

交通工程测量学

白迪谋 主编



西南交通大学出版社

高等学校教学用书

交通工程测量学

白迪谋 主编

白迪谋 李仲勤 编著
罗新宇 姚德新

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书共计五篇二十一章,在阐述测量学的基本知识、基本概念、基本理论和基本方法的基础上,结合土建类各专业对测量的要求,较详细地介绍了基本测量工作的作业实践和测量成果的精度分析,着重介绍了道路、桥梁、隧道、建筑、管道等工程在勘测设计、施工建设、运营管理诸阶段的测量工作。

本书系交通土建工程专业(铁道工程、公路与城市道路工程、地下工程与隧道工程、桥梁工程)和建筑工程、建筑管理工程、给排水工程、环境工程、运输管理、技术经济等专业的测量学教材,亦可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通工程测量学 / 白迪谋主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 1996.8 (2002.1 重印)
ISBN 7-81022-969-9

I. 交... II. 白... III. 交通工程—工程测量
IV. U412.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第097215号

高等学校教学用书

交 通 工 程 测 量 学

白迪谋 主编

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 李彤梅

封面设计 郑 宏

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

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

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 25.875 插图: 0.25 印张

字数: 631 千字 印数: 5101—8100 册

1996年8月第1版 2002年1月第2次印刷

ISBN 7-81022-969-9/U·051

定价: 30.00 元

前 言

当前,我国高等学校的教育和教学改革正向纵深发展。根据“宽基础、多方向”的指导思想,国家教委全面调整了专业设置。本书就是适应这一变化,根据交通土建工程专业(铁道工程、公路与城市道路工程、地下工程与隧道工程、桥梁工程)教学计划及测量课教学大纲撰写的,同时兼顾了建筑工程、建筑管理工程、给排水工程、环境工程、运输管理、技术经济等专业或专业方向的需要。

全书共五篇二十一章。第一篇为基本测量工作,介绍了四种基本测量工作和误差理论的基本知识;第二篇为大比例尺地形测量,介绍了地形图、小地区控制测量及地形图的测绘和应用;第三篇为工程控制测量,介绍了工程控制网的布设、施测和数据处理;第四篇为线路工程测量,主要介绍了道路和桥隧工程在勘测设计、施工建设、运营管理诸阶段的测量工作;第五篇为土建工程测量,主要介绍了建筑施工测量、管道工程测量和建筑物变形观测的基本知识。对各章节的内容,各专业可根据需要选用。

本书配有与全书内容相适应的习题集、实习指导书和实习报告。

本书由白迪谋、李仲勤、罗新宇、姚德新共同编著,白迪谋任主编。白迪谋撰写第一、六、十五、十六、十七章;李仲勤撰写第八、十一、十二、十三、十四章;罗新宇撰写第二、九、十、十八、十九、二十章;姚德新撰写第三、四、五、七、二十一章。在撰稿过程中,参阅了大量国内外新版教材、参考书和专著,在阐述测量学基本知识、基本概念、基本理论、基本方法及交通土建工程在勘测设计、施工建设、运营管理诸阶段的测量工作时,力求做到概念清楚、定义准确、重点突出、文字精炼、言简意赅。可以说,本书是编著者多年来从事研究、实践和教学的经验总结。

