择货架上的具体库位,还可显示该库位的具体物料号、名称、当前存放量、安全库存量等详细信息,并配有备件图样以确认。

#### 2.4.3 仓库出入库管理

如图 2.11 所示,领料时首先输入设备编号,系统自动生成相应信息以及待领料清单,选择后单击【输出】,显示领料清单的打印预览界面。



图 2.9 库存设置界面



图 2.10 仓库可视化管理界面

连续物料管理系统 - (领料)

系统 基本信息 关联设置 业务管理 仓库管理 库存控制 查询及统计 窗口列表 帮助

待选维修物料列表

编号	名称	编号	名称	编号	名称	编号	名称
<input checked="" type="checkbox"/> 211-00...	阀门	<input checked="" type="checkbox"/> 211-00...	阀门	<input checked="" type="checkbox"/> 211-00...	阀门	<input checked="" type="checkbox"/> 211-80...	键盘

物料列表

物料管理号	物料名	库位	库位存量	计量单位	领取量
211-001-987-4	阀门	A001-0012	10100	个	

刷新 输出

出单

领料单号: w00000002

去向: 大修

设备编号: 099-990

设备名称: F05

设备类别: 55

部门编号: JF004

部门名称: 车间

出单人工号: 60002

姓名: 张文明

出单日期: 2004-6-18

交单日期: 2004-6-5

领料人工号:

领料人:

新品更新日期: 2004-6-5

下机备件去向:

作业令号:

打包单:

备注:

工程单:

确定 取消

图 2.11 领料管理界面

#### 2.4.4 监测和统计分析

通过输入某些监视条件,可对备件的库存量进行监测。通过该系统可以设定呆滞件和积压件的标准,以及监视它们的各种具体情况,还可以进行改型设备的选定。这里的呆滞件设定有两种:设备改型或若干年之内没有领料;积压件设定是指使用量不超过当前库存量的某个百分比(图 2.12)。系统可以根据 ABC 分类法,结合用户输入的信息计算合理的安全库存量。同时,也可以根据用户的需要,自定义设定安全库存(图 2.13)。系统可以分析单年资金周转率和历年资金周转率,并可以通过曲线图和条状图反映出来(图 2.14)。

呆滞件监测

备件管理号	备件名称	类别	型号	规格	当前库存量	单价	总价
1274	泵	A	beng	1-27	23	7230	166290
1294	活塞	C	huosa	1-29	5	310	1550

呆滞件设定

☐ 设备改型

☐ 年之内没有领料

积压件设定

☐ 年使用量不超过当前库存量的

统计 修改设定

打印 关闭

改型设备选定

原有设备

编号	名称	型号
733	快台	T-3

改型设备

编号	名称	型号
711	结晶器	T-1
722	支导	T-2
744	扇形段	T-4

> >> < << 保存

图 2.12 呆滞件监测界面

备件管理号: M21010701222A2

库存参数

备件名称: 螺栓

最高库存量: 0

安全库存量: 0

计量单位: 根

安全库存建议值

自动生产—属性设定

日期: 2004-10-13

批准人: 夏鹏

人员编号: HHC01

修改安全库存量为: 14

计量单位: 根

修改理由:

该螺栓由于质量比较好, 使用寿命大大提高, 根据车间作业情况, 修改安全库存量为14.

修改 取消 保存

变更日期	备件管理号	变更的安全库存值	单位	批准人	人员编号	变更原因
2004-10-13	M21010701222A2	14	根	夏鹏	HHC01	该螺栓由于质量比较好, 使用寿命

自定义修改安全库存历史记录, 当前记录数: 1

图 2.13 安全库存量设定界面

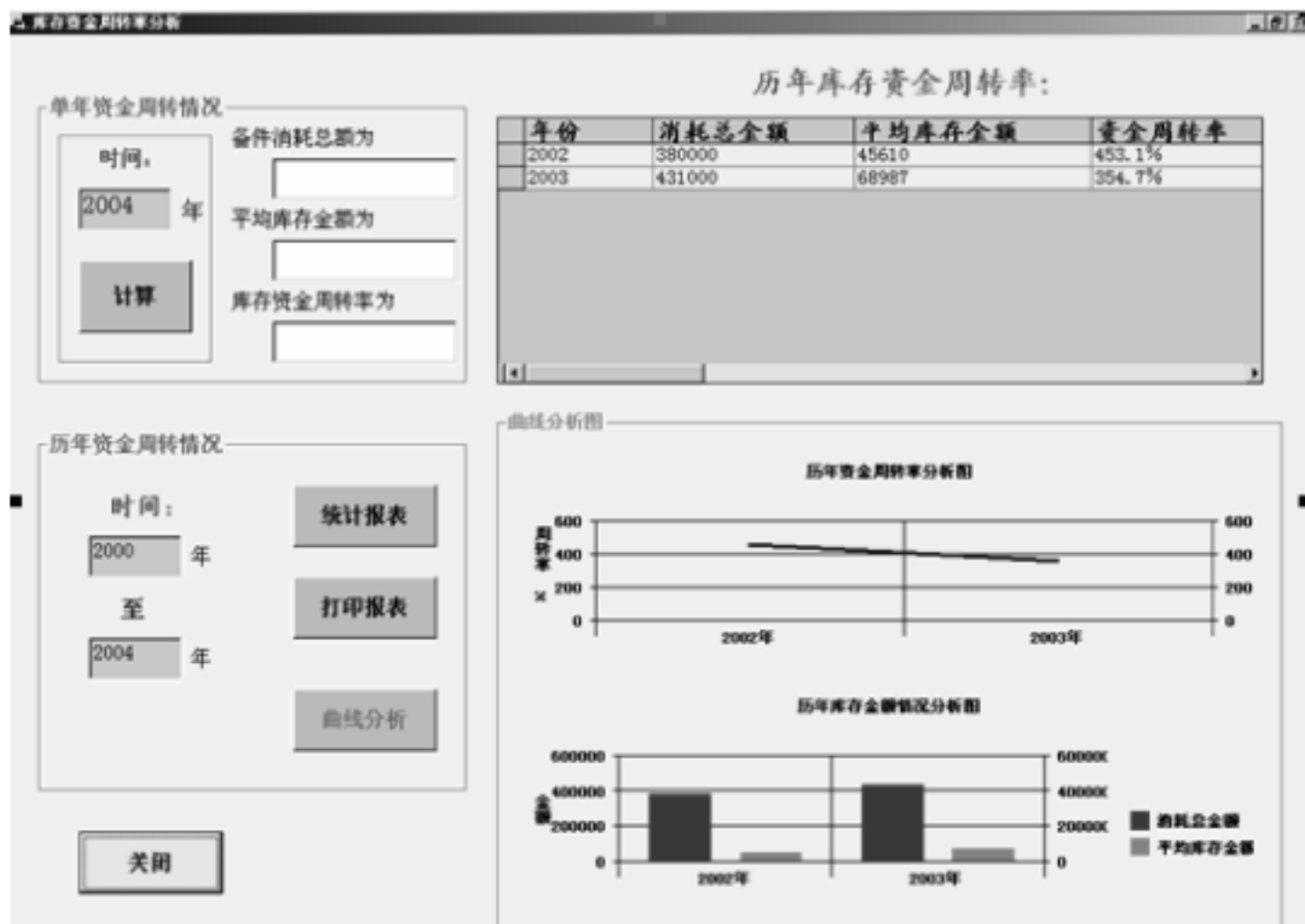


图 2.14 库存资金周转率分析界面

## 2.5 小 结

系统在企业实施后,实现了连铸维修物料信息的计算机管理,并能方便地通过局域网实现仓储、领用和申报等各部门管理信息的共享,不但保证了将来申购计划所依据库存现有量的准确性,而且避免了依靠大量库存来保证维修所需的周转量,从而更加有效地控制连铸维修的生产成本,取得了很好的应用效果。该系统的特点有:

(1) 物料管理信息动态化,为企业管理者科学决策提供实时数据,使计划与消耗更加合理,提高了维修物料管理水平;

(2) 库位可视化管理,改变了过去备品备件堆放杂乱、生产人员无法快速查找的弊病,大大提高了工作效率;

(3) 制定了重要物料的最低库存量,设置了安全量报警功能,避免了打紧急计划申购的弊病,有利于连铸生产的保证;

(4) 通过计算机管理,实时监控库存量,控制呆滞件和积压件,避免某些物料无效库存,造成资金浪费。



# 3

## 设备故障数据统计及 可靠性分析

### 3.1 引言

某公司目前拥有各类生产设备 3000 台,随着精益生产成本管理的深入,设备使用维护成本在产品成本中占多少比重的意义越来越突出,如何通过有效的预防性维修和相关的财务数据,控制设备使用维护成本,提高设备综合利用率,成为公司的工作重点,因而建立了公司的设备维修管理体系——全员设备维修(total equipment maintenance, TEM)。

TEM 系统采用 MAXIMO 软件,使预防性维修工作计算机管理化,陆续启用了一些功能模块,主要是针对预防性维修工作所需的模块,编制了关键性工序设备和主要生产设备的预防性维护工单,形成了工单生成、汇报、统计汇总、报表等一系列预防性维修滚动开展的必要手段,使得预防性维修工作规范化、制度化。

目前,预防性维修主要分两个方面开展:一方面是根据设备供应商提供的设备预防性维修计划来进行设备周期性的有计划的维修保养,维修部门主要负责周期在 1 个月以上的维护保养,每天需要维护保养的内容一般由操作工完成,每周的维护保养根据难易程度分别由操作工和维修工来完成;另一方面,维修部门还采用一些诊断技术对设备潜在隐患进行检查并采取措施。

采用美国 MRO 公司开发的设备维护专用软件 MAXIMO 系统,它的模块有:设备管理、工单管理、预防性维护管理、资源管理、作业计划管理、安全管理、库存管理、采购管理、系统管理、系统设置、屏幕设置、工作流管理、决策分析(可选模块)。见图 3.1。

企业已经投入使用的模块有:

(1) 设备模块(Equipment): 已建立了设备清单及相应的重要等级,设备的地址、编号。

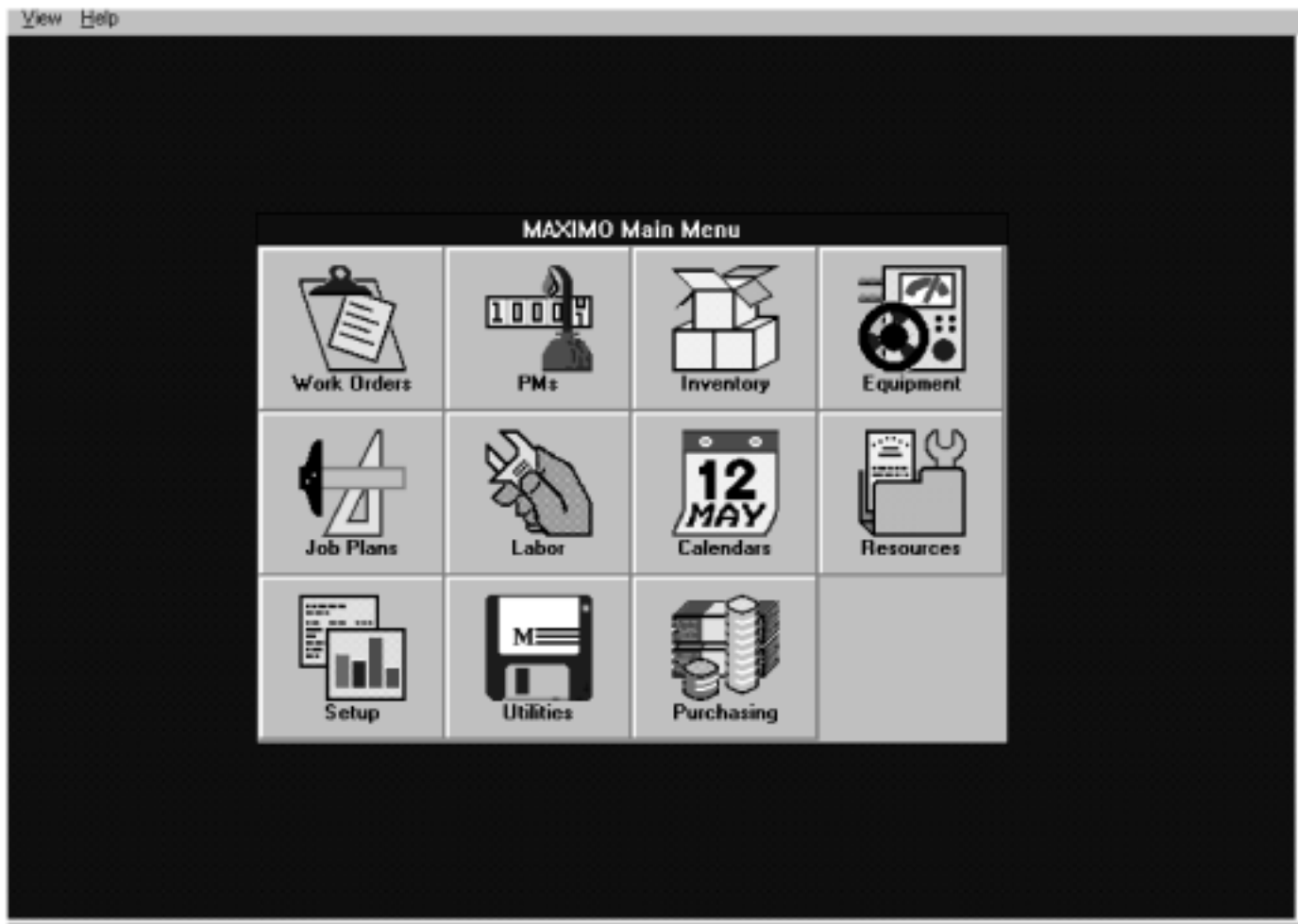


图 3.1 MAXIMO 软件界面

(2) PM 模块(Job Plan): 公司的主要生产设备都已建立了预防性维修工单,按设备供应商提供的维护保养说明及实际使用情况,编制了预防性维修的内容,包括清洁、润滑、关键部件的维护、设备精度调整等;规定了每项内容的维修保养操作步骤,使操作过程规范化、文件化;设置了工单滚动周期,实现定期保养。但涉及内容是否全面,滚动周期是否合理,操作步骤的正确性和可操作性还有待评估和改进。

(3) 人力资源模块(Labor): 建立了设备维修人员信息,但主要的是用工记录。

(4) MAXIMO 用户程序开发: 为了对设备预防性维修的数据进行统计(例如,设备应急维修,设备停机次数,停机率等),开发并正在使用的各类报表有:关键性设备统计表、工单完成情况汇总表、关键设备维护统计表、周工单汇总。

(5) Work Order 模块: 所有应急维修和预防性维修工单由输单员在此模块记录和汇总。

(6) Calendar 模块: 设备运转记录由用户程序把设备运转报表数据向该模块转换。设备故障停机时间、正常运转时间、开机时间均与之相关。

### 3.2 可靠性可维护性分析技术

#### 3.2.1 可靠性可维护性流程

可靠性可维护性分析是从数据采集到指标计算、故障分析最后到改进决策的一系列过程分析,主要的分析技术有以下几项:TEM 数据库中设备运行数据采集;可靠性可维护性指标 MTBF,MTTR<sup>\*</sup> 的计算;设备结构功能展开;设备故障树分析;设备失效模式及后果分析;设备控制计划。可靠性可维护性分析按图 3.2 所示的流程步骤进行。

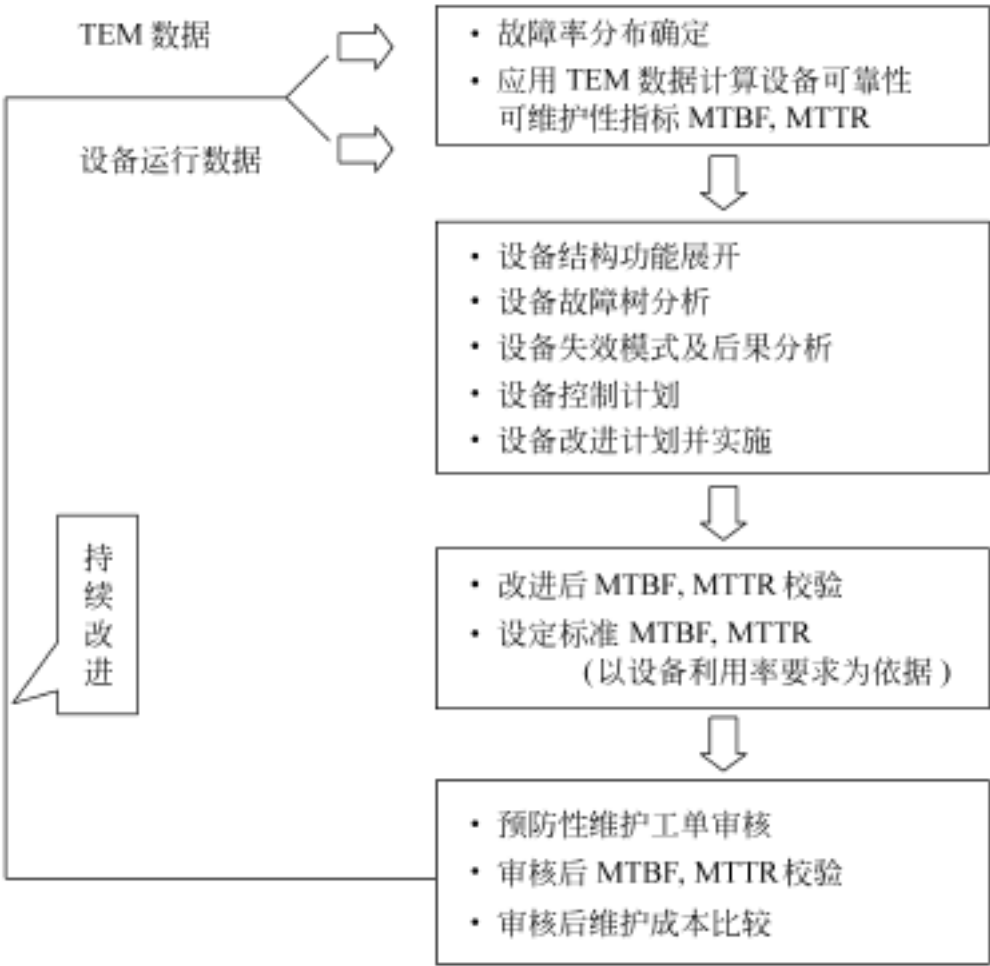


图 3.2 设备可靠性可维护性分析流程

#### 3.2.2 可靠性计算的概率公式

使用方往往更关心设备可靠性水平的置信下限,所以我们只要求以 1 - 的置信度来估计出可靠性特征量的置信下限。这种情况下可以认为置信上限为 + 时的区间估计,

<sup>\*</sup> MTBF 表示平均故障间隔时间 (mean time between failure); MTTR 表示平均故障修复时间 (mean time to repair)。

称为单侧置信区间。在采用定时截尾的抽样方法时(即在取样时规定一个试验时间,试验到规定时间即停止取样),平均寿命的单侧置信下限的计算公式为

$$1/\lambda_L = \frac{2T}{\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)} \quad (3.1)$$

若设备的寿命符合指数分布,则可以运用统计方法求出故障率,从而计算出 MTBF:

$$\text{MTBF} = 1/\lambda = \frac{2T}{\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)} \quad (3.2)$$

式中,  $T$  为总的观察时间;  $\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)$  为  $\chi^2$  分布关于  $1-\alpha$  的上侧分位数,可用  $\chi^2$  分布上侧分位数表求得;  $2r+2$  为  $\chi^2$  分布的自由度;  $1-\alpha$  为置信度,即特征量的参数落在置信区间的概率;  $r$  为观测中故障的次数。

同样,

$$\text{MTTR} = \frac{2T}{\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)} \quad (3.3)$$

式中,  $\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)$  为  $\chi^2$  分布关于  $1-\alpha$  的上侧分位数。

### 3.3 设备运行数据的采集

本章所进行的设备可靠性可维护性分析研究的对象是进口的焊接装配专用设备,其焊接的基材是 ABS 塑料,采用的焊接工艺为超声波焊接,焊接形式为铆焊,见图 3.3。由于一辆车有前后左右 4 块门板,相对应就有 4 台焊机分别负责每一块门板的焊接,每一块门板上有 48 个焊接点,为满足焊头布置的需要,设备分 4 个焊接工位来完成。其中第 1 工位为注塑件装配和门板定位,所谓装配就是将零件 1(门板本体)、零件 2(嵌饰板)、零件 3(地图袋)、零件 4(喇叭盖)装配好待焊接;第 2,3,4 工位为焊接工位。超声波焊机关键部件见图 3.4。

公司设备运行数据统计的流程为:

(1) 制造区域统计员每日的设备运转统计数据主要是班次、正常运转时间以及其他一些生产信息。

(2) 维修部门负责将一些有关的设备运转数据输入至设备运转报表中,其中会生成一些设备统计的数据,例如停机率、停机直方图、停机率趋势图、关键设备主要故障分析等。

(3) 将设备运转报表中的设备正常运转时间导入 TEM 中的 Calendar 模块中,建立设备正常运转时间历史档案。

(4) 设备故障发生时,操作工填写设备综合故障报修单,由 TEM 输单员在 TEM 中的 Work Order 模块里生成应急维修(emergency maintenance, EM)工单(见图 3.5),待维

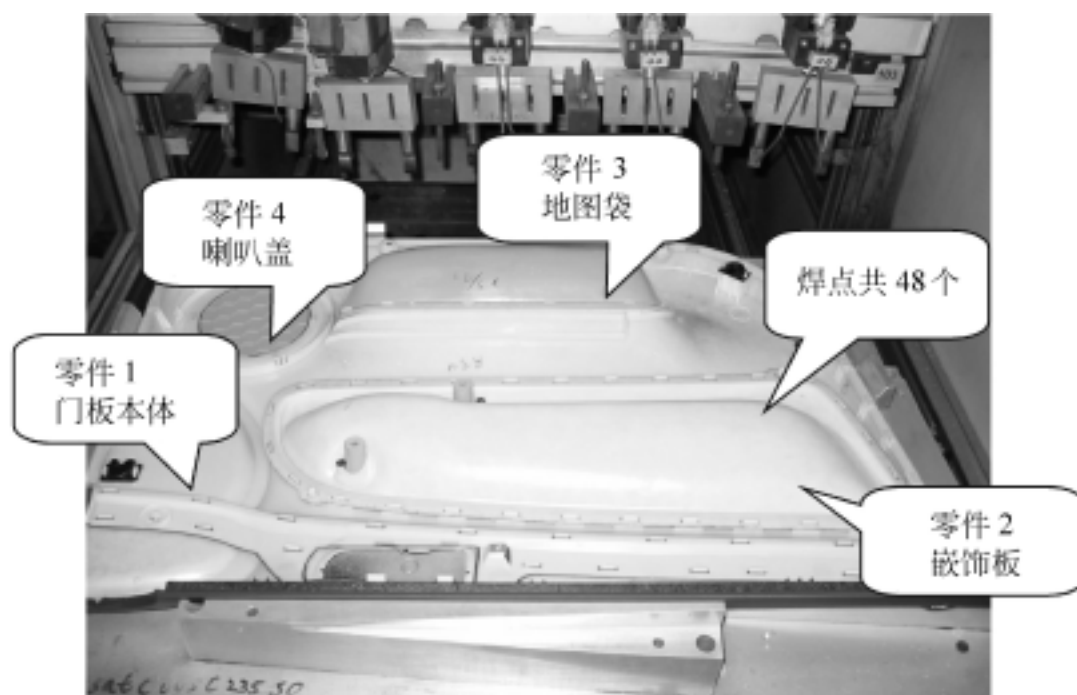


图 3.3 焊接形式和零件示意图

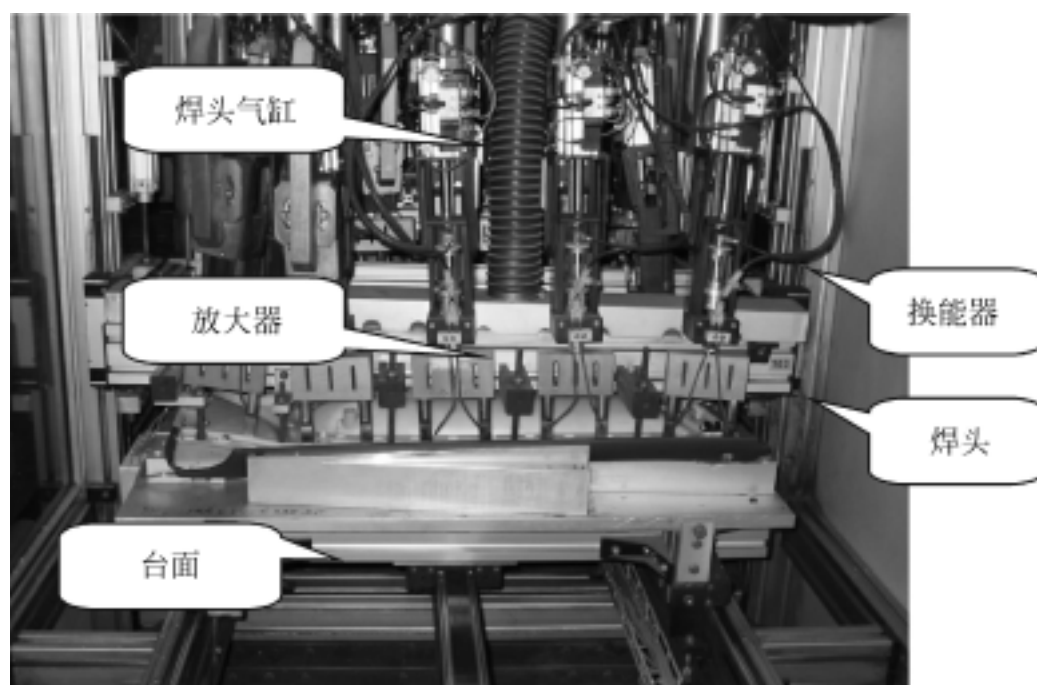


图 3.4 超声波焊机关键部件

修结束,输单员根据保险单信息向 TEM 汇报(work report),可以得到应急维修时间数据。

将设备运转日志建立在 MAXIMO 的 Calendar 模块上,无疑可以使设备运行的记录得到资源共享,方便数据调用。为了实现设备运行数据从设备运转表报导入 Calendar 模块,开发设计了 VBA 程序,见 Calendar 模块菜单(图 3.6)。在图 3.6 的菜单中双击某一天的时间,可以方便地得到设备的任何一天的无故障运转时间,其中包括详细的开机、关机时间和故障停机时间。这里的月度设备开机时间  $T$  为正常运转时间总计  $T_1$  与应急维

修时间  $T_2$  之和。

Work Order Tracking - Main

File Edit View Options Data Database Select Order Help

Save Insert Clear Print Mail Create Pattern Refresh Summary Menu Make Open Print Layout Print Layout Print Layout Print Layout

Work Order: 00000456 AP753-38185 故障机的修理前古得卡得卡 Lock/Up Priority: 3

Location: LOP45 设备产线 WO Priority: 3

Equipment: EP-753108 AP753-38185 故障机的修理前古

Reported By: MAWPLUS Date: 2002-01-11 16:33 Phone: Warranty Date:

Status: APPD Date: 2002-01-11 16:37 Equip Up? 7 Work Type: CM Work Category:

Job Details

Job Plan: Problem: Responsibility

PM Master: Failure Class: Person Resp.: 1738

Service Contract: Problem Code: Lead Cost:

Global S-D:

Route Details

Route No.: Scheduling Information

Route Step: Start: Completion:

Output: Target: 2002-01-11 9:00 2002-01-11 9:30

Actual: 2002-01-11 9:00 2002-01-11 9:30

Page Down for More Details

Estimated Duration: 0.50 Resourcing Duration: 0.50

Overtime Required? Intermittent? Crew:

Master Work Order

Master WO: Totals

# Sub WOs: Labor Hours: Estimated: Actual: 0.00 0.00

Labor Cost: \$0.00 \$0.00

Material Cost: \$0.00 \$0.00

Tool Cost: \$0.00 \$0.00

Service Cost: \$0.00 \$0.00

Total Cost: \$0.00 \$0.00

Modified

By: MAWPLUS

Date: 2002-01-11

1 次故障停机 修理时间 0.5h

BROWSE 1

Updates have been written to the database.

ABC

图 3.5 应急维修工单汇报

Calendar - Main

File Edit View Options Table Database Select Window Help

Start Date: 2001-12-01 End Date: 2001-12-31 January 2002

Sunday Monday Tuesday Wednesday Thursday Friday Saturday

1 2 3 4 5  
6 7 8 9 10 11 12  
13 14 15 16 17 18 19  
20 21 22 23 24 25 26  
27 28 29 30 31

统计月份  
查询

设备查询

实际运行时间,  
双击显示班次情况  
及开始、结束时刻

3.4 超声波焊机可靠性指标计算

3.4.1 前右焊机运行数据分析

统计表(见表 3.1)中将 EM 工单中反复出现的故障原因归纳为 5 种,而且这 5 种原因在具体的维修中比较容易确定,其他较离散的故障或综合性故障归于其他类。表中的“设备开机时间”和“无故障运行时间”是按前面提及的方法得到的。

表 3.1 前右超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 $T/h$	无故障 运转时 间/ $h$	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电器故障		弹簧断		其他		MTBF / $h$	$R/\%$
			频 次	停机 时间 / $min$	频 次	停机 时间 / $min$	频 次	停机 时间 / $min$	频 次	停机 时间 / $min$	频 次	停机 时间 / $min$	频 次	停机 时间 / $min$		
1	240.25	234.25	1	30	0	0	4	120	8	120	2	30	2	60	10.2	20.8
2	124.00	120.58	0	0	0	0	2	60	5	75	1	10	2	60	8.0	13.5
3	286.75	281.00	0	0	1	15	2	60	9	135	1	15	6	120	11.1	23.7

由式(3.2)可知,平均故障间隔时间为

$$MTBF = \frac{2T}{2r+2}$$

式中,  $T$  为设备开机时间。

表 3.2  $\chi^2_{1-\alpha}(2r+2)$ ,  $\chi^2_{\alpha}(2r+2)$ 表

自由度	参 数	
$2r+2$	$1-\alpha=90\%$	$\alpha=10\%$
2	0.211	4.61
4	1.064	7.78
6	2.20	10.64
8	3.49	13.36
10	4.87	15.99
12	6.30	18.55
14	7.79	21.06

续表

自由度	参 数	
$2r+2$	$1 - = 90\%$	$= 10\%$
16	9.31	23.54
18	10.86	25.99
20	12.44	28.41
22	14.04	30.81
24	15.66	33.2
26	17.29	35.56
28	18.94	37.92
30	20.60	40.26
36	25.64	47.21
40	29.05	51.81
46	34.22	58.64
48	35.95	60.91
50	37.69	63.17
60	46.46	74.40
80	64.28	96.58
100	82.36	118.5

1 月份平均故障间隔时间

$$MTBF_1 = \frac{2 \times 240.25}{\frac{2}{0.1} (2 \times 17 + 2)}$$

查表 3.2 得

$$MTBF_1 = \frac{2 \times 240.25}{47.21} = 10.2(\text{h})$$

即有 10% 的可能性  $MTBF_1$  将低于 10.2h。

平均故障修复时间

$$MTTR_1 = \frac{2 \text{ 维修时间}}{\frac{2}{0.9} (2 \times 17 + 2)} = \frac{2 \times (30 + 120 + 120 + 30 + 60)}{25.64} = 28(\text{min})$$

即有 10% 的可能性  $MTTR_1$  将超过 28min。

由于区域生产为两班制, 即需连续工作 16h, 故考察 16h 可靠性指标:



$$R(16) = e^{-t/\text{MTBF}_1} = e^{-16/10.2} = 20.8\%$$

即连续 16h 工作无故障的概率为 20.8%。

同理可得,2 月份平均故障间隔时间  $\text{MTBF}_2$ 、平均故障修复时间  $\text{MTTR}_2$ 、可靠性指标  $R_2(16)$  分别为

$$\text{MTBF}_2 = \frac{2 \times 124.00}{\frac{2}{0.1} (2 \times 10 + 2)} = \frac{2 \times 124.00}{30.81} = 8(\text{h})$$

$$\text{MTTR}_2 = \frac{2 \times (60 + 75 + 10 + 60)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 10 + 2)} = 29(\text{min})$$

$$R_2(16) = e^{-t/\text{MTBF}_2} = e^{-16/8} = 13.5\%$$

3 月份平均故障间隔时间  $\text{MTBF}_3$ 、平均故障修复时间  $\text{MTTR}_3$ 、可靠性指标  $R_3(16)$  分别为

$$\text{MTBF}_3 = \frac{2 \times 286.75}{\frac{2}{0.1} (2 \times 19 + 2)} = \frac{2 \times 286.75}{51.81} = 11.1(\text{h})$$

$$\text{MTTR}_3 = \frac{2 \times (15 + 60 + 135 + 15 + 120)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 19 + 2)} = 23.8(\text{min})$$

$$R_3(16) = e^{-t/\text{MTBF}_3} = e^{-16/11} = 23.7\%$$

趋势图及故障分布见图 3.7。

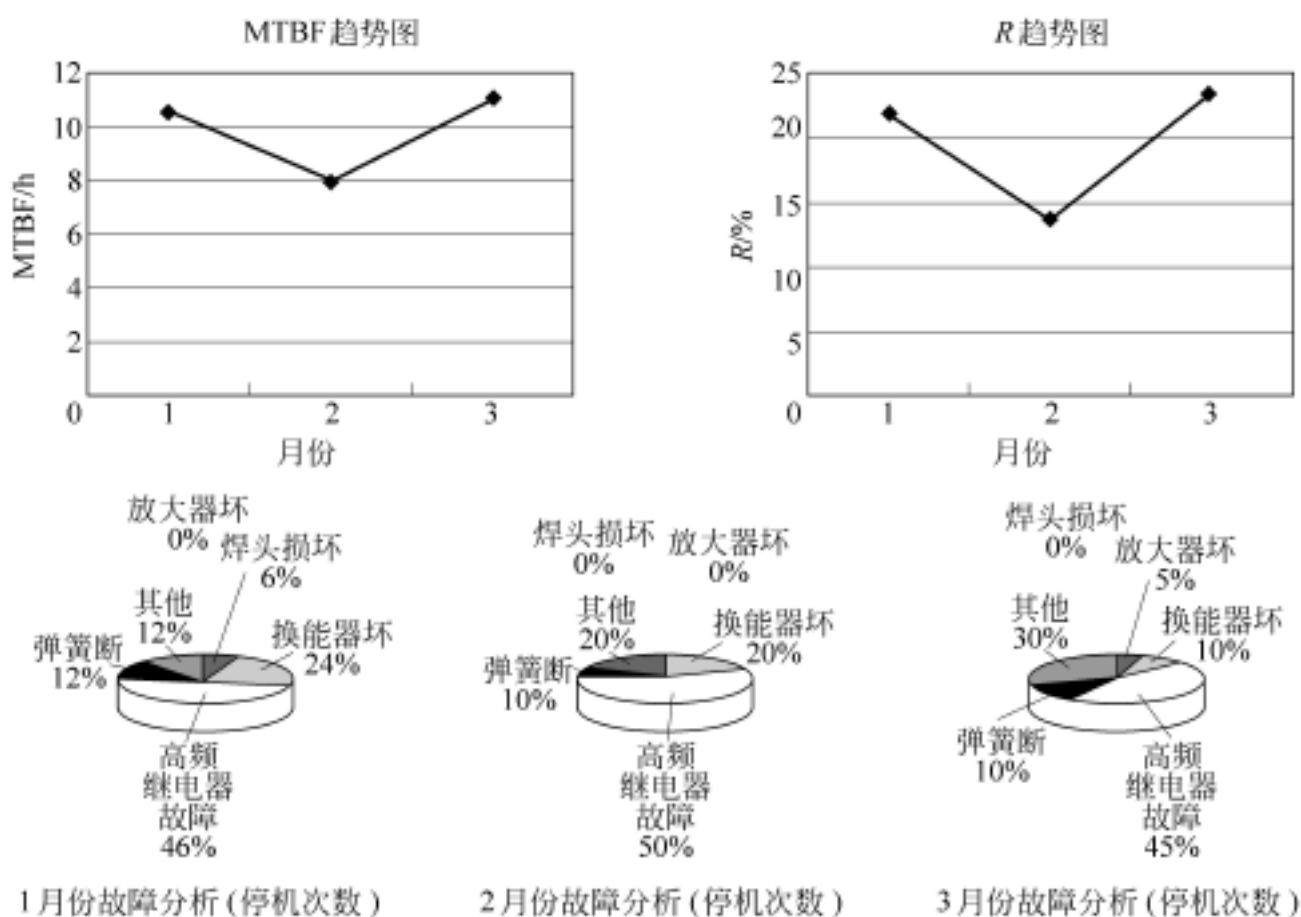


图 3.7 前右焊机趋势图及故障分布

1~3 月份各项指标的平均值分别为

$$MTBF = 9.8(\text{h}), MTTR = 27(\text{min}), R(16) = 19.3\%$$

### 3.4.2 前左焊机运行数据分析

表 3.3 前左超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 T/h	无故障 运转时 间/h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
1	240.25	231.83	0	0	0	0	5	100	10	200	1	25	6	180	8.2	14
2	124.00	119.10	1	30	0	0	2	60	4	80	2	34	3	90	7.0	10
3	286.75	279.87	0	0	1	13	3	60	8	160	2	30	5	150	11.0	23.4

1~3 月份各项指标分别为

$$MTBF_1 = \frac{2 \times 240.25}{\frac{2}{0.1}(2 \times 22 + 2)} = \frac{2 \times 240.25}{58.64} = 8.2(\text{h})$$

$$MTTR_1 = \frac{2 \times (100 + 200 + 25 + 180)}{\frac{2}{0.9}(2 \times 22 + 2)} = 30(\text{min})$$

$$R_1(16) = e^{-\frac{16}{MTBF_1}} = e^{-16/8.2} = 14\%$$

$$MTBF_2 = \frac{2 \times 124.00}{\frac{2}{0.1}(2 \times 12 + 2)} = \frac{2 \times 124.00}{35.56} = 7.0(\text{h})$$

$$MTTR_2 = \frac{2 \times (30 + 60 + 80 + 34 + 90)}{\frac{2}{0.9}(2 \times 12 + 2)} = 34(\text{min})$$

$$R_2(16) = e^{-\frac{16}{MTBF_2}} = e^{-16/7.0} = 10\%$$

$$MTBF_3 = \frac{2 \times 286.75}{\frac{2}{0.1}(2 \times 19 + 2)} = \frac{2 \times 286.75}{51.81} = 11.0(\text{h})$$

$$MTTR_3 = \frac{2 \times (13 + 60 + 160 + 30 + 150)}{\frac{2}{0.9}(2 \times 19 + 2)} = 28.4(\text{min})$$

$$R_3(16) = e^{-\frac{16}{MTBF_3}} = e^{-16/11.0} = 23.4\%$$

趋势图及故障分布见图 3.8。

1~3 月份各项指标的平均值分别为

$$MTBF = 8.8(\text{h}), MTTR = 31(\text{min}), R(16) = 16.1\%$$

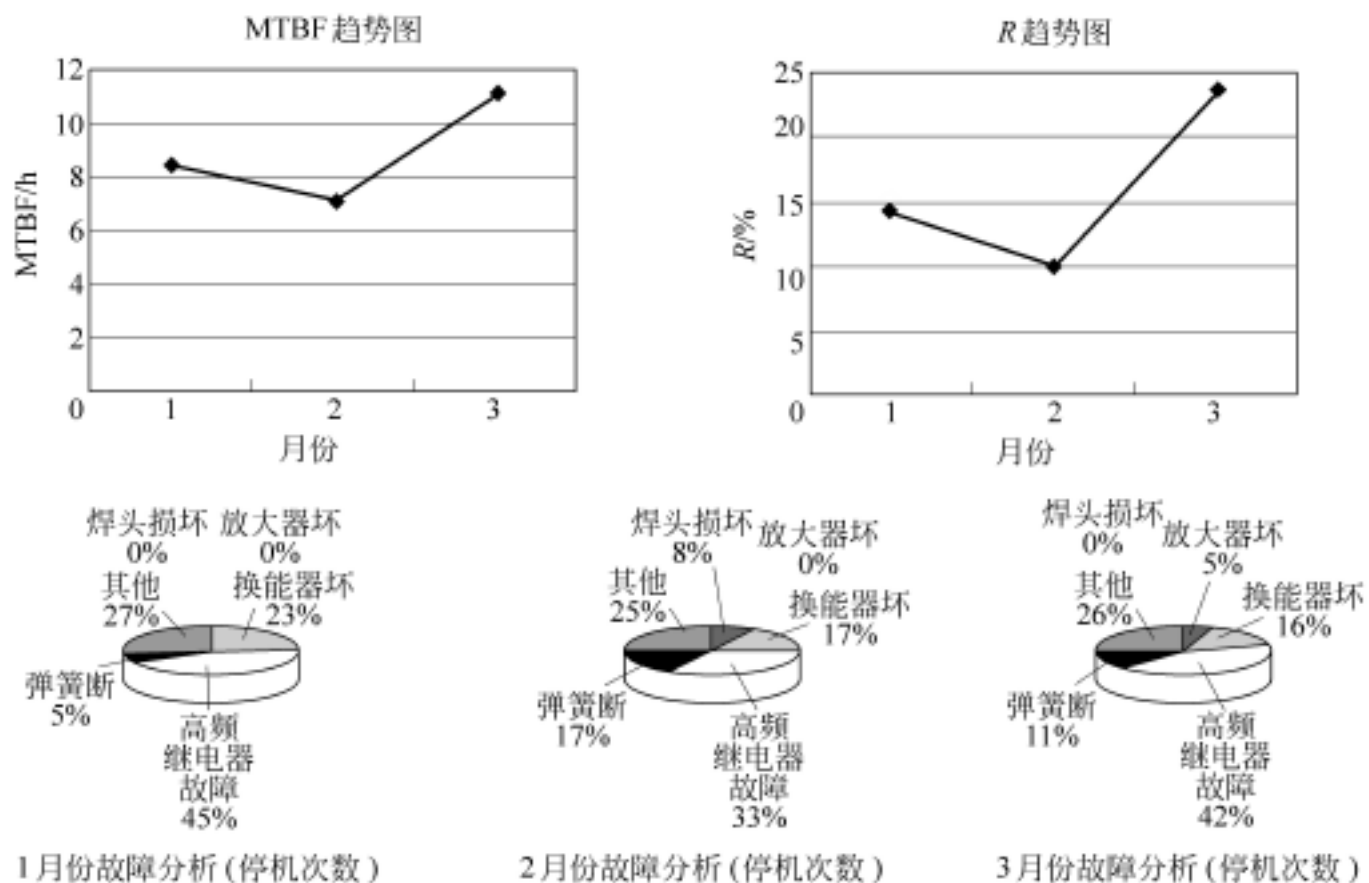


图 3.8 前左焊机趋势图及故障分布

3.4.3 后左焊机运行数据分析

表 3.4 后左超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 T/h	无故障 运转时 间/h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停 机 时 间 / min	频 次	停 机 时 间 / min	频 次	停 机 时 间 / min	频 次	停 机 时 间 / min	频 次	停 机 时 间 / min	频 次	停 机 时 间 / min		
1	240.25	233.58	0	0	0	0	4	80	10	230	2	30	3	60	9.3	18
2	124.00	118.25	0	0	1	30	2	60	6	240	0	0	1	15	8.0	13.5
3	286.75	277.75	0	0	0	0	3	90	12	360	1	15	7	75	9.4	18.2

1 ~ 3 月份各项指标分别为

$$MTBF_1 = \frac{2 \times 240.25}{\frac{2}{0.1} (2 \times 19 + 2)} = \frac{2 \times 240.25}{51.81} = 9.3(h)$$

$$MTTR_1 = \frac{2 \times (80 + 230 + 30 + 60)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 19 + 2)} = 28(min)$$

$$R_1(16) = e^{-t/MTBF_1} = e^{-16/9.3} = 18\%$$

$$MTBF_2 = \frac{2 \times 124.00}{\frac{2}{0.1}(2 \times 10 + 2)} = \frac{2 \times 124.00}{30.81} = 8.0(h)$$

$$MTTR_2 = \frac{2 \times (30 + 60 + 240 + 15)}{\frac{2}{0.9}(2 \times 10 + 2)} = 49(min)$$

$$R_2(16) = e^{-t/MTBF_2} = e^{-16/8.0} = 13.5\%$$

$$MTBF_3 = \frac{2 \times 286.75}{\frac{2}{0.1}(2 \times 23 + 2)} = \frac{2 \times 286.75}{60.91} = 9.4(h)$$

$$MTTR_3 = \frac{2 \times (13 + 60 + 160 + 30 + 150)}{\frac{2}{0.9}(2 \times 23 + 2)} = 23(min)$$

$$R_3(16) = e^{-t/MTBF_3} = e^{-16/9.4} = 18.2\%$$

趋势图及故障分布见图 3.9。

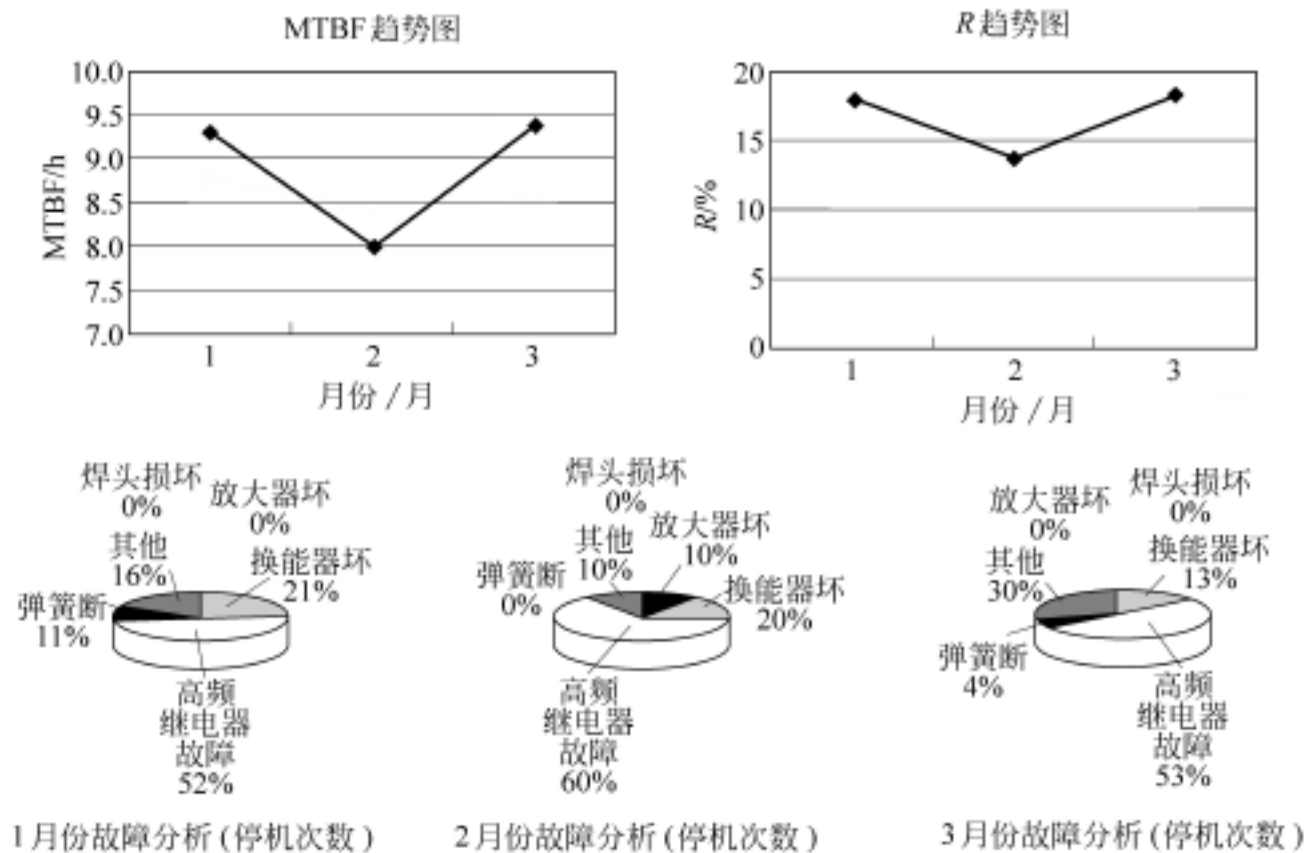


图 3.9 后左焊机趋势图及故障分布

1~3 月份各项指标的平均值分别为

$$MTBF = 8.9(h), MTTR = 33.3(min), R(16) = 16.6\%$$

## 3.4.4 后右焊机运行数据分析

表 3.5 后右超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 T/h	无故障 运转时 间/h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
1	240.25	231.33	0	0	0	0	4	120	11	275	2	40	5	100	8.2	14.2
2	124.00	118.75	0	0	0	0	2	50	6	180	2	45	1	40	7.5	12
3	286.75	278.67	2	40	1	20	2	50	12	300	1	15	3	60	9.4	18.2

1~3 月份各项指标分别为

$$MTBF_1 = \frac{2 \times 240.25}{\frac{2}{0.1} (2 \times 22 + 2)} = \frac{2 \times 240.25}{58.64} = 8.2(\text{h})$$

$$MTTR_1 = \frac{2 \times (120 + 275 + 40 + 100)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 22 + 2)} = 31(\text{min})$$

$$R_1(16) = e^{-t/MTBF_1} = e^{-16/8.2} = 14.2\%$$

$$MTBF_2 = \frac{2 \times 124.00}{\frac{2}{0.1} (2 \times 11 + 2)} = \frac{2 \times 124.00}{33.2} = 7.5(\text{h})$$

$$MTTR_2 = \frac{2 \times (50 + 180 + 45 + 40)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 11 + 2)} = 40(\text{min})$$

$$R_2(16) = e^{-t/MTBF_2} = e^{-16/7.5} = 12\%$$

$$MTBF_3 = \frac{2 \times 286.75}{\frac{2}{0.1} (2 \times 23 + 2)} = \frac{2 \times 286.75}{60.91} = 9.4(\text{h})$$

$$MTTR_3 = \frac{2 \times (40 + 20 + 50 + 300 + 15 + 60)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 23 + 2)} = 27(\text{min})$$

$$R_3(16) = e^{-t/MTBF_3} = e^{-16/9.4} = 18.2\%$$

趋势图及故障分布见图 3.10。

1~3 月份各项指标的平均值分别为

$$MTBF = 8.4(\text{h}), MTTR = 33(\text{min}), R(16) = 14.8\%$$

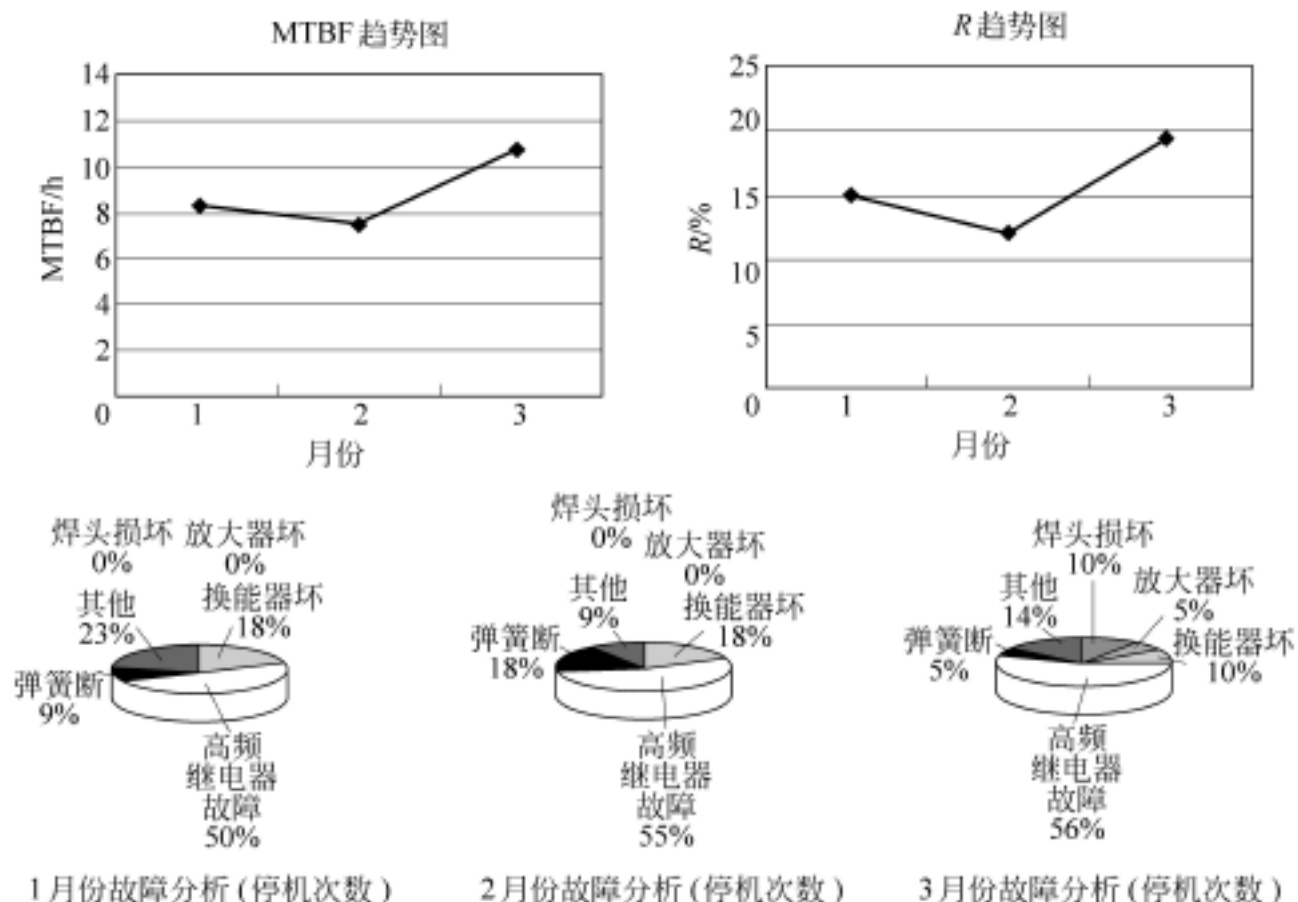


图 3.10 后右焊机趋势图及故障分布

### 3.5 可靠性可维护性指标计算分析

#### 3.5.1 可靠性可维护性指标比较

通过对 4 台超声波焊机 1~3 月份的运行数据分析计算,可以绘出图 3.11~图 3.13。

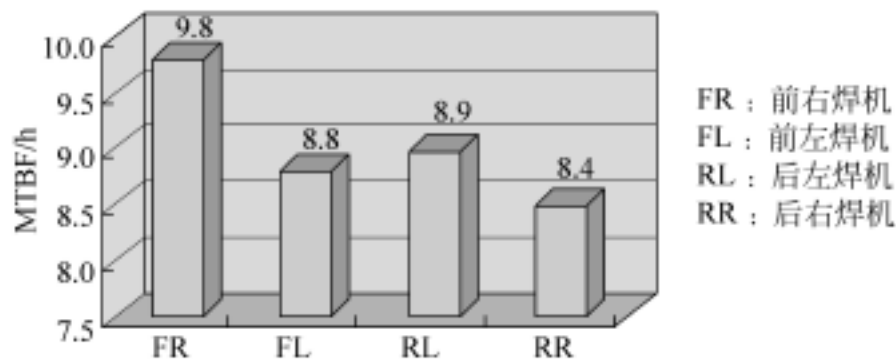


图 3.11 平均故障间隔时间 MTBF

1~3 月份 4 台超声波焊机中,可靠性指标(可信度取 90%)最高的是前右焊机:

(1) 平均故障间隔时间为  $MTBF = 9.8h$ ,即存在 10% 的可能性故障间隔时间低于 9.8h;

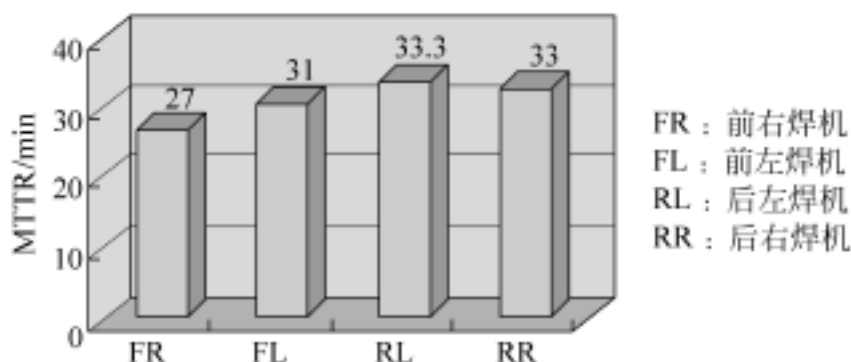


图 3.12 平均故障修复时间 MTTR

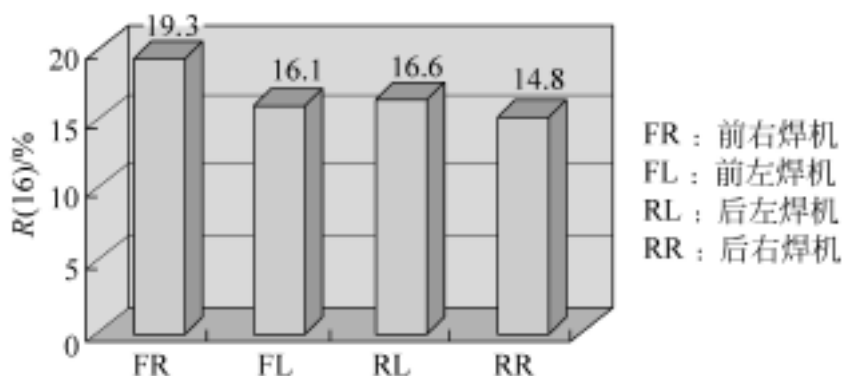


图 3.13 16 小时无故障概率

(2) 可靠性指标  $R(16) = 19.3\%$ ，即连续 16h 运行无故障的概率为 19.3%；

(3) 平均故障修复时间  $MTTR = 27\text{min}$ ，即存在 10% 的可能性其故障修复时间超过 27min。

可靠性指标(可信度 90%)最低的是后右焊机：

(1) 平均故障间隔时间为  $MTBF = 8.4\text{h}$ ，即存在 10% 的可能性故障间隔时间低于 8.4h。

(2) 可靠性指标  $R(16) = 14.8\%$ ，连续 16h 运行无故障的概率为 14.8%。

(3) 平均故障修复时间  $MTTR = 33\text{min}$ ，即存在 10% 的可能性其故障修复时间超过 33min。

### 3.5.2 系统的可靠性与可维护性

由于此 4 台超声波焊机分别焊接一辆车内前后左右 4 块门板，其相互之间具有相对独立性，但是其中任何一台设备故障时间过长都直接影响总装流水线装配，所以该 4 台设备组成的系统属于非串联非并联系统，其整个系统的可靠性应以 4 台之中最差的计算，即此系统的可靠性指标为

$$R(t) = 14.8\%, MTBF = 8.4(\text{h}), MTTR = 33\text{min}$$

超声波焊接工序可靠性指标如图 3.14。

从以上计算可以清楚地看到，这 4 台超声波焊机在 8h ~ 9h 的运行后有 90% 的可能

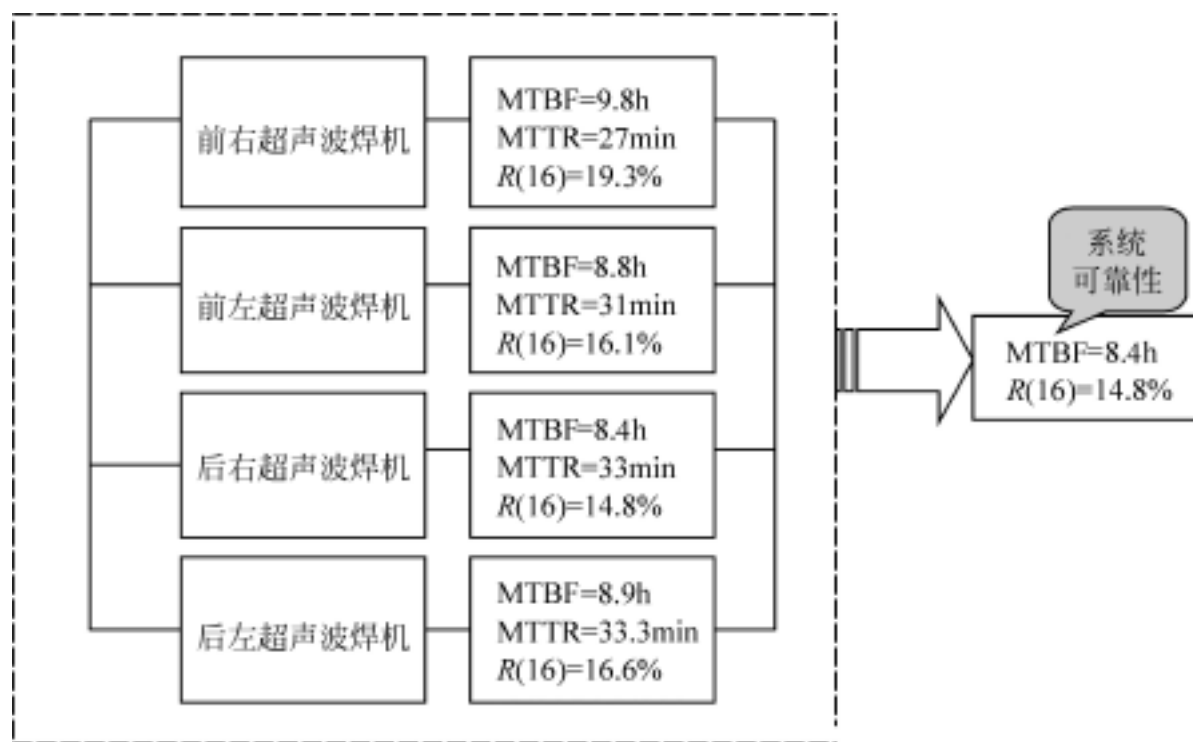


图 3.14 工序系统可靠性

性要出现故障,且故障修复时间在 30min 左右,与我们每天连续二班生产(16h)是有不少差距的。目前之所以生产还能够进行,一是靠设置一定的库存,二是靠利用第 3 班或周日多生产一班来弥补。毋庸置疑,无论是多设置库存还是加班,实际上都是一种浪费。

### 3.5.3 4 台焊机的故障分布

为了更清晰地解析出 1~3 月份 4 台超声波焊机的故障停机时间的分布情况,下面用柏拉图(Pareto)分析方法对各类故障发生的停机时间进行总结,如表 3.6 所示,对应的柏拉图如图 3.15 所示。

表 3.6 故障停机时间汇总

序号	故障项目	停机时间/ min	故障百分比/ %	
			本故障	累计
1	焊头故障	100	2.11	
2	放大器故障	78	1.64	3.75
3	换能器故障	910	19.19	22.94
4	高频继电器故障	2355	49.66	72.61
5	弹簧断裂	289	6.09	78.70
6	其他	1010	21.30	100.00
7	合计	4742	100.00	

由图 3.15 可以清楚地看到,故障停机时间所占比例最多的是高频继电器的故障,要



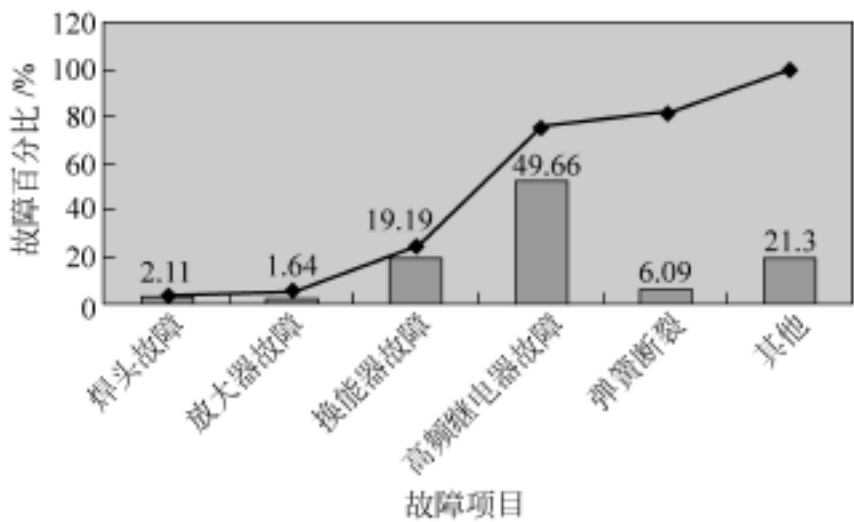


图 3.15 1~3 月份故障分布柏拉图

占到总故障停机时间的 49.66%，其次是其他类故障(21.3%)和换能器故障(19.19%)，以上分析不仅使我们对上述 4 台超声波焊机的可靠性可维护性状况有了定量认识，而且对它们存在的主要故障部位有了初步了解，这对以后的各项设备可靠性可维护性进一步分析打下了基础，尤其对设备的改进决策无疑是很有用的数据信息。

### 3.6 设备可靠性可维护性标准指标设定

#### 3.6.1 按设备综合利用率要求设定可靠性可维护性指标

生产设备的标准可靠性指标的设定,对审核使用中设备的预防性维修有效性和今后公司采购同类型设备的可靠性指标要求具有指导意义。

设备的综合利用率(overall equipment effectiveness, OEE)是指:在实际的生产制造中产品的附加价值往往是通过机器设备来实现的,理想的情况是设备用 100% 的时间、100% 的能力(节拍)、100% 的合格率生产产品,但事实上理想和现实之间是有差距的,操作工人每天将面对设备能力的损失,主要包括 6 大损失,如表 3.7 所示。

表 3.7 设备能力的 6 大损失

损失项目	损失种类
停机损失 (利用率损失)	设备故障 调整、换模时间
节拍损失 (性能损失)	小停顿 节拍比设计节拍慢
废品损失 (质量损失)	废品重做 开机质量不稳定

如图 3.16 为 OEE 分解示意图。我们关注设备综合利用率的目的在于通过不断的持续改进来达到理想的目标,即零故障停机、零不正常、零废品、零事故。这些目标要通过公司各级每一个人员(从操作工人到公司上层经理)不断地持续改进。

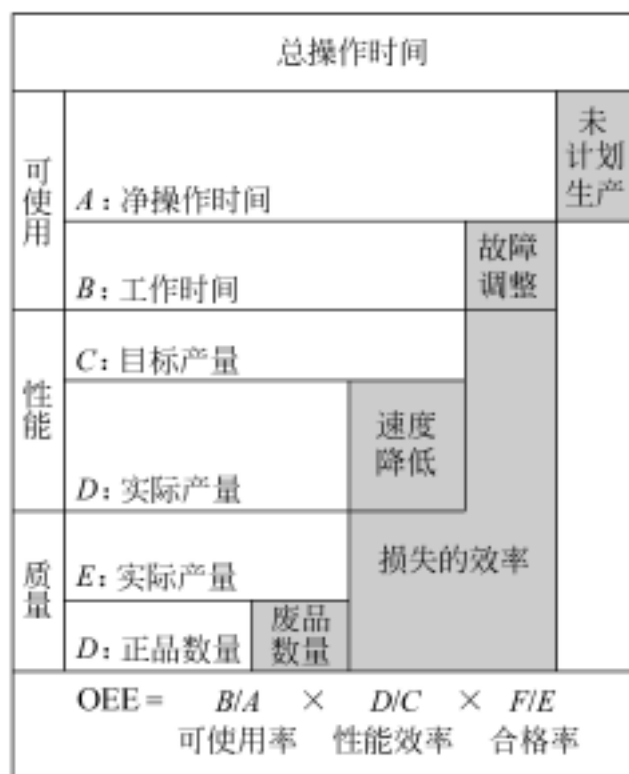


图 3.16 OEE 分解示意图

由图 3.16 可以看到:

$$\text{设备综合利用率} = \text{可使用率} \times \text{性能效率} \times \text{合格率}$$

公司设备最低利用率  $OEE = 85\%$ , 性能效率 =  $\frac{\text{实际节拍}}{\text{设计节拍}} = 95\%$ , 合格率取  $96\%$ , 则

$$\text{可使用率} = 85\% / 95\% / 96\% = 93\%$$

可使用率包含设备调整时间, 一般公司取  $5\%$  为调整时间(不换模调整, 若换模则调整时间按实际情况计, 其值还要高), 所以,

$$(1 - 5\%) \text{ 运行使用率} = 93\%$$

即

$$\text{运行使用率} = 93\% / 95\% = 97.8\%$$

又因为

$$\text{运行使用率} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

对于这 4 台超声波焊机来说, 平均  $\text{MTTR} = 0.5\text{h}$ , 即

$$\text{MTBF} / (\text{MTBF} + 0.5) = 97.8\%$$

$$\text{MTBF} = 23(\text{h})$$

一般计算平均故障间隔时间  $\text{MTTR}$  时, 由于在某一阶段内, 维修人员技能、维修工

具、备件供应、维修环境不会有大的变化,故该值变化不大,因此可靠性指标主要关注平均故障间隔时间 MTBF 的变化。

也就是说,如果超声波焊机的平均故障间隔时间达到 23h,就符合公司设备利用率的要求。由于在设备需要操作时的可利用的时间百分比计算中,MTBF 和 MTTR 的可信度均为 90%,所以,设备的运行可利用率  $A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$  的可信度为  $90\% \times 90\% = 81\%$ 。

至此,我们得到了超声波焊机的标准的 MTBF 值。我们可以对照设备运行的实际情况来判断这 4 台焊机是否运行在符合要求的可靠性指标范围内。如果有突破上述下限指标的趋势,或连续一个阶段低于这一值,就应该考虑采取措施对设备进行项修或大修,以纠正这一趋势。

### 3.6.2 按连续生产班次要求设定可靠性可维护性指标

就二班制生产来说,生产部门的生产计划和操作工的期望是设备能够连续运作,不出故障,所以前面章节计算的可靠性指标是设备 16h 连续生产的可靠性指标。我们知道,可靠度按指数分布时,考察时间越长,可靠度越低,这也就是为什么我们前面计算得出的结论是:当 MTBF 达到 22h 时,设备连续 16h 运行不出故障的概率为 50% 左右。但是,可靠度的提高是界定在一定范围的,在 50% 可靠度以上,每上升 1 个百分比,就要求 MTBF 有较大幅度的提高,这不但会给设备设计制造带来很高的成本,而且对维护的要求和维护的成本也有相当大的影响。类似于超声波焊机这类故障修复时间不长的设备,一般能达到 50% 就可以了,那么当  $R(t) = 50\%$  时,MTBF 约为 23h。所以,将这 4 台超声波焊机的平均故障间隔时间设定在 23h 比较合理。

# 4

## 超声波焊机的设备失效模式和故障分析

### 4.1 引言

虽然经过了几年预防性维修积累的数据(对系统来说,主要是原始维修数据的积累),但却没有对这些数据进行系统的分析和统计,重要设备的可靠性、可维护性无法指导设备的前期管理以及设备的维护工作。例如,缺乏设备的利用率,设备改进、大修时所需要的决策数据等。并且目前所做的预防性维修工作只是针对目前使用中的设备进行维护管理,对设备的前期管理无法进行控制。我们的每一类重要生产设备究竟存在多少种故障模式?哪些部件存在怎样的故障模式?对此不进行系统的分析,就无法参与前期设备管理工作。

例如,4台超声波焊机的可靠性、可维护性指标为:平均故障间隔时间  $MTBF = 9.8h$ ,即故障间隔时间低于  $9.8h$  的可能性为  $10\%$ ;可靠性指标  $R(16) = 19.6\%$ ,即连续  $16h$  运行无故障的概率为  $19.6\%$ 。与设定的标准值  $MTBF = 23h$ ,  $R(16) = 50\%$  有很大差距,所以有必要对这4台设备进行故障树分析和设备失效模式的研究,并最终找到大幅度提高其可靠性指标的具体方法。这里是通过设备结构功能展开、故障树分析、设备失效模式及后果分析、设备控制计划、设备改进计划及实施,来验证和完善该方法的有效性。

### 4.2 门板超声波焊机的结构功能展开

结构功能展开是将工艺对设备的需求转换成合适部件的功能块,然后再扩展到零件的功能块。从设备到部件再到零件的结构分层,实际上是设备技术特性实现的过程。从设备维护的角度讲,是将维修人员平时比较分散的零部件概念提升至对整台设备所要达

到的工艺目的的整体的理解,而且结构功能展开为以后的故障树分析、失效模式及后果分析提供细分的对象,不至于遗漏一些功能部件。门板超声波焊机的结构功能展开图如图 4.1 所示。

功能层	部件层	零件层
门板本体与嵌饰板装配	合适的胎具(本体表面真皮不被刮伤)	铝质胎具
	装配时所有机器动作停止,保证操作者安全	安全光栅
	专门的零件装配工位	第 1 工位
48 个焊点的焊接	同一工位各焊点焊头运动互不干涉	第 2,3,4 工位
	第 1,2,3,4 工位胎具运动装置	伺服电机驱动
	2,3,4 工位到位后,各焊头实施焊接	气缸推动焊接单元
	全自动,手动循环机连锁互锁	PLC
焊接强度 焊接深度 焊点位置 焊接外观	超声波焊接	发生器,放大器,换能器,钛合金焊头
	第 1,2,3,4 胎具位置精确定位	伺服电机,同步皮带传动机械气动定位装置,直线导轨
	焊头气缸定位,焊接单元定位	气缸,直线导轨,机械定位
	焊接工艺参数设定	PLC,触摸屏,减压阀
	工件定位	工件压紧装置
	保压冷却	冷却压缩空气回路

图 4.1 门板超声波焊机结构功能展开图

从图 4.1 不难看到,从功能层经过部件层直到零件层的分解实际上是解决了一个如何做的问题,也就是设备如何从满足功能需要出发,再如何由具体的零件来完成功能。例如,48 个焊点的焊接这一功能是如何完成的?其中的一项就是要通过 4 个工位的运动来完成,而这个运动最终是由伺服电机的驱动来实现。

从零件层经过部件层直到功能层的聚合实际上是回答了一个为什么的问题,也就是为什么存在这样一个特定的零件,它必定是完成某一特定功能的组成部分。例如,伺服电机的存在必定是为完成 48 个焊点的焊接所需的 4 个不同工位这一功能而存在的。

### 4.3 门板超声波焊机故障树分析

故障树分析(fault tree analysis, FTA)如图 4.2 所示。可以看到,超声波焊机的故障

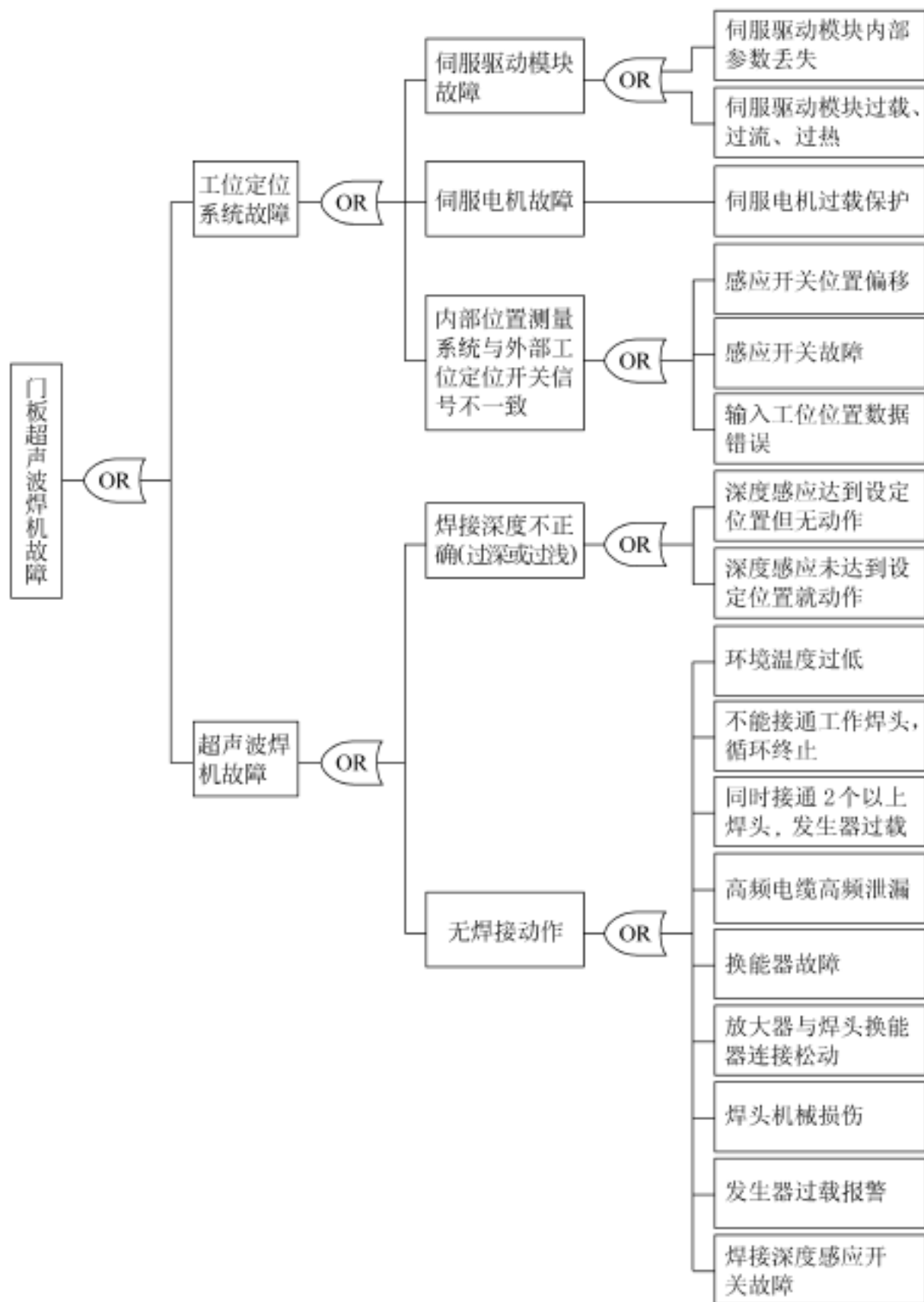


图 4.2 超声波焊机的故障树分析

最终可以分解成最底层的共 17 个主要的故障原因,它们中的任何一个故障都将引起整台设备的故障,因此从顶事件直到底事件都是“或门”逻辑关系。

从可维护性的角度出发,设备的 FTA 对提高设备的可维护性是很有帮助的,它可以帮助缩短维修人员判断故障点的时间。因为操作工的报修总是以焊机故障报修的,他们并不了解故障出自哪一部分,而维修人员首先从操作面板上读取信息,明确故障是出自工位定位系统还是焊机系统,如果出自工位定位系统,就应该从伺服驱动模块、伺服电机、外部开关信号方面找原因,这三个方面故障的根源无非是具体故障点前六种中的一种,这样,故障范围一下缩小了一半,时间也就缩短了一半, $MTTR$  就会随着减小。因此在实际操作中 FTA 是比较受维修工程师和维修工欢迎的一项有用的工具,能够达到立竿见影的效果。

## 4.4 设备失效模式及后果分析

### 4.4.1 设备失效模式及后果分析的作用

设备失效模式及后果分析(equipment failure mode effective analysis, EFMEA)是一种系统工具,主要用于:

- (1) 查找设备设计和使用过程中潜在的或已经存在的故障模式;
- (2) 评估每个潜在故障模式的总体风险,即确定风险评估指数 RPN;
- (3) 对风险大的潜在故障模式作进一步的调查并采取预防措施。

上述三项作用中最关键的是第 3 项,一切分析、评估都是为了对潜在失效可能性最大的若干项目进行有效的预防,防止失败。EFMEA 的作用关键在于此。

门板超声波焊机的失效模式分析,一方面通过 EFMEA 寻找设备维护改造的策略,另一方面,从长远来看,还是希望通过把 EFMEA 提交给设备供应商,使之作用于供应商的设计开发工作,在新设备的设计阶段来提高可靠性。EFMEA 代表了设备所有失效模式及其第 1 层次的原因,而故障树是分析具体失效的根本原因,包括各种根本原因之间的相互关系。EFMEA 和 FTA 之间的相互关系如图 4.3 所示。

一般来说,当遇到下列情况之一时就可以建立 EFMEA:

- (1) 新的设备或系统开始设计;
- (2) 现有设备或工艺进行改进;
- (3) 闲置设备或工艺重新运用;
- (4) 故障诊断模型研究,预防故障重复发生。

EFMEA 建立的组织形式为:EFMEA 一定是以小组活动的形式开展的,主管维修工

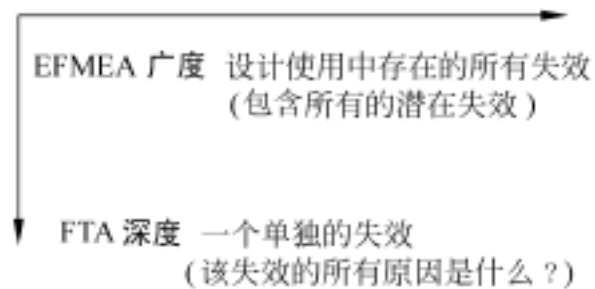


图 4.3 EFMEA 与 FTA 的关系

工程师为 EFMEA 小组的牵头人。小组的组成人员有:机械维修工程师、电气维修工程师、工艺工程师(主要是把握设备需达到的工艺能力)、机械电气维修工、设备操作工(主要从操作角度对失效模式进行补充)。小组成员应有的技能是他们必须熟悉相应的设备、工艺、操作以及评估风险所涉及的各种因素。

