

與製造之公差控制

徐 英

編譯

愛迪出版社

前言

此書之目的，在於提供一項單一的，減低成本的，並是統一的推算公差技術，並因此而簡化了選定最適當的任務，以用之於產品設計和製造。

工業界對公差集結(Tolerance Buildup)分析的注意範圍

在任何製造公司的內部，經常有三個單位與下列問題有關，那就是對於已定的尺寸如何決定其公差量，如何建立公差，以及最後在沒有做到事先指定的公差時，應如何處理當時的製造情況等問題。

第一個單位——產品設計——負責設計，使最大可能的工作公差，適合於設計的基本要求，將工作公差儘可能制定得最大是有其必要的，因為這樣，工廠才能在最經濟的情形下，按照藍圖制訂的公差來生產零件及組成品。

第二個單位——工程製造——負責發佈工作說明書(Operation Sheets)規定最良好，最經濟的零件生產程序，所謂最良好最經濟的程序，可以認為是一種具有下列條件的程序：

- a. 操作過程最少。
- b. 對於每一機削步驟的最大可能工作公差都已指定好，使所有的生產零件都會在藍圖所容許的上限(high limit)與下限(low limit)之內。
- c. 有切合實際的坯料創除量(stock removals)——最小至最大——以適應表面加工尺寸，與工具磨耗。
- d. 考慮到工具設計的問題，並且對必須特別設計的每一件工具皆能指出必須使用之正確部位。
- e. 考慮到量測，以及規具(gage)設計等特殊問題。
- f. 可獲得工廠的信任，因為他們知道過去所拿到的類似施工說明，對於前述實際因素都考慮得很週到。

第三個單位——品質控制——負責量驗品質、評估品質，且並在發現公差與圖面不符，需要協調的羣體力量來決定此項差誤係何時發生，對於不符尺寸的材料如何處理，以及對於引起此項情勢的因素，應採取何項措施加以糾正時，作為組織的一個觸媒單位。

本書用了一個新的方法，那就是我們指出久已被少數生產工程師所用的方法圖表，在產品設計部門也同樣可以有效使用，此圖表應用於產品設計，將包含很多在應用於撰寫工作說明書時所碰不到的問題。因為零件在組成品中有往復動作，而使公差的相互間隙變得很複雜。不過該圖表對於處理這種情形很有用；又在有些情形下，設計的輪廓係根據純數學方法要求極度緊密公差，則該圖表在此時對製訂統計公差（Statistical tolerance）也很有幫助。

因本書之意在為個人，或班級的教習課本，所以於說明某一技巧時，在每一個關鍵步驟上，最後將會列出許多問題與其答案，使該一步驟與此以前的各個步驟結合起來，這樣在談到最後一步時，讀者已完全建立起使用該技巧的真正本領。

工業界認為比較出色的設計，除其他知識外，對製造程序也應具有豐富的知識，同時熟諳這些過程為保持公差而有的限度。通常我們並不期望設計人員對於製造工作會像製造工程師一樣瞭解，但是假如設計人員能非常熟悉製造工程師在計劃製造作業時，用來控制公差的技術，那麼他對設計與製造相互相關的問題，便足可應付裕如。譬如要求放寬公差，對不合用材料的處理有所決定，以及對於以不精確的計算為根據的不合理請求，置之不理等。同樣的，假如製造工程師，對於產品設計者如何決定一個零件的公差，具有同等了解的話，則對產品設計上所生問題的解決將大有裨益。許多工廠中不時聽到製造工程師們抱怨設計產品的人不知道計算公差的情形，以後將不會時常發生。

本書中問題的安排，希望能有助於學習的程序，與教導各項原則。不論讀者的興趣是在於產品設計，或是製造工程，或是品質控制，書內所提供問題的解答，將可使讀者以此技術應用在任何方面，以及任何種類的問題上。

設計工程師可能以為那些問題太偏向於製造方面，但是那些並不太重要。祇要問題的目標是在指導學生，如何處理產品的尺寸及公差。我們願強調此書不是專門教導如何可成為生產工程師，或是產品設計者，而是在發展與公差圖表有關的技巧。這種技巧可應用在設計與製造的各種問題上。