由于编著者水平所限和收集资料的不足,诚请读者批评指正。

编著者

一九九五年岁末·兰州

目 录

第一章 绪论.....	1
§ 1—1 测量学的任务和作用.....	1
§ 1—2 地球形状和大小的概念.....	2
§ 1—3 地面点位置的确定.....	3
§ 1—4 地球曲率对观测结果的影响.....	5
§ 1—5 测量工作概述.....	7
 第一篇 基本测量工作	9
第二章 水准测量.....	9
§ 2—1 水准测量原理.....	9
§ 2—2 水准仪和水准尺	10
§ 2—3 水准测量的外业工作	13
§ 2—4 水准测量的内业工作	16
§ 2—5 水准仪的检验与校正	20
§ 2—6 水准测量的误差来源	22
§ 2—7 自动安平水准仪	24
§ 2—8 精密水准仪	26
§ 2—9 水准测量等级及水准仪系列	26
 第三章 角度测量	28
§ 3—1 水平角观测原理	28
§ 3—2 DJ ₆ 级光学经纬仪	29
§ 3—3 经纬仪的使用	32
§ 3—4 测回法观测水平角	34
§ 3—5 竖直角观测	36
§ 3—6 经纬仪的检验和校正	39
§ 3—7 水平角观测的误差来源	44
§ 3—8 经纬仪系列	49
 第四章 距离测量	50
§ 4—1 距离测量概述	50

§ 4—2	直线定线	51
§ 4—3	钢尺一般量距	53
§ 4—4	钢尺精密量距	55
§ 4—5	钢尺量距的误差来源	60
§ 4—6	光电测距基本原理	61
§ 4—7	DM 503 光电测距仪	65
§ 4—8	光电测距数据处理	67
第五章 直线定向		69
§ 5—1	直线定向概述	69
§ 5—2	方位角与象限角	70
§ 5—3	罗盘仪测定磁方位角	72
§ 5—4	太阳高度法测定真方位角	73
第六章 误差理论基础		81
§ 6—1	观测及其分类	81
§ 6—2	测量误差	82
§ 6—3	偶然误差的特性	83
§ 6—4	衡量精度的标准	85
§ 6—5	误差传播定律	87
§ 6—6	最小二乘法原理	91
§ 6—7	等精度直接平差	93
§ 6—8	不等精度直接平差	96
§ 6—9	根据真误差计算中误差	104
第二篇 大比例尺地形测量		109
第七章 地形图		109
§ 7—1	地形图的数学要素	109
§ 7—2	地形图的整饰要素	114
§ 7—3	地形图的地理要素	117
第八章 小地区控制测量		123
§ 8—1	控制测量概述	123
§ 8—2	导线测量外业	125
§ 8—3	导线测量内业计算	129
§ 8—4	小三角测量	137
§ 8—5	小三角测量内业计算	139
§ 8—6	交会定点	148

§ 8—7 高程控制测量	154
第九章 大比例尺地形测量	158
§ 9—1 图根控制测量	158
§ 9—2 测图前的准备工作	158
§ 9—3 视距测量	159
§ 9—4 经纬仪测绘法	162
§ 9—5 地形特征点及地形图的勾绘	164
§ 9—6 增设地形转点的方法	166
§ 9—7 地形图的拼接、检查和清绘整饰	166
第十章 地形图的应用	169
§ 10—1 量算点的坐标和高程	169
§ 10—2 量算线段的长度和方位	169
§ 10—3 量算线段的坡度	170
§ 10—4 按给定坡度定线	171
§ 10—5 量算面积	172
§ 10—6 量算体积	175
§ 10—7 绘制指定方向的断面图	179
§ 10—8 确定汇水面积	180
§ 10—9 确定填挖边线	181
第三篇 工程控制测量	182
第十一章 工程控制网布设	182
§ 11—1 国家三角网的布设原则	182
§ 11—2 工程控制网的布设方案	184
§ 11—3 三角测量精度估算的概念	185
§ 11—4 平面控制网的技术设计	193
第十二章 三角测量	196
§ 12—1 三角测量的基本原理	196
§ 12—2 三角测量的外业工作	197
§ 12—3 三角网按条件平差	202
第十三章 精密导线测量	218
§ 13—1 工程精密导线的布设	218
§ 13—2 工程精密导线的测量方法	219
§ 13—3 工程精密导线的数据处理	220
§ 13—4 单导线的误差分析	220

第十四章 高程控制测量	223
§ 14—1 高程控制网的布设	223
§ 14—2 精密水准仪的检校	225
§ 14—3 精密水准测量的实施	225
§ 14—4 精密水准测量的概算和平差计算	229
§ 14—5 三角高程测量	234