#### 4.4.2 EFMEA 的编制与讨论步骤

EFMEA 的编制与讨论一般分三个步骤进行:

##### 1. 查找设备设计中潜在的故障模式

查找设计中潜在的故障模式首先要进行结构功能展开、故障树分析、设备维修记录以及设备预防性维护工单查询。结构功能展开是将工艺需求转换成设备部件,然后再扩展到设备的零件功能块。从功能块到部件、零件是 EFMEA 展开的主线,也是设备故障树分析的基础。

##### 2. 评估每个潜在故障模式的总体风险

根据结构功能展开和故障树分析进行 EFMEA 小组活动,EFMEA 中严重度、频度、不易探测度的分级评估按表 4.1 进行,三者的乘积即为风险评价指数 RPN。EFMEA 的编制讨论必须覆盖所有的功能块和故障树的底事件,对应于每一个功能块,分别讨论其失效的模式(故障模式)、失效后果(故障导致的结果)、失效原因和现行预防性维护中的控制,然后评估出现行预防控制的风险评价指数 RPN。

##### 3. 对风险大的潜在失效模式作进一步调查并采取预防措施

对于 RPN 相对较高的失效模式必须考虑要采取的措施以及措施产生的结果,并重新评估采取控制和措施后的风险评价指数 RPN,这样也就在预防维护过程中对失效风险进行了控制。编制讨论结果见表 4.2。这里需要指出的是:对风险评价指数高的项次在 EFMEA 中都已讨论推荐了预防措施,一些比较复杂的方案需列入设备控制计划和设备改进方案中。



表 4.1 严重度、频度、不易探测度分级

严 重 度		
影 响	等级	标 准
稍有影响	4	失效无需修理,但操作者能感觉到
重要影响	7	性能受严重影响,客户不满
危险影响	10	有关安全的突然失效
频 度		
影 响	等级	标 准
几乎不可能	1	不可能失效
少	4	失效可能性较低,失效概率 $< 1/2000$
中高	7	失效可能性稍高,失效概率 $> 1/20$
几乎肯定	10	几乎肯定失效,失效概率 $> 1/3$
不易探测度		
影 响	等级	标 准
肯定能探测到	1	很直观
低	4	较低的不可探测度
高	7	较高的不可探测度
几乎不能探测到	10	几乎不可能探测到

#### 4.4.3 风险评估指标等级分类

从表 4.2 的失效模式及后果分析可以清楚地看到,风险指数最高的依次是:

- (1) 能量转换失效;
- (2) 同一发生器在同一时刻同时接通 2 个以上焊头;
- (3) 未到焊接深度时深度感应开关就动作;
- (4) 联接螺栓松动。

表 4.2 潜在的失效模式及后果分析

项目名称: 超声波焊机过程失效分析

设备责任部门: 维修股

EFMEA 编号:

编制:

EFMEA 日期(编制):

页码: 第 页 共 页

参加人:

部件 功能 要求	潜在的 失效 模式	潜在的 失效 后果	严 重 度 数	潜在的 失效 原因/ 机理	频 度 数	现行 过程 控制	不可 探 测 度 数	风险 顺 序 数 RPN	建议的 措施	责任 及 目 标 完 成 日期	措施结果			
											采取的 措施	严 重 度 数	频 度 数	不可 探 测 度 数 RPN
焊头控制系统: 控制焊头按一定角度进行焊接, 焊接到一定深度后停止焊接工作	接近开关到达焊接深度后没有动作	焊接过深, 有可能将工件焊穿造成报废	8	接近开关损坏(常开)	2	无法预防, 发现有工件焊接过深时进行检查	2	32	采用其他类型的接近开关		提高接近开关的有效性	8	2	16
	接近开关在未达到焊接深度时便动作	焊接过浅甚至漏焊	7	高频回路存在泄漏, 干扰接近开关	3	无法预防, 发现有工件漏焊时进行检查	8	168	采用其他类型的接近开关, 提高抗干扰性		降低高频泄漏的影响	7	1	14
	弹簧断裂	焊头侧偏, 在工件上留下压痕	5	弹簧硬度太高, 韧性不足	5	维修人员定期巡检, 操作工在生产中发现问题后通知机修工更换	1	25	采用国产韧性较好的弹簧(在每次更换弹簧时)		采用国产韧性较好的弹簧(在每次更换弹簧时)	5	1	5
	焊头位置偏	焊接点不理想, 发出较高噪声。同时对换能器和放大器造成损伤	8	焊头位置不对(有工件模具的原因也有控制系统本身在外力作用下发生移位的原因)	3	发现焊接时有高超声现象则检查并调整焊头位置	1	24	手动模式下检查焊头与焊点的相对位置		保持焊点位置的准确性	8	1	8

续表

部件 功能 要求	潜在的 失效 模式	潜在的 失效 后果	严 重 度 数	潜在的 失效 原因/ 机理	频 度 数	现行 过程 控制	不可 探测 度 数	风险 顺序 数 RPN	建议的 措施	责任 及 目标 完成 日期	措施结果				
											采取的 措施	严 重 度 数	频 度 数	不可 探测 度 数	风险 顺序 数 RPN
功率分配 系统：将 超声波发 生器产生 的高频电 流依次送 到不同的 焊头（每 次一个焊 头）	将连在 同一发 生器下 的两个 焊头同 时接通	发生器过 载报警，工 作循环中 止	8	高频继电 器本身容 量不足，工 作时因拉 弧而粘连	8	无法预防， 发生后轻 轻敲击使 其释放。焊 住不能释 放的予以 更换	3	192	并接一 路继电器， 提高负载 能力，修 改PLC控 制程序，使 继电器在不 带载的情况 下吸放，减 少拉弧		并接一 路继电器， 提高负载 能力，修 改PLC控 制程序使继 电器在不带 载的情况下 吸放，减少 拉弧	4	1	2	8
	不能接 通工作 的焊头	发生器报 警，工作循 环中止	4	接触器触 点损坏，造 成接触不良	6	无法预防， 发生后更 换接触器	2	48	并接一 路继电器， 提高负载 能力，修 改PLC控 制程序，使 继电器在不 带载的情况 下吸放，减 少拉弧		并接一 路继电器， 提高负载 能力，修 改PLC控 制程序使继 电器在不带 载的情况下 吸放，减少 拉弧	4	1	1	4

续表

部件功能要求	潜在的失效模式	潜在的失效后果	严重度数	潜在的失效原因/机理	频度数	现行过程控制	不可探测度数	风险顺序数 RPN	建议的措施	责任及目标完成日期	措施结果				
											采取的措施	严重度数	频度数	不可探测度数	风险顺序数 RPN
焊接系统：将通过功率分配系统得到的高频电流送到换能器变成机械振动，再经放大器改变振幅后送到焊头进行焊接工作	焊头损坏	发生器过载报警，工作循环中止；对换能器也有损伤	6	机械擦伤	4	发现焊接时有高噪声、高功率现象则检查，如损坏则更换	3	72	禁止使用金属工具直接接触焊头表面		在使用工具调整焊头时，焊头表面裹一层软布以作防护	8	1	1	8
	放大器松动	发生器过载报警，工作循环中止；对换能器也有损伤	6	自身原因	4	发现焊接时有高噪声、高功率现象则检查，如损坏则更换	4	96	定期检查放大器		放大器与换能器、焊头保持紧固状态	7	1	2	14
	联接螺栓损坏	发生器过载报警，工作循环中止；对换能器也有损伤	6	因长期处于振动状态，先后松动，随后损坏；焊头位置也会损坏	4	发现焊接时有高噪声、高功率现象则检查，如损坏则更换	5	120	用螺纹胶粘结，减少松动的可能		用螺纹胶粘结，减少松动的可能	6	1	5	30
	能量转换失效，换能器损坏	发生器过载报警，工作循环中止；干扰深度感应接近开关，造成漏焊	7	设计选型存在问题	8	发现焊接时有高功率现象则检查，如损坏则更换	4	224	选择更合适的换能器		换能器和放大器、焊头必须相匹配	7	1	2	14
	高频电缆损坏	轻微损坏造成高频干扰；严重时造成高频电阻断，造成发生器报警，工作循环中止	6	由于设计原因，其长期受挠动，在挠动处损坏	2	发现有多处不同的漏焊情况则进行检查	8	96	定期检查电缆接头处是否松动		电缆接头保持牢固，避免电缆过度扭曲	5	1	4	20

续表

部件功能要求	潜在的失效模式	潜在的失效后果	严重度数	潜在的失效原因/机理	频度数	现行过程控制	不可探测度数	风险顺序数 RPN	建议的措施	责任及目标完成日期	措施结果				
											采取的措施	严重度数	频度数	不可探测度数	风险顺序数 RPN
伺服定位系统：根据位置数据将滑台送达各工位	内部位置测量系统与外部工位接近开关信号不一致	报警,工作循环中止	2	更换接近开关时位置偏移	1	更换接近开关时在支架上划线做标记	3	6	采用同一型号的接近开关		采用同一型号的接近开关	6	1	2	12
			2	更换测量系统零位接近开关时位置偏移造成测量系统基准发生变化	1	更换接近开关时在支架上划线做标记	3	6	采用同一型号的接近开关		采用同一型号的接近开关	6	1	2	12
	伺服电机损坏	整个系统瘫痪,无法进行生产	9	维护保养不力	1	定期做保养	2	18	在运行时注意检查电机运行状况		做好维护保养	10	1	1	10
	伺服驱动器损坏	整个系统瘫痪,无法进行生产	9	电气老化	1	定期除尘,避免因散热不良加速老化	2	18	增加散热风扇		提高散热效果及除尘	2	1	2	4
工件检测系统：检测工件和夹子是否存在	滑台与导轨间摩擦阻力增大	伺服驱动板报警,工作循环停止	4	导轨润滑不良	1	定期润滑	1	4	定期检查,保持导轨润滑		定期检查,保持导轨润滑	7	1	1	7
	无法检测到的夹子存在	报警,工作循环中止	4	反射式传感器感应距离变大	1	调整	3	12	定期检查		定期检查	6	2	1	12
	无法检测到的夹子存在	工件因缺夹子而报废	9	反射式传感器感应距离变小	1	调整	3	27	定期检查		定期检查	6	2	1	12

## 4.5 超声波焊机设备控制计划

结合设备故障树的分析,我们可以把相应的失效模式以及失效后果对应到故障树上,找到可能的故障部件,然后把这些部件作为重点控制对象,针对这些具体的部件采取一定的控制手段,这些手段可以是管理措施(例如如何通过巡检来加以控制),也可以是通过具体的 TEM 预防性维护工单来加以控制,还包括一些应急维修的措施。从控制计划中可以发现,它是将前面的 FTA 和 EFMEA 引向采取行动措施的纽带,接下去如何采取行动便有了方向,如换能器问题及高频继电器问题(见表 4.3)。

将下列控制计划加以分类可以列为两种控制手段,每种控制手段分别控制若干项控制点:

用 TEM 预防性维修作为控制手段的控制点有:放大器紧固螺栓、高频电缆、焊头、伺服驱动器、伺服电机;

用维修工巡检、操作工日常保养润滑作为控制手段的控制点有:换能器、焊头气缸复位弹簧、滑台导轨。

其他控制点虽然暂时无比较合理的控制手段,但都给出了失控时的应急措施,作为控制计划的补充。

表 4.3 设备控制计划

设备名称:超声波焊机

设备所在区域:门板区域

编制:

小组成员:

编制日期:

本控制计划以 EFMEA 风险顺序数排列

版本

控制点 (部件)	失效后果	风险 顺序	控制手段	频次	责任 人	文件 要求	失控时应急措施
换能器	发生器过载报警,工作循环中止,干扰深度感应开关,造成漏焊	224	巡检时观察发生器功率,若过高则检查	无		无	损坏时更换
高频继电器	同一发生器下两个焊头同时接通,发生器过载报警	192	无	无		无	发生时敲击继电器外壳使其其中一路释放,不能释放则更换继电器
	不能接通工作的焊头,发生器报警	48	无	无		无	继电器不能闭合则更换继电器
焊接深度感应开关	焊接深度过浅或漏焊	168	无	无		无	深度过浅或漏焊时操作工用手动焊枪补焊

续表

控制点 (部件)	失效后果	风险 顺序	控制手段	频次	责任 人	文件 要求	失控时应急措施
放大器联接螺栓	发生器过载报警,工作循环中止,损伤换能器	120	定期检查放大器螺栓紧固程度,发现松动用螺纹胶粘结	6 月		TEM 工单	生产过程中出现故障则更换放大器
高频电缆	高频泄漏干扰深度感应开关,高频电流不能通过发生器报警,循环中止	96	定期检查高频电缆插头连接处是否破损	6 月		TEM 工单	生产过程中多个焊点漏焊则考虑检查高频电缆,发现破损,予以更换
焊头	发生器报警,工作循环中止,损伤换能器	72	定期检查焊头有无和其他部件接触	3 月		TEM 工单	某点不焊,有机械损伤则更换
焊接深度感应开关	感应开关故障,常开时造成焊接深度过深,焊穿工件	32	无	无		无	焊点过深时检查感应开关
工件监测反射式传感器	检测不到工件,存在工作循环	27	无	无		无	监测不到时调整检测距离
焊头气缸复位弹簧	弹簧断裂,焊头推出时受力不平衡造成焊偏	25	巡检内容加入			巡检表	焊偏时检查弹簧并更换
焊头位置	焊头位置偏造成发生器输出功率偏高	24	无	无		无	位置偏移检查胎具定位
伺服驱动器	胎具运动瘫痪,整个设备无法运行	18	定期除尘,避免散热不良	3 月		TEM 工单	损坏则更换
伺服电机	胎具运动瘫痪,整个设备无法运行	18	定期维护	6 月		TEM 工单	损坏则更换
工位定位感应开关	胎具定位内部测量系统不一致,循环中止	6	更换感应开关时划线做记号	无		无	感应开关无故障则更改内部参数
滑台导轨	阻力过大,伺服驱动器报警,循环中止	4	定期导轨润滑	1 周		润滑图表	除尘润滑

# 5

## 功效系数法在设备预防性 维修审核中的应用

### 5.1 引言

自从 1925 年美国提出预防性维修的概念以来,很多国家中的很多公司都以此作为设备管理部门的设备管理基础和维修体系基础。预防性维修基本上是以检查为主,其出发点是改变原有的事后维修做法,防患于未然,减少故障和事故,减少停机损失,提供生产效益。随着汽车行业、电子芯片行业的迅速发展,设备负荷不断加重,设备故障不断增加,因而预防性维修的重要性日益显现出来。

然而,企业在实施了预防性维修后发现,有些设备故障停机率并不稳定,相应的设备综合利用率没有显著提高;由于没有进行有针对性的预防性维修,使得维修成本增加,维修时间延长。它们的产生正是由于缺少了预防性维修的绩效审核过程。预防性维修审核(PM Audit)是设备管理持续改进的方法之一,它的重要性在于:通过对预防性维修体系流程和具体执行内容的审核,以审核指标的形式加以分析研究,使得预防性维修的准确性、有效性和及时性处于受控状态,最终达到设备可靠性、可维护性的提高以及维修成本的降低。

本章运用功效系数法,来解决如何进行有效的预防性维修审核过程;同时通过实例介绍,让读者了解审核工作是为了不断提高预防性维修的准确性、有效性和执行过程控制的力度,以达到长期持续改进的目的。

### 5.2 预防性维修审核

在设备维修管理系统中,大多数预防性维修的执行都是通过维修工单来进行的,该工单中包括了预防性维修操作的对象、地点、执行内容、执行时间、在 ERP 软件(QAD)中所



需的备件代码等相关信息。其中所有相关工单内容的准确性是十分重要的,这将直接影响预防性维修的绩效。但由于受到设备使用经验、编写人员的技术能力以及实际维修工人认识的多重影响,维修系统中相关内容可能存在如下问题:

- (1) 工单执行内容是否可操作?有无遗漏和多余的项目?
- (2) 维修操作的时间是否经济?
- (3) 设备的目前状态是否发生变化?
- (4) 设备更换备件或易损件是否有必要?更换前有没有做检查?
- (5) 通过实施的维修工单,设备的平均故障间隔时间(mean time between failure, MTBF)、平均故障修复时间(mean time to repair, MTTR)有没有发生相应变化?
- (6) 设备利用率在工单实施后有无相应幅度的提高或者趋向于稳定?

以上这些问题一直困扰着维修部门的实际运营,真正能够解决这些问题的出路在于他们是否认识到了对预防性维修绩效进行有效审核评估的必要性和重要性。预防性维修审核以实现设备管理持续改进为出发点,通过对于预防性维修体系流程和具体执行内容的审核,以审核指标的形式加以分析研究,使得预防性维修的准确性、有效性和及时性处于受控状态,最终达到设备可靠性和可维护性的提高和维修成本的降低。

### 5.2.1 审核指标体系

为了能使预防性维修审核和结果评估达到良好效果,必须在以下几方面做好相应工作:不断优化设备综合效率(OEE);不断降低设备故障停机率,并将其控制在一个合理的水平;不断合理配置预防性维修成本,提高维修人员的综合技能;将全员设备维护管理保持在一个持续改进的过程中。

同时预防性维修的结果是否有效,不能单纯地取其中一个指标作为审核依据,而是要综合考虑。例如设备综合效率 OEE,我们将它作为审核指标之一,主要是因为它是由时间开动率、性能开动率和合格品率共同反映的结果。通过分析计算,可以明确造成损失的来源,采取具体对策,修改预防性维修工单内容以提高设备效率。目前国际上对设备预防性维修的评估指标越来越丰富,除了前述的之外,还有 RAMS (reliability, 可靠性; availability, 利用率; maintenance, 维修性; safety, 安全性) 指标、KPA (key performance analysis, 关键功效分析) 指标、MOR (management of reliability, 可靠性管理) 指标等。在实际操作中可以根据需要选用这些指标。图 5.1 是可以选取的审核评价指标体系之一。

### 5.2.2 预防性维修的流程审核和内容审核

预防性维修体系的流程审核,主要是指整个操作体系的评估构架方面的内容,如图 5.2 所示。

从图 5.2 可以看出,整个流程的审核是一个闭环结构,它覆盖了两层涵义。首先需将

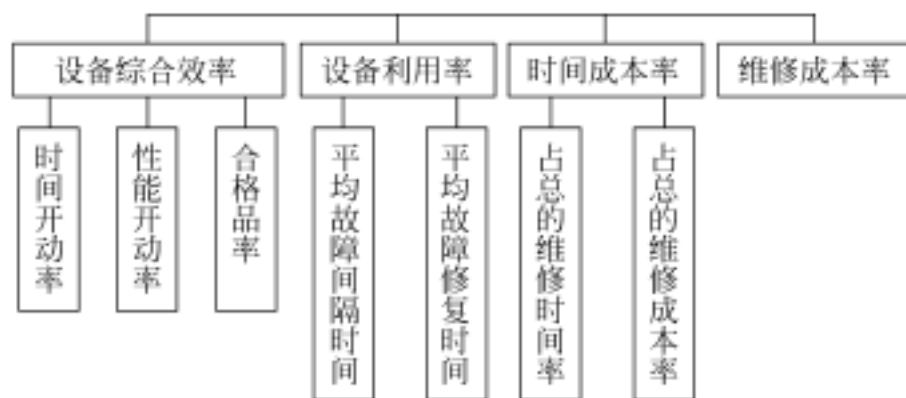


图 5.1 审核评价指标体系

维修部门的目标和审核指标关联起来,把年初制定的目标通过相应的策略转化为每一个具体的审核指标内容,再对审核指标内容进行跟踪,并不断地与部门目标要求进行比较和持续改进,及时地对相应指标内容进行调整;其次,审核不能够局限于内容,更应该在部门目标具体要求的指导下,通过维修管理的实际效果来对具体指标进行度量及优化,最终确定所需要的指标量,从而更好地推进实际的维修工作。

预防性维修具体执行内容的审核,主要是关于具体的预防性维修工作的准确、有效和可执行性。在企业中,它具体反映为企业维修管理系统中的预防性维修工单的内容,其整个审核流程如图 5.3 所示。

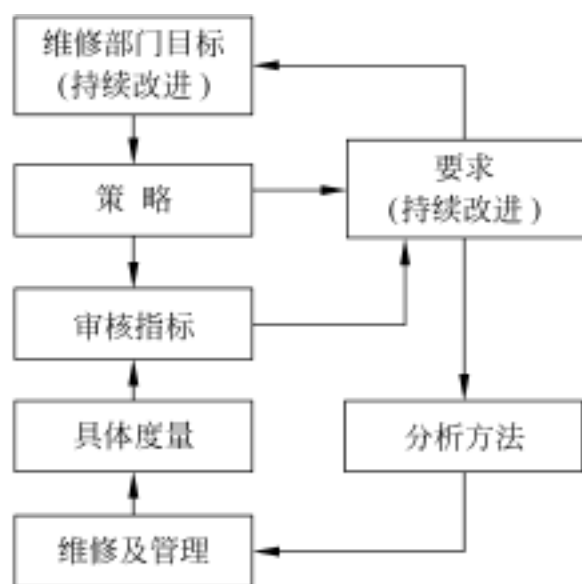


图 5.2 预防性维修流程审核框架

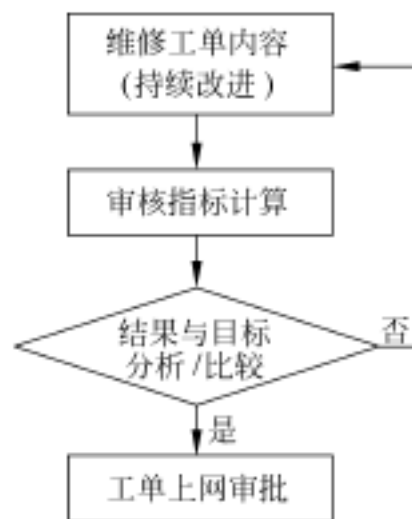


图 5.3 预防性维修工单内容审核流程

### 5.3 基于功效系数法的预防性维修审核技术

#### 5.3.1 功效系数法的原理

功效系数法是根据多目标规划原理,对每一个评估指标分别确定满意值和不允许值,然后以不允许值为下限,计算各指标实现满意值的程度,并转化为相应的评估分数,最后加权计算综合指数。具体的数学模型如下:

设用  $m$  项指标来评定目标对象的效果,则第  $i$  项指标无量纲处理后的得分为

$$d_i = 40 [X_i - X_i(s)] / [X_i(h) - X_i(s)] + 60 \quad (5.1)$$

式中:  $d_i$  为第  $i$  项指标的分数;  $X_i$  为第  $i$  项指标的实际测定值;  $X_i(s)$  为第  $i$  项指标的不允许值;  $X_i(h)$  为第  $i$  项指标的最满意值。

显然,当  $X_i(s) < X_i < X_i(h)$  时,  $60 < d_i < 100$

设  $p_1, p_2, \dots, p_m$  为各指标的权重数,则得到加权的综合分数为

$$d = \sum_i p_i d_i \quad (5.2)$$

#### 5.3.2 基于功效系数法的预防性维修审核技术

本章采用经改进的功效系数法对预防性维修的绩效进行审核,对所选定的每个评价指标规定两个数值:一个是满意值,一个是不允许值。然后设计并计算各类指标的单项功效系数,再根据各评价指标的重要性,及其在实际生产维修过程中的经验值来确定各指标的权重数,用加权算术平均或加权几何平均得到的平均数,即为该设备在进行了预防性维修后的综合功效系数。根据综合功效系数的大小即可进行预防性维修绩效预报和评定。

根据上述审核评价指标体系的要求,同时参考实际操作中企业和具体设备的实际情况进行的相关假设,汇总为表 5.1。

表 5.1 功效系数法计算系数表

	分项指标 $X_i$	不允许值 $X_i(s)$	最满意值 $X_i(h)$	权重数	说 明
设备综合效率 OEE	$X_1$	0.5	0.6	0.28	由于受到较多因素影响,因此 OEE 的权重不应太大
设备利用率 A	$X_2$	78%	85%	0.47	作为维修部门审核主要指标
时间成本率 T	$X_3$	82%	60%	0.12	在实际中应调整最满意值,并取得平衡
维修费用率 F	$X_4$	$9.25\% \times q$	$7.5\% \times q$	0.13	在实际中应调整最满意值,并取得平衡

由功效系数法可得以下计算公式:

$$d_1 = 40(X_1 - 0.5) / (0.6 - 0.5) + 60 \quad (5.3)$$

$$d_2 = 40(X_2 - 78\%) / (85\% - 78\%) + 60 \quad (5.4)$$

$$d_3 = 40(X_3 - 82\%) / (60\% - 82\%) + 60 \quad (5.5)$$

$$d_4 = 40(X_4 - 9.25\% \times q) / (7.5\% \times q - 9.25\% \times q) + 60 \quad (5.6)$$

式中,  $q$  指考虑维修成本与生产时间成正比的因素而进行计算所需的补偿系数。

则加权的综合分数为

$$d = d_1 \times 0.28 + d_2 \times 0.47 + d_3 \times 0.12 + d_4 \times 0.13 \quad (5.7)$$

## 5.4 企业预防性维修审核的实践案例

### 5.4.1 预防性维修审核的目标对象

在保险杠涂装生产线中,整个输送链系统是所有设备中最关键的设备,它的故障停机将直接影响整个生产线的设备综合效率。同时,该输送链系统由于采用了雪橇式的输送方式,对于每一段的雪橇,它们的预防性维修内容是与不同的功能要求相关联的,而且整个线连在一起,又是相当复杂的。因此,维修部门做了大量的预防性维修计划,并严格地加以执行。但是每个月的故障停机仍然无法有效控制,这就把如何评价这些维修的效果提到议事日程中。首先根据功效系数法的原理选取相应的指标,以1个月作为单位,进行数据收集、计算,并以此作为预防性维修计划更改的依据。在第2个月结束后,把执行更改后的维修效果重新计算,并加以比较得出新的努力方向。以此类推,在每个月末进行维修绩效的考核。

### 5.4.2 预防性维修审核的数据来源说明

以上介绍的各项指标的分析计算所需的数据来源于两个方面:维修部门的日常管理统计和企业设备维护管理系统。鉴于涂装生产线设备的复杂性和重要性,维修部门对于每天的故障统计和故障分析做了大量的基础准备。

该系统以 Maximo 软件为载体,设置了设备管理、工单管理、预防性维修管理、资源管理、作业计划管理、安全管理、采购系统管理、库存管理等模块。其中工单管理模块是预防性维修审核的核心,通过对工单执行内容的持续改进,最终取得预防性维修审核的关键作用。同时,工单中的相关数据也能够作为预防性维修审核指标的计算依据。

### 5.4.3 输送链系统预防性维修审核指标计算

#### 1. 运用功效系数法进行审核的月份设备管理统计(表 5.2)

表 5.2 涂装线月份设备管理统计表

日 期	第 1 个月	第 2 个月	第 3 个月
OEE	0.525	0.535	0.5515
设备利用率/ %	81.89	81.28	81.63
预防性维修时间成本率/ % (扣除非计划生产)	68.4	80.7	73.6
预防性维修成本所占率/ % (考虑生产时间因素)	9.09	7.27	8.46
时间因数 $q$	1.1269	0.8094	1.0636

## 2. 功效系数法综合指标计算(表 5.3)

表 5.3 涂装线月份加权综合指标计算

指标分数	第 1 个月	第 2 个月	第 3 个月
$d_1$	70	74	80.6
$d_2$	85.93	81.87	84.2
$d_3$	83.2	84.73	83.27
$d_4$	87.05	75.32	89.62
综合指标 $d$	81.29	79.16	83.79

### 5.4.4 分析说明

由于在第 1 个月中的故障停机处于较高的水平,因此维修部门的审核小组成员对于第 1 个月的设备故障和预防性维修工单的执行情况进行了讨论。其中发现“10.3 段链条故障,电机过载跳断,消警复位”和“9.1 段链条故障,停止器‘STOP9.1’关闭失败,导致小车无间距,小车复位,链条消警复位”这两条故障占了很大比例,因此我们调用了相关的预防性维修工单,发现对这些相关内容已经有了维修工单,而且维修人员也根据实际内容进行了维护操作,但是问题仍然存在。进一步分析发现,在维修工单中只关心油漆对电机和气缸执行的停止器 STOP 的影响,而忽略了链条磨损加重电机负载和气缸本身的密封寿命。于是我们着手解决问题。通过组织相关工程师对维修工单进行重新编写整理,增加了链条的磨损检查、更换以及气缸密封检查等相关操作流程和备件清单,并以此作为契机,加以推广运用到其他相关的维修工作中,使所有工段的相关故障有了很大程度的下降。

经过 1 个月的努力,我们重新统计了综合指标,但发现审核后第 2 个月的得分却从 81.29 下降到 79.16。在排除其他因素的影响后,实际预防性维修审核的效果并不明显。

分析原因后发现,PM的时间和费用有了大幅度的提高。

审核后的第3个月,小组成员的积极性进一步提高,针对PM的时间和费用等突出问题,在备件选型、成本和维修操作上进一步进行改进。同时也在设备利用率方面统筹兼顾,综合考虑绩效。例如,在相关的维修工单上,一是增加备件的更换识别标准,通过减少数量来降低成本;二是加强维修人员的相关培训。这样,在将整个维修时间控制在一定范围的同时,维修费用得分从75.32上升到89.62。经过大家的努力,审核后第3个月的整体审核指标有了相应回升,取得了一定的进步。

## 5.5 小 结

本章从设备预防性维修审核的概念、体系和流程等内容出发,阐述如何应用功效系数法进行整个预防性维修的审核。以涂装输送链系统为研究对象,进行相关定性分析和定量计算,最终使得整个预防性维修审核成为一个持续改进的过程。

通过以上案例分析,可以看出基于功效系数法的预防性维修审核技术在工厂实际运作中有应用价值,它为预防性维修提供了一个明确的努力方向,同时在分析问题和解决问题中有了一个好的参考指标。通过审核的数据化能够进一步推动预防性维修的持续改进,并对维修的管理起到十分有力的控制作用。

预防性维修审核是一个持续改进的过程,是维修管理中不可缺少的环节。功效系数法中选用的审核指标可以根据企业的实际情况进行调整,不同的设备系统应设计相应的审核体系内容,审核的倾向性应反映设备管理的侧重点,审核应该尽量做到系统、综合,单一、片面的考核往往会误导企业。

# 6

## 超声波焊机的设备预防性 维修审核

### 6.1 预防性维修审核的目的和意义

#### 6.1.1 预防性维修审核的概念

预防性维修审核(PM Audit)是设备持续改进的方法之一,它通过对预防性维修的准确性、有效性和执行情况的审核,来实现长期预防性维修的持续改进,最终达到设备可靠性、可维护性的提高,降低维修成本。预防性维修审核包括两个方面:

- (1) 预防性维修体系运作审核:主要是关于人员对于预防性维修操作的流程;
- (2) 预防性维修执行内容的审核:主要是关于具体预防性维修工作的有效性。

这里主要涉及第二个方面,即预防性维修内容的审核。

#### 6.1.2 预防性维修审核的意义

一台设备的预防性维修计划,有的是设备供应商在设备说明书上提供的,也有的(主要是一些比较老的设备和部分国产设备)是在启动全员设备维修(TEM)系统前由设备维修部门工程师集中编写的,放入 TEM 的 Job Plan 模块中。这些预防性维修计划可能下面四大问题:

- (1) 预防性维修工单的内容是否与设备实际运行中存在的问题相联系?
- (2) 工单的内容是否有遗漏的或多余的?
- (3) 工单描述的操作步骤是否正确?可操作性如何?
- (4) 工单执行的周期是否合理?

通过预防性维修计划的审核,可以使上述四大问题得到改善:

(1) 工单内容更贴切于设备运行的实际故障情况,不同阶段的设备故障情况有所差异,而审核可以体现这种差异。

(2) 根据故障情况,将多余的工单或工单中的内容(实际使用中很少出现故障)去除,经常出现故障而维护力度不够的应添加工单。

(3) 邀请维修人员参与评估,使工单步骤和描述更正确。

(4) 根据工单反馈情况评估出合理的周期,使周期贴近故障真实情况。

由于公司没有建立完善的设备可靠性、可维护性指标,没有建立用来指导和监测设备维护有效性的准则,因此要求对现有的预防性维修(preventive maintenance, PM)进行审核。然而目前的 PM 有效性没有进行系统的分析和评估,致使过度维修,人力浪费,维护费用居高不下,预防性维修的质量不高。随着设备固定资产的不断增加,在维修资源和人员素质没有根本提高的情况下,必须进行预防性维修审核。本章根据 4 台超声波焊机的设备失效模式及后果分析与设备控制计划,对设备的预防性维护工单进行审核,并比较审核前后设备运行的可靠性、可维护性指标和维护成本。

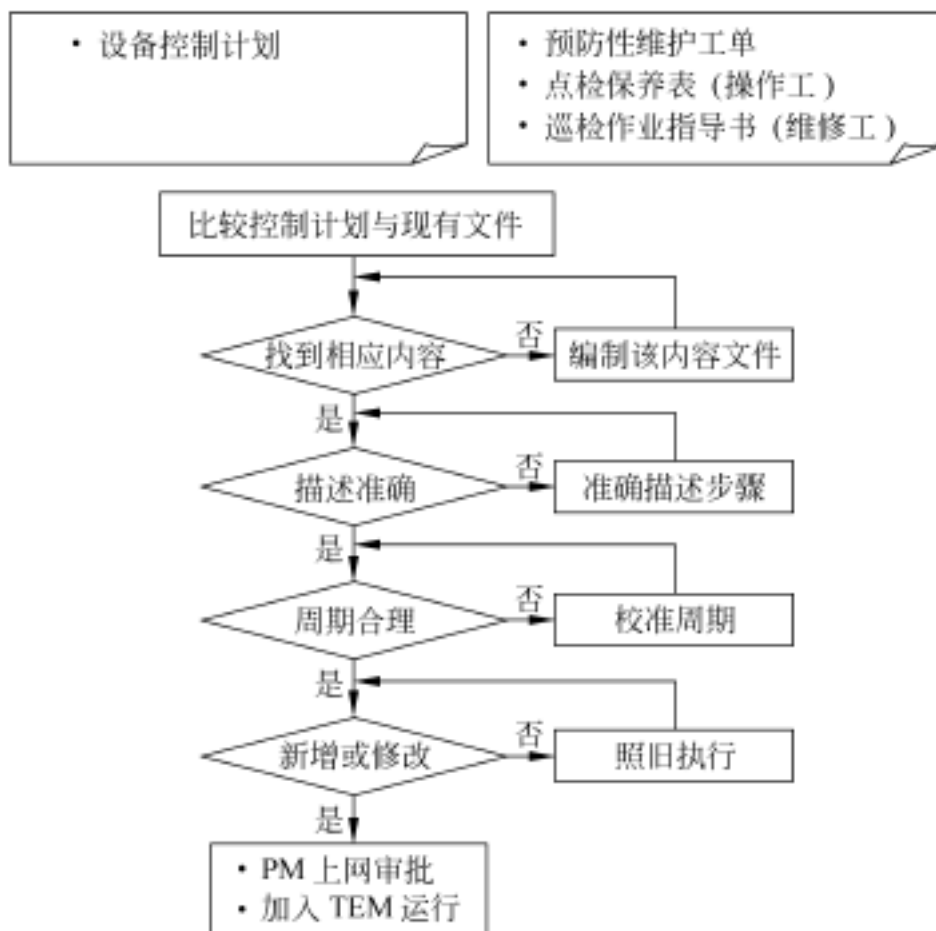


图 6.1 预防性维修审核操作流程

预防性维修审核对提高设备可靠性、可维护性的贡献在于通过正确的预防性维修来减少故障停机,对维护费用降低的贡献主要在于:如果是通过审核减少了设备的计划预防性维护的工时,无疑维修人员的工时节省下来了,而如果审核后计划预防性维修工时增



加,表面看来成本上升了,但是通过可靠性、可维护性的提高,不但降低了应急维修成本,而且降低了故障停机给车间和客户带来的损失。

### 6.1.3 预防性维修审核的操作流程

预防性维修审核操作流程按图 6.1 进行。

## 6.2 超声波焊机的 PM Audit 实例

我们对 4 台焊机的预防性维修计划重新做了审核。这些焊机从 1999 年引进并投入使用以来,一直按表 6.1 所示(年度总计工时为 20h)的预防性维修计划来执行日常的预防性维修,其中每周及以下的维护保养不列入其中。

用 TEM 预防性维修作为控制手段的控制点有:放大器紧固螺栓、高频电缆、焊头、伺服驱动器、伺服电机。

比较原有的预防性维修计划,增加下面三项工单(Job Plan):

放大器紧固螺栓检查      周期      180 天      见图 6.2;

高频电缆一侧拆开检查      周期      180 天      见图 6.3;

伺服电机工作电流检测      周期      180 天      见图 6.4。

表 6.1 超声波焊机预防性维护工时统计

PM 编号	设备编号	工单	PM 描述	周期 / 天	单次需要工时	年度维护次数	年度需要工时 / h
AP0361	753-039	APM5116	AP(753-39) B5 门板超声波焊机冷却气路畅通检查	60	40min	6	4
AP0365	753-039	APM5118	AP(753-39) B5 门板超声波焊机发生器及控制柜除尘	180	2h	2	4
AP0367	753-039	APM5117	AP(753-39) B5 门板超声波焊机焊枪气缸检查	30	1h	12	12

更改内容、周期的 Job Plan:

冷却气路畅通检查      加入焊头检查内容      见图 6.5;

发生器及控制柜除尘      加入伺服驱动器除尘内容      见图 6.6;

焊枪气缸检查      更改气缸密封更换内容      见图 6.7。

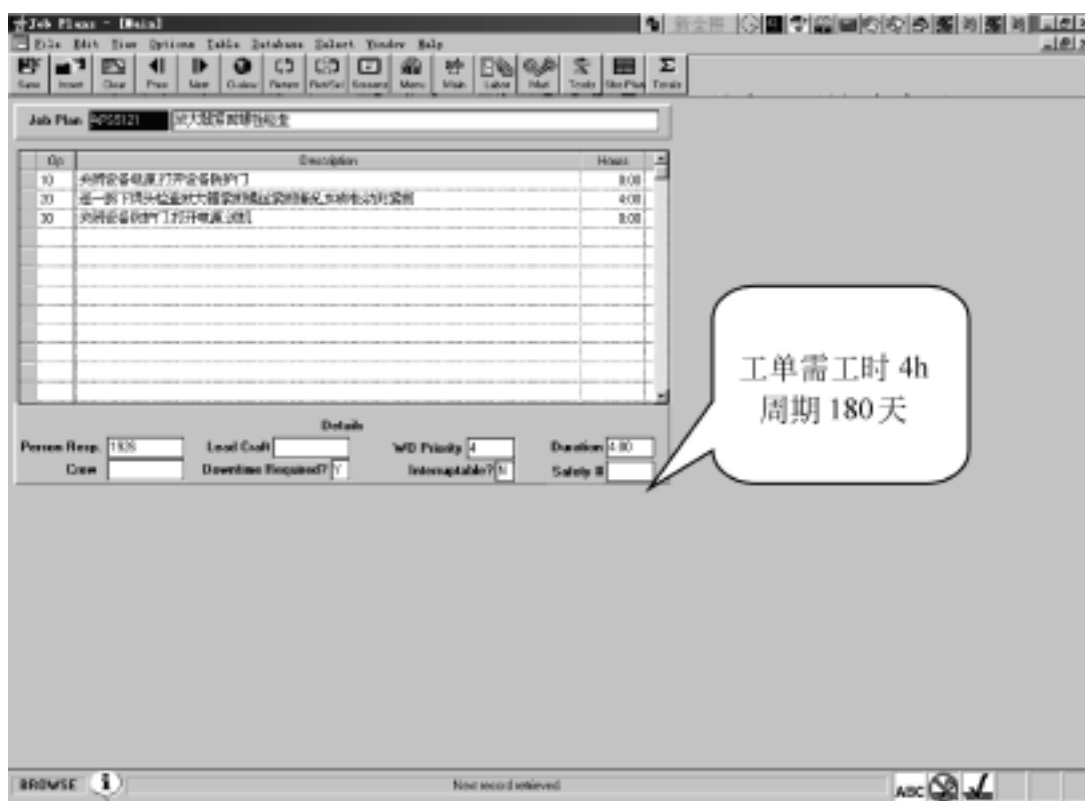


图 6.2 新增工单(一)

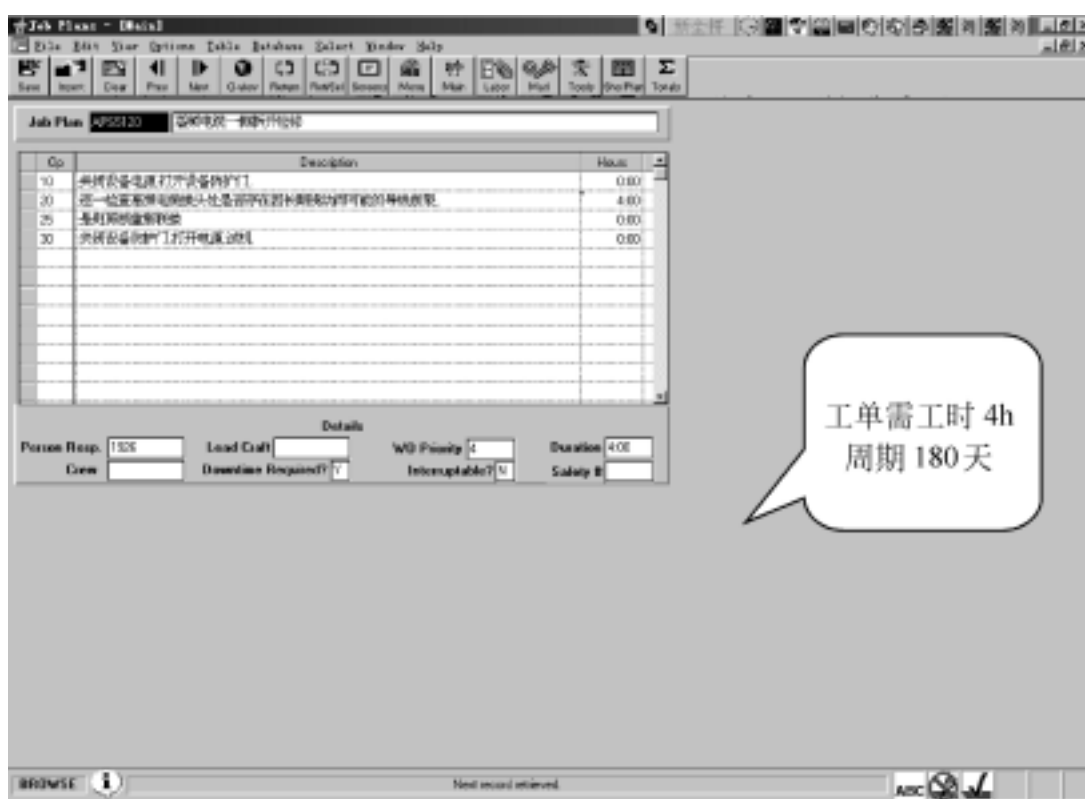


图 6.3 新增工单(二)

Job Plans - [Main]

File Edit View Options Table Database Select Order Help

View Insert Clear Print New Open Pattern PrintSet Sources Mass Mail Labor Mail Tools Site Plan Totals

Get Next Record

Job Plan: 0000110 超声波焊机工作电话记录

Op	Description	Hours
10	在分零件状态下进行	0.00
20	打开电箱门	0.00
30	用钳子夹住焊枪头并用电焊机工作电压检测电流是否为0.5A	0.10
40	如果大于0.5A,则检查工线并调整线路	0.00

工单需工时 10min  
周期 180天

Details

Person Resp: 1825 Load Cost: Wd Priority: 4 Duration: 0.10  
Crew: Downline Required: Y Interruptable: N Safety B:

BROWSE Next record retrieved.

图 6.4 新增工单(三)

Job Plans - [Main]

File Edit View Options Table Database Select Order Help

View Insert Clear Print New Open Pattern PrintSet Sources Mass Mail Labor Mail Tools Site Plan Totals

Job Plan: 0000110 超声波焊机工作电话记录

Op	Description	Hours
10	检查电箱内部是否有异物,若有则更正	0.30
20	检查电箱内部是否有松动,若有则更正	0.30
30	检查电箱内部是否有无规律的故障,若有则更正	0.30

新增焊枪头检查 30min  
周期原 60天,改为 90天

Details

Person Resp: 1825 Load Cost: Wd Priority: 4 Duration: 1.30  
Crew: Downline Required: Y Interruptable: N Safety B:

BROWSE Previous record retrieved.

图 6.5 修改工单(一)

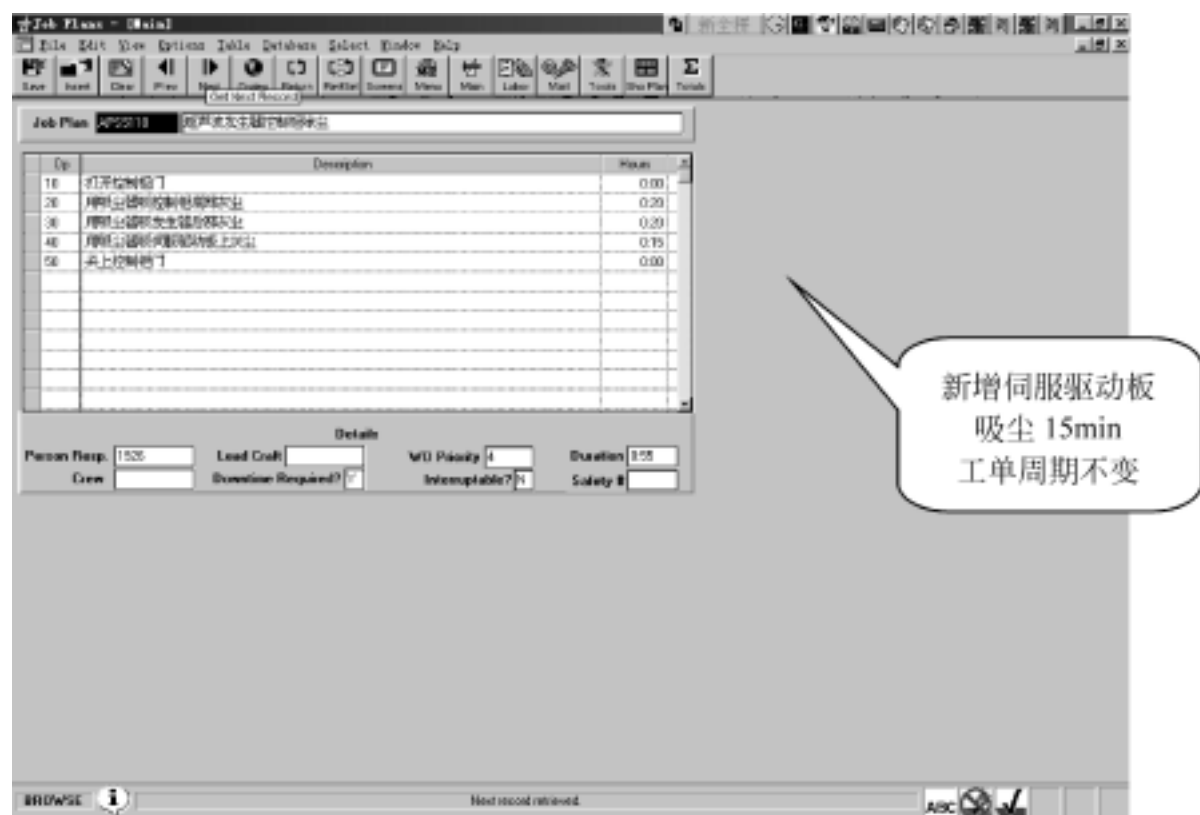


图 6.6 修改工单(二)

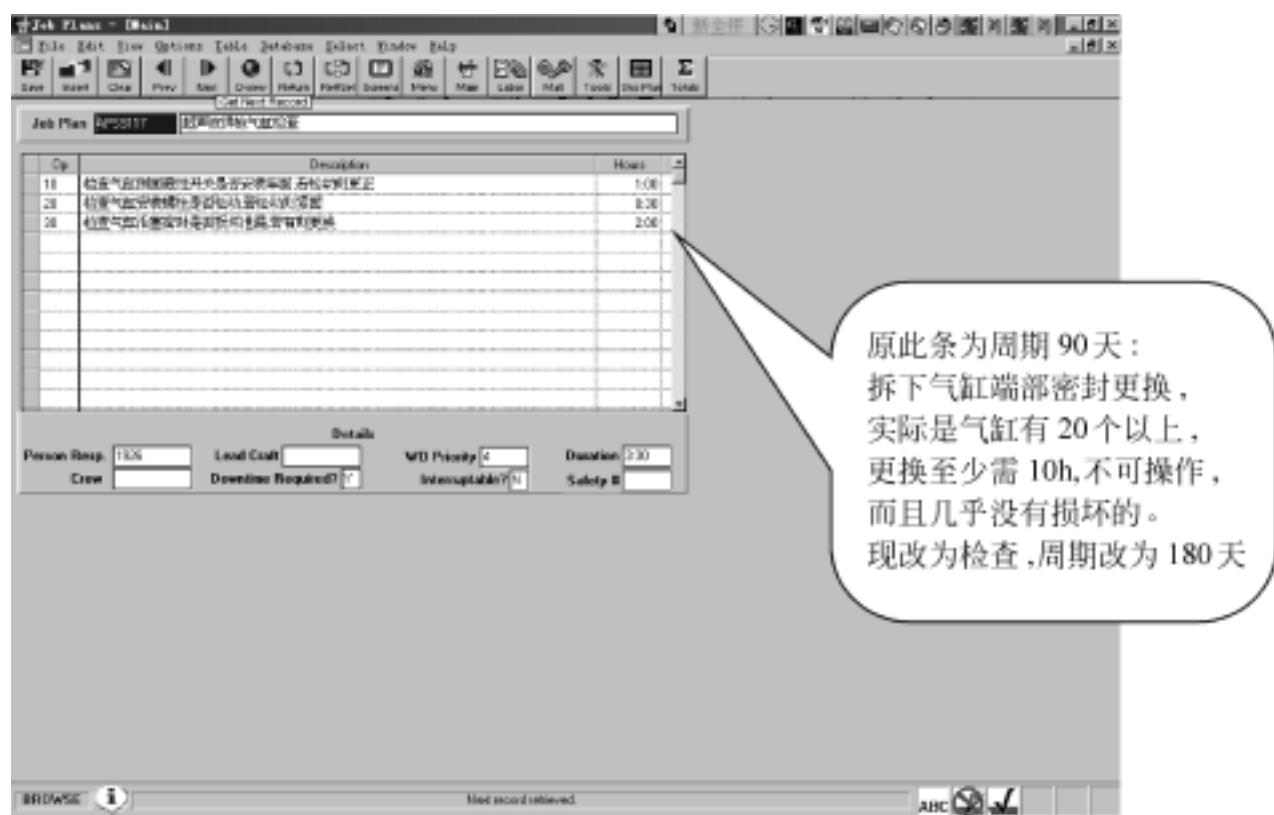


图 6.7 修改工单(三)

Job Plan 新增更改以后,我们来比较一下 PM Audit 前后的预防性维修工时(见表 6.2)。

表 6.2 PM 审核前后 PM 工时比较

	PM Audit 前	PM Audit 后
(单台焊机)年 PM 工时/ h	20	31
(4 台焊机)年 PM 工时/ h	80	124

可以看到,4 台超声波焊机的 PM 工时由审核前的 80h,增加到审核后的 124h,增加了 50% 以上,但它加入了几项控制计划中要求控制的几个关键部件的预防性维修的内容。通过审核以后的设备运行的可靠性、可维护性指标比较在 6.3 节中说明。

### 6.3 PM Audit 后可靠性、可维护性指标比较

由于大多数工单周期在 90 ~ 180 天之间,故再一次检验可靠性、可维护性指标放在 PM Audit 后 4 个月即 2003 年的 2 月份进行。我们对 4 台焊机 2 月份的运行数据进行了整理,见表 6.3 ~ 表 6.6。

表 6.3 前右超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 / h	无故障 运转时 间/ h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
2	232.50	229.50	0	0	0	0	1	30	1	25	3	45	4	80	16.4	37.6

$$MTBF_{FR} = \frac{2 \times 232.5}{2 \times 9 + 2} = 16.4(h)$$

$$MTTR_{FR} = \frac{2 \times (30 + 25 + 45 + 80)}{2 \times 9 + 2} = 29(min)$$

$$R_{FR}(16) = e^{-t/MTBF_{FR}} = e^{-16/16.4} = 37.6\%$$

表 6.4 前左超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 / h	无故障 运转时 间/ h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
2	232.50	231.17	0	0	0	0	2	30	1	15	1	10	1	25	25.1	52.9

$$MTBF_{FL} = \frac{2 \times 232.5}{\frac{2}{0.1} (2 \times 5 + 2)} = 25.1(h)$$

$$MTTR_{FL} = \frac{2 \times (30 + 15 + 10 + 25)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 5 + 2)} = 25.4(min)$$

$$R_{FL}(16) = e^{-t/MTBF_{FL}} = e^{-16/25.1} = 52.9\%$$

表 6.5 后左超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 / h	无故障 运转时 间/ h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
2	232.50	231.08	0	0	0	0	2	25	1	20	1	20	2	20	22.1	48.5

$$MTBF_{RL} = \frac{2 \times 232.5}{\frac{2}{0.1} (2 \times 6 + 2)} = 22.1(h)$$

$$MTTR_{RL} = \frac{2 \times (25 + 20 + 20 + 20)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 6 + 2)} = 21.8(min)$$

$$R_{RL}(16) = e^{-t/MTBF_{RL}} = e^{-16/22.1} = 48.5\%$$

表 6.6 后右超声波焊机故障情况统计表

月 份	设备开 机时间 / h	无故障 运转时 间/ h	焊头损坏		放大器坏		换能器坏		高频继电 器故障		弹簧断		其他		MTBF / h	R %
			频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min	频 次	停机 时间 / min		
2	232.50	231.25	0	0	0	0	2	25	0	0	2	20	2	30	22.1	48.5

$$MTBF_{RR} = \frac{2 \times 232.5}{\frac{2}{0.1} (2 \times 6 + 2)} = 22.1(h)$$

$$MTTR_{RR} = \frac{2 \times (25 + 20 + 30)}{\frac{2}{0.9} (2 \times 6 + 2)} = 19.2(min)$$

$$R_{RR}(16) = e^{-t/MTBF_{RR}} = e^{-16/22.1} = 48.5\%$$

从 MTBF 指标比较来看(见图 6.8),除了前左焊机 FL 有较大提高外,其余 3 台无大的出入;平均水平来看,审核后比审核前高 0.4h。MTTR 指标比较见图 6.9,审核后的平均水平比审核前缩短了 8min。可靠度指标比较见图 6.10,审核后的平均水平与审核前基本持平。

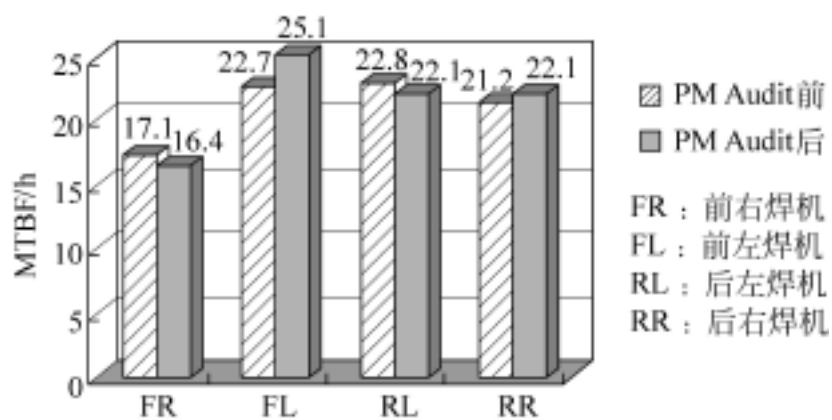


图 6.8 MTBF 比较

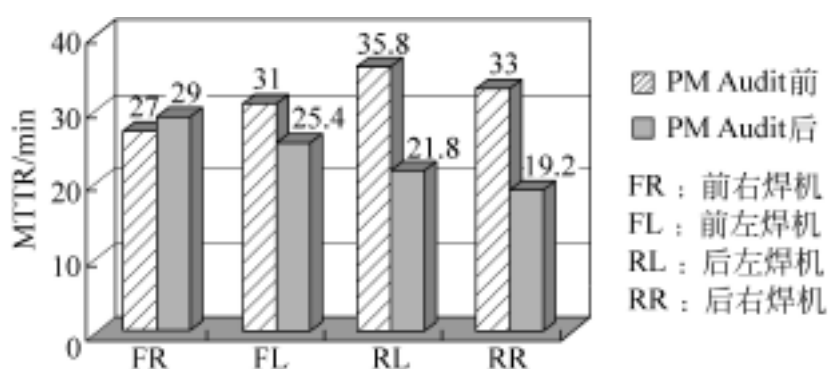
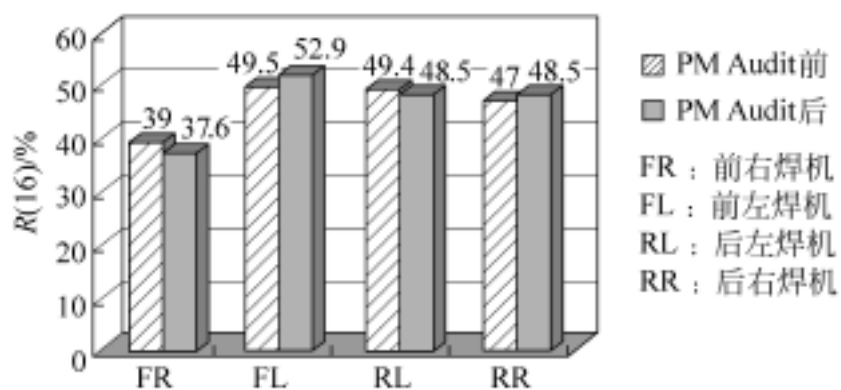


图 6.9 MTTR 比较

图 6.10 可靠度  $R(16)$  比较

## 6.4 PM Audit 后维修费用比较

PM Audit 前后维修费用比较见表 6.7。

表 6.7 PM Audit 前后维修费用比较

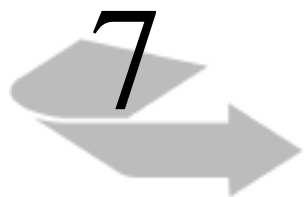
Job Plan										
维 护 成 本	PM Audit 前				PM Audit 后			比较 结果		
	Job Plan 工时 = 工时 × 单价	每工时按 100 元计算： 80 × 100 = 8000 元			每工时按 100 元计算： 124 × 100 = 12400(元)			比进行 PM Audit 前多用 4400 元		
	应急维 修工时 = 应急 维修工 时 × 单价	六月 维修 工时 / h	右前 294.45 - 289.2 = 5.25 左前 294.5 - 292.5 = 2 右后 294.5 - 290.75 = 3.75 左后 294.5 - 293 = 1.5	3 个月 的维修 时间 / h	二 月 维 修 工 时 / h	右前 232.5 - 229.5 = 3	二月的 维修 时间 / h	比进行 PM Audit 前节省 4468h		
		七月 维修 工时 / h	右前 232.5 - 277.25 = 5.25 左前 232.5 - 231.17 = 1.33 右后 232.5 - 230.85 = 1.65 左后 232.5 - 231.00 = 1.5	32.67		左前 232.5 - 231.17 = 1.33	3 + 1.33 + 1.25 + 1.42 = 7			
		八月 维修 工时 / h	右前 271.25 - 267.53 = 3.72 左前 271.25 - 269.50 = 1.75 右后 271.25 - 267.25 = 4 左后 271.25 - 270.28 = 0.97			右后 232.5 - 231.25 = 1.25				
						左后 232.5 - 231.08 = 1.42				
		预计 1 年的维 修时间 / h	32.67 × 4 = 130.68			预计 1 年的维修时间/ h			7 × 12 = 84	
		预计 1 年的维 修费用 / 元	130.68 × 100 = 13068			预计 1 年的维修费用/ 元			84 × 100 = 8400	
	备 件 更 换 成 本	备件 类型	数 量	价格/ 元	数 量	价格/ 元	比进行 PM Audit 前节省 145600 元			
		焊头 更换	六月 1 + 0 + 0 + 0 = 1 七月 0 + 0 + 0 + 0 = 0 八月 1 + 0 + 0 + 0 = 1	2 × 2000 = 4000	二月 0 + 0 + 0 + 0 = 0	0 × 2000 = 0				
放大 器更 换			六月 1 + 0 + 0 + 0 = 1 七月 0 + 0 + 0 + 0 = 0 八月 1 + 1 + 0 + 0 = 2	3 × 2000 = 6000	二月 0 + 0 + 0 + 0 = 0	0 × 2000 = 0				



续表

Job Plan							
维  护   成  本	PM Audit 前				PM Audit 后		比较 结果
	备件 更换 成本	备件 类型	数 量	价格/ 元	数 量	价格/ 元	
		换能 器更 换	六月 3 + 4 + 3 + 3 = 13 七月 2 + 3 + 2 + 2 = 9 八月 2 + 3 + 3 + 3 = 12	34 × 2000 = 68000	二月 1 + 2 + 2 + 2 = 7	7 × 2000 = 14000	
		高频 继电 器	六月 3 + 0 + 0 + 2 = 5 七月 2 + 1 + 2 + 0 = 5 八月 0 + 0 + 1 + 1 = 2	12 × 200 = 2400	二月 1 + 1 + 1 + 0 = 3	3 × 200 = 600	
		弹簧 更换	六月 1 + 1 + 0 + 2 = 4 七月 2 + 1 + 2 + 2 = 7 八月 1 + 1 + 0 + 1 = 3	14 × 100 = 1400	二月 3 + 1 + 1 + 2 = 7	7 × 100 = 700	
		其他 更换	六月 4 + 3 + 5 + 2 = 14 七月 4 + 1 + 1 + 2 = 8 八月 3 + 2 + 2 + 3 = 10	32 × 100 = 3200	二月 4 + 1 + 2 + 2 = 9	9 × 100 = 900	
		预计 1 年的备 件费用 / 元	(4000 + 6000 + 68000 + 2400 + 1400 + 3200) × 4 = 340000		(0 + 0 + 14000 + 600 + 700 + 900) × 12 = 194400		

结论：进行 PM Audit 后比 Audit 前节省费用为 145668 元



# 设备管理及监控的应用分析

## 7.1 引言

随着市场竞争的日益加剧,企业竞争能力的取得和维持与企业本身的设备利用能力密切相关,高设备故障率和长时间故障停机时常成为制约企业运营成本降低和响应市场需求的主要因素,如何快速高效地解决或减少设备故障,提高设备的可靠性和可用性已成为众多企业所面临的首要问题之一。要快速高效地解决设备故障,提高设备的生产能力,就要迅速科学地做出设备维护决策,及时采取修复工作,而所有这些活动的开展能否取得成功,很大程度上取决于人们对设备运行状态全方位的、实时的了解掌握的程度。

随着人们对设备管理的科学化、合理化的要求不断提高和众多设备运行状态实时监控的工程软件的产生,使人们对设备运行状况进行全过程监控,以及对已发生的故障进行工程数据分析成为可能。通过软件,人们可及时分析造成设备生产能力低下的原因和产生的缘由,了解掌握设备在生产过程中的故障分布情况,快速做出维护决策或制定合理的维护改进方案,评价设备维护的质量。近年来实时设备状态监控与分析软件,在许多生产制造行业得到了广泛应用,如石化、制药及电子制造行业。特别是在半导体制造工业中的应用尤为广泛,取得的效果也相当显著。

## 7.2 TFM 系统的主要功能简介

### 7.2.1 TFM 系统概述

TFM(total fab monitoring)系统是一套适合离散型生产加工的实时设备运行状况监

控管理工程软件,是面向大规模生产的设备动态数据实时监控与分析软件,它通过网络平台和系统集成实时提供在线生产设备所有状况,如设备故障与非故障停机、产量、实际单位时间产出、设备综合效率(OEE)及设备的可靠性、可用性、可维护性等相关数据,并具有良好的图形操作界面和设备状态信息图形可视化功能。同时它也是一种面对生产对象的开放系统,根据需要可任意定义所要监控设备的状态;通过用户的二次开发进行相关数据的挖掘。系统结构如图 7.1 所示,该系统由系统数据采集输入、系统数据处理(ORACLE)和系统终端客户(NT client)访问三层组成,它们之间通过以太网连接,系统数据采集输入(COBRA, SECS/ GEM)通过接在系统上的设备运行状态信号输入器实现设备运行状态自动记录,输入采集到的数据信号通过 ORACLE 数据服务器和 TFM 数据服务器加工处理,传输到查询数据服务器,访问终端通过网络远程访问查询服务器实现信息查询。

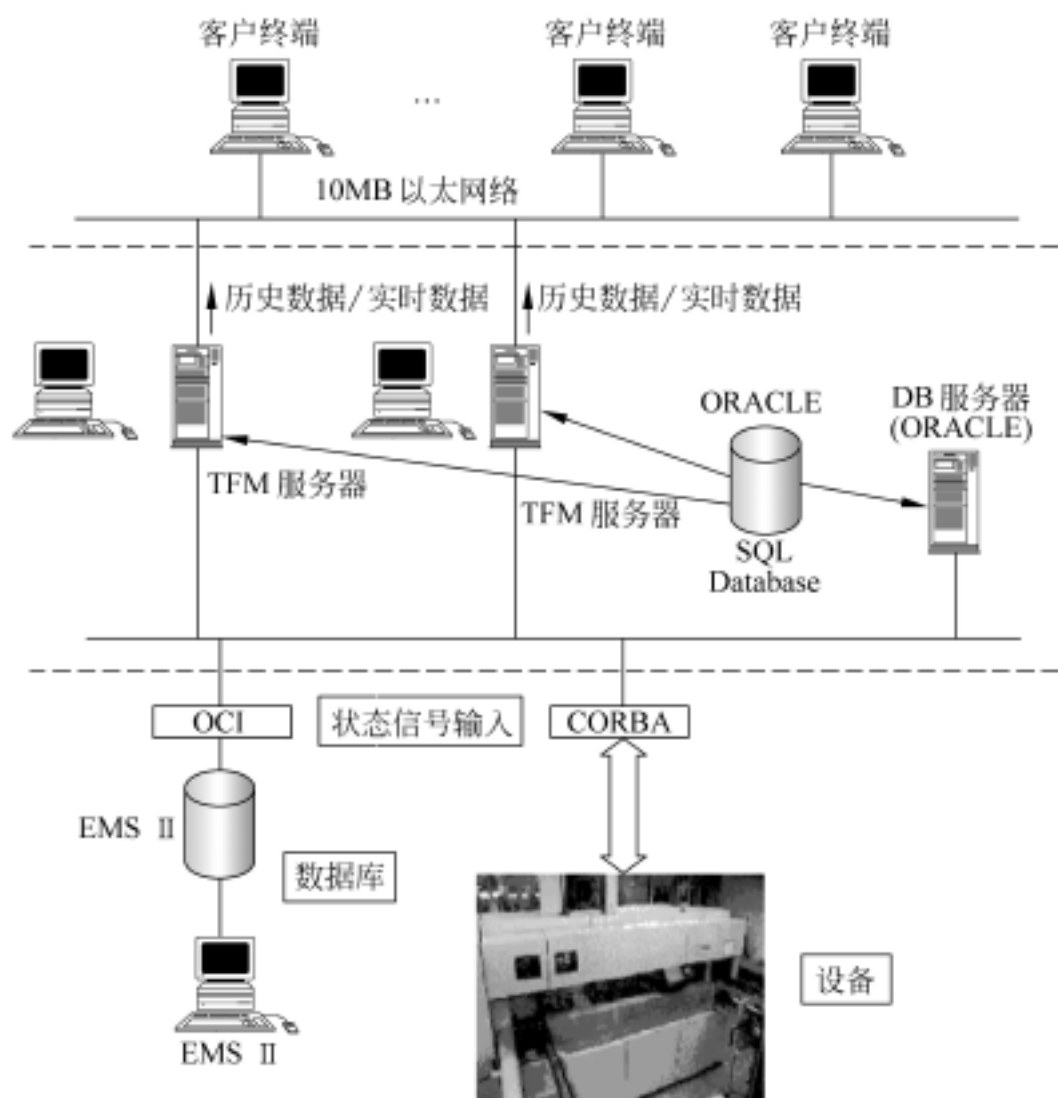


图 7.1 TFM 集成系统结构

### 7.2.2 TFM 系统的功能与特点

(1) TFM 是基于网络的系统,它能够使访问者通过终端实现远程异地访问,访问者运用登录系统的账号,通过网络访问 TFM 服务器就能实现访问,了解生产现场设备运行状况。

(2) TFM 有良好的现场状态显示功能,帮助生产现场及时发现问题,及时获得帮助。

(3) TFM 具有良好的基于时间的设备状态图示记录功能,便于人们分析设备状态,找出解决问题的突破口。

(4) TFM 有强大的数据分析处理能力,便于设备维护人员和生产管理人员分析设备间的生产速度差异,鉴别生产速度较慢的设备。

(5) TFM 为设备维护部门开展设备维护工作提供设备相关的可利用性、可靠性、可维护性、单位时间产出量、设备综合利用率等设备性能参数或运行状态指标,优化设备维护计划,减少维护时间,经济使用备件,降低设备维护成本。

(6) TFM 系统具有提供依照国际半导体行业 TR25/26 标准的设备状态评价报告功能。

## 7.3 TFM 系统在设备管理应用中的案例分析

### 7.3.1 应用 TFM 的实时可视化功能

TFM 系统具有良好的实时设备运行状态显示功能,如图 7.2 所示。该图中绿色状态表示设备正常生产;红色状态表示设备处在非计划故障停机状态;棕红色状态表示设备处在计划停机状态,如设备加工的产品进行品种转换、换模具及其他设备的参数调整;蓝色状态表示设备处在工程调整状态;黄色状态表示设备停机待料或设备生产停顿等待设备操作人员进行操作干预。而且在每种状态上通过鼠标或键盘操作能显示造成停机的原因和已发生的时间。

运用 TFM 实时可视化功能可以改变生产现场与其他支持部门间的信息流向和服务方式(图 7.3),实现生产需求拉动设备管理,设备管理推动生产开展,从而改善和提高生产中心的现场设备管理水平。过去,对于一道工序拥有一二百台生产设备的车间的生产管理人员来说,监控现场设备状况只能通过车间里不停走动,将获得的设备故障状况通知设备维护部门,设备维护部门接到通知后到现场维修,将设备缺料停机信息转给生产物料控制部门,重新协调安排生产线物料配置。这样做一方面是获取现场设备运行信息效率低下,而且由于设备数量多,时常导致生产线设备异常情况反映延误或信息反馈错误;另一方面是浪费了宝贵的时间资源,造成设备 OEE 损失,无法实行有效的现场生产管理。

运用 TFM 的状态显示功能可以将生产现场、生产管理部门、设备维护部门、设备工程技术部门、生产物料控制部门紧密地联系在一起,变原来的被动服务为主动服务,工作业绩由被动考核转为主动自我管理。生产线出现的需求不再由生产线人员向其他部门提出申请,而是相关支持部门自己通过系统实时知道生产现场需求,主动到生产现场服务,同时各支持部门的主管人员通过实时状态时间显示知道本部门服务现场效率和工作进度,实现自我控制、自我管理,同时生产现场管理人员也可以实时得到生产设备状态,及时组织协调人力、物力等相关资源,适应生产线的变化,达到生产设备能力利用的最大化。该系统状态实时反馈应用后,取得比较明显的效果。表 7.1 为部分服务反应时间的比较。

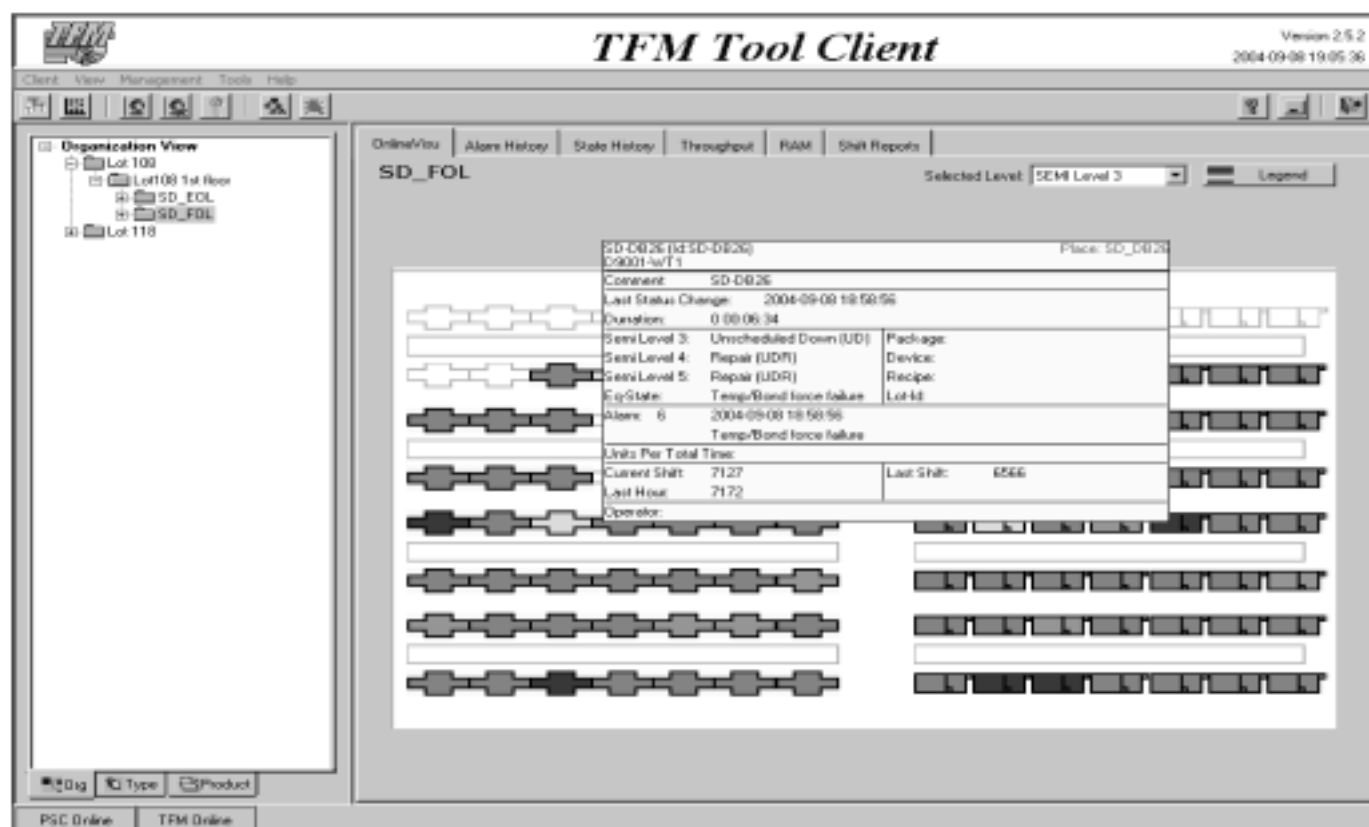


图 7.2 TFM 系统的实时设备运行状态显示功能

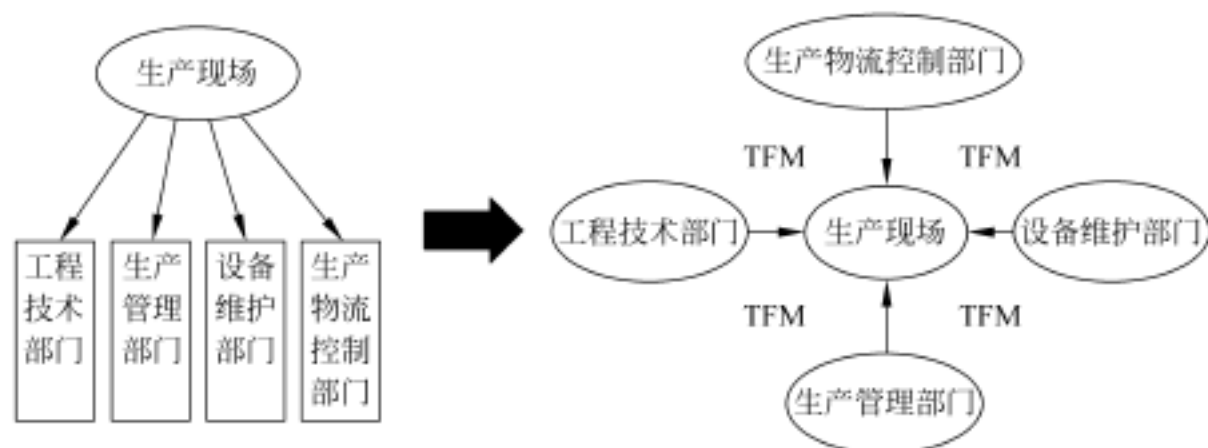


图 7.3 应用 TFM 系统后生产现场与其支持部门服务关系转变

表 7.1 实时可视化功能应用效果

min

部 门	生 产 现 场	实施前	实施后
工程技术部门	生产现场工艺问题确认延误时间	> 30	< 10
生产管理部门	协调处理生产现场问题延误时间	> 30	< 10
设备维护部门	生产现场设备维修延误时间	> 30	< 10
生产物流控制部门	生产现场设备缺料等待时间	> 30	< 10

由上述案例可知,TFM 系统实时现场状态可视化功能应用于生产加工中心的目的是在一定程度上消除生产现场同其他相关支持部门之间时间与空间的隔阂,为支持生产现场活动的部门提供快捷高效的服务平台,但在实际运用中系统能否发挥作用不仅取决于系统本身,还取决于以下方面: 公司管理层对系统功能发挥的重视程度; 系统使用人的态度及相关配套管理规章考核制度。没有这些,再好的系统也不能发挥作用。

### 7.3.2 TFM 系统查询功能

过去,设备维护部门和生产管理部门是通过生产设备状态的手工记录来进行数据整理和抽象分析生产过程存在的问题,找出影响生产设备性能的主要原因,耗时费力,常常是专人花费较大时间来做这项工作,而且时常因原始记录数据不准确得出不切实际的结论。运用 TFM 系统的故障分析功能,设备维护部门只需花几分钟时间,就能对过去任何一段时间的任何一台设备或整个工序所有设备停机状况做出详细分析,找出生产性能最差的设备以及影响这些设备生产能力发挥的主要原因,为设备维护部门有效开展设备维护活动指明方向,消除了时间浪费,及时高效地为生产提供服务,同时快速的设备状态信息反馈也为设备维护部门提供了检验维护措施方法是否有效的评估工具,为维护部门有效地开展 PDCA(plan, 规则; design, 设计; control, 控制; analysis, 分析)循环攻关活动提供强有力的信息支持。

图 7.4 是装片工序三班设备故障停机时间损失查询。通过查询,设备维护人员能很快在装片工序 100 多台设备中找出超过控制目标 0.15% 的 SD-DB05, SD-DB06, SD-DB08, SD-DB10 这 4 台生产性能最差的设备,和有特别的故障原因、需要长时间调整的 SD-DB08, SD-DB10, SD-DB19 设备,该部门会根据这些信息迅速组织相关人员对这些设备进行故障分析和预防性修理维护。另外,从图 7.5 可以看出通过系统对整个工序的故障分析,可知影响目前整个工序设备性能发挥的主要因素是: 设备焊臂调整; 设备停机待料待人; 温度与焊接力问题停机故障。从而为设备维护部门编制设备维护计划和生产管理部门进行生产效率提高提供明确的方向和具体确定的数据支持,使以时间为基础的设备维护计划(time based maintenance)向以设备状态为基础的设备维护方式

(condition based maintenance)的转变成为可能,避免了设备欠维护和过维护现象的发生。如果通过图 7.4 和图 7.5 的方式查询,对设备进行一段时间的状态监控,发现生产状况最差的设备分布没有改变,而且主要的故障分布也没有发生变化,设备维护部门就会根据这些信息很快做出对目标设备进行彻底大修的决定,而不是根据以时间为依据的已排定的维护计划进行大的维护,避免了因发生大的故障而造成长时间的设备停机,影响生产。同时由于设备得到了及时的相关维护,使有问题的设备部件得到了及时修复和继续使用,使它们的使用寿命得到延长。另外,这样也可使因其他部件有缺陷得不到及时修复或更换而导致好的部件关联损坏的风险大大降低,为实现控制设备维护成本提供了技术支持。

