

目 录

第一章 双眼望远镜

第一节 观察仪器概述	1
第二节 双眼仪器的体视原理	3
§ 2—1 双眼的体视效应	3
§ 2—2 双眼体视仪器的基本原理	7
§ 2—3 双眼仪器的设计制造要求	10
第三节 主要机构及其分析	11
§ 3—1 光学零件的固定及其要求	11
§ 3—2 视度调节机构	15
§ 3—3 瞳孔间隔调节机构	18
§ 3—4 望远镜的发展趋势	20

附 录

望远镜的装配与校正

一、望远镜装配校正的具体内容、步骤、要求及注意事项	25
二、六二式八倍望远镜的主要验收技术条件	29
三、B—6望远镜的主要技术要求	30
四、三管式望远镜光轴校正仪的使用方法	31
五、两管式(10—B—6—1)望远镜光轴校正仪使用方法	32
六、反射式望远镜光轴校正仪使用方法	33
七、象倾斜的检查和校正	33
八、光轴不平行度的校正	36
九、视度、视差及分划板垂直的校正	58
十、密封、干燥、五项试验与成品检验	62
十一、望远镜的装配基准	64

第二章 炮队镜与方向盘

第一节 炮队镜与方向盘的战术要求	66
第二节 炮队镜与方向盘光学系统及总体结构的选择	66
§ 2—1 炮队镜光学系统的选择	66
§ 2—2 方向盘的光学系统	67
§ 2—3 炮队镜与方向盘的总体结构安排	68
第三节 主要结构及其分析	69
§ 3—1 标定机构	69
§ 3—2 方向机构	71
§ 3—3 高低机构	72
§ 3—4 炮队镜的目距调节机构	75
§ 3—5 方向盘的磁针室	76
第四节 战斗操作	77
§ 4—1 炮队镜的架设	77
§ 4—2 赋予炮队镜的基准射向	77
§ 4—3 观察和测量	78
§ 4—4 方向盘的使用	81

第三章 光学瞄准镜

第一节 火炮射击瞄准的基本原理	82
§ 1—1 瞄准的实质	82
§ 1—2 瞄准的种类	82
§ 1—3 瞄准的基本原理	83
§ 1—4 火炮瞄准具原理	84
第二节 瞄准镜的光学系统与总体结构型式的选择	87
§ 2—1 对瞄准镜结构的要求	87
§ 2—2 对瞄准镜的光学特性的要求	87
§ 2—3 典型光学瞄准镜的光学系统及其原理	88
§ 2—4 光学瞄准镜总体结构型式的选择	94
第三节 主要结构及其分析	94
§ 3—1 实现周视原理的机构——齿轮差动机构	94
§ 3—2 坦克瞄准镜的铰链机构	96
§ 3—3 瞄准角机构	97
第四节 测瞄合一的瞄准镜	99

§ 4—1 概论	99
§ 4—2 测瞄合一的原理	100
§ 4—3 测距原理简介	101
§ 4—4 提前量测量简介	103

第四章 光学校正原理

第一节 平面反射系统的矩阵分析	105
§ 1—1 平面反射系统的作用矩阵	105
§ 1—2 平面反射系统的分类	112
§ 1—3 平面反射系统的特征方向	116
§ 1—4 特征方向偏离理想位置时产生的光路变化	133
§ 1—5 象倾斜与出射光轴偏的“极值”与“极值轴向”	144
§ 1—6 分析总结	153
本节参考文献目录	169
第二节 会聚光路中的平面反射系统	170
§ 2—1 会聚光路中平面反射系统的平移	170
§ 2—2 会聚光路中平面反射系统微量转动对象点的影响	178
第三节 棱镜的制造误差	188
§ 3—1 反射棱镜的角度误差	188
§ 3—2 屋脊棱镜的误差	192
§ 3—3 反射棱镜光轴长度误差与最小焦距	194
第四节 透镜系统的误差分析	196
§ 4—1 物镜的位置变化	196
§ 4—2 组合物镜、校正透镜和内滤光镜的误差分析	201
§ 4—3 透镜转象系统的误差分析	209
第五节 光学系统局部误差在仪器中的传递	217

第五章 望远系统的基本检验校正项目

第一节 望远系统基本性能的检验与校正	221
§ 1—1 象质和分辨率	221
§ 1—2 视场与分划值	228
§ 1—3 视放大率	231
§ 1—4 出瞳直径和出瞳距离、眼点距离	233
第二节 望远系统成像位置的检验与校正	235
§ 2—1 光学仪器视度的检验与校正	235

§ 2—2 光学仪器视差的检验与校正·····	239
§ 2—3 分划倾斜与象倾斜的检验与校正·····	243
第三节 双眼仪器的特殊检校项目·····	246
§ 3—1 双眼仪器光轴平行性的检验与校正·····	246
§ 3—2 双眼仪器放大率差的检验与校正·····	256

第六章 光学仪器装配尺寸链计算

第一节 尺寸链计算的基础知识·····	269
第二节 尺寸链计算的基本方法·····	273
第三节 最短尺寸链原则·····	282
第四节 光学仪器装配尺寸链计算的特殊问题·····	288
第五节 不同装配方法的尺寸链计算·····	324
§ 5—1 各种装配方法的介绍·····	324
§ 5—2 各种装配方法的尺寸链计算·····	329
〔第六章附录〕 反计算问题的解法简介·····	338

第一章 双眼望远镜

遵照毛主席的教导：“人们总是首先认识了许多不同事物的特殊本质，然后才有可能更进一步地进行概括工作，认识诸种事物的共同的本质。”本章重点介绍双眼望远镜。双眼望远镜是我军、特别是开展人民战争最经常大量使用的重要观察仪器。它的原理、构造虽然比较简单，但是“麻雀虽小，肝胆俱全”。双眼望远镜具有观察仪器、特别是双眼观察仪器的共性和典型结构，因此我们应该认真地学习。通过掌握双眼望远镜的具体特性，进一步认识双眼观察仪器共同特性，以便根据人民战争的需要，设计制造出更多新的、性能良好的观察仪器。