第四篇 线路工程测量 238

第十五章 线路工程测量总论	238
§ 15—1 工程测量的基本任务	238
§ 15—2 线路工程测量概述	239
§ 15—3 初测中的导线测量	241
§ 15—4 初测中的水准测量	246
§ 15—5 初测中的地形测量	249
§ 15—6 定测中的放线测量	251
§ 15—7 定测中的中线测量	256
§ 15—8 线路纵断面测量	258
§ 15—9 线路横断面测量	260

第十六章 曲线测设	265
§ 16—1 线路平面组成	265
§ 16—2 圆曲线要素计算和主要点测设	267
§ 16—3 缓和曲线	269
§ 16—4 加设缓和曲线后曲线的变化	272
§ 16—5 曲线综合要素计算与主要点测设	274
§ 16—6 偏角法	277
§ 16—7 偏角法测设圆曲线遇障碍	284
§ 16—8 偏角法测设缓和曲线遇障碍	285
§ 16—9 直角坐标法	288
§ 16—10 长弦偏角法	290
§ 16—11 极坐标法	296
§ 16—12 控制点遇障碍	303
§ 16—13 大偏角曲线的测设	306
§ 16—14 曲线测设的误差规定	311

第十七章 道路施工测量	312
§ 17—1 施工测量概述	312
§ 17—2 建筑物放样的基本方法	313

§ 17—3	线路施工测量	318
§ 17—4	桥梁施工控制网	322
§ 17—5	桥梁墩台中心定位资料的计算	329
§ 17—6	桥梁墩台中心定位测量	336
§ 17—7	墩台纵横轴线的放样	341
§ 17—8	隧道施工测量概述	345
§ 17—9	隧道洞外控制测量	349
§ 17—10	线路进洞关系计算和进洞测量	353
§ 17—11	隧道洞内控制测量	356
§ 17—12	洞内线路中线测设	359
§ 17—13	竣工测量	360
第十八章	铁路既有站场测量	362
§ 18—1	概述	362
§ 18—2	里程丈量	362
§ 18—3	站场基线测量	363
§ 18—4	站场平面测绘	365
§ 18—5	站场高程、横断面和地形测量	370
第五篇	土建工程测量	371
第十九章	建筑施工测量	371
§ 19—1	建筑施工控制测量	371
§ 19—2	民用建筑施工测量	373
§ 19—3	工业厂房施工测量	376
§ 19—4	高层建筑物的轴线投测	379
§ 19—5	烟囱或水塔施工测量	381
§ 19—6	竣工总平面图编绘	382
第二十章	管道工程测量	384
§ 20—1	概述	384
§ 20—2	管道中线测量	384
§ 20—3	管道纵横断面测量	386
§ 20—4	地下管道施工测量	390
§ 20—5	顶管施工测量	393
§ 20—6	管道竣工测量	394
第二十一章	工程建筑物变形观测	395
§ 21—1	变形观测概述	395
§ 21—2	沉降观测	397

§ 21—3 位移观测	399
§ 21—4 倾斜观测	400
§ 21—5 裂缝观测	401
§ 21—6 变形观测的成果整理	402
参考文献.....	404

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学的任务和作用

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其它信息测绘成图，以及确定地球的形状和大小等的科学。由于人类社会的需要和近代科学技术的发展，测量内容由常规大地测量发展到人造卫星大地测量，由航空摄影测量发展到遥感技术的应用；测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态；测量仪器日趋电子化和自动化。现在，测绘科学的发展已包括如下几个分支学科：

普通测量学——研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科，是测量学的基础。主要研究内容有：图根控制网的建立、地形图的测绘及一般工程施工测量。具体工作有：距离测量、角度测量、定向测量、高程测量、观测数据的处理和绘图等。

大地测量学——研究在广大地面上建立国家大地控制网，测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。具体工作有：三角测量、导线测量、水准测量、天文测量、重力测量、卫星大地测量、惯性测量、椭球面大地测量、地球形状理论和测量平差计算等。大地测量为地形测图和大型工程测量提供基本的平面和高程控制；为空间科学技术和军事用途提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料；并为研究地球形状和大小、地壳变形及地震预报等科学问题提供重要资料。

