



機械

2022基礎實驗技術訓練

雷射光電支援中心
陳蔚然





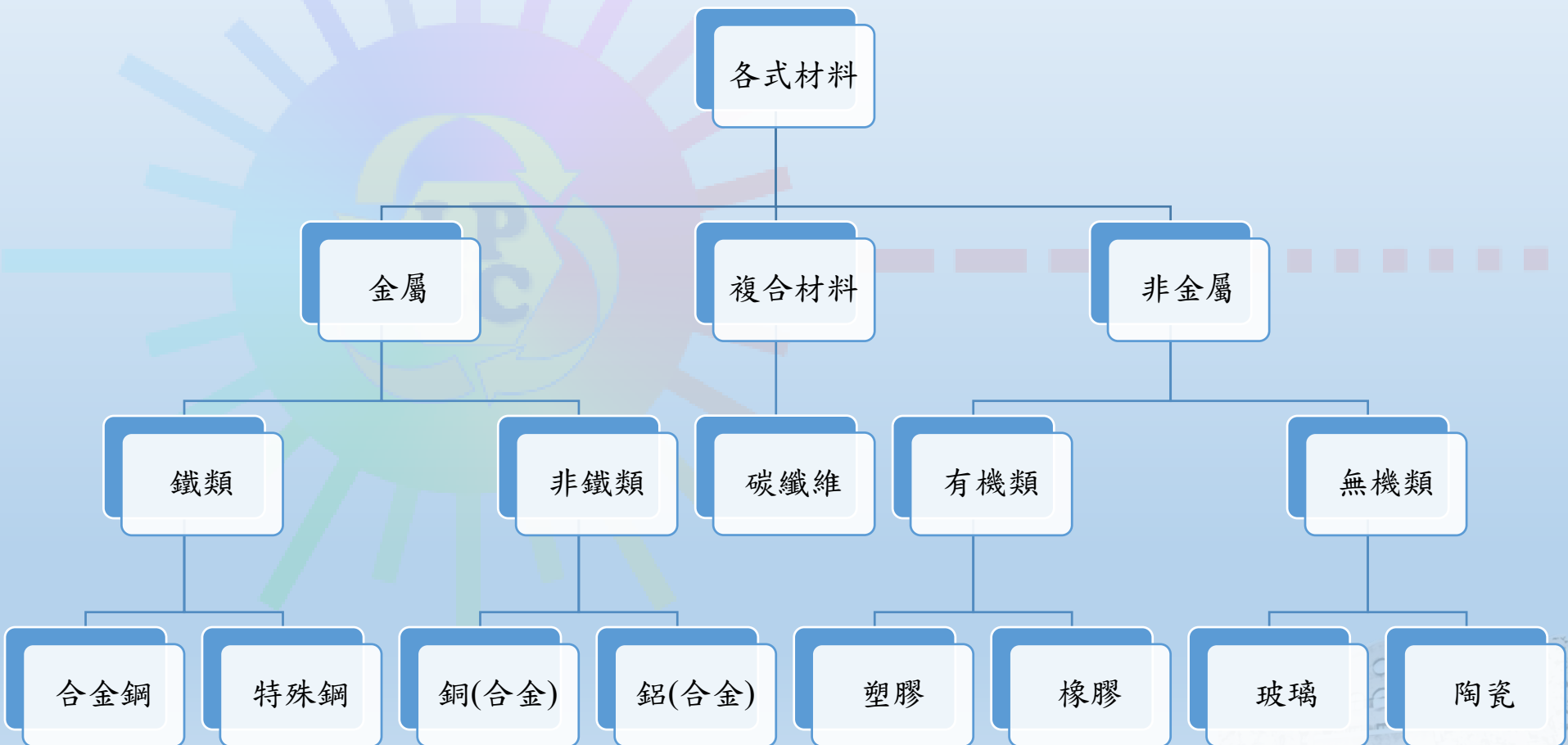
機械（儀器設備之構成與工具）

- 材料
 - 金屬、非金屬、複合材料，材料特性與常用場域
- 工具
 - 手工工具與操作
- 加工方法（工具機）
 - 車床、銑床、鑽床、鋸床、磨床、水刀、雷射、放電、CNC、3D列印
- 機械設計
 - 軟體：SolidWorks、Onshape
 - 工作圖：視角、尺寸標示、公差
- 組裝
 - 可拆卸：螺絲(規格與攻牙)
 - 固定式：焊接





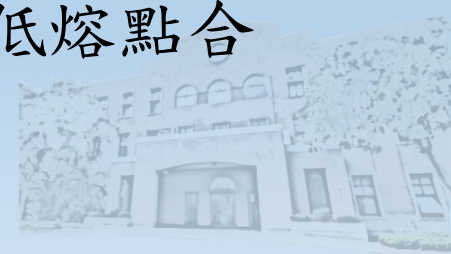
材料種類





金屬材料

- 一般是指工業應用中的純金屬或合金。自然界中大約有70多種純金屬，其中常見的有鐵、銅、鋁、錫、鎳、金、銀、鉛、鋅等等。而合金常指兩種或兩種以上的金屬或金屬與非金屬結合而成，且具有金屬特性的材料。常見的合金如鐵和碳所組成的鋼合金；銅和鋅所形成的合金為黃銅等。
- 鐵類金屬材料：純鐵、碳鋼、合金鋼、特殊鋼、鑄鐵。
- 非鐵類金屬材料：銅、鋁、鎂、鎳、鈦、低熔點合金、貴金屬





金屬特性(一)

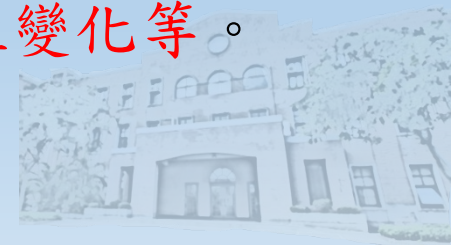
- 金屬及合金具有下列共同特性：
 - 固體狀態下具有晶體結構。
 - 具有獨特的金屬光澤且不透明。
 - 導電性和導熱性良好。
 - 延展性。
- 化學性質
 - 腐蝕性：氧化、電化學腐蝕
- 物理性質
 - 比重
 - 熔點
 - 比熱
 - 熱膨脹係數
 - 熱傳導性
 - 導電性
 - 磁性
- 機械性質
 - 強度、延展性、硬度、韌性、疲勞、潛變
 - 常用於結構物與承重元件





金屬特性(二)合金

- 合金：由兩種或兩種以上的金屬組合而成的物質，如黃銅為銅鋅合金、青銅為銅錫合金等。更廣義的合金尚包含由金屬與非金屬組合而成具金屬特性的物質，如鋼為鐵碳合金。
- 雜質：在「純」金屬內，那些不請自來、不受歡迎的元素或化合物。
- 合金元素：為了某種目的而加入或特別保留的元素。
- 純元素在製成合金後可以造成許多效應，包括熔點下降(或上升)、強度硬度上升、延性下降、電阻增大、導熱度降低、熱處理性能增進、耐蝕性變化、磁性變化等。





金屬特性(三)鐵類

- 鐵類金屬材料：泛指以鐵為主要成分之合金，如生鐵、鑄鐵、鋼及各種合金鋼等。
- 鐵類金屬材料主要共通特性：
 - 強度、延展性、韌性及硬度一般都相當高，且有很寬廣的範圍(隨組成而變)可供工業上選擇。
 - 價格相當低廉(特殊合金鋼除外)。
 - 絕大多數已規格化。
- 鐵類金屬的使用量大於所有非鐵金屬使用量的總和。





金屬特性(四)非鐵類

- 非鐵類金屬材料：泛指上述除外之金屬材料，如**鋁**、**銅**、**鎂**、**鋅**、**鎳**、**鈦**及它們的合金。
- 非鐵類金屬材料主要共通特性：
 - 具備特殊性質，如**導電性**(如銅及銅合金)、**比強度**(如鋁合金、鈦合金、鎂合金)、**耐熱性**(鎢、銻、鉬、鈮)、**耐低溫或耐蝕性**(如鎳合金)。
 - 價格較貴。
 - 已規格化。
- 高熵合金 (High-entropy alloys) 簡稱HEA，是由五種或五種以上等量或大約等量金屬形成的合金。由於高熵合金可能具有許多理想的性質，因此在材料科學及工程上相當受到重視。研究發現有些高熵合金的比強度比傳統合金好很多，而且抗斷裂能力、抗拉強度、抗腐蝕及抗氧化特性都比傳統的合金要好。





非金屬材料

- 無機類材料(在一般材料學上屬於**陶瓷**材料)包括：
 - 基礎材料：石材、水泥、混凝土。
 - 耐火材料：氧化矽、**氧化鋁**。
 - 研削材料：剛玉、金鋼砂等。
- 無機類材料主要共通特性：
 - 大多為氧化物(少數例外為氮化物、碳化物、硼化物、矽化物)。
 - 具有**高熔點**。
 - **硬度很高、具脆性**。
 - **大多為熱、電之不良導體**(少數例外如鑽石、cBN、SiC、Al₂O₃等為熱之良導體; RuO₂為導體，Y-Ba-Cu-O及Ba-Sr-Ca-Cu-O為超導體等)。
- 有機類材料包括：**塑膠、橡膠**、塗料、皮革、木材、潤滑劑等。
- 有機類材料主要共通特性：
 - 多為碳、氫、氧化合物。
 - 比重輕，強度、硬度低。
 - 熔點低具多具可燃性。
 - 大多為熱、電之不良導體(少數例外如導電性高分子具有導電性)。





無機材料(陶瓷玻璃)

- 主要是由**金屬的氧化物或碳化物所構成**。具有與金屬不同的鏈結特性，因此其物性與金屬差異很大。例如鋁是金屬，而**氧化鋁**是陶瓷，氧化鋁的鏈結主要是離子鍵，較鋁之金屬鍵強上許多，也因此其熔點也比鋁高上很多，但因離子鍵結使得陶瓷導熱能力差，因而成為良好的**絕緣體**。
- 一般而言，陶瓷材料都具有一定的結晶結構，但如果在加工過程中，冷卻速度太快，其分子來不及排列，而形成**非定形的結構**，我們通稱之為**玻璃**。
- 陶瓷在電的應用上，最有趣的就是**壓電效應** (piezoelectric effect) 了，**石英**便具有這方面的特性。由於受到極化的影響，材料受壓變形會產生電壓。反之，施加電壓也可使其變形。



半導體材料

- 1948年美國貝爾實驗室發現半導體材料的導電性能及極高效能，使得半導體材料製造的元件逐漸取代真空管，促成電子工業的突飛猛進，並陸續發展出電腦工業，使得電子材料的需求量日益增加。
- 導電性介於絕緣與良導體之間，常見的原料是位於原子週期表四A族的Si、或三五族的Ga-As等，半導體的能隙大小是決定其傳導性的重要因素，藉由外加能量，即可獲得通路或斷路的電流信號；利用半導體對電壓的特性，可以應用於積體電路IC、二極體元件、電晶體和半導體雷射等。





有機材料(高分子)

- 由許多的小分子物以共價鍵或凡得瓦爾力之類的之鍵結結合而成的大分子物，通常又稱為聚合體或塑膠。它具有容易變形、輕量、絕緣及低強度、低熔點等特性，大多數的大分子物其骨架是碳原子，算是一種有機材料，至目前為止，種類已超過數百萬種。
- 常見的高分子材料
 - 纖維：Kevlar, PET, PAN, **Nylon**, Rayon, 棉毛類等
 - **塑膠**：PVC, PE, PP, PU, PS, **ABS**...
 - 薄膜：PAN膜、RO逆滲透膜、PE膜.....
 - 油墨：感光劑、揮發劑、潤滑油、阻水劑
 - 塗料：**PTFE鐵氟龍**、油漆、亮光漆、黏著劑、樹脂、蠟
 - **液晶**：Kevlar, Thermotropic熱向液晶、Lyotropic離液液晶





生物材料

- 生物相關發明的「生物材料」，指含有遺傳訊息，並可自我複製或於生物系統中複製之任何物質，包括載體、質體、噬菌體、病毒、細菌、真菌、動物或植物細胞株、動物或植物組織培養物、原生動物、單細胞藻類等。(經濟部智慧財產局)
- 生物材料(biomaterials)是用於與生命系統接觸和發生相互作用的，並能對其細胞、組織和器官進行診斷治療、替換修復或誘導再生的一類天然或人工合成的特殊功能材料，又稱生物醫用材料。





複合材料

- 不同的材料在性質上互相截長補短，是材料獲得更佳性質的方法之一，由**基材和強化材組成之複合材料**，通常具有單一類材料所無法兼顧的性質，如**高比強度**(抗拉強度/密度)、**高比剛性**(彈性係數/密度)：所以複合材料是現今高科技發展的一個重要的研究方向。
- 複合材料分類：
 - 一般複合材料的分類以強化材形狀分類：
 - 纖維複合材料：如玻璃纖維、碳纖維等
 - 粒子複合材料：如氧化鋁、碳化矽、石墨等
 - 板狀複合材料：三夾板、積層板、雙金屬等
 - 或以基材的種類來區分：
 - 金屬基複合材料
 - 陶瓷基複合材料
 - 塑膠基複合材料





實驗室常用材料(一)

金屬材料	規格	特性
不銹鋼	SUS304: 較常用 SUS316: 更耐腐蝕, 更低的磁性	高強度, 耐腐蝕, 低磁性 熱傳導性較低 加工難度稍高
鋁	Al 6061-T6: 較常用 Al 7075-T6: 具有近似鋼材的硬度	質輕、強度夠, 容易加工 表面會形成氧化層具金屬保護作用 表面經陽極處理後不會導電
銅	Be copper (鈹銅) Brass (黃銅) Bronze (青銅)	良好的導電與導熱性 密度較高, 具化學相容性

單一金屬通常較該金屬的合金材料還軟
一般來說除非必要很少會使用純銅與純鋁材料





實驗室常用材料(二)

陶瓷

Al_2O_3 : 高硬度, 難加工
可加工陶瓷 Machinable ceramic

耐高溫, 絕緣, 脆



塑膠

較有限的溫度容許操作範圍

惰性: Teflon(鐵氟龍), PE (polyethylene), PP (polypropylene),
Kel-F ($-CF_2CFCl-$)_n 比鐵氟龍硬

耐低溫: Teflon, Kel-F

耐高溫: Polyimide (Vespel, Kapton), PEEK
Teflon, filled Teflon (with glass fiber, graphite, etc)





實驗室常用材料(三)

橡膠 (O-ring)

NBR (Nitrile Butyl Rubber)

Viton (Fluorinated Rubber)

Kalrez (perfluoro elastomer)

彈性

NT\$

1~10

10~100

1000~

惰性
耐高溫

用於密封時15%的壓縮率會有較好的密封效果
但勿超過20%的壓縮率





一些具有特殊性質的材料

- 特殊熱膨脹係數
 - 恆範鋼(invar)
 - 超級恆範鋼(super invar)
 - Zerodur®
- 特殊彈性係數
 - 彈性不變鋼(elinvar)
- 鑽石





手工工具

- 常用手工工具

- 金工手弓鋸

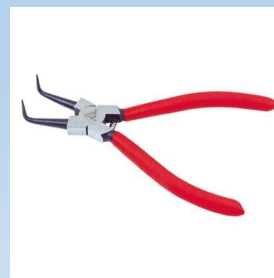
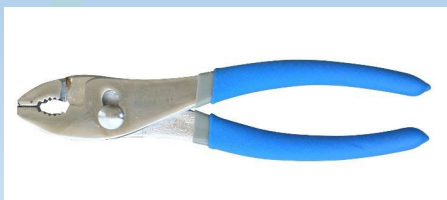
- 扳手：管扳手、螺絲攻扳手、內六角扳手、套筒扳手、梅開扳手、活動扳手

- 起子：一字起子、十字起子

- 中心沖、劃線針

- 鉗子：固定鉗、鋼絲鉗、魚口鉗、尖嘴鉗、剝線鉗、斜口鉗、扣環鉗、虎鉗、C型夾

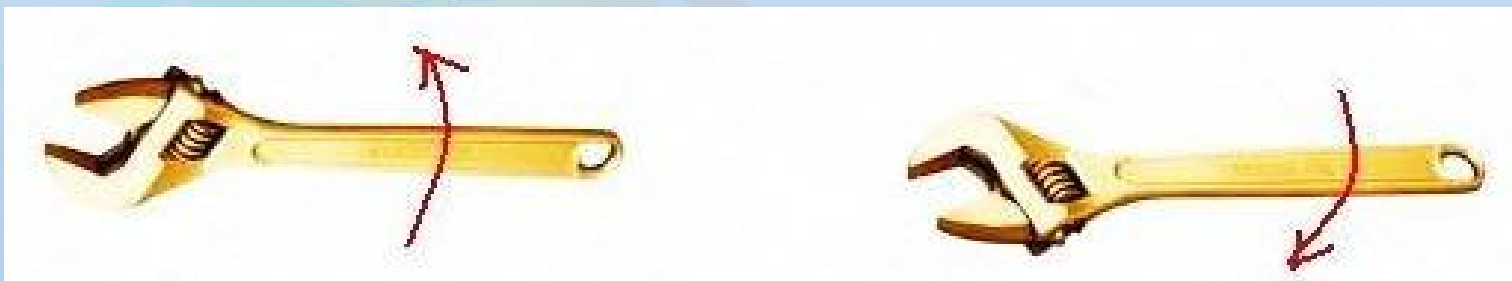
- 鉗工：利用手工鋸削、銼削、劃線、鑽孔、攻牙等加工方法





工作注意事項

- 選擇適合工作需要的工具
- 使用前檢查工具狀況
- 以正確方法使用工具
- 工作前應配戴適當的防護裝備





鋸削加工

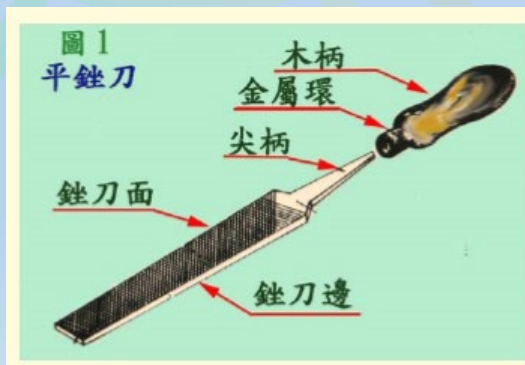
1. 鋸條規格：鋸條由高速鋼或高碳工具鋼製成，施以淬火及回火，用以鋸切金屬。厚度通常為0.64mm (0.025")，寬度12mm，鋸齒有14、18、24、32四種。
2. 鋸切方式：先短程鋸切做出鋸切口，向前鋸切時加壓，回程輕輕拉回。

