工序能力与工序能力指数

尹启承　编著
严擎宇　审校

中国农业机械出版社

工序能力与工序能力指数

尹启承　编著

严擎宇　审校

中国农业机械出版社

责任编辑　工　力

工序能力分析是企业质量管理中的一项技术基础工作。本书结合生产中的实例，系统介绍了工序能力与工序能力指数的基本概念，以及运用管理图、频数分布图、正态概率纸、简易判断法则等各种计算依据和计算方法，还较为详细地介绍了工序能力的用途和处置方法，并考虑现场使用的方便，提供了有关的计算数据表。

本书可供企业各级质量管理人员、工程技术人员、操作工人、检验人员学习和使用。也可作为培训质量管理骨干的教材，和中专、技校有关专业师生的教学参考材料。

工序能力与工序能力指数

工序能力与工序能力指数

尹启承　编著

严擎宇　审校

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

787×1092　32开　5 6/16 印张　117千字

1983年 3 月北京第一版　1983年 3 月北京第一次印刷

印数：0,001—8,600　定价：0.52 元

统一书号：4216·009

科技新书目：40-143

目　录

第一章　基 本 知 识

一、衡量产品质量的数据

在产品质量管理工作中，要经常接触数据。数据是进行产品质量管理和开展产品可靠性工作的主要依据。对“工序能力”与“工序能力指数”的计算，也不可能没有说明产品质量特性的数据。所以，要明确数据的概念，并收集、整理和分析数据，以便帮助我们从中发现生产中的问题，认识生产过程中的规律，达到改进设计、改进工艺、做好用户服务、降低产品成本、提高产品质量的目的。

产品质量管理工作中所涉及的数据，有：

（一）计量值数据

可以连续取值的变量，称连续型随机变量，在“全面质量管理”工作中，称它们为计量值。所谓“连续取值”，是指它可以取到某区间（某范围）内的任意值。

重量、长度、温度、速度等都可用一定的尺度来衡量。而且，所得的数据既可是整数，又可是小数，它可以一个一个连续起来，所以这种数据是连续的计量数据。

例如：在机床上加工零件外圆，量得加工后五个零件的外圆尺寸为10.20、10.21、10.26、10.018、10.023，这些数据看起来并不连续，但如果加工的零件非常多，量具又足够精确，那末就会发现，任取一个尺寸范围（例如10.210～10.023之间），不论这范围取得多么小，总可以找到一些零件的尺寸在这个范围之内。这就是说，如果把零件尺寸在长度

标尺上一点一点地点出来，在一定的区间内，只要零件数量较多，这些点就可以连接起来。从这个例子中就可以理解连续性的含义了。

（二）计数值数据

如果变量可能取到的值个数有限，或者虽然是无限个，但可以一个一个排出来，这样的变量就称为离散型随机变量。在“全面质量管理”工作中，称它们为计数值。

计数值数据还可以进一步分为计件数据和计点数据。

1．计件数据

计件数据即对一批产品，仅仅是根据其某种特点进行按件查点（数）的数据，如一批产品中有多少件合格品、一等品、优等品。

2．计点数据

计点数据即观察一件里边的一部分，某种情况有多少。如一个产品的电镀表面有多少斑点；一个铸铁件表面有几个砂眼点、疵点等等。

这里要说明一点，即质量管理工作中常遇到的“不合格率”，表面上看象个连续量，但实际上是一个个排列出来的值，所以应把它作为计数值。

用计数值数据反映工序生产能力的好坏，有如下四种数据形式：

（1）不合格品率数据：

检查一定数量的产品，其中的不合格品数与总检查数之比，即为不合格品率。

当质量特性值可划分为合格与不合格时（如用极限量规或用感官检查产品，简单地判定其质量合格与否），用此种数据。

（2）不合格品数数据：

在生产过程相当稳定时，产品的不合格率有一个一定的数值。设以$\bar{P}$来表示平均不合格品率，用n表示样品数，P_n表示样品中的不合格品数，则平均不合格品数$\bar{P}_n = n\bar{P}$。