地形测量学——研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。包括：图根控制网的建立、碎部测图、测量误差分析及地形图的使用等。

摄影测量学——通过摄影像片和辐射能的各种图像记录手段，对其进行处理、量测、判释和研究，以测得物体的形状、大小和位置的模拟形式或数字形式的成果以及关于环境的可靠信息的学科。摄影测量又可分为地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量、近景摄影测量和双介质摄影测量等。

工程测量学——研究工程建设在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有：工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量的理论、技术与方法。

海道测量学——研究和测量地球表面水体（海洋、江河、湖泊等）及水下地貌的一门综合性学科。主要研究上述范围内的控制测量、地形岸线测量、水深测量等各种测量工作的理论、技术和方法。

本教材主要介绍交通土建工程在勘测设计、施工、管理等阶段所进行的测量工作。其主要任务有测量、测图、测设和变形观测。

测量——测定地面控制点、地物和地貌某些特性点、工程必需的经济和技术控制点的平面位置和高程。

测图——根据控制网点将地面上的地物（房屋、道路、河流等）和地貌（山头、洼地、台地等）按规定的比例尺和符号绘制成图，供规划设计使用。

测设——根据控制网点将图纸上已设计好的工程建（构）筑物的平面位置和高程放样于地面，作为施工的依据。

变形观测——测定建筑物及其地基在建筑物荷重和外力作用下随时间而变形的工作。主要内容有沉降观测、位移观测、倾斜观测、裂缝观测和挠度观测等。变形观测是监测建筑物安全性能的有效手段，其成果是验证设计理论和检验施工质量的重要资料。

人类从原始社会后期起，就在生产劳动、部落间的交往和争战中逐步学会使用测绘手段来了解和利用周围的自然环境，以使自己的活动能获得尽可能好的效果。随着社会的发展和进步，测绘科学技术获得很大发展，其应用也日益广泛。到了现代社会，测绘工作在各个国家已具有日益重要的地位和作用。测绘科学技术在经济建设、国防建设、生产活动、军事活动、国家管理、文化教育、科学研究和人民生活等各个方面都得到广泛的应用。测绘工作是国家建设中一项先行的基础性工作，测绘工作者是经济建设和国防建设的尖兵。

§ 1—2 地球形状和大小的概念

测量学研究的对象是人类世代赖以生存的地球，测量工作是在地球自然表面上进行的。地球自然表面是一个极不规则的封闭曲面，其上有高达 8848.13 m 的珠穆朗玛峰，也有深达 11022 m 的马里亚纳海沟。地球表面如此巨大的高低起伏，相对于地球庞大的体积来说，还是很小的。地球表面陆地面积只占约 29%，而海洋面积却占约 71%，所以我们设想：一个与处于流体静平衡状态的海洋面（无波浪、潮汐、水流和大气压变化引起的扰动）重合并延伸到大陆内部的封闭曲面，称为大地水准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。通常用大地体表示地球总的形状。尽管由于地球表面起伏不平 and 内部物质分布不均匀，大地水准面的形状（几何性质）和重力场（物理性质）都是不规则的，但研究表明它接近于一个旋转椭球面（见图 1—1、1—2）。

