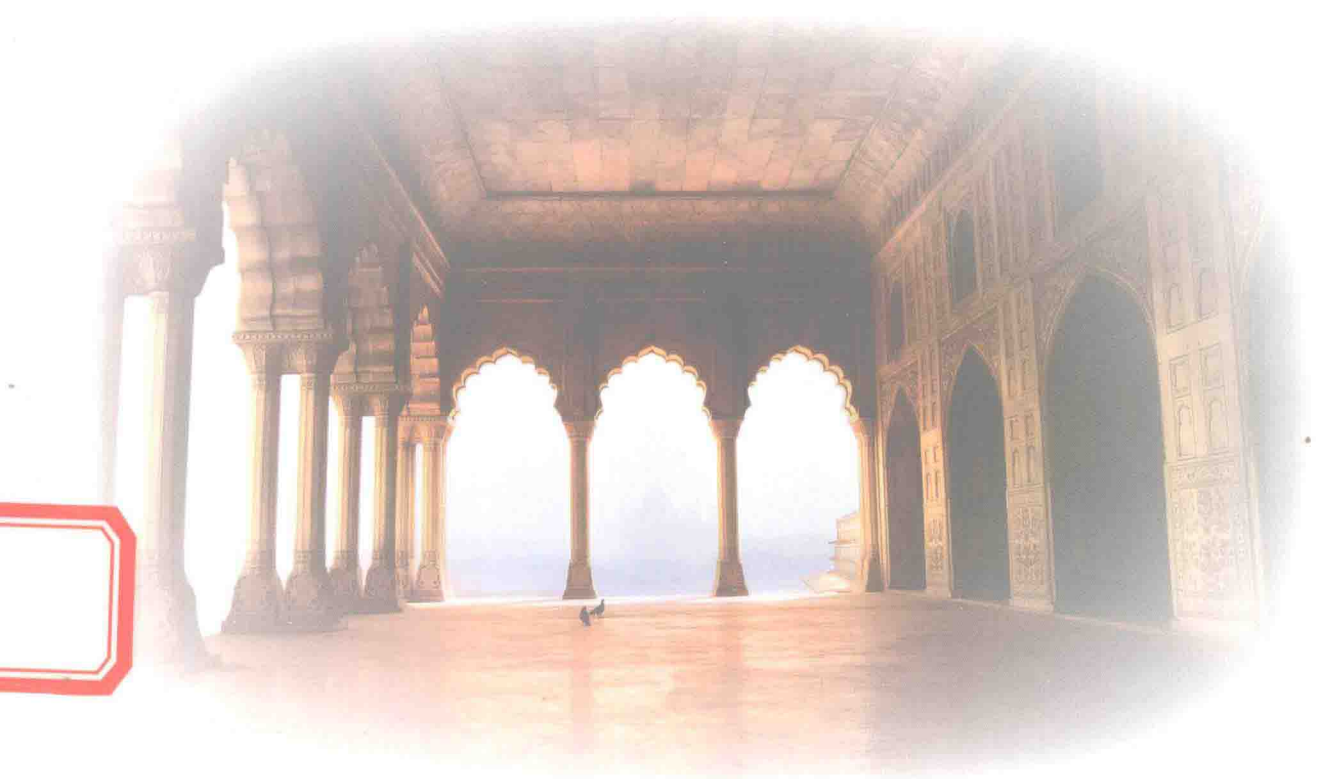


普通高等教育“十二五”规划教材

建筑工程测量

王 迪 周海波 ◎主编



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材

建筑工程测量

王 迪 周海波 主编

文 静 李莎莎 郭一江 李宏豪 郭 秦 参编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从现代建筑测量技术的发展和市场经济对人才的需要出发,针对土木类专业实践性的要求,适当地增加工程实践相关内容。全书共11章,第1~6章为测量基础篇,第7~11章为工程应用篇。测量基础篇内容包括绪论、高程测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差基本知识、小区域控制测量;工程应用篇内容包括地形图的识读和应用、测设的基本工作、民用与工业建筑施工测量、道路与桥梁工程测量、变形观测和竣工总平面图的测绘。各章开头配有导读和引例,章后附拓展阅读、小结与习题。本书定位明确,知识结构合理,应用性强,重视对学生的启发和引导。

本书适用于独立学院和其他高职高专学校作为土建专业的教材,还可供其他层次的相关专业及函授、自学、岗位培训作为教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量 / 王迪, 周海波主编. — 北京: 电子工业出版社, 2015.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-26598-3

I. ①建… II. ①王… ②周… III. ①建筑测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第155743号

策划编辑: 王晓庆

责任编辑: 王晓庆

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 419千字

版 次: 2015年8月第1版

印 次: 2015年8月第1次印刷

定 价: 39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

“建筑工程测量”是土建类专业课程体系中一门重要的专业课，如何使该课程的设置与建设相适应，同时与土建类专业的人才培养目标相契合，是相关专业教学工作者一直在深刻探索的问题。

“建筑工程测量”的课程体系应打破旧课程体系中知识点繁杂、教材内容陈旧、实践内容少、教学方法落后的现状，知识结构应从建筑工程测量的具体应用出发，以建筑物定位作为教学的切入点和核心，将新仪器、新技术、新规范纳入测量教学中，阐述其测量的基本理论和技术原理，强调按技术用途和工程类型来综合运用技术，做到举一反三，触类旁通，避免面面俱到；注重测量技术原理、方法的逻辑关系、连续关系和互补关系；强调测量知识在建筑工程中的实际运用能力，即通过实践将所学测量知识提升为应用能力。