第一节 观察仪器概述

军用观察仪器的主要任务是侦察战场、搜索目标、观察射击效果等。它的基本结构是以望远系统为基础的光学系统配合以其它光学元件（如转象系统、聚光镜、折转光轴的元件、保护玻璃等）和联结、固定、调节等作用的机械结构。基于望远系统的特性，观察仪器可以帮助人眼观察目力所不能及的远方目标。常用的观察仪器有单眼、双眼的各种望远镜、各种用途的潜望镜、炮队镜、高射炮指挥镜等。其中某些潜望镜、炮队镜及高射炮指挥镜又兼有测角仪器的性能。

正确地选择光学特性是军用观察仪器设计的根本问题之一。望远系统有两种基本类型：伽里略式望远系统和开普勒式望远系统。由于观察仪器要求给出正象，物镜有实象面能放置分划板，出瞳在目镜之后、便于观察等，因而在军用观察仪器中大多采用附加转象系统的开普勒望远系统。观察仪器的基本光学特性包括：放大倍率(Γ)、视场(ω)、出瞳直径($D_{出}$)、出瞳距离(p')等。

放大倍率(Γ)是观察仪器的基本性能，它保证借助仪器所能观察的距离。观察仪器的标准放大率应根据人眼的最小分辨角来确定。实际观察仪器的放大率要根据许多因素选择确定，例如仪器配置的位置、观察的距离要求等。通常炮兵观察仪器的放大倍率一般在 $2.5\times\sim 40\times$ 范围内。手持的观察仪器，放大率一般不超过 $15\times$ 。若放大率太大，由于手的抖动会使物象模糊。一般放大率 $15\times\sim 20\times$ 的观察仪器需要装在轻便的三角架上使用；放大率更高的观察仪器需要装在牢固的脚架或托座上使用。

视场的选择确定主要取决于目标的性质、仪器的用途。例如，观察固定目标的仪器，视场可以小一些。对于快速运动的目标，为保证连续不断地进行观察，视场应该尽可能地增大。但是在增大视场的同时又要保持良好的象质，则往往需要采用复杂的光学系统。对于一

般的观察仪器，可以采用较简单的光学系统，满足视场中心具有优良的象质，同时仪器具有较大视场的要求。这种情况是将目标放在视场中央来进行观察，而视场边缘只起捕捉目标的作用。还有另一种解决视场与象质之间矛盾的办法，即采用两套光学系统：低倍率、大视场的辅助系统用于搜索和捕捉目标；高倍率、小视场的主系统用于观察和瞄准目标。为了满足搜索目标时视场大、研究目标时放大率高以及观察不同距离目标的要求，还可以采用变倍（连续或不连续）的光学系统。视场的大小由光学系统中所采用的目镜型式决定，例如炮兵光学仪器中常用的有较大视场角的爱尔弗型目镜，其 $2\omega' = 70^\circ$ ，根据 $\text{tg}\omega' = \Gamma \cdot \text{tg}\omega$ ，若 $\omega' = 35^\circ$ ，则 $\Gamma \cdot \text{tg}\omega = 0.7$ 。当 $\Gamma = 10\times$ 时， $\text{tg}\omega = 0.07$ ， $\omega = 4^\circ$ ，则实际物方视场为 $2\omega = 8^\circ$ 。对于选定的目镜型式，视场与放大率成反比，即要求放大倍率大和要求视场大，这两者是互相矛盾的。如果要求仪器具有高倍率、大视场，则势必要求设计新的、更大视场的广角目镜，这将导致目镜结构的复杂化。

仪器出射光瞳直径（ $D_{\text{出}}$ ）的平方决定仪器的光力。在正常的情况下，仪器的出射光瞳直径应等于人的眼瞳直径，这样才能充分利用从仪器射出的光通量。人的眼瞳直径在日间照明的条件下为2毫米，黄昏时眼瞳直径增大到5毫米（平均），夜间眼瞳直径达到最大值7.5毫米。一般的军用观察仪器，为了满足日间和黄昏观察的需要，出瞳直径平均为4~5毫米左右。日间观察仪器没有必要采用强光力的光学系统，因为它对人眼观察象的亮度没有什么优点，相反，为了获得较大的出瞳直径不是降低放大率就是增大物镜直径，从而带来仪器的复杂、笨重。除非对某些特殊使用条件的仪器，如经常处于震动和摇摆条件下的坦克中使用的观察仪器，才选取较大的出瞳直径（如 $D_{\text{出}} = 10\text{ mm}$ 甚至 20 mm ），但是其着眼点在于保证眼瞳易于和仪器出瞳重合，而不在于增强光力。

出射光瞳距离（距目镜最后一面的距离）一般不能小于10毫米，否则眼睛睫毛将接触到目镜的最后表面，妨碍观察，影响眼瞳与出瞳的重合。对于一般的望远观察仪器，出瞳距离约为12~15毫米。如果需要戴防毒面具观察，则出瞳距离应不小于20毫米。对于经常受到震动的仪器，为了保护眼睛免受撞伤，出瞳距离应为25~50毫米。

仪器的体视性能。为了观察、区分目标及炸点的远近，并且保证眼睛长时间工作而不疲劳，一般观察仪器多采用双眼观察系统。由于仪器放大倍率大于1且双眼仪器的两入瞳间隔（基线B）大于眼瞳间隔（b），因而双眼仪器可大大增强人的双眼的体视视觉能力。例如双眼手持望远镜、炮队镜、高炮指挥镜等均为双眼观察仪器。大型潜望镜由于其体积大，光学系统较复杂，系统的精确安装比较困难，因而通常为单眼观察系统。

