

科學圖書大庫

機械與精密儀器工程之度量及校正

譯者 顏政雄

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

機械與精密儀器工程之度量及校正

譯者 顏政雄

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年四月二十日初版

機械與精密儀器工程之度量及校正

基本定價 3.40

譯者 顏政雄 中正理工學院副教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
7815250號

發行者 財團法人臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第15795號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

譯 序

近代工程中，互換裝配漸被重視，涉及度量工程的人員亦隨着增加。此書簡潔地敘述各種度量方法與工具，及其最佳適用領域，儘可能避免煩瑣的理論，度量方法亦以常用者為主，誠為度量工程師及相關人員良好參考指南。

書中所述物理基礎，乃欲瞭解度量方法與度量儀器不可或缺者。由於度量精密度的要求逐日昇高，故誤差與其定限的描述，極為詳盡。

國內正在發展精密工業的呼聲中，此書的適時翻譯，譯者冀能有所貢獻。

顏政雄序

目 錄

譯 序	III
-----	-----

第一章 度量基礎 1

1.1. 基本概念	1
1.1.1. 檢驗	1
1.1.2. 度量	1
1.1.3. 校正	3
1.2. 度量單位	4
1.2.1. 公尺	4
1.2.2. 碼	5
1.2.3. 角度單位	5
1.3. 光學	5
1.3.1. 基本定律 (反射, 折射)	5
1.3.2. 幾何光學和光學儀器之基本型 (遠心光程)	10
1.3.3. 照明, 集於焦點, 視差	15
1.3.4. 光波學, 干涉	18
1.3.5. 度量目鏡	19
1.4. 度量誤差與其考慮因素	22
1.4.1. 誤差種類	23
1.4.2. 不精確度	42

1.4.3. 最終結果與度量不準度	44
1.4.4. 度量工程原則	50
1.4.5. 溫度因素	54
1.4.6. 壓扁誤差	57
1.4.7. 誤差續植之特殊情況	61
1.4.8. 誤差續植之例	64
1.4.9. 眼睛視力	68
1.5. 精密度量儀器之記號	70
1.5.1. 精密度量儀器之數據	70
1.5.2. 數據說明	72

第二章 互換裝配 79

2.1. 標準數	79
2.2. ISA- 配合	81
2.2.1. ISA- 公差系統	81
2.2.2. ISA- 配合系統	84
2.2.3. 量規界限尺寸系統	85
2.3. 特殊配合	93
2.3.1. 選對配合	93
2.3.2. 個別配合, 配合研磨	94

第三章 長度度量..... 96

3.1. 尺寸..... 96

3.1.1. 線標準..... 96

3.1.2. 頂端標準..... 98

3.2. 量規..... 102

3.2.1. 形狀量規..... 103

3.2.2. 尺寸量規..... 104

3.2.3. 配對量規..... 106

3.2.4. 界限量規..... 106

3.2.5. 量規之應用..... 112

3.3. 度量工具..... 113

3.3.1. 板與直尺..... 113

3.3.2. 指示度量儀..... 115

第四章 角度度量..... 161

4.1. 角標準..... 162

4.2. 間接角度量..... 165

4.3. 角度量儀..... 167

4.3.1. 水平儀..... 167

4.3.2. 測角儀..... 168

4.3.3. 分度頭..... 169

4.3.4. 度量顯微鏡..... 173

4.3.5. 望遠鏡與照準儀..... 173

4.4. 錐度量..... 176

第五章 特殊度量法..... 181

5.1. 螺紋度量..... 181

5.1.1. 螺紋..... 181

5.1.2. 特性尺寸..... 181

5.1.3. 度量方法..... 183

5.1.4. 量規..... 191

5.1.5. 錐螺紋..... 194

5.2. 齒輪度量..... 195

5.2.1. 齒輪特性..... 196

5.2.2. 度量法..... 210

5.3. 表面檢驗..... 282

5.3.1. 基本觀念..... 282

5.3.2. 表面檢驗之方法與 儀器..... 286

5.3.3. 標準化..... 299

第六章 度量之法定規則與 等級檢驗及一保證之基礎 304

德意志民主共和國一與專科 範圍標準目錄..... 307

公式符號與觀念..... 312

參考文獻..... 319

圖源文獻..... 326

名詞對照..... 328

第一章 度量基礎

度量意義與目的係將物理大小以數值標示。於主要對固體度量的精密度量工程中，其目的是將被測量，檢定物的狀態以數值標出。每次度量除了標出儀器度量值外，最重要的是度量值精確度的註釋。由度量具讀取微公尺或更小的數值並不難，但要保證其正確性却是相當難。因此在度量工程的開端有句話：「僅讀取數值並非度量」。