我們相信任何製造工程師，或產品設計工程師，如能鑽研並掌握本書內容，則將成為其本行中極有造詣的人。我們也相信除非製造工程師掌握住這項技術，將不能具有充分能力去繼續控制，與制定最好最經濟的程序有關的所有因素。這特別是在製造比較複雜的零件時，更可以感覺到。因為有的零件其加工次數之多，甚至超過百次以上。程序愈是複雜，製造工程師愈容易在

公差上出錯。不過爲採用了這類公差圖表就大不相同，因爲計劃外型程序的工作，依照圖表的組成型式來製訂，則任何複雜情況都將迎刃而解。

此書在工程方面與工業方面之應用

一般來說，本書的主要對象是產品設計者，工場佈置的計劃人，繪圖員，或詳細資料的管理人，對工作方法或負責計劃製造工作的生產工程師、工具設計人，品質控制工程師，研究機器能量的工業統計者，以及領工人員在小型工場裡與公差相搏鬥，在沒有優良幕僚的工程部門裡什麼都管的領工人員，最後是關心成本運用的主計人員或廠長，他們也許會買本書，但祇是讀一、二章煽動性的文字，及關心成本運用圖的製作而已。

對於本書有興趣的應該還有估價人員以及價值工程師或分析師，前者關心公差對於其估算的影響，後者關心任何可以降低成本的工具。當然最後還有學生。

適用本書的產品種類

在本書內所描述的技術，可以應用在任何生產，以剪、焊、成型、鑄、鍛及機器加工，使任何材料做成任何種類的零件，然後將一些不同樣的部份品組合成機械的，電器的，或電機產品的工業上。簡言之，凡是以公差限制機械部份產量的場合，或是以零件作爲基礎的場合，本書技術均可利用。從太空船至螺絲起子，沒有一樣由人製造的產品不受制於尺寸大小與相關的公差。所以照我們的偏見，每一種工業如係運用生產機械來製做“硬具”(hardware)，皆能利用此書。

作者教授本書技術

根據多年來正式或非正式的，在課室中教授此種圖表技術的經驗，作者堅決認爲，任何人如不對書中大量圖表問題痛下苦工，決無法精通此項技術。所以僅是讀讀雜誌上的幾頁文章，或是別人製作圖表時在旁邊看看，或是熟讀那些內行人所製作的圖表，都是不夠的。因爲這皆是消極的途徑；雖說值得，却不能代替有計劃的、按部就班的專精此項技術的方法。這種方法就是勤做那些爲獲得實際技能而設計的問題。

有關本書所提供的各項問題的習作，我們勸請讀者在確認已經盡了最大的努力後，再翻閱答案核對表中所填各項。此外我們還要求讀者，按着書中問題出現的次序逐章去作，這樣以後方不致招來錯誤；因沒有了解你認爲簡

單的細節而浪費你好些時間。舉例來說，在一家公司裡，作者曾教過三個小組，每組十位工程師，在藍圖尺寸轉換為同等對稱型式的三個測驗問題中，第一組所得的分數顯示有百分之四十四的錯誤。第二組給予同樣的測驗，但事先將第一組所獲得的成績告知，並示以警告，結果錯誤達百分之二十八。這錯誤的原因雖是不同，但主要的原因是絕大多數的懶得去做書中的練習題，覺得這些問題太簡單，不值得費心去找解答。其實他們若能做好那些問題，就自然明白其思路，這些簡單的細節也就不成其為問題了。

習作書內的問題

由於成本高昂，發行此書時對於頁面大小須適合在書頁內寫作問題起見，採取了折衷的辦法，使頁面大小，可足供答案的書寫，并清晰可讀。所以圖表的問題，必須用 2 : 1 大小的紙，或較答案紙更大一點，最小亦必須有 11" × 17" 那麼大，其每行間隔的距離為 .312"。複製品的正張，或是用於其他型式的快速再製品均可，也許有些讀者寧願直接採用描圖紙。

