建國科技大學
工業工程與管理系

102 學年度專題製作

# 金屬產品製程改善–以宥億公司為例

# The Improvement of Process for Youe Metal Company as Example

IE100 日四 B-06

**指導老師**

張振賢

**製作學生**

許元隆 100405093
賴惠卿 100405115
陳仕斌 99405132
曾宏吉 99405017
謝昇翰 99405018

中　華　民　國　1　0　3　年　5　月

# 建國科技大學　工業工程與管理系

## 專題製作口試委員會審定書

本系 102 學年度　：曾宏吉　賴惠卿

許源隆　謝昇翰

陳仕斌　等員

所提專題題目：　金屬產品製程改善-以宥億公司為例

合於大學生畢業資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：何志勤　張振賢　柯玉鵬

指導老師：張振賢

系主任：

中華民國 103 年 5 月 1 日

# 中文摘要

台灣中部有很多的金屬公司，面臨東南亞與中國的競爭之下，需要提升產品品質，以維持既有的市占率。宥億公司希望未來產品能夠進軍國際市場，因此同意本專題小組進行研究，以提升該公司的產品品質。本專題小組利用數位游標卡尺和粗糙機測量成品的三種品質特性，並繪製管制圖，然後透過製程能力指標與計量管制圖來了解該公司產品的品質狀況，藉由這些訊息來發現問題並提出建議，公司履行了建議後，產品品質獲得實質的提升，該公司對本專題小組的貢獻表達了深深的感謝。

**關鍵詞：**管制圖，製程能力指標

# Abstract

There are many companies for metal industry in central of Taiwan.
As in a trend, we have faced threaten and competition from both Southeast Asia and China, they need to enhance their product quality to maintain the exiting market shares. In order to have competition and be a part of global market in one day, YuYi company has agreed our project team to study on the topic for product quality improvement. We first used digital calipers to collect product data on three key qualities characteristics, and then to develop the control chart. Then we can measured and analise product's quality status by using process capability index and variable control charts.

From above information and figures, we can provide the suggestion to solve or improve the questions. By this way, YuYi company can not only get the increase the levels of production but win the fame, which makes double win result.
Because of these quality improvement, YuYi company is also very appreciate for our efforts.

Key word: Control Chart, Process Capability Index

# 目錄

中文摘要 ..... II
**Abstract** ..... III
目錄 ..... **IV**
圖目錄 ..... **V**
表目錄 ..... **VII**
第一章 緒論 ..... **1**
**1-1** 前言 ..... **1**
**1-3** 研究目的 ..... **2**
**1-4** 研究方法 ..... **2**
**1-5** 研究步驟流程 ..... **3**
第二章 宥億股份有限公司 ..... **4**
**2-1** 公司簡介 ..... **4**
**2-2** 公司概要 ..... **5**
**2-3** 公司位置 ..... **6**
第三章 製程能力指標 ..... **11**
**3-1** 統計製程管制與管制圖 ..... **15**
**(一)**產品變異的類別 ..... **15**
**(二)**產品變異來自 **4M** ..... **15**
**(三)**造成品質報告差異的原因 ..... **15**
**(四)**機遇變異與非機遇變異 ..... **16**
**(五)**統計製程管制的意義 ..... **16**
**(六)**管制圖的基本概念 ..... **18**
**(七)**管制圖作業系統及其應採取的措施 ..... **24**
**(八)**計量值管制圖 ..... **25**
**3-2** 量測儀器與操作 ..... **25**
**(一)**數位游標卡尺 ..... **29**
第四章 品質特性與品質特性資料值的相關計算 ..... **32**
**4-1** 第一種品質特性資料 ..... **33**
**4-2** 第二種品質特性資料 ..... **36**
**4-3** 第三種品質特性資料 ..... **39**
**4-4** 檢討與建議 ..... **42**
第五章 產品改善 ..... **44**
**5-1** 改善後第一種品質特性資料 ..... **44**
**5-2** 改善後第二種品質特性資料 ..... **47**
**5-3** 改善後第三種品質特性資料 ..... **50**
第六章 結論 ..... **54**
參考文獻 ..... **55**

# 圖目錄


圖 1-1　統計製程管制作業流程圖 ..... 1
圖 1-2　流程圖 ..... 3
圖 2-1　公司位置圖 ..... 6
圖 2-2　測量內徑工具 ..... 7
圖 2-3　測量粗糙度 ..... 7
圖 2-4　原料檢測機台—測量光滑度 ..... 8
圖 2-5　加工機台內部 ..... 9
圖 2-6　老闆實際操作機台 ..... 9
圖 2-7　組員實際現場加工 ..... 10
圖 2-8　加工前及加工後的零件 ..... 10
圖 3-1　統計製程管理流程圖 ..... 16
圖 3-2　管制上限下限與中心線 ..... 17
圖 3-3　統計製程管制之實施步驟 ..... 18
圖 3-4　中心線、管制上限、管制下限與樣本點 ..... 19
圖 3-5　各種常態分配 ..... 20
圖 3-6　常用的四種良率 ..... 20
圖 3-7　抽樣分配與製程分配的差異 ..... 21
圖 3-8　100(1-α)%信賴區間的解說圖 ..... 22
圖 3-9　自然變異與非自然變異 ..... 22
圖 3-10　特殊規律圖形的型Ⅱ誤差 ..... 23
圖 3-11　$\overline{X}$ -R 管制流程圖 ..... 28
圖 3-12　刻度尺的表面油污清除乾淨 ..... 29
圖 3-13　電池安裝好後顯示板 ..... 30
圖 3-14　歸零動作 ..... 30
圖 3-15　用外側用量測面來量測量物的外徑 ..... 31
圖 3-16　用內側量測面來量測量物的內徑 ..... 31
圖 4-1　泵浦內徑的直徑 ..... 32
圖 4-2　品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖 ..... 34
圖 4-3　品質特性一的 R 管制圖 ..... 35
圖 4-4　泵浦外徑 ..... 35
圖 4-5　品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖 ..... 37
圖 4-6　品質特性二的 R 管制圖 ..... 38
圖 4-7　品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖 ..... 40
圖 4-8　品質特性三的 R 管制圖 ..... 41
圖 4-9　改善前加工流程圖 ..... 41
圖 4-10　改善後加工流程圖 ..... 41

圖 5-1　品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖.....45
圖 5-2　品質特性一的 R 管制圖.....46
圖 5-3　品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖.....48
圖 5-4　品質特性二的 R 管制圖.....49
圖 5-5　品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖.....51
圖 5-6　品質特性三的 R 管制圖.....52
圖 5-7　第一種特性結果比較圖……52
圖 5-8　第二種特性結果比較圖……53
圖 5-9　第三種特性結果比較圖……53

# 表目錄

表 2-1　公司簡介表 ..... 5
表 3-1　不同的 $C_P$ 值對應的每百萬個不良品的個數(r = 3.71) ..... 12
表 3-2　f 與 $b_f$ 的關係表 ..... 12
表 3-3　$\hat{C}_p$ 的期望值(E.V.)與變異數值(Var.) ..... 13
表 3-4　製程能力指標所反應的產品品質 ..... 13
表 3-5　滿足 $P[\hat{C}_p \geq C_0] = 0.95$ 的 $C_0$ 臨界值 ..... 14
表 4-1　第一種品質特性資料值 ..... 33
表 4-2　第二種品質特性資料值 ..... 36
表 4-3　第三種品質特性資料值 ..... 39
表 5-1　改善後第一種品質特性資料值 ..... 44
表 5-2　改善後第二種品質特性資料值 ..... 47
表 5-3　改善後第三種品質特性資料值 ..... 50

# 第一章　緒論

## 1-1 前言

宥億股份有限公司主要作業內容為泵浦零件之加工，除了要求原物料公司提供合格的原物料之外,希望檢討自身的生產過程,讓產品品質合乎顧客的要求。

泵浦零件主要應用於抽水或加壓，而我們所研究的泵浦則應用於石油工業的加工零件。泵浦零件品質需要嚴格控管，才能夠延長機器設備的壽命，所以我們認為品質管理是最重要的研究內容。

本專題導入品質管理之製程能力指標與管制圖，以製程能力指標與管制圖來控管關鍵零件的產品品質。統計製程管制作業流程圖如下圖。

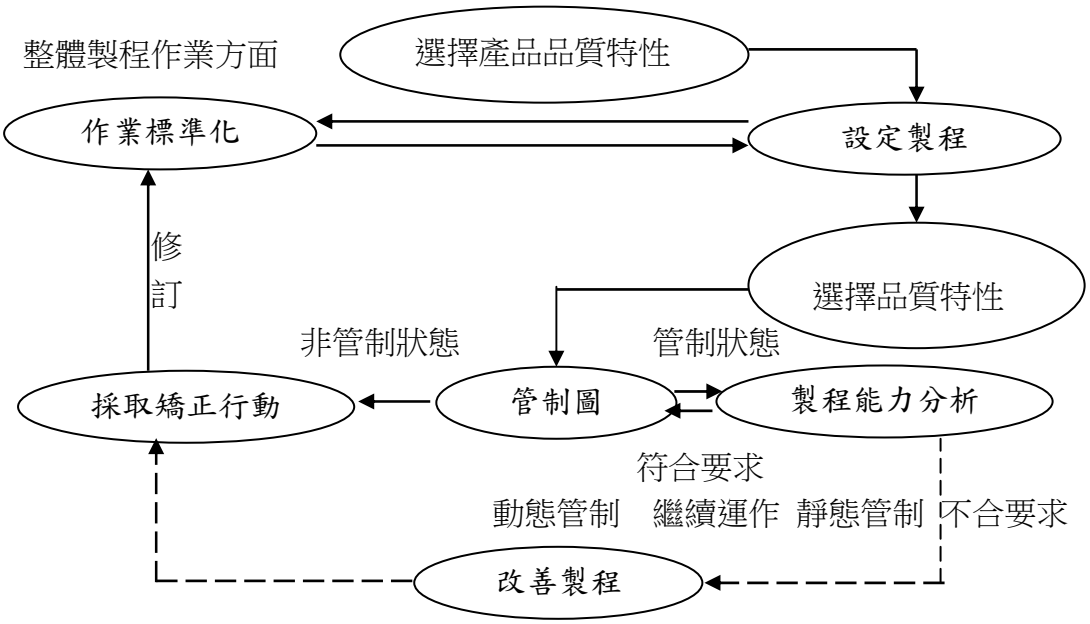



圖 1-1 統計製程管制作業流程圖

## 1-2研究動機

想探討該工廠內部品質管理流程，和了解該工廠如何在眾多的加工廠之中，擁有一席之地，並了解該工廠對於品質管理的要求水準，以及掌握物料存貨及採購價格。

## 1-3研究目的

我們將重心放在泵浦零件相關之 CP 值，而本組決定以「宥億股份有限公司」為研究目標，以實際觀察其生產加工過程與工廠品質管理現況的問題，加以進行研究及改善。

## 1-4研究方法

本專題組成員有五位，親自到工廠觀察生產流程和品質管理的現況，而後密集討論授課內容與該公司可以改善的空間，因而決定透過品質管理的製程能力指標與管制圖來診斷與提升該公司的產品。

## 1-5 研究步驟流程

本專題研究的步驟如下列流程圖。

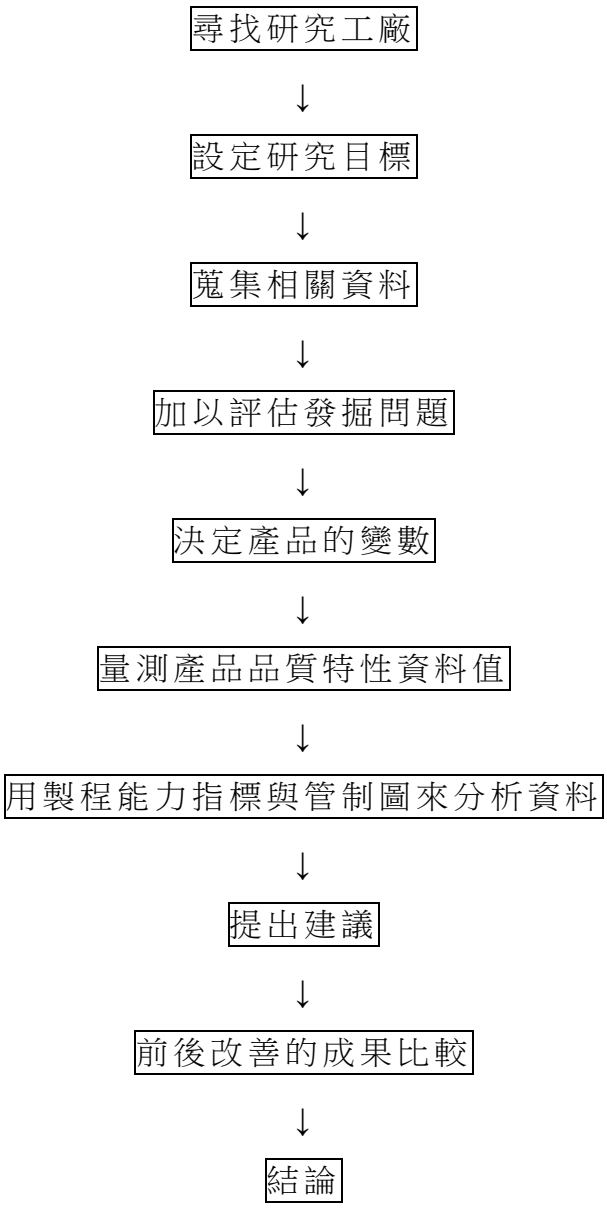



圖 1-2 流程圖

# 第二章　宥億股份有限公司

## 2-1　公司簡介

宥億股份有限公司成立於民國 82 年，一開始以僅有的兩台 CNC 起家，從事簡單的配管接頭加工，漸漸地轉為不鏽鋼的加工，吸收一定的經驗之後，轉而加工車螺紋至現在的泵浦零件加工。

宥億股份有限公司秉持著「做中學，學中做」的精神，在成立五年的經驗中，記取加工失敗的教訓，從訂單去練技術，讓客人需要你，公司才能夠做的長久。而且公司並不搶單，因為公司會挑戰有技術性質的加工零件，當別人做不來的時候，客人就會找上你。公司主管當時還很得意地說：「這裡有一些零件是從嘉義運上來的，知道為什麼嗎？因為這種專業性的加工只有我們會做。」

宥億股份有限公司就算訂單數量再多，仍然會嚴格地控管加工品質，並不會為了趕出貨而忘了檢測成品。

## 2-2 公司概要

宥億股份有限公司目前公司狀況如表 2-1。

表 2-1　公司簡介表

| | |
|---|---|
| 公司名稱 | 宥億股份有限公司 |
| 負責人 | 吳國地 |
| 地址 | 彰化市磚窯路 31 巷 19 號 |
| 工廠面積 | 約總面積 200 坪(4 個工廠) |
| 年營業額 | 約 5000 萬新台幣元 |
| 營業時間<br>與<br>生產時間 | 週一至週六早上 8:30~晚上 12:30 |
| 營運模式 | 接單式生產 |
| 上游關係<br>企業 | 精鈺股份有限公司 |

## 2-3　公司位置




圖 2-1　公司地理圖

## 2-4　宥億公司的原料機台與成品




圖 2-2 測量內徑工具




圖 2-3 測量粗糙度




圖 2-4　原料檢測機台—測量光滑度



圖 2-5 加工機台內部




圖 2-6 公司主管實際操作機台




圖 2-7 組員實際現場加工



圖 2-8 加工前及加工後的零件

# 第三章　製程能力指標

製程能力指標(Process Capability Index)$C_P$是製造工業常用的一種數值性量測製程績效指標，量測對象是生產線所生產出來的產品特性。由於 $C_P$ 能夠衡量製程變異特性，因此，這個指標又稱為製程精確能力指標(Process Precision Index)[1]。出處- 本專題小組參閱指導老師的博士畢業論文

在新世紀的製造觀已邁向提升產品的品質下，製程能力指標的重要性與日俱增，有些論著已說明，製程能力指標是品質的代名詞[2]。製程能力指標使用性很廣，如製造半導體產品[3]，噴射引擎組件[4]，記憶儲存系統的前頭/持平組裝[5]，彈動片與版片[6]，鋼盔[7]，及其他。

