

Process Capability

楊素芬 特聘教授
Distinguished Prof. Su-fen Yang
Department of Statistics
National Chengchi University
Taipei, 116, Taiwan, ROC

9. PROCESS CAPABILITY ANALYSIS (製程能力分析)

9.1 製程能力的意義

對業者而言，當生產線上所有造成製程不穩定的原因已經被排除後，製程處於統計管制的狀態，這時為了解製程上產品符合規格的績效，則須衡量製程能力。製程處於統計管制的狀態下，製程上隨機抽取的樣本資料，無論是計數值或計量值都可用以衡量製程能力。製程能力的衡量方法亦可應用於服務業流程上。

a. 各種製程能力指標

當製程穩定時，了解製程符合規格(USL-LSL)之能力，可做為製程改善之依據。說明一個製程符合規格(USL-LSL)之能力的指標常見的有Cp，Cpk，及計數管制圖。當品質特性數據為計量型時，Cp指標和Cpk指標被用以說明一個製程符合規格之能力。當品質特性數據為計數型時，計數管制圖之中心線值被用以說明製程能力。

製程能力指數

$$\mu = m$$

$$\mu \neq m$$

良率

$$C_p$$

$$C_{pk}$$

損失

$$C_{pm}$$

$$C_{pmk}$$

b. Cp指標

Cp指標被用以說明一個製程符合規格 (USL-LSL) 之能力。

b.1. 原理與背景

當製程穩定時，品質特性數據為計量型且其分佈呈常態分佈或近似常態分佈時，Cp指標被用以說明一個製程符合規格(USL-LSL)之能力。在已知USL, LSL, μ , σ 和規格中心(m)下，當 $\mu = m$ ，則Cp值可以計算得到。

Cp值愈高表示製程能力愈好，製程穩定下的產出不良率愈低。Cp值愈低表示製程能力愈差，製程穩定下的產出不良率愈高。在國際上，可接受的最小Cp值通常是1.33。

b.2 方法與公式

(1) Cp指標公式

Cp指標定義為 $Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$ 。

UCL-LCL 客戶要求, 6σ 是生產者能力

當 σ 未知, 而製程能力分析是以 Xbar-R 管制圖之資料進行分析時, 則以 $\frac{\bar{R}}{d_2}$ 估計 σ , 這時 Cp 的估計值為

$$\hat{Cp} = \frac{USL - LSL}{6 \frac{\bar{R}}{d_2}} \quad \circ$$

若製程能力分析是以Xbar-S管制圖之資料進行分析，則以 $\frac{\bar{S}}{c_4}$ 估計 σ ，這時Cp的估計值為

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6 \frac{\bar{S}}{c_4}}$$

當 $\mu \neq m$ ，則 Cp 值用以表示製程之潛在能力，即衡量當 μ 可以調到 m 時，製程符合規格之能力。因此，當 $\mu \neq m$ ，以 Cp 值衡量製程之實際能力是高估的。

由 C_p 指標定義，可以知道

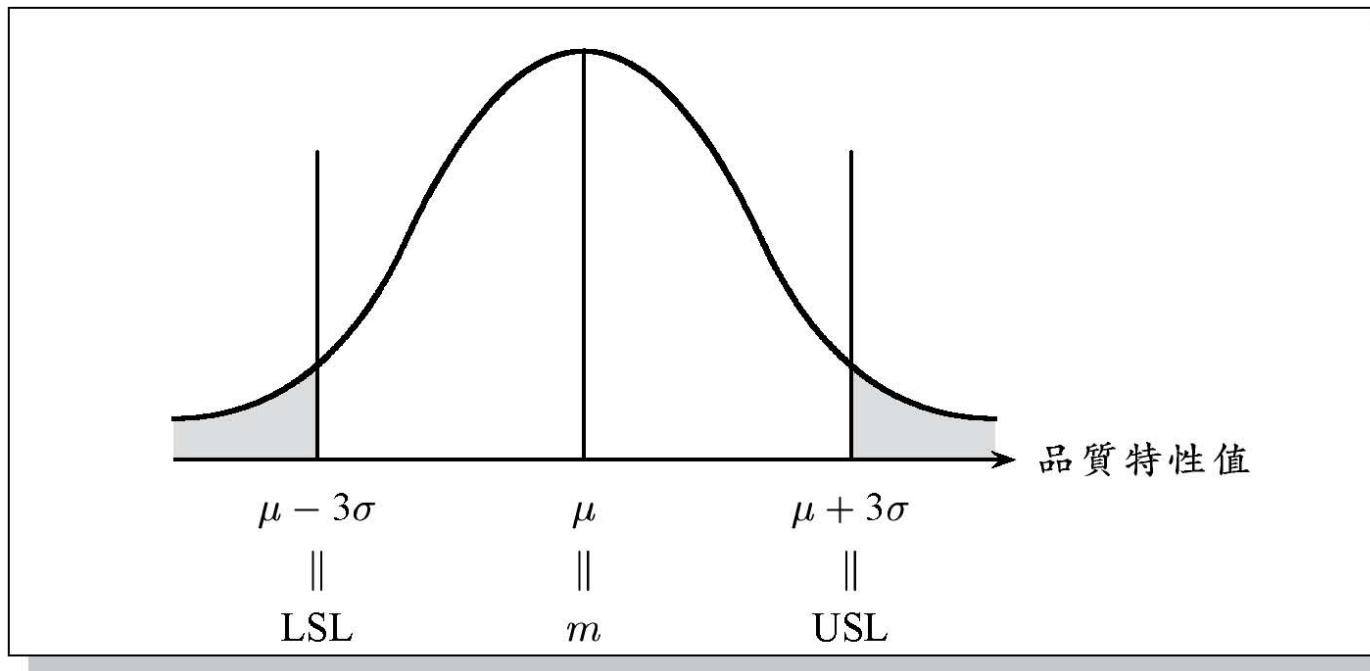
當 $C_p=1$ ，這表示 $USL-LSL=6\sigma$ ，則在製程穩定下，數據呈常態分佈時產品的不合格率為0.0027或2700ppm (parts per million)；

