

地面立体摄影测量 及其应用

中国科学院地理研究所主编

测绘出版社

地面立体摄影测量 及其应用

中国科学院地理研究所主编

测绘出版社

内 容 简 介

本书共分十章。全面、系统地阐述了地面立体摄影测量的基础理论，内、外业仪器设备，基本工作方法，误差分析与改正及其在国民经济建设中的应用。

本书可供冶金、地质、煤炭、水电、交通、建筑等专业勘测设计人员及地理考察、冰川考察、大气污染、建筑物变形、考古、洞体工程、医学等科学研究人员、院校师生和有关专业人员参考。

地面立体摄影测量及其应用

中国科学院地理研究所主编

测绘出版社出版

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张16 $\frac{1}{4}$ ·字数468千字

1980年2月第一版·1980年2月第一次印刷

印数1—5,200册·定价1.55元

统一书号：15039·新114

前 言

地面立体摄影测量是在地面上进行摄影，在室内对摄取的底片进行立体量测，通过解算，准确地测定空间物体的分布、位置、形状和大小。具有详尽、准确、机动灵活等优点。在我国作为地形测量的一种手段，首先应用于测绘部门。随着我国社会主义建设事业的飞速发展，逐渐在地质、冶金、铁路、公路、水电、科研和教学部门得到广泛的应用。尤其应用于非地形测量方面，解决一些特殊量测问题，更充分地显示出它所具有的优越性。

近来，近景摄影测量是地面立体摄影测量的新分支。用普通摄影机加同步摄影装置对静体或动体摄影，用电子计算机解算摄影机内、外方位元素和摄影目标的坐标，均得到准确的量测结果。随着我国仪器制造工业、摄影化学工业的发展，多种用途摄影机相继问世（例如快速同步自动摄影机等），激光测距装置的出现，内、外业仪器自动化、电子化，都使地面立体摄影测量向多用途、小型化、自动化方向发展；理论和方法会更完善，应用前景会更广阔。

为了贯彻五届人大提出的“科学技术工作必须实行专业队伍和广大群众相结合、学习和独创相结合”的方针，认真总结我国各有关单位在长期的生产、教学和科研工作中积累起来的丰富经验，便于互相交流，推动地面立体摄影测量事业的发展，满足国民经济建设和国防建设各部门广大测绘工作者的迫切需要，为社会主义现代化建设服务，我们共同编写了这本《地面立体摄影测量及其应用》。

本书主要读者对象为具有一定测绘实践经验的工人、工程技术人员，也可供高、中等测绘院校师生参考。

本书由中国科学院地理研究所主编。参加编写的单位有：中国科学院地理研究所地面立体摄影测量组、武汉测绘学院航测系、昆明冶金设计院勘察处、铁道部第二设计院航测处、水电部第十一工程局航测队、煤炭部航测大队内业队、南京大学地理系制图教研室、云南冶金地质勘探公司测量队、南京华东光学仪器厂设计科、中国科学院兰

州冰川冻土沙漠研究所测绘室、云南水电设计院。本书由：李树楷、翟为檀、翁祖平、唐云英、颜铁森、郑双良、廖彩智等同志编写、定稿。利居仁、华瑞林、申孟贤、庄宝藩、王文颖、励维国等同志参加了编审工作；四川省地质局测绘队、陕西省地质局第二物探队、福建省地质测绘队、一、三、五机部勘测公司测量队和北京工业大学四系、陕西省地质局第一物探队、陕西省韩城煤矿设计队等单位分别提供了专题编写资料或提供了宝贵意见；编写过程中承蒙王之卓、陈适、崔炳光、张海根等同志指导。在此表示衷心感谢。

由于我们经验少、水平低，时间有限，许多资料未来得及收集整理，书中缺点、错误在所难免。热诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

