

第3章

操作分析

要点：

- 使用操作分析手段通过问“什么”来改进工作方法。
- 通过问“为什么”来分析操作的目的。
- 通过问“怎么样”来分析设计、材料、公差、流程以及工具。
- 通过问“谁”来分析操作者与工作设计。
- 通过问“何地”来分析工作布置。
- 通过问“何时”来分析加工工艺。
- 通过取消、合并和重排等方法尽量简化操作。

方法分析人员运用操作分析来研究操作中的所有生产及非生产因素，以便在保持甚至提高产品质量的同时提高生产率和降低单位成本。操作分析对于规划新的工作中心就像对于改进操作一样有效。通过对工作站、相关工具和产品设计使用提问式的方法，方法分析人员能够设计出有效的加工中心。

在工业界，对现有操作的改进是一个持续不断的过程，而这一章主要介绍此改进过程。本章所讲述的方法对规划新的加工中心同样重要而且有效。操作分析应用流程图即可直接获取和描述事实。操作分析是方法研究的第三步，也是进行分析和细化方法的一步。

经验表明：经过充分的研究，所有的操作实际上都可以得到改善。因为系统分析方法对大小企业的单元生产和大规模生产都同样有效，所以操作分析适用于制造业、商业和政府等各种领域。若能够被正确使用，操作分析可以通过简化工序和物料搬运、提高设备利用率等手段来开发一种更好的工作方法。因此，通过改善工作条件、最大限度地降低工人的疲劳程度、增加工人收入等方法，公司就能够提高产能、降低单位成本、保证质量、减少工艺缺陷。

3.1 9种主要的操作分析方法

在管理方面,人们最普遍的看法之一可能是管理问题的惟一性。因此,很多人都觉得任何新方法都是不切实际的。实际上,所有的工作,无论是文书、日常维护、行政、机加工、装配,还是一般性的工作,包括生产性的与非生产性的,几乎是相同的。正如 Gilbreth 夫妇所定义的那样(见第4章),所有工作都是由17个基本要素组合而成的。例如,操作一台六角车床和驾驶一辆汽车所使用的要素是非常相似的;处理脚手架和某些手工检查与装机动作几乎一样。所有的工作在许多方面都是相似的原理表明:如果工作方法能在一个工厂得到改善,那么就存在改善所有工厂的工作方法的机会。

就像我们在第1章里所描述的,系统方法的运用在创造收益方面的价值是无法衡量的。系统分析的首要步骤是搜集所有与预期工作有关的信息。为了确定改进现有工作方法或规划新的工作所要投入的时间与精力,分析人员需要估计期望工作量、重复交易的可能性、工作周期、设计变更的可能性以及该工作内容。如果某项工作的作用非常大,那么就要对它进行更详细的研究。

一旦工作量、工作周期、劳动内容得到评估,操作分析人员就会搜集所有的实际制造信息。这些信息包括所有的操作、用来实现这些操作的设施以及操作时间;所有的移动或运输、运输设备以及距离;所有的检验、检验设备以及检验时间;所有的存储、存储设备以及存储时间;所有的供应商操作以及价格;所有的图纸、质量以及设计说明书。搜集完所有这些影响质量及成本的信息以后,分析人员必须把它们用适合进行研究的形式表达出来。最有效的表达方法之一就是运用我们第2章所介绍的各种图表工具。分析人员应该评价图表中的每一项操作和检验,并且应该提出一系列的问题,其中最重要的就是问“为什么”。

- (1) “这个操作为什么是必要的?”
- (2) “这个操作为什么以这种方式进行?”
- (3) “这些公差为什么会如此的接近?”
- (4) “为什么使用这种材料?”
- (5) “为什么分配这类操作者做这项工作?”

这些“为什么”的问题会立刻使人引起其他的问题,包括“怎么样”、“谁”、“何地”和“何时”。因此,分析人员或许会问:

- (1) “这个操作怎么样才能做得更好?”
- (2) “谁最胜任这个操作?”
- (3) “这个操作何地完成可以降低成本或改进质量?”
- (4) “这个操作何时完成可以尽量避免物料搬运?”

