



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

测量学

第二版

武汉大学 杨正尧 主编



化学工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

测量学

第二版

武汉大学 杨正尧 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书依据高等学校土木工程专业教学指导委员会编制的测量学课程教学大纲的要求编写。全书共分十六章。在阐述测量基础知识、基础理论和基本测量方法的基础上,结合土木工程施工测量的特点,介绍了一般土木工程施工测量的内容和方法。教材中包括了多方面的基础知识以扩展视野、拓宽知识面,力求做到简明扼要,实用性强,有新意。反映现代测绘新技术、新仪器的应用。为满足教学的需要,在每章之后附有思考题与习题。

本书具有较宽的专业适应面,可作为高等院校土木工程专业本科测量学课程通用教材,也可用作其他非测绘工程专业测量学课程的教材,并可供广大工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/杨正尧主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2009.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-05192-9

I. 测… II. 杨… III. 测量学-高等学校-教材
IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 045092 号

责任编辑:王文峡

文字编辑:吴开亮

责任校对:宋 玮

装帧设计:周 遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 437 千字 2009 年 7 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是化学工业出版社 2005 年出版的《测量学》的再版。在第一版的基础上，对教材内容作了较多增删，部分内容进行了重新编写。

本书 2008 年通过评审为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为适应土木工程专业教学改革的需要，在基本保持第一版教材原有体系的基础上，本次修订对第一版中传统测量方法的部分内容作了适当的删减和修改，对存在的疏漏或不妥之处进行了更正，新增和重绘了一些插图。本书较多介绍了当前测绘新技术，并按照国家最新测量规范编写，力求做到概念清晰、简明易懂、适应面广、应用性强。

在第二版教材的修订中，根据测绘科技的发展，重写了以下内容：测绘学的任务和内容；电子水准仪的使用；电子测角原理；测绘新技术在施工测量中的应用；变形观测方法和自动化。简要介绍了以下内容：自动安平水准仪的检验；手持式激光测距仪；全自动陀螺经纬仪；地籍图测绘；盾构法施工测量。当前，全球定位系统 GPS 广泛应用于控制测量、地形测量、地籍测量、工程测量中，特别是利用高精度 GPS 实时动态定位技术 RTK 已很普遍，故本次修订重写了第七章第五节，介绍了 GPS 定位原理、GPS 测量方法、GPS 在控制测量中的应用。在第八章中增加了 GPS RTK 测图，在第十章中增加了 GPS RTK 法坐标放样。根据新的地形图图式，对第八章中相关内容进行了更新。按照新的工程测量规范，改写了第十章～第十五章中的有关内容。

本书由武汉大学杨正尧主编。编写分工如下：杨正尧编写第一章和第六章～第九章，广西大学陈伟清编写第二章～第四章，浙江大学陈丽华编写第十章～第十五章，武汉大学向东编写第五章和第十六章，全书由杨正尧执笔修改定稿。对编写中参考的有关书籍和资料的原作者，在此表示衷心的感谢！感谢化学工业出版社为本书再版所做的辛勤工作！

由于测绘科技和工程技术的迅速发展，尽管我们尽了最大努力完成修订工作，但限于编者水平，书中仍可能存在不足和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者
2009 年 5 月

第一版前言

本书是依据高等学校土木工程专业指导委员会编制的“测量学”课程教学大纲的要求组织编写的。本书为高等院校土木工程专业本科“测量学”课程通用教材，也可作为其它非测绘工程专业本科“测量学”课程的教材，并可供广大工程技术人员阅读参考。

教材建设是教学改革的重要环节之一。全面做好教材建设工作，是提高教学质量的重要保证。本教材结合我国当前高等教育改革和课程设置的实际情况编写，具有以下特点：

1. 当前正处于新老测绘技术的转换时期，在教材内容上正确处理现代测绘技术与传统测绘技术的关系。在介绍测绘新技术的同时，注意精选保留传统测绘技术的基本内容。教材内容精练，专业覆盖面广，能满足培养宽口径、复合型人才的需求。

2. 考虑到我国地区间经济发展的不平衡以及各高校之间的发展不平衡，本教材可满足教学需求多样性的要求。

3. 教材编写着眼于培养学生的学习能力，突出基础理论和基本概念，加强理论联系实际，每章后有思考题与习题。

4. 把握测绘科学技术发展与教学需要的关系，努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求，着力提高学生的创新思维能力，使所编教材具备先进性与实用性。

本书共分十六章，参加本书编写工作的有：武汉大学杨正尧（编写第一、六、七、八、九章），浙江大学陈丽华（编写第十、十一、十二、十三、十四、十五章），广西大学陈伟清（编写第二、三、四章），武汉大学向东（编写第五、十六章）。全书由杨正尧主编并统稿。本书承武汉大学潘正风教授担任主审，在此深表谢意！对于本书中引用的有关文献资料的原作者表示诚挚的谢意！感谢化学工业出版社所做的辛勤工作！

