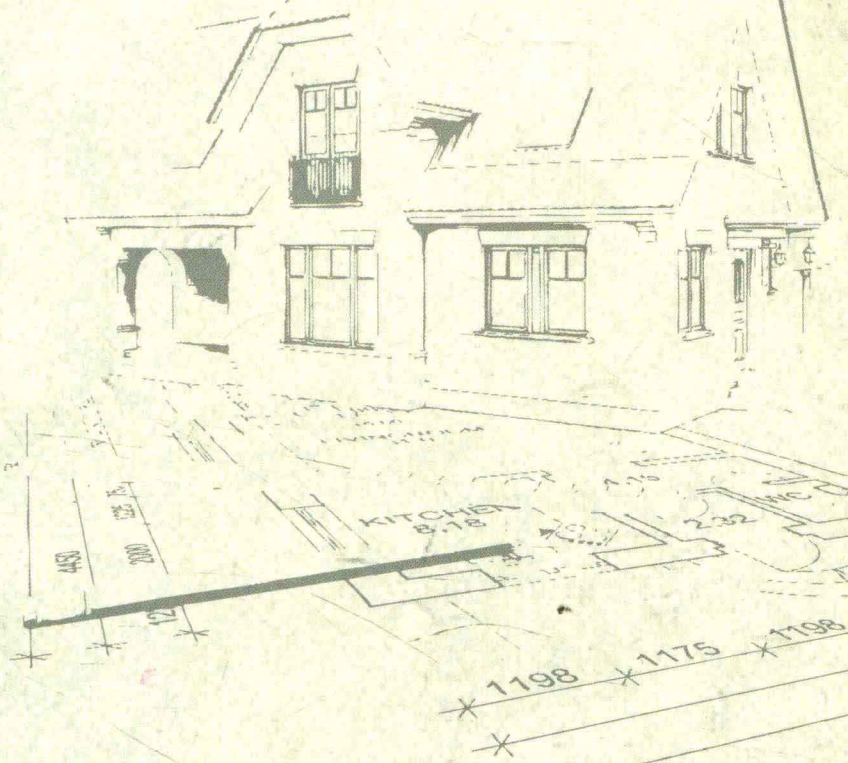


21世纪全国高职高专土建系列
技能型规划教材

高职高专『十二五』规划教材

土施工



(第2版)

建筑工程测量

张敬伟◎主 编

全新推出第2版

- 传承建筑工程测量理论与方法
- 体验现代测绘技术与工程实例
- 汲取优秀教材和测量规范精粹
- 帮你在施工测量领域吐故纳新



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高职高专“十二五”规划教材
21世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材

建筑工程测量

(第2版)

主 编 张敬伟
副 编 马书英
参 编 田元玲
常 州 藏 书 印

刘晓宁
魏华洁 马华宇
张文明 武安状



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是“21世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材”之一,依据中华人民共和国住房和城乡建设部印发的对本门课程的教学基本要求编写。全书共分11个项目,包括测量基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差基本知识、小地区控制测量、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、变形观测及竣工测量、线路工程测量,以及地形图的知识与应用。各个项目后均附有习题,可供读者练习。

本书具有较强的实用性和通用性,可作为建筑工程、建筑学、建筑装饰、村镇规划、工程监理、隧道工程、市政工程、给水与排水、供热与通风、工程管理等专业的教学用书,也可作为建筑工程测量等相关专业技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/张敬伟主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2013.1

(21世纪全国高职高专土建系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-22002-3

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑测量—高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第016355号

书 名: 建筑工程测量(第2版)

著作责任者:张敬伟 主编

策划编辑:赖青 杨星璐

责任编辑:姜晓楠

标准书号:ISBN 978-7-301-22002-3/TU·0306

出版发行:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路205号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电子信箱:pup_6@163.com

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者:新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 444千字

2009年8月第1版

2013年1月第2版 2013年1月第1次印刷(总第9次印刷)