1.1. 基本概念

度量概念係大小觀念的說明。

1.1.1. 檢 驗

對檢驗結果的敘述便是鑑定。

檢驗是鑑定被檢驗物滿足規定或要求條件—尺寸、形狀、狀況、表面度等—通常需要一評語。檢驗者（大多是度量技術人員）僅確定被檢物的性質被檢物是否滿足規定或要求條件—尺寸、形狀、狀況、表面等—；至於有關被檢物可用性的評語一般由上層單位依據某些要點（如製造技術、經濟觀點）加以判定，（在某些情況下仍可委託具專門知識的檢驗者）。因此評論中鑑定意見與檢驗報告遂有區別，檢驗報告只含檢驗結果。

依欲確定性質不同可將檢驗分為尺寸及非尺寸檢驗。

尺寸檢驗即標出適當的大小或量（如直徑 = $30.467\text{mm} \pm 2\mu\text{m}$ ），非尺寸檢驗則以適當的性質或質表示（如具保護層或不撕裂）；「大於」「小於」也可表示適當的大小。

尺寸檢驗是尺寸比較，可分度量（含估計）和校正。

非尺寸檢驗是觀察檢驗，藉觀察，感覺，聽力與客觀的比較性質做比較

1.1.2. 度 量

2 機械與精密儀器工程之度量及校正

度量乃同類兩個大小的比較。此為 1700 年前新柏拉圖學派的普洛地諾斯 (Plotinos) 所定義，這定義依然適合於今，然可更精確定義如下：度量乃將欲度量之尺寸 (度量值) 與同類已知尺寸 (度量單位) 作數值上的比較。度量結果則以物理或工程單位的數值或適當的相關數值標示。

度量儀器 (度量器，標準器，量規，度量裝置) 至少需有一度量單位或標準尺寸以供依據。

度量過程包括觀察刻度上指示器 (指針，光點，線交叉處等)，調整，讀取。指針不指在劃線上面而落在兩劃線之間時，得將其間隔潛意識分成若干等分 (4 或 5 或 10)，依此細等分讀取可得較精確值，如此謂之估計。(如刻度上附有游標，則由游標讀取細等分)。

度量過程常有把握程度的不同 (如由讀取大刻劃與估計細等分而確定刻度上指針)，每度量值遂因度量過程不完美而有誤差 (1.4.9 節)。

精度量具量得大小謂度量值，一般是指針起點與終點之差；由多次度量讀取指針起點與終點平均數值的差亦是度量值 (精確言之為平均度量值)。度量所得的大小或度量數與度量單位的乘積即度量值。

原則上度量值含系統與偶然誤差 (參 1.4.1.1. 和 1.4.1.2. 節)，故僅表欲度量大小的原值；最終結果 (終值) 則不許含已知的系統誤差，只含一包括未知系統—與總偶然誤差的誤差值 (參 1.4.1.2. 和 1.4.3. 節)。

度量長度、面積、體積時，度量值需附上測量使用之單位如度量單位或其倍數或其分數 (米尺，頂端標準，綜標準等)。

度量用以確定實際尺寸，即物體真正的尺寸。理論尺寸指物體依規定應該有的尺寸 (設計圖上的尺寸)，標稱尺寸則用以計算偏差尺寸的依據。(校正時，理論尺寸以此偏差尺寸為依據)。標稱尺寸一般是圓整的尺寸，用以標示物體的大小；界限偏差是界限尺寸 (最大尺寸，最小尺寸) 與標稱尺寸之差；實際偏差則是實際尺寸與標稱尺寸之差；實際尺寸與實際偏差含誤差，理論尺寸，標稱尺寸，界限尺寸和界限偏差則無 (參 2.2.1. 節)。

原則上一被檢驗物，一般是度量值 L ，或直接度量：例安放一把尺或應用有指示標的度量儀器量之；或直接度量其與標準樣品長之差 Δ ，則 $L = N + \Delta$ ， Δ 為 $(L - N)$ 與度量單位的乘積，此法稱差度量，與直接度量別之。