當 $C_p>1$ ，這表示 $USL-LSL>6\sigma$ ，則產品之不合格率小於0.0027或小於2700ppm；

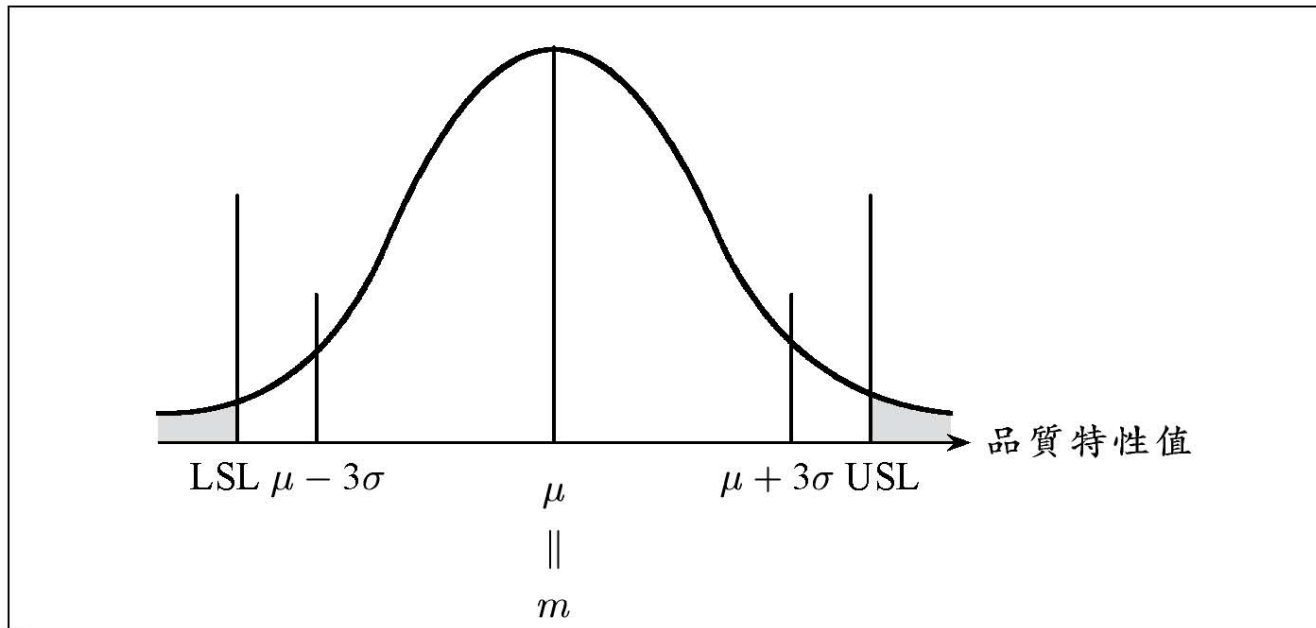
當 $C_p<1$ ，這表示 $USL-LSL<6\sigma$ ，則產品之不合格率大於0.0027或大於2700 ppm。