例如,对图2-8所示的操作程序图,分析人员会提出如表3-1所列的问题来决定所提

表 3-1 在电话亭加工中需咨询的问题

问 题	方法改进
1. 规格为 $1.5\text{ in} \times 14\text{ in}$ 的白枫木能够在无多余面积成本的情况下购买到吗?	消除不是 14 in 整数倍数的长度的废料。
2. 所购买的枫木板的周边光滑和平行吗?	消除第 2 个操作: 端部连接。
3. 可以买到符合厚度要求且至少有一面刨平的木板吗? 如果是这样, 额外的成本是多少?	减少刨去多余尺寸这一步。
4. 两块木板能放在一起同时锯成 14 in 长的木料吗?	节省第 4 个操作时间 18%。
5. 在第一个检测站, 我们废弃了多少木板?	如果百分比低, 可以考虑取消此检测站。
6. 工作台上需要全部磨光吗?	只磨工作台上的一面, 以减少时间(第 5 个操作)。
7. 规格为 $1.5\text{ in} \times 3\text{ in}$ 的黄松木能够在无多余面积成本的情况下购买到吗?	消除不是 12 in 整数倍数的长度的废料。
8. 所购买的黄松板的周边光滑和平行吗?	消除端部连接操作。
9. 可以买到符合厚度要求且至少有一面刨平的窗台木板吗? 如果是这样, 额外的成本是多少?	减少刨去多余尺寸这一步。
10. 两块以上的木板能放在一起同时锯成 14 in 长的木料吗?	节省第 9 个操作时间 10%。
11. 在窗台的第一个检测站, 我们废弃了多少?	如果百分比低, 可以考虑取消此检测站。
12. 窗台全部磨光是必需的吗?	减少磨光范围以减少时间(第 10 个操作)。
13. 规格为 $2.5\text{ in} \times 2.5\text{ in}$ 的白枫木能够在无多余面积成本的情况下购买到吗?	消除不是 16 in 整数倍数的长度的废料。
14. 可以使用比 $2.5\text{ in} \times 2.5\text{ in}$ 更小的规格吗?	减少材料成本。
15. 所购买的白枫木板的周边光滑和平行吗?	消除端部连接操作。
16. 可以买到符合厚度要求且至少有一面刨平的腿木板吗? 如果是这样, 额外的成本是多少?	减少刨去多余尺寸这一步。
17. 两块以上的木板能放在一起同时锯成 14 in 长的木料吗?	节省第 15 个操作时间。
18. 在支腿的第一个检测站, 我们废弃了多少?	如果百分比低, 可以考虑取消此检测站。
19. 支腿全部磨光是必需的吗?	减少磨光范围以减少时间(第 16 个操作)
20. 工作夹具方便把窗台装在上面吗?	减少安装时间(第 11 个操作)。
21. 安装的第一个检测站可进行抽样检查吗?	减少检查时间(第 4 个操作)。
22. 在涂漆后必须进行磨光吗?	取消第 19 个操作。

出的工作方法改进的可行性。回答这些问题有助于操作的删减、合并和简化。

在获得这些问题答案的同时,分析人员会意识到有助于改善的其他问题。一个想法往往会产生出其他更多的想法,而有经验的分析人员通常可以提出多个改进方案。分析人员必须具有开阔的思路,这样以前的失败就不会影响到对新想法的尝试。

当使用这9种主要的操作分析方法研究单独的操作时,注意力就会集中到那些最有可能得到改进的细节上。然而,并不是所有的这些方法都可以应用到流程图中的每一项活动中去,但是常常需要考虑一种以上的方法。一个推荐的分析方法是考虑现有方法的每个环节并分析,针对所有的关键因素采用一种特定改进方法进行清晰的分析。用同样的方法分析随后的操作、检验、搬运、存储等。当每一个要素都分析完后,把生产流程看成一个整体,然后重新考虑所有的关键因素并寻找整体改进的可能性。每个工厂往往都会存在着无限的方法改进机会。为了最大限度地创造利润,我们必须仔细地研究单独的及总体的操作。合格的工程师和相关的分析人员把这种方法应用在任何地方都能产生有益的结果。