Kane 在 1986 年提出了製程能力指標 $C_P$[8]，這個指標是一種評估製程能力與績效的方便工具，它的定義是：$C_P = (USL - LSL) / 6\sigma$，其中 LSL 與 USL 分別是規格下限(Lower Specification Limit)與規格上限(Upper Specification Limit)。$\hat{C}_p$ 是採用自然估計量的估計方法，用樣本標準差 S 來估計 σ，
$S = \left\{(n-1)^{-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2\right\}^{1/2}$，其中 $\overline{X} = \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)/n$。
$\hat{C}_p$ 的定義是：$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S)$

$C_P$ 所量測的是製程的變異性。對於具有雙邊規格界限的製程，良率(Yield)可以 F(USL) - F(LSL)計算之，其中 F(·)是品質特性 X 的累積分配函數(Cumulative Distribution Function)。在常態假設下，製程良率可以表示成 $\%Yield = \Phi\{(USL - \mu) / \sigma\} - \{(LSL - \mu) / \sigma\}$，其中Φ(·)是常態分配的累積分配函數。如果製程的平均數恰為規格界限的中心($\mu = (USL + LSL) / 2$)，則製程良率變成 $\%Yield = 2\Phi(3C_P) - 1$，因此，$C_P$ 指標提供了實際製程良率的一個恰當量測(一對一的對應關係)。表 3-1 顯現著不同的σ水準(其中 d = (USL - LSL) / 2)所對應的 $C_P$ 值，及對應的每百萬個(ppm)產品的不良數。對於常用於電子行業的 200 ppm 需求，其所對應的 $C_P$ 值為 1.24。以常態製程為基礎所延伸的

各種製程能力指標的統計性質已經被廣泛的研究[9, 10, 11,15]，而非常態分配方面的研析，則較少人研究[12, 13]。

表 3-1 不同的 $C_P$ 值對應的每百萬個不良品的個數(r = 3.71)

| μ | σ | σ Level | $C_P$ | ppm |
|---|---|---|---|---|
| m | d | 1 | 0.33 | 317311 |
| m | d /2 | 2 | 0.66 | 45500 |
| m | d /3 | 3 | 1.00 | 2700 |
| m | d /r | r | 1.24 | 200 |
| m | d /4 | 4 | 1.33 | 63 |
| m | d /5 | 5 | 1.66 | 0.57 |
| m | d /6 | 6 | 2.00 | 0.002 |

在常態製程下，

$E\left[\hat{C}_P\right]=\frac{C_P}{b_f}$ ，

其中，$b_f=\sqrt{\frac{2}{f}}\times\frac{\Gamma\left(\frac{1}{2}f\right)}{\Gamma\left[\frac{1}{2}(f-1)\right]}$ ，$b_f$ 近似於 $1-3/(4f)$，f 與 $b_f$ 的關係如表 3-2。

表 3-2 f 與 $b_f$ 的關係表

| f | 4 | 9 | 14 | 19 | 24 | 29 | 34 | 39 | 44 | 49 | 54 | 59 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b_f$ | 0.798 | 0.914 | 0.945 | 0.960 | 0.968 | 0.974 | 0.978 | 0.981 | 0.983 | 0.985 | 0.986 | 0.987 |

且，$V\left[\hat{C}_P\right]=f\left[\frac{1}{f-2}-\frac{1}{2}\left\{\frac{\Gamma((f-1)/2)}{\Gamma(f/2)}\right\}^2\right]C_P{}^2$ 。

$\hat{C}_p$ 的期望值與變異數如表 3-3。

表 3-3 $\hat{C}_p$ 的期望值(E.V.)與變異數值(Var.)

| d/σ | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | E.V. | Var. | E.V. | Var. | E.V. | Var. | E.V. | Var. | E.V. | Var. |
| 5 | 0.836 | 0.191 | 1.253 | 0.429 | 1.671 | 0.763 | 2.089 | 1.192 | 2.507 | 1.717 |
| 10 | 0.729 | 0.039 | 1.094 | 0.088 | 1.459 | 0.157 | 1.824 | 0.245 | 2.188 | 0.353 |
| 15 | 0.705 | 0.021 | 1.058 | 0.048 | 1.411 | 0.085 | 1.763 | 0.132 | 2.116 | 0.190 |
| 20 | 0.695 | 0.014 | 1.042 | 0.032 | 1.389 | 0.058 | 1.736 | 0.090 | 2.084 | 0.129 |
| 25 | 0.688 | 0.011 | 1.033 | 0.025 | 1.377 | 0.044 | 1.721 | 0.068 | 2.065 | 0.098 |
| 30 | 0.685 | 0.009 | 1.027 | 0.020 | 1.369 | 0.035 | 1.711 | 0.055 | 2.054 | 0.079 |
| 35 | 0.682 | 0.007 | 1.023 | 0.016 | 1.364 | 0.029 | 1.705 | 0.046 | 2.046 | 0.065 |
| 40 | 0.680 | 0.006 | 1.020 | 0.014 | 1.360 | 0.025 | 1.700 | 0.039 | 2.040 | 0.056 |
| 45 | 0.678 | 0.006 | 1.017 | 0.012 | 1.357 | 0.022 | 1.696 | 0.034 | 2.035 | 0.050 |
| 50 | 0.677 | 0.005 | 1.016 | 0.011 | 1.354 | 0.020 | 1.693 | 0.031 | 2.031 | 0.044 |
| 55 | 0.676 | 0.004 | 1.014 | 0.010 | 1.352 | 0.018 | 1.690 | 0.028 | 2.028 | 0.039 |
| 60 | 0.675 | 0.004 | 1.013 | 0.009 | 1.351 | 0.016 | 1.688 | 0.025 | 2.026 | 0.036 |
| ∞ | 0.667 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.333 | 0.000 | 1.667 | 0.000 | 2.000 | 0.000 |

常用的 $C_P$ 值，以 1.00，1.33，1.50，2.00 來分界，對應品質的定義如表 3-4。

表 3-4 製程能力指標所反應的產品品質

| 製程能力指標 | 產品等級 |
|---|---|
| $1.00 \le C_P < 1.33$ | 可接受的(Capable)產品 |
| $1.33 \le C_P < 1.50$ | 好的(Satisfactory)產品 |
| $1.50 \le C_P < 2.00$ | 很好的(Excellent)產品 |
| $2.00 \le C_P$ | 非常好的(Super)產品 |

$P[\hat{C}_p \geq C_0] = \gamma$是很重要的訊息，通常設定 $\gamma = 0.95$(即$\alpha = 0.05$)，則對應的 $C_0$ 值，表示要達到此要求條件下的臨界值，這個臨界值表示了抽樣所換算出來的$\hat{C}_p$ 值至少要達到這個量，才能達到 95%的決策信心。Chou and Owen [14]計算了 $C_0$ 值如表 3-5。

表 3-5 滿足 $P[\hat{C}_p \geq C_0] = 0.95$ 的 $C_0$ 臨界值

| $C_P$ | n=10 | n=20 | n=30 | n=40 | n=50 | n=100 | n=200 | n=300 | n=400 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.8 | 1.32 | 1.10 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.91 | 0.87 | 0.86 | 0.85 |
| 1.0 | 1.65 | 1.37 | 1.28 | 1.23 | 1.20 | 1.13 | 1.09 | 1.07 | 1.06 |
| 1.2 | 1.97 | 1.64 | 1.54 | 1.48 | 1.44 | 1.36 | 1.31 | 1.29 | 1.27 |
| 1.4 | 2.30 | 1.92 | 1.79 | 1.72 | 1.68 | 1.59 | 1.53 | 1.50 | 1.49 |
| 1.6 | 2.63 | 2.19 | 2.05 | 1.97 | 1.92 | 1.81 | 1.74 | 1.72 | 1.70 |
| 1.8 | 2.96 | 2.47 | 2.30 | 2.22 | 2.16 | 2.04 | 1.96 | 1.93 | 1.91 |
| 2.0 | 3.29 | 2.74 | 2.56 | 2.46 | 2.40 | 2.27 | 2.18 | 2.14 | 2.12 |
| 2.2 | 3.62 | 3.02 | 2.82 | 2.71 | 2.64 | 2.49 | 2.40 | 2.36 | 2.34 |
| 2.4 | 3.95 | 3.29 | 3.07 | 2.96 | 2.88 | 2.72 | 2.62 | 2.57 | 2.55 |
| 2.6 | 4.28 | 3.56 | 3.33 | 3.20 | 3.12 | 2.95 | 2.84 | 2.79 | 2.76 |
| 2.8 | 4.61 | 3.84 | 3.58 | 3.45 | 3.36 | 3.17 | 3.05 | 3.00 | 2.97 |
| 3.0 | 4.96 | 4.11 | 3.84 | 3.70 | 3.61 | 3.40 | 3.27 | 3.22 | 3.19 |

上述表值，以 $C_P = 1.0$ 為例，如果定義 $C_P = 1.0$ 是合格可接受的產品，則在抽樣數為 10 時，計算出來的$\hat{C}_p$ 值要達到 1.65，才能標示產品的製程能力達到 $C_P = 1.00$。而在抽樣數為 100 時，計算出來的$\hat{C}_p$ 值，只要達到 1.13，就能標示產品的製程能力達到 $C_P = 1.00$。因此，到底抽樣數該訂為多少，就端賴風險的考量，由風險觀點來決定抽樣數

## 3-1　統計製程管制與管制圖

### (一)產品變異的類別

一、產品內變異。這世界沒有絕對均勻的原物料質材，用看似相同的東西而其實是不同的東西來製造產品，當然做出來的產品會有差異(如：產出的單一鋼板厚度每個地方量出來的厚度結果都不同)。

二、產品間變異。例如，基於沒有絕對的 220v 電源，同一台機器所產出的產品都有些微的不同。另外，溫度、溼度、灰塵、電壓、電磁場、震動及操作等，都是產品間的變異因素。也就是指，在既定的製程條件下，因條件變異而造成製造出來的產品間發生差異。

三、時間之間的變異。機器設備的褪化所造成的，與人性上久而久之的怠惰疏忽所造成的。

### (二)產品變異來自 4M

(1)原材料(Material)。

(2)機器(Machine)。

(3)方法(Method)。

(4)作業員(Maker)。

### (三)造成品質報告差異的原因

(1)檢驗設備錯誤。

(2)品質標準應用不當。

(3)品質測量儀器所受人為壓力太大。

(4)量具缺乏適時校正。

(5)檢驗人員疏忽。

## (四)機遇變異與非機遇變異

(1)機遇變異的因素通常很多，對品質的影響是全面性的，我們不該設法降低這種變異，因那代表要付出高成本。通常只要在製程管制下就能接受這些變異對產品所造成的差異。機遇變異的因素如：空氣中的塵埃、溼度、溫度、機器設備變異、人性操作變異・・・等。

(2)非機遇變異通常是設計不當、技術不當、設備有了問題及人員操作不當所引起的。發生非機遇變異時，應該檢討、鑑定與矯正製程。

## (五)統計製程管制的意義

(1)統計製程管制：

對產品進行統計抽樣，運用統計技術達到製程監控的目的，當製程處於偏離管制狀態時(Out of Control)，能獲得製程警訊，經檢討鑑定與矯正，降低非機遇變異因素後，讓製程恢復到製程管制狀態(In Control)。統計製程管制流程圖如下圖。

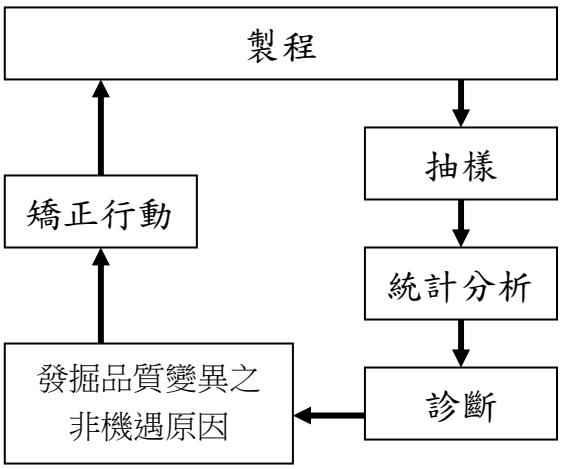



圖 3-1　統計製程管制流程圖

(2)統計製程管制圖的架構

1.管制圖通常擁有管制上限(Upper Control Limit；UCL)、管制下限(Lower Control Limit；LCL)與中心線(Central Line)，如下圖。

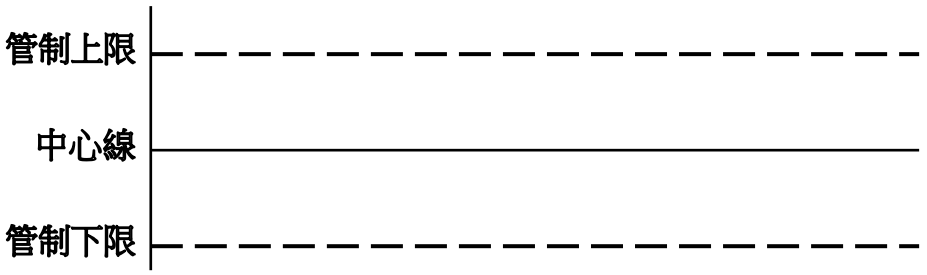



圖 3-2　管制上限下限與中心線

2.管制界線

(1)管制界限(Control Limit；CL)含管制上限與管制下限

(2)規格界限(Specification Limit；SL)含規格上限(Upper Specification Limit；USL)與規格下限(Lower Specification Limit；LSL)。

(3)管制界限與規格界限通常並不相同。

(4)管制圖的目的不是管制單件產品，而是管制整批產品。

(3)統計製程管制作業流程如圖 1-1。

(4)統計製程管制之實施步驟包含選取產品品質特性、設定製程、選擇品質特性量測能力、選用與繪製管制圖、製程能力分析、製程問題之發掘與改善、採取矯正行動與製程作業標準化。如下圖所示。

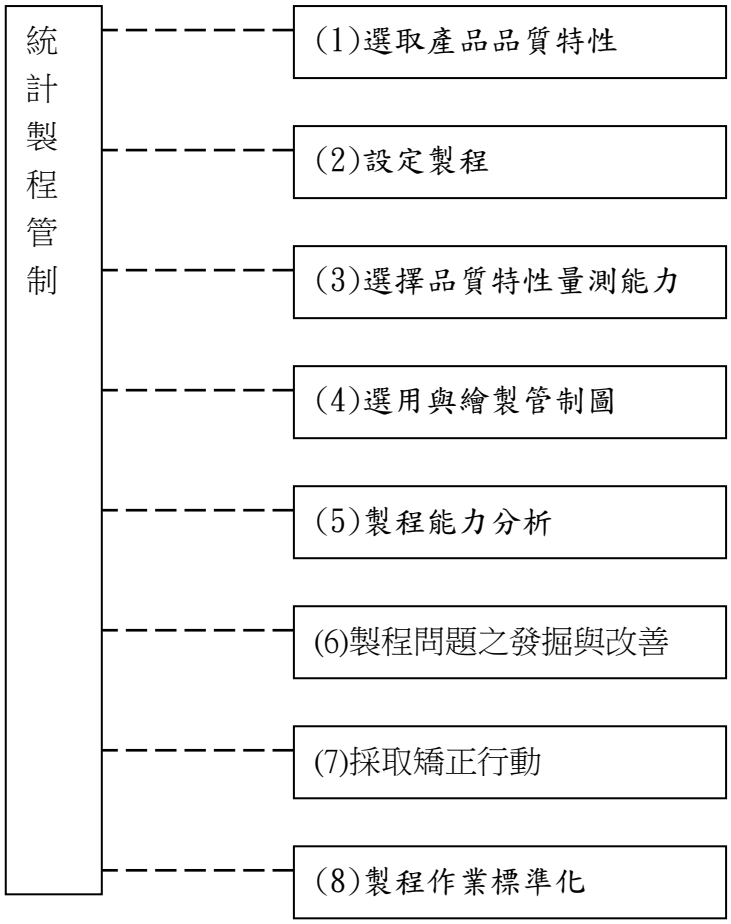



圖 3-3　統計製程管制之實施步驟

# (六)管制圖的基本概念

(1)管制圖的意義：

管制圖是統計品質管制圖(Statistical quality control charts)的簡稱，指的是，對製程中產品品質特性加以量測、紀錄並進行管制的統計科學的圖形。