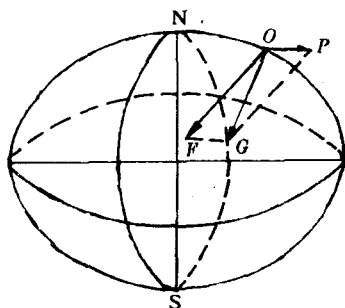


图 1—1

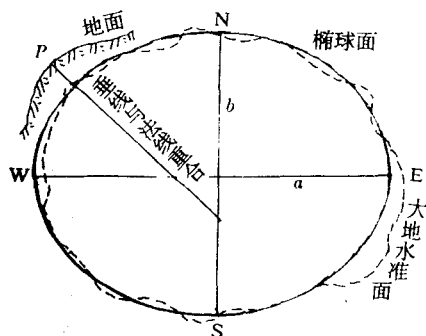


图 1—2

旋转椭球由一个椭圆绕其短轴旋转而成，其大小用长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α ($\alpha = \frac{a-b}{a}$) 表示。数百年来，许多学者曾分别测算出旋转椭球参数，表 1—1 所列为其中几个著名的测算成果。我国正在利用卫星观测成果和天文大地测量资料计算适合我国的参考椭球

参数, 目前仍采用 1979 年国际第四个推荐值, 即 1980 年大地坐标系。

国际著名椭球参数表

表 1—1

年代	椭球名称	a (m)	b (m)	$a=\frac{a-b}{a}$	附注
1800	Delambre	6 375 653	6 356 564	1 : 334.0	法国
1841	Bessel	6 377 397	6 356 079	1 : 299.152	德国
1880	Clarke	6 378 249	6 356 515	1 : 293.459	英国
1910	Hayford	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0	美国
1940	Красовский	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3	前苏联
1980	1980 年大地坐标系	6 378 137	6 356 752	1 : 298.257	1979 年国际第四个推荐值

旋转椭球的扁率很小, 故在一般测量工作中可近似地将地球视为圆球体, 其半径 $R = \frac{1}{3}(2a+b) = 6371 \text{ km}$ 。

由于地球的自转运动, 其上各点均受离心力和地心引力的共同作用, 二者的合力称为重力, 重力的作用线称为铅垂线。水准面处处与铅垂线相垂直。水准面是测量工作的基准面。铅垂线是测量工作的基准线, 旋转椭球面是测量计算的基准面。

§ 1—3 地面点位置的确定

测量工作中, 地面点的位置是用该点在投影面上的坐标和高程来表示的。

一、地理坐标系

地理坐标系以球面为投影面, 以首子午面和赤道面为参照系。地面点在该坐标系中的位置用经度 λ 和纬度 φ 来表示。

图 1—3 中视地球为一球体, N 和 S 为其北南二极, O 为地心。连接两极并过地心的直线称为地轴。过地心且垂直于地轴的平面称为赤道面。过地面点且包含地轴的平面称为该地面点的子午面。国际公认将通过英国 Greenwich 天文台的子午面做为起始子午面, 称为首子午面。

地面点 M 的子午面与首子午面的夹角称为该点的经度, 以 λ 表示。其变化范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$, 从首子午面起, 向东称为东经, 向西称为西经。过地面点 M 的半径方向与赤道面的交角称为该点的纬度, 以 φ 表示。其变化范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$, 从赤道面起, 在北者称为北纬, 在南者称为南纬。

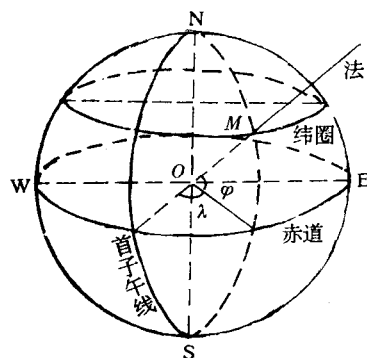


图 1—3 地理坐标系

二、大地坐标系

大地坐标系以旋转椭球面为投影面, 以本初子午线和赤道平面为参照系。地面点在该坐标系中的位置用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示。

图 1—4 中, 视地球为一旋转椭球, N 和 S 为其北、南二极, O 为球心。连接两极的直线为椭球体的旋转轴。过球心且垂直于旋转轴的平面称为赤道平面。过地面点且包含旋转轴的

平面与旋转椭球面的交线称为该地面点的子午线。1884 年国际经度会议决议以通过英国 Greenwich 天文台的子午线做为首子午线。由于极移和该天文台迁址，1968 年国际时间局改用经过国际协议原点 (CIO) 和原 Greenwich 天文台的经线延伸交于赤道圈的一点做为经度零点。这条经线称为本初子午线。1977 年我国决定采用的本初子午线是过该经度零点与极原点 1968.0 的子午线。