1978年2月

目 录

第一章 地面摄影测量及其基本概念	1
第一节 概述	1
第二节 中心投影与象片	4
第三节 立体观察	8
第四节 前方交会与立体象对	13
第五节 利用几何模型测制地形图的概念	19
第二章 地面立体摄影测量的基本理论及公式	23
第一节 单张象片的分析	23
第二节 立体象对的定向	31
第三节 基本摄影方式及公式	35
第四节 其它摄影方式	45
第三章 地面立体摄影测量外业仪器	69
第一节 摄影镜箱的特性	69
第二节 摄影经纬仪的基本结构及分类	78
第三节 摄影经纬仪	81
第四节 摄影经纬仪的厂内检校	101
第五节 摄影经纬仪的作业检校	111
第四章 地面立体摄影测量外业工作	125
第一节 概述	125
第二节 踏勘与制定外业方案	126
第三节 摄影基线、摄影竖距及成图比例尺之 间的关系及应用分析	129
第四节 摄影站的确定和摄影方式的选择	139
第五节 象片控制点的布设及要求	145
第六节 摄影站的工作	149
第七节 摄影基线的测定	153
第八节 象片的野外调绘	160

第九节	漏洞的补测·····	162
第十节	外业成果资料的整理·····	163
第五章	感光材料及摄影处理·····	164
第一节	感光材料的基本结构与性能·····	164
第二节	感光材料的选择与滤光片的应用·····	174
第三节	摄影处理·····	178
第四节	摄影处理中有关问题的分析及处理·····	186
第六章	地面立体摄影测量的内业仪器·····	192
第一节	立体坐标量测仪的结构原理和检校·····	192
第二节	HCZ-1S型立体坐标量测仪的自动记录 设备及操作·····	197
第三节	1318立体自动测图仪介绍·····	202
第四节	1318立体自动测图仪的结构原理·····	221
第五节	1318立体自动测图仪的调整与检校·····	232
第六节	工程测图仪介绍·····	252
第七节	工程测图仪的检校·····	265
第七章	地面立体摄影测量内业成图方法·····	282
第一节	简易成图法·····	282
第二节	解析法·····	297
第三节	光学机械法·····	298
第四节	变焦距测图·····	323
第五节	根据量测数据寻找外方位元素的粗差·····	327
第八章	误差理论·····	330
第一节	内方位元素误差·····	330
第二节	外方位元素误差对象片坐标和左右视差 的影响及限差·····	338
第三节	量测误差对摄影坐标的影响·····	348
第四节	外方位元素误差对摄影坐标的影响及改正·····	360
第九章	象片控制点的内业加密·····	378
第一节	象片控制点内业加密的准备工作·····	378

第二节	利用一般方法求象片控制点的坐标和高程·····	394
第三节	利用已知控制点计算外方位元素误差 $d\gamma$ 的解析法·····	401
第四节	利用两个已知控制点计算竖距差的解析法·····	403
第五节	摄影交会法·····	407
第十章	地面立体摄影测量的应用·····	412
第一节	地面立体摄影测量在铁路勘测设计中的应用·····	412
第二节	地面立体摄影测量在公路工程中的应用·····	419
第三节	地面立体摄影测量在山区建厂勘测中的应用·····	422
第四节	同步地面立体摄影测量确定工业烟囱扩散差·····	426
第五节	地面立体摄影测量在洞体工程测量中的应用·····	433
第六节	地面立体摄影测量在洞体容积计算中的应用·····	438
第七节	地面立体摄影测量在重力勘探中的应用·····	442
第八节	地面立体摄影测量在冰川进退预报中的应用·····	448
第九节	冰情观测的地面立体摄影测量方法·····	458
第十节	地面立体摄影测量测定崩塌和堆积量·····	459
第十一节	大坝溢流面的地面立体摄影测量·····	462
附录:		
1.	B 型地形测图仪的检校·····	466
2.	1318 立体自动测图仪的安装·····	478
3.	1318 立体自动测图仪检校用表·····	484
4.	工程测图仪的安装·····	492
5.	地面立体摄影测量参考表格·····	496
6.	摄影处理药液配方·····	504
7.	仪器的维护·····	510

第一章 地面摄影测量及其基本概念

第一节 概 述

一、地面摄影测量及其分类

摄影测量是摄影技术在测量中应用的一门科学。

普通测量方法是对分散的点逐个观测，要进行大量的野外测量工作。摄影测量应用摄影技术，能在感光片上于非常短暂的时间内一次记录地面上的可见影象，进行少量野外工作，而大量的测量工作搬到室内进行。