当每次检查的产品数量总是不变时，可用此种数据。

（3）每单位产品缺陷数数据：

检查发现的缺陷数与总检查单位产品数之比，即为每单位产品缺陷数。例如检查 $10m^2$ 玻璃发现50个缺陷，若以每m^2为1检查单位，则这时的每单位缺陷数为$\frac{50}{10}=5$；若以每$0.5m^2$作为1检查单位，则这时的每单位缺陷数为$\frac{50}{\frac{10}{0.5}}=2.5$；若以每 $20m^2$ 作为1检查单位，则这时的每单位缺陷数为$\frac{50}{\frac{10}{20}}=100$。由此可知，每单位缺陷数与检查单位有关，检查单位变了，单位缺陷数值也跟着变。因此，对于每单位缺陷数，检查时要预先规定检查单位。

（4）缺陷数数据：

缺陷数数据与每单位缺陷数不同的是各样品组大小相等（或接近），而不规定单位的大小。因此，当产品抽取样品大小n一定时，多采用缺陷数数据。

二、产品质量波动的原因

计算“工序能力”与“工序能力指数”的目的之一，是要判断这项工序是否满足产品质量要求，以便控制产品质量，

因此，必需了解产品质量波动的原因。

在实际生产中，同一个工厂，同一个工人，用同一台设备所生产出来的同一种零件，其质量不会完全一样，也不可能完全一样，这就是我们所说的产品质量有波动的现象。什么原因会造成质量波动呢？不外乎这五个方面：人（技术熟练程度、对质量的认识、责任心、疲劳等等因素）；设备（设备本身各部分的制造精度、维护和保全状态等等因素）；方法（制作工艺、工装选择、测量试验等等因素）；原材料（物理化学性能、切削性能、形状等等因素）和环境（工作场地的温度、湿度、噪音干扰、清洁卫生、照明等等因素）。而所有这些原因，在生产制造中都同时对产品质量起作用，统称为质量因素。

对造成产品质量波动的原因，可归纳为偶然性原因和系统性原因两类。

偶然性原因也就是对产品质量经常起作用的因素。如原材料性质的微小差异，机床的微小振动，刀具的正常磨损，夹具的微小松动，工人在工序上操作的微小变化等等。一般说来，经常作用的因素数量较多，但它们对质量波动的影响不大，而且不易识别，同时在技术上难以消除，或者在经济上不值得消除。

系统性原因是可避免的因素，如原材料中夹进了不同规格材质的材料；机床、刀具的过度磨损；夹具的严重松动；机床、刀具安装和调整得不准确；孔加工基准尺寸有误差；界限量规基准尺寸有误差等等。系统性原因对质量波动的影响很大，容易识别，而且能够避免。

由系统性原因引起的波动称为系统性差异（或称条件误差）。系统性差异的大小，往往可以在造成波动的工件上测

量出来，如孔加工的系统性差异，是由孔加工刀具基本尺寸的误差所造成，可以在刀具上测量出来。同时，这些差异的数值在一定时间内，都是一定的或作周期性的变化。

由偶然性原因引起的波动，称为偶然性差异（或称随机误差）。其特点是数值不定，不能事先确定它的数值。

对于影响产品质量波动的偶然性因素，我们不需要而且也很难加以控制。因此，我们把仅由于偶然原因造成的质量波动，称为正常的波动，并且认为这时的生产过程是处于被控制的状态。

对于影响产品质量波动的系统性因素，值得而且可以控制。因此，我们又把由于系统原因造成的质量波动，看作是不正常的波动，而且要采取各种有效措施，严格控制。计算“工序能力指数”时，把这种由系统性原因造成的超出控制界限的样品数值看作异常值，而予以剔除。

三、相对稳定的生产过程

测定“工序能力”与“工序能力指数”，是在工序处于相对稳定的生产状态下进行的。生产过程的相对稳定，需要有一定的条件，即：企业有一套行之有效的质量保证制度；有健全的岗位责任制；有比较完备及正确的工艺文件和操作规程；工人能严格遵守工艺纪律、按工艺规程操作；生产设备和工艺装备处于完好的状态；原材料、外协件、工具等保质保量、供应及时；并且实现了均衡生产和文明生产等等。也就是说：只有企业的各项工作走上了正轨才能实现生产过程的相对稳定。只有在相对稳定的生产过程中，才能有效地控制产品质量。相反，如果生产过程不稳定，测量所得的数据就会忽大忽小，变化无常，根本不遵循一定的统计规