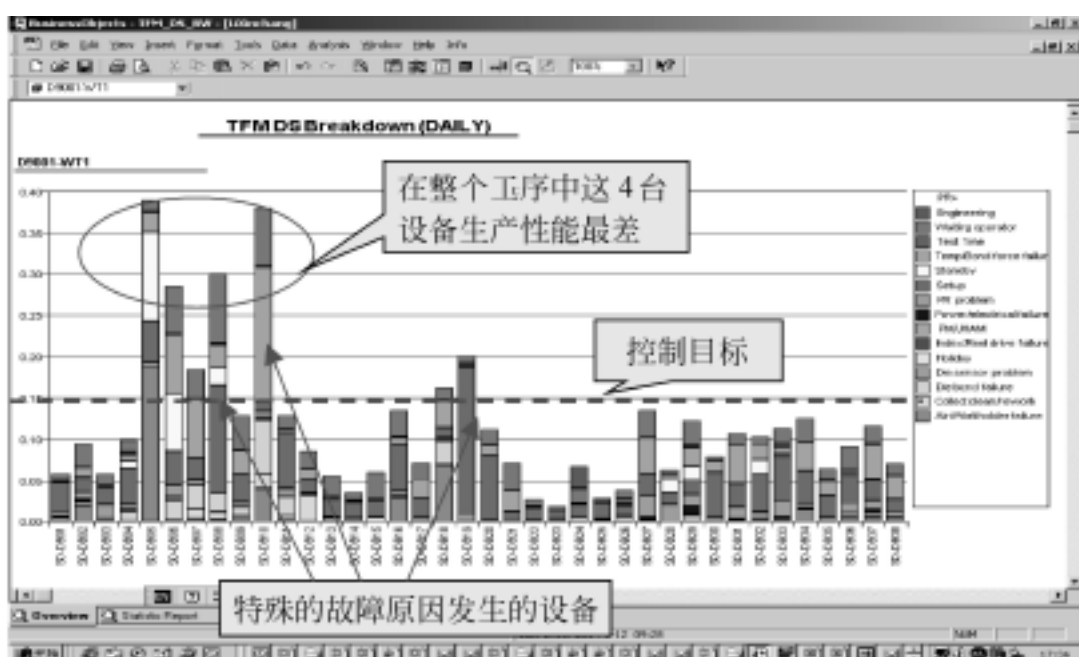


图 7.4 每日装片工序单机设备故障分布统计

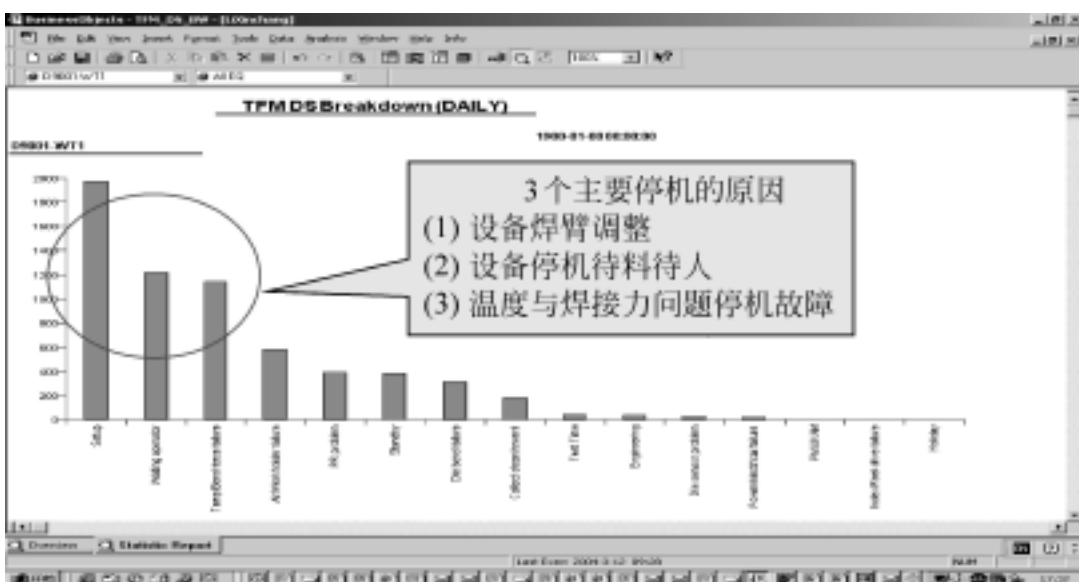


图 7.5 每日装片工序设备生产停机分析

### 7.3.3 TFM 监控系统对设备的可靠性数据分析

由于 TFM 系统能够实时记录生产设备的状态信息,取代了传统的手工记录生产设备状态方式,克服了以往设备运作信息不完整、不正确的现象,而且强大的工程数据分析功能使人们摆脱了过去大量有关设备的可维护性和可靠性的统计与计算工作,使设备维护人员能快速准确地得到各种与设备相关的可维护性和可靠性数据,为人们在实际工作中探索消除设备过维护和欠维护的现象,优化设备维护周期,提高设备维护质量和经济效益提供了强有力的信息支持。

#### 1. 确定设备最佳维护周期的应用

在半导体元器件后道封装的所有工序中,就设备运行状态而言,相对其他工序塑封成形的设备比较稳定,其较好的运行稳定性是靠定期的设备预防维护活动来保障的。塑封模具(Mold Die 和 Cavity)工作状态的好坏是决定该设备能否处于良好运行状态的主要因素,该工序近 80% 的故障停机是因模具工作不良引起的产品外观缺陷造成的,故障停机损失大且外观质量缺陷在后边工序检出成本也高,设备维护耗时长,维护费用高,重新确定塑封模具预防保养维护周期有较大实际意义。设备最佳预防维修保养周期  $t$ ,由如下公式得到:

$$t = Q - \frac{C_2 + C_3}{C_1}$$

式中,  $Q$  为设备预防性维护的时间间隔;  $C_1$  为设备正常运行单位时间收益;  $C_2$  为设备维修费用;  $C_3$  为设备发生故障时的损失费用。

原来的塑封模具的 PM 周期为 6 个月,运用 TFM 系统对塑封模具的可维护性指标 MTBF 进行统计和分析计算,其数值  $Q$  为 4428h,设备维修费用  $C_2 = 10$  万元,故障损失费用  $C_3 = 13$  万元,设备正常运行单位时间收益  $C_1 = 300$  元/h。则设备最佳预防维修保养周期  $t = 4428 - (100000 + 130000) / 300 = 4.93$ (月)。

经过将塑封机(molding)塑封模具的 PM 周期由原来的 6 个月改变为 5 个月以后,该工序因塑封模具问题而导致的大的设备故障停机率大大降低,不到两年的时间该塑封工序的 22 台设备维护费用和故障损失费用与改变前相比下降了 17%,同时该工序的产品合格率也因与模具问题相关的质量缺陷下降而提高了 3%。

#### 2. 确定设备部件可靠性的应用

SOT23 表面贴装元器件外形尺寸很小,在测试时不易将器件很好地放入测试区内最佳测试位置,主要是因为 16 个旋转测试拿取头上的吸嘴磨损,不能将器件放到应有的位置上,导致器件与测试针间的接触电阻变化而造成好的器件被误判为坏的器件,使该工序测试一次通过率较低,大约有 10% 的好器件被误测为坏的器件,生产中只能通过二次测试将被误判的器件重新回测来,严重损失测试工序的测试能力,使该工序成为整个生产线



的瓶颈工序。通过 TFM 系统统计观察,该工序的停机调试主要与吸嘴更换调整有关,因为 16 个旋转测试拿取头中如果有 1 只吸嘴过早磨损就会引起误测试,所以应用 TFM 系统来重新评估吸嘴的可靠性,重新确定其更换时间有较大意义。

设设备无故障运行的时间分布为指数分布,可靠性  $R(t)$  为

$$R(t) = e^{-t/T}$$

式中,  $0 \leq R(t) \leq 1$ ;  $T = 1/\text{MTBF}$ 。

通过 TFM 系统对该工序 50 台测试设备的吸嘴调整平均故障间隔时间 MTBF 进行统计分析,MTBF 为 86.4h,原来生产线每 24h 更换一次吸嘴,则 24h 的设备可靠性  $R(24)$  为

$$R(24) = e^{-t/T} = e^{-24/86.4} = 0.7574$$

即只有 75.7% 的设备在 24h 内能保证正常生产,无测试误判断现象发生。如果要使测试可靠性提高到 90%,那么需要多长时间更换一次吸嘴呢?由前面公式可得:

$$0.9 = e^{-0.011574 T}, \text{解得 } T = 9.1\text{h}$$

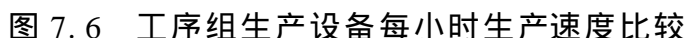
经过对设备可靠性需求评估与生产成本核算后,改变了原来换吸嘴的频次,将原来三班更换吸嘴改变为每班更换后,该工序测试误判率从原先的 10% 下降到了 3%,大大提高了该工序的生产能力,使该工序不再成为生产线瓶颈,取得了很大的经济效益。

一般来说,运用上述方法优化设备重要部件的 PM 周期或探索部件更换周期,需要注意以下问题:选定的设备部件通常是决定整个设备可靠性的部件,而且一旦故障发生,更换该部件设备即可恢复正常生产,否则就会有较大的偏差。另外,上面的案例实质上是在生产成本核算与设备可靠性之间进行平衡决策,由于设备的可靠性和实际生产耗费成本是动态变化的,所以实际工作中运用上述方法获得的结论也是需要根据生产中的具体情况不定期地进行结论校准的,以防出现大的偏差。

### 7.3.4 TFM 系统标杆功能的应用

监测出生产性能好的和差的设备是开展消除设备间生产能力差异的首要工作,也是持续改进设备管理的方法之一。TFM 系统有较好的标杆比较功能,它能够在任意时间段内对任意一组设备的生产速度进行分析比较,在运用同一种材料、使用相同的生产工艺、生产同一种类型的产品时,对同一类型的设备进行生产速度比较,找出需要保持和需要改进的设备,如图 7.6 所示,MLD069 每小时生产速度最快,而 MLD055,MLD036,MLD041,MLD035,MLD056,MLD042,MLD040,MLD064 设备每小时生产速度低于工序平均生产速度,生产性能较差且需要改进提高。

运用上述信息,设备维护人员和生产管理人员很清楚地明白在一个工序的一组设备中哪些设备的生产状态需要努力保持,哪些设备的生产状况必须尽快改进和提高。参照标杆设备从如下方面对运行慢的设备进行研究:



- 从上面的比较项中找出差异,对生产速度慢的设备进行相应调整、维护和人为干预(如做维护保养,重新调整日常维护检查项目和频度,加强现场组织管理等),将其生产速度提高到逼近设定速度,与标杆的最好设备看齐。通过这种方式不断找到需要改进的设备,一次次改进循环,使整个工序设备的综合效率提高。

运用 TFM 系统对设备停机待人的时间进行统计,可以帮助生产部门对生产现场生产管理效率进行评估,寻找改进提高的机会。生产中设备停机等待员工恢复是正常现象,但多长时间的等待是允许的?什么样的等待是要控制、要减少的呢?比如,2min 以上的停顿等人生产价值究竟有多大?通过 TFM 系统进行数据分析可以回答这类问题。图 7.7 的分析表明,如果能在取样的台设备中消除 2min 以上的停机待人,则可在原来的设备水平上增加至少 200min 的设备产能。所以运用 TFM 系统可以帮助人们在生产中分析停顿的价值,为生产和设备管理人员寻求如何开展和评估设备作业与看护方式提供参照数据。

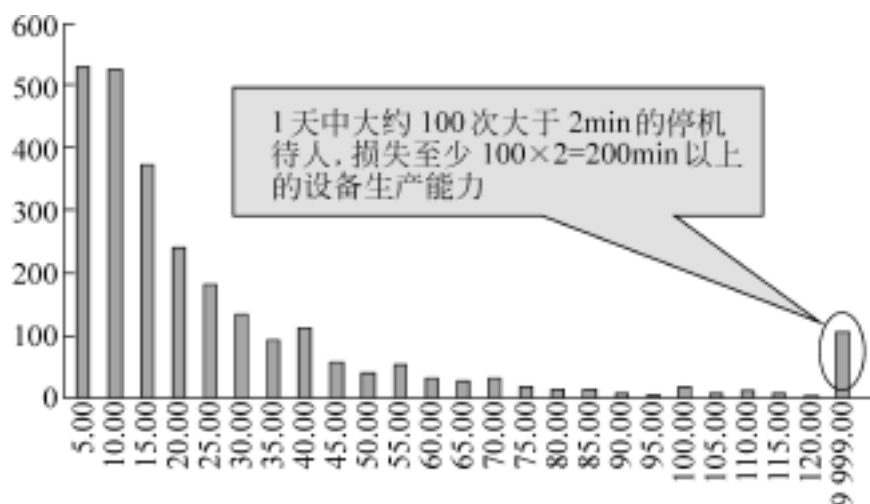


图 7.7 2min 以上的停机待人价值分析

传统的无全程设备使用跟踪记录,无法有效解决与人相关的操作等待,利用 TFM 系统数据处理功能可以帮助人们高效降低这种无价值的等待,图 7.8 是对生产组装贴片工序每天等待员工干预停机的数据统计和分析,该图是以 5s 为间隔进行停机等待累计次数的分析统计。可以看出,大于 2min 以上的停顿有相当大的比例,SD-DB05,SD-DB06,SD-DB08,SD-DB28,SD-DB29 等设备的等待时间和发生次数较多,其中 SD-DB06 单班大于 2min 停机待人发生 20 多次。有了这些统计记录,生产管理人员就会调查生产中什么原因导致了等待,是设备故障引起的还是人手不够,或是操作员工操作技能不好、生产管理不力等,根据具体原因采取对策,采取措施后通过查询验证措施的效果,不断循环改进,最终实现控制目标。

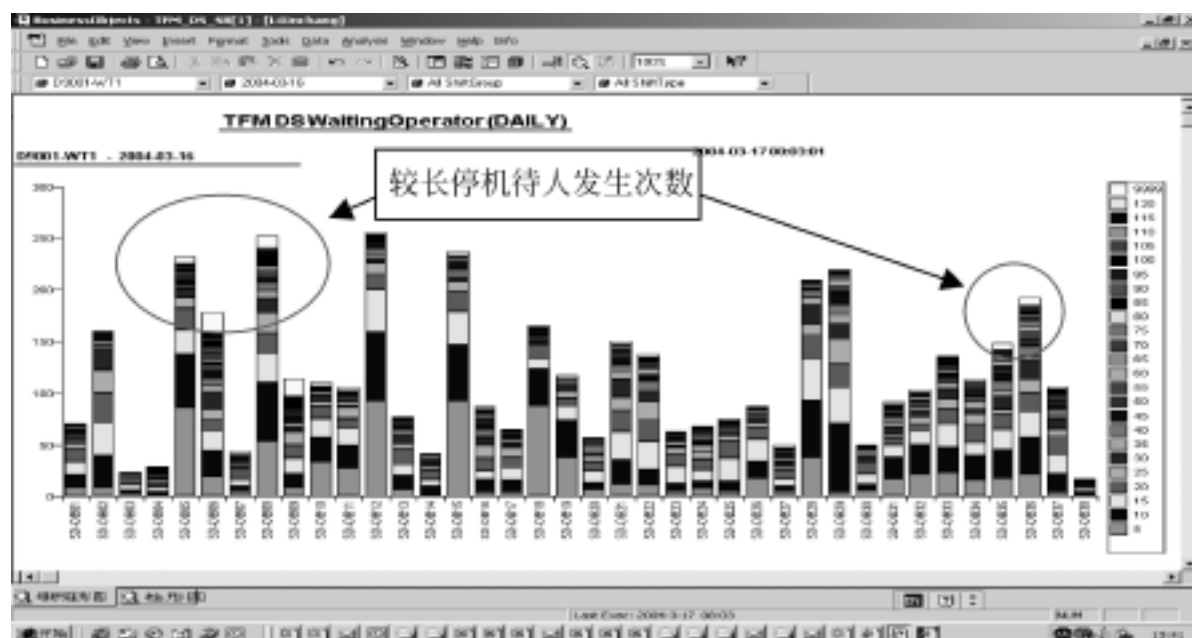
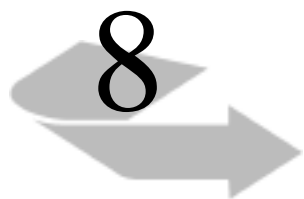


图 7.8 组装贴片工序每天等待员工干预停机的数据统计

## 7.4 小 结

运用信息技术手段提高设备管理水平是设备管理技术发展的趋势,提高工程软件使用效率是设备管理的重要内容。以设备实时监控软件 TFM 系统为背景,通过具体的应用案例分析,探讨如何根据生产需要运用监控系统解决设备管理中的问题,以及运用监控系统时的注意事项。

以上是 TFM 系统在设备管理中的典型应用分析,在实际的设备管理工作中 TFM 系统仍然有许多应用。不管系统有怎样的功能,如果它不能与解决实际工作问题需要相结合,则会失去该系统应有的价值,成为一种摆设。TFM 系统功能的发挥应集中在如下方面:首先是监测和识别生产活动中不增值的时间,优化生产运作和设备使用;其次是定义潜在的设备停机损失;再次是监控和找出影响设备效率发挥的根本原因;然后才是评估自主维护和预防性维护的效果。只有这样,才能使功能强大的 TFM 系统真正成为提高设备管理水平、增强企业生存竞争力的工具。



# 专用设备的 DFMEA 及应用

## 8.1 概 述

汽车内饰产品制造多为专用非标设备,由于更新速度不断加快,企业不得不考虑专用设备的投资问题。为精益设备固有资产的投入,降低产品成本,公司内有专门部门负责一部分专用非标设备工装的开发。经过几年的开发实践,已经意识到非标专用设备的开发受设计工程师知识水平、经验能力、备件供应、加工能力等各方面条件制约,致使项目在时间进度、设备功能完善、机械能力、可靠性与可维护性、人机工程学等各个方面满足整个产品开发项目需求的风险较大,甚至有个别失败的案例,这就给通过何种方法来尽可能地规避或降低这些风险提出了课题。本章就是从专用设备设计失效模式分析(design failure mode effective analysis, DFMEA)出发,研究产品工艺开发中的影响和分析,并以保险杠超声波焊机的设计为例进行说明。

## 8.2 非标专用设备的 DFMEA

### 8.2.1 DFMEA 的概念

DFMEA(设计失效模式分析)是一种系统工具,主要用于:

- (1) 查找设备工装设计中潜在的失效模式;
- (2) 评估每个潜在失效模式的总体风险,即风险评估指数 RPN;
- (3) 对风险大的潜在失效模式作进一步的调查并采取预防措施。

上述 3 项作用中最关键的是第 3 项。一切分析、评估都是为了对潜在失效可能性最

大的若干项目进行有效的预防,防止失败。DFMEA 的作用关键在于此。

### 8.2.2 非标专用设备 DFMEA 的目的

从满足产品工艺开发的设备功能展开,找出潜在的可能达不到预期功能的,或者达到了预期功能但可靠性不够的,或者具有潜在的失效因素的模式,并将之记录下来,以便于采取预防措施,它对今后相似设备的设计制造具有指导意义,亦即达到资源共享,使设计尽可能地不受制于设计工程师个人的知识水平和经验能力的局限。

### 8.2.3 非标专用设备 DFMEA 建立的时机和组织形式

#### 1. DFMEA 建立的时机

非标设备工装设计按如下流程进行(见图 8.1):一般在可行性方案设计开始的时候就开始建立 DFMEA,这时的 DFMEA 是针对设备功能展开大致结构框架而定的,其依据是设备结构功能展开框图。细化设计中展开的 DFMEA 主要针对组件、部件、电气控制方面的失效模式而展开。制造装配过程中不断地对 DFMEA 进行补充。调试验收后对照 DFMEA 加以完善、总结。用户回访服务中的维修数据用来对 DFMEA 加以补充。

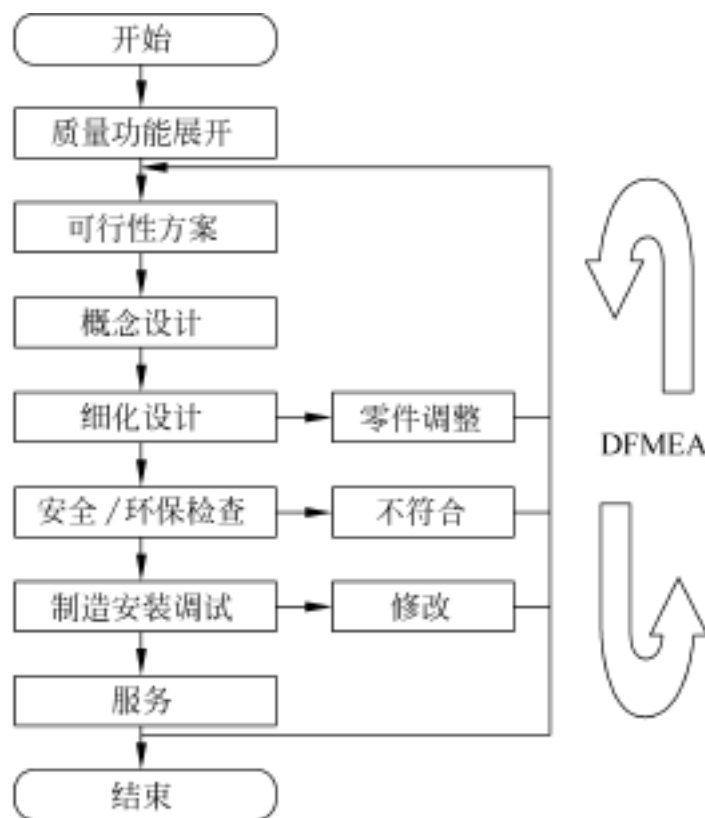


图 8.1 DFMEA 的流程

#### 2. DFMEA 建立的组织形式

DFMEA 一定是以小组活动的形式开展的,主管设计工程师为 DFMEA 小组的牵头人。小组的组成人员有:机械设计工程师、电气设计工程师(主要从事该设备的机械电气

设计)、产品开发工艺工程师(主要是把握设备需达到的工艺能力)、机械电气加工工艺人员(提出制造加工中的失效模式)、设备维修工程师(主要把握设备的可维护性,并从维护角度对失效模式进行补充)。小组成员应有的技能是他们必须熟悉相应的设计、工艺、设备维护以及评估风险所涉及到的各种因素的相关技能。

## 8.3 保险杠超声波焊机设计实例

### 8.3.1 前保险杠超声波焊机工艺背景简介

前保险杠内侧有 4 块加强筋,需与面罩进行焊接。保险杠本体的材料是聚丙烯 + 三元乙丙橡胶 (PP + EPDM),由 3150 吨注塑机注塑;加强筋的材料是聚丙烯 + 滑石粉 (PP6),由 1300 吨注塑机注塑而成。焊接形式为铆接(见图 8.2),某个断面共有 12 个相似焊点。此台超声波焊机就是完成 12 个焊点的焊接功能,并且达到设计需要的焊接强度及外观质量。

制定 DFMEA 时依据的信息来源:

- (1) 工程图纸(零件部件、组件、系统);
- (2) 设计要求/规范(设计规范、工程规范、制造/工艺规范、工装设计任务书);
- (3) 控制计划(尺寸控制计划 DCP、焊接强度要求);
- (4) 资料数据(类似产品焊接强度数据、现场维修数据);
- (5) 其他研究(质量功能展开 QFD、可行性方案);
- (6) 相关报告(维修调查报告、现场维修报告)。

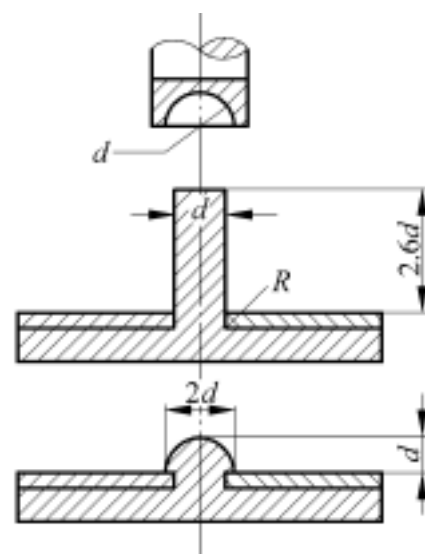


图 8.2 前保险杠内侧的铆接

### 8.3.2 DFMEA 的编制步骤

#### 1. 查找设备工装设计中潜在的失效模式

查找设计中潜在的失效模式首先要进行质量功能展开(QFD)及可行性方案的制定。QFD 是将工艺需求转换成设备部件,然后再扩展到设备的零件的功能块,从功能块到部件,零件是 DFMEA 展开的主线,也是可行性方案设计的依据(见图 8.3);可行性方案设计的比较要充分考虑根据 QFD 进行的 DFMEA 的结果,而且随着 DFMEA 在细化设计中的深入,如果失效模式预防成本过高的话,必须重新评价可行性方案。

#### 2. 评估每个潜在失效模式的总体风险即风险评估指数 RPN

根据质量功能展开进行 DFMEA 小组活动,非标设备工装 DFMEA 中严酷度、频度、不可探测度的分级评估按图 8.4 进行,三者乘积即为风险评价指数 RPN。DFMEA 的编

制讨论必须覆盖所有的功能块,对应于每一个功能块,分别讨论其失效模式(设计制造中导致失效的行为)、失效后果(导致的结果)、失效原因以及现行设计中的控制,然后评估出现行设计的风险评价指数 RPN。

功能层	部件层	零件层
保险杠本体与加强筋装配	合适的胎具(本体表面油漆不被刮伤)	汽车胎具材料
	装配时所有机器动作停止,保证操作者安全	安全光栅,双手启动
	专门的零件装配工位	第 1 工位
12 个焊点的焊接	同一工位各焊点焊头运动互不干涉	第 2,3 工位
	第 1,2,3 工位胎具运动装置	电机驱动
	第 2,3 工位上方焊接单元运动驱动装置	气缸驱动
	焊接单元到位后,各焊头实施焊接	滑台气缸推动
	全自动,手动循环连锁互锁	PLC
焊接强度 焊接深度 焊点位置 焊接外观 设计任务书要求	超声波焊接	发生器,放大器,换能器,钛合金焊头
	第 1,2,3 胎具位置精确定位	伺服电机,同步皮带传动机械气动定位装置,直线导轨
	焊头气缸定位,焊接单元定位	气缸,直线导轨,机械定位
	焊接工艺参数设定	PLC,触摸屏,减压阀
	工件定位	胎具定位销
	保压冷却	冷却压缩空气回路

图 8.3 前保险杠超声波焊机质量功能展开



## 严酷度

影响	等级	标准
无影响	1	无影响
稍有影响	4	失效无需修理,但操作者能感觉到
重要影响	7	性能受严重影响,但客户不满
危险影响	10	有关安全的突然失效

## 频度

影响	等级	标准
几乎不可能	1	不可能失效
少	4	失效可能性较低,失效概率 $< 1/2000$
中高	7	失效可能性稍高,失效概率 $> 1/20$
几乎肯定	10	几乎肯定失效,失效概率 $> 1/3$

## 不可探测度

影响	等级	标准
肯定能探测	1	很直观
低	4	较低的不可探测度
高	7	较高的不可探测度
几乎不能探	10	几乎不可能探测到

图 8.4 严重度、频度、不易探测度的分级评估

## 3. 对风险大的潜在失效模式作进一步的调查并采取预防措施

对于 RPN 相对较高的失效模式必须考虑拟采取的措施以及措施产生的结果,并重新评估采取控制和措施后的风险评价指数 RPN,这样也就在设计过程中对失效风险进行了控制。编制讨论结果见表 8.1。这里需要指出的是:对风险评价指数高的项次在 DFMEA 中都已讨论推荐了预防措施,一些比较复杂的方案需列入可行性方案中,以备设计或制造安装中使用,同时在项目管理中这些措施可以作为问题跟踪来加以管理,以保证这些预防措施能落实于整个设计制造的相应流程中,使整个设计制造风险得以降低。

表 8.1 潜在的失效模式及影响分析 (DFMEA)

零件名称或工艺 过程/ 编号		前保险缸超声波焊机		页数	第	共	2	页							
过程责任人		制表人:		DFMEA 日期 (源稿)		6/1/2002		(修改日期)							
主要参加人		生产日期		复核日期:											
功能	潜在失效模式	潜在的失效后果	严酷度指数	潜在的失效原因	频度指数	现行设计控制	不可探测度	风险评价指数 RPN	推荐应采取的措施	负责部门/个人完成日期	措施所产生结果采取的措施	严酷度指数	频度指数	不可探测度	风险评价指数 RPN
提供足够焊接强度	超声波发生器频率、功率选择错误, 放大器选择错误	工件上的焊点不能熔化	8	没有同类设备作比较, 没有试验	2	做试验, 理论计算	5	80	用手动超声波焊枪做试验		通过试验验证所需焊接功率	8	2	2	32
	焊头气缸缸径选择出错	工件上的焊点焊接质量不好	8	气缸输出不够	5	放大缸径, 再增加减压阀	2	80	类比, 与类似设备、类似产品作比较, 理论计算 30% 安全系数		输出力可调节	8	1	1	8
焊接单元提供可靠运动	焊枪定位不可靠	定位不可靠	7	气缸运动没有安装导向机构(导轨)	5	气缸推动导轨	2	70	增加安装板(此板装在直线导轨上)		焊头位置精度控制在 0.02mm	7	1	2	14
	安装焊头的气缸等运动机构选择错误	焊接位置发生偏移	7	气缸运动没有安装导向机构(导轨)	5	气缸推动导轨	2	70	选用直线轴承		焊头位置精度控制在 0.02mm	7	1	2	14
		空间位置无法布局	8	选择体积小带导轨的气缸	4	节省空间, 有利布局	2	64	向 FESTO 技术咨询		注意此类气缸价格昂贵, 供货期长	8	2	2	32

续表

功能	潜在失效模式	潜在的失效后果	严酷度数	潜在的失效原因	频度数	现行设计控制	不可探测度	风险评价指数 RPN	推荐应采取的措施	负责部门/个人完成日期	措施所产生结果采取的措施	严酷度数	频度数	不可探测度	风险评价指数 RPN
有效的工件压紧	工件没有有效压紧	焊接外观不好,焊接深度位置无法控制	8	压紧机构不可靠	4	选择有效压紧部位,压紧机构	2	64	气缸带动聚氨酯橡胶压紧		有效压紧	8	2	1	16
	压紧过度	工件油漆损伤	7	压头过硬	3	选择合适压头材料	2	42	聚氨酯橡胶		柔性压紧	7	2	1	14
提供3个工位	3个工位定位不精确	销子不能顺利插入,拔出不能正常焊接	8	同步带与联轴器没有有效紧固	2	设计中标明	2	32	工艺卡注明		使用扭力扳手	8	1	1	8
	电机功率不够	无法带动胎模	8	没有进行功率计算	2	计算胎模重量、导轨摩擦等因素,合理选择电机功率	2	32	导轨摩擦系数5倍安全系数		充分考虑导轨不平行	8	2	1	16
	导轨安装精度不良	电机无法带动胎模	8	安装平面度不够,导轨安装平面度不够	3	合理选择精度	1	24	按设计手册选择精度		充分考虑导轨不平行	8	2	1	16

续表

功能	潜在失效模式	潜在的失效后果	严酷度数	潜在的失效原因	频度数	现行设计控制	不可探测度	风险评价指数 RPN	推荐应采取的措施	负责部门/个人完成日期	措施所产生结果的采取的措施	严酷度数	频度数	不可探测度	风险评价指数 RPN
提供合理的气路	单个焊头气缸压力不能调整	焊点的焊接质量不能调整	8	没有考虑到气缸对焊接质量的影响很大	3	每个焊头压力可调	1	24	每个焊头都有单独的减压阀控制气压		每个减压阀分别控制	7	2	1	14
	焊头冷却回路与焊机运动机构回路没分开	带有润滑油的冷却波头时间会影响波头表面	7	没有考虑到冷却回路不需润滑	3	动力气路与冷却气路分开	2	42	动力气源减压、润滑、过滤、冷却气源减压、过滤		气缸运动润滑,冷却不润滑	7	2	1	14
提供合理的可维护性	焊接工位1与焊接工位2之间的空间不利于维修	焊接工位的安装不能调整	7	焊接工位的空间位置不充分	3	在图纸设计阶段留出足够空间	2	42	内部空间可容人进出		维修空间大于700mm	7	3	1	21
	为便于维修,把焊接工位1与焊接工位2的运动机构装成背对背	工件放入胎模后,焊接工位的运动机构与工件相碰	8	仅考虑到维修,但忽略了合理的运动布局	2	在图纸设计阶段,对运动机构在各个位置做设计	2	32	设计中至少留有100mm间隙		同方向安装	8	2	1	16

续表

功能	潜在失效模式	潜在的失效后果	严酷度数	潜在的失效原因	频度数	现行设计控制	不可探测度	风险评价指数 RPN	推荐应采取的措施	负责部门/个人完成日期	措施所产生结果的措施	严酷度数	频度数	不可探测度	风险评价指数 RPN
	安装焊头的气缸方向不一致	部分气缸的接近开关靠近侧,无法进行位置的移动,无法正面观察	7	按照习惯思维,气缸两侧都可安装接近开关	2	把接近开关侧朝外,把气管侧朝里	2	28	确认开关安装位置		接近开关面向操纵者	7	1	1	7
提供超声波能量转换	能量转换元件动作时间不合理	能量转换元件寿命极短	7	没有充分考虑到超声波频率特点	3	先闭合元件再通过超声波	1	21	设计合理的动作程序		避免继电器拉弧	7	2	1	14
	能量转换元件选择不合理	能量转换元件寿命极短	7	没有充分考虑到超声波频率特点	3	选用高质量专用继电器	1	21	选用 Branson 专用高频继电器		减少继电器故障概率	7	2	1	14
提供合理的焊接步骤满足生产节拍	发生器数量选择不合理	设备能量跟不上	8	时间节拍计算	2	进行每一动作所需时间估算,选择合理的发生器数量	2	32	用最少发生器数量达到节拍要求		节省成本	8	2	1	16

## 8.4 非标专用设备 DFMEA 的若干要点

(1) DFMEA 的焦点问题: 常常会有一种趋势把 DFMEA 的焦点转移到制造或装配过程作为失效模式原因的来源。DFMEA 的目标应该是使小组致力于采取补救设计, 使产品在未到达生产线之前就改进设计。当然要达到这样的程度是相当不易的, 而我们通过不断的 DFMEA 实践, 正是要达到这种目标。

(2) 非标的工装设备设计制造往往是单件小批生产, 在很多情况下是专门设计。所以, 建立 DFMEA 的信息来源中特别是维修调查报告的可用性存在不足。原因是发生在已有同类设备中的不足可以设法避免, 但由于单件生产的个体差异, 无法预见差异之处和发生故障缺陷的情况, 而这种情况通常是凭小组经验也无法避免的。

(3) DFMEA 的深度层次问题: 公司的 DFMEA 一般不涉及到外购件的质量、进度, 因为它们不受我们控制。一旦涉及的话, DFMEA 将变得非常庞大, 但事实上外购件的质量、进度问题常给我们带来较大影响, 有的甚至关系到设备关键指标。

(4) 实践中的 DFMEA 建立中比较困难的问题是严重度、频度和不可探测度, 尤其是三者的分级较难把握, 有时在小组讨论中存在分歧, 这是非标设备 DFMEA 处于探索中在所难免的问题, 随着应用的不断成熟, 相信可以克服这个问题。

## 8.5 小 结

本章论述了非标设备 DFMEA 及其在实践中的运用, 通过失效模式分析来确保设计方向和设计过程的正确, 并结合保险杠超声波焊机的设计实例, 阐明了整个 DFMEA 的产生过程, 对于非标专用设备的设计制造, 满足产品工艺开发要求, 达到预定的可靠性、可维护性, 保证设备的机械能力方面具有重要意义。按此设计方法进行设计制造的保险杠超声波焊机使用已有一年半, 实践证明, 它不但达到了预先设定的设计目标, 而且在使用中可靠性、可维护性均高于国外同类产品。由于是自行设计制造, 其费用比同类进口设备价格低 40% 左右, 是非标设备 DFMEA 应用的成功典范, 对于公司内非标专用设备设计制造规避降低项目风险具有指导意义。

# 9

## 汽车配件公司设备维护与管理的信息化应用

### 9.1 公司设备维护概况

一家汽车配件公司提供有色金属配件,由于生产任务加重,每台设备相应地加大了任务量,基本上处于停人不停机的状态。长期以来基本上实行原苏联的“一年一大修,大修保一年”的定期保养的维修模式,日常维修基本上是事后维修,即等到设备出现故障或不能正常运行时的时候,才由工作人员报修,设备科受理,再派维修人员进行维修。由于设备不断地运行,原有的维护体系已经明显暴露出了不足。这种维修和保养方式会导致大修和计划外的停产太多,频繁的停产会使产品的产量受到比较大的影响,造成较大的经济损失。而且公司设备维护流程还是按照传统填写维护单子进行的,没有做到信息化,虽然公司在整体运作上已经实施了一个 ERP (enterprise resource planning, 企业资源计划) 项目,但是设备信息管理这一块完全没有整合到 ERP 中,这在维修反应速度上就明显慢了一个节拍。

企业的业务流程中,基本上全部是人工进行,存在以下问题:

- (1) 工作计划时效性差: 后期基本上没有分析,因此容易忽略一些可能提高工作效率的环节;
- (2) 反馈信息不及时: 对于执行中出现的问题不能及时反映到业务控制部门进行协调处理;
- (3) 数据准确性差: 由于采用人工填写方式,导致时间等因素记录准确性差,从而不能为后期工作分析提供可靠的数据。

公司看到了本身维护系统的不足以及采用先进维修思想的优势,决定建立公司的设备预防性维护体系,并利用信息化技术实现设备维护等问题。

计算机辅助设备预防性维护体系的建立主要分为 3 个阶段。第 1 阶段主要是设备管理信息化的基础工作,即关于设备、故障、维修人员、工具以及供应商等基本信息管理和基本数据的汇集;第 2 阶段是通过资料整理,初步建立整个企业的设备系统以及系统的维修性模型,为预防性决策阶段提供数据基础;第 3 阶段是预防性维护决策,是整个技术体系的核心,建立起预防性维修体系的主要结构,并且通过计算机辅助系统,以设备利用率和经济性为目标,综合多方面情况,输出维护工单,对整个预防性维护体系进行管理,获得最优的维修决策。

总体目标是建立一个企业设备故障分析和预防性维护决策的工作平台,协助企业在设备维护管理的整体范围内,通过以下几方面使其效果最终通过经济效益体现出来:

- (1) 提高设备综合利用率,挖掘设备生产潜力,增加其有效生产时间;
- (2) 避免旧的维护系统对设备过度维修造成的浪费,延长设备使用寿命,减少维护成本;
- (3) 减少停机时间,降低正常运行期间的物耗损失;
- (4) 提高管理和维修人员的工作效率,充分有效地利用企业资源。

## 9.2 设备维护与管理工作的分析

### 9.2.1 维修业务流程

设备操作员在设备出现故障时对该故障向设备科进行报修,设备科受理后,向维修人员派发维修任务,维修人员执行该任务,完成后向设备科消单(终止任务)。企业管理部门向设备科查询工作计划及执行情况等,设备科向生产部门反馈设备状况信息,以便更好地组织生产。

在网络化的设备维护和管理体系下,用户与信息系统的关系是:当设备在“故障发生时间”发生故障后,“报修人”在“报修时间”向系统提交“某故障”的报修申请,系统在“受理时间”受理后,生成“维修任务”,通过分析及协调,在“任务下达时间”下达维修任务,“维修人员”收到任务指令后,使用“某些工具”和“相应的备件”在“起始时间”开始执行维修,并在“完成时间”修复故障,经过评估后,在“消单时间”报告系统,以结束该项维修任务。图 9.1 为企业设备管理体系结构图,图 9.2 为维修业务流程及管理分析图,保修与派工流程见图 9.3。

工单流动过程是当工单生成后,接到下达维修任务的维修人员从任务清单中读取自己的任务,执行维修并在维修后进行评估,然后填写维修日记,即进行“消单”操作。该操作完成后,相应的工作记录便存储在任务清单数据库中供以后查询及工作分析。工单流动过程见图 9.4。



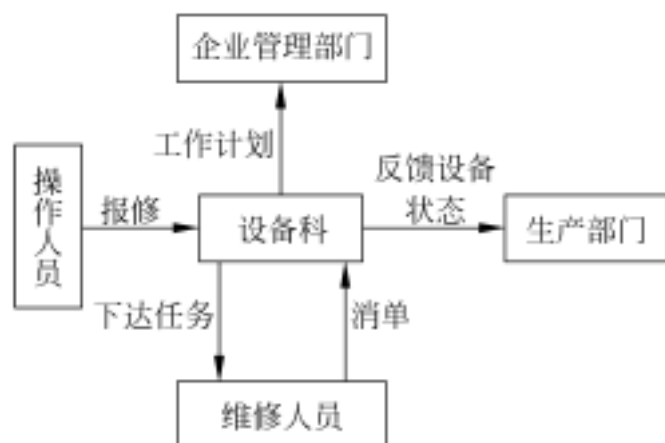


图 9.1 企业设备管理体系结构图

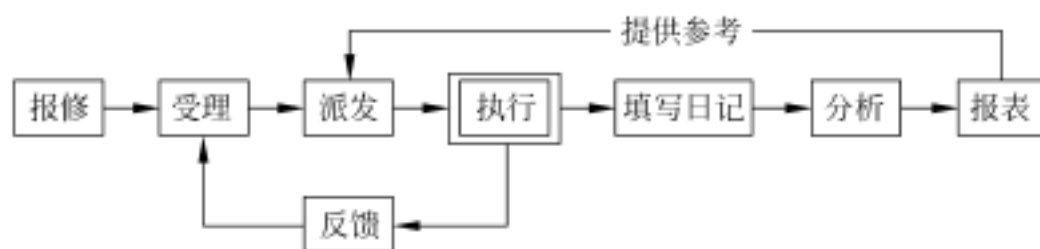


图 9.2 维修业务流程及管理分析图

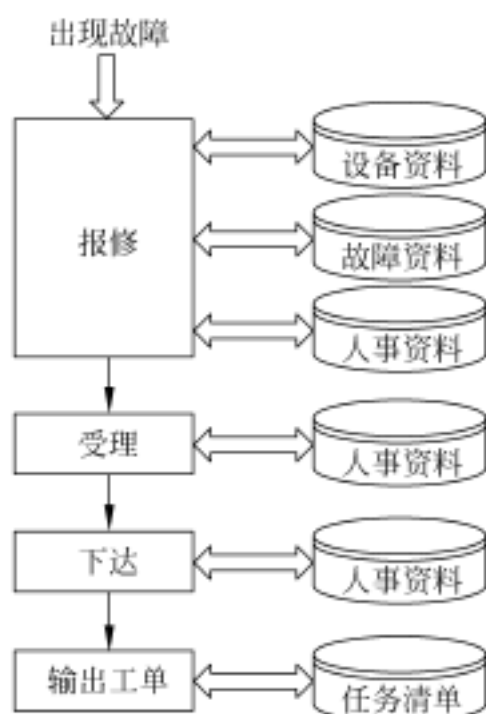


图 9.3 保修与派工流程图

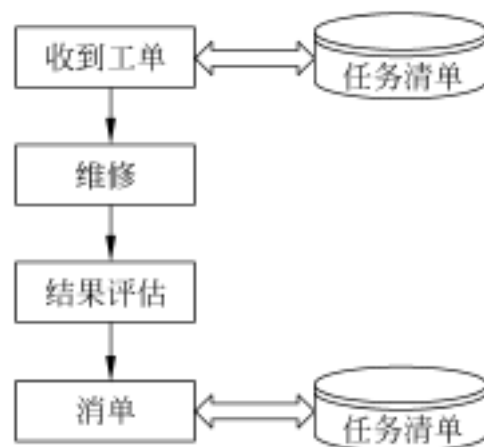


图 9.4 工单流动过程图

### 9.2.2 保养业务流程

一级保养的功能是对企业中的设备添加一级保养计划、修改保养计划、删除保养计划功能,并且能显示当月要求保养的设备,对设备填写保养要求,自动记录设备保养情况。此功能便于对当前月份的计划进行处理。保养工作流程见图 9.5。

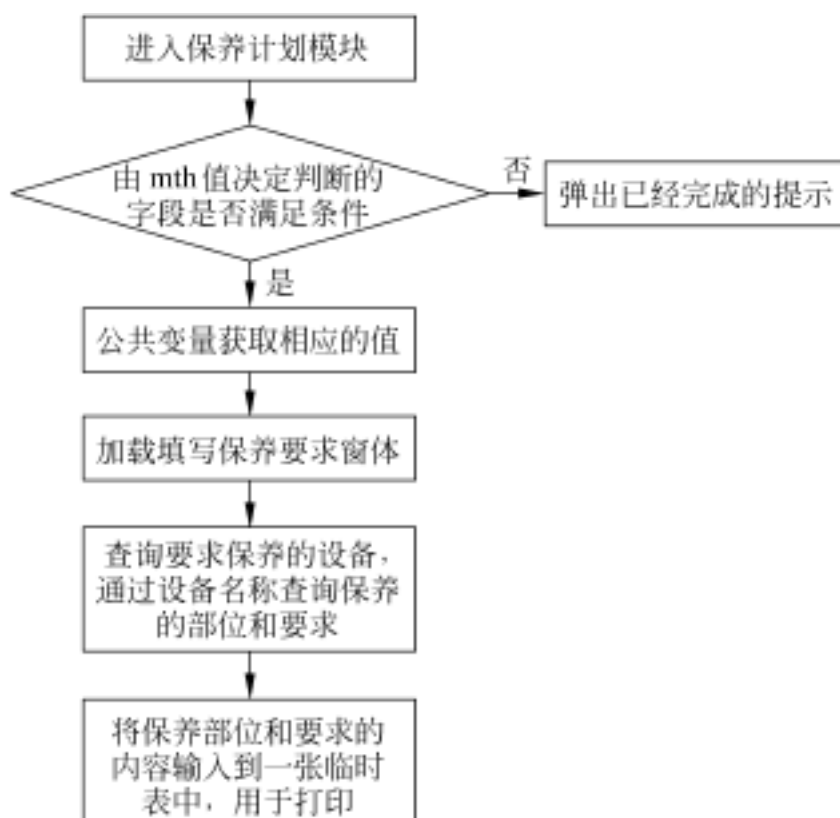


图 9.5 保养工作流程图

选择相关的设备,系统自动判断是否已经对此台设备做过计划,以免发生重复。如果没有做过计划,就可以对该设备做计划,并添加到数据库中。

二级保养子模块的功能是对企业中设备添加二级保养计划、修改保养计划、删除保养计划功能,并且能显示当月要求保养的设备,对设备填写保养要求,自动记录设备保养情况。

大修的功能是对企业设备添加设备大修计划、修改大修计划、删除计划,并且自动显示当前季度要求大修的設備,针对大修所做的各种调查工作,填写设备维修工作的记录表格。还有对各种维修技术资料的管理。大修模块的基本流程见图 9.6。

大修模块的工作流程是系统正常运行时,根据预先设定的条件调用大修决策知识库,判断是否应该进行设备大修,如果满足大修条件,则系统自动

生成大修工单,并存储在任务清单中,维修人员收到任务以后,执行大修并进行结果评估,最后将结果输入系统,并存储到大修信息库中,用来对以后的大修进行修正或补充。

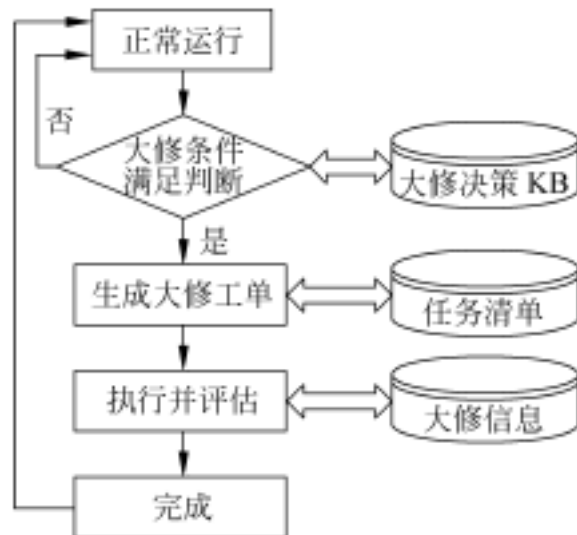


图 9.6 大修模块流程图

### 9.3 设备维护与管理软件系统

#### 9.3.1 系统总体目标

以整合规范设备维修业务流程,做好实施预防性维修体系的准备工作为目的,根据现代化管理的需求和目前的管理水平,加速各种业务信息的传输与反馈,逐步建立一个设备、故障、物料、工具、人事等与设备维护相关的各个方面的动态数据的收集、处理与控制的计算机管理系统。

根据实际需求,该系统提供一个基于网络的设备维护管理体系,能够实时实现设备的故障报修、维修日记的在线填写等维修业务的处理平台;对设备及其备件备料进行统一管理,信息准确并且一致;通过对维修业务的实时管理,实现对整个业务流程的监控,提高工作的协调能力;建立初步的智能辅助模块,对故障信息的收集实现一定的智能化;在上述目标的基础上,建立一个包括设备、物料、维护、人事等多功能的报告生成系统。

#### 9.3.2 系统功能

软件系统功能有:用户管理、资源管理(主要设备、辅助设备、备件、维修工具、供应商)、设备故障管理(设备故障信息管理、故障维修工作统计)、设备故障维护工作管理(设备故障报修、故障保修受理、维修日记)、维修决策(保养计划、保养内容、计划统计、计划汇总、计划执行)。系统结构如图 9.7 所示,网络架构如图 9.8 所示,系统功能结构如图 9.9 所示。

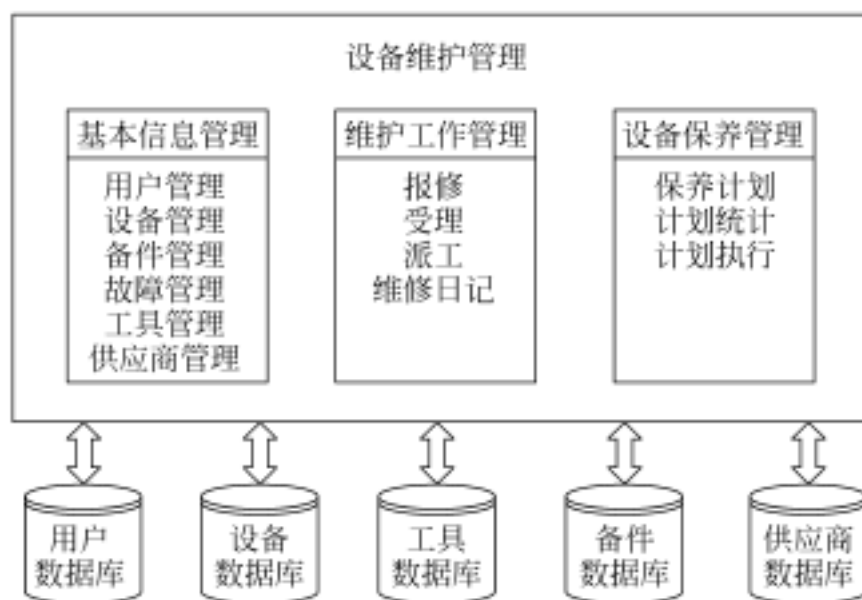


图 9.7 系统结构图

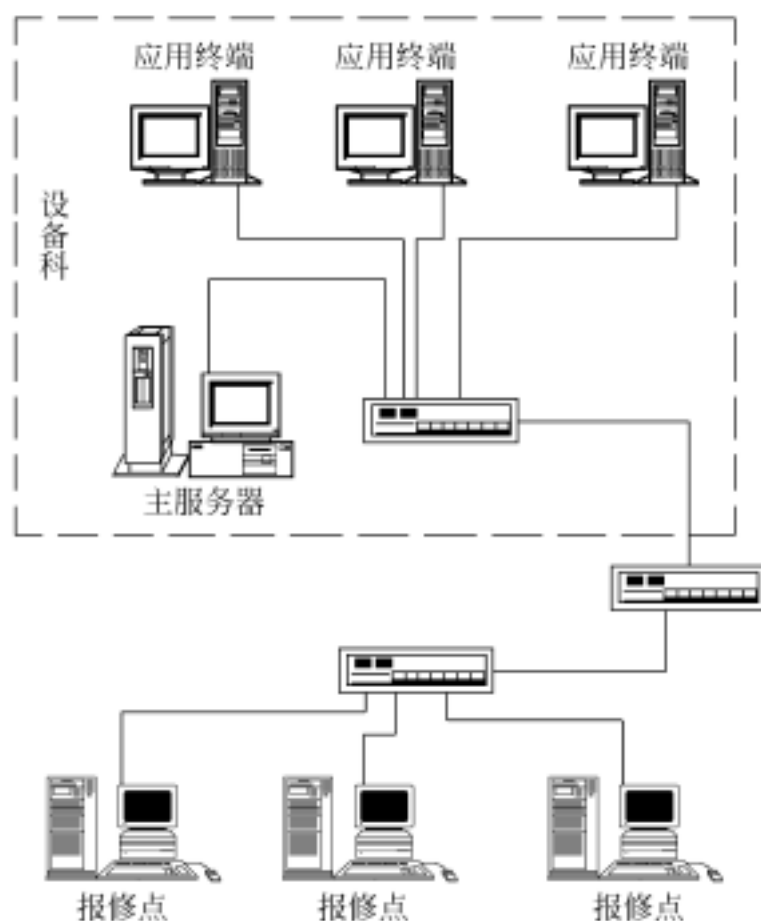


图 9.8 网络架构图

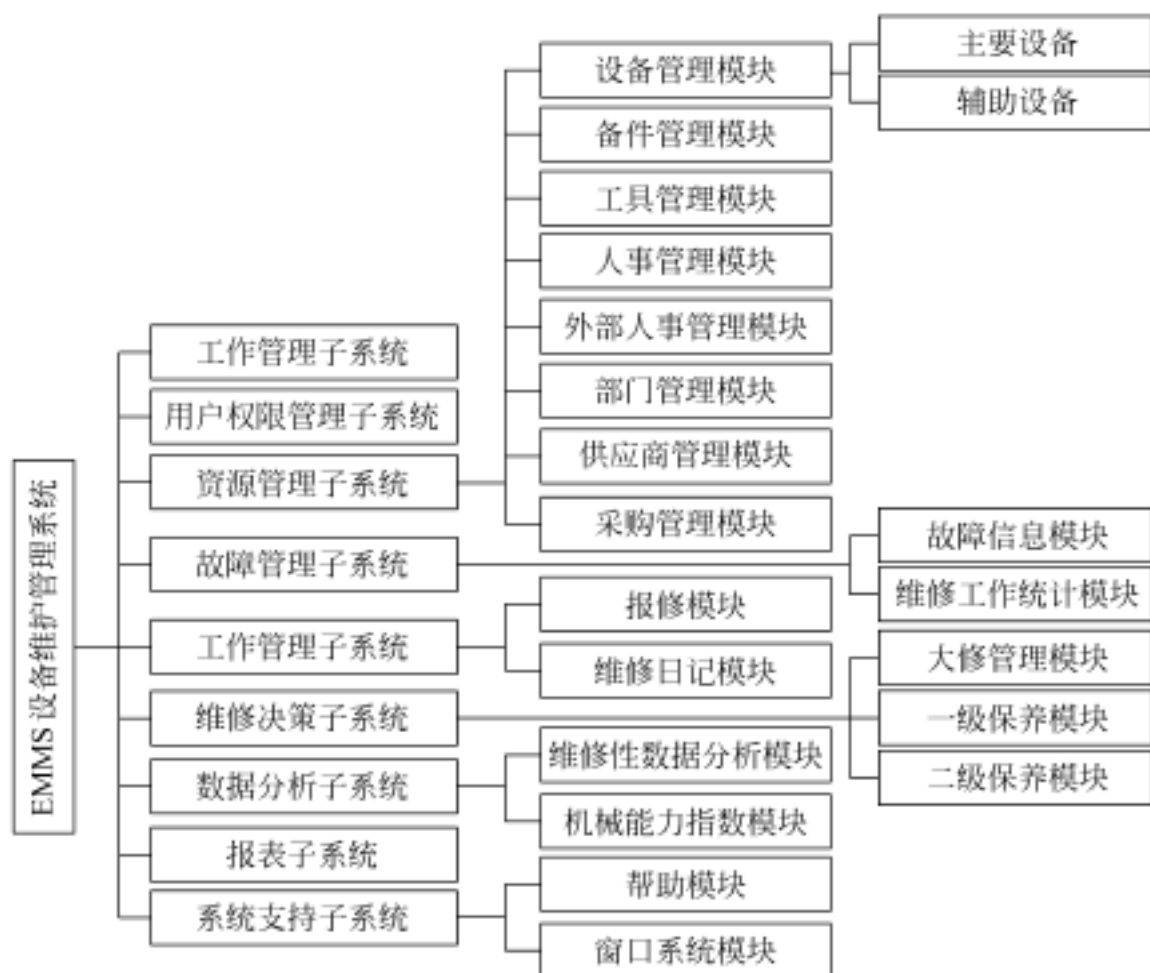


图 9.9 系统功能结构图

## 9.4 设备维护与管理应用

“系统管理”菜单选项的下拉菜单“用户管理”项,主要用来为系统用户分配访问权限。权限设置的对话框中由“内部人员”和“外部人员”选项来区分系统用户的身份类别,“内部人员”指维修人员,“外部人员”指除维修人员外对系统有使用需求的人员。在“用户ID”框中输入用户ID,或者在下边的“编号”框中输入用户编号,单击相应的确定后,右边出现设置框,系统默认账号和密码均为用户编号。然后单击权限下拉菜单进行权限选择,级别从低至高(1至6级)。图9.10所示为系统界面。

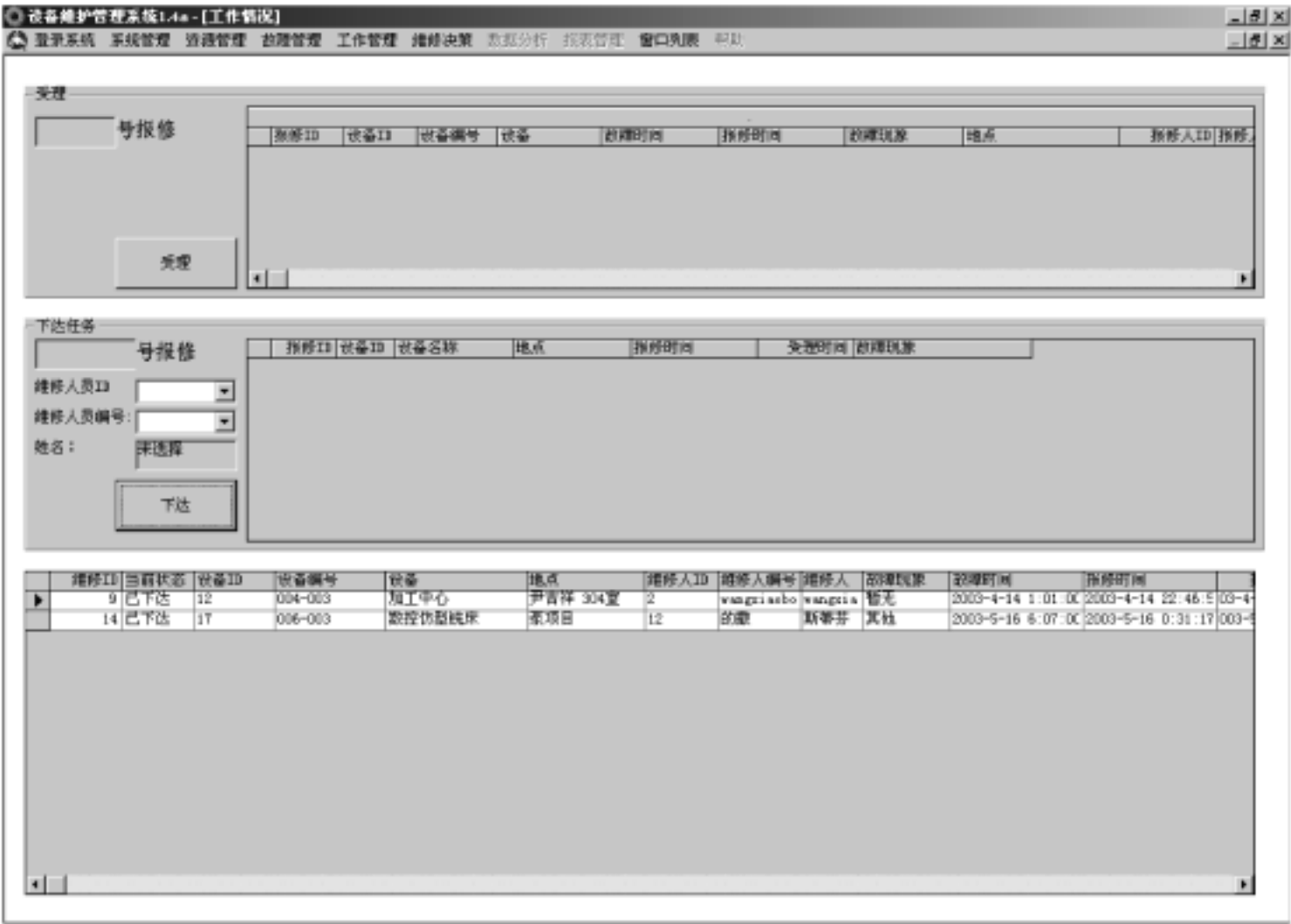


图 9.10 系统界面

### 9.4.1 资源管理

主要设备是指维持企业中日常生产运作的设备,打开“资源管理”菜单下的设备管理中“主要设备”选项,如图9.11所示。



图 9.11 设备管理界面

在图 9.11 的列表中按设备 ID 顺序依次列出了所有设备,在列表上方双击,可以重新排列顺序。查询功能中提供了 3 种查询方式。图 9.12 所示为按照 ID 查询,输入设备 ID 后单击相应的“查询”按钮,下方就会显示相应的设备资料,此时单击上方“修改资料”后,可以对设备资料进行修改。

除了按 ID 和设备编号进行查询外,还可以通过关键词进行查询。例如在“设备名称”的文本框中输入“铣”字(如果是多个关键字,则用“\*”将各个关键字连起来,单独输入“\*”则列出所有设备信息),然后单击相应的“查询”则出现图 9.13 所示的界面。

辅助设备是相应主要设备的附属设备,例如特殊的“机器人”等,为便于后边的工作,特与“主要设备”分开考虑。单击“资源管理”菜单中“设备管理”中的“辅助设备”后,出现图 9.14 所示的界面。其中,所属设备 ID 项目即其所属的“主要设备的 ID”。单击“查看备件”按钮后,可以查看辅助设备所对应的专用的备件资料。备件是维修工作的必备要素之一,设备运转必然会产生各种磨损,因此经常需要更换零部件,而待更换的零部件,通常称之为“备件”,对备件进行合理规范的管理对于提高维修工作效率有着非常重要的意义。在“资源管理”菜单项中单击“备件管理”就可以打开备件管理的主界面,如图 9.15 所示。

图 9.12 设备管理信息内容

ID	设备编号	设备名称	型号	规格	类别	用途	制造商	品牌	设备重量	尺寸	复杂系数	备	用
15	006-001	数控立式铣床	31715	500×2000	金切	主要	上海第四机床厂	047	7000		0	4	0
16	006-002	数控立式铣床	3136750		金切	主要	北京第一机床厂	96035	4000		0	3	0
17	006-003	数控立式铣床	3180		金切	主要	意大利DINOS ORELLI	134582	7500	48.0×42.0	0	3	0
42	009-001	钻床	313-4320	30	金切	主要	安徽黄山台钻厂	960046	210	06.1×05.5	0	0	0
58	009-001	钻床	3132A	875	金切	主要	江西重工业机床厂	6716	360	10.3×11.0	0	0	0
74	061-001	立式升降台铣床	3137	425×2000	金切	主要	上海第四机床厂	65-14	5100	02.9×02.5	0	2	0
75	061-002	立式升降台铣床	313025A	250×1120	金切	主要	浙江绍兴机床厂	88047	2100	01.6×01.2	0	2	0
76	061-004	立式升降台铣床	313032	320×1320	金切	主要	江苏机床厂	891007	2900	02.3×01.0	0	2	0
77	061-006	立式升降台铣床	313032	320×1250	金切	主要	北京第一机床厂	880432	2800	02.3×01.0	0	0	0
78	061-007	立式升降台铣床	313032	320×1250	金切	主要	北京第一机床厂	880814	3000	02.1×01.1	0	0	0
79	063-004	万能工具铣床	31130	300×750	金切	主要	北京机床厂	4513	1200	01.3×01.2	0	0	0
80	063-005	万能工具铣床	31150A	500×800	金切	主要	昆明机床厂	900388	3600	01.9×01.1			
81	063-001	数控万能工具铣床	318150B	500×900	金切	主要	昆明机床厂	680003	3000				
82	063-002	数控万能工具铣床	318150B	500×900	金切	主要	昆明机床厂	68001	3000		0	0	0
83	064-003	立式升降台铣床	3111V	250×1000	金切	主要	无锡第二机床厂		1600	01.5×01.0	0	0	0
84	064-004	万能铣床	57-3C	240×310	金切	主要	上海第七机床厂	80443	800	01.3×01.2	0	0	0
85	064-007	立式升降台铣床	3130V	400×1600	金切	主要	北京第一机床厂	840006	3800	02.0×02.0	0	0	0
86	064-008	立式升降台铣床	313025B	320×1250	金切	主要	长征机床厂	90006	3000	02.3×01.0	0	0	0
87	064-006	平面出口专用铣床	本标		金切	主要	上海华丰机床厂		2000	01.7×01.0	0	3	0
88	064-007	上下平面专用铣床	本标		金切	主要	上海华丰机床厂		2000	01.9×01.2	0	3	0
89	064-008	万能铣床	本标		金切	主要	昆明机床厂		2500		0	2	0
90	064-009	转向器专用铣床	本标专用	26025A铣床	金切	主要	上海华丰机床厂	99-331	0		0	0	0
91	064-002	多面铣床	本标		金切	主要	江西专用设备厂		0		0	0	0
94	064-003	铣床	本标		金切	主要	江西专用设备厂		0		0	0	0
95	064-004	铣床	本标		金切	主要	江西专用设备厂		0		0	0	0
114	069-001	平面铣床	本标		金切	主要	江西九三人大厂		0		0	3	2
115	069-002	平面铣床	本标		金切	主要	江西九三人大厂		0		0		
367	471-005	铣床	本标		专用	主要	江西九三人大厂		0		0		

图 9.13 设备查询界面

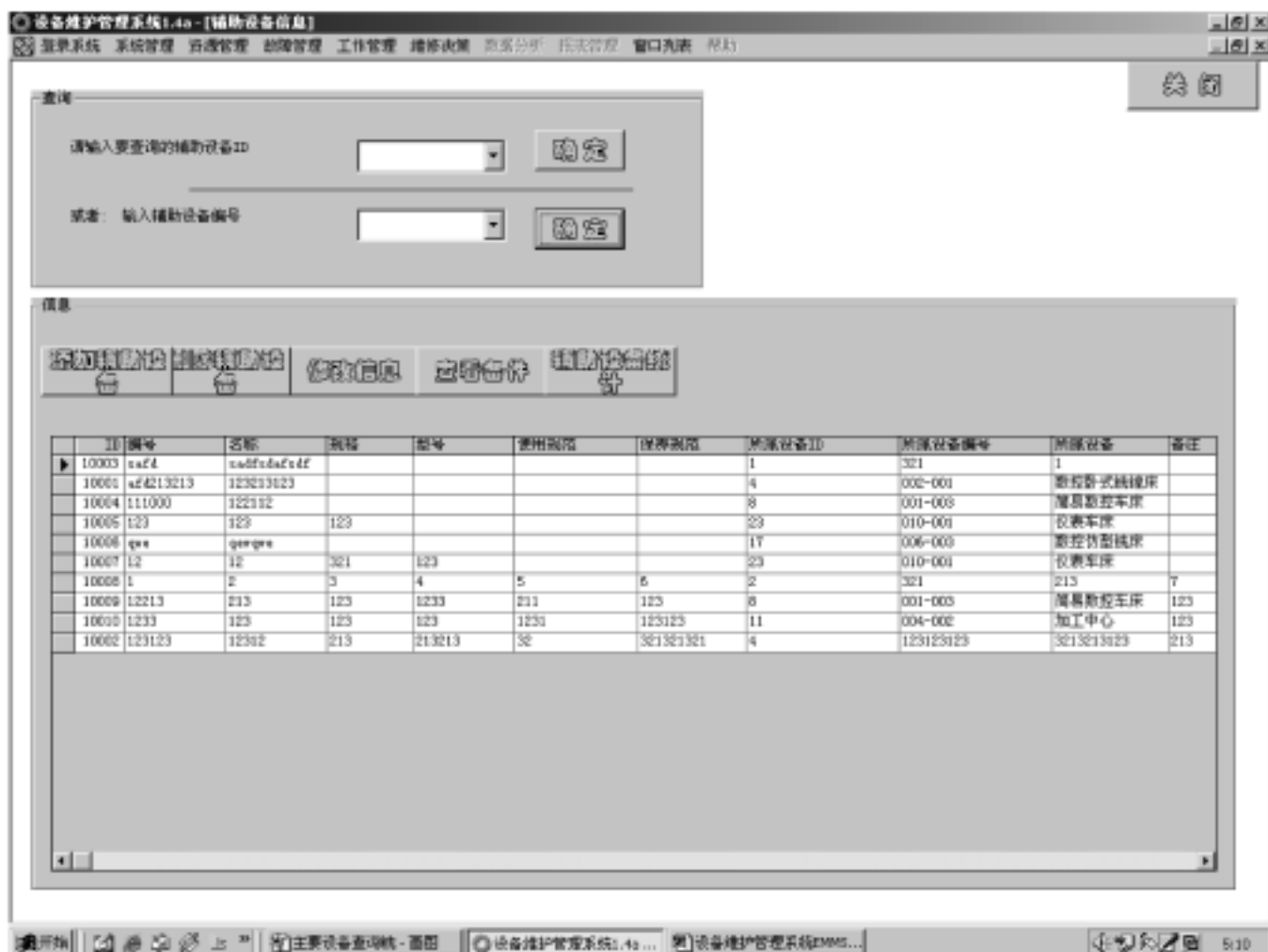


图 9.14 辅助设备信息内容界面



图 9.15 备件管理界面





单击故障信息管理界面右上角的“添加新信息”就可以进入信息添加界面(图 9.18), 进入后根据提示进行添加。在添加过程中,选择“子系统”时,如果选择了“其他”则下方会弹出输入框,可以在里边输入新的“子系统”名称。同样,在最后一步的“零部件”中可以选择“列表中没有”,也可以在下方的弹出框内填写新的零部件。不可探测度、严酷度、频数等根据提示选择。

设备维护管理系统1.4a - [故障信息管理]

① 确定 查询 关闭

第二步 (选择子系统及类别)

子系统(必选) 顶出系统 ② 确定

类别(必选) 电气类

第三步:填写故障信息

004-002加工中心 的 顶出系统 中 电气类 的零部件及其故障信息

选择零部件名称: 列表中没有 不可探测度: 2 检测方法: 正常操作过程中发现

填写新零件: 行程开关 失败原因: 达到使用寿命

填写该零部件故障: 磨损 频数: 4 局部影响: 无影响不精确

故障类型: 机械 严酷度: 3 最终影响: 无影响不精确

采取的措施: 更换新零件

备注: 备注

确定 取消

图 9.18 故障信息添加界面

维修工作统计是对已发生的故障维修工作进行一些统计,以发现工作中的瓶颈所在,便于提高工作效率。如图 9.19 所示,我们选择了按照“故障类型”进行故障统计,在下拉框中,可以根据故障编号和故障“名称”进行选择,选择完成后单击“确定”就可以进行统计。

### 9.4.3 维修工作管理

选择“工作管理”菜单项中的报修以后,弹出报修登录的对话框,提示输入账号和密码。按要求输入后出现故障报修界面,如图 9.20 所示。根据提示输入相关信息后,单击



图 9.19 故障统计界面



图 9.20 故障报修界面

“报修”按钮就完成了报修。

完成刚才的报修后,在简明界面上就会出现刚才的报修情况,如图 9.21 所示。选中报修项目后,单击左边的受理按钮,表示管理人员已经受理此项报修。在界面中部的“受理框”内出现该项报修,同时在下边的工作框内也出现该条信息,同时,在下边工作框内可以看出,当前状态为“已受理”,并且记录了受理时间。

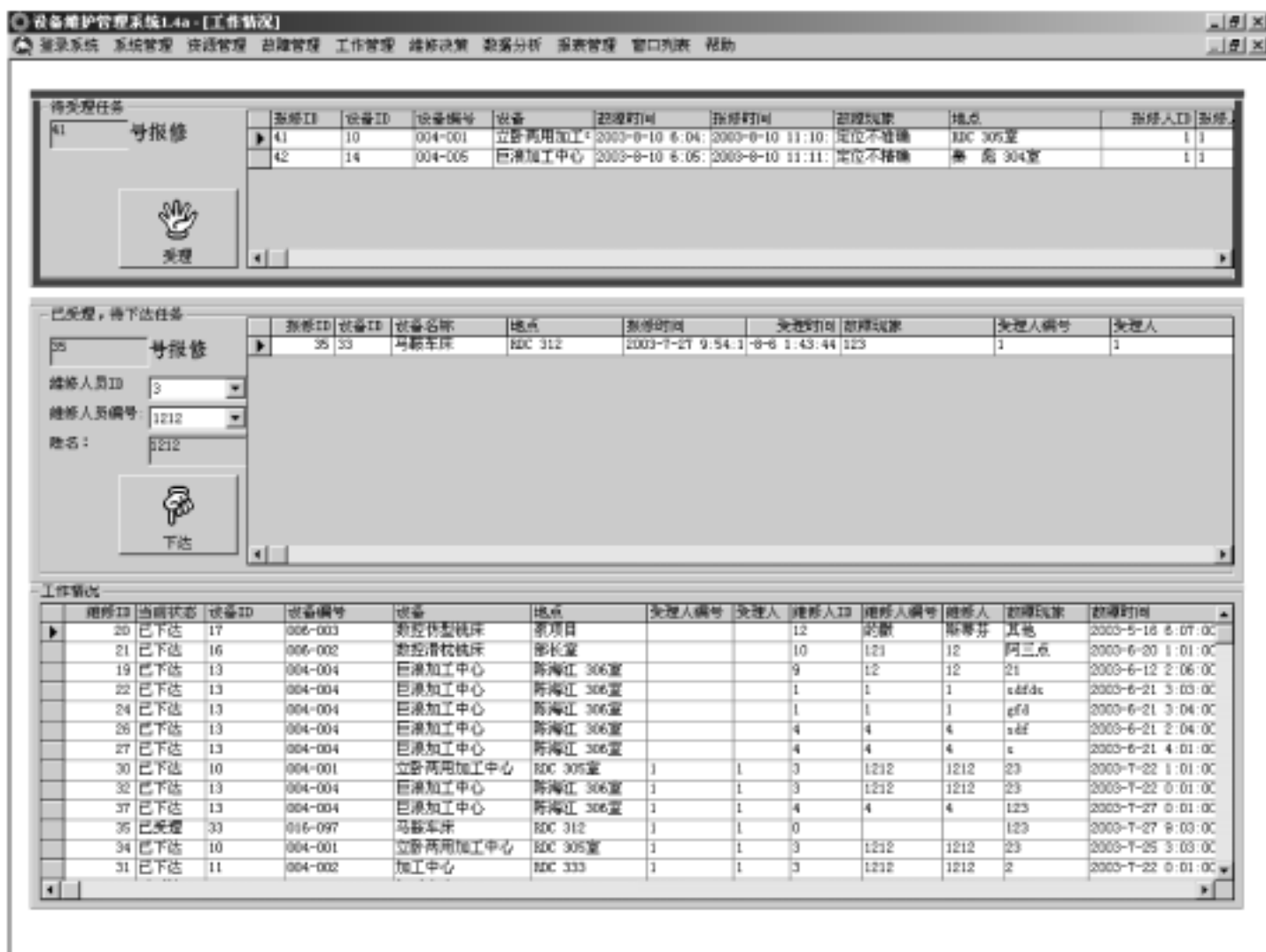


图 9.21 故障报修信息显示

受理以后的工作,可以下达给不同的维修工作人员进行解决。在下达框中先选中相应的工作,则显示“××号报修”下达,然后选择维修人员,选择完成后,单击“下达”,即将此项任务下达给维修工作人员,如图 9.22 所示。

如图 9.22 所示,下达后,35 号维修任务的“当前状态”变为“已下达”,维修人员为 11 号,同时故障报修受理框为空。前边已经将维修任务下达给维修工作人员,当维修工作人员完成了维修工作以后,就需要填写维修日记,将维修工作记录下来。维修日记填写界面如图 9.23 所示。根据提示将维修日记填写完毕后,主界面显示该项维修任务的“当前状

设备维护管理系统1.0a - [工作情况]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

待受理任务

号报修

受理

已受理，待下达任务

维修人员ID: 11

维修人员编号: 100024

姓名: 陈国梁

下达

报修ID	设备ID	设备名称	地点	报修时间	受理时间	故障现象	受理人编号	受理人
41	10	数控铣床加工中心	数控 305室	2003-8-10 11:10:10	2003-8-10 11:11:10	定位不准确	1	1
42	14	数控加工中心	数控 304室	2003-8-10 11:11:10	2003-8-10 11:11:35	定位不准确	1	1

工作情况

报修ID	当前状态	设备ID	设备名称	地点	受理人编号	受理人	维修人员ID	维修人员编号	维修人	故障现象	报修时间
20	已下达	11	数控铣床	数控 305室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-16 8:07:30
21	已下达	16	数控铣床	数控 305室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-20 1:01:00
19	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-12 2:06:30
22	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-21 3:03:30
24	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-21 3:04:30
26	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-21 3:04:30
27	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-21 4:01:30
30	已下达	10	数控加工中心	数控 305室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-22 3:01:30
32	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-22 8:01:30
37	已下达	13	数控加工中心	数控 306室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-27 8:01:30
35	已下达	33	马鞍床	数控 312	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-27 8:03:30
34	已下达	10	数控加工中心	数控 305室	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-28 3:03:30
31	已下达	11	加工中心	数控 305	12	陈国梁	11	100024	陈国梁	其他	2003-8-28 8:01:30

图 9.22 修理任务下达界面

设备维护管理系统1.0a - [维修日记]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

维修日记

No. 35 号维修

设备: 016-097 马鞍床

下达时间: 2003-8-10 11:13:52

维修日记

维修开始时间: 2003-8-10 2 时 2 分

维修完成时间: 2003-8-10 11 时 3 分

故障: 列表中没有 添加 列表中没有

故障现象: 电机过热

结果评估: 完成

备注: 备注

维修备件

备件ID: 本次维修未使用备件

备件编号: 本次维修未使用备件

备件: 044-001 044-001 044-001 044-001 044-001 044-001 044-001

维修工具

工具ID:

工具编号:

工具:

清单

取消

图 9.23 维修日记填写界面

态”为“已完成”。

#### 9.4.4 保养计划

保养计划如图 9.24 所示,可以对计划进行添加、查询、删除、修改的操作。具体操作比较简单,不做详细介绍。在选中某一设备的计划后(即左边的黑色小三角指在某设备上),双击,就可以打开该设备的保养内容与要求界面,也可以通过主菜单打开该界面。



图 9.24 保养计划界面

以下是对设备 ID 为 10 的设备一级保养内容与要求进行修改,如图 9.25 所示。

对保养计划的统计方式也有多种。单击保养计划统计界面(见图 9.26)左上角的“查看汇总表”按钮,可以查看全厂计划一级保养的汇总情况。如果打开汇总表以后再次修改了保养计划,则必须单击左上角的“查看汇总表”按钮进行刷新。设备保养后需经过调试,以检验保养工作是否合格(图 9.27)。执行情况是对已经完成的计划进行列表统计,如图 9.28 所示,并且在列表中双击会显示选中设备的保养内容与要求。

设备维护管理系统1.4a - [二级保养验收]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

No. 10 321 二月 二级保养计划验收

设备编号: 123 车间: 动转  
 设备名称: 321 小组:   
 型号: 123 操作者: 孙家荣  
 规格: 123 验收日期: 2003-8-10  
 保养类型序号: 15-电加工机床 验收人: 孙家荣

确定  
取消

保养内容

序号	部位	保养要求
1	主轴承	检查各转动零件及主轴承盖, 修复磨损件, 更换损坏的易损件
2	升降, 副轴和轴内衬	检查, 调整各转动零件, 修复磨损件, 更换损坏的易损件
3	升降, 副轴和轴内衬	检查各导轨面, 主轴承盖, 调整间隙
4	液压与润滑	清洗油路, 清洗或更换过滤器, 检查油质, 补充或更换油液
5	液压与润滑	检查液压及润滑系统, 检查各液压件动作是否灵敏, 调整系统工作压力, 使之工作正常, 并
5	液压与润滑	更换滤芯, 清洗, 修复精度, 达到产品工艺要求
4	精度	检查, 调整, 修复精度, 达到产品工艺要求
5	电气	检查电器箱及电器控制系统, 达到对外整站, 安全可靠
5	电气	检查电动机, 并补充或更换润滑油
000	000	制修: 孙家荣 审核: 周伟荣 编制: 曹德明 日期: 1998.12.22

验收情况:   
 备注:

图 9.25 保养内容界面

设备维护管理系统1.4a - [一级保养计划统计]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

设备维护统计

第一步: 请选择统计项目: 使用部门

第二步: 请选择项目内容: 办

使用部门: 办的一级保养计划的设备共有(5)台, 具体如下:

ID	设备ID	设备编号	设备名称	型号	规格	使用部门	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	备注
16	111	123-002	清洗机	QJ-90	江苏	办	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	详细写备注
17	125	125-002	开式数控台钻	300L-25	25T	江苏				●	●	●							详细写备注
18	127	125-011	开式数控台钻	400L-25	25T	江苏				●	●	●							详细写备注
19	161	212-023	单头行车	3T*1.5M	江苏	办				●	●	●							详细写备注
19	197	214-042	电动葫芦	2T*12	江苏	办				●	●	●							详细写备注

图 9.26 保养计划统计界面

设备维护管理系统 1.4a - [机械能力指数:cmk]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

设备ID: 17  
 设备编号: 006-003  
 设备名称: 数控仿型机床  
 预定日期: 2003-6-21  
 速度:(m/s)  
 S<sub>0</sub>= 44  
 S<sub>10</sub>= 4  
 S<sub>11</sub>= -4

计算结果:

计算

关闭

计算结果:

$1p=Total(S_{11})/S_0=0.0680$

$S=3\sigma(Total(S_{11}-S_{1p})^2/n)^{1/2}=0.2383$

$S_{\sigma}=3/4 \times S=0.9027$

$kp=(1/2 \times (S_0+S_{11})+S_p)/(1/2 \times (S_0-S_{11}))=0.0290$

$Cmk=(1-k) \times (S_0-S_{11})/(3 \times S_{\sigma})=1.0621$

Cmk < 1.67 不合格

测定:   
 审核:

填写测量数据:

44	44	44	44	44
44	44	44	44	44
45	45	45	45	45
46	46	46	46	46
45	45	45	45	45
43	43	43	43	43
43	43	43	43	43
42	42	42	42	42
48	43	43	43	43
43	43	43	43	43

图 9.27 设备维修分析界面

设备维护管理系统 1.4a - [二便保养执行情况]

登录系统 系统管理 资源管理 故障管理 工作管理 维修决策 数据分析 报表管理 窗口列表 帮助

关闭

接收单列表

注意: 在相应的行中双击, 可以查看相应设备的保养内容。

序号	车间	设备ID	设备编号	设备名称	操作者	日期	接收人	接收情况
1	321	123	1	123123	321	03-6-4 1:30:1	123	123
2	123	21	004-001	立卧铣床加工	1234	03-7-28 14:29	123	123
3	123	123123	004-001	立卧铣床加工	123	03-8-3 13:30	123	123
4	21	21	004-001	立卧铣床加工	21	03-8-5 16:56	21	212
5	1	1	004-001	立卧铣床加工	1	03-7-28 16:58	1	1
6	12	12	004-001	立卧铣床加工	12	03-7-3 17:00	12	12
7	11	11	004-001	立卧铣床加工	11	03-8-3 17:04	11	11
8	12	12	004-001	立卧铣床加工	12	03-8-2 17:04	12	12
9	2	2	123	321	2	03-8-6 7:38	2	2

Microsoft Word - 图...

