

光学计算入门

德国 R. 柏格 原著

郭惠申 何庚荣 編譯

測繪出版社

光學計算入門

德國 R. 柏·格 原著
郭惠申 何庚榮 編譯

測繪出版社

1959·北京

具有中等及中等以上程度，从事于光学仪器制造和经常在用光学仪器的工作者，常常苦于找不到一本可作为自修用的光学计算书籍。本书针对上述情况，由浅入深地介绍了几何光学的理论、计算方法 and 图解方法，并且为了适合于自修起见，列举了很多切合实用的例题和详细的解答。

本书主要是根据德国柏林高斯工专 R. 柏格博士 (Dr. Ing. R. Berger) 所著的光学计算及图解入门 "Einführung in das optische Rechnen und Zeichnen" 一书编译而成，曾作了必要的增删和补充。

本書由郭惠申，何庚榮二人編譯。

光 学 計 算 入 門

著 者	德 國 R. 柏 格
編 譯 者	郭 惠 申 何 庚 榮
出 版 者	測 繪 出 版 社
	北京西四羊市大街地質部內
	北京出版局出版登記證出字第 011 号
發 行 者	新 華 書 店
印 刷 者	崇 文 印 刷 厂

編輯: 何炎文	技術編輯: 李麗如	校對: 白叔鈞
印數: 京 12251—3550 册	1957年9月北京第1版	
開本 31"×23 1/2"	1959年10月第2次印刷	
字數 190,000 字	印張 8 1/2	
定價 (10) 1.10 元		

序 言

在我們的日常生活中，常常要接觸和使用光學儀器及光學零件，或者在不知不覺中應用一些光學方法來解決問題，如果我們具備一定的光學常識，能夠概略地了解所接觸的光學儀器和光學零件的構造及原理，或對它們所產生的現象能作出必要的解釋，那末我們不但會感到非常有興趣，而且在工作上也會有很大的幫助。

尤其是一般從事於光學儀器或精密機械製造的工程師，經常使用光學儀器的測量工程師，計量工作者，以及有關的科學家，醫師和化驗師等；雖然他們並非專業的光學工作者，如果他們缺乏必要的光學知識的話，則在他所從事的工作中，一定會帶來不少的麻煩。

光學儀器上複雜的光學系統和光學零件，必須由光學專家化費很長時間的分析和計算，才能獲得最後結果。這種深入而詳細的分析和計算方法，不是本書所要介紹的，本書僅僅在光學原理和概括的光學計算方面，作一初步的介紹，目的是作為一般非光學專業工作者參考之用，例如從事於光學儀器設計或製造的工程師，取得光學系統的數據後，即可用最適當的方法來安排這些光學零件。

本書主要是根據德國柏林高斯工專 R. 柏格博士 (R. Berger) 所著的光學計算及圖解入門一書編譯的。原書若干印刷錯誤的地方，都作了必要的修正；並且為了提高本書的實用價值，在若干地方作了必要的增刪和補充。

本書承楊時芬、沈泉生、陸照明、陳家萬、岳桂元諸同志在百忙中抽暇制圖，特表謝意。

郭惠中、何慶榮

目 錄

I. 光綫和介質	7
1. 光波概論	7
2. 光綫的四个基本規律	9
3. 光綫依直綫進行規律应用在方向指示器上	11
4. 由重力决定的視綫	12
5. 在磁場中的視綫投影方位	18
II. 光綫在平面上的反射	19
6. 光綫反射的一般現象	19
7. 假設、規則和名称	20
8. 平面鏡的反射	20
9. 簡單的旋轉反光鏡	27
10. 旋轉鏡面鼓	28
11. 測定角度的双鏡	30
12. 用于圖解折射現象的折射規律	35
13. 不相干擾的双眼觀察	36
15. 可以变动夾角的双鏡	38
III. 光綫經過平面后的折射	42
16. 光綫折射通論	42
16. 光綫通过了一对平行臨界面后的位移	46
17. 通过玻璃板所看到的像	49
18. 在一个三棱鏡主切面上的光程	49
19. 最小屈折角	51
20. 稜鏡反射鏡	53
IV. 光綫經過球面后的折射	58
21. 远軸光綫經過球面时的折射	58
22. 近軸光綫經過球面时的折射	60
23. 用变態圖來表示近軸光綫經過球面时的折射	61
24. 焦点的性質	66
25. 焦距的性質	68
26. 折射面的焦点和焦距	68
27. 經過球心的光綫	70
28. 互換定律	73
29. 臨界面的关系倒数及折射力	74

