

高职高专规划教材

道路工程测量

姜远文
唐平英

主

DAO LU GONG CHENG CE LIANG

2-43



241

0412.2-43

547

高职高专规划教材

道路工程测量

主编	姜远文	唐平英
参编	王劲松	梁光华
	刘新亮	彭铁军
	宋 谦	
主审	赵建三	



A0977073



机械工业出版社

本书共分为十二章，第一章至第五章阐述了道路工程测量的基本知识和测量仪器的操作、使用方法；第六章介绍了测量误差的基本知识；第七章叙述小区域控制测量方法；第八章介绍地形图的测绘与应用；第九章和第十章叙述道路路线测量和道路施工测量方法；第十一章和第十二章介绍桥梁工程测量和隧道工程测量方法。本书以讲解道路工程测量的基本概念、原理、方法为重点，同时通过对代表当今测绘学科发展水平的高新技术，如电子水准仪、电子经纬仪、全站仪、全球定位系统（GPS）等新仪器和新技术的介绍，力求将新仪器的使用贯穿于测量工作之中。

本书既可以作为公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道工程专业的高职高专教材，也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

道路工程测量/姜远文，唐平英主编. —北京：机械工业出版社，2002.8
高职高专规划教材
ISBN 7-111-10637-7

I. 道… I. ①姜…②唐… II. 道路工程-工程
测量-高等学校：技术学校-教材 N. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 053667 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：赵爱宁 版式设计：张世琴 责任校对：吴美英
封面设计：张 静 责任印制：闫 焱
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·17.25 印张·423 千字
0 001—3 000 册
定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材简明扼要地阐述道路工程测量的基本理论、基本方法及常规仪器和新仪器的操作与应用,并着重介绍在高等级公路和城市道路、桥梁、隧道等工程上如何进行测量工作,针对性强、实用性强、可操作性强,适合于高职高专学生测量技能的训练与培养。

本教材共分十二章,由广东交通职业技术学院姜远文和长沙交通学院唐平英等编写。姜远文、唐平英任主编,第一、二章由姜远文编写,第三、四章由梁光华编写,第五、六章由刘新亮编写,第七章由王劲松编写,第八章由宋谦编写,第九、十章由唐平英编写,第十一、十二章由彭铁军编写。全书由赵建三审定。

本教材适用于公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道工程专业高职高专学生学习及广大工程技术人员参考。

编 者

2002年4月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 道路工程测量的任务和作用	1
第二节 地球的形状和大小	1
第三节 地面点位的确定	2
第四节 用水平面代替水准面的限度	6
第五节 测量工作的基本原则	7
思考题与习题	8
第二章 水准测量	9
第一节 高程测量的概念	9
第二节 水准测量原理	9
第三节 水准仪和水准尺	10
第四节 水准测量的实施与成果整理	15
第五节 水准仪的检验与校正	20
第六节 自动安平水准仪	23
第七节 精密水准仪和水准尺	26
第八节 电子数字水准仪	28
第九节 水准测量误差及注意事项	29
思考题与习题	31
第三章 角度测量	32
第一节 角度测量原理	32
第二节 光学经纬仪	33
第三节 水平角测量	37
第四节 竖直角测量	40
第五节 经纬仪的检验与校正	44
第六节 水平角测量误差	47
第七节 电子经纬仪	50
思考题与习题	53
第四章 距离测量与直线定向	55
第一节 钢尺量距	55
第二节 电磁波测距仪	61
第三节 直线定向	62
第四节 方位角测量	64
思考题与习题	68

第五章 全站仪	70
第一节 全站仪的结构原理	70
第二节 全站仪的操作与使用	71
第三节 全站仪使用的注意事项与维护	86
思考题与习题	87
第六章 测量误差的基础知识	89
第一节 观测误差及其分类	89
第二节 偶然误差的统计特性	91
第三节 评定观测值精度的标准	92
第四节 误差传播定律及其应用	94
第五节 直接观测平差	97
思考题与习题	104
第七章 小区域控制测量	105
第一节 控制测量概述	105
第二节 导线测量	106
第三节 小三角测量	116
第四节 交会定点	120
第五节 距离改化与坐标换带计算	126
第六节 高程控制测量	129
第七节 全站仪三维导线测量	134
第八节 GPS 全球定位系统简介	136
思考题与习题	148
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 大比例尺地形图的测绘	161
第三节 地形图的检查、拼接与整饰	171
第四节 地形图的应用	173
思考题与习题	179
第九章 道路工程线路测量	180
第一节 线路测量概述	180
第二节 线路的平面线型	184
第三节 路线交点及转点的测设	185
第四节 路线转角的测定与里程桩的设置	188
第五节 圆曲线测设	190

第六节 特殊情况曲线测设与复曲线 测设	194	第二节 桥梁控制测量	235
第七节 缓和曲线测设	197	第三节 桥梁施工测量	240
第八节 路线纵横断面测量	204	第四节 桥梁竣工测量	246
第九节 全站仪中线测设及断面测 量	210	思考题与习题	247
第十节 道路立交匝道测设简介	216	第十二章 隧道工程测量	248
思考题与习题	217	第一节 概述	248
第十章 施工测量	219	第二节 地面控制测量	248
第一节 施工测量概述	219	第三节 路线进洞测量和进洞关系数据 的计算	252
第二节 施工放样的基本工作	220	第四节 竖井联系测量	255
第三节 公路工程施工测量	225	第五节 洞内控制测量	258
第四节 公路竣工测量	229	第六节 隧道贯通误差的测定与调 整	260
第五节 地下管道施工测量	230	第七节 隧道施工测量	264
思考题与习题	233	第八节 隧道竣工测量	266
第十一章 桥梁工程测量	234	思考题与习题	267
第一节 概述	234	参考文献	268