设备维护管理系统 1.4...

0.18

图 9.28 设备保养计划界面



如图 9.29 所示,现选择保养的设备信息,如果选中列表中没有内容和计划,则会自动弹出添加计划和内容的窗口。按照要求填写好保养计划执行情况后,单击“验收”按钮就完成验收。

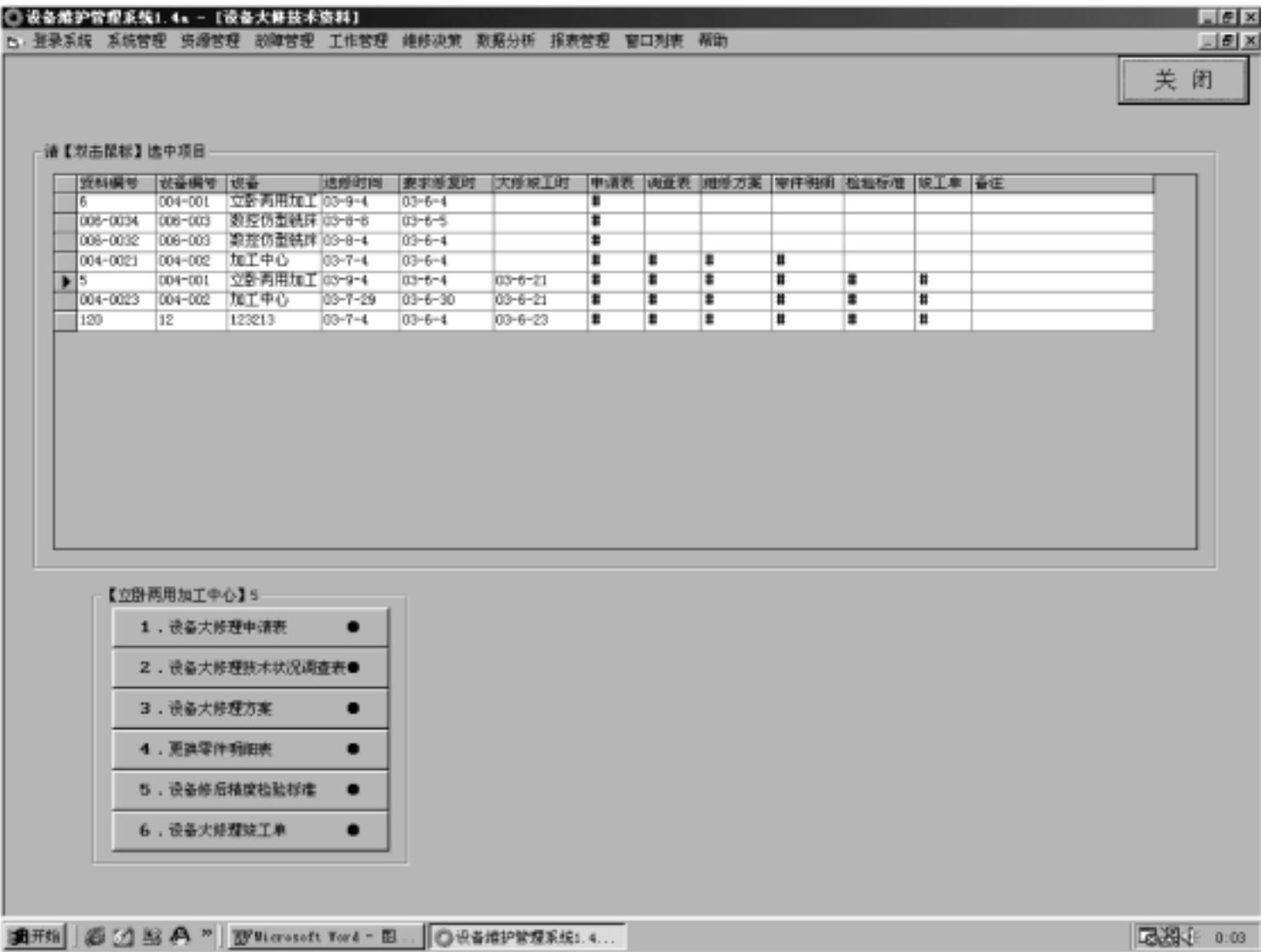


图 9.29 设备大修验收界面

系统有许多输出表单,如表 9.1 ~ 表 9.7 所示。

表 9.1 设备一级保养计划

EMMS 设备维护管理系统															
总页数:11															
当前页:1															
设备一级保养计划															
序号	设备编号	设备名称	型号	规格	使用部门	月 份									
						一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
1	471-056	水泵上腔装置		非标	泵类		.			.		.		.	
2	129-014	水泵轴承壳专用压机		非标	泵类			.		.		.		.	
3	129-015	水泵轴承壳专用压机		非标	泵类	.		.		.		.		.	
4	129-016	水泵叶轮专用压机		非标	泵类	.		.		.		.		.	
5	471-054	水泵总成密封试验台		非标	泵类		.			.		.		.	
6	471-055	水泵壳密封试验装置		非标	泵类	.		.		.		.		.	
7	471-057	轴承壳密封试验装置		非标	泵类		.			.		.		.	
8	044-003	轴承壳加工专机		非标	泵类	.		.		.		.		.	
9	089-014	水泵壳加工专机		非标	泵类	.		.		.		.		.	
10	061-017	立式升降台铣床	XA5032	320 * 1250	动转		.			.		.		.	
11	815-061	保温炉			动转		.			.		.		.	
12	061-014	立式升降台铣床	X5032	320 * 1320	动转	.		.		.		.		.	
13	815-057	电阻保温炉	7110-11	300kg	动转	.		.		.		.		.	
14	061-012	立式升降台铣床	X5025 A	250 * 1120	动转	.		.		.		.		.	
15	018-012	转向器壳体车削专用	非标专用	C6132 车床改装	动转		.			.		.		.	
16	016-099	普通车床	C6140D	400 * 1000	动转	.	.			.		.		.	
17	844-004	台车式烘箱(时效炉)	NCL85-4	45kW	动转	.		.		.		.		.	
18	829-001	铝合金淬火炉	NCL96245	150kW	动转		.			.		.		.	
19	815-062	保温炉			动转	.		.		.		.		.	
20	016-085	普通车床	C6140D	400 * 1000	动转	.		.		.		.		.	
21	322-034	金属型铸造机	J318		动转		.			.		.		.	
22	069-009	转向器壳体粗铣专用	非标专用	X6025A 铣床改装	动转	.		.		.		.		.	
23	085-007	立式带锯床(SGM)	G5132		动转	.		.		.		.		.	
24	129-013	四柱液压机	YH32-10	10T	动转		.			.		.		.	
25	230-001	悬挂输送链	QXT200		动转	.		.		.		.		.	
26	322-012	金属型铸造机			动转	.		.		.		.		.	
27	322-015	金属型铸造机			动转		.			.		.		.	
28	819-017	煤气熔化炉		0.75T	动转	.		.		.		.		.	
29	322-030	金属型铸造机	J366		动转	.		.		.		.		.	
30	815-056	电阻保温炉	7110-11	300kg	动转	.		.		.		.		.	
31	322-039	金属型铸造机	J318		动转	.		.		.		.		.	

表 9.2 设备一级保养内容和要求

EMMS 设备维护管理系统

## 01—普通车床 一级保养内容和要求

序号	保养部位	内容和要求
1	外表	检查补齐螺钉、螺母、手柄球、油杯 擦拭丝杆、光杆、操纵杆和齿条 擦拭机床外表、罩壳及附件,达到内外清洁,无锈蚀、黄袍
2	主轴箱	变速手柄定位是否准确可靠,检查主轴锥孔有无毛刺 检查调整摩擦片及制动器 检查主轴系统运转是否正常
3	挂轮	调整齿轮啮合间隙 拆洗齿轮和轴套
4	刀架,溜板及导轨面	拆洗中小溜板、丝杆、螺母、刀架及塞铁,调整间隙 检查导轨面,去除毛刺
5	尾架	拆洗丝杆、顶尖套,达到内外清洁无毛刺
6	润滑及冷却	清洗冷却泵、冷却箱及过滤器 清洗油线、油毡和过滤器
7	电气	检查接地是否安全可靠 擦拭电动机及电器箱,达到内外清洁

批准:                  审核:                  编制:                  日期:

表 9.3 设备一级保养验收单

EMMS 设备维护管理系统

## 设备一级保养验收单

车间:            缸盖:            小组:		
设备编号	设备名称	操作者
952-046	单机除尘器	
<p>保养内容: 1: 铲除风叶表面积存物, 保持运转正常              2: 调整三角皮带松紧装置              3: 清除布袋内的积存物              4: 检修电动机, 加注润滑油              5: 紧固管道及通风设施的螺栓</p>		
<p>验收情况: 以上几项保养内容均已保养, 经检查符合要求。</p> <p style="text-align: right;">验收人:</p>		
<p>备注:</p> <p style="text-align: right;">日期: 2004 年 1 月 13 日</p>		

表 9.4 设备大修计划

EMMS 设备维护管理系统

## 设备大修计划

总页数: 2

当前页: 1

序号	部门	设备编号	设备名称	停机时间 / 天	计划大修时间 / 天	自修或外修	预算金额 / 万元
1	泵类	044-033	轴承壳加工专机	30	4	外修	10
2	泵类	089-014	水泵壳加工专机	30	4	外修	15
3	动转	085-007	立式带锯床(SGM)	20	1	自修	0.8
4	动转	129-013	四柱液压机	35	4	外修	15
5	动转	322-015	金属型铸造机	30	7	外修	20
6	动转	815-002	非标准电阻炉	7	4	外修	1
7	动转	819-017	煤气熔化炉	30	4	外修	20
8	缸盖	322-016	金属型铸造机	15	4	外修	10
9	缸盖	322-031	铸造机(附模具)B5	15	4	外修	10
10	缸盖	325-008	壳芯机	30	4	外修	20
11	缸盖	325-017	壳芯机	30	10	外修	20
12	缸盖	325-021	壳芯机	15	7	外修	15
13	缸盖	325-022	壳芯机	15	7	外修	15
14	缸盖	471-019	水密封检测机	10	1	外修	8
15	缸盖	815-001	非标准电阻炉	7	1	外修	1
16	缸盖	815-043	保温炉	7	7	外修	1
17	缸盖	815-051	淬火炉 B5	7	4	外修	3
18	缸盖	819-012	煤气熔化炉	30	10	外修	30
19	缸盖	819-016	煤气熔化炉	30	7	外修	30
20	机加	004-002	加工中心	45 天	3	外修	30
21	机加	004-003	加工中心	45 天	12	外修	30
22	机加	004-004	加工中心	60 天	12	外修	50
23	岐管	069-013	铣斜面组合机床(SG)	20	1	外修	5
24	岐管	069-014	铣平面组合机床(SG)	20	1	外修	5
25	岐管	322-004	金属型铸造机	20	1	外修	10
26	岐管	322-026	上进气岐管铸造机	15	4	外修	10
27	岐管	325-015	壳芯机	30	4	外修	10
28	岐管	325-029	冷芯机	7	7	外修	30
29	岐管	815-048	保温炉	7	10	外修	1
30	岐管	819-018	煤气熔化炉(2VQS)	30	4	外修	20
31	岐管	849-001	焙烧炉	30	4	外修	30
32	岐管	无编号	三乙氨风机	3	1	自修	5

表 9.5 设备大修申请表

EMMS 设备维护管理系统

设备大修申请表

部门

RDC

设备编号：004-005

设备名称：巨浪加工中心

型号 规格：FZ12W

复杂系数：0/ 4

出厂编号：

制造厂名：Germany Chiron

出厂日期：

投产日期：

上次大修日期：2003-6-4

主要用途：

计划送修日期：2003-11-4

要求修复日期：2003-12-4

1 导轨：

2 传动：

3 润滑：

4 精度：

5 电气：

6 附件：

特殊要求：

设备科长：

设备员：

鉴定结论：

调查小组：

设备科意见：

生产部意见：

备注：

表 9.6 设备维修时间分布图

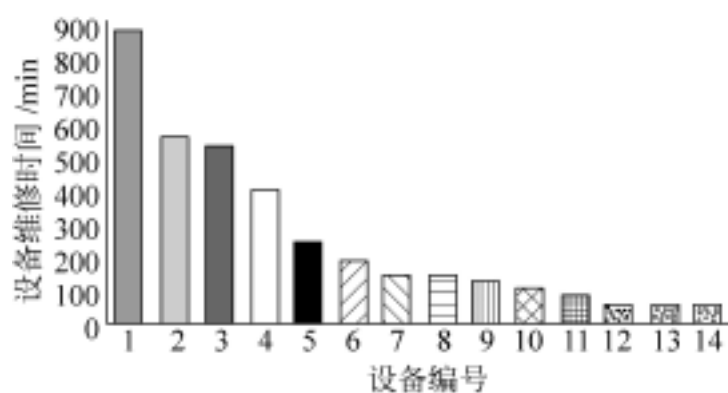
EMMS 设备维护管理系统

## 设备维修时间分布图

总页数: 1

当前页: 1

日期: 2004 年 8 月 11 日

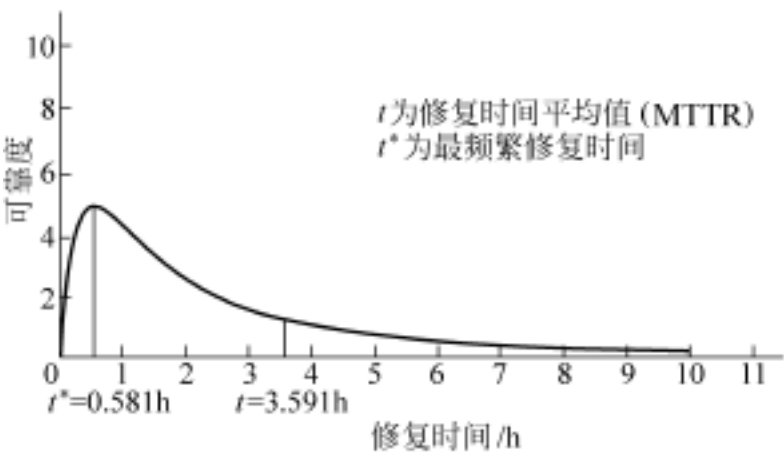


- 1 : 322-000 金属型铸造机 885min
- 2 : 325-012 射芯机 570min
- 3 : 325-007 射芯机 540min
- 4 : 325-021 光芯机 405min
- 5 : 325-005 射芯机 250min
- 6 : 322-025 金属型铸造机 185min
- 7 : 325-022 光芯机 150min
- 8 : 322-011 三工位铸造机 150min
- 9 : 325-026 冷芯机 120min
- 10 : 322-024 金属型铸造机 110min
- 11 : 322-023 自动浇注机 90min
- 12 : 325-032 冷芯机 60min
- 13 : 323-127 混砂机 60min
- 14 : 323-126 混砂机 60min

表 9.7 设备维修性分析结果

EMMS 设备维护管理系统

设备维修性分析结果



设备：004-002: 加工中心  
分析时间段: 2002-8-10 10:00:20 到 2004-8-11

维修平均时间 (MTTR)	3. 59
维修时间最频值	0. 56
无故障平均运行时间 (MTBF)	333. 52



# 10

## 船厂埋弧焊作业工作研究

### 10.1 埋弧焊工作现状描述

埋弧自动焊(在工厂中又简称为自动焊)是一种常见的焊接方法,焊接效率高。在船厂的曲面中心,它通常用作不开坡口的水平位置 8mm ~ 12mm 板的双面埋弧焊对接,和 CO<sub>2</sub> 打底的水平位置对接焊缝的填充、盖面焊接。下面以船厂使用较多的某型埋弧焊焊机为例研究埋弧焊的操作过程。

船厂每台埋弧焊机的操作工定员是 2 人,而在现场实地考察时,有时有 3 个人,甚至 4 个人同时操作一台焊机。虽然人数较多,但往往技术水平不高,焊接过程经常中断,且经常需要返工,完全不能发挥埋弧焊应有的工作效率。按照精益生产中工时的概念,每天有计划的工作量需要确定的工人人数和确定的消耗工时来完成,每个上岗的工人必须达到并超过上岗所需要的日工作量,才能获得施工资格。而这些人,本身就超过企业现有定员标准,根据他们工作中反映出的技术水平,需要更多的时间、更多的消耗来完成相同的工作量,焊缝质量还不一定能得到保证。如此工作,即使不考虑效率问题,单是工作的计划节点就无法保证,只能在节点到来前组织临时的突击加班,这样从总体上看生产是脉动的、不稳定的、低效的。这虽然是在研究埋弧焊操作时反映出的问题,但类似的情况在船厂的其他专业工作中同样存在。因此,要求船厂在录用新员工(包括外包工)时,既要对工人的工作质量进行考核,也要对工人的日生产能力进行考察,达不到能力标准的不能参加现场施工。这里所提到的情况虽然具有一定的代表性,但却属于非正常的工作状态。下面以工作连续、稳定的两人一机的工作方式为准,介绍埋弧焊的工作过程。

从现场观察的情况看,船厂埋弧焊作业所用的工具有埋弧焊机、轨道(2m × 1.8m)、平嘴钳、标尺、焊丝盘、焊剂桶、垃圾桶、笤帚、铁簸箕。埋弧焊作业定员为 2 人,一个为上手,另一个为下手。当焊接一道焊缝时,现场的操作方式通常包括以下步骤:

(1) 由下手将一块轨道拿至焊缝起始位置,放于焊缝一侧约 1 标尺距离处。(注:这

个标尺是由工人根据经验自制的,它可能是一根折弯的焊条,也可能是一小块钢条,它的长度为通常焊接时轨道距焊缝中间的距离。)

(2) 两人合力将焊机拖到焊缝的起始位置,并将之置于轨道上。

(3) 反复将小车置于轨道一侧,调整轨道另一侧。调整时以标尺为基准,直至轨道两端近焊缝侧到焊缝中间的距离都为标尺长度,移动小车,使焊嘴处的焊丝对准焊缝起始位置。

(4) 上手打开焊剂阀门预堆焊剂,同时检查焊机下漏是否流畅,流量是否满足焊接的需要。

(5) 上手按动开关,开始焊接。在焊接初期,需要根据情况调节规范,在焊出 15cm ~ 20cm 后,焊接基本稳定,上手只要根据情况偶尔对焊机进行一些调整即可;在焊接过程中,下手负责清理焊渣、回收焊剂、往焊剂盒内补充焊剂,以及去烘箱内用焊剂桶取用焊剂和铺设轨道,如焊接过程中碰到焊丝用完,还要负责从焊机房中搬来焊丝,并配合上手更换焊丝。

从以上步骤可以大概看出两操作人员的分工:上手主要负责与焊接质量直接相关的操作,而下手配合上手做些辅助工作。总的来说,焊接过程中两操作人员的空闲时间偏多,焊机的利用率也不高,这可以从下面的实测人机图(图 10.1)中看出。两个人的时间利用率分别为 30.36% 和 67.25%,焊机的时间利用率为 44.29%。这个图是根据现场一组操作人员的实际工作情况绘制的,仅反映此种操作方法下人、机的时间利用率,其时间值并不一定具有普遍的代表性。

## 10.2 埋弧焊作业工作单元提取

从图 10.1 中不难看出,通过作业改善,完全存在 1 人操作 1 台焊机的可能。通过大量的观察发现,埋弧焊作业是由埋弧焊机的连续焊接和操作工的一系列相对稳定的操作内容构成的,见表 10.1。这些从图 10.1 中也有所反映。

下面利用工作研究的方法对表 10.1 列出的所有单元操作逐一进行研究。

操作 1 和 8: 焊前移动轨道和焊中铺设轨道。其操作都由 3 部分组成:取轨道、移动轨道和对准轨道。取轨道是指从操作工前一时刻站立的位置出发走到目标轨道中间位置。这段动作的完成与操作工前一个工作完成后身体处于的位置有关,因此这部分动作的优化,只有在整体安排焊接过程中工作的顺序时,统一作路径规划。移动轨道除了两次弯腰动作之外,区别的只有行走的距离。在焊前移动轨道中,如果是单条焊缝的多道焊,移动距离就等于焊缝长度与 2 倍轨道长度之差;而对于在两条焊缝之间移动的情况,移动距离可以在工作设计阶段,对焊缝焊接的顺序进行规划,从而求得最短的移动距离,以减少一批埋弧焊焊接作业中这一操作的总耗时。在操作 8 中,行走的距离就等于 2 倍的轨

道长度,即 3.6m。对准轨道是通过类似表 10.1 中操作 4 中的方法,反复对准轨道两端来最终实现的。由于这种方法在对准一端时另一端也会移动,因此对准麻烦,耗时长。因此可以考虑改多次对准为一次对准。具体说,在焊前用标尺沿焊缝一侧,每隔一定距离,预先作好标记,对准时只要目视对准后放下即可,无需再作调整。其中划线操作可以成为焊前准备的一个独立操作,连续作业时可以在前一个焊缝焊接过程中进行。



图 10.1 2.3m 平对接缝埋弧焊作业实测人机图

表 10.1 现有的埋弧焊作业中人的操作内容列表

代号	操 作 内 容	详 细 操 作
1	焊前移动轨道	将一块轨道拿至焊缝起始位置,放于焊缝一侧约 1 标尺距离处
2	移动焊机	将焊机拖到焊缝的起始位置附近
3	搬焊机上轨道	将焊机移至轨道上远焊缝起始位置端
4	焊前轨道定位	反复将小车置于轨道一侧,调整轨道另一侧。调整时以标尺为基准,直至轨道两端近焊缝侧边缘到焊缝中间的距离都为标尺长度,移动小车,使焊嘴处的焊丝对准焊缝起始位置
5	预盖焊剂	打开焊剂阀门预堆焊剂至合适高度、宽度,同时检查焊机下漏是否流畅,流量是否满足焊接的需要
6	焊初调节规范	按动开关,开始焊接。在焊接初期,需要根据情况调节规范,在焊出 15cm ~ 20cm 后,焊接基本稳定
7	清理焊渣,回收焊剂	隔一段时间用笤帚和铁簸箕将焊渣掀起,将之投入垃圾桶中。之后,清扫剩余焊剂,并将之回收于焊机上的焊剂盒中
8	焊中铺设轨道	在小车走完一块轨道之前,将另一块轨道拼在其末端,用标尺保证其位置的准确
9	移动焊剂桶	将焊剂桶以清理焊渣的周期向焊接方向步进移动
10	移动垃圾桶	将垃圾桶以清理焊渣的周期向焊接方向步进移动
11	补充焊剂	当焊剂盒内焊剂少于一定程度时,从焊剂桶中补充焊剂
12	领焊剂	焊剂桶中焊剂用完时,到烘箱处领焊剂
13	换焊丝	到焊机房搬焊丝到焊机处,将新焊丝装到焊机上,送至焊嘴处露出合适长度
14	领焊丝	当焊机房内焊丝用完后,由焊工到焊丝房领取焊丝
15	整理电缆	为防止电缆影响小车的正常行走,要将电缆归于合适的位置
16	架设轨道支撑物	当轨道跨越钢板上的洞或处于焊缝末端时,必须在合适位置预先架设轨道支撑物,以保证焊接过程连续、稳定
17	处理焊接中断	焊接中有时由于偶然原因,焊接过程突然中断,需要作简单处理后,在中断处重新引弧开始焊接。(此单元操作最后包括单元操作 5 的内容)

操作 2 和 3: 移动焊机和搬焊机上轨道。这两个操作都由人力完成, 由于埋弧焊焊机重量大, 劳动强度大, 耗时长, 由此, 考虑用半门吊移动焊机, 并在下落时直接落在轨道上, 这样既降低了劳动强度, 又缩短了作业时间。只是要保证行车能及时到达作业地点, 否则反而会因为等工而使这个改进失去意义。因此, 在行车被占用时, 由操作者本人人工移动焊机。

操作 4: 焊前轨道定位。不同的操作工操作时间差别较大, 原因在于: 焊机上轨道之前, 焊机与轨道没有基本在一条直线上; 轨道中间下凹, 人站在轨道上, 拉动焊机时很容易把轨道碰歪。针对这两点, 注意以下操作要点: 定期矫正轨道, 确保轨道平整或略有上凸; 小车上轨道之前, 应尽量调整小车位置使车轮方向与轨道直线方向重合; 上轨道时, 轻抬焊机一端, 使其一端两只轮子先搭在轨道上, 期间注意用一只脚踩在轨道上, 起到固定作用; 推焊机使其后轮靠于轨道边缘, 抬起后轮前送, 使后轮也卡在轨道上。

操作 7: 清理焊渣, 回收焊剂。现场情况是焊机焊一小段, 下手就随之清理一点, 这样每次清理的量少, 反复多次的起身、下蹲、倒渣等动作, 使操作时间大大增加。另外, 清渣过早也会造成焊缝区的氧化。因此, 减少本操作的工作频率, 增多每次清理的工作量, 以减少每道焊缝中操作 7 的总耗费时间, 减少工人的无效劳动, 降低工人的劳动强度。具体频率结合焊接中的其他操作经综合考虑确定。

操作 9 和 10: 移动焊剂桶、垃圾桶。在现有的工人操作方法中, 要么是几乎将它们“随身携带”, 每清理一次就将它们移动一次; 要么是一直放在一个地方, 直到自我感觉太远了, 才把它们提回焊机附近。前一种方式中垃圾桶的移动无可非议, 但焊剂桶的移动则没有必要。我们知道, 移动一次焊剂桶的过程由 4 部分组成: 无负重行走、弯腰拎起、负重行走和放下, 其中负重行走部分在开始和结束阶段都有加速、减速过程。如果要将焊剂桶移动同等长度, 但采用分段移动和全程移动两种方式, 那么分段移动方式不但比全程移动方式多了几组弯腰拎起、放下的动作, 而且由于负重行走的加、减速, 使其不但在平均移动速度上低于全程方式, 而且能耗也比全程方式大。因此, 对于焊剂桶应该只有在焊剂盒中需要补充焊剂时才从前一位置移动它; 而垃圾桶则是每清理一次就要相应移动一次。

操作 11: 补充焊剂。原来仅指在焊剂盒需要补充时, 操作工拎起身边的焊剂桶添满焊剂盒, 然后放下焊剂桶的过程。但在上面由于将移动焊剂桶的移动方式由“随身携带”变成按需移动, 因此可以将操作 9 合并于本操作中, 这样补充焊剂操作就包括取焊剂桶和添加焊剂两部分内容。取焊剂桶的时间可以通过焊剂的耗用速度统计出。添加焊剂的时间可以通过多次测量统计出来。

操作 13: 换焊丝。指将新焊丝换到送丝机上。现在的做法是先把空焊丝盘拆下, 在将焊丝装入焊丝盘中后, 再将焊丝盘装上焊机。改进后的做法是准备两个焊丝盘, 一个是焊机上在用的, 一个是备用的, 在焊接进行中人空闲时, 预先将焊丝装于焊丝盘中, 这样, 在焊丝用完后, 可以直接将新焊丝盘换到焊机上, 换下的空焊丝盘成为备用, 然后送丝至

焊嘴处露出合适长度。

操作 15: 整理电缆。现有的操作方式是电缆形状焊前基本保持移动焊机时形成的自然形状,只有在发现电缆影响小车移动时,才把电缆移开。这样,在各种操作周期化安排时,容易因这种偶然操作的需要而影响其他操作的正常进行,因此,在改进后的埋弧焊操作方式中,电缆应定期整理。可以考虑与操作 8 合并成一个工作,即在焊机完全行走道下一轨道,需要铺设腾出轨道时,一手拿起轨道,同时另一只手拿起身侧电缆,往焊接方向行走 2 倍轨道长度,尽量拉直电缆,先放下后再转身铺设轨道。

操作 16: 架设轨道支撑物。其操作时间与走动的距离、环境和支撑工装有关。环境是由工作所在地决定的,建造工法确定后,基本无改动可能。距离方面,可以通过在焊机距架设工装位置一定距离时开始本步骤操作来确定,这个距离包括获取支撑工装的移动距离和移动支撑工装的距离。现有的支撑工装是铁架和不同厚度的木块,最好能换成连续可调的专用支撑工装,即使不能也应根据各工作情况预先将合适高度的架子或木块准备好,以减少操作人员寻找合适工装的时间。

焊接中断,在操作人员技术水平不高或轨道悬空处未支撑稳固时,出现频率大幅度增加。因此,提高工人技术水平和辅助工作的工作质量是减少焊接中断的主要手段。另外,焊接中断有时也是由于焊剂颗粒掉入焊丝与导电嘴之间,引起电流中断造成的。因此应有装置绝对阻止焊剂颗粒落入。这里推荐一个小技巧,可以在焊丝插入导电嘴之前,在导电嘴上放一硬纸片,送丝,令焊丝穿过,这样纸片于焊丝之间结合紧密,而纸片又盖在孔上,这样由焊剂盒漏出的焊剂颗粒很难进入导电嘴与焊丝的间隙。

操作 5 和 6 的现有操作程序已比较合理,所需的工作就是标准化,制定时间标准。操作 12 和 14 应该从焊工的工作内容中除去,因为这样单个领取会造成大量的时间浪费,不经济,应组织专人配送。

这样,经过分析就可以把埋弧焊作业中人的工作分成表 10.2 所示的 14 项操作内容。这些操作工作内容稳定,工作时间或确定,或能够稳定在一个可接受的范围内,或能够通过推导出的公式计算。我们把这些具有相对稳定的操作内容称为工作单元。

表 10.2 埋弧焊作业工作单元列表

代号	工作单元	详细操作
1	划线	用石笔每隔约 1.5m 作一标记,其距焊缝中间 1 标尺长
2	焊前移动轨道	从焊缝末端走向焊机所在位置,将一块轨道拿至焊缝起始位置,并使近焊缝边与标记对齐
3	移动焊机	从轨道处走向焊机所在位置,将焊机吊至轨道远焊缝起始位置端附近,落下时尽量使小车车轮方向与轨道在同一直线上

续表

代号	工 作 单 元	详 细 操 作
4	搬焊机上轨道	调整小车位置使车轮方向与轨道直线方向重合,轻抬焊机前端,使其前端两只轮子先搭在轨道上,期间注意用一只脚固定轨道,拉焊机使其后轮靠于轨道边缘,抬起后轮前送,使后轮也卡在轨道上
5	检 查 并 校 正 轨 道 位置	反复将小车置于轨道一侧,调整轨道另一侧,调整时以标尺为基准,直至轨道两端近焊缝侧边缘到焊缝中间的距离都为标尺长度。移动小车,使焊嘴处的焊丝对准焊缝起始位置(如果前步骤的工作完成质量高,则无需本步骤,或耗时很短)
6	预盖焊剂	送丝,使焊丝顶住焊缝,来回拖动小车,确保焊丝与待焊件接触良好。打开焊剂阀门预堆焊剂至合适高度、宽度,同时检查焊机下漏是否流畅,流量是否满足焊接的需要
7	焊初调节规范	开始焊接后,调节规范至规定值,在焊出 10cm 后,焊接基本稳定
8	清理焊渣,回收焊剂	隔一段时间用笤帚和铁簸箕将焊渣掀起,将之投入垃圾桶中,之后,清扫剩余焊剂,并将之回收于焊机上的焊剂盒中,回身拎起垃圾桶,向焊接方向移动约 90cm,放下所有东西
9	整理电缆,铺设轨道	在焊机走完一块轨道(180cm)之后,一手拿起该轨道,同时另一只手拿起身侧电缆,往焊接方向行走 2 倍轨道长度,尽量拉直电缆,放下后,转身沿预先作好的标记将此轨道铺在另一轨道末端
10	补充焊剂	当焊剂盒内焊剂少于一定程度时,从前一位置处取来焊剂桶,将焊剂盒补满
11	装填焊丝盘	在焊机房将新焊丝装于空焊丝盘中
12	换焊丝盘	停机,拆下空焊丝盘,拿到焊机房,带回已装填焊丝的另一焊丝盘,装上,送丝至焊嘴处露出合适长度
13	架设轨道支撑物	当轨道跨越钢板上的开孔或处于焊缝末端时,必须在适当位置预先架设轨道支撑物,以保证焊接过程连续、稳定
14	处理焊接中断	焊接中有时由于偶然原因,焊接过程会突然中断,需要作简单处理后,在中断处重新引弧焊接。此单元操作最后包括单元操作 6 的内容

### 10.3 工作单元时间计算

模特法适用于在一个活动范围较小的空间内,从事主要由上身动作构成的工作。这些动作的负重通常不大。但在造船生产中,人在工作中的活动范围很大,动作往往是全身性的,而且有些工作的完成与工人的技术掌握程度或一些偶然情况关系很大,因此,仅用模特法是无法得出造船生产中的工作时间的。下面结合实测结果统计的方法,对模特法中未定义的动作时间进行规定,并通过统计得出那些无法确定具体工作内容或动作次数的工作的完成时间,从而得出构成焊接工作的所有工作单元的完成时间,如表 10.3 所示。

表 10.3 埋弧焊工作单元时间标准

代号	工作单元	动作分析式	模特值 MOD/ s	时间/ s
1	划线	下蹲(S30),对准标尺(M4P5),作标记(E2M4P2M2),起身,走到下一位置(W5 * 3)	$63(\text{I} 1.5) + 63$	$8.13(\text{I} 1.5) + 8.13$
2	焊前移动轨道	走向焊机所在位置(W5 * (d 0.7 + 1)),拿起轨道(S30G3),走到焊缝始端(W5 * (d 0.7 + 1)),对准轨道(S30E2M4R2 E2M4R2P5)	$94 + 10(d 0.7)$	$12.13 + 1.29(d 0.7)^{[1]}$
3	移动焊机	时间按人工方式计算:调整方向,拉动到轨道远起始端((W5L2) * (d 0.7 + 1)),调整焊机位置使车轮方向与轨道直线方向重合,将近轨道侧车轮靠于轨道边缘		$13.39 + 0.90(d 0.7)$
4	搬焊机上轨道	抬起前端使前轮搭在轨道上(B17G1M4P5),拉焊机使其后轮靠于轨道边缘(W5 * 2B17 + 2s),抬起后轮前送使其卡在轨道上(W5 * 4B17G1M4P5)	$101\text{MOD} + 2$	15.03
5	校正轨道位置	调整轨道近始焊端(W5 * 3S30E2 * 2M3 * 4),小车移至始端(B17W5 + 2.5s),调整轨道远端(W5 * 3S30E2 * 2M3 * 4)	$144\text{MOD} + 2.5$	21.08
6	预盖焊剂	统计结果		28.02



续表

代号	工作单元	动作分析式	模特值 MOD/ s	时间/ s
7	焊初调节规范	必须在引弧板内完成, 无需测量时间		
8	清理焊渣、回收焊剂	统计结果		32.38
9	整理电缆, 铺设轨道	走到轨道与电缆之间 (W5 * 4), 移动轨道电缆到下一位置 (B17E2G3E2G1W5 * 6W5), 放下电缆对准轨道 (M4P0W5 * 2B17E2M4P5E2M4P5), 回到焊机操作面板侧 (W5 * 5)	155	20.00
10	补充焊剂	取焊剂桶 (W5 * 6B17W5 * 6), 加焊剂 (拎起, 加满, 放下, 共 10.59s)	77MOD + 10.59	20.52
11	装填焊丝盘	统计结果		176.45
12	换焊丝盘	停机退出焊丝头 (16.25s), 拆下空焊丝盘 (W5 * 3B17 + 5.19s), 换回新焊丝盘 (W5 * 46 + B17 * 2), 装上 (W5 * 3B17 + 25.19s), 预盖焊剂 (28.02s)	328MOD + 74.65	116.96
13	架设轨道支撑物	小组立阶段		15.00
		中、大组立阶段		118.00
14	处理焊接中断	统计结果		108.52

注: [1] 其中的  $d$  为步行距离, 一条焊缝上多道焊之间的, 取焊缝长度  $l$ ; 焊缝间的, 在小组立阶段取 8m, 中、大组立阶段取 20m。

例如, 埋弧焊工作单元 1 实际上是由  $m$  个相同的宏动作构成的。这里,

$$m = \frac{l}{1.5} + 1 \quad (10.1)$$

式中,  $l$  为焊缝长度。

由多个模特法的单位动作 (表 10.4) 组成, 某一次焊接工作可描述为: 下蹲, 对准标尺 (E2M4R2), 作标记 (E2M4P2M2), 起身, 走到下一位置 (W5 \* 3)。其中的“下蹲起身”动作在模特法中没有定义, 经过多次实测, 结果表明其动作完成时间与“起身、坐下”动作的完成时间极为接近。鉴于此动作非大量重复动作, 此处的细微差异不会影响结果的准确性, 因此在这里及此后的时间计算中, 用 S30 表示“下蹲、起身”动作。这样工作单元 1 中

每个宏动作的总模特值为 63, 对应完成时间为 8.13s。则此工作单元的完成时间  $t_h$  为

$$t_h = 8.13 \left[ \frac{l}{1.5} + 1 \right] \quad (10.2)$$

表 10.4 模特法动作分类

常见动作	上肢动作 (基本动作)	移动动作	移动动作	M1 手指动作	注:需要注意动作	
				M2 手腕动作		
				M3 小臂动作		
				M4 大臂动作		
				M5 伸直的手臂		
			反复多次反射动作	( M1/ 2 ,M1,M2 ,M3 )		
		终结动作	抓取动作	G0 碰、接触		
				G1 简单的抓		
				G3(注)复杂的抓		
			放置动作	P0 简单放置		
				P2(注)较复杂放置		
				P5(注)组装		
	其他动作	下肢动作	F3 足踏板动作			独:只有在其他动作停止的场合独立进行
			W5 走步动作			
		附加因素	L1 重量因素			往:往复动作,即往复一次回到原来状态
		其他动作	E2(独)目视			
			R2(独)校正			
			D3(独)单纯的判断和反应			
			A4(独)按下			
			C4 旋转动作			
		B17(往)弯体动作				

## 10.4 单道焊作业时间计算

单道焊指焊机在焊缝上行走一趟的焊接过程。对于较薄的板, 单道焊就能完成一条焊缝的焊接; 但对于较厚的、开坡口的对接缝, 一条焊缝的焊接需要进行几次单道焊。

在对单道焊作业时间进行计算之前,有必要对组成整个工作的工作单元进行分类。工作单元 1 和 13 的时间是对应于一条焊缝的,即在用埋弧焊对一条焊缝进行多道焊时,这两个工作单元的完成时间必须平摊到每道焊缝上,或作为一个整体参与整条焊缝焊接工作完成时间的计算。工作单元 11 和 12 的时间与每天的焊丝消耗量有关,可根据焊丝消耗统计将之整体加于每天的工作时间内,其中装填焊丝盘可以通过适当的时间安排在焊机工作时完成;工作单元 14 的出现是随机的,但又与工人的技术水平有关,因此可根据数据统计,得到每天每人的意外中断次数,从而得到每天用于工作单元 14 的时间。这样,在每天的工作时间中扣除各种宽放,以及完成工作单元 11,12,14 所需的时间后,就是每天的净工作时间,它由其余工作单元构成的单焊缝作业时间组成。工作单元 1 和 13 的时间对应于一条焊缝,不论这条焊缝由几层几道焊成,只进行一次。这两个工作单元可以在焊接过程中人空闲时完成,因此不会对单道焊作业时间值构成影响。

图 10.2 是改进后的按照工作单元进行组合的单道埋弧焊焊缝焊接作业工作程序。

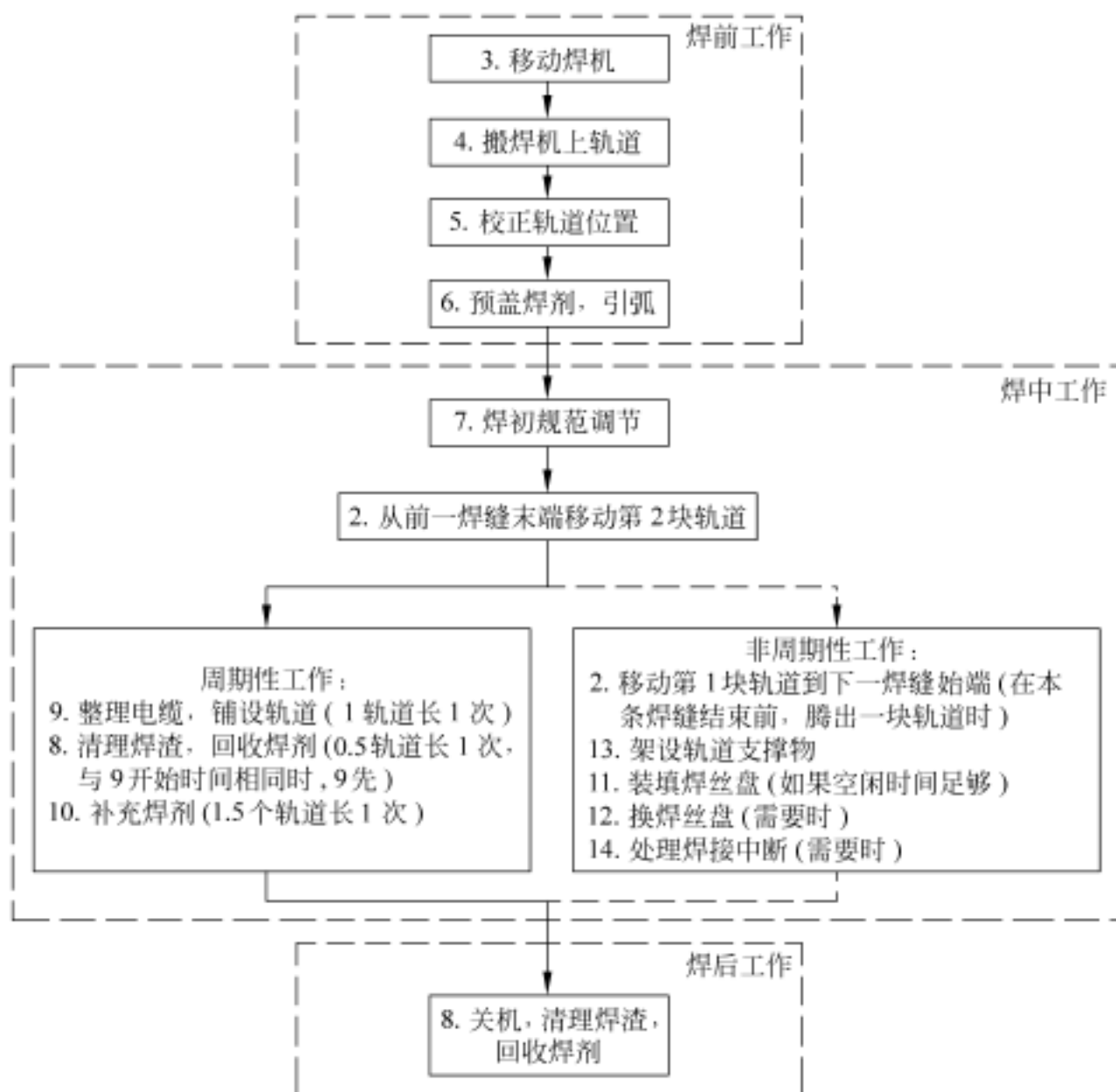


图 10.2 单道焊缝工作程序图

焊前、焊后的表述都很清楚,结合表 10.2 中各工作单元详细操作的描述,不难理解这两部分的具体工作过程。焊中工作包含的内容多,既有周期性的,又有非周期性的。周期性工作包括 8,9,10 三个工作单元。工作单元 9 是每焊接一个轨道长度执行一次,即在埋弧焊机离开一块轨道后,立即进行本单元的工作;单元 8 是在每焊完约半个轨道长时进行一次,时间要求不是很严格,当埋弧焊机处于轨道长度整数倍时,工作单元 8 在工作单元 9 完成后进行;工作单元 10 是每焊完 1.5 个轨道长度进行一次,安排在工作单元 8 之后进行。在非周期性工作中,工作单元 1 和 2 的耗时较短,完全可以保证在完成周期性工作的时间间隔中完成;工作单元 11 和 13 的工作耗时较长,如果在一个时间间隔内不能完成,可以将之分别分在两个时间间隔中完成,如果焊缝太短,没有足够的时间间隔,则放在焊前完成;工作单元 12 和 14 不是每条焊缝埋弧焊作业的必然组成部分,只在有需要时停机进行,它对焊中时间安排无影响。

这样,焊前耗时  $T_{\text{焊前}}$  为工作单元 3,4,5,6 时间值之和:

$$\begin{aligned} T_{\text{焊前}} &= \left[ 13.39 + 0.9 \frac{d}{0.7} \right] + 15.03 + 21.08 + 28.02 \\ &= 77.52 + 0.9 \frac{d}{0.7} \quad (\text{s}) \end{aligned} \quad (10.3)$$

设此焊缝长度为  $l\text{m}$ ,规定的焊接速度为  $v(\text{cm/s})$ ,则焊中的耗时  $T_{\text{焊中}}$  为

$$T_{\text{焊中}} = \frac{100l}{v} \quad (\text{s}) \quad (10.4)$$

焊后耗时  $T_{\text{焊后}}$  为工作单元 8 的时间,即

$$T_{\text{焊后}} = 32.38 \quad (\text{s}) \quad (10.5)$$

所以,单道焊缝的作业时间  $T$  为

$$T = T_{\text{焊前}} + T_{\text{焊中}} + T_{\text{焊后}} = 109.9 + \frac{100l}{v} + 0.9 \frac{d}{0.7} \quad (\text{s}) \quad (10.6)$$

## 10.5 工作效率的实例比较

在图 10.1 所举的例子中,焊缝一道焊成,因此单道焊作业时间就是单焊缝作业时间。焊缝长度 2.3m,焊机焊接时间 353s,因此,焊接速度为 0.651cm/s。如按图 10.2 所示的标准作业方式工作,其具体的人机操作安排见图 10.3。

从图 10.3 可知,按标准作业方式工作,此焊缝的焊接作业周程时间为 472.8s,焊机时间利用率为 74.66%,整个过程由一人操作,工作时间为 271.42s,时间利用率为 57.41%。而原埋弧焊作业的周程时间为 797s,焊机时间利用率为 44.29%,两人操作,上手工作时间为 242s,时间利用率为 30.36%,下手工作时间为 536s,时间利用率为 67.25%。

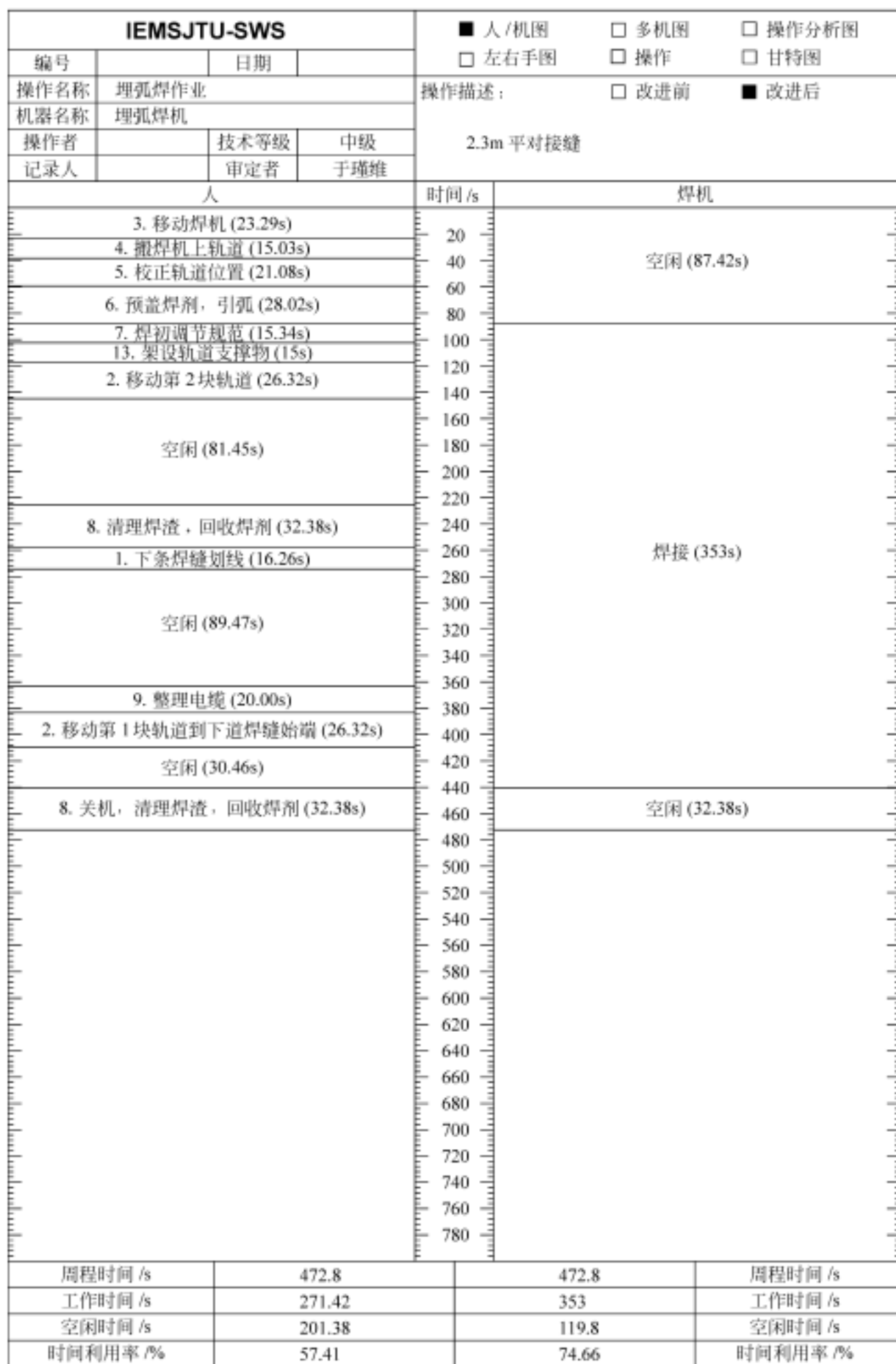
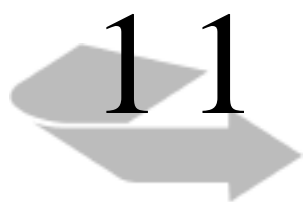


图 10.3 改进后 2.3m 埋弧焊作业人机程序图

从表 10.5 可以看出,与原作业方法相比,改进后的标准作业方法在总周程时间上降低了 40.68%,大大提高了生产效率;在人员配置上,定员由 2 个变成 1 个,总工作时间降低了 65.11%,大幅度减少了实际工作量;人的时间利用率提高了 89.10%,充分地利用了人力资源;焊机时间利用率提高了 68.57%,显著降低了每条焊缝摊付的设备成本。

表 10.5 埋弧焊作业方法改进前后的效果对比

项目	周程时间/ s	人的工作时间/ s	人的时间利用率/ %	焊机时间利用率/ %
改进前	797	242 + 536	30.36	44.29
改进后	472.8	271.42	57.41	74.66
效果	降低了 40.68%	降低了 65.11%	提高了 89.10%	提高了 68.57%



# 装配操作的人机工程 仿真与分析

## 11.1 研究对象分析

研究对象是生产压缩机的总装生产线。现场工程师介绍说,氦气检漏工序的工作效率不是很高,而且工人的疲劳度很大,建议通过系统仿真能够对其作一定程度的改进。经过讨论,初步认为造成该工序工作效率不高的主要原因是由于受制于充气 and 放气的两个设备。该工位目前可同时供 5 个零件进行充气,充气时间约为 2min;充完气的零件则被放置到放气检漏设备中,检漏设备可同时放置 4 个零件,检漏时间与充气时间基本持平,也约为 2min。在此过程中,工人所要完成的工步仅为插充气导管、拔充气导管和传递零件,这 3 个工步所需时间极短,这就造成了工人大量的时间浪费在了等待充气或放气过程完成上。

最简单且最理想的改进方案是增加充气导管及检漏设备的数量,但目前所面临的问题是,受充气压强的限制,现有导管数量已是上限,再增加的话将无法达到所需压强的要求,而增加检漏设备又势必增加企业开支。鉴于上述原因,该工序效率不高的问题始终没能得到解决。

而工人疲劳的问题主要存在于第 1 名工人身上。易疲劳的原因是零件太重。整个流水线到达这里已是部件装配的终点,整个零件已然成形,重量较大,而本工序的性质要求工人不断搬运整个零件(从储物架到充气台;从充气台到检漏设备),因而工人极易疲劳。目前该工人每工作 1h 休息一次,这也间接降低了工作效率。

此外,也对套活塞环及装配工序进行了拍摄。在整个拍摄过程中,还注意到一个问题,就是各工序间的衔接不是很顺畅,经常发现某个工位堆积了大量待加工零件,而有的工位却因无零件可加工而空闲。这是由于各工序之间难易程度、烦简程度及机器

利用程度不同而造成的,应当进行更合理的分配与安排。

整个组装流水线具体流程如图 11.1 所示。

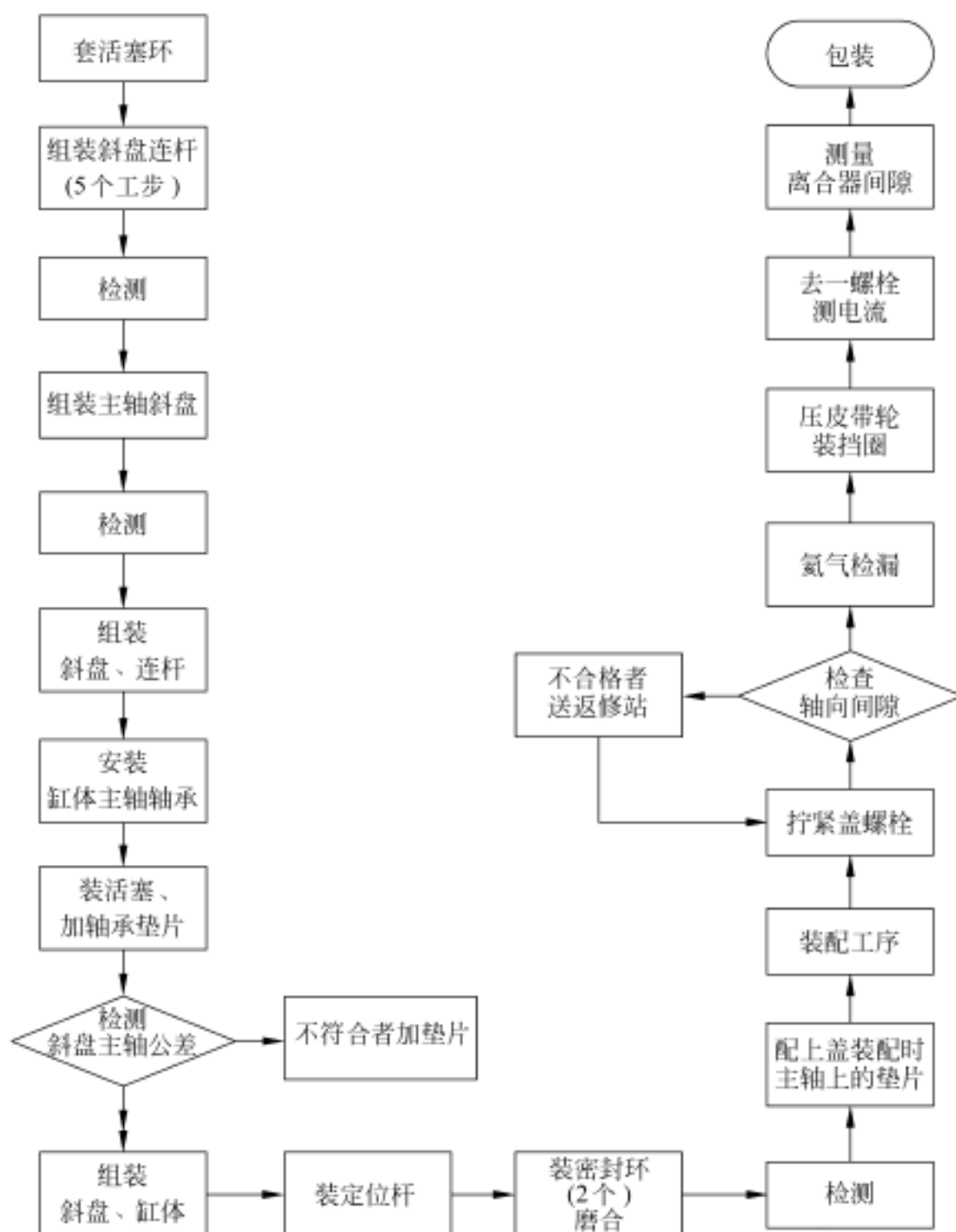


图 11.1 压缩机总装生产线流程图

在对工位现场观察、拍摄录像以及现场测量之后,我们确定了三个需要做进一步分析的瓶颈工位(见表 11.1),需要用 Jack 软件进行分析和改进。



表 11.1 压缩机总装生产线生产节拍调查结果

序号	工序号	工序名称	设备名称	平均值 / s	能力 / 万个	人员 安排	备 注
1	行星盘连杆 部件	10 球穴喷油	手工	2	612.0	1	
		20 初压五连杆	压机	57	21.5		2 台设备
		30 终压五连杆	压机				
		40 连杆高度检查	高度检测机	30.2	40.5		
		50 连杆间隙及扭矩 检查	间隙扭矩检测机	55.3	22.1		增加 1 台设备
2	主 轴 斜 盘 部件	10 装滑套及套扣	手工	5	244.8	1	
		20 装主轴驱动杆部件 到滑套	手工	5	244.8		
		30 压装驱动销	压机	18.8	65.1		
		40 间隙检测, 返修	间隙检测机	24.4	50.2		
3	主轴行星盘 部件	10 装行星盘推力轴 承副	手工	22.5	54.4	1	
		20 装垫片	手工				
		30 装轴用挡圈	手工				
4	汽缸体活塞 部件	10 活塞环分档	分档机器	14	87.4	2	瓶 颈 ! 拟 作 分析
		压装活塞环	压装整形机	76.7	16.0		
		20 装推力轴承	手工	5	244.8		
		30 活塞压装	压机	7.5	163.2		
5	汽缸体部件	10 润滑	手工			1	产 前 准 备 , 不计
		20 轴承压装	压装机	15.3	80.0		
		30 轴承尺寸测量	深度检测机	6.3	194.3		

续表

序号	工序号		工序名称	设备名称	平均值 / s	能力 / 万个	人员 安排	备 注
6	汽缸体主轴 部件	10	测 X 尺寸	检测机	39	31.4	1	
		20	测 A 尺寸	检测机				
		30	选后推力片装复位 弹簧	手工				
		40	连杆校直	校直机	11.2	109.3	1	
		50	活塞铆压	压机	61.1	20.0		2 台设备
		60	装滑履导向球,压 导向杆	手工,压机	38.9	31.5	1	
		70	主轴压入	压机				
		80	导向杆高度测量	手工	2	612.0		
		90	装前推力片 B 推力 轴承	手工	2	612.0	1	
		100	冷跑合	双头冷跑机	34.1	35.9		
			装 O 型圈	手工				
		110	余隙测量	检测机	29.4	41.6	1	2 工道同时检 测
		120	测 F 尺寸	检测机	20.1	60.9		
		130	测 E 尺寸选前推力 片 A	检测机				
7	压缩机部件	10	部件装配	手工	34.7	35.3	1	瓶颈！拟作分 析全手工作业
		20	旋紧螺钉	旋紧机	18.4	66.5	1	
		30	轴向间隙	检测机	22.1	55.4		
		40	抽吸性能检测	检测机	41.3	29.6		
		50	TiTo	检测机	31.6	38.7	1	设备改造,移 至部件工序
			充氦气并检漏	检测机	83.9	14.6	1	瓶颈！拟作分 析劳动强度大
			氦气回收	检测机	91	13.5	1	
		60	真空保压	检测机	34.2	35.8	1	设备改造

续表

序号	工序号	工序名称	设备名称	平均值 / s	能力 / 万个	人员 安排	备 注
8	压缩机总成	10	线圈环压装	压装机	12.3	99.5	1
		20	皮带轮压装	压装机	10.6	115.5	1
		30	吸盘压入	压装机	13	94.2	1
		40	间隙检测	检测机	15.8	77.5	
		50	离合器性能测试	检测机	38.2	32.0	1
		60	装键、主轴螺母	风动枪	31.1	39.4	1
		70	加油称重	加油机	16.1	76.0	
		80	油塞拧紧	风动枪	10.5	116.6	1
		90	装吸排气盖板	风动枪			
		100	油塞检漏	检漏机	39.6	30.9	1
							二工位检测

11.2 仿真软件介绍

Jack 是一个人机功效分析软件。使用这个软件,用户能在虚拟环境中定义精确的不同尺寸的数字人体,定义其完成指定的任务并分析相应的性能。Jack 的数字人体能告诉工程师他们能看到什么,能接触到什么,是否感到舒适,在什么时候及为什么会受到伤害,是否感到疲劳及其他的重要的人体功效学信息。这些信息帮助你快速设计更安全、更有效的产品。Jack 是一个数字人体和仿真解决方案,可帮助你设计更安全、符合人体功效学的产品、车间和工艺。其基本功能有:

- (1) 建造虚拟环境;
- (2) 建立虚拟人体;
- (3) 定义人体的尺寸;
- (4) 在虚拟环境中定位人体;
- (5) 为虚拟人指派任务;
- (6) 分析人体性能。

工作流程主要是:

(1) 建造虚拟环境: Jack 提供了一套基本工具(如锤子、钳子、梯子、锯、扳手以及桌子、椅子等家具), Jack 的视点管理、纹理贴图和光照设置等功能使得你的虚拟环境更真实、更有说服力;

(2) 建立虚拟人体: Jack 提供了精确的人体模型;

(3) 定义人体尺寸和外形;

(4) 把人放置在虚拟环境中: 设置虚拟人的姿势, 指定 Jack 的行为参数, 定义 Jack 与周围环境的关系;

(5) 为虚拟人分派任务: 直接控制人体的运动, 使用 VR 工具扩展人体的运动;

(6) 分析人的性能如何: 看 Jack 能看到什么, 评估 Jack 可达性, 测试适应性, 评估人的受力和扭矩。

Jack 的高级功能有:

(1) 姿势预测: 用来把虚拟人变成坐的姿势, 可以表现一个精确的符合人体测量学的人坐在汽车驾驶员的座位上;

(2) 舒适度评价: 用来确定是否把人的模型调到一个舒适的姿势, 可以用 5 个舒适度模型去评估座椅的舒适度;

(3) 高级可达性分析: 用来产生一个区域, 描述 Jack 数字人体所能达到的最大区域和舒适度区域;

(4) 高级人体测量: 用来用特定的测量尺寸建立人体模型;

(5) 下背部脊柱受力分析: 用来估计一个虚拟人在任何姿势和条件下的下背部脊柱受力;

(6) 强度预计: 用来评估工人在以某种姿势完成任务时受到强度的百分比;

(7) 举升分析: 用来分析对称的和非对称的举升任务;

(8) 预定义的时间分析: 用来预测完成一个工作所需时间, 通过把任务细分为一组运动, 每组都基于时间分析方法(MTM-1)指定时间;

(9) 快速上肢评估: 用来评估工人从事危险工作的时间(冒着上肢失调的风险);

(10) 新陈代谢能量消耗支出: 用来预测一项基于工人特征的一项简单工作的能量消耗需求;

(11) 人工处理限制: 用来评估和设计人工任务, 包括举升、放下、推、拉和搬运, 降低下背部受到伤害的危险;

(12) 疲劳、恢复时间分析: 用来确定工人做一项工作产生疲劳后是否有足够的恢复时间, 基于力量和疲劳研究, 这个工具可计算完成工作所需的恢复时间并对有效的信息时间进行比较;

(13) 工作姿势分析: 该工具提供了一个简单的方法, 检查工作姿势是否舒适并确定要采取的正确方法。

首先进行场景布置(见图 11.2),调入人体模型并定义人体的关节活动(见图 11.3)。

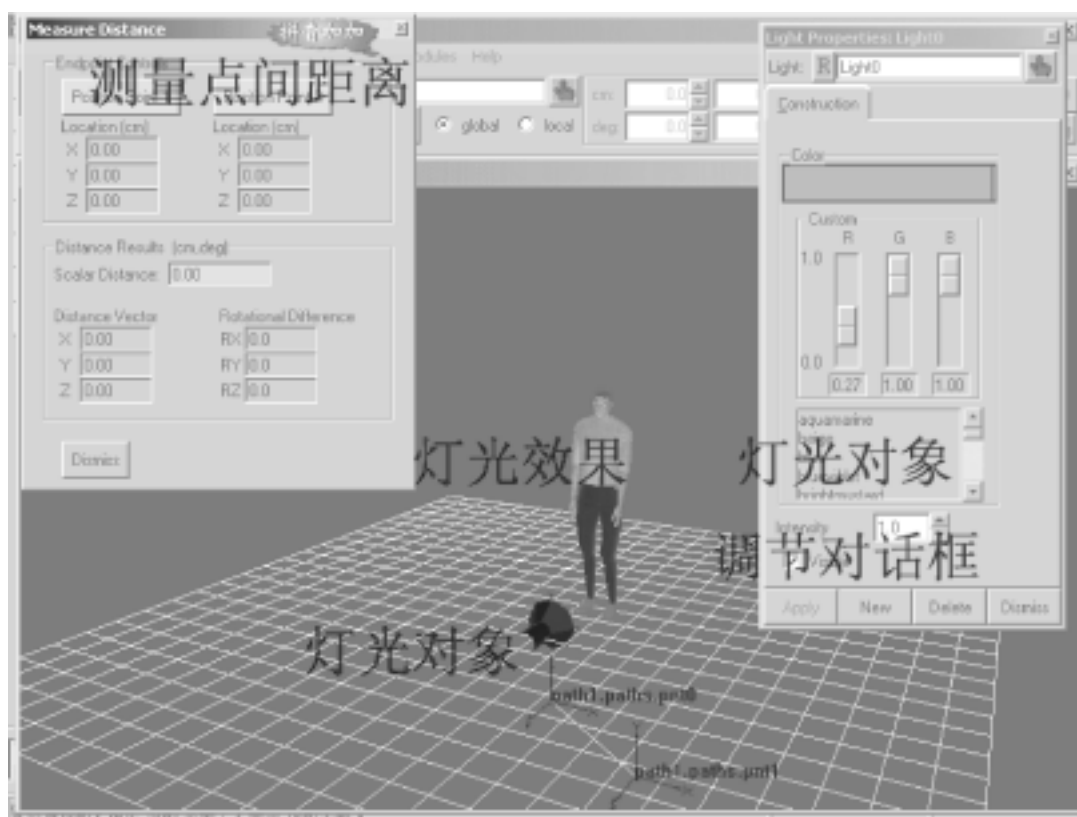


图 11.2 场景布置



图 11.3 人体的关节活动

人体参数可以进行修改(见图 11.4)。编辑人体工作路径,设定人体动作于何时开

始,持续多久(见图 11.5)。工作中人体力学和疲劳分析见图 11.6。

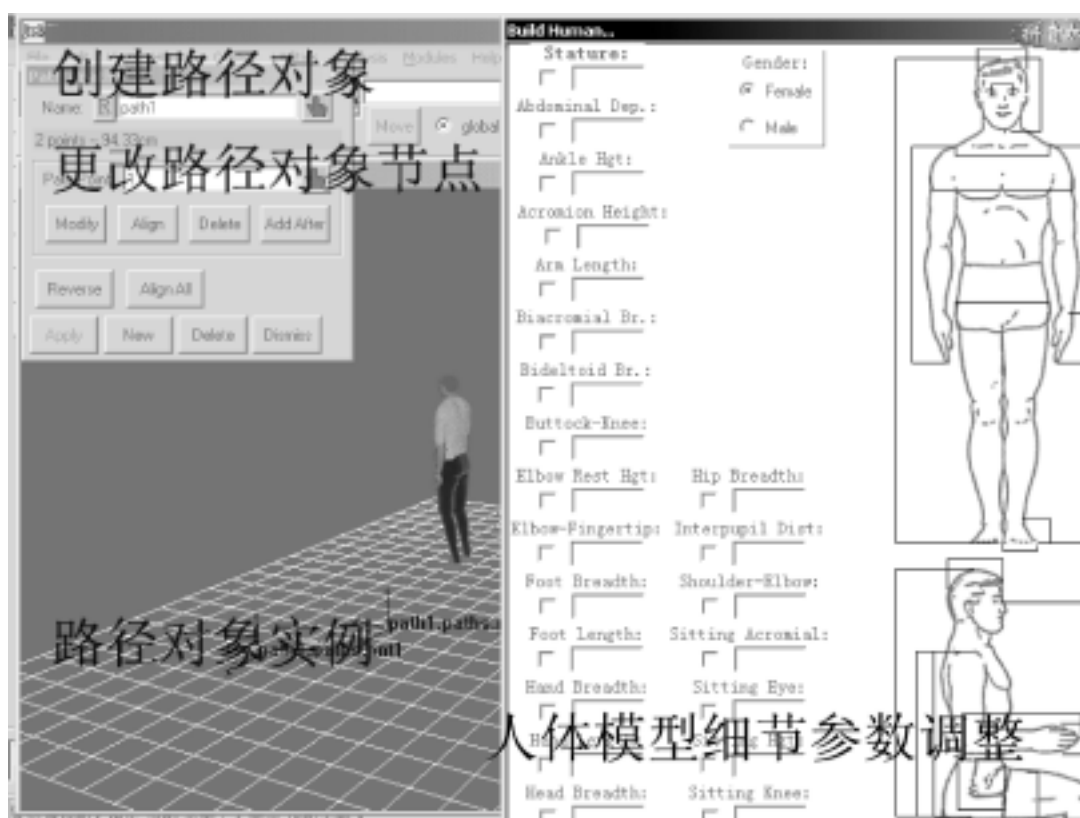


图 11.4 人体参数修改



图 11.5 编辑工作路径



图 11.6 人体力学和疲劳分析

## 11.3 典型工序的操作仿真及改进

### 11.3.1 活塞环装配工序

#### 1. 工序介绍

根据现场和录像的观察,此道工序的基本步骤如下:

- (1) 左手取两个、右手取 3 个待加工工件,同时将工件依次放在整形模上。
- (2) 收回双手,左、右手同时按下手边的机器开关(左、右各有一个机器开关)。
- (3) 等待机器运行,同时做下一步骤的准备工作——左手取两个、右手取 3 个待加工活塞环,分开置于面前的工作台上;若时间允许,则整理加工完的工件。
- (4) 等待机器运行完毕,左、右手分别将活塞环安装于机器上。
- (5) 左、右手分别将工件取下,放至储物架。
- (6) 开始下一个循环。

#### 2. 改进分析

##### 1) 现存问题

该工位的工序较为简单,共有 6 个步骤。但在现场多次计时结果显示,操作工人完成一次工序的时间不尽相同,平均时间大约为 15s(在 Jack 仿真取为 15.2s)。这种不确定

性说明操作程序并没有受到严格控制,也就是说,对该工序还有可改进的余地。

通过与工人交谈,我们得知他在此工位上已经工作了比较长的时间,是一名熟练工,产品质量也相当有保证。在现场观察也发现此工人技术相当娴熟,在操作中并没有多余动作。这说明此工位在操作时间上的不确定性并非由于工人本身的技术原因造成的,应该是由于此工位的操作步骤在设计环节上存在着一些缺陷。

此外我们还发现,若不计取物时间,其中真正为人工操作(指将工件放在整形模上、按机器开关、将工件放到工作台上和将工件取下)的时间仅为 5s,也就是说其中有 10s 是在等待机器工作的空闲时间。在这 10s 里,工人所能做的只有堆码好 5 个下一次操作所需要的活塞及活塞环。

这一点充分说明,在此工位上人与机的配合并不很合拍。工人在大约  $\frac{2}{3}$  的时间里处于等待的空闲状态,是相当大的浪费。通过计算可以看到,工人在 1 个周期的时间利用率仅为 33.33%。虽然机器的利用率较高,达到了 66.67%,但综合而言,系统的效率还是处于较低的水平,亟待改进。

## 2) 改进方案

### (1) 通过对机器设备的重新设计与布局,提高人机系统的效率

通过观察我们发现:对于机器来说,它也已经达到了最高工作效率,即对单个机器而言,已经没有改进余地;对于工人的操作时间(5s)来说,机器的工作时间,即人的停歇时间(10s)相当长,在此时间段内工人完全可以再进行一次完整操作(从理论上来说,可以进行两次。但考虑到一些不确定因素的发生,毫无时间余量的安排应避免);在工人将工件放上工作台和取下工作台时,机器也处于停歇状态。

因此,可以考虑再增加一台机器,由一个工人同时操作两台机器,这样能有效利用工人与机器双方的停歇时间,将工作效率提高 1 倍。

### (2) 通过制订标准减少操作周期的波动

前文已经提及,该工位的正常工作时间为 15s,然而在对该工人的操作进行多次观察后可发现,在有些情况下,工人会由于暂时的走神等原因而未能在空闲时间内准备好下次使用的活塞及活塞环,从而导致整个工序时间延长。

我们认为这一现象主要由两方面的原因引起的:

(1) 短时间内频繁交替的操作与停歇(分别为 5s 与 10s)极易造成工人的走神;

(2) 并没有一个标准来规定应何时准备活塞及活塞环,因此各次准备间的时间间隔差异较大,有时太早,造成空闲;有时太晚,则会造成时间来不及。

第 1 个方面在增加一台机器后应当能够得到改善(但也应注意到,这样一来,工人的注意力将始终处于高度集中状态,虽然不会走神,但易引起疲劳,应适当安排休息);第 2 个方面的解决措施则应为制定一个标准来规范每次准备操作的时间,尽可能地减少波动。

根据改进后的时间安排,操作工人各个步骤的规定时间安排如下:



- (1) 将第 1 台机器加工的工件依次放于整形模上, 时间为 1.6s;
- (2) 收回双手, 时间为 0.2s;
- (3) 按下第 1 台机器左、右两边的机器开关, 时间为 0.2s;
- (4) 在持续为 4s 的空闲时间里准备好第 1 台机器的活塞环和第 2 台机器的活塞;
- (5) 将第 2 台机器加工的工件依次放于整形模上, 时间为 1.6s;
- (6) 收回双手, 时间为 0.2s;
- (7) 按下第 2 台机器左、右两边的机器开关, 时间为 0.2s;
- (8) 在持续为 4s 的空闲时间里准备好第 2 台机器的活塞环和第一台机器的活塞;
- (9) 左、右手分别将活塞环安置于第 1 台机器上, 时间为 2s;
- (10) 左、右手分别将第 1 台机器上的工件取下, 放至储物架, 时间为 1.2s;
- (11) 在持续为 2.8s 的空闲时间里自由安排, 可以停歇, 也可以整理储物架;
- (12) 左、右手分别将活塞环安置于第 2 台机器上, 时间为 2s;
- (13) 左、右手分别将第 2 台机器上的工件取下, 放至储物架, 时间为 1.2s;
- (14) 重复。

经改进后, 该工位的操作周期由 15.2s 增至 25.2s, 增加了一台机器的运行时间, 增幅为 65.79%, 而效率增加了 2 倍。两相比较, 我们认为该工位的总体效率有所提高。从改进后的人机程序图中也可以读出人的时间利用率。

### 3. 软件仿真

#### 1) 改进前

系统改进前的仿真图如图 11.7 所示。

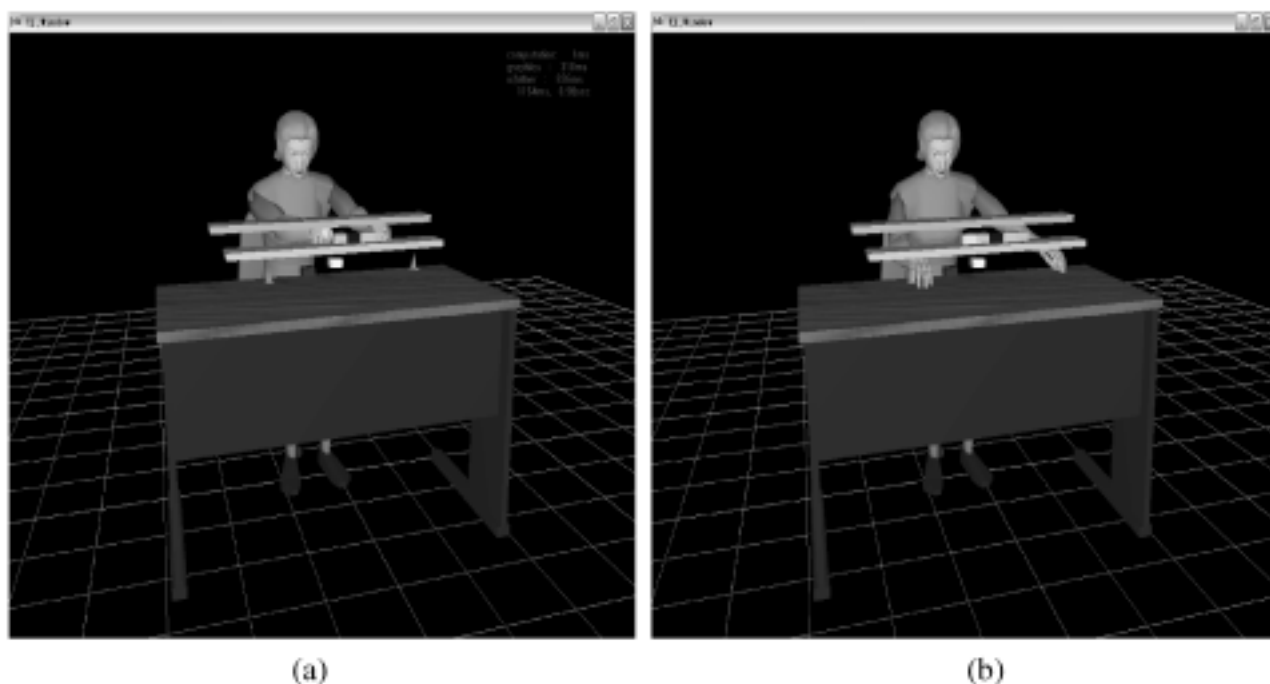


图 11.7 改进前的系统仿真图

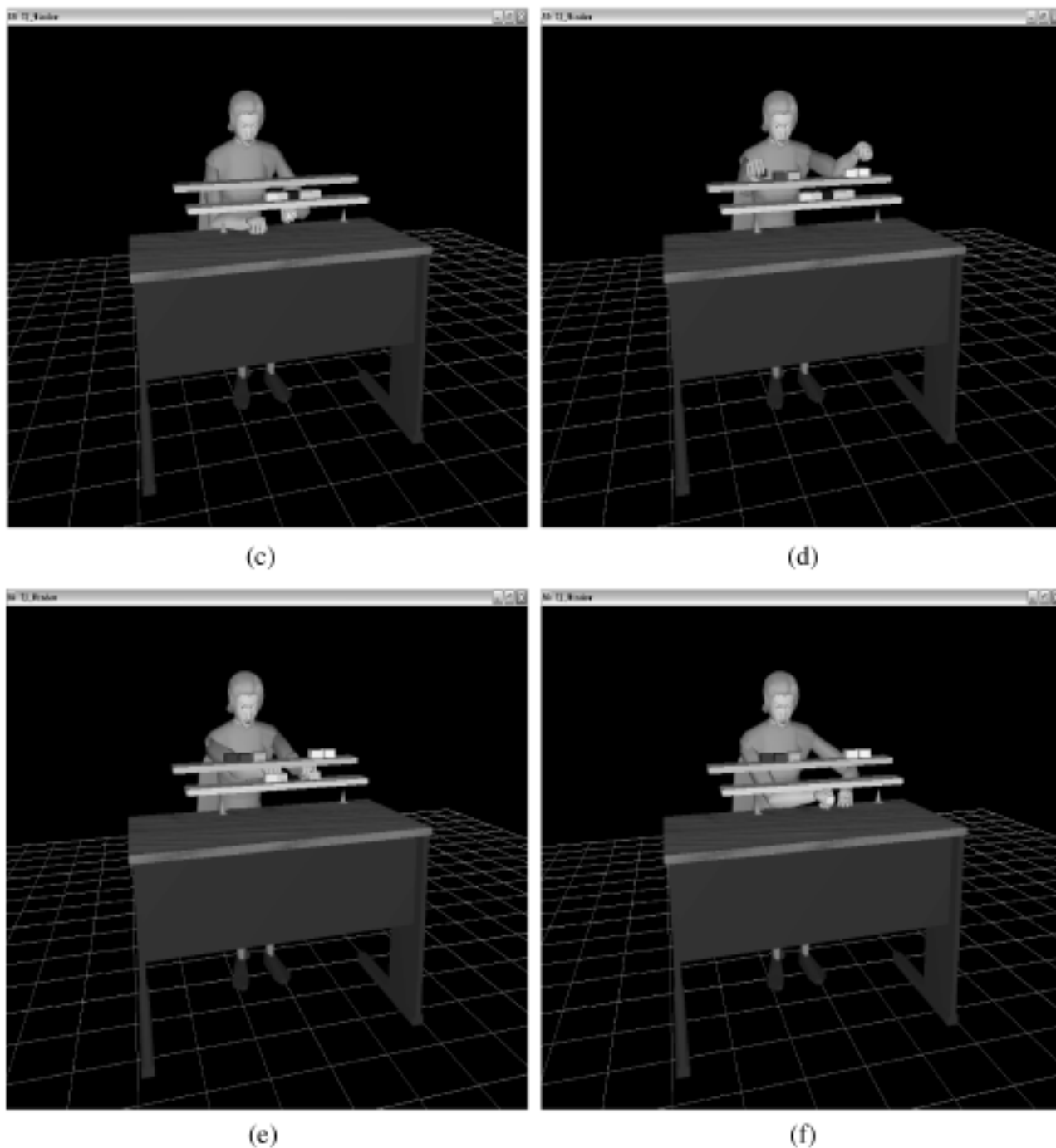


图 11.7 (续)