(2)管制圖的基本內容包括：

中心線、管制上限、管制下限與樣本點。如下圖。

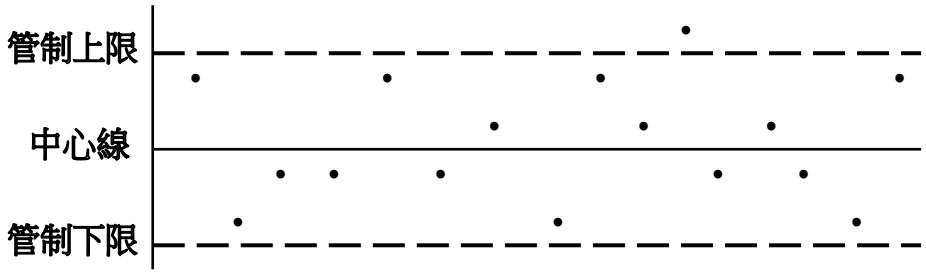



圖 3-4　中心線、管制上限、管制下限與樣本點

(3)傳統管制圖數據整理步驟

1.蒐集數據

2.繪製次數分配表

3.繪製管制圖

(4)現代管制圖

1.自動化隨機抽樣

2.自動化量測產品品質特性

3.自動化銀幕管制圖，包含管制警示在內。

(5)常態曲線與管制圖

通常我們所熟知的常態分配(Normal Distribution)其實有無窮多個，標準常態分配 N(0,1)只是其中一種分配而已，一般的常態分配 N(μ, σ2)，由 μ 與 σ 來決定

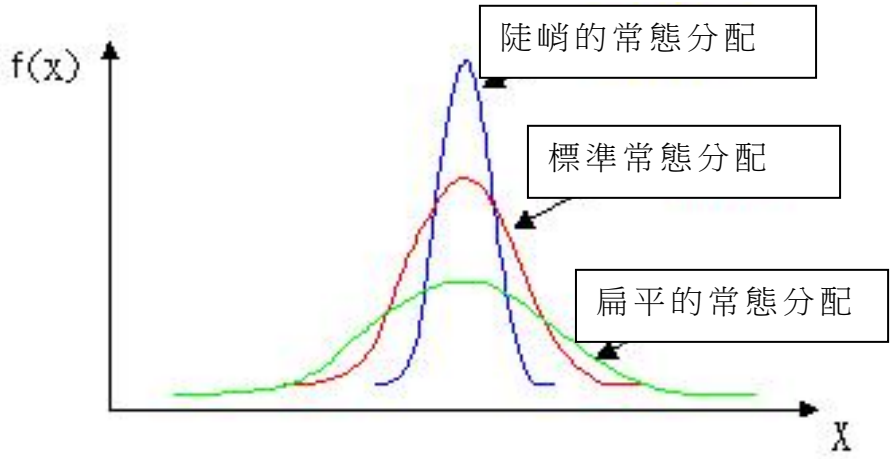



圖 3-5　各種常態分配

標準差(σ)決定了產品良率(Yield)的範圍，常用的良率有如下四種，如下圖。

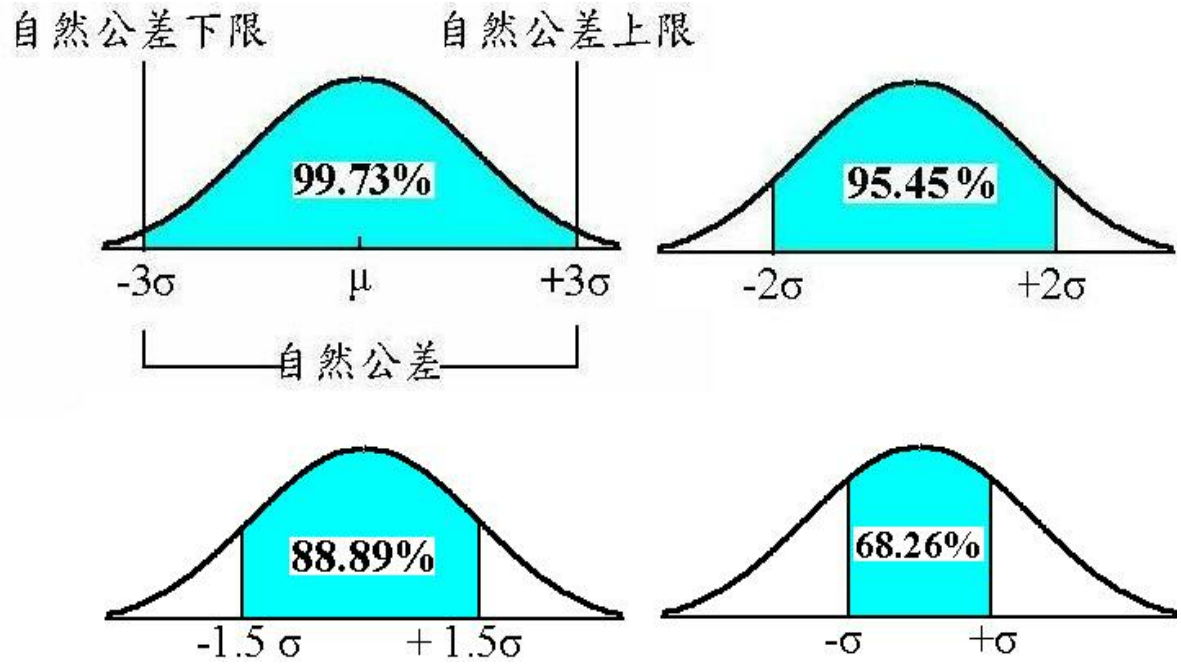



圖 3-6　常用的四種良率

假設 $X_1, X_2,\ldots,Xn$ 是獨立抽樣自 $N(\mu, \sigma 2)$，則樣本平均數 $\overline{X}$ 具有 $N(\mu, \sigma 2/n)$分配，並且變異數會被縮小，如下圖所示。

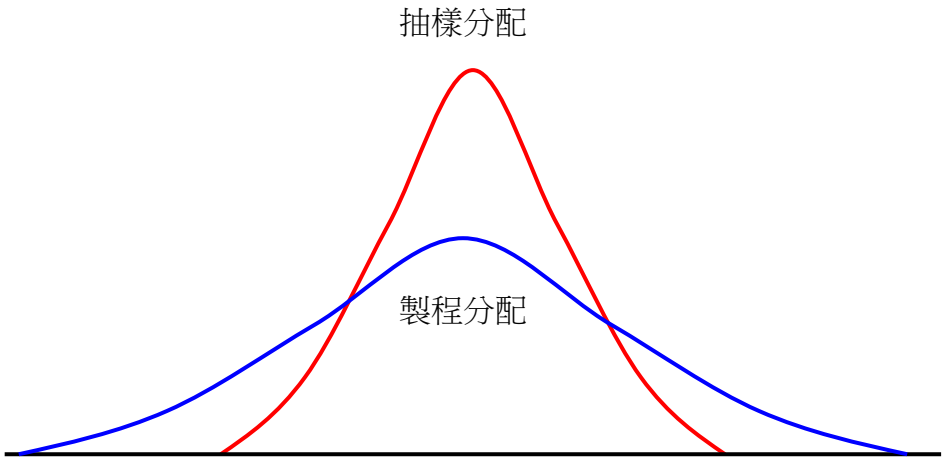



圖 3-7　抽樣分配與製程分配的差異

(6)UCL 與 LCL 會隨著 $\overline{X}$ 中的樣本大小 n 而改變。

(7)製程能力指標是產品品質特性 X 的抽樣量測值所換算出來的，運用在管制圖上時，應注意管制圖上的每一個資料點，是每多少一算的平均點，應轉換或還原成原先製程能力指標定義狀態。也就是說，規格界限 USL 與 LSL 也與原先狀態不同。

(8)型Ⅰ誤差(Type Ⅰ Error)：型Ⅰ誤差在統計上的定義是 $H_0$ 是對的卻放棄 $H_0$ 的機率。在管制圖中，假設製程分配是對的，即統計分配圖形無誤之下，必須棄卻掉的機率，當然是落在兩旁的區域。也就是說，在分配是對的情況下，還是有可能偶發一點在管制界限之外；製程看似失控，而實際上是在控制之下。

(9)型Ⅱ誤差(Type Ⅱ Error)：型Ⅱ誤差在統計上的定義是 $H_1$ 是對的卻放棄 $H_1$ 的機率；或是，$H_0$ 是錯的卻接受 $H_0$ 的機率。換句話說，製程的點，呈現出系統性的或非隨機的模樣，縱然點都是在管制界限內，製程仍算是失控；製程看似在控制下，實際上是失控狀態。

(10)管制圖和假設檢定(Testing Hypothesis)有密切關係，管制圖是對「製程是在統計管制狀態下」的假設作檢定。點如果落在管制界限內，表示支持或接受「製程是在統計管制狀態下」的假設；點如果落在管制界限外，表示拒絕「製程是在統計管制狀態下」的假設。

(11)上下管制界限，在統計理論上代表著信賴區間的意思。而 α 為型 I 誤差，通常是在管制型 I 誤差的部份。對於 100(1-α)%信賴區間的解說圖如下圖。

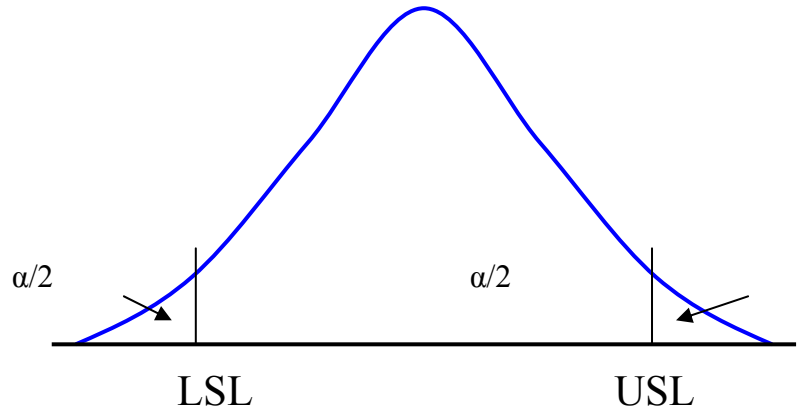



圖 3-8　100(1-$\alpha$)%信賴區間的解說圖

通常在管制上限下限之間的點視為自然變異，為型 I 誤差，超過管制界線之外的點視為非自然變異。

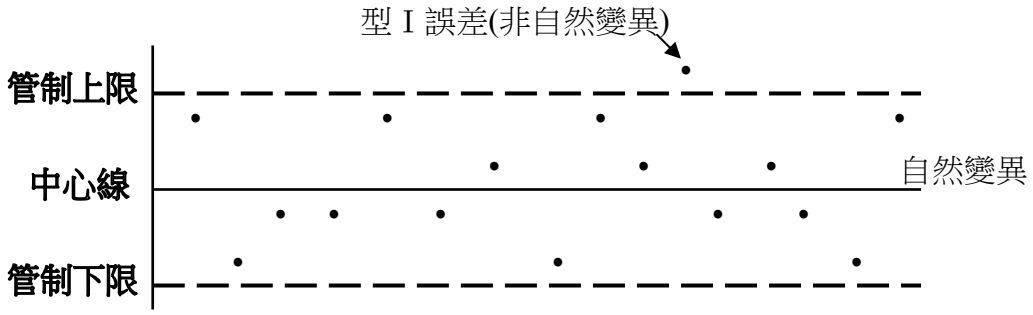



圖 3-9　自然變異與非自然變異

對於有特殊規律圖形的管制圖，通常歸納在型Ⅱ誤差，此時必須檢討生產製程。如下圖所示。

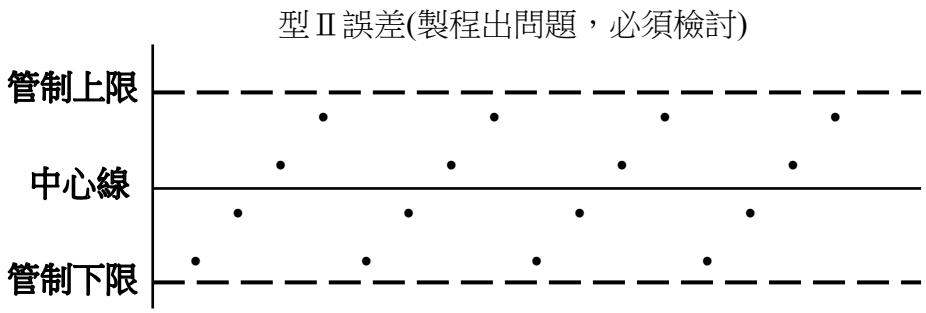



圖 3-10　特殊規律圖形的型Ⅱ誤差

(12)常用的統計管制圖

| 計量值管制圖 | 計數值管制圖 |
|---|---|
| (1)平均數—全距管制圖 | (1)不良率管制圖 |
| (2)平均數—標準差管制圖 | (2)不良數管制圖 |
| (3)中位數—全距管制圖 | (3)缺點數管制圖 |
| (4)個別值—移動全距管制圖 | (4)單位缺點數管制圖 |

(13)計量值管制圖的優缺點

| | |
|---|---|
| 優點 | 1.能夠即時且正確地找出製程產品品質變異的非機遇問題。<br>2.因為容易調查品質變異的非機遇原因，所以易於著手品質改善，使製程穩定。 |
| 缺點 | 於製程抽樣後，還需量測與計算，並製作管制圖。 |

(14)計數值管制圖的優缺點

| | |
|---|---|
| 優點 | 1.僅將產品劃分為良品與不良品，推行容易。<br>2.品管人員與主管均容易瞭解製程產品品質狀況。 |
| 缺點 | 1.調查製程產品品質變異之非機遇原因較困難且費時。<br>2.無法即時發覺製程產品品質發生非機遇變異。<br>3.在發覺品質非機遇變異並著手品質改善前，已發生相當多的不良品。 |

## (七)管制圖作業系統及其應採取的措施

(1)管制圖作業系統應有的實施步驟

1.選擇品質特性。

2.決定應採用的管制圖。

3.選擇合理的樣本大小。

4.抽樣、測定並蒐集數據。

5.計算中心線。

6.決定試驗用管制界限。

7.建立修正後管制界限。

8.將抽樣資料所得的點，繪製在管制圖上。

9.分析管制圖。

本專題小組將用電子量測儀具來量測產品品質特性，因此採用計量值管制圖，經由小組組員多次討論，決定採用平均數—全距管制圖。

(2)管制圖的判讀(跟醫生判讀 X 光片一樣的專業)

1.看產品特性別來決定執行時需嚴苛或鬆散。

2.管制界限外的點不宜多。

3.管制界限內的點不能有特殊圖形。

4.區域(上區與下區)(有的管制圖分八區)不宜有太多連續點。

5.接近中心線的點要多，離遠的要少(看起來像偶發的樣子)。

6.通通都在中心線附近的話，通常是人為性的刻意調整行為，看起來產品品質應該較佳，但產量銳減，不利公司量產。(此時應該考量：管制界限是怎麼來的？)

## (八)計量值管制圖

(1)計量管制圖概說

在品質管制中，許多品質特性均可用數值來表示，例如軸承之內徑與外徑可以測微計(Micrometer)來量測(現在已有電子量測儀具)並以微米來表示。一個單一可量測之品質特性如外徑、重量或體積，稱為計量值(Quantitative Variables)。計量值管制圖已被廣泛地使用於統計製程管制中，因比起計數值管制圖，計量值管制圖可提供更多有關製程之資訊。

當要管制之品質特性為計量值時，我們通常同時管制其平均值及變異性，$\overline{X}$ 管制圖通常是用來管制製程之平均值，而製程之變異或散布則可由標準差(稱為 S 管制圖)或全距(稱為 R 管制圖)來管制，一般而言，中小企業用 R 管制圖大型企業用 X 管制圖較多，原因是 S 管制圖的軟體價格偏高，R 管制圖用手計算就可以了。