從前以“絕對度量”表直接度量，“比較度量”表差度量，應避免，蓋絕對意完全無誤度量，純不可能，另者，凡度量皆比較。

不均勻性的度量為一特殊的差度量，標準具與欲測量各部或其平均值比

較（例齒輪齒厚不均勻性度量，以標準具度量其平均值）。

歸零與不歸零之直接度量，其度量值分別由度量儀器指標讀取（或紀錄得）或度量前後指標值之差而得。差度量之度量值為被檢驗物與標準具值之差。因此儀器經常需兩次較準：直接度量是歸零及終端較準，差度量則為標準具與被檢驗物之較準。

別於直接與差度量，間接度量係由一直接度量或一差度量所得的一個或數個輔助尺寸得之。欲得之值經由解輔助尺寸之函數而得（例以三線法由量得檢驗尺寸，量得螺距，螺紋角與量線直徑定螺紋齒腹直徑，參5. 1. 3.

1節）。間接量法欲得之值 x 一般與量值 $y_1, y_2, \dots$ 之關係如下

$$x = f(y_1, y_2, \dots) \quad (1.1)$$

此函數須由幾何或物理關係導得。

間接量法中，欲求之值由已知數學關係與量值求得。差度量依簡單關係 $L = N + \Delta$ 算得，嚴格言之，亦是一間接量法，因實際應用廣泛，差度量遂不為間接量法包括。

估計與估定僅當度量的補充方法。估計或估定是將欲估計或估定大小與一同類已知大小比較。尤其估計是當指針立於劃線中間時，等分線間隔而估計得值。估定則將欲估計值（如距離）與已知長度比較而估計之，估定值太不精確，不具互換性。

1.1.3. 校正

校正是尺寸的檢驗，檢驗所規定之界限適合否。校正是利用一不含指針特定的檢驗量規（如外徑規，螺紋規，參3. 2. 4.），測得並非數值，而是“大於（小於）”，藉此種校正可檢驗是否符合要求；要求界限可以數字或符號在量規上標示最大，最小值。校正可有型、尺寸和配對校正。

型校正用以檢驗樣品形狀，以儘可能理想的相對型規檢驗之。尺寸校正（單獨檢驗）檢驗單一度量值（如孔深，離某點距離）與其實際尺寸是否符合，超過或不及規定界限。配對校正（作用檢驗）檢驗成對樣品其實體（軸）是否低於，其空體（孔）是否高於規定界限，其界限依應用目的（作用）由相對型規而定（如以理想相對型規依成對方式檢驗孔及螺紋）。

配對校正用量規之尺寸、形狀皆完美，可與形狀不完美的檢驗物無需耗力仍可配合。

與全被包覆的對件成雙的工作件（如軸與孔），欲具互換性則使用界限

4 機械與精密儀器工程之度量及校正

校正。界限校正是尺寸的檢驗，配對尺寸與所有實際尺寸是否合於規定界限。泰勒氏 (Taylor) 公理適於成對可能性的檢驗，良檢驗作為配對校正，其他檢驗當尺寸校正。配對校正 (檢驗成對可能性) 以理想，含允許尺寸的配對規實施之；尺寸校正 (檢驗其他界限尺寸) 則以點接觸檢驗，或用刻有允許的其他理論尺寸或用附有指標量具，最佳尺寸校正是單獨地檢驗各獨立試件之實際尺寸。

1.2. 度量單位

度量需有精確定義之度量單位；目前有公制及英制兩種，英制將漸被淘汰。

欲瞭解不同種單位的起源則要追溯遠古，起源不同，有以特殊建築物 (廟、宮殿) 某部長度為基準，有以名人身體的尺寸或自然的尺寸，如穀的尺寸為基準。身體的尺寸一般以尺骨，足，兩臂，單和雙腳步為基準。由於沒有共同基準，單位名稱相同却有不同的大小，頗為混亂；至一七九一年方由法國國家博物館製一供依據的長度單位，隨時可複製的公尺 (如圖 1. 1.)，才結束混亂的狀況。

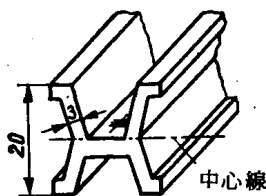


圖 1-1 原尺

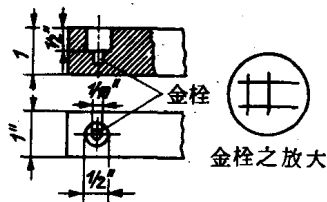


圖 1-2 皇家標準碼 (劃線由青銅做成)