- (a) 左手取两个、右手取 3 个待加工工件,同时将工件依次放在整形模上;
- (b) 收回双手,左、右手同时按下手边的机器开关(左、右各有一个机器开关);
- (c) 等待机器运行,同时做下一步骤的准备工作——左手取两个、右手取 3 个待加工活塞环,分开置于面前的工作台上;若时间允许,则整理加工完的工件;
- (d) 等待机器运行完毕,左、右手分别将活塞环安装于机器上;
- (e) 左、右手分别将工件取下,放至储物架;
- (f) 开始下一个循环。

## 2) 改进后

系统改进后的仿真图如图 11.8 所示。

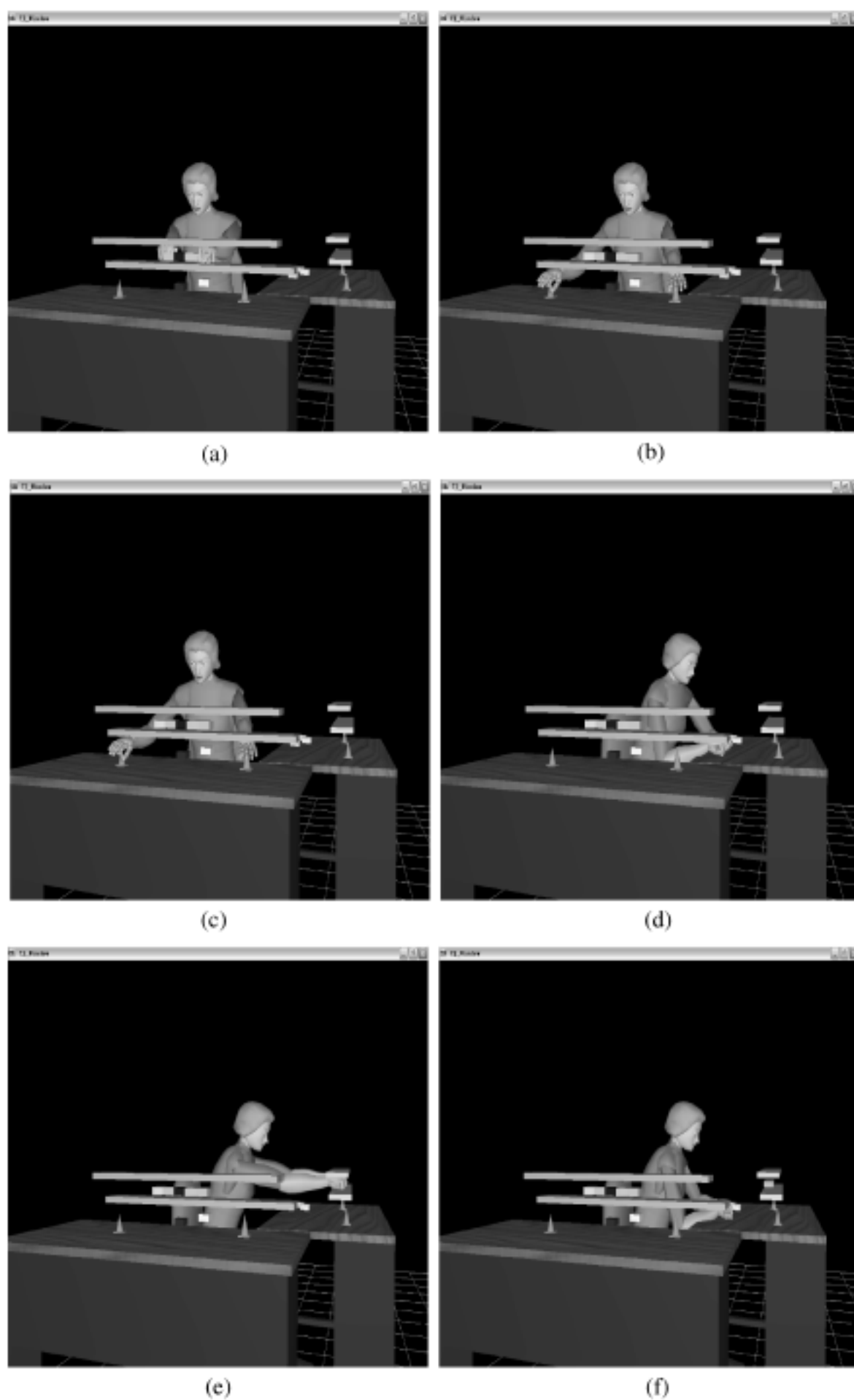


图 11.8 改进后的系统仿真图

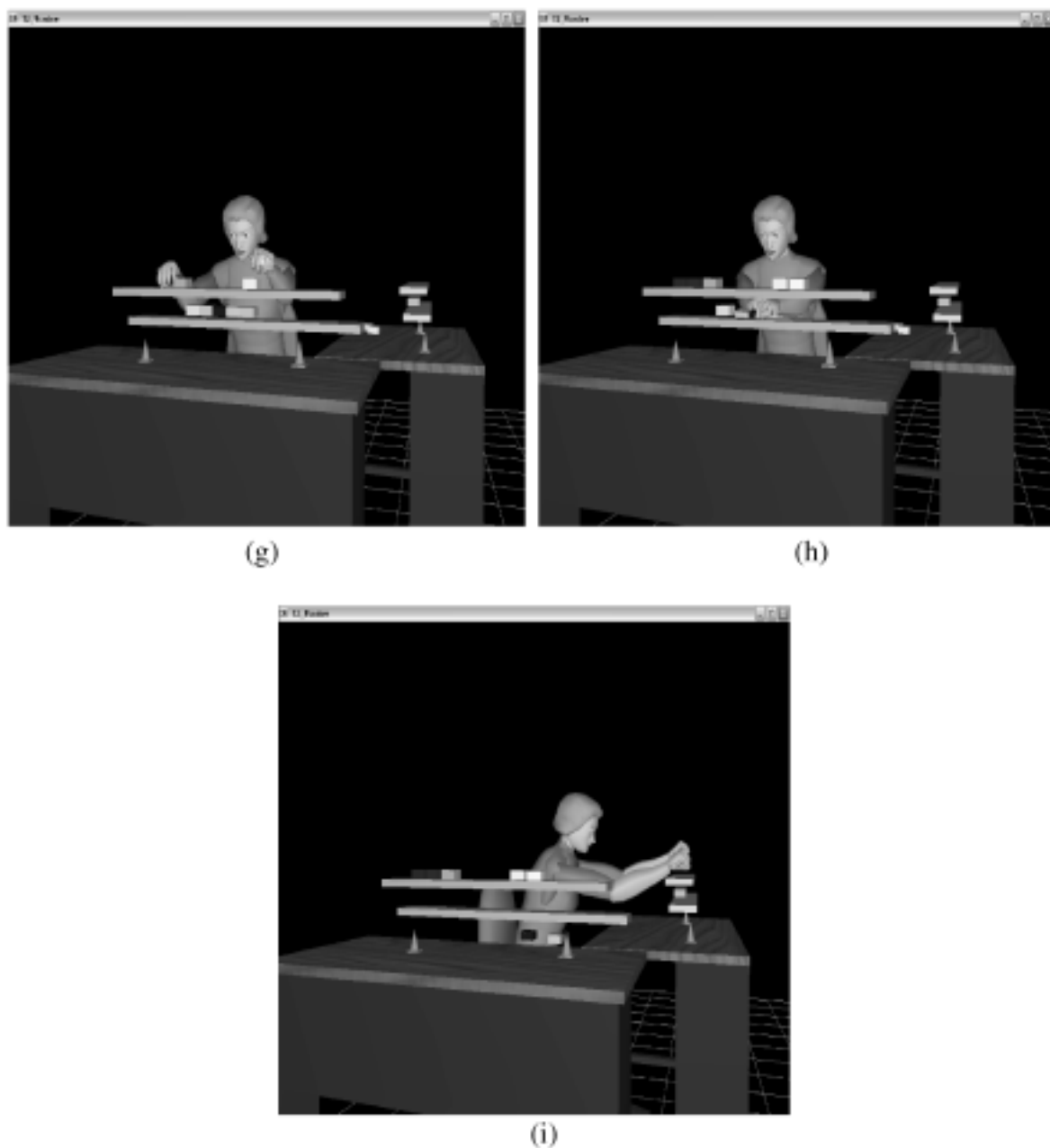


图 11.8 (续)

- (a) 左手取两个、右手取 3 个待加工工件,同时将工件依次放在第 1 台机器的整形模上;
- (b) 收回双手,左、右手同时按下手边的机器开关(左、右各有一个机器开关);
- (c) 等待机器运行,在持续为 4s 的空闲时间里准备好第 1 台机器的活塞环和第 2 台机器的活塞;
- (d) 在第 1 台机器运行的同时,转身准备对第 2 台机器进行操作;
- (e) 左手取两个、右手取 3 个待加工工件,同时将工件依次放在第 1 台机器的整形模上;
- (f) 等待机器运行,在持续为 4s 的空闲时间里准备好第 1 台机器的活塞环和第 2 台机器的活塞;
- (g) 转身,等待第 1 台机器运行完毕,左、右手分别将活塞环安装于第 1 台机器上;
- (h) 左、右手分别将经由第 1 台机器加工的工件取下,放至储物架;
- (i) 转身,等待第 2 台机器运行完毕,重复(g),(h)步骤。

### 11.3.2 部件装配工序

#### 1. 工位描述

压缩机部件组装工位是整条生产线第 7 个环节的开始,整条生产线的瓶颈之一。通过观察,该工序主要工步如下:

- (1) 拿底盘;
- (2) 放 A1 片(A1:缸垫)(左手);
- (3) 拿导向杆(右手);
- (4) 放 A2 片(A2:阀板)(右手);
- (5) 放 A3 片(A3:吸气片)(右手);
- (6) 装机芯部件(右手);
- (7) 装辅助件白色塑料帽盖(右手);
- (8) 装外壳上盖(右手);
- (9) 去掉工步(7)中的帽盖(右手);
- (10) 取 6 个螺栓,调整方向(左、右手各 3 个);
- (11) 沾油(双手);
- (12) 插装 5 个螺栓(左手 2 个,右手 3 个);
- (13) 拿掉导向杆(右手);
- (14) 装第 6 个螺栓(左手)。

该工序的双手操作程序图如图 11.9 所示。

#### 2. 改进分析

这个工位完全由人工作业,在动作上没有固定的规范。所以在作业过程中,工人有比较大的发挥余地,由个人的主观能动性和个人的习惯来决定装配所采用的动作。因此,这个工位主要存在两方面的问题:其一是生产节拍比较慢;其二是作业过程不稳定。

为了加快生产节拍,必须要缩短压缩机的装配周期,也就是要改进现场操作工人的作业方法。对于目前作业过程不稳定的状况,则可以将改进后的作业方法作为该工位的作业标准来严格执行,让现场的操作工人以标准化的动作装配每一台压缩机,以此来减少该工位的不稳定因素,保证产品质量,提高生产效率。

首先,对工作现场拍摄照片、录像,采集重量、长度等相关数据,并且与现场工程师和现场操作工人交流,获取了现场的必要信息。然后,根据录像对现场操作工人的装配动作进行分解,在剔除了一些无意义的小动作之后确定了现场操作工人要采用的大致作业步骤。根据该作业步骤,使用 Jack 软件时间分析工具,分析在理想情况下,操作工人完成一

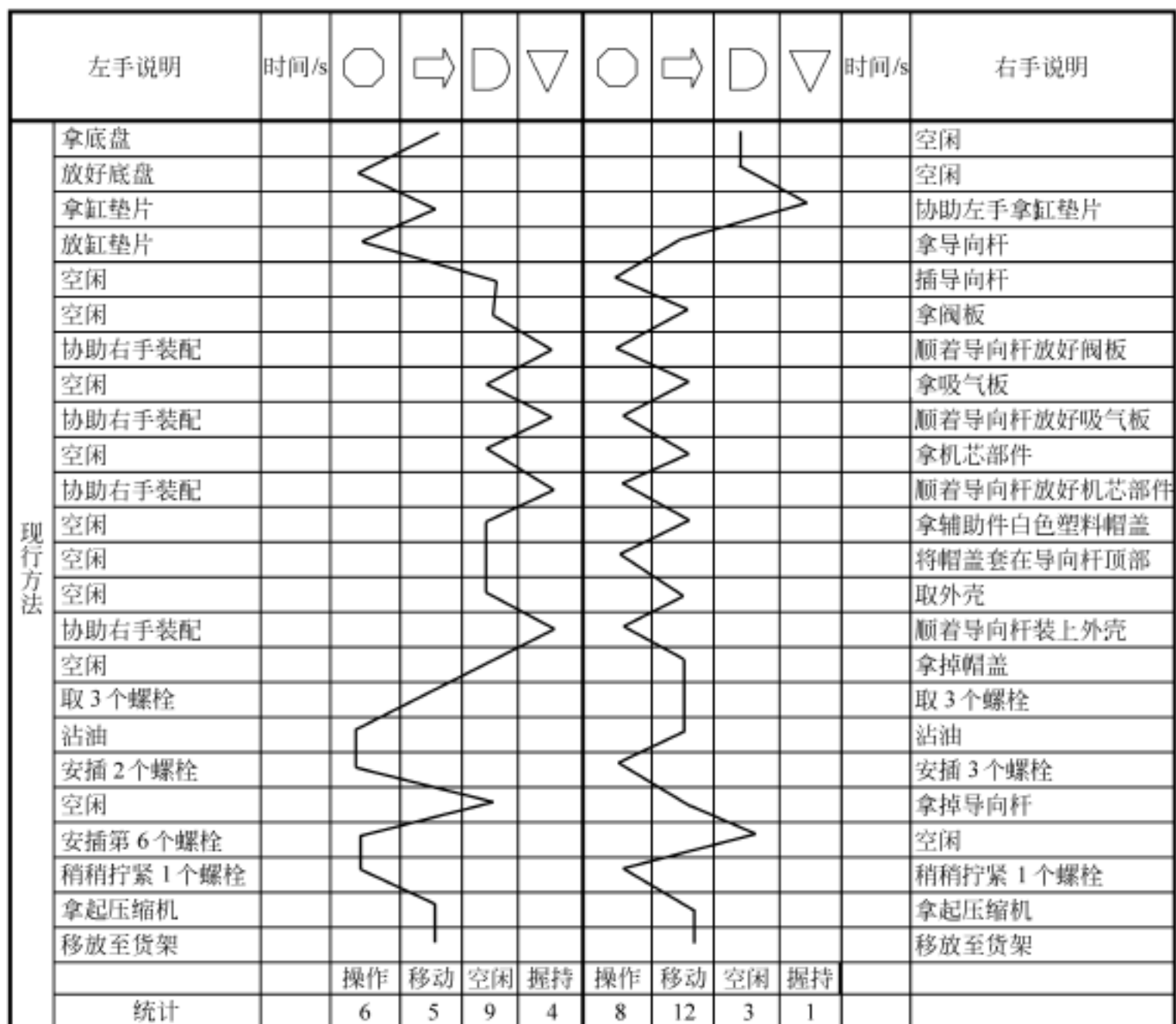


图 11.9 装配操作的双手操作程序图

台压缩机的装配所需要的时间,得出的结果大约为 28s(见表 11.2)。图 11.10 所显示的是改进前的部件摆放布局。

通过调整部件摆放布局、合理分配两只手的工作量、整合作业路径等方式,尝试了多种改进方案,用软件分析比较之后确定了一种比较理想的方案。在理想情况下,使用该作业方案组装一台压缩机耗时不到 24.4s(见表 11.3)。时间缩短了 13%,约 3.65s,如表 11.4 所示。图 11.11 所显示的是改进后的部件摆放布局。

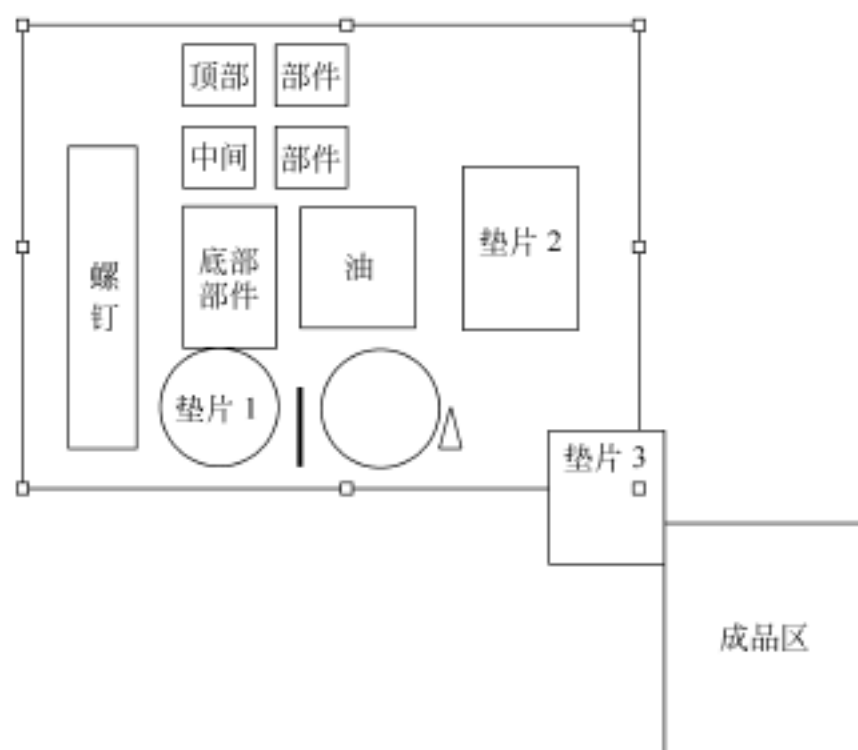


图 11.10 改进前的部件布局示意图

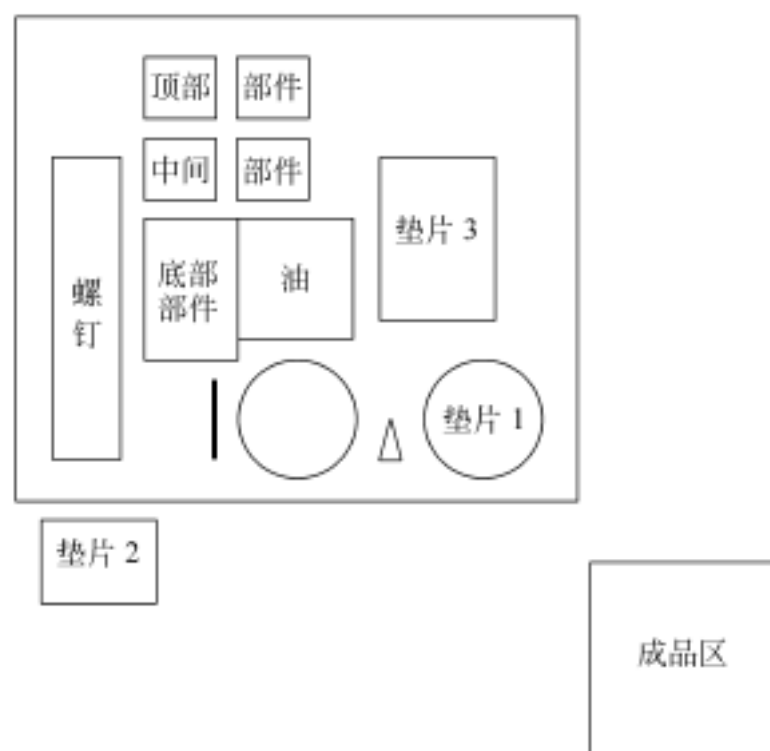


图 11.11 改进后的部件布局示意图

表 11.2 时间研究:改进前的装配操作

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间/ s	备注
10. 100	取底部零件	R30 A(l)	0. 238	
10. 110	抓底部零件	G1 A(l)	0. 072	
10. 120	移到右手	M30 A(l)	0. 446	
10. 130	右手抓住零件	G3 (r)	0. 202	
10. 140	把底部零件放入油中	M40B(r)	0. 353	
10. 150	转动底部零件	T180(r)	0. 338	
10. 160	移动一下	M20B(r)	0. 137	
10. 170	把它定位好	P2NSE(r)	0. 756	
10. 180	抓 1 根轴	G1 A(l)	0. 0 (0. 072)	
10. 190	移动轴	M10C(l)	0. 0 (0. 288)	
10. 200	提起轴	P2SE(l)	0. 583	
10. 210	放入盘 1	R25D( r)	0. 929	
10. 220	抓盘 1	G1B(r)	0. 126	
10. 230	移动盘 1	M10C(r)	0. 328	
10. 240	提起盘 1	P2SE( r)	0. 583	
10. 250	放入盘 2	R50D( r)	1. 426	
10. 260	抓盘 2	G1 A(r)	0. 072	
10. 270	移动盘 2	M65C(r)	1. 181	
10. 280	提起盘 2	P2SE( r)	0. 583	
10. 290	放入盘 3	R20 A( r)	0. 184	
10. 300	抓盘 3	G1 A(r)	0. 072	
10. 310	移动盘 3	M40C(r)	0. 778	
10. 320	提起盘 3	P2SE( r)	0. 583	
10. 330	放入中间零件	R40 A( r)	0. 288	
10. 340	抓中间零件	G1 A(r)	0. 072	
10. 350	移动中间零件	M50C(r)	0. 936	
10. 360	提起中间零件	P2SE( r)	0. 583	



续表

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间/ s	备注
10. 370	放入小型外壳	R10A(r)	0. 133	
10. 380	抓小型外壳	G1A(r)	0. 072	
10. 390	移动小型外壳	M10C(r)	0. 288	
10. 400	提起小型外壳	P2SE(r)	0. 583	
10. 410	弯腰	B	1. 044	
10. 420	放入顶部零件	R50A(r)	0. 342	
10. 430	抓顶部零件	G1A(r)	0. 072	
10. 440	伸腰	AB	1. 148	
10. 450	把顶部零件放入油中	M25A(r)	0. 476	
10. 460	移动顶部零件	M25A(r)	0. 476	
10. 470	提起顶部零件	P2SE(r)	0. 583	
10. 480	拿走外壳	D1E(r)	0. 144	
10. 490	移动外壳	M10A(r)	0. 22	
10. 500	把外壳定位	P1SE(r)	0. 202	
10. 510	拿螺母	R15A(l)	0. 0 (0. 205)	
10. 520	抓 5 个螺母	G4B(l)	0. 0 (0. 328)	
10. 530	把两个螺母放入右手边	M20A(l)	0. 0 (0. 317)	
10. 540	移动两个螺母放入右手	G3(r)	0. 202	
10. 550	把 1 个螺母放到油中	M15C(l)	0. 421	
10. 560	再放 1 个螺母到油中	M15C(r)	0. 0 (0. 421)	
10. 570	移动螺母	M15C(l)	0. 421	
10. 580	再放 1 个螺母到油中	M15C(r)	0. 0 (0. 421)	
10. 590	提起 1 个螺母	P2SE(r)	0. 583	
10. 600	再提起 1 个螺母	P2SE(l)	0. 583	
10. 610	移动螺母 3	M5C(r)	0. 209	
10. 620	移动螺母 4	M5C(l)	0. 0 (0. 209)	
10. 630	提起螺母 3	P2SE(r)	0. 583	

续表

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间/ s	备注
10. 640	提起螺母 4	P2SE(1)	0. 583	
10. 650	分离轴	D2E(1)	0. 27	
10. 660	定位轴	P1SE(1)	0. 202	
10. 670	移动螺母 5	M10C(1)	0. 288	
10. 680	提起螺母 5	P2SE(1)	0. 583	
10. 690	拿整个零件	G1A(1)	0. 072	
10. 700	移动整个零件	M50A(b)	0. 85	
10. 710	再移动整个零件	W_PO	2. 007	
10. 720	定位移动整个零件	P2SD(1)	0. 785	
10. 730	返回	W_P	1. 771	总计 28. 045s

表 11.3 时间研究:改进后的装配操作

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间 / s	备注
10. 100	取底部零件	R30A(1)	0. 238	
10. 110	抓底部零件	G1A(1)	0. 072	
10. 120	把底部零件放入油中	M40B(1)	0. 353	
10. 130	转动底部零件	T180(1)	0. 338	
10. 140	移动一下	M20B(1)	0. 137	
10. 150	把它定位好	P2NSE(1)	0. 756	
10. 160	抓 1 根轴	G1A(1)	0. 072	
10. 170	移动轴	M10C(1)	0. 288	
10. 180	提起轴	P2SE(1)	0. 583	
10. 190	放入盘 1	R25D(r)	0. 0 (0. 929)	
10. 200	抓盘 1	G1B(r)	0. 0 (0. 126)	
10. 210	移动盘 1	M10C(r)	0. 0 (0. 328)	
10. 220	提起盘 1	P2SE(r)	0. 583	

续表

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间 / s	备注
10.230	放入盘 2	R50D(l)	1.426	
10.240	抓盘 2	G1A(l)	0.072	
10.250	移动盘 2	M65C(l)	1.181	
10.260	提起盘 2	P2SE(l)	0.583	
10.270	放入盘 3	R20A(r)	0.0 (0.184)	
10.280	抓盘 3	G1A(r)	0.0 (0.072)	
10.290	移动盘 3	M40C(r)	0.0 (0.778)	
10.300	提起盘 3	P2SE(r)	0.583	
10.310	放入中间零件	R40A(l)	0.0 (0.288)	
10.320	抓中间零件	G1A(l)	0.0 (0.072)	
10.330	移动中间零件	M50C(l)	0.936	
10.340	提起中间零件	P2SE(l)	0.583	
10.350	放入小型外壳	R10A(r)	0.0 (0.133)	
10.360	抓小型外壳	G1A(r)	0.0 (0.072)	
10.370	移动小型外壳	M10C(r)	0.0 (0.288)	
10.380	提起小型外壳	P2SE(r)	0.583	
10.390	弯腰	B	1.044	
10.400	放入顶部零件	R50A(l)	0.342	
10.410	抓顶部零件	G1A(l)	0.072	
10.420	伸腰	AB	1.148	
10.430	把顶部零件放入油中	M25A(l)	0.476	
10.440	移动顶部零件	M25A(l)	0.476	
10.450	提起顶部零件	P2SE(l)	0.583	
10.460	拿走外壳	D1E(r)	0.0 (0.144)	
10.470	移动外壳	M10A(r)	0.0 (0.22)	
10.480	把外壳定位	P1SE(r)	0.0 (0.202)	
10.490	拿螺母	R15A(l)	0.205	

续表

作业序号	作业内容	动作代码	作业时间 / s	备注
10. 500	抓 5 个螺母	G4B(1)	0. 328	
10. 510	把两个螺母放入油中	M20C(1)	0. 468	
10. 520	移动两个螺母放入右手	M20A(1)	0. 317	
10. 530	把两个螺母放到右手	G3(r)	0. 202	
10. 540	提起 1 个螺母	P2SE(r)	0. 583	
10. 550	再提起 1 个螺母	P2SE(1)	0. 583	
10. 560	移动螺母 3	M5C(r)	0. 209	
10. 570	移动螺母 4	M5C(1)	0. 0 (0. 209)	
10. 580	提起螺母 3	P2SE(r)	0. 583	
10. 590	提起螺母 4	P2SE(1)	0. 583	
10. 600	分离轴	D2E(1)	0. 27	
10. 610	定位轴	P1SE(1)	0. 202	
10. 620	移动螺母 5	M10C(1)	0. 288	
10. 630	提起螺母 5	P2SE(1)	0. 583	
10. 640	拿整个零件	G1A(1)	0. 072	
10. 650	移动整个零件	M50A(b)	0. 85	
10. 660	再移动整个零件	W_PO	2. 007	
10. 670	定位整个零件	P2SD(1)	0. 785	
10. 680	返回	W_P	1. 771	总计 24. 397s

表 11. 4 改进前后的比较

原来所用时间/ s	28. 045
改进后所用时间/ s	24. 397
差值/ s	3. 648
减少的比例	13 %

### 3. 比较分析和结论

可以看见,在改进后工人的操作时间明显缩短,证明整个改进还是非常有效的。但是 Jack 的时间分析工具有其弱点(同时也是任务列表时间分析的弱点),即无法分析操作时间的离散情况(例如给出标准差等),存在时间缩短但操作时间的离散情况增大的可能,例如将薄片移远可能加速操作,但在分离薄片的时候只能使用单手。每次取的时间取决于运气,可能一次就分离完成,或者要多次分离,导致时间离散度上升等。如此就无法估计标准差究竟变大变小,造成整体分析不精确。就目前的状况来看,13%的数值已经足可说明情况有所改善,但是究竟改善是否可以达到 13%的水平还有待实践检验。

### 11.3.3 氦气检漏工序

氦气检漏是整个流水线的第 16 道工序。据我们了解,氦气检漏的工作效率不高,而且操作者疲劳度较大。厂方和工人都希望我们经过研究之后能够进行改进:要么提高效率,要么降低操作工的疲劳度,或者两者皆有。

#### 1. 工序介绍

根据观察,结合该工序的操作指导书,可以将该工序的操作过程分为 5 个工步,由 2 位工人共同完成。具体的分工以及完成各工步所需时间如下。

工人甲:

(1) 取盖,密封以及其他必需的动作: 5s(密封好 1 个工件所需时间)。

(2) 充气导管充气过程: 50s(同时为 2 个工件进行充气,平均时间为 25s/件。而另外两个工步在充气时完成,因此,实际加工时间等于充气时间)。

(3) 将工件放入检漏设备: 3s(检测时 2 个工件在同一检测设备中,所以将工件放入检漏设备时一次 2 个,平均消耗时间为 1.5s/件)。

工人乙:

(1) 检漏设备检测过程: 114s。

(2) 取出工件,放到储物架上: 5s。

操作者疲劳度较大,工作效率不高存在于工人甲的身上,因此,后面的分析全部是对工人甲来进行。

#### 2. 改进分析

##### 1) 现存问题

##### (1) 空闲率过高工作效率低

从上面的分析可知,工人甲的加工时间完全取决于充气时间。这导致无论是设备还是工人,空闲率都过高,因此该工序的工作效率较低。通过简单计算和分析便得以证明。

充气导管一共 2 个接头,同时仅能为 2 个工件充气,充气用时 50s;检漏设备一共 4 台,每台可以同时检测 2 个工件,检测用时 114s。

充气 1 个工件时间为 25s, 检测 1 个工件所需时间为  $114s \div 8 = 14.25s$

因此检漏设备的空闲率为  $(25 - 14.25) \div 25 = 43\%$

充气 1 个工件时间为 25s, 而工人甲工作时间为  $(5s + 1.5s) = 6.5s$

因此工人甲的空闲率为  $(25 - 6.5) \div 25 = 74\%$

计算结果显示, 检测设备的空闲率为 43%, 工人甲的空闲率为 74%。说明这个人机系统中, 人机的空闲率都实在太高! 工作效率低也就在情理之中了。

## (2) 无效动作多, 疲劳度较高

工人甲疲劳度较高主要有两方面的因素:

一是零件自身较重。整个流水线到达这里时整个零件已成形, 重量较大;

二是无效动作过多。此道工序尽管是在不到  $2m^2$  内操作, 但是要求工人进行搬运的动作比较频繁。比如, 从储物架取密封件, 移动到充气工作台; 工作台有高低两个桌面, 充气之前需要将工件从较矮的桌面提升至较高的桌面; 将工件从充气工作台搬进检漏设备中。其中前两个搬运动作在流水作业中并没有产生任何价值, 完全是无效动作, 应该通过改进将其剔除。

## (3) 工作面较高肘部易疲劳

经过测量, 工作台的工作面高度约为 1.2m。这个高度使得操作者的肘部始终处于弯曲悬空状态, 容易疲劳。

## 2) 改进方案

### (1) 增加充气设备, 降低空闲率

从最简单的角度出发, 改进方案可以增加充气导管的数量。我们初步设想增加 1 条充气导管, 则平均每个工件充气用时变为 16.7s。用人因工程学中的“工组程序图”表示, 可以更加直观地看出改进效果, 如图 11.12 所示。

但目前所面临的问题是, 受充气压强的限制, 现有导管数量已是上限, 再增加将无法达到所需压强的要求, 需要同时提高输气气压, 这样就会增加成本。鉴于上述原因, 该方案只能由厂方去定夺。

### (2) 减少无效动作, 降低疲劳度

零件自身重量是我们无法改变的, 除非改进工艺或者采用其他材料, 但是这些已经不属于我们的研究范围。我们主要通过改变作业面高度及零件布置, 达到减少无效动作、降低疲劳度的目标。

首先, 将工作台面积扩大, 密封件和工件放在同一个工作台上, 省去了“取密封件”和“提升工件”两个过程。尤其是删去了“提升工件”, 大大降低了工人的疲劳度。

其次, 将工作台的工作面高度降至适宜的高度。根据《人因工程学》(朱序璋主编)表 8-8“适宜的立姿工作面高度”给出的数据, 此道工序中适宜的工作面高度范围为 0.90m ~ 0.95m, 与原来的高度有一定的差距, 说明这点必须进行改进, 以降低操作者的疲劳度。

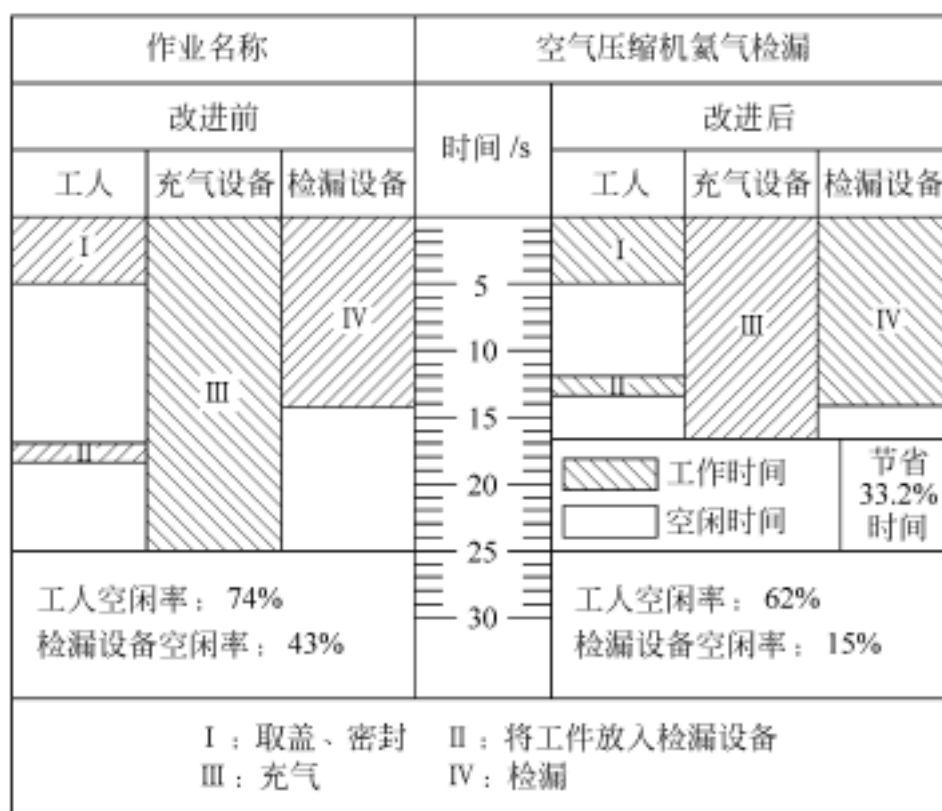


图 11.12 人机操作图:改进前后

此方案的成本微乎其微,可行性也非常高。在后面我们通过软件仿真的分析方法来原因说明其改进效果。

### 3. 软件仿真

根据前面的分析,工人甲的具体操作中,“充气过程”和“将工件放入检漏设备”两个过程并不需要进行改进。因此,我们的重点放在第(1)工步上。下面的仿真也仅仅给出该工步改进前和改进后的仿真,并在此基础上进行比较分析和得出结论,特此说明。

我们将操作的全过程用 Jack 的动画功能来仿真。下面通过截图的手法,基本上以动画帧(therblig)为单位,按照顺序来展示我们仿真出来的画面。

#### 1) 改进前的操作仿真

图 11.13 为改进前的操作仿真图。

#### 2) 改进后的操作仿真

下面的仿真中工作环境发生了变化,主要是改变了工作台和工件摆放的位置。需要说明的是,绿色的柜子原来用来放置密封件,现在可以去掉也可以保留。即使保留着也仍然用来存放密封件,加工时需要用的密封件也应该事先放置在工作台面右边,以便于加工时取用,见图 11.12(d)。表 11.5 是仿真输出的数据。

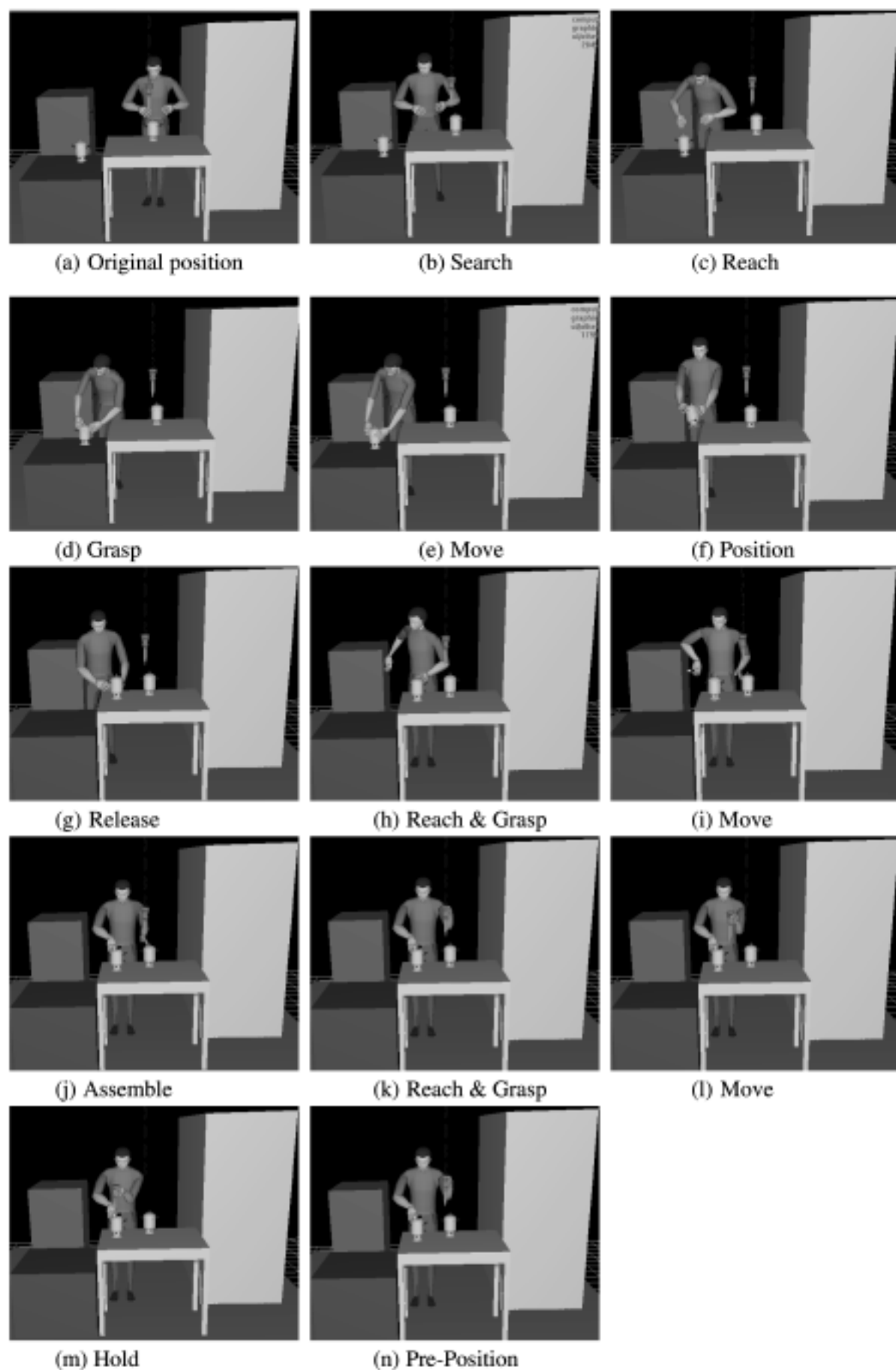


图 11.13 改进前的操作仿真



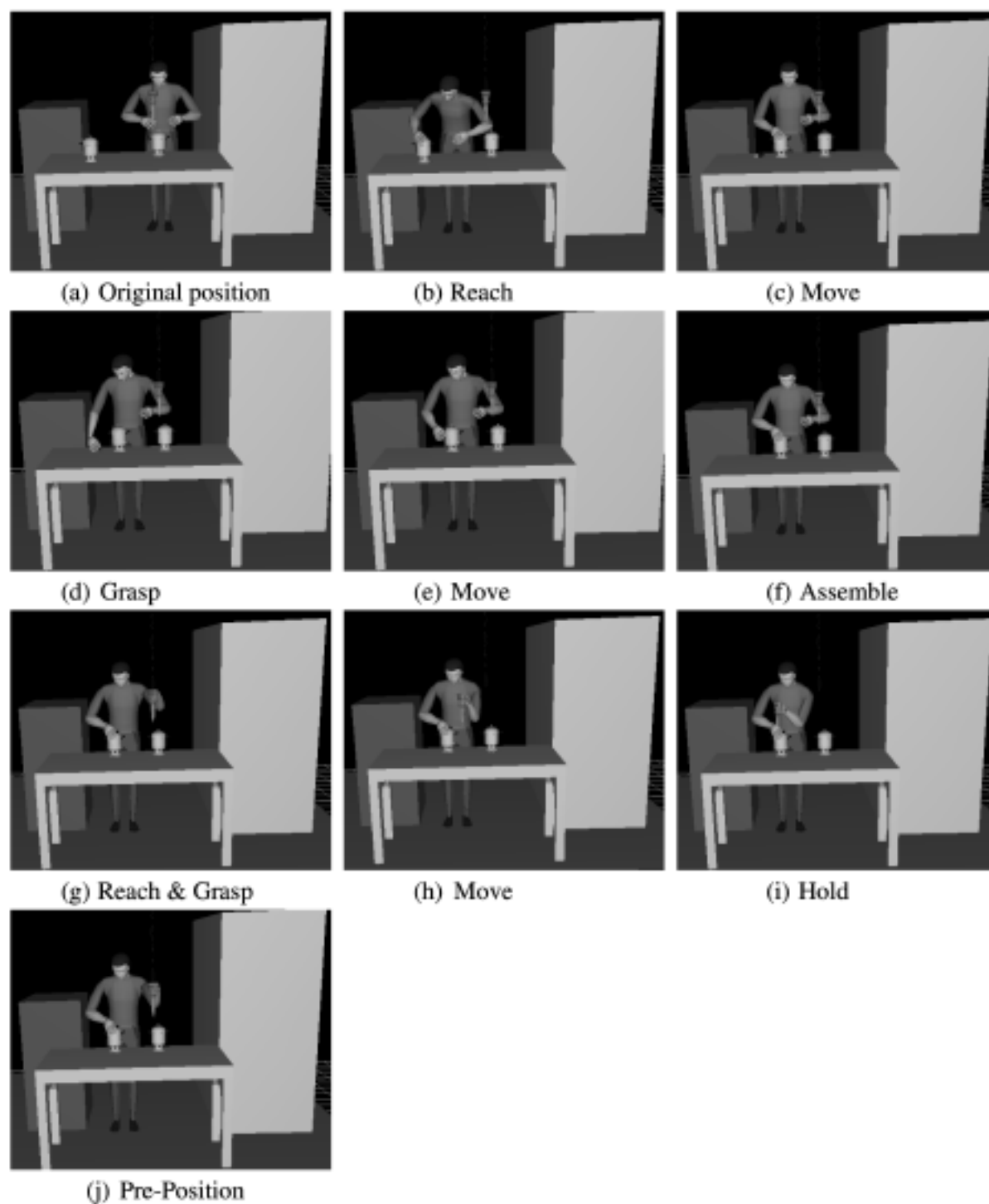


图 11.14 改进后的操作仿真

表 11.5 仿真输出结果

Task	Current Situation			Anticipation Situation after improvement		
	Description	Code	Element Time (sec)	Description	Code	Element Time (sec)
1	Search the main part(walk)	W-FT	0.191	Reach to the main part	R10A(r)	0.313
2	Reach to it	R20A	0.471	Move it	M10B(r)	0.439

续表

	Current Situation			Anticipation Situation after improvement		
Task	Description	Code	Element Time ( sec)	Description	Code	Element Time ( sec)
3	Grasp it	G1 A	0. 072	Grasp the plate	G1B(r)	0. 441
4	Move it	M20B	0. 868	Move it	M5 A (r)	0. 263
5	Position it	P1	0. 202	Assemble(as Position)	P1S(r)	0. 202
6	Release	RL1	0. 072	Reach to the screw tool	R15 A(l)	0. 361
7	Reach to the plate	R25 A(r)	0. 553	Grasp it	G1A(l)	0. 072
8	Grasp it	G1 A(r)	0. 072	Move it to desk	M10C(l)	0. 401
9	Move it	M25A(r)	0. 835	Hold it while it is working	(l)	0. 4
10	Assemble( as Position)	P1S(r)	0. 202	Pre-Position the tool ( as release)	RL1(l)	0. 072
11	Reach to the screw tool	R15 A(l)	0. 361			
12	Grasp it	G1 A(l)	0. 072			
13	Move it to desk	M10C(l)	0. 401			
14	Hold it while it is working	(l)	0. 4			
15	Pre-Position the tool ( as release)	RL1(l)	0. 072			
Total time	4. 844sec			2. 964sec		

注: Code 中如果没有说明为左手(l)、右手(r),即为双手操作。

#### 4. 比较分析及结论

##### 1) 动素数量比较

对比图 11.13 和图 11.14 可以很清楚地看到,动素的数量从原来的 15 个(图 11.13(h)中有 2 个动素)减少为改进后的 10 个,变动幅度为原来的 1/3。

这是因为工件和密封件都摆放到同一个桌面上来了,取用两者的过程减少了部分无效动作。尤其是将弯腰提升工件(参见图 11.13(c)~(e))改进为简单的推动(仅有滑动摩擦,参见图 11.14(b)、(c)),大大减轻了劳动强度,降低了劳动的疲劳度。

##### 2) 人类工效分析

Jack 软件的工作分析工具包(Task Analysis Toolkit)中提供了各种人类工效分析工具,可以用来分析能量消耗、强度、受力等。

我们利用力和力矩分析工具块“Force and Torque Analysis”来比较分析操作者的身体各部位受到的力矩的变化,并用力矩的变化来表征疲劳度的变化。工具块分析得出的界面如图 11.15 所示。

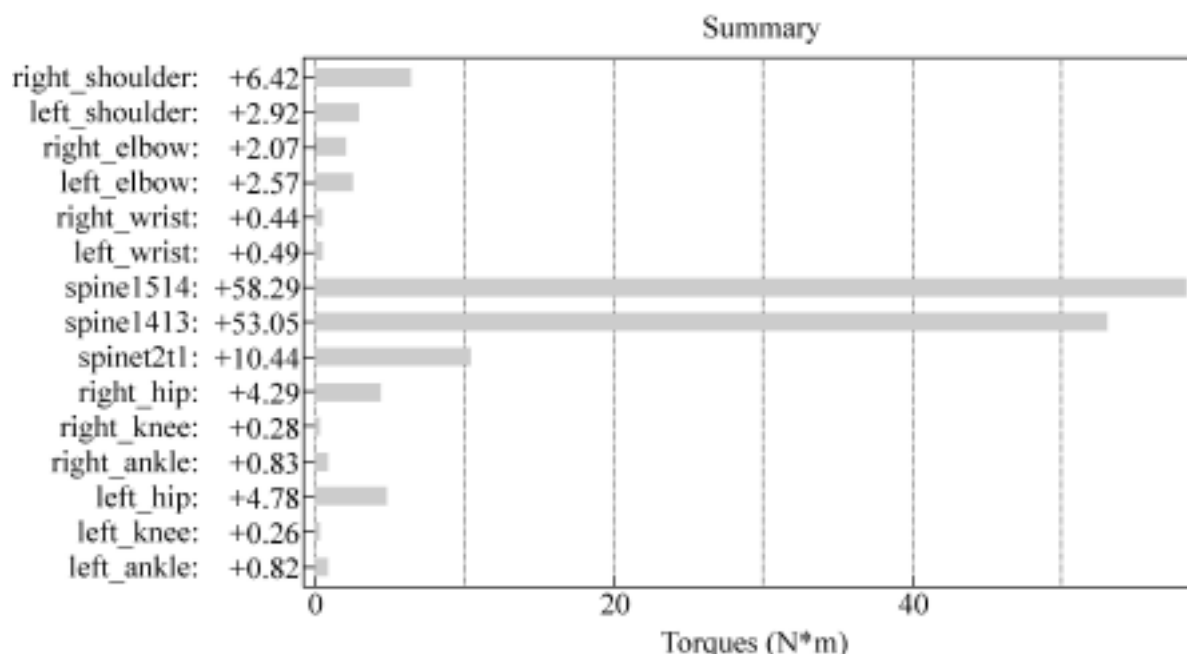


图 11.15 力和力矩分析工具块的分析界面

其中,纵轴为身体各部位(第 1 列英文)及其对应的力矩(第 2 列数字,单位为  $N \cdot m$ ),从上到下,纵轴上反映了右肩部、左肩部、右肘、左肘、右腕、左腕、脊骨 1514 号部位、脊骨 1413 号部位、脊骨 2t1 号部位、右臀部、右膝盖、右踝骨、左臀部、左膝盖、左踝骨。横轴为身体各部位所受到的力矩(单位为  $N \cdot m$ )。

受篇幅限制,不能对每一个部位所受力矩进行分析。不失一般性,我们选取脊骨(spine)和肩部(shoulder)作为研究对象,利用 excel,可以得到改进前后的力矩变化曲线。

从数据中可以看出,肩部的数据有 2 个,脊骨的数据有 3 个。对于肩部,我们分别做出左肩、右肩和两者平均值的图像;对于脊骨,我们只做平均值的图像(见图 11.16)。

### 3) 结论

从图 11.16 可以看出,改进后,身体肩部和脊骨受到的力矩有了明显减小。从仿真得到的原始数据也能够得出身体的其他部位所受到的力矩变小的结论。说明改进方案能够明显降低操作者的疲劳度。

当然,图像是根据动素顺序做出来的,疲劳度还与操作时间相关。而实际上,若将横轴变为时间轴的话,疲劳度可以由曲线与横轴所包围部分的面积来表示。很明显,我们亦能够得出前面的结论——改进方案能够明显降低操作者的疲劳度。

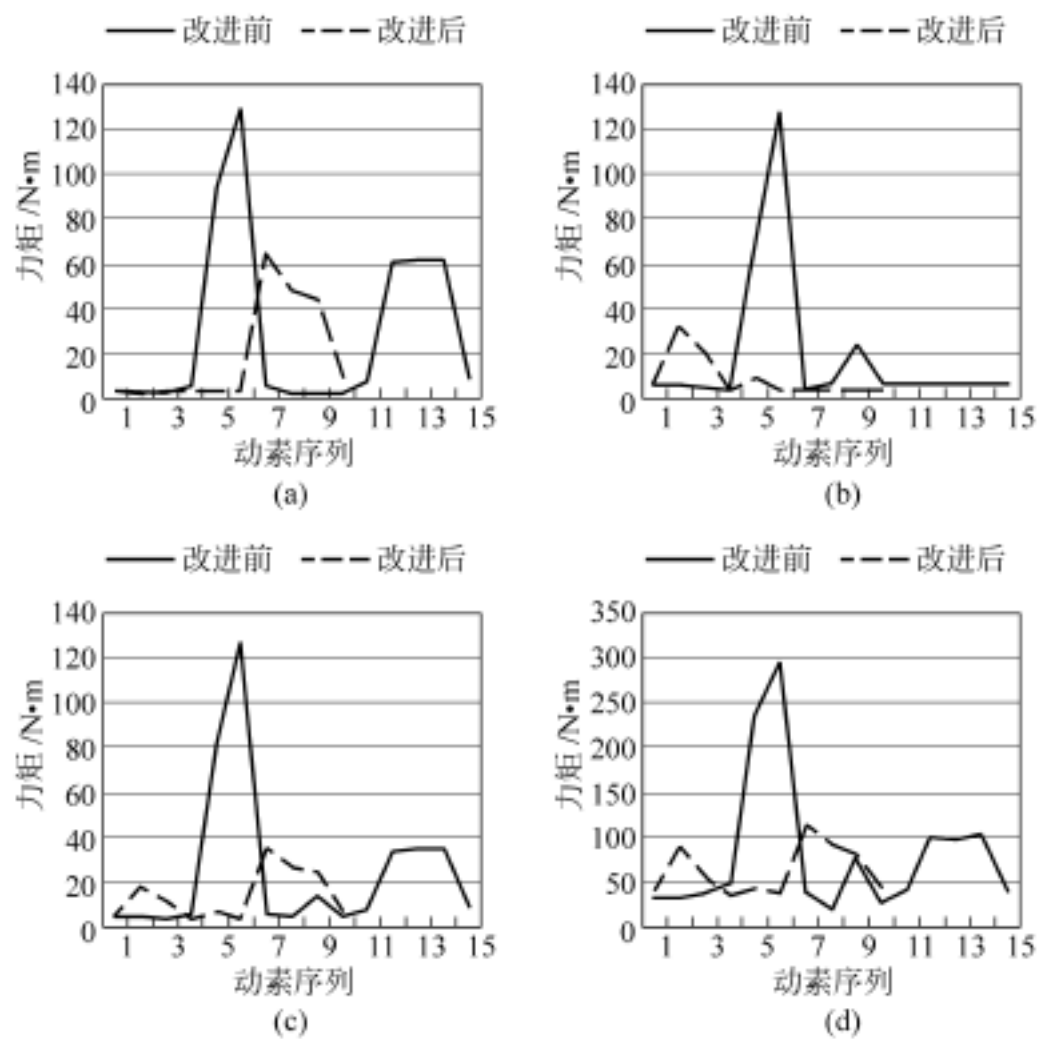


图 11.16 各部位所受力矩的变化曲线

(a) 左肩所受力矩; (b) 右肩所受力矩; (c) 肩部所受力矩平均值; (d) 脊骨所受力矩

# 12

## 电子制造业公司业务 流程分析

### 12.1 电子制造业公司的生产背景

某电子公司是一个不参与设计和开发、专职从事来料加工、给客户提供 SMT 专业服务的公司,它的生产项目主要有电路板组装、电路板测试、电子产品机构组装和代购零件。在生产中经常有零件不良的问题存在,其原因可能是在物料的搬运过程中发生碰撞或储存环境不适合,也可能是零件的来料不良。在生产后,会导致产品的不良率显著升高,成本增加。更多的是工作流程不规范,员工的质量意识差,导致产品不良率高,返工的工作量多,严重影响公司的质量信誉与经营效益。公司在某个时期面临的比较重要的问题有:

(1) 整体作业及各主要部门的工作重点和工作流程不规范和不清晰。各部门负责人对公司主要流程理解不一致,程序上常有越级,工期紧张时流程就更混乱。

(2) 经常性的生产线停产。原因有两个:第一是客户的订单减少了,这就要求业务部不断开发新客户,使公司不断有新的工作;第二是公司生产的产品不能使客户满意,应该努力提高产品质量,降低产品成本,使公司保持较强的竞争力。

(3) 产品的不良率较高。这使公司的成本难以下降,不但要在成本中加上维修的费用和维修工人的工资,延长产品交货的日期;还会产生退货的问题。退货一方面使成本更高,另一方面将招致客户的不满,不利于公司声誉的提高。

(4) 公司对员工的培训以及公司的管理制度不够完善。由于工作疲劳等影响,一些员工不按照操作规范工作,很多员工的思想中不存在质量意识和足够的责任心。

本章在充分调研的基础上,对生产各阶段的工作流程进行规范,对相关各部门的工作重点和职责进行明确,对公司的各项主要业务进行系统化和规范化。在控制和追踪众多

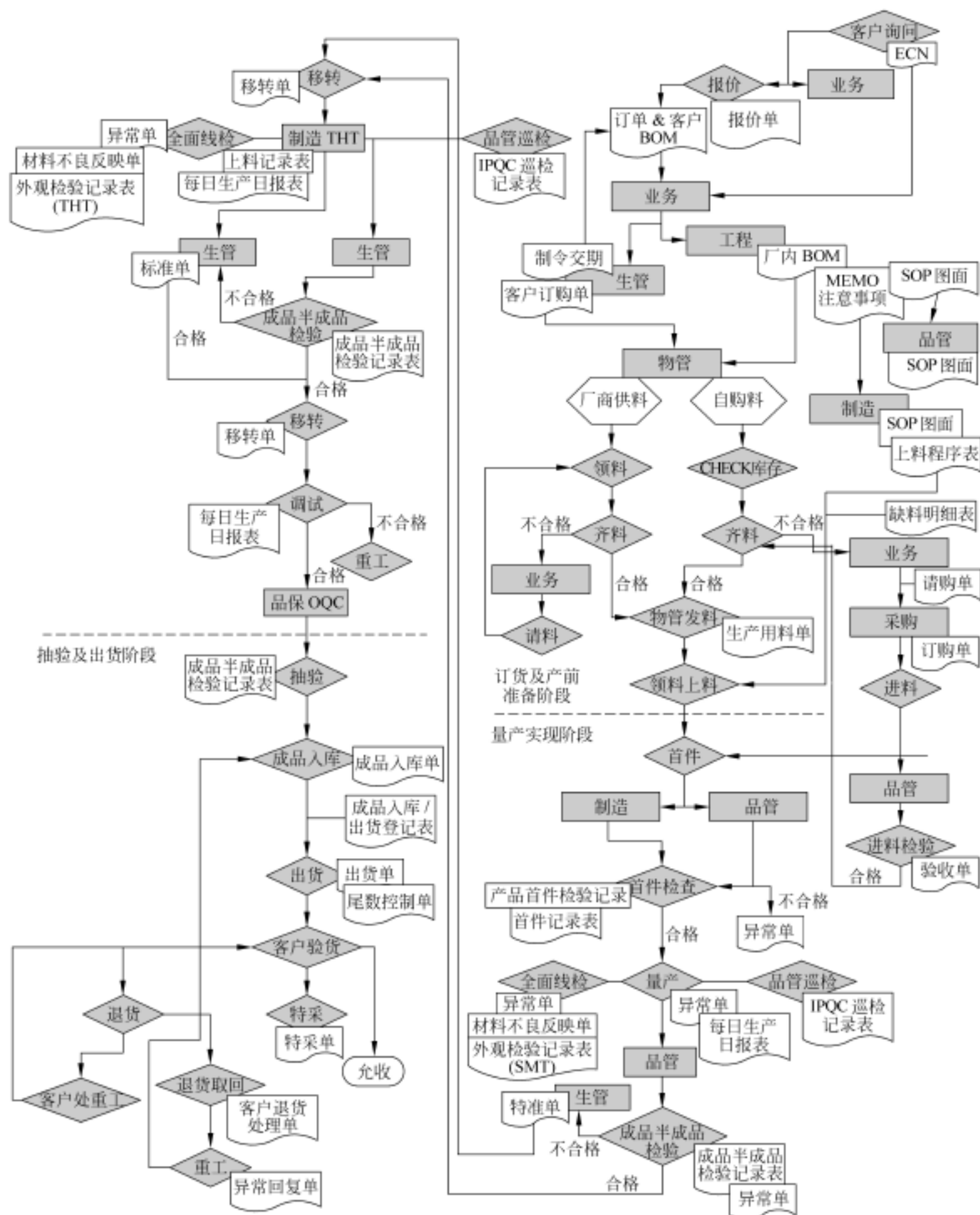


图 12.1 整体作业流程图

参数影响结果的过程中,工作小组积极摸索正确的工作方法。首先从“人、机、料、法、环、测”的角度,用鱼刺图分析和寻找不足的原因。再用“头脑风暴法”提供解决方法,用一定的标准去评价该方法,筛选出最佳方案。为查明事情的因果关系及隐藏在事件背后的真实原因,要积极运用“5W”的提问和“5个为什么”方法。

为了保证质量和降低成本,首先从整体作业流程图着手,完成系统和完整的工作流程(图 12.1),然后对各部门的工作展开详细分析。由工程部负责新品试做规划、说明及安排。品管部负责试做产品的品质管制。由工程主管指定负责人对相应機種进行试做规划。试做规划包括编制试产的工艺流程图,以体现整个产品的工艺流程;与品保部负责人共同制订相应过程控制的记录表单,以对试产作业的过程进行跟踪记录;对试产过程的安排与品质标准通知客户有效确认,若客户不作特殊要求,则以此推行。

为了使公司的管理水平上一个层次,同时也为了保证制造出高品质的产品,公司实施 5S 规范。认真做好整理、整顿、清扫、清洁和素养工作,即把“要”与“不要”的东西区分开来,然后将不要的东西除去;安排规范厂区,使要用的东西能立即取得,追求安全、品质、有效的东西放置方式;把物品、机具擦干净,把环境打扫干净,并经常保持这种状态,做到无垃圾无污染的工厂;维持整理、整顿、清扫的 3S 效果;养成遵守规定事项的习惯。

以下对订货及产前准备阶段、新機種试做阶段、量产实现阶段、抽验及出货阶段分别进行详细调查,具体描述各个阶段的工作流程和主要工作内容,并对一些关键环节提出注意的地方。

## 12.2 订货及产前准备阶段

客户在与公司下订单前,先对公司的产能、产品质量和财务信誉进行评审,评审通过后,才正式签合同。在完成生产计划制定和物料备齐后,要对新产品做试产,及时修改工作流程以及工艺参数,为量产做好充分准备。在这个阶段,市场部负责与客户洽谈业务,并组织有关部门进行合同评审;资材生管部负责按客户订单的要求,制定生产计划,并安排物管的备料任务;资材物管部负责管理备料并由品管部对进料进行检验;工程部负责制定作业标准及作业规范,以及厂内外制令的转换及工程变更的处理。品管部负责依照标准对首件及试产状况进行监督与控制。订货及产前准备阶段的主要工作及其与业务部门之间的关系见图 12.2。

### 1. 市场部的工作内容

市场部负责接订单、满意度调查、吸收新客户并协同进行试产等工作,主要工作流程见图 12.3。市场部在业务洽谈和产品服务的同时,收集同类产品的资料和客户意见,处理常规需求和特殊需求。这里的常规需求是在不改变既定验收标准下,尽可能满足客户需求;特殊需求是指需求与既定标准有较大差异时,需另行设计工作流程,如确认公司有

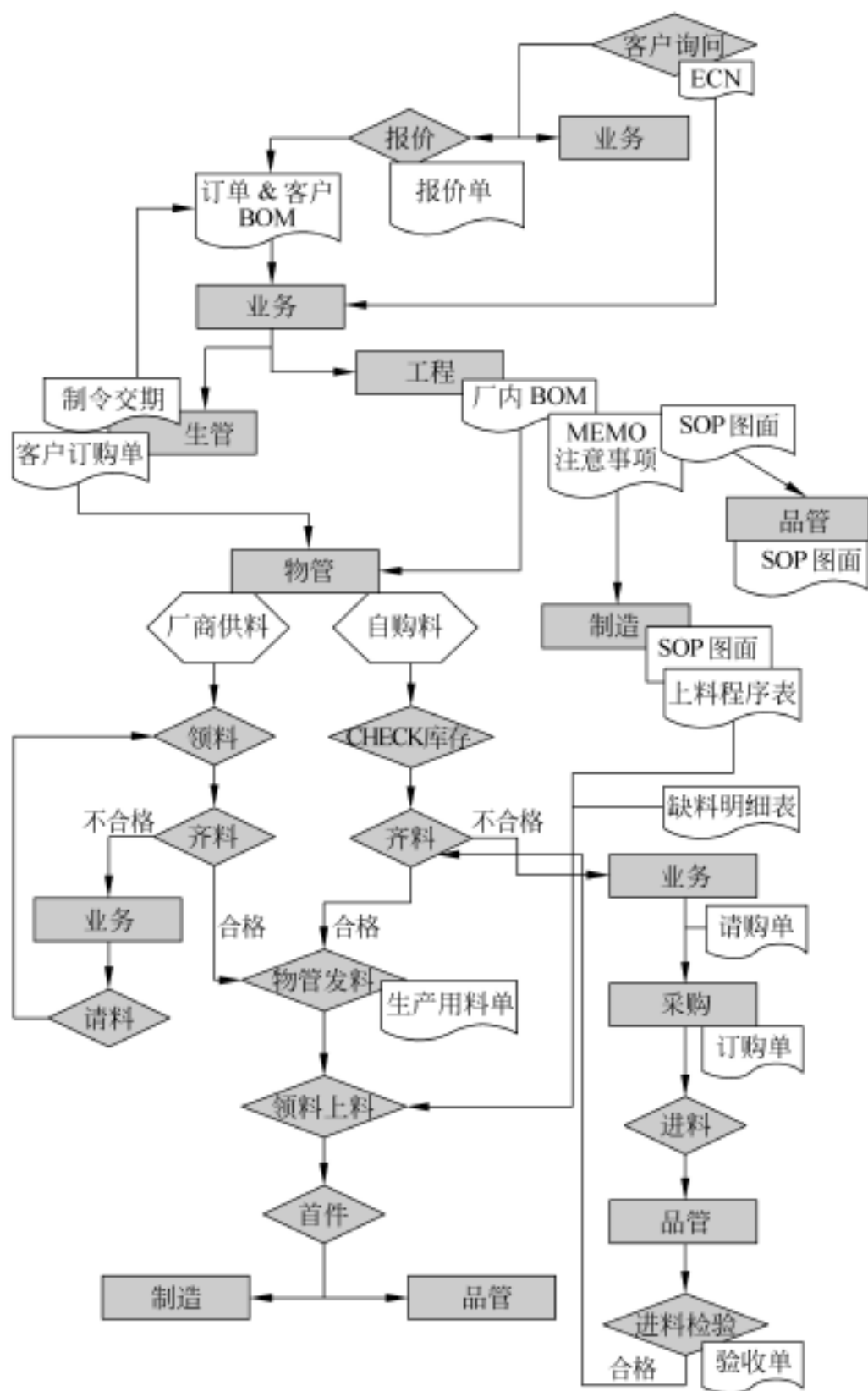


图 12.2 订货及产前准备阶段的主要工作及其与业务部门之间的关系

能力满足,则由市场部与有关部门协调,由厂长签核。

市场部还需会同各职能部门进行合约审定及报价;生管部协同进行合同的交期审定;品管部协同进行特殊品质要求的审定;工程部协同进行特殊制程的审定。然后市场部根据客户提供的相关资料如料表、加工工艺、测试要求等成本进行估价。在报价及制程制定



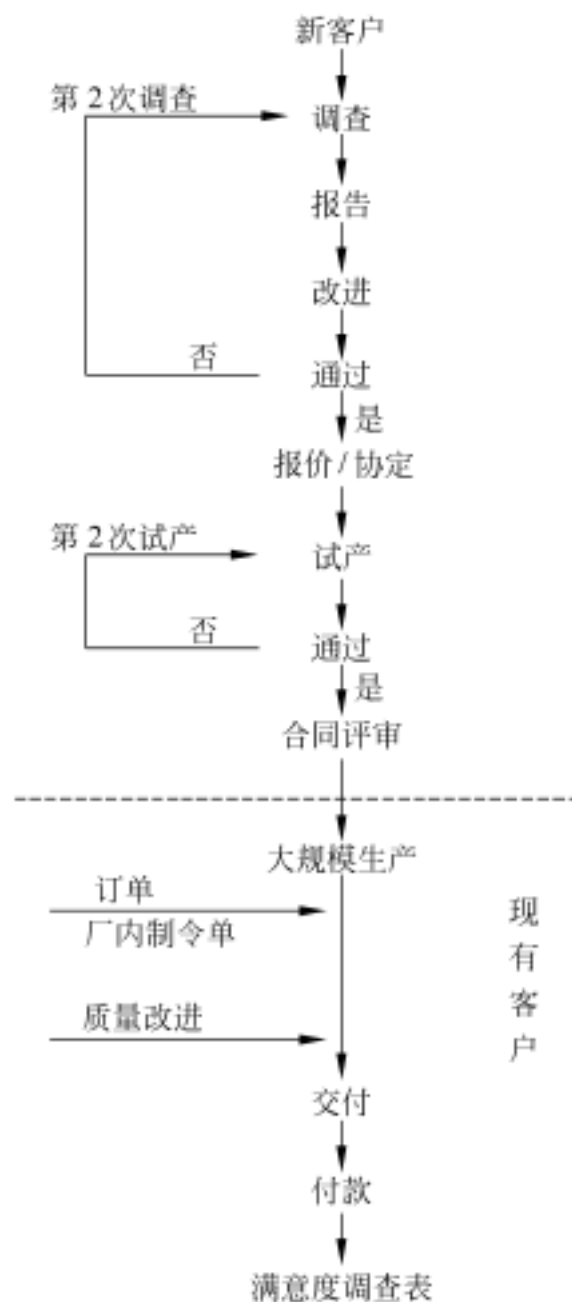


图 12.3 市场部工作流程

过程中,市场部要与客户协商。如合同有变更,要通知相关部门。在订单确定后,市场部要通知生管部安排产能和生产时间。在发生缺料等生产问题时,及时与客户协调。

市场部的服务工作有:在每年的十二月,向客户发出《满意度调查表》。反馈后,对调查表中的重要缺点要经过评估,并成立专案组进行改善,跟踪确认实施效果。

市场部的调查工作还有:

- (1) 报价根据市场导向,具有市场平均水平。价格制定后,由厂内控制成本,保证赢利空间。
- (2) 保证应收账款能及时收回。
- (3) 加强为客户服务,确认客户满意度的调查频率。
- (4) 要经常调研目前公司的竞争力水平是否处于行业里中上水平。

(5) 如生产线有空余,市场推广工作需加紧开展。

## 2. 资材生管部的工作内容

资材生管部在生产排程上要依订单要求、客户需求缓急及本厂生产能力制定生产计划,有效管制从业务接单到领料、生产、品管、出货至客户验收的各阶段检验。生产排程确定后,生管部应取得客户对交期的确认(图 12.4)。

对外包工作上的要求有:

(1) 当订单所需产能大于厂内自有产能时,由生管部提出外包需求。

(2) 由外包厂商所接受的订单,由本公司备料完成后,再由该外包厂商承做。

(3) 特殊制程或设备能力非厂内所能承做时,转由生管部发出外包。

资材生管部负责调查的工作有:

(1) 主要搬运设备,如叉车、液压车。

(2) 进料检验,如原料数量及规格的核准。品管监督只局限于规格的确认,对来料品质问题难以辨别。

(3) 对有保质期要求的来料,比如锡膏,要与客户协商,一次进料的数量要适中。

(4) 仓库里要对温度、湿度、静电有要求,要注意防潮,搬运要小心。

(5) 仓库内使用特制灯泡,当电压过高电路着火时,能自动切断电源。

(6) 有责任加强组织管理能力,要严格按照 ISO 规范作业。

注意事项有:

(1) 与客户以及来料厂商协调,努力保证原料品质。

(2) 在搬运及摆放精密元件的过程中,要严格遵守 ISO 相关程序书及操作手册。

(3) 加强组织管理,提高部门员工品质意识,规范操作程序。

(4) 在物流以及仓储规划中,经常进行检讨,不断优化规划。

(5) 备料和上料过程要和车间及相关部门做好协调,使产线生产及时顺利进行。

## 3. 资材物管部的工作内容

资材物管部负责对材料的核对、储存管理、搬运管理及上线生产,确保本公司生产顺利,产品质量合格。

首先要分清来料性质。对来料加工,需要客户提供原料,定期来公司盘点,公司提前一两天进行盘发,算出大概数量,再与客户协商。对于 OEM(代料代工),公司根据客户

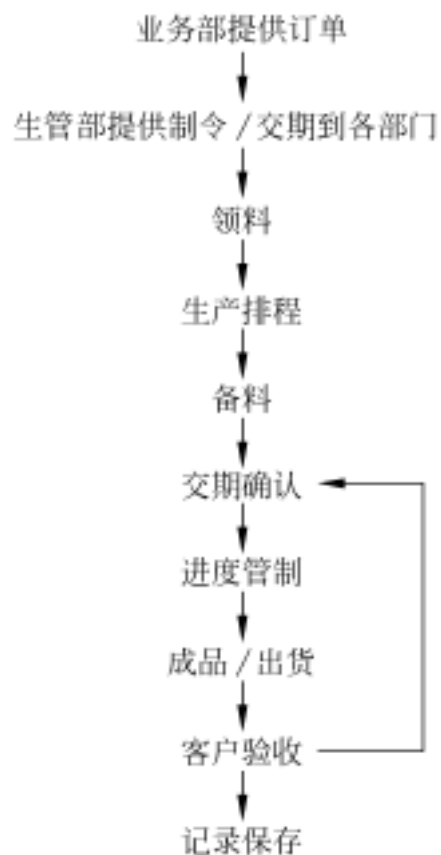


图 12.4 生产制令流程图

需求,自行采购原料,此类附加值比较高。

资财关系主要有:

- (1) 进口货物的通过;
- (2) 免税商品的进口;
- (3) 进口货物检验检疫。

IQC 方面有:

(1) 对长期客户的供料一般情况下不予进行检验,或只根据 BOM 表核对品名规格。若出现客户来料异常,则对异常情况进行检查(图 12.5)。

(2) 对自购的原材料,根据《AQL 抽样标准》进行抽样检查,在允收范围内予以接收:允收范围外,则批退,由供应商更换并制定改善措施(图 12.6)。

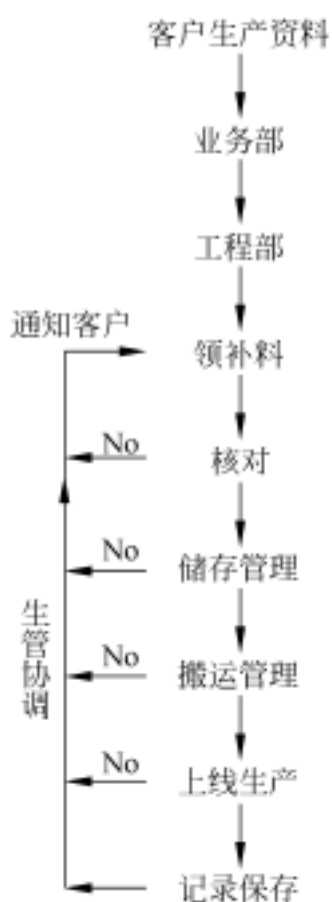


图 12.5 客户提供料件管制流程图

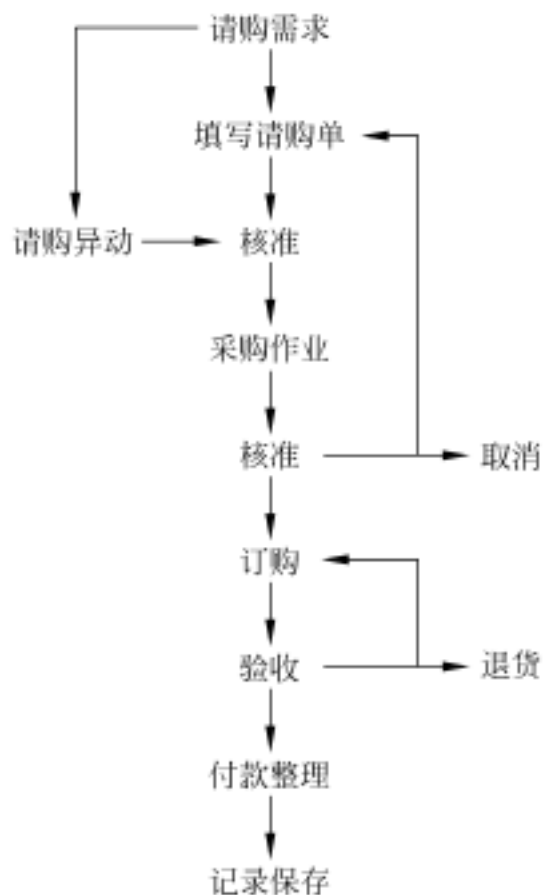


图 12.6 采购流程图

采购标准有两类:

(1) 一般采购应按照询价、比价、议价的过程,但经常性的采购或金额在 300 元人民币以下的,可不经比价,直接进行议价,选定的采购厂商均为符合厂商管理程序的厂商。如遇生产急需,允许超出合格厂商名单范围进行采购。

(2) 若为下列特殊情况,可指厂采购: 正式代理商; 客户指定厂商; 货源有限。

物料搬运要按照先进先出原则,避免重摔、挤压、振动、拆封,上架时注意排列整齐。

成品及原料按厂商及机种堆放于不同的区域。所有物料必须在其适合的温度、湿度条件下存放。在仓库中可以用空调、冰箱等来控制温度和湿度,同时还要做好防静电的工作。

## 12.3 新机种试做阶段

### 1. 工程部的重点工作

(1) 负责客户在产品开发过程中的工程变更。

(2) 将客户的表达方式转化成厂内的表达方式。

(3) 制作作业指导书,结合生产线情况和技术员的经验,进行协调,并盖试用章,然后写正式的指导书并分配工作。

(4) 确定 ECN(engineering change notification)切入点和 ECN 适用机种范围,确定导入时间,进行小批量试产实验。

工程部要严格按照新品种试做流程进行工作(图 12.7)。首先制定前后段制造流程上所需的注意事项,以使生产线能顺利进行。对无试做必要的机种直接列入标准制造流程中。工程部要指定负责人,把试产安排与品质标准通知客户,并得到有效确认。制程与品质标准要以量产为目标。项目负责人通知各部门召开试做说明会,对试做规划作必要阐述,并在会议中讨论,做出必要修正。试做经评估确认可行后,由工程部将各参数予以标准化。验证品质策划及其目标是否相符。如果试做情况良好,则由专人做出转入批量生产的衔接计划,并进行推行。

工程变更前,若有工程试产运作,则由工程部门依客户要求做试产追踪并撰写试产报告,以作工程变更的原因。工程试产运作由提请部门以联络单形式通知相关部门协调作业。当工程部接到书面或口头工程更改 ECN 时,立即审核,并视需要转成厂内格式的《工程变更通知单》或直接使用客户的书面 ECN,交由品管部、资材部、制造部主管会签,并交文件管制中心处理。公司内部因制程需要,需变更工程时,则由工程部发出《工程变更通知单》,交由品管部、资材部、制造部主管会签后交文件管制中心处理。

文件管制中心收到工程部所交的待发行 ECN 时,经文件编号、复印后发行至相关部门并对涉及 BOM 表的内容,在各部门所发的 BOM 表上直接进行修改,并签名确认。工程部与品管部根据 ECN 涉及的制程管制内容进行更改,制定工作说明书样品及品管资料,以便生产线及品管部执行变更动作。资材部依 ECN 内容及时提供变更材料,并对必要回收的材料及时执行回收作业。SMT 制造部工程师依 ECN 内容,进行更改程式,完成



图 12.7 新品种试做流程图

后填写《SMT 工程变更软件修改记录表》,对需随线调整的流程则在生产线执行变更动作时再执行。

生产线按制程的工作说明书和样品进行工程变更动作,并将其执行状况记录于《制程管制与检验程序书》的相关表单,由工程部人员及各部门当班主管对变更过程进行记录及确认,填写《工程变更执行记录表》,另外由生产线作业人员对变更前后的成品与样品区别放置。

## 2. 注意事项

(1) 在每批次、每班次生产前,一般都要先做首件,以便及时了解生产线状况,并调整参数。

(2) 产前要召集各部门(包括工程部、品管部、制造部、资材部、业务部)有关人员开会,确定相关事宜。

(3) 材料要及时备齐,程序要做好,相关负责人要确定。

(4) 产品小变动试做,可以不必重做作业指导书,但相应的钢板和罩板要提前准备。

(5) 有新品试做,要提早通知各部门,提供相关资料,充分做好协调工作。

(6) 对备料过程过长(约 1h~2h)的新品试做,资材部要与生产线协调好,提早将物料备好。如果进料线上料过程缓慢,则应按情况加派人手或采取适当措施。

## 12.4 量产实现阶段

新产品试产合格后,开始进入量产阶段,如图 12.8 所示。前段为 SMT(面粘贴技术)加工;检验合格后进入后段 DIP(传统插件作业)加工;完成后进行 ICT 在线测试,主要测试是否存在短路或断路等问题;ICT 之后是 F/T 功能测试,测试产品的功能是否正常。如果测试不良,则对不良品进行维修或返工(图 12.9)。

