

2.2.17 防错的设计

有可能出错的事情，就会出错 (If anything can go wrong, it will)。

-----墨菲定律

躲得过初一，躲不过十五；

-----中国俗语

在产品开发中，我们常常会抱着侥幸心理，寄希望于装配过程的管控和操作人员的专业度来掩盖和纠正设计本身的问题，但残酷的事实告诉我们，该发生的问题终究会发生。我们试想，一个操作人员每天进行同样的装配工作上百次千次甚至上万次，如果产品设计不能防止提前预防装配错误的发生，那么就算是万分之一的概率，操作人员稍微不留神，错误就发生了。因此，产品设计必须进行防错的设计，提前预防装配过程中可能发生的错误。

防错法 (mistake-proof, error-proof) 是指通过产品设计和制造过程来防止错误的产生。日本丰田企业第一次提出防错的概念。台湾人称为防呆法，顾名思义，就是一个呆子来装配也不会产生错误。

防错法能够达到以下目的：

1. 减少错误来提高产品利润率
2. 减少时间的浪费可以提高生产力
3. 提高产品使用人性化、提高消费者满意度和信誉
4. 提高产品质量和可靠性

防错设计的典型例子

USB 接口是计算机中最常用的一种接口方式，广泛应用于数码相机、数码摄影机、移动硬盘、U 盘、鼠标和键盘等与计算机的连接。USB 的接口设计是一种典型的防错设计。只有当 USB 插头插入方向正确时，USB 插头才能够插入到计算机的 USB 接口中；当 USB 插头插入方向不对时，USB 接口中孔槽的不对称设计会阻止 USB 设备的进一步插入，如图 2.34 所示。

