

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40681.4—2021

---

## 生产过程能力和性能监测统计方法 第4部分：过程能力估计和性能测量

**Statistical methods in monitoring process capability and performance—  
Part 4: Process capability estimates and performance measures**

(ISO 22514-4:2016, Statistical methods in process management—  
Capability and performance—Part 4: Process capability estimates  
and performance measures, MOD)

2021-10-11发布

2022-05-01实施

---

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
生产过程能力和性能监测统计方法  
第4部分：过程能力估计和性能测量  
GB/T 40681.4—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址：www.spc.org.cn

服务热线：400-168-0010

2021年10月第一版

告

书号：155066·1-68596

版权专有 侵权必究

中国标准出版社授权北京万方数据股份有限公司在中国境内(不含港澳台地区)推广使用

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 符号和缩略语 .....	1
2.1 符号 .....	1
2.2 缩略语 .....	2
3 过程能力和性能的基本概念 .....	2
3.1 位置 .....	2
3.2 离散程度 .....	2
3.3 均方误差 .....	3
3.4 参照限 .....	3
3.5 参照区间 .....	3
4 能力 .....	3
4.1 通则 .....	3
4.2 过程能力 .....	4
4.3 过程位置 .....	6
4.4 测量数据的过程能力指数 .....	6
4.5 测量数据的过程能力指数(非正态分布情形) .....	8
4.6 对过程能力评估进行描述和计算的替代方法 .....	9
4.7 连续数据的其他能力度量 .....	10
4.8 超出规范限比例的评估(正态分布情形) .....	11
5 性能 .....	13
5.1 通则 .....	13
5.2 测量数据的过程性能指数(正态分布情形) .....	13
5.3 测量数据的过程性能指数(非正态分布情形) .....	14
5.4 测量数据的其他性能指数 .....	15
5.5 正态分布情形下超出规范限比例的评估 .....	15
6 过程能力指数和过程性能指数的报告格式 .....	15
附录 A(资料性附录) 估计标准差 .....	17
A.1 通则 .....	17
A.2 固有标准差 .....	17
A.3 总标准差的估计 .....	18
附录B(资料性附录) 使用皮尔逊曲线估计过程能力和性能度量的步骤和示例 .....	19
B.1 记录规范限 .....	19
B.2 记录过程统计量 .....	19
B.3 查找标准化0.135%分位数 .....	19

**GB/T 40681.4—2021**

B.4	查找标准化 99.865%分位数	19
B.5	查找表 B.3 中标准化中位数	19
B.6	计算0.135%分位数的估计值	19
B.7	计算 99.865%分位数的估计值	19
B.8	计算中位数的估计值	20
B.9	计算过程能力指数	20
附录C	(资料性附录) 分布识别	30
C.1	通则	30
C.2	正态分布	30
C.3	对数正态分布	30
C.4	瑞利分布	32
C.5	威布尔分布	32
C.6	折叠半正态分布	32
C.7	其他分布	33
附录D	(资料性附录) 置信区间	34
D.1	正态分布	34
D.2	其他置信区间	35
参考文献		36

## 前 言

GB/T 40681《生产过程能力和性能监测统计方法》计划分为以下8个部分：

- 第1部分：通用原则和概念；
- 第2部分：时间相依过程模型的过程能力和性能；
- 第3部分：分立产品测量数据的机器性能研究；
- 第4部分：过程能力估计和性能测量；
- 第5部分：计数特性的过程能力和性能估计；
- 第6部分：多元正态过程能力分析；
- 第7部分：测量过程能力；
- 第8部分：多状态生产过程的设备性能分析。

本部分为GB/T 40681的第4部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用ISO 22514-4:2016《过程管理中的统计方法 能力与性能 第4部分：过程能力估计和性能测量》。

本部分与ISO 22514-4:2016相比进行了下述结构调整：

- 删除了ISO 22514-4:2016的3.1,将3.1中“本部分所涉及的评估和测量方法仅适用于计量型数据,不适用于计数型数据,关于计数型数据的相关内容见ISO 22514-5”调整至第1章,并修改为“本部分适用于常用生产过程中计量型数据的过程能力和性能评估,不适用于计数型特性的过程能力和性能评估。”

本部分与ISO 22514-4:2016的技术性差异及其原因如下：

- 将2.1中“P<sub>0.135%</sub>:0.135%分位数”“P<sub>99.865%</sub>:99.865%分位数”“π:几何常数”“e:欧拉常数”删除,原因是重复定义；
- 将2.1中的“P<sub>α</sub>:α分位数”修改为“P<sub>α</sub>:标准化皮尔逊曲线α分位数”,更加准确；
- 将2.1及全文中的“d.”替换为“σ<sub>T</sub>:过程总标准差”；
- 将2.1及全文中的“Y<sub>1</sub>,Y<sub>2</sub>”删除,不同图中含义不同,均已在正文中说明,无需符号说明；
- 将4.8中涉及数值计算的表达式“C<sub>kL</sub>=0.86,C<sub>pkU</sub>=0.91”修改为估计的形式“C<sub>pkL</sub>=0.86,C<sub>pkU</sub>=0.91”,修改了错误使用的估计值符号；

——将C.3.1中μ和σ<sup>2</sup>的参数估计“ $\hat{\mu} = \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$ ”和“ $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$ ”,修正为

$$\hat{\mu} = \overline{\log X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log X_i \quad \text{和} \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\log X_i - \overline{\log X})^2$$

- 将C.5中“X<sub>0.5} = Y - ξ(-log(1-a))”修正为“X<sub>0.5} = Y + ξ[-log(1-a)]”。</sub></sub>

本部分做了下列编辑性修改：

- 修改了标准名称；
- 修改了表3中数据指数不规范的表述方式；
- 将D.1.3中“K10.5”修改为“K<sub>10.5}</sub>”；
- 将D.1.3中“K.gs”修改为“K<sub>gs}</sub>”；