### 1. 资材生管部的工作内容

在这个阶段,资材生管部根据厂内产能状况,制定量产计划。在生产过程中,对生产进度进行跟踪和督促,并协调生产进度与客户需求。

### 2. 资材物管部的工作内容

资材物管部负责控制原料状况,支持主生产排定,解决产线现场发生的原材料问题。在支持生产排程的同时,控制原料的异常反馈,如有材料问题及时向生产主管反馈。

### 3. 工程部的工作内容

工程部负责对制程异常进行追踪与改善,并进行先进制程的研究、开发及导入。产品工程师负责解决生产流程中出现的问题,重点在于工艺的改良,保证高质量生产;对工程过程进行确认,对于流焊、锡焊、手焊作业等不能由其后测试来确定质量的特殊过程,进行确认,以保证产品质量;对产品进行鉴别,借助不同的标识,鉴别各产品在各生产阶段的质

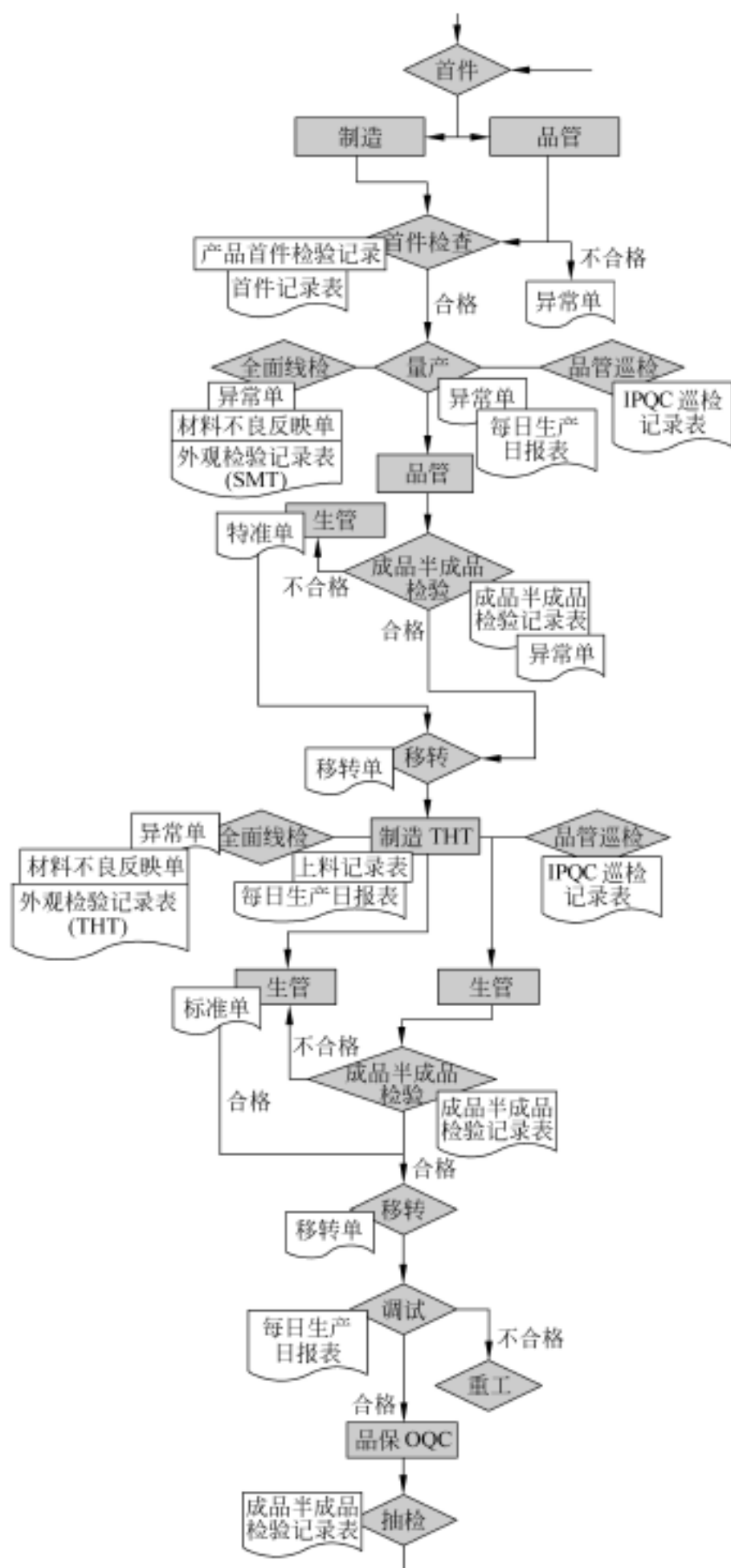


图 12.8 量产实现工作流程

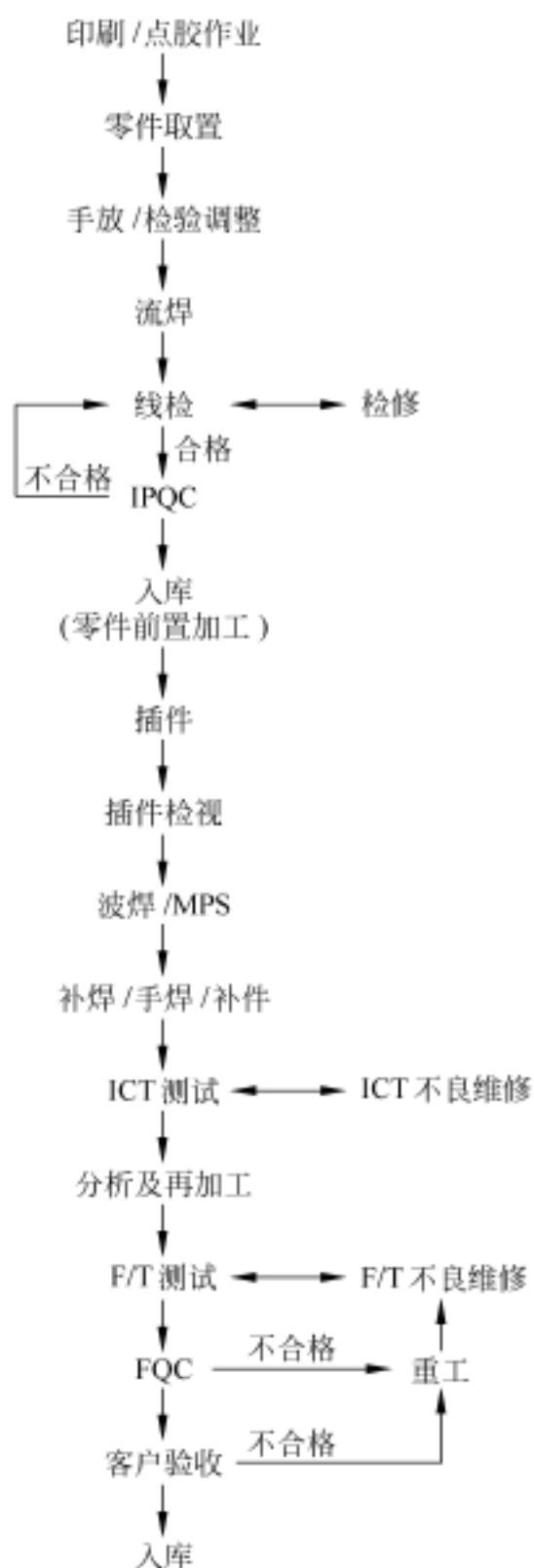


图 12.9 SMT 和 DIP 的制程流程图

量,不至于混淆。对产品进行追溯,借助适当编号方法,做好油墨印记与相关记录,作为发货后品质状况追溯以及品质改善的主要依据。

#### 4. 制造部的工作内容

制造部进行在线检验,根据 BOM 表对物料、机器程序、IC 规格、元件极性、空焊等进行确认。制造部还需进行统计工作:对客户、机种、计划量、实际量、差异状况进行每周/月生产统计;对客户、班别、计划量、实际量、差异状况进行每周/月品质状况统计;对机种、计划量、实际量、差异状况按客户进行周度、月度、年度的生产统计;对机种、班别、计划量、实际量按客户进行周度、月度、年度的品质统计。

#### 5. 品管部的工作内容

品管部负责处理生产线日常出现的异常情况,对品质进行检查监督及控制。品管部的主要工作有:在线检验员管理每天任务的交代及安排;做好生产前的准备,包括 BOM、ECN 文字图的确认;处理生产线日常出现的异常情况;做好每班每线的首件检查;完成每天的巡检报告以及各制程的检验报告。品管部负责首件产品的质量管理工作,对早、中、晚班的换班及各临时换线都要做首件质量工作并及时调整工艺参数。还需进行巡检,要求比现场检验更加细致,参照 BOM 表,对元件的具体位置、电阻值、电容值进行确认。每 2h 进行一次认真检查,如实记录,发现异常就及时告知领班。对上料进行核对,各线换班或换线前,每一机种的上料要与 BOM 表核对。每 2h 一次,主要核对生产线料单,必要时核对 BOM 表,对生产线换料记录进行核对确认。及时做好品质记录管理,使品质系统的相关记录达到系统化的管理,以便追溯应用,使产品达到一定的水准与要求。异常原因经分析后拟定应对措施,经品管部确认后执行。品管部对已执行完成的异常单进行追踪确认,确保其有效性。异常状况可能再次发生,需再次拟定预防措施(图 12.10)。

对不良品按如下步骤进行处理:

(1) 进行不良品与良品的判断,若客户无特别规定,则根据《公司外观检验规范》执行;若有,则依客户规则判定;

(2) 对生产制程中损坏的原料、不良半成品及成品,通过维修方法处理并检验测试得以转为良品;对无法转成良品的各类状况,实行报废流程;

(3) 成品出货前,对抽验品质与出货时效的急迫性等各种状况,制定适当的流程处理(图 12.11)。

品质稽核主要是验证品质保证体系是否正确实施,及时发现问题,采取矫正并制定矫正/预防措施(图 12.12),以维持各项品质作业的有效性。有关部门配合做好内部稽核工作,并对发现的不符合项,制定及实施纠正措施。

品质策划工作包括以下内容:

(1) 为使产品满足规定的品质要求,在合同评审时,对品质特性进行识别、分类、比较,确定是否需要品质策划。

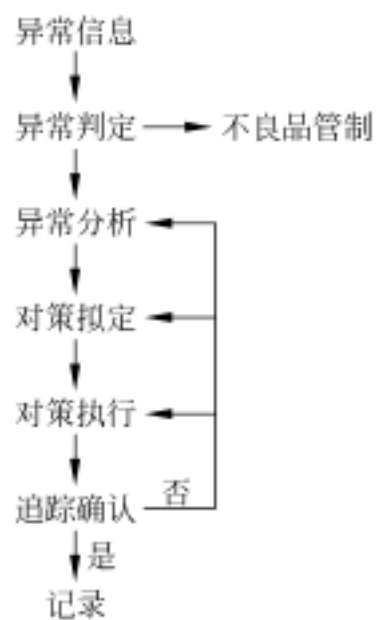


图 12.10 矫正与预防流程图

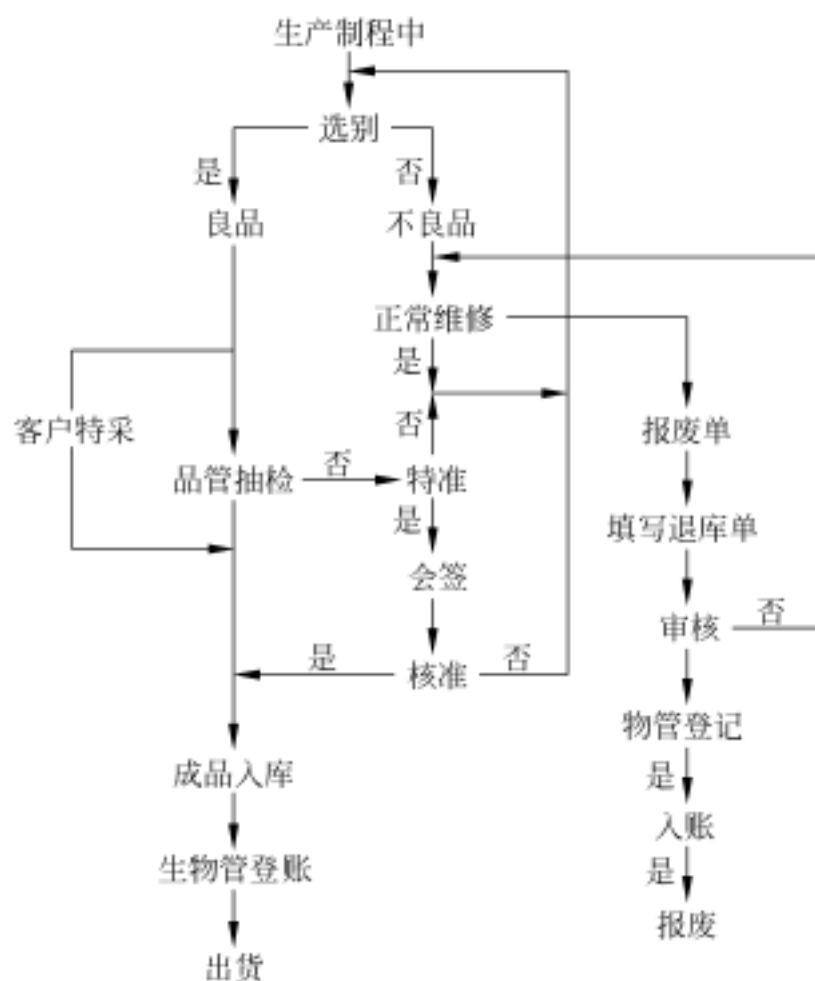


图 12.11 不良品处理流程图

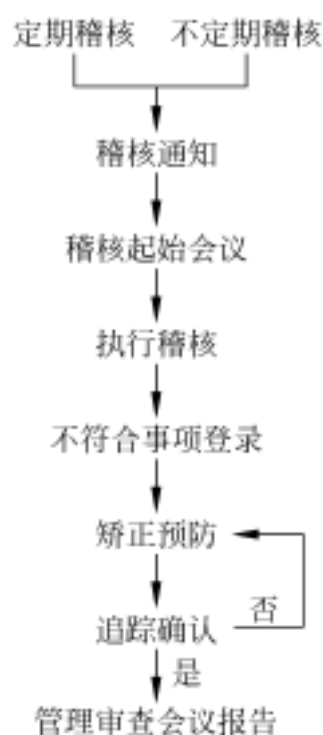


图 12.12 品质系统稽核流程图



- (2) 制定品质计划。按照计划目的、时间安排等组织人员和资源,编制品质计划表。
- (3) 计划批准实施后,有关部门安排任务和进度,工程部跟踪检验。
- (4) 在大批量生产前,进行试做,验证品质策划及其目标是否相符。
- (5) 必要时更新品质控制、检验和试验技术,改善品质管理。

## 12.5 抽验及出货阶段

### 1. 品管部的工作内容

量产后,品管部要按照一定的标准对成品进行抽检,符合标准的要入库。在成品检验前先由品管人员确认制程检验是否完成,继而根据 MIL-STD-105E 标准进行抽样,按一定标准进行测试(图 12.13)。如果批次测试结果超出允收范围则要全部返工。

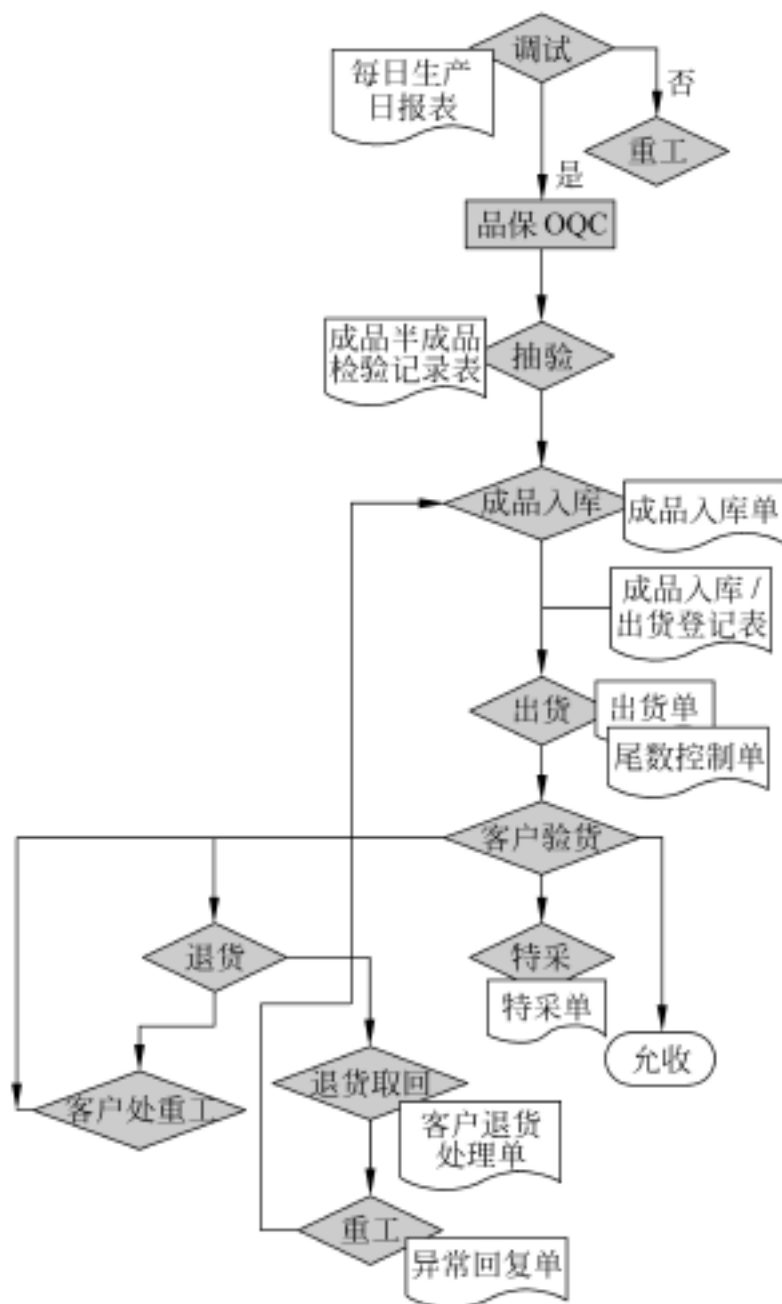


图 12.13 抽验及出货流程图

## 2. 资材部的工作内容

资材部负责准备出货程序,待成品出货后安排客户进行验收,对检验出的不良品,将货退回公司进行维修返工。资材部还负责仓管安排及交通运输事宜,将成品按指定时间和地点送达客户。

## 3. 制造部的工作内容

制造部在确保成品入库的过程中机种数量的正确及品质的维持。

## 4. 市场部的工作内容

市场部通过定期调查客户的需求和对本公司所提供产品及服务的满意程度,不断改善质量体系。

## 5. 工程部的工作内容

工程部要依据产品的特性及客户指定的测试程序,制定测试工作说明书。

成品检查的内容包括:

(1) 抽样及判别,即对所有机种均按 MIL-STD-105E 的标准进行抽样,判别标准按一般抽样 级进行验收,允收标准为 MAJ:04, MIN:1.0。

(2) 若客户有特殊要求,则按客户要求操作。

为使发出的产品均能正常运作,要认真完成测试作业,以保持一定的品质水准。在成品入库时,要核对最终检验是否完成,确认数量是否正确。在入账时,要核对无误发出的出货单,确认交通运输是否适宜。仓管员将成品与送货单交于运送人员,确认后成品按指定时间送达指定地点。

对客户抱怨要进行处理,每月统计各部门提交的客户抱怨记录及处理状况,在管理评审会议上通报各部门。对客户反映的重要缺点,由厂长指定专案负责人,成立专业小组制定对策,由各部门主管提出矫正及预防措施。加强客户通货管制,成品出货后,因品质问题由客户退回成品。如责任在我方,则移交工程部拟定处理对策;如责任不在我方,则与客户协商(图 12.14)。

统计技术管理的主要工作有:

(1) 每月由品管部主管召开,各相关部门主管参与,讨论统计资料中所呈现的品质相关问题。

(2) 品管主管负责追踪矫正预防的成效,并确认结案后,于下次检讨会议时提报。通过对相关统计资料的分析,掌握问题并得出对策,借以稳定制程,降低不良率,进而提高产品品质。

图 12.15 为资料统计及沟通流程图,表 12.1 为统计管理项目及相关部门的关系表。



图 12.14 产品追溯流程图



图 12.15 资料统计及沟通流程图

表 12.1 统计管理项目及相关部门的关系

类别	统计项目	提交者	支援者
制程	矫正预防措施, 执行成效统计表	管理者代表	品管部
	生产能力统计	制造部	
成品	产品品质趋势图	品管部, 工程部, 制造部	
客户满意度	交期	生管部	
	订单完成率	业务部	
客户抱怨	客户抱怨处理统计表	市场部	品管部, 工程部, 制造部

内部沟通程序包括:

(1) 生产过程中的沟通由各部门通过电话、E-mail、联络单及各种生产经营会议进行。

(2) 在每周五的产销会议上, 公司通报和沟通每周生产经营状况、各部门工作现状及相关问题, 并对前次决议执行情况作出检讨。

(3) 公司通过每周“品质会议”和年终品质体系“管理评审会议”进行评估与检讨“品质状况”及“对客户需求的了解”, 进而推动品质提升及品质体系的改善。



## 制造业技术信息管理

### 13.1 需求概述

近年来全球科技、经济的发展,充分显示了一个知识经济的新时代正在到来。对于每一个企业来说,进入知识经济的标志是:从信息管理过渡到知识管理,充分挖掘企业内部的知识能源,充分发挥企业知识管理的潜力,提高知识所创造的理念与产品的高附加值。

企业已经开始认识到最宝贵的资产和资源是知识,知识已成为推动经济增长的动力,将把企业的知识资源纳入其管理之中。因此,企业知识管理研究是国外企业管理研究的重要内容,建立企业知识管理体系及其知识库、企业决策所必需的专家支持系统,已经成为企业在激烈的竞争中保持不败的保证。一些著名的跨国公司已经建立自己的知识管理体系及其知识库,在公司知识生产、分配、获取、共享、利用等知识管理方面发挥了重要的作用。

制造业信息化的不足表现在如下几方面:

(1) 对信息化的重要性认识不足,重硬轻软,忽略了与新理论、新思想的结合,从而没有做到技术管理和知识管理的创新,使企业寻找最优的发展模式。

(2) 计算机的普及率低,集成化程度不高,通用的数据库没有开展,信息共享的水平有待提高。

(3) MRPII (manufacturing resources planning, 制造资源计划)、ERP (enterprise resource planning, 企业资源计划) 盲目引进,不结合企业特征,信息系统软件利用率极低,从而使资金闲置,资源浪费。

(4) 企业间信息交互少,缺乏必要的合作,使行业的先进水平重复引进,行业的普遍水平得不到有效提高。信息收集难度大,信息冗余。

(5) 网络利用率低下,有效的、高质量的信息获取难度大。企业的信息网络形同虚设。

(6) 企业员工的素质参差不齐,企业内部信息交换不高,企业对信息管理的认识

不足。

在这种条件下,对企业进行信息管理和知识管理尤为重要,知识管理可以解决上述的某些问题,为企业的良性运作提供条件。一方面,实现知识、信息、数据的标准化,优化知识处理过程,让显性知识为决策管理服务;另一方面,建立部门和人员间的协作与沟通平台,促使相互间“隐性”知识的交流与吸收,从而提高管理层、决策层和具体实施者的工作效率。

技术信息和知识管理系统的作用有:

(1) 在产品开发知识上提高资源利用率,增加员工的交流机会,互通经验,提升大家的设计能力。

(2) 通过知识仓库的数据保存、更新功能使企业的设计数据可以得到有效共享,使企业的经验、模块得到迅速传播,避免了重复建设。

(3) 作为公司信息安全、高效、稳定、有序流动的平台,实现资源充分共享,信息流动顺畅,提高办公效率,推动企业从物流、资金流逐渐向信息流、知识流的跨越,实现企业知识从个体到部门乃至整个组织的传播、共享,为知识创新提供保障,缩短与国外研发机构在实施知识管理方面的差距。

## 13.2 技术信息管理分析

从知识表示出发,按照知识提炼程度和设计者的认知习惯,设计类知识具体表现为公式类知识、约束类知识、规则及模糊规则类知识、设计原理类知识、专利知识、隶属函数类知识、设计手册类知识、设计经验实例类知识等多种类型,这些类型既适合设计知识的直接表达,也适合设计知识的积累和使用。当前技术信息管理的对象主要有:

(1) 产品相关技术专利,反映国内外在同类产品上结构、外观及其他技术特性上的专有特征及优先权;

(2) 产品设计中的行业标准和规范,反映产品特征和行业需求中对同类产品设计、制造等方面的一些要求;

(3) 产品设计的企业习惯,反映企业在多年设计中积累下来的经验数据和计算模型;

(4) 产品设计约束,反映产品机械性能、热力性能、加工、装配和安装等后续环节对产品设计的各种约束和要求;

(5) 产品实例表,对各种开发成功的产品进行分类存储,以利于新产品开发中的设计参考和借用;

(6) 设计修改经验表,总结开发中解决各种难题的经验,对其现象、分析原因和解决方法进行分类归纳。

在基本管理层,技术信息和知识的管理除了最基本的增加、删除、浏览、修改和搜索等

功能外,还应该具有知识特有的管理功能,如惟一性检查、一致性检查、各种有效性检查以及冲突检查。

在高级管理层,设计知识管理系统要通过搜索引擎、企业知识门户、知识地图等为企业获取更多的相关知识;从产品设计数据库中发现隐含的、有意义的知识,通过数据挖掘工具,在凌乱的数据中开发出有价值的知识,并在设计知识库中开发出具有前瞻性的、有决策作用的元知识;知识锁定是通过分类存储等方法将知识进行有效存储并以简明的方式为设计者服务;知识共享是通过网络进行讨论和交流,支持知识的交互和设计的协同工作;知识利用是将隐性知识编码,将显性知识内化,支持企业的产品设计工作;知识评价是对知识本身价值、知识利用效果及其对企业带来的效益进行评价,有利于知识更新、知识完善和补充。

### 13.3 技术信息管理概述

技术信息管理系统的主要功能如下:

- (1) 技术信息(包括专利、技术标准、科技文献)的录入,包括基本信息、说明书和附录的录入;
- (2) 技术信息的查询与检索;
- (3) 技术信息的维护,包括信息的修改与删除;
- (4) 及时对用户介绍更新信息情况,实现个性化服务;
- (5) 对技术标准的替换历史进行记录,为各个时代的用户了解技术标准的发展历程和演变关系提供依据。

#### 13.3.1 更新信息的提示

如果自从该用户上次登录以来,该系统没有更新的信息,则系统会在该用户登录后提示用户“没有更新的信息”;如果有更新的专利信息,则系统会在该用户登录后,提示用户:在用户上次登录以来系统有哪些更新的专利信息。如果用户在显示的表格中单击想查看的专利信息,系统会调出该信息的详细资料,如图 13.1 所示。

#### 13.3.2 主控界面

用户登录后就进入了该系统的主界面。该界面上主要有 5 个按钮:用户管理、专利管理、标准管理、文献管理和退出系统,分别对应 5 项功能。其中,“用户管理”将对该系统的使用用户进行新建用户、用户密码修改等操作;“专利管理”将对科技信息管理系统中的专利信息进行管理;“标准管理”将对科技信息管理系统中的技术标准信息进行管理;“文献管理”将对科技信息管理系统中的科技文献信息进行管理;单击“退出系统”,将关闭科技

信息管理系统。图 13.2 是科技信息管理系统的主界面。

序号	专利号	专利名称
1	US5295812	电磁离合器及皮带轮轴手装置

详细信息

专利号: US5295812 [修改] [删除]

专利名称: 电磁离合器及皮带轮轴手装置

公开号: [ ] 分类号: F04C 29/00; F04B 49/02; F16D 27/112

申请日: 93.01.07 公开日: 94.03.22 授权日: [ ]

申请人: 福特汽车公司

发明人: Steele, Duane F.

种类: 电磁离合器 具体分类: 皮带轮

优先权: 未注 优先日期: [ ]

主题: [ ]

摘要: An automobile vehicle air conditioning compressor adapted to be driven by a vehicle engine crankshaft through a drive pulley torque transfer mechanism wherein an electromagnetic clutch engagement plate is carried by the pulley and wherein a companion friction disc of an electromagnetic clutch is journaled on the compressor housing, the pulley being journaled on the compressor drive hub at a location axially spaced from the electromagnetic clutch thereby permitting the diameter of the clutch to be varied as desired.

[关闭]

图 13.1 更新信息的内容展开



图 13.2 科技信息管理系统的主界面

### 1. 用户管理

用户权限一栏中,有系统管理员、数据管理员、一般用户 3 类,他们的权限如下:

- (1) 系统管理员: 任何操作;
- (2) 数据管理员: 不能进行“添加新用户”;
- (3) 一般用户: 不能进行“添加新用户”;查询专利信息后,不能对其进行“修改”,“删除”。

### 2. 专利管理

如图 13.3 所示,该界面上主要有 4 个按钮:系统简介、信息录入、专利检索和退出系统,分别对应 4 项功能。其中,“系统简介”将对专利信息管理系统的功能进行简要介绍;选择“信息录入”,将进入专利信息的录入界面;要进行专利查询,则单击“专利检索”按钮;单击“退出系统”,将关闭专利信息管理系统。下面介绍“信息录入”和“专利检索”的具体操作步骤。



图 13.3 专利信息管理系统主界面

#### (1) 基本信息录入

单击主控界面上的“信息录入”,将进入基本信息录入界面。输入好专利基本信息后,单击“确认”。将专利信息中的专利文档,直接复制到指定目录下,就完成了基本信息的录入。

#### (2) 专利信息检索

专利信息检索分 3 种方式:基本查询、高级查询、多项辅助。



基本查询主要是根据专利信息的摘要内容进行检索,检索时可以输入 5 个关键词,可以要求检索结果满足输入的所有关键词或者部分关键词,或者准确的词语表述(图 13.4);高级查询是根据专利信息的基本信息条款进行检索,可以根据相应的条目对应的关键词进行检索;多项辅助主要是方便用户在相应条目里面,甚至所有条目里的搜索,而且还可以对搜索条件进行与、或组合,如图 13.5 所示。



图 13.4 展示了“专利检索”软件中的“基本查询”界面。该界面包含以下元素：

- 标题栏：**显示“专利检索”。
- 选项卡：**“基本查询”、“高级查询”、“多项辅助”，其中“基本查询”处于选中状态。
- 专利类型选择：**包含四个单选按钮：“发明专利”、“实用新型”、“外观设计”和“全部专利”（当前选中）。
- 关键词输入：**一个标有“Keywords:”的文本输入框。
- 检索条件选择：**一个标有“Results must contain:”的组，包含一个下拉菜单，当前显示“Any of these words”，其展开列表中还包含“Any of these words”、“All of these words”和“This exact phrase”。
- 操作按钮：**底部有四个按钮：“关闭窗口体”、“开始查询”、“重置条件”和“察看帮助”。

图 13.4 基本查询界面



图 13.5 展示了“专利检索”软件中的“多项辅助”查询界面。该界面包含以下元素：

- 标题栏：**显示“专利检索”。
- 选项卡：**“基本查询”、“高级查询”、“多项辅助”，其中“多项辅助”处于选中状态。
- 专利类型选择：**包含四个单选按钮：“发明专利”、“实用新型”、“外观设计”和“全部专利”（当前选中）。
- Term1 输入：**标有“Term1:”，包含“Keyword1:”文本框和“In Field1:”下拉菜单（当前显示“全部项目”，展开列表包含“摘要”、“主分类号”、“分类号”、“申请人”、“发明人”、“地址”、“代理机构”、“代理人”、“全部项目”）。
- Operator 选择：**标有“Operator:”，包含一个下拉菜单，当前显示“AND”。
- Term2 输入：**标有“Term2:”，包含“Keyword2:”文本框和“In Field2:”下拉菜单（当前显示“全部项目”，展开列表包含“摘要”、“主分类号”、“分类号”、“申请人”、“发明人”、“地址”、“代理机构”、“代理人”、“全部项目”）。
- Date Range 输入：**标有“Date Range:”，包含“申请日期”下拉菜单，以及“1975”和“2005”两个年份选择框，中间有“To”字样。
- 操作按钮：**底部有四个按钮：“关闭窗口体”、“开始查询”、“重置条件”和“察看帮助”。

图 13.5 多项辅助查询界面

搜索条件输入好了以后,就可以单击“开始查询”进行查询了。如果搜索不到,系统则提示找不到;如果检索成功,则显示图 13.6 所示界面。如果该专利有申请公开说明书或者审定授权说明书,则单击右侧的“说明书文档”,Acrobat 就调出该说明书的 pdf 格式的文件。



图 13.6 检索结果界面

专利信息维护主要是对专利信息进行删除、修改操作,在查询结果窗口里面进行信息的维护操作。在专利列出表框里面选中专利后,对其进行删除、修改操作。

### 3. 标准管理

单击主界面的“标准管理”按钮,即进入技术标准信息管理系统的主界面,如图 13.7 所示。该界面上主要有 4 个按钮:系统简介、信息录入、标准检索和退出系统,分别对应 4 项功能。其中,“系统简介”将对技术标准信息管理系统的功能进行简要介绍;选择“信息录入”,将进入技术标准信息的录入界面;要进行标准查询,则单击“标准检索”按钮;单击“退出系统”,将关闭标准信息管理系统。

下面介绍“信息录入”和“标准检索”的具体操作步骤。



图 13.7 技术标准信息管理系统主界面

### (1) 基本信息录入

单击技术标准信息管理系统主界面的“信息录入”，将进入标准信息录入界面(图 13.8)。录入好了基本信息，单击“下一步”进入录入技术标准文档的界面，选择合适的文档，单击“添加”，再单击“下一步”，进入附录文档的录入界面。如果没有附录文档，则直接单击“完成”按钮；如果有附录文档，则在选择好文档后，单击“添加”，最后单击“完成”，完成整个基本信息的录入。

### (2) 标准检索

单击技术标准信息管理主界面上的“标准检索”，即进入标准检索界面(图 13.9)。

输入好需要检索的字段后，单击“开始查询”，将进行检索。搜索条件输入好了以后，就可以单击“开始查询”进行查询了。如果搜索不到，系统则提示找不到；如果检索成功，则显示图 13.10 所示界面。如果是老标准，将提示该标准被某新标准所替代。如果该专利有标准全文或者附录文件，则单击右侧的“标准全文”或者“附录”，Acrobat 就调出该说明书的 pdf 格式的文件，如图 13.11 所示。

技术标准的信息维护主要是对标准信息删除、修改操作，在查询结果窗口里面进行信息的维护操作。在标准列出表框里面选中标准后，对其进行删除、修改操作。

**标准信息录入**

技术标准号(\*)： 页数：

技术标准名(\*)：

标准译名：

发布日期： 修改件：

实施日期： 补充件：

中标分类： 原分类：

代替标准：

采用关系：

归口单位：

起草单位：

ICS分类： 标准水平：

说明：加星号的(\*)为必填项目

图 13.8 基本信息的录入

**标准检索**

标准号：

标准译名：

代替标准：

发布日期： 到：

标准名称：

图 13.9 标准检索界面

技术标准检索标准

序号	标准号	标准名称
1	111	111

详细信息

技术标准号: 111 修改 删除

标准名称: 111

标准译名:

发布日期: 2004-4-1 ICS分类:

实施日期: 2004-4-1 中标分类:

原分类: 标准水平:

代替标准:

采用关系:

归口单位:

起草单位:

补充件: 修改件: 页数:

☐ 该标准已被标准编号为:sss 的新技术标准所替代!

标准全文

标准全文  
有  
附录  
无

关闭

图 13.10 检索结果界面

#### 4. 文献管理

单击主界面的“文献管理”按钮,即进入科技文献信息管理系统主界面,如图 13.12 所示。该界面上主要有 4 个按钮:系统简介、信息录入、文献检索和退出系统,分别对应 4 项功能。其中,“系统简介”将对技术科技文献管理系统的功能进行简要介绍;选择“信息录入”,将进入科技文献信息的录入界面;要进行文献查询,则单击“文献检索”按钮;单击“退出系统”,将关闭科技文献信息管理系统。

下面介绍:“信息录入”和“文献检索”的具体操作步骤。

##### (1) 基本信息的录入

单击文献管理主窗体的“信息录入”进入基本信息录入界面,录入好了基本信息,单击“下一步”进入录入科技文献文档的界面。选择合适的文档,单击“添加”,再单击“下一步”,进入附录文档的录入界面。如果没有附录文档,则直接单击“完成”按钮;如果有附录文档,则在选择好文档后,单击“添加”,最后单击“完成”,完成整个科技文献信息的录入。

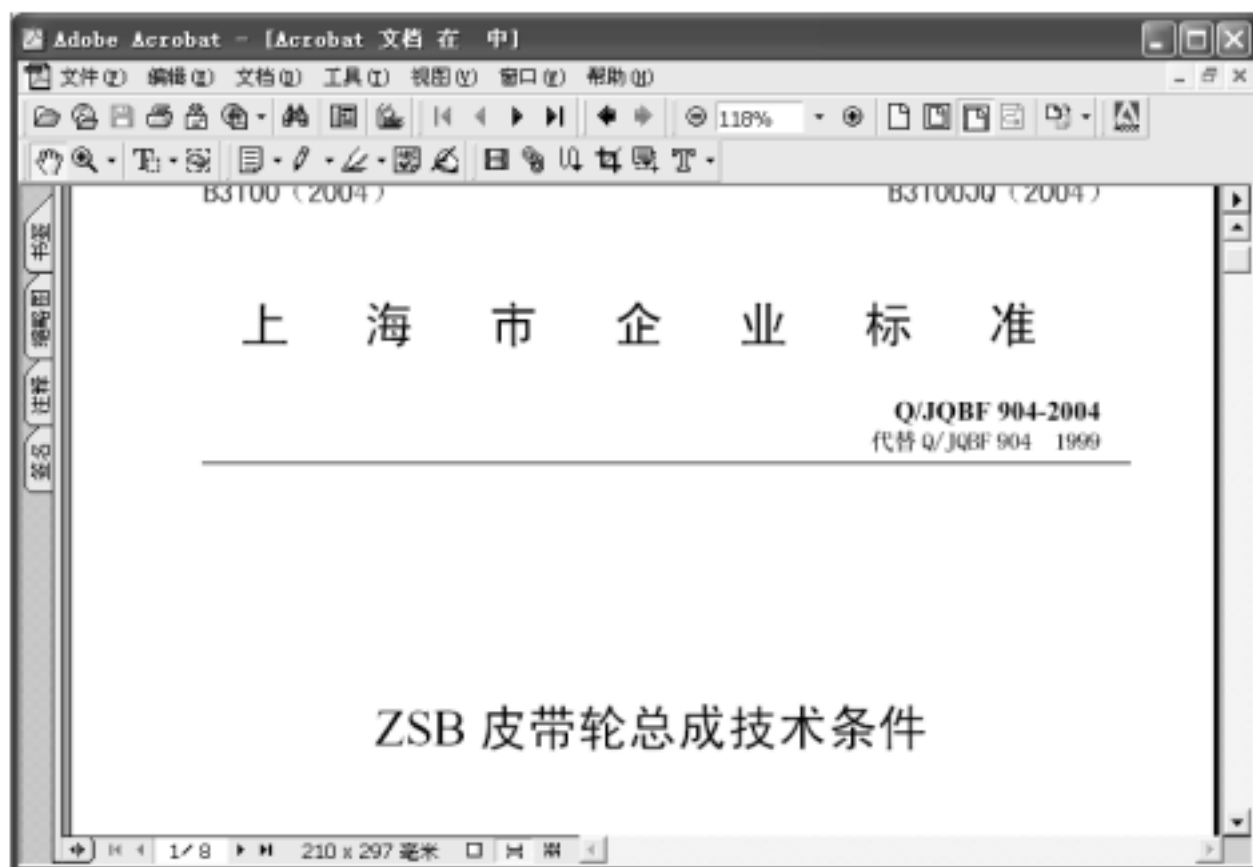


图 13.11 技术标准全文

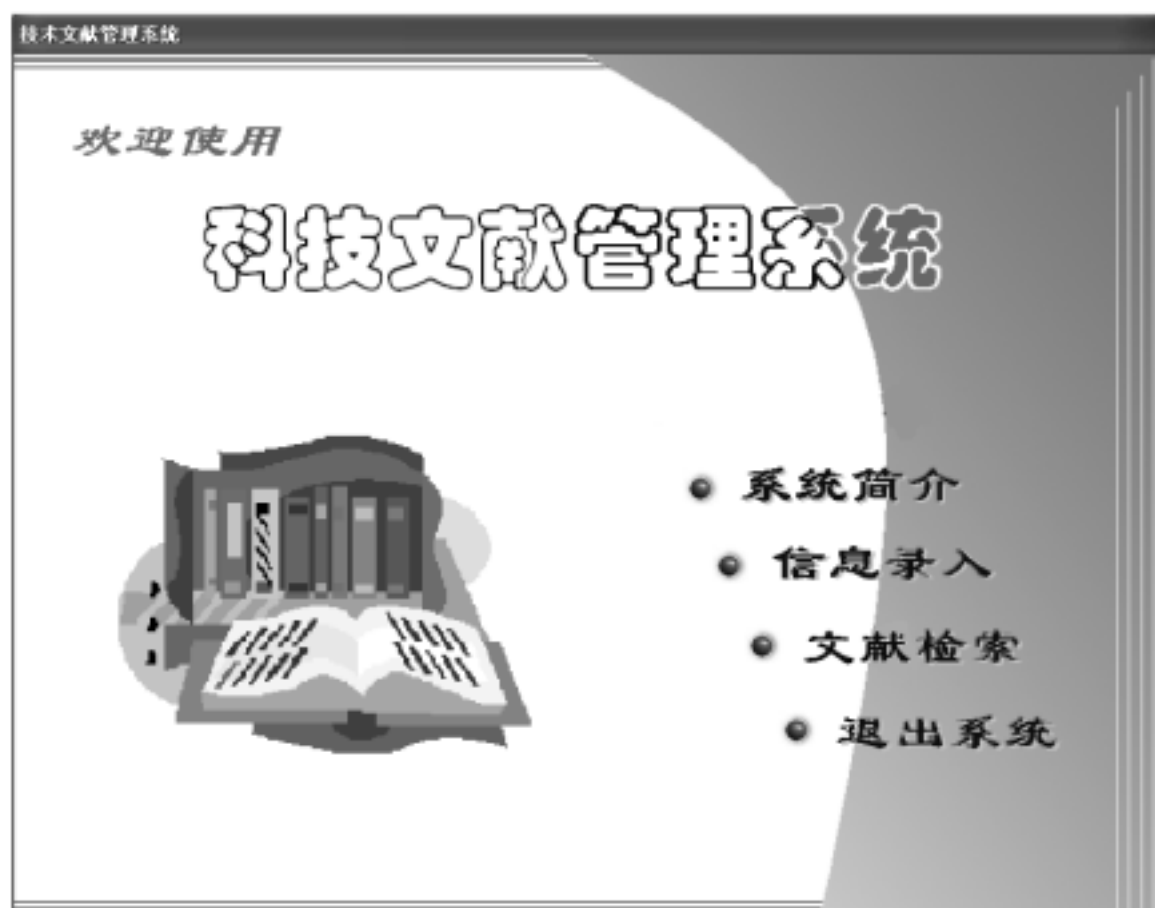


图 13.12 科技文献管理系统主界面

## (2) 文献检索

单击科技文献管理系统主界面上的“文献检索”，即进入科技文献检索界面(图 13.13)。输入好需要检索的字段后，单击“开始查询”，将进行检索。搜索条件输入好了以后，就可以单击“开始查询”进行查询。如果检索成功，则显示检索结果。如果该专利有文献全文，则单击右侧的“文献全文”或者“附录”，Acrobat 就调出该说明书的 pdf 格式的文件，如图 13.14 所示。



科技文献检索

输入检索条件

篇名:

编号:

译名:

作者:

机构:

刊名:

发表日期(卷期):

关键词:

摘要:

关闭窗口 开始查询 重置条件 查看帮助

图 13.13 科技文献检索界面

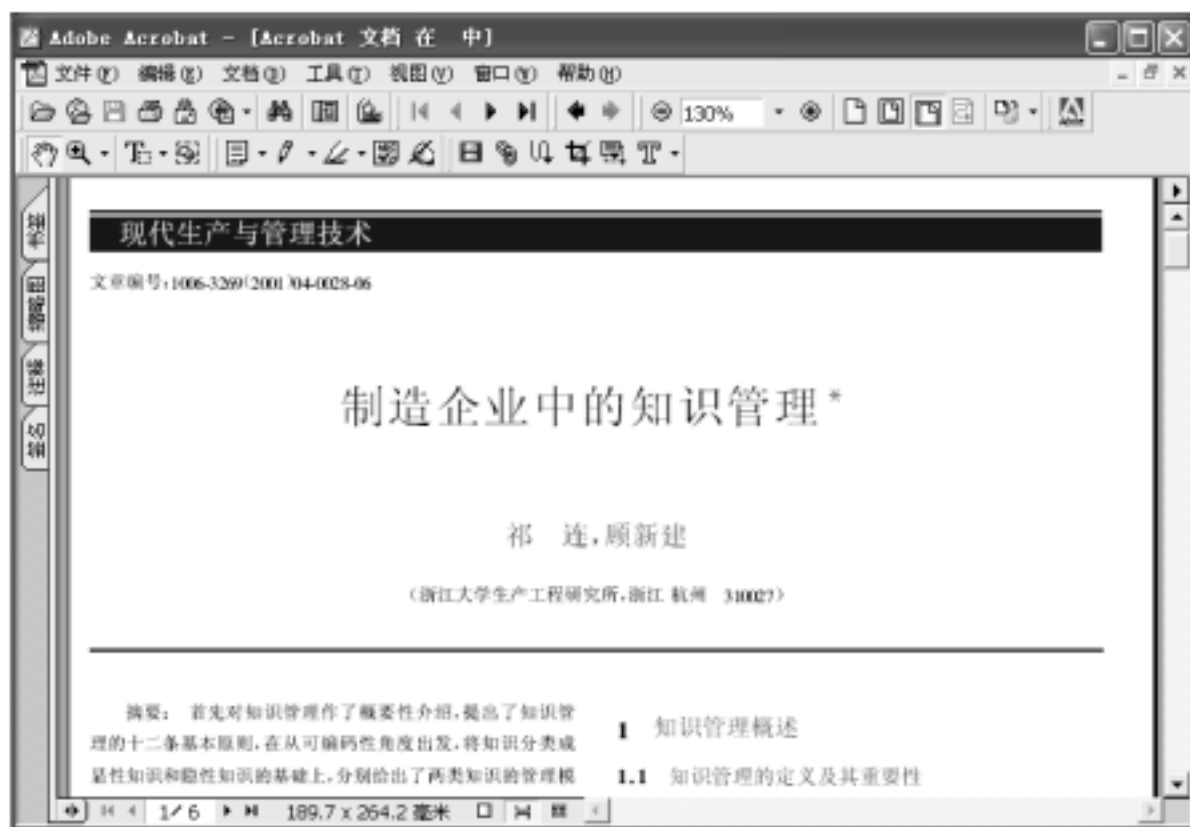


图 13.14 科技文献全文显示

科技文献信息维护主要是对文献信息进行删除、修改操作,在查询结果窗口里面进行信息的维护操作。在文献列出表框里面选中文献后,对其进行删除、修改操作。

### 13.4 技术信息管理系统的特点

#### 1. 数据的标准和规范

在系统的各大功能模块设计中,从实际工作出发,输入、修改的数据切合实际,充分考虑了数据规范化和标准化问题。本系统所说的标准数据和规范数据是指那些来自国家标准的数据和规范数据。采用标准数据和规范数据可以使输入简化,保证系统的简易和集成,提高系统查询的速度和精度。

#### 2. 灵活方便的查询

功能科技管理信息系统从实际工作出发,在查询功能模块的设计中成功地运用了模糊查询方法,查询条件可任意随机组合,既可完成精确查询,也可完成模糊查询,响应速度快。

#### 3. 工程实用性好

记录技术标准的替换历史,方便各个时代的用户了解技术标准的发展历程和演变关系。及时对用户介绍更新信息情况,实现个性化服务。



# 14

## 印刷线路板装配质量管理

### 14.1 背景介绍

某公司主要生产通信网络的接入、传输、交换以及终端等两百多种设备产品。公司的市场特点是预测性好、客户需求多样化。公司产品的主要需求者为国内各大通信事业运营商,客户群体范围较少,而且他们的总体需求可以通过对国内宏观基础设施建设动态的追踪进行较准确的把握。同时,公司在国内市场占主导地位,市场份额稳固,所以长期需求预测的可靠性高。由于地区通信发展等各种情况差异较大,所以对于通信设备的要求也千差万别。通常公司要根据客户的具体要求和情况来确定系统的建设方案,因此最终产品的个性化趋势很强。

公司的生产特点是:

(1) 部件标准化: 所生产的设备一般都由机架、印刷线路板、电缆等部分组成,这些部件的结构、生产装配工艺都经过标准化,因此生产的柔性化程度较高。

(2) 部件提前期较长: 由于材料采购周期长,因此对于突发性的材料及零部件需求反应较慢。同时,一台设备内的印刷板、电缆等部件数量庞大,印刷板的装配测试复杂且质量不够稳定,返工维修加长了生产周期,也增加了生产提前期。

(3) 系统装配测试周期相对较短: 由于部件之间的接口已经标准化,因此简化了系统装配。同时,前面各道工序的严格检查保证了印刷板等部件的质量,测试功率高,缩短了装配提前期。

(4) 运作策略: 根据以上市场特点以及生产特点,公司采用面向订单装配的运作方式。首先,根据对市场的长期预测确定印刷板、电缆、机架等部件的需求计划,并按计划生产进入库存。当接到订单后,根据订单要求进行装配测试。这样既缩短了生产周期,利用了对市场的预见力,避免了采购部及部件生产的不确定性所带来的风险,又提高了灵活性,适应了市场的多样化要求。

## 14.2 印刷线路板装配的主要技术

表面贴装技术(surface mounting technology, SMT)是新一代电子组装技术,它将传统的电子元器件压缩成为体积只有几十分之一的器件,从而实现电子产品组装的高密度、高可靠、小型化、低成本以及生产的自动化。这种小型化的元器件称为表面贴装器件(surface mounting device, SMD)或表面贴装元件(surface mounting cell, SMC)或片式器件,将元件装配到印刷(或其他基板)上的工艺方法称为 SMT 工艺,相关的组装设备则称为 SMT 设备。

表面贴装是印刷线路板装配生产的关键步骤,印刷线路板上 75% 的元件通过表面贴装固定在线路板上,只有其余的 25% 通过人工装配完成。通过表面贴装的元件分为无引线元件和有引线元件,两者的工艺略有不同。

### 14.2.1 印刷板元件面的表面贴装

印刷板元件面表面贴装的主要流程是:元件面印刷焊膏 贴片 回流焊。印刷焊膏是由丝网印刷机将焊膏印在印刷板元件面,不同型号的印刷板有不同的丝网;贴片是由贴片机将元件贴在印刷线路板上,并起到初步固定的作用;回流焊机有好几个温区,回流焊是指印刷线路板以一定速度连续通过这些温区,使焊膏熔化而达到器件与印刷线路板(printed circuit board, PCB)焊盘之间的电气连接。

回流焊机的每个温区均采用强制内循环加热系统,均匀的热风遍及炉腔各个角落。每个加热区的热风流速均可通过计算机连续调节,以适应不同黏度的锡膏以及不同类型的 PCB。内置 UPS(uninterruptible power supply, 不间断电源)及自动延时关机系统,保证 PCB 及回流焊炉在断电或过热时不受损坏。可根据用户设定的日期、时间及温度曲线进行全自动开机。采用 Windows 95/98 计算机操作系统,人机对话方便,中文及英文两种版本任选。所有温区均由 586 计算机进行全自动 PID 控制(proportional plus integral plus derivative control, 比例积分微分控制),传输速度由计算机进行全闭环控制,PCB 传输链宽度可通过计算机进行自动调节。网传输及链传输等速并行,既可以满足大批量的在线生产,也可以满足不同品种的 PCB 同时生产。可存储用户所有的温度、速度设置及其设置下的温度曲线,并可对所有的数据和曲线进行调用和打印。

### 14.2.2 印刷板焊接面的表面贴装

点胶是由于焊接面元件较少,不适于用丝网印刷,因此使用点胶机。波峰焊是把经过插件、贴片、回流焊等工序的印刷线路板送上设备的输送链,经过助焊剂区域时,光学位置传感器自动感应,喷涂助焊剂,并通过脉冲计数器自动控制喷涂开关时间。接着,印刷板



装的正确性以及元器件和印刷线路板自身质量的好坏。

功能测试：检查印刷板的功能、用户模块测试、功能模块测试、控制模块测试、有电源功能模块测试。

故障板：在机架装配后进行的功能单元测试中检查故障印刷线路板。

### 14.3 印刷板生产质量的分析与调查

在生产各个环节中,印刷板的生产是关键,因为它组成了产品的主体部分,而印刷板的质量控制较其他部分难度更高。公司为了使用户板的生产质量进入持续改进的良性循环,运用统计的方法对印刷板的在线测试通过情况进行了一些调查和分析。

生产各工序中的在线测试岗位是生产流程诸多测试工序中的一道,主要针对印刷线路板装配性能的检验。因此,印刷线路板在线测试一次通过率的高低直接反映前面各道工序的装配质量。在各种系统中,用户板是核心组成部分,所占比重最大,它的质量对通信设备系统的质量和系统测试进度影响最大。所以,我们把提高在线测试的一次通过率作为提高印刷线路板装配质量的关键,同时把用户板的通过率作为我们的此次调查跟踪的对象。

由于在线测试的工作人员在该工位的计算机中编入了程序自动收集印刷板的实时通过情况(每个通过或不通过的印刷板在扫描时有关信息立即被记入系统数据库中),为数据的收集提供了很大的方便。

为了更好地掌握线路板的装配情况,在线测试岗位应用了一个自编的程序实时反映线路板投入装配的情况。

当光板开始投入装配时,每一块板子都会有条形码,而每一批印刷线路板投产订单的信息也会被输入到系统中,之后印刷板每经过一个工序(表面贴装、目检、自动插件、人工装配和在线测试)都要扫描,这样就能跟踪印刷线路板的生产状况了。这些信息被公布在生产部的局域网上,有关的计划管理人员都可以参考,质量管理人员也可以从中收集有效的信息。

通过利用上述数据信息,我们对7月份装配的用户板的故障率进行了统计分析,共跟踪了10000块印刷线路板,其中有989块未能一次通过在线测试,约占总数的10%(表14.1)。我们运用柏拉图对故障类型进行了分析,如图14.2所示。

从图14.2可以看到,短路故障率占总故障率的57%,为A类因素。可见,降低短路故障可较大幅度提高用户板的在线一次通过率。

表 14.1 故障统计分析

项 目	差错数量/ 块	差错频率/ %	累计差错频率/ %
短路	570	57. 70	57. 70
开路(漏元件)	307	31. 00	88. 70
位置错	35	3. 50	92. 20
数值错	30	3. 00	95. 20
其他	47	4. 80	100
合计	989	100	

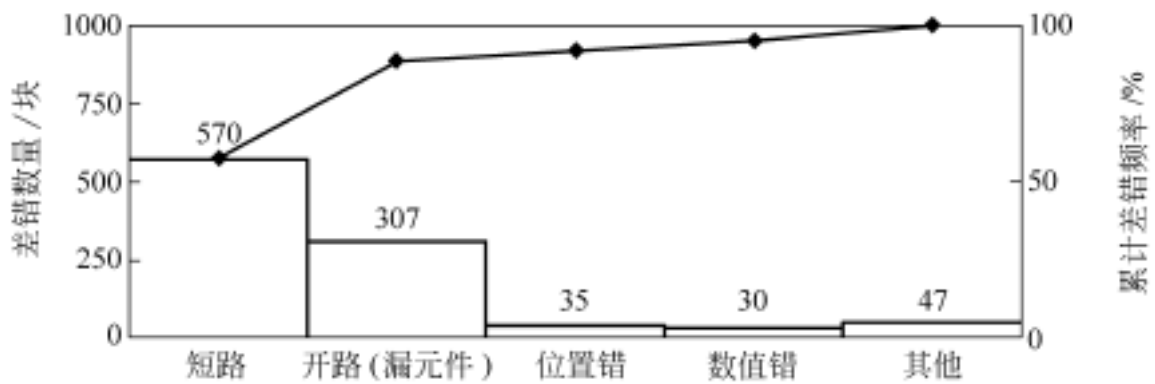


图 14.2 用户板故障率柏拉图

14.4 质量问题的原因分析与改进措施的提出

收集有关数据后,运用各种统计方法与图表进行数据分析,并深入车间调查,对造成质量问题的因素进行了分析,总结主要质量问题,寻找造成质量问题的因素。然后提出改进计划,并细化到新的操作规程。

我们对印刷线路板的装配过程进行了分析。过程是将各资源的输入(人员、设备、材料、方法、环境等)按一定要求组合起来,并将其转化为输出产品的活动。如图 14.3 所示。

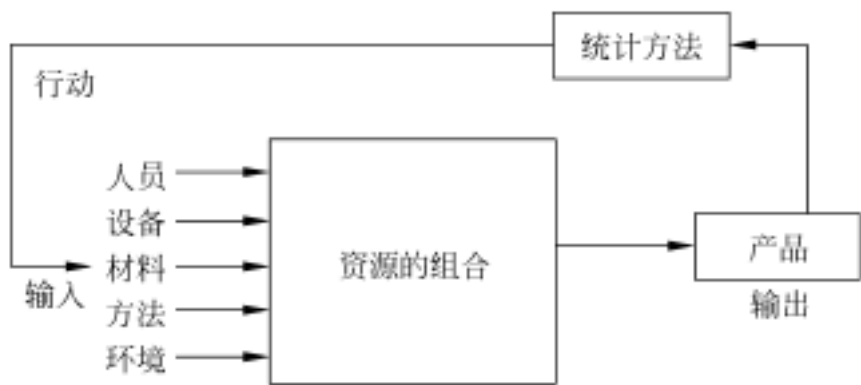


图 14.3 过程控制系统

我们的调查就从系统的输入(人员、设备、材料、工艺、环境)着手,首先列出装配印刷板的生系统组成:

(1) 人员: 表面贴装流水线上的操作员、清洗清装人员、预准备操作人员、目检人员、自动插件机操作人员、人工装配人员;

(2) 设备: 丝网印刷机、回流焊机、波峰焊机、自动插件机, 以及人工操作的一些夹具和工具;

(3) 材料: 光板、元器件;

(4) 工艺: 表面贴装、回流焊、波峰焊、插件、人工装配、目检、测量;

(5) 环境: 无静电空调车间。

通过对上述各方面的调查,我们用鱼刺图分析了造成短路故障的原因,如图 14.4 所示。主要原因有以下几种:

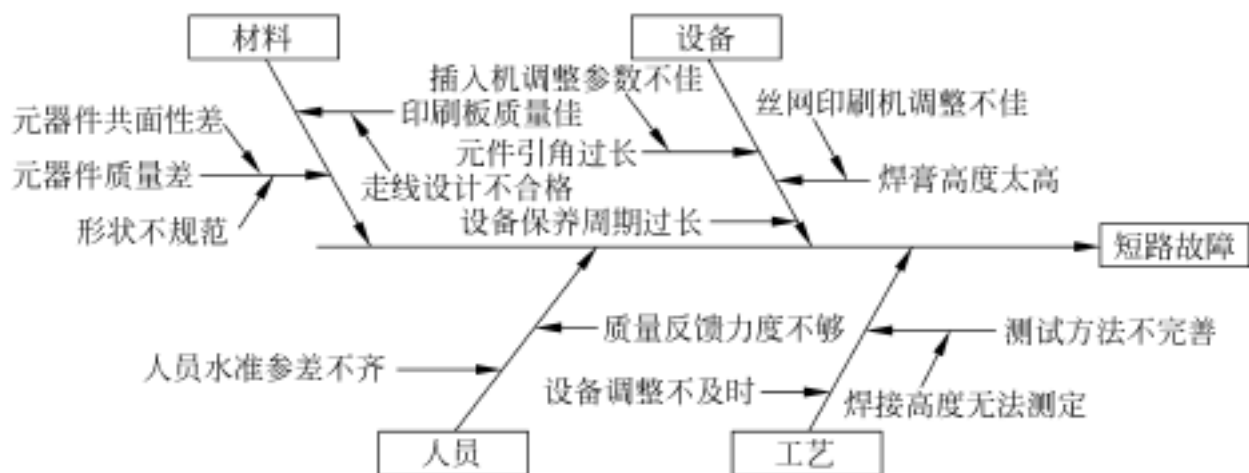


图 14.4 短路故障原因分析的鱼刺图

(1) 原材料形状大小不一致,不利于标准化装配,造成短路,影响产品质量;

(2) 丝网印刷机参数调整不佳,集成块短路较多,这是由于丝网不干净造成的;

(3) 插入机参数调节不佳,导致元件引脚过长,引起短路;

(4) 质量反馈力度不强,责任没有及时落实到班组个人,各工序缺少质量信息的沟通;

(5) 表面贴装岗位的检测方法不完善,使焊膏高度得不到有效控制,焊膏高度超标,是引起短路的最主要原因之一;

(6) 操作和检验人员技术水平参差不齐,影响了用户板在线测试的一次通过率。

根据上述原因分析,制定以下对策与改进措施:

(1) 在原材料方面严格把关,由专人及时与供应商联系,确保元器件的形状规范、各项性能指标符合要求。如果某元器件发现质量有问题,应反馈信息并在各工序立即停用,必要时调换供应商。

(2) 对于丝网印刷机,由操作人员按规定时间清洗丝网,工艺人员及时调整丝网印刷

机的参数值最佳状态。

(3) 插入机由工艺人员及时调整工艺参数,控制元件引脚长度。尽量使大部分元器件的引脚长度由机器控制,这样既能节省人工,又可提高质量,防止由引脚过长而引起的短路故障。

(4) 各工序尤其是检验工序要对每天的故障进行分类和统计,及时反馈到班组,将责任落实到个人。实施后道工序对前道工序的质量监督,及时的质量信息反馈可以避免批量性的差错产生。

(5) 使用激光测试仪,对焊膏高度进行测试,严格控制焊膏高度,并由专人负责,并监督使用测量仪。

## 14.5 进一步的思考

用柏拉图和鱼刺图的方法可以帮助企业分析出产品质量问题的原因,从而对生产过程进行改进,从根本上提高产品质量。但是,对于印刷线路板那样结构复杂精密的产品,某一个部分的异常所造成的质量隐患并不容易被及时察觉,往往造成批量性的质量问题。借助于控制图,可以对生产过程进行监控,及时发现问题并予以解决。

控制图是用于区分由异常或特殊原因所引起的波动和过程固有的随机波动的一种统计工具。对印刷线路板这样的计件生产产品,应用控制图对印刷线路板不合格率进行控制。可以将各个重要工序之后的检验测试岗位作为样本采集点。

首先,绘制分析用控制图,定期抽取一定容量的样本,抽取 20 组以上的数据以后,根据统计公式计算出上下控制界限,如发现有异常点(在上下界限以外)立即去除(同时分析原因),再采集新样本,直至得到无异常点的分析控制图。

然后,记录每天的不合格产品数量和不合格率,在控制图上打点,如果发现异常立即调查原因。

最后,制定质量控制工程图(表 14.2),明确各工序的详细作业内容和质检内容,尤其是质量控制点、控制频率和抽检数。

表 14.2 质量控制工程图

序号	站别	设备工具	记录	质量控制点	标准参数	负责人单位	控制频率	抽样数	相关 SOP <sup>[1]</sup> 表单/备注
1	领材料/ 检查入库		领料单 TYR-755-0102	数量、规格		仓库	N/A <sup>[2]</sup>	N/A	仓库管理程序书 TYR-755-01
2	发料		发料单 TYR-755-0101	数量、规格		仓库	N/A	N/A	仓库管理程序书 TYR-755-01
3	印锡膏	测厚仪 三倍放 大镜 自动印 刷机 温度计 搅拌机	静电功能量表 TYR-823-0114	静电环性能		SMT 料员	1 次/班	每个 静电环	静电环测试作业指导书 TYR-829-0149
			锡膏存放温度管制 表 TYR-823-0111	冰箱温度	0℃~10℃	SMT 印刷 站技术人员	2 次/班	N/A	锡膏胶材作业指导书 TYW-823-0107 锡膏搅拌机作业指导书 TYW-823-0108
			锡膏使用记录 TYR-823-0112	室温 回温时间	23℃±3℃ 16h~48h	总务 SMT 印刷 站技术人员	4 次/班 N/A	N/A	若 48h 不使用则放回冰箱, 回 温架上保持 2 瓶锡膏
				锡膏搅拌时 间	5min	SMT 印刷 站技术人员	2 次/班	N/A	锡膏印刷测厚作业指导书 TYW-823-0110 (换线时测 2PCB)
			自动印刷机状况 记录表 TYR-823-0113	网板上的锡 膏量	150g~ 200g 72h 内使用	SMT 印刷 站作业人员	随时	N/A	印刷站作业指导书 TYW-823-0113 PCB 作业指导书 TYW-823-0101 剩余锡膏回收作业指导书 TYW-823-0105 剩余锡膏多于 1/2 瓶且情况良 好保留, 加入新的锡膏必须多 于旧锡膏 2 倍



续表

序号	站别	设备工具	记 录	质量控制点	标准参数	负责人单位	控制频率	抽样数	相关 SOP 表单/备注
4	小元件贴放	CP643 CP642	机器设备检测表 TYR-630-0201	吸嘴切换 滑嘴润滑		SMT 维修技 术人员	1 次/周	N/A	FUJI CP6 系列粘片机作业指导书 TYW-823-0129
				Y table 滑 轨润滑					
				X 轴螺轨 润滑					
				X 轴杆润滑					
5	异地元件 贴放	QP242	静电功能量测表 TYR-823-0114	Y table 轨 承润滑		SMT 维修 技术人员	1 次/月	N/A	FUJI CP6 系列粘片机作业指导书 TYW-823-0129
				放置头润滑					
				吸头切换 导轨润滑					
					N/A		N/A	N/A	
5			工程变更单 TYR-751-0201		客户要求	工程	N/A	N/A	
				静电环性能	N/A			N/A	静电环测试作业指导书 TYW-823-0149

续表

序号	站别	设备工具	记录	质量控制点	标准参数	负责人单位	控制频率	抽样数	相关 SOP 表单/备注
5	异地元件 贴片		上料记录表 TYR-823-0107	材料名称规格/数量	N/A			N/A	取置机上料作业指导书 TYW-823-0104 5S 作业指导书 TYW-823-0101 客户 BOM/零件工程图/ECN/ 生产对料单
			工程变更—软件修 订对照表 TYR-823-0114		N/A	工程/制造	N/A	N/A	
			程式修订记录表 TYR-823-0115		N/A	工程/制造	N/A	N/A	
			SMT 换线前准备 点检表 TYR-823-0107	生产程式/用料是否准备好		SMT 维修技术人员	生产 12h 前	N/A	罩板、工作说明书准备好/锡膏 符合要求
				生产设备是否处于正常 准备状态		SMT 维修技术人员	生产 0.5h 前	N/A	FUJI QP242E 作业指导书 TYW-823-0131
			机器设备检测表 TYR-630-0201	卷带废料箱 和料盒	5S 标准	SMT 维修技术人员	2 次/天	N/A	5S 作业指导书 TYW-640-0101

续表

序号	站别	设备工具	记录	质量控制点	标准参数	负责人单位	控制频率	抽样数	相关 SOP 表单/备注
20	高件/缺件 等修补	烙铁	烙铁温度记录表 TUR-752-0102	烙铁温度	350℃± 20℃	DIP 线指定 人	3 次/早班 2 次/夜班	每个 烙铁	烙铁量测作业指导书 TYW-752-0102
			作业指导书		N/A	工程	N/A	N/A	作业时严格按照指导书
21	全检/调整		静电功能量测表 TUR-832-0114	静电环性能		流水线	1 次/班	每个静 电环	静电环测试作业指导书 TYW-823-0149
			作业指导书		N/A	工程	N/A	N/A	作业时严格按照指导书执行
22	F/T 测试	F/T 测试 仪器 波器	静电功能量测表 TUR-823-0114	静电环性能		F/T 测试员	1 次/班	每个静 电环	静电环测试作业指导书 TYW-823-0149
			程式修订记录表 TUR-823-0115		N/A	工程/制造	N/A	N/A	
			测试日报表 TUR-830-0101			F/T 测试员	1 次/天	每 PCS	
			作业指导书		N/A	工程	N/A	N/A	作业时严格按照指导书执行
			程式差异对照表		N/A	工程/制造	N/A	N/A	

续表

序号	站别	设备工具	记录	质量控制点	标准参数	负责人单位	控制频率	抽样数	相关 SOP 表单/备注
23	F/T 维修	烙铁/热风 风机	静电能量测试表 TY-823-0114	静电环性能		F/T 维修员	1 次/班	每个静电环	
			维修记录表		N/A	F/T 维修员	N/A	每 PCS	静电环测试作业指导书 TYW-823-0149
			烙铁温度记录 TYR-752-0102		350℃± 20℃	F/T 维修员	3 次/早班 2 次/夜班	每个烙铁	
			报废申请表 TYR-830-0104	烙铁温度	N/A	F/T 维修员	N/A	N/A	手焊作业指导书 TYW-752-0101
24	OQC	F/T 测试 仪器盘	材料不良反应单 TYR-754-0101		N/A	F/T 维修员	N/A	N/A	烙铁量测作业指导书 TYW-752-0102
			程式差异对照表		N/A	工程/制造	N/A	N/A	
			OQC 检验记录表 TYR-824-0201			F/T 测试员			MIC-STD-105E 常规检验, 单次 抽样, 一般水准 II, LG 每批 160~ 200PCS, 取抽样数 32, 1 块或 2 块以上出现 MI, 批退 REWORE (AQL; MA=0.40, MI=1.00)
25	入库	防静电 箱	人/退库单 TYR-755-0201		N/A	生物馆/仓库	N/A	N/A	仓库管理程序书 TYP-755-01 对于静电周转箱堆放规定: 垂直堆 放最多层数为成品 5 层(纸箱 4 层), 空箱 6 层
26	出货		出库单 TYR-755-0202		N/A	仓库	N/A	N/A	仓库管理程序书 TYP-755-01

[1] SOP 表示“标准操作程序”, 其英文全称是 standard operating procedure; [2] N/A 表示“无”, 其英文全称是 not available.

