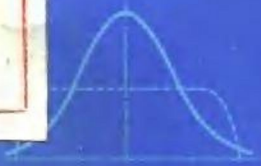


产品设计 开发的 质量管理

王忠铭编著

6.3



上海科学技术出版社

产品设计开发的质量管理

王忠铭 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.25 字数 137,000

1984 年 9 月第 1 版 1984 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—20,000

统一书号: 15119·2319 定价: 0.91 元

内 容 提 要

本书叙述设计、技术部门进行产品设计和工艺设计的质量管理方法和产品制造过程中的动态质量管理方法。

本书共分七章,内容包括:质量概念、线外质量管理、方差分析、正交试验、信噪比、参数设计的实际应用和线内质量管理。

本书内容新颖、概念清楚,通过典型实例的剖析具体介绍参数设计在寻求最佳工艺参数,评价产品质量,评定计测误差,可靠性试验与动态特性设计等方面的应用。同时又介绍了怎样对生产工序进行诊断、调节、改善及检查设计,从而使工序故障率最小,经济效果又很好的工序质量控制设计。可供设计和技术部门的科技人员以及管理干部阅读。也可供高等院校工科和管理专业师生参考。

前 言

随着生产的发展,人们对产品质量有了新的认识。现在产品质量的概念不仅是指产品要符合各项技术指标,而且要有效率高、价格低、使用稳定可靠这些适合用户实用需要的特性。产品这些特性的形成不仅与制造质量有关,而且更需有一个好的设计质量(包括产品设计与工艺设计)。设计质量是形成产品质量的关键第一步,只有提高设计质量才能从根本上提高产品的内在质量。

日本田口玄一博士总结了一套适合设计、技术部门进行产品设计和工艺设计的质量管理方法(又称线外质量管理方法)和产品制造过程中的质量管理方法(又称线内质量管理方法)。

线外质量管理方法的重点是在产品设计过程中,紧密地把专业技术与统计技术相结合,在保证达到产品输出特性(即产品的性能、功能等)的前提下,充分利用各种设计参数与输出特性的非线性关系,采用系统设计、参数设计和允许差设计的三阶段优化设计方法,从设计上控制批量产品的输出特性和质量波动。这是一种可以在原材料、零部件波动较大,加工装备较差的情况下,或出于经济考虑,在不宜压缩原材料和零部件波动幅值的情况下,仍能保证产品最终输出特性的一种稳定性优化设计方法。

线内质量管理方法是通过对生产工序的合理诊断、调节、改善与检查设计,使生产工序的质量管理达到效果好、费用低

的目的。

近二年来上海机电系统多次邀请田口玄一博士等专家来沪讲学、指导。到目前为止已有一批企业运用这些先进的设计方法对产品的结构设计以及重大质量问题的攻关等方面进行了试点,并有一批课题取得了良好的技术经济效果。

例如:在生产 320 kgf/cm^2 高压轴向柱塞泵的过程中,运用线外质量管理方法,通过安排必要的试验找到了最佳的摩擦付设计参数组合。经过近 20 个月四千多台的批量生产验证,效果良好,解决了长期存在的油泵异常发热的老大难问题,并使容积效率从原来 83.4% 提高到 87.4%;关键零件止推板与斜盘的不平度可以从 5 微米放宽到 10 微米,取得了很好的技术效果与经济效益。

又如汽车用化油器,为了保证在输出马力与扭矩不变的前提下进一步降低油耗,用线外质量管理方法对大中小喉管、功率量孔等设计参数进行了参数设计与计算。通过设计选优,使化油器油耗从原来 245 克/(马力·小时)减少到 225 克/(马力·小时)。

综上所述,线外线内质量管理方法对提高设计质量、改善现场管理是有很大作用的。这种方法值得认真学习和努力推广。为考虑到工厂的实际应用,本书通过一些典型实例剖析,具体介绍各种情况下的计算设计方法。