由于编者水平有限，书中疏漏与不妥之处恳请使用本教材的教师和广大读者提出宝贵意见。

编 者

2005年4月

目 录

第一章 测量基础知识	1
第一节 测绘学的任务及作用	1
一、测绘学的内容和任务	1
二、测绘学的发展概况	2
三、测绘科学技术的地位和作用	4
四、学习测量学的目的和要求	4
第二节 地球形状和大小	5
一、大地水准面	5
二、参考椭球体	5
三、参考椭球定位	6
第三节 测量坐标系	7
一、大地坐标系	7
二、空间直角坐标系	8
三、WGS-84 坐标系	8
四、平面直角坐标系	8
五、高程	11
第四节 测量工作概述	12
一、测量的基本工作	12
二、测量工作的主要任务	12
三、测量工作的基本原则	13
第五节 用水准面代替水准面的限度	14
一、水准面曲率对水平距离的影响	14
二、水准面曲率对水平角的影响	15
三、水准面曲率对高程的影响	15
思考题与习题	15
第二章 水准测量	17
第一节 水准测量原理	17
一、水准测量原理	17
二、转点和测站	18
第二节 DS ₃ 微倾式水准仪	19
一、水准仪的分类	19
二、DS ₃ 微倾式水准仪的基本构造	19
三、水准尺和尺垫	22
四、DS ₃ 水准仪的使用	22
第三节 自动安平水准仪和精密水准仪	24
一、自动安平水准仪	24
二、精密水准仪	25
第四节 电子水准仪	27
一、电子水准仪概述	27
二、电子水准仪的基本构造和原理	27
三、条码水准尺	28
四、电子水准仪的使用	28
第五节 水准测量的外业施测	29
一、水准点	29
二、水准路线布设	29
三、普通水准测量	30
第六节 单一水准路线的计算	33
一、附合水准路线的计算	33
二、闭合水准路线的计算	34
三、支水准路线的计算	34
第七节 水准仪的检验与校正	35
一、微倾式水准仪的检验与校正	35
二、自动安平水准仪的检验与校正	38
第八节 水准测量的误差分析	38
一、仪器误差	38
二、观测误差	39
三、外界条件的影响	39
思考题与习题	40
第三章 角度测量	42
第一节 角度测量原理	42
一、水平角测量原理	42
二、竖直角测量原理	42
第二节 光学经纬仪	43
一、经纬仪的分类	43
二、DJ ₆ 光学经纬仪的构造与读数方法	43
三、DJ ₂ 光学经纬仪的构造与读数方法	45
第三节 电子经纬仪	47
一、电子经纬仪概述	47
二、电子测角原理	47
第四节 经纬仪的基本操作	49
一、经纬仪的安置	49
二、照准目标	50
三、配置水平度盘	50
第五节 水平角观测	51
一、测回法	51
二、方向观测法	51
第六节 竖直角观测	53
一、竖盘构造	53

二、竖直角计算公式	53	三、全自动陀螺经纬仪	86
三、竖盘指标差	54	思考题与习题	86
四、竖直角观测	55	第六章 测量误差的基本知识	88
五、竖盘指标自动补偿装置	56	第一节 测量误差	88
第七节 光学经纬仪的检验与校正	57	一、观测条件	88
一、经纬仪的主要轴线及应满足的几何条件	57	二、测量误差的分类	88
二、经纬仪的检验与校正	57	三、多余观测	89
第八节 水平角观测的误差分析	60	第二节 偶然误差的特性	89
一、仪器误差	60	第三节 评定精度的指标	91
二、观测误差	61	一、中误差	92
三、外界条件的影响	62	二、极限误差	92
思考题与习题	62	三、相对误差	93
第四章 距离测量	65	第四节 误差传播定律	93
第一节 钢尺量距	65	一、线性函数	93
一、量距工具	65	二、一般函数	95
二、钢尺量距方法	65	第五节 算术平均值及观测值的中误差	95
三、钢尺量距的误差分析	67	一、算术平均值	95
第二节 视距测量	67	二、算术平均值的中误差	96
一、视距测量的基本原理	67	三、按观测值的改正数计算中误差	96
二、视距测量方法	69	第六节 加权平均值及其精度评定	98
三、视距测量的误差分析	69	一、不等精度观测及观测值的权	98
第三节 光电测距	70	二、加权平均值	99
一、电磁波测距概述	70	三、定权的常用方法	100
二、光电测距的基本原理	70	四、加权平均值的中误差	101
三、光电测距仪及其使用	72	五、单位权中误差的计算	101
四、光电测距的误差分析	73	思考题与习题	102
第四节 全站仪	74	第七章 控制测量	104
一、全站仪概述	74	第一节 概述	104
二、全站仪的基本构造及功能	75	一、平面控制测量	104
三、南方 NTS-660 系列全站仪简介	76	二、高程控制测量	106
思考题与习题	78	第二节 导线测量	108
第五章 直线定向	79	一、导线的布设形式	108
第一节 三北方向	79	二、导线测量的外业工作	108
一、基本方向的种类	79	三、导线测量的内业计算	109
二、子午线收敛角与磁偏角	79	第三节 交会测量	113
第二节 方位角与象限角	80	一、前方交会	113
一、直线定向的表示方法	80	二、后方交会	114
二、坐标方位角的计算	80	三、测边交会	115
第三节 罗盘仪测定磁方位角	82	四、自由设站法	115
一、罗盘仪	82	第四节 高程控制测量	116
二、磁方位角的测定	83	一、三、四等水准测量	116
第四节 陀螺经纬仪测定真方位角	84	二、跨河水准测量	118
一、陀螺经纬仪	84	三、三角高程测量	119
二、陀螺经纬仪测定真方位角的方法	85	四、三角高程测量的应用	121
		第五节 GPS 测量	121