在整个课程体系改革中，教材改革是重要环节，其内容应既要满足课程内容的教学需要，又不能局限在课程教学内容的范围之内，因为课程内容远远不能达到现代建筑测量知识的信息量。所以，在该教材编写过程中，从现代建筑测量技术的发展和市场经济对人才的需要出发，从学生学习建筑测量课程的完整性来考虑，对教材内容适当增加课外阅读内容及相关的常用测量知识，对整个结构体系做了调整，针对土木类专业实践性的要求，加入了新仪器的说明和实践指导，适当地增加了工程实践相关的内容，如高斯平面直角坐标系的建立、地形图的测绘、异形建筑物的定位方法、精密水准测量等。本书参编的教师都具有4年以上的“建筑工程测量”课程的教学与实践指导经验，在教学应用与总结的基础上组织编写，对教材的结构体系和内容设置都进行了详细考量，打破了现有教材内容陈旧、实践性不强的局限，并与独立院校人才培养目标相契合，与市场需求相适应。本书具有以下特点：定位明确，突出实用性和针对性，重视对学生的启发和引导。书中测量应用的内容在教材中占了近一半的篇幅。对于其他先进测量仪器和技术，则在相关章节给予适当介绍，这样既突出了重点，又拓宽了学生的视野。每章的开端设置了导读和引例，章后设置本章小结，并配合数量适当、富有启发的拓展阅读和习题，给学生留下更多的思考空间。作者本着加强基本理论、基本技术的培养，注重实践操作技能训练，兼顾测绘新技术应用的基本原则，对教材内容做了合理的设置和安排。

在教学中，教师可以根据教学对象和学时等具体情况对教学过程中的容进行删减和组合，也可以进行适当扩展，参考学时为32个理论学时加16个实践学时。本书第1、11章由李宏豪编写，第2章由文静编写，第3、10章由郭一江编写，第4章由李莎莎编写，第5、6章由王迪编写，第7章由郭秦编写，第8、9章由周海波编写。全书由王迪和周海波主编并统稿。本书的编写参考了大量近年来出版的相关技术资料，吸取了许多专家和同仁的宝贵经验，在此向他们深表谢意。

在本书的出版过程中，西南科技大学城市学院土木建筑工程系测绘教研室的全体教师都倾注了极大的热情，付出了艰辛的劳动，但受学识水平局限，错误在所难免，在此恳请广大读者及专家学者不吝指正，以便修订时更改。

作 者
2015年7月

目 录

第一篇 测量基础篇

第1章 绪论	1	2.5 水准测量的误差来源及消减办法	32
1.1 建筑工程测量的任务及其在建筑 工程中的作用	1	本章小结	35
1.1.1 建筑工程测量的概述	1	习题	35
1.1.2 建筑工程测量的任务与内容	1	第3章 角度测量	37
1.2 地球表面特征及地面点位置的确定	2	3.1 角度测量原理	37
1.2.1 地球形状和大小	2	3.1.1 水平角测量原理	37
1.2.2 建筑坐标和测量坐标的换算	2	3.1.2 竖直角测量原理	37
1.2.3 平面位置与高程的确定	3	3.2 光学经纬仪	38
1.3 用水平面代替水准面的限度	7	3.2.1 DJ6 光学经纬仪	38
1.3.1 地球曲率对水平距离的影响	8	3.2.2 DJ2 光学经纬仪	41
1.3.2 地球曲率对水平角度的影响	8	3.3 水平角观测方法	42
1.3.3 地球曲率对高差的影响	9	3.3.1 经纬仪的安置	42
1.4 测量基本工作概述	9	3.3.2 水平角观测方法	44
1.4.1 测量基本工作过程简述	9	3.4 竖直角测量	46
1.4.2 测量工作的程序和原则	9	3.4.1 竖直度盘的构造	46
本章小结	12	3.4.2 竖直角观测与计算	48
习题	13	3.5 经纬仪的检验与校正	49
第2章 高程测量	14	3.5.1 光学经纬仪各轴线应满足的条件	49
2.1 水准测量原理	14	3.5.2 光学经纬仪检验校正的方法步骤	49
2.2 水准测量的仪器与工具	16	3.6 角度测量误差分析及注意事项	52
2.2.1 DS3 光学水准仪	16	3.6.1 仪器误差	52
2.2.2 水准尺和尺垫	18	3.6.2 观测误差	53
2.3 水准测量的实施	19	3.6.3 外界条件的影响	54
2.3.1 水准仪的使用	19	本章小结	57
2.3.2 普通水准测量	20	习题	57
2.4 DS3 型水准仪的检验与校正	30	第4章 距离测量与直线定向	58
2.4.1 圆水准器轴平行于仪器竖轴 的检验与校正	30	4.1 距离测量概述	58
2.4.2 十字丝横丝垂直于仪器竖轴 的检验与校正	31	4.2 钢尺量距	58
2.4.3 水准管轴平行于视准轴的检验 与校正	31	4.2.1 工具及设备	58
		4.2.2 直线定线	59
		4.2.3 普通钢尺量距	60
		4.2.4 精密钢尺量距	61

