

光学测远术



光 学 测 远 术

留 润 州 著

山东科学技术出版社

光学测远术

留洞州 著

*

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂印刷

*

787×1092毫米16开本 13.5印张 2插页 200千字

1979年10月第1版 1979年10月第1次印刷

印数: 1—4,900

书号 15195·20 定价 1.45 元

序

由观察者至“远”^①物距离的测量，是几何学的论题。其原理，就是由已知间距的两点观察目标，并且测量方位角；再由这间距和角，求三角形的一边。这种解法，由来已久，从几何学的立场来说，直到今天，仍没有改变。测远的科学和技术，虽已有了极大的发展和进步，而且已成为近代文明的产物之一，但是，几何学的解法虽然如旧，而把它的理论付诸实践，却有很多的方式。初期的测远术，利用陈旧的测角法，需用较长的基线（即上述二观察点的间距），才能得到较精确的结果。这样，就往往遭遇到很大的困难，有时甚至不可能进行。譬如，在船上测远，若需用较大的基线，就不可能。

现代测远术，就起源于排除这种困难。解决的方案，综合来说，可以分两种：一种，仍旧必须由相当间隔的两点观察目标，每处各有它的观测者和测量仪器，但是两点间的联系良好，观察通报和距离计算都很迅速。这种因循几何解法的方案，称为双基法^②。另一种，采用极小的基线，使二观察点同时由一观测者控制，两套光学仪器所产生的物象，合并于一处，由单目（合象或倒象测远镜^③）或双目（体视测远镜^④）观察。两套仪器合成一套，坚固便利，构成所谓单基测远镜^④。在这种单基法中，几何学所需要的基线和两个观察点，似乎已不再存在。测远镜的使用方法，可以说是异常精巧，而其制造实有赖于近代极完善的光学技术和精密机械的制造技术。体视测远镜的构造是仪器制造技术中最艰难的一种。全部测量用仪器，其角度测量的精密度在1'以内，性能还不能因激烈的温度变化，运用时的疏忽，运输中不可避免的震动及火器发射时必然的和频繁的冲击，而稍微变更，读者可设想其制造的艺术。

测远镜是通过小角度测量而解决测远的最优越的仪器。对于地形测量、航海测量等，功用固然宏大，而对于军事战术，效果尤其独特。第一次世界大战已论定：“测远镜是炮长，更是加农炮”。将来的战争中，测远镜可能很多是利用微波或激光的，但无论如何，直到今天，在先进发达国家，光学测远镜仍是各军种的重要配备（参见第一章历史和现况及附录2）。

① “远”显然表示由观测者至远物的距离，而不是任意两点间的距离。因此，远和距离不全等同。本书用“光学测远”、“测远镜”、“测远术”等词，而不用“光学测距”、“测距仪”、“测距技术”等词。“测远”与英文 rangefinding，法文 télémétrie 较近，与德文 Entfernungsmessung 更近，与望远镜有关（而望远镜与英文 telescope，德文 Fernrohr 相似，与法文 Lunette 很不同）。

② 参见附录7外基测远镜。

③ 测远镜一词和望远镜相似，“镜”表示光学仪器，比测距仪的“仪”明显，而“远”比“距”更准确。

④ 参见附录7外基测远镜。

多数测远镜，往往采用很复杂而且秘密的光学构造，视场也极特殊，若欲仔细查究其测量的精密度，读者应首先熟悉一般光学中的若干问题。本书对简单光学理论及测远镜中所用的光学元件等，均较详尽地作了介绍。对目之构造、单目视觉和双目视觉，凡是与测远镜有关的，也作了解述。这些有关的问题，全书中随处会遇到，特别在观测者的选择和训练一节中，引用得更多。此外，附录中内容很多，对于读者帮助不少。检验方法，列述较细，并有军用光学器材的一般检验法，足供购置、验收和使用等方面的参考。测远镜的制造技术，可以说几乎达到极顶，其用途也与日俱增，使用者更趋众多。所以，凡用测远镜者，以及对于国防物理、应用物理、应用光学、光学或一般仪器的制造和修理，海陆空军及土木建筑工程的测量、精密测量学等有兴趣者，都可以利用本书，从中取得这种或那种参考。