定 价: 37.00元

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

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

北大版·高职高专土建系列规划教材 专家编审指导委员会

主 任： 于世玮（山西建筑职业技术学院）

副 主 任： 范文昭（山西建筑职业技术学院）

委 员： （按姓名拼音排序）

丁 胜（湖南城建职业技术学院）

郝 俊（内蒙古建筑职业技术学院）

胡六星（湖南城建职业技术学院）

李永光（内蒙古建筑职业技术学院）

马景善（浙江同济科技职业学院）

王秀花（内蒙古建筑职业技术学院）

王云江（浙江建设职业技术学院）

危道军（湖北城建职业技术学院）

吴承霞（河南建筑职业技术学院）

吴明军（四川建筑职业技术学院）

夏万爽（邢台职业技术学院）

徐锡权（日照职业技术学院）

杨甲奇（四川交通职业技术学院）

战启芳（石家庄铁路职业技术学院）

郑 伟（湖南城建职业技术学院）

朱吉顶（河南工业职业技术学院）

特邀顾问： 何 辉（浙江建设职业技术学院）

姚谨英（四川绵阳水电学校）

北大版·高职高专土建系列规划教材 专家编审指导委员会专业分委会

建筑工程技术专业分委会

主任: 吴承霞 吴明军
副主任: 郝俊 徐锡权 马景善 战启芳 郑伟
委员: (按姓名拼音排序)
白丽红 陈东佐 邓庆阳 范优铭 李伟
刘晓平 鲁有柱 孟胜国 石立安 王美芬
王渊辉 肖明和 叶海青 叶腾 叶雯
于全发 曾庆军 张敏 张勇 赵华玮
郑仁贵 钟汉华 朱永祥

工程管理专业分委会

主任: 危道军
副主任: 胡六星 李永光 杨甲奇
委员: (按姓名拼音排序)
冯钢 冯松山 姜新春 赖先志 李柏林
李洪军 刘志麟 林滨滨 时思 斯庆
宋健 孙刚 唐茂华 韦盛泉 吴孟红
辛艳红 鄢维峰 杨庆丰 余景良 赵建军
钟振宇 周业梅

建筑设计专业分委会

主任: 丁胜
副主任: 夏万爽 朱吉顶
委员: (按姓名拼音排序)
戴碧锋 宋劲军 脱忠伟 王蕾
肖伦斌 余辉 张峰 赵志文

市政工程专业分委会

主任: 王秀花
副主任: 王云江
委员: (按姓名拼音排序)
俞金贵 胡红英 来丽芳 刘江 刘水林
刘雨 刘宗波 杨仲元 张晓战

第2版前 言

本书第1版自2009年8月出版以来,得到了广大读者的好评,教师和学生使用后普遍反映内容丰富、实用;并于2011年8月荣获“北京大学出版社2011年度高职高专土建类优秀教材评比”一等奖。

为了精益求精,查缺补漏,针对第1版中的疏漏之处,编者在第1版的基础上进行了修订工作。

本书根据高等职业院校土木工程专业的培养目标与教学大纲,以及最新的国家标准及规范进行编写和修订。编写上,本书充分总结了作者的教学与实践经验,对基本理论的讲授以应用为目的,教学内容以“必需、够用为度”,突出实训、实例教学,紧跟时代和行业发展步伐,力求体现高职高专及应用型教育注重职业能力培养的特点;内容上,本书注重测量基本计算和测绘仪器的基本操作,使学生学完本书后能够理论联系实际,学会分析和解决建筑工程测量中的实际问题。

本书介绍了建筑工程测量中普遍采用的水准仪、经纬仪和钢尺等常规测绘技术,还详细介绍了电子经纬仪、光电测距仪、全站仪和GPS定位等现代测绘技术。同时,在编写过程中收集了大量的优秀教材和测量规范,吸取了它们的精华,在总结近几年高职院校课堂教学和综合实训经验的基础上,结合我国实际情况,按高职高专土木工程专业的特点编写成本书。