4.2.5 钢尺量距的误差来源及减弱措施	63	6.1.1 国家控制网	88
4.3 视距测量	64	6.1.2 城市控制网	89
4.3.1 视线水平时的视距测量	64	6.1.3 小地区控制网	89
4.3.2 视线倾斜时的视距测量	65	6.2 导线测量	90
4.4 光电测距	66	6.2.1 概述	90
4.4.1 脉冲式	66	6.2.2 导线的布设形式	90
4.4.2 相位式	67	6.2.3 导线测量的技术要求	91
4.5 直线定向	67	6.2.4 导线测量的外业工作	91
4.5.1 直线定向的方法	67	6.2.5 导线测量的内业工作	93
4.5.2 坐标方位角的推算	69	6.3 小三角测量	98
本章小结	69	6.3.1 小三角网的形式	98
习题	70	6.3.2 小三角测量的等级及技术要求	98
第5章 测量误差基本知识	71	6.3.3 小三角测量的外业	98
5.1 测量误差概述	71	6.3.4 小三角测量的内业计算	99
5.1.1 什么是测量误差	71	6.4 交会法定点	101
5.1.2 产生观测误差的原因	71	6.4.1 前方交会	101
5.1.3 测量误差的分类	72	6.4.2 侧方交会	102
5.2 偶然误差的统计规律	73	6.4.3 后方交会	102
5.2.1 表格法	73	6.4.4 距离交会法	103
5.2.2 直方图法	74	6.5 高程控制测量	104
5.3 评定精度的指标	75	6.5.1 三、四等水准测量	104
5.4 误差传播定律	77	6.5.2 三角高程测量	106
5.5 应用举例	81	6.6 建筑施工场地的控制测量	108
5.6 等精度直接观测平差	83	6.6.1 概述	108
本章小结	86	6.6.2 施工场地的平面控制测量	108
习题	86	6.6.3 施工场地的高程控制测量	111
第6章 小区域控制测量	87	本章小结	116
6.1 控制测量概述	87	习题	117

第二篇 工程应用篇

第7章 地形图的识读和应用	118	7.3.4 图廓、坐标格网与注记	125
7.1 地形图的基本知识	118	7.4 地形图的测绘	125
7.1.1 地形图比例尺	118	7.4.1 测图前的准备工作	126
7.1.2 比例尺精度	119	7.4.2 碎步测量	127
7.2 地物符号	119	7.5 地形图的拼接、整饰和检查	129
7.3 等高线基本知识	122	7.6 地形图应用的基本内容	130
7.3.1 等高线的概念	122	7.6.1 地形图的识读	130
7.3.2 几种典型地貌的等高线图	123	7.6.2 地形图的基本应用	130
7.3.3 地形图的分幅和编号	124	7.6.3 图上面积量算	131

7.7 地形图在施工中的应用示例	132	9.5.3 中小型工业厂房控制网的建立	168
7.7.1 利用地形图绘制特定方向 的纵断面图	132	9.5.4 大型工业厂房控制网的建立	169
7.7.2 利用地形图进行场地平整设计	133	9.5.5 厂房扩建与改建时控制网 的恢复	169
本章小结	136	9.6 厂房基础施工测量	170
习题	136	9.6.1 钢柱基础施工测量	170
第8章 测设的基本工作	139	9.6.2 杯形基础施工测量	171
8.1 水平距离、水平角和高程的测设	139	9.6.3 混凝土基础施工测量	172
8.1.1 已知水平距离的测设	139	9.6.4 施工测量允许偏差	173
8.1.2 已知水平角的测设	140	9.7 厂房预制构件(柱、梁及屋架)安装 测量	174
8.1.3 已知高程的测设	141	9.7.1 厂房柱子安装测量	174
8.2 已知直线和已知坡度线的测设	143	9.7.2 吊车梁安装测量	175
8.2.1 已知直线的测设	143	9.7.3 屋架安装测量	176
8.2.2 已知坡度线的测设	145	9.8 厂房内设备基础施工测量	176
8.3 平面点位的测设	147	9.8.1 基础设备控制网的设置	176
本章小结	150	9.8.2 基坑开挖和基础底层放线	177
习题	150	9.8.3 中小型设备基础定位	177
第9章 民用与工业建筑施工测量	151	9.8.4 大型设备基础定位	177
9.1 建筑物的定位和放线	151	9.8.5 设备基础中心线标板的埋设 与投点	178
9.1.1 建筑物的定位	151	本章小结	182
9.1.2 建筑物的放线	153	习题	182
9.1.3 建筑物抄平测量	155	第10章 道路与桥梁工程测量	183
9.2 建筑物基础施工测量	156	10.1 概述	183
9.2.1 开挖深度和垫层标高控制	156	10.2 初测阶段的测量工作	183
9.2.2 在垫层上投测基础中心线	157	10.2.1 选点插旗	184
9.2.3 基础标高控制	157	10.2.2 导线测量	184
9.3 墙体施工测量	157	10.2.3 导线方位角闭合差	184
9.3.1 墙体定位	157	10.2.4 导线长度闭合差	185
9.3.2 墙体各部位的标高控制	158	10.2.5 高程测量	186
9.3.3 二层以上楼层墙体施工测量	159	10.2.6 带状地形图测绘	187
9.4 高层建筑的施工测量	159	10.3 定测阶段的测量工作	187
9.4.1 高层建筑施工测量的特点	159	10.3.1 道路的平面线形及桩位标志	187
9.4.2 高层建筑施工控制测量	160	10.3.2 中线测量	188
9.4.3 高层建筑基础施工测量	161	10.3.3 中桩测设	188
9.4.4 高层建筑的轴线投测	163	10.4 道路纵横断面测量	197
9.4.5 高层建筑的高程传递	165	10.4.1 道路纵断面测量	197
9.4.6 滑模施工中的测量工作	166	10.4.2 道路横断面测量	200
9.5 厂房施工控制网的建立	167	10.5 道路施工测量	201
9.5.1 控制网建立的准备工作	167		
9.5.2 控制网建立的方法	167		

