



第三节 质量管理工具

【知识点】工序能力分析（案例重点）

（一）工序能力的概念

（1）工序能力是受控状态下工序对加工质量的保证能力，具有再现性或一致性的固有特性。

（2）当影响工序质量的各种系统性因素已经消除，由人（Man）、机器（Machine）、原料（Material）、方法（Method）、测量（Measurement）和环境（Environment）（简称5M1E）等原因引起的偶然性质量波动已经得到有效的管理和控制时，工序质量处于受控状态。



第三节 质量管理工具

(3) 生产过程中工序质量特征值的概率分布反映了工序的实际加工能力。

工序能力可用工序产品质量特性值的变动来衡量，用符号 B 表示，如工序产品质量特性值 X 的标准差为 σ ，则工序能力可表示为： $B=6\sigma$

一般情况下，产品质量的实际波动越小，意味着该工序加工质量一致性越高（反比）。因而 B 越小，工序能力越强。工序能力的大小应和质量要求相适应， B 值过小在经济性上往往是不合适的，因为这需要投入更多的资金、时间、人力等资源降低产品质量波动。



第三节 质量管理工具

(4) 工序能力指标的用途可分为以下3类

- ①选择经济合理的工序方案。以预测与质量标准的符合程度为标准确定工序工艺装备、工艺方法和检测方法。
- ②协调工序之间的相互关系。工艺设计时，要规定各道工序的加工余量、定位基准等，了解每道工序的能力更有利于工序设计。
- ③验证工序质量保证能力。分析工序质量缺陷因素，估计工序不合格率，控制工序实际加工质量。



第三节 质量管理工具

（二）工序能力指数

工序能力指数是表示工序能力满足产品质量标准的程度。

质量标准是指工序加工过程中产品必须达到的质量要求，通常用标准、公差（容差）、允许范围等来衡量，一般用符号T表示，其规格中心用M表示。

质量标准T与工序能力B的比值称为工序能力指数。



第三节 质量管理工具

1. 工序能力指数的计算

假定工序质量特性值 $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，且过程输出均值 μ 与规格中心 M 重合时，定义工序能力指数为 C_p 。

当过程处于统计受控状态时，若已取得随机样本（容量 $n \geq 50$ ），样本平均值 $\bar{x}$ ，样本标准差为 s ，则工序能力指数 C_p

的计算公式为：
$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T_U - T_L}{6s}$$



第三节 质量管理工具

T 为公差, T_U 和 T_L 分别是公差上限和公差下限。则规格中心为 $M=\frac{1}{2}(T_U+T_L)$ 。在这个定义中, 一般 T 不能轻易改变, 因此, σ 越小, C_p 值越大。

大多数情况下, 过程输出的均值 μ 不会恰好与规格中心 M 重合。因此, 在进行工序能力分析时, 应考虑均值 μ 的影响, 从而引入工序能力指数 C_{pk} 。由于过程输出均值 μ 通常在规格限(T_U, T_L)之间, 因此, 用过程输出均值与规格限最近的距离 $\min(T_U-\mu, \mu-T_L)$ 与 3σ 之比作为工序能力指数, 则工序能力

指数 C_{pk} 的计算公式

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{T_U - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - T_L}{3\sigma}\right\} = \min\left\{\frac{T_U - \mu}{3s}, \frac{\mu - T_L}{3s}\right\} = \min\{C_{pu}, C_{pl}\}$$



第三节 质量管理工具

$C_{pu} = \frac{T_U - \mu}{3\sigma}$ 称为单侧上限工序能力指数，仅有上规格限的场

合即可使用； $C_{pl} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma}$ 称为单侧下限工序能力指数，仅有下

规格限的场合即可使用。由 C_{pk} 的公式可看出，当 $\mu = M$ 时，

$C_p = C_{pk}$ ；当 $\mu \neq M$ 时， $C_{pk} < C_p$ 。



第三节 质量管理工具

【例】某零件的厚度设计要求为 $10 \pm 0.025\text{mm}$ ，随机抽取样本平均值 $\bar{x}=10\text{mm}$ ，样本标准差 $s=0.005\text{mm}$ ，求工序能力指数。

$$M = \frac{T_U + T_L}{2} = \frac{10.025 + 9.975}{2} = 10 = \bar{x}$$

过程输出均值与规格中心重合，则工序能力指数 C_p 为：

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T_U - T_L}{6s} = \frac{10.025 - 9.975}{6 \times 0.005} \approx 1.67$$



第三节 质量管理工具

【例】某零件的内径设计要求为 $10 \pm 0.022\text{mm}$ ，测得一批该种零件内径平均值： $\bar{x}=9.996\text{mm}$ ，样本标准差 $s=0.005\text{mm}$ ，求工序能力指数。

$$M = \frac{1}{2} (T_U + T_L) = \frac{1}{2} (10.022 + 9.978) = 10 \text{ (毫米)} \neq \bar{x}$$

过程输出均值与规格中心不重合，则工序能力指数 C_{pk} 为

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{T_U - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - T_L}{3s} \right\} = \min \left\{ \frac{10.022 - 9.996}{3 \times 0.005}, \frac{9.996 - 9.978}{3 \times 0.005} \right\} = 1.2$$



第三节 质量管理工具

2. 工序能力的判断与处置

判断工序能力的目的：是对工序进行预防性处置，以确保生产过程的质量水平。

工序的质量水平按 C_p 值的大小可划分为五个等级，按其等级的高低，在管理上可以做出相应的判断和处置。如下表所示工序能力指数判断准则。



第三节 质量管理工具

工序能力指数判断准则（重点）

工序能力等级	工序能力指数	工序能力判断
特级	$1.67 < C_p$	过剩
一级	$1.33 < C_p \leq 1.67$	充足
二级	$1.00 < C_p \leq 1.33$	正常
三级	$0.67 < C_p \leq 1.00$	不足
四级	$C_p \leq 0.67$	严重不足



第三节 质量管理工具

(1) 工序能力指数过大的处置

当 $1.67 < C_p$ 时，可以认为工序能力过剩。工序能力指数太大，意味着粗活细做，这样必然影响生产效率，增加产品成本。这时，应根据实际情况采取以下措施降低 C_p ：①降低工序能力。如改用精度较低但效率高、成本低的设备和原材料，合理地将工序能力指数降低到适当的水平；②更改设计，提高产品的技术要求；③采取合并或减少工序等方法。



第三节 质量管理工具

(2) 工序能力指数过小的处置

当 $C_p \leq 1$ 时，意味着产品质量水平低。这时，要暂停加工，立即追查原因，并采取以下措施：

①**努力提高设备精度**，并使工艺更为合理和有效，进一步提高操作技能与质量意识，改善原材料质量及提高加工性能，使工序能力得到适当的提高。

②**修订标准**，若设计上允许，可降低技术要求，即用放宽公差。

③**为了保证出厂产品的质量**，在工序能力不足时，一般应通过全检后剔除不合格品，或实行分级筛选来提高产品质量。



第三节 质量管理工具

(3) 工序能力指数适宜的处理

当 $1 < C_p \leq 1.67$ 时，表明工序能力适宜。这时应进行控制，使工序处于受控或稳定状态、工序能力不发生显著变化，从而保证加工质量。



第三节 质量管理工具

【小结】

质量管理方法	分层法、调查表法、散布图法、排列图法、因果分析图法、直方图法及控制图法。
工序能力分析	1.工序能力指数的计算 2.工序能力的判断与处置