1.2.1. 公尺

公尺的定義經多次變更後於一九六〇年第十一屆國際度量衡會議宣佈為“公尺等於氦-86原子於其能階 $2P_{10}$ 和 $5d$ 間轉換時真空輻射波長的 1650763.7 倍”。公尺於是成為一自然常數，昔日製成的鉑-鈱標準尺則成多餘，雖然如此，仍被慎重地存放在不雷托 (Breteuil) 的陳列館。第七屆國際公尺協定會議 (一九二七年) 已定紅色鎳線 ($1 \text{ 公尺} = 1553164.13 \lambda_{Ca}$) 為工業長度測量標準，專為平行-頂端標準用；於第十二屆會議時，

更提議氪86，汞 198和鎘 133 當附屬標準。公尺長度以恩格哈 (Engelhard) 製成氬燈展示，其相對誤差為 10^{-8} ；橙色氬線之光線同調長度僅為 0.8 公尺，故在巨斯得 (Köster) 氏干涉稜鏡的量具上，一公尺只能以 0.5 公尺的兩倍表之。

1.2.2. 碼

現今多數英語系國家採用碼當長度的基本單位 (圖 1. 2.)。在建立國際度量單位系統過程中，碼漸失其意義。尤其當印度於一九五六年，英國於一九六五年決定日常生活採用公制後，影響更大，且部份已實行。工業長度測量中，吋 (碼的三十六分之一) 具重要性；碼與吋在英國與美國原先就不一致，此不一致已由澳洲、英國、北愛爾蘭、加拿大、紐西蘭、北非聯盟與美國之度量衡局決議去除，並且一九五九年七月一日起將工業精密測量用碼一致定為 0.9144 公尺 (正)，1 吋 = 25.4 公厘 (整)。英國及美國均已將碼單位當做原尺，單位換算依 TGL 0 - 4890 與 0-4892 標準。

1.2.3. 角度單位

角度單位標準器的製造誠屬多餘，因任何時間均可繪得一角度；角度之不同分法，以致成不同單位，將於 4. 1 節詳述之。

1.3. 光 學

1.3.1. 基本定律 (反射、折射)

此節並非要介紹所有物理與幾何光學定律，有興趣者可參考本書後面所列之特殊文獻 [9] [57] [100] 此處僅將與度量工程有關之重要定律重提一下，並將幾個與度量技術、儀器有關的光學裝置做進一步的討論。

當光線射至物體上，一部份被反射，一部份穿進物體；反射與穿進光線之比因物體而不同。反射依表面光滑、粗糙有關，由粗糙面反射者，稱擴散反射；由光滑面反射者，光線亦有偏轉，但無散射，此偏轉現象可依據幾何光學第一基本定律描述之；此定律：入射光線與平面法線所夾角度等於平面法線與反射光線的夾角；入射，反射光線與法線同在一平面上，此兩光線對換時亦適用。

表 1.1 吋—公厘換算表

換算值：1 吋 = 25.4 公厘 (mm)