10.5.1	道路施工复测	201	11.2	建筑物沉降观测	214
10.5.2	路基放样	202	11.3	倾斜和位移观测	216
10.5.3	路面放样	205	11.3.1	建筑物的倾斜观测	216
10.5.4	竖曲线的测设	205	11.3.2	建筑物的位移观测	217
10.6	桥梁施工测量	206	11.4	挠度与裂缝观测	218
10.6.1	桥位控制测量	207	11.4.1	建筑物的挠度观测	218
10.6.2	桥梁墩台中心的测设	208	11.4.2	建筑物的裂缝观测	218
10.6.3	桥梁墩台施工测量	209	11.5	竣工总平面图的绘制	219
本章小结		210	11.5.1	竣工测量	219
习题		210	11.5.2	竣工总平面图的编绘方法 和整饰	219
第 11 章	变形观测和竣工总平面图的测绘	211	本章小结		222
11.1	建筑物变形观测概述	211	习题		223
11.1.1	建筑物产生变形的原因	212	参考文献		224
11.1.2	建筑物变形观测的分类	212			
11.1.3	建筑物变形测量的要求和 施测程序	212			
11.1.4	建筑物变形测量等级和 精度要求	213			

第一篇 测量基础篇

第1章 绪 论

导读：本章主要学习建筑工程测量的基础知识，使读者初步具备合理确定测量工作任务和内容的能力，重点讲述了建筑工程的研究内容和任务，简述了地球表面特征及研究方法，介绍了测量常用的坐标系及地球表面点的确定方法和测量原理，分析了用水平面代替水准面的限度，介绍了测量工作的原则和程序，为后续章节的学习和顺利进行测量工作奠定理论基础。

引例

从远古时期开始，人类一直在不断地问自己：“我在哪里？”“我要去哪里？”“我要去的地方有多远？”“在哪个方向？”“我去过哪里？”“我怎样才能找到回家的路？”人类文明从认识自然发展到改造自然，要建造房屋、拦河筑坝、修路架桥，又必须弄清楚：“在哪里进行？”所有这些问题都可以归结为“定位”。测量学就是研究定位——确定地面某点位置在某参照系中的位置的科学。在工程项目的建设过程中，无论是在勘测规划设计阶段，还是在工程施工阶段、工程项目运营管理阶段，都需要进行大量的测量工作，其在各阶段都有不同的作用。

1.1 建筑工程测量的任务及其在建筑工程中的作用

1.1.1 建筑工程测量的概述

测量学是研究地球的形状、大小及确定地面点空间位置的科学，按照研究对象及采用技术的不同，可以分为多个学科分支，如大地测量学、摄影（遥感）测量学、普通测量学、海洋测量学、工程测量学及地图制图学等。在测绘界，人们把工程建设中的所有测绘工作统称为工程测量，包括在工程建设勘测、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作，直接为各类建筑工程项目提供数据和图纸。到近代，随着工程建设的大规模发展，人们从实践中逐渐积累经验，细分出建筑工程测量这一方向。它是面向土木建筑类工程的勘测、规划、设计、施工与管理等专业的测量学，也就是说属于普通测量学和工程测量学范畴。

任何建筑工程在确定了设计方案后，都需要把设计的方案标定到实地，因此，测量工作贯穿于工程建设的整个过程。离开了测绘资料，就难以进行科学合理的规划和设计；离开了施工测量，就不能安全、优质地施工；离开了位移和变形监测，就不能有效地研究规划设计和施工的技术质量，不能及时采取有效的安全措施，也不能为研究新的科学设计理论和方法提供依据。从事土木建筑类专业的技术人员和相关的管理人员，必须掌握测量的基本知识和技能。

1.1.2 建筑工程测量的任务与内容

建筑工程测量的内容与工程测量的内容一脉相承，其主要任务如下。

(1) 研究测绘大比例尺地形图的理论和方法。大比例尺地形图是工程勘察、规划及设计的依据。测量学是研究确定地面局部区域建筑物、构筑物、天然地物和地貌的空间三维坐标的原理和方法,研究局部地区地图投影理论,以及将测绘资料按比例绘制成地形图或电子地图的原理和方法。

(2) 研究在地形图上进行规划、设计的基本原理和方法。在地形图上进行土地平整、土方计算、道路选线、房屋设计和区域规划的基本原理和方法。

(3) 研究建(构)筑物施工放样及施工质量检验的技术和方法;研究将规划设计在图纸上的建筑物、构筑物准确地放样和标定在地面上的技术和方法;研究在施工过程中的监测技术,以保证施工的质量和安

全。(4) 对大型建(构)筑物的安全性进行位移和变形监测。在大型建筑物施工过程中或竣工后,为确保工程施工和使用的安全,应对建筑物进行位移和变形监测。

1.2 地球表面特征及地面点位置的确定

1.2.1 地球形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,学习本课程,必须先了解地球的形状和大小。地球自然表面是极不平坦和不规则的,分布着高山、高原、洼地、盆地、平原等千姿百态的地貌,有位于我国境内世界上最高的珠穆朗玛峰,2005年5月我国大地测量工作者测得其高程为8844.43m,有位于太平洋西部低于海平面11022m的马里亚纳海沟,形状十分复杂。但是地球表面的高低起伏,相对于地球平均半径6371km是很小的,所以仍可以将地球作为球体看待。地球自然表面大部分是海洋,面积占地球表面的71%,陆地仅占29%。人们设想将静止的海水面向整个陆地延伸,用所形成的封闭曲面代替地球表面,这个曲面称为大地水准面。大地水准面所包含的形体,称为大地体,代表了地球的自然形状和大小。