3.1.1 操作目的

操作目的是操作分析的九个要点中最重要的一个。简化操作的最佳途径是设计出在无额外成本的情况下得到同样或者更好效果的方法。分析人员常使用的一个重要准则是在尝试改进操作之前,首先尝试将它取消或者合并。我们的经验表明,在美国的工业界,如果对操作的设计与流程进行充分的研究,多达25%的操作都可以被取消。

如今,我们在生产之中做了太多不必要的工作。在许多实例中,任务或者流程不是应该简化或改进,而是应该被彻底取消。取消一个生产活动,会节省实施改进方法的费用,并且由于无须开发、测试及实施改进方法,因此不会中断或延误生产。当一个不必要的任务或活动被取消时,操作者无须接受适应新方法的培训,对改变的抵制也降至最小。至于书面工作,分析人员在开发表格传递信息之前,首先应该问“这个表格真的需要吗”。现代的电脑控制系统应该可以减少各种书面工作的产生。

不必要的操作经常是由于工作启动之初缺乏适当的规划而造成的。一旦建立了一个日常标准,它就很难被改变,即使这种改变会取消一部分多余工作,使工作更加容易进行。在规划新工作时,只要产品存在因缺少某道工序而成为次品的可能性,设计人员往往会加上该工序。例如,在钢轴车削生产中,如果出现是采用两次还是三次切削完成 40×10^{-6} in 的精密加工的问题,设计人员一定会选择3次切削,尽管可以通过采用合适的刀具、进给量与转速在切削两次后完成。

不必要操作的产生,通常是由于前项操作的不完善而引起的。下一项的工作必须“修补”前项工作使之满足要求。比如在一个工厂里,电枢在夹具中进行喷漆,由于受到夹具的遮挡,油漆不能被喷到电枢的底部。因此,我们就必须在喷漆之后对底部进行补喷。针

对这样一项工作进行研究,设计一种新型夹具可以一次装夹就完成电枢的全部喷漆工作。另外,比起以前一次只能进行一个电枢的喷漆工作,新方法可以同时对7个电枢进行喷漆。因此考虑到一个不必要操作可能因前项操作而引起的,分析人员可以取消该工作(见图3-1)。

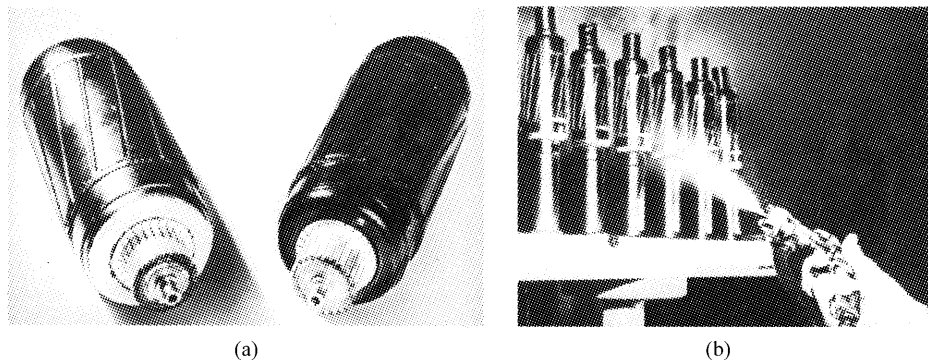


图 3-1 采用新型夹具为电枢喷漆

(a) 从原来的夹具上取下的喷漆电枢(左)和从改进后的夹具上取下的喷漆电枢(右);

(b) 在喷漆夹具上的电枢的底部也可以完全喷上

另外一个例子,在大齿轮的加工中有必要在齿轮经过滚齿后进行手工打磨操作以去除轮齿上的纹路。一项研究表明,一天中的温度变化带来齿轮的收缩与膨胀是造成轮齿表面纹路的原因。公司通过密封单元将加工设备密封和安装空调系统来保持全天温度基本不变,轮齿上的纹路也就随之消失,因此手工打磨的操作就不必要了。