律。计算出的“工序能力”与“工序能力指数”也不可能准确可靠。

当企业的生产过程相对稳定时，就可着手测定“工序能力”与“工序能力指数”。测定时，先要看使用哪种方法，然后按照该方法的特点，观察所测工序是否处于稳定状态。如用管理图法判断工序是否处于稳定状态时，需看是否满足以下两个条件：

1. 管理图上的点全在管理界限内（点恰在界限上时，以出界论处）；

2. 界限内的点随机排列。也就是说，尽管点居于管理界限内，如果其排列不随机，分布有异常，仍不能判断工序处于控制状态。

又如用直方图法判断工序是否处于稳定状态，是观察直方图的分布形状。当直方图的分布基本是左右对称的山型时，工序是处于稳定状态。如分布形状有异常，就认为工序处于不稳定状态。

具体的判断方法，将在以后各有关章节中分别叙述。

四、连续的概率分布

在计算“工序能力”与“工序能力指数”时，我们需从生产的批量中抽取一部分零件进行测量以获得数据。如果度量的数据是计量值，就遵从连续的概率分布。这类分布有“正态概率分布”、“指数概率分布”、“维泊尔概率分布”等类型。其中以正态分布较为重要和基本。工业生产中有许多现象和大量的质量特性，是服从正态分布规律的。计算“工序能力”与“工序能力指数”都要用到它的概念，因此，我们着重讨论“正态分布”。

（一）什么叫正态分布

如果x的密度函数f（x）是

$$Y=f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\qquad(-\infty<x<+\infty)$$

则称x服从参数为μ、σ的正态分布(σ＞0，$-\infty<\mu<+\infty$)，记作x～N(μ，σ²)。相应的密度函数记做N（x;μ，σ）。

式中　x——从该分布中抽出的随机样本值；

e——自然指数的底（e≈2.718）；

μ——曲线最高点的横坐标，叫做正态分布的平均值；

σ——表达曲线的胖瘦程度，在正态分布曲线上，就是拐点（曲线变换方向的点）到中心线的垂直长度，叫做正态分布的标准偏差。

（二）正态密度函数的几何性质

对μ＝0，σ＝1的正态分布，称为标准正态分布。它的密度函数N(x；0，1)的图形由$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x}{2}}$得出如图1。

1．对称性

标准正态密度函数的图形是以y轴为对称轴，这是因为：

N（$-x_0$；0，1）＝N（x_0；0，1）

2．最大值点和最大值

很明显，函数$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2}}$

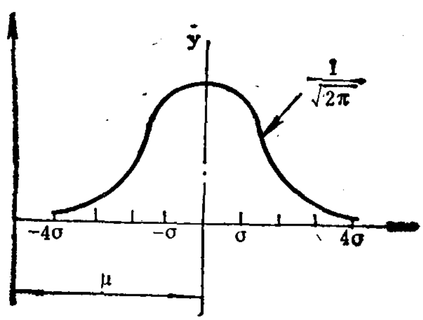

图1　标准正态密度函数

在x＝0处取到最大值，它是$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}=0.3989$。

3．渐近线

$$\text{因}\quad \mathop{\mathrm{Lin}}_{x\to\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\,e^{-\frac{x}{2}}=0$$

所以x轴是函数N（x；0，1）的渐近线。

4．拐点

图形凹、凸的交接处的横坐标，称为图形的拐点（扭转点），可以证明图1有两个拐点，它们是$x=\pm 1$。由于拐点的数值不一，图形的“胖、瘦”也就不同。图2是μ值相同，σ值不同的“正态密度曲线”．由图2可知，当σ值较大时，曲线较胖；σ值较小时，曲线较瘦，所以能用它来衡量数据的离散(或集中)程度。拐点到中心线的垂直长度称为标准偏差，它是衡量数据离散程度的主要参数，以“σ”来表示。