大地水准面的确定是一件非常复杂的工作,地球形状不规则,内部的质量分布不均匀,引起地面上各点的重力线方向产生不规则的变化。例如:在山岳附近,引力方向偏向山岳;在湖海附近,引力方向偏离湖海;在金属矿藏附近,引力方向偏向矿藏,等等。由于水准面都是处处与重力线方向正交的,所以水准面是不规则的曲面。长期以来,各国的大地测量工作者进行了大量的重力测量工作和海水面的观测工作,但是到目前为止,还没有得到一个被全球所公认的大地水准面。各国所采用的大地水准面实际上只是最接近其所在区域平均海水面的水准面。

1.2.2 建筑坐标和测量坐标的换算

1. 建筑坐标系

为了工作上的方便,在建立施工平面控制网和进行建筑物定位时,多采用一种独立的直角坐标系,称为建筑坐标系,也叫施工坐标系。该坐标系的纵横坐标轴与场地主要建筑物的轴线平行,坐标原点常设在总平面图的西南角,使所有建筑物的设计坐标均为正值。

为了与原测量坐标系区别,规定施工坐标系统的纵轴为 A 轴,横轴为 B 轴。由于建筑物布置的方向受场地地形和生产工艺流程的限制,建筑坐标系通常与测量坐标系不一致。故在测量工作中需要将一些点的施工坐标换算为测量坐标。

2. 测量坐标系

测量坐标系统与施工场地地形图坐标系统一致, 工程建设中地形图坐标系统有两种情况, 一种是高斯平面直角坐标, 另一种是测区独立平面直角坐标系, 用 XOY 表示。

3. 坐标换算公式

如图 1-1 所示, 测量坐标为 XOY , 施工坐标为 $AO'B$, 原点 O 在测量坐标系中的坐标为 X'_0, Y'_0 。设两坐标轴之间的夹角为 α (一般由设计单位提供, 也可以在总平面图按图解法求得), P 点的施工坐标为 (A_p, B_p) , 测量坐标为 (X_p, Y_p) , 则 P 点的施工坐标可按式 (1-1) 换算成测量坐标:

$$\begin{aligned} X_p &= X'_0 + A_p \cdot \cos \alpha - B_p \cdot \sin \alpha \\ Y_p &= Y'_0 + A_p \cdot \sin \alpha + B_p \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (1-1)$$

P 点的测量坐标可按式 (1-2) 换算成施工坐标:

$$\begin{aligned} A_p &= (X_p - X'_0) \cdot \cos \alpha + (Y_p - Y'_0) \cdot \sin \alpha \\ B_p &= -(X_p - X'_0) \cdot \sin \alpha + (Y_p - Y'_0) \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (1-2)$$

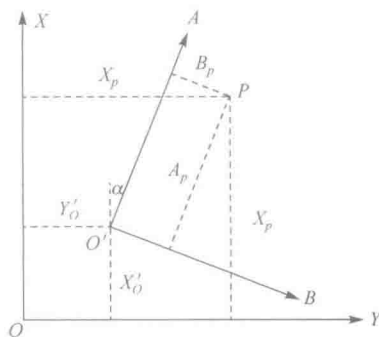


图 1-1 测量坐标各点

1.2.3 平面位置与高程的确定

测量中, 无论是测图还是放样, 都必须确定出所测对象的特征点的位置。只要将代表其地物地貌特征的点的位置确定了, 则其他各点、线、面及形的位置也就容易确定了。因此, 研究任意一点位置的确定问题, 是测量学的基本问题。

要确定一个点的空间位置, 可以通过确定这个点在某个基准面上的投影及该点沿基准线到该基准面的距离来进行。在野外测量时, 采用的基准面和基准线分别是水准面和与之垂直的重力线。但是由于大地水准面形状不规则, 不能作为内业计算的基准面, 所以内业计算是采用总椭球面或参考椭球面作为基准面, 采用与椭球面处垂直的法线作为基准线。

确定地面点位的基本方法是数学(几何)方法, 用空间三维坐标表示。以参考椭球体表示的为“参心”坐标, 以地球质心为坐标系中心的为“地心”坐标。地面点的空间位置与一定的坐标系统相对应, 在测量上常用的坐标系有空间直角坐标系、地理坐标系、高斯投影平面直角坐标系及独立平面直角坐标系等。地面点位的三维在空间直角坐标系中用 X, Y, Z 表示, 在地理坐标系和高斯投影平面直角坐标系中, 前两个量为平面坐标, 表示地面点沿着基准线投影到基准面上后在基准面上的位置。基准线可以是铅垂线, 也可以是法线。基准面是大地水准面、平面或椭球体面。第三个量是高程, 表示地面点沿基准线到基准面的距离。

1. 高程系统

新中国成立以来, 我国曾以青岛验潮站 1950—1956 年的观测资料求得的黄海平均海面作为我国的大地水准面(高程基准面), 由此建立了“1956 年黄海高程系统”, 并在青岛市观象山上建立了国家水准原点。此后由于观测数据的积累, 黄海平均海面发生了微小的变化, 因此启用了新的高程系, 即“1985 年国家高程基准”。青岛水准原点的高程在 1956 年黄海高程系统中为 72.289m, 在 1985 年国家高程基准中为 72.260m。

所谓地面点的高程(绝对高程或海拔)就是地面点到大地水准面的铅垂距离, 一般用 H 表示, 如图 1-2 所示。图中地面点 A, B 的高程分别为 H_A, H_B 。