不同的 C_p 值對應不同的不合格率及ppm值。

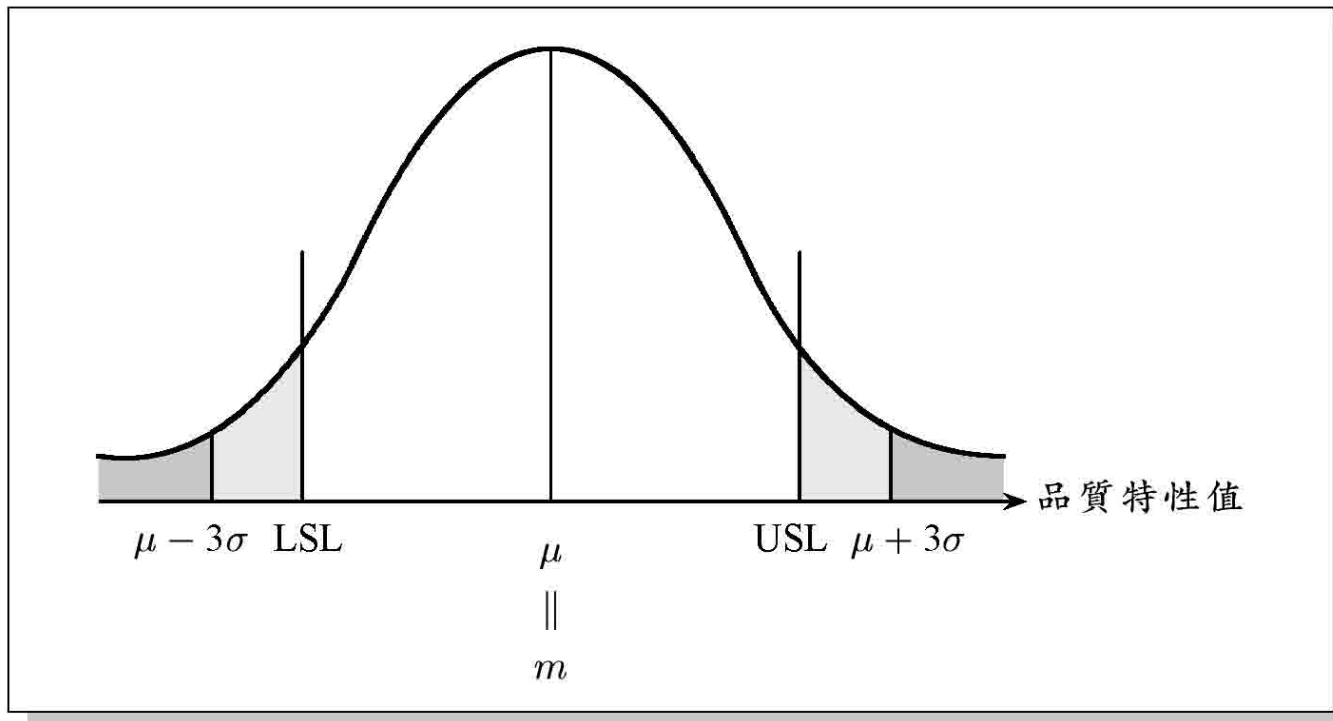
(1)若 $C_p = 1$ 即 不良率 $p = 0.0027$



(2) $C_p > 1$ 即 $USL - LSL > 6\sigma$ 則 $P < 0.0027$



(3) $C_p < 1$ 即 $USL - LSL < 6\sigma$ 則 $P > 0.0027$



(2) 產品不合格率和ppm的計算方法

不同的Cp 值事實上對應唯一的不合格率及ppm值。

因為 $Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = k$ ，則 $USL - LSL = k \cdot 6\sigma$ ，

故 $USL = \mu + 3k\sigma$ ，且 $LSL = \mu - 3k\sigma$ 。

於是，不合格率 $p = 1 - P(-3k < Z < 3k) = 1 - 2P(0 < Z < 3k)$ ，
其中 $Z \sim N(0, 1)$ 。

若將不合格率轉化為每百萬產出之不合格數
則為將p值乘以 10^6 即是， $p \cdot 10^6$ ppm。

(3) Cp查詢表

例如：飲料罐強度的LSL=134.1

和USL=394.1，可計算得Cp=1.3，於是由Cp查

詢表可得 $p=0.000096=96$ ppm。

Cp值對應的p值和ppm值

◎ 表 8.1 各種 C_p 值下對應的不合格率及 ppm

$C_p = k$ k	不合格率	ppm
0.1	0.764177	764177
0.2	0.548506	548506
0.3	0.368120	368120
0.4	0.230139	230139
0.5	0.133614	133614
0.6	0.071861	71861
0.7	0.035729	35729
0.8	0.016395	16395
0.9	0.006934	6934
1.0	0.002700	2700
1.1	0.000967	967
1.2	0.000318	318
1.3	0.000096	96
1.4	0.000027	27
1.5	0.000007	7
1.6	0.000002	2
1.7	0.00000034	0.34
1.8	0.000000067	0.067
1.9	0.0000000120	0.012
2.0	0.0000000020	0.0020
2.1	0.0000000003	0.0003
2.2	0.00000000004	0.00004
2.3	0.000000000005	0.000005

資料來源：楊素芬 (1996)

(4) 限制條件與注意事項

使用Cp之限制條件與注意事項如下：

- (1) Cp只能用於製程穩定且製程產出分佈近似常態的情形下。
- (2) 若 μ 和 m 不相等，以Cp指標衡量製程能力是會高估製程能力，故Cp查詢表就不能參用。
- (3) 倘若資料嚴重偏離常態分佈，則可採用變數變換法使原始資料經過轉換後近似常態分配
或機率法, $Cp = (UCL - LCL) / (U_{0.99865} - L_{0.00135})$
使用偏離常態分佈的數據對製程能力做推論會造成嚴重的誤差。

(5) 應用實例

(a) Cp值的計算

品質工程師欲以 \bar{X} 和R管制圖追蹤製程中的E型物內徑是否在管制狀態，是以自5/12~5/16分別由製程中抽樣。表(1)陳列28組E型物內徑的樣本資料，每組樣本有5個觀測數值，其測定單位為 μ ($1\mu=0.001\text{mm}$)。E型物內徑的USL=16.88, LSL=6.88，且m=11.88。依據這些樣本建立的 \bar{X} 和R管制圖如圖(2)和圖(3)。