第一章 绪 论

第一节 道路工程测量的任务和作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置及高程，如何将地球表面的形状及其信息测绘成图，如何确定地球的形状和大小，并将设计图上的工程构造物放样到实地的科学。

普通测量学是研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技能、方法及普通测量仪器的使用技术和大比例尺地形图测绘与应用的科学，是测量学的基础。

工程测量学是研究工程建设在规划、设计、施工、运行、管理等各阶段进行的测量工作的理论和方法的科学。

道路工程测量是研究道路工程建设在道路勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的各种测量工作的学科，是在数学、物理学等有关学科的基础上应用各种测量技术解决道路工程建设中实际测量问题的学科，是一门应用科学。

道路工程测量工作在道路工程建设中起着重要的作用。如为获得一条最合理的路线，首先要进行路线勘测，绘制带状地形图和纵、横断面图，进行纸上定线和路线设计，并将设计好的路线的平面位置、纵坡及路基边坡等在地面上标定出来，以便指导施工。当路线跨越河流时，拟设置桥梁跨越之前，应测绘河流两岸的地形图，测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面、河流比降，为桥梁方案的选择及结构设计提供必要的的数据。施工时，将桥墩、桥台的位置在实地放样到位，也要进行测设。

随着现代科学技术的发展，激光技术、光电测距技术、工程摄影测量技术、快速高精度空间定位技术在道路工程测量领域广泛地应用，测量方法和内容由常规测量发展到利用人造卫星测量，由空中摄影测量发展到遥感技术的应用，测量仪器已广泛趋向电子化和自动化。

本教材重点讲述普通测量学和道路工程测量学的基本理论、方法、仪器和技能，介绍测量新技术和新仪器在道路工程建设中的应用等内容。

第二节 地球的形状和大小

地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地及海洋等，呈起伏状态。就整个地球而言，海洋的面积约占 71%，陆地面积约占 29%。测量工作是在地球表面上进行的，所以必须知道地球的形状和大小。

地球的自然表面极不规则，世界最高的珠穆朗玛峰高达 8843.13m，最深的马里亚纳海沟深达 11022m。尽管有这样大的高低起伏，但它们均小于地球半径 6371km 的 0.17%，故对地球总的形状的影响可忽略不计。由于地球表面的 71% 被海水所覆盖，所以可以把海水所覆盖的形体看作是地球总的形状。设想有一个静止的海水面向陆地延伸，形成一个封闭的曲面，这个曲面成为水准面。水准面的特性是它处处与铅垂线成正交。符合这一特性的水准面有无数

个, 其中通过平均海水面的那个水准面称为大地水准面, 如图 1-1 所示。

由于地球内部质量分布不均匀, 引起铅垂线方向不规则变化, 致使大地水准面成为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上, 将给测量计算和绘图带来很多困难, 为此选用一个非常接近大地水准面、并可用数学式表达的几何形体来代表地球的总形状, 这个数学形体就称为旋转椭球体, 如图 1-1c 所示, 其表面称为旋转椭球面。