(2)計量值管制圖的種類

1. 平均數-全距管制圖( $\overline{X}$ -R Control Charts)。
2. 平均數-標準差管制圖( $\overline{X}$ -S Control Charts)。
3. 中位數-全距管制圖( $\overline{X}$ -R Control Charts)。
4. 個別值-移動全距管制圖(X-$R_m$ Control Charts)。
5. 最大值-最小值管制圖(L-S Control Charts)。

本專題小組考量了用電腦軟體來計算，還不如動手計算來體悟數據之演算，因此選擇平均數-全距管制圖來管制塑傑企業股份有限公司的產品品質特性。

(3 )計量值管制圖的目的

1.可提供品質改進所需的資訊。

2.可提供決定製程能力所需的資訊。

3.可提供決定產品規格所需的資訊。

4.可提供製程決策所需的資訊。

5.可提供生產決策所需的資訊。

(4)平均數與全距管制圖

$\overline{X}$ -R 管制圖同時考量了集中趨勢的 $\overline{X}$ ，也考量離中趨勢的 R 的變異。

(1)理論計算

假設一品質特性具有常態分配，若已知其平均值為 μ，變異數為 $\sigma^2$。則一樣本有 n 個數據，分別為 $X_1, X_2, \ldots X_n$，則此樣本之平均值 $\overline{X} = (X_1 + X_2 + \ldots + X_n) / n$ 具有常態分配，其平均值為 μ，標準差為 $\sigma_x = \sigma / n^{1/2}$。任意樣本平均值 $\overline{X}_i$ 落在

$\mu + z_{\alpha/2}\sigma_x = \mu + z_{\alpha/2}\sigma / n^{1/2}$

與

$\mu - z_{\alpha/2}\sigma_x = \mu - z_{\alpha/2}\sigma / n^{1/2}$

之間的機率為 1－α。

因此若 μ 和 α 為已知，則上述公式可視為樣本平均值( $\overline{X}$ )管制圖之上管制界限和下管制界限。我們通常是以 3 取代 $z_{\alpha/2}$，因此稱為 3 倍標準差管制圖。

$$\begin{cases} UCL = \mu + 3\sigma / n^{1/2} \\ 中心線 = \mu \\ LCL = \mu - 3\sigma / n^{1/2} \end{cases}$$

(2)實際運用狀況

在推導上述之管制界限時，我們假設品質特性之分配為常態，但上述結果即使在分配不為常態時仍可視為約略正確，此乃因為中央極值定理之緣故。一般而言 μ 和 σ 並不是已知的。μ 和 σ 必須在製程為管制狀態下時，從過去之抽樣樣本估計(通常需要 20 到 25 組樣本)。假設我們有 m 組大小為 n 之樣本，n 通常為 4、5 或 6(計量值之檢驗成本高，故通常採用較小之樣本)。令 $\overline{X}_1$, $\overline{X}_2$, …, $\overline{X}_m$ 為每樣本之平均值，則製程平均值 μ 之最佳估計量為總平均值 $\overline{\overline{X}}$ ，$\overline{\overline{X}}$ 可由下式求出。

$\overline{\overline{X}} = (\overline{X}1 + \overline{X}2 + \ldots + \overline{X}m) / m$

管制界限之設立需要估計標準差 σ。標準差可從 m 組樣本之標準差或全距來估計。以下我們將先說明如何從全距法來估計標準差 σ。樣本之全距 R，是樣本內之最大值和最小值的差異量，即

$R = X_{max} - X_{min}$

隨機變數 W ＝ R / $\sigma$ 稱為相對全距(Relative Range)。W 之分配參數為樣本大小 n 之函數，W 之平均值為 d2。而 $\sigma$ 估計值為 $\hat{\sigma} = \overline{R}$ / d2，d2 值可查表得知，例如 n = 5 時，d2 = 2.326。若 R1，R2，…，Rm,為 m 組樣本之全距，則全距之平均值為 $\overline{R}$ = ( R1 + R2 + … + Rm ) / m。

$$\begin{cases} UCL = \overline{\overline{X}} + [3 / (d_2 n^{1/2})] = \overline{\overline{X}} + A_2 \overline{R} \\ 中心線 = \overline{\overline{X}} \\ LCL = \overline{\overline{X}} - [3 / (d_2 n^{1/2})] \quad \overline{R} = \overline{\overline{X}} - A_2 \overline{R} \end{cases}$$

其中 $A_2 = 3 / (d_2 n^{1/2})$，$A_2$ 資料可由查表得知。

R 圖：

$$\begin{cases} UCL = \overline{R} \times D_4 \\ 中心線 = \overline{R} \\ LCL = \overline{R} \times D_3 \\ D_3, D_4 \text{ 資料可由查表得知。} \end{cases}$$

(3) $\overline{X}$ -R 管制圖實施步驟

$\overline{X}$ -R 管制圖之建立和使用包含下列幾項步驟：

1.根據事先所訂定之抽樣方法(包含樣本大小、抽樣頻率、合理樣本組等)收集數據。

2.計算樣本平均值和樣本全距。

3.計算 $\overline{X}$ 和 R 管制圖之管制界限，並將樣本平均值和全距繪在圖上，觀察並

分析是否有管制外之點。常用之判斷準則是有一點超出管制界限外時採其他輔助法則(區間測試、連串測試等)，兩點或以上則表示在管制外。如果管制圖顯示製程是在管制內，則進行步驟 d，否則需診斷造成異常之可歸屬原因。如果管制圖之異常現象(包括點超出管制界限和具有非隨機性之變化)是由可歸屬原因所造成，則應採取矯正行動，並將可歸屬原因所對應之樣本數據剔除(可能不只一組)，重新計算管制界限。管制界限必須由不包含可歸屬原因之數據計算獲得，因此分析管制圖、追查可歸屬原因之數據計算獲得、剔除異常點、修正管制界限等工作必須循環進行，直到 $\overline{X}$ -R 管制圖均在管制內為止。由於 $\overline{X}$ 管制圖之管制界限受到 R 之影響，因此在構建 $\overline{X}$ -R 管制圖時應由 R 管制圖開始。

（4）當 $\overline{X}$ -R 管制圖均在管制內時，我們可以利用 $\overline{X}$ -R 管制圖來監視未來之製程，用以找出製程中之可歸屬原因。 $\overline{X}$ -R 管制流程圖如下圖。

(以上相關資料由指導老師張振賢老師提供)

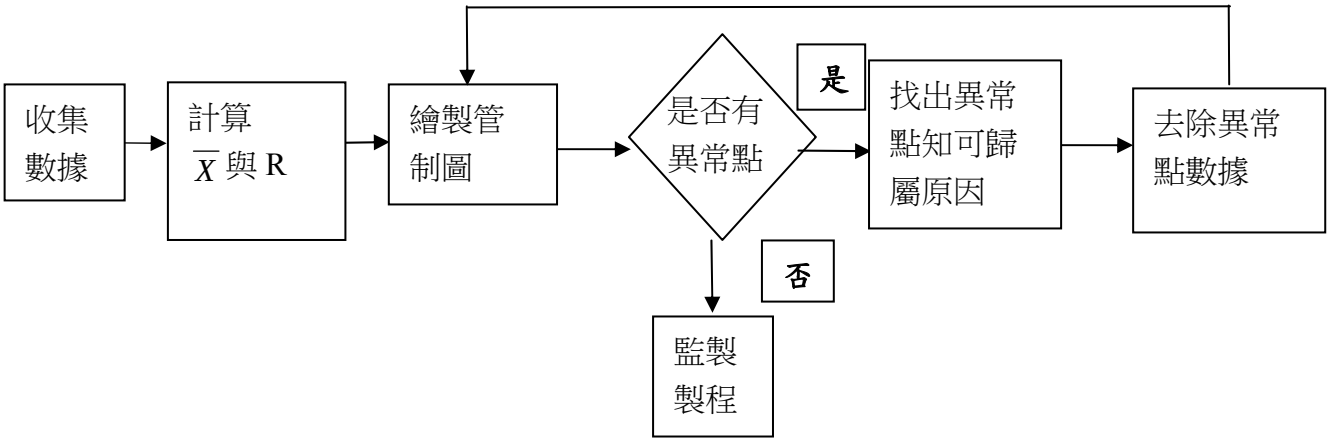



圖 3-11　$\overline{X}$ -R 管制流程圖

## 3-2 測儀具與操作

## (一)數位游標卡尺

數位游標卡尺操作步驟如下。

步驟一：裝電池之前，先將刻度尺的表面油污清除乾淨。如圖 5-1。

步驟二：電池安裝好後，會顯示出無意義的數字或「E」，這並非異常現象。如圖 5-2。

步驟三：把指輪移動到量測面緊閉後，按下 ZERO 以完成歸零動作。如圖 5-3。

步驟四：用外側用量測面來量測量物的外徑，出現的顯示值即為量測物的外徑。如圖 5-4。

步驟五：也可用內側量測面來量測量物的內徑。如圖 5-5。




圖 3-12　刻度尺的表面油污清除乾淨




圖 3-13　電池安裝好後顯示板




圖 3-14　歸零動作




圖 3-15　用外側用量測面來量測量物的外徑




圖 3-16　用內側量測面來量測量物的內徑

# 第四章品質特性與品質特性資料值的相關計算

針對此泵浦零件我們選擇了三個品質特性，分別為泵浦內徑的直徑、泵浦的外徑、以及泵浦內徑的光滑度，內徑跟外徑，為了準確的跟零件配合，需要一定尺寸，並且在公差之內。不光滑的表面會造成抽取效果不好，所以粗糙度是品質很重要的特性之一。第一個品質特性是泵浦內徑的直徑，如圖 4-1，本專題針對此品質特性量測了 125 件零件，計算了每五個資料的平均數 $\overline{X}$ 與全距 R 其對應的 $\overline{\overline{X}}$ 與 $\overline{R}$ 如表 4-1(單位為 mm 後續不再重複說明)。第二個品質特性是泵浦的外徑，如圖 4-4，本專題針對此品質特性也量測了 125 件零件，計算了每五個資料的平均數 $\overline{X}$ 與全距 R 其對應的 $\overline{\overline{X}}$ 與 $\overline{R}$ 如表 4-2。第三個品質特性是泵浦的光滑度，本專題針對此品質特性也量測了 125 件零件，計算了每五個資料的平均數 $\overline{X}$ 與全距 R 其對應的 $\overline{\overline{X}}$ 與如表 4-3。

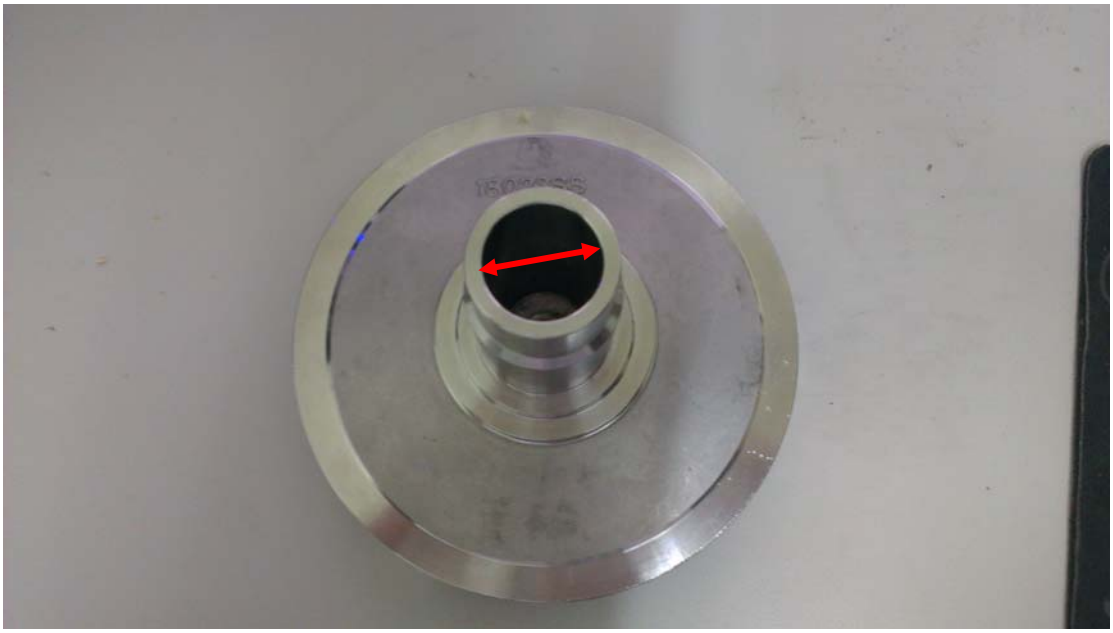


圖 4-1　泵浦內徑的直徑

# 4-1　第一種品質特性資料

表 4-1　第一種品質特性資料值

| 組數 | 測定值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 45.95 | 45.93 | 45.97 | 45.97 | 46.10 | 45.98 | 0.17 |
| 2 | 45.97 | 45.95 | 46.10 | 45.95 | 45.95 | 45.98 | 0.15 |
| 3 | 46.10 | 45.97 | 45.92 | 45.97 | 45.98 | 45.99 | 0.18 |
| 4 | 45.95 | 46.10 | 45.99 | 46.10 | 45.96 | 46.02 | 0.15 |
| 5 | 45.97 | 45.95 | 45.92 | 45.95 | 45.99 | 45.96 | 0.07 |
| 6 | 45.97 | 45.95 | 45.95 | 45.97 | 45.97 | 45.96 | 0.02 |
| 7 | 45.92 | 45.97 | 45.93 | 46.10 | 45.95 | 45.97 | 0.18 |
| 8 | 45.99 | 46.10 | 45.97 | 45.95 | 45.92 | 45.99 | 0.18 |
| 9 | 45.92 | 45.95 | 46.10 | 45.97 | 45.99 | 45.99 | 0.18 |
| 10 | 45.95 | 45.95 | 45.99 | 46.10 | 45.92 | 45.98 | 0.18 |
| 11 | 45.93 | 45.95 | 45.92 | 45.95 | 45.95 | 45.94 | 0.03 |
| 12 | 45.95 | 45.98 | 45.95 | 45.95 | 45.93 | 45.95 | 0.05 |
| 13 | 45.97 | 45.96 | 45.93 | 45.97 | 45.95 | 45.96 | 0.04 |
| 14 | 46.10 | 45.99 | 45.99 | 45.95 | 45.97 | 46.00 | 0.15 |
| 15 | 45.95 | 45.97 | 45.92 | 45.97 | 46.10 | 45.98 | 0.15 |
| 16 | 45.95 | 45.95 | 45.95 | 46.10 | 45.95 | 45.98 | 0.15 |
| 17 | 45.97 | 45.98 | 45.93 | 45.95 | 45.95 | 45.96 | 0.05 |
| 18 | 45.97 | 45.96 | 45.99 | 45.98 | 45.98 | 45.98 | 0.03 |
| 19 | 45.95 | 45.95 | 45.95 | 45.96 | 45.96 | 45.95 | 0.01 |
| 20 | 45.98 | 45.97 | 45.95 | 45.99 | 45.95 | 45.97 | 0.04 |
| 21 | 45.96 | 46.10 | 45.97 | 45.97 | 45.92 | 45.98 | 0.18 |
| 22 | 45.99 | 45.95 | 46.10 | 45.97 | 45.99 | 46.00 | 0.15 |
| 23 | 45.97 | 45.95 | 45.95 | 45.97 | 45.92 | 45.95 | 0.05 |
| 24 | 46.10 | 45.97 | 45.95 | 45.95 | 45.95 | 45.98 | 0.15 |
| 25 | 45.95 | 45.98 | 46.10 | 45.97 | 45.93 | 45.99 | 0.17 |
| 合　計 | | | | | | 1149.39 | 2.86 |
| 平　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}}$ =45.98 | $\overline{R}$ = 0.57 |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $A_2 = 0.577$。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}} = 45.98$。

3.$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} = 45.98 + 0.577 \times 0.572 = 46.31$

4.$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} = 45.98 - 0.577 \times 0.572 = 45.65$