取消一个操作时,分析人员应该询问并且回答如下的问题:“外包能使这项操作更加经济吗?”在一个例子中,外购的滚珠轴承在装配之前必须涂脂包装。一项对轴承供应商的研究表明,“终生密封”的轴承可以从其他供应商处以更低的价格购得。

本节所示例子强调了在试图改进操作之前必须明确每项操作的目的。一旦确定了操作的必要性,剩下的九个操作分析步骤有助于明确如何改进。

3.1.2 零件设计

方法分析人员常常会有一种倾向性,他们认为一旦接受一项设计,他们惟一的任務就是设计出它的经济生产方式。尽管在设计中引进一个微小改变也可能很困难,但一个好的方法分析人员还是应该评估每个设计改进的可能性。我们可以改变设计,如果这种改变能够为工作带来改进并且是有意义的,那么我们就应该做出这种改变。

为了改进设计,分析人员应该时刻牢记以下用于低成本零部件设计的几个要点:

(1) 简化设计,以减少零件的数目。

- (2) 更好地连接零件,或使加工与装配更加简便,以减少操作次数和生产运输距离。
- (3) 选择更好的原材料。
- (4) 放宽公差,依靠关键操作而不是通过一系列过紧的公差来保证精度。
- (5) 设计要考虑工艺性和装配性。

通用电气公司对最低成本设计思想做出了总结,如表 3-2 所示。

以下方法改进的例子就是在努力改进设计时考虑到了使用更好的原材料和工艺。

(1) 导管盒原本是用铸铁制造的。设计经过改进后,使用了钢板来制造导管盒,这样它就变得更加结实、灵巧、轻便,并降低了成本。

(2) 曾经用四步工艺来弯曲一个零件,使其成为所需的形状(见图 3-2)。这种方法效率低,同时会在弯曲处产生内部应力。设计经过细微地改进后,即可采用低成本的挤压工艺,再将挤压段切至合适长度。新的工艺取消了 3 个步骤。

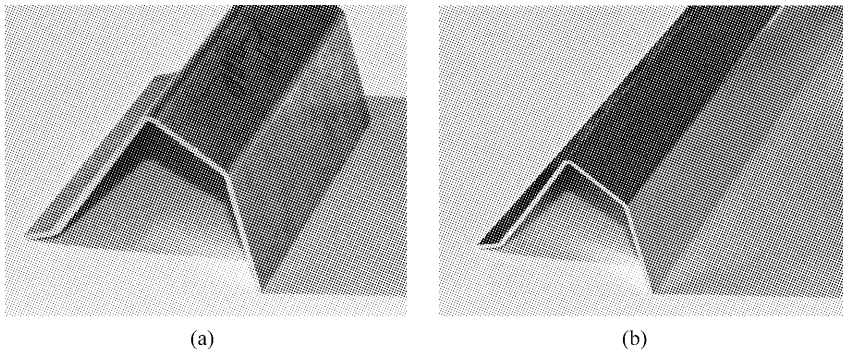


图 3-2 重新设计零件消除 3 个步骤

(a) 使用四步工艺将毛坯弯成所需形状。此方法效率低且易产生内应力;

(b) 一步挤压成形然后切至合适长度

(经 Alexandria Extrusion 公司授权使用)

(3) 在将导线与接线夹进行装配时,我们可以通过更好的连接方式来简化设计。原来的装配方法是要将接线夹末端卷起,使其形成槽状。首先在槽中填入焊料,然后在金属导线上涂上焊锡后插入充满焊料的槽中,再进行焊接直到焊料凝固。经过改进的设计,采用电阻焊的方法将接线夹和导线连接在一起,取消了成形与浸渍两项操作。

(4) 原始的部件被设计成由 3 个零件构成,需要进行装配。一种成本更低的方法是将其设计成一个整件进行加工,从而取消了两个零件和若干操作,如图 3-3 所示。

就像通过更好的产品设计,有机会提高生产率一样,类似的机会也存在于改进在工业或商业运用的表格(无论是硬拷贝表格还是电子表格)的设计之中。一个表格,一旦被证明是必要的,我们就应该对它进行研究,以便改进它的主要内容和信息流方式。以下是进