由于现代摄影化学、精密机械、光学、电子、自动控制等科学事业的发展，为摄影测量的三个阶段：摄影、外业、内业提供了精度高、效率高、劳动强度低的仪器设备和材料。

摄影测量的基本特点是：

（一）以摄影所获底片（或象片）作为测量的基础。

（二）野外工作周期短、效率高。

（三）可提供真实、详尽、高精度的测量成果。

（四）采用了现代科学技术和仪器设备，大大改善了劳动条件和作业环境。

由于摄影测量方法与普通测量方法相比，有如上特点，因此，被广泛应用于基本地形图的编制、工程测量、农林水利规划等方面，在非地形测量应用中，如在科学考察、文物保管、建筑学、天文学、地质学等方面，都有一定的应用价值。

摄影测量可分为两类：

1. 地面摄影测量*

2. 航空摄影测量

地面摄影测量是用摄影经纬仪在地面上摄影。航空摄影测量是用

* 注：本书主要介绍地形测量中常用的摄影测量方法。

航空摄影机在空中摄影。

摄影测量有两种基本测量手段：单片（单象）测量和立体（双象）测量。

因此，地面摄影测量又可分单片测量和立体测量两种。由于立体测量效率高、精度好，已成为主要方法。

以地面摄影所获底片（或象片）为量测基础的立体测量方法称地面立体摄影测量。

地面立体摄影测量从被摄对象状态的不同，又可分两类：

1 静态摄影（摄山脉等不动物体）；2 动态摄影（摄海浪、流冰等运动着的物体）。

地面立体摄影测量由于在地面上摄影，其效率比航空摄影低，因而适用于小面积，大比例尺测量；由于摄影的几何特点限制，只适用于山区测量。因此在地形测量方面，小比例尺、大面积的国家基本地形图的测量，一般均采用航空摄影测量方法。在特殊情况下，小比例尺山地测量，也可以适当采用地面立体摄影测量。

地面立体摄影测量由于灵活、机动、精度高，因此，在地形测量和非地形测量中有着广泛的用途。

地面立体摄影测量有如下特点：

（一）在地面上进行静态摄影，摄影误差可以限制得很小，因此作业公式简单，仪器设备简单。

（二）灵活机动，成本低，精度高。

（三）易产生少量死带（或称漏洞），需补测。

（四）适用于大比例尺、小面积、山区测量。

（五）原理简单，便于学习掌握。

二、地面立体摄影测量在国民经济建设中的应用概况

由于我们党和国家的重视，自解放以来，地面立体摄影测量在国民经济建设中有较大的应用与发展。

我国科学研究较早地在地理、地质考察、冰川、冻土考察方面应用了这种方法。

我国在首次对著名的珠穆朗玛峰的考察中就应用了地面立体摄影

测量方法编制了1:25000的地形图。

大气污染、洞体工程、工程建筑物变形观测以及物探重力地形改正等非地形测量方面也正在推广应用这种方法。

水利电力工程勘测设计部门早在五十年代就应用了这种方法编制大比例尺（1:500~1:5000）地形图，取得了良好的效果。

煤炭、冶金、地质等勘测设计部门也先后在不同程度上应用了这种方法测制1:500~1:10000大比例尺地形图，收益不小。

交通线路勘察也采用了这种方法，用以解决公路、铁路困难地段工点大比例尺地形测量问题。

工业厂区的选择、规划、建设方面，正在试验和逐步推广这种方法。

遵照伟大领袖毛主席“自己动手，丰衣足食”的教导，地面摄影测量的仪器设备正在按照我国具体情况进行研制。国产摄影经纬仪已由华东光学仪器厂研制成功。

三、地面立体摄影测量应用的效果

（一）功效比平板仪测量提高30%~3倍。

（二）精度方面，地理精度好，等高线精度比平板仪测量高，地物平面精度可满足测量规范要求。

（三）地面立体摄影测量高程精度部分统计：

表1—1

测图比例尺	测区名称	用途	等高线高程中误差
1:200	某公路	定向爆破	±0.10米
1:500	某铁路	桥位设计	±0.30米
1:1000	密云西智	冶金采矿	±0.49米
1:2000	云南海口	矿山建设	±0.60米

