

21

世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

GONGCHENG CELIANG


工程测量

解宝柱 蒋 伟 主编
张炳南 主审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

责任编辑 / 王 旻

封面设计 / Design  本格设计

21世纪高等职业技术教育规划教材 —土木工程类

- 线路工程
- 公路施工
- 工程测量
- 工程测量技术与应用
- 工程测量技术与应用实训
- 线桥隧测量
- 桥梁工程（公路）
- 桥梁工程（铁路）
- 城市轨道交通工程
- 隧道工程（第二版）
- 土力学（第二版）
- 工程项目施工组织与管理
- 建筑力学
- 建筑力学实验指导
- 基础工程（第二版）
- 工程地质（第二版）
- 工程制图
- 工程制图实践训练图册
- 水力学与桥涵水文
- 地基基础土工试验与检测实训指南

ISBN 978-7-5643-0345-7



9 787564 303457 >

定价：38.00 元

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工 程 测 量

解宝柱 蒋 伟 主编

张炳南 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工程测量 / 解宝柱, 蒋伟主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 土木工程类
ISBN 978-7-5643-0345-7

I. 工… II. ①解…②蒋… III. 工程测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 137353 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——土木工程类

工 程 测 量

解宝柱 蒋伟 主编

*

责任编辑 王 旻

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 23.25

字数: 581 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0345-7

定价: 38.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“工程测量”是交通土建类专业的主干课程之一。传统的工程测量内容是以光学测量仪器为基础的普通测量理论与方法为主，然后强调各行业的具体应用。随着全站仪的普及，传统的测角、测距工具及方法已渐成历史；电子水准仪的应用也给水准测量带来了效率上的革命；GPS 测量技术的日益普及，则对传统的测量理论和方法构成了直接的挑战。

在设计、施工、维修部门普及应用全站仪，广泛使用 GPS 测量系统的今天，作为以就业为导向的高职教育工程测量课程内容如何在传统工程测量方法和现代测量技术之间找到一个合适的切入点，以适应企业对测量工作的新要求，是我们从事高职工程测量教学工作的教师必须要解决的问题。为此，在西南交通大学出版社的大力支持下，由吉林铁道职业技术学院、黑龙江交通职业技术学院、辽宁铁道职业技术学院和黑龙江中铁建设监理有限责任公司共同成立了高职院校《工程测量》教材开发小组，针对铁道工程技术、道路桥梁工程技术等交通土建类专业，共同编写了这本《工程测量》教材。

本书分为基本测量、控制与应用测量、专业测量三部分。基本测量部分介绍了水准、角度、距离及全站仪测量工作的基本内容和方法，介绍了误差及精度的概念和基本知识；控制与应用测量部分介绍了小区域控制测量，GPS 卫星定位测量，施工测量的基本内容和方法，其中在地形图的测绘与应用一章，还着重介绍了数字地形图的应用；专业测量部分则针对各专业的具体需要，介绍了曲线、铁路、公路、建筑、桥梁、隧道、管线等工程设计、施工阶段的测量工作，在线路测量部分，针对近年来我国高速客运专线建设中已大量铺设无砟轨道的实际，增加了无砟轨道测量的基本内容。

“工程测量”是一门实践性和理论性都很强的课程，本书比较系统地反映了铁路、公路、建筑工程各阶段测量工作的内容，实用性很强，注重深入浅出，理论联系实际。为便于学生学习、复习及应用，每章后均附有思考题与习题。本书为高等职业技术教育工程测量课程教学用书，也可作为相关专业工程技术人员的参考资料。

本书共分十五章，由吉林铁道职业技术学院解宝柱、黑龙江交通职业技术学院蒋伟主编，全书由解宝柱统稿，吉林铁道职业技术学院张炳南教授主审。第一、四、七、八章由解宝柱编写；第二、三、六、十四章由蒋伟编写；第五章由黑龙江交通职业技术学院张俊刚编写；第九章由吉林铁道职业技术学院金鹏涛编写；、第十一章第四、五节由黑龙江中铁建设监理有限责任公司蒋军编写；第十章，第十一章第一、二、三、六节由辽宁铁道职业技术学院赵勇编写；第十二章由吉林铁道职业技术学院侯春奇编写；第十三章由黑龙江交通职业技术学院王兴杰编写；第十五章由吉林铁道职业技术学院李春静编写。