基準溫度：68 °F = 20 °C

吋			公厘	吋			公厘
1/64		0,015625	0,396875	33/64		0,515625	13,096875
	1/32	0,031250	0,793750		17/32	0,531250	13,493750
3/64		0,046875	1,190625	35/64		0,546875	13,890625
	1/16	0,062500	1,587500		9/16	0,562500	14,287500
5/64		0,078125	1,984375	37/64		0,578125	14,684375
	3/32	0,093750	2,381250		19/32	0,593750	15,081250
7/64		0,109375	2,778125	39/64		0,609375	15,478125
	1/8	0,125000	3,175000		5/8	0,625000	15,875000
9/64		0,140625	3,571875	41/64		0,640625	16,271875
	5/32	0,156250	3,968750		21/32	0,656250	16,668750
11/64		0,171875	4,365625	43/64		0,671875	17,065625
	3/16	0,187500	4,762500		11/16	0,687500	17,462500
13/64		0,203125	5,159375	45/64		0,703125	17,859375
	7/32	0,218750	5,556250		23/32	0,718750	18,256250
15/64		0,234375	5,953125	47/64		0,734375	18,653125
	1/4	0,250000	6,350000		3/4	0,750000	19,050000
17/64		0,265625	6,746875	49/64		0,765625	19,446875
	9/32	0,281250	7,143750		25/32	0,781250	19,843750
19/64		0,296875	7,540625	51/64		0,796875	20,240625
	5/16	0,312500	7,937500		13/16	0,812500	20,637500
21/64		0,328125	8,334375	53/64		0,828125	21,034375
	11/32	0,343750	8,731250		27/32	0,843750	21,431250
23/64		0,359375	9,128125	55/64		0,859375	21,828125
	3/8	0,375000	9,525000		7/8	0,875000	22,225000
25/64		0,390625	9,921875	57/64		0,890625	22,621875
	13/32	0,406250	10,318750		29/32	0,906250	23,018750
27/64		0,421875	10,715625	59/64		0,921875	23,415625
	7/16	0,437500	11,112500		15/16	0,937500	23,812500
29/64		0,453125	11,509375	61/64		0,953125	24,209375
	15/32	0,468750	11,906250		31/32	0,968750	24,606250
31/64		0,484375	12,303125	63/64		0,984375	25,003125
	1/2	0,500000	12,700000		1	1,000000	25,400000
10"	= 254,0 mm						
1"	= 25,4 mm						
0,1"	= 2,54 mm						
0,01"	= 0,254 mm = 254 μm						
0,001"	= 0,0254 mm = 25,4 μm						
0,0001"	= 0,00254 mm = 2,54 μm						
0,00001"	= 0,000254 mm = 0,254 μm = 254 nm						
0,000001"	= 0,0000254 mm = 0,0254 μm = 25,4 nm						

表 1.2 公厘—吋換算表

換算值：1 厘米 (mm) = 0.03937 吋 (Zoll)

基準溫度：20 °C = 68 °F

公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋
-	-	0,35	0,01378	0,80	0,03150	-	-	45	1,77165
0,001	0,00004	0,36	0,01417	0,81	0,03189	1	0,03937	46	1,81102
0,002	0,00008	0,37	0,01457	0,82	0,03228	2	0,07874	47	1,85039