一、GPS 系统的组成	121	第九节 地籍图测绘	159
二、GPS 定位的基本原理	123	一、概述	159
三、绝对定位和相对定位	125	二、地籍图的比例尺、分幅与编号	159
四、GPS 测量的作业方式	126	三、地籍图的基本内容	160
五、GPS 测量误差	127	四、地籍图的测制	160
六、GPS 测量的实施	128	五、宗地图绘制	162
思考题与习题	130	思考题与习题	163
第八章 大比例尺地形图测绘	132	第九章 地形图的应用	164
第一节 地形图的基本知识	132	第一节 概述	164
一、地形图的内容	132	第二节 地形图应用的基本内容	164
二、地形图的比例尺	133	一、量取图上点的坐标值	164
三、地形图符号	134	二、量测两点间的距离	165
四、图廓及图廓外注记	137	三、量测直线的坐标方位角	165
第二节 地形图的分幅与编号	139	四、确定地面点的高程和两点间的 坡度	165
一、梯形分幅与编号	139	五、按指定方向绘制断面图	165
二、20 世纪 70~80 年代我国基本比例尺 地形图的分幅与编号	139	六、确定汇水面积	166
三、新的国家基本比例尺地形图分幅与 编号	142	七、按限制坡度选线	166
四、1:500、1:1000、1:2000 地形图 分幅与编号	144	八、根据等高线整理地面	167
第三节 传统测图方法	145	第三节 面积和体积计算	168
一、图根控制测量	145	一、面积量算	168
二、测图的准备工作	145	二、体积计算	170
三、经纬仪测图	146	第四节 数字高程模型及应用	172
第四节 地物测绘	146	一、概述	172
一、地物测绘的一般原则	146	二、数字高程模型的特点	173
二、地物符号	147	三、DEM 的表示方法	173
第五节 等高线和地貌测绘	148	四、数字高程模型的应用	174
一、等高线及其特性	148	第五节 地图数据库	175
二、等高线表示地貌	150	一、数据库概念	175
三、地貌测绘	151	二、地图数据	175
第六节 地形图的拼接、检查和整饰	151	三、城市地图数据库的数据分层	176
一、地形图的拼接	151	思考题与习题	176
二、地形图的检查	152	第十章 施工测量基本工作	178
三、地形图的整饰	152	第一节 概述	178
第七节 地面数字测图	152	一、施工测量的任务	178
一、概述	152	二、施工测量的特点	178
二、全站仪数据采集的作业模式	153	三、施工测量的精度	178
三、全站仪数字测图作业过程	153	四、测绘新技术在施工测量中的应用	179
四、图形信息编码	154	第二节 施工放样的基本方法	180
五、GPS RTK 测图	155	一、测设已知水平距离	180
第八节 航空摄影测量成图简介	156	二、测设已知水平角	180
一、航摄相片的基本知识	156	三、测设已知高程	181
二、航测成图方法简介	158	第三节 平面点位的测设	181
		一、直角坐标法	182
		二、极坐标法	182