\bar{X} 管制圖

$$CL = \bar{X} = 11.88$$

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 11.88 + 0.577 \times 4.07 = 14.23$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 11.88 - 0.577 \times 4.07 = 9.53$$

註：由附錄一，可查得當樣本大小為5時，
A2 值為0.577。

R管制圖

$$CL = \bar{R} = 4.07$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.115 \times 4.07 = 8.61$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0$$

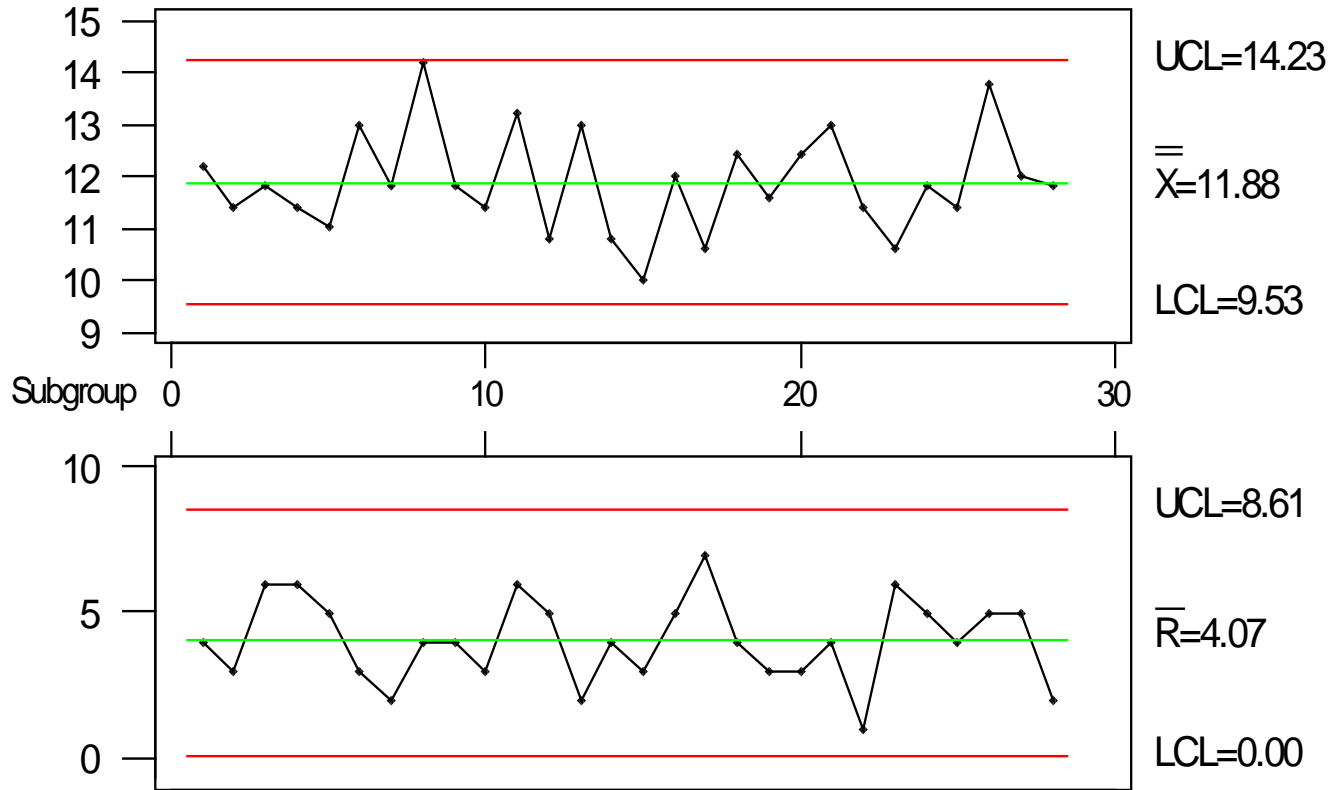
註：由附錄一，可查得當樣本大小為5時，

$$D_3 = 0，而 D_4 = 2.115。$$

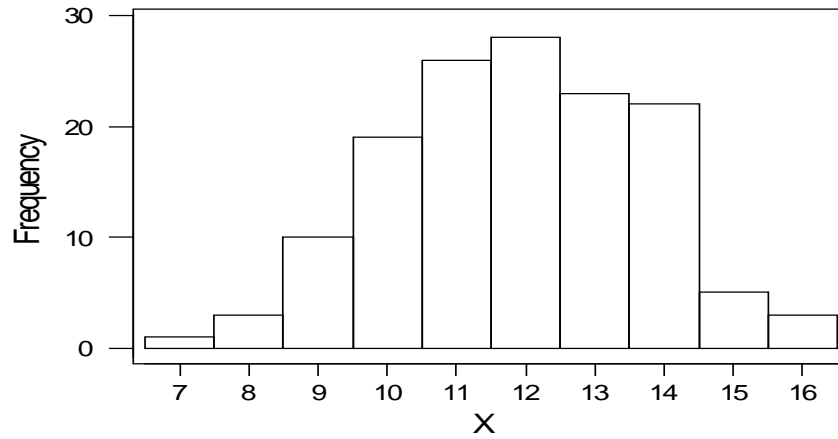
日期	組號	測定值					\bar{X} 平均數 ()	全距 (R)
		X1	X2	X3	X4	X5		
5/12	1	13	12	10	12	14	12.2	4
	2	11	12	10	13	11	11.4	3
	3	13	8	11	13	14	11.8	6
	4	15	11	12	10	9	11.4	6
	5	14	10	12	10	9	11.0	5
	6	13	13	14	11	14	13.0	3
5/13	7	11	12	12	13	11	11.8	2
	8	14	15	16	12	14	14.2	4
	9	10	14	11	11	13	11.8	4
	10	10	12	10	13	12	11.4	3
	11	16	10	15	12	13	13.2	6
	12	10	14	10	9	11	10.8	5
5/14	13	14	13	12	12	14	13.0	2
	14	11	13	11	9	10	10.8	4
	15	12	10	9	9	10	10.0	3
	16	9	13	12	12	14	12.0	5
	17	13	8	7	14	11	10.6	7
	18	10	14	11	14	13	12.4	4
5/15	19	13	11	12	10	12	11.6	3
	20	11	14	11	13	13	12.4	3
	21	13	12	14	15	11	13.0	4
	22	11	12	12	11	11	11.4	1
	23	12	8	10	9	14	10.6	6
	24	9	12	11	14	13	11.8	5
5/16	25	10	14	12	11	10	11.4	4
	26	13	11	16	14	15	13.8	5
	27	12	9	13	14	12	12.0	5
	28	13	11	12	11	12	11.8	2