第二节 中心投影与象片

一、投影

物体在光照作用下,在平面上形成物体的影象,这影象即称投影。

在人为的条件下,利用光照在平面上获得物体影象的工作称投影工作(或简称投影),例如放映电影(见图1-1)。

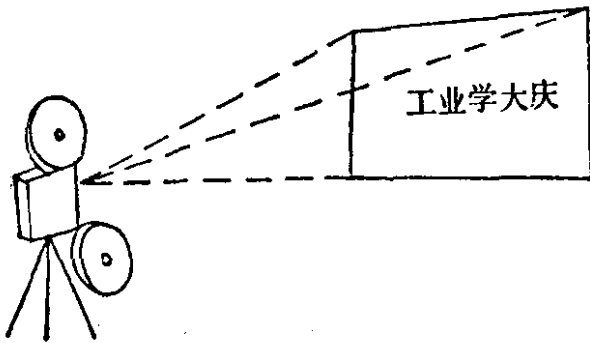


图1-1 放映电影

形成投影(影象)必须具有下列两个条件:

(一) 必须有物体、投影中心、投影面。

(二) 必须有光线照在物体上。

二、中心投影与正射投影

投影光线可分为互相平行的或不平行的两种。因此获得物体投影(影象)的方式也可分为两类:

(一) 中心投影

一束光线经过一个投影中心(如物镜),从这个投影中心出发的不平行的投射光形成投影,这种投影方式称中心投影,如图1-1所示。

(二) 平行投影

当投影是由互相平行的投射光获得,这种投影方式称为平行投

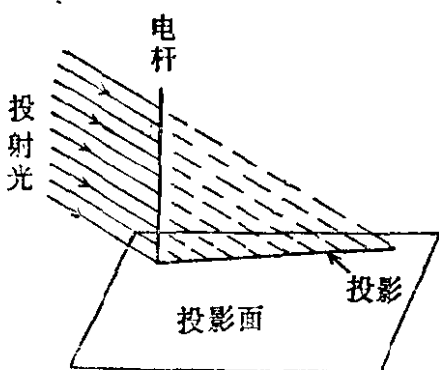


图1-2 斜射投影

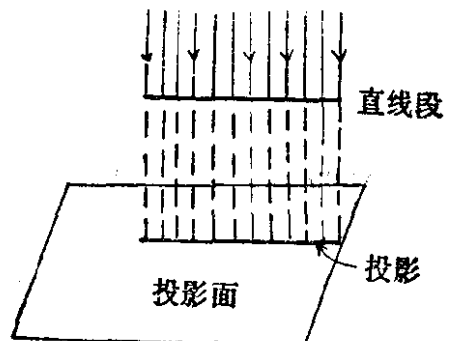


图1-8 正射投影

影。平行投影是中心投影的特例，其投影中心在无穷远。图 1—2 所示，平行投射光线与投影面不垂直，这种平行投影称为斜射投影。图 1—3 所示，投射光互相平行且垂直于投影面，这种平行投影称为正射投影。

三、摄影与投放

我们日常所了解的拍照（照象）、拍摄电影，光线都必须经过摄影机物镜（投影中心），才能在摄影机镜箱内的感光片上获得投影（影象）。这就是中心投影。

放大象片、放映电影也必须通过物镜（投影中心）才能实现，这也是中心投影。

放大象片是摄影的反转过程，放映电影是拍摄电影的反转过程。拍摄时，感光片当作投影面，装在镜箱内，而被摄物体在镜箱之外，投射光由镜箱外通过物镜（投影中心）射入。见图 1—4（甲）