本书在第1版基础上增加了部分章节和补充了相关知识点,例如,在项目2中增加了“闭合水准路线计算案例”和“支水准路线计算案例”;在项目6中增加了“坐标转换公式”;在项目7中增加了第2节“测设的基本工作”等。此外,还对一些小问题进行了删减和修正工作。

本书教学时数建议按64学时安排,其中20学时为实训和习题课。各校可根据实际情况及不同专业灵活安排。

本书由河南建筑职业技术学院张敬伟任主编,河南建筑职业技术学院王伟和刘晓宁任副主编,河南建筑职业技术学院魏华洁、马华宇、张文明,河南工业职业技术学院马书英、田九玲,以及河南省地质测绘总院武安状参编。具体编写工作分工如下:项目1、6由张敬伟编写,项目2由魏华洁编写,项目3、9由王伟编写,项目4由武安状编写,项目5、8由刘晓宁编写,项目7由马书英编写,项目10由田九玲编写,项目11由马华宇和张文明编写。全书由张敬伟统稿。

由于时间较紧,加之编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。如有意见或建议请发邮件至13523080572@139.com,QQ:1021126352。

编者

2012年10月

CONTENTS

目 录

项目1 测量基本知识	1	项目4 距离测量与直线定向	78
1.1 建筑工程测量的任务	2	4.1 钢尺量距	79
1.2 地球的表面特征	3	4.2 视距测量	87
1.3 地面点位置的确定	5	4.3 电磁波测距	91
1.4 用水平面代替水准面的限度	11	4.4 直线定向	99
1.5 测量工作概述	13	本项目小结	102
本项目小结	16	习题	102
习题	16	项目5 测量误差基本知识	104
项目2 水准测量	18	5.1 测量误差概述	105
2.1 水准测量原理	19	5.2 衡量精度的标准	108
2.2 DS ₃ 型水准仪及其操作	20	5.3 误差传播定律及其应用	109
2.3 水准测量外业与检核	25	5.4 等精度直接观测平差	111
2.4 水准测量内业计算	29	5.5 非等精度观测值的权及中误差	114
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	33	本项目小结	115
2.6 水准测量误差分析及注意事项	36	习题	115
2.7 精密水准仪简介	39	项目6 小地区控制测量	117
2.8 自动安平水准仪和激光扫平仪	41	6.1 控制测量概述	118
2.9 数字水准仪和条码水准尺	44	6.2 小地区平面控制测量	122
本项目小结	46	6.3 小地区高程控制测量	136
习题	46	6.4 施工场地控制测量	143
项目3 角度测量	49	6.5 全球定位系统简介	147
3.1 角度测量原理	50	本项目小结	147
3.2 DJ ₆ 型光学经纬仪	51	习题	148
3.3 经纬仪的使用	56	项目7 民用建筑施工测量	151
3.4 水平角观测	58	7.1 建筑物放样的准备工作	152
3.5 竖直角观测	62	7.2 测设的基本工作	156
3.6 经纬仪的检验与校正	65	7.3 建筑物定位测量	160
3.7 角度测量误差分析及注意事项	68	7.4 建筑物放线测量	163
3.8 电子经纬仪简介	72	7.5 建筑抄平测量	165
本项目小结	75	7.6 基础施工测量	166
习题	75		

7.7 墙体施工测量	169	习题	207
7.8 高层建筑施工测量	172		
本项目小结	176	项目10 线路工程测量	208
习题	176	10.1 道路施工测量	209
项目8 工业建筑施工测量	178	10.2 管道施工测量	223
8.1 厂房控制网的建立	179	10.3 桥梁工程施工测量	236
8.2 柱列轴线和柱基的测设	181	10.4 隧道工程施工测量	241
8.3 工业厂房构件的安装测量	185	本项目小结	250
8.4 烟囱、水塔施工测量	188	习题	250
本项目小结	190	项目11 地形图的知识与应用	252
习题	190	11.1 地形图的基本知识	253
项目9 变形观测及竣工测量	192	11.2 大比例尺地形图测绘	266
9.1 建筑物变形观测概述	193	11.3 数字化测图方法简介	274
9.2 高程控制与沉降观测	196	11.4 地形图的应用	275
9.3 建筑物的倾斜观测	201	11.5 地籍测量简介	285
9.4 建筑物的裂缝与位移观测	203	本项目小结	293
9.5 竣工总平面图的编绘	204	习题	293
本项目小结	206	参考文献	295