测远镜与测远术，在本书中，以简单明确，紧凑而广褒，系统与科学的方式写出。作者并不期望阐述完全。读者若拟进一步考究某种测远镜，还可利用各制造厂发表或附送的文件。

目前，国内应用光学书刊不多，有关测远镜和测远术的更少。本书可以在这方面对读者提供必要的帮助。

本书原稿大部分由王喜山同志帮助整理和抄缮，谨此致谢。

留润州

一九七八年十月

目 录

序

第一章 历史和现况	1
§1—1 测远镜发展早期简史	1
§1—2 现况	2
第二章 光线学	4
§2—1 反射	4
§2—2 平面镜	5
§2—3 二面镜	5
§2—4 光矩	6
§2—5 三面镜	7
§2—6 折射	7
§2—7 全反射	8
§2—8 棱镜	8
§2—9 脊棱镜	11
§2—10 镜对象的作用	12
§2—11 玻罗棱镜	13
§2—12 布岛望远镜	15
§2—13 平面片	16
§2—14 弱棱镜	17
§2—15 弱棱镜的相对运动	17
§2—16 望远镜的光阑、瞳孔、视圈	19
§2—17 望远镜的放大率	19
§2—18 望远镜的视场	20
§2—19 望远镜的象的亮度	21
§2—20 望远镜的透过率	22
§2—21 望远镜的分辨率	23
§2—22 望远镜的线网与测微图	25
§2—23 望远镜的测微目镜	25
第三章 生理光学	27

§ 3—1	眼的构造	27
§ 3—2	单目的定象与调节	28
§ 3—3	单目的视线	29
§ 3—4	单目的明暗感觉——单目的照度视觉	29
§ 3—5	单目的色之视觉	30
§ 3—6	单目的视觉锐度	30
§ 3—7	单目的远近视觉	31
§ 3—8	单目的方向视觉	31
§ 3—9	单目瞄准	32
§ 3—10	单目的延线视觉	33
§ 3—11	双目的聚光与调节	33
§ 3—12	双目印象	33
§ 3—13	双目相当性——明视限界	33
§ 3—14	双目的远近(深浅、凹凸)视觉	34
§ 3—15	双目远近视觉的极限	35
§ 3—16	人工改进远近视觉的方法	35
§ 3—17	赫尔姆霍茨体视望远镜	35
§ 3—18	双目用的放大仪器	36
§ 3—19	双目仪器的调准	37
§ 3—20	体视术	38
§ 3—21	体视镜	40
§ 3—22	摄影法制体视图	45
§ 3—23	反影术	46
§ 3—24	照度对于象感觉速度的影响	47
第四章	测远术与测远镜	48
§ 4—1	测远术原理	48
§ 4—2	单基测远镜通论	48
§ 4—3	合象测远镜的原理	51
§ 4—4	测远镜的构造	52
§ 4—5	测远镜的使用	59
§ 4—6	测远镜部件形变的影响	65
§ 4—7	调准器	71
§ 4—8	调准法	73
§ 4—9	自动调准法	76
§ 4—10	特种合象测远镜	82

§4—11 体视测远镜的原理	86
§4—12 体视测远镜的构造	89
§4—13 体视测远镜的使用与调准	91
§4—14 特种体视测远镜	99
第五章 实用单基测远镜	103
§5—1 构造	103
§5—2 测远镜特征的选择	109
§5—3 测高镜	115
§5—4 观测者的选择和训练	123
§5—5 测远镜的检查	131
附 录	138
1. 测远镜技术的早期发明创造	138
2. 国外测远镜现况表	141
3. 温度影响检查	146
4. 照度低时的测远	146
5. 道康误差换算图	148
6. 等威力测远镜的误差换算图	148
7. 外基测远镜	151
8. 测远镜的功用	157
9. 测远镜保管法	158
10. 军用光学器材的一般检验法	159
11. 蔡司厂倒象测远镜数据	161
12. 蔡司厂体视测远镜数据	161
13. 葛茨厂测远镜数据	162
14. 维特厂测远镜数据	162
15. 蔡司厂合象测远镜最小误差	163
16. 蔡司厂体视测远镜最小误差	164
17. 葛茨厂测远镜最小误差	165
18. 维特厂测远镜最小误差	165
19. 葛茨厂 2 米测远镜测高时的误差表	166
索 引	167
1. 人名	167
2. 名词	168