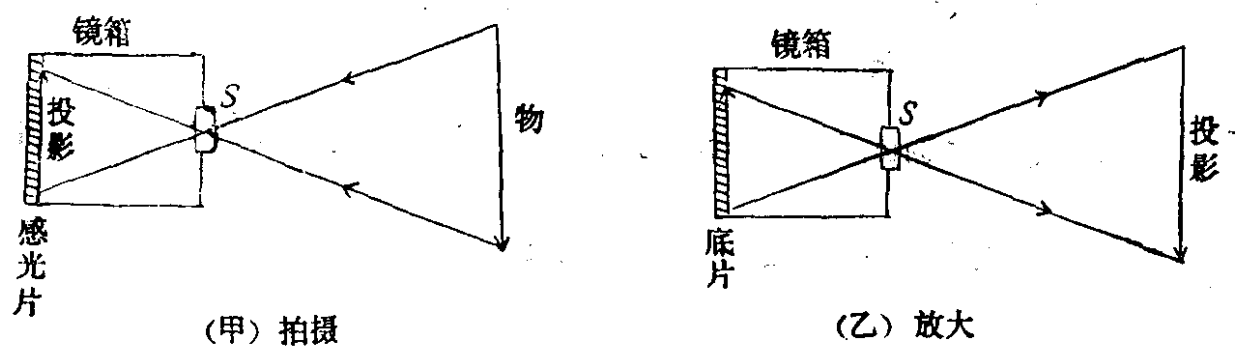


图 1—4

放映（或放大）时，投影面是银幕（或放大纸），在镜箱之外，而影片（或底片）是当作物放在镜箱之内，投射光通过物镜由镜箱内

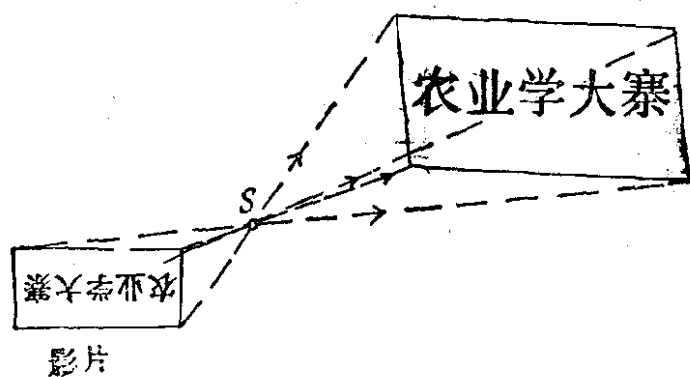


图 1—5 投影几何反转过程

向外射出。见图 1—4（乙）。

总结上述：投影面在镜箱内的中心投影称摄影。投影面在镜箱外的中心投影称投放。投放是被摄物体影象再现的过程，也就是讲投放是摄影的反转过程（图 1—5）。投放与摄影是互为反转的。

四、象片

地面立体摄影测量首先要用专用的高精度摄影机在地面上对被摄目标摄影。摄影后的感光片经冲洗，将影象稳定下来，所获具有被摄目标的中心投影影象的片子（投影面）称象片。

所得到的这张有影象的片子与实地黑白色调相反，称这种影象为负象。具有负象的片子称负片。片子的片基可以是透明胶片或玻璃片。对于负片进行复制，则获得与实地黑白色调一致的影象，这种影象称正象。具有正象的片子称正片。片子的片基可以是不透明的照像纸或透明胶片、透明玻璃片（图 1—6）。

不论负片（俗称底片）或正片（俗称象片）统称为象片。

五、象片比例尺

象的大小与物的大小之比，并化成分子为 1 的形式 $\left(\frac{1}{m}\right)$ ，这个 $\frac{1}{m}$ 就称为象片比例尺。由图 1—7 可知：

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} \tag{1-1}$$

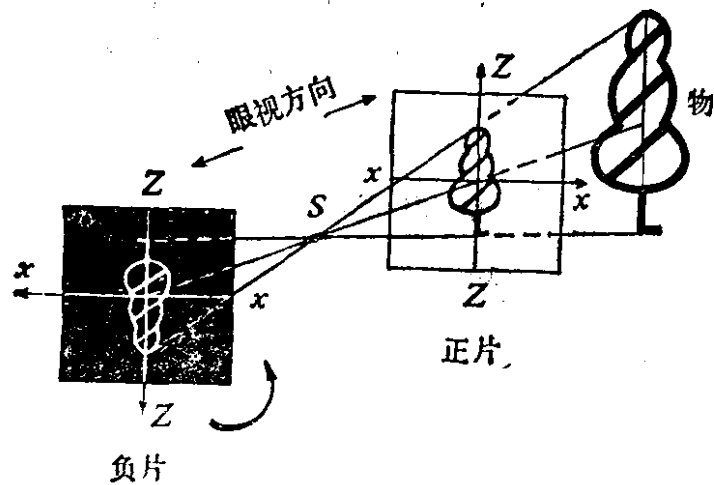


图 1—6

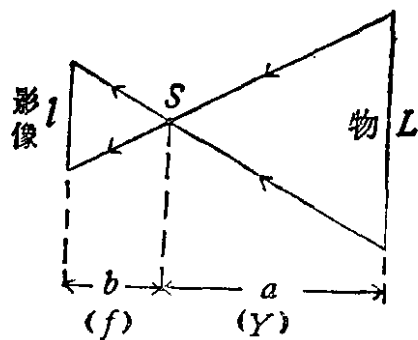


图 1—7

式(1-1)表明物为象之 m 倍,象为物之 $\frac{1}{m}$ 倍。 m 称象片比例尺分母。

由图1-7也可知:

$$\frac{1}{m} = \frac{\text{象距}}{\text{物距}} = \frac{b}{a} \tag{1-2}$$

摄影测量中称象距 b 为 f ,称物距 a 为 Y ,则(1-2)式变为下面形式:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{Y} \tag{1-3}$$