手工鋸切工具



銼削加工(一)

- 銼削與鋸切相似，都是以切齒進行加工。但銼削更可說成「銼磨」。其目的並不是如鋸子將材料鋸開或切除大量材料，它用來去除工作物的小部份物料，以獲得更精確的形狀和尺度。銼刀以高碳鋼製成，在刀身上有切齒，切齒較粗的銼刀用來快速去除物料，較細的銼刀則作為精細加工之用。切齒一般有單切齒、雙切齒、曲切齒及棘齒。





銼削加工(二)

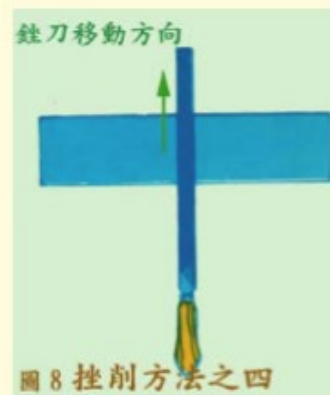
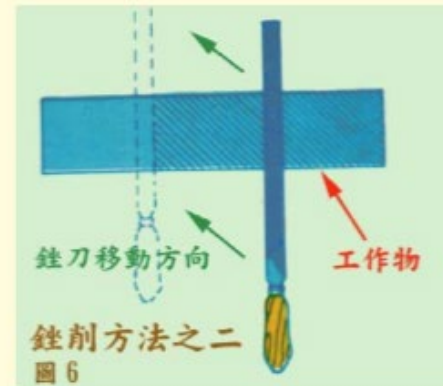
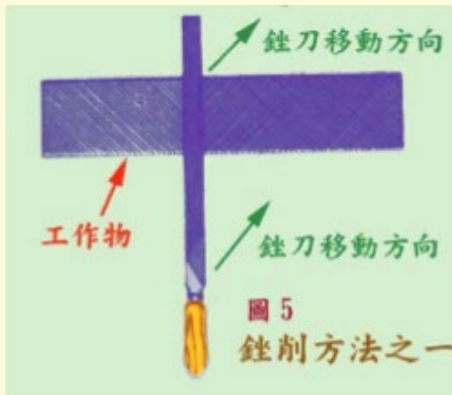
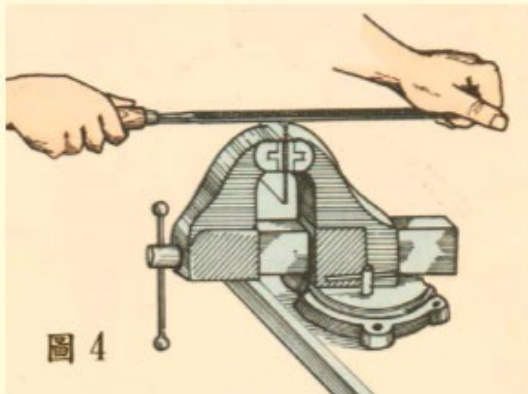
- 銼刀的形狀有很多種，常用的有平銼、圓銼、半圓銼、三角銼、方銼等。如圖所示為手工銼刀的一般形式，機器的銼削方式，則將銼削工具連結成如帶鋸機一般的連續帶，或作成往復式的銼磨機。

常用的銼刀型態圖 3





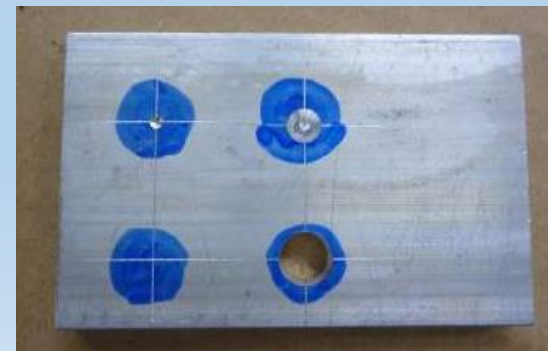
手工銼刀使用的例子





鑽孔步驟

- 使用高度規畫線
 - 平板要擦乾淨，工件要修好毛邊
 - 高度規歸零後調到需要的高度
 - 保持貼於平板畫線
- 打孔鑽孔
 - 使用中心沖在交叉點對準沖一凹點
 - 使用中心鑽先鑽中心孔，深約2-3mm
 - 再用鑽頭鑽孔





機械加工

- 為何要學機械加工？
 - 特殊規格
 - 臨時需要
- 瞭解加工的限制
- 機械加工設備與操作方法





了解加工特性與限制

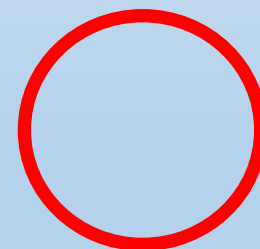
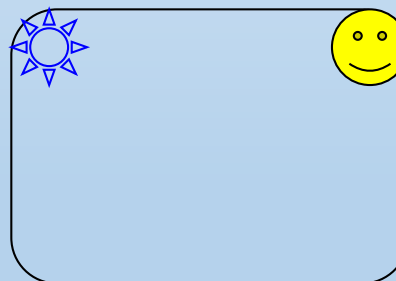
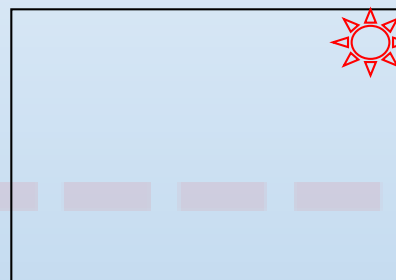
車 鑽 銑 } 切削
鋸 銼

磨 (砂輪 砂紙)

衝 壓 } 彎曲形變
板 金

線切斷 (放電) } 非機械接觸
水刀
蝕刻

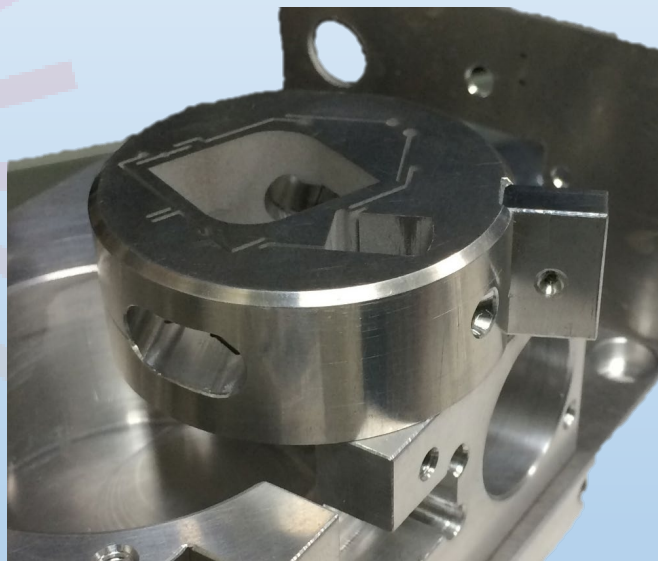
銑方形孔?





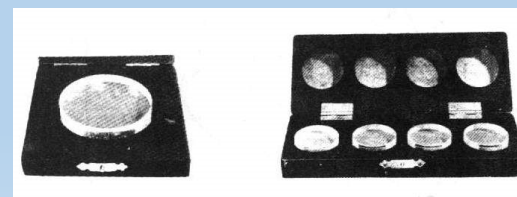
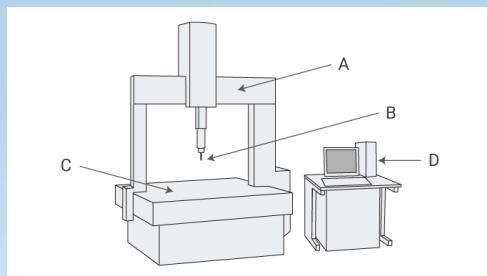
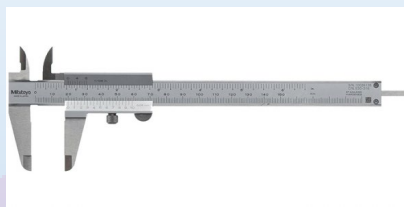
機械加工設備

- 傳統切削加工
 - 車床加工
 - 銑床加工
 - 鉋床加工
 - 磨床加工
- 非傳統加工
 - 放電加工
 - 超音波加工
 - 電子束加工
 - 電漿火焰噴敷
 - 雷射加工
 - 水刀切割加工



機械加工量具

- 游標卡尺
- 分厘卡
- 塊規
- 正弦規
- 角度塊規
- 光學平板
- 三次元座標量測儀





機械加工的安全

- 每個到機械工廠工作或學習的人都必須知道工廠的安全事宜，同時確實遵行工廠安全規定，以免造成自身及他人之傷害。
- 要經過合格的訓練
- 頭髮：短髮為宜，長髮者應戴髮套或帽子。
- 眼睛：應戴安全眼鏡，防止飛屑打中。
- 口鼻：粉塵濃度過高應戴口罩，禁止吸煙。
- 耳朵：禁止於工作時聽隨身聽。
- 衣著：著工作服，並除去身上多餘物品。
- 手部：嚴禁戴手套操作機器。
- 足部：嚴禁赤足或穿對足部保護不良的鞋類。





常用加工機具

- 鑽床 Drill Press
- 車床 Lathe
- 銑床 Milling Machine
- 帶鋸機 Band Saw





鑽孔加工

- 鑽孔：在製造的過程中，往往需要鑽孔，其方式為旋轉鑽頭同時朝垂直方向進刀而加工，如下圖所示

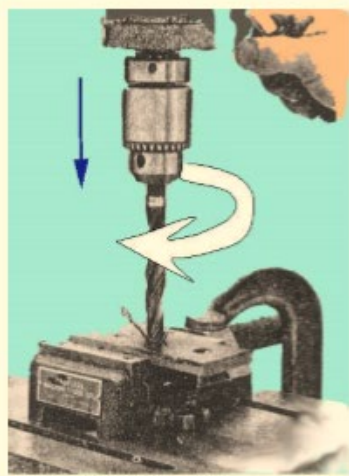


圖1 鑽孔

圖1鑽孔

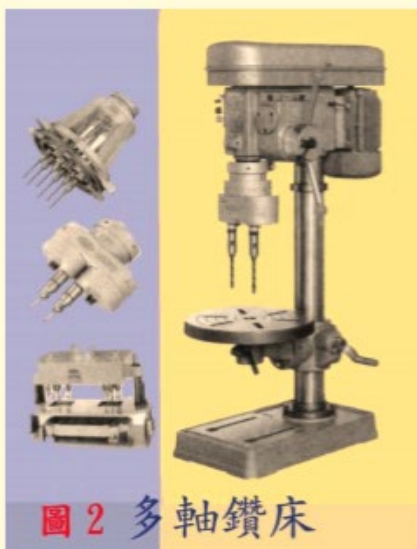


圖2 多軸鑽床

圖2 多軸鑽床

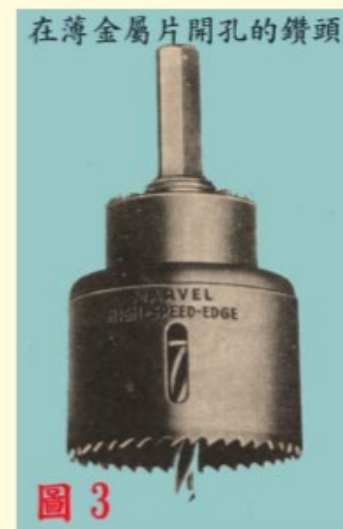
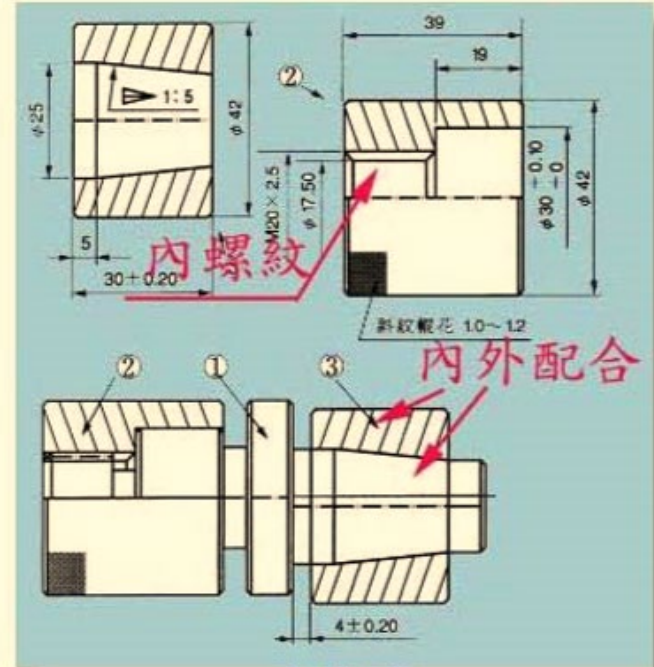
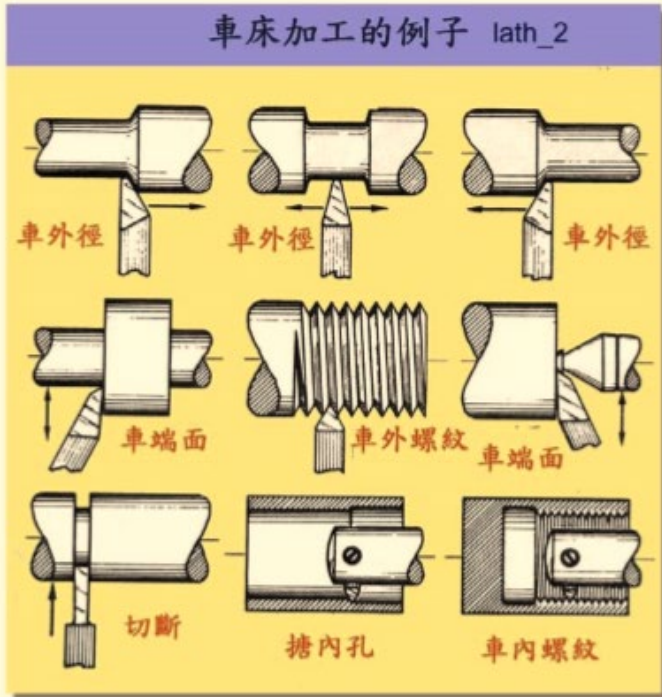


圖3

圖3 薄板鑽頭



車削加工



lath_3





常用加工刀具



製造刀具用碳鋼之含碳量為1.00-1.25%。當滲入少量之鎢、鉻、錳、矽等可以增加硬度發韌性





銑削加工(一)

- 銑床是一種非常多樣性的加工機械，由車床演化而來。車床是生產圓柱形或旋轉用途之零件常用的機器，而銑床則常用在生產菱柱形或非旋轉用途之零件。能夠精確的將工作物銑平面、銑曲面，銑溝槽、銑齒輪、銑種種複雜的形狀。銑床的種類很多，如依其刀具主軸的方向來分，則有立式銑床、臥式銑床、及複合式銑床。立式銑床刀具主軸是垂直的，除垂直銑削加工外，亦可用於工作物的鑽孔，搪孔等。臥式銑床刀具主軸與地面平行，複合式銑床則兼具立式及臥式刀軸。



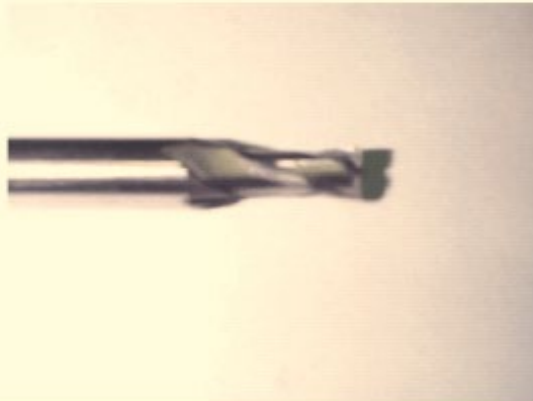


銑削加工(二)





銑削加工(三)