项目 1



测量基本知识

学习目标

本项目主要介绍测量学的基本概念，重点讲述测量学的研究内容和任务，简述地球表面特征及研究方法，介绍测量常用的坐标系统及地球表面点位置的确定方法和测量原理，分析用水平面代替水准面的限度，介绍测量工作的原则和程序。

学习要求

能力目标	知识要点	权重	自测分数
了解测量学的基本概念	测量学的基本内容和任务	20%	
掌握测量学的基准面和基准线	测量学的基准面和基准线	20%	
学会测量常用的坐标系统及地球表面点位置的确定方法和测量原理	测量常用的坐标系统及地球表面点位置的确定方法和测量原理	30%	
分析用水平面代替水准面的限度	用水平面代替水准面的限度	10%	
理解测量工作的原则和程序	测量工作的原则和程序	20%	

学习重点

测量学的基本概念、地面点位的确定方法、测量工作原则

最新标准

《工程测量规范》(GB 50026—2007)；《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2007)

测量工作与人们的日常生活很紧密。人们居住的房子、外出行走的道路，使用的地图等，这些都需要测量人员事先做好。在本项目里，先给大家介绍一些测量工作的基础知识和基本概念。

1.1 建筑工程测量的任务

1.1.1 测量学的定义、研究内容与作用

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点空间位置的科学。它包括测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据，再把地球表面的形状缩绘成地形图，供经济建设、国防建设及科学研究使用。测设(放样)是指用一定的测量方法和精度，把图纸上规划设计好的建(构)筑物的位置标定在实地上，作为施工的依据。

测量学是一门历史悠久的科学。早在几千年前，由于当时社会生产发展的需要，中国、埃及和希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量了。我国在古代就发明了指南针、浑天仪等测量仪器，为天文、航海及测绘地图做出了重要的贡献。随着人类社会的需求和近代科学技术的发展，测量技术已由常规的大地测量发展到空间卫星大地测量，由航空摄影测量发展到应用航天遥感技术测量；测量对象由地球表面扩展到空间星球，由静态发展到动态；测量仪器已广泛趋向于精密化、电子化和自动化。新中国成立 60 多年来，我国测绘事业取得了蓬勃发展，在天文大地测量、人造卫星大地测量、航空摄影与遥感、精密工程测量、近代平差计算、测量仪器研制、地球南北极科学考察以及测绘人才培养等方面，都取得了令人鼓舞的成就。我国的测绘科学技术已跃居世界先进行列。

测量技术是了解自然、改造自然的重要手段，也是国民经济建设中一项基础性、前期和超前期的信息性工作。在当前信息社会中，测绘资料是重要的基础信息之一，测绘成果也是信息产业的重要内容。测量技术及成果的应用面很广，对于国民经济建设、国防建设和科学研究有着十分重要的作用。国民经济建设发展的总体规划，城市建设与改造，工矿企业建设，公路、铁路的修建，各种水利工程和输电线路的兴建，农业规划和管理，森林资源的保护和利用，以及矿产资源的勘探和开采等都需要测量资料。在国防建设中，测量技术对国防工程建设、作战战役部署和现代化诸兵种协同作战都起着重要的作用。测量技术对于空间技术研究、地壳形变、地震预报及地球动力学等科学研究方面都是不可缺少的工具。

1.1.2 测量学的分类

测量学按照研究对象及采用技术的不同，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。

(1) 大地测量学——研究地球的形状和大小，解决大范围的控制测量和地球重力场问题。近年来，随着空间技术的发展，大地测量正在向空间大地测量和卫星大地测量方向发展和普及。