平均值						\bar{x} =11.88	\bar{R} =4.07	

\bar{x}

\bar{R}



\bar{X} 管制圖 R管制圖



直方圖

X-bar圖和R圖呈現製程在統計管制中，並且數據之分佈近似常態(見圖)。

因此Cp中的製程參數 σ 可以由管制圖估計得，即

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 4.07/2.362 = 1.723。$$

在已知LSL=16.88和USL=6.88下，可計算得

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} = \frac{16.88 - 6.88}{6 \times 1.723} = 0.967。$$

(b) p值與ppm值的計算

$\hat{C}_p=0.967$ 所對應的不合格率可利用公式及配合

標準常態表計算得

$$p=1-2P(0<Z<3\times 0.967)=0.0038, \text{ 或為 } 3800\text{ppm}。$$

製程能力不佳

c. Cpk指標

c.1 概述

當品質特性數據為計量型時，Cpk指標是另外一種計算製程能力的技術。

c.2 原理與背景

Cpk指標是另外一種計算製程能力的技術。當製程穩定時，製程產出的分佈若近似常態，但製程平均值並不位於規格中心時，製程能力就不能以Cp指標衡量。

然而，實務上製程平均值並不位於規格中心之情形甚多，那麼應該用什麼指標才能正確衡量製程能力呢？

以Cpk指標衡量製程能力時製程平均值並不一定要位於規格中心，即Cpk指標還比Cp指標多說明了製程平均值偏離規格中心之情形(準確度)，因此Cpk指標對製程能力的描述更準確。

Cpk值愈高表示製程能力愈好，製程穩定下的產出不良率愈低。

c.3公式

(1) Cpk指標公式

Cpk指標的定義為

$$Cpk = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\} \circ$$

c.4 建立 Cpk 查詢表的方法

倘若有一個 Cpk 查詢表能陳列出不同的 Cpk 值下對應的不合格率和 ppm，則將非常方便使用者的應用。Cpk 查詢表的建立方法如下：

在已知 μ ， σ ，LSL 和 USL 下，

$$\text{令 } \delta_1 = \frac{|\mu - m|}{\sigma}, \quad \delta = \frac{USL - LSL}{2\sigma}。$$

若 $\mu < m$ ，則 $LSL = \mu - (\delta - \delta_1)\sigma$ ，且 $USL = \mu + (\delta + \delta_1)\sigma$

於是無論是 $\mu < m$ 或 $\mu > m$ ，

$$Cpk = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{\delta - \delta_1}{3}$$