第一章 历史和现况

§ 1—1 测远镜发展早期简史

光学测远技术的发展是应用光学中最令人注意的问题之一。

开始,测量远物多用三角法,即用两架经纬仪测量角度,因而,基线较长,用人较多,费工费时。

后来,将二经纬仪合成一体,基线缩短。二经纬仪由一观测者先后瞄准目标,或由二观测者分别瞄准,求出二方向间的角,因而,精密度难以保证,运动目标的观察特别困难。

最后,将二望远镜集合,由同一目镜中观察,而成单基测远镜。

1767年, 郇色多(Paccoco ob Ucedos)首先制成单基式测远镜原型,惜已失传。

1775年, 麦哲伦(Magellon)制成合象式测远镜,如图 1—1。该仪器,有能相对滑移的二管,外端装反射镜M, M',而M后有一望远镜,能同时得目标的二象,由二镜间距和交角测远。

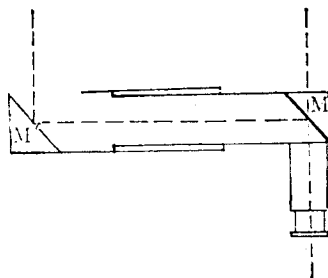


图 1—1

1781年, 布朗德(Brander)制成一种测远镜,如图 1—2。中央为二叠置的反射镜,由目镜观察从一反射镜所得象的一半和从另一反射镜所得象的另一半。

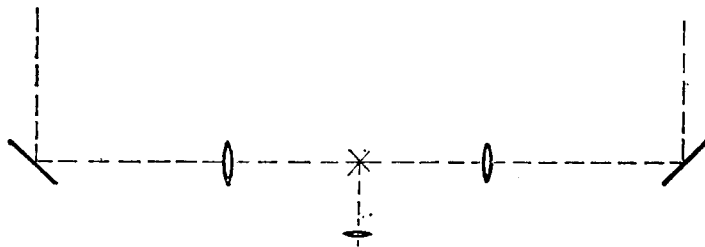


图 1—2

1858年, 克拉克(Clark)将军利用如图 1—3 所示的方法测远。

1860年, 阿底(Adie)用反射棱镜p的转动,使二象相合,如图 1—4。

1865年, 高提尔(Gautier)创用偏光体合象,如图 1—5。

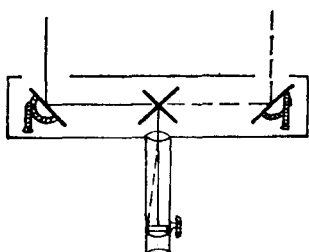


图 1—3

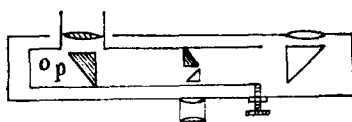


图 1—4

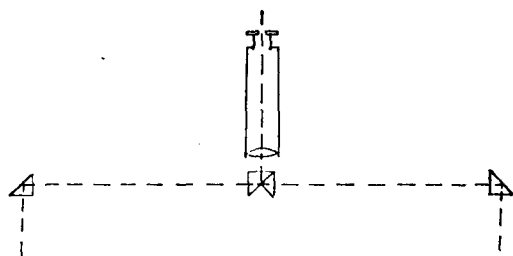


图 1—5

1868年，帕什维茨 (Paschwitz) 在一望远镜后放一平面片合象。

1885年，马洛克 (Mallok) 用光矩和测微计倾侧反光体。

1888年，巴尔 (Archibald Barr) 和士专德 (William Stroud) 二教授将各重要光学元件合为一体，从开始就用有锐利分线的分象交叉棱镜，有测微计的移动棱镜偏光体合象，改进中心架管，但二端光矩仍为反射镜。另外，创用了调准尺。

至此，测远镜中有光矩、二物镜、一目镜、一中央棱镜、每物镜后有一偏光棱镜，其一调准距离，另一测距，已是单基测远镜的雏形。

1892年，高谢理 (Hector de Grousilliers) 工程师建议定尺式和游标式体视测远镜；1905年，蔡司厂造成。该厂又首先改合象式为倒象式，实现自动调准法。