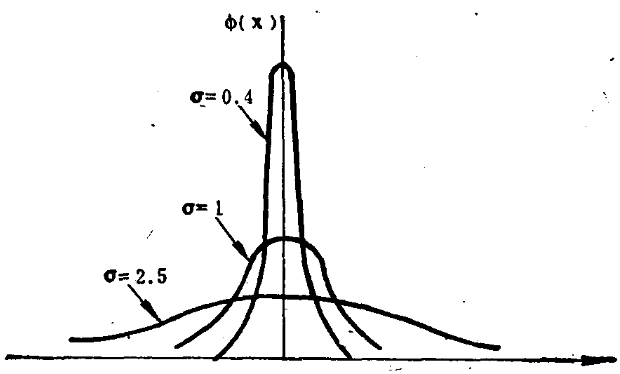

图2　μ值相同σ值不同的正态密度曲线

5．平均值

曲线最高点的横坐标，叫做正态分布的平均值，以μ表示。

当σ值相同，而μ值不同时，正态密度曲线的位置也不同。图3画出了两条σ值相同，μ值不同的正态密度曲线。由图3可以看出：正态分布密度曲线的位置是由μ决定的，μ值不同，最大频率的位置就不在一处。

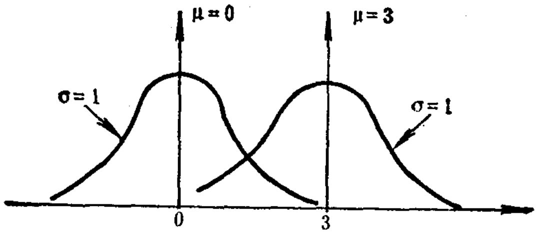

图3 σ相同μ不同的正态密度曲线

6．曲线下的数值概率

曲线与横坐标轴所围成的面积等于1，它的分布：

（1）曲线与$\mu\pm\sigma$围成的面积为68.25%；

（2）曲线与$\mu\pm2\sigma$围成的面积为95.45%；

（3）曲线与$\mu\pm3\sigma$围成的面积为99.73%；

（4）曲线与$\mu\pm4\sigma$围成的面积为99.99%；

（5）对μ的正偏差和负偏差的概率相等；

（6）在一定的范围以外，如6σ以外的偏差，其出现的概率是很小的。

由此可以看出：如果管理图一般取$\pm3\sigma$（6σ）作为上、下管理界限的范围，是当仅仅考虑偶然原因影响工序状态发生变化时，在1000个数据中，大约有3个数据可能越出

管理界限。换句话说，管理6 σ的范围，废品率在千分之三以下。

综合以上所述，正态分布密度曲线呈现出“中间高、两边低”的钟形，并由μ与σ值决定，在正常情况下，我们可以运用从样本推断总体的方法，从抽样数据中计算标准偏差s和算术平均值$\bar{x}$，并以此来估算σ、μ值。当工序稳定，取样较多的情况下，可以认为：$\sigma \approx s$，$\mu \approx \bar{x}$。

（三）标准正态分布和正态数值表

如果我们已知随机变量x服从标准正态分布，那$x \sim N(0, 1)$；也即：x的密度函数是：

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

则对任一a、b（a<b）值有

$$P(a<x<b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t}{2}} dt$$

这样，为算出x落入区间（a、b）内的概率，只需计算定积分

$$\int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

由于该积分值的计算无简单公式可代，为此，参照三角函数表，制成专门的数表备查（见附录一）。这张表是对函数

$$\phi(x) \triangleq \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

造的，对于具体的x(x>0)值可由附录一查得相应的$\phi(x)$的值〔$\phi(x)$的几何意义是：曲线$Y=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{t^2}{2}}$下，x左边的面积〕。当然，也可反查。比如对$x=1$，查附录一得：

$$\phi(1)=0.8413$$

又如对x=0.5，查表得

$$\phi(0.5)=0.6915$$

五、离散型随机变量

对于离散型随机变量，不仅要知道取什么值，而且还要知道它取各可能值的概率。离散型随机变量概率分布的定义是：若离散随机变量x的可能值是x_1、x_2、…、x_k，我们称

$$\begin{cases} P(x=x_1)=P_1 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ P(x=x_k)=P_k \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \end{cases}$$

为x的概率分布。

离散型随机变量的概率分布，在质量管理工作中常用的分布有“超几何分布”、“二项分布”、“普哇松分布”。

(一) 超几何分布

记 N——某批产品总数；

D——该批产品中的次品范围数；

n——抽取的产品数。

于是，随机变量x=“取到的次品数”的概率分布如下：

$$P(x=d)=C_D^d C_{N-D}^{n-d}/C_N^n$$