我們願意對那些朋友們，及同學們表示謝意。他們校訂了此書，協助了教學，對有關教材的處理，並提供了熱誠的鼓勵，更特別感謝 Olin Mathieson 化學公司 Winchester 武器部份的庫而曼先生 (Lawrance Kulman) 在統計公差這一章所做的貢獻。康涅狄克州 Hy-standard 製造公司的雷爾先生 (Games Reardor) 所做一絲不苟的核校工作，Colt 工業公司 Pratt & Whitney 機器工具部的艾司波西其先生 (Salvatore Esposito)，Curtiss-Wright 公司 Wright 飛行部盧法耳先生 (Henry Ryffel)，紐約州 Syracuse 的 Rollway 軸承公司的葛蘭格先生 (Goseph Gallagher)，以及 Freeport 藍圖公司的盧斯干先生 (Willam Rosscrans) 在製圖描圖以及舉例說明方面所給予的協助。

Oliver R. Wade 於紐約

目 錄

前言

第一章	公差在產品的成本上所佔的地位	1
第二章	爲使用公差圖表技術對應廠內需要所做的決定	7
第三章	公差集結問題的性質	17
第四章	公差圖表的結構與組織	25
第五章	公差表的零件草圖	37
第六章	公差表的算術基本規則	43
第七章	決定所需之手行尺寸	49
第八章	決定平均工作尺寸	77
第九章	依照相等變向公差方式 料削除量	97
第十章	中央性分析及其在公差表中的涵義	111
第十一章	因 料削除量而發生之半徑接點位置的改變	127
第十二章	爲“形狀尺寸的”角面作公差表	139
第十三章	“基本尺寸”角面的公差製表	175
第十四章	公差表上對電鍍與熱處理的考慮	181
第十五章	產品設計與總成分析用的公差表	189
第十六章	設計與生產的統計方面	203
第十七章	價值工程與公差表	225
第十八章	公差表技術的教習與教習組織	231

第一章

公差在產品的成本上所佔的地位

自第二次世界大戰以來，工業界隨太空時代的開始，對於設備設計所要求的精確程度，目睹其火箭般的進展。而這些要求多由於機械，或電器設備工作時所必須承受的應力的增加。如較高的速度、震動、壓力、溫度等，事實上各色各樣的破壞力量已猛烈增加，致使一般的設計人都傾向於開倒車，把公差訂得越來越緊。

這些高度精密的要求，反應到工具機製造商身上。結果工具機發生了驚人的改變，現在要求十分之一吋是常事，十萬分之一亦不少見，甚至對於百萬分之一吋的要求，也幾乎可以說呼之欲出。

在生產能量進步的情況下，不可避免地促成了新穎的，高度精緻的規具（gaging）與量驗（measurement）工具的平行發展。這些工具能量驗及控制產品，使達到幾年前還認為不能做到的限度以內。

隨着這些技術進步而來的是整個工業界的工資高漲——此一現象很多人確信也是促成自動化的最主要原因。

在機器材料，切削工具、規具、自動化等器具發展的同時，品質控制界的專家們，亦使機械及程序能量研究等技術達到完善境界，使我們今天能擁有適當的方法以分析產量資料，及預測將來的成就。

這些進步所花的成本，雖是搖擺不定，但仍在上漲之中則是事實。沒有人能確切的說，何時將達限度。而最簡單的調查，亦顯示出這些成本的鉅幅上漲，直接或間接與產品設計部門緊縮公差的過程有關。

因此所有與成本有關的方面，不論是設計工程師，品質管制工程師，以及財務主管等，須採取各種步驟，以尋求及調查任何足以保持住緊縮公差程序的防綫，甚或逆轉其趨勢的方法及技術。

公差分析方法的選擇與發展

在觀念上機器與技術的發展過程中，常常發生這樣的情形，對於大家所共有的問題，一些獨立研究的人會發展出相同或類似的答案來。在發展的歷

史上出現過許多例子，如兩個人分別而又幾乎同時對於相似的構想申請專利權等。

這種平行發展的現象，曾經發生在技術的成長過程中為求得更好與更有效的方法，以瞭解與控制有關設計及生產上的相互公差。設計工程師發展出各種不同的技術，以處理他們的問題。生產工程師也發展出各種技術，以處理他們特殊問題。品質工程師則發展各種技巧以處理與設計及生產變方面有關係如公差之類的問題。

他們這些技術是否具有同等的價值？是否具有同等的功效？在問題提出時，是否能對每一問題提供具有深度的分析方法？在教導上是否困難最少？彼此之間是否具有相互排斥性？或是在基本的主要原則上，有可能相互的關連性？