三、角度交会法	182
四、距离交会法	183
五、全站仪测设法	183
六、GPS RTK 法	184
第四节 设计坡度的测设	184
第五节 铅垂线和水平面的测设	185
一、铅垂线的测设	185
二、水平面的测设	186
思考题与习题	186
第十一章 线路测量	188
第一节 概述	188
一、勘测设计阶段	188
二、施工阶段	188
三、运营管理阶段	188
第二节 中线测量	188
一、交点和转点的测设	188
二、线路转向角的测定	190
三、里程桩的设置	191
第三节 圆曲线测设	191
一、圆曲线主点测设	191
二、圆曲线细部点测设	192
第四节 缓和曲线测设	196
一、缓和曲线的概念及公式	196
二、带有缓和曲线的圆曲线测设	197
第五节 复曲线测设	199
一、复曲线的类型	199
二、不设缓和曲线的复曲线测设	199
第六节 纵断面和横断面测量	200
一、纵断面测量	200
二、横断面测量	204
思考题与习题	206
第十二章 建筑施工测量	208
第一节 概述	208
一、施工放样应具备的资料	208
二、建筑物施工放样的主要技术要求	208
第二节 建筑施工控制测量	209
一、施工平面控制	210
二、施工高程控制	212
第三节 民用建筑施工测量	212
一、建筑物的定位	213
二、龙门板和轴线控制桩的设置	214
三、基础施工测量	215
四、主体施工测量	216
第四节 工业厂房施工测量	218
一、厂房柱列轴线测设	218

二、基础施工测量	218
三、厂房构件安装测量	219
第五节 竣工测量与竣工图编绘	221
一、竣工测量	221
二、竣工总平面图的编绘	221
思考题与习题	222
第十三章 道路与地下管道施工测量	224
第一节 概述	224
一、道路施工测量	224
二、管道施工测量	224
第二节 道路施工测量	225
一、中线恢复测量	225
二、施工控制桩的测设	225
三、线路纵坡的测设	225
四、竖曲线测设	226
五、路基边桩的测设	227
六、路基边坡的测设	229
七、路面的测试	230
第三节 地下管道施工测量	230
一、复核中线和测设施工控制桩	230
二、槽口放线	231
三、施工控制标志的测设	231
四、顶管施工测量	232
思考题与习题	233
第十四章 桥梁与隧道施工测量	234
第一节 概述	234
第二节 桥梁施工测量	234
一、桥梁施工控制网的建立	234
二、桥梁墩台中心定位	235
三、桥墩细部放样	236
四、桥梁上部结构的测设	236
第三节 隧道施工测量	236
一、隧道洞外控制测量	236
二、隧洞开挖中的测量工作	239
第四节 竖井联系测量	241
一、竖井定向测量	242
二、竖井高程传递	243
思考题与习题	244
第十五章 建筑物的变形观测	245
第一节 概述	245
一、变形观测的特点	245
二、变形测量点的分类	245
三、变形观测的基本要求	245
四、变形监测的等级划分及精度要求	246
第二节 建筑物的沉降观测	246

一、沉降观测点的布设	247
二、观测方法	247
三、观测成果整理	247
第三节 建筑物的倾斜观测	248
一、倾斜观测点的布设	248
二、观测方法	248
第四节 建筑物的水平位移观测	249
一、水平位移观测点的布设	250
二、观测方法	250
第五节 建筑物的裂缝观测与挠度观测	250
一、裂缝观测	250
二、挠度观测	251
第六节 变形观测方法和自动化	251
一、地面摄影测量在变形观测中的 应用	252
二、GPS 在变形观测中的应用	252
三、三维激光扫描仪在变形观测中的 应用	254
四、变形监测的自动化	254

思考题与习题	254
第十六章 测量实验	256
实验一 DS ₃ 水准仪的使用	256
实验二 普通水准测量	256
实验三 DS ₃ 水准仪的检验	257
实验四 电子水准仪的使用	258
实验五 DJ ₆ 光学经纬仪的使用	258
实验六 测回法观测水平角	259
实验七 方向观测法测水平角	260
实验八 竖直角观测	260
实验九 DJ ₆ 光学经纬仪的检验	261
实验十 全站仪的使用	262
实验十一 四等水准测量	263
实验十二 经纬仪测绘法测绘地形图	263
实验十三 测设圆曲线	264
实验十四 纵断面图测绘	265
实验十五 建筑物轴线放样	266
参考文献	267

第一章 测量基础知识

第一节 测绘学的任务及作用

一、测绘学的内容和任务

测绘学是研究与地球有关的基础空间信息的采集、处理、显示、管理、利用的科学与技术，是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同，分为大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学和海洋测绘学等分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。

大地测量学是测绘学各分支学科的重要理论基础，基本任务是建立国家平面控制网、高程控制网和重力控制网，精确测定控制点的空间三维位置和相互位置关系，研究和确定地球形状大小、地球外部重力场及其变化、地球潮汐、板块运动与地壳形变及地震预报等问题，为国民经济建设和社会发展、国家安全以及地球科学和空间科学研究等提供大地测量基础设施、信息和技术支持。现代大地测量学包含三个基本分支：几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据，从中提取几何的或物理的信息，并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。

