

应用基础工业工程理论提高装配线的生产效率

葛安华, 孙 晶

(东北林业大学 工程技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 结合手工装配线的改善实例, 详细阐述了应用基础工业工程中的流程分析、单元设计、装配线平衡等理论, 结合柏拉图分析法, 探讨改善手工装配线效率和管理水平的方法。改善前后的定性和定量对比分析说明结合柏拉图分析的基础工业工程理论和方法对提高企业生产效率的显著作用。

关键词: 基础工业工程; 手工装配; 柏拉图分析法

中图分类号: F273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7375 (2008) 03-0135-05

Improvement of Assembly Lines' Productivity Applying Fundamental Industrial Engineering Theories

Ge An-hua, Sun Jing

(Engineering and Technology College, Northeast Forestry University, Haerbin 150040, China)

Abstract: This paper presents a way to improve an assembly line's efficiency and management level using the workflow analysis, cell design and balance theory of assembly lines of fundamental industrial engineering, together with Pareto analysis method. Qualitative analysis and quantitative analysis demonstrate that fundamental industrial engineering theories and Pareto analysis method play a remarkable role in the improvement of assembly lines' productivity.

Key words: fundamental industrial engineering; manual assembly; Pareto analysis method

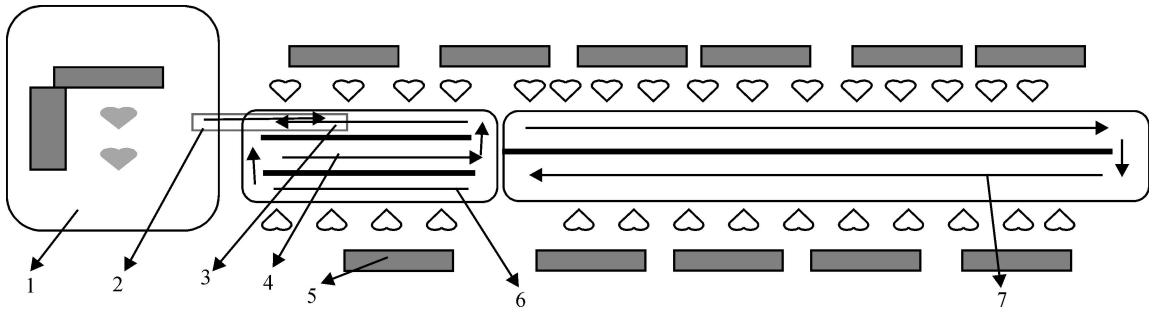
从目前全球竞争的核心看, 中国家电产业 20 多年的发展基本上处在一种“不发达的发展状态”, 而从最近诸多企业统计数据看, 中国家电企业的增长速度已经明显放缓, 中国家电的高原平台期已经来临^[1]。在 2006 年一年的时间内, 小家电的价格指数猛降了 655.36 点, 可见小家电的暴利已开始被实实在在地挤压, 而且这种势头还将继续延伸下去。中国家电制造企业急切需要提高工业化管理水平。然而, 提高工业基础和企业管理水平是一个不断积累的渐进过程, 其中基础工业工程理论和方法的有效应用是一个重要的、不可逾越的阶段^[2]。本文将结合某民营企业的实际, 应用基础工业工程中的流程分析、单元设计、装配线平衡等理论, 结合柏拉图分析法, 探讨改善手工装配线效率和管理水平的方法。

1 运用 Pareto 分析法对电饭煲总装车间存在问题的分析

本文主要研究用于生产“CFXB40 型电饭煲产品的手工装配生产线。图 1 (见第 136 页) 为该款电饭煲的生产线布置图, 本流水线共有 79 个工位, 作业人数为 79 人, 生产节拍为 65 s, 该生产线的排产为 3 000 台。在装配线上工人完成电饭煲的装配, 装配完毕后进入到检测线, 对电饭煲的绝缘、接地等各种性能进行检测, 然后进入冷却线将电饭煲冷却, 再进入到包装线包装电饭煲, 外包装箱经滑道到达包装线, 在包装线末端将整个电饭煲包装完毕。各种被装配零部件由各种容器盛放, 统一放在了工人身后的零部件暂存区。