## 发动机厂零缺陷 质量过程控制

21 世纪是质量的世纪,质量科学和管理发生着根本性的变革。对中国的汽车工业来说,质量之路依然漫长,质量依然是企业参与竞争和管理变革的核心要素。随着世界制造业的中心向中国转移,未来 5 年、10 年中国汽车工业的发展前景和目标是:加强产品开发能力建设,逐步提高自主开发能力,促进汽车产业和产品升级。

### 15.1 零缺陷质量管理的含义、目标和原则

#### 15.1.1 零缺陷的含义

零缺陷的思想最早出现在 20 世纪 50 年代的美国,菲利普·克劳士比(Philip B. Crosby)先生首次提出了零缺陷的概念,他所创立的零缺陷质量管理的四项基本原则为世界各国认同并不断丰富和发展。零缺陷质量管理的四项基本原则如下:

- (1) 质量的定义是符合要求;
- (2) 质量通过预防措施来达成;
- (3) 质量的执行标准是零缺陷;
- (4) 质量要用不符合要求的代价(price of none conformance, PONC)来衡量。

零缺陷一般被狭义理解为完美的产品,没有致命缺陷或重大缺陷,轻度缺陷也很少。菲利普·克劳士比先生虽然没有给零缺陷以明确的定义,但是我们在实践中可以认为从质量特性值的度量而言,通过消除缺陷、预防缺陷使产品或服务达到用户最大程度满意、能为用户创造最大价值的质量水准,就可以认为是零缺陷。或者将缺陷定义为“与用户期望值的差距”,“符合用户期望值”就是“零缺陷”。零缺陷管理是不断消除缺陷、预防缺陷

的实践过程。由此看来,零缺陷更多地体现在质量观念、目标和实践中,而不是质量特性值的实际衡量值偏差为“零”。人们常说的“零缺陷”通常是泛指“零缺陷质量管理”。

提高质量水平的过程,是先进技术和科学管理相结合的过程,对于制造型企业而言,防错技术是指导零缺陷从意识上升到行动的工程方法。防错技术是指在产品实现过程中的各个阶段所使用的一种预防缺陷产生的预防性技术和方法。将质量预防思想体现在设计/开发、制造、服务过程中的工程技术或质量管理方法,都可以称之为防错技术。

### 15.1.2 零缺陷质量管理的目标

目前许多企业都在实施质量保证体系建设,以质量体系建设(ISO9000, VDA6.1, QS9000等)为主要特征,从事后把关向预防控制发展,从生产过程质量管理发展到设计过程质量管理。而零缺陷质量管理,关注于产品形成全过程的质量管理,防检结合,预防为主,管因素,管条件,以“防错技术”为主要特征附之以“精益生产”的不断深化,依靠全体员工,培育零缺陷质量文化。

零缺陷质量意味着公司的质量目标是“第一次就将事情做正确”,为达到此目标,就应该培育和增强员工的零缺陷质量意识,在质量管理所涉及的各个方面采用预防性原则,运用防错技术,不断提高首次质量(first time quality)的水平。

### 15.1.3 零缺陷质量管理的基本原则

将质量贯穿到产品设计/开发、制造、服务之中,在源头实施零缺陷质量控制和预防。通过对经营各环节、各层次的全过程、全方位管理,保证各环节、各层次、各要素的缺陷趋向于“零”。具体原则如下:

- (1) 产品设计、服务设计满足顾客需求;
- (2) 提高首次质量;
- (3) 持续改善,降低成本;
- (4) 将缺陷与顾客隔绝:不接收缺陷,不制造缺陷,不传递缺陷。

## 15.2 零缺陷活动开展背景

发动机厂由两个厂区组成,员工总人数为1400余人,生产EA827, EA113, EA111 3大系列共10种发动机。2003年发动机厂年生产能力已达到41.5万台。

2000年,发动机厂迎来了德国康采恩质保部的VDA6.3过程审核,EA113和EA827系列发动机分别获得了91分和89分的好成绩,在康采恩十余家发动机制造厂的排名表中分别位列第2和第4。在激烈的市场竞争面前,发动机厂考虑的是如何改进管理,提高质量,降低成本。2001年,公司开展了用户满意工程,通过用户满意工程的“三找活动”

(找用户之不满、找自身之不妥、找上家之不足), 发动机厂深深体会到用户的需求就是高质量的产品和低成本的价格。发动机厂提出了建立“零缺陷”质量管理体系的要求, 以“第一次就将事情做正确”的管理理念来指导发动机厂的质量工作, 追求卓越, 实现全过程的零缺陷。

### 15.3 零缺陷质量管理的理念

在零缺陷活动的开展过程中, 发动机厂结合生产管理实际情况, 提出了开展“零缺陷质量过程控制”项目的要求, 将“第一次就将事情做正确”的指导思想融入到整个活动中来, 通过实现生产过程的零缺陷, 而实现产品的零缺陷。为此, 发动机厂提出了自己的零缺陷管理理念: 第一次就做正确; 预防为主; 以人为本; 用户至上; 持续改进。

发动机厂推广的“第一次就将事情做正确”的零缺陷理念, 是通过建立一套预防为主的质量过程控制体系, 来最终避免缺陷的发生。许多年前, 发动机厂就提出了“三不”的要求, “三不”就是要求每位员工都做到“不接受、不制造、不传递有缺陷的产品”。“三不”要求是通过提高员工素质, 来避免缺陷的产生。在用户满意工程开展的过程中, 发动机厂深深感觉到, 仅仅通过“三不”原则, 不能彻底杜绝缺陷的产生。发动机厂的每一位员工都应该主动行动起来, 主动出击, 寻找并消灭各类缺陷。为此, 发动机厂将“三不”要求提升到了“三找”要求的高度, 即“找上家之不妥, 找自身之不足, 找用户之不满”。“三找”活动的开展使员工主动寻找和消灭缺陷的主观能动性有了很大的提高。

通过“三不”与“三找”活动的开展, 发动机厂的产品质量有了明显的提升。但是, 发动机厂总是感觉缺陷难以彻底根除和消灭, 原因在于发动机厂的缺陷预防体系尚不完善。虽然通过“三不”和“三找”活动, 我们能够及时找到缺陷, 并追溯和清除缺陷, 但是, 已经造成的缺陷却已经不能再挽回了。这样的事后补救的观念, 从根本上来说不符合菲利普·克劳士比提出的“第一次就将事情做正确”的零缺陷理念。随着“零缺陷质量过程控制”活动在发动机厂的推广和深入, 发动机厂越来越觉得建立一套以“第一次就将事情做正确”为核心理念的质量预防体系是实现零缺陷目标的必要手段和途径。为此, 发动机厂提出了开展“三防”活动的号召, 号召每一位员工积极行动起来, 避免和预防缺陷的发生。

“三防”活动就是“防上家之不妥, 防自身之不足, 防用户之不满”。“三防”活动是要求全体员工积极主动地预防缺陷的产生。员工应该由以往在质量工作中常常表现出来的“做了 再想 再改”, 向“想对 预防 再做”进行转变, 真正实现“第一次就将事情做正确”的缺陷预防体系和零缺陷质量文化。

发动机厂的零缺陷质量过程控制体系建设是以 VDA6.3 过程审核的要求为基础, 以“三防”为核心的零缺陷理念来开展人员管理、设备管理、物流管理、标准化作业和持续改进五个方面的工作, 最终实现“第一次就将事情做正确”的零缺陷目标。

零缺陷目标和理念的确立,还需要有强有力的组织进行推动落实,否则只能成为一纸空文。为此,公司领导、部门经理、车间主任担任“零缺陷活动领导小组”组长、成员,全面负责在发动机厂推进零缺陷管理的工作。

## 15.4 零缺陷质量过程控制体系的建设

### 15.4.1 人员管理零缺陷

人力资源是企业的最大财富。现代企业越来越认识到,要想成为优秀的成功企业,首先要有一批优秀的员工。“零缺陷质量过程控制”提出了“第一次就将事情做正确”的要求,这就需要企业拥有一批不仅具有零缺陷质量意识,而且具有零缺陷质量能力的员工。为此,发动机厂从以下几个方面来加强和提升员工的质量意识和质量素质。

#### 1. 提高员工的零缺陷质量意识

提高员工的零缺陷质量意识,关键是培养一大批具有“零缺陷”质量意识的高素质员工,具有能够胜任工作岗位的技术能力。为了提高员工的质量意识,公司开展了“零缺陷员工手册”、“零缺陷的过程质量思维”、“统计质量控制(statistical process control, SPC)”等项目的培训,召开“三轴车间零缺陷质量过程控制”合理化建议动员会,并且通过系列板报进行“零缺陷”宣传动员。通过较为系统的“零缺陷质量意识”培训,使得全体员工认识到开展“零缺陷质量过程控制”的必要性和可行性,运用合理化建议、质量控制(quality control, QC)小组活动等形式,动员全体员工参与到“零缺陷”活动中来。

为了系统地对员工培训“零缺陷质量过程控制”,公司特意编制了“零缺陷员工手册”,着重阐述零缺陷理念、零缺陷目标、零缺陷质量过程控制项目的开展等内容;明确提出:“零缺陷质量过程控制”就是对整个生产过程进行优化,使整个生产过程实现零缺陷,最终实现产品的零缺陷。“零缺陷质量过程控制”需要建立的是一种预防性的企业文化,通过员工的共同参与和努力,达到“第一次就将事情做正确”的目的,使企业能够实现“产品零缺陷,用户零抱怨”的企业与用户双赢目标。

合理化建议是反映员工能否积极参与企业管理的一个重要指标。2002年,自开展零缺陷活动以来,发动机厂员工参与企业管理的积极性大幅度提高。从图 15.1 来看,仅三轴车间一个部门,就提出合理化建议 231 条,达到人均 1.22 条,超过了德国发动机厂人均 1.2 条的指标要求。发动机厂其他车间员工参与合理化建议的比率也大大提高。

#### 2. 加强员工的零缺陷技术能力

为了确保零缺陷活动的有效开展,全面加强员工的零缺陷技术能力,首先通过岗位培训和等级工培训来提高员工的岗位技术能力,严格进行应知、应会考核,员工只有通过二级以上岗位考试才能独立上岗操作。其次,结合公司培训部的开课计划,有计划地安排员



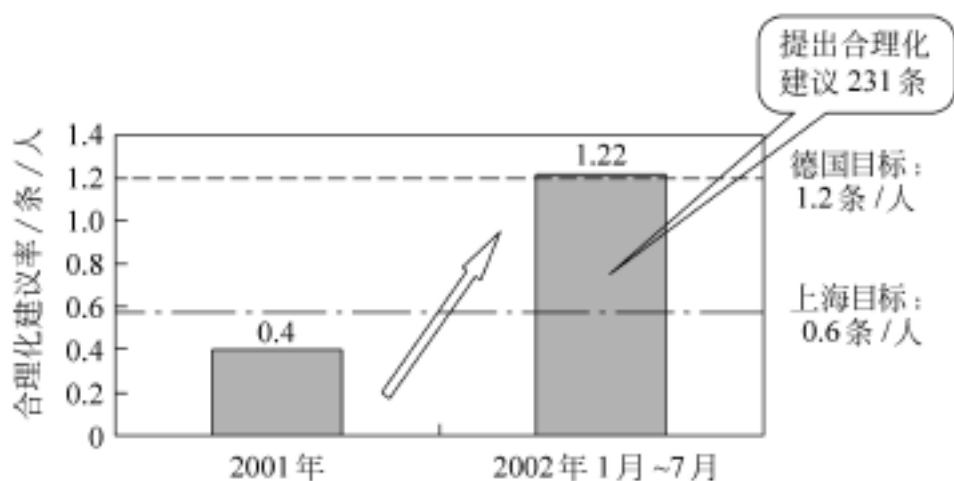


图 15.1 合理化建议率示意图

工进行等级工培训和相关专业课程的学习,参加等级工考试,提高员工的技术综合素质。2002 年三轴车间共进行了 30 人次的等级工培训和 230 人次的岗位培训。

### 3. 丰富员工的零缺陷工作经验

为了丰富员工的零缺陷工作经验,同时也为了使新上岗的员工能尽快掌握岗位操作的要领,各生产线根据自身特点开展了大量的具体工作:

(1) 各生产线将生产过程中积累的经验汇编成册,纳入“标准化作业指导书”中,并对其内容不断更新与丰富,指导新员工在实际操作中减少错误。

(2) 将生产线的各种缺陷汇总,会同相关部门编制了《缺陷档案》和《零件缺陷目视检验规范》;在《零件缺陷目视检验规范》中,用图片的形式对各类缺陷的状态和内容进行说明,以确定工件是否合格。

(3) 通过建立缺陷档案,对生产线的历来缺陷、缺陷产生的原因和解决的方法进行说明,由此解决了缺陷的存档和对新员工的培训问题。通过对缺陷的规范化管理,明确了判别标准,并且确定了各种缺陷的预防措施,如图 15.2 所示。

(4) 建立《QRK 质量控制环》,将生产线上的质量问题用 QRK 控制环的形式加以说明,对质量问题提出改进方法和预防措施。通过将生产线的历史经验及改进方法进行汇编,有效地保证了员工获得较为全面的实际操作经验,如图 15.3 所示。

### 4. 激励员工的零缺陷工作意愿

为了激励员工的零缺陷工作意愿,发动机厂定期开展形式多样的劳动竞赛、红旗岗位、质量明星评比和员工自我评价活动,鼓励员工钻研岗位技能。

2002 年 8 月,在三轴车间范围内进行了零缺陷劳动竞赛。竞赛安排有零缺陷成果展示、知识竞赛、现场岗位技术比武等。通过竞赛活动,使广大员工加深了对零缺陷理念的理解;通过技术比武,使广大员工展现了岗位技能,公司领导的莅临指导也极大地鼓舞了员工的热情。通过定期开展员工自我评价活动,了解员工的思想活动、技术培训、个人发展方向及计划等,同时也让员工知晓了上级领导对该员工的评定及要求,起到了较好的沟

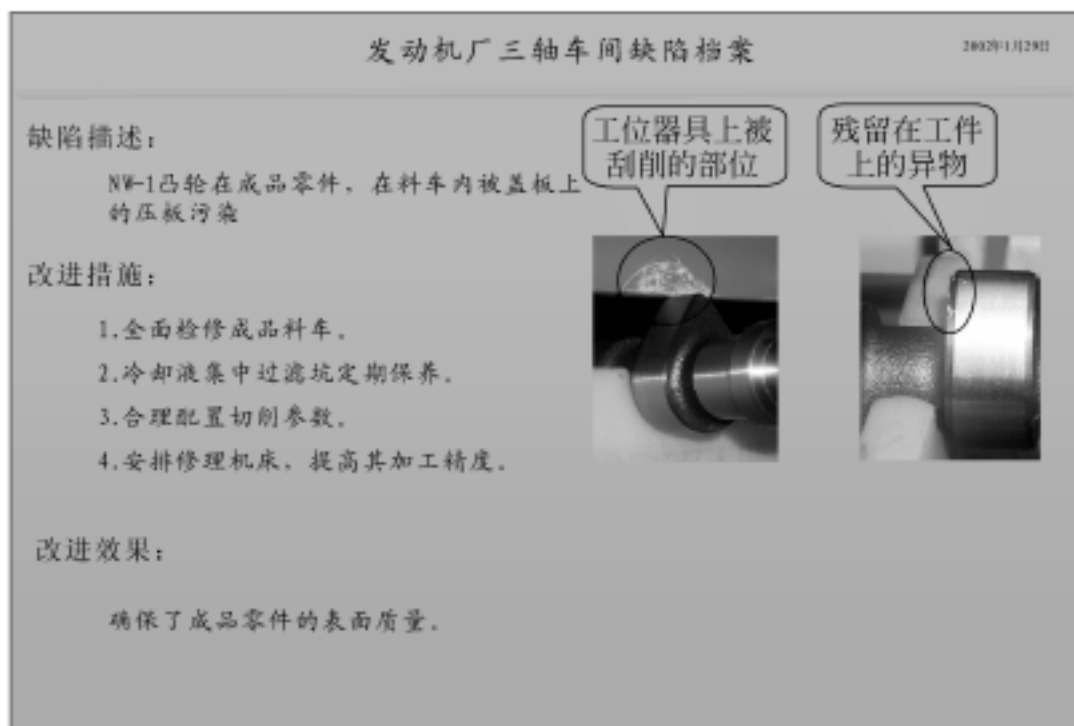


图 15.2 发动机厂三轴车间缺陷档案实例



图 15.3 发动机厂中凸一线控制环实例

通作用,有效地调动了员工参与零缺陷活动的积极性。

#### 15.4.2 设备管理零缺陷

为了确保生产线设备的良好运转,发动机厂从5个方面来开展设备管理零缺陷活动。

### 1. 建立每台设备的管理档案

在现代化生产中,产品的质量需要靠设备和操作者共同来保证。没有可靠的设备,在大批量生产中要保证产品质量是无法实现的。为了有效开展生产线的设备管理,各生产线成立了由值班长任组长、维修工程师参加、生产线维修操作工为骨干的全员生产维护(total production maintenance, TPM)小组,为每台设备建立了档案,其中收集了该设备的日常点检、保养、维修和改造记录。设备档案既能为科学分析重复发生的故障提供依据,也能使计划维修保养更有针对性。

### 2. 对设备的定期跟踪、分析和控制

定期跟踪每台设备的故障停机时间,通过判断、评价单台设备的故障停机时间趋势图,分析累积故障原因,制定措施,达到对设备故障时间的长期有效控制。

### 3. 根据设备故障统计分析情况滚动修订点检和保养内容

例如,根据 AF80 工序的设备故障时间趋势分析,发现 2003 年 1 月份出现了超过当月单台设备故障停机时间警戒线的现象。分析故障原因,发现设备主轴故障时间占当月该设备总故障时间的 95%。主轴故障修复后,维修技术人员和生产线维修人员对故障根本原因作了进一步分析,判定主轴工作时轴承温度和主轴轴承的裂化存在必然联系,通过连续 4 个月的跟踪,最终制定了设备主轴工作时的警戒温度,并将此列入设备日常点检标准中。

### 4. 防错改进活动

除了建立设备档案进行预防性的维修保养,发动机厂还动员全体员工立足本岗位,从身边小处着手,多提合理化建议,广泛参与设备防错改进活动,从设备的防错挡杆、限位开关和工位器具的防错改进开始,逐步提升到对设备参数、程序改进和工艺流程的防错改进系统,成为一个不断完善的缺陷防错控制体系。三轴车间通过合理化建议活动取得的防错装置数量达到了 44 项,如图 15.4 所示。

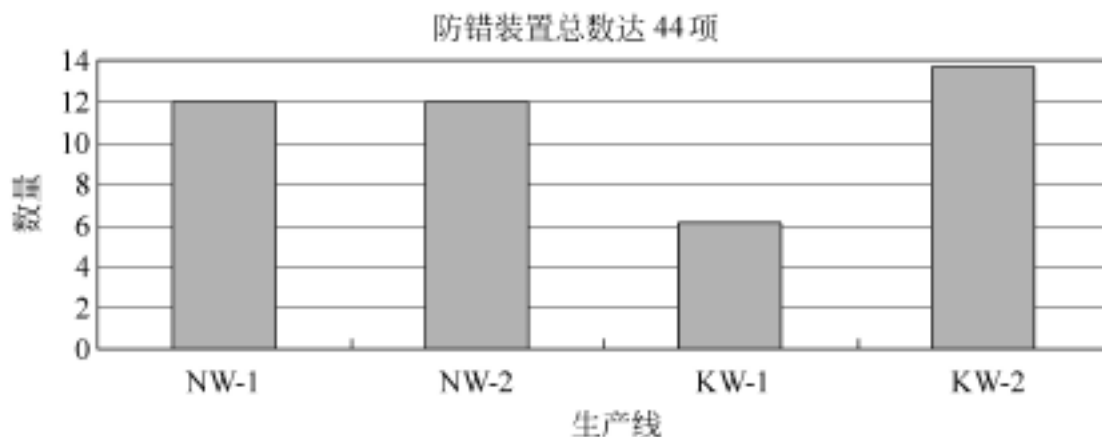


图 15.4 三轴车间 Poka-Yoke 项目数量

下面以曲轴二线 AF80 车-车拉夹具改造为例说明防错改进活动。

#### 1) 改进前的状态

曲轴二线在手工安放曲轴时容易发生错误,在二、三连杆颈向上安放,导致曲轴与刀盘相撞,造成流水线停产,从而导致整条生产线的停产。

## 2) 改进措施

曲轴二线员工提出对偏心卡盘进行改造,将角向定位块的紧固螺栓接长,形成一个机械防错挡杆,彻底避免了工件被错放而产生撞刀盘的可能性,如图 15.5 所示。

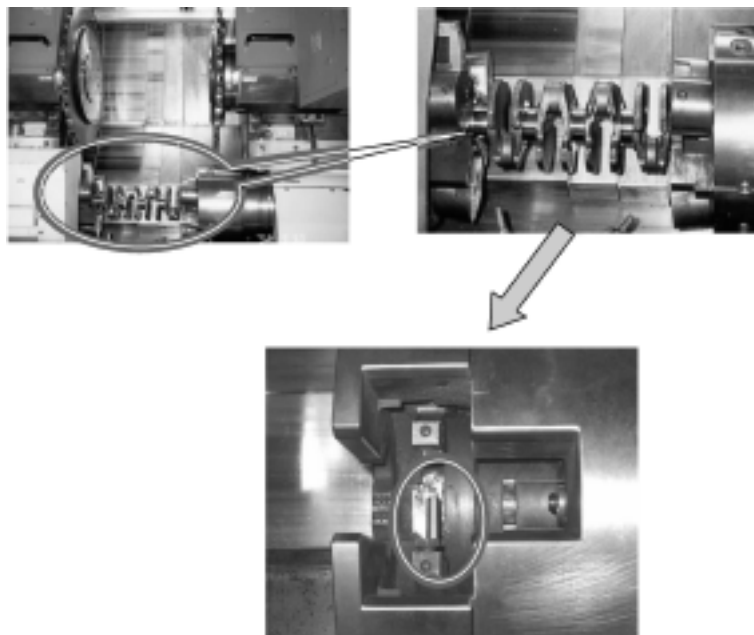


图 15.5 车-车拉夹具改造范例

## 3) 改进效果

- (1) 改进后彻底消除了撞机事故的可能性。
- (2) 2 万马克的维修费用不再发生。
- (3) 此原因造成的 4 周意外停产不再发生。

## 5. 预防性设备维修

在目前满负荷的生产条件下,停机保养和进行生产是一对矛盾。进行预防性的设备维修保养,原本就是用可支配的计划保养时间来减少不能预料和设备故障停机时间。为了解决这个问题,生产线的 TPM 小组成员,利用周日(这是每周惟一一天没有生产任务的时间)到生产线完成每月的计划维修保养。

## 6. 工序能力的保证

为了及时监控和提高机加工设备的工序能力,发动机厂从德国引进了由 SPC 专家设计的“Mareka”SPC 控制程序。该程序不仅能够实现“傻瓜”化的简便操作,而且具有完善的超差预警和评价体系。通过“Mareka”SPC 控制程序在发动机厂的广泛应用,定期对设备和过程的重要特性  $C_m$ ,  $C_{mk}$ ,  $C_p$ ,  $C_{pk}$  进行分析和验证,在出现偏离标准值或额定值时及时报警和处理,不仅大大改善了设备/工装/模具等满足产品特定质量要求的能力,而且使预防缺陷的产生不再成为一句空话。图 15.6 所示是连杆的控制卡。

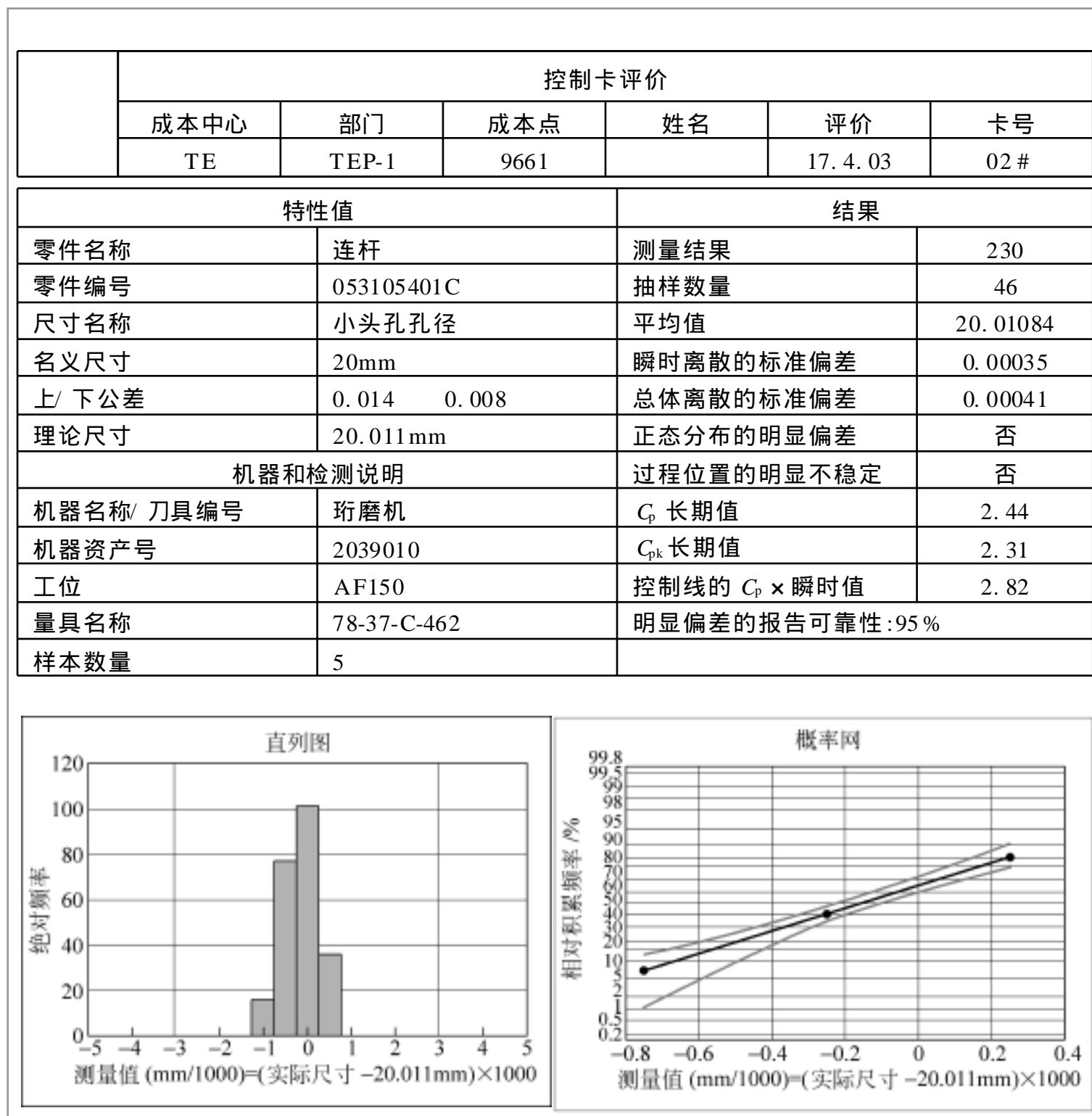


图 15.6 连杆的控制卡

### 15.4.3 物流管理零缺陷

在物流管理方面,主要从保证工件产品的可追溯性和工位器具的改进入手,开展“零缺陷”活动。随着发动机新品种的不断增多,发动机零部件新品种也在不断增加,如何在多品种生产的条件下保证机加工零件的可追溯性是各生产线物流管理的重点。发动机厂在规划阶段就考虑到了这个问题,如新投产的凸轮轴二线,共能生产 6 种不同型号的凸轮轴,各种凸轮轴共线生产,放在一起从外观上根本无法区别,具体零件如表 15.1 所示。

表 15.1 凸轮轴二线生产的凸轮轴

凸轮轴名称	轴型编号	发动机型号
5VQS 进气凸轮轴	058109101AG	EA1135VQS
5VQS 排气凸轮轴	058109102J	EA1135VQS
5VT 进气凸轮轴	058109101L	EA1135VT
5VT 排气凸轮轴	058109102H	EA1135VT
2VQS 凸轮轴	050109101J	EA1132VQS
2L2V 凸轮轴	050109102P	EA1132L2V

为了解决以上问题,凸轮轴二线增加了刻钢印号这道工序,每根轴都刻有代表轴型和生产批次的惟一标识,这样通过存档的流程卡,能够追溯到流出生产线的每一根凸轮轴。如图 15.7、图 15.8 和表 15.2 所示。

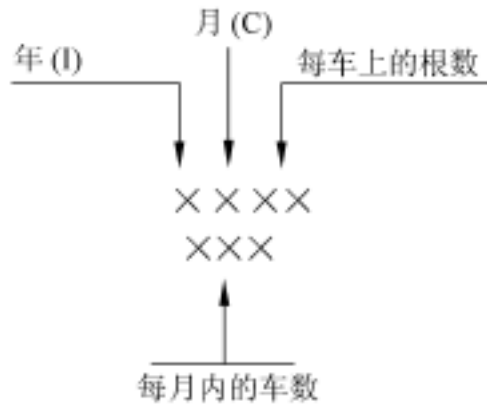


图 15.7 零件上标识示意图

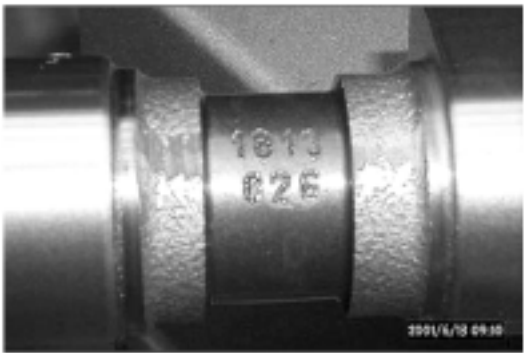


图 15.8 工件上标识实样

表 15.2 标识符号说明

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
月	1	2	3	4	5	...	A	B	C
	1	2	3	4	5	...	10	11	12

下面以凸轮轴为例说明追溯的方法及效果。

2002 年 6 月 18 日装配二线退回 1 根 2VQS 凸轮轴,缺陷描述为键槽宽度超差;缺陷工件钢印号为 22046 008。凸轮轴二线根据钢印号,追溯到缺陷产生的工序为 AF30,缺陷工件的加工日期是 2002. 2. 27,并查到了相应的责任人。

1) 分析缺陷原因

(1) 已加工过的工件和未加工过的工件放在一辆料车上(以工件正反放作区别);

(2) 操作工误将工件键槽加工了两次。

## 2) 预防措施

(1) AF30 规定将已加工的工件和未加工的工件分两辆料车安放；

(2) 终检工序对键槽用塞规进行 100% 检测；

(3) 对相关人员进行新规定的培训。

## 3) 效果

未再出现键槽两次加工的现象。

工位器具的改进也是物流管理零缺陷的另一个重要方面,发动机零件具有很高的清洁度和表面质量要求,而在运输、搬运过程中极易造成对已加工零件的损伤或污染,影响零件的清洁度和表面质量。为了提高零件的表面质量和零件的清洁度,对工位器具进行了多项改进,取得了一些成果。如曲轴二线为提高曲轴表面清洁度和防止搬运时对零件产生磕碰伤,采纳了员工建议的对曲轴料车和吊钩进行改进,使原来的吊钩与料车支架和零件加工面的接触变为非加工面接触。具体情况如下(见图 15.9):

### 1) 改进前

曲轴二线 AF230、AF240 工序吊钩原来是吊在 1,4 连杆颈加工表面,易污染加工表面,碰伤表面,影响产品质量。

### 2) 改进后

吊钩吊在 4 #、5 # 扇板处,不接触加工面。

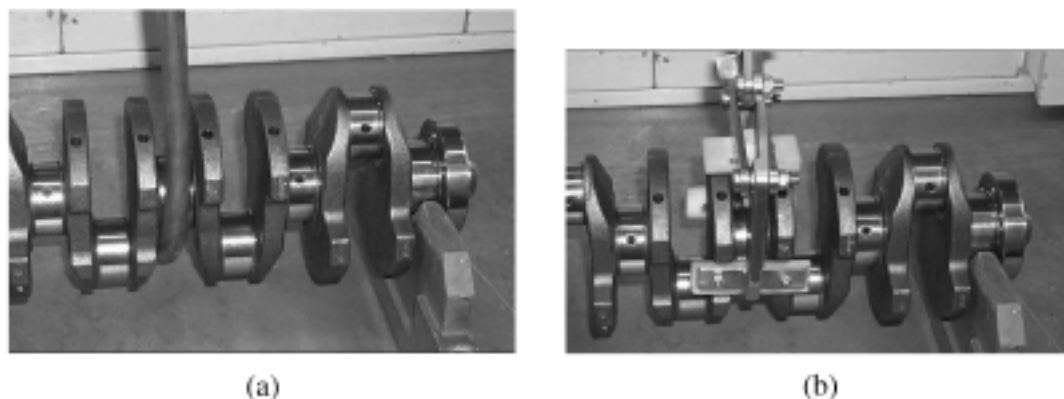


图 15.9 曲轴二线吊钩改进前后图例

(a) 改进前; (b) 改进后

## 3) 效果

(1) 提高了曲轴轴径的清洁度；

(2) 彻底避免了工件在吊运过程中的碰伤。

## 15.4.4 标准化作业零缺陷

规范每个岗位的操作方法,并且使每位上岗操作的员工都掌握,使不同的操作者在相

同的岗位都能生产出符合质量要求的产品,这对保证质量的一致性非常重要。发动机厂各生产线按工序和不同的设备编制了“标准化作业指导书”,员工在独立上岗前必须通过“标准化作业指导书”规定的要求进行培训。“标准化作业指导书”强调的是“标准化”的概念,即按照指导书中规定的步骤(方法)进行操作,员工就能生产出合格的产品,并且能够持续保证质量。同时经过不断实践,随着生产设备、工艺的更新及时修订,工作指导书中任何一点的更改修订,必须经过发现问题、原因分析、措施解决、效果跟踪,然后进行标准化的步骤,最后编入“标准化作业指导书”。“标准化作业指导书”本身也需要一个持续完善的过程。

根据多次的 VDA6.3, ISO9000, ISO14000, ISO18000 审核和检查发现的缺陷,结合生产线的实际需要,从人、机、料、法、环等 5 方面入手,以操作工为中心,将加工工艺及检验规范、设备的基本运行参数、设备及检具的点检、机床设备的操作说明、各种记录、安全 and 环境等要素,以图文并茂的形式作出必要的规定,具体内容如下:

(1) 将加工工艺卡、检验规范等纳入“标准化作业指导书”,明确该工序加工零件的名称、用途、工序的加工要求、工艺特点、检验的内容、检验工具和频次等,对工序要求有了明确的规定,并且将工件加工前后的情况用图片标出。

(2) 为了说明设备的基本运行要求,考虑润滑油的品种及数量、设备的控制系统、设备的基本构造等因素,规定了该工序的加工运行参数,如机床切削参数的调整范围及调整权限、刀具的切削寿命。

(3) 通过标出机床、检具和工位器具的点检内容,明确了各个部位的点检内容,并且根据点检的参数和内容明确标注,确保操作人员的各类点检和记录准确有效。

(4) 在“标准化作业指导书”中还对有些进口机床设备的操作面板作了中文标注和说明,方便了操作工的操作。同时对机床、检具的使用及必要的调整方法、机床的常见故障及排除方法都作了明确规定。

(5) 将各工序操作工需记录的内容作出规定及说明,如设备点检、检验记录、工件流程卡的记录、毛坯的炉批次和成品零件去向等,做到记录标准、信息正确和及时。

(6) 对于操作过程中的常见问题用流程图的形式作出规定及说明,如检具的操作流程图、产品追溯流程图等,做到操作工在解决相关问题时的标准化和统一性。

(7) 对于操作工工作服的正确穿戴、废弃物的排放作出规定。

(8) 将历来安全事故的记录及处理结果存档。

通过制定“标准化作业指导书”,首先将操作人员的工作内容明确化、标准化、统一化,有利于操作工的操作方式统一化及标准化;另外,它作为生产线的一份系统性的操作文件,有利于新员工的培训和相关内容的保存。



### 15.4.5 持续改进零缺陷

持续改进、预防为主的思想贯穿人员、设备、物流管理及标准化作业,持续改进的过程是实现零缺陷的必要途径。发动机厂结合合理化建议活动,以厂部和公司合理化建议的方式,按“零缺陷”的要求对身边的缺陷提出改进和预防建议。为了使员工能更好地开展质量持续改进,发动机厂组织员工参加 QPK, SPC, 8D, PFMEA<sup>\*</sup> 报告等质量工具的运用培训。通过培训和实际运用,员工还对质量工具进行了改进。

#### 1. 8D 报告的范例

在运用 8D 报告系统规范、严密地解决问题时,对 8D 报告的形式进行优化,增加了改进前后的对照图片,使新 8D 报告更加生动易懂。

曲轴二线 AF210 终清洗机清洗过的曲轴经常会在曲轴法兰端面留有油污,无法有效保证成品曲轴的清洁度。粘有油污的曲轴如果提交装配的话,还有可能会导致曲轴拉毛的严重后果。

针对此种情况,生产线成立了“防止法兰端面油污”的 8D 攻关项目组。在值班长带领下,现场技术人员、操作人员群策群力。攻关小组先采取了临时性措施,对有油污的曲轴采取再次清洗的方法,使提交装配的曲轴必须保证清洁。

小组成员积极讨论,研究产生油污的根本原因。经过观察发现,产生油污最主要的原因是 AF210 清洗机出料口悬臂托架上有油污积存,致使经悬臂托架取出的曲轴法兰端粘有油污。

查出主要原因后,8D 小组针对悬臂托架上存有的油污,利用汗衫布予以清除。

8D 小组再经过研究提出了永久性的实施措施——在 AF210“设备日常点检内容表”中增加了“A14——出料口悬臂托架是否干净”。

经过 8D 小组的努力,解决了曲轴法兰端粘有油污的现象,大大提高了成品的清洁度。此项目受到广大员工和领导的好评。如表 15.3 所示。

#### 2. PFMEA 的范例

通过运用 PFMEA,对生产线的过程质量问题采取了有效的预防措施,控制了缺陷的产生,下面是曲轴二线的一个范例。

在一次例行的日常检查中发现,有根曲轴发信轮并未拧紧,却已被放在等待报交的曲轴之中。曲轴二线在了解到这一情况后认识到这是潜在的危险,因为发信轮未完全拧紧,会使发动机无法正常工作而发生故障。因此生产线决定由现场技术工程师、现场工程师、维修技术工程师、发动机规划科工程师和发动机质量保证科工程师一起研究潜在的危险和要采取的预防措施。

---

\* PFMEA 指过程失效模式与后果分析,其英文全称为 process of failure model and effect analysis。

表 15.3 8D 报告表

8D 报告					
项目:防止法兰端面油污		编号:KW2-01-06-01		开始日期:2001. 6. 3	
报告日期:2001. 6. 20		零件名称:曲轴		零件号:023105101E	
1D 小组成员:朱卫荣、杨自杰、傅民琦、殷菲莉					
组长: 凌家熊					
2D 问题描述(定义):AF210 清洗机出料口悬臂托架上有油污积存,在取料时造成油污粘在法兰端面。					
3D 临时性措施:(1)清除托架上积存的油污; (2) 污染的曲轴重新清洗。				效果	
				100%	
				实施日期:2001. 6. 3	
4D 根本原因分析: AF210 时清除。				影响程度	
				100%	
5D 选择永久性的纠正措施: 在设备点检内容中增加对于出料口托架点检内容。 用汗衫布清除托架上油污。				验证:	
				有效	
				效果	
				100 %	
6D 实施永久性措施: 在 AF210 设备点检内容中增加对于出料口托架点检的内容。				实施日期	
				2001. 6. 6	
7D 实施预防措施: 在设备点检内容中增加对于出料口托架点检的内容。				实施日期	
				2001. 6. 6	
				8D 向小组祝贺	
				组长 凌家熊	
				结束日期:2001. 6. 20	
				报告编写者: 凌家熊	
				部门:TES-KW2 电话:63637	



首先,小组成员一致认为现行的 AF240 存在着潜在的失效模式,在螺栓未被拧紧或未达到额定扭矩值的情况下,报交至装配甚至装入成品车,有可能存在发动机无法点火的严重后果。继续分析“为何会在螺栓未被拧紧或未达到额定扭矩值的情况下而报交至装配”,发现可能存在 3 种情形:

(1) 螺栓在扭矩值不合格的情况下,机床的报警装置会被轻易消除,致使存在着扭矩值不合格的曲轴流下的因素。此现象的发生率很高,而且现行机床并未对此现象有监控

装置,因此发现率极小,并且存在着很大的危险系数。

(2) 螺栓扭矩值不合格的工件不能有效地被追溯到。此种情况的发生率也很高,而现行工艺用打印纸进行记录,发现率虽然比较高,但所用纸张不利于长期保存,因此也存在着一定的危险系数。

(3) 工件的螺栓未拧紧就已经流下。此现象的发生率很低,而且机床装有未进行拧紧而流下的报警装置,所以肯定可以发现未拧紧就已经流下的曲轴,风险系数因此很低。

综合上述 3 种原因,采取如下措施:

(1) 针对第 1 种情况,电气维修工将在控制面板上加装消除故障的连锁装置,使故障不能轻易被消除,从而对操作工起到警示的作用。此措施实施后,发现率已变得极高,风险系数也因此降为极低。

(2) 针对第 2 种情况,小组请规划部安装了一个专用监控仪取代现行的打印机,而且定期可以用磁盘进行数据保存,有利于长期观察。此措施实施后发现用专用监控仪能够长期保存,危险系数也已极低。

实施 PFMEA 小组工作法后,能把现行存在的某些潜在危险放大,并采取持续改进的方法加以改善。

## 15.5 零缺陷质量过程控制活动的总结与思考

根据零缺陷质量思维,在 VDA6.3 质量体系的指导下,通过在发动机厂开展“零缺陷质量过程控制”以后,发动机厂在产品质量、生产成本和生产能力上有了较大的提高:

(1) 通过全员动员,使得全体员工对零缺陷的理念、内容和具体实施方法的认识有了较大提高。

(2) 通过开展零缺陷活动,促进了发动机厂在 VDA6.3 质量体系审核中的水平。在 2002 年底德国康采恩质保部对发动机厂的 VDA6.3 审核中,发动机厂生产的两大系列发动机分别以 95 分和 94 分的成绩名列集团发动机制造质量排行榜第一和第二。

(3) 在 2002 年市场需求大幅度提升的情况下,发动机厂及时调整生产能力,保质保量地生产出用户需要的发动机,满足了市场的需求。

(4) 通过对生产全过程的改进,降低了生产成本,提高了产品的竞争能力。

以三轴车间为例,质量成果:收到合理化建议 231 条,落实 156 条,其中完成防错装置 44 项,零件工废率下降 30%;成本成果:累计节约成本 262.8 万元人民币;用户满意成果:设备故障率降低 12%,生产能力提高 5.2%,满足了 2002 年突然爆发的市场需求。

2002 年发动机厂开展的零缺陷质量过程控制活动,虽然取得了很大的成绩,但是通过活动的开展,发动机厂更加深入地认识到需要做的事情还很多。虽然通过 SPC 程序的运用,通过 PFMEA 方法的推广,尤其是零缺陷“第一次就将事情做正确”思想的引入,使

发动机厂的质量管理工作逐步从“找出缺陷,并改正”向“预防缺陷的发生”转变,发动机的质量有了明显提高。但是,面对2003年日趋激烈的市场竞争和不断提高的用户需求,发动机厂还必须将以往建立的缺陷预防体系予以制度化、规范化,进而形成一套完整的以“第一次就将事情做正确”为指导的零缺陷质量文化,使每一位员工都能够自觉、主动地预防和杜绝缺陷的产生。在激烈的市场竞争面前,不是“不进则退”,而是“慢进也退”。发动机厂前进的历程正如漫画所描述的滑雪者一样(图15.10),惟有不断追求“卓越的品质、低廉的成本”,朝着零缺陷的目标不断前进,才能使企业在残酷的市场竞争中立于不败之地。



图 15.10 零缺陷目标的推进

发动机厂按照德国质量能力的最新审核准则,不断完善生产过程的质量控制体系。发动机厂零缺陷质量管理的活动,主要集中在过程控制上,通过全面、深入地开展“零缺陷质量过程控制”,以 VDA6.3 质量控制体系为基础,对影响生产的五大要素——人、机、料、法、环,层层落实,进行系统改进,由点及面地开展各项群众性的零缺陷活动,主要解决了“如何通过完整、有效的过程控制,来实现零缺陷的质量目标”的问题。零缺陷质量意识和技能的培养、生产设备的预防性维护、防错装置设计和改进成本衡量、物流防错、标准化作业、以 QRC 为方法的持续改进等均是该公司进行零缺陷质量活动的特色,通过这些有效的工作,零缺陷质量活动从“三找”上升到“三防”,从源头上防止缺陷的产生,积极主动地预防缺陷的产生,真正体现了“质量是公司的生命”。

# 16

## 将 6 管理作为持续改进的突破性策略

### 16.1 引言

一家成立仅 5 年,投资仅 5000 万美元的汽车零部件生产型企业,奇迹般地以每年平均 50% 的业务量增幅跨越式发展,2002 年销售额已高达 22 亿元人民币,一跃成为国内最大汽车座椅总成的专业供应商。国内市场拓展顺利,海外业务更蒸蒸日上,2002 年以出口上亿美金的佳绩,名列上海市出口百强第 55 位,并以其出色的供货表现,荣获美国江森自控(Johnson Controls)总部授予的全球质量奥林匹克金奖。

是什么使公司能诞生不久就蓬勃发展,取得如此辉煌的成就呢?天时、地利、人和?成功的因素也许是多方面的,但更与该公司管理层的一个英明决策和一个不懈追求有关,这就是走中西合璧的卓越之路——推行 6 管理,建设零缺陷文化。

6 首先是由美国摩托罗拉公司于 20 世纪 80 年代中期提出的,主要用于生产制造过程的质量管理。该公司在分析产品售后服务数据中发现,发生故障的产品大多是在生产制造过程中曾经返修或返工的产品,或采用曾经返工或返修过的零件的产品。所以该公司提出 6 理论,要求使每一操作过程都达到 6 的要求,力求在制造过程中做到不返修、不返工,从根本上杜绝返工报废的浪费。通过 6 管理理论的实施,摩托罗拉公司的质量缺陷减少了 99.7%,节约了 110 亿美元的资金,并因此于 1988 年获得美国波多里奇国家质量奖。

### 16.2 6 质量战略

是一个希腊字母,在统计学上用来表示任何程序或过程中变量偏离其均值的程度。对于企业或过程而言,值是表示过程执行情况的度量标准,值越高,表示执行得越好。

6 运用统计数据测算一件产品接近其质量目标的程度,在以缺陷率计量产品质量特性时,用“ $\sigma$ 值”度量缺陷率。 $6\sigma$ 表示 99.99966% 的产品达到要求,意味着每 100 万件产品中仅有 3.4 件是残次品。

$6\sigma$ 已经成为企业发展的质量战略,成为将公司的战略思考与质量联系起来的方式,如图 16.1 所示。 $6\sigma$ 是一个统计测量基准,反映产品上缺陷显著减少的一种水平; $6\sigma$ 是向客户做出的一种承诺,是达到用户满意的性能水平; $6\sigma$ 更是一种管理哲学,它总结出一种管理方法,使管理工作更精确,将工作失误降至最低;一种对过程能力进行统计化衡量的方法,并与竞争对手相比较; $6\sigma$ 是一套有助于对过程进行衡量、分析、提高和控制的统计“工具”……

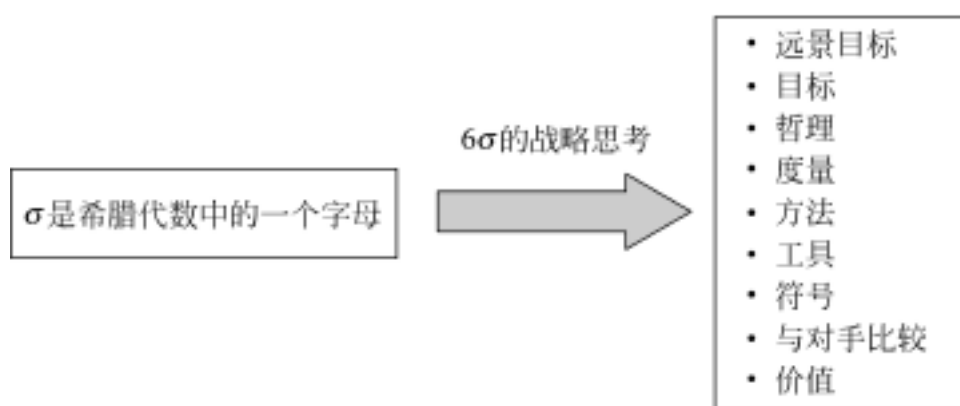


图 16.1  $6\sigma$  管理的战略思考

$6\sigma$ 管理是一整套系统的理论和实施方法,适用于整个生产流程,是着眼于定量揭示客观缺陷或失误与理论目标逼近的管理方法,提供了面向零缺陷的质量战略。 $6\sigma$ 管理认为企业面临的一些问题都是从流程中产生的,而改变缺陷的方法是要在流程中找到症结所在,这个过程首先要汇集各种数据作出科学的分析,进而找到解决问题的方法。 $6\sigma$ 战略把管理的重点放在懂得客户需要、产生缺陷的根本原因上,质量是靠优化流程,而不是通过严格的对最终产品的检验来实现的。

$6\sigma$ 管理通过 DMAIC (define, 定义; measure, 测量; analyze, 分析; improve, 改进; control, 控制)和 DFSS (design for six sigma,  $6\sigma$  流程设计)方法帮助企业进行业务流程再造和流程改善的工作。在 DMAIC 和 DFSS 中的每个阶段, $6\sigma$ 都有一整套系统、科学的经过企业成功实践的工具和方法, $6\sigma$ 正是通过科学、有效的量化方法,分析企业业务流程中所有关键因素,并通过对最关键因素的改进,达到产品质量与客户满意度“突破性”提高的效果。

### 16.3 6 管理方法

6 管理法则强调要从顾客出发、用数据说话、强调改进、人人皆提高质量等来强化企业竞争力的内在要素。6 管理强化了“事实管理”的概念,把对它的理解推向了一个新的层次:企业也可以用数据来做定期“体检”,6 不是简单地关注结果,而是强调创造产品或服务过程。力求在过程之中发现问题,分析问题,并及时改进。6 有一整套严谨的工具和方法来帮助组织推广实施流程优化工作。从澄清什么是业务绩效标准化的关键手段着手,使用统计数据和分析方法来构筑对关键变量和最优目标的理解。

#### 16.3.1 DMAIC 流程模式

6 管理模式是系统解决问题的方法和工具。系统工具中包含一个非常有用的流程改进模式,即 DMAIC 模式,该流程模式专门用于每一个环节的不断改善,使控制目标达到“零缺陷”的水平。具体解释如下:

D(define)——定义:界定核心流程和关键顾客,站在顾客的立场,找出对他们来说最重要的事项,如公司正在做什么?为什么公司要处理这个问题?顾客是谁?顾客的需求是什么?工作通常怎么做的?如果改进有什么益处?

M(measure)——衡量:找出关键评量,即为流程中的瑕疵建立衡量的基本步骤,要测量: 输出和结果; 过程; 输入。从而建立起开始工作的基础,通过测量和计算得出当前的。

A(analyze)——分析:从 5M + 1P(methods, 方法; machines, 机器; materials, 材料; measures, 指标与度量; mothernature, 自然的力量; people, 人)中探究误差发生的根本原因。运用统计分析,检测影响结果的潜在变量,找出瑕疵发生的最重要根源。所运用的工具包含许多统计分析工具。

I(improve)——改进:找出最佳解决方案,然后拟定行动计划,确定执行。公司从江森的全球 6 数据库 SigmaTrac 中,可以借鉴许多成功的改进方法,公司更提倡创新的、突破性的改进方法。

C(control)——控制:确保所做的改善能够持续下去。6 的领导承诺和企业崇尚质量的文化,使过程改进后的保持和控制成为可能。

很多企业都苦于无从发现问题和缺陷。实际上企业面临的一些问题都是从流程中产生的,而改变缺陷的方法是要在流程中找到症结所在,这个过程首先要汇集各种数据,作出科学的分析,进而找到解决问题的方法。6 战略把管理的重点放在懂得客户需要、产生缺陷的根本原因上,质量是靠优化流程,而不是通过严格的对最终产品的检验来实现的。6 就是应用数理统计来协助衡量价值流的每一过程、每一工序,协助衡量每一个改

善过程与结果。

### 16.3.2 过程的思考

今天的 6 管理早已不仅仅是单纯的统计技术的引用,而意味着全新的管理模式。6 管理理论是一套动态的管理体系,它基于因变量(管理目标) $Y$  和自变量(管理要素) $X$  的函数关系: $Y = f(X)$ 。

通过对自变量  $X$  的研究,找出成功因子,达到因变量  $Y$  的最优化结果。通过对自变量的测定,找出问题根源所在。通过实验设计方法加以优化、筛选、改善,一步步向成功因子逼近,使因变量达到最优。找到成功因子,对管理过程加以控制,运用统计过程控制 (SPC) 方法使管理过程达到稳定状态。

开展 6 三年多来,公司坚持以客户的需求为导向,对过程  $f(X)$  不断进行优化。6 有一条非常重要的理论,它认为所有业务运作过程都可以用  $Y = f(X)$  这一函数关系式来表示, $Y$  是过程输出的结果,它所包含的质量、成本及交付特性直接影响到客户的满意度,而且它的好坏是由过程中的变量  $X$  所驱动、所控制的。以往的管理方法往往仅考虑对  $Y$  施加影响,企图通过检验、测试来控制产品质量,耗费了很多人力、物力,却收效甚微。如,在座椅总装工厂投产初期,为了确保产品质量,曾规定对每一个座椅进行检验,并且每个座椅只有在生产经理、质量经理、工厂厂长都签字认可后,才能放行出厂。这种方法不仅投入了很多资源,效率低下,成本很高,而且看似严格,却仍有种种疏漏。质量问题仍时有发生。在学习了 6 理论后,从调查了解客户的需求开始,把当时客户反映最多的问题——后座椅装配时跳出,作为 6 的研究项目。通过对影响产品质量的各个变量的分析、改进、控制,来优化过程,提高质量。成立了由质量部经理为倡导者,总装厂厂长为过程拥有人,发泡车间主管、工厂质量人员、技术中心设计人员、质量部产品质量先期策划 (advanced product quality planning, APQP) 工程师为团队成员的 6 工作小组。经收集当时记录的数据,发现共有 194 例产品的后坐垫在 SGM 装配线装配时跳出,客户抱怨每百万产品中的次品数(customer parts per million, CPPM)为 5339。团队分析归纳了对其结果会发生影响的关键过程变量,并运用鱼刺图、因果矩阵、设计失效模式分析 (failure model and effect analysis, FMEA)、假设试验等一些 6 工具,找到了产生问题的根本原因并采取了改进措施,最终消除了由于后坐垫跳出而产生的客户抱怨,满足了客户的需求,从而使 CPPM 大幅下降。

如果说  $Y = f(X)$  是过程法的思考,则 DMAIC 是过程法的基本解题过程。

### 16.3.3 统计工具的应用

支持 6 管理的技术方法工具有:质量统计控制及图形分析的新、老 7 种工具,统计过程控制 (SPC),实验设计 (design of experiments, DOE),田口方法,潜在设计失效模式



分析(FMEA),故障树分析(fault tree analysis, FTA),回归及相关分析,稳健设计,容差设计,测量及加权分析,假设检验方差设计,质量功能展开(quality function demployment, QFD),可靠性设计,防错技术。

### 16.3.4 质量改进团队

2000年1月公司决定由总经理带队与其他3位工厂厂长和部门经理参加了为期1周着重于6理念和项目选择方面的倡导者培训,从而为6在全公司推行理清了思路,奠定了基础。接着在2000年1月~5月公司又从各部门挑选了4名业务骨干参加了为期4周、跨度4个月的黑带培训,着重于6的具体应用和方法;在此期间,每名黑带各带一项目,边培训边在公司内实践,在培训结束后,各自的第1个6项目都已基本完成,从而使黑带能更快地理解、掌握6的理念及工具,边学、边用,学以致用。

为了使6活动得到更加深入、广泛的开展,公司制定了具体的6培训推广计划,编制了6培训材料,从2000年下半年起进行了公司范围内的6全员培训,增强了员工的认知度和认同度,提高了大家参与6项目的热情和积极性。6的理念培训也纳入了新员工的入门培训,让每位员工都了解什么是6,它能为公司和自己带来什么。

同时,公司还借鉴了其他成功推行6公司的经验,在2001年培养了1名主任黑带,由他专门负责推进,协调公司上下的6活动,提供6培训,审议项目,指导黑带运用合适的工具实施项目。2002年,公司又从每个工厂和各职能部门中挑选了多名骨干开展了2次绿带培训,从而使更多的员工能掌握6的理念及方法,并运用于日常工作中,让6真正成为公司文化的一部分。目前,公司已有9名倡导者(champion)、1名主任黑带、4名黑带、28名绿带,所有薪水工和组长以上小时工都接受了6入门培训。这样就为6理念的推广和活动的开展准备了相当充足的人力资源队伍。

## 16.4 项目组织方式

为了使6活动能在公司全面有效地开展,明确了不同角色的各自分工。

最高领导层,即公司的执委会:负责制定公司6的运景、使命,制定公司推行6的年度目标,并在每月的经营运作会议上审议各工厂、部门的6项目开展及目标完成情况。

项目倡导者与过程拥有人:6倡导者为各工厂厂长和部门经理,他们理解6的理念及工具,并对成功作出承诺。他们在日常工作中运用6的管理法,每周与黑带、绿带进行项目审议,寻找潜在的项目机会,在管理上给予黑带及项目团队支持,帮助他们扫清改进过程中遇到的障碍。过程拥有人通常为工厂内各职能部门的经理,他们负责相应的过程和系统,在其职责范围内为6的改进活动做支持与协调工作。

主任黑带:是公司6技术的最高层,负责相关的6培训,协调全公司的6活动,并

对 6 项目提供技术性指导,主任黑带负责指导黑带运用适当的方法审议 6 项目。

黑带:全职开展 6 活动,具体项目的领导者。每个工厂各设 1 名黑带,他们能熟练地掌握 6 的理念及工具,并领导整个项目团队开展项目。从定义阶段到控制阶段,有效地进行项目管理并达到改进目标。每位黑带同时展开多个项目,平均每年完成 4~6 个项目。

绿带:绿带为兼职,能组织 6 团队开展项目。通常,由黑带帮助绿带确定项目,并对他们进行培训,在项目过程中进行指导。他们是 6 理念和工具的传播者,也是推广 6 使其成为公司文化一部分的主要驱动力。

财务控制员:负责提供财务信息,帮助黑带计算、确认项目的成本节省。

## 16.5 6 改进项目实例

### 16.5.1 项目背景

2000 年末,受国际汽车市场影响,公司机械零件厂的生产和销售也受到了冲击,产量直线下滑。公司和工厂管理层决策,工厂从 2001 年初开始试制汽车座椅滑道。随着新产品的试制成功,工厂开始进行批量生产。由于工厂生产的是全新的产品,引进了许多新设备,采用了许多新工艺,这时由于对新设备、新工艺不熟悉,理解不深刻,产品质量很不稳定,给产品增加了很大的潜在风险;同时为防止不合格产品流入下道工序,增加了大量的检测成本。点焊机工艺就是其中一个。

#### 1. 项目描述

零配件间的点焊连接是滑道项目的特殊连接方式,某些安全件的连接就是采用点焊的连接方式,因此,为保证焊接的可靠性,对过程采用了大量的监控手段,如 SPC 控制、操作人员的过程检验控制等。由于部分检验采用的是破坏性试验,造成了大量的成本浪费,但潜在风险仍然存在。为提高点焊的过程能力,开展了 6 项目,对过程进行分析研究,找到改善措施,将目前的过程能力  $C_{pk}$  从 0.69 提高到 1.67。消除潜在风险,提高客户满意度。

#### 2. 项目目标

加深对点焊过程的理解,改善点焊机参数设置,提高点焊过程能力,将  $C_{pk}$  由原来的 0.69 提高到 1.67,同时完成每年节约 5000 美元成本的目标。

#### 3. 问题描述

通过对 SPC 历史数据的收集和分析,计算出当前过程能力  $C_{pk}$  为 0.69,同时了解到,在过程检验工序中已数次发生点焊连接脱焊的质量事件。

### 16.5.2 项目实施过程介绍

根据 6 项目 DMAIC 的实施流程,项目团队制定了详细的项目计划。同时,初步安排了项目各个阶段要完成的任务。

#### 1. 项目定义阶段

团队根据项目需要,确定项目需要支持的人员和项目过程负责人,对项目做了详细描述,确定了项目范围和过程输出,明确了项目当前的状态以及团队要达到的目标(包括过程能力指标、成本目标)。

#### 2. 项目测量阶段

在本阶段,团队确定将点焊过程的扭矩作为研究方向,并且确定过程的扭矩作为变量时是独立的,不会对其他参数产生影响。

根据确定的过程输出,团队成员展开讨论,对过程进行分析,确定了过程输入和输出(见表 16.1)。同时,完成了对测量系统的分析,保证测量数据的准确。

表 16.1 过程输入输出表

过程输入(input)	过程(process)	过程输出(output)
初期加压时间	点焊机点焊过程	成品
上升时间		焊接强度(扭矩)
焊接时间		
保持时间		
焊接电流		
电极加压力		
零件表面状态		
工厂线电压		
电流输出		

#### 3. 项目分析阶段

在本阶段,团队对整个过程进行了较深入的分析,初步确定所采用的分析工具、需要收集的数据、对分析工作的计划安排以及需要的支持。

团队根据实际情况,决定采用假设试验和实验设计的数据分析方法对各项影响因数进行研究分析。首先借助 Minitab 进行非参数假设检验,即检验输出扭矩是否服从某一分布,根据经验,输出扭矩的分布服从正态分布,所以进行正态分布的假设检验。选取的样本容量为 16,零件表面选择两种状态,即好的表面状态和坏的表面状态,表 16.2 是两种零件表面状态所对应的扭矩。图 16.2 和图 16.3 是采用假设试验确定零件表面状态对过程输出(扭矩)的影响示意图。由图可知,正态检验图的横坐标分别表示好的表面状态

和坏的表面状态下的输出扭矩;纵坐标表示累积概率,直观看,图中点均近似地在一条直线上,则说明该分布为正态分布。非参数检验的方法很多,这里选用的是一种叫做 Anderson-Darling 的正态检验方法。由 Minitab 显示的分析结果可知,好的表面状态下 P-value(检验统计量对应的概率值)等于 0.734;坏的表面状态下, P-value 等于 0.054,这里所取的 值为 0.05,即置信水平为 0.95,因为两种情况下的 P-value 均大于 0.05,即落在置信区间内,所以接受正态分布的假设检验。

表 16.2 两种零件表面状态对应的扭矩

kN · m

序号	好的表面状态	坏的表面状态
1	54.6	32.2
2	52.3	31
3	36.7	38.5
4	45.3	35.8
5	39.2	33.7
6	38.6	37.4
7	42.8	33.2
8	44.8	24.7
9	46.2	36.7
10	48.7	38.3
11	44.4	38.6
12	48.9	19.3
13	40.4	15
14	46.1	26.5
15	52.3	29.4
16	53.1	35.1

团队进行了两样本 T 假设试验来验证不同的零件表面状态是否会对扭矩产生影响,运用 Minitab 进行分析,结果如图 16.4 所示。图中,“N”为样本容量;“Mean”为样本期望值;“StDev”为样本标准偏差;“SE Mean”为系统误差的期望值;“Difference”表示好的表面状态和坏的表面状态的期望值之差;“95% CI for difference”表示置信水平为 95% 的差值的置信区间;“T-Value”表示计算的统计检验量 T 值;P-Value 表示检验统计量对应的概率值。由图 16.4 显示的 Minitab 分析结果可知, P-Value 等于 0, 小于 0.05, 因为置信

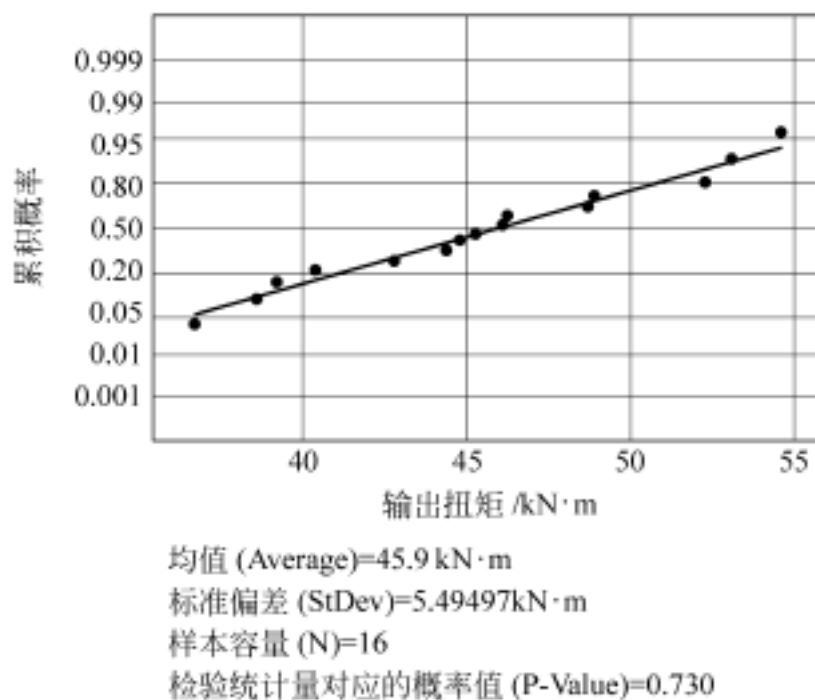


图 16.2 好的表面状态下的输出扭矩正态检验图

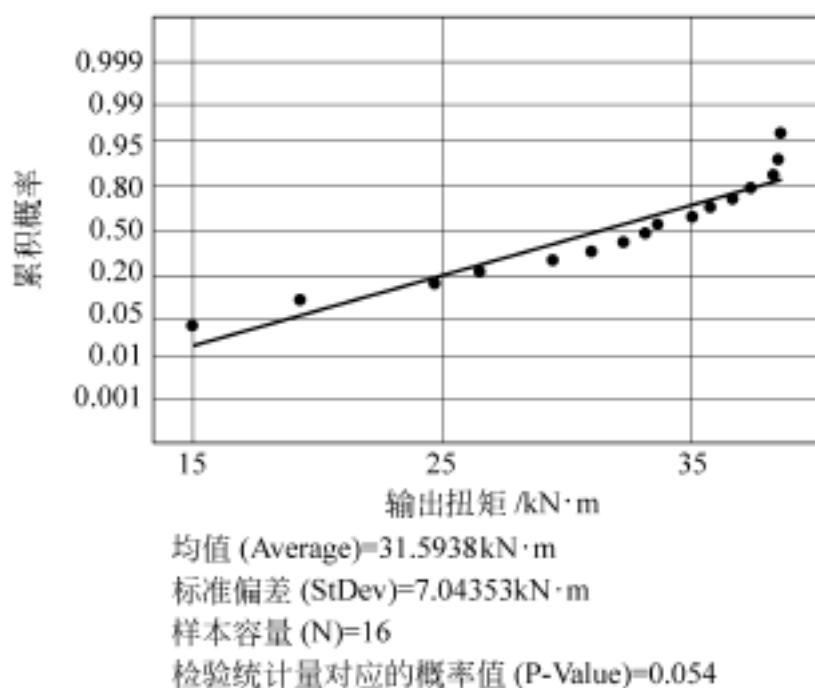


图 16.3 坏的表面状态下的输出扭矩正态检验图

水平取 95%，因此证明不同表面状态的零件对输出扭矩有显著影响。如果计算出的 P-Value 大于 0.05，则说明该因素对输出结果没有显著影响。

为了确定机器关键参数的最佳设置，团队进行了两水平五因素的部分试验设计，即取五个因素，每个因素取两个水平进行组合试验。这五个因素分别是：保持时间 (Holding time, 用 A 表示)，挤压时间 (Squeeze time, 用 B 表示)，焊接时间 (Welding, 用 C 表示)，电流 (Current, 用 D 表示)，电极加压力 (Elec. Press, 用 E 表示)。每个因素的水平数和部分实验结果如表 16.3 所示，表中，StdOrd 表示标准实验顺序，RunOrd 表示实际运行顺

Two-Sample T-Test and CI: Good Surface, Bad Surface				
N	Mean	StDev	SE Mean	
Good Sur	16	45.90	5.49	1.4
Bad Surf	16	31.59	7.04	1.8
Difference = mu Good Surface - mu Bad Surface				
Estimate for difference: 14.31				
95% CI for difference: (9.73, 18.88)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 6.41				
P-Value = 0.000 DF = 28				

图 16.4 T 假设试验

序, Block 表示分区数, CenterPt 表示中心点, Mean 表示扭矩期望值。图 16.5 是因子主效应和交互效应的 Pareto 分析图, 横坐标显示的是百分比, 纵坐标显示的是各个主效应和交互效应, 如 AC 表示因素 A 和因素 C 的交互作用。虚线为临界线, 如果灰色柱形超出该线, 说明对输出结果有显著影响, 从图 16.5 看, 只有 D 和 E 两个因子超出虚线, 因此只有这两个因子单独对输出结果的均值有显著影响。

表 16.3 因素与水平的选择及实验结果

标准顺序 (StdOrd)	运行顺序 (RunOrd)	中心点 (CenterPt)	分区数 (Blocks)	A 因子	B 因子	C 因子	D 因子	E 因子	扭矩期望值 / kN · m(Mean)
1	1	1	1	5	60	6	7000	2.3	12.125
2	2	1	1	20	60	6	7000	1.2	30.025
3	3	1	1	5	90	6	7000	1.2	32.2
4	4	1	1	20	90	6	7000	2.3	11.25
5	5	1	1	5	60	10	7000	1.2	22.675
6	6	1	1	20	60	10	7000	2.3	9.5
7	7	1	1	5	90	10	7000	2.3	5.75
8	8	1	1	20	90	10	7000	1.2	34.525
9	9	1	1	5	60	6	9000	1.2	45.825
10	10	1	1	20	60	6	9000	2.3	22.375
11	11	1	1	5	90	6	9000	2.3	23.625

续表

标准顺序 (StdOrd)	运行顺序 (RunOrd)	中心点 (CenterPt)	分区数 (Blocks)	A 因子	B 因子	C 因子	D 因子	E 因子	扭矩期望值 / kN · m(Mean)
12	12	1	1	20	90	6	9000	1.2	46.025
13	13	1	1	5	60	10	9000	2.3	18.075
14	14	1	1	20	60	10	9000	1.2	53.35
15	15	1	1	5	90	10	9000	1.2	50.025
16	16	1	1	20	90	10	9000	2.3	25.875

为了减少变差,团队又研究了因子变化对输出结果标准偏差的影响。根据图 16.6 所示的内容,因子的变化对输出结果的标准偏差没有显著性影响。从而团队得出结论:调整  $D$ (电流)和  $E$ (电极加压力)达到最佳输出平均值不会增加输出结果的变差。(注:如果没有灰色柱形超出临界线,临界线不会在图中显示。)

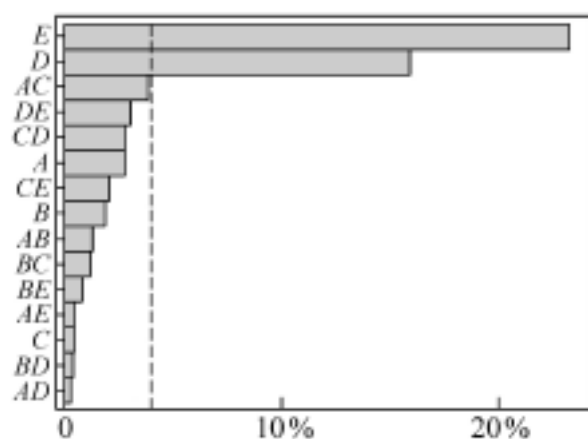


图 16.5 因子主效应和交互效应的 Pareto 分析图

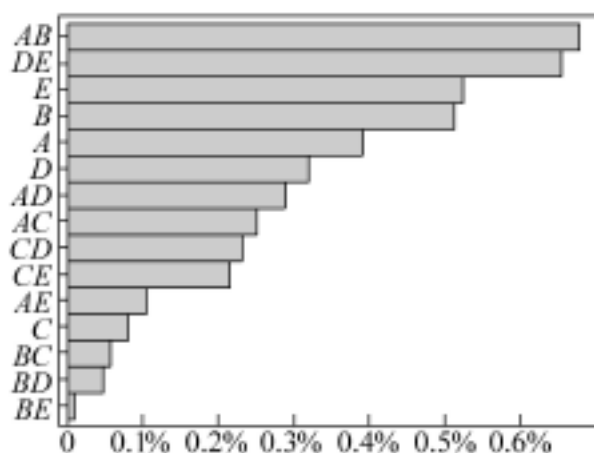


图 16.6 因子变化对输出结果标准偏差影响的 Pareto 分析图

通过以上对过程各因素的分析,同时多次对实验结果进行重复试验验证,团队得出以上结论,明确了对过程影响的参数。另外,对工序能力进行了分析,样本容量为 25,其扭矩如表 16.4 所示。工序能力分析结果如图 16.7 所示。“Process Data”反映样本的基本数据,如“USL”表示规格上限,“LSL”表示规格下限,本例是单规格界限问题,只规定规格下限,“Target”表示目标值,“Mean”表示样本期望值,“Sample N”表示样本容量,“StDev (Within)”表示组内标准偏差,“StDev (Overall)”表示总的标准偏差,“Potential Capability”反映组内能力,以工序能力指数“Cpk”来衡量,“Cpk”表示规格分布与实际分布中心重合时的能力指数,“CPU”表示上侧工序能力指数,“CPL”表示下侧工序能力指数,“Cpm”是另外一种衡量工序能力的指标,这里没有计算。“Overall Capability”反映总体能力,并且其能力指数用“Ppk”描述。图 16.7 中,实线表示组内情况,虚线表示总体情

况,组内能力大于总体能力,图下的注释“ Observed Performance ”,“ Within Performance ”和“ Overall Performance ”分别表示观测样本数值超出规格界限的比例、图中组内分布曲线超出规格界限的比例以及总体分布曲线超出规格界限的比例。

表 16.4 工序能力分析所用样本数据 kN · m

序号	扭矩	序号	扭矩	序号	扭矩	序号	扭矩	序号	扭矩
1	45	6	38	11	49	16	43	21	44
2	42	7	44	12	49	17	42	22	48
3	35	8	41	13	51	18	41	23	49
4	41	9	39	14	51	19	41	24	48
5	42	10	40	15	50	20	44	25	50

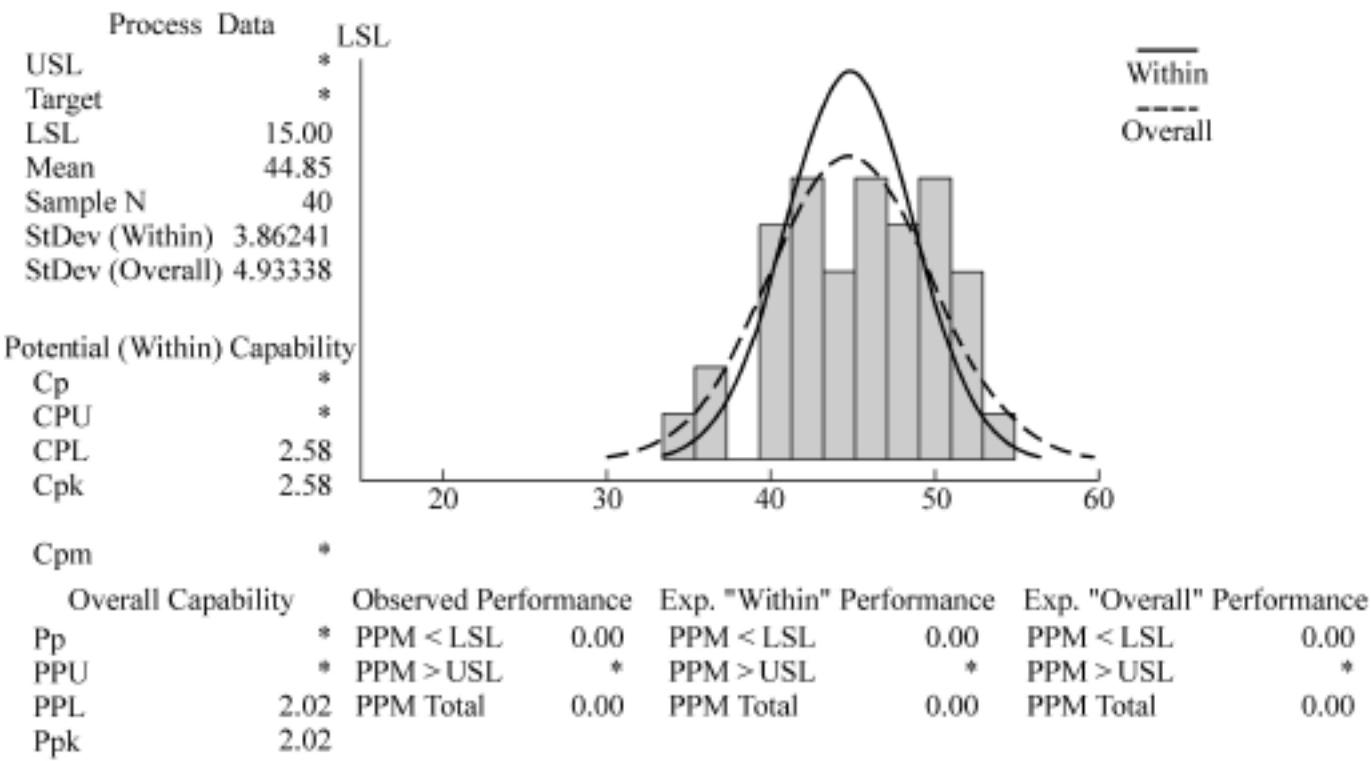


图 16.7 过程能力分析图

4. 项目改进阶段

根据以上对过程的分析研究,团队实施了改进措施,以提高过程能力,改善产品质量。采用的措施如下:

- (1) 加大对设备的维护力度,特别是对于点焊机的点焊电极,需确保电极接触表面平整、干净。将此要求加入 TPM 设备维护点检表中。
- (2) 控制零配件的表面状态,确保零配件表面干净、无灰尘油污——加强对零配件的来料检验。



(3) 根据以上对各参数的分析研究,重新确定点焊机各参数的水平,使参数设置达到最优化。

(4) 通过实验设计,发现新的设备内部参数对产品质量有显著影响,确定该参数水平,加入设备参数检查表,对其进行控制。

(5) 对操作人员进行岗位知识培训,使其了解过程的基本知识,以便于对过程的有效控制。通过对各措施的实施,并且对过程的运行情况进行严格监控,经过一段时间的数据收集与整理分析,结果证实采用的措施效果显著。过程能力有了极大的提高,与改进前有较显著的改善。

#### 5. 项目控制阶段

在项目改进措施实施确认后,团队对过程进行了为期 3 个月的监控,效果显著,达到了项目改进的目标,同时对点焊过程有了更深刻的了解。

#### 6. 项目团队后期目标

由于工厂有多台点焊设备,生产的产品、工装夹具、零配件均不同,团队决定后期目标是将此经验推广到其他几台设备上,同时改善其他几台设备的产品质量状况,使工厂整个点焊过程趋于稳定,提高工厂整体过程能力。

## 16.6 形成追求“第一”的企业文化

本质上说,企业推行 6 就是一种最高管理层对不断追求完满业绩的承诺。要达到 6 这样一个业绩改进趋于完美的理想目标。要有全套的数学统计的、思维辨析的、团队合作的方法,更要有全体员工持续高涨饱满、不懈追求的工作激情,营造人人追求产品、工作过程、业务流程零缺陷的企业文化。

公司推行的业务运作系统(business operation system, BOS)是一个能保证实现持续领先和世界级业绩的管理系统,是一个很好体现 6 原则的管理系统。公司充分调动资源,全面、认真、持续地贯彻维护和改进着 BOS,从而为其业务的扩张和发展奠定了良好的管理基础。每年 2 次,BOS 吸收全球最优秀的理念和公司的最佳运作实践,修定新的 BOS 版本;每年 4 次,公司组织全面的内审和改进。一切按程序办,结合对程序本身动态的持续的优化和改进,规范了“公司做事的方式”。

公司有一个 6 的业务运作系统,其管理层更是用 6 的理念不断提高业务标杆,调整业绩测量的指标和目标。

每一个业务领域,公司都以“最好”、“第一”为自己的奋斗目标;每一个面向顾客的工厂,都以成为顾客的第一选择为己任,精益求精,好上加好。每当面对“金奖”、“A 级”、“优秀供应商”等一个个顾客给予的荣誉,管理层就又设定更高的目标,用更精准、严格的测定方法带领企业更上一层楼。2002 年底,当公司上下沉浸在获得了江森全球质量金奖

的喜悦中时,公司管理层又决定推行流动产出率(rolled throughput yield, RTY)这一比 6 更高的测量指标,进一步把对过程的改进和控制引向深入。RTY 与通常公司使用的内部缺陷率(internal parts per million, IPPM)不同,它全面地对过程中每个步骤或工序进行测量,而不仅仅是度量过程最后产出品不良率,从而更能有助于找出整个过程中所有的“隐藏工厂”并加以消除,使公司的过程更流畅,更精益。2003 年公司的质量目标是在 2002 年底的基础上通过实施 6 把 RTY 提高 20%。

公司有自上而下的推动,同时鼓励由下而上的群众性的 6 改进活动。团队集会、远景周、6 项目成果发表和交流、持续改进奖评选,丰富多彩的活动以员工喜闻乐见的形式、在管理层的支持下五彩缤纷。

## 16.7 取得的成果

公司开展 6 项目 3 年,已完成项目 51 个,实现了 1245 万人民币的收益。2002 年公司实施 6 项目取得的收益如图 16.8 所示,图中纵坐标表示至 2002 年每个月的累积收益值(单位:万元)，“Planned Accum. Savings”表示计划累积收益值,“Actual Accum. Savings”表示实际累积收益值。2003 年公司又制定了 700 万元收益的 6 工作目标,并把 6 改进的视角延伸到业务流程的上游供应商。

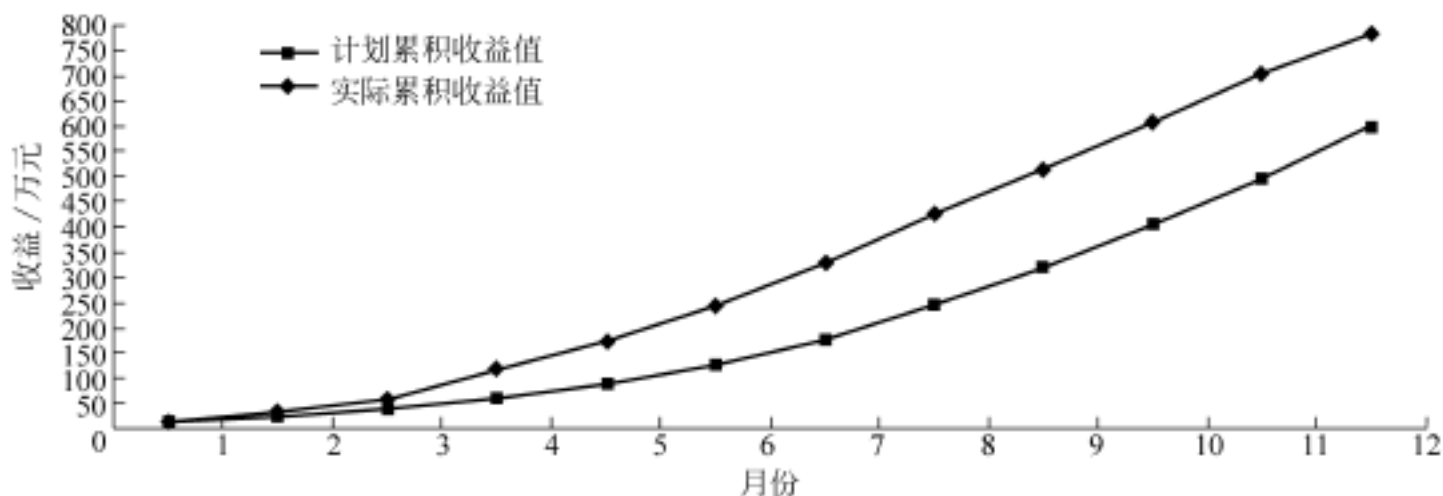


图 16.8 2002 年 6 实施收益值情况

总的来讲,6 正是通过科学、有效的量化方法,分析企业业务流程中所有关键因素,并通过对最关键因素的改进,从而达到突破性获得零缺陷产品质量与客户满意度提高的效果。公司推行 6 管理,将消除缺陷的重点放在懂得客户需要、寻找产生缺陷的根本原因上,提高质量的关键是靠流程的优化,而不是通过严格的对最终产品的检验来实现的。6 作为一整套系统、科学的经过企业成功实践的工具和方法,通过近几年的实践,对改善公司的总体质量水平发挥了重要作用,企业也因成功推行 6 活动获得了许多成果与奖励。

# 17

## 应用 6 方法缩短交货周期

### 17.1 6 实施方法——DMAIC

6 管理不仅是理念,同时也是一套业绩突破的方法。它将理念变为行动,将目标变为现实。这套方法就是人们常常谈到的 6 改进方法 DMAIC 和 6 设计方法 DFSS。图 17.1 所示为 DMAIC 改进过程示意图。DMAIC 局限于质量的改进,一般意义上是指对现有流程的改进,包括制造过程、服务过程以及工作过程等。

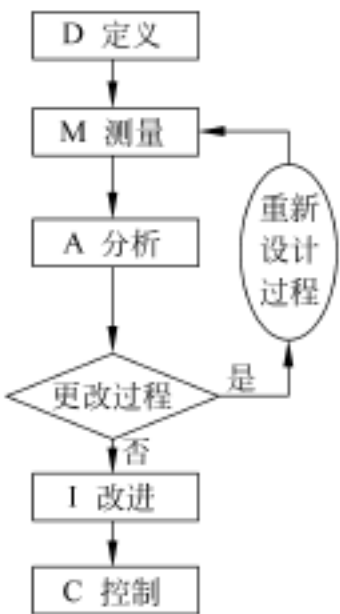
阶 段	主 要 工 作
 <pre> graph TD     D[D 定义] --&gt; M[M 测量]     M --&gt; A[A 分析]     A --&gt; C1{更改过程}     C1 -- 是 --&gt; RD(重新设计过程)     RD --&gt; M     C1 -- 否 --&gt; I[I 改进]     I --&gt; C[C 控制]                     </pre>	(1) 定义阶段 D: 确定顾客的关键需求并识别需要改进的产品或过程,将改进项目界定在合理的范围内。
	(2) 测量阶段 M: 通过对现有过程的测量,确定过程的基线以及期望达到的目标,识别影响过程输出 $Y$ 的输入 $X_s$ ,并对测量系统的有效性做出评价。
	(3) 分析阶段 A: 通过数据分析确定影响输出 $Y$ 的关键 $X_s$ ,即通过过程的关键影响因素。
	(4) 改进阶段 I: 寻找优化过程输出 $Y$ 并且消除或减小关键 $X_s$ 影响的方案,使过程的缺陷或变异(或称为波动)降低。
	(5) 控制阶段 C: 使改进后的过程程序化并通过有效的监测方法保持过程改进的成果。

图 17.1 DMAIC 的五阶段改进过程

## 17.2 应用 DMAIC 方法缩短交货周期

### 17.2.1 背景分析

在我国成功实现了从计划经济体制向市场经济体制的转变后,经济得到了快速发展,相应地对建材等的需求量大大增加,钢材是需求最大的产品之一。对钢铁行业来讲,要提升竞争力,必须提升客户的满意度,交货周期正是用户满意度的关键项目之一。钢铁行业的下游用户往往面临着快速多变的市场,交货期的缩短有利于用户根据自身市场的状况,来决定采购钢材的品种、数量,从而为顾客创造价值,同时也能提升企业产品自身的价值。本案例以国内某钢铁企业为研究对象,在选择 6 项目时,把缩短某型号产品交货周期作为我们选题的主要方向。分析的软件工具主要是 Minitab 统计软件。

该型号产品的制造时间在 2003 年 2 月~7 月,制造周期平均为 20 天,实施 6 项目的目标把该型号产品的制造周期缩短到 15 天,同时改变目前合同制造周期离散程度过大的状况,有些合同制造周期长达 45 天,导致用户对过长的合同周期产生怨言。

本案例在进行过程中主要采用了下列方法:

- (1) 定义测量阶段: 流程分解图、流程职能分布图、控制图等;
- (2) 分析阶段: 柏拉图、鱼刺图等;
- (3) 改进阶段: 头脑风暴、防错技术等。

本项目在实施过程中的主要发现:采取类似按周交货方式的方法管理按月交货等直发合同,对缩短该产品制造周期有很大效果;交货公差对小合同的准发周期有明显作用;按周交货合同下发过早对制造周期中的材料申请周期有明显影响。

经过项目实施,该型号产品的制造周期 8 月份实际为 13 天,比 2003 年 2 月~7 月的平均 20 天缩短了 7 天。下面按 DMAIC 的几个阶段对本 6 项目进行详细阐述。

### 17.2.2 定义阶段

#### 1. 问题及改善机会

随着市场竞争的日趋激烈,该钢铁企业许多重点用户希望能够缩短交货周期,使他们能够更好地根据市场的实际需求状况来订货,因为交货周期越短,用户对市场需求机会的把握就越准。该产品用户大部分是重点工程用料,重点工程的特点是一旦开标就要求马上交货,因而要求交货周期短。

#### 2. 关键要求特性的确定

合同交货周期对用户来说,属于 kano<sup>\*</sup> 分析中的一元质量,周期越短越好。但是由于成本和生产工艺的限制,交货周期目前而言不能够无限期缩短。因此对关键要求特性的确定是建立在用户认为满意的基础上。经过对用户的调查,认为直发卷交货周期在 25 天以内是一个满意的水平。根据合同交货周期分段的实际,分解到制造周期为 20 天,此即为本项目的关键要求特性。

3. 项目目标的确定

为保证 90% 的合同周期能够落在用户要求的关键要求特性里面,确定项目目标为合同制造周期平均值达到 15 天,总体 水平达到 1.3。

4. 项目范围

整个合同交货周期可以分为三段,即销售管理周期、制造管理周期、运输管理周期,本项目针对的是制造管理周期。从流程上,包括材料申请、板坯产出、轧制过程、修理过程、准发过程和准发确认过程,不包含之前的合同处理过程和之后的出厂运输过程。

5. 流程分析

该产品的合同制造过程可以分解为三个过程,即生产过程 1、生产过程 2 和生产过程 3,具体流程分解如图 17.2 所示。针对每个具体流程,制作了流程职能分布图。这里仅以生产过程 1 为例制作流程职能分布图,如图 17.3 所示。