假若要決定選擇究竟是採用一項特殊技術，還是採用多種補充技術，然後視所處理問題的性質來綜合應用。那麼就成本的觀點來看，應該問一問所選出的這一種方法，或這一組方法對於所投資的每一塊錢，可否獲得最大的收益？

這些不是理論上的問題，而却是決定成本的問題。假若能獲得恰當的答案，也許正能找出一個計劃的，在某些特殊情形下，甚至是一個公司的經濟壽年與死亡之間的分野。

本書曾努力求取這些問題的解答，事實上也可以說，出版本書幕後唯一的目的，是在示範為何藉運用統一的工程方法來解決公差，決定與公差集結這兩個像連連體嬰一樣的問題，而使製造成本減至最低。

為什麼要統一？這個回答是選擇問題的關鍵，假若要選擇能為三個單位——產品設計、製造工程，與品質控制——所採用的一種單純技術，而不是一系列的技術，則意見交換問題就大為簡化。因採用過多的制度而造成相互間瞭解的障礙亦自然消失，三個單位因制訂公差而造成的摩擦也將大為減少。即使尚有歧見，也是細微末節而無礙大局。

擴至最大的產品設計公差對成本的影響

寬鬆的公差要比嚴緊的公差，更容易維持，也更為經濟，這是無須爭辯的事實。假設為生產而設計的普通產品，其所有零件的公差增加 50 % 至 500 %，而仍具有原設計的功能，這時你不妨想一想，成本會變成怎樣一個情形。

這樣成本的節省將難以計算，製造工作的整個光譜，將立即從高成本，

麻煩最多的區域，轉移至低成本與麻煩最小的區域。由於這種設計革命帶來的典型的成本節省，將包括：

1. 減少製造工作中的操作次數。
2. 減少廢料。
3. 減少重行加工。
4. 因增加工具製造公差，而減低工具成本。
5. 因增加規具製造公差而減低規具成本。
6. 減少檢查手續。
7. 減少選擇裝配的總數。
8. 減少調定 (Set up) 機具時間，周期時間，以及檢查時間。
9. 因減少技術精，工資高的工作人數，而減低勞工成本。

10. 挽救了許多本來會被淘汰的產品設計——那些設計的觀念，從功能觀點上看，是十分完善的一因為零件公差的要求，不是超出製造能量之外，便是要花大本錢才能做到，致使產品成本高得嚇人。

假若對於中心校準，間隙鑲配，端隙等的每一可能要求，在產品設計階段便能決定，配合其產品功能的最小最大值；而由這些數值決定每一零件的最大可能公差，那麼請你想想，成本將可節省到什麼程度？

就設計來說，理想的情況寧是少數的例外而不是法則，所以假如任何條件下可能達到此一境界，那就應該算是一種革命性的進步，而由這種進步將帶來額外的成本節省。

11. 製造部門希望增加公差的請求，百分之九十五都會消失。這祇要大家了解設計部門所訂的已是最大可能公差，製造方面必須儘量遵照藍圖所要求的數字。要求改變公差之所以頻頻發生有兩個主要的原因。

a. 設計部門未能製訂一項決定公差，及公差集結的標準化規則，而且使每一所屬設計人員對每一項設計工作都必須遵行。結果對所有的公差集結問題都無法指出其癥結何在。設計圖的畫法，在同一部門內亦因人或因組而異，於是在交圖期限急迫時，便有人亂定公差，此時不論用什麼方法來做公差分析，也收不到什麼益處。

b. 制度未能考慮到人們離經叛道的天性，製造部門和品質管制人員打交道後，用與藍圖不符的零件的次數越來越多，尤其在設計部門，也同意使用不適合的零件，且拒絕更改藍圖時，上述現象竟成家常便飯。則製造部門將越來越不尊重圖上的公差。對於生產不夠標準的零件，應負責的器具及程序，也越不會認真去採取糾正措施。總而言之，不管是對還是錯，