本书编写过程中,中国科学院刘璋温研究员曾给予热情指导,在此表示感谢。

由于本人学识有限,不妥之处望读者批评指正。

目 录

第一章 质量概念	1
§ 1.1 质量管理费用	3
§ 1.2 质量波动	6
§ 1.3 质量措施	9
第二章 线外质量管理	11
§ 2.1 系统设计和参数设计	14
§ 2.2 允许差设计(三次设计)	17
第三章 方差分析	22
§ 3.1 一元配置法	22
§ 3.2 二元配置法	31
§ 3.3 应用正交多项式的方差分析实例	37
第四章 正交试验	44
§ 4.1 正交表	44
§ 4.2 点线图的应用	48
§ 4.3 正交试验的技巧	53
第五章 信噪比	79
§ 5.1 SN 比公式一	82
§ 5.2 SN 比公式二	85
§ 5.3 SN 比公式三	92
§ 5.4 SN 比公式四	95
§ 5.5 SN 比公式五	98
第六章 参数设计的实际应用	100
§ 6.1 在寻求最佳工艺参数中的应用(考虑稳定性)	100
§ 6.2 在测量误差评价中的应用(计测误差)	106

§ 6.3	在可靠性设计与试验中的应用	110
§ 6.4	在评价产品质量中的应用	114
§ 6.5	对动态特性的估价与在设计中的应用 (考虑动态特性)	119
第七章	线内质量管理	135
§ 7.1	工序诊断、调节和改善	135
§ 7.2	工序的检查和处理	153
附录	165
表 I	F 分布表	165
表 II	正交多项式表	173
表 III	Ω 变换表	176
表 IV	分贝表	183
表 V	正交表	187
参考书目	193

第一章 质量概念

随着质量管理活动的深入和发展,人们对质量和质量管理有了更深的认识。过去认为产品符合某项标准或技术条件就是质量好的;现在从新的质量概念来讲,一个工厂要不断求得企业的发展,增强产品竞争能力,必须用“广义的质量”来开展质量管理,以取得高质量的产品。那么什么叫广义的质量呢?

从产品的使用上来看,除了指产品的一般性能指标以外,还包括产品的寿命、可靠性、经济性等指标。例如制造一台电动机不仅要有效率高的输出特性,还必须具有寿命长、过载能力强以及制造成本低这样一些特点。

从工厂的经营来看,除了要抓好产品质量以外,还必须有一个很好的管理工作质量。只有这样,才能达到质量好、成本低、交货及时的目的。

从质量的形成过程来看,产品质量取决于设计质量、制造质量及使用质量。因此质量管理工作必须从原来单纯的抓制造质量向抓设计质量和使用质量这一头一尾扩散。

综上所述,要制造高质量的产品必须要有好的设计质量和制造质量。制造工厂的责任就在于用最低的成本生产符合设计质量要求(公差等)的产品。然而,更重要的不仅要符合设计的公差,而且要努力使产品尽可能接近于设计目标值,即达到设计公差的中心值。现举日本索尼公司与美国加州圣地亚哥索尼公司生产的彩色电视机质量对比资料来说明。他们对

电视机彩色的均匀程度进行了比较，发现虽然两家公司用的是同样的设计图纸，但是美国索尼公司生产的电视机彩色均匀度不好，连美国人也愿意买日本索尼公司的产品。基于这一事实，美国索尼公司经过分析研究，找出了它们之间的差别。