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 4-2。

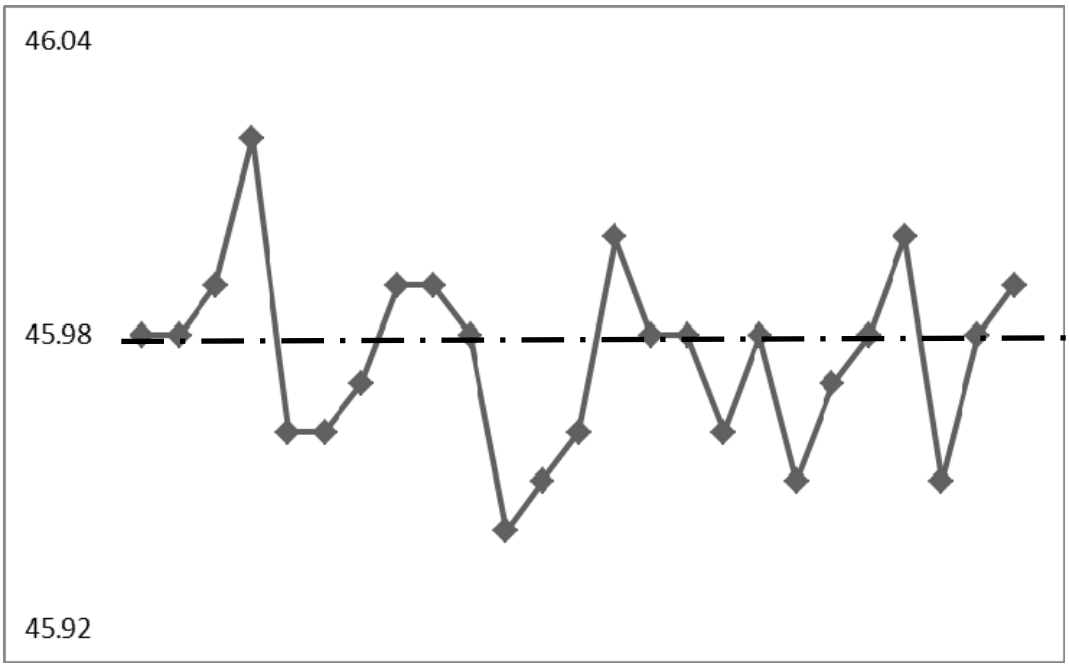



圖 4-2　品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3 = 0$，$D_4 = 2.114$。

2.中心線為 $\overline{R} = 0.572$。

3.$UCL\mathbf{R} = D_4 \times \overline{R} = 2.114 \times 0.572 = 1.542$

4.$LCL\mathbf{R} = D_3 \times \overline{R} = 0 \times 0.572 = 0$

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性一的 R 管制圖如圖 4-3。

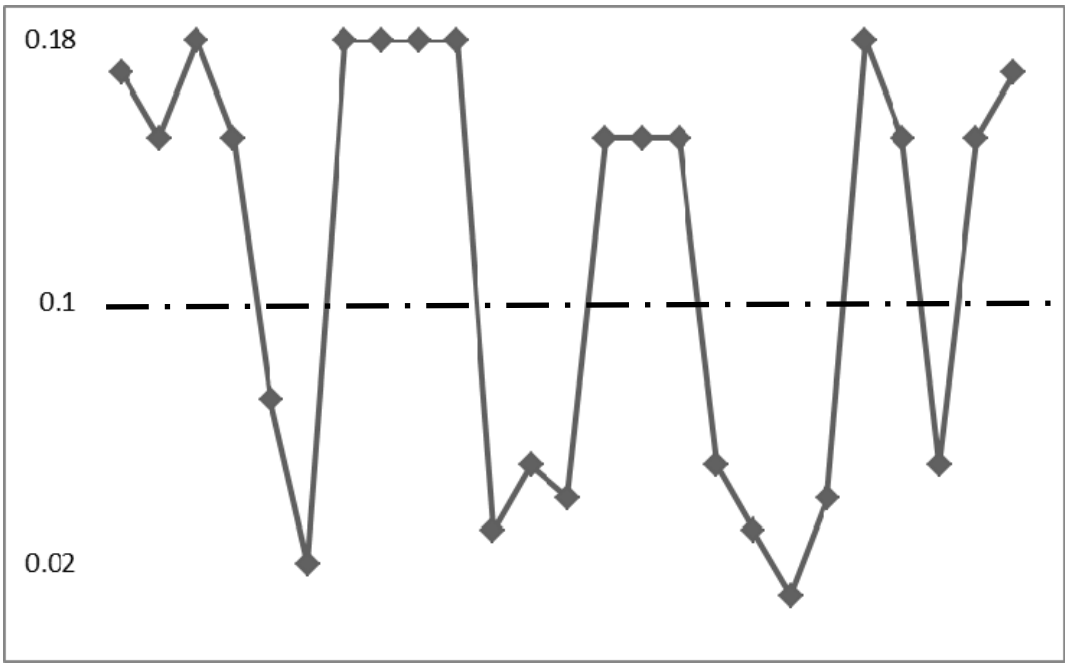



圖 4-3　品質特性一的 R 管制圖

本專題小組回到公司請教了第一種品質特性資料值的產品規格上限與下限，老闆答覆：上限為 46.1，下限為 45.9，也就是 USL =46.1，LSL =45.9

$$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S) = (46.1 - 45.9) / (6 \times 0.05) = 0.06$$

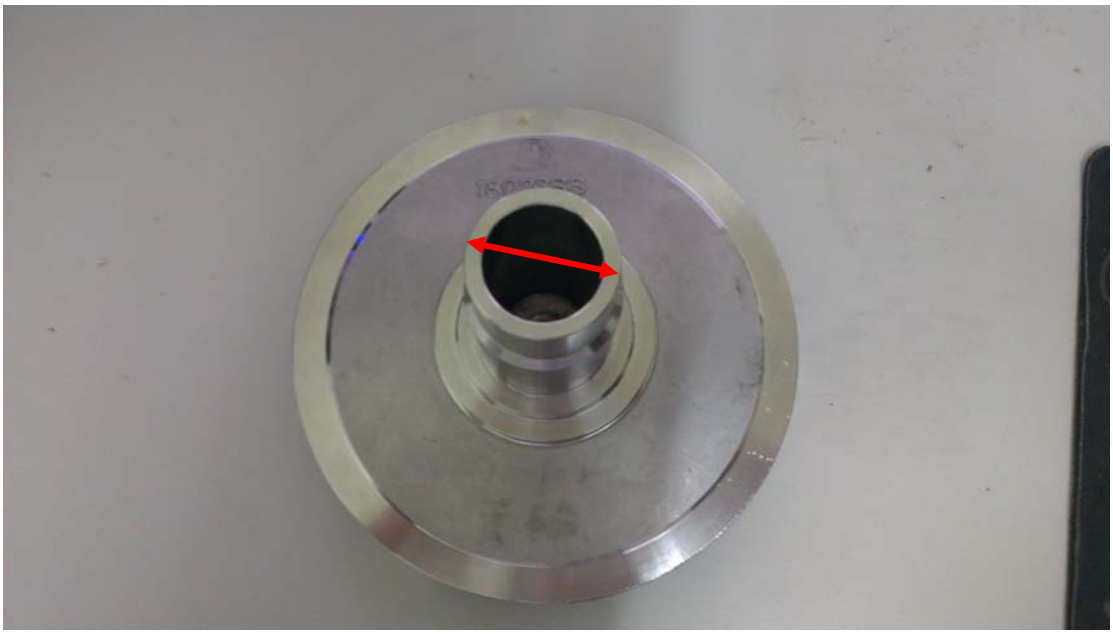


圖 4-4　泵浦外徑

## 4-2　第二種品質特性資料值

表 4-2　第二種品質特性資料值

| 組 | 測　定　值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 數 | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 33.25 | 33.27 | 33.22 | 33.29 | 33.24 | 33.25 | 0.05 |
| 2 | 33.30 | 33.29 | 33.25 | 33.25 | 33.22 | 33.26 | 0.08 |
| 3 | 33.27 | 33.26 | 33.27 | 33.27 | 33.27 | 33.27 | 0.01 |
| 4 | 33.29 | 33.21 | 33.24 | 33.24 | 33.29 | 33.25 | 0.08 |
| 5 | 33.25 | 33.27 | 33.22 | 33.22 | 33.26 | 33.24 | 0.04 |
| 6 | 33.27 | 33.24 | 33.30 | 33.25 | 33.21 | 33.25 | 0.09 |
| 7 | 33.24 | 33.22 | 33.25 | 33.27 | 33.22 | 33.24 | 0.05 |
| 8 | 33.22 | 33.25 | 33.24 | 33.24 | 33.29 | 33.25 | 0.07 |
| 9 | 33.30 | 33.30 | 33.22 | 33.22 | 33.25 | 33.26 | 0.08 |
| 10 | 33.25 | 33.27 | 33.27 | 33.25 | 33.27 | 33.26 | 0.02 |
| 11 | 33.25 | 33.29 | 33.24 | 33.30 | 33.24 | 33.26 | 0.06 |
| 12 | 33.27 | 33.26 | 33.22 | 33.27 | 33.22 | 33.25 | 0.05 |
| 13 | 33.24 | 33.21 | 33.30 | 33.29 | 33.24 | 33.26 | 0.08 |
| 14 | 33.22 | 33.22 | 33.24 | 33.25 | 33.22 | 33.23 | 0.03 |
| 15 | 33.30 | 33.30 | 33.22 | 33.27 | 33.27 | 33.27 | 0.05 |
| 16 | 33.25 | 33.27 | 33.25 | 33.24 | 33.24 | 33.25 | 0.03 |
| 17 | 33.24 | 33.29 | 33.25 | 33.30 | 33.22 | 33.26 | 0.07 |
| 18 | 33.27 | 33.25 | 33.27 | 33.25 | 33.30 | 33.27 | 0.05 |
| 19 | 33.24 | 33.27 | 33.24 | 33.29 | 33.25 | 33.26 | 0.05 |
| 20 | 33.22 | 33.24 | 33.22 | 33.26 | 33.25 | 33.24 | 0.04 |
| 21 | 33.25 | 33.24 | 33.30 | 33.21 | 33.27 | 33.25 | 0.06 |
| 22 | 33.30 | 33.22 | 33.25 | 33.27 | 33.24 | 33.26 | 0.08 |
| 23 | 33.27 | 33.25 | 33.29 | 33.24 | 33.24 | 33.26 | 0.04 |
| 24 | 33.29 | 33.27 | 33.26 | 33.22 | 33.22 | 33.25 | 0.07 |
| 25 | 33.24 | 33.24 | 33.21 | 33.30 | 33.25 | 33.25 | 0.09 |
| 合　　計 | | | | | | 831.36 | 1.42 |
| 平　　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}}$ = 33.25 | $\overline{R}$ =0.05 |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $A_2 = 0.577$。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}}$ =33.25。

3.$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$ = 33.25 + 0.577×0.05 =33.28

4.$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$ = 33.25- 0.577×0.05 =33.22

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 6-5。

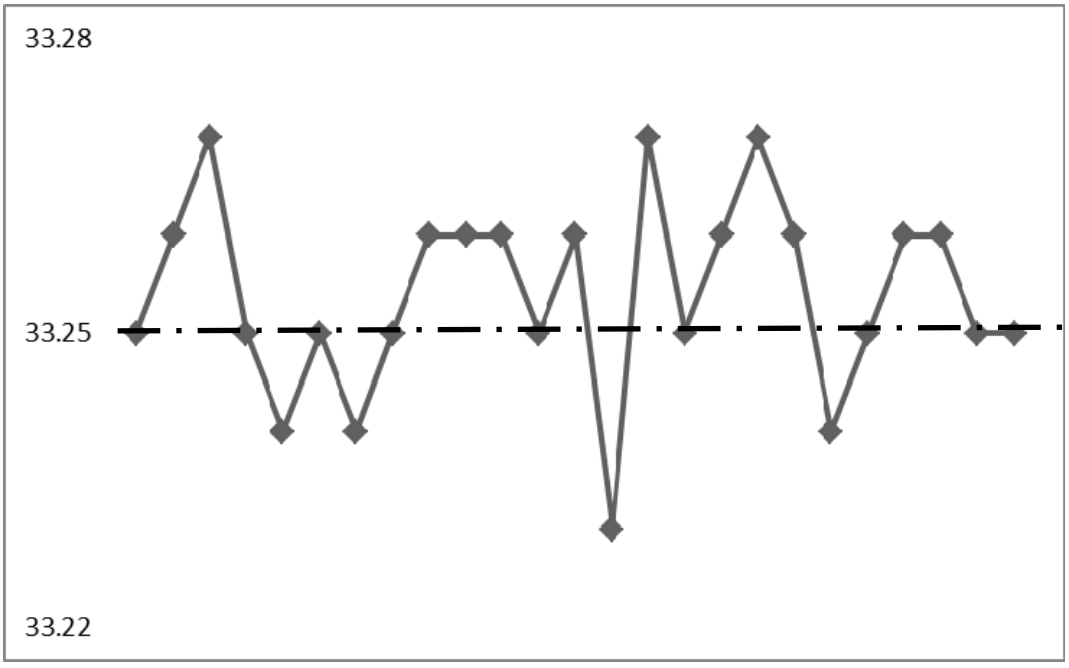



圖 4-5　品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3 = 0$，$D_4 = 2.114$。

2.中心線為 $\overline{R}$ =0.25。

3.UCL**R** = $D_4 \times \overline{R}$ = 2.114×0.05 =0.10。

4.LCL**R** = $D_3 \times \overline{R}$ = 0×0.05 = 0。

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性二的 R 管制圖如圖 4-6。

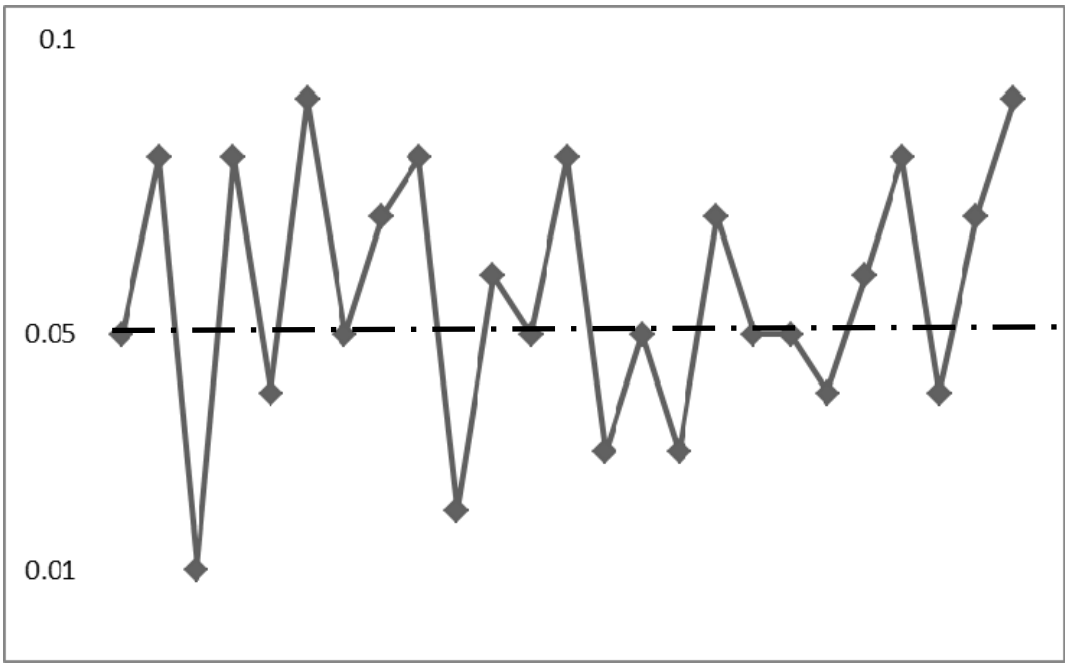



圖 4-6　品質特性二的 R 管制圖

本專題小組請教了第二種品質特性資料值的產品規格上限與下限，公司主管答覆：上限為 33.4，下限為 33.2，也就是 USL =33.4，LSL =33.2

$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S) = (33.4 – 33.2) / (6 \times 0.03) = 0.11$