1908年，爱钵西坦 (Eppenstein) 利用焦点不同的二望远镜而省去测微计，成又一种定尺式。

测远镜的发展，英国巴尔-士专德厂功绩卓著，而蔡司厂对体视式专有贡献。

法国到第一次世界大战后才起步并渐赶上。瑞士也是后起之秀。

日本1917年，苏联1918年，美国1919年，先后开始兴建专厂。

为了使读者对测远镜的发展有更系统而具体的认识，在附录 1 中列出了测远镜技术的早期发明创造表。

§ 1—2 现 况

第二次世界大战中，雷达在美国发明并即投入作战，而光学测远镜的体视不失调式

也开始出现。近二十年来，测远镜又有了一些突出的进展，不仅进一步提高精密度，而且利用全视场重合精密合象来停止闪光的快门进行读数（如美国1964年所研制，1970年制订规程，并装备 T 57, T 31 坦克），以及利用光电转换代替人目在测远镜中测远和读数，甚至跟踪（如美国1962年已试制成自动测远样机）。

测远镜，由于性能稳定，不受电波干扰，隐蔽特好，可直接观察，以及其它优点，仍占有独特地位和重要性。现今，先进发达国家仍在继续发展、生产和使用〔如美国的 2.74, 3.66, 4.57 米；苏联的 ДМС-3；英国的 3.66 米；日本的 0.66, 2.5, 4.5 米等。苏联1963年建成的克鲁普尼级导弹驱逐舰、里加级护卫舰、斯维尔德洛夫级巡洋舰等；美国诺克斯级护卫舰、富兰克林(罗斯福)号航空母舰等，都装有测远镜；英国巴尔-士专德厂六十年代仍生产 3.66 米测远镜；美国1971年将 Mark Mod 1 3.66 米列入军事标准；日本1965年将 0.66 米列为标准等〕。

有关 (0.66~10.67 米) 测远镜的最新资料，见附录 2。

第二章 光 线 学

§ 2—1 反 射

如图 2—1 所示, 入射光线 SI 在界面的点 I 反射为反射光线 IR。平面 SIR 或 SIN 称为入射平面; IN 称为入射点 I 的界面法线; $\angle SIN$ 称为入射角, $\angle NIR$ 称为反射角。反射定律为: “光线反射后, 仍在入射平面内; 反射角等于入射角。”

可见, 反射光线的方向与反射表面的物质特性及光线的波长无关。

光线被反射时, 除方向改变外, 其强度也改变。反射后的光强与反射前的光强之比称为反射比。其比值最大为 1。

反射比的值决定于界面的物理特性、物理状态 (磨光程度、薄层的密度与厚度及层数等)、入射角和入射光的波长。

反射面分为两类: 玻璃类和金属类。

玻璃类反射面中, 最重要的是玻璃面。垂直入射时, 其反射比很小, 等于

$$\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2,$$

其中, n 为玻璃的折射率。玻璃在空气中的折射率约为 1.5, 垂直入射时, 反射比约为 0.04; 随入射角的增大, 反射比也随之增大。入射角大至 60° 时, 反射比大增, 直至平射 (入射角为 90°) 时, 反射比为 1。

光线由第 1 介质射入第 2 介质或由第 2 介质进入第 1 介质时, 若其入射角相等, 则其反射比相等。

金属性反射面中, 以银面为例, 其反射比在垂直入射时, 已达 0.9。

反射比与入射角之间的关系, 如图 2—2 所示。

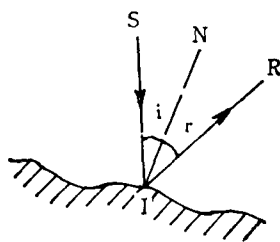


图 2—1

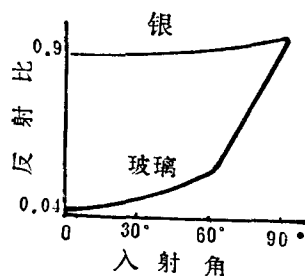


图 2—2

反射比与光线波长有关，故反射后光线的各色光强与反射前不同。就玻璃面与银面而言，蓝紫光的反射比小于红黄光，白光经反射后略呈黄色，反射次数越多，此现象越明显。

§ 2—2 平 面 镜

光线经反射后，其反射线似乎是由与反射面对称的方向射来的。故在平面镜中，物体与其象相对于平面镜对称，象的方位随观察者对于平面镜的方位不同而不同。在竖立平面镜中看见，物与象的左右互换；在水面上所见，则为倒影，物与象上下颠倒。