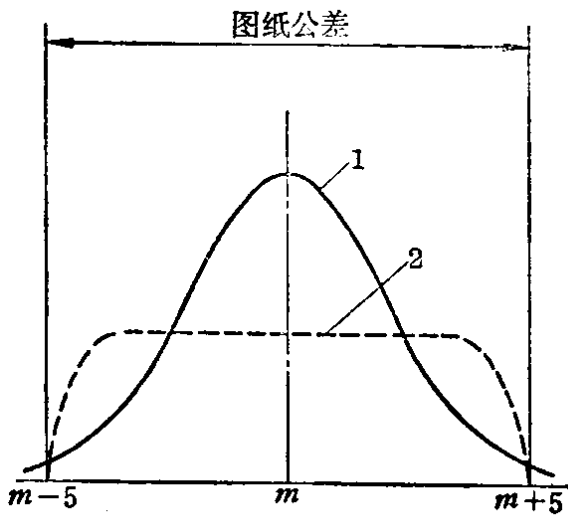


图 1-1 电视机彩色分布特性

日本与美国的电视机彩色均匀度分布特性见图 1-1。图中 m 为彩色均匀度设计中心值； $m \pm 5$ 为制造公差范围；曲线 1 为日本索尼公司产品的分布；曲线 2 为美国索尼公司产品的分布。由图可知，日本索尼公司的产品属正态分布，它的不合格品率约为 0.3%；而美国索尼公司的产品属均匀分布，它的不合格品率为零。为什么用户喜欢日本的产品呢？由图可见，日本产的电视机质量分布几乎达到了以设计目标值为中心的正态分布，此时的标准偏差约为公差的 $\frac{1}{6}$ （即公差为 10 时其标准偏差为 $\frac{10}{6}$ ）。在质量管理中，常用工程能力系数 C_P 来衡量质量的好坏。当 $1 < C_P < 1.33$ 时，说明工程能力适当产品质量属于被控状态，即质量相当稳定。当 $C_P < 1$ 时，说明质量不稳定，需加改进。此时日本产品的工程能力系数为

日本索尼公司产品的分布；曲线 2 为美国索尼公司产品的分布。由图可知，日本索尼公司的产品属正态分布，它的不合格品率约为 0.3%；而美国索尼公司的产品属均匀分布，它的不合格品率为零。为什么用户喜欢日本的产品呢？由图可见，日本产的电视机质量分布几乎达到了以设计目标值为中心的正态分布，此时的标准偏差约为公差的 $\frac{1}{6}$ （即公差为 10 时其标准偏差为 $\frac{10}{6}$ ）。在质量管理中，常用工程能力系数 C_P 来衡量质量的好坏。当 $1 < C_P < 1.33$ 时，说明工程能力适当产品质量属于被控状态，即质量相当稳定。当 $C_P < 1$ 时，说明质量不稳定，需加改进。此时日本产品的工程能力系数为

$$C_{P日} = \frac{\text{公差}}{6 \times \text{标准偏差}} = \frac{10}{6 \times \frac{10}{6}} = 1$$

美国索尼公司的电视机虽然不合格品比日本产品少，而公差

范围内的产品均匀分布在整个区间中。此时均匀分布的标准偏差可用公差 $\frac{1}{\sqrt{12}}$ 来表示，即当公差为 10 时，其标准偏差为 $\frac{10}{\sqrt{12}}$ 。因此美国产品的工程能力系数为

$$C_{P美} = \frac{\text{公差}}{6 \times \text{标准偏差}} = \frac{10}{6 \times \frac{10}{\sqrt{12}}} = 0.577$$

根据分析指出，美国产品的质量低于日本。

通过上例可以说明，符合公差要求的产品并不一定都是用户满意的好产品，更重要的还要看产品质量特性是否接近于设计公差的中心值。

因此，工厂产品质量的好坏，不能单纯看是否符合公差。公差只是人为决定的判断标准，并不表示产品内在质量的好坏；而内在质量的好坏主要由质量特性偏离设计中心值的大小来决定。根据质量特性偏离设计中心值的情况又可以用质量管理费用来表示，确切地说质量的好坏可以用产品给社会造成的损失大小来评定。

§ 1.1 质量管理费用

设计人员在决定产品的特性值时，要考虑中心值设在何处，公差范围应取多大这样二个问题。合理的设计就应当对质量和成本进行综合评价，掌握每一产品的质量管理费用，然后决定设计的参数。