公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋	公厘	吋
0,003	0,00012	0,38	0,01496	0,83	0,03268	3	0,11811	48	1,88976
0,004	0,00016	0,39	0,01535	0,84	0,03307	4	0,15748	49	1,92913
0,005	0,00020	0,40	0,01575	0,85	0,03346	5	0,19685	50	1,96850
0,006	0,00024	0,41	0,01614	0,86	0,03386	6	0,23622	51	2,00787
0,007	0,00028	0,42	0,01654	0,87	0,03425	7	0,27559	52	2,04724
0,008	0,00031	0,43	0,01693	0,88	0,03465	8	0,31496	53	2,08661
0,009	0,00035	0,44	0,01732	0,89	0,03504	9	0,35433	54	2,12598
-	-	0,45	0,01772	0,90	0,03543	10	0,39370	55	2,16535
0,01	0,00039	0,46	0,01811	0,91	0,03583	11	0,43307	56	2,20472
0,02	0,00079	0,47	0,01850	0,92	0,03622	12	0,47244	57	2,24409
0,03	0,00118	0,48	0,01890	0,93	0,03661	13	0,51181	58	2,28346
0,04	0,00157	0,49	0,01929	0,94	0,03701	14	0,55118	59	2,32283
0,05	0,00197	0,50	0,01969	0,95	0,03740	15	0,59055	60	2,36220
0,06	0,00236	0,51	0,02008	0,96	0,03780	16	0,62992	61	2,40157
0,07	0,00276	0,52	0,02047	0,97	0,03819	17	0,66929	62	2,44094
0,08	0,00315	0,53	0,02087	0,98	0,03858	18	0,70866	63	2,48031
0,09	0,00354	0,54	0,02126	0,99	0,03898	19	0,74803	64	2,51969
0,10	0,00394	0,55	0,02165			20	0,78740	65	2,55906
0,11	0,00433	0,56	0,02205			21	0,82677	66	2,59843
0,12	0,00472	0,57	0,02244			22	0,86614	67	2,63780
0,13	0,00512	0,58	0,02283			23	0,90551	68	2,67717
0,14	0,00551	0,59	0,02323			24	0,94488	69	2,71654
0,15	0,00591	0,60	0,02362			25	0,98425	70	2,75591
0,16	0,00630	0,61	0,02402			26	1,02362	71	2,79528
0,17	0,00669	0,62	0,02441			27	1,06299	72	2,83465
0,18	0,00709	0,63	0,02480			28	1,10236	73	2,87402
0,19	0,00748	0,64	0,02520			29	1,14173	74	2,91339
0,20	0,00787	0,65	0,02559			30	1,18110	75	2,95276
0,21	0,00827	0,66	0,02598			31	1,22047	76	2,99213
0,22	0,00866	0,67	0,02638			32	1,25984	77	3,03150
0,23	0,00906	0,68	0,02677			33	1,29921	78	3,07087
0,24	0,00945	0,69	0,02717			34	1,33858	79	3,11024
0,25	0,00984	0,70	0,02756			35	1,37795	80	3,14961
0,26	0,01024	0,71	0,02795			36	1,41732	81	3,18898
0,27	0,01063	0,72	0,02835			37	1,45669	82	3,22835
0,28	0,01102	0,73	0,02874			38	1,49606	83	3,26772
0,29	0,01142	0,74	0,02913			39	1,53543	84	3,30709
0,30	0,01181	0,75	0,02953			40	1,57480	85	3,34646
0,31	0,01220	0,76	0,02992			41	1,61417	86	3,38583
0,32	0,01260	0,77	0,03031			42	1,65354	87	3,42520
0,33	0,01299	0,78	0,03071			43	1,69291	88	3,46457
0,34	0,01339	0,79	0,03110			44	1,73228	89	3,50394
90	3,54331	100	3,93701	150	5,90551	200	7,87402	300	11,81102
91	3,58268	105	4,13386	155	6,10236	210	8,26772	310	12,20472
92	3,62205	110	4,33071	160	6,29921	220	8,66142	320	12,59843
93	3,66142	115	4,52756	165	6,49606	230	9,05512	330	12,99213
94	3,70079	120	4,72441	170	6,69291	240	9,44882	340	13,38553
95	3,74016	125	4,92126	175	6,88976	250	9,84252	350	13,77953
96	3,77953	130	5,11811	180	7,08661	260	10,23622	360	14,17323
97	3,81890	135	5,31496	185	7,28346	270	10,62992	370	14,56693
98	3,85827	140	5,51181	190	7,48031	280	11,02362	380	14,96063
99	3,89764	145	5,70866	195	7,67717	290	11,41732	390	15,35433
10 mm	= 0,3937"	0,001 mm (1 μ m)	= 0,00003937"						
1 mm	= 0,03937"	0,0001 mm (0,1 μ m)	= 0,000003937"						
0,1 mm	= 0,003937"	0,00001 mm (0,01 μ m)	= 0,0000003937"						
0,01 mm (10 μ m)	= 0,0003937"	0,000001 mm (1 nm)	= 0,00000003937"						

此外一面鏡子轉動角度 γ 時，則入射光線之偏轉角度 δ 為 2γ ，等於鏡子傾斜角度的兩倍；置一可轉動的鏡子於一固定鏡子對面時，成多次反射，偏轉可更大；圖 1. 3. 即示雙反射的例子。

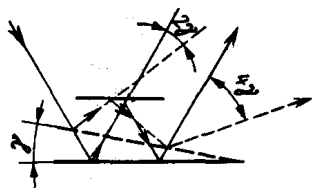


圖 1-3 雙反射

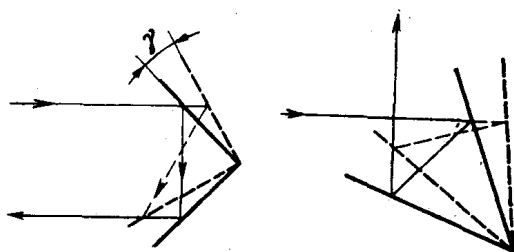


圖 1-4 角鏡

一物體置於一平面鏡前即形成大小 1 : 1 的虛像於鏡後，虛像與鏡面距離等於物體與鏡面距離；平面鏡形成像不生像差，此優點使得平面鏡適用於度量工程中，稜鏡則有像差。置另一面鏡，使其法線與第一面鏡法線同在一平面上時，可將鏡後的像又形成於鏡前。角鏡（圖 1. 4.）亦是度量上應用的裝置。角鏡可有不同的偏轉並具特殊性質，固定角尖時，角鏡的轉動不改變反射線的方向。