## GB/T 40681.4—2021

——全文公式补充了序号；

——修改了参考文献。

本部分由全国统计方法应用标准化技术委员会(SAC/TC 21)提出并归口。

本部分起草单位：北京航空航天大学、中国标准化研究院、内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司、湖州荣柯建材科技有限公司、山西航天清华装备有限责任公司、湖州铭丰企业管理咨询有限公司、北京电子工程总体研究所、中国电子科技集团公司第十二研究所、聊城卓群汽车部件有限公司。

本部分主要起草人：杨军、黄硕、李琦、赵静、马文丽、马利军、丁丽慧、钱鑫晖、孔雪峰、孟繁兵、崔琰贺、黎磊、张月红、陈延伟、丁文兴、许艳锋。

## 引 言

许多组织已经着手推进过程持续改进战略。为了顺应该战略，任何组织都需要评估其关键过程的能力和性能。本部分给出的方法旨在帮助开展这方面的管理。管理者需要持续关注这些评估，以便在需要时开展持续改进活动。

最近，本部分有很大发展。最根本的改变是将在本部分命名的能力条件与性能条件做了概念性区分，根本差异在于过程特性是否处于统计受控状态(处于统计受控状态则称能力，否则称性能)。因此，在相关条款中给出对应能力和性能的两组指标集合。因为在工业界已经发现，由于计算和公布不恰当的指数，一些公司在其真实能力方面被误导，所以越发有必要对能力和性能作出严格区分。

本部分的进步在于从一般条件到具体条件，而且这种改进使得一般化公式呈现更具体的表现形式。

现有大量文献描绘了在任何组织内，对工作过程理解的重要性，例如，生产过程或信息处理过程。随着企业之间销售竞争的加剧，除了事关重大的产品或服务的销售价格之外，产品或服务使用期间，购买者将要承担的费用也越来越重要。每个供应商的目标不再是仅仅满足规范要求，而是需要持续减小变异。

在竞争持续加剧的世界里，持续改进可以降低产品失效损失和生存的花费。因为随着变异的减小，估价成本随之降低，检测产品的需求可能会消失或者降低抽样频率。

为使组织有能力评估其供应商的能力和性能，过程能力和性能评估是必需的。这些组织会发现包含在本部分的指标在这方面是有用的。

量化一个过程表现出来的变异，可以对其满足某些给定要求的适用性和能力作出判断。下述段落和条款提供了确定一个过程的能力或性能需要理解的哲学原则。

所有过程都存在固有变异。本部分并没有特意解释固有变异的含义、存在原因、来源及其如何影响过程，而是以固有变异稳定存在作为前提展开。

过程所有者需努力理解其过程变异的来源。将绘制过程流程图、识别过程输入和输出等方法，与因果图(鱼骨图)一起合理使用，有助于识别这些过程变异。

区分短期变异和长期变异对本部分的使用非常重要，而仅依据短期变异确定的过程能力，与那些使用长期变异性所确定的过程能力，可能差异巨大。

当考虑短期变异时，可以只依据最短期变异开展，有时也称为机器研究，在ISO 22514-3中有描述。开展此类研究所需方法超出了本部分的范围；应该指出，这些研究是重要且有用的。

需要指出，本部分只提供了过程能力指数的点估计，鉴于实际需求，建议尽可能计算这些指数的置信区间。

由单((×肝号敢号业) 斡国中亚但了翻身身翻野

非×于纠带取当国中



# 生产过程能力和性能监测统计方法

## 第4部分：过程能力估计和性能测量

### 1 范围

GB/T 40681的本部分针对正态分布和非正态分布两类情形，分别给出了常用的过程能力和性能度量指标，提供了过程能力和性能的评估方法。

本部分适用于常用生产过程中计量型数据的过程能力和性能评估，不适用于计数型特性的过程能力和性能评估。

### 2 符号和缩略语

#### 2.1 符号

下列符号适用于本文件。除下述符号之外，有些符号在正文中使用定义。

$\alpha$	分数或比例
$\beta$	威布尔分布形状参数
$\beta_2$	峰度系数
$C_4$	与子组大小 $n$ 有关的常数
$C_p$	过程能力指数
$C_{pk}$	最小过程能力指数
$C_{pkz}$	下过程能力指数
$C_{pku}$	上过程能力指数
$C_{pm}$	田口过程能力指数
$C_r$	过程能力倒数(PCF)
$d_2$	与子组大小 $n$ 有关的常数
$\Phi$	标准正态分布的分布函数
$Y$	威布尔分布位置参数
$Y_1$	偏度系数
$m$	子组个数
$K_1, K_u$	用于估计过程能力指数置信限的系数
$L_{si}$	下规范限
$N$	样本总量
$n$	子组大小
$P_\alpha$	标准化皮尔逊曲线 $\alpha$ 分位数
$p_l$	下不合格率
$P_p$	过程性能指数
$P_{pk}$	最小过程性能指数
$P_{pkz}$	下过程性能指数
$P_{pku}$	上过程性能指数

$p$ :	总不合格率
$P_u$	上不合格率
$Q_k$	过程变异指数
$\sigma$	瑞利分布参数
$R$	平均子组极差
$S$	样本标准差
$S_s$	全样本标准差
$S$	平均样本标准差
$S_j$ :	第 $j$ 个子组样本标准差的观测值
$\sigma$	过程固有标准差
$\sigma_t$	过程总标准差
$T$	目标值
$U_{sL}$	上规范限
$X_\alpha$	$\alpha$ 分位数
$X_i$ :	样本的第 $i$ 个观测值
$\bar{X}$	子组算术均值
$\bar{\bar{X}}$	子组算术均值的算术均值
$\lambda$	威布尔分布刻度参数
$\alpha$	标准正态分布的 $\alpha$ 分位数