收稿日期: 2007-04-20

作者简介: 葛安华 (1961-), 男, 山东省人, 教授, 主要研究方向工业工程、机械设计。



1 - 二楼包装区; 2 - 倾斜滑道; 3 - 包装线; 4 - 冷却线; 5 - 组装用的零部件暂存区; 6 - 检测线; 7 - 组装线

图 1 CFXB40装配生产线的平面布置

根据 IE 工作人员在生产现场的调查研究和用秒表测时法的测定,该装配线的拉平衡率 63%;生产节拍 6.5 s,不良品分为返工品和报废品,返工品占产成品的 4%,报废品 30 个/d;库存:为避免组装过程中出现问题,各个配件都要比预定的需求量多生产 250 个,记为库存浪费;搬运:本文只讨论控制盒配件班的搬运,其由一个人搬运,每次用时 10 min,

每天平均搬运 15 次;费用:工人工资为 40 元/d。根据各工位的实际作业时间可绘制出该生产线的拉平衡图,如图 2 所示。由图 2 可见,29 工位“控制面板与外壳安装后上线”工位操作时间最长,其为瓶颈,瓶颈时间为 6.7 s;包装组(工位 67~79),工位明显不平衡,操作时间仅为 1.3 s,远小于生产节拍。

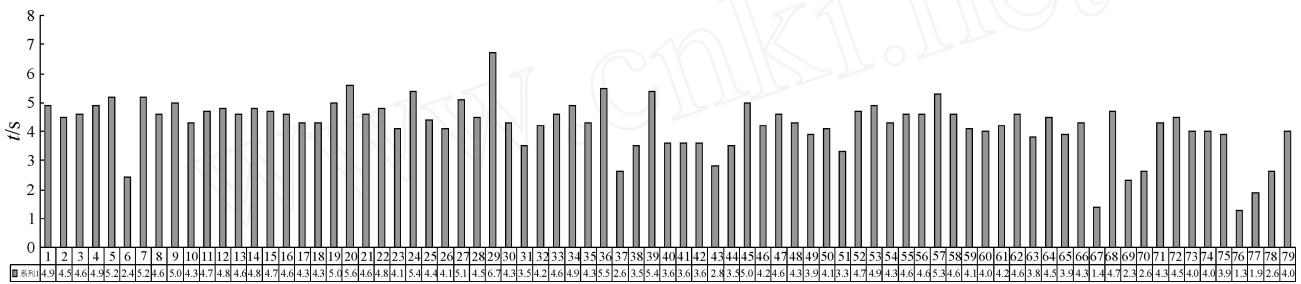


图 2 拉平衡图

根据实测和计算,可得各种浪费和其频度,如表 1 所示。

表 1 浪费的频度比重					
浪费种类	浪费的时间/s	工时损失/h	浪费成本/元	浪费所占的比重/%	浪费累计比重/%
不平衡	841 824	233.84	1 169.2	58.4	58.4
动作	355 500	98.75	493.75	24.6	83.0
库存	128 375	35.66	178.30	8.9	91.9
不良品	107 835	29.95	149.77	7.5	99.4
搬运	9 000	2.5	12.5	0.6	100

根据表 1 可以绘制出 Pareto 图,如图 3 所示。

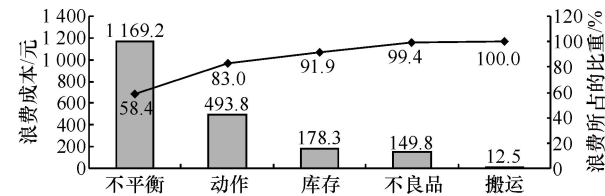


图 3 Pareto图

2 运用基础 IE理论与方法进行优化

由图 3 可以看出,近 80% 浪费是由不平衡与多余动作造成的^[3]。根据 Pareto 原理,对造成总装车间 80% 浪费的 20% 浪费因素加以改善、设计和重构。

2.1 瓶颈工位的分析

由瓶颈管理原则可知,瓶颈管理是平衡物流,不是平衡生产能力;瓶颈上 1 h 的损失就是整个系统的 1 h 损失,非瓶颈节省 1 h 无益于增加系统生产效率,非瓶颈的利用程度不是由其本身决定,而是由系统的瓶颈决定^[4]。因此若想提高生产效率,就应从该生产线的瓶颈入手,而造成生产线不平衡的因素正是瓶颈,因此要将总装车间最大浪费的因素——不平衡的浪费减少到最少^[5]。由图 2 可以看出,瓶颈工位是第 29 工位。先挖掘出问题的真正根源所在,然后运用取消、合并、重排和简化 (ECRS) 四大原则进行优化。