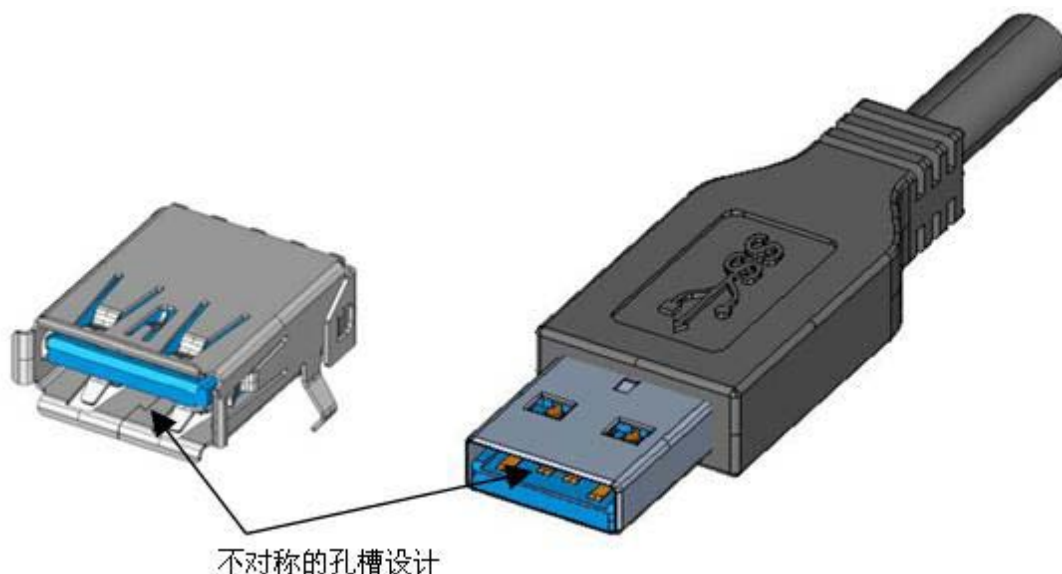


图 2.34 USB 接口及 USB 插头

那么，USB 的接口设计是一个理想的防错设计吗？

下面讲述本人使用 USB 接口的体会。平均下来，我每天会使用 USB 接口两到三次，但是并不是每次的使用心情都是愉快的。根据 USB 接口中孔槽的不对称防错设计，在 USB 接触到 USB 接口之前，USB 有两种插入方向，一种是正确的方向，USB 和 USB 接口中的不对称孔槽刚好对应在一起，USB 能够顺利插入到 USB 接口中；另外一种是错误的方向，USB 和 USB 接口中的不对称孔槽不对应，USB 接口阻止了 USB 的插入，此时必须调整 USB 的插入方向。理论上来说，每次插入 USB 都有 50% 的可能性插入方向不对，而每次当我感觉到插入方向不对时，我不得不放下手中的工作，把全部注意力放在 USB 上，仔细看清楚 USB 设备孔的位置和 USB 接口中孔槽的位置，再对齐，USB 设备才插入成功。而因为我的电脑主机放置于电脑桌下，当每次插错时，我不得不把爬到桌子下。我相信很多读者都有这样的体会，我们期望着 USB 接口的设计也像电脑的耳机接口一样，我们闭着眼睛、漫不经心的就可以把耳机插入到电脑耳机接口中，这才是人性化的设计。

因此，我们可以说，USB 的接口设计是一个好的防错设计，但不是最理想的防错设计，因为它不人性化。换句话说，最理想的防错设计不但能够防止错误的发生，还能够防止你产生错误的念头。

在面向装配的产品设计中，防错的设计不仅仅是满足产品制造过程中防错的要求，还需要满足消费者使用产品过程中的防错要求。我们可以认为消费者使用产品的过程也是产品装配过程的一部分，而且更为重要的是，消费者对于防错的要求更高，不但要做到防错，还需要做到使用人性化。因为我们不可能去教育消费者“你应该这样做”、“你应该那样做”，作为很多产品比如电脑、电视机、空调等的消费者，他们是根本不会花时间去阅读产品使用手册的。

防错的设计可以分为设计阶段的防错和装配阶段的防错，传统的防错设计关注产品的装配阶段，为此，企业不得不花费大量的人力和物力来培训操作人员和花费大量的金钱来购买自动化设备。

面向制造的产品设计优先考虑的设计阶段的防错，只有当设计阶段的防错很难实现或者代价高的时候，我们才考虑装配阶段的防错。

2.2.17.1 零件仅具有唯一正确的装配位置

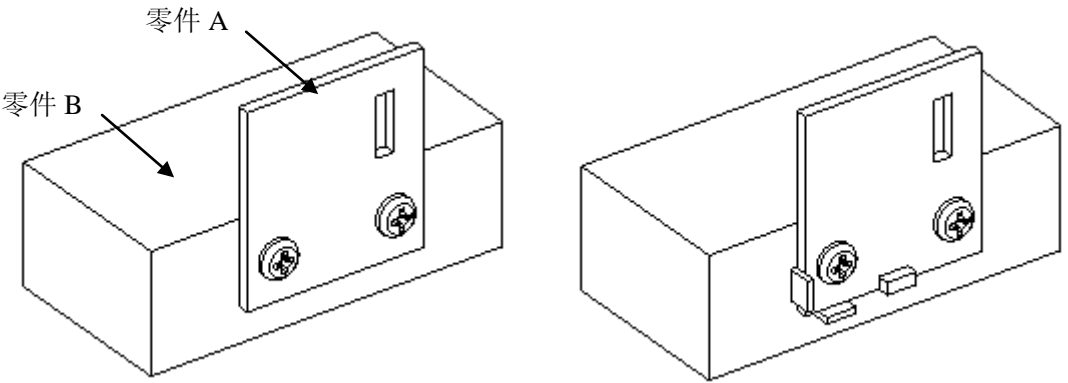
任何一个零件在产品的装配中只能具有唯一正确的装配位置，只有当零件装配位置正确的时候，零件才能被固定；如果零件有多个装配位置，产品或者零件上应当具有特征来阻止零件被装配到错误的位置。上面说到的 USB 接口就是一个例子，USB 有且只能有一个正确的装配位置，当 USB 插入方向不对时，USB 接口上的不对称孔槽就会阻止 USB 的继续插入。