當光線射到物體上時，不僅產生反射，而且部份光線射入物體，射入光線的多寡視物體的透明度而別；一透明物體之 $R + D + A = 1$

R ：反射率

D ：穿透率

C ：吸收率

透明指光線可穿透的物體，於其內部，光線不被散射；光線穿進時，物體是透明的。依透明度可分光疏與光密物體，視其光速大於或小於空氣中的光速；一般應用光學介質中，最疏的是空氣。當光線由一介質穿入另一介質時，其方向並非保持不變，而是被折斷，這現象可由幾何光線第二基本定律描述之，折射定律：光線由光疏介質進入光密介質時，光線被折向法線；入射光線，法線和折射光線共在一平面上；任何介質其入射角 ϵ 的正弦與折角 ϵ' 的正弦之比為常數，此常數以 n （折射數，折射係數，折射率）表之；

$$\frac{\sin \epsilon}{\sin \epsilon'} = \text{常數} = n$$

依此定律當光線路程反過來時，光線由光密進入光疏介質時，則折離法線，此現象維持至折射角為 90° ，即 $\sin \epsilon' = 1$ ，當入射角再大時，則光線不再由光密進入光疏介質，僅生反射，稱全反射；全反射第一次發生時之入射角度稱全反射界限角。物體周圍若為空氣（折射係數 $n = 1$ ）時

$$\sin \epsilon^* = \frac{1}{n}$$

光學中重要的兩種玻璃具全反射角

冕牌玻璃（ n 平均 = 1.5163） $\epsilon^* = 41^\circ 16'$

火石玻璃（ n 平均 = 1.6200） $\epsilon^* = 38^\circ 07'$ ；

冕牌玻璃早期在圖片形製成前，均是冕形，因而得名。火石玻璃名稱源自其取代一般石英砂而當火石，後來火石玻璃以熔解高純度氧化鉛而成，故今日稱含鉛玻璃為火石玻璃，不含鉛則為冕牌玻璃。

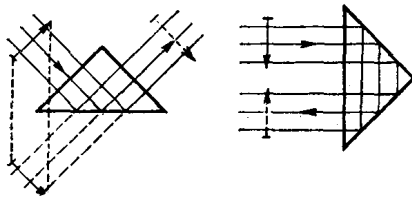


圖 1-5 全反射稜鏡

比之反射，全反射不生損失，全反射稜鏡（圖 1.5）常被用於光線之折屈；此外不生全反射之角之稜鏡面以金屬塗層，反射損失如同面鏡一樣，但稜鏡之鏡面位置穩定且易調整。

常用的稜鏡型式其面有當穿透，有當全反射用，以及由穿透與全反射組成當反射面（圖 1.6）。。

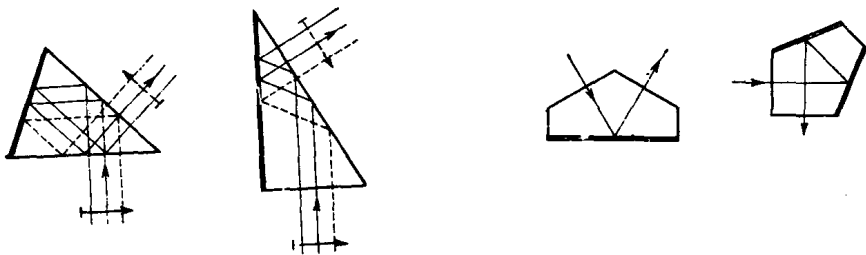


圖 1-6 具不同反射面之稜鏡

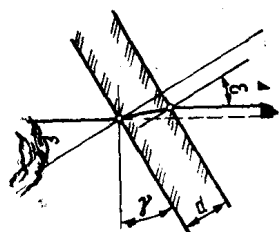
傾斜角 γ = 入射角 ϵ

圖 1-7 平行平面鏡片之光線位移

根據折射定律，斜的入射光線於平行平面鏡片不生方向改變（ $\epsilon = \epsilon'$ ），只生一位移 v 。這事實被應用於測量工程（比較如第 3.3.2.9 節，直線式望遠鏡前置平面鏡面）。另方面如需方向改變，則可穿進一楔形鏡片或一稜鏡。

一束白光斜射入一稜鏡時，光線近似對稱穿透時，不僅被偏向，而且顏色被分散，俗稱色散；此現象說明光線之偏向依入射角，介質光密度與入射光線之波長有關，短波光線比長波生較大偏向，藉此現象吾人可產生單色光線，光線具單一波長者（干涉比測儀之度量技術應用，第 3.3.2.8 節）。