本书在编写过程中得到了西南交通大学出版社、黑龙江中铁建设监理有限责任公司、中铁九局集团有限责任公司、沈阳铁路局等单位的热心帮助和指导，在此表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限，书中不妥和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2009年4月

目 录

第一篇 基本测量

第一章 水准测量	1
第一节 高程测量工作概述	1
第二节 水准测量仪器与使用	3
第三节 水准测量方法	13
第四节 水准仪的检验和校正	21
第五节 水准测量的误差及其消减方法	26
第六节 精密水准仪和精密水准尺	29
第七节 电子水准仪	32
思考题与习题	35
第二章 角度测量	38
第一节 角度测量工作概述	38
第二节 经纬仪及其操作	39
第三节 水平角测量	47
第四节 竖直角测量	49
第五节 经纬仪的检验与校正	53
第六节 角度测量误差及其消减的方法	58
第七节 电子经纬仪	61
思考题与习题	62
第三章 距离测量与直线定向	64
第一节 钢尺量距	64
第二节 视距测量	71
第三节 光电测距	74
第四节 直线定向	76
第五节 用罗盘仪测量磁方位角	80
思考题与习题	81
第四章 全站仪	83
第一节 全站仪及其分类	83

第二节	全站仪的结构及其辅助设备	84
第三节	全站仪的操作与使用	88
第四节	全站仪测距误差分析	92
第五节	全站仪测距部的检验	93
第六节	全站仪使用的注意事项及维护	97
	思考题与习题	98
第五章	测量误差	99
第一节	测量误差的分类	99
第二节	评定精度的指标	102
第三节	误差传播定律	104
第四节	算术平均值及其中误差	106
第五节	加权平均值及其中误差	108
	思考题与习题	109

第二篇 控制与应用测量

第六章	小区域控制测量	110
第一节	控制测量工作概述	110
第二节	导线测量的外业工作	112
第三节	导线测量的内业工作	115
第四节	交会定点	126
第五节	高程控制测量	129
	思考题与习题	135
第七章	GPS 卫星定位测量	138
第一节	概 述	138
第二节	GPS 系统的组成	139
第三节	GPS 测量的作业模式	141
第四节	GPS 实时动态测量	144
第五节	南方测绘灵锐 S82 GPS RTK 操作简介	146
	思考题与习题	149
第八章	地形图的测绘与应用	150
第一节	地形图的基本知识	150
第二节	大比例尺地形图测绘	161
第三节	地形图的应用	170
第四节	数字地形图在工程中的应用	178

思考题与习题	185
第九章 施工测量的基本工作	187
第一节 测设已知水平距离	187
第二节 测设已知水平角	188
第三节 测设已知高程	189
第四节 测设点的平面位置	191
第五节 测设已知坡度	193
思考题与习题	194

第三篇 专业测量

第十章 曲线测量	197
第一节 路线平面组成和曲线测量工作概述	197
第二节 圆曲线及其测设	199
第三节 缓和曲线	206
第四节 加缓和曲线后的圆曲线综合要素计算和主要点设置	210
第五节 加缓和曲线后的圆曲线详细测设	212
第六节 遇障碍时的曲线测设	219
第七节 圆曲线两端缓和曲线不等长的测设	222
第八节 复曲线的测设	225
第九节 长大曲线和回头曲线的测设	227
思考题与习题	229
第十一章 线路测量	232
第一节 线路测量工作概述	232
第二节 线路初测	233
第三节 线路定测	235
第四节 线路施工测量	246
第五节 全站仪中线测设及断面测量	255
第六节 无砟轨道铁路工程测量	262
思考题与习题	270
第十二章 建筑施工测量	272
第一节 施工测量概述	272
第二节 建筑场地的施工控制测量	273
第三节 民用建筑场地的施工测量	277
第四节 工业建筑施工测量	292

第五节	激光定位技术在施工测量中的应用	297
第六节	特殊构筑物的施工测量	299
第七节	建筑物的变形观测	301
第八节	竣工测量	310
	思考题与习题	312
第十三章	桥梁施工测量	314
第一节	桥轴线长度的确定及控制测量	314
第二节	桥梁墩、台中心定位及轴线测设	318
第三节	桥梁细部放样	324
第四节	涵洞施工测量	329
	思考题与习题	330
第十四章	隧道测量	331
第一节	隧道洞外控制测量	331
第二节	隧道进洞测量	334
第三节	洞内控制测量	339
第四节	隧道贯通误差的测定与调整	342
第五节	隧道施工测量	346
	思考题与习题	349
第十五章	管道工程测量	350
第一节	概 述	350
第二节	管道中线和纵横断面测量	350
第三节	管道施工测量	355
第四节	顶管施工测量	358
第五节	竣工图测量	361
	思考题与习题	361
	参考文献	363