(2) 摄影测量学——研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。由于获得相片的方式不同，摄影测量又分为航空摄影测量、水下摄影测量、地面摄影测量和航空遥感测量等。

(3) 普通测量学——研究小范围地球表面形状的测量问题，是不考虑地球曲率的影响，把地球局部表面当做平面看待来解决测量问题的理论方法。

(4) 海洋测量学——以海洋和陆地水域为研究对象，研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法。

(5) 工程测量学——研究各种工程在规划设计、施工放样、竣工验收和运营中测量的理论和方法。

(6) 地图制图学——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科。研究内容主要包括：地图编制、地图投影学、地图整饰及印刷等。现代地图制图学已发展到了制图自动化、电子地图制作以及地理信息系统 GIS 阶段。

1.1.3 建筑工程测量的任务和作用

建筑工程测量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，属于普通测量学和工程测量学范畴，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。主要讲述位移和变形监测的技术和方法。

测量工作贯穿于工程建设的整个过程中。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；离开了位移和变形观测，就不能有效地研究规划和施工的技术质量，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。

1.2 地球的表面特征

1.2.1 地球的自然形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的，而地球自然表面是极不平坦和不规则的。它上面有高山、平原、江河和湖泊，有位于我国西藏高原上高于海平面 8844.43m 的珠穆朗玛峰(原发布的数字为 8848.13m)，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。但是这样的高低差距与地球平均半径 6371km 相比起来很微小，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，它代表了地球的自然形状和大小。

1.2.2 基准线与基准面

地球是太阳系中的一颗行星，它围绕着太阳公转，又绕着自身的旋转轴自转。地球上的各种物体都受到地心引力、地球自转的离心力及太阳、月亮等星体的引力作用。这里主要考虑地心引力和离心力作用，这两个力的合力称为重力，如图 1.1 所示。一条细绳系一个垂球，细绳在重力作用下形成的下垂线，称为铅垂线。铅垂线方向即重力的方向，铅垂线是测量工作的基准线。

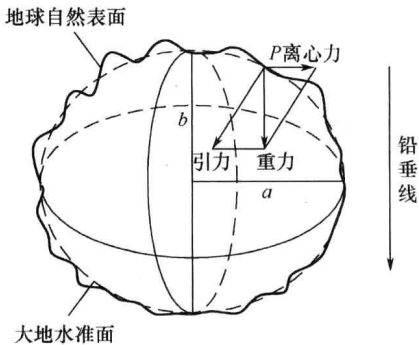


图 1.1 地球重力线

水是均质流体，而地球表面的水受重力的作用，其表面就形成了一个处处与重力方向垂直的连续曲面，称为水准面。水准面是重力等位面，是一个曲面，而与水准面相切的平面称为水平面。自由、静止的海洋和湖泊等的水面都是水准面。水准面因其高度不同而有无穷多个，但水准面之间因高度不同而不会相交。

大地水准面是水准面中的一个特殊水准面，即在海洋中与静止的海水面重合。静止的海水面是难以找到的，所以，测量中便将与平均海水面相吻合，并延伸穿过大陆岛屿而形成封闭曲面，作为大地水准面。它最接近地球的真实形态和大小。通常以大地水准面作为测量工作的基准面。

1.2.3 大地体的形状表达式及其元素值

由于地球内部物质构造分布的不均匀，地球表面起伏不平，所以大地水准面各处重力线方向是不规则的，地球重力场是不均匀的。重力方向会偏离低密度物体，偏向高密度物体，为此大地水准面是一个起伏变化的不规则曲面。这样的曲面很难在其上面进行测量数据的处理，如图 1.2 所示。