旋转椭球体是由一椭圆(长半轴为 a , 短半轴为 b) 绕其短半轴 b 旋转而成的椭球体。目前, 国际上公认的椭球元素的数值为

长半轴 $a=6378.137\text{km}$

短半轴 $b=6356.752\text{km}$

扁率 $\alpha=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{298.253}$

由于地球椭球体的扁率很小, 当测区不大时, 可把地球当作圆球, 其半径的近似值为

$$R=\frac{1}{3}(a+a+b)=6371\text{km}$$

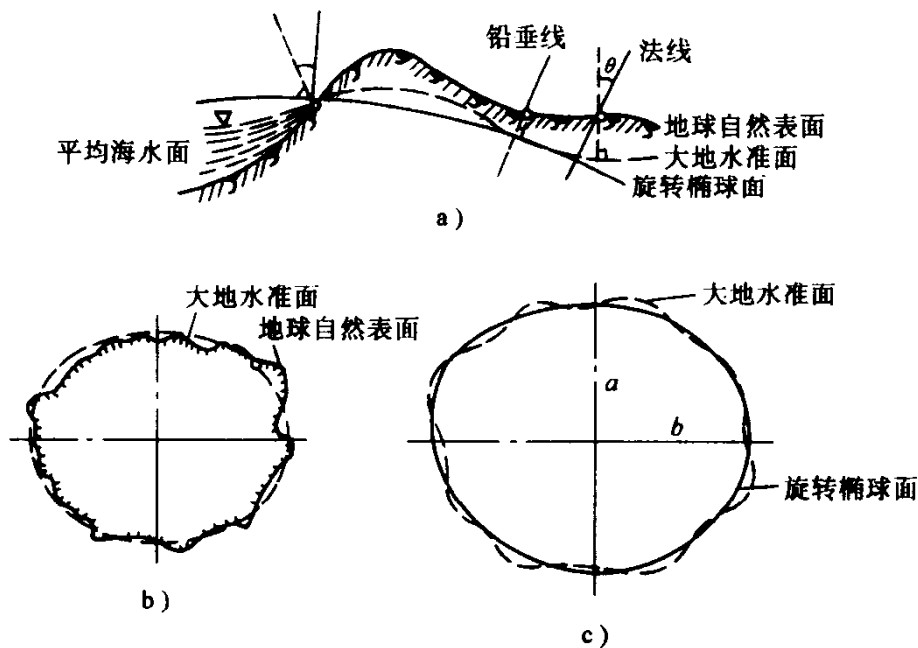


图 1-1

第三节 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置, 通常是确定地面点在球面或平面上的投影位置, 以及地面点到大地水准面的铅垂距离, 即确定地面点在投影面上的坐标和高程。

一、地面点的坐标

地面点的坐标可根据不同的用途, 选用地理坐标、高斯平面直角坐标或平面直角坐标。

(一) 地理坐标

在大区域内地面点的位置, 以球面坐标系来表示。用经度、纬度表示地面点在球面上的位置, 称为地理坐标。地理坐标又因采用的基准面、基准线及测量计算坐标方法的不同而分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

1. 天文地理坐标

用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的位置, 称为天文地理坐标。如图 1-2 所示, 过地面上任意点的铅垂线与地轴 N-S 所组成的平面称为该点的子午面。过英国格林威治天文台旧址的子午面称为首子午面。子午面与球面的交线称为子午线或经线。球面上 F 点的天文经度 λ 是过 F 点的子午面与首子午面所夹的二面角。自首子午线向东 $0\sim 180^\circ$ 称为东经, 向西 $0\sim 180^\circ$ 称为西经。

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬线。球面上 F 点的纬度是过 F 点的铅垂线与赤道面

的夹角，用 φ 表示。纬度从赤道起向北 $0\sim 90^\circ$ 称为北纬，向南 $0\sim 90^\circ$ 称为南纬。例如，北京市中心的天文地理坐标为东经 $116^\circ 24'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。

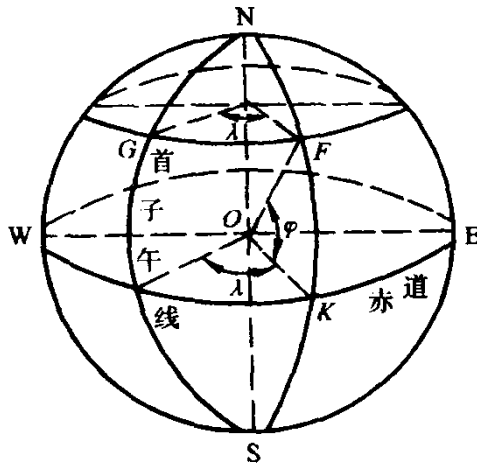


图 1-2

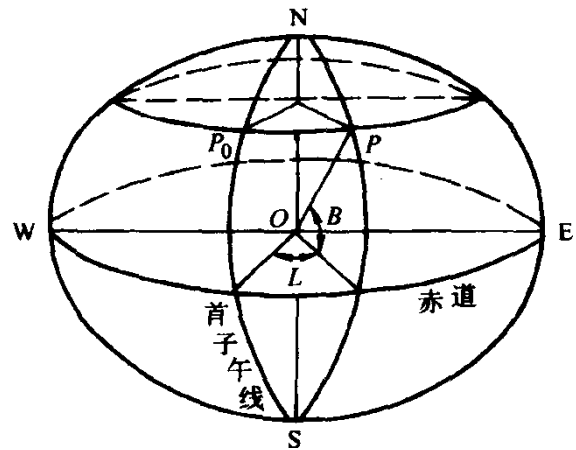


图 1-3

2. 大地地理坐标

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置，称为大地地理坐标，简称大地坐标。如图 1-3 所示，地面上任意点 P 的大地经度 L 是该点的子午面与首子午面所夹的二面角； P 点的大地纬度 B 是过该点的法线（与旋转椭球面相垂直的线）与赤道面的夹角。大地经、纬度是把大地原点（该点的大地经、纬度与天文经、纬度相等）作为起算数据，再按大地测量得到的数据推算得出。我国现采用陕西省泾阳县境内的国家大地原点为起算点，由此建立新的统一坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。过去，我国曾采用“1954 年北京坐标系”。

（二）高斯平面直角坐标

测量上将旋转椭球面上的点位换算到平面上，称为地图投影。在研究大范围的地球形状和小时，必须用地理坐标表示地面点的位置才符合实际。地理坐标是球面坐标，不能直接用来测图。在绘制地形图时，只能将椭球面上的图形用地图投影的方法描绘到纸的平面上，这就需要用相应的地图投影方法建立一个平面直角坐标系。我国从 1952 年开始采用高斯投影作为地形图的基本投影，并以高斯投影的方法建立了高斯平面直角坐标系。由于投影具有规律性，因而地面点的高斯平面坐标与地理坐标可以相互转换。