30. 球形臨界面近軸光綫的焦平面及焦距	70
31. 球形臨界面的縱向比例、橫向比例和角度比例	81
32. 几何光学中不定值的計算規則	90
33. 把4-面作为特殊球面來处理	90
V. 球面的反射	91
34. 折射和反射的轉变关系	91
35. 球面鏡近軸光綫的反射公式	92
36. 近軸光綫被球面鏡反射时位置的安排	98
VI. 共軸球面系統上近軸光綫的折射	100
37. 共軸球面系統的縱向放大率	100
38. 共軸球面系統的橫向放大率	101
39. 共軸球面系統的角度放大率	102
40. 共軸球面系統的焦点和主点	103
41. 球面折射系統的代用折射面	105
42. 物方和像方具有不同介質的球面折射系統	106
43. 物方和像方都在空气中的球面折射系統	107
44. 最好的复照尺寸	115
VII. 透 鏡	118
45. 透鏡概述	118
46. 兩边不同介質包圍的厚透鏡	118
47. 在空气中的厚透鏡	122
48. 在空气中的薄透鏡	129
49. 極薄的透鏡	135
50. 眼睛的構造	136
51. 眼的調節能力	137
52. 看远距离的物体	138
53. 看近距离的物体	139
54. 眼睛的分辨能力	140
VIII. 在空气中的两个和几个共軸透鏡	143
55. 光具組的总焦距和总主点位置	143
56. 光具組的代用透鏡	146
57. 远光眼鏡	154
58. 近光眼鏡	157
59. 光闕	158
60. 進光孔及出光孔	160
61. 孔徑比	161
62. 光学仪器的分辨能力	162

63. 关于放大率.....	164
64. 放大鏡的放大率.....	165
65. 望远鏡的放大率.....	166
66. 顯微鏡的放大率.....	168
67. 放大率.....	169
68. 用望远鏡观察时的面亮度.....	172
69. 用望远鏡观察时的点亮度.....	174

IX. 远軸光綫和透鏡誤差

70. 远軸光綫.....	174
71. 球面像差.....	175
72. 彗形像差.....	178
73. 像散.....	179
74. 像場弯曲差.....	181
75. 畸变.....	182
76. 光斑.....	182
77. 色差.....	182

X. 焦点誤差的消除

78. 光学玻璃.....	185
79. 消除两个薄透鏡的色差.....	186
80. 依哈定表計算望远鏡的物鏡.....	195

XI. 光綫投射的三角計算法

81. 近軸光綫投射的計算.....	199
82. 一般入射光綫的計算.....	201
83. 折射面为平面时的計算公式.....	205

附 錄

喻定表

1. 光綫和介質

1. 光 波 概 論

光波是周期性电磁波的一部分。这部分波的特点是可以使人类的眼睛受到感觉。从圖1我們知道这部分波長的范围是不太大的。

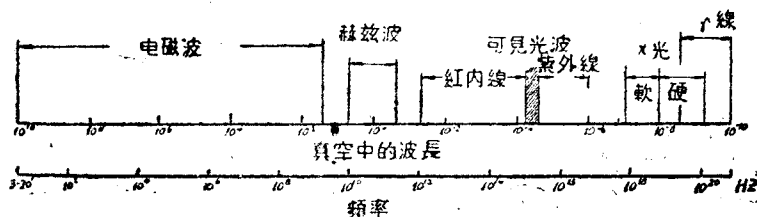


圖 1

僅僅只有画了斜綫的那一部分才是可見光波的范围。圖2表示在这个范围中几种可以很顯然区别的光綫——紅、黃、綠、藍、紫——在空气中的波長，以及几根最重要的弗劳恩霍夫綫的波長和位置。