其對應的不合格率為 $p=1-P(0<Z<\delta+\delta_1)-P(0<Z<\delta-\delta_1)$ ，

其中Z為標準常態分佈，即 $Z\sim N(0,1)$ 。

以每百萬件的不合格件數表示則為 $p\bullet 10^6$ ppm。

對使用者言，只要知道 δ 和 δ_1 ，即可由Cpk查詢表查得Cpk值，p值和 $p\bullet 10^6$ ppm值，非常方便。

c.5 Cpk查詢表

5	1.1	1.3	48.116
5	1.2	1.266667	72.372
5	1.3	1.233333	107.830
5	1.4	1.2	159.146
5	1.5	1.166667	232.673
5.5	0.1	1.8	0.044
5.5	0.2	1.766667	0.064
5.5	0.3	1.733333	0.103
5.5	0.4	1.7	0.172
5.5	0.5	1.666667	0.288
5.5	0.6	1.633333	0.400
5.5	0.7	1.6	0.794
5.5	0.8	1.566667	1.302
5.5	0.9	1.533333	2.115
5.5	1	1.5	3.401
5.5	1.1	1.466667	5.417
5.5	1.2	1.433333	8.546
5.5	1.3	1.4	13.354
5.5	1.4	1.366667	20.669
5.5	1.5	1.333333	31.686
6	0.1	1.966667	0.002
6	0.2	1.933333	0.004
6	0.3	1.9	0.006
6	0.4	1.866667	0.011
6	0.5	1.833333	0.019
6	0.6	1.8	0.033
6	0.7	1.766667	0.058
6	0.8	1.733333	0.100
6	0.9	1.7	0.170
6	1	1.666667	0.287
6	1.1	1.633333	0.480
6	1.2	1.6	0.794
6	1.3	1.566667	1.302
6	1.4	1.533333	2.115
6	1.5	1.5	3.401

* $p = \text{ppm} \times 10^{-6}$

由Cp 與Cpk的定義，可推知其關係為

$$C_{pk} = (1 - B) C_p, \quad \text{其中 } B = \frac{2|m - \mu|}{USL - LSL}$$

因此當 $\mu = m$ 時， $C_{pk} = C_p$ ；

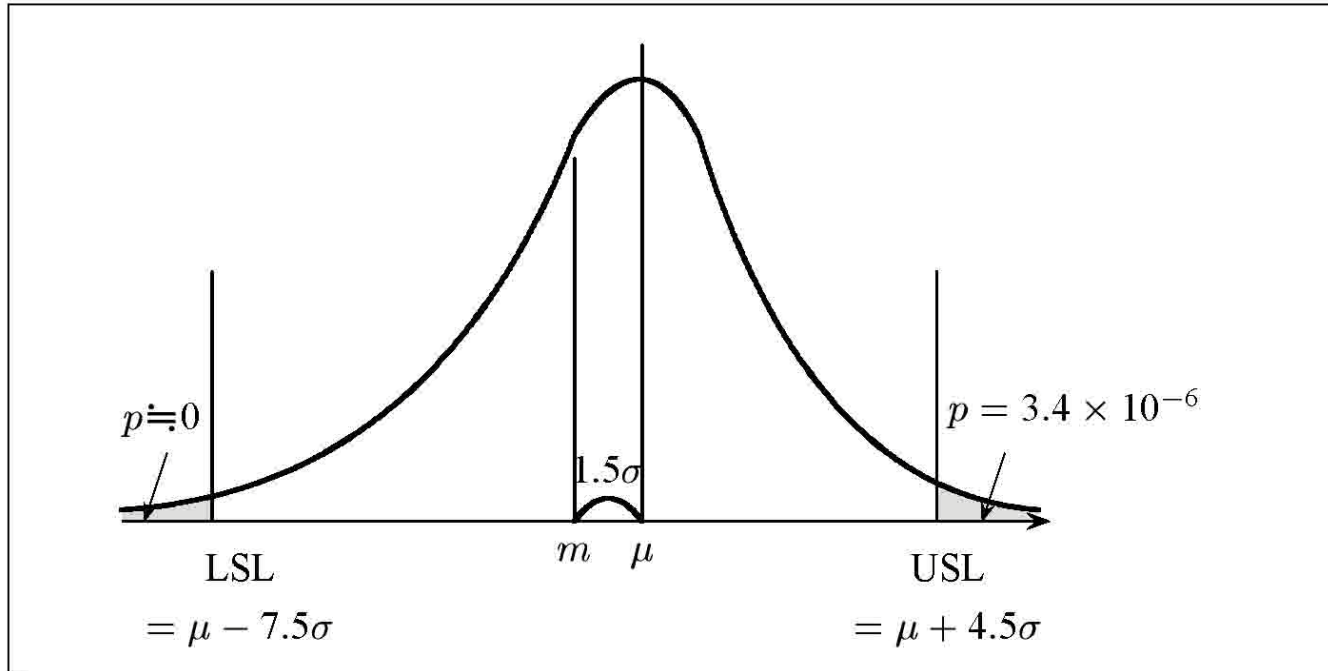
當 $\mu \neq m$ 時， $C_{pk} < C_p$ ，這也說明了若 $\mu \neq m$ 以 C_p 值表示製程能力則有高估的情形。

c.6 Cpk值與6σ ppm之關係

美國摩托羅拉公司所提出的6-sigma品質之觀念是在平均值不容易調整之下，允許平均值對目標值最多有 1.5σ 之偏移；製造變異則在持續改善製造下逐漸降低，以達到規格上下限的寬度為12倍的製程標準差，