製造部門已認定設計部門制訂的公差有雙重標準——一種標準用在工場，另一種是用在設計的人。製造部門假定藍圖上的每一個公差均包含有安全因數。在這種情形下製造部門自將或明或暗的運用，他們認為工程方面也不會反對的這種假定，檢查人員也常被發現已認可與藍圖不符的材料，因為他們知道這些材料在組立時可以用。不論雙重標準的存在是否成為正式的政策，總有一些設計工程師與製造工程師們以「他們最了解自己的工場」為藉口，來辯護他們如下的做法。他們的說法是，假如在設計上，或程序上要求保持的公差是 .002，工場就會採用 .004，所以他們在零件藍圖，或程序的草圖上訂為 .001，這也就代表了他們的做法。從管理的觀點上看，這是完全無法辯護的，但這也正顯示為缺乏政策，讓每一個人各行其是，會發生什麼樣的後果。

12. 使方法及工具設計部門在設計裝配工具時，確信在許多新產品設計中不可避免的裝配問題，將不會因公差集結而發生問題。

很多裝配工具的設計，必須事先先做裝配公差的分析，因裝配時零件係任意選取，自然可能遇到最大公差的組合。公差分析目的在決定即使這種極端情形下的公差集結，所設計的工具仍能合用。假如不做這種分析——或做得不適當——結果將是多次所費不貲的重行加工，或是裝配工具的徹底的損失。

13. 使所有因公差集結而引起的裝配問題減少百分之九十五，因而縮短推出新產品以前，對於生產工具自試做試用，至校正各階級所要的時間，這一點是上述第 12 項的自然結果。

[註] 對百分之九十五數字的解釋，請參閱第二章“為使用公差圖表技術對廠內需要所做的決定”。

14. 用一種可在幾分鐘內，對相差懸殊的產品尺寸是否合用，於任何時間內，只要設計圖認可即可評估的方法，以代替——將在本書內介紹的技術，本質上有此特點——現有的一切決定公差集結的方法。通常這種評估需要很長的時間，而決不是幾分鐘。每一個對材料檢討委員會（Material Review Board）的決策負有責任的設計工程師都知道，要決定一個矛盾尺寸，究竟是否可在不影響總成功用下使用是件難事。假若他不熟悉裝有該零件的產品的設計，原設計人又已離開，致無從諮詢，他就不得不把與不合適尺寸有關的零件圖及總成圖全搬出來。然後他必須分析其形狀，功能，以及尺寸等的關係，以便了解該有問題尺寸在整個設計中所佔的地位。這很可能是件既困難而又耗時間的工作，因為在許多設計中，一個特殊的尺寸和公差，

往往和很多項功能處境有重要關係。假若真是如此，他必須衡量考慮可能因不合適尺寸而改變的所有的功能情況。更常見的是，這種衡量工作常受到時間壓力，要趕快決定該零件是可以放行，還是要報廢，以便製造部門可以設法把零件換掉而繼續他的工作。此時草率決定可能造成很大的損失。

這種做法浪費了一位訓練有素的工程師、或設計人員可供創造的時間，而且是絕對不必要的。因為另有適當的技術可讓低級的繪圖員在幾分鐘內決定不合適尺寸的總效應，然後逕交工程師讓他去決定究竟要不要將材料報廢。

儘量擴大產品公差的成本效果

這種理想統一的技術，其在產品設計範圍內，對於成本的節省效果已談得很多。現在來談談第二個同等重要，也可以節省成本的領域，那就是方法及工具的設計部門。

假若產品設計部門潛在的成本節省，看起來很動人，則製造部門應用統一技術所獲得的節省更為輝煌。

經由這種技術的應用，可以保證交付工場製做工具，及生產用的每一套工作說明書，99%可提供如下的節省成本的效果。

15. 各零件所有尺寸多在上下限之間，除將有些尺寸為機器加工、工具設計，或裝配等原因比藍圖尺寸更為緊密，因為本書所介紹的技術在本質上會附帶產生上述的結果。

16. 將採用完成零件最少可能的動作，因為本技術的本質使得不必要的動作成為最顯著的目標而立即認出，在程序計劃的階段中便得以刪除。

17. 在每次加工時，其所須鏟削的坯料剷除量，不論是最大或最小，均將完全被控制在生產工程師所訂定的程序中。坯料剷除量，不是根據隨意訂定的粗削尺寸而是記錄於工作說明書上，決定一種尺寸模式所造成的公差集結的關鍵因素。