若平面镜转动，其物与象的关系由图2—3可以看出，平面镜在 M 位置时，物 S 的象在 S' ；若平面镜转动 α 角至 M' 位置时，则 S 的象在 S'' 处。

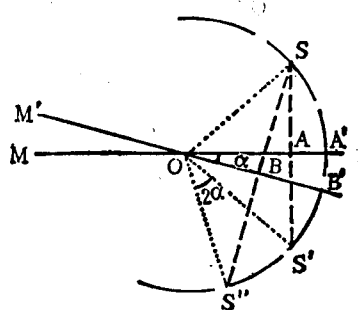


图 2—3

$$\because \widehat{SA'} = \widehat{A'S'} = \frac{1}{2} \widehat{SS'} \text{ 和 } \widehat{SB'} = \widehat{B'S''} = \frac{1}{2} \widehat{SS''},$$

$$\therefore \widehat{S'S''} = 2(\widehat{SB'} - \widehat{SA'}) = 2\widehat{A'B'},$$

$$\angle S'OS'' = 2\angle A'OB'.$$

故平面镜如转动 α 角，则象必在同方向转动 2α 角。

§ 2—3 二 面 镜

如图2—4，若 OM_1 ， OM_2 为二平面镜，物 S 在 M_1 中的象为 S' ， S' 在镜 M_2 中的象为 S'' 。

据§2—2，有

$$\widehat{SS'} = 2\widehat{M_1S'} \text{ 和 } \widehat{S''S'} = 2\widehat{M_2S'},$$

$$\therefore \widehat{S''S} = 2(\widehat{M_2S'} - \widehat{M_1S'}) = 2\widehat{M_2M_1},$$

$$\angle SOS'' = 2\angle M_1OM_2.$$

可见，物体 S 在第1镜至第2镜的方向，转二倍镜之交角，即得其象 S'' 。

光线在二镜中可反射二次以上，但二次以上的反射现象，实际应用很少。实际上，物离反射镜很远且在交角以外时，只能有二次反射（图2—5），其中谁为第1镜，极易判断。

若两镜平行，则由图 2—6 可知，镜平移时，不影响象的位置；但镜转动时，象的位置却变动。

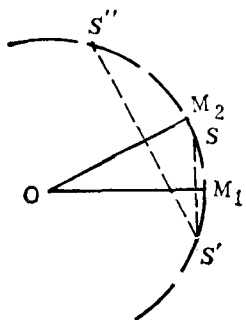


图 2—4

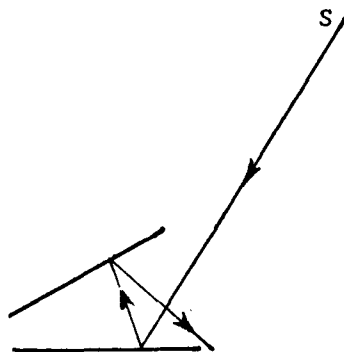


图 2—5

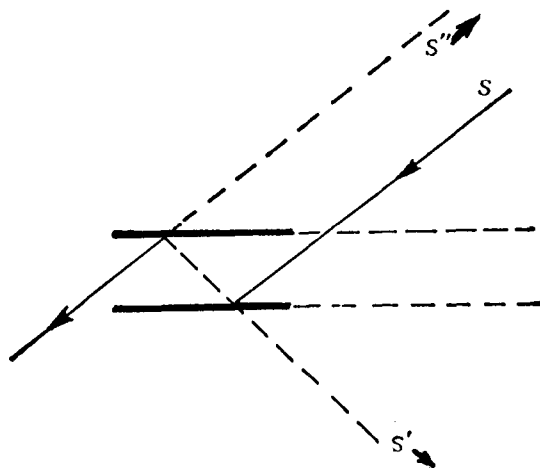


图 2—6

§ 2—4 光 矩

若图 2—3 中的 $\alpha = 45^\circ$ 或 135° 时，则 $\angle SOS'' = 90^\circ$ 或 270° ，反射线与入射线互相垂直。这种装置称为光矩；二镜的夹角在实用中常取 45° 。二镜的交线称为矩轴。