高斯投影是地球椭球面正形投影于平面的一种数学转换过程。为说明简单起见，可以用下面形象的投影过程来解说这种投影规律。

如图 1-4a 所示，设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在旋转椭球外面，并与旋转椭球面上某一条子午线 NOS 相切，同时使圆柱的轴位于赤道面内，且通过椭

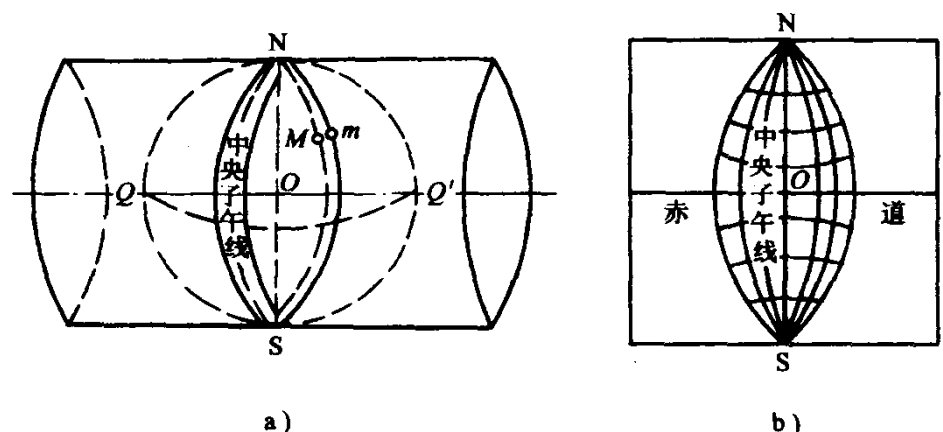


图 1-4

球中心，相切的子午线称为高斯投影面上的中央子午线。将旋转椭球面上的 M 点投影到横圆柱面上得 m 点，再顺着过南、北极点的圆柱母线将圆柱面剪开，展成平面，如图 1-4b 所示，这个平面就是高斯平面。

在高斯投影平面上，中央子午线投影为直线且长度不变，赤道投影后为一条与中央子午线正交的直线，离开中央子午线的线段投影后均要发生变形，且均较投影前长一些。离开中央子午线愈远，长度变形愈大。

为了使投影误差不致于影响测图精度，规定以经差 6° 或更小的经差为准来限定高斯投影的范围，每一投影范围叫作一个投影带。如图 1-5a 所示，从首子午线开始，将整个地球划分成 60 个投影带并自西向东顺次编号，叫做高斯 6° 投影带（简称 6° 带）。各带的带号 N 为阿拉伯数字 1, 2, $\dots$, 60，如图 1-5 所示。第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ，任意一个带的中央子午线经度 λ_0 可按下式计算