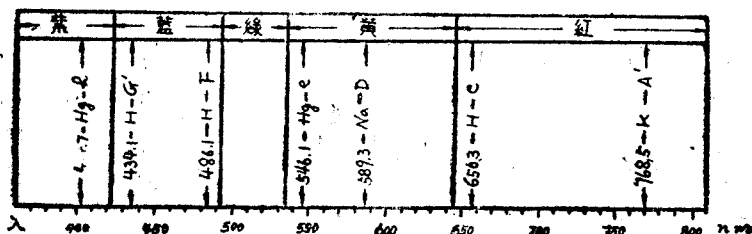


圖 2

正如其他的电磁波一样，光波在各种介質中的特征并不完全相同。这些特征是用下列的符号來表示的：

- λ 波長
- c 光速

$c_0 = 299780$ 公里 / 秒 (这是在真空中的光速)

和介質无关的数值是:

T 振动周期所需用的时间,

$f_n = \frac{1}{T}$ 振动数。它是 T 的倒数, 也是每秒钟的振动数值。

H_z 赫兹, 振动数的单位 = 1/秒。

在任何波长的光波中, 波速和振动数的关系都是如下式:

$$c = \lambda / T = \lambda f_n \quad (1)$$

当光线由第一种介質进入第二种介質的时候 可以得到下列的关系:

$$c_1 / c_2 = \lambda_1 / \lambda_2 = n \quad (2)$$

在第一种介質和第二种介質中的光速和波长是用右下方的小字来区分的, 如 c_1 表示在第一种介質中的光速等。公式中的 n 是折光率。

相对折光率是说光线通过两种介質时, 以第一种介質作为标准所求得的折光率。

绝对折光率是说光线通过两种介質, 而第一种介質是真空时所求得的折光率。

以空气为标准的折光率, 是指第一种介質系空气时所求得的折光率。它和绝对折光率相差很小。

平均折光率, 简称折光率, 是指以空气为标准的黄色钠光的折光率。比较科学一些的说法是: “以弗劳恩霍菲的钠线 D 为标准, 光线由空气进入某一个介質时所得到的折光率。” 钠线 D 在空气中的波长是 $589.3nm$ 。我们可以在圖 2 上大约在中间的位置找到它。 $nm = 10^{-9}$ 公尺。

基于以上所谈的, 可以得到:

$n_0 = 1$ 是真空的绝对折光率。这也就是说第一种和第二种介質都是真空。

$n_{LO} = 1.00029 \approx 1$ 是空气的绝对折光率。这也就是说第一种介質是真空, 第二种介質是空气。

$n_L = 1$ 是以空气为标准时的空气折光率。这也就是说第一种和第二种介质都是空气。

例题(1) 在真空中的光波长度范围是由 $360nm$ 到 $810nm$ 。试求相当的振动数并以 H_s 为单位表示之。

设: $c_0 = 300\,000$ 公里/秒; $\lambda_1 = 360nm$; $\lambda_2 = 810nm$; $1nm = 10^{-9}$ 公尺; $1H_s = 1/\text{秒}$ 。

求: f_{n_1} 及 f_{n_2}

解: 根据公式(1):

$$f_{n_1} = c_0/\lambda_1 = 300\,000 (\text{公里/秒})/360nm = 8.3 \times 10^{14} H_s; f_{n_2} = 3.7 \times 10^{14} H_s。$$

例题(2) 光线在空气中的速度是 $40\,000$ 哩, 在水中的速度是 $30\,000$ 哩, 求水的折光率。

设: $c_1 = 40\,000$ 哩; $c_2 = 30\,000$ 哩。

求: 水的折光率 n 。

解: 依照公式(2):

$$n = c_1/c_2 = 40\,000 \text{ 哩} / 30\,000 \text{ 哩} = 4/3。$$

2. 光线的四个基本规律

在几何光学中是以下列的四个由经验中得来的规律作为基础的。

1. 在同一介质中光线是依直线进行的。
2. 方向不同的光线就是相交也不互相干涉的。
3. 在光线反射的时候, 反射角等于入射角。
4. 在光线折射的时候, 入射角的正弦和折射角的正弦之比值是一个常数。