鋸切加工

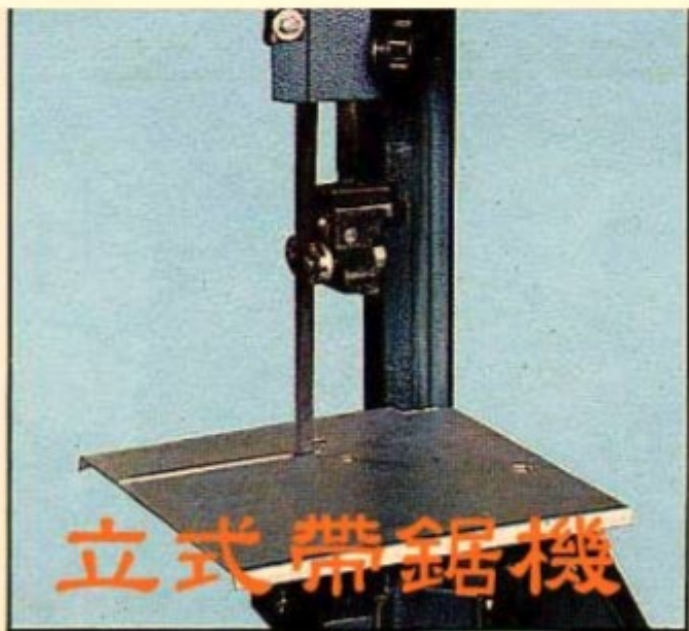


圖2 立式帶鋸機



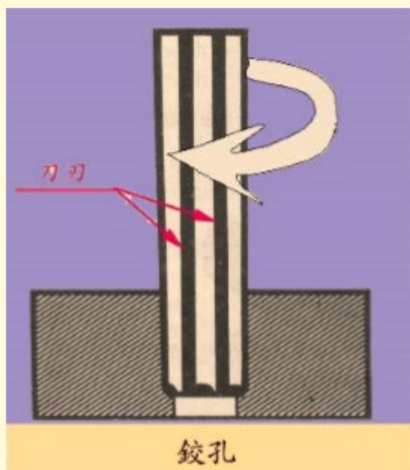
圖3 臥式帶鋸機





鉸孔加工

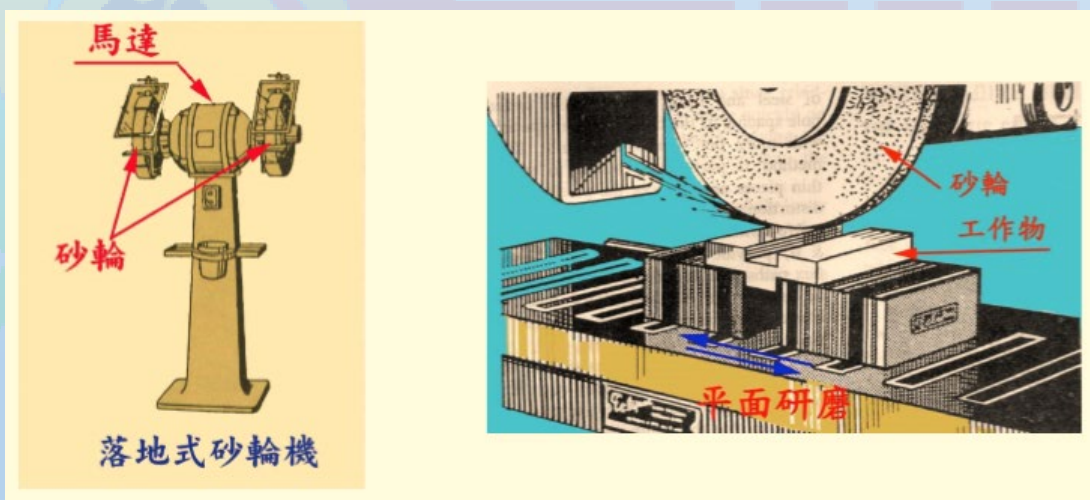
- 鉸孔：目的為精製孔的內壁及尺寸，因此鑽孔的尺寸必須比鉸刀尺寸稍小。





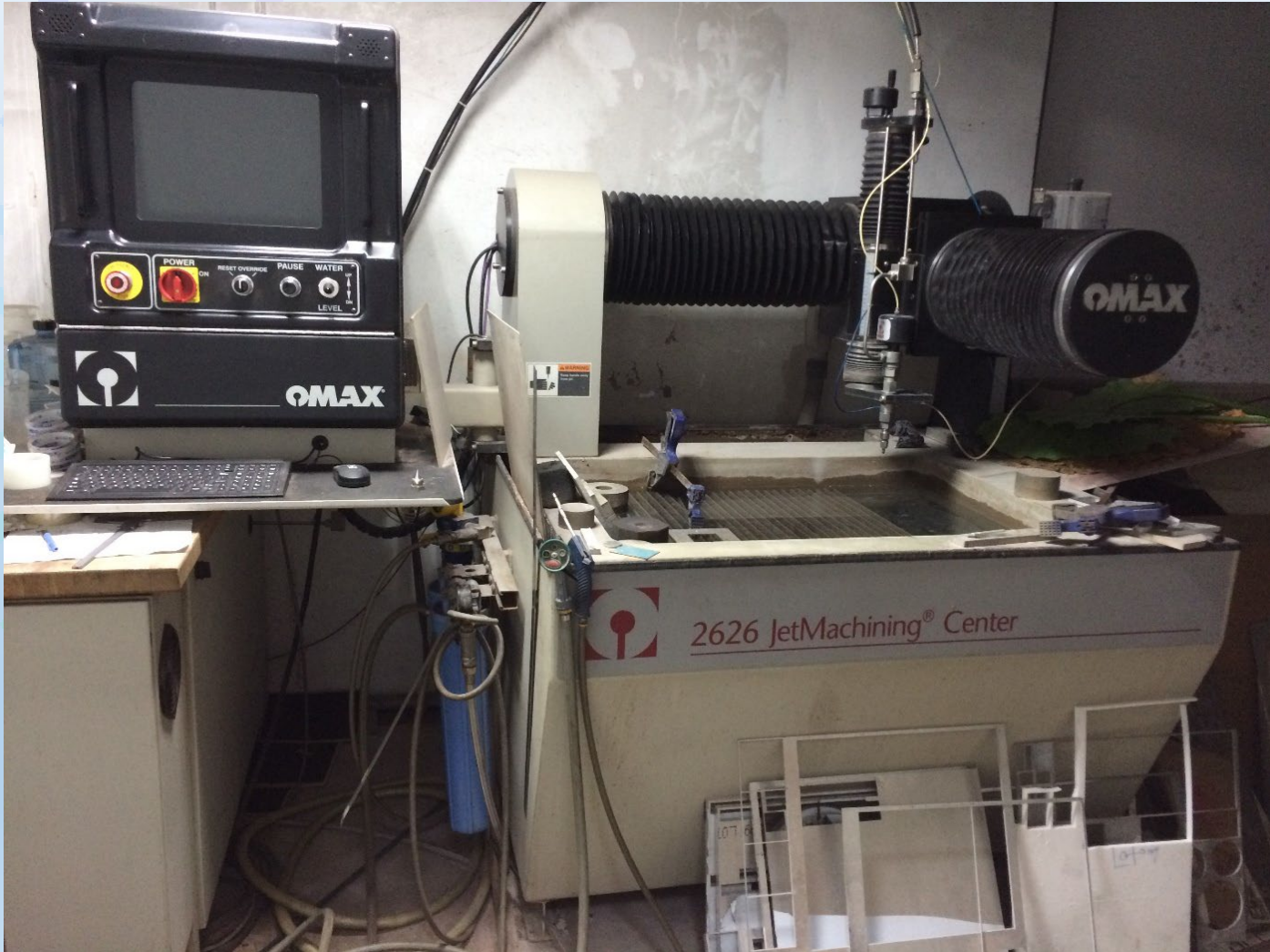
研削（磨）加工

- 研削加工的目的在「精修」，使經過車、銑、刨、搪.....等加工後的工作物，表面更光滑，或尺度更精確，或修正工作物因熱處理而產生的些微變形。





水刀切割機

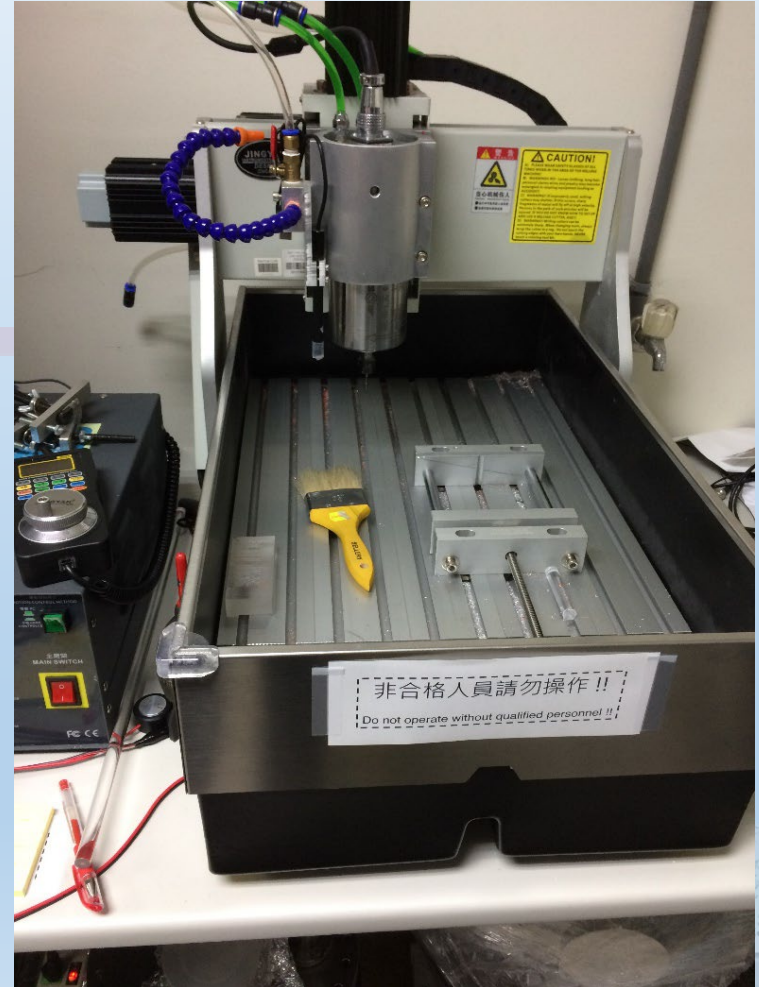




雷射加工機



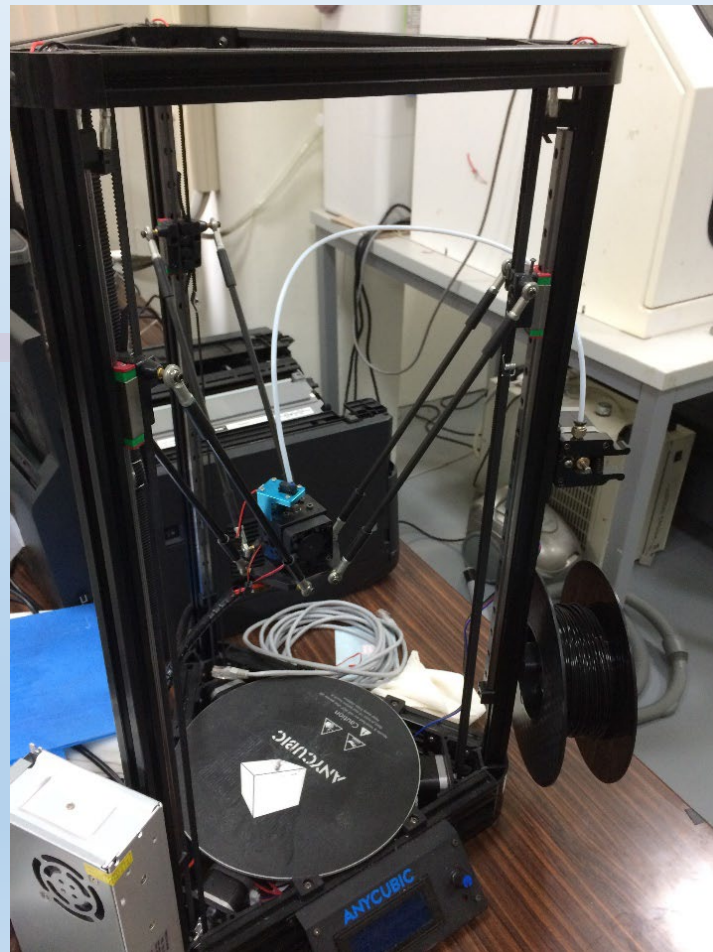
桌上型CNC





加法製造-3D列印

- 熱熔融層積 FDM
- 光固化 SLA、LCD
- 雷射粉末燒結 SLS





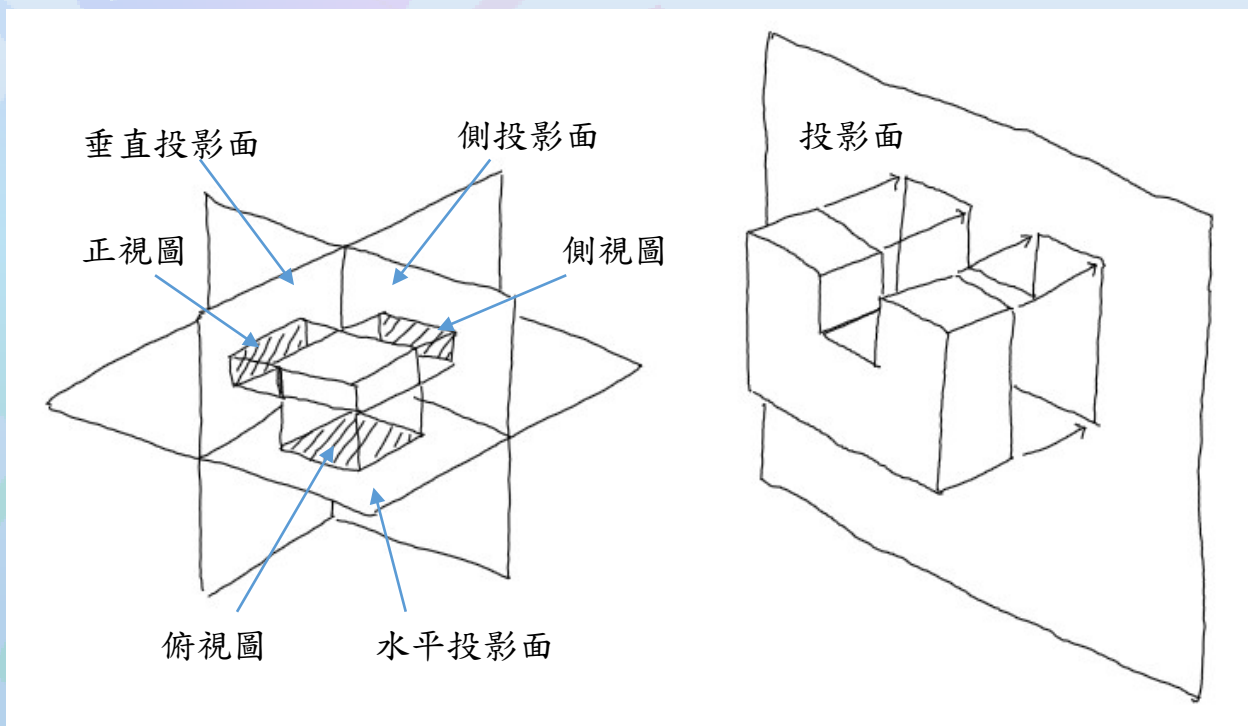
機械設計

- 設計製圖
 - SolidWorks、Onshape...
- 公差配合
- 變形與應力





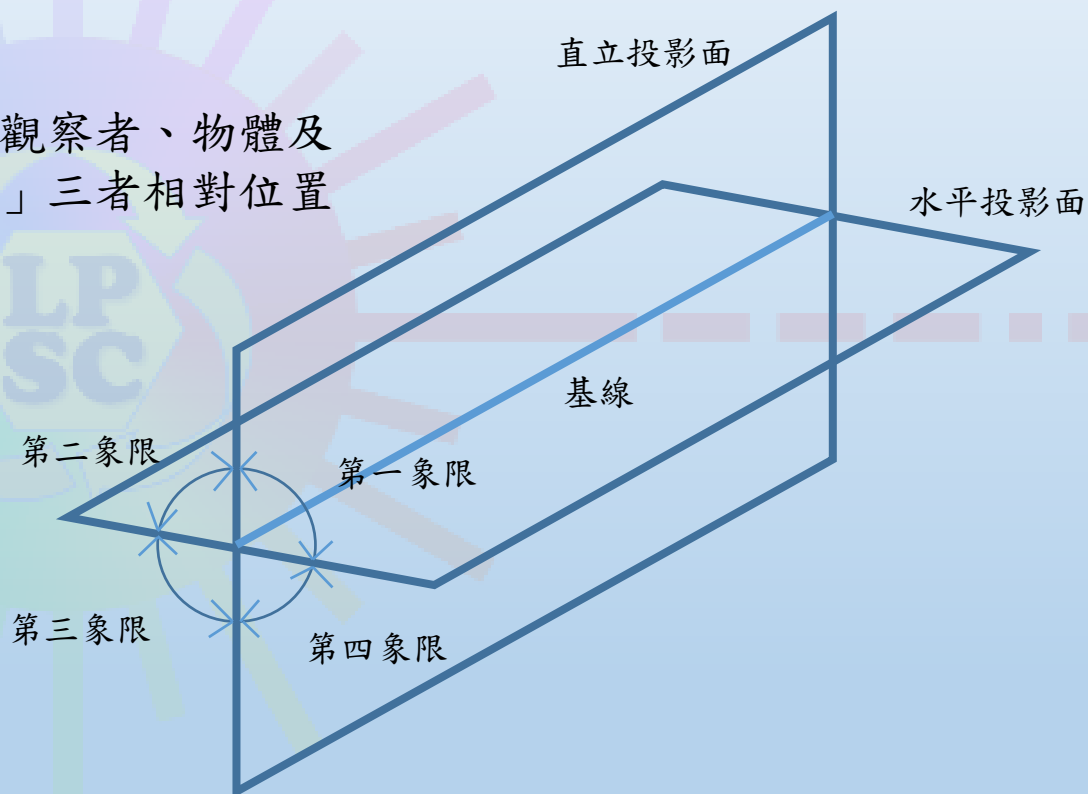
投影規範——正投影





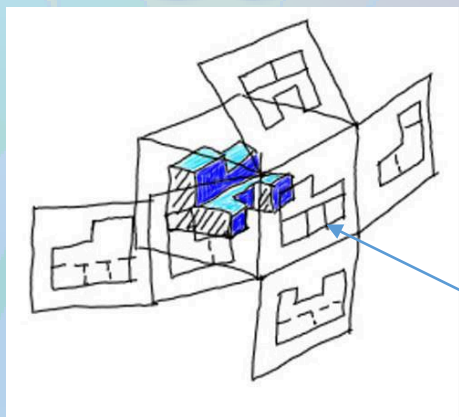