## 2.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MSE: 均方误差(mean square error)

PCF: 过程能力倒数(process capability fraction)

PCI: 过程能力指数(process capability index)

## 3 过程能力和性能的基本概念

### 3.1 位置

过程位置一般用均值 $\mu$ 或者中位数 $X_{0.5}$ 表示。对于对称分布,使用均值;对于非对称分布,宜使用中位数。

### 3.2 离散程度

#### 3.2.1 固有离散程度

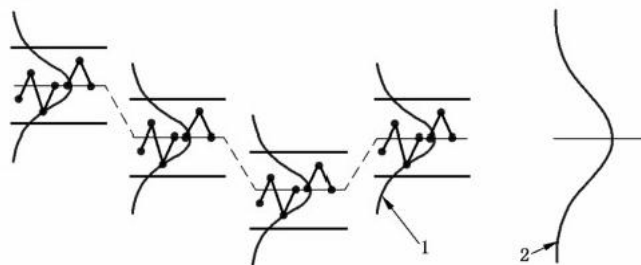
量化固有离散程度的一个推荐性方法是采用标准差 $\sigma$ 表示,如图1所示;当过程稳定或处于受控状态时,标准差一般基于极差控制图中的平均子组极差 $R$ 或者标准差控制图中的平均样本标准差 $S$ 进行估计。估计过程标准差的方法,参见附录A。

#### 3.2.2 总离散程度

对于标准差的使用,有必要区分过程短期变异和过程长期变异。总离散程度表示过程长期变异的离散程度。计算表示这些变异的标准差的方法,参见附录A。通常,对于长时间收集的数据,受过程长期变异的影响,过程总标准差 $\sigma_t$ 会变大。

### 3.2.3 短期离散程度

如图1所示，过程的短期变异效应是总离散程度的一部分。短期离散程度包括过程固有离散程度和一些短期不稳定性效应。



说明:

- 1——短期离散程度;  
2——总离散程度。

图 1 短期离散程度与总离散程度的关系

总离散程度可以表示为任何形状分布，不限于这里叙述的正态分布。

### 3.3 均方误差

宜使用均方误差作为变异的度量，这与离线质量技术中使用的方法兼容。

### 3.4 参照限

上、下参照限通常被依次定义为描述过程特性输出分布的99.865%和0.135%的分位数，写为 $X_{0.99865}$ 和 $X_{0.00135}$ 。

### 3.5 参照区间

参照区间(也称过程散布)是上、下参照限之间的区间。当过程处于统计受控状态时，参照区间覆盖总体的99.73%。

## 4 能力

### 4.1 通则

过程能力是过程固有变异的度量。该变异是过程始终处于统计受控状态时所固有的，称为过程固有变异。它表示除去所有已知可消除的可查明因素后，过程仍存在的变异。如果用控制图对这一过程进行监控，则显示其处于受控状态。

能力通常视为生产产品的某一特性处于产品规范限内的比例。由于过程统计受控，应采用可预测的分布描述，因此，产品的某一特性超出规范限的比例是可以估计的。只要过程始终处于统计受控状态，产品的某一特性超出规范限比例保持不变。

为保证过程持续满足规范要求的能力，需要采取一些管理措施，减少随机因素导致的变异。

总而言之，下列考虑是必要的：

- 定义过程及其运行条件。如果这些条件发生了变化，需要重新定义过程。
- 评估短期和长期测量所带来的变异占总变异的百分比，并采取措施使其最小化。
- 保持过程的稳定性，并确保其处于统计受控状态。
- 估计固有变异。

- 选择一个合适的能力度量。
- 过程能力分析需要的前提条件如下：
  - 明确所有的技术条件，例如，温度和湿度；
  - 对测量系统的不确定度进行适当估计和判断(详见ISO 22514-7 和 JJF1059.1-2012)；
  - 应能够处理过程存在多因素、多水平的问题；
  - 记录数据收集的时间；
  - 规定抽样频率和样本量，同时记录数据收集开始和结束的日期；
  - 使用控制图进行过程监控；
  - 过程应处于统计受控状态。

有必要核对数据处于统计受控时所使用的控制图，并使用叠加在其上的规范限检查数据的直方图。在评估数据时，应使用有效的正态性检验，例如，AD(Anderson-Darling) 检验或其他合适的方法。该检验对从分布尾部，进行正态性检验是高效的，这也正是能力和性能指标所关注的区域，因此，在这里推荐使用。此外，也可以使用正态概率图检查下述方面：

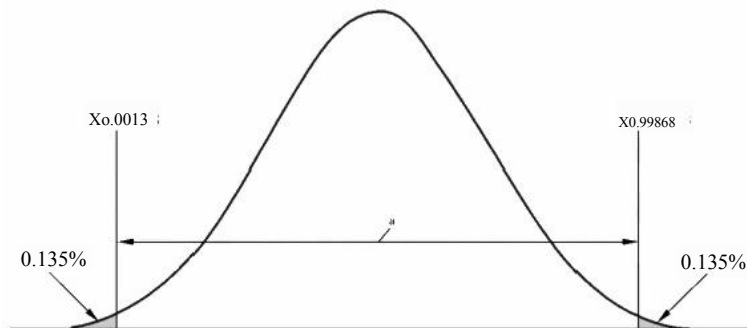
- a) 数据分布的正态性；
- b) 离群值；
- c) 超出规范限的数据；
- d) 数据是否一致落在规范限内；
- e) 非对称的证据(例如，偏度)；
- f) 数据“长尾”的证据(例如，峰度)；
- g) 非中心分布的证据；
- h) 其他异常模式。