这四条规律仅仅是物理光学的近似结果。虽然简单, 但是用来解决一般的光学仪器计算和图解中所遇到的问题是足够了。

光线依直线进行的规律可以用下列方法证明。

1. 如图3, 由灯泡内一点所发出的光线, 把一个不透明的物体 S 的影子投影到承影板 W 上去。假若 S 和 W 两个平面是平行的, 那么一个圆形的投影仍然是一个圆影, 而一个方形的投影也仍然是一个

方影。这两个方面積的比例 $q_1 : q_2 = a_1^2 : a_2^2 = e_1^2 : e_2^2$ 。这种結果只有光綫是依直綫進行才能得到。

2. 如圖 4 中所表示的是一个針孔照像机。从物和像相互之間成

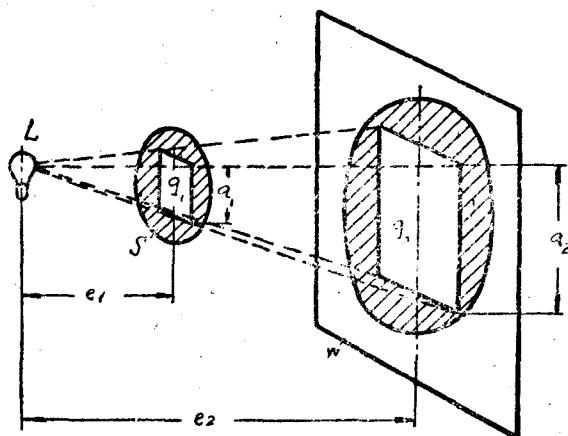


圖 4

比例的情况，也可以說明光綫是依直綫進行的。

圖 5 中的設備是用來証明光綫在方向不同而相交的时候，并不会發生相互干涉的事实。实际上这种情况在世界上随时随地都在發生着。

圖 5 中 L_1 和

L_2 是兩種顏色不同的光綫。当我们僅僅使第一束灯光 L_1 發光，那么可以在牆壁 W_1 上看到一片有一定亮度的光被反射回來。当我们使第二束由 L_2 發出的光綫發光并且与第一束光綫相交，我們可以在牆壁 W_1 上观察到亮度并没有改变。

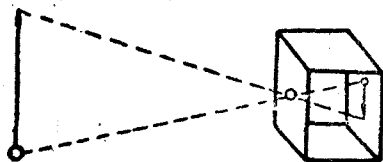


圖 4

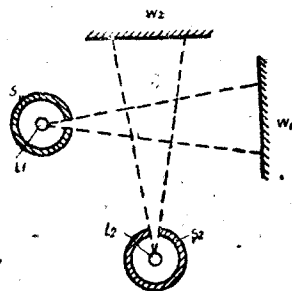


圖 5

关于第三和第四个規律：將要在以后几章中再加以証明。

几何光学中的規律是适合于光綫的一般行动情况。但是以上的几个規律也可以使用在电磁波的其他范圍內，例如紫外綫、紅內綫、声波和地震波的傳播等。

3. 光綫依直綫進行規律应用在方向指示器上

方向指示器或照准器是应用了光綫依直綫進行的規律來設計的。它可以用来直接描准，如在測量儀器望遠鏡筒上的照准器。它也可以用来作間接描准，如在攝影機上的描准器。屬於這一類的，有如圖 6 所示的准星式照准器，照准儀，反光鏡，三稜鏡和望遠鏡等。