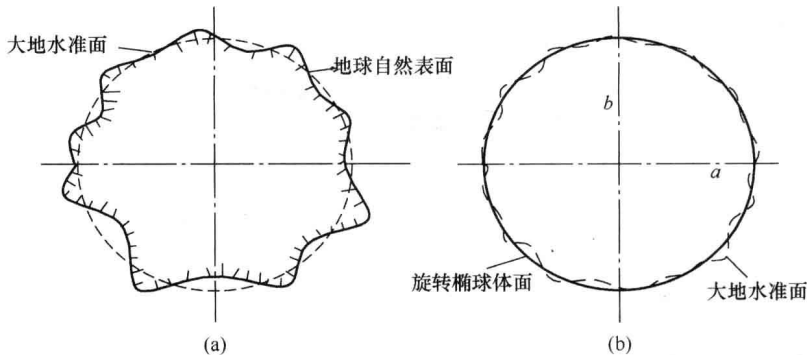


图 1.2 大地水准面与地球旋转椭球体面示意图

为了正确地计算测量成果,准确表示地面点的位置,测量中选用一个大小和形状接近大地体的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小。这个旋转椭球体称为参考椭球体,它是一个规则的曲面体,可以用数学公式来表示,即

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

式中, a 、 b 分别为参考椭球体的几何参数。 a 为长半径, b 为短半径。参考椭球体扁率 α 应满足下式

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-2)$$

我国采用的参考椭球体几何参数为 1980 年国家大地坐标系,采用国际大地测量协会与地球物理联合会在 1975 年推荐的 IUGG—75 地球椭球。其参数为

$$a=6378140\text{m}, \quad b=6356755.3\text{m}, \quad \alpha=1/298.257$$

旋转椭球体参数值见表 1-1。

表 1-1 旋转椭球体参数值

坐标系名称	椭球体名称	长半轴 a/m	参考椭球体扁率 α	推算年代和国家
1954 北京坐标系	克拉索夫斯基	6378245	1 : 298.3	1940 年苏联 (参心)
1980 西安坐标系	IUGG—75	6378140	1 : 298.257	1975 年国际大地测量与地球物理联合会 (参心)
2000 国家大地坐标系(GPS)	CGCS2000	6378137	1 : 298.257223563	2008 年中国 (地心)
WGS—84 坐标系(GPS)	WGS—84	6378137	1 : 298.257223563	1984 年美国 (地心)

由于参考椭球体扁率很小,所以在测量精度要求不高的情况下,可以近似地把地球当作圆球体,其平均半径 $R = \frac{1}{3}(2a+b)$, R 的近似值可取 6371km。



特别提示

2000 国家大地坐标系已于 2008 年 7 月 1 日开始使用。到 2020 年所有 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系,将全部转成 2000 国家大地坐标系。

1.3 地面点位置的确定

1.3.1 测量工作的实质与基本问题

测量中,无论测图还是放样,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,测量的实质就是确定地物地貌特征点的位置。要研究地球表面形状和大小,以及地物地貌的位置问题,就必须从寻找基本规律开始,研究其实质性的东西,抓住其主要矛盾,其他问题便迎刃而解了。如果我们能找到确定地面上任意一点位置的方法,那么就可以确定所有地物地貌特征点的位置。因此,研究任意一点位置的确定问题,是测量学的基本问题。

1.3.2 确定地面点位的基本方法

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平面独立直角坐标系等。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,两个量为平面坐标,它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,因此又称为球面坐标。

1.3.3 地面点位的确定

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水面位置,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”,并于 1954 年在青岛市观象山上建立了国家水准基点,其基点高程 $H=72.289\text{m}$ 。以后,根据 1953—1979 年 26 年验潮站观测资料的计算,更加精确地确定了黄海平均海水面,于是在 1987 年启用“1985 国家高程基准”,此时测定的国家水准基点高程 $H=72.260\text{m}$ 。根据国家测绘总局国测发〔1987〕198 号文件通告,此后全国都应以“1985 国家高程基准”作为统一的国家高程系统。现在仍在使用的“1956 年黄海高程系统”及其他高程系统的,均应统一到“1985 国家高程基准”的高程系统上。在实际测量中,应根据业务性质执行相应的规范标准。

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 1.3 所示。图中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