18. 就定位點而言，各種工具的設計，皆在本技術的控制之下，不再因為工具設計係根據零件上的不正確定位表面，致無法維持所要求的生產公差（Production tolerance）而將任何工具報廢或重做。

19. 第18項所述之情況，亦可同樣適用於特殊規具的設計，與夾具設計。

20. 所有的工具均將按照最大的可能公差製做，因為按上述第15項所述，各零件之公差均將予以控制。以充分利用藍圖容許之公差。

21. 發生在製造程序中的錯誤——在需要許多動作的複雜零件中，是極易發生的——將可消除或減至最低限度。因為利用這種統一的技術，可以曝露

6 設計與製造之公差控制

出程序計劃中的錯誤，並指出達到最經濟與確實程序的捷徑。

22.最後，因為本技術牽涉到平均尺寸及相等兩向公差（**Bi-lateral tolerances**）的運用，將有助於聯繫製造作業觀念性規劃的 $\bar{X}$ 和統計品質控制效果的範圍表（**Range chart**），鼓勵機器能量的研究，及將其結果應用於製造程序及產品設計，一般並可增進廠內工場和檢查人員間的連繫。

第二章

為使用公差圖表技術對廠內需要所做的決定

無論何時，公司管理當局在接到請求核准購買一部新機器，或採用新技術或新生產程序，或是增僱人員時，他們要查看成本數字，以評估其投資是否恰當。假如你同意現在社會中，任何一種事業的主要目的是在賺取利潤的前提下，這種要求便不能認為不合理。因此，管理當局對一切使用公司基金投資的請求，必須建立在穩固可靠的財政基礎上。

公司基金的監護人——頑固倔強的會計人員——在對於增列費用的要求，也常常問些有如下列的典型問題：

1. 要請購些什麼？
2. 新購的項目能為我們做些什麼，且是公司現狀下不會做，或是不能做的？
3. 該項投資須要多少時間才能收回？三個月、六個月、十二個月？
4. 能否確實改進我們準期完工的能力？
5. 能否大量減低廢料及或重行加工的次數？
6. 產品設計與製造上可否明顯地防止損失。
7. 要佔很多寶貴時間的工作，可否由高工資的人員轉移給經驗較少的人去做。
8. 可大量減少文書工作的處理嗎？
9. 能改善品質嗎？
10. 能增加產品的可靠性與互換性嗎？

假如對這些問題，或其他有關財政問題的回答是肯定的，同時又能將之轉變為具有意義的金錢數字，則自然造成一種情勢，使管理當局不得不說：“在這種情況下，我們非投資不可”。

在金錢的基礎上，證明需要改善公差技術

這將引導我們至下列一個要點：任何公司可以其自己的人員，用自己的記錄，為自己做分析工作，以決定必須投資在採用統一公差技術——其核心部份為公差圖表——於產品設計與製造工程上。

從下列公司的文件中可以發現許多數字証明公差技術確有需要：

1. 在產品設計的零件圖上與總成圖上，所附有的改正記錄。
2. 更改圖面的控制記錄，該記錄詳細說明歷次更改的性質，更改的原因，與更改生效時在施工中廢棄的材料等。
3. 由製造部門提供給工場的工作說明書上的更改記錄。
4. 改變工作方法的通知，該通知詳細說明更改工作說明書的性質。
5. 在品質控制部份的材料檢核記錄中，述有遭報廢及需重加工的零件和總成的數量，不合適的原因，改善建議，以及某一型式與某一零件號碼，特別不適合部份所發生的頻率。
6. 可根據零件號碼，修正號碼，責任單位等追查有關廢件及重加工件金錢價值的成本會計記錄。

應該了解的是成本分析的正確性，端賴下列事實之存在：

1. 一個健全的控制藍圖更改的制度。
2. 一個健全的控制工作方法變更的制度。
3. 材料檢查委員會的檔案系統，其記錄完全根據品管分析師或工程師對於產生報廢，重加工，顧客不良反映等原因調查所得的結果，而不受任何外來壓力。
4. 成本會計制度，須有廢料及重行加工金錢價值的忠實記錄，同時對於零件，總成，以及工具製做中所生廢料及重行加工等等，訂有定期隨意抽查，並確認其責任未為制度的漏洞所埋葬。