摄影测量最主要的摄影对象是地球表面，用来测绘国家各种基本比例尺的地形图，为各种地理信息系统与土地信息系统提供基础数据。摄影测量发展经历了模拟、解析和数字摄影测量三个阶段。根据对地面获取影像位置的不同，摄影测量可分为航空摄影测量、航天摄影测量、地面（近景）摄影测量。航空摄影测量是根据在航空飞行器上利用航空摄影机对地摄取的影像获取地面信息，测绘地形图。航天摄影测量是根据在航天飞行器（卫星、航天飞机、宇宙飞船）中利用摄影机或其他遥感探测器（传感器）摄取的地球图像资料及有关数据获取地面信息，测绘地形图。当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得的相片更为丰富的影像信息，它促进了航天测绘的发展。地面摄影测量是利用安置在地面上基线两端点处的专用摄影机拍摄的立体像对，对所摄目标物进行测绘的技术。地面摄影测量可用来测绘地形图，也可用于工程测量。一切用于非地形测量的摄影测量均称为近景摄影测量，可应用于工业、建筑、考古、医学测量等。

3. 地图制图学（地图学）

地图制图学是研究模拟地图和数字地图的基础理论、地图设计、地图编制和复制的技术方法以及应用的学科。地图制图学的内容一般包括：地图投影、地图编制、地图设计、地图制印和地图应用。

地图的基本任务是以缩小的图形来表示客观世界。地图是测绘工作的重要产品。计算机地图制图技术的发展实现了地图产品从模拟地图转向数字地图,使得地图手工生产为数字化地图生产所取代,提高了生产效率和地图制作质量。地图有纸质地图和电子地图等形式。纸质地图是由空间数据库中提取数据制作的国家基本比例尺地形图和各种专题地图、地图集;电子地图是空间数据最主要的一种可视化形式,它是以数字地图为基础,利用数字地图制图技术而形成的地图新品种,通常显示在屏幕上。此外,利用空间信息可视化技术,可实现三维仿真地图和虚拟环境。利用遥感技术获得的影像数据可编制卫星影像地图。

4. 工程测量学

工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析与预报等的理论和技术的学科。它是测绘学在国民经济建设和国防建设中的直接应用。

一般来说,工程建设分为规划设计、施工建设和运营管理三个阶段。工程测量学的主要任务是为各种工程建设提供测绘保障,满足工程所提出的各种要求。工程测量学的研究应用领域主要包括以工程建筑为对象的工程测量和以机器、设备为对象的工业测量两大部分。在技术方法上可划分为普通工程测量和精密工程测量。

工程测量学按其研究对象可分为:土木工程测量、水利工程测量、矿山测量、军事工程测量以及精密工程测量、三维工业测量等。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制的理论和方法的学科。

海洋测绘的任务是对海洋及其邻近陆地和江河湖泊进行测量和调查,获取海洋基础地理信息,编制各种海图和航海资料,为航海、国防建设、海洋开发和海洋研究服务。海洋测绘的主要内容有:海洋大地测量、水深测量、海洋工程测量、海底地形测量、障碍物探测、水文要素调查、海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋专题测量和海区资料调查,以及各种海图、海图集、海洋资料的编制,海洋地理信息的分析、处理和应用。

测量学是我国测绘工程专业及其他相关专业开设的一门专业技术基础课。在地球表面一个小区域内进行测绘工作时,可以把这块球面看作平面而不顾及地球曲率的影响。测量学研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用。测量学课程的主要内容包括测量基本工作、地形图测绘和地形图的应用,属于普通测量学(亦称地形测量学)的范畴。

二、测绘学的发展概况

测绘学是一门历史悠久的学科,远溯到世界上古时代,我国古代夏禹治水,以及古埃及尼罗河泛滥后农田边界再划分中,就已使用简单的测量工具和方法。

我国历史悠久,测量在我国很早已得到发展。公元前7世纪前后,春秋时期,管仲在所著《管子》一书中已收集了早期的地图27幅。公元前5世纪~公元前3世纪,战国时期,我国就有用磁石制成的世界上最早的定向工具“司南”。公元前130年,西汉初期的《地形图》及《驻军图》于1973年从长沙马王堆三号汉墓中出土,为目前所发现我国最早的地图。公元前350年左右甘德和石申合编了世界第一个星表,即《甘石星表》。东汉张衡(78—139年)发明了“浑天仪”和“地动仪”,这是世界上最早的天球仪和地震仪。公元3~4世纪魏晋时期的刘徽所著《海岛算经》,论述了有关测量和计算海岛距离和高度的方法。西晋裴秀(224—271年)提出了绘制地图的六条原则,即《制图六体》,这是世界上最早的制图规范,