例如某绝缘材料，原来的设计厚度中心值为 1 毫米，此时的质量管理费用 $L(y)$ 为最小。现来分析一下中心值的变更与 $L(y)$ 的变化情况，见图 1-2。图的纵坐标表示质量管理费用；横坐标表示绝缘材料的厚度； $m=1.0$ 为设计中心值； $m \pm \Delta$

为设计的公差范围,此例为 1.0 ± 0.2 毫米。 C 为工厂制造成本曲线; Q 为用户损失费用曲线; $L(y)$ 为质量管理费用。从

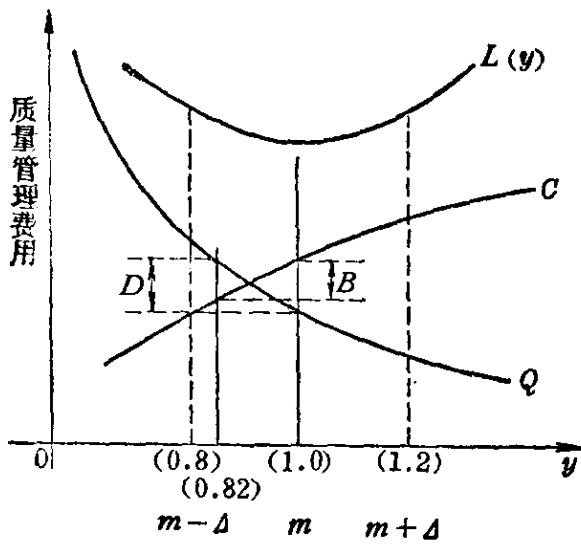


图 1-2 质量管理费用和厚度的关系

图 1-2 可见, $L(y)$ 的大小是 C 、 Q 二条曲线的合成, 当厚度达到设计中心值 m 时其损失为最小。

某厂为了降低制造成本, 通过提高工程能力, 使生产的绝缘材料厚度波动可以严格控制在 0.02 毫米范围内。原设计要求厚度为 1.0 ± 0.2 毫米, 即厚度

从 0.8~1.2 毫米都是合格产品。因此工厂想把厚度中心值从 1.0 毫米移到 0.82 毫米, 从而降低工厂的制造成本。这样做是否合理呢? 从图 1-2 可见, 当厚度中心值增大, 工厂所化的材料费、加工费、搬运费等的制造成本将提高。另一方面, 如将厚度减小, 则随着牢度的下降用户的修理损失等费用将增大。当厚度从 1.0 毫米变成 0.82 毫米, 从图 1-2 可见, 工厂的制造成本将下降 B 元, 不过此时用户的损失将增加 D 元, 并且 $D > B$ 。所以对制造工厂来讲, 不能采取减少绝缘材料的厚度来降低成本。因为这样将增加用户的损失, 用户不欢迎这样的产品。

产品的设计中心值决定以后, 其次就要确定合理的公差。从图 1-2 可见, 随着特性值 y 与中心值 m 的偏离增大, 损失也将增大。同时, 当尺寸超出规定值 $m \pm \Delta$ 时, $L(y)$ 迅速增大, 产品将作为废品处理。

质量管理费用的计算可用下式表示, 即

• 4 •

$$L(y) = K(y - m)^2$$

式中 K 为比例常数，它由超差后的损失 A 与公差范围一半的平方即 Δ^2 的比值来决定，因此 $K = A/\Delta^2$ 。

仍用美国索尼公司与日本索尼公司产品的质量对比来说明。假定彩色电视机超出了公差极限范围时的修理费用为 $A=6$ 元。由于 $\Delta=5$ ，那么

$$K = \frac{A}{\Delta^2} = \frac{6}{5^2} = 0.24$$

因此质量管理费用

$$L(y) = K(y - m)^2 = 0.24(y - m)^2$$

在产品批量较大时可以将方差 σ^2 写成 $(y - m)^2$ 的平均值，即

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} [(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2]$$