在三维软件中，把零件绕着坐标轴旋转 90°、180°，进行简单的装配过程模拟就能够判断零件是否具有唯一正确的装配位置。

最容易发生装配错误的是当零件由两个点固定时

在产品设计中，最容易发生装配错误是当零件由两个点固定时。如图 2.35 所示，零件 A 通过两个螺丝固定在零件 B 上；在错误的设计中，在进行实际的装

配时，零件 A 有如图 2.36 所示的四种可能的装配位置，显然这很容易引起装配错误；在改进的设计中，零件 A 增加了两个凸台，零件 B 增加一个凸台，限制零件 A 装配使其不可能装配到不正确的位置，零件 A 仅具有唯一正确的一个装配位置。



错误的
改进的
图 2.35 零件两点固定时的防错设计

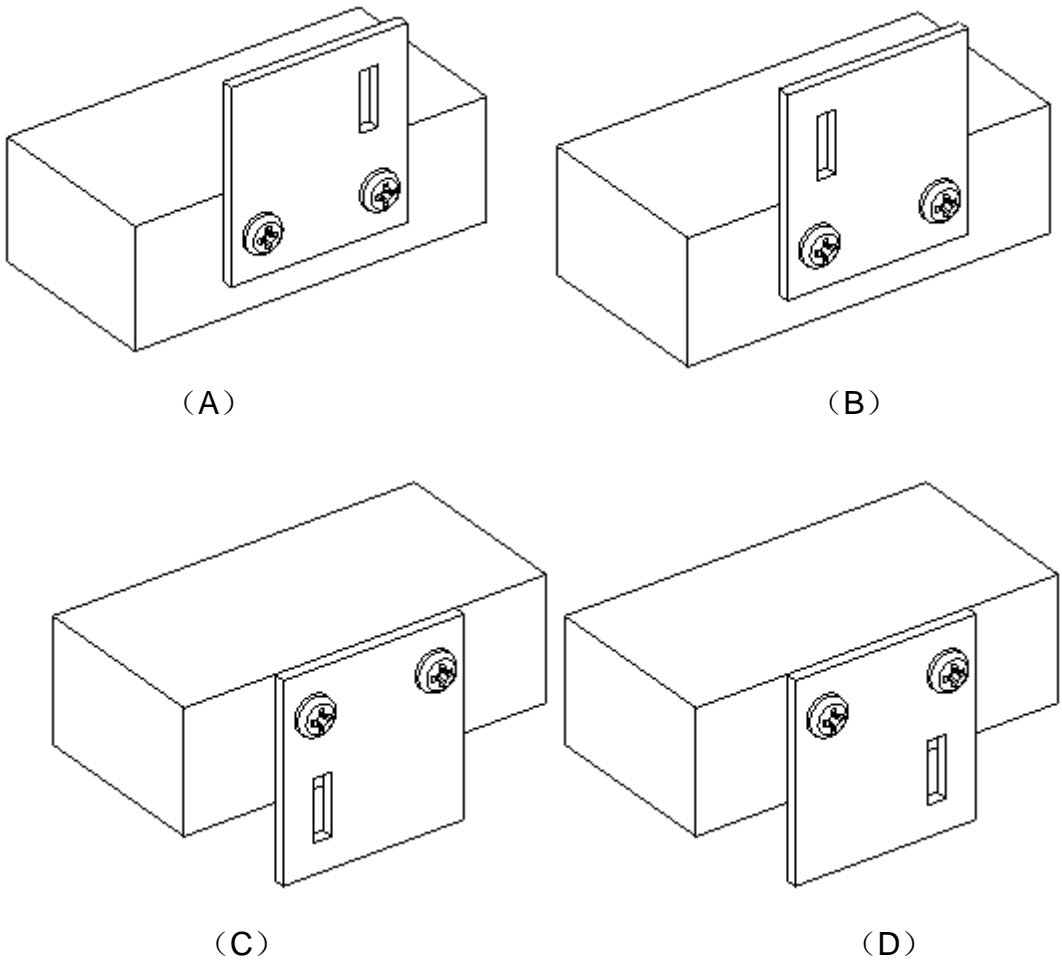


图 2.36 四种可能的装配位置

2.2.17.2 常用的防错设计特征

非对称的空、槽和凸台等是常用的防错设计特征，如图 2.34 中 USB 接口设计、图 2.35 的凸台防错以及图 2.37 中的 PS/2 接口。

2.2.17.3 零件的防错设计特征越明显越好

还记得 PS/2 接口吧？在 USB 接口出现之前，PS/2 接口是作为键盘和鼠标的一个通用接口。图 2.37 显示了 PS/2 接口和 PS/2 插头的图形；PS/2 的接口设计有两个防错特征，其一是 PS/2 接口中长方形的孔必须和 PS/2 插头中间的长方形柱子；其二是 PS/2 接口四周不对称的三个孔和 PS/2 插头四周的三个金属突起；只有当以上两个防错特征一一对齐时 PS/2 插头才能正确插入；