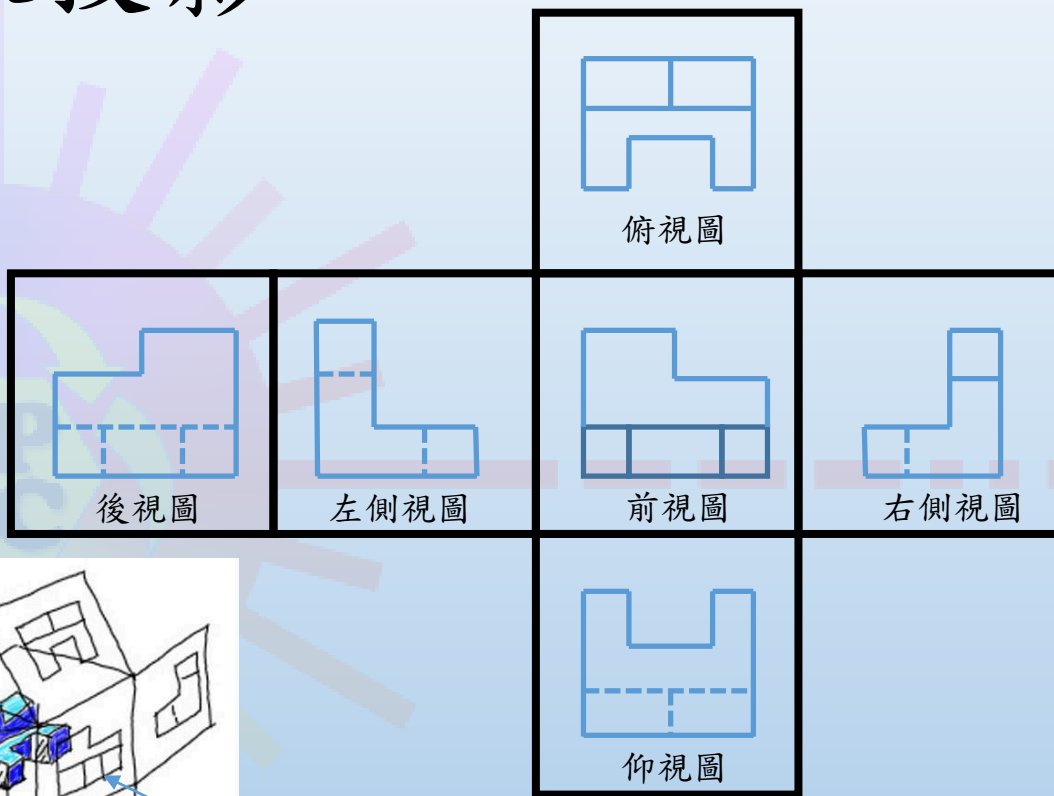
象限規範

界定「觀察者、物體及
投影面」三者相對位置





第三象限投影

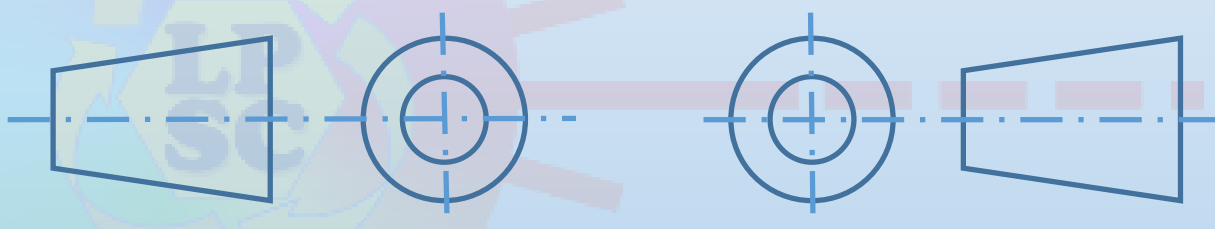


觀察者





投影制之表示符號



第一象限投影

第三象限投影

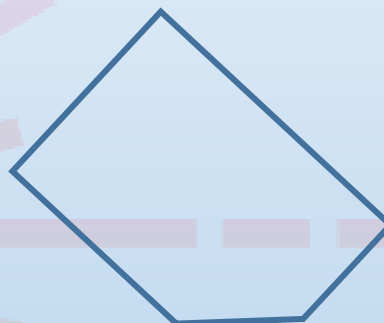




投影方位決定

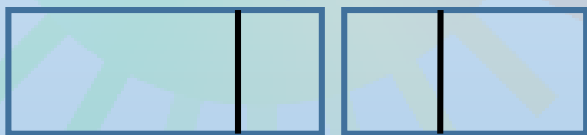


俯視圖



俯視圖

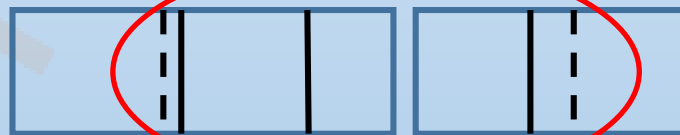
線條太多



前視圖

右側視圖

正確



前視圖

右側視圖

不良

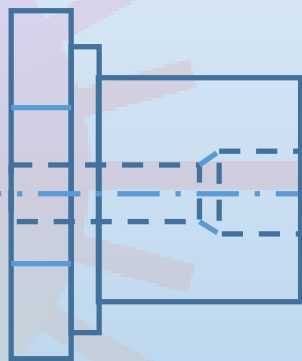




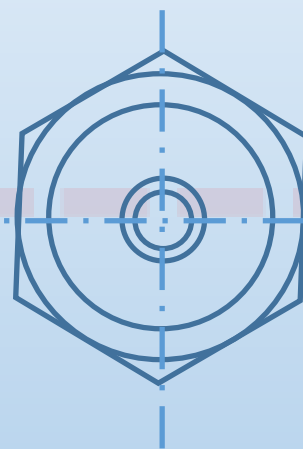
選擇虛線最少之視圖



側視圖
(不良)



正視圖

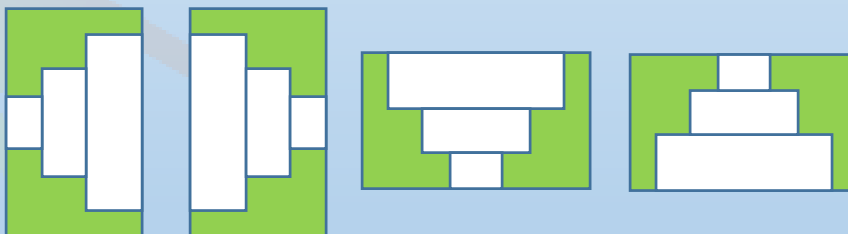
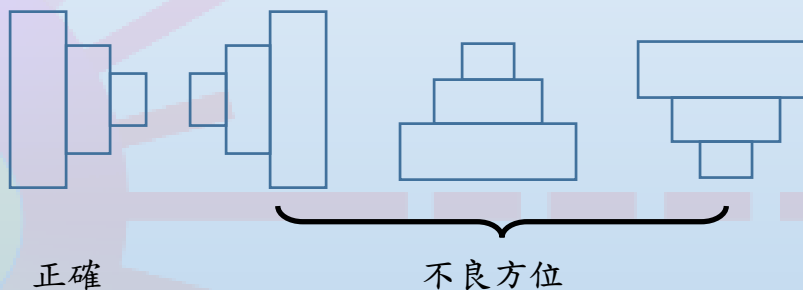
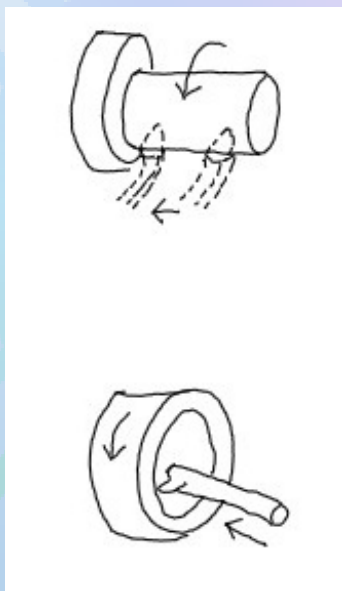


側視圖



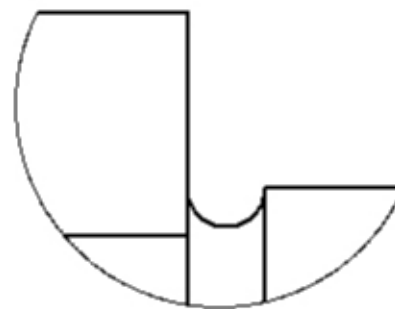
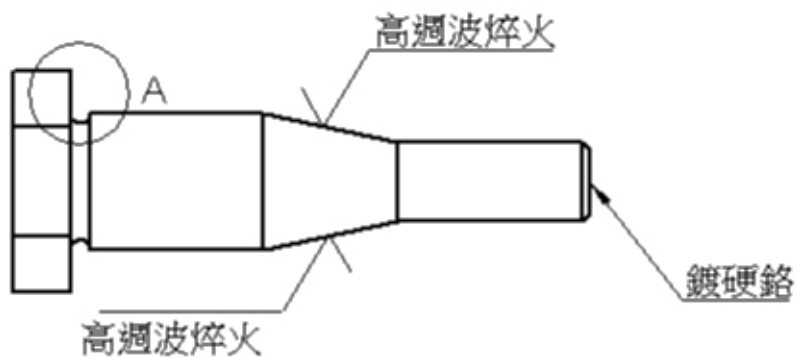