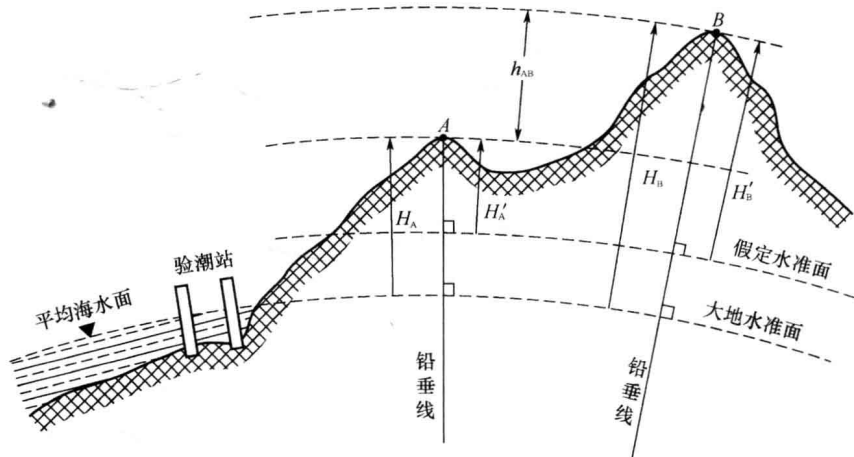


图 1.3 高程和高差

在个别的局部测区,若远离已知国家高程控制点或为便于施工,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 1.3 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 1.3 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)也表明两点之间的高差与高程起算面无关。

2. 坐标系统

1) 地理坐标

地面点在球面上的位置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 1.4(a)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(b)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 并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 。

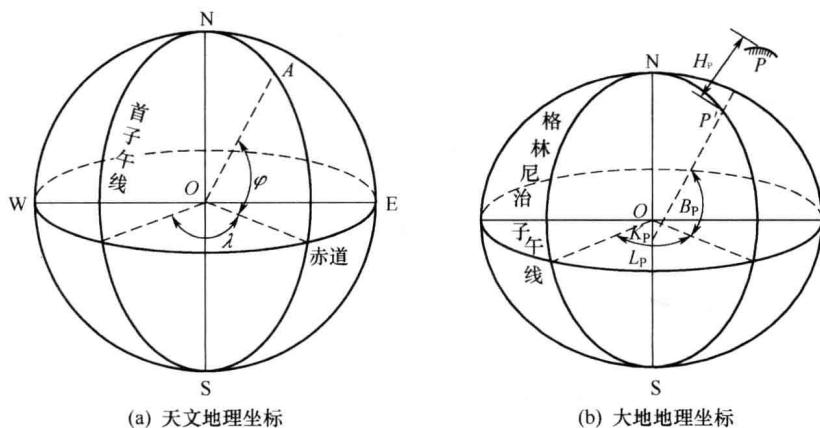


图 1.4 地理坐标示意图

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 1.5 所示。WGS 即 World Geodetic System 的缩写，它是美国国防局为进行 GPS 导航定

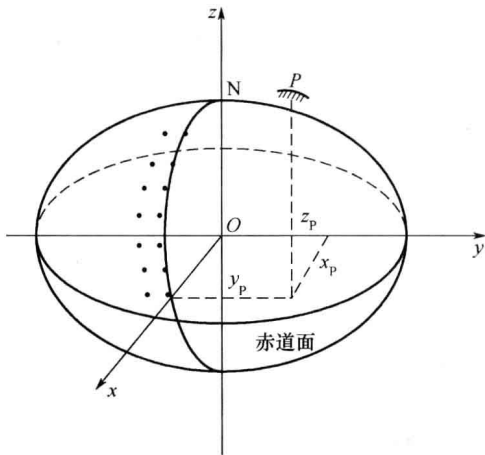


图 1.5 空间直角坐标

位于 1984 年建立的地心坐标系。该坐标系以地心 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。

上述地理坐标只能确定地面点在大地水准面或地球椭球面上的位置，不能直接用来测图。测量上的计算最好在平面上进行。

(2) 解决问题的方案。椭球体面是一个不可直接展开的曲面。故将椭球体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。