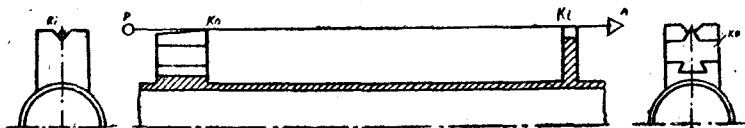


圖 6

(a) 照准儀

圖 7 表示了一種簡單的照准儀。這種型式已經使用過一百多年了。在眼睛 A 和目标 P 之間有接目視板 B 和接物視板 C。為了固定描准

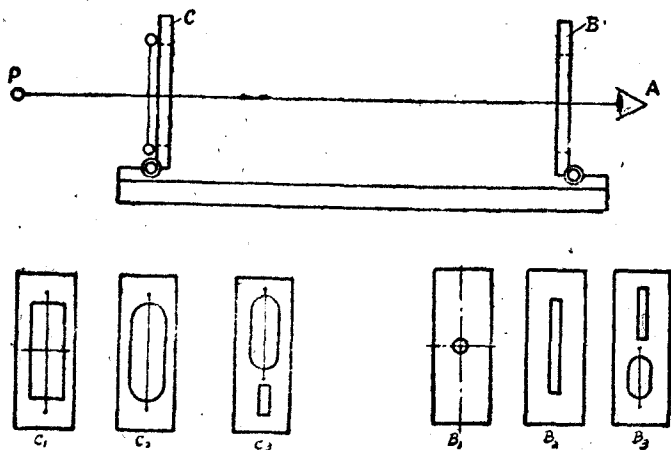


圖 7

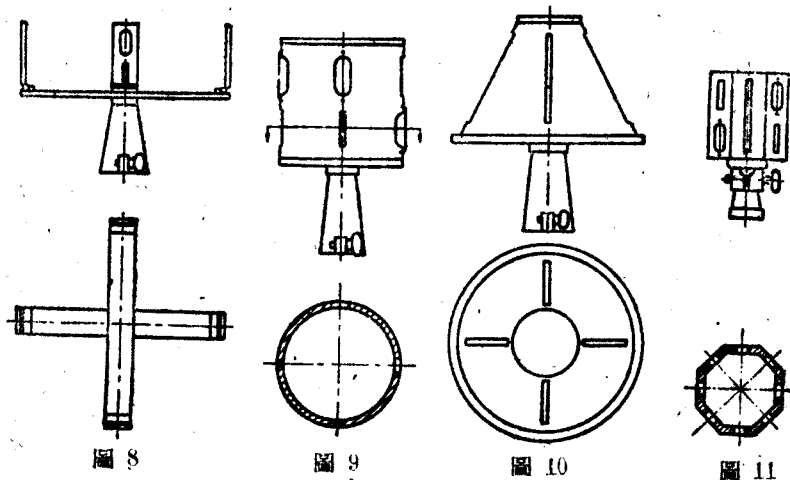
方向起見，在接物視板上用直綫或點做固定記號。點記號一般是用兩條相交的直綫來表示的。直綫的寬度在視野中大約占 $1' \sim 2'$ 。使用的原料一般是馬尾、金屬絲以及嵌在玻璃上刻有凹槽內的漆綫等。在接

目視板方向,为了观测方便起见,往往在視板上开几个直径为 $0.7\sim 1.0$ 公厘的小圓孔。需要直綫的时候則开一条寬 $0.4\sim 0.7$ 公厘的長槽。描准时的方向綫或方向面是被两个視板上的記号所固定了。視綫是指物体和眼球之間的联綫。描准方向是說視綫要与方向綫或方向面重合。

照准仪的缺点是在观测时眼睛必須把两个距离相差很大的物体同时看清楚。这是一个虽然縮小了瞳孔仍然不可能达到目的的要求。由于我們无法得到需要的清晰度,因而会产生較大的誤差。使用照准仪做方向描准时的精度是 $\pm 7''$ 。

(b) 測角器

圖8是測角架。这是由兩条互相垂直的板条和四个視板組成的。測角器是一个空筒,筒的旁边开了若干必要的縫。它可以成如圖9一样的柱形,可以作成如圖10一样的錐形,也可以作成如圖11一样的八角



錐以及如圖12一样可以轉动的旋轉体。接目視板普通是采用圖7中的 B_2 或 B_3 的型式,接物視板則采用 C_1 或 C_2 的型式。关于要应用到反射和折光的測角器將要在以后各節再加以叙述。