第一章 水准测量

第一节 高程测量工作概述

一、高程测量的方法

确定地面点的四要素分别是地面点的距离（水平距离或斜距）、角度（水平角和竖直角）、直线方向和高程。

高程测量的目的就是要获得地面点的高程。但高程往往不能直接测量，一般只能直接测得两点间的高差，然后根据其中一点的已知高程推算出另一点的高程。

进行高程测量的主要方法有水准测量和三角高程测量。水准测量是利用水平视线来测量两点间的高差。由于水准测量的精度较高，所以是高程测量中最主要的方法。三角高程测量是测量两点间的水平距离或斜距和竖直角（即倾斜角），然后利用三角公式计算出两点间的高差。三角高程测量一般精度较低，只是在适当的条件下才被采用。除了上述两种方法外，还有利用大气压力的变化测量高差的气压高程测量，利用液体的物理性质测量高差的液体静力高程测量，以及利用摄影测量的测高等方法（但此方法较少采用）。

二、高程测量工作过程

高程测量工作也分为两类性质的工作，即确定地面点未知高程的工作——测量，和在地面上确定已知高程点高程位置的工作——测设。本章只介绍高程测量工作，测设工作将在以后章节介绍。

高程测量工作过程可用图 1.1 所示的框图表示。

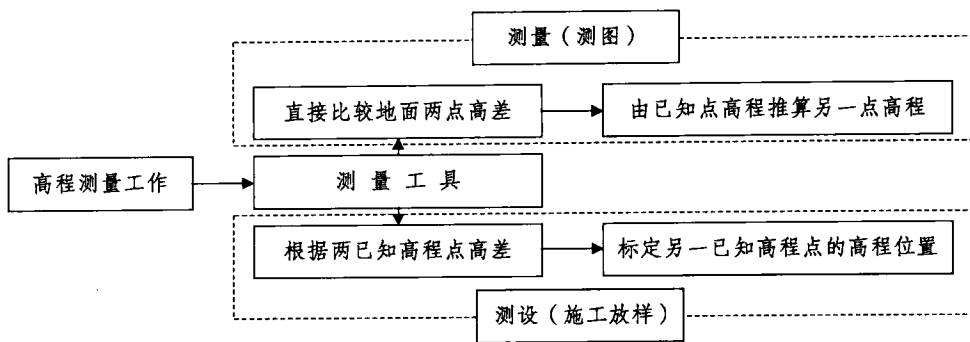


图 1.1 高程测量工作过程示意框图

三、高程系

高程测量的任务是求出点的高程，即求出该点到某一基准面的垂直距离。为了建立一个全国统一的高程系统，必须确定一个统一的高程基准面，通常采用大地水准面即平均海水面作为高程基准面。新中国成立后我国采用青岛验潮站 1950—1956 年观测结果求得的黄海平均海水面作为高程基准面。根据这个基准面得出的高程称为“1956 黄海高程系”。为了确定高程基准面的位置，在青岛建立了一个与验潮站相联系的水准原点，并测得其高程为 72.289 m。水准原点作为全国高程测量的基准点。从 1985 年起，国家规定采用青岛验潮站 1952—1979 年的观测资料，计算得出的平均海水面作为新的高程基准面，称为“1985 国家高程基准”。根据新的高程基准面，得出青岛水准原点的高程为 72.260 m。所以在使用已有的高程资料时，应注意到高程基准面的差异。

四、水准点

高程测量也是按照“从整体到局部”的原则来进行的。就是先在测区内设立一些高程控制点，并精确测出它们的高程，然后根据这些高程控制点测量附近其他点的高程。这些高程控制点称水准点，工程上常用 BM 来标记。水准点按需要保存的时间长短，分为永久性水准点和临时性水准点。永久性水准点一般用混凝土标石制成，顶部嵌有金属或瓷质的标志，如图 1.2 所示。