## 4-3　第三種品質特性資料值

表 4-3　第三種品質特性資料值

| 組 | 測　定　值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 數 | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 33.7 | 35.7 | 36.8 | 37.7 | 34.3 | 35.64 | 4 |
| 2 | 34.3 | 39.7 | 34.5 | 36.4 | 38.5 | 36.68 | 5.4 |
| 3 | 36.8 | 35.8 | 37.2 | 35.2 | 37.4 | 36.48 | 2.2 |
| 4 | 34.5 | 35.5 | 36.8 | 34.3 | 39.5 | 36.12 | 5 |
| 5 | 34.2 | 36.8 | 36.3 | 38.5 | 38.5 | 36.86 | 4.3 |
| 6 | 33.4 | 34.3 | 37.6 | 37.4 | 34.5 | 35.44 | 3.3 |
| 7 | 37.8 | 38.5 | 36.6 | 39.5 | 39.7 | 38.42 | 1.9 |
| 8 | 36.7 | 37.4 | 33.4 | 38.5 | 33.7 | 35.94 | 4.8 |
| 9 | 33.9 | 39.5 | 35.8 | 37.2 | 38.5 | 36.98 | 4.6 |
| 10 | 39.5 | 38.5 | 35.5 | 36.8 | 34.5 | 36.96 | 5 |
| 11 | 38.4 | 34.5 | 36.8 | 36.3 | 39.7 | 37.14 | 3.9 |
| 12 | 33.8 | 39.7 | 34.3 | 37.6 | 35.8 | 36.24 | 3.8 |
| 13 | 37.7 | 35.8 | 35.2 | 36.8 | 36.8 | 36.46 | 2.5 |
| 14 | 36.4 | 36.8 | 36.9 | 34.3 | 34.2 | 35.72 | 2.7 |
| 15 | 35.2 | 34.2 | 37.5 | 34.2 | 38.5 | 35.92 | 4.3 |
| 16 | 36.9 | 38.5 | 38.4 | 33.4 | 35.8 | 36.60 | 5.1 |
| 17 | 37.5 | 39.8 | 33.7 | 37.8 | 36.8 | 37.12 | 6.1 |
| 18 | 38.4 | 36.4 | 35.7 | 36.7 | 34.2 | 36.28 | 4.2 |
| 19 | 33.7 | 33.5 | 39.5 | 33.9 | 38.5 | 35.82 | 4.5 |
| 20 | 35.7 | 38.6 | 34.9 | 39.5 | 39.8 | 37.70 | 4.9 |
| 21 | 39.5 | 37.7 | 34.2 | 38.4 | 39.8 | 37.92 | 5.6 |
| 22 | 34.9 | 36.4 | 38.5 | 33.8 | 36.4 | 36.00 | 1.5 |
| 23 | 37.8 | 33.7 | 39.8 | 37.7 | 33.5 | 36.50 | 4.2 |
| 24 | 38.9 | 35.9 | 39.8 | 36.4 | 36.9 | 37.58 | 1 |
| 25 | 33.7 | 37.8 | 33.7 | 35.2 | 37.5 | 35.58 | 4.1 |
| 合　　計 | | | | | | 914.10 | 99.4 |
| 平　　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}} = 36.56$ | $\overline{R} = 3.97$ |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 A2 = 0.577。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}}$ =36.564。

3.UCL$\bar{x}$ = $\overline{\overline{X}}$ + A2 $\overline{R}$ = 36.564 + 0.577×3.97 =38.854

4.LCL$\bar{x}$ = $\overline{\overline{X}}$ - A2 $\overline{R}$ = 36.564- 0.577×3.97=34.267

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 4-7。

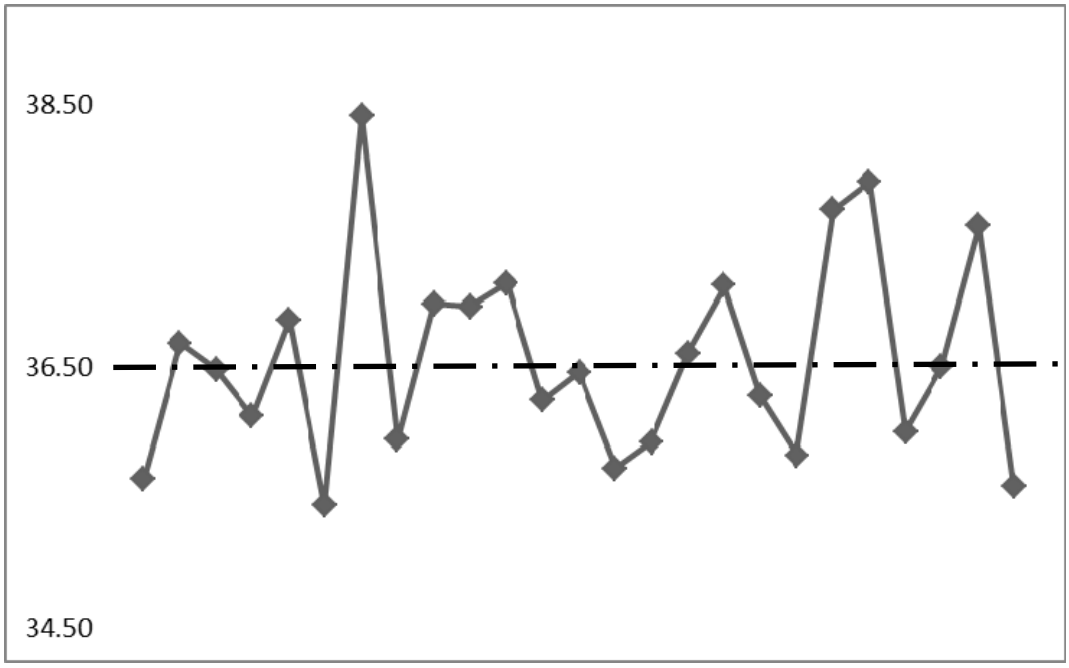



圖 4-7　品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3$ = 0，$D_4$ = 2.114。

2.中心線為 $\overline{R}$ =0.20。

3.UCL**R** = $D_4$× $\overline{R}$ = 2.114×3.97=8.51

4.LCL**R** = $D_3$× $\overline{R}$ = 0×3.97= 0。

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性三的 R 管制圖如圖 4-8。

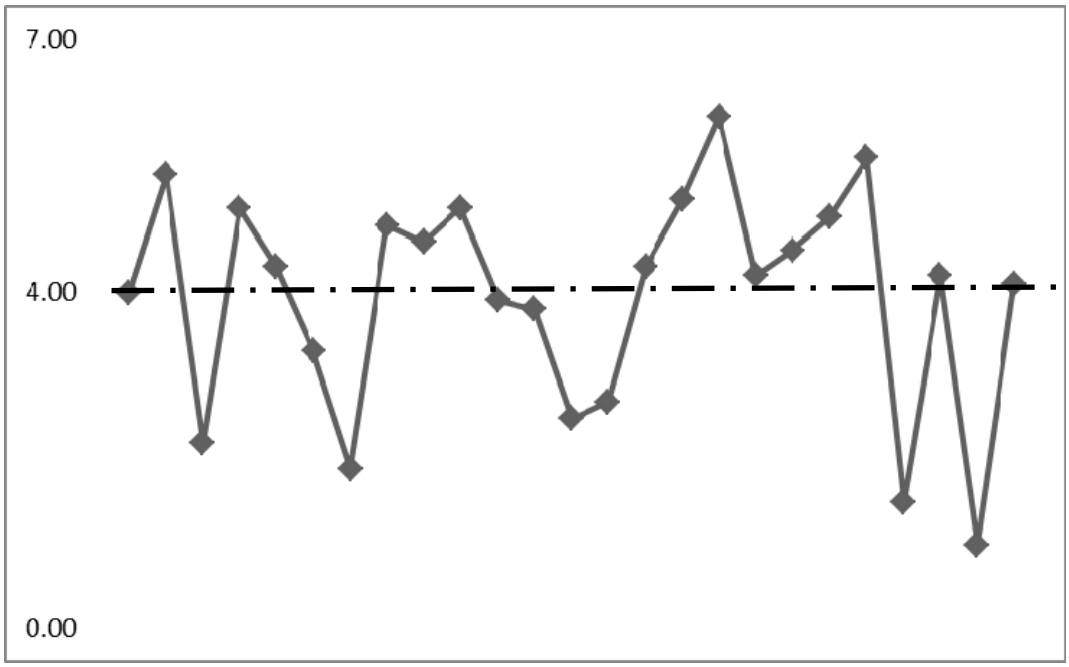



圖 4-8　品質特性三的 R 管制圖

本專題小組請教了第三種品質特性資料值的產品規格上限與下限，老闆答覆：上限為 39.8，下限為 35，也就是 USL =39.8，LSL =35。

$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S) = (39.8 – 35) / (6 \times 1.96) = 0.4$

## 4-4　檢討與建議

三種品質特性的製程能力指標$\hat{C}_P$分別為 0.06，0.11 與 0.59，依正常邊準尺寸來說，製程能力指標應該要達到 1.00 以上。

但這個產品加工有一定的困難度，導致產品並不穩定。

一、找出問題

1. 表面光滑度不足
2. 尺寸不穩定
3. 內徑加工負擔大，產品易變形

我們實際觀察了現場加工流程，發現到此產品內徑小，深度深導致切削液噴不進去，刀柄過長、鐵屑無法排出，使內孔刀切削不順利，使表面加工不光滑。本專題小組經過跟工廠人員、老師研究討論過後，經過無數的嘗試、失敗後，終於有了新的加工流程

二、產品改善

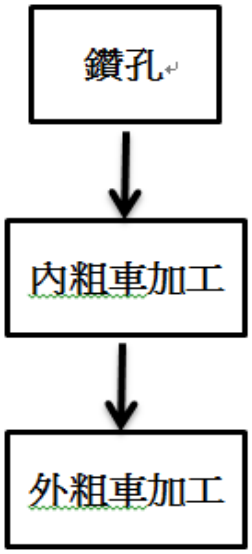



圖 4-9 改善前加工流程

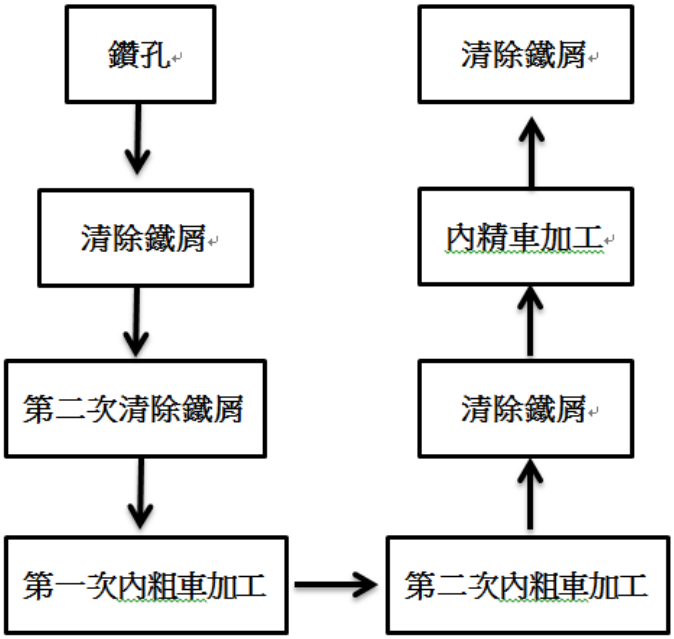



圖 4-10 改善後加工流程

我們為了減輕內粗車加工的負擔，使用兩隻內粗車來加工，一來可以減少鐵屑二來可以增長刀具的壽命，並且使內精車加工前，程式上加寫了選擇停止在停止中把裡面的鐵屑清乾淨，確保上一次的加工負擔不會帶給下一支刀具

改善前加工流程

這樣的加工增加了些許的時間，經過跟公司主管評估了失與得，為了產品品質能更好，是可行的。

# 第五章　產品改善

宥億股份有限公司採用了本專題小組的流程改善建議，經過改善之後，本專題小組再度回到公司針對三項品質特性分別再量測各 125 個量測值。

## 5-1 改善後第一種品質特性資料

表 5-1　改善後第一種品質特性資料值

| 組數 | 測定值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 46.02 | 46 | 45.99 | 45.98 | 46.02 | 46.00 | 0.04 |
| 2 | 46 | 46.04 | 46.02 | 46.04 | 46.04 | 46.03 | 0.02 |
| 3 | 46.04 | 46.05 | 46 | 46.02 | 45.98 | 46.02 | 0.07 |
| 4 | 46.03 | 46.04 | 46.05 | 46.05 | 45.87 | 46.01 | 0.18 |
| 5 | 46.01 | 46.01 | 45.77 | 46 | 46.01 | 45.96 | 0.24 |
| 6 | 45.93 | 46.02 | 45.87 | 46 | 45.96 | 45.96 | 0.15 |
| 7 | 46.06 | 45.79 | 46.01 | 46.05 | 45.97 | 45.98 | 0.27 |
| 8 | 46.06 | 45.99 | 46.01 | 46.04 | 46.04 | 46.03 | 0.07 |
| 9 | 46.05 | 46.05 | 46.02 | 45.95 | 45.94 | 46.00 | 0.11 |
| 10 | 46.04 | 46.03 | 46.01 | 46.02 | 46.04 | 46.03 | 0.03 |
| 11 | 45.96 | 46.04 | 46.02 | 45.89 | 46.04 | 45.99 | 0.15 |
| 12 | 46.04 | 45.99 | 45.95 | 46 | 46.03 | 46.00 | 0.09 |
| 13 | 46.04 | 46.04 | 45.99 | 46.05 | 46.05 | 46.03 | 0.06 |
| 14 | 46.01 | 46.02 | 46.03 | 45.99 | 46.02 | 46.01 | 0.03 |
| 15 | 45.95 | 46.02 | 45.98 | 46.03 | 45.87 | 45.97 | 0.16 |
| 16 | 46.06 | 45.93 | 45.89 | 46.05 | 45.98 | 45.98 | 0.17 |
| 17 | 46.04 | 46.02 | 46 | 46.02 | 46 | 46.02 | 0.04 |
| 18 | 46.02 | 46.03 | 46.02 | 45.99 | 46.03 | 46.02 | 0.04 |
| 19 | 46.02 | 46.05 | 46.05 | 46.01 | 46.02 | 46.03 | 0.04 |
| 20 | 46.03 | 45.99 | 46 | 45.98 | 45.99 | 46.00 | 0.05 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 46.02 | 45.96 | 46.05 | 45.95 | 45.97 | 45.99 | 0.1 |
| 22 | 46.04 | 45.93 | 46.03 | 45.98 | 46.01 | 46.00 | 0.11 |
| 23 | 46.06 | 45.93 | 45.98 | 45.91 | 46.02 | 45.98 | 0.15 |
| 24 | 46.03 | 46.01 | 46 | 45.95 | 46.02 | 46.00 | 0.08 |
| 25 | 46.06 | 46.02 | 45.99 | 46.05 | 46.03 | 46.03 | 0.07 |
| 合　　計 | | | | | | 1150.06 | 2.52 |
| 平　　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}}$ =46.00 | $\overline{R}$ = 0.1 |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $A_2$ = 0.577。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}}$ =46

3.$UCL_{\overline{X}}$ = $\overline{\overline{X}}$ + $A_2\overline{R}$ = 46+ 0.577×0.01 = 46

4.$LCL_{\overline{X}}$ = $\overline{\overline{X}}$ - $A_2\overline{R}$ = 46- 0.577×0.01 = 45.99