但是，两个防错特征尺寸都比较小，在实际操作过程中要对齐非常困难，必须把 PS/2 插头和接口完全对齐，才能保证正确插入，稍有偏差都不能成功。PS/2 接口的这种使用都只有用痛苦来形容，使用过 PS/2 接口的键盘和鼠标的工程师们一定对此深有体会。

因此，在允许的情况下，零件的防错特征需要设计得越明显越好。非对称的空、槽和挡块越不对称越好。

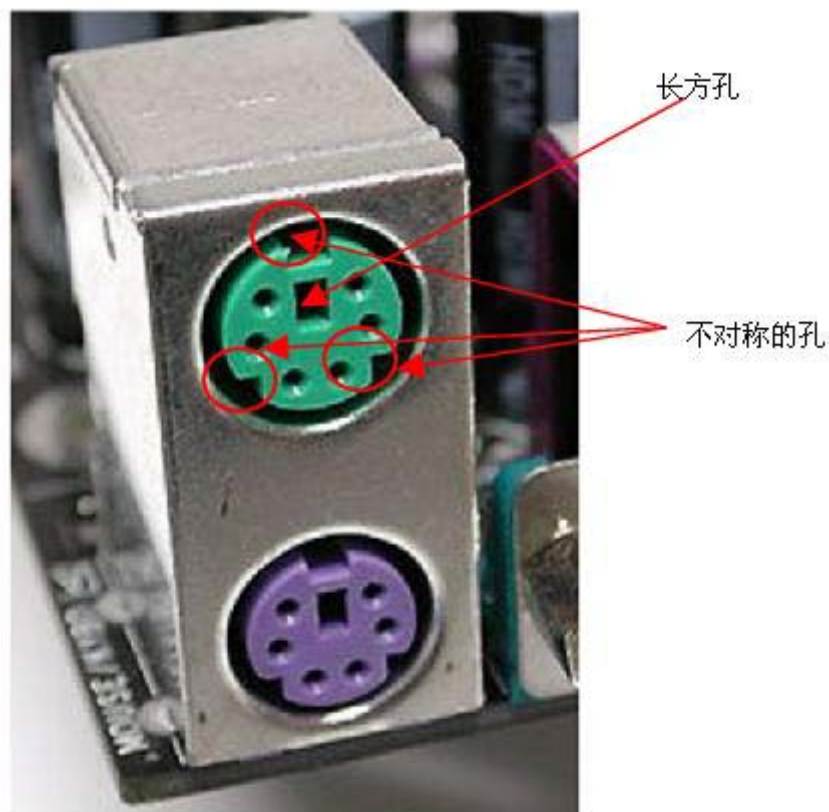




图 2.37 PS/2 接口及 PS/2 插头

2.2.17.4 夸大零件的不相似处

一天，妈妈给两个双胞胎兄弟喂牛奶，当妈妈把两个孩子都喂完后，老大哭了：“妈妈，你偏心，给弟弟喂了两次都不给我喂”。

尽量把相似的零件合并成一个零件，如果不行，夸大零件的不相似处。

如果在产品装配的生产线上，有两个相似的零件需要装在不同的位置实现不同的功能，它们的唯一判别方式是零件料号，那么这就存在着两个零件装错位置的风险，如果操作人员不仔细查对照零件的料号，很容易会误把一个零件当成另外一个零件，产生装配错误，带来返工，造成时间和成本的浪费；如果当零件的固定是不可拆卸时，如焊接、铆合、热熔等，这会造成整个产品的报废，带来更大的成本损失。