成本分析的目標

所要做的成本分析，將根據下列事實，即公司未能達到下列兩大目標，其結果將使公司每年損耗金錢的總數，遠超過在設計與生產上採用公差圖表所需的全部費用。該二大目標是：

1. 工作說明書上由於所選之尺寸與公差不當而導致的金錢損失，99% 可在工具設計或是生產開始之前即可避免。
2. 產品設計圖上，由於所選之尺寸和公差不當而導致的金錢損失，95% 可在藍圖付諸生產以前即可避免。

註：這些目標和百分比，僅適用於公差表體制內通常可以顯示之尺寸和公差。

施行成本分析的基本法則

為什麼施工程序佔 99%，而產品設計佔 95%？從不顧誇張金錢損失，及建立凡不需由公差表負責及控制的尺寸和公差改變，均不列入公差表內的

準則來看，下列說明應是相當合理的。

施工程序的 99 % 值，並不包括下列情況：

1. 純粹的算術錯誤——不論採用什麼制度，都是不可避免的，但不應超過總數的 1 %。假如超過了 1 %，則管理當局似乎必須為其程序工程師，或校驗員開辦算術補習班，或是將這些發生在基本算術上的錯誤情況設法消除。實際說來 1 % 已經太寬裕，因為一件算術上的錯誤可能引起數千元的損失。

2. 有關判別機器能量的錯誤選擇——很多情形下這種錯誤只有事後才能發現——不過，能幹的程序工程師應該了解，在任一機器上所能維持公差的程度，是容易，還是相當困難，還是很困難，當他左右為難時，必須徵求監工員，工場主任，機器安裝人等的意見，或甚至請求品質管制部門推動機器製造能力研究，以便將有關的問題都拼湊起來。這也就是說，機器能力是否能配合公差的需要，在正常情形下，應為精明的程序工程師所能預料，而不是費了許多工夫後才發現。和純粹的算術錯誤一樣，這種情形在更改總數所佔的百分比中，數字應該很小。否則就是程序人員沒有把握住工程設備的情況，或是對機器的製造程序能值了解不夠，管理當局必須施行積極方案以糾正此項情勢。

產品設計階段的 95 % 數字，並不包括任何下列情況：

1. 上述有關施工程序的算術錯誤，亦可同樣適用於此處。

2. 因為陡震，振動，衝量等的動應力，或是冷熱、溫氣等惡劣環境所引起的尺寸與公差集結問題。這些條件在設計階段，既無法計算；在研究發展階段，利用模型製造人或是工具製造人所製做的樣品所做的試驗也顯示不出來。上述的力及條件，常常會因零件彎曲，扭轉，擴大，收縮，而超出靜態計算的外形尺寸。祇要有此情況存在，常在窮根竭底的分析以後，才能找出產品作用不良的原因，而有尺寸和公差的更改。因此，對這種尺寸與公差的改變加以分類，應是毫無困難的。

3. 製造部門為使生產零件的施工程序進行更為順利，或是配合某一總成裝配工具順序的條件，所請求的尺寸和公差的變更。

所以，1 % 與 5 % 間的差別，是表示對於不可避免的人為錯誤所容許的程度。就像在製造工程中，也允許適當的報廢量，以確保良好零件的淨產量。但是，輪到決定 1 % 和 5 % 這數字時，不應單選某一零件號碼為根據，也不應是擬從整個的數字中除去的某一特選的個別改變，而應彙計全部成本，然後減去 1 % 或 5 % 值為基礎。很明顯的，一件特殊的變動可能是一項特殊錯誤所導致的結果，單此一項可能在整個金錢價值上，佔有相當可觀的比例。

實際上合法改變的總數——在施工程序方面減去 1%，在產品設計方面減去 5%——在乘以固定成本後，假定按工廠中每一改變案件所處理的文書工作以 2500 元至 5000 元計，仍是一個相當大的數目。

產品設計部門每改變一項尺寸或公差，在成本方面產生的影響，很像在靜水中投下一塊石頭，微波盪漾，擴展至各個方向，影響到許多以原來尺寸或公差為根據的項目。或換一種說法，為符合設計規範而更改產品設計圖，下述任一種情形均將招致金錢損失：