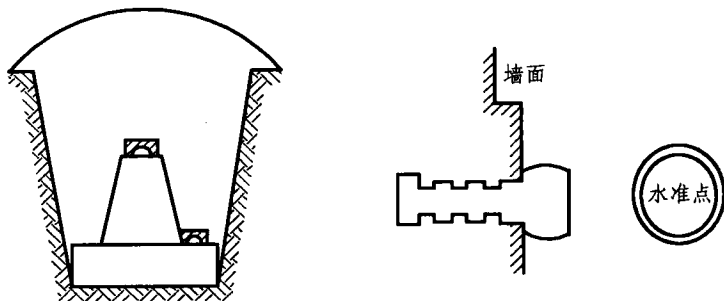


图 1.2 永久性水准点

标石应埋在地下，埋设地点应选在地质稳定、便于使用和便于保存的地方。在城镇居民区，也可以采用把金属标志嵌在墙上的“墙脚水准点”。临时性的水准点则可用更简便的方法来设立，例如用刻凿在岩石上的或用油漆标记在建筑物上的简易标志，如图 1.3 所示。

水准点埋设后应根据周围地形、明显地物绘出草图，图上注明点的位置和编号，如 BM_1 、 BM_2 、 BM_3 … 以方便查找使用。这样的草图称为“点之记”，如图 1.4 所示。

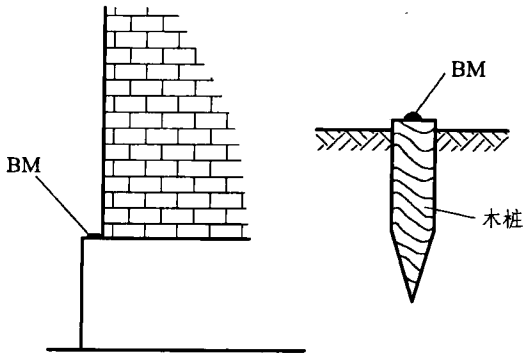


图 1.3 临时性水准点

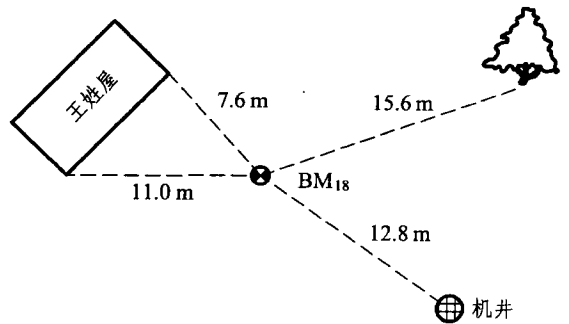


图 1.4 点之记

第二节 水准测量仪器与使用

一、水准测量的原理

水准测量是利用水平视线来求得两点的高差。例如图 1.5 中，为了求出 A 、 B 两点的高差 h_{AB} ，在 A 、 B 两个点上竖立带有分划的标尺——水准尺，在 A 、 B 两点之间安置可提供水平视线的仪器——水准仪。当视线水平时，在 A 、 B 两个点的标尺上分别读得读数 a 和 b ，则 A 、 B 两点的高差等于两个标尺读数之差。即：

$$h_{AB} = a - b \quad (1.1)$$

如果 A 为已知高程的点， B 为待求高程的点，则 B 点的高程为：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1.2)$$

读数 a 是在已知高程点上的水准尺读数，水准测量时一般从已知高程点测向未知高程点，所以在已知高程点的读数称为“后视读数”。但这不是绝对的，而与测量方法有关，后视点也可以是未知高程点，例如在后面讲授的往返测量中就是这样。 b 是在待求高程点上的水准尺读数，称为“前视读数”。高差必须是后视读数减去前视读数。高差 h_{AB} 的值可能是正，也可能是负，正值表示前视点 B 高于后视点 A ，负值表示前视点 B 低于后视点 A 。高差是个代数量，其正负号与测量进行的方向有关，例如图 1.5 中测量由 A 向 B 进行，高差用 h_{AB} 表示，其值为正；反之由 B 向 A 进行，则高差用 h_{BA} 表示，其值为负。所以说明高差时必须标明高差的正负号，同时要说明测量进行的方向。