表 3-2 最小成本设计方法

铸件	成形件	装配件	机加工件	注塑件	冲压件
1. 消除干砂(烘干砂)模芯。 2. 最小化深度以获得更平整的铸件。 3. 在满足厚度要求的情况下,尽量减少重量进行无骤冷方式铸造。 4. 选择简单的结构。 5. 采用对称的结构以保证均匀的收缩。 6. 采用圆角过渡,避免尖角。 7. 如果表面之间相对位置要求精确,则应尽可能使它们属于同一个模型。 8. 合理设计分型线以保证零件外观和性能,避免通过研磨手段消除毛刺。 9. 采用复合模型代替单一模型。 10. 金属模型优于木模。 11. 永久性铸型代替金属模型。	1. 拉伸件代替螺旋压、焊接或锻造件。 2. 尽可能采用浅拉伸。 3. 在拐角处采用过渡圆角。 4. 零件折弯代替拉伸。 5. 用线或带制造零件以代替钣金冲压	1. 自攻螺钉代替标准螺钉。 2. 带动销代替标准螺钉。 3. 铆钉代替螺钉。 4. 中空铆钉代替实心铆钉。 5. 点焊或多点凸焊代替铆接。 6. 电焊代替铜焊或锡焊。 7. 采用压制件或模制件代替由几个零件组成的装配结构。	1. 采用机加工工艺代替成形工艺。 2. 采用自动化或半自动化加工代替手动操作。 3. 减少零件肩部数量。 4. 尽可能省略精加工。 5. 在允许时尽可能采用粗加工。 6. 工厂在测量和检验尺寸时采用相同点的尺寸。 7. 采用无心研磨代替有心研磨。 8. 避免锥形和成形轮廓。 9. 允许肩部有圆弧或退刀槽。 螺纹车削件	1. 避免零件有凸起。 2. 用最少的零件设计注塑模。 3. 使用简单的形状。 4. 合理设计分模线,避免对飞边进行修理和打磨。 5. 使重量降至最小。	1. 使用冲压件代替注塑、铸造、机加或装配件。 2. 嵌套的冲压件节省材料。 3. 相互之间需要精确定位的孔应在同一冲模上完成。 4. 设计使用卷材。 5. 设计时,用最少的冲压次数达到最短的剪切长度和最大的冲模强度。
	3. 设计螺栓头代替车削螺纹。 4. 使用滚制螺纹代替切削制螺纹。 焊接件 1. 装配结构代替铸造或锻压成形。 2. 最小化焊接的尺寸。 3. 采用水平位置的焊接,避免垂直或高空焊接。 4. 焊接前消除倒角边。 5. 使用气割轮廓代替机加轮廓。 6. 使用标准矩形板切割,避免产生废料。 7. 使用间歇焊接代替连续焊接。 8. 设计圆弧或直线焊接以便使用自动化焊接机。 处理和抛光 1. 尽量减少烘干时间。 2. 使用空气干燥代替烘干。 3. 使用更少或更薄的涂层。 4. 彻底消除处理和磨光。 装配 1. 使装配简单。 2. 紧进装配。 3. 消除试装配,保证一次成功。 4. 保证组件装配一次成功,避免调整。这要求图纸必须正确,并具有适当的公差,零件严格按照图纸加工。 通用原则 1. 减少零件数量。 2. 减少操作数量。 3. 制造过程中减少移动距离。				

资料来源: Adapted from American Machinist, reference sheets, 12th ed., New York: McGraw-Hill Publishing Co.