4. 由重力决定的觀綫

假若描准设备必須通过一个水平面或者一个垂直于水平面的垂直

面时，那就意味着我们必须有一种可以决定一个垂直的铅垂线，或者一个通过铅垂线的平面的设备。在这种情况下我们可以使用下列各种与重力有关的方法。

a. 懸掛在一个固定点下的物体重心和这个固定点，在不动的情况下，永远是在一条铅垂线上的。例如垂球。

b. 在联通管中可以相互流通的液体表面是在同一个水平面上的。

c. 在一个装有一定体积液体的密封容器里，液体永远是在下面，而空间（气泡）永远是在容器的上部的。例如水准器。

a. 垂球

垂球可以使得人们看到铅垂线。垂球的型式如图13—16所示。为了在使用时使风力的影响较小，垂球采用重金属做成旋转体。重量最好在0.25公斤以上，并且表面积越小越好。如图13的垂球尖是焊过火的钢锥。垂球的重心和懸掛线必须和垂球的轴心符合，否则垂球尖将

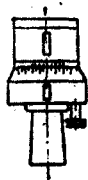


图 12

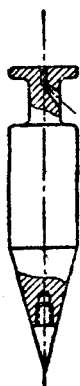


图 13



图 14



图 15



图 16

不可能指定一个点子。懸掛垂球的线可能是固定的，如图14；也可能是用反重的，如图15；或用一种有三个小孔的调节板，如图16。

b. 利用液体的水平面作为视线的仪器

在相互可以流过而且管径相同的联通管中，水面的高度是相等

的。因此通过其中的任何两个小水平面都可以得到水平視線。管内所用的液体是染了顏色的水、有顏色的硫化醚或水銀。在兩根豎立的管子中間可以用硬的管子或者用軟的管子联接起來。采用軟管子的好处是可以使得兩根豎管的距离依需要而变动。用这种方法來測量，所得到的成果精度不高。它只能用于筑路以及相类似的工作。簡單而可以不必加任何調整是它最大的优点。圖17是軟管式的水平管。圖18是硬管式的水平管，兩個豎管間的距离是 ≈ 25 公分。在使用的时候一般都是放在有縱軸的三脚架上的。圖19和20是手提式的閉式水平管。圖19中間管的直徑大約在10~20公分之間。圖20的長方形大約是12公分 $\times$ 24公分。

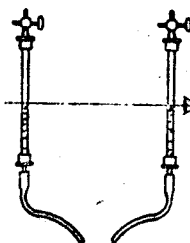


圖 17

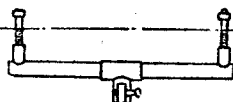


圖 18

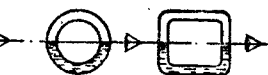


圖 19



圖 20

由于管子的直徑不能完全一致，因而產生了由于微管引力而發生的錯誤。它可以用下列公式來計算和糾正

$$h/h' = d'/d \quad (3)$$

在 $d_0 = 1$ 公厘时， $h_0 = 30$ 公厘。

例題(3) 如圖21。一个敞式水平管的兩個豎管間的距离是1公尺。目

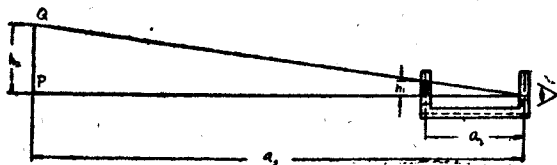


圖 21

标的距离是250公尺。接物豎管的直徑是25公厘，接目豎管的直徑是

25.2公厘。求由于管徑不同而產生的誤差。

設： $d=25$ 公厘； $d'=25.2$ 公厘； $a_1=1$ 公尺； $a_2=250$ 公尺； $h_0=1$ 公厘； $h'_0=30$ 公厘； $h/h'=d'/d$ 。