流水线上第 28、29 工位是将控制盒装入外壳。

第 28 工位操作者 A 弯腰从地面上的临时周转箱抓取 3 个控制盒,检查其是否有质量问题,然后放在台面上;第 29 工位操作者 B 左手在台面上拿取控制盒,右手取外壳,将其组装,后放到流水线上盖与内

锅总成上。2 个人的配合情况见图 4。由图 4 可计算出操作者 A、操作者 B 的利用率分别为 41. 9%和 80. 6%。

操作者 A	时间(s)		操作者 B	时间(s)	
取 3 个控制盒并检查第 1 个控制盒,放到台面上	3.6		拿外壳	1.2	
			等待	2.4	
			取控制盒	0.4	
检查第 2 个,放到台面上	0.8		控制盒与外壳安装	1.2	
检查第 3 个,放到台面上	0.8				
等待	7.2		带已完成装配件至上盖与内锅总成	0.8	
			拿外壳与控制盒	1.2	
			控制盒与外壳安装	1.2	
			带已完成装配件至上盖与内锅总成	0.8	
			拿外壳与控制盒	1.2	
			控制盒与外壳安装	1.2	
			带已完成装配件至上盖与内锅总成	0.8	

图 4 控制面板与外壳安装后上线的联合操作分析图

2.2 运用 ECRS 四大原则对瓶颈工位进行优化

根据 ECRS 四大原则^[6],进行取消 (E)、合并 (C)、重排 (R)、简化 (S)工作。

1)控制盒配件组装工位的优化。原来控制盒的组装工位是在总装车间其他地方进行的,控制盒组装完毕后,由专门的工人负责将这些半成品运送至生产线上。改善后,物料组直接将组装控制盒用的零配件搬运到生产线,取消在厂房其他场地的控制盒配件班组。将原来在生产线之外进行的等 24 ~ 27 工位,按顺序安排在生产线上。

经过改善之后,实现了一个流,取消了该工位的所有库存,搬运距离也缩短了。不仅如此,由于实现了一个流的操作,工人只需要直接从流水线上将上个工位留下来的控制盒,拿到面前进行安装即可,取消了选择的动作,节省了 E2 = 0. 26 s。改善前后对比情况如表 2 所示。

表 2 控制盒配件班上线操作前后的情况对比

项目	改善前	改善后
零配件搬运距离 /m	86	62
控制盒搬运距离 /m	35	控制盒到外壳工位 one piece flow
库存 /个	760	0

2)将操作者 A、B 动作与分工合理化。由图 4 可知,操作者 A 空闲的时间较多,其利用率仅 41. 9%。对其进行改善:简化操作者 A 的工作,设计一个物料架,将临时周转箱置于其上,取消了弯腰动作。根据 MOD 法计算,节省了 1. 7 s。简化后 A 的工作时间为 1. 167 s,而操作者 B 平均每个到装配件的操作时间是 3. 3 s,操作者 A、B 的工作时间之和仅为 4. 467 s。因此可将 A、B 工位合并,且每次只拿 1 个控制盒。该工位新的操作方法如表 3 所示。利用 MOD 法可计算出改善后该工位的操作时间为 M3 + G3 + M4 + G3 + M3 + R2 + A4 + D3 + E2 + M3 + P2 = 32MOD = 4. 13 s。

表 3 控制面板与外壳安装后上线工位的动素程序表 (新方法)

操作者左手动作	符号	分析式	操作者右手动作	符号	分析式
等待	R	BD	伸向流水线	TE	M3
等待	R	BD	拿取控制盒	G	G3
伸向放置外壳的货架	TE	M4	带控制盒回到面前	TL	M3
选出并拿取外壳	G	G3	等待	R	BD
带外壳回到面前	TL	M3	等待	R	BD
控制盒与外壳安装	PP + A + I	R2 + A4 + D3	控制盒与外壳安装	PP + A + I	R2 + A4 + D3
等待	R	BD	带已完成的装配件至上盖与内锅总成	TL	E2 + M3
等待	R	BD	放开装配件	RL	P2

通过对瓶颈工位的分析与优化,瓶颈工位的操作时间已由原来的 6. 7 s,变成现在的 4. 13 s,且节省

了 1 个操作工人,完全取消了该工位的库存与搬运。

2.3 针对动作不合理造成浪费的优化

经过前面的改善,已经将瓶颈工位的时间降到了流水线的目标生产节拍 5 s 以内。那么超过 5 s 的工位都将成为瓶颈工位,而且由于操作的不合理经常会造成质量问题。现结合 IE 七大手法的防错法、动改法^[7]和双手法对工人的操作法进行分析、优化。