对于上述检查发现的异常现象，应寻找合理的解释，并应在每个统计度量计算之前，对数据采取适当措施，消除异常现象。对于那些不符合预想模式的数据，直接剔除是不妥当的。这些异常值很可能揭示了过程的一些行为特征，应该进行彻底调查。

## 4.2 过程能力

### 4.2.1 正态分布情形

对给定特性，过程能力被定义为过程固有变异的度量。在传统方法中，处于统计受控状态的过程有99.73%的个体处于参照区间内，在上、下参照限以外各含有0.135%的个体。即使总体不服从正态分布，该方法依然适用。对正态分布，该过程区间用6倍的标准差表示，见图2。



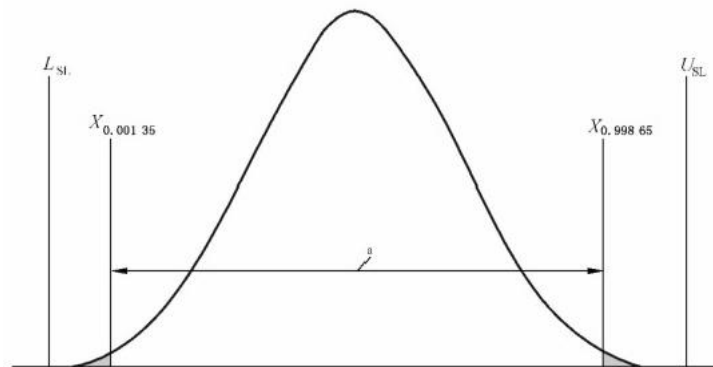
99.73%参照区间。

图2 正态分布

有时，过程能力可以用于解释多流过程的额外变异来源，例如，多腔注射成型工艺的输出。在这些环境下，每个腔的数据仍然近似服从正态分布，由于存在额外变异，此时标准差指过程总标准差 $\sigma$ 。明确下列内容是非常重要的：如何计算这类标准差，选择抽样策略，确定样本大小，获得样本间的输出结果和变异。在实际工作中，它们将会影响能力评估的有效性(详细信息可参阅ISO 22514-2)。

用于过程能力分析的数据，通常取自处于统计受控状态的控制图。如果该控制图放宽了控制限或者修改了控制限，此时，相应的过程标准差会大于由控制图标准控制限所估计的标准差。上述对控制限的处置将会影响参照区间，因此，在能力评估之前，应给出明确的说明。

“有能力”的过程是那些参照区间落在由特定值具体定义的容许区间内的过程。图3给出了一个示例。

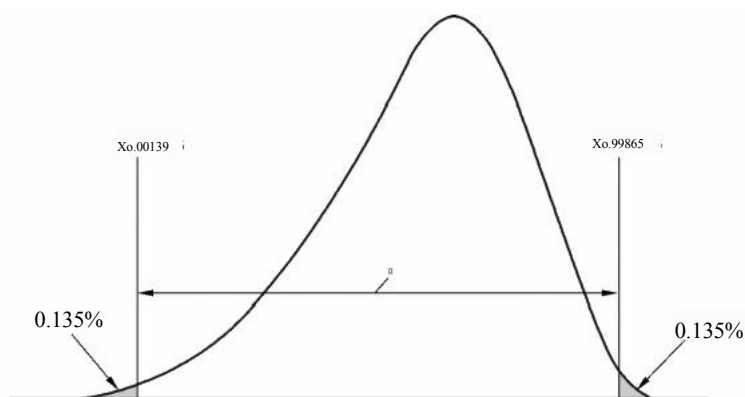


99.73%参照区间。

图3 带有规范限的正态分布

#### 4.2.2 非正态分布情形

如果数据不是来自正态分布的，而是有偏的，参照区间可能出现图4的情况。上、下参照限通常取为分布的99.865%和0.135%分位数，可使用合适的概率纸(详见图5,使用极值分布概率纸的示例)或计算机软件进行估计，也可以使用附录B 查表计算，或使用附录C 推荐的特定概率函数计算。

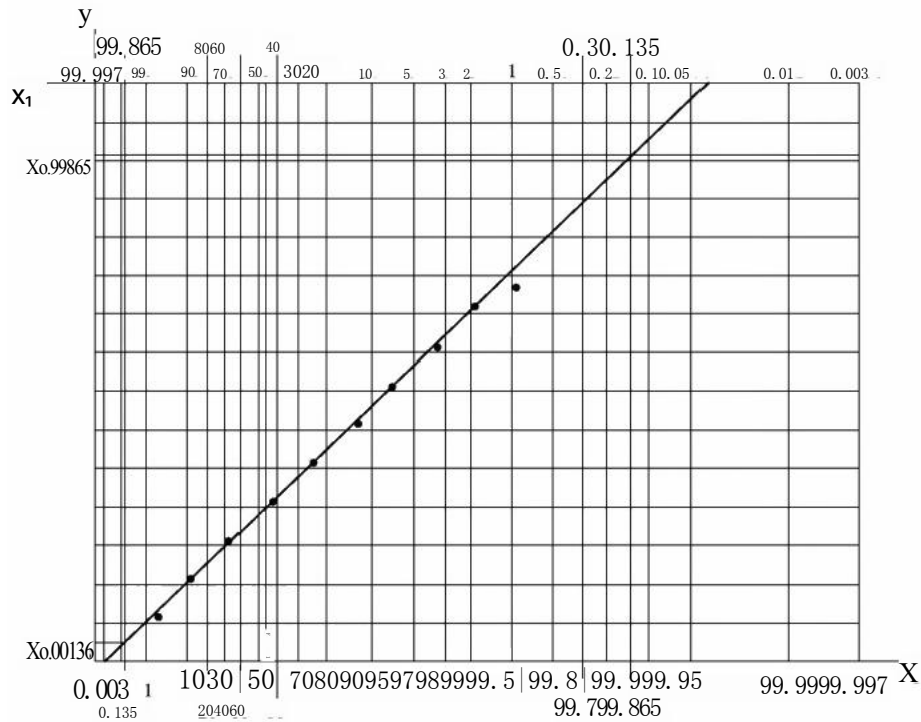


99.73%参照区间。

图4 非正态分布

### 4.3 过程位置

根据4.2.1的定义，即使一个过程被认为是“有能力”的，如果这一过程分布中心相对于给定规范中心存在偏离，仍有可能产生超出规范限的产品。因此，除了评估过程区间之外，有必要评估过程的位置。