求：接物豎管水柱高 h ；接目豎管水柱高 h' ；

水柱差 $\Delta h=h-h'$ ；測量誤差的高程 $PQ=\Delta h_2$ 。

解：(1) $h/30=1/25$ ； $h=1.20$ 公厘。

(2) $h'/30=1/25.2$ ； $h'=1.19$ 公厘。

(3) $\Delta h_2/\Delta h_1=a_2/a_1$ ； $\Delta h_2=\Delta h_1 \times a_2/a_1=0.01$ 公厘 $\times 250$ 公尺/1公尺 $=2.5$ 公厘。

c. 水准器

使用这种設備可以使得一條直線水平或垂直以及一個平面水平。

这种設備是用一个密封了的玻璃壳子，壳子中間放了酒精或醚以及它們的混合物。壳子中間不完全充滿液体而必須留下一個空間。这个空間永远是在壳子中的最高点，因此可以把它作为一个標記。这部分叫做气泡。它应当是充滿了所使用的液体的蒸气而不是空气，以免在天气較热的时候，玻璃壳子因为受到了里面較大的压力而破裂。就是不破裂的話，水准器的正确性也会受到很大的影响。因此在制造水准器的时候必須設法把气泡內的空气排除到最小的情况。在玻璃壳子的外面有一个金屬的外壳。这个外壳是用來保护水准器的。由于几何外形的不同，我們可以把它分为下列几类：

1. 管形水准器（圖22）——是用玻璃管制成的。在管子里面的

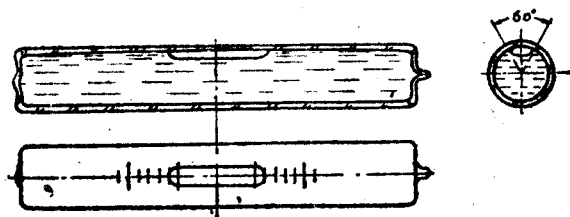


圖 22

一部分是被磨成了一個曲面。外面有刻度。刻度一般的距離是2公厘。因此一般所說的水准器的靈敏度也是指當水准器內的气泡移動2

公厘时，水准器傾斜了多少。

2. 圓形水准器(圖23)——普通是用兩件玻璃燒焊在一塊的圓盒形玻璃壳子。兩件玻璃的下面一件是一個杯子。上面的那一件是一個

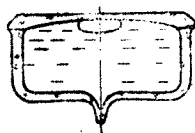


圖 23

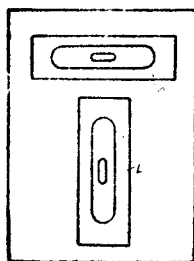


圖 24

個蓋子，蓋子的下面是被磨成了合乎要求的球面。

3. 丁字形水准器(圖24)——是由兩個互相垂直的管形水准器組成。在需要做比較精密的操平工作時，我們可以用它來代替圓形水准器以便提高操平的正确性。在較長的測量

儀器上，橫的水准器往往是使用比較小一些且精度比較差一些的水准器。

下面要談一些特种水准器：

1. 儲藏室水准器(圖25)——在水准器的一端有一個可以儲藏液體的儲藏室。它和水准器本身是通過隔片下面的小孔聯通的。我們可以把水准器中的液體依需要儲藏到儲藏室中去。這樣可以使得無論在什麼溫度下，水泡的長度都能合乎一定需要的長度。

2. 雙軸水准器(圖26)——水准器內的上下兩面都是被磨制過

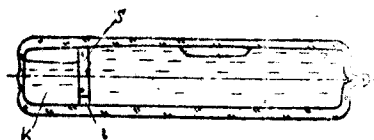


圖 25

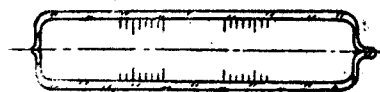


圖 26

的。因此正反兩面都可以使用。

依照外面金屬壳子的形狀和它所能擔任的工作可以分類如下：

1. 附有底座的水准器——這是為了檢查一個平面或一個軸是否水平時使用的。如圖27。我們可以看到水准器是被安裝在一個底座上的。

2. 騎式水准器——這是為了檢查管子或軸是否水平時使用的。