1)第 7 工位,按钮组件组装及其与面盖装配工位。原工位物料混乱放在一起,工人安装按钮时每次拿料都需要挑选。“选择”为辅助性动作,其愈少愈好。现制作一隔板把物料分开,这样工人可直接到相应的物料格里拿物料,取消了挑选的动作,且防

止了划伤,节省 $G3 = 0.4$ s,工位时间为 4.8 s。

2)第 24 工位,控制面板安装灯罩工位。工人左手取若干灯罩,然后右手从左手取灯罩 1 个,再装入控制盒。根据 IE 七大手法之双手法,将双手操作过程做成双手操作程序图^[8],如图 5 所示。由图 5 可以看出,操作者左手持住的时间太长,双手动作不协调。为此将操作台布置成如图 6(右)所示式样,同时操作者以三级动作工作。将操作者的操作方法进行优化,制作成改善后双手操作程序图,如图 6(左)所示。改善后,工人双手动作协调,不容易疲劳^[9],节省工时 $G1 + M3 + P2 = 0.7$ s,工位时间为 4.7 s。

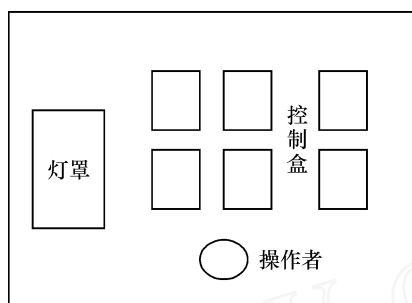


图 5 改善前双手操作程序图

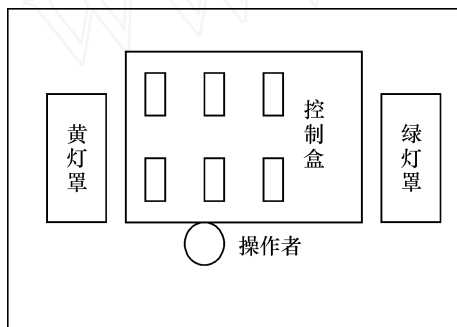
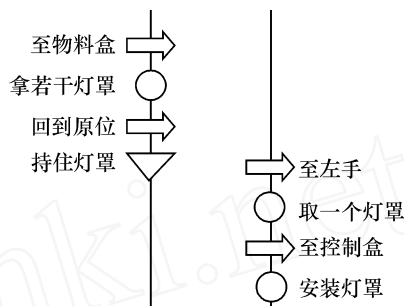
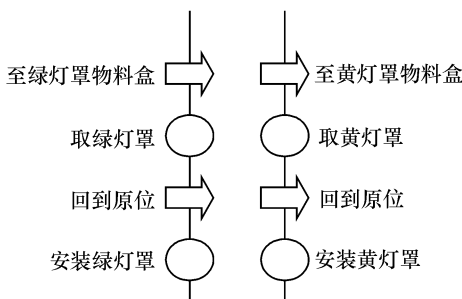


图 6 改善后双手操作程序图



3)第 36 工位,插座配线工位。工人用手将线分好后,将线递给下一工位。此工位工人需要伸大臂将线递给下一个工位。但是经过观察发现,配好线后,这些线并不会变形。因此配好线后将其直接放到外锅上,由流水线将其自动带到下一个工位。改善后,由伸大臂变成伸小臂,取消了工人之间的传递动作,节省工时 $M4 - M3 + P5 = 0.8$ s,工位时间为 4.7 s。

4)第 39 工位,用螺母紧固接地线工位。工人每次拿螺丝都需要一次转身,这个动作经常重复,工人容易疲劳,而且浪费时间。因此,可制作一个放螺丝积架装于工人正前方,取消了转身的动作,节省 0.8 s,工位时间为 4.7 s。

其它瓶颈工位的改善这里不再赘述。

3 改善效果

假设每天的排产不变,经过改善各项指标均有显著变化,如表 4 所示。

表 4 节约浪费额度

节省浪费的种类	节省浪费的时间 / s	节省的工时损失 / h	节省成本 / 元
不平衡	351 000	97.5	487.5
动作	30 090	8.36	41.79
搬运	9 000	2.5	12.5
库存	30 875	8.58	42.88
不良品	25 935	7.20	36.02