即 $USL-LSL=12\sigma$ 。這時， $\delta_1=1.5$ ，且 $\delta=6$ ，於是 $Cpk=1.5$ ，其對應的不合格率依公式再以統計軟體可計算得 $p=3.4 \cdot 10^{-6}$ ，即每百萬件的不合格件數為3.4 PPM。

$$P(4.5 < Z \text{ or } Z < -7.5) = P(Z > 4.5) = 3.4 \text{ PPM}$$



偏移 1.5σ 之常態分配圖

c.7 限制條件與注意事項

使用Cpk之限制條件與注意事項如下：

- (1) 只能用於製程穩定且製程產出分佈近似常態的情形下。
- (2) 無論 μ 和 m 相等否，都可用Cpk指標衡量製程能力。
- (3) 倘若資料嚴重偏離常態分佈，則可採用變數變換法使原始資料經過轉換後近似常態分配 or

$$Cpk = \min \left\{ \frac{M_{0.5} - LSL}{M_{0.5} - L_{0.00135}}, \frac{USL - M_{0.5}}{L_{0.99865} - M_{0.5}} \right\}。$$

使用偏離常態分佈的數據對製程能力做推論會造成嚴重的誤差。

c.8 應用實例

(1) Cpk值的計算

利用表(1)的資料及建立的 \bar{X} 和R管制圖

$\frac{\bar{R}}{d_2} = 11.88$ 為 σ 之估計值，
且以 $\bar{X} = 11.723$ 為 μ 之估計值。

假設已知LSL=7, USL=17且m=12，則

$$Cpk = \min\left(\frac{11.88 - 7}{3 \times 1.723}, \frac{17 - 11.88}{3 \times 1.723}\right) = \min(0.944, 0.99) = 0.944。$$

c.9 p值和ppm值的計算

已知Cpk=0.944，此時對應的不合格率(p)為

$$p=1-P\left(Z < \frac{17-11.88}{1.723}\right) + P\left(0 < Z < \frac{7-11.88}{1.723}\right)$$

$$=1-P(Z < 2.97) + P(Z < -2.83) \quad (\text{查Z值表})$$

$$=1-0.9985+0.0023=0.0038,$$

亦即每百萬件的不合格件數為 3800。

c.10 cpk 查詢表

各種 (δ, δ_1) 組合下的Cpk值和對應的ppm值可由查詢表得知。表中p值未列出，但將ppm值乘以 10^{-6} 即是。

例如： \bar{X} 和R管制圖顯示製程呈穩定狀態，已知
 $\bar{X}=100$ ， $\bar{R}=5$ ，LSL=77.5和USL=137.5下，

$$\text{因為 } \delta_1 = \frac{d_2}{\sigma} \left(\text{或 } \frac{|\bar{X} - m|}{\bar{R}} \right) = 1.5,$$

$$\delta = \frac{USL - LSL}{2\sigma} \left(\text{或 } \frac{USL - LSL}{2\frac{\bar{R}}{d_2}} \right) = 6.0。$$

於是由Cpk查詢表可知，在 $\delta=6.0$ ， $\delta_1=1.5$ 下，Cpk=1.5， $p=3.4 \cdot 10^{-6}$ ，及3.4ppm。

d. Ca指標

d.1概述

Ca指標也被用以說明一個製程符合規格(USL-LSL)之能力。

d.2 原理與背景

當製程穩定時，品質特性數據為計量型且其分佈呈常態分佈或近似常態分佈時，Ca指標被用以說明製程平均值偏離 m 之程度。在已知USL, LSL, μ , σ 和 m 下，當 $\mu \neq m$ ，則Ca值可以計算得到。

|Ca| 值愈低表示製程能力愈好或製程平均值 μ 愈接近 m ，此時製程穩定下的產出不良率愈低。|Ca| 值愈高表示製程能力愈差或製程平均值 μ 愈偏離 m ，製程穩定下的產出不良率愈高。

d.3 方法與公式

(1) Ca指標公式

$$\text{Ca指標定義為 } Ca = \frac{\mu - m}{(USL - LSL) / 2}。$$

當 μ 未知，而製程能力分析是以 \bar{X} -R管制圖之資料

進行分析時，則以 \bar{X} 管制圖之中心線值估計 μ ，

這時Ca的估計值為

$$\hat{Ca} = \frac{\bar{x} - m}{(USL - LSL) / 2}。$$

由Ca指標定義，可以知道

當 $Ca=0$ ，這時若 $USL-LSL=6\sigma$ ，則在製程穩定下，數據呈常態分佈時產品的合格率為0.0027或2700ppm (parts per million)；

當 $|Ca|>0$ ，則產品之不合格率大於0.0027或小於2700ppm；

當 $|Ca|<0$ ，則產品之不合格率大於0.0027或小於2700 ppm。

d.4 Ca和Cp, 及Cpk之關係

(1). Ca和Cp之關係

$$\text{Ca和Cp之關係為 } Ca = \frac{\mu - m}{3\sigma Cp}$$

(2)Ca和Cp，Cpk之關係

$$\text{Ca和Cp，Cpk之關係為 } Cpk = (1 - |Ca|)Cp$$

d.5 應用實例

(1) Ca值的計算

利用表(1)的資料及建立的和R管制圖(見圖(2)和圖(3))。
 $\bar{X} = 11.88$ 為 μ 之估計值，且以 $\frac{\bar{R}}{d_2} = 1.723$ 為 σ 之估計值。