應用上述兩基本定律可製成各種平面，凸，凹面鏡和透鏡之型式，依其個別特性可結合組成而達特定之任務。

1.3.2. 幾何光學和光學儀器之基本型(遠心光程)

精密度量工程中，凹鏡應用較少，吾人將局限於透鏡並研討其各種型式和用途。

1.3.2.1. 透鏡 透鏡是光學要件，可將物體成像和改變像尺寸；均為球面，球面較易製造；由於球形和材料之影響，使得透鏡成像不完美而生像差，以像錯，像散，色差，像場彎曲，球面像差示出，這些均可以不同曲率 and 不同玻璃組（不同折光力 n ，不同的色散）之透鏡技巧配合而校正之。下面的研討基於簡單之理想比例。

1.3.2.1.1. 透鏡型式 透鏡型式（圖 1.8）有雙凸，平凸和凹凸透鏡，雙凹，平凹和凸凹透鏡。凸透鏡之中間部份比邊緣厚，會聚光線；相對的，凹透鏡邊緣部份比中間厚，發散光線；凸透鏡可成實像和虛像，凹透鏡只成虛像。

1.3.2.1.2. 主要點 每透鏡依三成雙點稱主要點定義之，即

- (a) 主點
- (b) 節點

(c) 焦點。

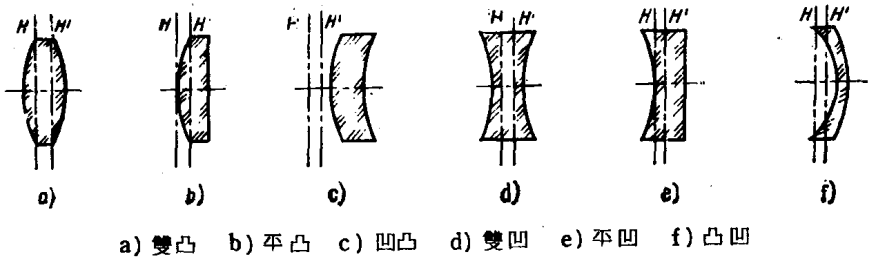


圖 1-8 透鏡之型式和主點位置

這些點位於透鏡光軸上，此為一假想直線，即透鏡外圍球面中點連線，為一致起見，透鏡左邊當實物空間，透鏡右邊當像空間；這些點分佈於此兩空間。

主點類似力學之重點，透鏡重點顧及折射力，球面之半徑愈小，其折射力愈大，反之亦是，圖 1.8 中， H 是實物空間， H' 是像空間之主點；透鏡對稱時，主點位置亦對稱，當球面對稱不等時，主點移向大折射力之面，且如圖示，可移出球面外。

置於空氣中之透鏡，其節點與主點一致；當一束光線穿經透鏡時，在透鏡面進，出處之切線平面互平行，因此光線僅平行地被位移，如同穿經一相當之厚度的平行平板（圖 1.9）；延長光線與軸交點稱節點 K_1 與 K_2 。

會聚透鏡的焦點係來自無限遠的，與軸平行，接近軸的光線，穿過透鏡後之交點（圖 1.10 和 1.11）。由左邊射進的光線，其像焦點 F' 在鏡右邊，另一實物焦點 F 位於其左邊；由焦點至所屬主點距離稱焦距（ f 和 f' ），焦距的倒數稱透鏡的折射力 D 。

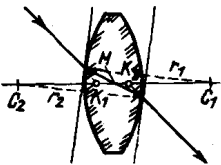


圖 1-9 有限厚透鏡節點

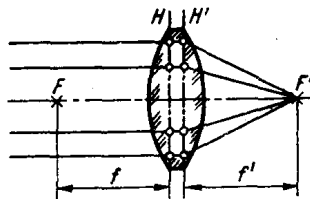


圖 1-10 雙凸透鏡焦點

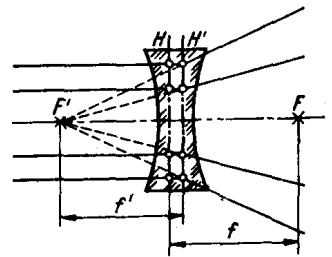


圖 1-11 雙凹透鏡焦點位置