符合加工程序之視圖方位





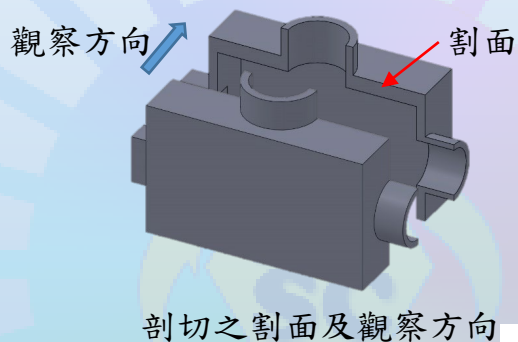
輔助視圖



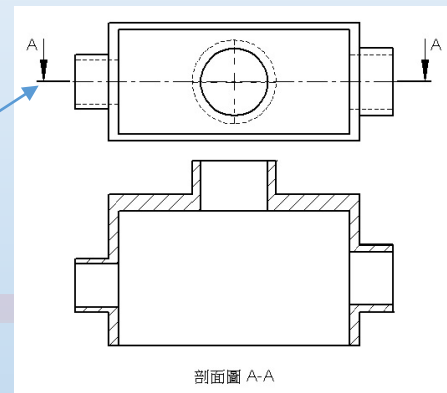
細部放大圖 A
比例 2:1



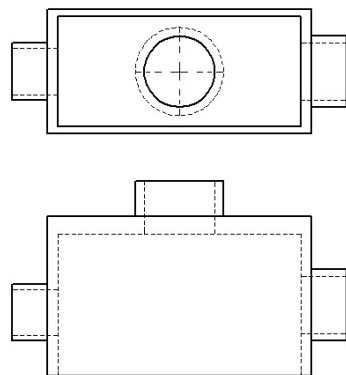
剖視剖面及觀察方向



剖面邊視圖

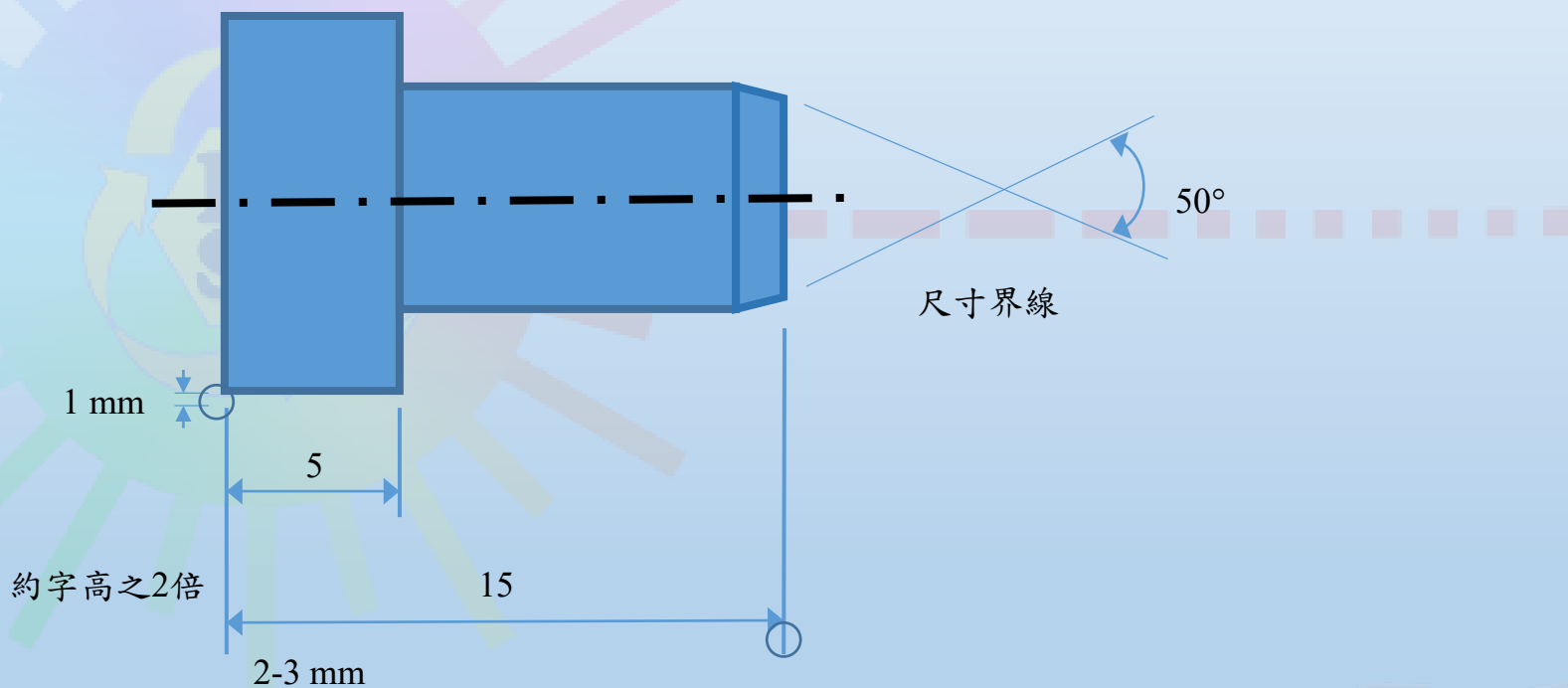


剖視圖



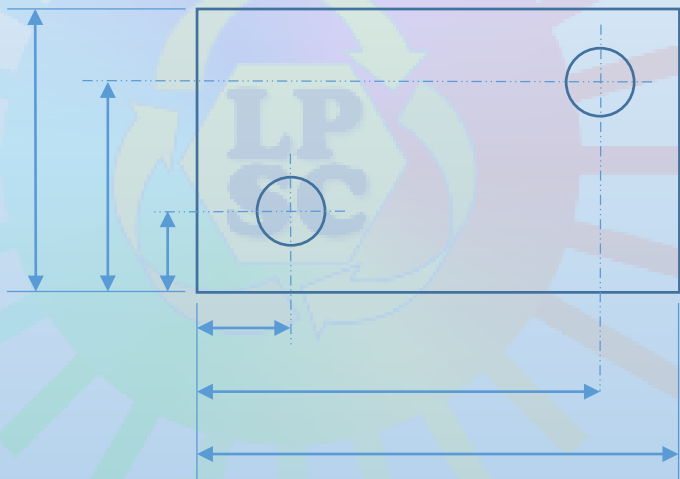


尺寸線標註規範

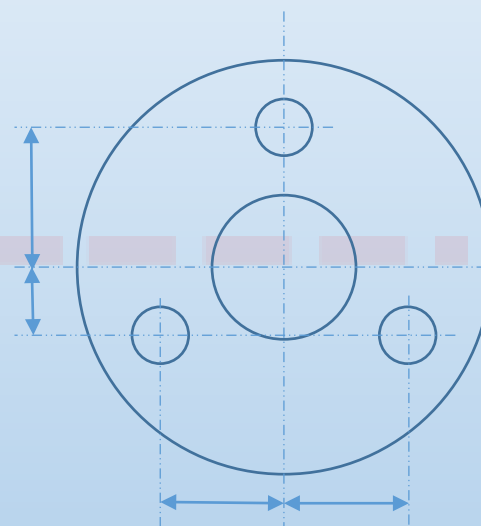




由基準進行標註尺寸



基準面

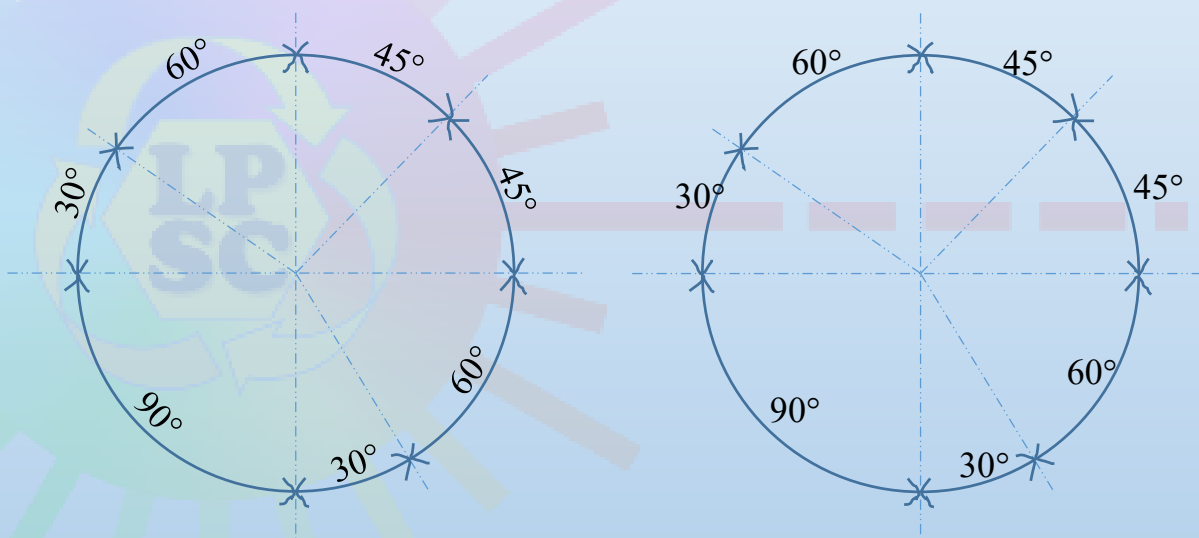


基準圓心





文字標註位置



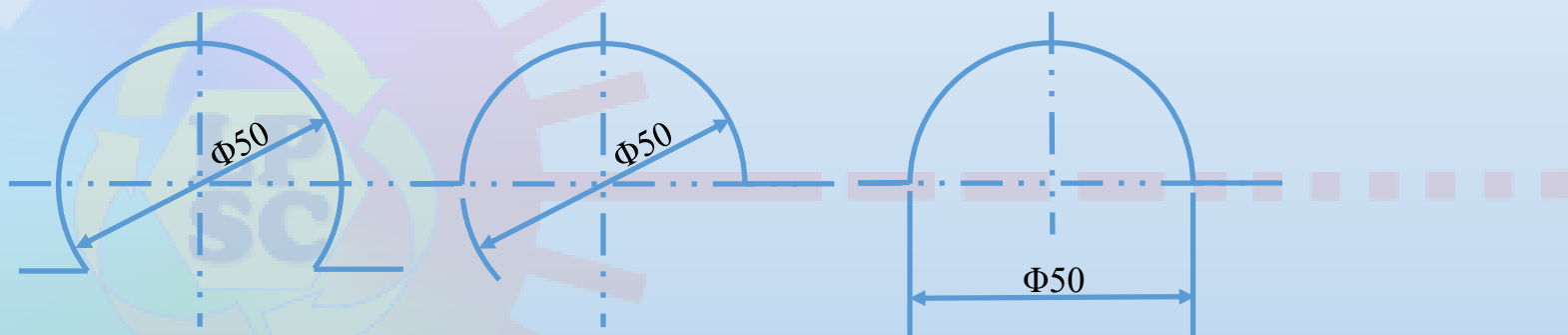
對齊制：沿尺寸線書寫之角度尺寸 水平制：一律向上書寫之角度尺寸

尺寸線撐住文字為原則





直徑標註法



圓弧超過(含)半圓時標註直徑符號





公差配合

- 尺寸公差
- 幾何公差

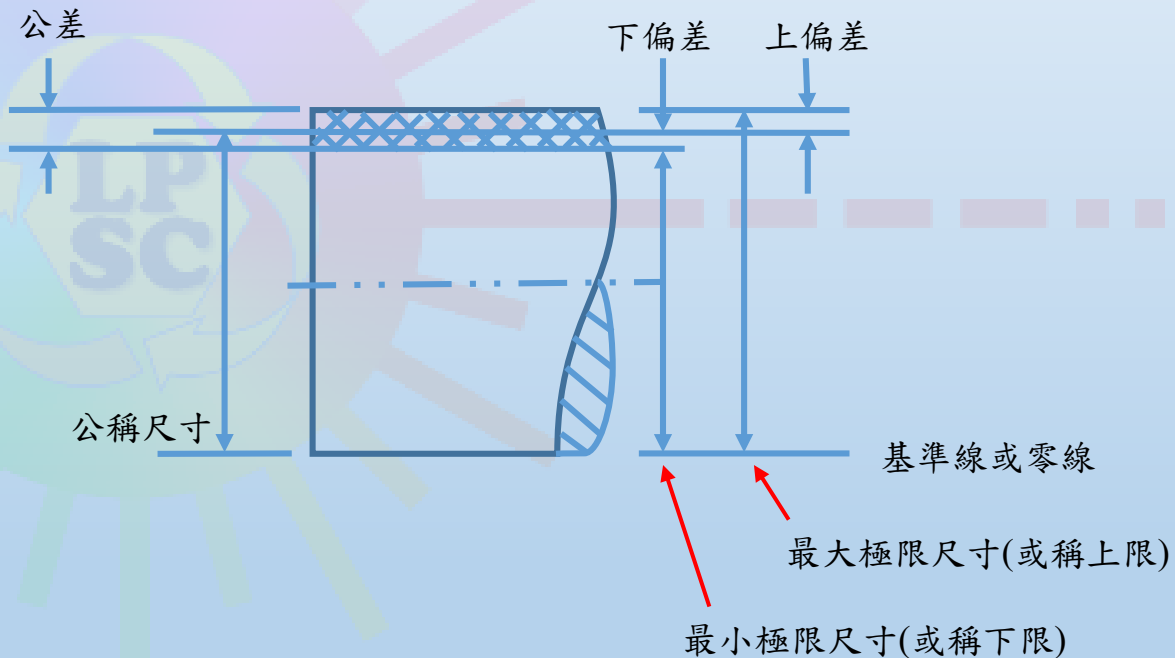


LP
SC



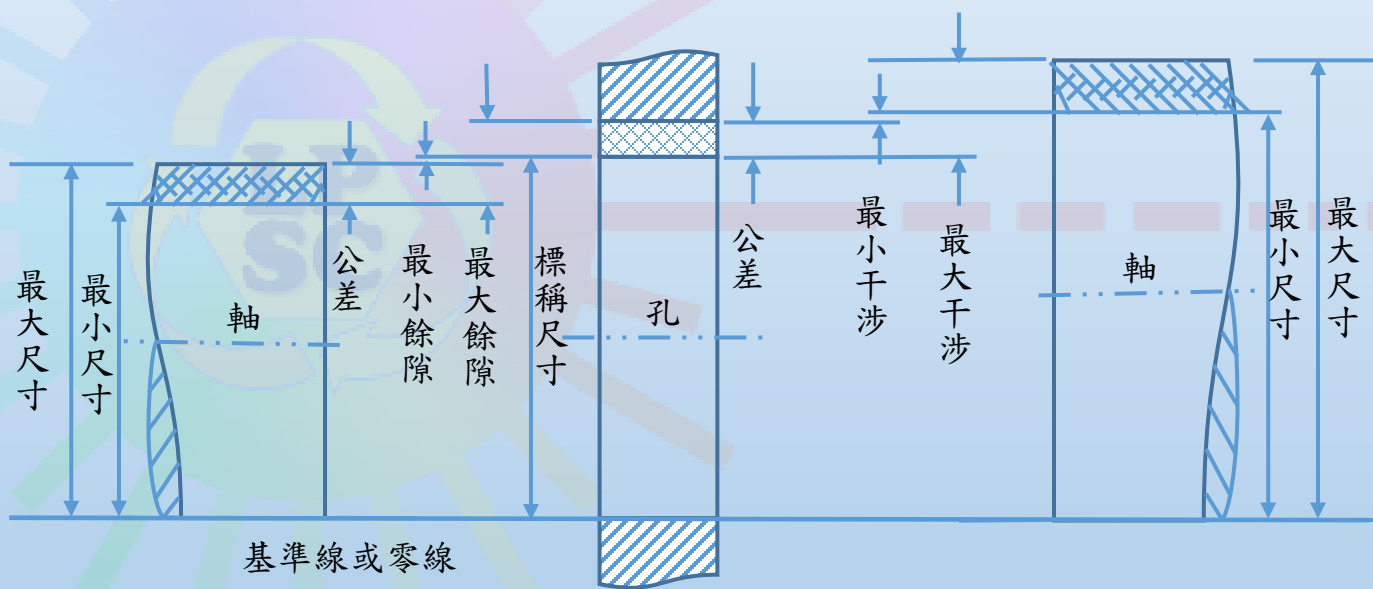


尺寸公差之名詞意義



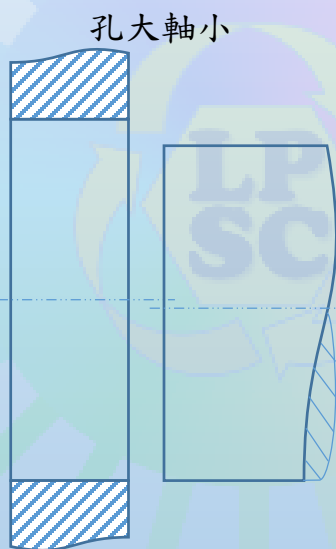


軸孔配合公差

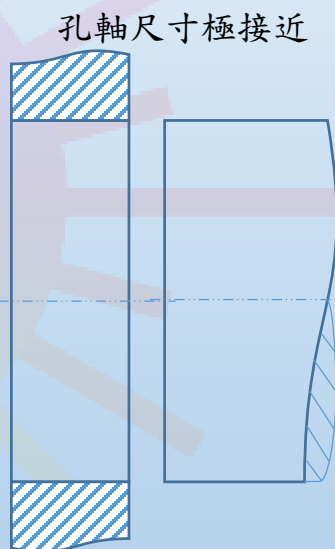




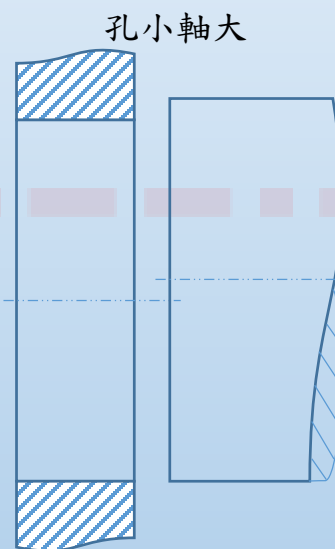
軸孔配合



餘隙配合



過渡配合

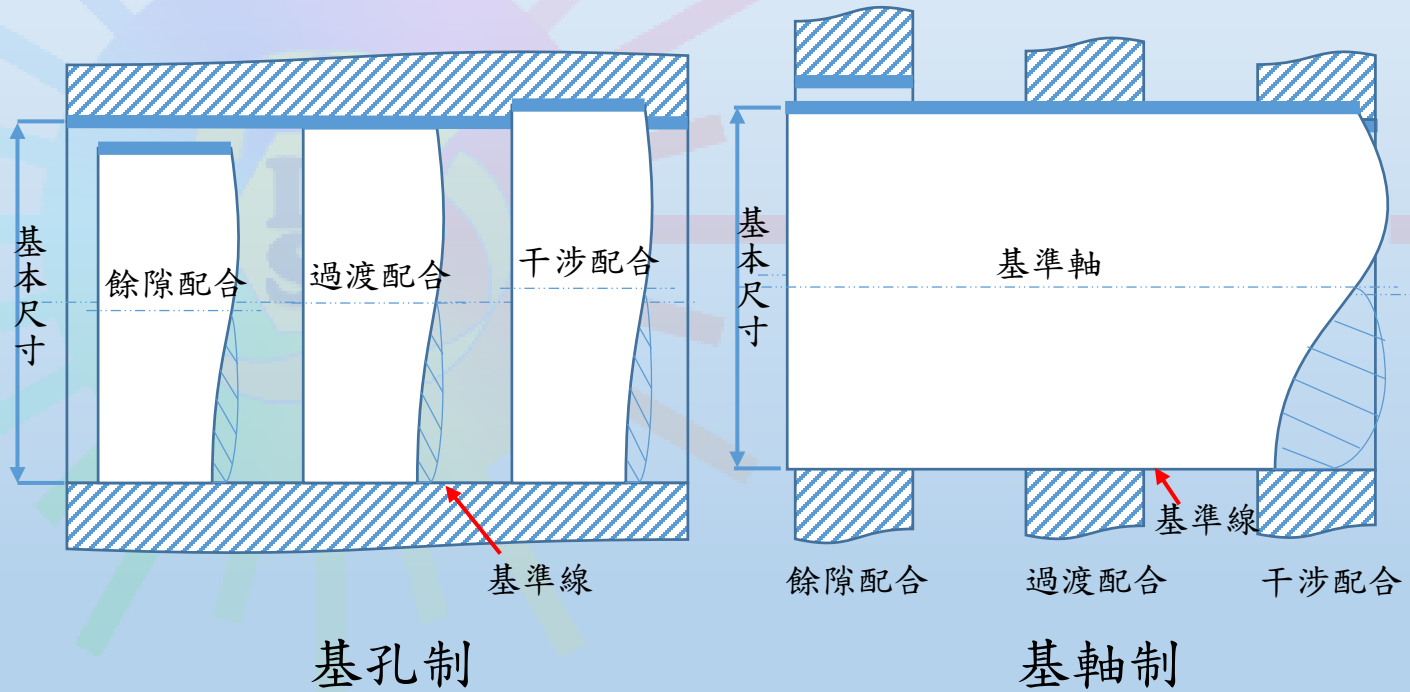


干涉配合



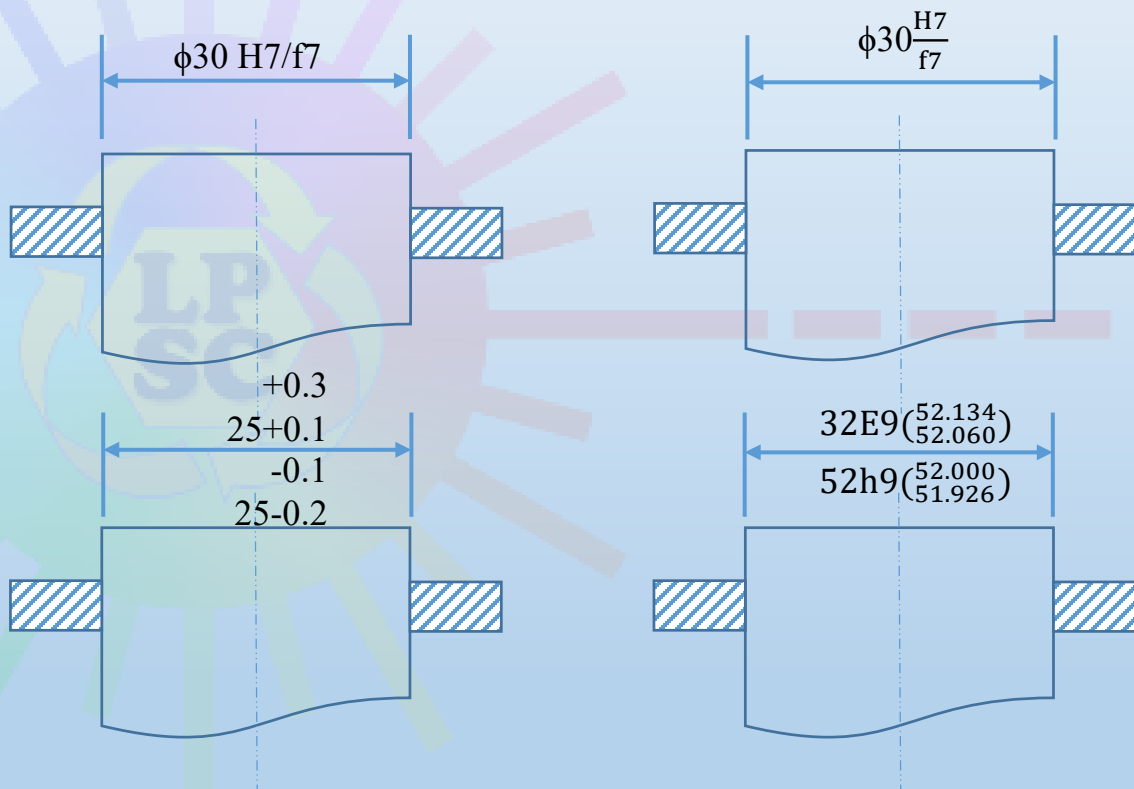


基孔制與基軸制



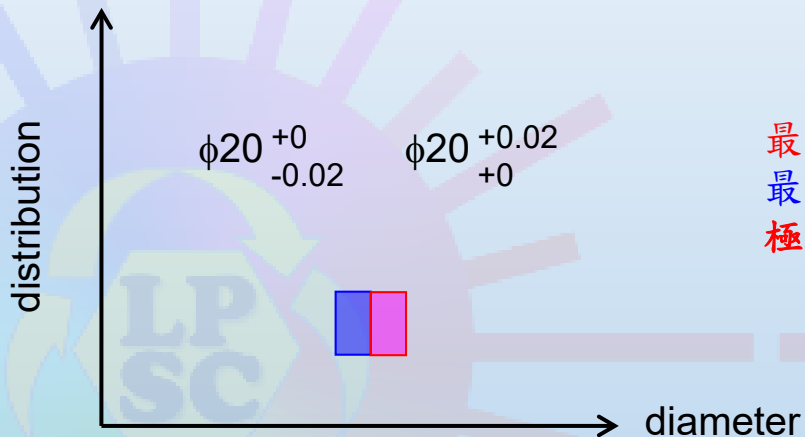


組合件公差之標註方式

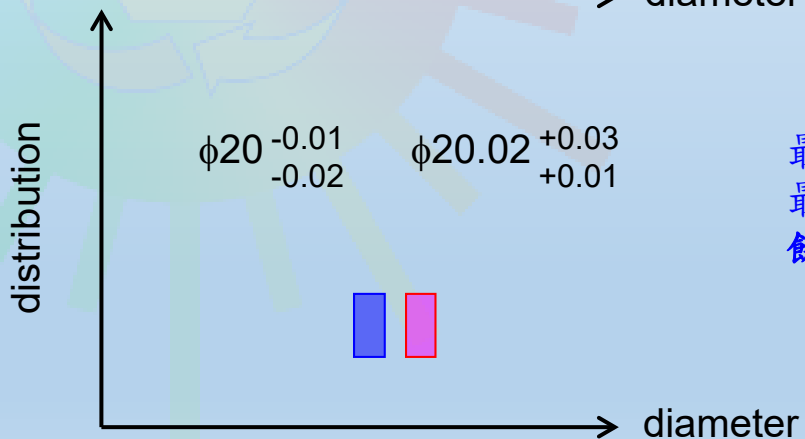




設計提示



最小間隙 0
最大間隙 0.04
極可能在運作時會卡住



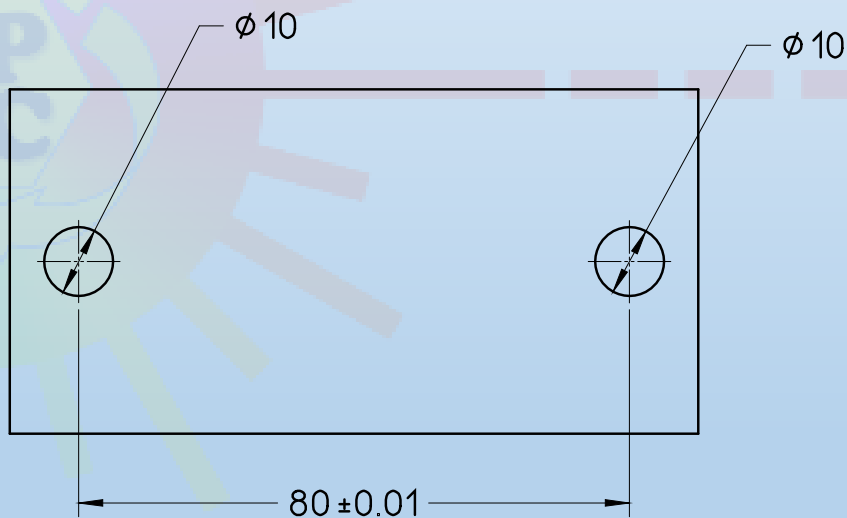
最小間隙 0.02
最大間隙 0.05
餘隙配合





設計提示

軸：(2) $\phi 10_{-0.01}^{+0}$ 相隔距離 80 ± 0.01
孔：(2) $\phi 10.01_{+0.}^{+0.02}$ 相隔距離 80 ± 0.01