电饭煲总装车间共有 5 条类似的长型生产线,应用基础工业工程理论对电饭煲每条生产线进行改

善,改善后每天可以为电饭煲总装车间共节约成本:
(487.5 + 41.79 + 12.5 + 42.88 + 36.02) × 5 =
3 103.45元

4 结论

本文运用 Pareto 分析法,找出造成总装车间 80%浪费的 20%浪费因素——不平衡浪费和动作浪费,并针对这 2 个主要因素结合基础 IE 中的“五五法”、“联合操作分析法”、“双手操作原理”,对问题加以分析,寻找浪费根源,然后运用“ECRS 原则”、“IE 七大手法”等改善方法进行优化,优化后效果显著。主要效果有:

1) 生产效率提高,原来 6.5 s 生产 1 个电饭煲,现在 5 s 即可生产 1 个电饭煲。

2) 成本降低,改善后每台电饭煲可降低成本 0.21 元。

3) 节约费用,改善后总装车间每天节约各种费用达 3 103.45 元。

改善是永无止境的,只有通过锐意创新的精神,坚持不懈的改善,以及不怕一切艰难险阻,力争将改善坚持到底,才能赢得这场 IE 改善战役的最后胜利^[10]。

参考文献:

- [1] 忻析杵. 今后十年国内家电业发展将呈现的八大趋势 [J]. 当代经济纵横, 1998, 13(2): 12
- [2] 张申生. 敏捷制造的理论、技术与实践 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000: 30
- [3] 洪磊. 柏拉图法: 抓关键因素, 解主要问题 [J]. 中国商贸, 2006, 15(2): 31.
- [4] 候志敏. 浅谈生产线工艺平衡 [J]. 新课题研究, 2007, 2(4): 86
- [5] Heizer J, Render B. Operations management [M]. 7th Edition New Jersey: Pearson Education Inc, 2003: 122
- [6] 范中志, 张树武, 孙义敏. 基础工业工程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993: 158
- [7] 张礼镇. 工业工程 [M]. 北京: 科学出版社, 1995: 66
- [8] Meyers F E, Stephens M P. Manufacturing facilities design and material handling [M]. 2nd Edition New Jersey: Prentice Hall Inc, 2000: 76
- [9] 汪应洛. 工业工程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 58
- [10] Goldman S L, Nagel R N, Preiss K. Agile competitors and virtual organizations: strategies for enrich the customer [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995: 82

(上接第 130 页)

- [7] 谢如鹤, 韩伯领. 国内外冷藏食品物流的现状 [J]. 中国储运, 2004(6): 16-18
- [8] 马良. 旅行推销员算法综述 [J]. 数学的实践与认识, 2000, 30(4): 154-165.
- [9] 李玲, 谷寒雨, 陈坚. 复杂 PDPTW 问题的插入启发式算法 [J]. 计算机工程, 2003, 29(16): 65-66
- [10] 李军. 非对称距离的旅行商问题的构成算法 [J]. 运筹与管理, 2000, 9(1): 1-6

管理, 2000, 9(1): 1-6

- [11] 李随成, 刘广. 一种先进的 TSP 问题启发式算法 [J]. 管理工程学报, 2005, 19(2): 114-118
- [12] 霍佳震, 张磊. 求解配送/收集旅行商问题的启发式算法 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 134-138
- [13] 康景隆. 食品冷藏链技术 [M]. 北京: 中国商业出版社, 2005: 736-767.

(上接第 134 页)

参考文献:

- [1] Qiu R G, Zhou M C. Mighty MESs: state-of-the-art and future manufacturing execution systems [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2004(40): 20-25.
- [2] 柴天佑, 郑秉霖, 胡毅, 等. 制造执行系统的研究现状和发展趋势 [J]. 控制工程, 2005, 12(6): 505-510
- [3] 张国强. 珠钢 CSP 生产制造执行系统 [J]. 冶金自动化, 2005(2): 20-24.
- [4] 张忠林, 黄海. MES 技术及其应用 [J]. 组合机床与自动化

加工技术, 2005(6): 1-4

- [5] 田勤, 范玉青, 苏楠. 数控车间生产配送系统研究与软件实现 [J]. 现代管理, 2003(3): 44-47.
- [6] 王志新, 金寿松. 制造执行系统 MES 及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006
- [7] 张晓川. 企业生产与物流 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [8] 李黎, 成晔, 袁守华. 基于 MES 的生产车间管理信息系统 [J]. 现代制造工程, 2005(4): 130-132