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 5-1。

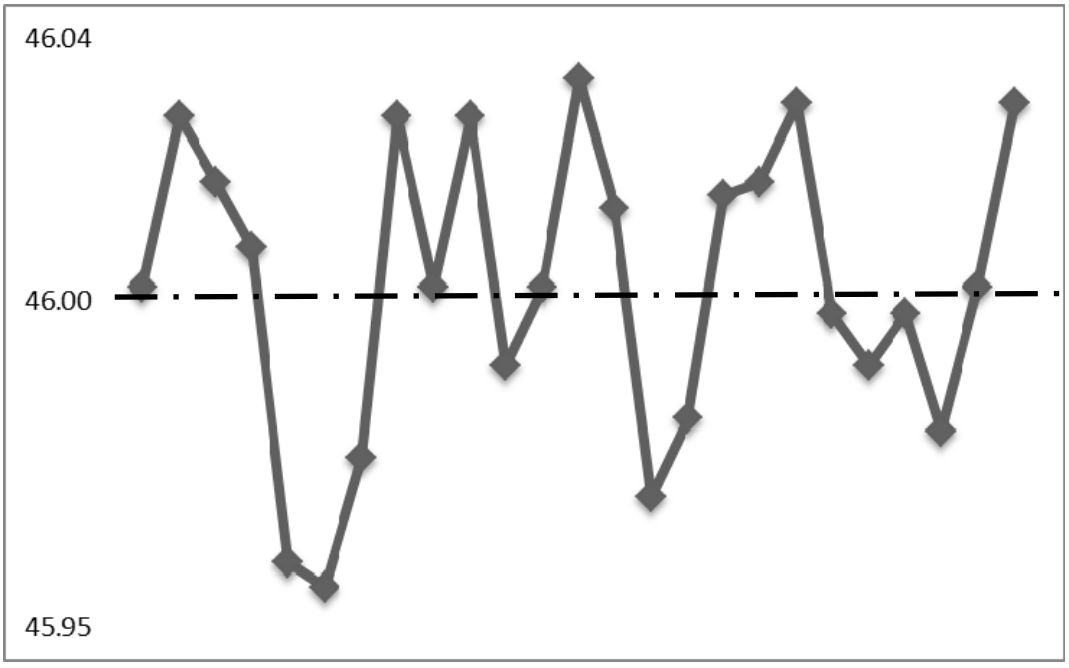



圖 5-1　品質特性一的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3 = 0$，$D_4 = 2.114$。

2.中心線為 $\overline{R} = 0.1$。

3.UCL**R** = $D_4 \times \overline{R} = 2.114 \times 0.1 = 0.21$

4.LCL**R** = $D_3 \times \overline{R} = 0 \times 0.1 = 0$。

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性一的 R 管制圖如圖 5-2。

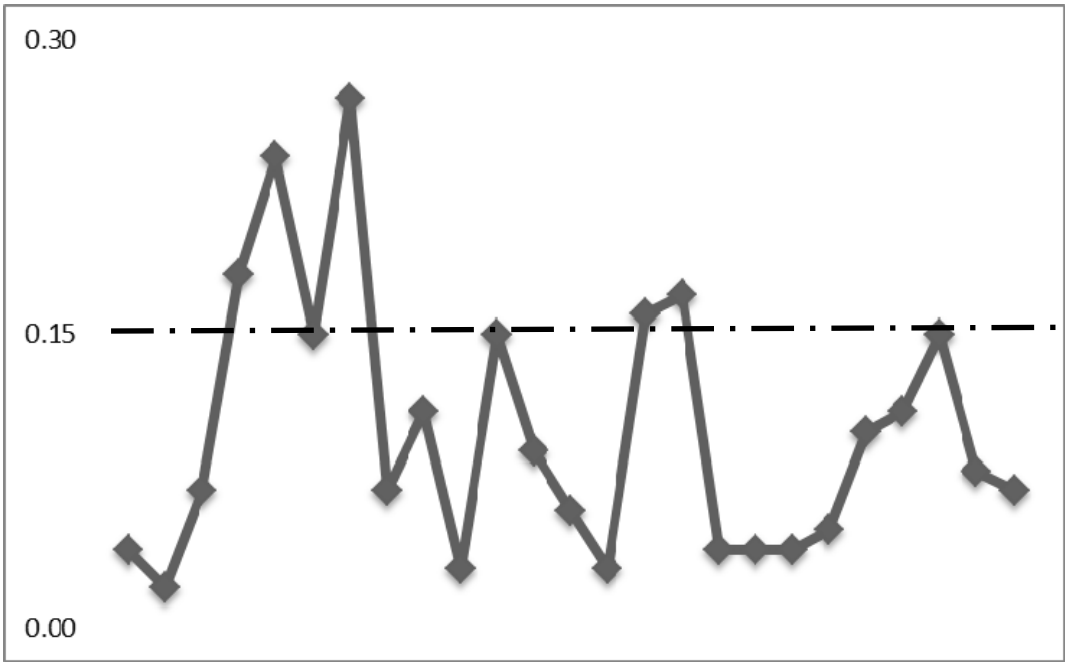



圖 5-2 品質特性一的 R 管制圖

本專題小組重新計算了製程能力指標如下。

$\hat{C}_p = (USL - LSL) / (6S) = (46 - 45.45) / (6 \times 0.05) = 1.8$

## 5-2　改善後第二種品質特性資料

表 5-2　改善後第二種品質特性資料值

| 組數 | 測　定　值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 33.55 | 33.36 | 33.52 | 33.45 | 33.45 | 33.47 | 0.19 |
| 2 | 33.52 | 33.46 | 33.45 | 33.4 | 33.46 | 33.46 | 0.12 |
| 3 | 33.55 | 33.52 | 33.36 | 33.48 | 33.34 | 33.45 | 0.21 |
| 4 | 33.47 | 33.35 | 33.55 | 33.35 | 33.56 | 33.46 | 0.21 |
| 5 | 33.55 | 33.41 | 33.32 | 33.38 | 33.48 | 33.43 | 0.23 |
| 6 | 33.59 | 33.47 | 33.51 | 33.4 | 33.31 | 33.46 | 0.28 |
| 7 | 33.48 | 33.49 | 33.42 | 33.49 | 33.34 | 33.44 | 0.15 |
| 8 | 33.38 | 33.38 | 33.44 | 33.4 | 33.26 | 33.37 | 0.18 |
| 9 | 33.58 | 33.52 | 33.49 | 33.56 | 33.5 | 33.53 | 0.09 |
| 10 | 33.34 | 33.46 | 33.37 | 33.4 | 33.39 | 33.39 | 0.12 |
| 11 | 33.41 | 33.48 | 33.43 | 33.46 | 33.48 | 33.45 | 0.07 |
| 12 | 33.53 | 33.42 | 33.46 | 33.33 | 33.35 | 33.42 | 0.20 |
| 13 | 33.52 | 33.37 | 33.45 | 33.45 | 33.37 | 33.43 | 0.15 |
| 14 | 33.34 | 33.15 | 33.51 | 33.52 | 33.44 | 33.39 | 0.37 |
| 15 | 33.2 | 33.48 | 33.38 | 33.45 | 33.48 | 33.40 | 0.28 |
| 16 | 33.57 | 33.46 | 33.36 | 33.59 | 33.54 | 33.50 | 0.23 |
| 17 | 33.54 | 33.48 | 33.45 | 33.4 | 33.18 | 33.41 | 0.36 |
| 18 | 33.45 | 33.6 | 33.38 | 33.59 | 33.44 | 33.49 | 0.22 |
| 19 | 33.45 | 33.46 | 33.74 | 33.39 | 33.47 | 33.50 | 0.35 |
| 20 | 33.32 | 33.56 | 33.44 | 33.38 | 33.34 | 33.41 | 0.24 |
| 21 | 33.38 | 33.44 | 33.5 | 33.51 | 33.38 | 33.44 | 0.13 |
| 22 | 33.53 | 33.46 | 33.42 | 33.49 | 33.47 | 33.47 | 0.11 |
| 23 | 33.43 | 33.42 | 33.5 | 33.48 | 33.55 | 33.48 | 0.13 |
| 24 | 33.35 | 33.36 | 33.46 | 33.68 | 33.45 | 33.46 | 0.33 |
| 25 | 33.56 | 33.65 | 33.3 | 33.5 | 33.58 | 33.52 | 0.35 |
| 合　　計 | | | | | | 836.23 | 5.30 |
| 平　　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}}$ = 33.45 | $\overline{R}$ =0.21 |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $A_2 = 0.577$。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}}$ =33.45

3.$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$ =33.45 + 0.577×0.21 =33.57

4.$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$ = 33.45- 0.577×0.21 =33.32

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 5-3。

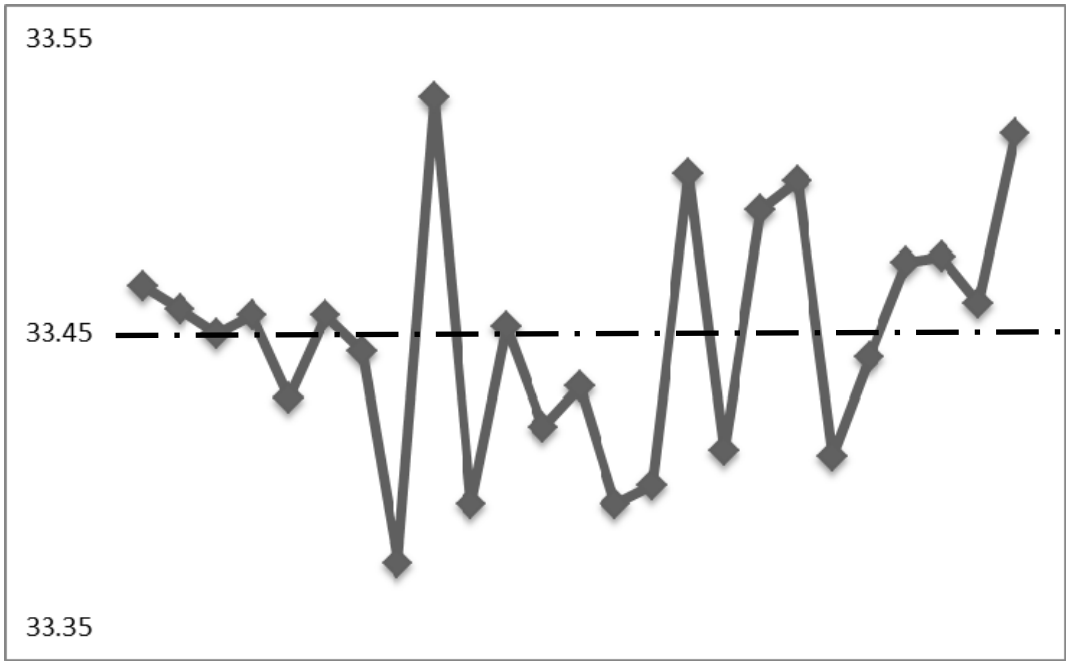



圖 5-3　品質特性二的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3 = 0$，$D_4 = 2.114$。

2.中心線為 $\overline{R}$ =0.21。

3.UCL**R** = $D_4 \times \overline{R}$ = 2.114×0.21=0.44

4.LCL**R** = $D_3 \times \overline{R}$ = 0×0.21 = 0

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性二的 R 管制圖如圖 5-4。

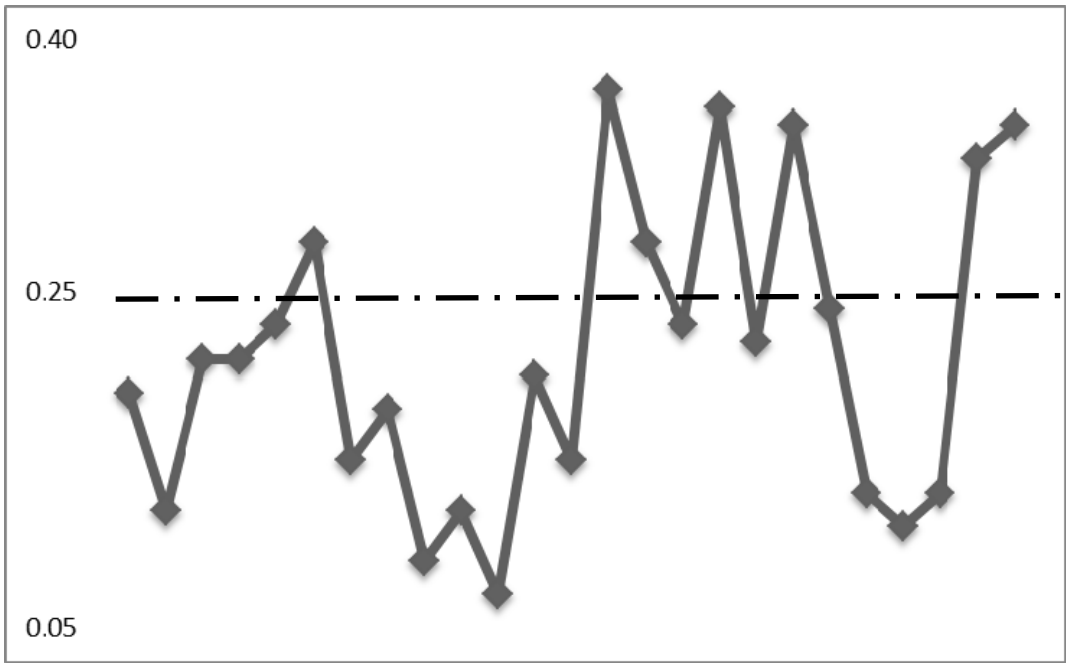



圖 5-4　品質特性二的 R 管制圖

本專題小組重新計算了製程能力指標如下。

$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S) = (33.9 – 33.25) / (6 \times 0.09) = 1.2$

## 5-3　改善後第三種品質特性資料

表 5-3　第三種品質特性資料值

| 組 | 測　定　值 | | | | | 平均數 | 全距 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 數 | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $\overline{X}$ | R |
| 1 | 39.88 | 39.76 | 39.87 | 39.88 | 39.87 | 39.85 | 0.12 |
| 2 | 39.85 | 39.99 | 39.96 | 39.77 | 39.77 | 39.87 | 0.22 |
| 3 | 39.76 | 39.88 | 39.85 | 39.99 | 39.83 | 39.86 | 0.23 |
| 4 | 39.76 | 39.77 | 39.87 | 39.82 | 39.7 | 39.78 | 0.11 |
| 5 | 39.94 | 39.88 | 39.83 | 39.74 | 39.86 | 39.85 | 0.2 |
| 6 | 40 | 39.74 | 39.86 | 39.78 | 39.85 | 39.85 | 0.26 |
| 7 | 39.88 | 39.92 | 39.92 | 39.81 | 39.82 | 39.87 | 0.11 |
| 8 | 39.73 | 39.8 | 39.8 | 39.92 | 39.75 | 39.80 | 0.19 |
| 9 | 39.77 | 39.75 | 39.87 | 39.9 | 39.97 | 39.85 | 0.22 |
| 10 | 39.82 | 39.75 | 39.86 | 39.81 | 39.8 | 39.81 | 0.11 |
| 11 | 39.85 | 39.85 | 39.93 | 39.77 | 39.77 | 39.83 | 0.16 |
| 12 | 39.88 | 39.87 | 39.94 | 39.8 | 39.75 | 39.85 | 0.19 |
| 13 | 39.74 | 39.77 | 39.86 | 39.87 | 39.99 | 39.85 | 0.25 |
| 14 | 39.71 | 39.97 | 39.74 | 39.74 | 39.93 | 39.82 | 0.26 |
| 15 | 39.89 | 39.76 | 39.71 | 39.87 | 39.92 | 39.83 | 0.21 |
| 16 | 39.98 | 39.9 | 39.95 | 39.87 | 39.88 | 39.92 | 0.11 |
| 17 | 39.79 | 39.87 | 39.8 | 39.72 | 39.74 | 39.78 | 0.15 |
| 18 | 39.73 | 39.98 | 39.72 | 39.98 | 39.93 | 39.87 | 0.26 |
| 19 | 39.81 | 39.74 | 39.77 | 39.85 | 39.82 | 39.80 | 0.11 |
| 20 | 39.88 | 39.71 | 39.88 | 39.94 | 39.82 | 39.85 | 0.23 |
| 21 | 39.85 | 39.8 | 39.97 | 39.79 | 39.76 | 39.83 | 0.21 |
| 22 | 39.76 | 39.74 | 39.81 | 39.77 | 39.92 | 39.80 | 0.18 |
| 23 | 39.73 | 39.74 | 39.98 | 39.95 | 39.88 | 39.86 | 0.25 |
| 24 | 39.8 | 39.91 | 39.76 | 39.77 | 39.92 | 39.83 | 0.16 |
| 25 | 39.86 | 39.89 | 39.82 | 39.74 | 39.76 | 39.81 | 0.15 |
| 合　　計 | | | | | | 995.92 | 4.65 |
| 平　　均 | | | | | | $\overline{\overline{X}} = 39.84$ | $\overline{R} = 0.19$ |

平均數管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 A2 = 0.577。

2.中心線為 $\overline{\overline{X}}$ = 39.84。

3.UCL$\bar{x}$ = $\overline{\overline{X}}$ + A2 $\overline{R}$ = 39.84 + 0.577×0.18 =39.94