在 2.2.1 节中我们讨论了把相似的零件合并成一个零件。

如果两个相似的零件不能合并成一个零件时，我们就需要把零件的不相似处设计得很明显，尽量使得两个零件看上去完全不一样，这就避免在装配过程中，零件被错误的装配到其它位置，如果 2.2.1 节中的两个零件不能合并成一个零件，那么我们就需要把这两个零件设计区别很明显，使得操作人员能够很清楚的认识到两个零件的区别，从而不会产生装配错误，如图 2.38 所示。

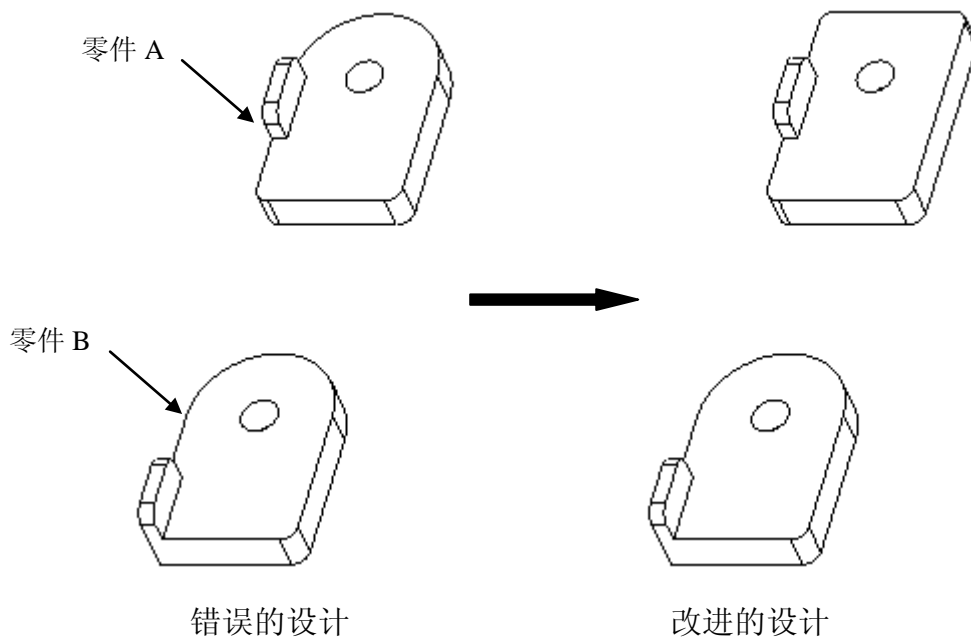


图 2.38 夸大零件的不相似

2.2.17.5 夸大零件的不对称性

尽量使一个零件从各个角度都对称，如果不能，夸大零件的不对称性

最好的零件是各个角度都对称的零件，不论怎样装配，零件都不会发生装配错误。如图 2.39 所示，我们日常生活中使用的音频接口和音频插头在轴线上是 360°对称，因此把音频插头插入到音频接口中，无论插头怎么旋转，都不会插错。