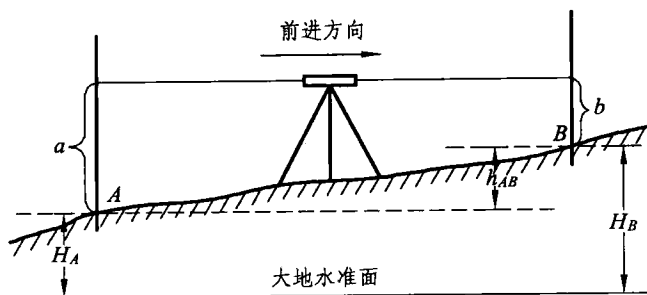


图 1.5 一测站测两点高差

当两点相距较远或高差太大时，则可分段连续进行，从图 1.6 中可得：

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\vdots \\ h_n &= a_n - b_n \\ \hline h_{AB} &= \sum h = \sum a - \sum b \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

即两点的高差等于连续各段高差的代数和，也等于后视读数之和减去前视读数之和。通常要同时用 $\sum h$ 和 $(\sum a - \sum b)$ 进行计算，用来检核计算是否有误。

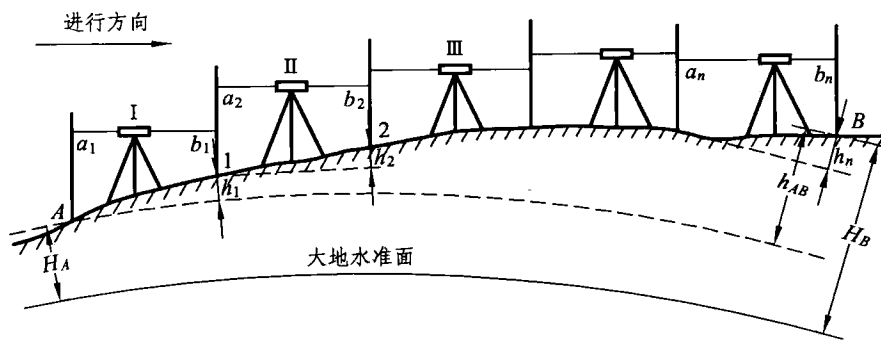


图 1.6 多测站测两点高差

图 1.6 中安置仪器的点 I、II… 称为测站。立标尺的点 1、2… 称为转点，它们在前一测站先作为待求高程的点，然后在下一测站再作为已知高程的点，转点起传递高程的作用。转点非常重要，转点上产生的任何差错，都会影响到以后所有点的高程。

从以上可见：水准测量的基本原理是利用水平视线来比较两点的高低，求出两点的高差。

当水准测量的目的不是仅仅为了获得两点的高差，而是要求得一系列点的高程，例如测量沿线的地面起伏情况时，水准测量可按图 1.7 进行。此时，水准仪在每一测站上除了要读出后视和前视读数外，同时要在这一测站范围内需要测量高程的点上立尺读取读数，如图中在 P_1 、 P_2 等点上立尺读出 c_1 、 c_2 等读数，这些读数称为中视读数或插前视读数。中视各点的

高程可按下列方法计算：

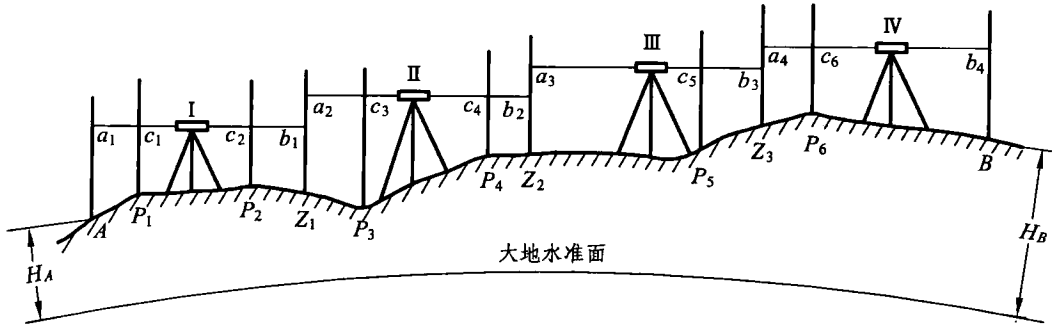


图 1.7 中视读数

仪器在测站 I 的视线高程：

$$H_I = H_A + a_1 \quad (1.4)$$

$$\left. \begin{aligned} H_{P_1} &= H_I - c_1 \\ H_{Z_1} &= H_I - b_1 \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