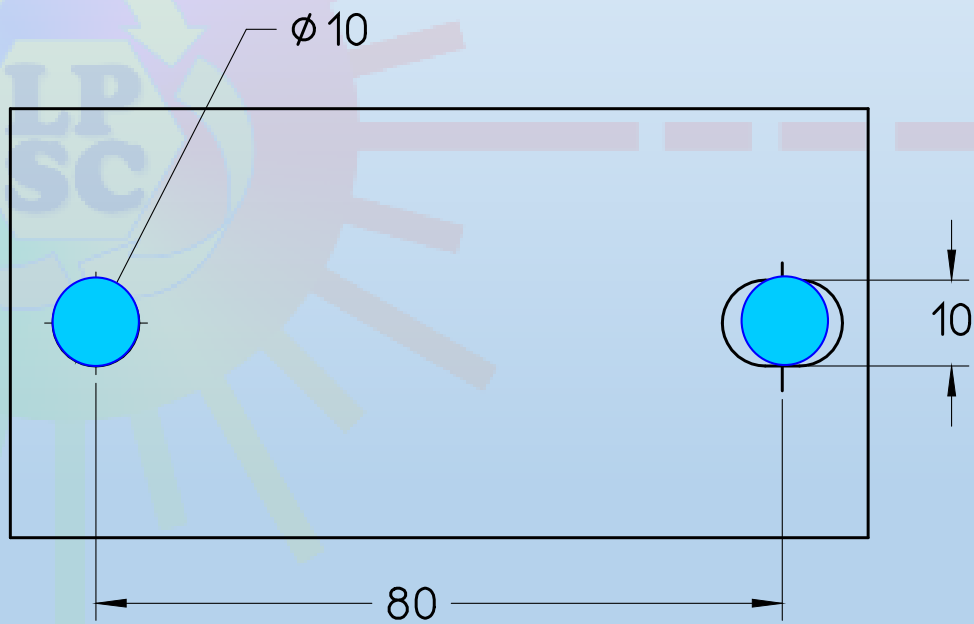
最小間隙 = - 0.01，可能產生干涉





設計提示

設計成一個孔及一個溝槽，易於組合且有較好的精準度。





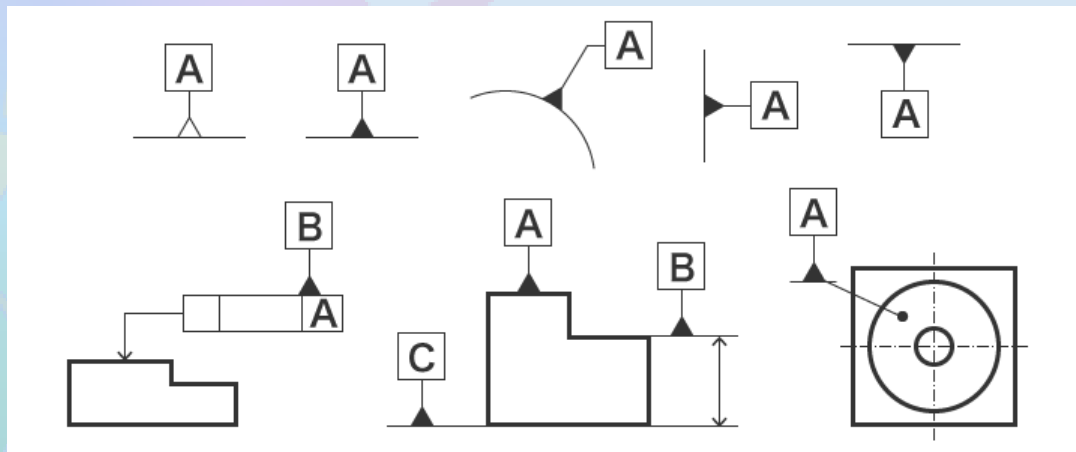
幾何公差符號

類別		幾何公差名稱	符號
單一形態	形狀公差	真 直 度	—
		真 平 度	□
		真 圓 度	○
		圓 柱 度	⊘
		曲 線 輪 廓 度	⌒
		曲 面 輪 廓 度	⌒
關連形態	定向公差	平 行 度	//
		垂 直 度	⊥
		傾 斜 度	∠
	位置公差	正 位 度	⊕
		同 心 度	◎
		對 稱 度	≡
	偏轉公差	偏 轉 度	↗
全 偏 轉		↗↘	





幾何公差之標註



基準記號以空心或實心的三角標記
基準的字母務必對準看圖面的方向



幾何公差之標註

a

幾何特性記號

填入幾何公差的類型。

b

直徑的記號（需要時）

需要填寫的幾何特性如下。

2D平面上的圓之中範圍：位置度、同心度

3D空間上的圓柱之中範圍：正平直度、平行度、直角度、傾斜度、位置度、同軸度、

3D空間上的球體之中範圍：位置度

c

幾何公差值

公差的數值。單位為「mm（公釐）」。

d

實體公差、公共公差帶等

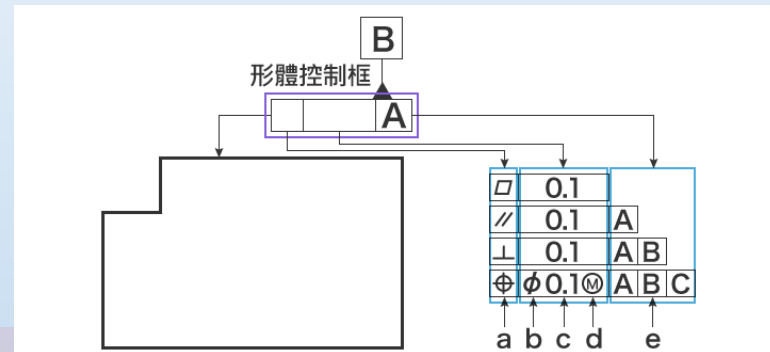
主要為「（最大實體要求）」、「（最小實體要求）」及「CZ（公共公差帶：Common Zone）」等。其他有、等。

e

優先基準

指定設計者希望優先做為基準的部份為基準。若指示複數基準，則從左到右填寫優先順序較高者。

一般來說，設計者會依優先順序高到低決定基準，且優先順序是以英文字母的順序決定。（如：ABC，會以A作為最優先考量的基準。）

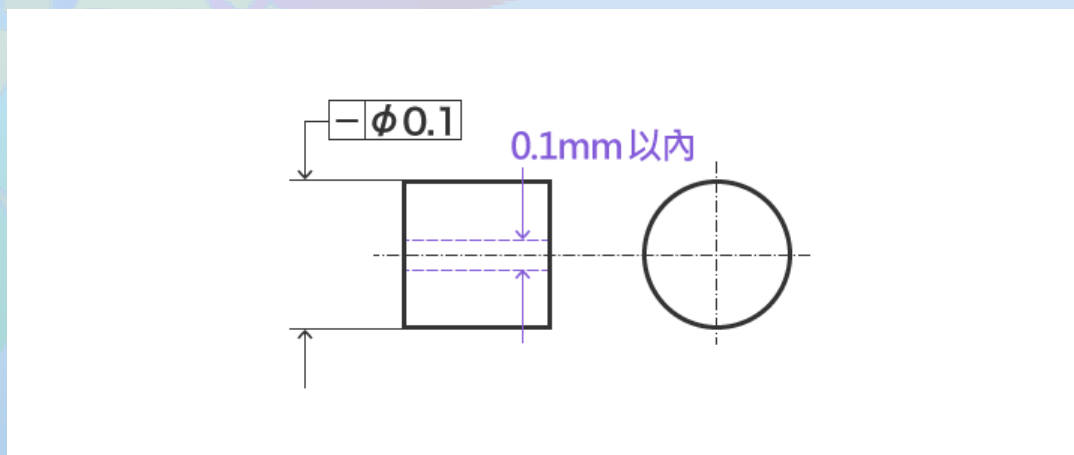




正平直度 (真直度)



指定該直線要素之「直線程度」。適用於直線而非平面，呈現中心線及母線等的彎曲程度。因此，可以用於界定長尺物等的翹曲容許值。



若形體控制框與呈現圓柱直徑的尺寸連結，則該圓柱的軸線必須在直徑0.1 mm的圓柱內。

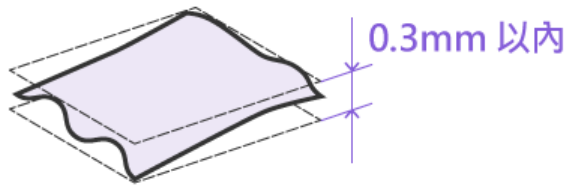
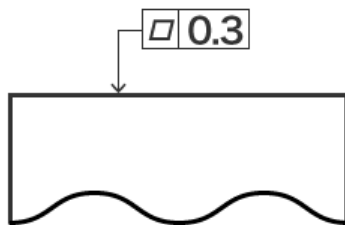




平面度(真平度)



指定精準平坦面的「表面凹凸」要素。最凸出及最凹陷的部份必須在上下分離2個平面之間夾住的一定距離。



此表面必須在相距僅0.3 mm的2個平行平面之間。

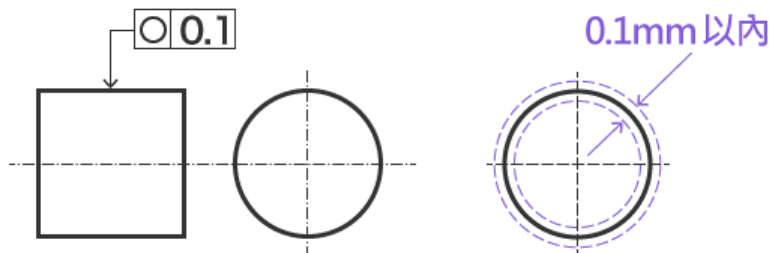




正圓形度(真圓度)



指定「正圓」的要素。表示軸、孔、圓錐等圓形截面的圓度，標示應該呈現何等正確的圓形。



在任意軸直角截面的外周必須在同一平面相距僅0.1 mm的2個同心圓之間。

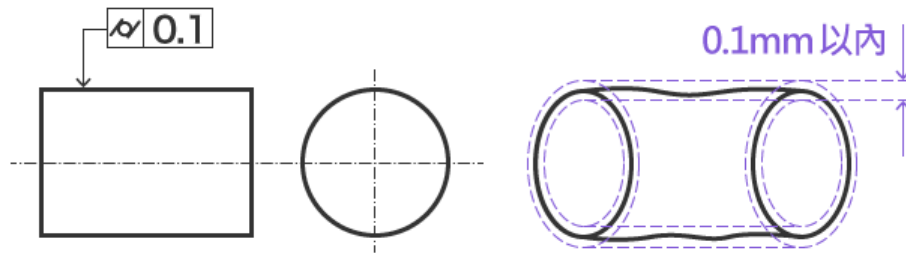




圓柱度



指定「正圓」且「正直」的要素。表示圓柱的歪斜度，標示應該呈現何等正確的圓柱形。



做為對象的面必須在相距僅0.1 mm的2個同軸圓柱面之間。

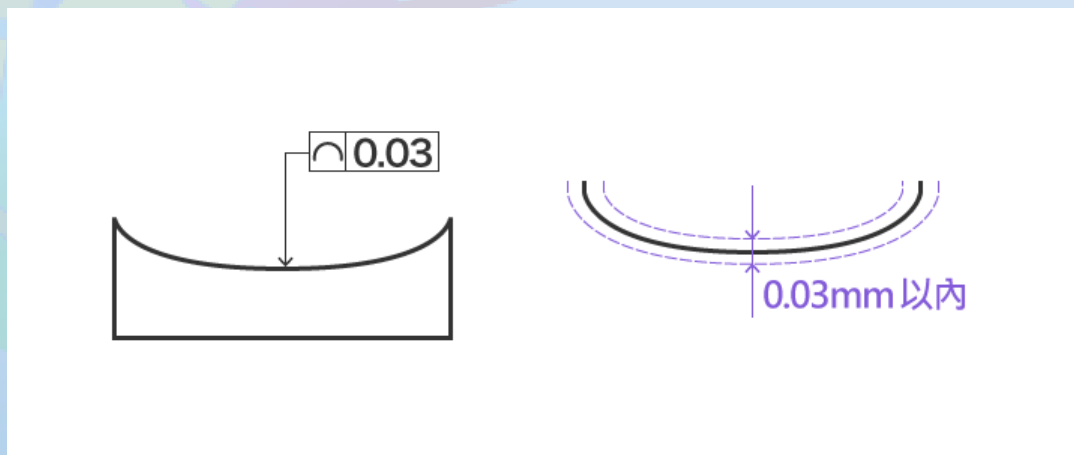




曲線輪廓度



呈現指示設計零件的「曲面是否如同設計製造」的輪廓線（表面截面出現的線要素）的歪斜程度。切斷指定曲面的截面線必須在公差區域。



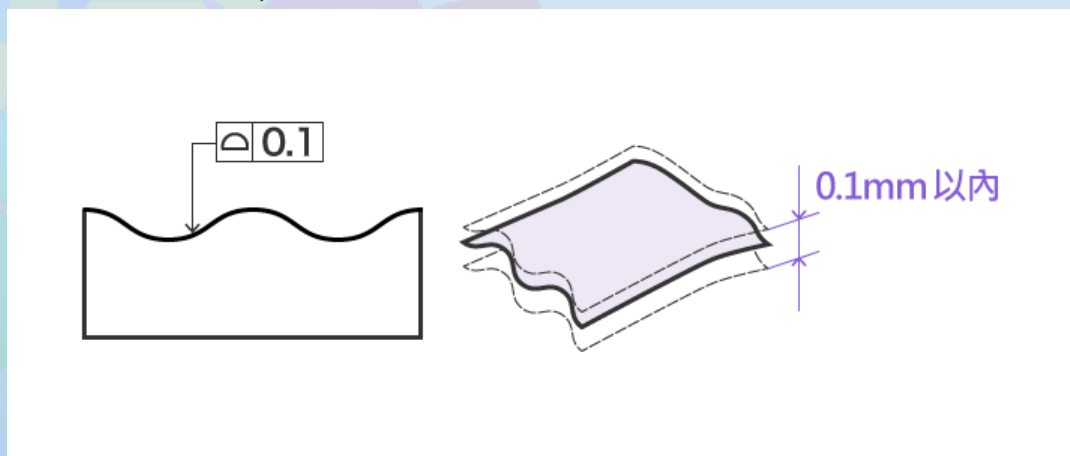
在投影面平行的任意截面做為對象的輪廓必須在具有理論上正確輪廓的線上置中，並在直徑0.03 mm的圓所產生的2條包絡線之間。