仪器的潜望性。为了能在掩体内或观察所内实施隐蔽侦察，免遭暴露，很多观察仪器都有一定的潜望高（如潜望镜、炮队镜等）。潜望高的大小根据仪器的任务需要而定。有些大型陆岛潜望镜具有可变的潜望高。

观察仪器的具体结构需根据使用上的战术技术要求而定。对于手持式的观察仪器，应在满足必要的光学性能前提下，尽量做到形体小巧轻便，便于携带。

应该注意的是，仪器的各项光学性能要想同时提高是不可能的，因为其中有些是互相制约、对立的。因此设计时必须根据仪器的具体用途和任务，解决主要矛盾，适当兼顾其它性能指标。

第二节 双眼仪器的体视原理

毛主席教导我们：“尤其重要的，成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点，就是说，注意它和其它运动形式的质的区别。”军用观察、测量（测角、测距）仪器中，大量采用双眼仪器的形式。双眼仪器相对于单眼仪器从使用效果来说，有其特殊的优点。双眼仪器建立在双眼体视效应的基础上，因而具有强的体视感，可以使观察者长时间不疲倦地工作，并能大大提高对物体在空间深度（距离）判别的灵敏度。因此研究双眼仪器就必须抓住双眼仪器的体视效应这个特殊本质。双眼仪器的体视效应是建立在双眼体视效应的基础上，为此我们首先需了解双眼的体视效应。

§ 2—1 双眼的体视效应

使用单眼观察物体，我们可以估计物体的距离及相互间的远近，但是，这种深度感觉完全是建立在人们积累的经验的基础上。例如，对近物体调节时肌肉感觉的紧张程度；被观察物体的视角与已知物体视角之比；能分辨的细节的数目及其它一些类似的特征（例如：物体相互的重叠；亮度及阴影的分布；摆动头部，感觉到的物体相互间的运动等）。但是，利用单眼视觉估计判断物体的相对深度是不准确的，易于产生误差，而且有时是不可靠的。

利用两只眼睛的视觉称为双眼视觉。双眼视觉便于空间定向。双眼视觉具有的更重要的特性就是容易估计物体的距离及一个物体相对于另一个物体的距离。这种特性使我们具有空间深度的概念及物体分佈的体积概念，我们即称之为体视视觉。双眼观察具有体视感是基于生理效应，而非依据生活经验，因而它与单眼所具有的一定程度的判断物体及其相互间距离的能力在本质上是不同的。

为什么双眼观察能够辨别物体远近、具有空间深度的感觉呢？这里首先需要介绍“合象”的概念。所谓“合象”是指双眼视觉具有将空间一个物体（点）在两个眼睛视网膜上所成的两个象在我们的视觉印象中汇合为一个象的能力。合象是产生体视效应的基础。但是空间一个物体在两眼的两个网膜上引起的两个刺激并非无条件地就可以合为一个象，而是必须满足某些几何条件才能合为单一的视觉印象。“合象”包含两个过程：两眼视轴（通过瞳孔中心与黄斑中心的连线）对被观察的点（或物体）进行会聚（或交会），使两象分别处于两

眼黄斑的中心凹；与此同时，两眼的水晶体表面曲率变化，使不同距离的物体成象在视网膜上，即进行调节。会聚与调节这两个过程是同时地不自觉地密切关联的动作，两者总是相互协调，有一定的对应关系。例如，当物体在无穷远时，两眼视轴保持相互平行，并且两眼放松，不需要调节（或称对无穷远调节）；而当观察有限距离物体时，两眼转动使其视轴向物体会聚，同时两眼调节相应的距离，使有限距离物体分别成象在两眼的网膜上。总之，会聚与调节的过程是同时进行的，程度是协调一致的。当调节与会聚的对应关系破坏时，将影响甚至破坏合象。例如，在保持两眼视轴平行时，是无法对近距离物体进行调节的，因为这种情况下会聚与调节是互相矛盾的，因而不能合象。同样，两眼调节的距离不同，例如一只眼

调节到近距离，而另一只眼调节于无穷远，也是不可能合象的。

下面我们来分析能够合象的空间点的条件。如图（1—2—1）所示，当两眼注视A点时，两眼球转动，视轴对准A点，A点的两个象成在网膜黄斑的中心 a_1 、 a_2 ，两者可以合象。此时在两视轴相交的区域内（角 $a_1 A a_2$ 范围内）的空间点将产生双象。

例如B点在左眼中的象 b_1 在黄斑中心之左，B点在右眼中的象 b_2 在黄斑中心之右。因而当注视A点时，B点在双眼视觉印象中将感觉为两点，即成双象。 b_1 和 b_2 点称之为非对应点。在两视轴交线之外区域的许多空间点将不产生双象，这些空间点在二眼中所成的象都在黄斑之左或都在黄斑之右，即在黄斑中心的同侧，因而可以合象。例如C点在两眼中的象 c_1 、 c_2 及D点在两眼中的象 d_1 、 d_2 均可以合象感觉为一点。我们称左右两眼网膜上能得到一个空间点感觉的点为对应点。对应点必在网膜黄斑中心的同侧，但距黄斑中心的距离不一定相等。

在黄斑中心同侧且与黄斑中心距离相等的二点所对应的空间点（例如C点）与注视点A等距离；在黄斑中心同侧但与黄斑中心不等距离二点所对应的空间点（例如D点）则与注视点A不等距离。网膜上的对应点（当注视空间任意一点例如A点时）有很多对，它们由视神经复杂地相联结，每一对对应点传入大脑的二个刺激到达一个共同的中心，这样就使网膜上的两个刺激可能合为一个感觉，即能够合象。随着两眼注视点的改变，产生双象的双象区和能够合象的单象区都随之变化，但是由于眼的很大活动性及不停地改变注视的地方，因而我们不会注意到一部分空间点产生双象。