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

式中 N ——为投影带号。

例：北京市中心的经度为 $116^\circ 24'$ ，求其所在高斯投影 6° 带的带号 N 及该带的中央子午线经度 λ_0

$$N = \text{INT} (116^\circ 24' / 6 + 1) = 20$$

$$\lambda_0 = 6 \times 20 - 3 = 117^\circ$$

对于大比例尺测图，要求投影变形更小，则需采用 3° 带或 1.5° 带来限制投影误差。 3° 带与 6° 带的关系如图 1-5b 所示。

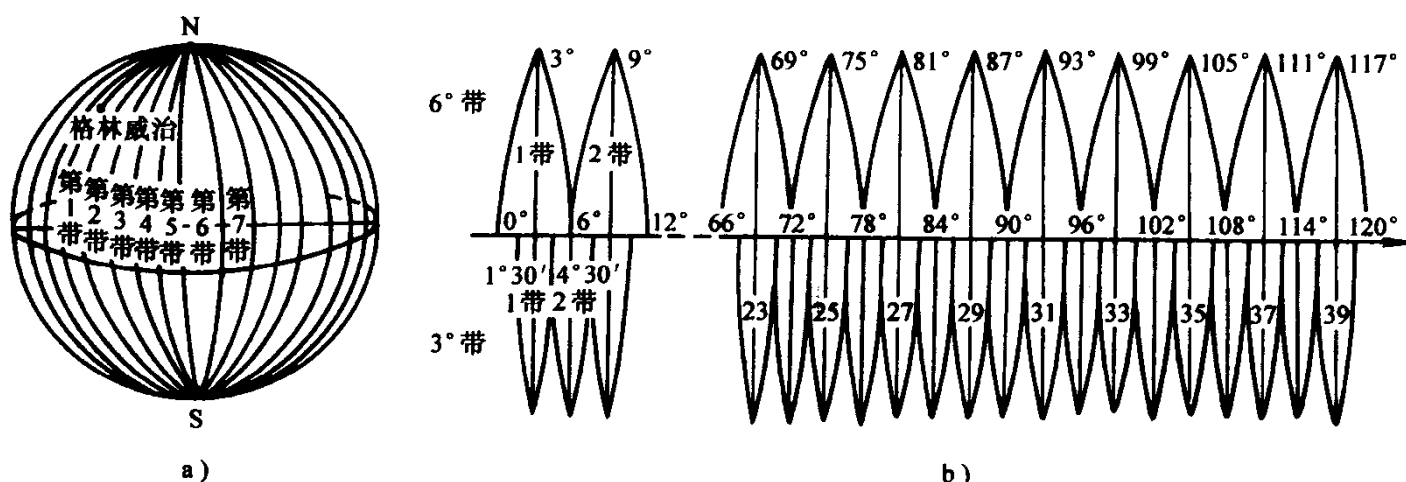


图 1-5

采用分带投影后，由于每一投影带的中央子午线和赤道的投影为两正交直线，故可取两正交直线的交点为坐标原点。中央子午线的投影线为坐标纵轴（ x 轴），向北为正；赤道投影线为坐标横轴（ y 轴），向东为正，这就是全国统一的高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球，纵坐标均为正值，横坐标则有正有负，如图 1-6a 所示， $y_A = +148680.54\text{m}$, $y_B = -134240.69\text{m}$ 。为了避免横坐标出现负值和表明坐标系所处的带号，规定将坐标系中所有点的横坐标值加上 500km ，并在横坐标前冠以带号（相当于各带的坐标原点向西平移 500km ）。如在图 1-6b 中所标注的横坐标为： $y_A = 20648680.54\text{km}$, $y_B = 20365759.31\text{m}$ 。这就是高斯平面直角坐标的通用值，最前面的两位数 20 表示带号。不加

~1956年观测资料推算黄海平均海水面作为高程基准面，称为“1956年黄海高程系”，并在青岛观象山上建立了国家水准原点，其高程为72.289m。由于验潮资料不足等原因，我国自1987年启用“1985年国家高程基准”，它是采用青岛大港验潮站1952~1979年的潮汐观测资料计算的平均海水面，依此推算的国家水准原点高程为72.260m。

当在局部地区进行高程测量时，也可以假定一个水准面作为高程起算面，地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程或相对高程。在图1-8中，A、B两点的相对高程为 H_A' 、 H_B' 。

两点高程之差称为高差，如图1-8所示，A、B两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H_B' - H_A' \quad (1-2)$$

第四节 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面，在曲面上的图形不破裂、不起皱是不可能展成平面的。因此，严格地讲，即使极小的水准面，如把它当作平面看待，也是要产生变形的。由于测量和制图过程中不可避免地将产生误差，若将小范围的水准面当作平面看待时，其产生的变形误差小于测量和制图过程中产生的误差，则在这个小范围内用水平面代替水准面是合理的。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程的影响，以便明确可以代替的范围。

一、对距离的影响

如图1-9所示，设球面 P 与水平面 P' A点相切，A、B两点在球面上的弧长为 D ，在水平面上的长度为 D' ，地球的半径为 R ， $\widehat{AB}$ 弧所对的球心角为 β ，则

$$D = R\beta$$

$$D' = R \tan \beta$$

以水平长度代替球面上弧长所产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R \tan \beta - R\beta = R (\tan \beta - \beta)$$

将 $\tan \beta$ 按级数展开，并略去高次项，得

$$\tan \beta = \beta + 1/3\beta^3 + \dots$$

因而近似得

$$\Delta D = R[(\beta + 1/3\beta^3 + \dots) - \beta] = R\beta^3/3$$

以 $\beta = D/R$ 代入上式得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-3)$$

以地球半径 $R = 6371\text{km}$ 代入式(1-3)中，并取不同的 D 值计算，可求得距离的相对误差 $\Delta D/D$ ，见表1-1。

表 1-1 用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1220000	50	102.7	1 : 49000
25	12.8	1 : 200000	100	821.2	1 : 12000

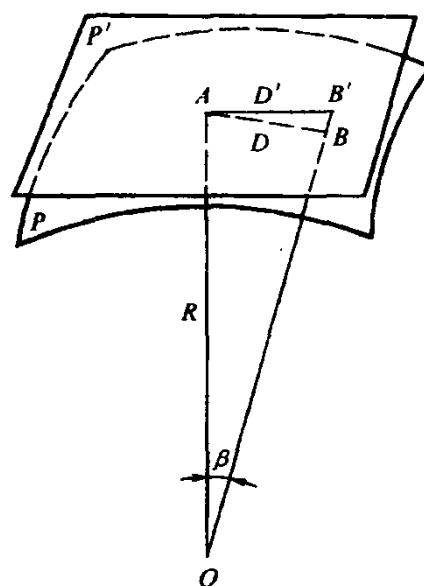


图 1-9

由表 1-1 可知当距离为 10km 时, 以平面代替曲面所产生的距离误差为 1 : 122 万, 这样小的误差, 就是在地面上进行最精密的距离测量也是容许的。因此, 在 10km 的范围内, 即面积约 320km² 内, 以水平面代替水准面所产生的距离误差是可以忽略不计的。对于精密度要求较低的测量, 还可以将这一范围扩大到 25km。

二、对高程的影响

如图 1-9 所示, A、B 两点在同一水准面上, 其高程应相等。B 点投影到水平面上得 B' 点, 则 BB' 即为水平面代替水准面所产生的高程误差或称为地球曲率的影响。

设 $BB' = \Delta h$, 则

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

化简得

$$\Delta h = D'^2 / (2R + \Delta h)$$

上式中, 用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 $2R$ 相比可略去不计, 则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

将不同距离 D 代入式 (1-4), 得出相应的高程误差值列于表 1-2 中。

表 1-2 用水平面代替水准面的高程误差

D/km	0.1	1	2	5	10
$\Delta h/\text{cm}$	0.08	8	31	196	785

由表 1-2 可知, 以水平面代替水准面, 在 1km 的距离内高程误差就有 8cm。因此, 当进行高程测量时, 即使距离很短也必须顾及水准面曲率 (即地球曲率) 的影响。