分析式(1-3),若 f 固定, Y 变化,则 $\frac{1}{m}$ 也就随之变化,

$\frac{1}{m}$ 整个分式与 Y 成反比, Y 增大, $\frac{1}{m}$ 减小; Y 减小, $\frac{1}{m}$ 增大。

象片比例尺就是摄影比例尺,通常指的是象片近似的平均比例尺。

一个点的摄影比例尺通常是以(1-4)式表示(见图1-8):

$$\frac{1}{m_a} = \frac{f}{Y_a} \tag{1-4}$$

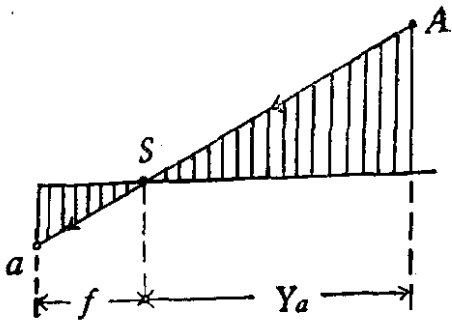


图1-8 $\frac{1}{m}$ 与 Y_a 的关系

六、象片坐标系与象片坐标

我们所摄象片是作为量测的基础,要在它上面进行各种数据的量测,因此,在它上面必须建立一个平面坐标系。

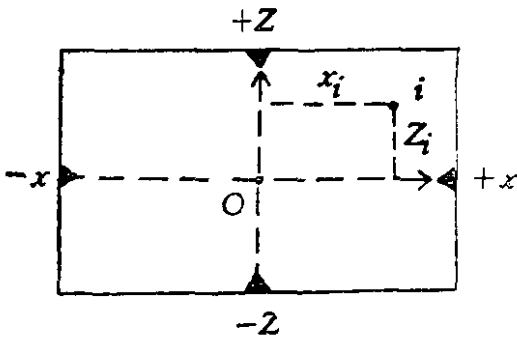


图1-9

摄影经纬仪承影面附近的专用标志,在水平和垂直方向各有一对,这专用标志称框标(见图1-9)。

摄影瞬间,摄影经纬仪框标在感光片上摄出影象,标出象片平面坐标系。因此经过摄影获得象片后,象片

坐标系即已建立。

水平对称框标（影象）的连线为 x 轴（图 1—9），垂直对称框标（影象）的连线为 z 轴，且 x 轴与 z 轴正交（ 90° ），交点“O”为原点。 x 轴在 origin 以左的半轴为负半轴，以右的半轴为正半轴； z 轴在 origin 以下的半轴为负半轴，以上的半轴为正半轴。