光矩在测远镜中非常重要，其特性如下：

1. 若光矩绕其矩轴稍有转动^①，据 § 2—3 可知，物与象间之角 ($2\alpha = 90^\circ$) 并不变更。

^① 理论上，转角大小可以任意；实用中，要光线在光矩内进行有效的反射，转角不能很大。

2. 光矩的夹角（两反射面的夹角）改变 $d\alpha$ 时，则象以矩轴为转轴，旋转 $2d\alpha$ 角。
3. 光矩做微小平移时，因为物在极远处，故对其象的影响不大。

§ 2—5 三面镜

设有一互相垂直的三面镜系统，如图 2—7 所示。

物 S 在镜 1 中的象为 S' ； S' 经镜 2，3 视之，如 S'' ，使 S' 绕二面镜 2，3 的轴 OO' 转 $2 \times 90^\circ = 180^\circ$ 即得。

若物体很远，即使三面镜稍稍变动位置，也不影响象的位置，其理由如 § 2—3 和 § 2—4。

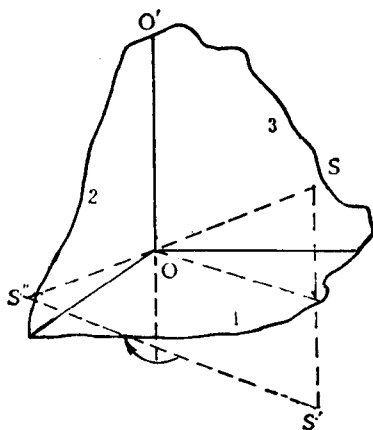


图 2—7

§ 2—6 折 射

光线通过不同介质间的界面时，发生折射，使光线方向改变（图 2—8）。折射定律为：“光线折射后，仍在入射平面内；入射角 i 与折射角 r 的正弦之比等于第 2 介质对第 1 介质的折射率”，即

$$\sin i / \sin r = n (= n_2 / n_1).$$

光路有可逆性，即光线可以沿原路由第 2 介质返回至第 1 介质，其折射率为原折射率的倒数。

任一种介质对真空的折射率称为该介质的绝对折射率。为了区别，上述的第 2 介质对第 1 介质的折射率 n 称为相对折射率，它等于第 2 介质的绝对折射率 n_2 对第 1 介质的绝对折射率 n_1 的比，即 $n = n_2 / n_1$ 。真空的绝对折射率为 1。

空气的绝对折射率略大于 1，故一般介质的绝对折射率，可用该介质对空气之相对折射率代替。一般液体或固体的折射率都远大于 1。

折射率的大小随波长而变化，故可将白光中各色波长按方向分开，形成一色彩带，

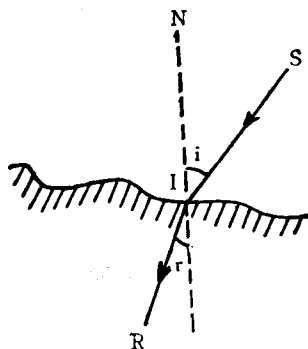


图 2—8

称为色散现象。

§2—7 全 反 射

若第1介质的折射率 n_1 大于第2介质的 n_2 , 则 $n = n_2/n_1$, 小于1。由 $\sin i/\sin r = n$ 可见, 随着入射角 i 的增大, r 也增大。当 r 增大至 90° 或更大时, 折射光不再存在, 此时的入射光线在介质面处发生全反射。 $r = 90^\circ$ 时, 所对应的入射角 i 的值称为该入射介质的临界角。例如, 光线由玻璃或水进入空气中时, 即可发生全反射现象。

棱镜的全反射作用就是利用这一规律。

§2—8 棱 镜

光线进出的两个表面与一个或多个内反射面组成的一多面透光体, 称为棱镜。棱镜的进出面多是平面, 也有的是球面。棱镜的内反射面是否镀银, 视该面的入射角是否大于临界角而定, 若小于临界角则应镀银。