第五节 测量工作的基本原则

一、测量的基本工作

根据前面所述, 测量工作的基本内容是确定地面点的位置。它有两方面的含义, 一方面是将地面点的实际位置用坐标和高程表示出来; 另一方面是根据点位的实际坐标和高程将其在实地上的位置标定出来。要完成上述任务, 必须用测量仪器, 通过一定的观测方法和手段测出已知点与未知点之间所构成的几何元素, 才能由已知点导出未知点的位置。点与点之间构成的几何元素有: 距离、角度和高差, 这三个基本元素称之为测量三要素。如图 1-10 所示, a 、 b 、 c 为地面点在水平面上的投影位置, 确定这些点的位置不是直接在地面点上测定它们的坐标和高程, 而是首先测定相邻点间的几何元素, 即距离 D_1 、 D_2 、 D_3 , 水平角 β_1 、 β_2 、 β_3 和高差 h_{Fa} 、 h_{ab} 、 h_{bc} 。再根据已知点 E 、 F 的坐标及高程来推算 a 、 b 、 c 各点的坐标和高程。由此可见, 距离、角度、高差是确定地面点位置的三个基本元素, 而距离测量、角度测量、高差测量是测量的基本工作。

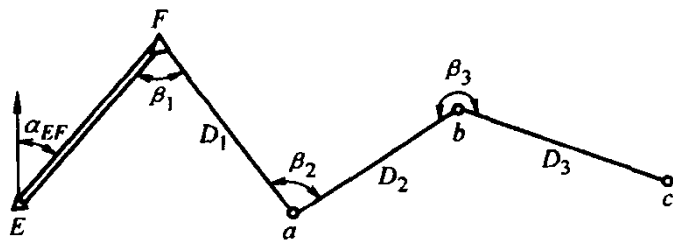


图 1-10

二、测量的基本原则

在进行某项测量工作时, 往往需要确定许多

地面点的位置。假如从一个已知点出发，逐点进行测量和推导，最后虽可得到欲测各点的位置，但这些测量点的位置很可能是不正确的。因为，前一点的量度误差将会传递到下一点，这样积累起来，最后可能达到不可允许的程度。因此，测量工作必须依照一定的原则和方法来防止误差积累。在实际工作中，要求测量工作遵循：在布局上“从整体到局部”，在精度上“由高级到低级”，在次序上“先控制后碎部”的原则。也就是在测区整体范围内选择一些有“控制”意义的点，首先把它们坐标和高程精确地测定出来，然后以这些点作为已知点来确定其他地面点的位置。这些有控制意义的点组成了测区的测量骨干，称之为控制点。

采用上述原则进行测量，可以有效地控制误差的传递和积累，使整个测区的精度较为均匀和统一。如在公路线测量测设曲线时，就是先进行主点测设，后进行详细测设的；在大桥的施工测量中，首先是建立施工控制网，进行符合精度要求的控制测量，然后在控制点上安置仪器进行桥梁细部构造的放样。

思考题与习题

- 1-1 道路工程测量的基本任务是什么？对你所学的专业起什么作用？
- 1-2 什么叫水平面？什么叫水准面？什么叫大地水准面？它们有何区别？
- 1-3 什么叫绝对高程（海拔）？什么叫相对高程？什么叫高差？
- 1-4 表示地面点位有哪几种坐标系？各有什么用途？
- 1-5 测量学中的平面直角坐标系和数学中的平面直角坐标系有何不同？为何这样规定？
- 1-6 某地的大地经度为 $109^{\circ}20'$ ，试计算它所在的 6° 带带号以及中央子午线的经度各是多少？
- 1-7 测量工作的基本原则是什么？

第二章 水准测量

第一节 高程测量的概念

在工程的勘测设计与施工放样中，都必须测定地面点的高程。高程测量是根据一点的已知高程，测定该点与未知点的高差，然后计算出未知点的高程的方法。高程测量按使用的仪器和测量方法来分，有水准测量、三角高程测量、气压高程测量三种。水准测量采用水准仪和水准尺根据水平视线测定两点的高差，是一种精密的高程测量方法。三角高程测量是用经纬仪（或电磁波测距仪、全站仪）测量竖直角和距离，用三角学的公式计算两点间的高差。三角高程测量的精度较水准测量低。气压高程测量是将气压计放在两个不同高程的地点读出气压，由其差数可以推算出两点的高差。气压高程测量一般用于踏勘测量，其测量精度较前两种低。

水准测量是高程测量中最常用的方法。为了满足各种工程对水准点密度和精度的需要，国家测绘部门对全国的水准测量级别作了统一的规定，分为四个等级。以精度分，一等水准测量精度最高，四等水准测量精度最低；以用途分，一、二等水准测量主要用于科学研究，也作为三、四等水准测量的起算依据，三、四等水准测量主要用于国防建设、经济建设、重点工程建设。为了进一步满足工程建设和测绘地形图的需要，以三、四等水准点为起始点，尚需再用普通水准测量方法布设和工程水准点或图根水准点，测定其高程。普通水准测量（也称等外水准测量）的精度低于国家等级水准测量精度，但其水准路线的布设及水准点的密度可根据具体工程和地形测图的要求具有较大的灵活性。道路工程测量中，高速公路常用三、四等水准测量，一般公路多采用普通水准测量。