他绘制了《禹贡地域图》18幅,缩编《天下大图》为《地形方丈图》。唐代贾耽(730—805年)根据《制图六体》理论编绘《海内华夷图》。公元9世纪李吉甫的《元和郡县图志》为我国古代最完善的全国地图。世界上最早的实地子午圈弧度测量是在公元724年,在唐代高僧一行(673—727年,俗名张遂)主持下,丈量了自河南滑县到上蔡间的子午线弧长(约300km),用圭表测定日影长度,并用“复矩”测量北极高度,从而推算出纬度为 1° 的子午圈弧长。北宋沈括(1031—1095年)在他的《梦溪笔谈》中记载了磁偏角现象,他曾在1076~1087年间绘制《天下州县图》。1072~1074年间沈括创造使用分层筑堰法,用水平尺和罗盘进行地形测量,并制作了立体地形模型,称为“木图”,比欧洲最早的地形模型早700多年。元代郭守敬(1231—1316年)在全国进行了大规模的纬度测量,共实测了27个点。18世纪初(清康熙二十三年),开始了全国测图工作,1708~1718年间完成了《皇舆全览图》,在此基础上于1761年(清乾隆二十六年)又编成《大清一统舆图》。

17世纪初,测绘科学在欧洲得到较大发展。1608年荷兰人汉斯发明了望远镜,随后被应用到测量仪器上,这是测绘科学发展史上一次较大的变革。1617年荷兰人斯涅耳(W·Snell)首创三角测量法。1735~1744年间,法国科学院在南美洲的秘鲁和北欧的拉普兰进行了弧度测量,证实了地球是两极略扁的椭球体。1806年和1809年,法国的勒让德(A·M·Legendre)和德国的高斯(C·F·Gauss)分别提出了最小二乘法理论,为测量平差奠定了基础。1903年飞机的出现和摄影测量理论的发展,促进了航空摄影测量学的发展,使测绘地形图由野外向室内转移、由手工作业方式向自动化方式转移,又一次给测绘科学带来了巨大的变革。

20世纪50年代起,新的科学技术如电子学、信息论、激光技术、电子计算机和空间科学技术等迅速发展,它们又推动了测绘科学技术的飞跃发展。1947年研究利用光波进行测距到20世纪60年代中期激光测距仪的问世,测距工作发生了根本性的变革。20世纪40年代自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开端。1990年电子水准仪的诞生,实现了水准测量的自动记录、自动传输、存储和数据处理。1968年生产出电子经纬仪,此后电子速测仪(全站仪)、自动全站仪(测量机器人)的问世,实现了观测、记录自动化,测量内外业的一体化。

1957年前苏联第一颗人造地球卫星上天,测绘学科有了新的发展,出现了新的学科分支——卫星大地测量。20世纪80年代,全球定位系统(GPS)问世,由于GPS以全天候、高精度、自动化、高效益等显著优点,并具有定位、导航、测速和定时等功能而被广泛应用于大地测量、工程测量、摄影测量、海洋测绘、运载工具导航和管制、地壳运动监测、工程变形监测、地球动力学、资源勘察等多学科领域,从而使整个测绘科学技术的发展产生了深刻的变革。

20世纪50年代末,摄影测量由模拟法向解析法过渡;20世纪80年代末进入到信息时代,解析法摄影测量发展为数字摄影测量。数字摄影测量的发展还导致实时摄影测量的问世,在车载、机载或星载系统中,利用GPS定位技术和CCD摄像技术可以实时地直接为GIS采集所需的数据和信息。20世纪70年代,遥感技术在国民经济建设中获得了极为广泛的应用,可为国家基础测绘、资源勘察、环境监测和灾害监测及预报提供丰富的影像信息。摄影测量发展成为摄影测量与遥感。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业进入了一个崭新的发展阶段。1956年成立了国家测绘总局(1982年改称国家测绘局),建立了测绘研究机构,组建了专门培养测绘人才的院校,并培养了大批测绘科技人才,配合国民经济建设进行了大量的测绘工作,建立了遍及

全国的天文大地网、国家水准网和国家重力基本网，完成了国家大地网和水准网的整体平差、国家基本图的测绘工作，建立了我国“1980 西安坐标系统”和“1985 国家高程基准”。中国国家 A 级和 B 级 GPS 大地控制网分别于 1996 年和 1997 年建成并先后交付使用，2003 年又完成了 2000 国家 GPS 网的计算。在测绘仪器制造方面，从无到有，不仅能生产常规光学测量仪器，还能生产电磁波测距仪、卫星激光测距仪、电子经纬仪、全站仪、GPS 接收机和数字摄影测量系统等先进仪器设备。