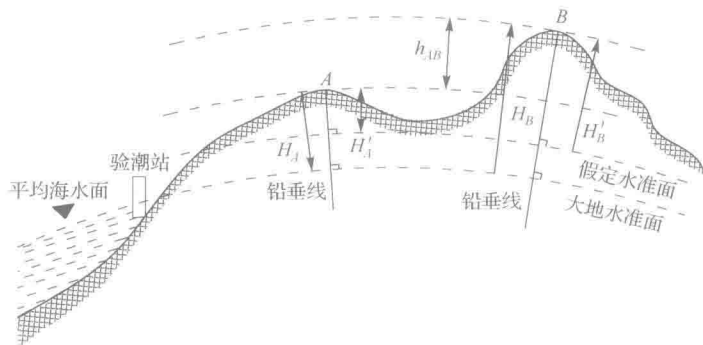


图 1-2 高程和高差

在个别的局部测区，若远离已知国家高程点或为便于施工，也可以假设一个高程起算面（即假定水准面），这时地面点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-2 所示 A、B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

地面上两点间的高程之差称为高差，一般用 h 表示。图 1-2 中 A、B 两点高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

式中， h_{AB} 有正有负，下标 AB 表示该高差是从 A 点至 B 点方向的高差。式 (1-3) 表明两点之间的高差与高程起算面无关。

2. 坐标系

1) 地理坐标

地面点在球面上的位置是用经度和纬度表示的，称为地理坐标。按照基准面和基准线及求算坐标方法的不同，地理坐标又可以分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。天文地理坐标如图 1-3 所示，其基准是铅垂线和大地水准面，它表示地面点 A 在大地水准面上的位置，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示。天文经、纬度是用天文测量的方法直接测定的。

大地地理坐标的基准是法线和参考椭球面，是表示地面点在地球椭球面上的位置，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。大地经、纬度是根据大地测量所得数据推算得到的。

如图 1-4 所示为以 O 为球心的参考椭球体，N 为北极、S 为南极，NS 为短轴。过中心 O 与短轴垂直且与椭球相交的平面为赤道面，P 为地面点，含有短轴的平面为子午面。过 P 点沿法线 PK_P 投影到椭球体面上，得到 P' 点。 $NP'S$ 是过 P 点子午面在椭球体面上投影的子午线。过格林尼治天文台的子午线称为本初子午线或首子午线。 $NP'S$ 子午面与本初子午面所夹的两面角 L_p 称为 P 点的大地经度。法线 PK_P 与赤道平面的交角 B_p 称为 P 点的大地纬度。P 点沿法线到椭球体面的距离 PP' 称为 P 点的大地高 H_p 。

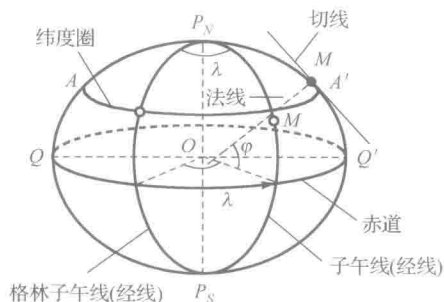


图 1-3 地理坐标示意图

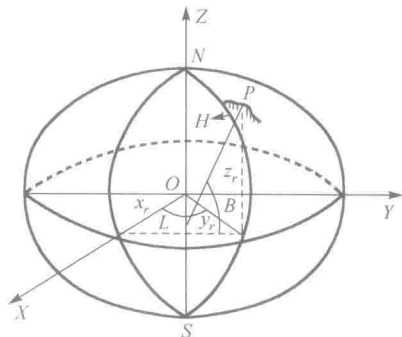


图 1-4 空间直角坐标

国际规定,过格林尼治天文台的子午面为零子午面,经度为 0° ,以东为东经、以西为西经,其值域均为 $0^\circ \sim 180^\circ$;纬度以赤道面为基准面,以北为北纬,以南为南纬,其值均为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。椭球体面上的大地高为零。沿法线在椭球体外为正,在椭球体内为负。我国处于东经 $74^\circ \sim 135^\circ$,北纬 $3^\circ \sim 54^\circ$ 。如北京位于北纬 40° 、东经 116° ,用 $B=40^\circ \text{N}$, $L=116^\circ \text{E}$ 表示。

地面点位也可以用空间直角坐标 (X, Y, Z) 表示,如GPS中使用的WGS-84系统,如图1-4所示。它是美国国防局为进行GPS导航定位于1984年建立的地心坐标系。该坐标系统以地心 O 为坐标原点, ON 即旋转轴为 Z 轴方向;格林尼治子午线与赤道面交点与 O 的连线为 X 轴方向;过 O 点与 XOZ 面垂直,并与 X, Z 构成右手坐标系者为 Y 轴方向。点 P 的空间直角坐标为 (X_p, Y_p, Z_p) ,它与大地坐标 B, L, H 之间可用公式转换。

2) 高斯平面直角坐标

(1) 测量问题的提出。大地坐标系是大地测量的基本坐标,常用于大地问题的解算、研究地球形状和大小、编制地图、火箭和卫星发射及军事方面的定位及运算,若将其直接用于工程建设规划、设计和施工等很不方便。所以要将椭球面上的大地坐标按一定数学法则归算到平面上,即采用地图投影的理论绘制地形图,才能用于规划建设。

(2) 解决问题的方案。椭球体面是一个不可直接展开的曲面,故将椭球面上的元素按一定条件投影到平面上,总会产生变形。测量上常以投影变形不影响工程要求为条件选择投影方法。地图投影有等角投影、等面积投影和任意投影3种,一般常采用等角投影,它可以保证在椭球体面上的微分图形投影到平面后将保持相似。这是地形图的基本要求。