本章主要介绍水准测量原理，水准仪的构造，普通水准测量的施测和成果处理方法。

第二节 水准测量原理

如图 2-1 所示，已知 A 点的高程为 H_A ，只要能测出 A 点至 B 点的高程之差，简称高差 h_{AB} ，则 B 点的高程 H_B 就可用下式求得

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-1)$$

由此可知，要测量 B 点的高程，除需要有一个已知高程的 A 点外，关键是如何测出 A 、 B 两点的高差 h_{AB} 。

用水准测量方法测定高差 h_{AB} 的原理如图 2-1 所示，在 A 、 B 两点上竖立水准尺，并在 A 、 B 两点之间安置一架可以提供一条水平视线的仪器即水准仪。设水准仪的水平视线截在尺上的位置分别为 M 、 N ，截得的尺读数分别为 a 、 b ，过 A 点作一水平线与过 B 点的垂线相交于 C 。因为 BC 的高度就是 A 、 B 两点之间的高差 h_{AB} ，所以由矩形 $MACN$ 就可以得到计算 h_{AB} 的式子

$$h_{AB} = a - b \quad (2-2)$$

测量时, a 、 b 的值是用水准仪瞄准水准尺时直接读取的读数值。因为 A 点为已知高程的点, 通常称 a 为后视读数, 而称 b 为前视读数。即

$$h_{AB} = \text{后视} - \text{前视}$$

实际上高差 h_{AB} 本身可能有正有负。由式 (2-2) 可知, 当 $a > b$ 时, h_{AB} 值为正, 这种情况是 B 点高于 A 点, 地形为上坡; 当 $a < b$ 时, h_{AB} 值为负, 这种情况是 B 点低于 A 点, 地形为下坡。但无论 h_{AB} 值为正或为负, 式 (2-2) 始终成立。为了避免计算中发生正负符号上的错觉, 在书写高差 h_{AB} 的符号时必须注意 h 下面的小写脚标 AB , 前面的字母代表了已知点的点号, 即 h_{AB} 是表示由已知高程的 A 点推算至未知高程的 B 点的高差。

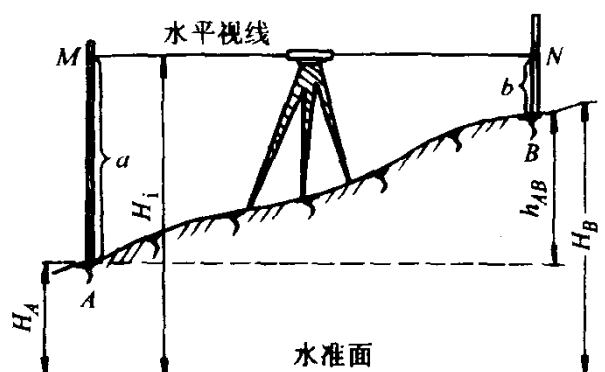


图 2-1

有时安置一次仪器须测算出较多点的高程, 为了方便起见, 可先求出水准仪的视线高(程), 然后再分别计算各点高程, 称为视线高法。从图 2-1 所示中可以看出

$$\text{视线高} \quad H_i = H_A + a \quad (2-3)$$

$$\text{B 点高程} \quad H_B = H_i - b \quad (2-4)$$

综上所述, 要测算地面上两点间的高差或点的高程, 所依据的就是一条水平视线, 如果视线不水平, 上述公式不成立, 测算将发生错误。因此, 视线必须水平, 是水准测量中要牢牢记住的操作要领。

当地面上 A 、 B 两点的距离较远, 或 A 、 B 两点的高差太大, 放置一次仪器不能测定其高差时, 就需增设若干个临时传递高程的立尺点, 称为转点, 用 ZD 表示。如图 2-2 所示的 ZD_1 、 ZD_2 。

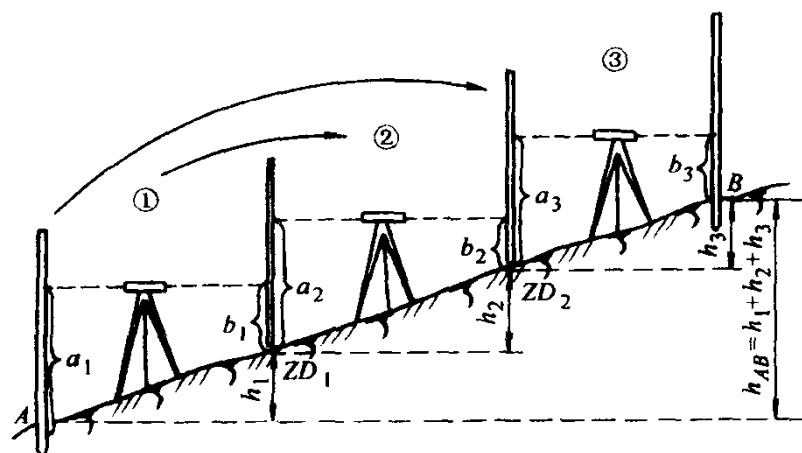


图 2-2

设已知 A 点的高程 H_A , 欲测定 B 点的高程。将水准仪安置于①站, 一水准尺立于 A 点, 另一水准尺立于 ZD_1 , 当水准仪的视线水平后, 先读后视 a_1 , 再读前视 b_1 , 得出第一段高差 h_1 。同法将水准仪搬到②站, ZD_1 的水准尺转过尺面仍位于原点, 将 A 点的水准尺移到转点 ZD_2 上, 读出 a_2 、 b_2 , 得出 h_2 。其余类推, 直到 B 点为止。