地面点 N 的子午线与本初子午线的夹角称为该点的大地经度，以 L 表示。其变化范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，从本初子午线起，向东称为东经，向西称为西经。过地面点 N 的法线方向与赤道平面的交角称为该点的大地纬度，以 B 表示。其变化范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，从赤道平面起，在北者为北纬，在南者为南纬。

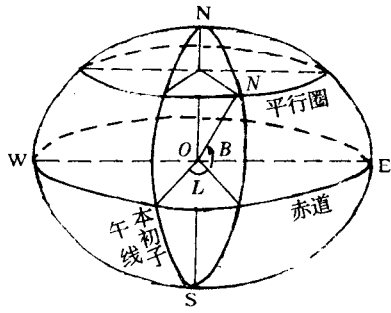


图 1—4 大地坐标系

三、高斯—克吕格坐标系

地球自然表面是一个不可展开的封闭曲面。为了将其表示于平面上，并将不可避免的变形控制在一定的范围内，许多学者提出了各种投影方法，高斯—克吕格投影即横切圆柱投影就是其中最著名的一种。高斯—克吕格投影以横切圆柱面为投影面，按分带方法各自进行投影，并于投影后展开成平面，故各带坐标成独立系统（详见 § 7—2）。展开后，中央经线和赤道的投影为直线，其余经线和纬线的投影均为曲线。高斯—克吕格坐标系以正交的中央经线投影（坐标纵轴）和赤道投影（坐标横轴）为参照系，用该坐标系中一对有序数 (x, y) 表示地面点的位置，如图 1—5 所示。

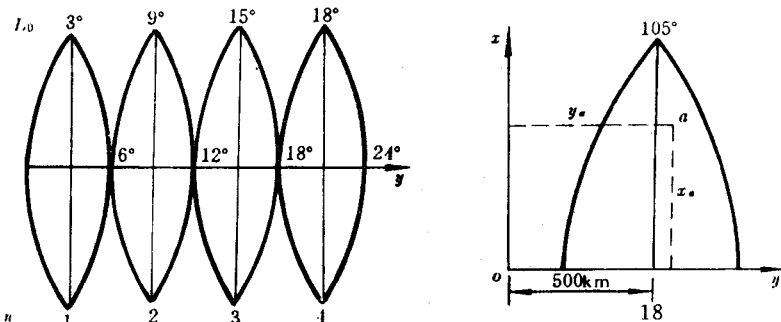


图 1—5 高斯—克吕格坐标系

地面点 A 的投影 a 到坐标横轴的平面距离称为该点的纵坐标，以 x_a 表示。纵坐标从赤道起算，以北为正，以南为负。我国位于北半球，纵坐标均为正值。投影 a 到坐标纵轴的平面距离称为该点的横坐标，以 y_a 表示。横坐标从中央经线起算，以东为正，以西为负。

横坐标出现负值，使用不便，故规定将坐标纵轴西移 500 km，凡带内的横坐标值均需加 500 km。为了区别某一坐标系属于哪一带，规定在其横坐标值之前冠以所在的带号。如图 1—5 所示，地面 A 位于 6°带第 18 带（其中央经线 $L_0=105^\circ$ ）内，其纵、横坐标的自然值分别为 3 899 340.78 和 22 543.29。横坐标加 500 km 并冠以带号后，其纵、横坐标值则分别表示为 $x_a=3\ 899\ 340.78$ 和 $y_a=18\ 522\ 543.29$ 。

四、平面直角坐标系

在小区域内进行测量,可将部分球面视为水平面(其限度详见§1—4)而做为投影面。为了不使坐标出现负值,可在测区西南设置原点 O ,以通过原点的南北方向线为纵坐标轴,并以北向为正向;以过原点并与纵坐标轴正交的东西方向线为横坐标轴,并以东向为正向。用平面上的长度值(X_b , Y_b)表示地面点 B 的位置,如图1—6所示。