(3) 高斯平面直角坐标。

① 高斯投影的概念。高斯是德国杰出的数学家和测量学家。在1820—1830年间,为解决德国汉诺威地区大地测量投影问题,提出了横轴椭圆柱投影方法(即正形投影方法)。1912年起,德国学者克吕格将高斯投影公式加以整理和扩充并导出了实用的计算公式,所以,该方法又称为高斯-克吕格正形投影。它是将一个横轴椭圆柱面套在地球椭球体上,如图1-5所示。椭球体中心 O 在椭圆柱中心轴上,椭球体南北极与椭圆柱相切,并使某一子午线与椭圆柱相切。此子午线称为中央子午线。然后将椭球体面上的点、线按正形投影条件投影到椭圆柱面上,再沿椭圆柱 N, S 点的母线割开,并展成平面,即成为高斯投影平面。

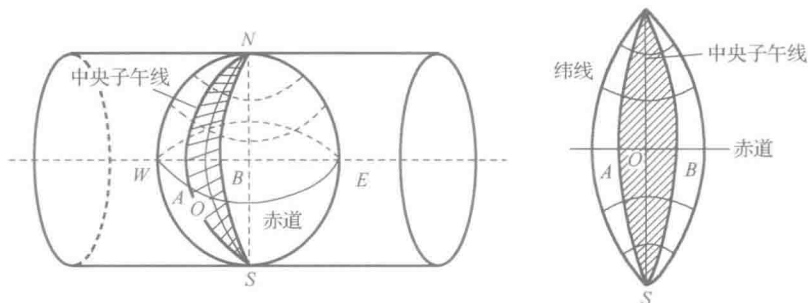


图1-5 高斯投影

在高斯投影平面上,中央子午线是直线,其长度不变形,离开中央子午线的其他子午线是弧形,凹向中央子午线。离开中央子午线越远,变形越大。投影后赤道是一条直线,赤道与中央子午线保持正交。离开赤道的纬线是弧线,凸向赤道。

高斯投影可以将椭球面变成平面,但是离开中央子午线越远变形越大,这种变形将会影响测图和施工精度。为了对长度变形加以控制,测量中采用了限制投影宽度的方法,即将投影区域限制在靠近

这个 y_b 值中可以知道, 该点是位于第 20 号 6° 带, 其真正横坐标 $y_b = (386575.310 - 500000) = -113424.690\text{m}$ 。

③ 高斯平面直角坐标系与数学中的笛卡儿坐标系的区别。如图 1-8 所示, 高斯直角坐标系的纵轴坐标为 x 轴, 横坐标为 y 轴, 坐标象限为顺时针方向编号。角度起算是从 x 轴的北方向开始, 顺时针计算。这些定义都与数学中的定义不同, 目的是为了定向方便, 并能将数学上的几何公式直接应用到测量计算中, 而无需做任何变更。

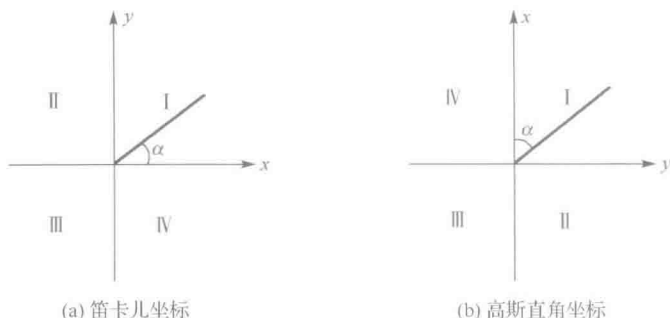


图 1-8 笛卡儿坐标和高斯直角坐标

3) 独立平面直角坐标

《城市测量规范》(CJJ/T8—2011) 规定, 面积小于 25km^2 的城镇, 可不经投影采用假定平面直角坐标系在平面上直接进行计算。

实际测量中, 一般将坐标原点选在测区的西南角, 是测区内的点位坐标均为正值 (第一象限), 与高斯平面直角坐标系的特点一样, 将该测区的子午线的投影为 x 轴, 向北为正, 与之相垂直的为 y 轴, 向东为正, 象限顺时针编号, 由此便建立了该测区的独立平面直角坐标系。

上述 3 种坐标系之间是相互联系的。例如, 地理坐标与高斯平面直角坐标之间可以相互换算, 独立平面直角坐标也可以与高斯平面直角坐标 (国家统一坐标系) 之间联测和换算。它们都是以不同的方式来表示地面点的平面位置的。

我国选择陕西省泾阳县永乐镇某点为大地原点进行大地定位。利用高斯平面直角坐标的方法建立了全国统一坐标系, 即现在使用的“1980 年国家大地坐标系”, 简称“80 系”或“西安系”。以前使用的是“1954 年北京坐标系”, 其原点位于苏联列宁格勒天文台中央, 为与苏联 1940 年普尔科夫坐标系联测, 经东北传递过来。自 2008 年 7 月 1 日起启用“2000 国家大地坐标系”。

综上所述, 通过测量与计算, 求得表示地面点位置的 3 个量, 即 x 、 y 、 H , 那么地面点的空间位置也就可以确定了。

1.3 用水平面代替水准面的限度

测量外业工作的基准面是水准面, 基准线是铅垂线, 测量数据处理首先要归算到参考椭球面上, 然后再投影到高斯平面上, 这是一个相当复杂的过程。在实际测量中, 在一定的精度要求和测区面积不大的情况下, 往往以测区中心的切平面代替水准面, 直接将地面点沿铅垂线方向投影到测区中心的水平面上来决定其位置, 这样可以简化计算和绘图工作。那么在多大的范围内, 水平面代替水准面对距离和高差的影响 (或称为地球曲率的影响) 可以忽略呢? 下面对测定地面点位的基本要素——水平距离、水平角、高程分别加以讨论。