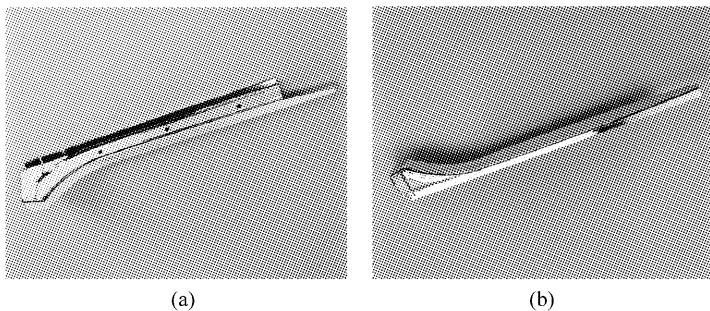


图 3-3 重新设计零部件以消除多个零件

- (a) 原始部件由 3 个零件组成,必须进行装配(经 Alexandria Extrusion 公司授权使用);
 (b) 改进后只有一个零件且可作为整件加工(经 Minister Machine 公司授权使用)

行表格开发的常用原则:

- (1) 表格要设计得尽量简单,保持必要的输入信息量最小。
- (2) 为信息预留足够的空间,并允许采用不同的输入方法,比如手写、打字机和文字处理软件等。
- (3) 按照一定的逻辑方式将输入信息排序。
- (4) 表格要标上色码以便于分配和路径规划。
- (5) 页面预留足够的空白,以便于归档。
- (6) 将计算机表格的长度限制在一页。

3.1.3 公差与规格

操作分析的第三个要点涉及到与产品质量有关的公差与规格,即它们满足给定需要的能力。尽管我们在评价设计时一直考虑公差与规格,通常这还不够。我们使用操作分析的其他方法也应分别对其进行考虑。

在进行产品开发时,设计者往往倾向于制订严格规格,而不是从必要性的角度进行考虑。这可能是由于对成本知识的缺乏,以及觉得有必要指定比实际中生产部门生产所需的公差范围更严格的公差和规格。

方法分析人员应该对成本的细节有很好的了解并充分意识到不必要的严格公差与/或废品可能对产品价格造成的影响。图 3-4 举例说明了成本与加工公差之间的关系。如果设计者毫无必要

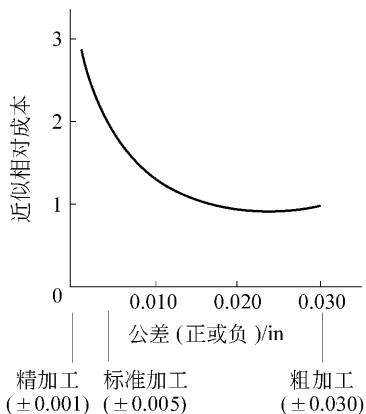


图 3-4 加工成本与公差之间的近似关系

地制订严格的公差与规格,管理者就需要对设计者开展关于公差和规格经济性方面的培训。同样,分析人员也应该考虑废料与不合格品造成的产品额外成本。如今,公司提高竞争力的惟一办法是:每个产品的所有零件都必须按照给定的图纸精确地制造出来。以低成本开发高质量产品是1986年田口(Taguchi)提出的质量方法的宗旨。这种方法通过优化产品设计和加工手段,把工程与统计方法结合起来,以便在成本和质量两个方面获得改进。

一个厂商的制造图纸中,要求直流电机轴里面的轴肩挡圈公差为0.0005 in。原始的标准要求内径为1.8105~1.8110 in。人们认为如此严格的公差是必要的,因为轴肩挡圈是通过过盈配合而紧固在电机轴上的。但是研究显示,0.003 in的公差已经足以满足过盈配合的要求。因此马上对图纸进行修改,确定内径为1.809~1.812 in。这个改变意味着可以取消铰孔操作,因为有人质疑严格公差的必要性。

分析人员也必须警惕太过宽松或太紧的公差规格。闭合公差通常有助于装配操作与一些其他的后续操作,这在经济上可能是可行的,即使这也许会增加预装配操作所需的时间。在这种情况下,分析人员应该知道:总体公差等于所有构成公差平方和的平方根。