同法，仪器在测站 II 的视线高程：

$$H_{II} = H_{Z_1} + a_2$$

$$\left. \begin{aligned} H_{P_2} &= H_{II} - c_3 \\ H_{P_3} &= H_{II} - c_4 \\ H_{Z_2} &= H_{II} - b_2 \end{aligned} \right\}$$

式中， H_I 、 H_{II} 为仪器视线的高程，简称仪器高。图中 Z_1 、 Z_2 … 为传递高程的转点，在转点上既有前视读数又有后视读数。图中 P_1 、 P_2 等点称中间点，中间点上只有一个前视读数，也就是中视读数或插前视读数。计算的检核仍用公式：

$$h_{AB} = \sum a - \sum b = H_B - H_A$$

二、水准仪和水准尺

水准仪是进行水准测量的主要仪器，它可以提供水准测量所必需的水平视线。目前通用的水准仪从构造上可分为两大类：一类是利用水准管来获得水平视线的水准管水准仪，其主要形式称“微倾式水准仪”；另一类是利用补偿器来获得水平视线的“自动安平水准仪”。此外，现已普遍使用的一种新型水准仪——电子水准仪，它配合条纹编码尺，利用数字化图像处理的方法，可自动显示高程和距离，使水准测量实现了自动化。

我国的水准仪系列标准分为 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 和 DS_{20} 四个等级。D 是大地测量仪器的代

号，S 是水准仪的代号，均取大和水两个字汉语拼音的首字母。角码的数字表示仪器的精度。其中 DS₀₅ 和 DS₁ 用于精密水准测量，DS₃ 用于一般水准测量，DS₂₀ 则用于简易水准测量。

(一) 水准尺

水准尺用优质木材或铝合金、玻璃钢制成，最常用的形状有杆式和箱式两种，如图 1.8 所示，长度分别为 3 m 和 5 m。箱式尺能伸缩，携带方便，但接合处容易产生误差，杆式尺比较坚固可靠。水准尺尺面绘有 1 cm 或 5 mm 黑白相间的分格，米和分米处注有数字，尺底为零。为了便于倒像望远镜读数，注的数字常倒写。双面水准尺是一面为黑色另一面为红色的分划，每两根为一对。两根的黑面都以尺底为零，而红面的尺底分别为 4.687 m 和 4.787 m。利用双面尺可对读数进行检核。

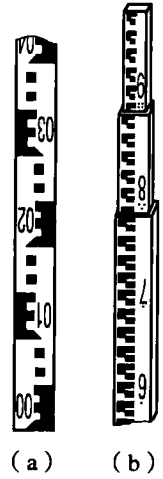


图 1.8 水准尺

尺垫是用于转点上的一种工具，用钢板或铸铁制成（见图 1.9）。使用时把三个尖脚踩入土中，把水准尺立在突出的圆顶上。尺垫可使转点稳固而防止下沉。

(二) DS₃ 微倾式水准仪

图 1.10 为在一般水准测量中使用较广的 DS₃ 型微倾式水准仪，它由下列三个主要部分组成：

- 望远镜。它可以提供视线，并可读出远处水准尺上的读数。
- 水准器。用于指示仪器或视线是否处于水平位置。
- 基座。用于置平仪器，它支承仪器的上部并能使仪器的上部在水平方向转动。