因此又可改写成 $L(y) = K\sigma^2$

根据前面计算得到的各种数据

$$K = 0.24, \sigma_{日}^2 = (10/6)^2, \sigma_{美}^2 = (10/\sqrt{12})^2$$

可以列出损失情况对照表，见表 1-1。

表 1-1 损失情况对照表

	平均值	标准偏差	方差(σ^2)	质量管理费用 $L(y)$	不良品率
日本	m	10/6	$(10/6)^2$	0.67 元	0.27%
美国	m	$10/\sqrt{12}$	100/12	2.00 元	0.00%

从而可以看到，虽然日本索尼公司的不良品率比美国的高，但对这样的小概率事件可以通过市场服务及索赔来解决。这从技术上、经济上均是比较合理的。由于产品绝大部分集中于设计中心值，因此其损失只有美国索尼公司的 $\frac{1}{3}$ ，即日

本索尼公司的质量水平要比美国高出三倍。美国索尼公司曾想通过压缩制造公差来提高质量水平,结果未取得好的效果。假定美国索尼公司在质量分布不变的情况下,将原有公差压缩 $\frac{1}{3}$,即公差范围从原来的 10 压缩到 $10 \times \frac{2}{3}$ 。此时的损失

$$L(y) = 0.24 \times \left[\frac{10}{\sqrt{12}} \times \frac{2}{3} \right]^2 = 0.24 \times 3.704 = 0.89 (\text{元})$$

这样,损失比原来减少了 1.11 元,但仍比日本索尼公司高 0.22 元。由于只靠压缩公差、严格检查,调整更换部件等措施来保证出厂质量,原来的均匀分布不变,压缩了公差 $\frac{1}{3}$ 就意味着有 $\frac{1}{3}$ 的产品要重新通过调整、更换部件后出厂。由于更换部件重新调整每台成本将增加 8 元,则平均每台成本费将增加 $8 \times \frac{1}{3} = 2.42$ 元。即通过工厂提高制造成本 2.42 元只换来质量损失改善 1.11 元,这是很不合理的。

通过此例分析可以清楚看到,质量好坏可由质量管理费用来评定;而构成质量管理费用的主要项是 $(y-m)^2$ 。因此从这一点来讲,质量的中心问题是要解决偏离设计中心值的波动问题。

§ 1.2 质量波动

产品的质量特性随着环境因素、时间因素及条件因素的影响,特性值总是在波动。将作用在产品上影响其正常发挥目标功能的因素叫干扰杂音。干扰杂音一般可以分为外干扰杂音、内干扰杂音及零部件的波动杂音。

外干扰杂音:在产品使用或运行时,由于环境因素如温度、湿度、尘埃、电源电压等的波动或变化而干扰着产品质量

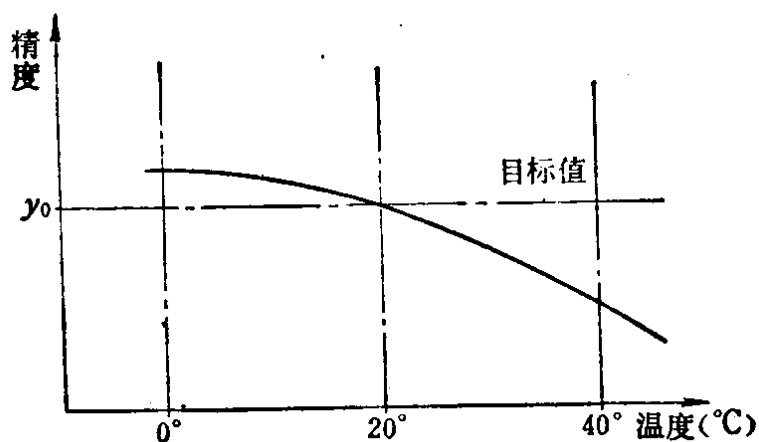


图1-3 外干扰波动

特性的稳定性,见图1-3。

例如某机床加工精度的设计目标值为 y_0 , 由于受温度的影响只有温度在 20°C 的情况下, 输出精度才达到设计目标值; 在大于或小于 20°C 时精度达不到目标值。当然, 这样的机床是经不起外干扰的不良产品。