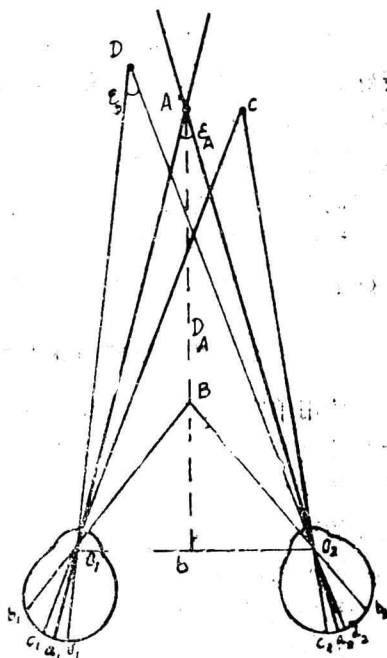


图 1—2—1

满足合象条件的空间点怎样比较其远近呢？如图（1—2—1），当双眼注视A点时，两眼视轴对A点的交角为 ϵ_A ，两眼瞳中心联线 $O_1 O_2 = b$ 称为眼基线，A点至眼基线的距离为 D_A ，由于通常 $D_A \gg b$ （一般取 $b = 65 \text{ mm}$ ），因而有 $\epsilon_A = \frac{b}{D_A}$ （弧度）。当注视A点时，可以

看清D点，D点在视网膜上成的象为 d_1 、 d_2 ，这两个对应点同在黄斑中心 a_1 、 a_2 点的右侧，

但 $a_1 d_1 \neq a_2 d_2$ ，同样有 $\epsilon_D = \frac{b}{D_D}$ （弧度）。由于A点和D点距眼基线距离不等，因而角度 $\epsilon_A \neq \epsilon_D$ 。所以，我们可以根据空间各点对眼基线张角 ϵ 的大小，来判断各点距观察者的远近。我们称空间点（物体）对眼基线的张角 ϵ 为“视差角”，并建立视差角与距离之间的一般表达式：

$$\epsilon = \frac{b}{D} \quad (\text{弧度}) \quad (1-2-1)$$

由上式可知：空间距眼基线等距离的点，其视差角相等；距离不等的各点，其视差角也不等，视差角与距离成反比。因而距离远近不同的物体视差角存在的差别，就成为我们体视判断物体远近的客观根据。双眼视觉具有的这种能区别空间各点视差角的微小差别，从而能判断各点距离远近不同的特性，就是双眼的体视视觉或称体视效应。

两眼能分辨视差角最小差别的本领，称为体视敏锐度，以 $(de)_{min}$ 表示。体视敏锐度是双眼视觉的一种生理限制，它与单眼视觉的敏锐度即分辨能力是密切相关的。实践经验表明，体视敏锐度远远高于单眼的分辨能力（最小分辨角 $60''$ ），而近于观察线和线条的敏锐度，且与训练很有关系。通常取 $(de)_{min} = 10''$ ，有些人通过训练可达 $7''$ 甚至 $3''$ 。

如果物体在无穷远，则 $e_{\infty} = 0$ 。对于近的物体，只有当它的视差角 $e \geq (de)_{min}$ 时，才能与无穷远物体区别开。我们称对应于体视敏锐度的距离为体视半径，计算为：

$$D_0 = \frac{b}{(de)_{min}} = \frac{0.065}{10''/206265''} \cong 1350 \text{米} \quad \text{【注】}$$

这表明双眼视觉对1350米以内的物体具有空间深度的感觉，而对远于1350米的物体则分辨不出其远近，感到在体视半径以外的空间好象都在同一平面内。当然，实际上我们能感觉比体视半径更远的物体的空间深度，这是由于依靠经验和一些间接特征的帮助。从体视半径 $D_0 = 1350$ 米，我们得到启示，设计双眼仪器要设法增大体视半径，扩大深度判断范围。

依靠双眼体视效应可以估计空间物体的距离，那么估计距离的误差如何确定呢？

对我们 $e = \frac{b}{D}$ 两边取微分

$$\text{则有} \quad de = b \cdot \frac{dD}{D^2}$$

$$\text{变换形式为：} dD = \frac{de}{b} \cdot D^2 \quad (1-2-2)$$

若取 $de = (de)_{min}$ ，则由于体视敏锐度而产生的深度（距离）判断误差为

$$dD = \frac{(de)_{min}}{b} \cdot D^2 \quad (1-2-3)$$

式中 $(de)_{min} = 10''$ ，眼基线为定值（通常取为 $b = 0.065 \text{m}$ ），因而深度判断误差，与距离的平方成正比。我们称能区分远近两空间点间距的最小值（也就是深度判断误差）为体视阈（或空间深度感觉阈）。

如果取 $(de)_{min} = 10''$ ， $b = 0.065 \text{m}$ 代入 (1-2-3) 式，计算下列各点的体视阈值，

D (m)	0.5	1	5	10	50	100	500	1000
dD (m)	0.0002	0.0007	0.019	0.074	1.85	7.4	185	740

【注】角度的两种单位制之间的关系： $1[\text{弧度}] = 206265''$

上述计算表明，虽然双眼视觉的体视锐度很高，但用目测估计绝对距离则很不精确，特别是对距离100公尺以外的物体。

必须指出，并非在体视半径范围以内的空间任意两个物体都能直接比较远近、判断空间深度，亦即具有体视感。经验表明，在下列一些情况下，即使在体视半径之内，也不能产生体视视觉，如图（1—2—2）所示：