分析人员也应当考虑理想的检验程序。检验是对产品数量、质量、尺寸以及性能的验证。这种检验可以由多种技术来完成:现场检验、批量检验或者全检验。现场检验是一种定期的检查,以保证制定的标准得以实现。例如,对冲床的非精密冲裁和冲孔操作进行现场检验,以保证尺寸合格和无毛刺出现。当冲模开始磨损,或者当正在加工的原材料有缺陷时,现场检验会及时发现问题并做出必要的改进,从而避免产生大量的废品。

批量检验是一种抽样方法,它通过对一个样本进行检验来确定生产过程或生产批量的质量。样本的大小取决于允许的废品率以及生产批量大小。全检验就是对所有的产品进行检验,并丢弃废品。然而,经验表明这种检验方式并不能保证产品全部合格。单调筛选工作会引起疲劳,因此降低操作者的注意力。检验员就可能会忽略掉某些废品,或者废弃掉合格品。由于全检验并不能保证产品百分之百的合格,更加经济的抽样检验或者现场检验方法是保证产品质量的一种可行方法。

例如,在一个工厂车间里,某个自动抛光操作,正常的废品率为1%。对每批抛光产品进行全检验,费用会很昂贵。因此管理层决定,考虑到实际情况,1%的废品率是可以接受的,即使这些有缺陷的材料经过电镀及精加工等操作,在发货前的最终检验会被废弃。

通过对公差和规格的研究,只要采取合适的行动,公司就可以减少检验费用,使废料最小化,减少维修费用,并且保持高质量。

3.1.4 材料

工程师在设计一个新产品时考虑的首要问题就是应该使用哪种材料。由于可供选用

的材料种类繁多,因此选择一种合适材料就会很困难,比较切合实际的方法就是材料在现有的设计之中采用一种较好和较经济的。

方法分析人员在某一工艺中应该考虑其直接或间接使用的材料的如下可能性:

- (1) 寻找更廉价的材料。
- (2) 寻找更易于加工的材料。
- (3) 更经济地使用材料。
- (4) 选用可回收的材料。
- (5) 更经济地使用耗材和工具。
- (6) 标准化材料。
- (7) 从价格和供应商库存的角度选择最好的供应商。

1. 寻找更廉价的材料

在工业界,开发加工与处理材料的新工艺是一个永恒的主题。月刊上总结了每磅钢片、钢棒和钢板的近似成本,铸铁、铸钢、铸铝和铸铜的近似成本,热塑性塑料和热硬化树脂的近似成本,以及其他基本材料的近似成本。这些成本可以作为判断新材料应用的依据。以前在价格上不具有竞争优势的材料在今天可能具有很强的竞争力。

一家公司使用胶木棒来隔离变压器线圈的绕组以便空气在绕组之间循环。一项研究表明,采用玻璃管来取代胶木棒将降低很多成本。玻璃管价格比较低,且耐高温,因此可以更好地满足功能要求。此外,中空的管型材料比实心的胶木棒更加便于空气的循环。

另一家公司在配电变压器的生产中选用了价格低且满足功能要求的材料。起初公司使用瓷盘来分离和控制从变压器中出来的引线,后来公司发现绝缘纸板既耐用又能满足功能要求,同时相当便宜。

目前许多塑料可以和金属与木材相媲美。图 3-5 展现了机械式汽油泵计数轮应用材料的变化情况。通过把部件中两个零件的材料从钢转变为塑料,公司一个零件可以节省 13 美分,同时一年可以节省工具维修费 10 000 美元。棘爪起初采用钢板加工,必须经过冲压、翻转和研磨工艺以满足公差要求。新式棘爪采用聚甲醛树脂通过注射成形来制造。同样对压铸钢齿轮经过重新设计,可以采用热塑性材料通过注射成形来制造。新式机械泵计数轮部件不仅节约生产成本 13 美分,而且具有高可靠性、免维修和使用寿命长等优点。

分析人员应该知道像阀、继电器、汽缸、变压器、管接头、轴承、耦合器、链条、铰链、五金器具以及电机等零部件通常可以以比自己生产低的成本外购得到。

2. 寻找更易于加工的材料

有一些原材料通常会比其他的材料易于加工。查阅手册中材料的物理特性,分析人