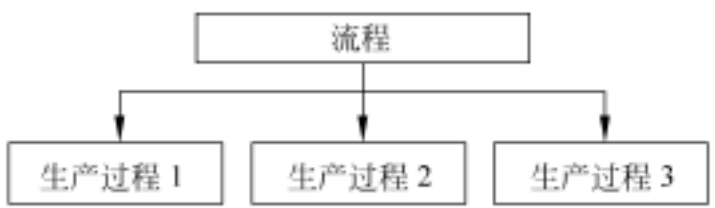


图 17.2 流程分解示意图

6. 定义阶段小结

定义阶段对项目的目标、范围进行了界定,并组成了项目团队,对和目标相关的流程进行了了解,并在了解过程中发现目前存在的一些问题,这些问题造成部分合同制造周期过长。

17.2.3 测量阶段

1. 数据分层

本案例选择了 2002 年 10 月~2003 年 3 月的数据作为我们的研究对象。

2. 流程水平测量

由于在目前生产组织方式中存在按周交货与按月交货方式的区别,而工艺流程上又

\* 用于找出质量属性(如必备属性、魅力属性、一维属性等)的一种方法,由日本专家 kano 提出,故被称为“kano 模型分析法”。

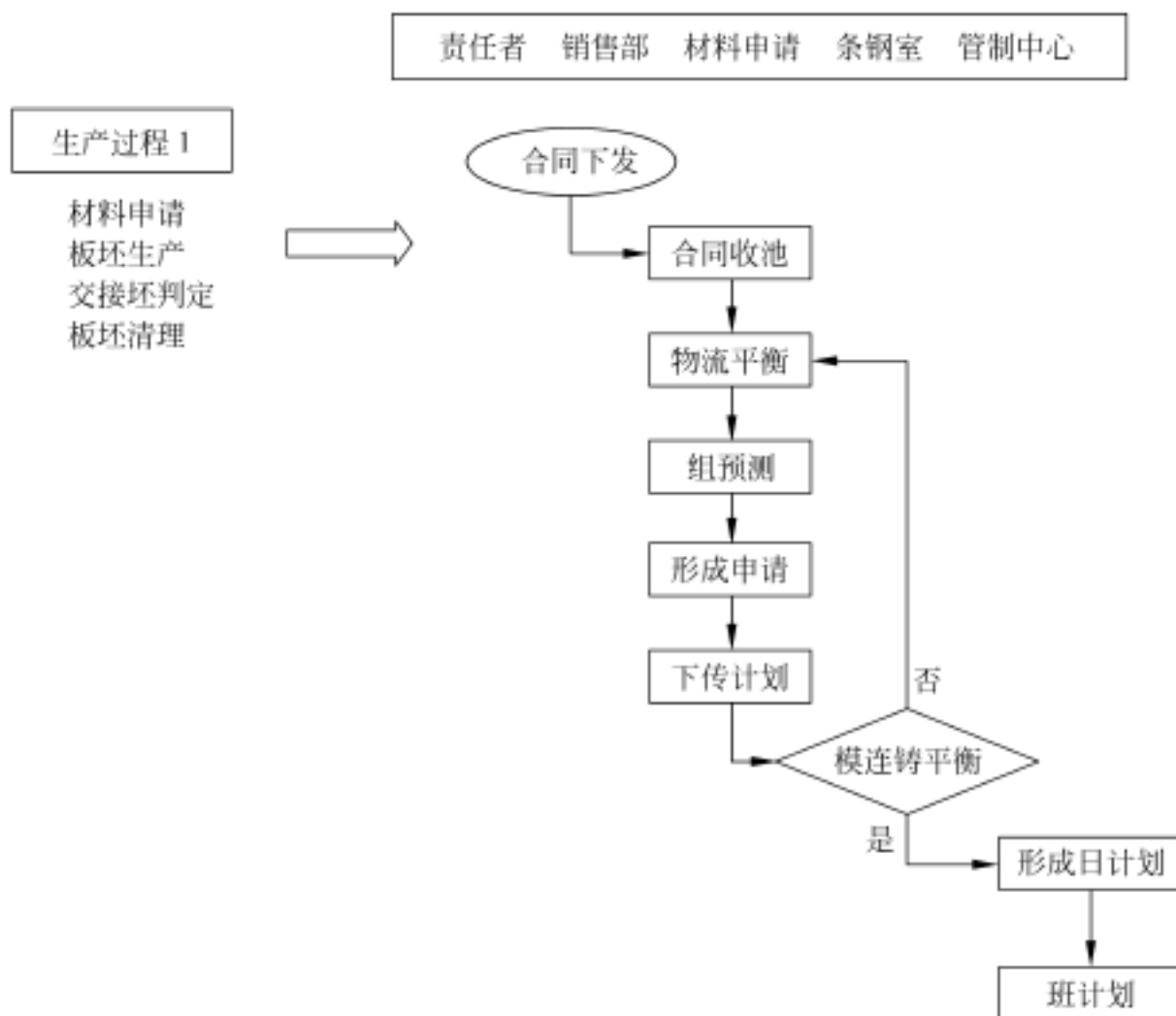


图 17.3 流程职能分布图之一

分为 A 和 B 两种,其中 A 比 B 合同在理论上要长 3 天左右,因此通过交叉组合,可以得到 4 种不同的生产方式,我们对这 4 种方式目前的 水平分别进行了衡量,得出如下结果。

#### 1) 按周交货 B 合同

##### (1) 控制图

这里采用的是单值控制图,如图 17.4 所示。横坐标 Observation Number 表示观测的样本数,本案例样本数为  $N = 265$ ; 纵坐标 Individual Value 表示观测样本的值;UCL 表示控制图的上控制界限;LCL 表示控制图的下控制界限;Mean 表示观测样本的期望值,这里用样本的期望值作为控制图的中心线。图 17.6、图 17.8、图 17.10 等所示控制图的解释相同。由图 17.4 可见,该流程稳定。

##### (2) 水平衡量

运用 Minitab 软件进行能力分析,结果如图 17.5 所示。图中,Process Data 反映样本的基本数据,如 USL 表示规格上限,LSL 表示规格下限,因为交货周期是单规格界限问题,通常只规定上限,下限取值为 0。由图中也可以看出,Target 表示目标值;Mean 是样本期望值,制造周期平均值是 12.34 天;Sample N 表示样本容量;StDev(Within)表示组

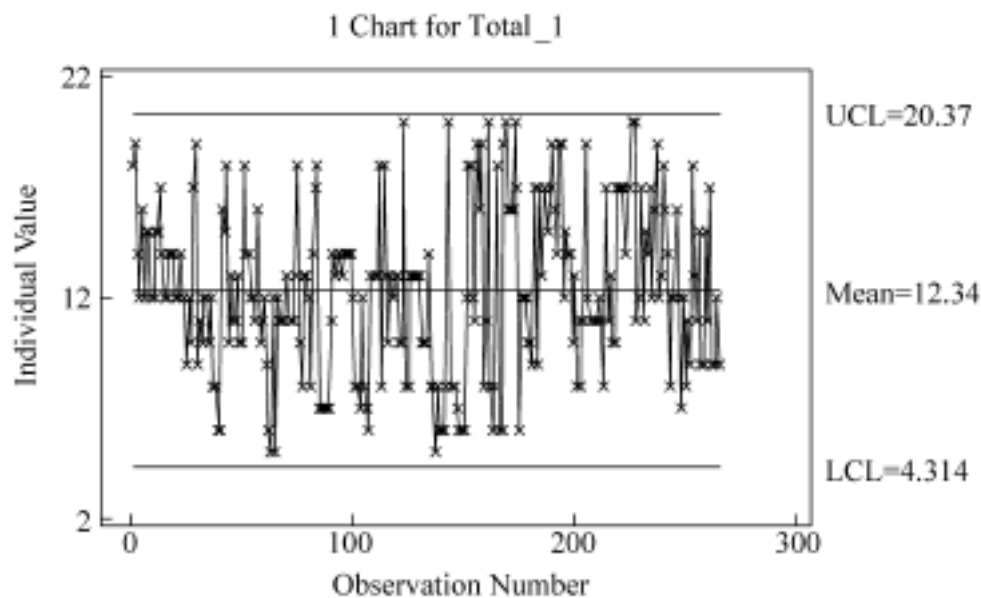


图 17.4 按周交货 B 合同控制图

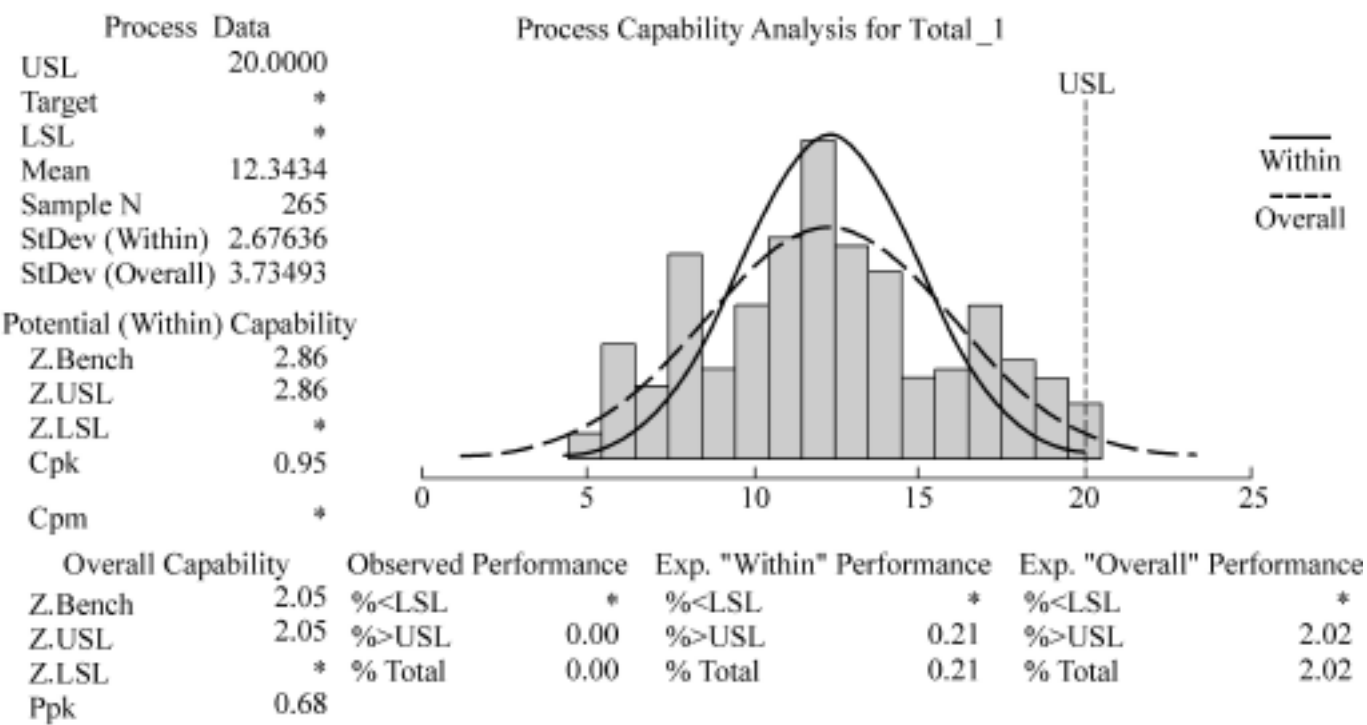


图 17.5 按周交货 B 合同 水平衡量图

内标准偏差, 为 2 .68 天; StDev ( Overall ) 表示总的标准偏差, 为 3 .73 天。Potential Capability 反映组内能力, 以工序能力指数 Cpk 来衡量, 这里组内工序能力指数取值为 0.95; Z .Bench, Z .USL 和 Z .LSL 表示对应的分位数; Cpm 是另外一种衡量工序能力的指标, 这里没有计算。Overall Capability 反映总体能力, 并且其能力指数用 Ppk 描述。图中, 实线表示表示组内情况, 虚线表示总体情况, 组内能力大于总体能力。图下的注释 Observed Performance, Within Performance 和 Overall Performance 分别表示观测样本数值超出规格界限的比例、图中组内分布曲线超出规格界限的比例以及总体分布曲线超出规格界限的比例。图 17. 7、图 17. 9、图 17. 11 等所示的 水平衡量图解释相同。

2) 非按周交货 B 合同

(1) 控制图：流程稳定,如图 17. 6 所示。

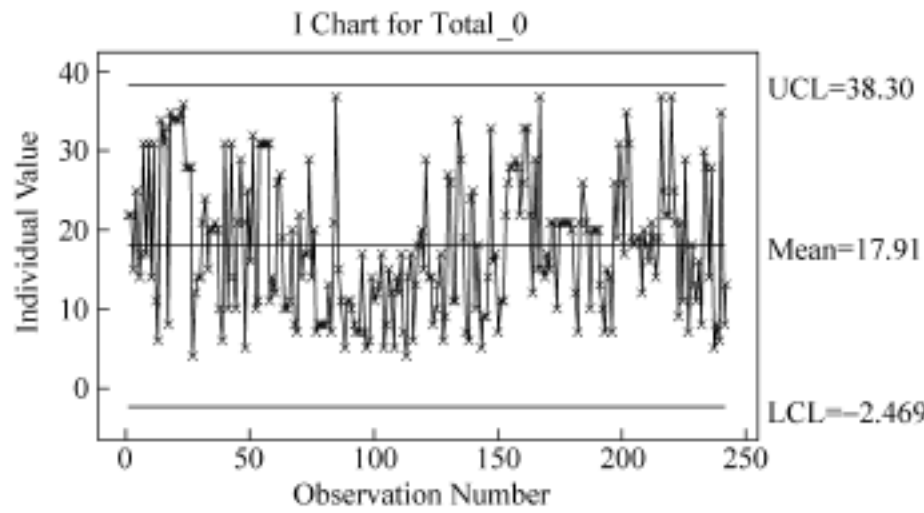


图 17. 6 非按周交货 B 合同控制图

(2) 水平衡量

制造周期平均 17.9 天,标准差 6.79 天, 值 0.31,运用 Minitab 分析得到能力分析结果,如图 17. 7 所示。

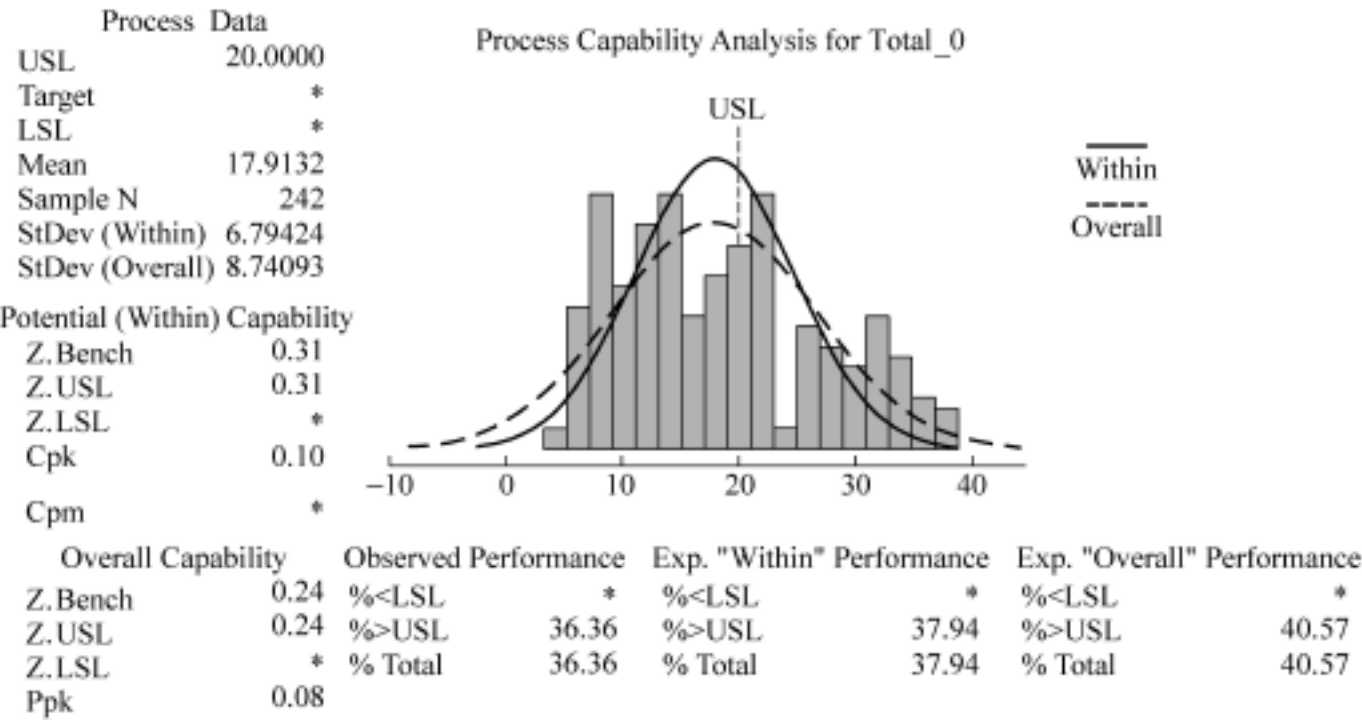


图 17. 7 非按周交货 B 合同 水平衡量图

3) 按周交货 A 合同

(1) 控制图：流程不稳定,如图 17. 8 所示。

(2) 水平衡量

平均制造周期 14.76 天,标准差 2.55 天, 水平 2.05,如图 17. 9 所示。



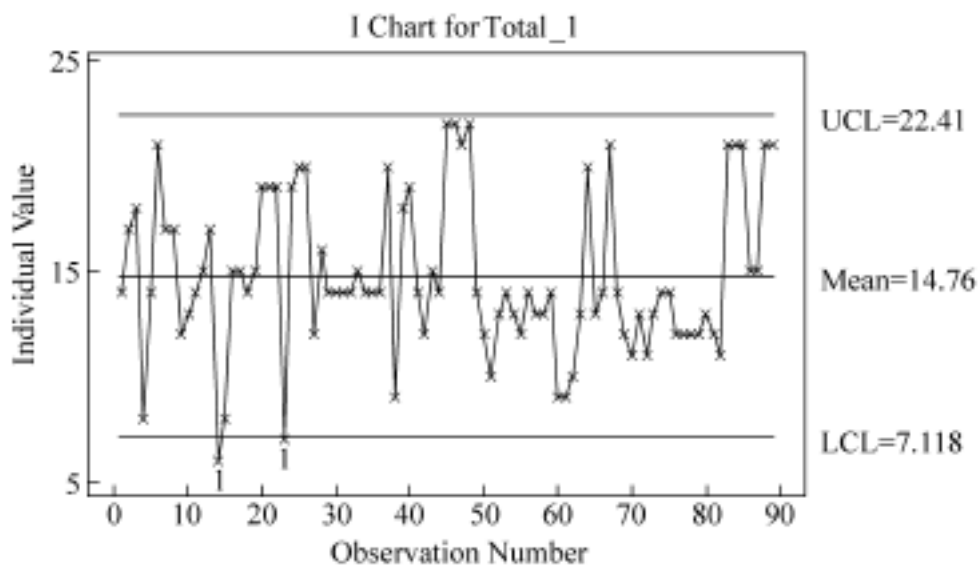


图 17.8 按周交货 A 合同控制图

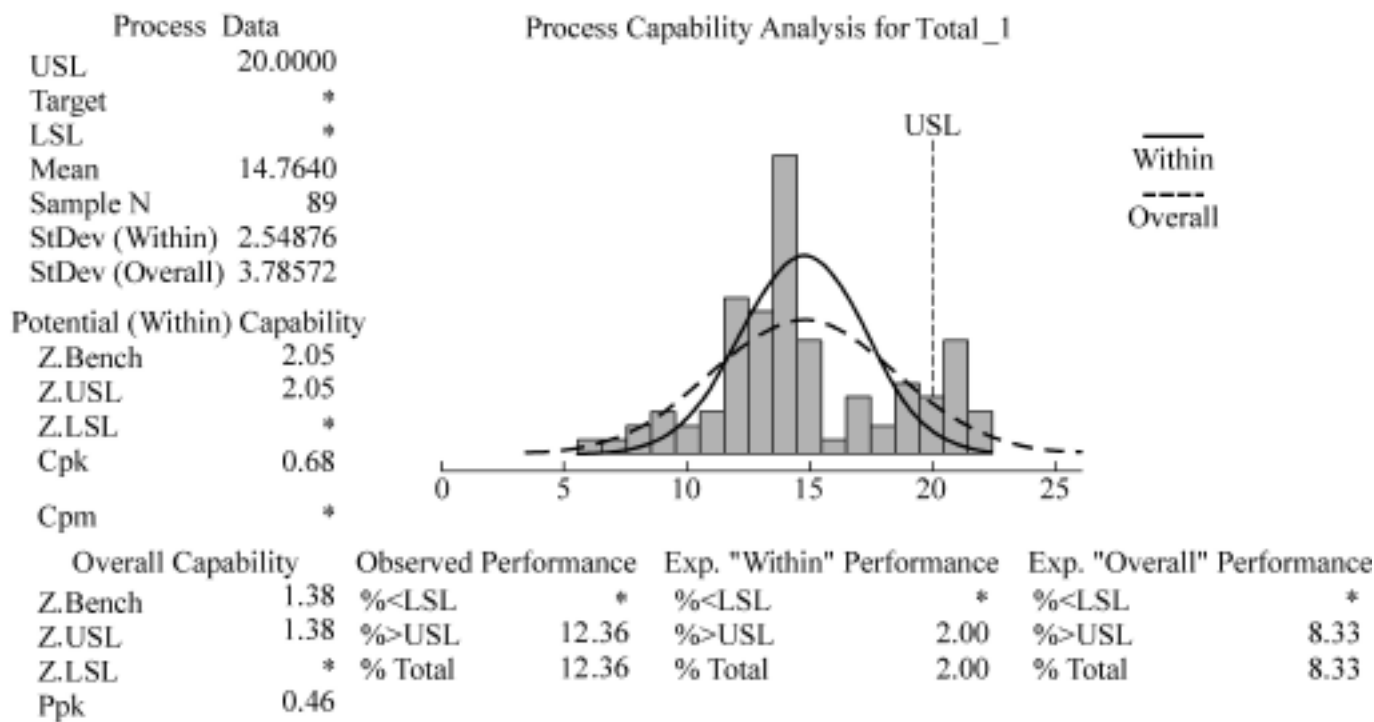


图 17.9 按周交货 A 合同 水平衡量图

4) 非按周交货 A 合同

(1) 控制图：流程稳定,如图 17. 10 所示。

(2) 水平衡量

平均制造周期 22 .86 天,标准差 8 .51 天, 水平 - 0 .34,如图 17. 11 所示。

17.2.4 分析阶段

从 水平衡量中可以发现,就制造周期而言,目前采取按周交货生产方式合同的制造周期要远远好于非按周交货方式合同的制造周期。只要我们采取和按周交货类似的方式来控制其他合同,就能取得较为良好的效果。按周交货方式和按月生产方式比较,主要存

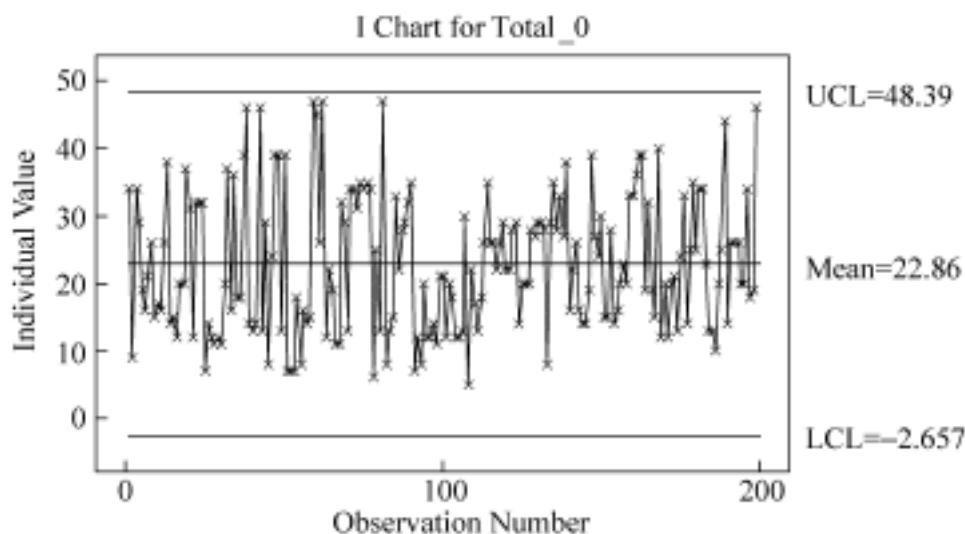


图 17.10 非按周交货 A 合同控制图

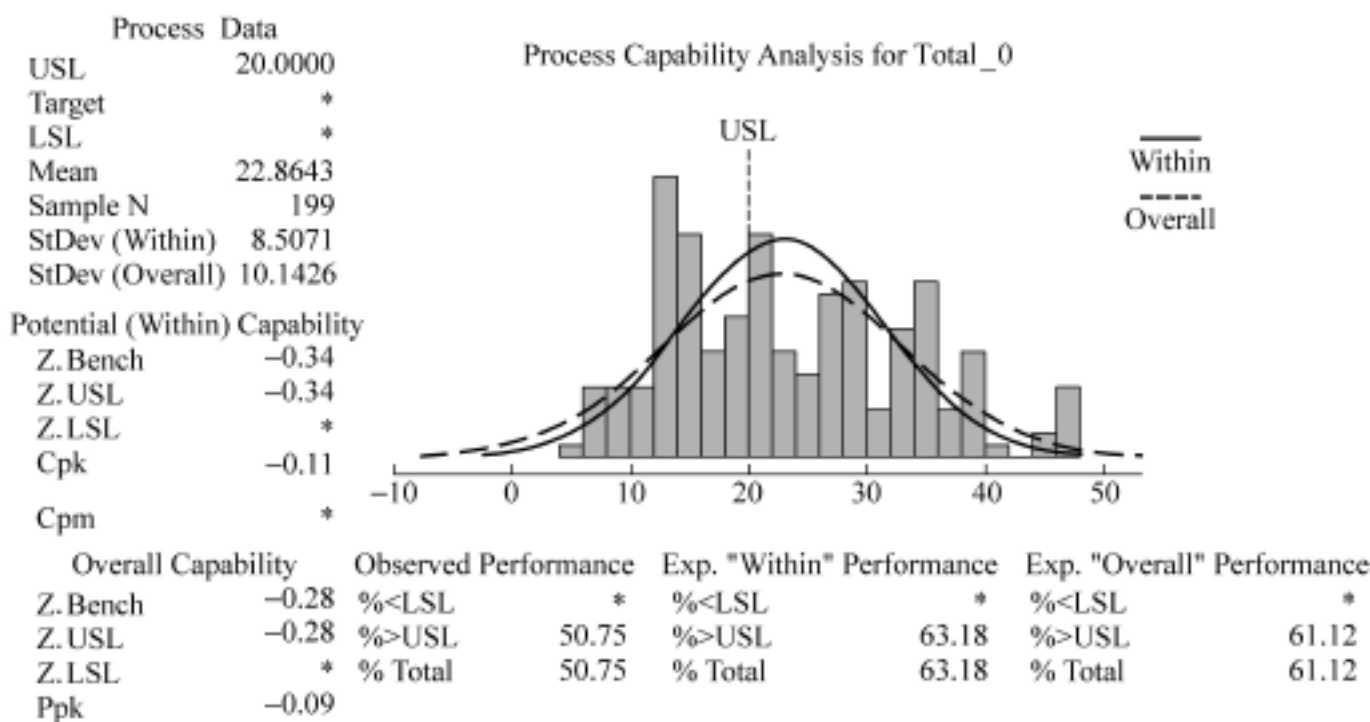


图 17.11 非按周交货 A 合同 水平衡量图

在以下不同:即按周交货合同每道工序按周进行跟踪,因此跟踪周期较短,虽然并没有直接控制合同交货周期,但由于跟踪周期缩短,无形中缩短了制造周期;而按月交货合同往往按月进行跟踪,在月初、月中时并没有人关心,因此往往造成制造周期过长。其对策有:按周交货方式由于有明显标志和不同于其他合同的交货期,因此计划员很容易将按周交货合同和其他合同区分开来,在目前计算机画面中也支持按照不同计划日期进行收池;如果直发卷合同要按照按周交货方式管理,需要能够让计划员知道哪些合同在本道工序停留时间过长;合同提示功能关键解决的是合同完成完整性的问题,在观察计划员作业过程中,发现很多合同是因为部分通过而没有完整通过而造成合同制造周期过长的问题。

毫无疑问,合同控制方式是影响合同制造周期的重要原因,因此如果假设所有合同都

按这种方式来处理,再来找该种方式下影响合同周期的原因,可以避免因合同控制方式不同造成的干扰。因此,在分析阶段进行的分析是针对按周交货合同来进行的,主要基于以下两点:

(1) 由于制造周期涉及工序范围较长,如果全面分析容易抓不住重点,因此首先通过柏拉图找出目前需要分析的重点工序。柏拉图如图 17.12 和图 17.13 所示。从柏拉图上可以看出,材料申请和准发工序是目前占整个制造周期比重较大的部分,并且也是离目标周期差距较大的部分,材料申请的目标值和准发工序的目标值分别定在 4 天和 3 天。因此我们将材料申请和准发工序作为分析和改进的重点。

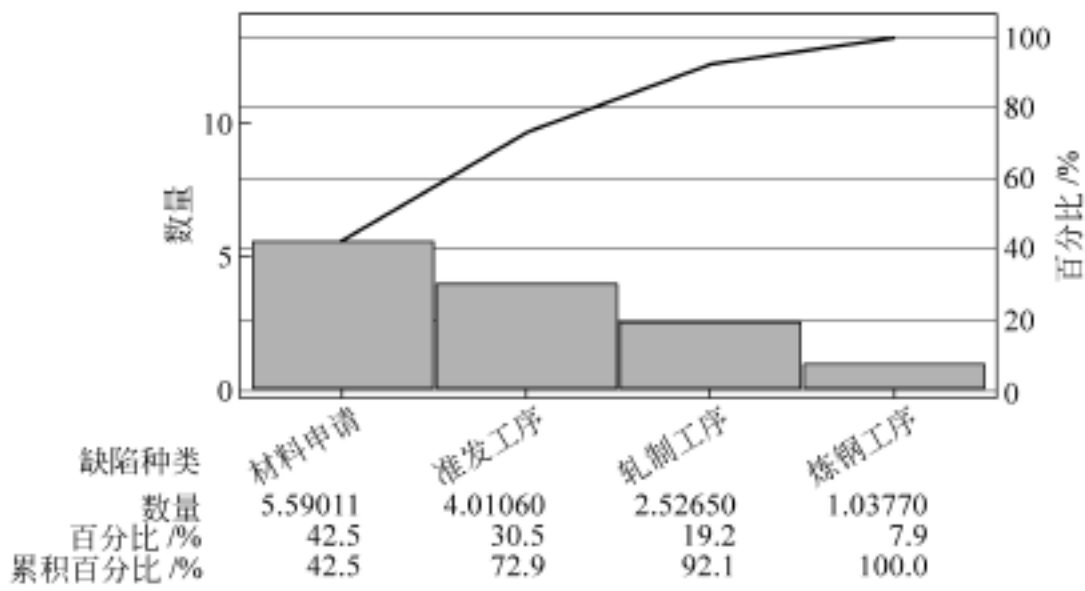


图 17.12 A 合同(按周交货)分段占用时间(柏拉图)

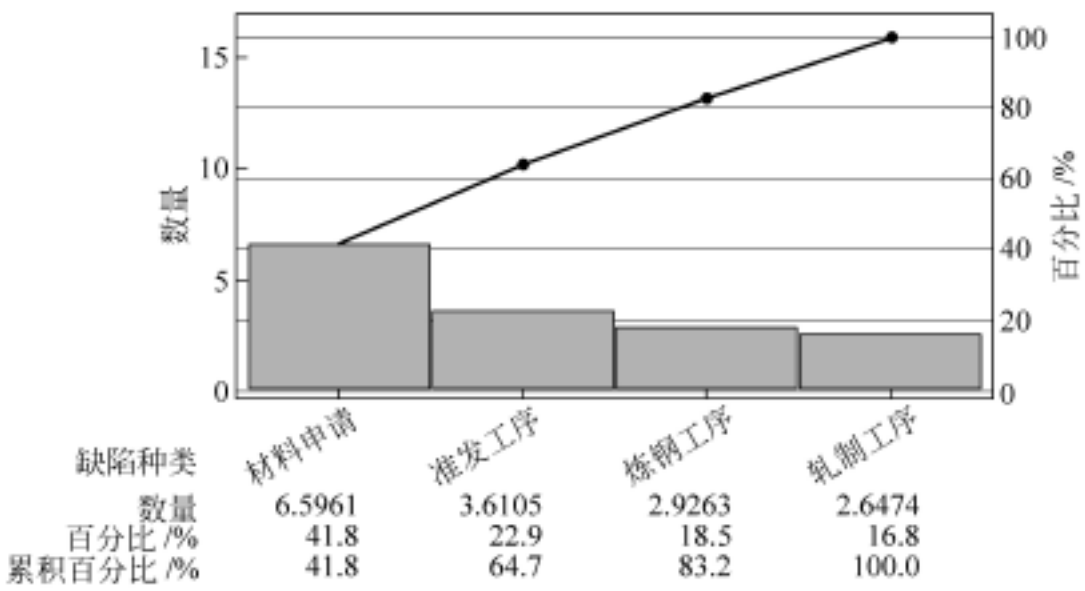


图 17.13 B 合同(按周交货)分段占用时间(柏拉图)

(2) 通过鱼刺图找出相关原因。确定重点改进对象后,通过头脑风暴和鱼刺图找出相关原因。图 17.14 是鱼刺图,通过鱼刺图分析,可以将造成材料申请周期和准发周期过

长的原因归结为以下几类：合同量原因(包括合同量过大、小合同量)；合同结构不合理；异常质量原因；管理原因。其中异常质量原因可以确认肯定会对合同制造周期产生影响,但如何减少异常质量属于另外项目,本项目暂时不考虑。

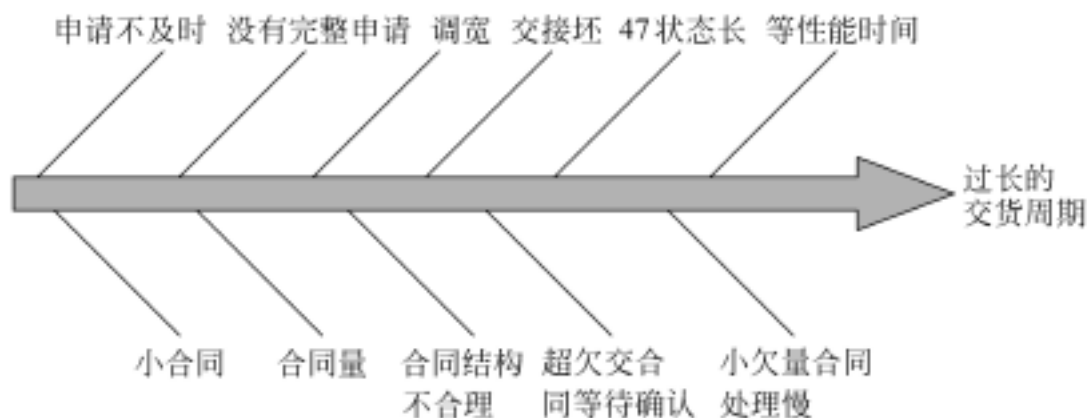


图 17.14 鱼刺图

### 17.2.5 改进阶段

#### 1. 解决方案和根本原因的关系

利用头脑风暴法和六顶思考帽法,对造成过长交货期的原因形成解决方案,并列出相应的根本原因,如表 17.1 所示。另外,需要给出各评分因子的分值,如表 17.2 所示。

表 17.1 解决方案和根本原因的关系

序号	解 决 方 案	根 本 原 因		
		按月处理 周期过长	按周交货合 同下发过早	小合同量合同 交货公差过小
1	对材料申请周期超过 5 天的合同进行提示			
2	对轧制周期超过 9 天的合同进行提示			
3	对连铸板坯库超过 3 天的板坯进行提示			
4	订货时将所有直发卷合同都定成按周交货合同			
5	直发卷合同按照下发日期 + 14 天作为合同交货期			
6	直发卷按周交货合同下发周期控制在 14 天			
7	小于等于 90t 的直发卷交货公差变为 $\pm 5t$			
8	最小合同订货量改为 90t			
9	对大合同量合同进行分割,订成 1000t 左右的合同			

表 17.2 评分因子的确定

影响		时间影响		成本收益影响		其他影响
2.0	5	1~2 月	5	200 万元以上	5	5
1.5~1.99	3	3~4 月	3	100 万元以上	3	3
1.0~1.49	2	5~6 月	2	50 万元以上	2	2
1.0	1	6 月以上	1	50 万元以下	1	1

2. 项目评估

给出各个解决方案的评估指标及其分值,如表 17.3 所示。

表 17.3 各个解决方案及其评估指标值

序号	解 决 方 案	评估指标权重系数				
		影 响 2	时间影 响 2	成本收益 影响 2	其他影 响 1	综合 得分
1	对材料申请周期超过 5 天的合同进行提示	10	10	6	5	31
2	对轧制周期超过 9 天的合同进行提示					
3	对连铸板坯库超过 3 天的板坯进行提示					
4	订货时将所有直发卷合同都定成按周交货合同	10	2	4	1	17
5	直发卷合同按照下发日期 + 14 天作为合同交货期	10	4	6	1	21
6	直发卷按周交货合同下发周期控制在 14 天	2	10	2	5	19
7	小于等于 90t 的直发卷交货公差变为 ± 5t	2	6	6	5	19

3. 形成方案

这里仅以一种方案为例说明,该方案是:对按月交货合同采取类似按周交货方式管理。首先对方案细化:

- (1) 对材料申请周期超过 5 天的合同进行提示;
- (2) 对轧制周期超过 9 天的合同进行提示;
- (3) 对坯件在库时间超过 3 天的板坯进行提示。

该方案实施步骤:

- (1) 开发报表;
- (2) 报表开发完毕后,组织项目成员培训如何使用该报表;
- (3) 各计划员在编制计划时开始使用该报表;

(4) 每天对报表使用情况进行跟踪,发现在使用中存在的问题。

### 17.2.6 控制阶段

#### 1. 试点结果改进

在试点过程中,方案实施取得了良好效果,但是从部分计划员反映来看,看报表的方式还不够直观和方便,因此我们在轧制计划收池中增加了对轧制周期超过 9 天的合同变色的功能。

#### 2. 项目固化

修改材料申请计划规程和轧制计划规程,分别增加“材料申请计划员在编制计划前,应关心材料申请周期超过 5 天的合同”、“轧制计划员在编制计划前,应关心轧制周期超过 9 天的合同报表”。

制订奖惩措施:按照每个计划员对超期合同的处理情况,如果发现有能够安排计划而未安排计划的情况,每份合同扣除按周交货和缩短交货周期推进奖 10 元。

#### 3. 项目复制

目前方案实施正在向其他车间推广。

#### 4. 财务效益

$$\begin{aligned}
 \text{效益} &= \frac{\text{热轧直发卷年产量(万 t)}}{365(\text{天})} \times 7(\text{天}) \times \text{销售价格(万元/t)} \times \\
 &\quad [\text{贴息率} \times \text{全额预付用户比例} + \text{贷款利率} \times \text{订金用户比例}] \\
 &= 56 / 365 \times 7 \times 2500 \times (4.0\% \times 30\% + 5\% \times 70\%) \\
 &= 126(\text{万元})
 \end{aligned}$$

# 18

## 田口参数实验设计

### 18.1 田口方法的起源

实验设计是以概率论与数理统计为理论基础,经济、科学地制定实验方案,以便对实验数据进行有效的统计分析的数学理论和方法。其基本思想是英国统计学家 R . A . Fisher 在进行农田实验时提出的。他在实验中发现,环境条件难于严格控制,随机误差不可忽视,故提出对实验方案必须作合理的安排,使实验数据有合适的数学模型,以减少随机误差的影响,从而提高实验结果的精度和可靠度,这就是实验设计的基本思想。

在 20 世纪 30 年代和 40 年代,英、美、苏等国对实验设计法进行了进一步研究,并将其逐步推广到工业生产领域中,在冶金、建筑、纺织、机械、医药等行业都有所应用。第二次世界大战期间,英、美等国在工业试验中采用实验设计法取得了显著效果。战后,日本将其作为管理技术之一从英、美引进,对其经济复苏起了促进作用。今天,实验设计已成为日本企业界人士、工程技术人员、研究人员和管理人员必备的一种通用技术。

实验计划法最早是由日本田口玄一(G .Taguchi)博士将其应用到工业界而一举成名的。20 世纪 50 年代,田口玄一博士借鉴实验设计法提出了信噪比实验设计,并逐步发展为以质量损失函数、三次设计为基本思想的田口方法。田口博士最早出书介绍他的理论时用的就是“实验计划法——DOE”,所以一般人惯以实验计划法或 DOE 来称之。但随着在日本产业界应用的普及,案例与经验的累积,田口博士的理论和工具日渐完备,整个田口的这套方法在日本产业专家学者的努力之下,早已脱离其原始风貌,展现出更新更好的体系化内容。日本将其称为质量工程(quality engineering)。但是,严格来讲,田口方法和 DOE 是不同的。田口方法重视各产业的技术,着重快速找到在最低成本时的最佳质量;DOE 则重视统计技术,着重符合数学的严谨性。虽然学术界普遍认为田口方法缺少统计的严格性,但该方法还是以其简单实用性广为工业界所应用和推广。先进国家对田口方法越来越重视,并且已经取得了很好的效果。该方法广泛应用于研发、技术改善、

质量提升等部门。

20 世纪 80 年代,田口方法进入美国,得到了普遍关注。如今,实验设计技术的应用领域已经突破了传统的工业过程改进和产品设计范畴,广泛渗透到商业布局、商品陈列、广告设计及产品包装的应用之中。我国在 20 世纪 60 年代就曾对实验设计进行了研究和推广,80 年代又引入了田口方法,取得了一定成效。但实验设计作为一种质量改进的有力武器,还尚未发挥它的全部威力。

## 18.2 田口方法的基本思想和研究内容

与传统的质量定义不同,田口玄一博士将产品的质量定义为:产品出厂后避免对社会造成损失的特性,可用“质量损失”来对产品质量进行定量描述。质量损失是指产品出厂后“给社会带来的损失”,包括直接损失(如空气污染、噪声污染等)和间接损失(如顾客对产品的不满意以及由此而导致的市场损失、销售损失等)。质量特性值偏离目标值越大,损失越大,即质量越差,反之,质量就越好。对待偏差问题,传统的方法是通过产品检测剔除超差部分或严格控制材料、工艺以缩小偏差。这些方法一方面很不经济,另一方面在技术上也难以实现。田口方法通过调整设计参数,使产品的功能、性能对偏差的起因不敏感,以提高产品自身的抗干扰能力。为了定量描述产品质量损失,田口提出了“质量损失函数”的概念,并以信噪比来衡量设计参数的稳健程度。

由此可见,田口方法是一种聚焦于最小化过程变异或使产品、过程对环境变异最不敏感的实验设计方法,是一种能设计出环境多变条件下能够稳定和优化操作的高效方法。

一般而言,任何一个质量特性值  $Y$  在生产过程中均受到很多因素的影响,田口玄一博士将影响质量特性的因素分为输入变量  $W$ 、可控变量  $X$  和不可控变量  $Z$ ,如图 18.1 所示。可控变量是田口方法的设计对象,所谓可控变量,即可以调整 and 控制的参数,这种变

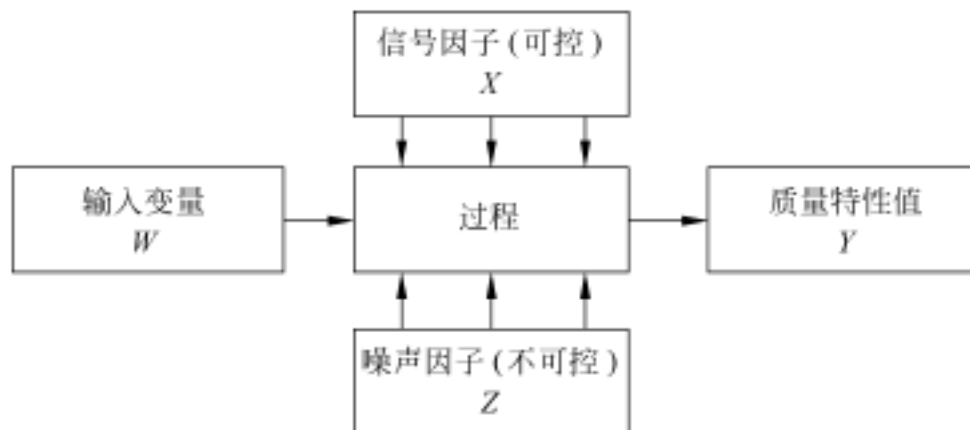


图 18.1 影响质量特性的关键因素

量通常称为信号因子;不可控变量,顾名思义,即不可控制的变量,也称为噪声因子(noise factors),就是使质量特性偏离目标值的因素。田口玄一博士将噪声因子分为 3 类:外部



噪声(如温度、湿度、灰尘等)、内部噪声(如劣化等)和产品间噪声(如制造缺失等)。

解决的对策分为生产线外(off line)质量控制与线上(on Line)质量控制两种。所谓线外控制,即产品设计阶段和制造设计阶段的质量控制活动,通过实验设计,保证产品最佳化和制造过程最佳化(主要是工艺参数的最佳化设计)。线外质量控制可以应用正交表、信噪比( $SN$ )和损失函数来达成,强调有效率的实验和仿真,以减少变异。所谓线上质量控制,是实际生产阶段的质量控制活动。田口式质量工程较关心线外质量控制,以降低成本、提供最佳质量为目标;对于线上质量控制则以稳定制造过程为目标。

田口方法的基本原理是通过控制可控因素的水平 and 配合,使产品和工艺对噪声因素的敏感程度降低,从而使噪声因素对产品质量的影响作用减少和消除,以实现提高和稳定产品质量的目的。田口玄一博士提出的“三次设计法”,即分3个阶段对产品质量进行优化:

(1) 系统设计:应用科学理论和工程知识对产品功能原型进行设计开发。该阶段完成了产品的配置和功能属性。

(2) 参数设计:在系统结构确定后进行参数设计。这一阶段以产品性能优化为目标确定产品参数水平及配置,使工程设计对干扰源的敏感性最低。

(3) 容差设计:在参数确定的基础上进一步确定这些参数的容差。

系统设计、参数设计、容差设计、质量水平评价等四方面的内容构成了田口方法的“线外质量控制”,如图18.2所示。其中参数设计是线外质量控制的核心,它通过实验优化方法确定系统各参数的最优组合,使产品对环境条件和其他噪声因素的敏感性降低,最终效果是在不提高产品成本甚至降低成本的基础上使产品质量损失最小。可见,参数设计是获得高质量产品的关键,也是田口方法的中心内容。系统设计是线外质量控制的基础和

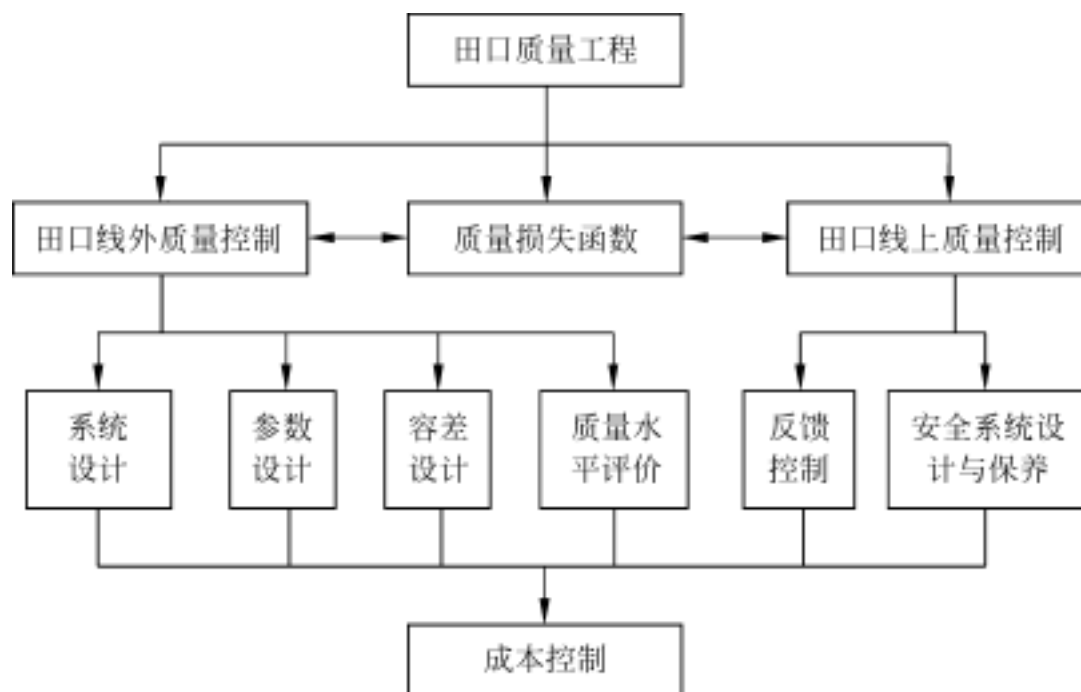


图 18.2 田口质量控制体系

前提,容差设计是对系统设计和参数设计的完善与提高。

### 18.3 田口质量损失函数

田口玄一博士对产品质量提出了一个新概念,他认为:质量就是产品上市后给予社会的损失。一般情况下,一个产品的成本分为两个主要部分:销售前成本和出售后成本,前者是指制造成本,后者是指产品销售给用户后由于产品质量的损失(质量特性偏离目标值)所需的费用,这就是上述产品质量定义中的“给予社会的损失”。对此种损失,田口提出用质量损失函数来度量。为了描述产品的质量损失,引入了以下几种类型的质量特性的损失函数。

#### 1. 望目特性的质量损失函数

望目特性质量损失函数适用于产品的输出特性  $y$  有一个确定的目标值  $y_0$  (通常不为零),并且质量损失在目标值的两侧呈对称分布,如图 18.3 所示,这种质量特征称为望目特性。则质量损失函数为

$$L(y) = K(y - y_0)^2 \quad (18.1)$$

其中,  $K$  是不依赖于  $y$  的常数,称为质量损失系数。若  $y$  离  $y_0$  越近,则  $L(y)$  值越小,表明该项设计的质量损失小,功能质量好。

式(18.1)说明,由于功能波动所造成的损失与偏离目标值  $y_0$  的偏差平方成正比。这也可以说明,不仅不合格产品会造成损失,即使合格产品也会造成损失。输出特性值偏离目标值越远,造成的损失越大。这就是田口玄一博士对产品质量概念的一个观点。

由于产品的质量特性  $y$  表现为随机性,所以  $L(y)$  亦为随机变量,故有必要取  $L(y)$  的期望值作为评定产品的质量水平。设有  $N$  件产品,若质量特性的  $N$  个测试值为  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , 则其质量损失可近似表示为

$$L(y) = K \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_0)^2 \right] \quad (18.2)$$

称  $L(y)$  为该  $N$  件产品的平均质量损失。质量损失系数  $K$  的确定可以有两种方法:一种是根据功能界限和相应的损失来确定;另一种是根据容差  $\Delta y$  和相应的损失来确定。

#### 2. 望小特性的质量损失函数

有些产品的质量特征是:不取负值,越小越好,目标值为零;当其输出特性值增大时,其性能逐渐变差,质量损失逐渐变大。这种质量特征称为望小特性。如计算机的响应时间、汽车的污染、电子线路的电流损失、加工误差等,都属于这类的质量特性。这种情况下

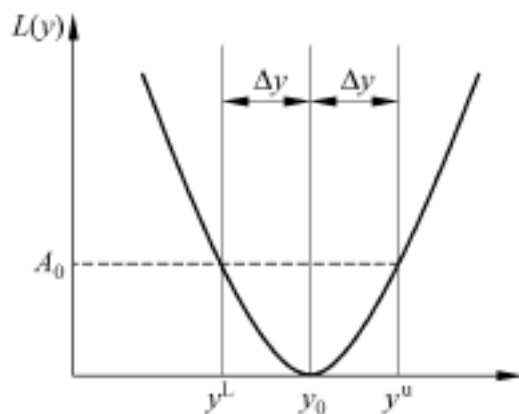


图 18.3 功能质量损失函数

的质量损失函数可令式(18.1)中的  $y_0 = 0$  得到

$$L(y) = Ky^2 \quad (18.3)$$

如图 18.4 所示,因为输出特性  $y$  只能取正值,故上式只取一侧的损失函数。另外,其质量损失系数  $K$  也可以由功能界限和相应的损失,或者容差界限  $y$  和相应的损失来确定。 $L(y)$  为随机变量时,产品的功能质量水平用期望值反映。对于  $N$  件产品,若望小特性的测试值为  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , 则平均质量损失为

$$L(y) = K \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] \quad (18.4)$$

### 3. 望大特性的质量损失函数

有些产品的质量特性是:不取负值,越大越好,零值最差;当其输出特性值增大时,其性能逐渐变好,质量损失逐渐变小,其理想的值是无穷大。这种质量特征称为望大特性,如粘接强度等。很明显,望小特性的倒数与望大特性具有相同的性质,所以用  $1/y$  代替式(18.3)中的  $y$ ,即得到望大特性的质量损失函数:

$$L(y) = K (1/y^2) \quad (18.5)$$

如图 18.5 所示,其质量损失系数  $K$  可以由功能界限和相应的损失,或者容差界限和相应的损失来确定。 $L(y)$  为随机变量时,产品的质量水平用期望值反映。对于  $N$  件产品,若望大特性的测试值为  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , 则平均质量损失为

$$L(y) = K \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (18.6)$$

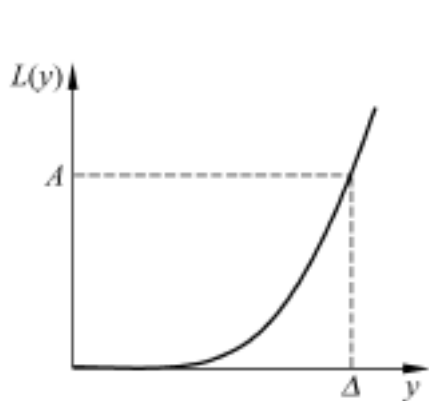


图 18.4 望小特性的质量损失函数

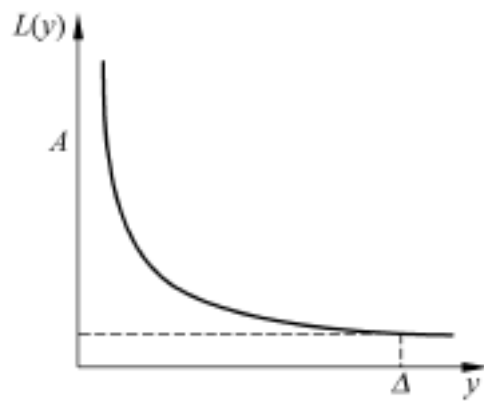


图 18.5 望大特性的质量损失函数

## 18.4 信噪比与正交表

在通信和电气工程中,为了对所选择设备的质量特征进行量化引入了“信噪比”(输入信号强度与噪声强度之比)的概念。田口玄一博士将这个概念引入到正交试验设计中,用它来模拟噪声因素对质量特性的影响。

## 1. 望目特性的信噪比

设产品的望目特性值为  $y_0$ , 质量特性  $y$  服从正态分布  $y \sim N(\mu_y, \sigma_y)$ , 则信噪比为

$$SN = 10 \lg \left[ \frac{\frac{1}{N} (S_m - S_y^2)}{S_y^2} \right] \quad (18.7)$$

式中,

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 / (N - 1)$$

$$S_m = N \bar{y}^2$$

其中,  $y_i$  为质量特性值;  $\bar{y}$  为质量特性均值。

## 2. 望小特性的信噪比

信噪比计算公式为

$$SN = -10 \lg \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] \quad (18.8)$$

## 3. 望大特性的信噪比

信噪比计算公式为

$$SN = -10 \lg \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (18.9)$$

表 18.1 因子正交试验设计的基本结构

正交表类型		内表 $L_8(2^7)$						外表 $L_4(2^3)$					信噪比 SN	
试验因素	可控因子安排及行数							噪声因子安排和行数						
								试验次序				噪声因素安排		
<div>列号</div> <div>试验次序</div>		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4		$U$
									1	2	1	2		$V$
		$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$	$e$	1	2	2	1	$W$	
1	1	1	1	1	1	1	1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$		$SN_1$	
2	1	1	1	2	2	2	2	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$		$SN_2$	
3	1	2	2	1	1	2	2	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{34}$		$SN_3$	
4	1	2	2	2	2	1	1	.	.	.	.		$SN_4$	
5	2	1	2	1	2	1	2	.	.	.	.		$SN_5$	
6	2	1	2	2	1	2	1	.	.	.	.		$SN_6$	
7	2	2	1	1	2	2	1	.	.	.	.		$SN_7$	
8	2	2	1	2	1	1	2	$y_{81}$	$y_{82}$	$y_{83}$	$y_{84}$		$SN_8$	

正交表是一些已经制作好的规格化的表,是正交试验设计的基本工具。正交表的每一列等同于一个因素。每一列中,各水平重复出现的次数是相等的,并且任意两列中,各水平在相同横向上的搭配也是均衡的。这些特征保证正交表安排的试验具有均衡分散性和整齐可比性。举例来说,对于三因素三水平的试验,若全部做全需要  $3^3 = 27$  次,而用正交表进行的试验值需要 9 次,这 9 次在全部 27 次试验中是均衡分散的,具有很强的代表性。

田口稳健设计中的参数设计一般都需要用到两个正交表,一是用于安排可控因素的正交表,称为“内表”或“设计变量矩阵”;另一个是用于安排噪声因素的正交表称为“外表”或“不可控因素矩阵”。示例如表 18.1。表中,  $A \sim F$  是可控因子;  $e$  是误差因子;(所谓误差因子,是田口方法提供的对未考虑到的系统可控因子的一个补充,若  $e$  对系统性能影响较大,则说明还有未考虑到的其他重要可控因子。)  $U, V, W$  是噪声因子。

## 18.5 田口参数设计的流程

参数设计是田口稳健设计的重要内容,它的工具是前述的正交试验设计和信噪比。参数设计的工作步骤可按图 18.6 的框图进行。

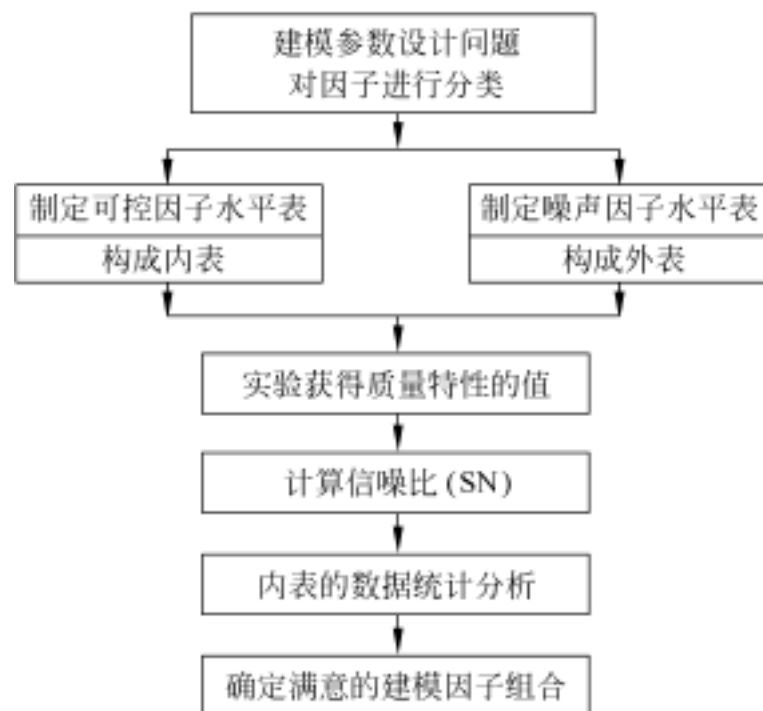


图 18.6 田口参数设计流程图

## 18.6 田口参数设计案例

本案例选择了北美一家汽车零部件供应商生产的产品,该零部件供应商主要向整车厂供应汽车面板,如图 18.7 所示,实线部分表示铸型腔尺寸,虚线表示零件尺寸,该汽车

面板采用模具注塑法工艺生产,待注塑并冷却后,存在大量零件收缩的质量问题。所谓零件收缩,是指零件达到周围环境温度后的尺寸与铸模型腔尺寸之间的差异。该质量特性参数受许多工艺参数和环境变量的影响。该注塑装置如图 18.8 所示。

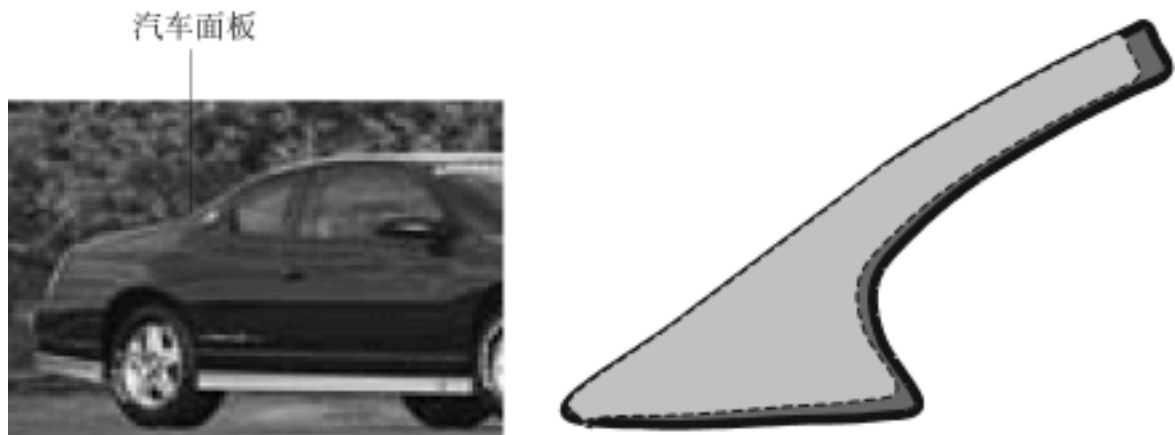


图 18.7 汽车面板轮廓

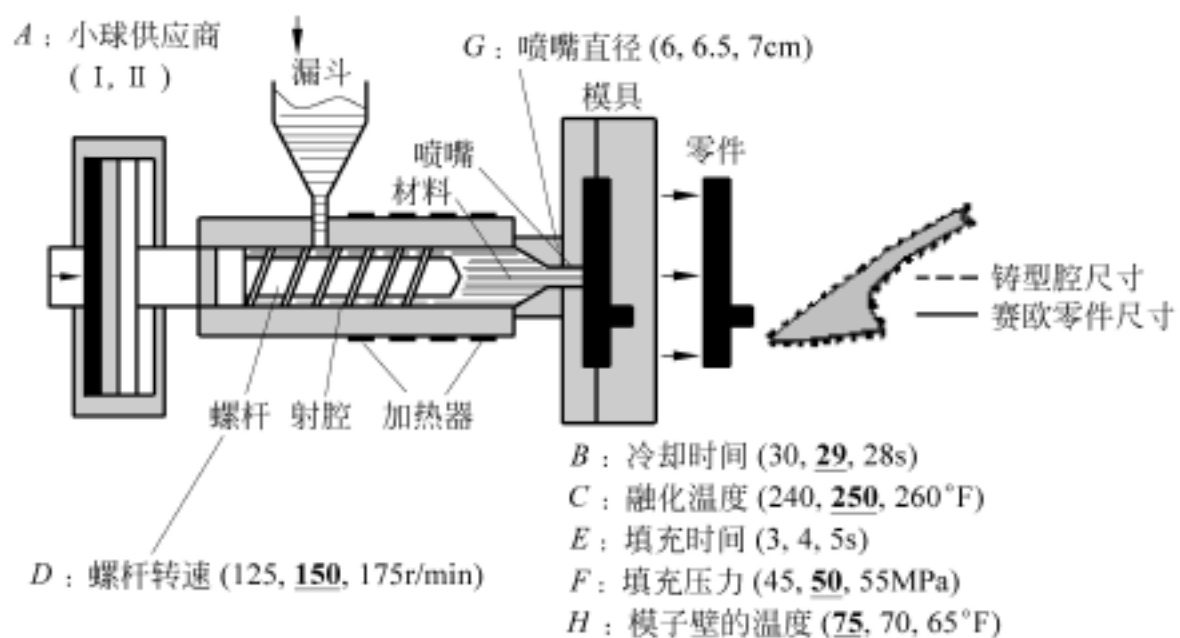


图 18.8 注塑装置

对收缩率的控制目标或规格为  $0.4\% \pm 0.1\%$ 。对当前状态的评估结果为(样本容量  $N = 49$ ):

Mean:  $0.45\%$ ;

StDev:  $0.07\%$ ;

$P_p = 0.5$

$P_{pk} = 0.24$

$D_{pm} = 250K$

$C_p = 0.45$

$C_{pk} = 0.21$

由此可见,该注塑工序生产能力严重不足。

### 1. 建立 p 图

通过分析,该注塑工序受下列因素的影响:供应商、冷却时间、融化温度、螺杆转速、填充时间、填充压力、喷嘴直径、模子壁的温度、小球尺寸的内在变异、小球的研磨度。根据田口参数设计基本思想,可以将上述工艺参数进行分类:

- 输入变量 (W)      A: 小球供应商 (Supplier)
- 信号因子 (X)      B: 冷却时间 (CoolTime)
- C: 融化温度 (MeltTemp .)
- D: 螺杆转速 (ScrewSpeed)
- E: 填充时间 (FillTime)
- F: 填充压力 (FillPress)
- G: 喷嘴直径 (NozzleDia .)
- H: 模子壁的温度 (MoldWTemp .)
- 噪声因子 (Z)      Z1: 小球的再研磨度
- Z2: 小球尺寸的内在变异

结果如图 18.9 所示。

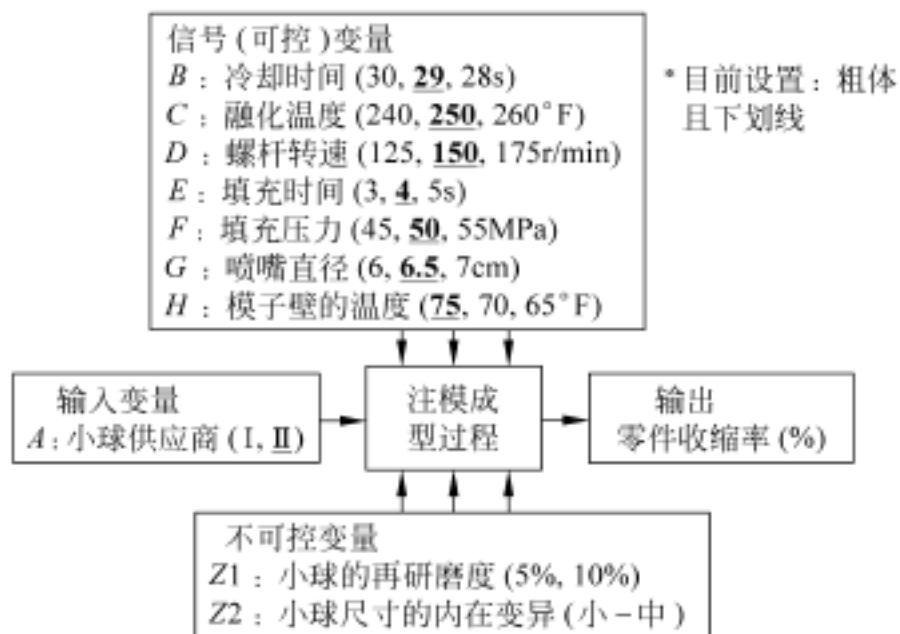


图 18.9 构建 p 图

目前的工艺参数设置为

- A 小球供应商: II
- B 冷却时间: 29s
- C 融化温度: 250°F
- D 螺杆转速: 150r/min

*E* 填充时间:4s

*F* 填充压力:50MPa

*G* 喷嘴直径:6.5cm

*H* 模子壁的温度:75 ℉

## 2. 创建内表和外表

为进行信噪比的计算分析,首先需要创建内表和外表。内表是输入变量(*W*)和过程参数(*X*)的实验设计(如部分设计因子设计);外表则是噪声变量(*Z*)的实验设计。

首先建立注塑成型内表。DOE 因子和水平如下:

*A* 小球供应商:I, II

*B* 冷却时间:30, 29, 28s

*C* 融化温度:240, 250, 260 ℉

*D* 螺杆转速:125, 150, 175 r/min

*E* 填充时间:3, 4, 5s

*F* 填充压力:45, 50, 55MPa

*G* 喷嘴直径:6, 6.5, 7cm

*H* 模子壁的温度:75, 70, 65 ℉

由此可见,共 8 个因子,其中第 1 个因子 2 个水平;后 7 个因子各 3 个水平,则全部可能实验组合为: $2^1 \times 3^7 = 4374$ ,如此之多实验一是实验资源不容许,二是实验时间不允许,所以有必要借助实验设计进行分析。如果用 Minitab 软件进行分析,则该实验是 8 个因子的混合水平设计,分别为 2 层和 3 层。步骤为:

(1) 选择“ Taguchi Design ”,出现如图 18.10(a)所示的对话框,选中“ Mixed Level Design ”,在“ Number of factors ”中输入 8。

(2) 单击“ Display Available Designs ...”,确定可能的设计方案,如图 18.10(b)所示,“ Mixed 2-3 level designs ”中的 L18 符合本例中的已知数据。

(3) 在创建设计后,单击“ Factors...”进一步确定变量、层次和交互作用,如图 18.10(c)所示。

(4) 确定因子及水平。Minitab 会给出所有可能的交互作用,由分析人员进行选择,如图 18.10(d)所示。

这样,Minitab 将创建一个实验设计表(非随机化),该表显示了田口 18 次实验组合,如表 18.2 所示。



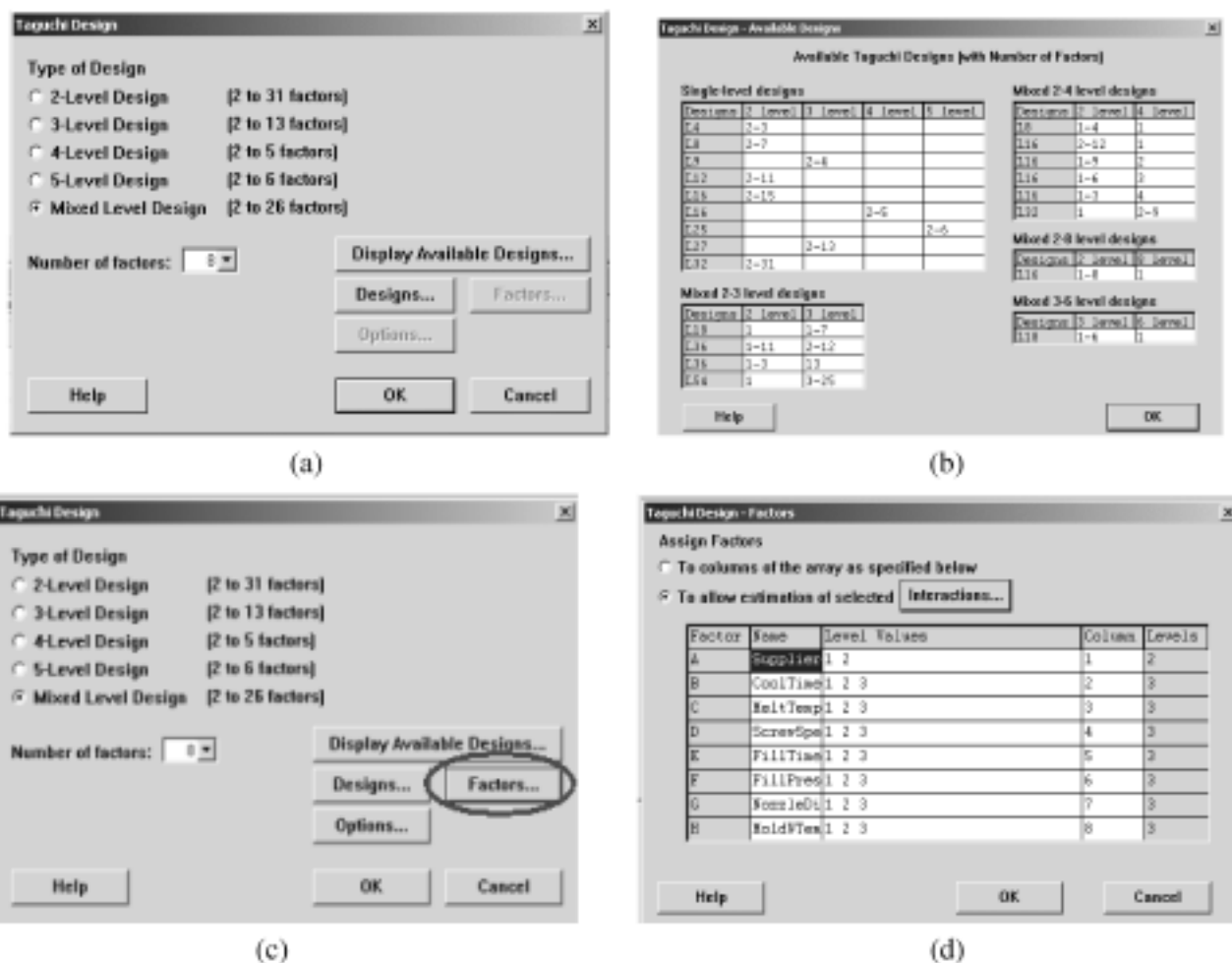


图 18.10 用 Minitab 创建内表

表 18.2 创建的内表

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: Fill Time	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2

续表

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: FillTime	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

然后建立外表。由前面可知,实验噪声变量有小球的再研磨度(5% 和 10%)和小球尺寸的内在变异(小和中),两个噪声变量分别设置为两个水平,则有 4 种组合,如表 18.3 所示。

表 18.3 外表(再研磨度)

	低水平(L)	高水平(H)
低水平(L)	11	12
高水平(H)	21	22

综合表 18.2 和表 18.3 可得到综合的内外表,如表 18.4 所示。

表 18.4 综合的内外表

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: FillTime	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp	S11	S12	S21	S22
1	1	1	1	1	1	1	1	1				
2	1	1	2	2	2	2	2	2				
3	1	1	3	3	3	3	3	3				
4	1	2	1	1	2	2	3	3				
5	1	2	2	2	3	3	1	1				

续表

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: FillTime	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp	S11	S12	S21	S22
6	1	2	3	3	1	1	2	2				
7	1	3	1	2	1	3	2	3				
8	1	3	2	3	2	1	3	1				
9	1	3	3	1	3	2	1	2				
10	2	1	1	3	3	2	2	1				
11	2	1	2	1	1	3	3	2				
12	2	1	3	2	2	1	1	3				
13	2	2	1	2	3	1	3	2				
14	2	2	2	3	1	2	1	3				
15	2	2	3	1	2	3	2	1				
16	2	3	1	3	2	3	1	2				
17	2	3	2	1	3	1	2	3				
18	2	3	3	2	1	2	3	1				

至此,内外表已经建立起来,接下来就应按照表 18.4 所示的实验组合对各因素水平的配合进行实验。实验的组合共有  $18 \times 4 = 72$  个,结果如表 18.5 所示。

表 18.5 实验结果

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: FillTime	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp	S11	S12	S21	S22
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.53	0.58	0.6	0.61
2	1	1	2	2	2	2	2	2	0.43	0.43	0.53	0.51
3	1	1	3	3	3	3	3	3	0.27	0.28	0.35	0.39
4	1	2	1	1	2	2	3	3	0.25	0.29	0.31	0.37
5	1	2	2	2	3	3	1	1	0.43	0.45	0.46	0.49
6	1	2	3	3	1	1	2	2	0.28	0.3	0.38	0.42
7	1	3	1	2	1	3	2	3	0.14	0.19	0.25	0.28

续表

Run	A: Supplier	B: CoolTime	C: MeltTemp	D: ScrewSpeed	E: FillTime	F: FillPress	G: NozzleDia	H: MoldWTemp	S11	S12	S21	S22
8	1	3	2	3	2	1	3	1	0.2	0.24	0.27	0.34
9	1	3	3	1	3	2	1	2	0.34	0.35	0.36	0.38
10	2	1	1	3	3	2	2	1	0.44	0.49	0.56	0.64
11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.45	0.48	0.6	0.64
12	2	1	3	2	2	1	1	3	0.4	0.46	0.55	0.58
13	2	2	1	2	3	1	3	2	0.41	0.5	0.57	0.65
14	2	2	2	3	1	2	1	3	0.18	0.26	0.29	0.35
15	2	2	3	1	2	3	2	1	0.36	0.37	0.49	0.56
16	2	3	1	3	2	3	1	2	0.15	0.23	0.28	0.34
17	2	3	2	1	3	1	2	3	0.3	0.37	0.36	0.43
18	2	3	3	2	1	2	3	1	0.27	0.35	0.49	0.53

### 3. 计算信噪比

该信噪比为望目特性,信噪比计算公式如式(18.7)所示。表 18.6 是信噪比 SN 的计算结果。

表 18.6 信噪比计算结果

Run	S11	S12	S21	S22	Avg	S	SN
1	0.53	0.58	0.6	0.61	0.58	0.0356	2.42
2	0.43	0.43	0.53	0.51	0.475	0.0526	1.91
3	0.27	0.28	0.35	0.39	0.3225	0.0574	1.50
4	0.25	0.29	0.31	0.37	0.305	0.05	1.57
5	0.43	0.45	0.46	0.49	0.4575	0.025	2.52
6	0.28	0.3	0.38	0.42	0.345	0.0661	1.44
7	0.14	0.19	0.25	0.28	0.215	0.0624	1.07
8	0.2	0.24	0.27	0.34	0.2625	0.0591	1.30
9	0.34	0.35	0.36	0.38	0.3575	0.0171	2.64

续表

Run	S11	S12	S21	S22	Avg	S	SN
10	0.44	0.49	0.56	0.64	0.5325	0.0869	1.57
11	0.45	0.48	0.6	0.64	0.5425	0.0918	1.54
12	0.4	0.46	0.55	0.58	0.4975	0.0826	1.56
13	0.41	0.5	0.57	0.65	0.5325	0.1021	1.43
14	0.18	0.26	0.29	0.35	0.27	0.0707	1.16
15	0.36	0.37	0.49	0.56	0.445	0.0968	1.33
16	0.15	0.23	0.28	0.34	0.25	0.0804	0.99
17	0.3	0.37	0.36	0.43	0.365	0.0532	1.67
18	0.27	0.35	0.49	0.53	0.41	0.1211	1.06

通过 Minitab, 可以得到其均值响应表和 SN 响应表, 分别如表 18.7 和表 18.8 所示, 均值响应的主效应图如图 18.11 所示。

表 18.7 均值响应表

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.368889	0.491667	0.402500	0.432500	0.393750	0.430417	0.402083	0.447917
2	0.427222	0.392500	0.395417	0.431250	0.372500	0.391667	0.39625	0.417083
3		0.310000	0.396250	0.330417	0.427917	0.372083	0.395833	0.329167
Delta	0.058333	0.181667	0.007083	0.102083	0.055417	0.058333	0.395833	0.329167
Rank	4.5	1.0	7.0	3.0	6.0	4.5	8.0	2.0

表 18.8 SN 响应表

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	18.1967	17.5203	15.1044	18.6286	14.4995	16.3687	18.8320	17.0048
2	13.6857	15.7575	16.8514	15.9390	14.4119	16.5349	14.9873	16.5860
3		14.5457	15.8678	13.2559	18.9121	14.9199	14.0043	14.2327
Delta	4.5110	2.9746	1.7470	5.3727	4.5002	1.6151	4.8277	2.7721
Rank	3	5	7	1	4	8	2	6

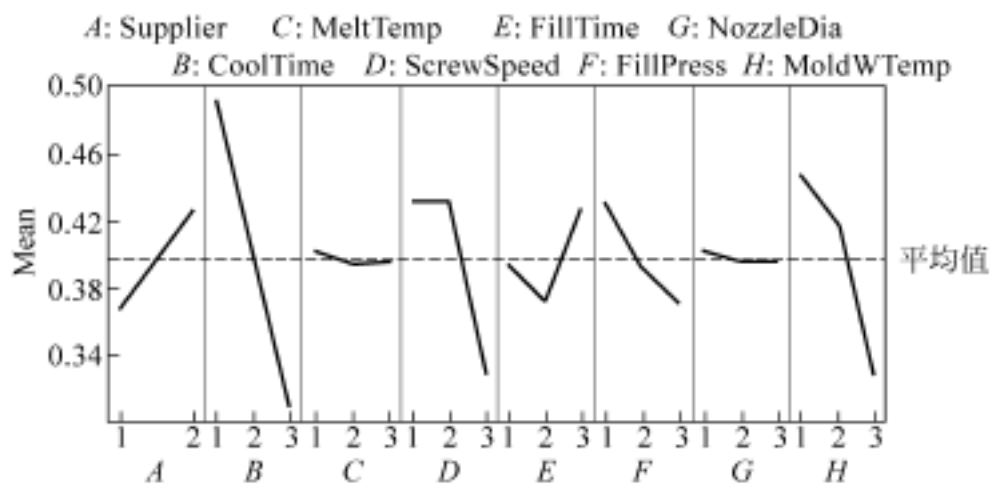


图 18.11 均值响应的主效应图

#### 4. 根据 SN 值和均值响应确定因子设置

遵循以下 3 个步骤:

##### 第 1 步:

寻找哪些因子对应的均值 delta 排序较大, SN 排序较小;

选择最优设置以满足目标(均值越接近于目标值越好)。

##### 第 2 步:

在余下的因子中,寻找较高 SN 排序的因子;

确定使 SN 最大化。

##### 第 3 步:

对于那些具有较低均值 delta 排序和较低 SN 排序的因子,所作选择也许比较容易实现健壮。

由第 1 步可以得到推荐的设置结果为: B-2, H-2, F-2; 由第 2 步可以得到推荐的设置结果为: D-1, A-1, E-3, G-1; 由第 3 步可以得到推荐的设置结果为: C-2。用 Minitab 在此基础上进行预测,可以得到如下结果:  $SN = 28.711$ ,  $Mean = 0.441667$ , 此结果的均值响应偏离较大,考虑到 E 因素所选水平的均值偏离较大,故将 E 由水平 3 调整为水平 1,得到新的结果为:  $SN = 24.984$ ,  $Mean = 0.4075$ ,  $StDev = 0.221924$ , 新的设置改善较为明显。通过这样的分析,就可以最终将可控因子的水平组合确定下来,即

A-1, B-2, C-2, D-1, E-1, F-2, G-1, H-2