近十几年来，随着空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展，使测绘学的理论基础、工程技术体系和研究领域发生了深刻的变化。全球定位系统（GPS）、遥感系统（RS）、地理信息系统（GIS）技术已成为当前测绘工作的核心技术。由“3S”技术（GPS、RS、GIS）支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面正步入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘领域早已从陆地扩展到海洋、空间，由地球表面延伸到地球内部；测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间、从静态转向动态，并进一步向网络化和智能化方向发展；测绘成果已从三维发展到四维、从静态到动态。测绘学已经成为研究对地球和其他实体的与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。它的服务对象和范围已扩大到国民经济和国防建设中与地理空间信息有关的各个领域。现代测绘学正向着近年来新兴的一门学科——地球空间信息学（Geo-Spatial Information Science，简称 Geomatics）跨越和融合。

三、测绘科学技术的地位和作用

测绘科学技术的应用范围非常广阔，测绘科学技术在国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域，都占有重要的地位，对国家的可持续发展发挥着越来越重要的作用。

在国民经济建设方面，测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要基础信息之一。测绘工作为国土资源开发利用，工程设计和施工，城市建设、工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿等部门的规划和管理提供地形图和测绘资料。土地利用和土壤改良、地籍管理、环境保护、旅游开发等都需要测绘工作，应用测绘工作成果。

在国防建设方面，测绘工作为打赢现代化战争提供测绘保障。各种国防工程的规划、设计和施工需要测绘工作。战略部署、战役指挥离不开地形图。现代测绘科学技术对保障远程导弹、人造卫星或航天器的发射及精确入轨起着非常重要的作用。现代军事科学技术与现代测绘科学技术已经紧密结合在一起。

在科学研究方面，诸如航天技术、地壳形变、地震预报、气象预报、滑坡监测、灾害预测和防治、环境保护、资源调查以及其他科学研究中，都要应用测绘科学技术，需要测绘工作的配合。地理信息系统（GIS）、数字城市、数字中国、数字地球的建设，都需要现代测绘科学技术提供基础数据信息。

四、学习测量学的目的和要求

本书主要介绍普通测量学中的测量基本工作、地形图测绘及地形图应用和工程测量学中有关施工测量的基本内容。对于土木工程专业的学生，学习本书时应掌握下列基本内容。

① 测量的基本知识、基本理论和处理测量数据的基本理论和方法，具有使用常规测量仪器的操作技能。

② 地形图测绘——基本掌握测绘大比例尺地形图的原理和方法。

③ 地形图应用——在工程规划、设计和施工中，能正确使用地形图和从地形图上获取所需的信息并进行地形分析等。

④ 施工放样——掌握施工测设最基本的测量方法，能正确使用测量仪器进行一般工程的施工放样工作。

⑤ 变形观测——监测建筑物或构筑物的倾斜、水平位移和垂直沉降等，以便采取措施，保证建筑物的安全。

⑥ 竣工测量——为了工程验收和今后的运营管理，测绘竣工图。

第二节 地球形状和大小

一、大地水准面

测量学的主要研究对象是地球的自然表面，但地球表面极不规则，有高山、丘陵、平原、河流、湖泊和海洋。世界第一高峰珠穆朗玛峰海拔 8844.43m，而世界海洋最深处位于太平洋西部的马里亚纳海沟裴查兹（Vitiaz）海渊，深达 11034m。两者高差近 20000m，约为地球半径的 $3/1000$ ，只能算是极其微小的高低起伏。地球形状是极其复杂的，地球表面海陆分布极不平衡，海洋面积约占地球总面积的 71%，陆地面积约占 29%。因此，可以把由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的一个连续封闭曲面所包围的形体近似地看作是地球的形状。

地球表面任一质点都同时受到两个作用力：其一是地球自转产生的惯性离心力（简称离心力）；其二是整个地球质量产生的引力。这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心；从物理学可知，离心力的方向垂直于地球自转轴向外；重力方向则是两者合力的方向，即铅垂线方向（亦称垂线方向），如图 1-1 所示。在地面上任一点，用细绳悬挂一个垂球，其静止时细线所指示的方向即为该点的铅垂线方向。

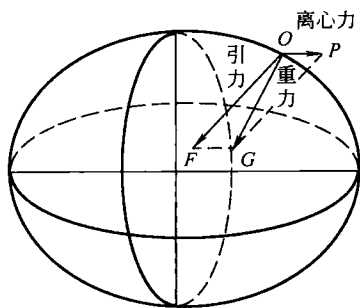


图 1-1 引力、惯性离心力和重力

处于静止状态的水面称为水准面。由物理学知道，这个面是一个重力等位面，水准面是一个处处与铅垂线正交的面。在地球表面重力的作用空间，通过任何高度的点都有一个水准面，因而水准面有无数个。其中，把一个假想的、与静止的平均海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的特定重力等位面称为大地水准面。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。