1.3.1 地球曲率对水平距离的影响

如图 1-9 所示, 设 DAE 为参考椭球面 (水准面), AB 为其上的一段圆弧, 长度为 S , 其所对应的圆心角为 θ , 地球平均半径为 R ; 另在 A 点作切线 AC , 如果将切于 A 点的平面代替参考椭球面, 即以相应的切线段 AC 代替圆弧 AB , 则在距离上产生误差 ΔS , 由图 1-9 可得

$$\Delta S = AC - \widehat{AB}$$

其中, $AC = R \cdot \tan \theta$, $\widehat{AB} = R \cdot \theta$ 。则

$$\Delta S = R \left(\frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \right)$$

因 θ 值很小, 故略去 5 次方以上各项, 并以 $\theta = S/R$ 代入, 有

$$\Delta S = \frac{1}{3} \cdot \frac{S^3}{R^2}$$

即

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1217700}$$

当 $S=20\text{km}$ 时,

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{304400}$$

当 $S=50\text{km}$ 时,

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{48710}$$

在普通测量中, 距离丈量时的误差为其长度的一百万分之一时, 可以忽略不计。由此可见, 当在半径为 10km 的圆面积内进行距离的测量工作时, 一般情况下可以不考虑地球曲率。

1.3.2 地球曲率对水平角度的影响

由球面三角学知道, 同一个空间多边形在球面上投影的各内角之和, 较其在平面上投影的各内角之和大多一个球面角超 ε 的数值, 其公式为

$$\varepsilon'' = \rho'' \frac{P}{R^2} \quad (1-8)$$

式中, ρ'' ——1 弧度所对应的秒数;

P ——球面多边形面积;

R ——地球平均半径。

根据式 (1-8) 可知, 当 $P=10\text{km}^2$ 时, $\varepsilon''=0.05''$; 当 $P=100\text{km}^2$ 时, $\varepsilon''=0.51''$; 当 $P=400\text{km}^2$ 时, $\varepsilon''=2.03''$; 当 $P=2500\text{km}^2$ 时, $\varepsilon''=12.70''$ 。

对于面积在 100km^2 以内的多边形, 可以忽略地球曲率对水平角的影响。

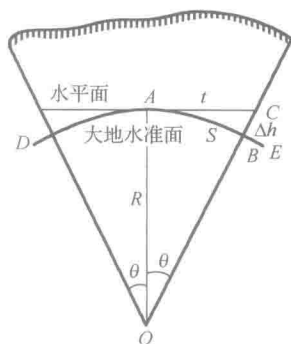


图 1-9 水平面代替水准面关系图

1.3.3 地球曲率对高差的影响

根据图 1-9 有

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2, \quad 2R \times \Delta h + (\Delta h)^2 = t^2$$

即

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h} \approx \frac{S^2}{2R}$$

当 $S = 10\text{km}$ 时, $\Delta h = 7.8\text{m}$; 当 $S = 100\text{m}$ 时, $\Delta h = 0.78\text{mm}$ 。

上述计算表明: 地球曲率的影响对高差而言, 即使在很短的距离内也必须加以考虑。

1.4 测量基本工作概述

1.4.1 测量基本工作过程简述

测量工作的主要任务是测绘地形图和施工放样。地球表面的形状简称地形, 其千姿百态、错综复杂。地形分为地物和地貌两类: 地物是指地面上的固定性物体, 如房屋、道路、河流和湖泊等; 地貌是指地球表面高低起伏的形态, 如山岭、河谷、坡地和悬崖等。

地形图测量实际是在地物和地貌上选择一些有特征代表性的点进行测量, 再将测量点投影到平面上, 然后用点、折线、曲线连接起来成为地物和地貌的形状图, 如房屋, 用房屋地面轮廓折线围成的图形表示。地貌虽然复杂, 但仍可以将其视为由许多不同坡度、不同方向的面组成的。只有选择坡度变化点、山顶、鞍部及坡脚等能表现地貌特征的点进行测量, 然后投影到平面上, 将同等高度的线用曲线连起来, 就可将地貌的形态表现出来。这些能表现地物和地貌特征的点称为特征点。特征点的测量方法有卫星定位和几何测量定位两种方法。

放样则是先计算好放样地物特征点的平面坐标与高程作为放样数据, 然后, 根据放样数据即可用卫星定位和几何测量定位的方法测出点位, 用放样标志在地面上表示出来, 再根据地物的形状和细部尺寸, 在实地上画线或拉线, 即可进行施工。

1.4.2 测量工作的程序和原则

测量中, 仪器要经过多次迁移才能完成测量任务。为了使测量成果坐标一致, 减小累积误差, 应先在测区内选择若干有控制作用的点组成控制网。先确定这些点的坐标 (称为控制测量, 所确定的点为控制点), 再以控制点坐标为依据, 在控制点上安置仪器进行地物、地貌测量 (称为碎部测量)。控制点测量精度高, 又经过统一的严密数据处理, 在测量中起着控制误差积累的作用。有了控制点, 就可以将大范围的测区工作进行分幅、分组测量。测量工作的程序是“先控制后碎部”, 即先做控制测量, 再在控制点上进行碎部测量。

为了保证测量工作的质量, 必须遵守以下原则。

(1) 在布局上——“从整体到局部”。在测量前制定方案时, 必须站在整体和全局的角度, 科学分析实际情况, 制定切实可行的施测方案。

(2) 在精度上——“由高级到低级”。测图工作是根据控制点进行的, 控制点测量的精度必须符合使用的要求。为保证测量成果的质量, 等级高、控制范围大的控制点的精度必须更高。只有当处于施工放样时, 才会出现放样碎部点的精度有时更高的情况。