4.LCL$\bar{x}$ = $\overline{\overline{X}}$ - A2 $\overline{R}$ = 39.84- 0.577×0.18 =39.73。

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖如圖 8-5。

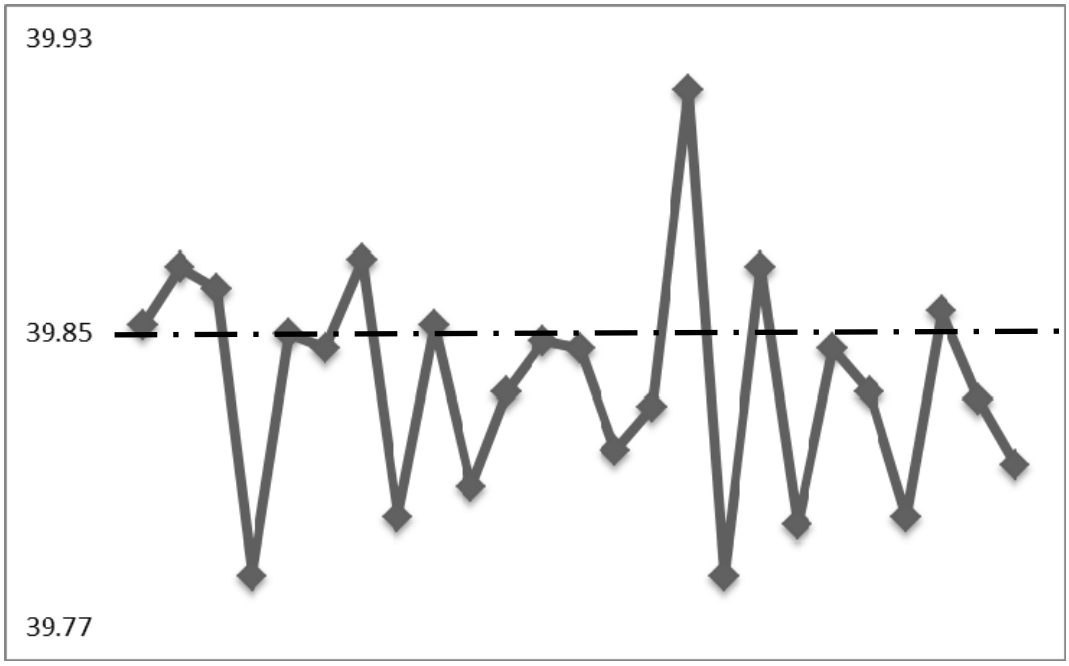



圖 5-5　品質特性三的 $\overline{X}$ 管制圖

R 管制圖的部份：

1.當 n = 5 所對應的 $D_3$ = 0，$D_4$ = 2.114。

2.中心線為 $\overline{R}$ =0.19。

3.UCL**R** = $D_4$× $\overline{R}$ = 2.114×0.19 = 0.4。

4.LCL**R** = $D_3$× $\overline{R}$ = 0×0.19 = 0。

依據上述計算的資料，所獲得的品質特性三的 R 管制圖如圖 8-6。

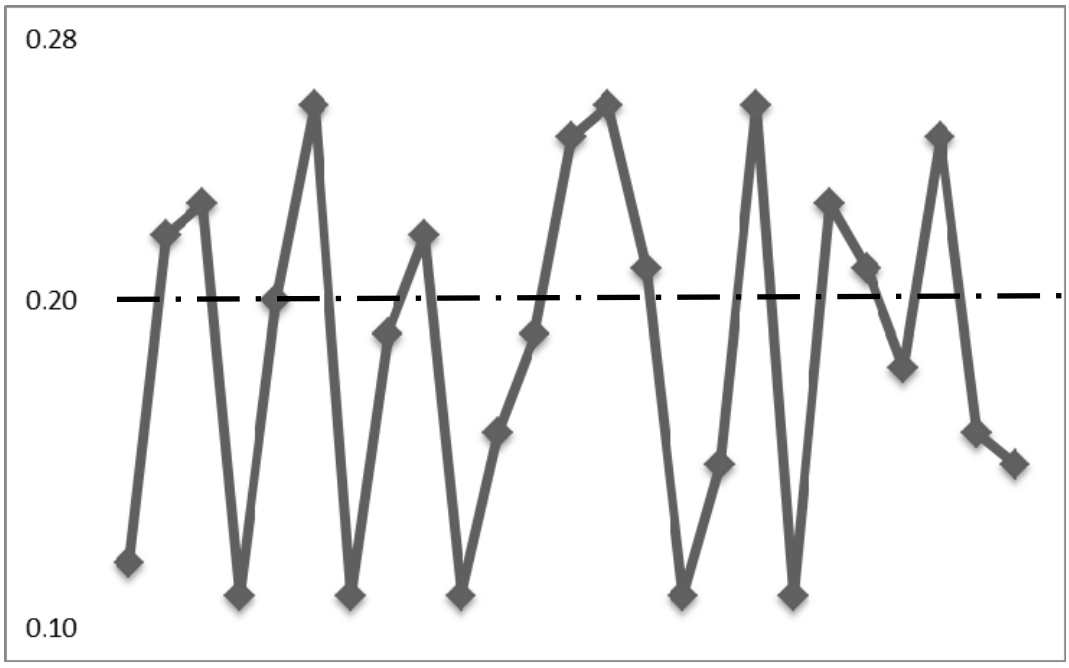



圖 5-6　品質特性三的 R 管制圖

本專題小組重新計算了製程能力指標如下。

$$\hat{C}_p = (USL - LSL) /(6S) = (40.14 - 39.55) / (6 \times 0.08) = 1.23$$

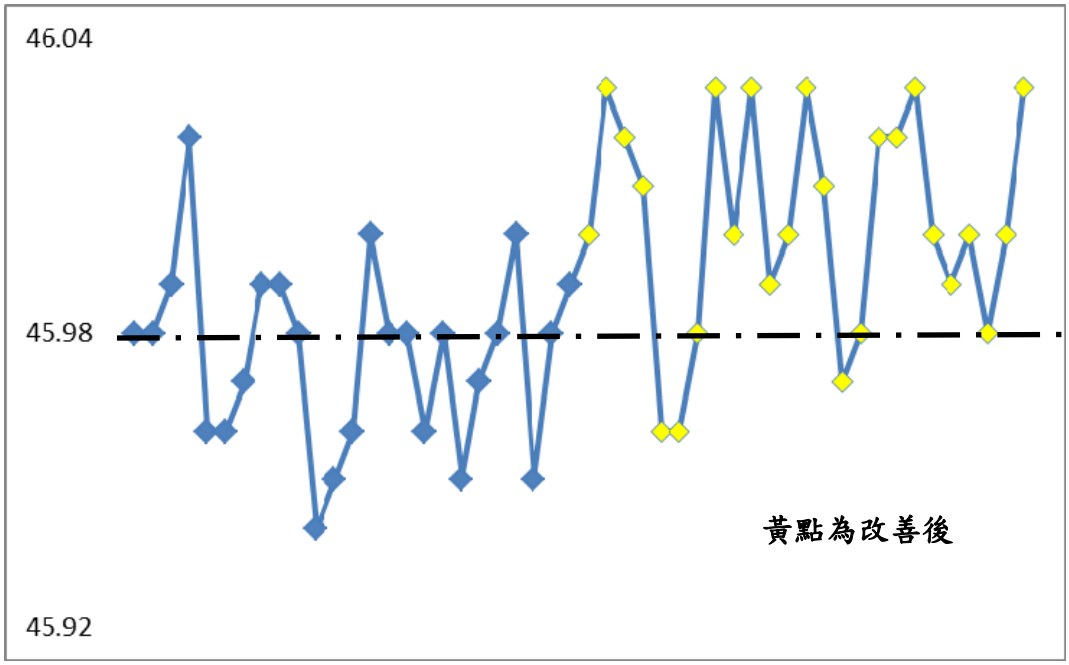



圖 5-7　第一種品質特性結果比較圖

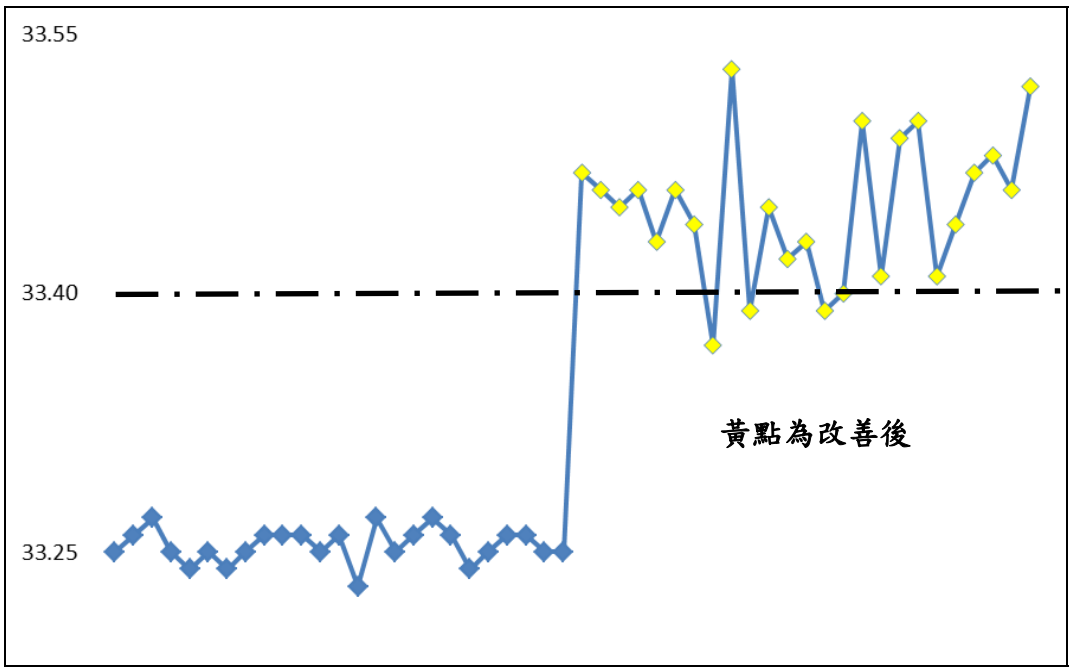



圖 5-8　第二種品質特性結果比較圖

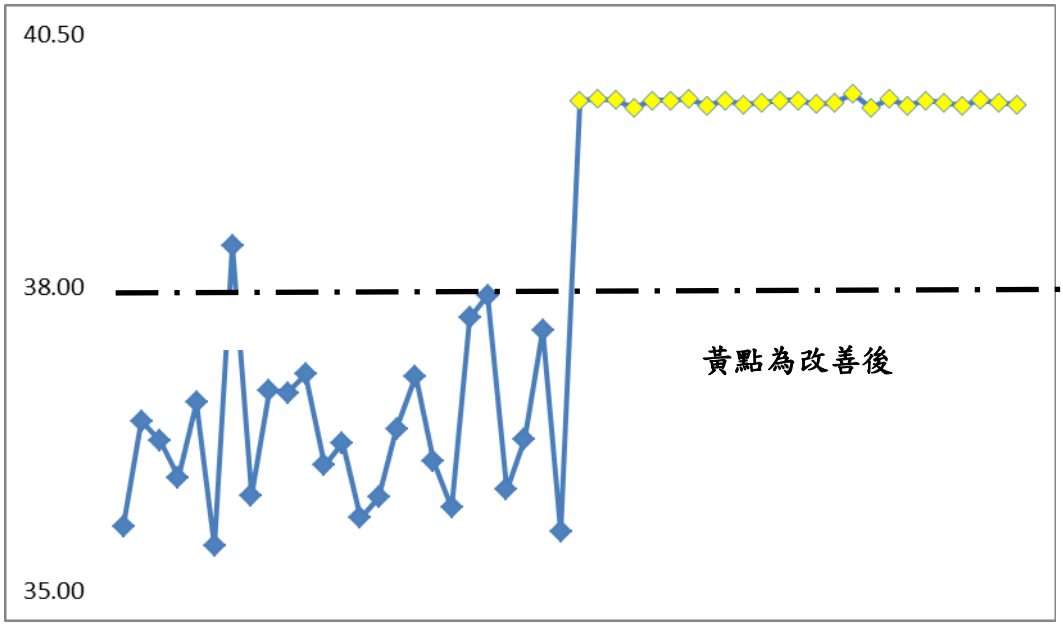



圖 5-9　第三種品質特性結果比較圖

# 第六章　結論

本專題小組對宥億股份有限公司提出建議之後，三種品質特性 X-R 管制圖顯然獲得改善。三種品質特性的製程能力指標由原先的 0.06，0.11，0.4 提升為 1.8、1.2，1.23。產品品質改善率如果定義為(新 p -舊 p)/舊 Cp×100%，則改善率分別為 29%，10%，20%。

經過專題的研究，我們發現到『專題』最重要的一點是讓我們能在未出社會之前，對外面的世界有所接觸，好讓大家不會在一踏出學校感到徬徨、無知，並能在專業領域上發揮所長。但經過這次的洗禮，經驗的不足讓我們發現到我們該學的東西還很多。

台灣的金屬加工企業，必須提升產品的品質水準，才能在競爭激烈的同業之中脫穎而出。在此相當感謝指導老師的用心指導，與宥億股份有限公司的全力支持。本專題小組導入新的產品製程，使得產品品質得到大幅度的改善，宥億企業股份有限公司為此對於本專題小組此次提供的協助感到相當滿意，本專題小組能將所學貢獻於宥億企業股份有限公司也感到相當的開心。相信一定有更好的改善的方式，在品質管理中沒有最好，只有更好。

# 參考文獻

[1]W. L. Pearn and C. S.Chang (1998-1999), An Implementation of the Precision Index for Contaminated Processes, Quality Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 101-110.

[2]S. Kotz and C. R. Lovelace (1998), Process Capability Indices in Theory and Practice, Arnold.

[3]J. Hoskins, B. Stuart and J. Taylor (1988), A Motorora Commitment: A Six Sigma Mandate. The Motorola Guide to Statistical Process Control for Continuous Improvement Towards Six Sigma Quality.

[4]N. F. Hubele, D. C. Montgomery and W. H. Chih (1991), An Application of Statistical Process Control in Jet-Turbine Engine Component Manufacturing. Quality Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 197 – 210.

[5]L. G. Rado (1989), Enhance Product Development by Using Capability Indexes, Quality Progress, April, Vol. 22, No. 4, pp. 38 – 41.

[6]J. Noguera and T. Nielsen (1992), Implementing Six Sigma for Interconnet Technology, ASQC Quality Congress Transactions, Nashville, pp. 538 – 544.

[7]C. S. Chang, H. K. Sun, W. L. Pearn, and G. Y. Su (2003), The Study of Process Capability Indices of Anti-Fragmentation of Helmet, Chung Cheng Ling Hsueh Pao/Journal of Chung Cheng Institute of Technology, Vol. 31, No. 2, pp. 89-108.

[8]V.E. Kane (1986), Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 41 – 52.

[9]W. L. Pearn, S. Kotz and N. L, Johnson (1992), Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, Vol. 24, No. 4, pp. 216-233.

[10]A. M. Polansky, Y. M. Chou and R. L. Mason (1998-1999), Estimating Process Capability Indices for a Truncated Distribution, Quality Engineering, Vol. 11,

No. 2, pp. 257-265.

[11]W. L. Pearn and C. S. Chang (2006), Precision measures for processes with multiple manufacturing lines, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, December, Vol. 30, No. 11 - 12, pp. 1202 – 1210.

[12]W. L. Pearn and C. S. Chang (1997), The Performance of Process Capability Index Cs on Skewed Distributions, Communications in Statistics, Series(B), Simulation and Computation, Vol. 26, No. 4, pp. 1361-1377.

[13]S. E. Somerville and D. C. Montgomery (1996), Process Capability Indices and Non-normal Distributions, Quality Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 305-316.

[14]Y. M. Chou and D. B. Owen (1989), On the Distributions of the Estimated Process Capability Indices, Communications in Statistics – Theory and Methods, Vol. 18, No. 12, pp. 4549 – 4560

[15]張振賢，朱若梅(民 93)，截斷常態製程下的 $C_p$ 製程能力指標，計量管理期刊，第一卷第二期，207-218 頁。