曲面輪廓度



指示設計零件的「曲面（表面）等是否如同設計製造」。
面的輪廓度不同於線的輪廓度，是以指定曲面整體為對象。



對象面必須在具有理論上正確輪廓的線上置中，並在直徑0.1 mm的球所產生的2條包絡線之間。

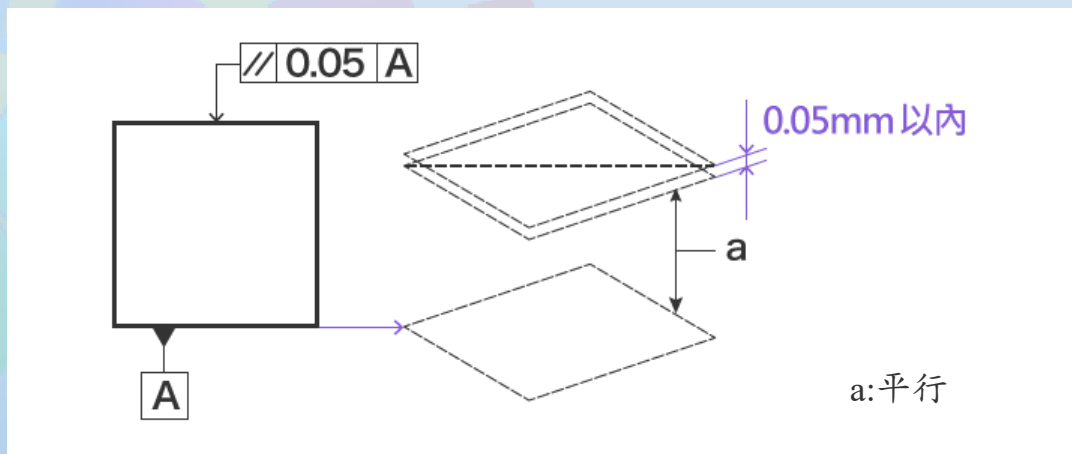


平行度



類似平面度，但在平行度有基準（做為基準的平面、直線）。

平行度指定「2個直線或平面為平行」。



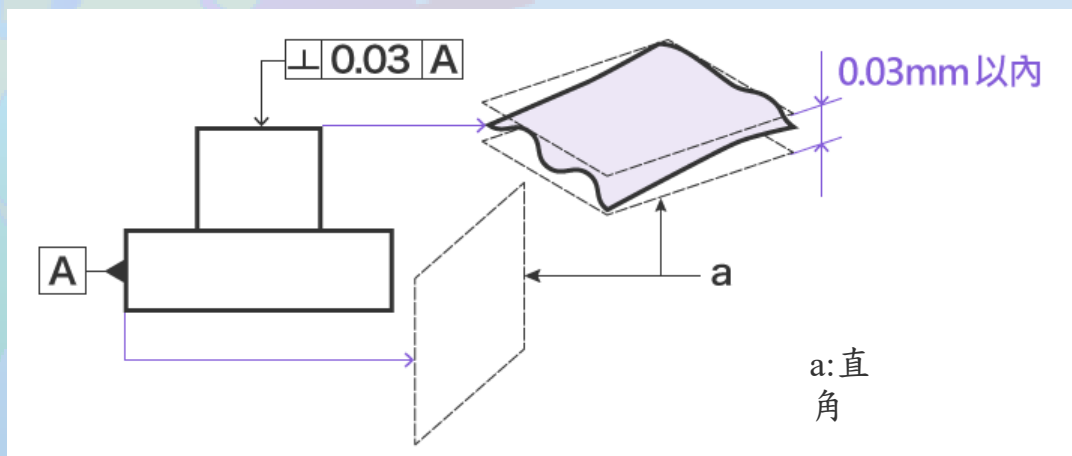
指示線箭頭所示的面必須平行於基準平面A，且在與指示線箭頭方向相距僅0.05 mm的2個平面之間。



直角度(垂直度)



指定對基準（做為基準的平面、直線）之「直角正確程度」。
直角度指定數值的單位並非角度，而是mm。



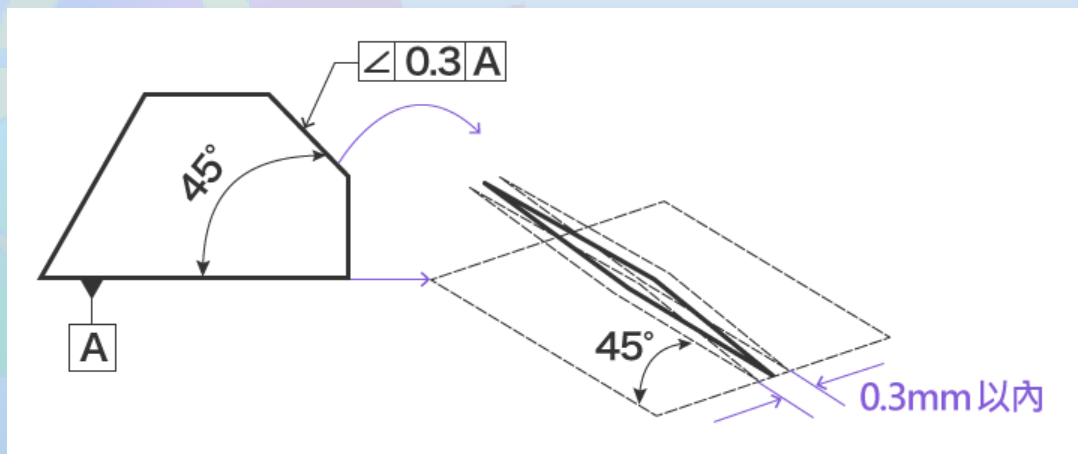
指示線箭頭所示平面必須在垂直於基準平面A的直徑0.03 mm的圓柱內。



傾斜度



指定在指定直線及平面為 90° 以外，「對基準（做為基準的平面、直線）的正確傾斜程度」。
傾斜度指定數值的單位並非角度，而是mm。



指示線箭頭所示的面對於基準平面A必須理論上正確傾斜 45° ，且在與指示線箭頭方向相距僅0.3 mm的2個平行平面之間。

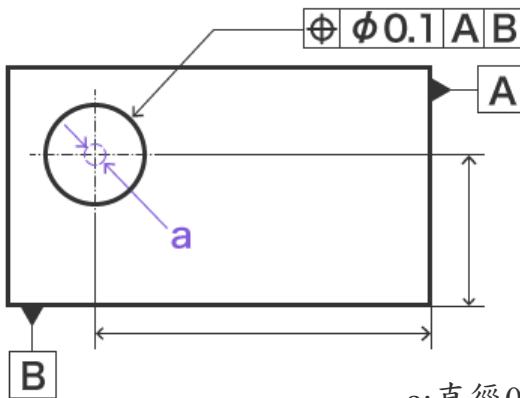




位置度(正位度)



指定「對基準(做為基準的平面、直線)之位置正確程度」的精度。



a:直徑0.1 mm的範圍

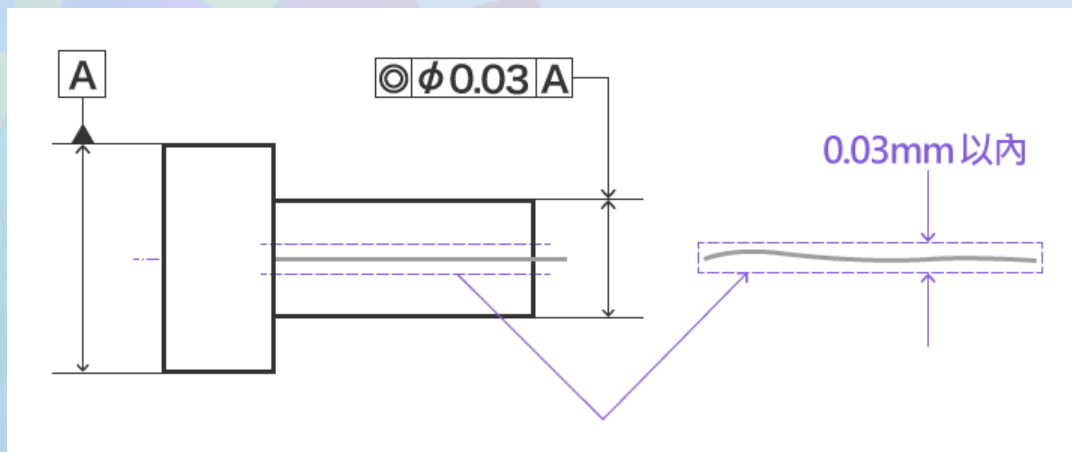
指示線箭頭所示的圓中心點必須在直徑0.1 mm的圓之內。



同軸度



指定「2個圓柱的軸為同軸（意即中心軸無偏移）」。



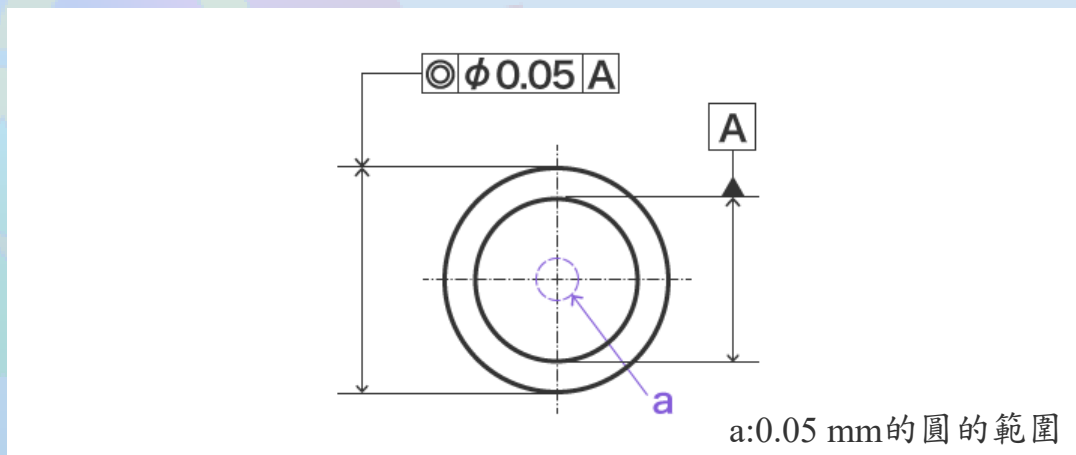
指示線箭頭所示的圓柱軸線必須在以基準軸直線A為軸線的直徑0.03 mm的圓柱之中。



同心度



指定「2個圓柱的軸為同軸（意即中心點無偏移）」的精度。不同於同軸度，基準為中心點（平面）。



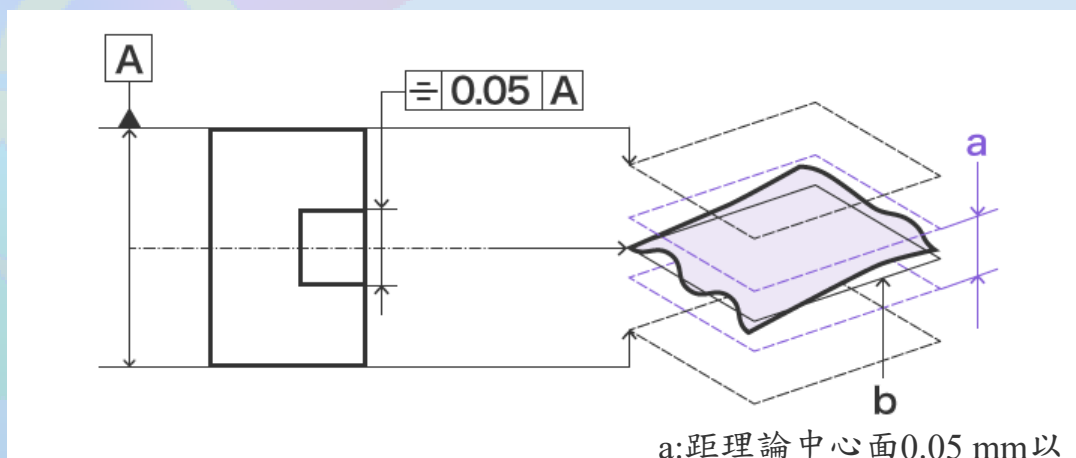
指示線箭頭所示的圓柱軸線必須在以基準軸直線A為軸線的直徑0.05 mm的圓柱之中。



對稱度



指定「對基準（做為基準的平面）的對稱程度」的精度。



a:距理論中心面0.05 mm以內

b:理論中心面

指示線箭頭所示的中心面必須在與基準中心平面A對稱保持0.05 mm間隔的2個平行平面之間。



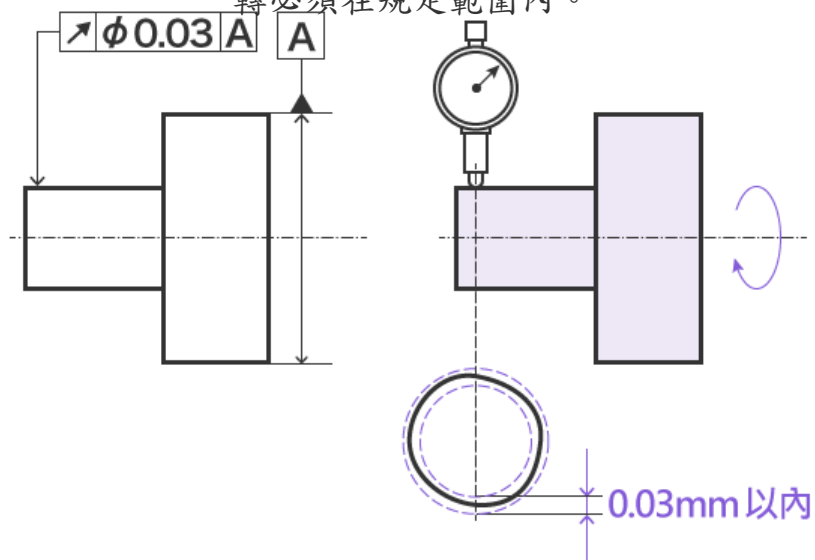


圓偏轉度(跳動度)



指定零件「旋轉時任意圓周一部份偏轉」。

圓偏轉度意即在旋轉零件時，量測值的偏轉必須在規定範圍內。



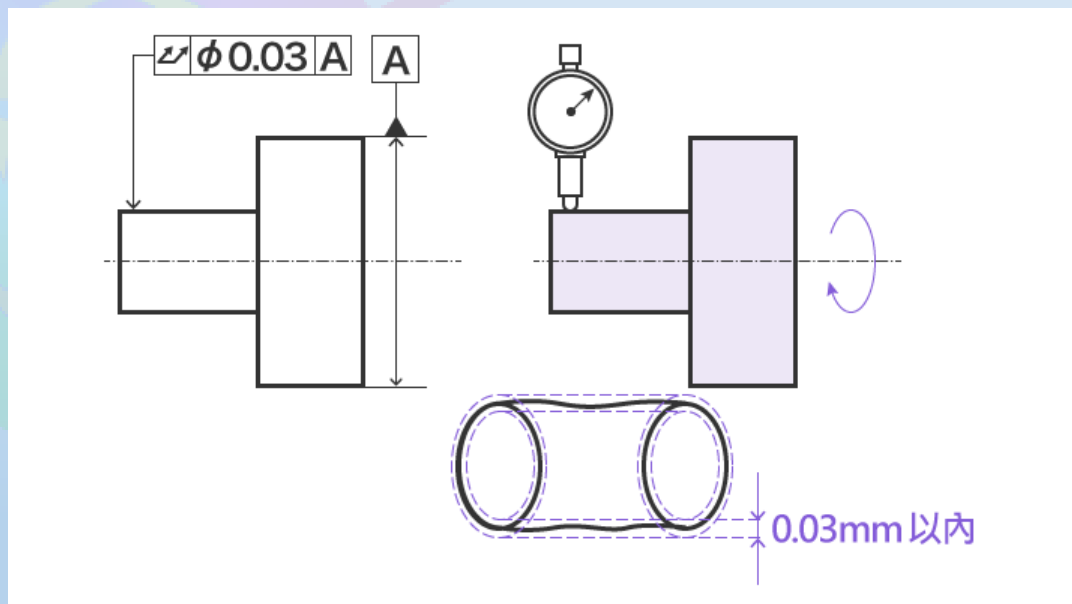
指示線箭頭所示的圓柱面半徑方向的偏轉在基準軸直線旋轉一圈時，垂直於基準軸直線的任意量測平面上，不得超過 0.03 mm 。



全偏轉



指定零件「旋轉時表面整體的偏轉」。
全偏轉意即圓柱面整體的量測值偏轉必須在規定範圍內。



指示線箭頭所示的圓柱面半徑方向的全偏轉在基準軸直線的圓柱部份旋轉時，圓柱表面任意點上，不得超過0.03 mm。





機械應變

- 材料受外力作用
- 材料因溫度變化





熱膨脹因素

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$$

SUS304 $\alpha = 1.7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

If $\Delta T = 100^\circ\text{C}$, $100^\circ\text{C} \times 1.7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} = 1.7 \times 10^{-3} = \text{DL}/L$

For length of 100 mm, $100\text{mm} \times 1.7 \times 10^{-3} = 0.17 \text{ mm} = \text{DL}$

這對精密機械或精密量測都有極大的影響！





熱膨脹因素

$$\Delta L_1 - \Delta L_2 = L_1 \alpha_1 \Delta T - L_2 \alpha_2 \Delta T = L(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T$$

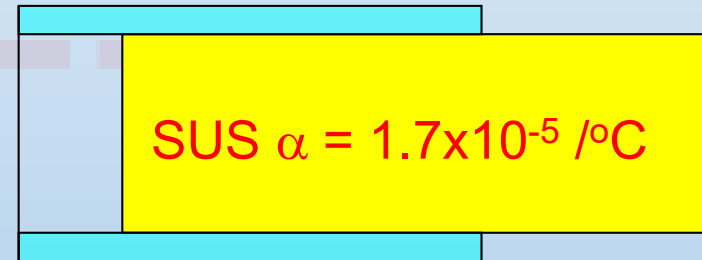
If $\Delta T = 111^\circ\text{C}$,

$$111^\circ\text{C} \times (1.7 - 0.8) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} =$$

$$1 \times 10^{-3} = 0.1\%$$

if $d = 100 \text{ mm}$, gap decrease by 0.1 mm

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad \alpha = 8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$



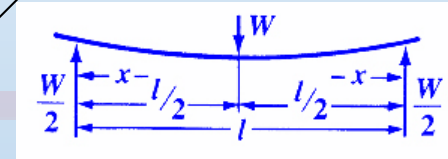
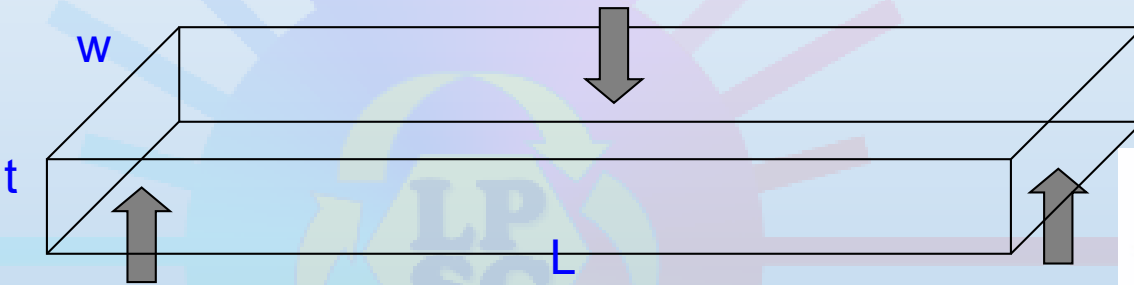
在做(玻璃-金屬)接合或是(陶瓷-金屬)接合的時候需特別注意！