$$\text{因为} \quad h_i = a_i - b_i \quad (i=1, 2, 3 \dots)$$

$$\text{所以} \quad h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2-5)$$

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-6)$$

第三节 水准仪和水准尺

一、微倾式水准仪

水准仪是进行水准测量的主要仪器, 按其精度分为 $DS_{0.5}$ 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{10} 、 DS_{20} 等几种

等级。“D”和“S”分别为大地测量的“大”和水准仪的“水”的汉语拼音第一个字母，0.5，1，3，10，20是指水准仪每公里往返高差中数的偶然中误差，以mm计。DS₃水准仪为普通工程使用的水准仪。

水准仪由望远镜、水准器、基座等三个主要部分组成。水准仪的望远镜只能绕仪器竖轴在水平方向转动，为了能够精确地提供水平视线，在仪器构造上安置了一个能使望远镜上下作微小运动的微倾螺旋，所以称作微倾式水准仪。图2-3所示是我国生产的DS₃型微倾式水准仪。

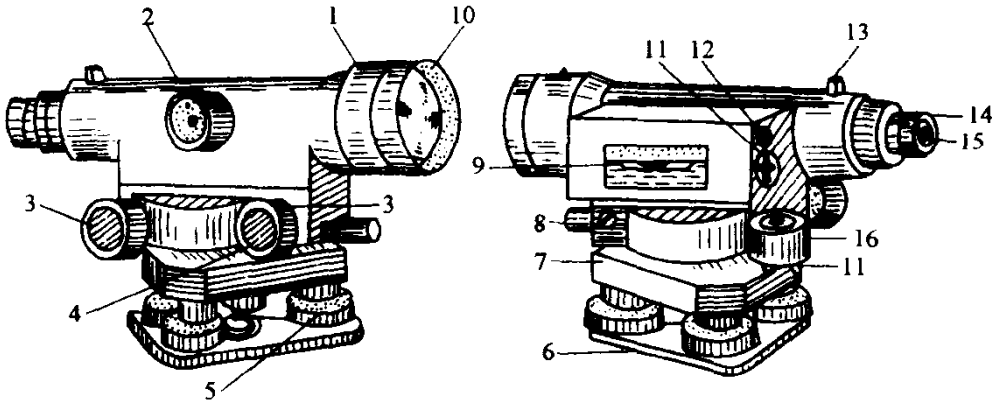


图 2-3

- 1—准星 2—物镜对光螺旋 3—微倾螺旋 4—微动螺旋 5—脚螺旋
6—连接板 7—基座 8—制动螺旋 9—水准管 10—物镜
11—校正螺钉 12—符合水准器观测镜 13—照门
14—目镜对光螺旋 15—目镜 16—水准盒

1. 望远镜

望远镜由物镜、目镜、调焦透镜和十字丝分划板四个主要部分组成，它的主要用处是使我们看清远处的目标并提供一条照准读数值使用的视线。图2-4所示为内对光望远镜构造图。图2-5所示是望远镜成像原理示意图。当观测目标通过物镜后，在镜筒内造成一个倒立的缩小实像，转动物镜对光螺旋，可以使倒像清晰地反映到十字丝平面上。目镜的作用是放大，人眼经目镜看到的是倒立小实像和十字丝一起放大的虚像。十字丝的作用是提供照准目标的标准线。为了提高望远镜成像的质量，物镜和目镜以及对光调焦透镜由多块透镜组合而成。放大的虚像与用眼睛直接看到目标大小的比值称为望远镜放大率，它是鉴别望远镜质量的主要指标之一，反映了望远镜的鉴别能力。DS₃型水准仪望远镜的放大率为30倍，精密水准仪的放大率可达45倍。

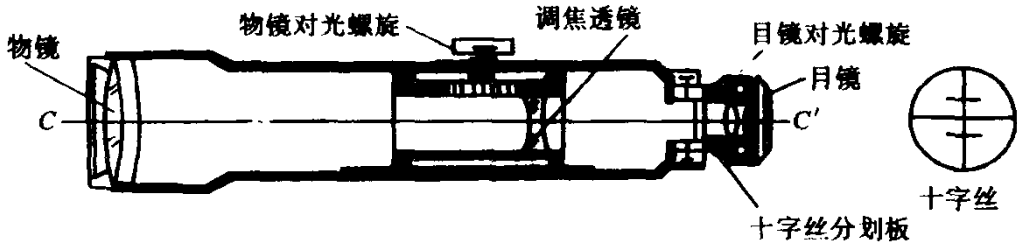


图 2-4

十字丝是在玻璃片上刻线后，装在十字丝环上，用三个或四个可转动的螺旋固定在望远镜筒上的，如图2-6所示。十字丝的上下两条短线称为视距丝，上面的短线称为上丝，下面的