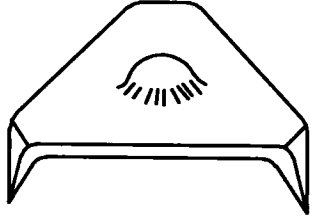


图 1.9 尺垫

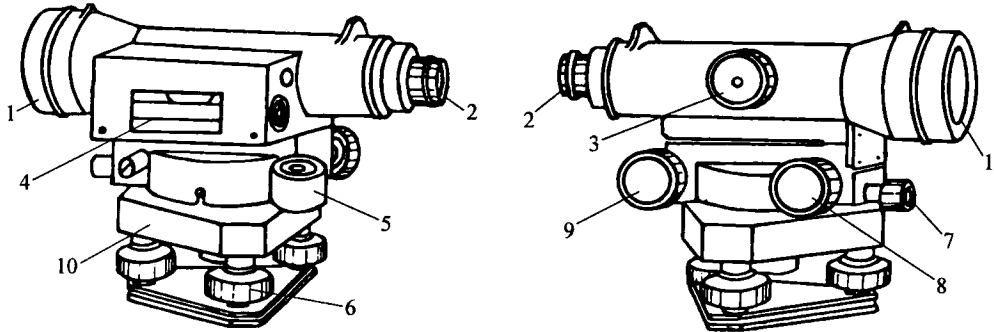


图 1.10 水准仪

- 1—物镜；2—目镜；3—调焦螺旋；4—管水准器；5—圆水准器；6—脚螺旋；
- 7—制动螺旋；8—微动螺旋；9—微倾螺旋；10—基座

水准仪各部分的名称见图 1.10。基座上有三个脚螺旋，调节脚螺旋可使圆水准器的气泡移至中央，使仪器粗略整平。望远镜和管水准器与仪器的竖轴联结成一体，竖轴插入基座的轴套内，可使望远镜和管水准器在基座上绕竖轴旋转。制动螺旋和微动螺旋用来控制望远镜在水平方向的转动。制动螺旋松开时，望远镜能自由旋转；旋紧时望远镜则固定不动。旋转

微动螺旋可使望远镜在水平方向作缓慢的转动，但只有在制动螺旋旋紧时，微动螺旋才能起作用。旋转微倾螺旋可使望远镜连同管水准器作俯仰微小的倾斜，从而可使视线精确整平。因此这种水准仪称为微倾式水准仪。

下面先说明微倾式水准仪上主要的部件——望远镜和水准器的构造和性能。

1. 望远镜

最简单的望远镜是由物镜和目镜组成。物镜的作用是使物体在物镜的另一侧构成一个倒立的实像，目镜的作用是使这一实像在同一侧形成一个放大的虚像（见图 1.11）。为了使物像清晰并消除单透镜的一些缺陷，物镜和目镜都是用两种不同材料的透镜组合而成（见图 1.12）。

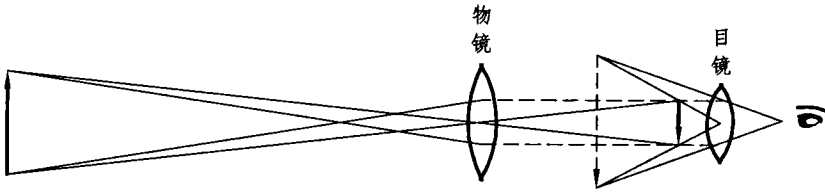


图 1.11 望远镜成像原理

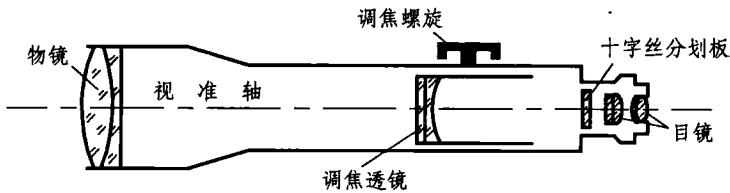


图 1.12 望远镜

测量仪器上的望远镜还必须有一个十字丝分划板，它是刻在玻璃片上的一组十字丝，被安装在望远镜筒内靠近目镜的一端。水准仪上十字丝的图形如图 1.13 所示，水准测量中用它中间的横丝或楔形丝读取水准尺上的读数。十字丝交点和物镜光心的连线称为视准轴，也就是视线。视准轴是水准仪的主要轴线之一。

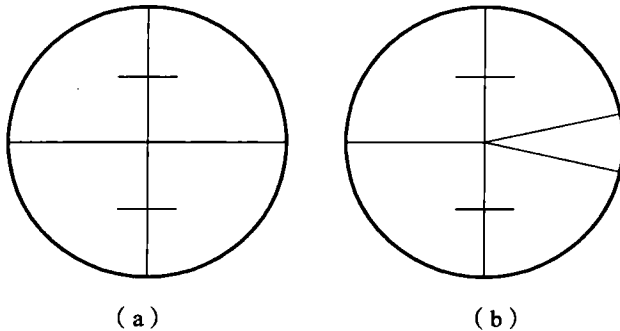


图 1.13 望远镜十字丝

为了能准确地照准目标或读数，望远镜内必须同时能看到清晰的物像和十字丝。为此必须使物像落在十字丝分划板平面上。为了使离仪器不同距离的目标能成像于十字丝分划