说明:

- 最优拟合线;
- 累积百分比。

图 5 使用极值分布概率纸的示例

### 4.4 测量数据的过程能力指数

#### 4.4.1 通则

应指出，在计算本部分给出的能力指数时，只提供了这些指数的点估计。因此，宜尽可能计算和报告这些指数的置信区间。附录D介绍了相应的置信区间计算方法。

可以使用一个指标数值有效表示一个过程的能力。当有多个指标可选时，处理非正态分布情形，要尤其注意。

过程能力指数，应在过程处于统计受控状态时进行计算。

常用的过程能力指数，由给定容差与参照区间长度之比表示，称为C<sub>p</sub>。因此

$$C_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{X_{0.99865} - X_{0.00135}} \dots\dots\dots (1)$$

有些指数可以同时兼顾过程的位置和离散程度。其中，最常用的是C<sub>k</sub>。如果观测到的指数小于某个给定值，则认为该过程是不可接受的，进而会导致产生一定比例的不合格产品，或者产品功能和适用性会受到影响。

Ck 指数定义为给定容差限和过程位置之间的差与相应的自然过程限和过程位置之间的差的比值。

$$C_{pkU} = \frac{U_{SL} - X_{0.5}}{X_{0.99865} - X_{0.5}}$$

$$C_{pkL} = \frac{X_{0.5} - L_{SL}}{X_{0.5} - X_{0.00135}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Ck = \min(CpkU, CpkL)$$

注：实际工作中，通常会同时给出C 和 Ck（也分别称为CPU 和CPL），以提供过程双侧信息。

这些指数会提供信息，辨别某一过程是否是弱中心的，以及该过程是否可能生产不合格品。即使 Cp的值很大，小的Cp 的值也表明该过程是弱中心的，有很高的概率产生不合格产品。

#### 4.4.2 Cp(正态分布情形)

如果处于统计受控状态的过程数据服从正态分布，则参照区间的长度为6σ，其中，σ 为固有过程标准差。因此，指数Cp 可表示为：

$$Cp = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{6\sigma} \dots\dots\dots (3)$$

为估计指数Cp，需要先得到固有过程标准差σ 的估计值c。只要控制图显示该过程处于统计受控状态(见4.1)，就可以使用控制图的数据得到估计值σ。当σ 已经得到，该指数的估计值为：

$$\hat{C}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{6\hat{\sigma}} \dots\dots\dots (4)$$

#### 4.4.3 Ck(正态分布情形)

当数据服从正态分布时，中位数X0.5等于均值μ。进一步，X0.99865-X.5和 X0.5-X0.00135均等于3σ。因此，指数Ck 可表示为CkU 和CkL 的最小者：

$$C_{pkU} = \frac{U_{SL} - \mu}{3\sigma} \dots\dots\dots (5)$$

或

$$C_{pkL} = \frac{\mu - L_{SL}}{3\sigma} \dots\dots\dots (6)$$

Ck的估计则是C 和Ck (用X 估计μ)的最小值：

$$\hat{C}_{pkU} = \frac{U_{SL} - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \dots\dots\dots (7)$$

或

$$\hat{C}_{pkL} = \frac{\bar{X} - L_{SL}}{3\hat{\sigma}} \dots\dots\dots (8)$$

数据有时会来源于某个多流过程，例如，多头灌装机或多轴机床，同时考虑多流数据，所有的输出可以一起处理。指数越低，则不合格率(超出规范限的产品比例)越高。

#### 4.4.4 用于单侧容差的Ck

当只给定一个规范限时，只可能计算C 或 Cpk 中的一个。

#### 4.5 测量数据的过程能力指数(非正态分布情形)

##### 4.5.1 通则

如果数据分布是非正态的，公式(1)和公式(2)的表达式依然适用，但指数的估计值会变得更加复杂。这里给出了参照限的三种估计方法。

4.5.2所描述的概率纸法较为简单且计算量小，但有点粗糙。4.5.4的方法计算更为复杂，但准确度优于其他方法。

##### 4.5.2 概率纸法

根据类似于图4的图形，可以得到分位数 $X_{0.00135}$ 和 $X_{0.99865}$ 的估计值，则公式(1)可写为：

$$\hat{C}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{X_{0.99865} - X_{0.00135}} \dots\dots\dots (9)$$

同样， $C_p$  的估计公式可写为：

$$\hat{C}_{pk_U} = \frac{U_{SL} - X_{0.5}}{X_{0.99865} - X_{0.5}} \dots\dots\dots (10)$$

或

$$\hat{C}_{pk_L} = \frac{X_{0.5} - L_{SL}}{X_{0.5} - X_{0.00135}} \dots\dots\dots (11)$$

而 $C_k = \min(Ck, Ck)$ 。

如果计算出的指数值小于规定值，则认为该过程是不可接受的，会导致较高的不合格率，或者产品功能和适用性会受到影响。不合格率取决于过程分布和相应的指数值。该指数和不合格率之间的联系依赖于过程分布类型，不能仅根据正态分布的临界点来解释该指数，因此，其解释只适用于该特定分布。