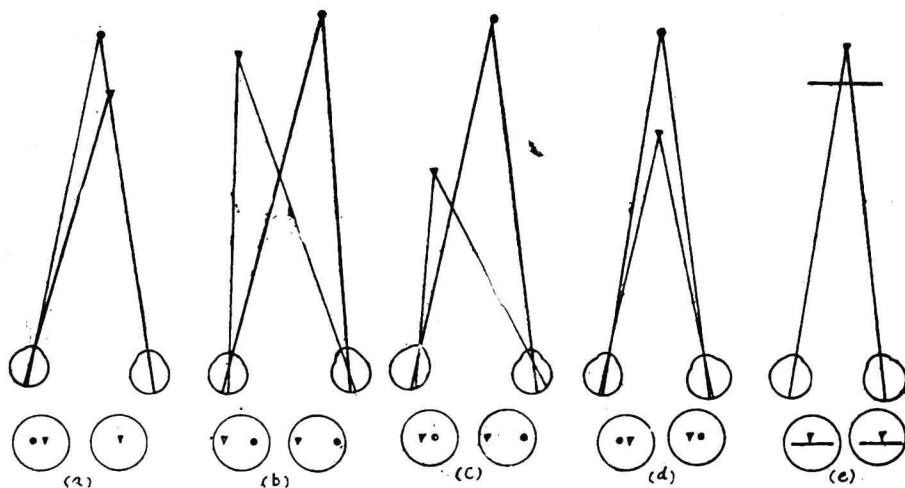


图1—2—2

（1）观察者的一只眼睛只看到了两物体中的一个，即在一眼中的象被另一点所掩，因而该点的象不再是一对（如图1—2—2之(a)所示），体视效应破坏；

（2）若被比较的物体其横向距离太远（角距离大），体视感困难（如图(b)所示）；

（3）若被比较的物体纵深相距太远，则当注视一点（如·）时，另一点（如▼）合象困难，产生双象，因而不能产生体视感（如图(c)）；

（4）若被比较的两个物体位于垂直于眼基线的水平线上，且彼此相隔很远，则不能产生体视效应（如图(d)）；

（5）若被比较的物体之一，或二者均为水平直线且平行于眼基线，则不能产生体视效应（如图(e)）。

实践证明，只有当左右眼可以同时看到的目标，才有可能分辨远近。两眼对垂直于眼基线方向（且能合象者）的目标体视感较强，而对平行于眼基线的目标体视感较差，对方向相差悬殊或纵深距离相差悬殊的目标难于分辨其远近，而对（图1—2—3）所示阴影区内的目标比较远近是不可能的。图中P为被注视点， S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 等点均不能与P点作深度上的比较，因为不能满足合象条件，不产生体视效应。

最后需要指出，双眼体视视觉产生的根本原因是由于双眼对空间不同点的视差角微小差

别的分辨具有很高的灵敏度。此外，利用双眼对不同点合象时，两眼视轴会聚和对距离调节时肌肉用力程度的差别也可以帮助估计距离。只不过这种估计只限于很近的距离

(如由于眼睛转角小于 $7'$ 便感觉不出，因而利用视轴会聚时眼肌肉用力程度来估计距离不能超过16米)，超过这一范围由于会聚与调节的能力不存在了，因而估计距离的能力也不复存在。

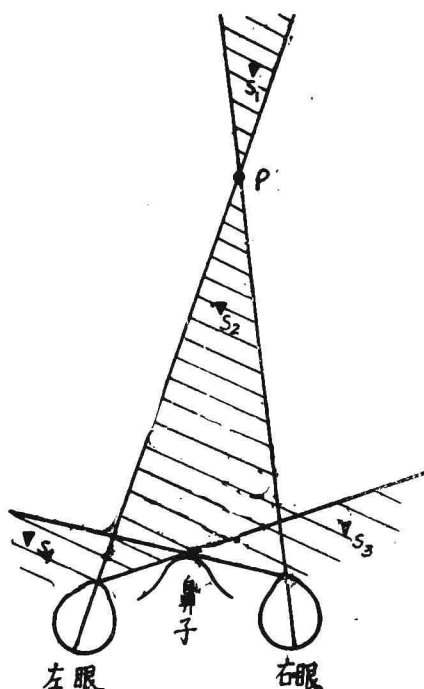


图1—2—3

§ 2—2 双眼体视仪器的基本原理

双眼的体视效应受到眼基线 b 和体视锐度 $(de)_{min} = 10''$ 的限制，因此体视半径只有 $D_0 = 1350$ 米。

利用双眼仪器可以大大增强体视效应，扩大体视半径，减少深度判断误差。双眼仪器为什么能增强体视效应呢？下面我们通过双眼望远系统的成像过程来进行分析(见图1—2—4)。

我们可以将双眼望远系统的观察看成两个过程：第一个过程为物镜成像过程，即将观察的物空间投影成象在物镜的后焦面(目镜的前焦面)上。以物空间观察点 P 为例，其在象面上的对应象点为 P_1 、 P_2 ；第二个过程为通过目镜观察合象的过程，即将目镜前焦面上的对应点 P_1 、 P_2 通过双眼观察将其合象为 P' 点。

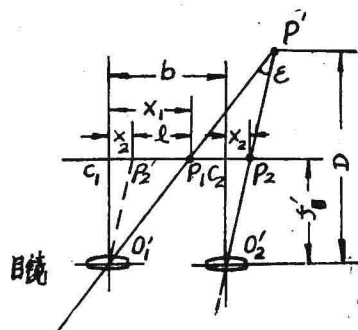
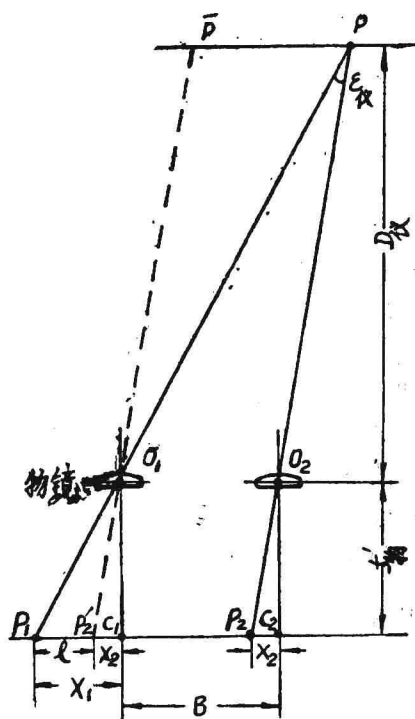