由于测量学上规定直线的方向是从坐标纵轴正向(北端)开始按顺时针方向量度的,故如图1—7所示,测量坐标系象限的排列次序按顺时针方向计,这一点与数学上不同。但这样的变换既不改变有关的数学公式,又便于测量工作中方向和坐标的计算。

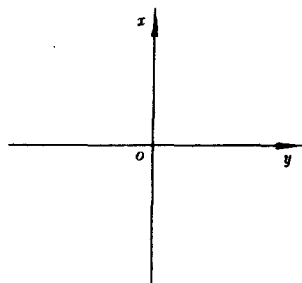


图 1—6 平面直角坐标系

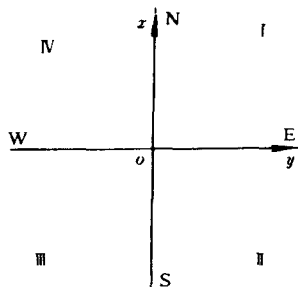


图 1—7 测量坐标系的象限

五、高程系统

地面点的坐标只表示地面点在投影面上的位置,要表示地面点的空间位置,还需要确定地面点的高程。

大地水准面为高程基准面,即地面点高程的起算面。地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为该点的绝对高程,亦称海拔,简称高程。如图1—8所示, H_A 和 H_B 分别为地面点 A 和 B 的高程。地面点在大地水准面之上者,其高程为正;相反,地面点在大地水准面之下者,其高程为负。地面两点高程之差称为高差,以 h 表示,例如 $h_{AB}=H_B-H_A$ 。

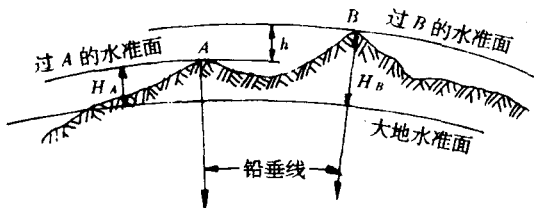


图 1—8

1954年我国建立青岛水准原点,并于1956年根据青岛验潮站的观测成果推算的黄海平均海水面做为高程零点,称为“1956年黄海高程系”。青岛原点在该高程系统中的高程为72.289 m。1985年,我国将根据青岛验潮站长期观测成果所推算的黄海平均海水面做为新的大地水准面,据此建立并启用了新的高程系统,命名为“1985国家高程基准”。在该系统中,青岛水准原点的高程为72.260 m。

§ 1—4 地球曲率对观测结果的影响

在小区域的测量工作中,可以将大地水准面近似地当做圆球面:先将地面点投影到圆球面上,再将其在圆球面上的投影描绘在平面的图纸上。这是一个极其复杂的过程。实际测量

工作中，在一定的精度范围内和测区面积不大时，往往以水平面来代替水准面，以简化计算和绘图工作。不考虑地球曲率必然给观测结果带来影响。

一、地球曲率对水平距离的影响

如图 1—9 所示，地面点 A 、 B 在大地水准面上的投影为 a 、 b 。过 a 作大地水准面的切平面，则 A 、 B 在切平面上的投影为 a 、 b' 。设在切平面上两点间的水平距离为 S ，在大地水准面上两点间的弧长为 D ，其所对的圆心角为 θ ，则用水平面代替大地水准面所产生的水平距离误差为