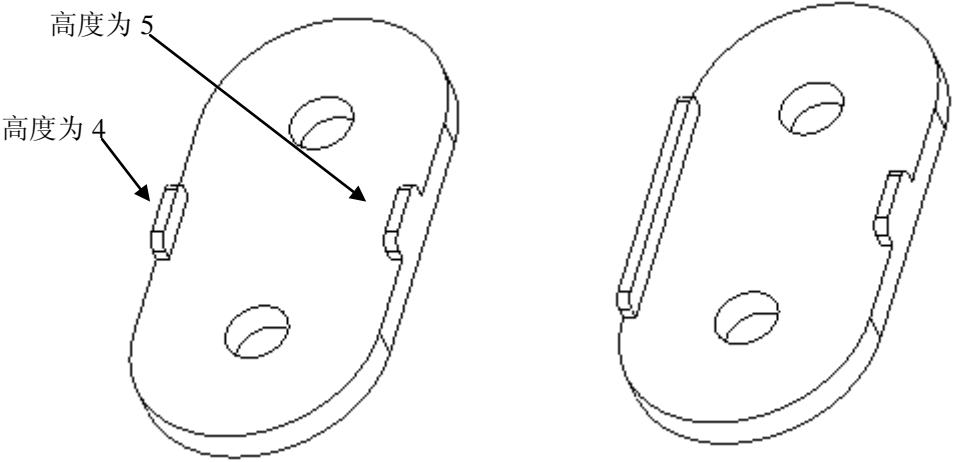
最好的产品设计防错是根本不需要防错，这是防错设计的最高境界，完全对称的零件则根本不需要担心防错问题。



图 2.39 音频接口及音频插头

如果零件因为其它限制无法做到对称性，那么我们需要夸大零件的非对称性，零件的非对称性越明显越好。如果 PS/2 接口的防错特征更明显，PS/2 的使用就会更加方便。

如图 2.40 错误的设计中，零件左右两侧凸台的高度相差 1mm，但是这是零件的功能需要，无法更改，零件相对于两孔中心连线的对称性无法获得。此时我们必须夸大零件的对称性，防止装配错误。



错误的

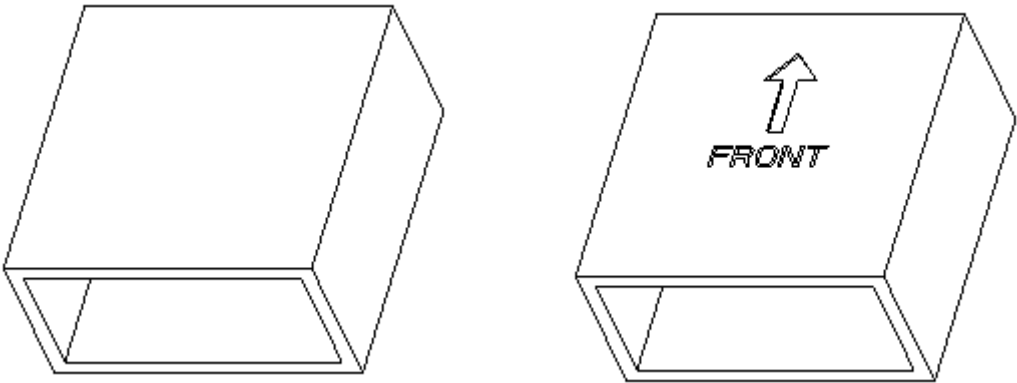
改进的

图 2.40 夸大零件的不对称性

2.2.17.6 设计明显防错标识

如果零件防错特征很难设计，至少需要在零件上做出明显的防错标识，指导操作人员的装配，或者告诉消费者的使用，这些标识包括符号、文字和鲜艳的颜色等。

如图 2.41 所示的零件是一个左右对称的零件，因为设计的限制，零件无法添加不对称的孔、槽以及凸台等防错特征，那么机械工程师至少需要在零件上添加明显的标识例如符合或者文字来指导操作人员的装配或者消费者的使用。



错误的

改进的

图 2.41 符合和文字防错

颜色防错的例子如图 2.37 示的 PS/2 的接口防错设计，鼠标的 PS/2 接口和插头是绿色，键盘 PS/2 接口和插头是紫色；使用同一种颜色来告诉消费者电脑商哪一个接口该插鼠标、哪一个该插键盘，防止消费者把鼠标查到键盘接口上或

者把键盘查到鼠标接口上。同时，在鼠标和键盘插头上分别有鼠标和键盘的符号，在电脑上相应的接口处也有鼠标和键盘的符号，这也是防错的特征，当然这些符号太小，不容易引起消费者的注意。

需要注意的是，这一类的防错特征不是理想的防错设计方法，必须获得操作人员或者消费者的注意才能够保证防错设计的成功，机械工程师应当把它当做防错设计的最后选择。