图1—2—4

首先看第一个过程即物镜成像过程（见图1—2—4上半部分）。取二个相同的望远系统（左右物镜、目镜焦距相等），其两光轴相互平行（图1—2—4），B为两物镜光轴之间长度，称为仪器的基线长。物空间点P分别成像在两物镜后焦面上，得到对应点 P_1 、 P_2 。 x_1 、 x_2 为 P_1 点和 P_2 点的坐标值（相对于光轴上点 C_1 、 C_2 ）。作 $\overline{PO_1P'_2} \parallel PO_2P_2$ ，则有 $l = x_1 - x_2$ ，我们称二对应点坐标值之差 l 为“线视差”（它是体视测量仪器判断深度和测标分划板设计的重要参量）。 $D_{\text{仪}}$ 为P点距仪器的距离， $\varepsilon_{\text{仪}}$ 为P点对仪器基线B的张角，称之为仪器的物方视差角。如图 $\triangle O_1P \overline{P} \triangle O_1P_1P'_2$ ， $\frac{\overline{PP'}}{P_1P'_2} = \frac{O_1P}{O_1P_1} = \frac{D_{\text{仪}}}{f'_{\text{物}}}$ 。其中 $\overline{PP'} = B$ ， $P_1P'_2 =$

l ，因而 $\frac{B}{l} = \frac{D_{\text{仪}}}{f'_{\text{物}}}$ （ $D_{\text{仪}} \gg B$ ）。变换形式，得到：

$$\varepsilon_{\text{仪}} = \frac{B}{D_{\text{仪}}} = \frac{l}{f'_{\text{物}}} \quad (1-2-4)$$

或

$$l = \frac{B \cdot f'_{\text{物}}}{D_{\text{仪}}} \quad (1-2-5)$$

上式中对给定的仪器，B和 $f'_{\text{物}}$ 均为定值，因而线视差 l 与物点距离 $D_{\text{仪}}$ 成反比。利用此式也可根据已知的线视差 l 值，测得未知距离 $D_{\text{仪}}$ 。

下面看第二个过程，即双眼通过目镜观察合象的过程（见图1—2—4的下半部分）。这里需说明，由于双眼望远仪器一般都要求正象，因而望远系统中通常加入棱镜或透镜转象系统，将物镜所成的倒象反转 180° ，所以实际上在目镜前焦面上所看到的 P_1 点 P_2 点应如图1—2—4的下图示。双眼通过目镜 O'_1 、 O'_2 观察对应点 P_1 、 P_2 ，由于体视合象作用，感到 P_1 点和 P_2 点会合为一个象点 P' ， P' 在 O'_1P_1 、 O'_2P_2 线延长线交点上。设 P' 点对目镜（也即对双眼）的张角为 ε （此即仪器的象方视差角），目镜基线（即眼基线）为 b ，作 $O'_1P'_2' \parallel O'_2P_2$ ，则 $\triangle O'_1P'_2'P_1 \triangle P'O'_2'O'_1$ ，因而 $\frac{O'_1O'_2'}{P_1P'_2'} = \frac{O'_1P'}{P_1O'_1} = \frac{D}{f'_{\text{目}}}$ 。其中 $O'_1O'_2' = b$ ，

$P_1P'_2' = l$ ，因而有 $\frac{b}{l} = \frac{D}{f'_{\text{目}}}$ 。变换形式（ $\because D \gg b$ ），得到：

$$\varepsilon = \frac{b}{D} = \frac{l}{f'_{\text{目}}} \quad (1-2-6)$$

式中， ε 为双眼观察被仪器所成的象点 P' 的视差角（即仪器的象方视差角）。

$$\text{或} \quad l = \frac{b \cdot f'_{\text{目}}}{D} \quad (1-2-7)$$

下面，我们将上述两个过程综合，分析双眼通过双眼望远系统观察物空间时，其体视效应的变化情况。

将（1—2—7）式之 l 值代入（1—2—4）式：

$$\text{则 } \varepsilon_{\text{仪}} = \frac{l}{f'_{\text{物}}} = \frac{\frac{b \cdot f'_{\text{目}}}{D}}{f'_{\text{物}}} = \frac{b/D}{f'_{\text{物}}/f'_{\text{目}}} = \frac{\varepsilon}{\Gamma} \quad (1-2-8)$$

表明, 通过仪器观察到的象方视差角为其物方视差角 $\varepsilon_{\text{仪}}$ 乘以望远系统的放大率 Γ , 因而视差角被放大。双眼体视仪器的角放大率为 $r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{仪}}} = \frac{l \cdot \varepsilon_{\text{仪}}}{\varepsilon_{\text{仪}}} = \Gamma$, 即等于望远系统的放大率。由(1-2-8)式, 若眼睛的体视锐度 $(d\varepsilon)_{\min} = 10''$, 则通过双眼望远系统观察, 其体视锐度为:

$$(d\varepsilon_{\text{仪}})_{\min} = \frac{(d\varepsilon)_{\min}}{\Gamma} = \frac{10''}{\Gamma} \quad (1-2-9)$$