$$\Delta D = S - D = R(\tan \theta - \theta)$$

式中 R 可采用地球的平均曲率半径。将 $\tan \theta$ 展成级数，因 θ 很小，故可略去五次方以上各项，则有

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

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

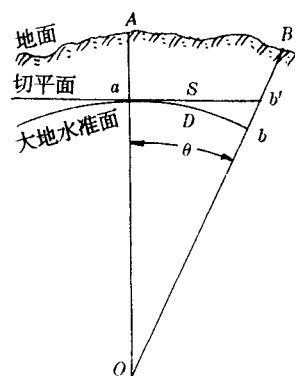


图 1—9

取 $R=6371$ km，给定不同的 D 值，其结果列于表 1—2 中。

地球曲率对水平距离的影响

表 1—2

距离 D (km)	距离误差 ΔD (mm)	相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
1	0.008	1 : 125 000 000
2	0.065	1 : 31 000 000
5	1.026	1 : 4 900 000
8	4.204	1 : 1 900 000
13	18.042	1 : 721 000
25	128.316	1 : 195 000
50	1026.534	1 : 49 000
100	8212.275	1 : 12 000

可见在实际测量工作中，将大地水准面视为水平面，亦即将沿圆弧丈量的距离做为水平距离，地球曲率对其影响可忽略不计。

二、地球曲率对水平角的影响

由球面三角学可知，空间多边形在球面上投影的内角和与在平面上投影的内角和并不相等，前者比后者大一个球面角超 ϵ 。设球面多边形的面积为 P ，则

$$\epsilon = \frac{P}{R^2} \quad (1-3)$$

取 $R=6371$ km，给定不同的 P 值，其结果列于表 1—3 中。

地球曲率对水平角的影响

表 1—3

P (km ²)	1	10	50	100	400
ϵ	0.005"	0.051"	0.254"	0.508"	2.033"

显然对于面积为 100 km^2 的多边形，只在精密测量中才予以考虑，一般测量中可不考虑。

三、地球曲率对高差的影响

由图 1—9 可知， a 、 b 两点均位于大地水准面上，高程相等且等于零。若以水平面代替大地水准面，则产生高差误差 Δh ，且有

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + S^2$$

即
$$\Delta h = (R^2 + S^2)^{\frac{1}{2}} - R$$

由于 S 相对于 R 来说是小量，故上式中的第一项可按级数展开，略去二次方以上各项，并以 D 代替 S ，则

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

给定不同的 D 值，其结果列于表 1—4 中。

地球曲率对高差的影响

表 1—4

D (m)	35	50	75	100	150	500	1000
Δh (mm)	0.10	0.20	0.44	0.78	1.77	19.62	78.48

显然地球曲率对高差的影响较大，即使在短距离内也应予以考虑。

§ 1—5 测量工作概述

测量学的基本任务是测定地面点的位置，以及地球表面的形态，据以绘制各种比例尺的地形图和地图，或解决科学和工种中的测量课题，为国家的经济建设和国防建设提供高质量的测量成果和地图资料。

一、基本测量工作

如图 1—10 所示，地面点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 构成一闭合多边形。为了确定其形状，必须观测水平角 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 、 β_5 。为了确定其大小，必须测量水平距离 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 。为了确定其方位，必须测定一条直线（例如图中的 $\overline{AB}$ ）的方向。要确定各点在平面坐标系中的位置，还必须已知一点（例如图中的 A ）的坐标。通过高程测量可以测定各地面点的高程。

由此可见，地面点间的相对位置关系是由水平距离、水平角和高程确定的。距离测量、角度测量和定向测量用来确定地面点的平面位置，高程测量用以确定地面点的高程。所以，高程测量、角度测量、定向测量和距离测量是四项基本测量工作。

二、测量工作的分类

在测量学中，把测定未知量的过程叫做观测。所谓观测，就是一定的观测者、使用一定的仪器和工具、采用一定的方法和程序、在一定的环境条件下确定未知量与同名计量单位之比的过程。

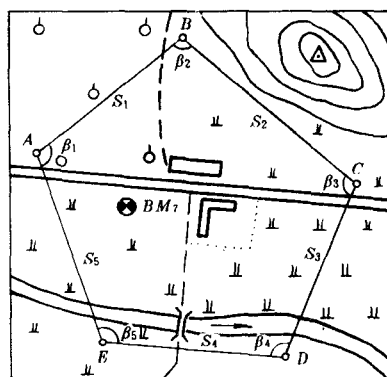


图 1—10