材料形變

$$\text{強度} \propto w^l t^3 L^{-2}$$



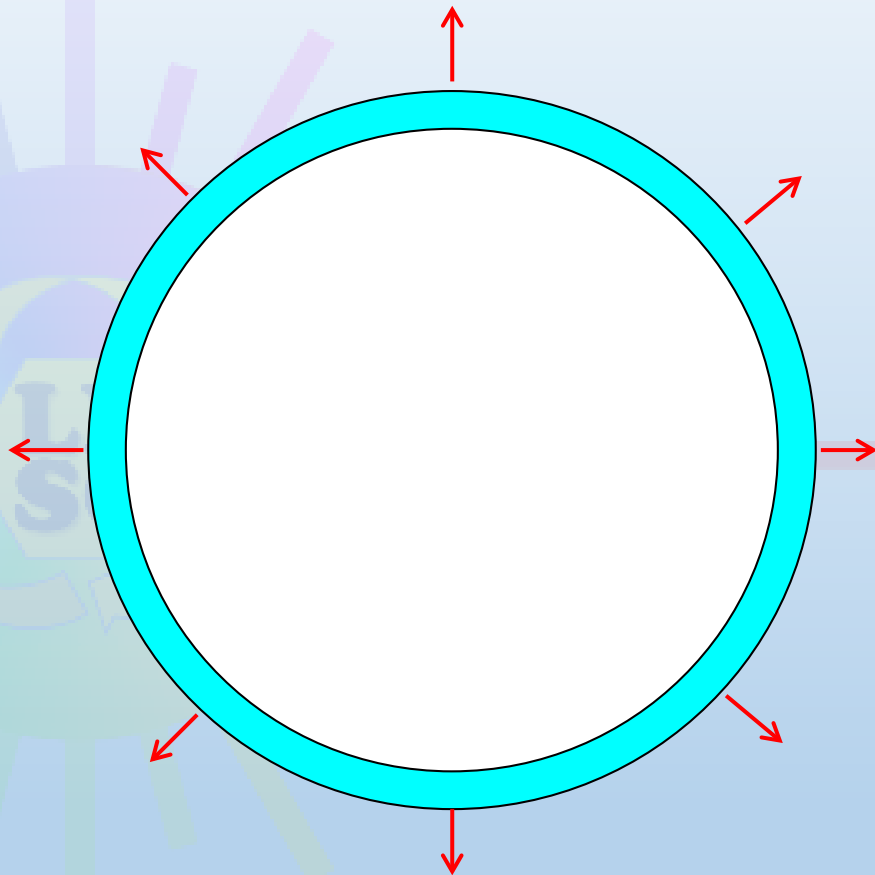
$$\text{Max Deflection} \propto wt^3 L^{-3}$$

Rigidity is more often of concern than strength,
distortion at machining is often more severe than distortion at use.
Hardness and smoothness is important when there is a motion between two
contact surfaces, e.g. precision fit, bearing





應力與應力釋放



材料內累積的應力與它經歷的加工程序有關





熱處理

用退火程序以釋放材料內的應力

用回火程序以增加材料的強度與硬度





熱膨脹係數

Material	Linear coefficient CLTE α at 20 °C (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Volumetric coefficient α_V at 20 °C (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Notes
alpha-Quartz	12-16/6-9 ^[22]		Parallel to a-axis/c-axis T = -50 to 150 C
Aluminium	23.1	69	
Brass	19	57	
Carbon steel	10.8	32.4	
CFRP	- 0.8 ^[14]	Anisotropic	Fiber direction
Concrete	12	36	
Copper	17	51	
Diamond	1	3	
Douglas-fir	27 ^[21]	75	radial
Douglas-fir	45 ^[21]	75	tangential
Douglas-fir	3.5 ^[21]	75	parallel to grain
Ethanol	250	750 ^[15]	
Fused quartz	0.59	1.77	
Gasoline	317	950 ^[13]	
Glass	8.5	25.5	
Glass-ceramic " Sitall "	0±0.15 ^[27]	0±0.45	average for -60 °C to 60 °C
Glass-ceramic " Zerodur "	≈0.007-0.1 ^[30]		at 0...50 °C
Glass, borosilicate ^[16]	3.3 ^[12]	9.9	matched sealing partner for tungsten , molybdenum and kovar .
Glycerine		485 ^[16]	
Gold	14	42	
Ice	51		
Invar	1.2	3.6	
Iron	11.8	35.4	
Kapton	20 ^[18]	60	DuPont Kapton 200EN
Lead	29	87	
Macor	9.3 ^[19]		
Nickel	13	39	
Oak	54 ^[20]		Perpendicular to the grain
Platinum	9	27	
Polypropylene (PP)	150	450	^[citation needed]
PVC	52	156	
Rubber	<i>disputed</i>	<i>disputed</i>	<i>see Talk</i>
Sapphire	5.3 ^[23]		Parallel to C axis, or [001]
Silicon	2.56 ^[25]	9	
Silicon Carbide	2.77 ^[24]	8.31	
Silver	18 ^[26]	54	
Stainless steel	10.1 ~ 17.3	30.3 ~ 51.9	
Steel	11.0 ~ 13.0	33.0 ~ 39.0	Depends on composition
Titanium	8.6	26 ^[28]	
Tungsten	4.5	13.5	
Water	69	207 ^[29]	



機械組裝連接

- 靜連接
 - 可拆卸
 - 不可拆卸
- 動連接



常用螺絲

圓柱形內六角頭螺絲SHC screws

止付螺絲Set screws



常用公制螺絲

牙與牙之間的距離(mm)

螺絲有牙部分直徑 $\left\{ \begin{array}{l} M4 - 0.7 \times 15 \\ M6 - 1 \times 15 \end{array} \right.$ 有牙部分長度(mm)

常用英制螺絲

螺絲有牙部分直徑 $\left\{ \begin{array}{l} 1/4 - 20 \times 1/2 \\ 1/4 - 28 \times 1/2 \end{array} \right.$ 有牙部分長度(in)

每一英吋牙數



攻螺絲加工(一)

- 攻螺絲：欲將已有的孔做出螺紋以利組裝，這時就需用螺絲攻或機器來做出螺紋。與鑽孔不同的是，攻螺絲的機器必須能使螺絲攻正反轉，以切斷切屑並退出孔，而鑽孔無論進刀或退刀鑽頭旋轉的方向都一樣。
- 公制：M8x1.25，鑽孔直徑： $8-1.25=6.75\text{mm}$
- 攻牙：每攻牙1-2圈，反轉退1/2圈，把切削折斷，可適當加機油

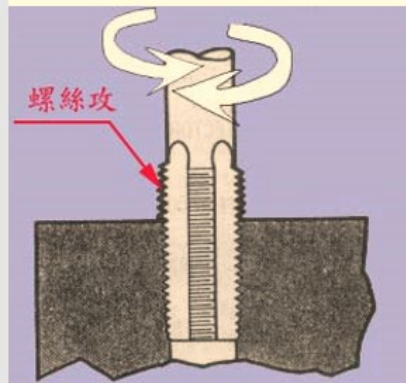


圖1 攻螺紋



圖2



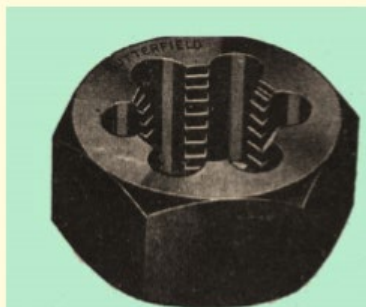


攻螺絲加工(二)

- 鉸螺絲：在柱狀工作物上，欲做出外螺紋，使成為螺桿，除了以車床加工外，亦可以螺絲模鉸削。

螺絲模板手

圖 4



螺絲模 圖 5
(製作外螺紋用)



圖 6 螺絲模
(外螺紋用)





常用螺絲攻組介紹



M6 - 1



1/4 - 20



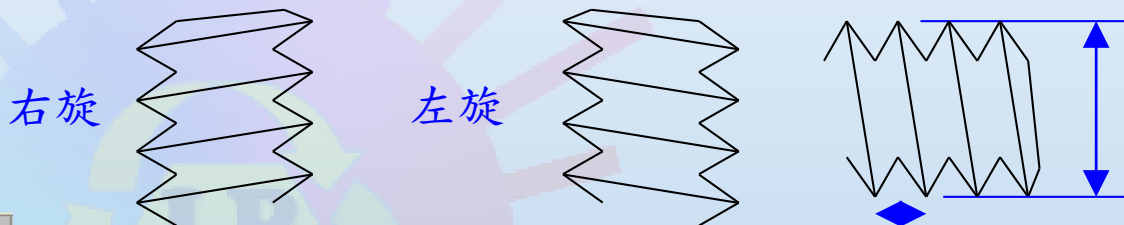
M4 - 0.7





組件接合方式(一)

使用螺絲(Screw)，螺栓(Bolt)與螺帽(Nut)



Sizes	Fractions
#1	1/16"
#2	5/64"
#3	3/32"
#4	7/64"
#5	1/8"
#6	9/64"
#8	5/32"
#9	11/64"
#10	3/16"
#11	13/64"
#12	7/32"

M6 x 1.0

公制(Metric)螺紋：外徑= 6 mm ，螺距= 1 mm

1/4 - 20

英制(美規UNC)螺紋：外徑= 1/4 inch ，螺距= 1/20 inch

#8 - 32

M5 x 0.8 Vs. #10 - 32

$$25.4/32=0.79375$$





螺絲受力

$$\text{Work} = \text{Force} \times \text{Length}$$

$$\text{扳手施力} \times \text{圓周長} \\ = \text{螺絲受力} \times \text{螺距}$$

扳手施力





壓接力估計

假設一個摩擦力可忽略的公制螺絲M6 X 1.0，轉動一圈前進1 mm。
若扳手手柄長100 mm，則旋轉一圈的圓周長為 $2\pi \times 100 \text{ mm} = 628 \text{ mm}$ 。
若轉動手柄時需施力10 kgw，則轉換至螺絲的下壓力為
 $10 \text{ kgw} \times 628 \text{ mm} / 1 \text{ mm} = \mathbf{6.3 \times 10^3 \text{ kgw}}$

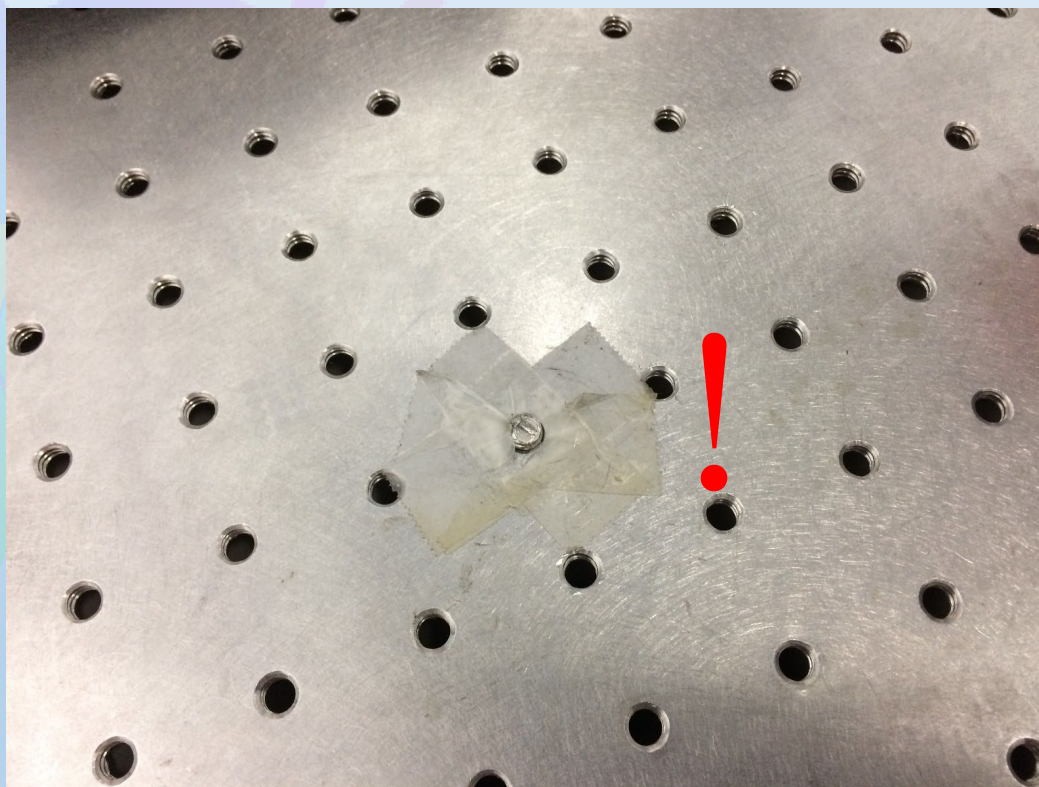
如此強大的力量極可能導致螺絲斷裂！

當需要使用螺絲去夾持光學元件時，一定要使用塑料墊片以避免元件破裂。





鎖螺絲注意事項





組件接合方式(二)

焊接：將基材熔化後接合

- 常用於不銹鋼
- 鋁合金較難施工(表面容易形成氧化保護層，且具良好導熱性)
- 銅材較難施工(因具高導熱性)

硬焊(銅焊)，軟焊(錫焊)：基材本身並未熔化，而是將熔化的焊料施作於要接合的焊件上完成接合

- 可適當的使用助焊劑以減少表面氧化
- 對鋁合金非常難施工(表面氧化層)
- 當使用在不銹鋼件與銅件接合時常使用真空銅焊的方式

膠合：環氧樹脂，三秒膠等……適用於小零件



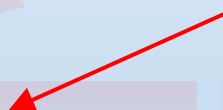


焊接注意事項

焊接過程中因會經歷極大的溫差而可能導致嚴重的收縮變形

$$\Delta T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \alpha \Delta T > 1.7 \times 10^{-5} \times 1000 = 1.7\%$$

焊接處

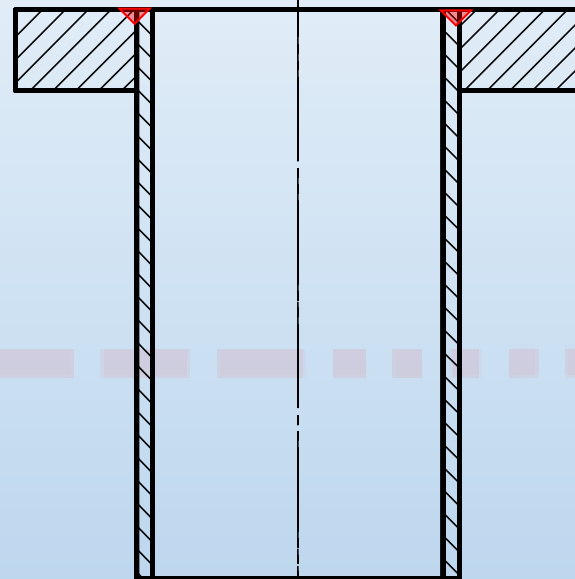
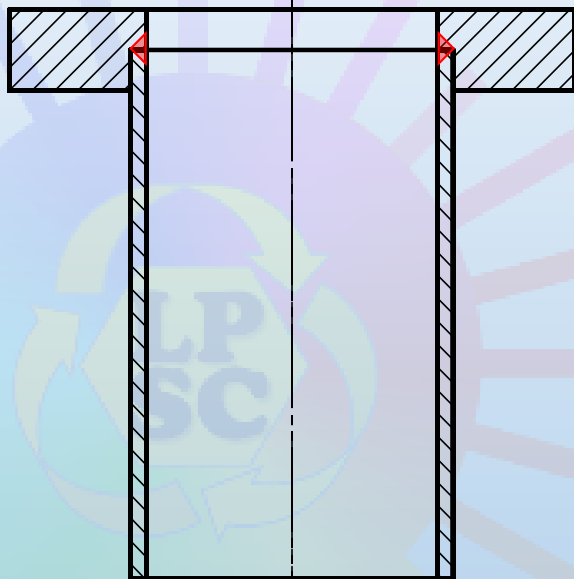


焊接後可能因焊接處的收縮變形導致焊接件的歪斜





焊接點接合處設計



較不易歪斜





超音波清洗機使用方法

- 清洗前：先將待清洗原件細部分解，並將其標籤紙去除，再以去漬油（或工業級甲醇）清除元件上之黏漬及油污。
- 清洗時：將細小元件放入洗衣袋內，大型元件則放在清洗機內部即可，倒入一瓶蓋的冷洗精，再放入清水至清洗機八分滿，轉動定時開關至10-15分鐘，清洗完畢後將水倒掉，再放入清水重複清洗10-15分鐘，共兩次。
- 清洗後：先用擦拭紙將多餘水分擦拭乾淨，再用吹風機吹乾，方可使用





如何變成高手？

- 多看機械設計圖
- 多練習機械設計
- 進工廠磨練製作技術
- 承包實驗室機械設計工作





參考資料

- 中央研究院原子與分子科學研究所暨國立中央大學物理系，強場物理與超快技術實驗室 暑期新生訓練講義。
<http://hfp.phy.ncu.edu.tw/訓練/暑期新生訓練>
- Solidworks: <https://www.solidworks.com/>
- Onshape: <https://www.onshape.com/en/>
- KEYENCE 幾何公差基礎量測Know-how
<https://www.keyence.com.tw/ss/products/measure-sys/gd-and-t/>
- 國立成功大學機械系機械專題實作