内干扰杂音: 产品在存放和使用过程中, 随着时间的推移而发生磨损、老化后直接影响了产品的效率、精度保持性等, 把这些随时间推移而造成的劣化因素叫内干扰杂音。

仍以机床精度为例, 见图1-4。在运行一年至三年情况下, 精度还在较小范围内波动。但是由于某些零部件、组件的磨损、老化随时间而增加, 在运行了五年后, 该机床的精度已

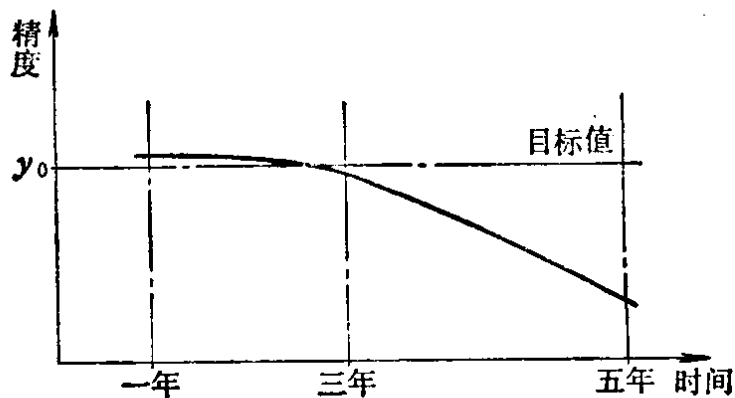


图1-4 内干扰波动

大大下降。这样的产品就是经不起内干扰的不良产品。

零部件、组件的波动杂音：在产品制造中，由于人的操作技能、材料、机器等因素的变化，会使零部件直至整机装配发生波动，这些因素造成的产品波动称为零部件的波动杂音。

机床在批量生产中由于人的技能、材料、机器均在变化，这将造成零部件间的差异，见图 1-5。

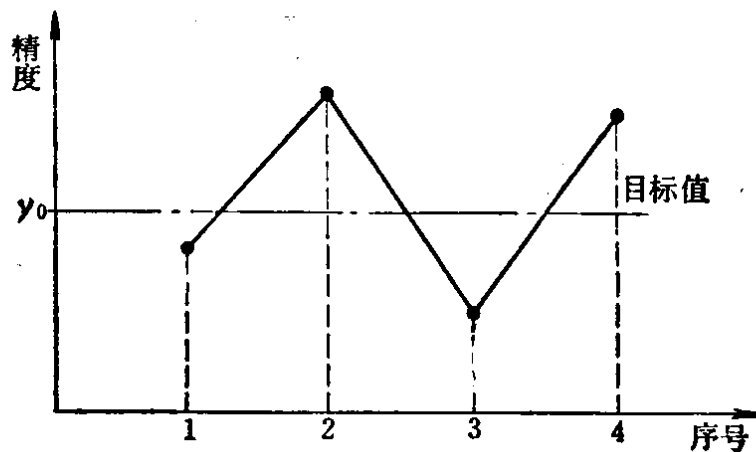


图 1-5 零部件间波动

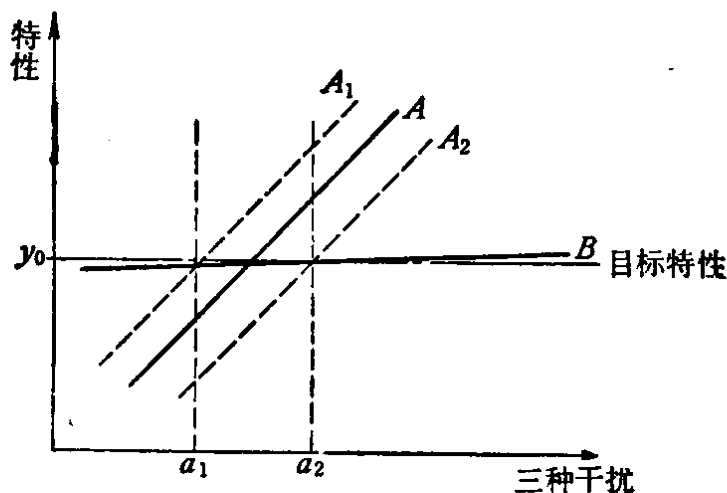


图 1-6 三种干扰情况下输出特性

经过上述分析可以看到一个质量好的产品必须有好的输出功能，即在承受三种干扰杂音的情况下，仍然保持稳定的输出特性。图 1-6 是在承受三种干扰情况下的特性值变化状

况。通过设计和制造，平行改变 A 的位置是比较容易实现的，而要把 A 的位置通过改变斜率变成 B 的状况则是很困难的。产品设计开发中的质量管理就要研究和解决这些课题。

§ 1.3 质量措施

通过质量管理费用和质量波动的讨论，可以看到产品质量的好坏是设计质量和制造质量的总和，它与产品形成全过程的质量管理有着密切的关系。

产品形成的全过程大体上可以分成下面几个阶段：

第一，产品规划阶段：根据市场的需要决定产品的功能和价格。

第二，产品设计阶段：一般可以分成系统设计、参数设计以及允许差设计三个步骤。系统设计是由专业设计人员根据市场对产品所需的性能、质量、价格情况进行功能设计。参数设计是运用参数组合与输出特性的非线性关系，通过采用正交试验，方差分析等统计技术对各种组合进行定量的计算分析，从而找出最佳输出功能的参数组合。允许差设计是在参数设计完成以后，通过计算质量管理费用，把质量与成本加以综合平衡的一种公差设计方法。