等角投影又称正形投影，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。正形投影有以下两个基本条件。

① 保角条件，即投影后角度大小不变。

② 长度变形固定性，即长度投影后会变形，但是在一点上各个方向的微分线段变形比 m 是常数 k

$$m = \frac{ds}{dS} = k \quad (1-4)$$

式中， ds 为投影后的长度； dS 为球面上的长度。

(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。它是将一个横椭圆柱面套在地球椭球体上，如图 1.6 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(假想在地心置一个点光源，向周围放射，则地球表面上与椭圆柱面相关的点，均可投影到椭圆柱面上)，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。

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。

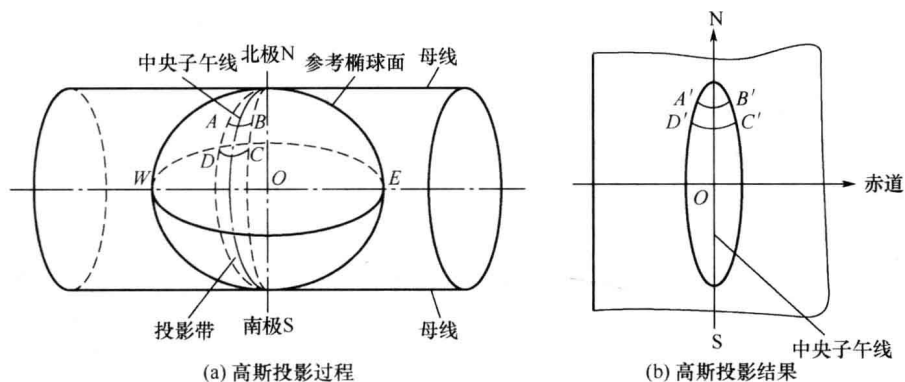


图 1.6 高斯投影

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中央子午线的两侧狭长地带。这种方法称为分带投影。投影带宽度是以相邻两个子午线的径差 δ 来划分，有 6° 带、 3° 带、 1.5° 带等。 6° 带投影是从英国格林尼治子午线开始，自西向东，每隔 6° 投影一次。这样将椭球分成 60 个带，编号为 1~60 带，如图 1.7 所示。各带中央子午线经度(L_0^6)可用式(1-5)计算

$$L_0^6 = 6N - 3 \tag{1-5}$$

式中， N 为 6° 带的带号。已知某点大地经度 L ，可按式(1-6)、(1-7)计算该点所属的带号。

6° 带

$$N = \frac{L}{6} (\text{取整}) + 1 (\text{有余数时}) \tag{1-6}$$

3° 带

$$n = \frac{L}{3} (\text{四舍五入}) \tag{1-7}$$

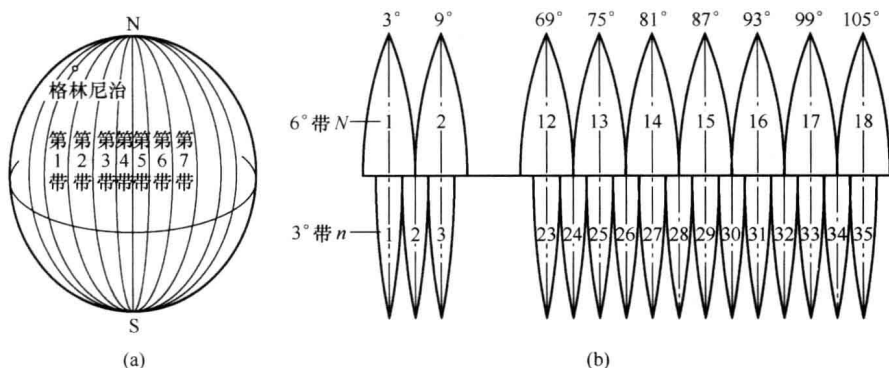


图 1.7 6° 带和 3° 带投影

3° 带是在 6° 带基础上划分的，其中央子午线在奇数带时与 6° 带中央子午线重合，每隔 3° 为一带，共 120 带，各带中央子午线经度为