平面镜反射时, 因镜的前后表面同时反射而成双重象; 棱镜反射则无此缺点。但光线在棱镜内传播时, 易被玻璃吸收。由 §2—2 知, 玻璃的垂直反射比为 0.04。光在玻璃中传播 2 厘米所减弱的强度约等于此反射的损失。若光在棱镜中的行程为 2 ρ 厘米并垂直进出面时, 则棱镜的出射光强与入射光强之比约为

$$(0.96)^{2\rho+2}.$$

若光线在棱镜的某一内反射面处的入射角可能小于临界角, 则该面应该镀银。要免去镀银的麻烦, 则需换用折射率更大的玻璃。

玻璃对光的折射率与其波长有关, 故白光通过棱镜后则产生色散现象, 使象呈彩虹性。为了消除这一缺点, 则需使棱镜相当于一平行面的玻璃板: 使光线的出射角与入射角相等; 如此, 出射角就不随折射率和波长而变化。这就是所谓的消色条件。

几种符合消色条件的棱镜如下:

1. 等腰直角棱镜, 如图 2—9 所示。

试证其满足消色条件。由

$$\sin i_1 = n \sin r_1,$$

$$i_2 = r_2,$$

$$\sin i_3 = n \sin r_3,$$

$$90^\circ + i_2 = 45^\circ + 90^\circ + r_1, \quad 90^\circ + r_2 = 45^\circ + 90^\circ + r_3,$$

$$\therefore r_1 = r_3,$$

$$i_1 = i_3.$$

故入射角 i_1 与出射角 i_3 相等, 与折射率和波长无关。

这种棱镜用于平行光线，其作用等于平面镜。

2. 等腰非直角棱镜〔吴拉斯顿 (Wollaston) 棱镜〕，其作用与等腰直角棱镜相同，通常将钝角磨去，如图 2—10 中虚线所示。

该棱镜常用于炮兵全景瞄准望远镜中。对于平行光的作用与平面镜相同。

3. 五棱镜 (图 2—11) 实际上是由四棱镜 $ABA'E$ 改制而成；其 BC , DE 两面镀银。

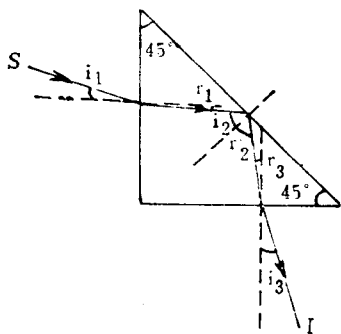


图 2—9

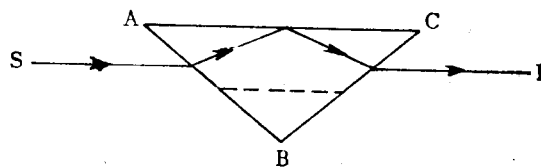


图 2—10

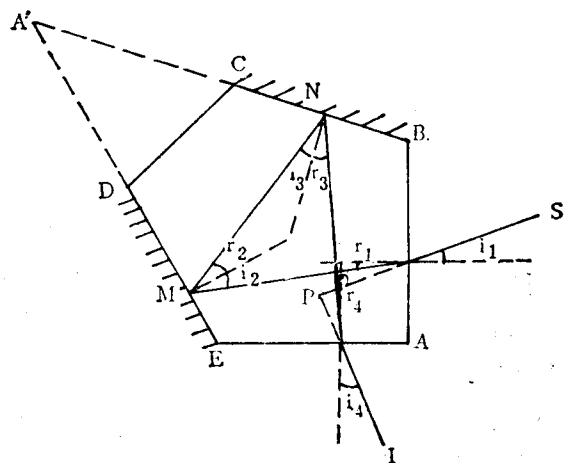


图 2—11

四边形内角之和为 360° ，故

$$E + A + (90^\circ - r_1) + (90^\circ - i_2) = 360^\circ,$$

$$\therefore r_1 = E + A - i_2 - 180^\circ;$$

$$E + (90^\circ + r_2) + (i_3 + r_3) + (90^\circ - r_4) = 360^\circ,$$

$$\therefore r_4 = E + 2i_3 + r_2 - 180^\circ;$$

$$\therefore r_1 - r_4 = A - 2(i_2 + i_3).$$