表明通过双眼仪器观察其体视锐度提高了, 因而对物空间深度差别的判断能力也相应得到提高。

D 为仪器的象方观察距离, $D_{\text{仪}}$ 为仪器的物方观察距离, 由(1-2-4)式应有关系:

$$D_{\text{仪}} = \frac{B \cdot f'_{\text{物}}}{l} \quad \text{式中 } l \text{ 值由 (1-2-7) 式代入, 得到:}$$

$$D_{\text{仪}} = \frac{B \cdot f'_{\text{物}}}{l} = \frac{B \cdot f'_{\text{物}}}{\frac{b \cdot f'_{\text{目}}}{D}} = \frac{B}{b} \cdot \frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} \cdot D。$$

式中 $\frac{B}{b} = P$ 称为双眼仪器的基线比;

$$\frac{B}{b} \cdot \frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} = P \cdot \Gamma = \Pi \quad \text{称为双眼仪器的体视率, 它表征双眼仪器的体视性能。}$$

则上式可表为:

$$D_{\text{仪}} = \Pi \cdot D \quad (1-2-10)$$

表明通过双眼仪器观察, 若其象方观察距离为 D , 则其对应的物方观察距离将扩大 Π 倍。

若上式中之 D 代以双眼观察的体视半径 D_0 , 则通过双眼仪器观察, 其体视半径也将相应地扩大 Π 倍:

$$D_{0\text{仪}} = \Pi \cdot D_0 \quad (1-2-11)$$

通过双眼仪器观察其深度判断误差为:

$$\begin{aligned} (dD_{\text{仪}}) &= \frac{(d\varepsilon_{\text{仪}})_{\min}}{B} \cdot D^2 = \frac{(d\varepsilon)_{\min}}{B \cdot \Gamma} \cdot D^2 \\ &= \left[\frac{(d\varepsilon)_{\min}}{b} \cdot D^2 \right] \cdot \frac{b}{B \cdot \Gamma} = \frac{(dD)}{\Pi} \end{aligned} \quad (1-2-12)$$

即其深度判断误差(也即仪器的体视阈值)比双眼直接观察将减小 Π 倍。

上述关系表明双眼仪器体视性能的增强是由于仪器一般具有大于1的放大倍率和大于1的基线比。

§ 2—3 双眼仪器的设计制造要求

为保证通过双眼仪器观察时，能够合象，产生良好的体视效应，使观测者能较长时间地工作，从双眼体视效应的生理限制出发，对双眼仪器的设计制造提出如下几个方面的要求：

一、双眼望远系统两光轴相互平行性的要求：

双眼直接观察无穷远目标时，正常的眼睛既不需要调节也不需要两眼视轴会聚，两视轴将本能地保持平行。此时，无穷远目标发出的两支平行光束，平行地射入左右两眼，入射光线与视轴相重合，同时目标成象在视网膜上。当使用双眼仪器观察时，要求自仪器射出并进入双眼的两支平行光束应保持无穷远目标发出的两支平行光束直接进入双眼时的条件。如果双眼仪器两光轴不平行，则无穷远目标发出的两支平行光束经仪器射出并进入双眼时，将不再保持平行。从仪器射出的两支光束的不平行性与仪器两光轴间夹角的关系，如图(1—2—5)所示。

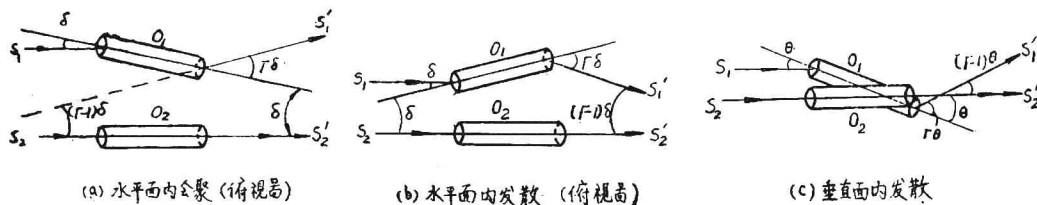


图1—2—5

图示情况表明：如果仪器光轴在水平面内会聚，则出射光束在水平面内发散，其余依此类推。如果水平面内仪器两光轴夹角为 δ ，则相互平行的两支平行光束经仪器后出射的两支平行光束夹角将为 $(\Gamma - 1)\delta$ ；同样垂直面内两光轴有夹角 θ ，则出射两支平行光束间夹角将为 $(\Gamma - 1)\theta$ ， Γ 为望远系统放大率。实践证明，如果自双眼仪器射出的两支平行光束相互间不平行性不超过一定限度时，则观察者集中眼睛的注意力通过仪器观察时可以将目标在两眼中的象合为一象，获得体视感，而不致引起不舒服的感觉。研究人眼的生理特性表明，两眼视轴平行观察远方目标最不易疲劳，两眼视轴在眼前水平方向交会某一有限距离目标也比较习惯，而两眼同时观察左右两不同方向（发散）则十分困难。根据人们长期实践经验，规定两眼视轴（也即要求仪器出射两支光束）的不平行性公差为：

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{两眼视轴在水平面内的会聚角（即仪器两出射光束夹角 } (\Gamma - 1)\delta & \leq 3^\circ \\ \text{两眼视轴在水平面内的发散角（即 } (\Gamma - 1)\delta & \leq 1^\circ \\ \text{两眼视轴在垂直平面内的发散角（即 } (\Gamma - 1)\theta & \leq 0.5^\circ \end{array} \right.$$

在使用双眼仪器时，为保证眼睛能较长时间地工作而不致疲乏，要求自双眼仪器射出的两支光束其不行度公差为上述生理条件允许量的 $1/3$ （在两目镜视度为 0、而目距可为任意的条件下）。

即

- $\left\{ \begin{array}{l} \text{仪器两出射光束在水平面内发散角 (对眼为会聚)} (\Gamma-1)\delta \leq 1^\circ \\ \text{在水平面内会聚角 (对眼为发散)} (\Gamma-1)\delta \leq 20' \\ \text{仪器两出射光束在垂直面内发散角 (对眼为发散)} (\Gamma-1)\theta \leq 10' \end{array} \right.$