注意概率纸法可以直接估计相当极端的分位数，但其估计并不准确。

##### 4.5.3 皮尔逊曲线法

作为概率纸的替代方法，可以使用标准化皮尔逊曲线。该方法通过实例(参见附录B)的方式予以介绍，指数的计算如下：

$$\hat{C}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.00135}} \dots\dots\dots (12)$$

其中， $X_{0.00135}$ 和 $X_{0.99865}$ 是由标准化皮尔逊曲线估计给出的0.135%和99.865%分位数的估计值。

同样，可以使用公式：

$$\hat{C}_{pk_U} = \frac{U_{SL} - \hat{X}_{0.5}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.5}} \dots\dots\dots (13)$$

或

$$\hat{C}_{pk_L} = \frac{\hat{X}_{0.5} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.5} - \hat{X}_{0.00135}} \dots\dots\dots (14)$$

其中， $X_{0.5}$ 指中位数的估计值。

为使用该方法，除了均值和标准差之外，还需要计算其偏度值和峰度值。

为应对偶尔使用的需求，出于完整性考虑，在这里介绍该方法，但不推荐使用。

该方法和基于皮尔逊曲线的方法类似，使用“黑盒”计算机程序分析大的数据集时，应格外小心。一些潜在的困难如下：

——在一系列分布中，有些分布比其他分布更难拟合。有些情形下，矩估计方法会产生不稳定或低



效率的曲线参数估计。

- 除非巧妙使用估计技术，否则有可能得到在数据的一定范围内毫无意义的拟合曲线。例如，对于矩估计方法，容易犯这样一个错误，为拟合皮尔逊III型分布，估计的阈值小于过程输出的下限，进而导致X0.00135和Ck的估计无意义。
- 矩估计方法并不能对估计指数的变异性进行估计。同样，这些方法无法给出指数的置信区间。
- 并不是每一个数据分布都能使用皮尔逊或约翰逊曲线充分描述。
- 拟合优度检验仅限于卡方检验，因为通常没有对皮尔逊或约翰逊系统更为有效的检验方法。
- “黑盒”方法趋向于代替基本实践，例如，绘制数据和使用简单正态变换，而基本实践才能真正理解过程。

#### 4.5.4 分布识别法

附录C描述了研究过程能力时常用的分布函数簇(例如，对数正态分布、瑞利分布和威布尔分布)。该方法首先识别合适的分布簇，随后，使用某种有效估计方法去估计分布参数来最好地解释数据，并最终给出使用分布参数表示的分位数。

该方法与正态分布情形下采用的程序类似，6 $\sigma$ 由X0.986s—X0.00135表示，其中， $\sigma$ 是通过估计得到的。

不同类型的概率纸对识别合适的分布簇是有用的。

#### 4.6 对过程能力评估进行描述和计算的替代方法

该方法的基础是对正态分布特性X的“理想过程”所广泛使用的Cp和Cpk的定义(见表1)，其中，期望 $\mu$ 和方差 $\sigma^2$ 是不随时间变化的常数，其估计分别为 $\bar{X}$ 和S<sup>2</sup>。

表 1 正态分布过程能力指数与其估计

指 数	估 计
$C_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{6\sigma}$	$\hat{C}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{6S}$
$C_{pk} = \frac{U_{SL} - \mu}{3\sigma}$	$\hat{C}_{pk} = \frac{U_{SL} - \bar{X}}{3S}$
$C_{pkL} = \frac{\mu - L_{SL}}{3\sigma}$	$\hat{C}_{pkL} = \frac{\bar{X} - L_{SL}}{3S}$
$C_k = \min(C_{pk}, C_{pkL})$	$\hat{C}_k = \min(\hat{C}_k, \hat{C}_{pkL})$

该“理想过程”预示长期标准差等于短期标准差。

对于正态分布，下不合格率和Ck<sub>L</sub>之间以及上不合格率和Ck<sub>U</sub>之间存在明确的联系。在4.8中利用该联系，通过上、下过程能力指数计算超出规范限的比例。为便于参考，该联系在表2中列出。

当这些过程能力度量推广应用到非正态特性时，利用表2的联系，不合格率可以转换为相应的能力指数。

表 2 正态分布情形的过程能力指数及估计

指 数	估 计
$C_p = \frac{C_{pu} + C_{pl}}{2}$	$\hat{C}_p = \frac{\hat{C}_{pu} + \hat{C}_{pl}}{2}$
$C_{pu} = \frac{z_{1-pu}}{3}$	$\hat{C}_{pu} = \frac{z_{1-\hat{p}_u}}{3}$
$C_{pl} = \frac{z_{1-pl}}{3}$	$\hat{C}_{pl} = \frac{z_{1-\hat{p}_l}}{3}$

其中， $p_u$ 和  $p_l$  分别为超出上规范限和下规范限的不合格品比例， $\hat{p}_u$  和  $\hat{p}_l$  为相应的估计值。表2中的公式可应用于任意分布。

因为使用者了解生产过程，可以利用样本数据，通过适当的概率纸进行评估，所以通常假设他们已了解分布的形状。

对那些常见的分布(正态、对数正态、瑞利和威布尔),它们的联系和公式,参见附录C。

#### 4.7 连续数据的其他能力度量

##### 4.7.1 过程能力倒数(PCF)

PCF 是指数 $C_p$ 的倒数:

$$\frac{6\sigma}{U_{SL} - L_{SL}} = \frac{1}{C_p} \dots\dots\dots (15)$$

它也可以表示为百分数的形式，有时称为 $Ck(\%)$ 。

##### 4.7.2 给定单侧规范限或者没有规范限时的指数

###### 4.7.2.1 通 则

有时，只存在单侧规范限，例如，只给出最大值要求。此时，只可能计算一个 $Ck$  指数或一个 $Pk$  指数。

也存在一些规范限无法给出或未知的情形。然而，如果产品特性或过程参数的目标值或名义值已给定，下列度量可能仍然适用。它们对在目标值附近追求最小化过程变异提出了专门要求。