第三，工艺设计阶段：一般也可以分成系统设计、参数设计、允许差设计三个步骤。工艺阶段的系统设计主要是由工艺人员决定采用何种加工设备，怎样的加工工序等。工艺阶段的参数设计主要是在生产工序、生产设备已决定的情况下进一步选择合理的刀具和夹具的中心值。工艺阶段的允许差设计则主要决定工装、刀具和夹具的公差范围。

第四，生产制造阶段：主要是对生产现场进行及时的动态管理，包括工序的诊断、调节及改善和产品的检查设计。

第五, 产品销售阶段: 主要是搞好市场销售服务及市场情报的收集分析。

因此, 针对不同的干扰杂音, 相应的质量措施也是不同的。例如, 要解决内部干扰、外部干扰以及零部件间干扰必须在产品设计阶段采取措施。否则, 到了生产制造阶段即使采用好的材料、加工设备、零部件, 也很难保证整机产品的良好输出功能。各阶段的质量措施见表 1-2。

表 1-2 质量措施表

质 量 措 施			质 量 干 扰		
			外部干扰	内部干扰	零部件间干扰
线外质量管理	产品设计	系统设计: 决定产品的结构和材料	○	○	○
		参数设计: 决定最佳参数组合的中心值	○	○	○
		允许差设计: 决定产品适当的公差范围	△	○	○
	工艺设计	系统设计: 决定加工设备及工装	×	×	○
		参数设计: 决定加工速度及切削范围	×	×	○
		允许差设计: 决定工艺加工公差	×	×	○
线内质量管理	产品制造	工序诊断、调节与改善: 掌握工序动态, 及时进行修正、改善	×	×	○
		工序的检查和处理: 产品检查设计	×	×	○
	服务	对用户开展现场技术服务	×	×	×

注: ○ 表示起作用; × 表示不起作用; △ 作用不大。

国外一般把生产制造以前的质量管理称为线外质量管理, 把生产现场和技术服务的质量管理称为线内质量管理。因此线外质量管理就包括了产品设计、工艺设计过程的质量管理。以下各章将讨论线外、线内质量管理的基本方法。