在双眼望远镜中，要求仪器出射光束的水平发散、会聚及垂直发散的公差分别为 $40'$ 、 $20'$ 、 $\pm 15'$ 。通常以矩形框公差带表示。

二、双眼仪器的两个光学系统的放大率必须一致。通常允许左右放大率差的公差为 2% 。

如果双眼仪器左右放大倍率微有不同，虽在视觉及心理上不很舒服，但仍能合象；如果相差过大，则无法合象，对体视测距仪则带来测量误差。

左右放大率一致的要求，除由零件制造公差保证外，在装配中往往对光学系统进行测量及选择配对。

三、左右光学系统成像正直性的一致：在单支系统绝对象偏允许 $60'$ 以内的前提下，允许相对象偏为 $30'$ 。若相对象偏太大，则影响合象，破坏体视效应。

四、双眼仪器左右出瞳间隔应能调节与观察者目距一致，以保证合象效果。为此两镜筒之间采用铰链结构，并应保证光轴与铰链轴平行。目距调节范围一般为 $56\sim 74$ 毫米。

第三节 主要机构及其分析

在双眼望远镜的设计工作中，虽然最活跃可变的部分是光学系统部分，其他部分一般是作为固定元件和完成某种运动的机构。但要使所设计出的望远镜具有必要的光学特性和满意的象质，仅仅有一个好的光学系统是不行的，还必须要有合理的固定元件和可靠的运动机构。但是，望远镜的这些要求与实现的可能性往往是矛盾的。而望远镜的结构分析，就是分析在望远镜设计过程中，是如何研究矛盾和解决矛盾的，从而掌握所设计对象的内在规律和设计的基本原理，以便在自己的实践中加以检验，修正和补充，使其趋于完善，为设计一般的光学仪器打下初步基础。

§ 3—1 光学零件的固定及其要求

把设计好的、并制造出来的光学零件置于所要求的位置上，必须通过金工零件来加以固定。在固定时既要牢靠，又要不引起象质变坏。因为光学零件即使有微小的移动，也足以引起光学性能的变化，严重地将使仪器不能工作。所以，在解决这一矛盾时，必须满足下列要求：

1. 保证光学零件和机械零件的连接有足够的牢固性，但同时不能引起光学零件变形、产生内应力或者破碎；
2. 有满意的象质。能消除温度变化时，由于连结之间线膨胀系数不同而产生的光学零件的附加应力；
3. 装配方便且有调整的可能。

光学零件固定的种类和方法，在“仪器零件”课程中已经研究过，这里不再重复了。下面主要根据现有仪器结构中的各种固定方法，归纳出如下几条意见，供设计时参考。

1. 光学零件的固定必须符合六点定位原理。

大家知道，要在空间完全决定一个物体，必须限制其六个自由度：沿坐标轴的三个往复运动和绕上述轴的三个转动。

因此，如果要完全确定零件的位置，必须有六个定位点（支点）。对棱柱形的零件（例如平行六面体），通常采取具有三个支点的面称为主基面，具有二个支点的面称为导向基面，和具有一个支点的面称为支承基面（图1—3—1）。

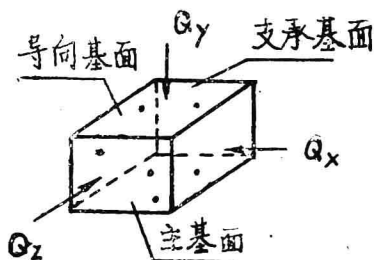


图1—3—1

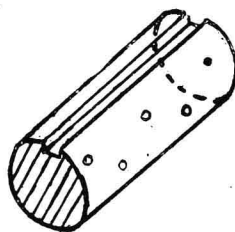


图1—3—2

为了确定圆柱形零件的位置，六个支点应如图1—3—2那样分布。此时圆柱面是“主基面”，同时又是“导向基面”（用以定零件的中心），而零件的端面和键槽的面是支承基面（用以防止零件转动）。

上面我们没有考虑用力接合把零件固定在基面上的情况。显然，为了用力接合，还需要有作用力的三个力点，接合力的方向垂直于基面。因此，要完全固定零件，至少要同时有9个支点，缺少其中一个，零件就在相应的方向上有移动的自由。

双眼望远镜中，棱镜的固定结构如图1—3—3所示。直角棱镜的斜面与仪器壳体中棱镜室的横隔平面接触，这是直角棱镜的主基面，其上部用弹簧压板固定。棱镜的两侧面与棱镜室横隔板上的槽接触，这是导向基面。为了校正象的倾斜，棱镜与槽之间有一定的间隙，其间隙大小由配合公差来保证。在弹簧压板的压力和压板与棱镜罩之间的摩擦力作用下，使棱镜得到固定。但是，这时棱镜在外力的作用下，（例如振动）还存在沿槽移动和在槽内转动的可能。为了消除棱镜的这一移动和微量转动，常在棱镜的侧面开一个槽子作为支承基面，再通过螺钉或在槽的边缘冲一小孔的方法，使棱镜失去沿槽移动的可能，并给棱镜一个侧向压力，这样，棱镜便被完全固定了。

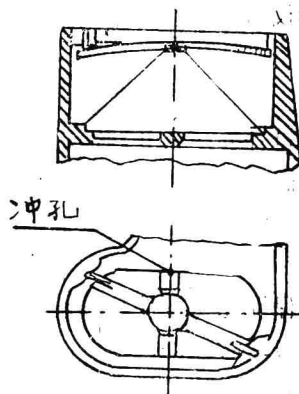


图1—3—3

2. 为了避免由于“多余约束”而产生光学零件的变形和内应力，对于尺寸较大的光学零件通常采用三点接触，且使接触面尽量地小。如图1—3—4所示的反射镜的固定和图1—3—5所示的透镜固定即是。