由这样的 x 轴、 z 轴正交所组成的平面直角坐标系统称象片坐标系，它控制整个象片平面。

任何一个象点 i （象点——象片上的投影点）在象片坐标系中，对 z 轴和 x 轴的垂直距离（ x_i 、 z_i ），称为该点的象片坐标（见图 1—9）。

第三节 立 体 观 察

一、立体视觉

视觉——人眼睛观看物体的感觉。人眼睛观看物体能有所感觉是因为人眼睛是一个由细胞组成的特殊摄影机。人的眼球基本生理构造如图 1—10 所示。

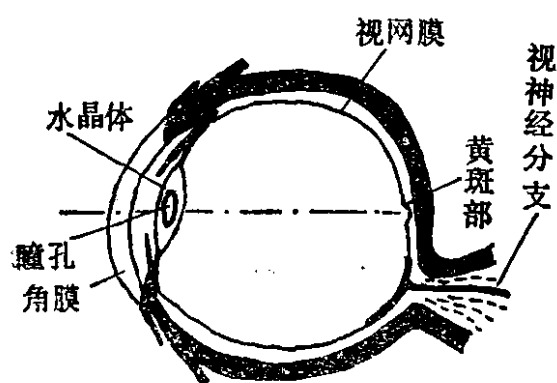


图 1—10 眼球

眼球的透明晶状体相当于物镜（投影中心），视网膜相当于感光片。

视网膜由血管、视细胞杆体和锥体、神经纤维和神经细胞等组成。视网膜内面正对眼球后极处，称为黄斑部。黄斑部正中央稍凹陷，称为正中凹（网膜窝），感光

最灵敏，视力最好。由物体发出的光通过晶状体，投射在视网膜上，引起神经兴奋，兴奋传导至大脑枕页的视中枢，成为视觉。

视觉分两种：单眼视觉和双眼视觉。

单眼视觉只能感觉到物体存在于平面之中，而不能感觉到物体在空间存在，若说单眼也能识别远近，这是根据生活中的印象而判断的，近物清晰，远物模糊，近大，远小，而无真正的空间立体感。

双眼同时观看一物体，则具有明显的空间感觉，能够区别远近，

这就是双眼视觉，亦称立体视觉。

见图 1—11，当人双眼注视某一 A 点时， A 点投影在左、右眼睛中的影象分别落在网膜窝。而比 A 远或近的 M 或 P 点的影象则不能落于网膜窝。在左眼产生 $m_1 a_1, p_1 a_1$ ，在右眼产生 $m_2 a_2, p_2 a_2$ 。以网膜窝为坐标原点，令 x 轴左为 $+$ ，右为 $-$ ，则 $\eta = m_1 a_1 - m_2 a_2 < 0$ ， $\eta = p_1 a_1 - p_2 a_2 > 0$ ，这 η 称生理视差。

生理视差就是左、右眼中影象点与网膜窝之间圆弧之差，以 η 表示。

$\eta < 0$ 表示双眼对 M 点的交会角小于对 A 点的交会角，则 M 点比 A 点远； $\eta > 0$ ，表示双眼交会中 P 点的交会角大于 A 点的交会角，则 P 点比 A 点近。视神经根据 η 而感到观察点（ M 或 P ）对于注视点 A 之远近。

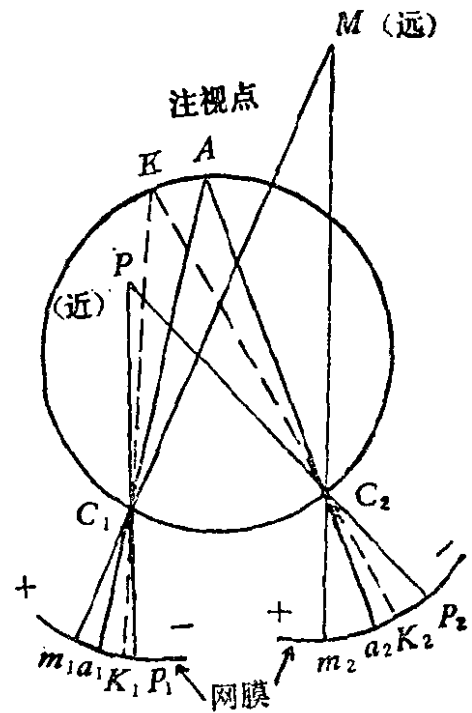


图 1—11

若 $\eta = 0$ ，表示 K 点与 A 点距眼睛等远。

单眼视觉不能产生生理视差 η ，故不能真正感觉到远近，而只有一种生活中的印象反映。

双眼观察能感觉远近，是有一定限制的。能感觉到一个点（或垂直直线）相对于注视点远近的最小生理视差值 $\eta_{\text{最小}}$ ，就是立体视觉的分辨力。立体视觉的分辨力，在很大程度上决定于物体的光照、反差、形状等。

观察垂直直线时立体视觉的分辨力比观察点的分辨力高。

观察垂直直线的分辨力 $\eta_{\text{最小}} = 0.001$ 毫米，观察点的分辨力 $\eta_{\text{最小}} = 0.0025$ 毫米。

立体视觉的分辨力决定了立体观察最大半径 R_0 。（见图 1—12）。此最大半径 R_0 为：

$$R_0 = \rho'' \cdot \frac{b_0}{\Delta \gamma_{\text{最小}}} \quad (1-5)$$