則在已知飲料罐強度的LSL=7, USL=17且m=12下，
可計算得

$$\hat{Ca} = \frac{2(\bar{X} - m)}{USL - LSL} = \frac{2(11.88 - 12)}{17 - 7} = -0.024 = -2.4 \%。$$

\hat{Ca} 值頗小，表示製程平均值偏離規格中心程度小。

e. Cpm指標

e.1 概述

當品質特性數據為計量型時， C_{pm} 指標是以損失計算製程能力的技術。

e.2 原理與背景

當製程穩定時，製程產出的分佈若近似常態，以損失衡量製程能力時，製程能力就需以Cpm指標衡量。

Cpm指標衡量製程平均值偏離目標值的幅度及製程變數在規格界限內的力。Cpm被推導出的動機來自田口的損失函數。

當目標值不位於規格上下界限的中央時Cpm指標經常優於Cpk，因為在Cpm指標中的變異為偏離目標值的均方。因此Cpm指標對製程能力的描述更準確。

e.3公式

(1) Cpm指標公式

Cpm指標的定義為
$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{[\sigma^2 + (\mu - T)^2]}}$$

當 μ 未知時，則以 \bar{X} 管制圖的中心線值估計之，即以 \bar{X} 代替 μ 。當 σ^2 未知時，則以 R 管制圖的管制係數 $\frac{\bar{R}}{d_2}$ 代替 σ^2 。

故估計的 Cpm 為
$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{[\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)^2 + (\bar{X} - T)^2]}}$$

e.4 Cpm 和 Cp , Cpk 之關係

由 Cp, Cpk 和 Cpm 的定義，可推知其關係為

- (1) $C_{pm} = C_p$ 當 $\mu = T, \mu = m$
- (2) $C_{pm} < C_p$ 當 $\mu \neq T, \mu = m$
- (3) $C_{pm} = C_{pk}$ 當 $T = m, \mu \neq m$
- (4) $C_p = C_{pk} = C_{pm}$ 當 $\mu = T = m$ 。
- (5) $C_p \geq \max(C_{pk}, C_{pm})$ ，

因為 $C_{pk} = (1 - \frac{|\mu - m|}{(USL - LSL)/2}) C_p$, $C_{pm} = [1 + (\frac{\mu - T}{\sigma})^2]^{-1/2} C_p$ 。

e.5 應用實例

(1) Cpm值的計算

利用表(1)的資料及建立的 \bar{X} 和R管制圖(見圖(2)和圖(3))。

$\bar{X} = 11.88$ 為 μ 之估計值，且以 $\frac{\bar{R}}{d_2} = 1.723$ 為 σ 之估計值。

假設已知LSL=6.88, USL=16.88且T=12，則

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \sqrt{\left[\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)^2 + (\bar{X} - T)^2\right]}} = \frac{16.88 - 6.88}{6 \sqrt{1.723^2 + (11.88 - 12)^2}} = 0.965$$

f. C_{pmk} 指標

f.1 概述

當品質特性數據為計量型時， C_{pmk} 指標也是損失計算製程能力的技術。

f.2 原理與背景

當製程穩定時，製程產出的分佈若近似常態，但製程平均數不等於目標值，且製程平均數不等於規格上下界限的中央時，製程能力就需以 C_{pmk} 指標衡量。 C_{pmk} 指標衡量製程平均值偏離目標值及偏離規格中心的幅度。

f.3公式

(1) C_{pmk}指標公式

C_{pmk}指標的定義為

$$C_{pmk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right)。$$

當 μ 未知時，則以 \bar{X} 管制圖的中心線值估計之，即以 \bar{X} 代替 μ 。

當 σ^2 未知時，則以 R 管制圖的管制係數 $\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)^2$ 代替 σ^2 。

9.2 望大特性(LSL)的製程能力指數

a. C_p $\mu = M = T$

$$C_p = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

b. C_{pk} μ not M , $\mu = T$

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

c. C_{pm} $\mu = M$, μ not T

$$C_{pm} = \frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

d. C_{pmk} μ not M , μ not T

$$C_{pmk} = \frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

9.3 望小特性(USL)的製程能力指數

a. C_p

$$C_p = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

b. C_{pm}

$$C_{pm} = \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

c. C_{pk}

$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

d. C_{pmk}

$$C_{pmk} = \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

9.4. 評價參考(視產業別調整)

(1)	A級	B級 (應改進)	C級(立即檢討改進)	D級(緊急措施)
Cp	≥ 1.33	1.0~1.33	0.83~1.0	< 0.83
Cpk	≥ 1.33	1.0~1.33	< 1.0	
Ca	$\leq 12.5\%$	12.5%~25%	25%~50%	$> 50\%$

參考資料

- (1) 製程能力分析指導綱要(2002), 經濟部標準檢驗局.
- (2) σ_{ppm} 之探討(1996), 楊素芬, 政治大學統計系.
- (3) Process Capability Indices(1993), Kotz, S. and Johnson, N., Chapman and Hall.
- (4) 品質管理, 楊素芬, 2nd, 華泰書局, 2006.