1. 零件的廢棄。
2. 夾具、工模（jig）、工具，及量規的廢棄。
3. 零件的再加工。
4. 夾具、工模、工具，及量規的再加工。
5. 整個總成的廢棄。
6. 整個總成的再加工。
7. 為了裝配復原從現場撤回設備。
8. 為了裝配復原派工至現場設備處工作。
9. 不能按期交貨的罰款。
10. 由於不能按期交貨，在廣告及銷售方面所生之費用損失。
11. 因為生產的品質，數量，皆不能按照協議履行，以致合約被取消。
12. 各種問題在隔離、確定，以及解決時，暫時解僱了生產人員。
13. 更改全廠的文書工作，俾更新記錄——參閱前節。

為了訂定施工程序，使所製造的零件符合全部藍圖，有些工作說明書也必須更動，這種情形和前面所談的有關產品設計圖上尺寸及公差的改變情形是一樣的。注意我們沒有說某一個程序是不是“最好與最經濟的順序”。我們此處關心的——就像與產品設計一樣——是爲了使生產的零件符合藍圖規範，在施工中途必須修改的尺寸及公差。施工程序中，下列任一種情況，均將因尺寸和公差決定錯誤而招致金錢損失。

1. 零件的廢棄。
2. 夾具、工模、工具，以及量具的廢棄。
3. 零件的再加工。
4. 夾具、工模、工具、以及量具的再加工。
5. 利用過分精密的工具機，就意味着要僱用技術較高的工入，增高間接費的支出，以及採用特殊工具等。
6. 需要增加檢查時間。

7.由於所訂公差過嚴，而提高了工具及量具的費用。

8.作業規範中要求更換工具，或調整工具的時間特別多，因而延滯了工作的進行，佔用了過多的機器時間。

「註」這是第七項的必然結果。

9.因為不能配合計劃需要，並存夠零件而耽擱了裝配工作。

對於上述各項的有關程序，雖然全可根據前述公司文件加以分析追查，但其中前四項最為容易。所以這種特殊的成本分析將只限於前四種。其餘各項需要一種對現有方法的分析，特別須要先製作一張現行程序的公差圖表。其次是要一張不含前項錯誤的修正程序，然後再分析工具和量具的設計，來判斷工具費用的差別。

在這一點上，做這種分析工作的人須特別注意某種情況下，許多有最重要的金錢損失反不容易發現。這就是指那些產品藍圖經多次更改以後，圖上已無餘地可供新的更改之用，便需重繪和重印。有時這種藍圖寫明是“修正與重繪”。但是自“修正與重繪”這一句話，便可看出已作過多次更改，這些更改本身便是金錢。因此現行藍圖的過時舊稿也應加以追查，以了解某一零件的整個修改經過。對於工作說明書，有時也同樣需要根據修改方法的通知，舊的說明書等，而做很多的追查工作。

在本章的前一段，曾說過有 99 % 程序上的尺寸與公差錯誤，在工具的設計或生產開始以前，就可避免的。有些公司裡，工作說明書在寫校完畢後，即儘快的正式送往各個部份，因此工具設計部份可以與製造部份同時收到。由於工具設計部份在工作說明書上發現錯誤，而對於工作程序所必須做的任何更改，均將由工程製造部份發出更改通知，分別送交收受工作說明書的單位。工作說明書上所做的更改，可以在說明書上逐次註明。也有些公司要等到工具製妥，及作生產試用以後才正式將工作說明書發出。

如果是後面一種情形，則要發現工具設計與工作程序方面的問題，將多費周折，且對工具與順序的修正不免互相衝突。如果根本原因是在公差集結，則在整套說明書送給工具設計部份時，這些原因早已在工作說明書上顯示出來。但是這種公佈工作說明書的方法，將無法顯示工具及程序兩方面所引起金錢損失的細節，因為工作說明書尚未正式送出，所以也不會撰寫更改工作方法的通知。

作這種分析的人，應該牢牢記住與工廠作業有關的前述各點，因為他可能發現能顯示有關廢料，或工具再加工的金錢損失的記錄很少，有關修正工作說明書的記錄亦語焉不詳。所以用後一方法，在工具與程序獲得改正以前