###### 4.7.2.2 均方误差

均方误差同时考虑了过程的位置和离散程度，其计算公式如下:

$$\sigma^2 + (\mu - T)^2 \dots\dots\dots (16)$$

在根据数据计算均方误差时，需利用来自控制图的样本数据估计过程标准差  $\sigma$  和过程均值  $\mu$ 。

###### 4.7.2.3 Qk指数

该指数利用了4.7.2.2给出的均方误差，但将整个值表示为过程变异指数，具体计算如下:

$$Q_k = \frac{100\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}{T} (\%) \dots\dots\dots (17)$$

其中，目标值 $T \neq 0$ 。

该指数的一个有意义的性质是：当过程的质量特性发生位置漂移时，该指数的值会增大；当过程变异增大时，该指数的值也会增大。因此，该指数越小，则认为该过程表现越好。

4.7.2.4 Cm指数

类似Qk, 指数Cpm综合了目标值和均方误差MSE。按照最简便表达, 该指数为:

$$C_{pm} = \frac{U_{sl} - L_{sl}}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \dots\dots\dots (18)$$

该计算表明T 为Usu和 Ls 的中点, 下面引入使用非中心T 值的改进形式:

$$C_{pm}^* = \frac{\min(U_{sl} - T, T - L_{sl})}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \dots\dots\dots (19)$$

与常用指数Cp 和Cpk相比, Cpm是唯一需要描述目标位置的指数。由于将均方误差放在分母上, 指数Cpm也称为田口指数。

4.8 超出规范限比例的评估(正态分布情形)

Lsi. 以下和Us. 以上所对应的超出规范限的产品比例p<sub>l</sub> 和pu, 可以利用标准正态分布进行估计。标准化偏差的计算如下:

$$2pu = 3Cpku \dots\dots\dots (20)$$

和

$$2pL = 3Ck \dots\dots\dots (21)$$

其中, pu和p<sub>l</sub> 分别视为标准正态分布中超出zp 和zp 的比例。

另外, 对于一个处于统计受控状态的过程, 过程收益可以用100%减去全部不合格品的百分比。

如果一个过程处于统计受控状态, Ck, =0.86, Cku=0.91, 其超出规范限的比例可由下述方法给出:

a) 计算上标准化偏差

$$\approx u = 3Cku = 3 \times 0.91 = 2.73 \dots\dots\dots (22)$$

b) 计算下标准化偏差

$$\approx pL = 3Ck = 3 \times 0.86 = 2.58 \dots\dots\dots (23)$$

c) 使用标准正态分布, 查表或计算, 给出超出规范限Us. 和Ls.(zp 和zp) 的比例pu 和p。

为便于使用, 表3给出了超出规范限比例估计的查表值。表3使用过程能力指数Cpy 或Ck 索引。注意, 表3不能用于推导计数型数据的Cp 和Cpk。

使用Ck=0.86, Cpku=0.91 的上述案例, 规范限UsL和Lst 的比例估计, 从表3直接读数为0.0049和0.0032。

表3 C<sub>1</sub> 或C<sub>m</sub> (表中的PCD)与超出规范限的分布尾部所对应的正态分布比例

PCI	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.6	7.9×10 <sup>-6</sup>	6.8×10 <sup>-6</sup>	5.9×10 <sup>-6</sup>	5.0×10 <sup>-6</sup>	7.9×10 <sup>-6</sup>	3.7×10 <sup>-6</sup>	3.2×10 <sup>-6</sup>	2.7×10 <sup>-6</sup>	2.3×10 <sup>-7</sup>	2.0×10 <sup>-6</sup>
1.5	3.4×10 <sup>-6</sup>	3.0×10 <sup>-6</sup>	2.6×10 <sup>-6</sup>	2.2×10 <sup>-6</sup>	1.9×10 <sup>-6</sup>	1.7×10 <sup>-6</sup>	1.4×10 <sup>-6</sup>	1.2×10 <sup>-6</sup>	1.1×10 <sup>-6</sup>	9.2×10 <sup>-7</sup>
1.4	1.3×10 <sup>-6</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	1.0×10 <sup>-5</sup>	8.9×10 <sup>-6</sup>	7.8×10 <sup>-6</sup>	6.8×10 <sup>-6</sup>	5.9×10 <sup>-6</sup>	5.2×10 <sup>-6</sup>	4.5×10 <sup>-6</sup>	3.9×10 <sup>-6</sup>
1.3	4.8×10 <sup>-6</sup>	4.2×10 <sup>-5</sup>	3.7×10 <sup>-5</sup>	3.3×10 <sup>-5</sup>	2.9×10 <sup>-5</sup>	2.6×10 <sup>-5</sup>	2.3×10 <sup>-5</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	1.7×10 <sup>-5</sup>	1.5×10 <sup>-5</sup>
1.2	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
1.1	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
1.0	0.0013	0.0012	0.0011	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005
0.9	0.0035	0.0032	0.0029	0.0026	0.0024	0.0022	0.0020	0.0018	0.0016	0.0015
0.8	0.0082	0.0075	0.006.9	0.006.4	0.0059	0.0054	0.0049	0.0045	0.0041	0.0038
0.7	0.0179	0.016.6	0.0154	0.0143	0.0132	0.0122	0.0113	0.010.4	0.009.6	0.0089
0.6	0.0359	0.033.6	0.0314	0.0294	0.0274	0.0256	0.023.9	0.0222	0.0207	0.0192
0.5	0.0668	0.0630	0.0594	0.0559	0.0526	0.0495	0.0465	0.0436	0.0409	0.0384
0.4	0.1151	0.1093	0.1038	0.0985	0.0934	0.0885	0.0838	0.0793	0.0749	0.0708
0.3	0.1841	0.1762	0.1685	0.1611	0.1539	0.1469	0.1401	0.1335	0.1271	0.1210
0.2	0.2743	0.2643	0.2546	0.2451	0.2358	0.2266	0.2177	0.2090	0.200.5	0.1922
0.1	0.3821	0.3707	0.3594	0.3483	0.3372	0.3264	0.315.6	0.3030	0.2946	0.2843
0.0	0.5000	0.4880	0.4761	0.4641	0.4522	0.4404	0.4286	0.4168	0.4052	0.3936

## 5 性能

### 5.1 通则

某一过程特性的性能需利用过程输出结果的实际分布进行计算。性能和能力之间唯一重要的区别在于，性能不要求过程处于统计受控状态，也不要求使用控制图监控该过程。以下是适用于性能的条件：

- 需明确所有的技术条件，例如，温度和湿度；
- 需对测量系统的不确定度进行适当估计和判断(参见ISO22514-7 和 JJF 1059.1-2012)；
- 应允许过程存在多因素、多水平；
- 需记录数据收集的时间；
- 需规定抽样频率，同时记录数据收集开始和结束的日期；
- 过程不需要使用控制图进行监控；
- 过程不需要处于统计受控状态，特别是，未知序列的历史数据可用于评估过程性能。

接下来在5.2与5.3中给出表示过程性能的指数。除了它们分别被命名为Pp、Pk、Ppo 和Ppk 之外，它们的形式与能力条款给出的类似。

### 5.2 测量数据的过程性能指数(正态分布情形)

#### 5.2.1 指数Pp

当单值数据服从正态分布时，参照区间长度等于 $6\sigma$ ，其中， $\sigma$ ，是总标准差。因此，指数Pp可表示为：

$$P_p = \frac{U_{sl} - L_{sl}}{6\sigma_t} \dots\dots\dots (24)$$

为得到指数Pp的估计，需要给出总标准差 $\sigma$ ，的估计 $\sigma_t$ 。实际中， $\sigma_t$ 取作所有数据的全样本标准差 $S_t$ 。当得到 $\sigma_t$ 的估计时，很容易估计该指数。

#### 5.2.2 指数Ppk

当单值数据的分布是正态分布时，中位数  $X_{0.5}$ 等于均值  $\mu$ 。进一步， $X_{0.99865}-X_{0.5}$ 和  $X_{0.5}-X_{0.00135}$ 均等于 $3\sigma$ 。因此，指数Ppk为下述两个值的最小者：

$$P_{pk_U} = \frac{U_{sl} - \mu}{3\sigma_t} \dots\dots\dots (25)$$

和

$$P_{pk_L} = \frac{\mu - L_{sl}}{3\sigma_t} \dots\dots\dots (26)$$

上述指数的估计如下：

$$\hat{P}_{pk_U} = \frac{U_{sl} - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_t} \dots\dots\dots (27)$$

和

$$\hat{P}_{pk_L} = \frac{\bar{X} - L_{sl}}{3\hat{\sigma}_t} \dots\dots\dots (28)$$

较低的指数意味着超出规范限的产品比例较高。

### 5.3 测量数据的过程性能指数(非正态分布情形)

#### 5.3.1 通则

本条中,非正态数据采用的方法与在4.5中所给出的能力指数的方法相同。

#### 5.3.2 概率纸法

根据类似于图5的图形,可以得到分位数 $X_{0.00135}$ 和 $X_{0.99865}$ 的估计,则其公式变为:

$$\hat{P}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.00135}} \quad \dots\dots\dots (29)$$

同样地,  $P_{pk}$ 公式变为:

$$\hat{P}_{pk_U} = \frac{U_{SL} - \hat{X}_{0.5}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.5}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

和

$$\hat{P}_{pk_L} = \frac{\hat{X}_{0.5} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.5} - \hat{X}_{0.00135}} \quad \dots\dots\dots (31)$$

则 $Pk = \min(Pk_U, Pk_L)$ 。

如果指数小于给定值,则认为该过程不合格率偏高。不合格率取决于过程分布和性能指数的值。性能指数与不合格率之间的联系取决于分布类型。不宜直接以从正态分布导出的临界点为基础来分析非正态分布的过程性能。

概率纸法可以直接估计相当极端的分位数,但并不准确。此外,概率纸的估计方法虽然使用非常简单,但有些粗糙,因此,推荐附录C的计算方法。

#### 5.3.3 皮尔逊曲线法

标准化皮尔逊曲线可以作为概率纸的替代方法。该方法通过实例(参见附录B)的方式介绍。该指数的计算如下:

$$\hat{P}_p = \frac{U_{SL} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.00135}} \quad \dots\dots\dots (32)$$

其中,  $X_{0.00135}$ 和  $X_{0.99865}$ 由标准化皮尔逊曲线给出的0.135%和99.865%分位数估计。

同样,得到公式:

$$\hat{P}_{pk_U} = \frac{U_{SL} - \hat{X}_{0.5}}{\hat{X}_{0.99865} - \hat{X}_{0.5}} \quad \dots\dots\dots (33)$$

和

$$\hat{P}_{pk_L} = \frac{\hat{X}_{0.5} - L_{SL}}{\hat{X}_{0.5} - \hat{X}_{0.00135}} \quad \dots\dots\dots (34)$$

其中,  $X_{0.5}$ 指中位数的估计值。

为使用该方法,除了均值和标准差之外,还需要计算其偏度值和峰度值。

为应对偶尔使用的需求,出于完整性考虑,在这里介绍该方法,但不推荐使用(该方法的使用说明,详见4.5.3)。

#### 5.3.4 分布识别法

附录C 阐述了在过程性能分析中常见的一些分布函数族,例如,对数正态分布、瑞利分布和威布尔

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/537014050146006130>