二、参考椭球体

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面，不能用简单的数学公式来表示，如图 1-2 所示。

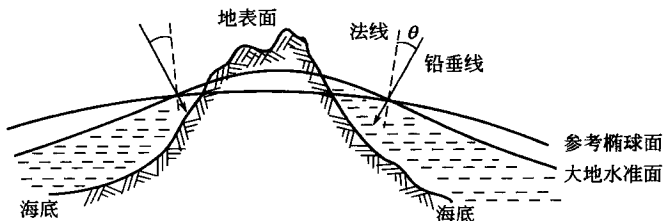


图 1-2 大地水准面

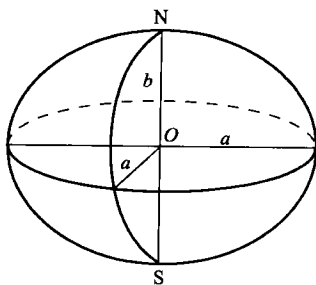


图 1-3 旋转椭球体

经过长期测量实践研究表明，地球形状近似于一个两极稍扁的旋转椭球，即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。旋转椭球面可以用数学公式准确地表达，因此在测量工作中用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面，如图 1-3 所示。

代表地球形状和大小的旋转椭球，称为“地球椭球”。与全球大地水准面最密合的地球椭球称为总地球椭球；与某个区域大地水准面（如国家大地水准面）最为接近的椭球称为参考椭球，其椭球面称为参考椭球面。由此可见，参考椭球有许多个，而总地球椭球只有一个。

在几何大地测量中，椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 f （或短半轴 b ）来表示。

$$f = \frac{a - b}{a}$$

几个世纪以来，许多学者曾分别测算出参考椭球体的参数值，表 1-1 为几次有代表性的测算成果。

表 1-1 地球椭球几何参数

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	备注
德兰布尔	1800	6375653	1 : 334.0	法国
白塞尔	1841	6377397.155	1 : 299.1528128	德国
克拉克	1880	6378249	1 : 293.459	英国
海福特	1909	6378388	1 : 297.0	美国
克拉索夫斯基	1940	6378245	1 : 298.3	前苏联
1975 大地测量参考系统	1975	6378140	1 : 298.257	IUGG 第 16 届大会推荐值
1980 大地测量参考系统	1979	6378137	1 : 298.257222101	IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS-84	1984	6378137	1 : 298.257223563	美国国防部制图局(DMA)

注：IUGG——国际大地测量与地球物理联合会（International Union of Geodesy and Geophysics）。

由于参考椭球体的扁率很小，当测区面积不大时，在普通测量中可把地球近似地看作圆球体，其半径为

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

三、参考椭球定位

确定参考椭球面与大地水准面的相关位置，使参考椭球面与一个国家或地区范围内的区域大地水准面最佳拟合，称为参考椭球定位。如图 1-4 所示，在一个国家领域内选定一适宜的地面点 P 作为大地原点，并在该点进行精密天文测量和高程测量。将 P 点沿铅垂线方向投影到大地水准面上得到 P' 点，设想大地水准面与参考椭球面在 P' 点相切，椭球面上 P' 点的法线与该点对大地水准面的铅垂线重合，令椭球短轴与地球自转轴平行，其赤道面与地球赤

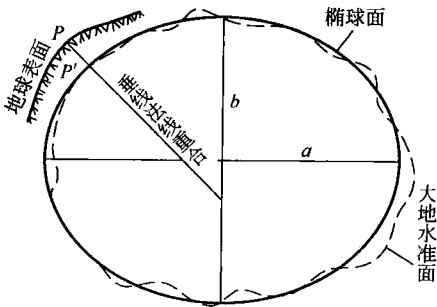


图 1-4 参考椭球体的定位

道面平行。这种定位方法称为单点定位法。

在领土辽阔的国家,在国家大地控制网布设到了一定阶段,掌握了一定数量的天文大地测量和重力测量数据后,就可利用天文大地网中许多点的观测成果和已有的椭球参数进行椭球定位,这种方法称为多点定位法。多点定位的结果使在大地原点处椭球的法线方向不再与铅垂线方向重合,椭球面与大地水准面不再相切。但在定位中所利用的天文大地网的范围内,椭球面与大地水准面有最佳的密合。

1949年以后,我国采用了两种不同的大地坐标系,即1954北京坐标系和1980西安坐标系。

1954年,由于缺乏天文大地网观测资料,我国暂时采用了克拉索夫斯基椭球参数(见表1-1),并与前苏联1942年普尔科沃坐标系进行联测,通过计算建立了我国大地坐标系,定名为1954北京坐标系。1954北京坐标系可以认为是前苏联1942年普尔科沃坐标系在我国的延伸。它的大地原点位于前苏联的普尔科沃天文台。

为了适应我国大地测量发展的需要,我国在1972~1982年期间进行天文大地网平差时,针对1954北京坐标系采用的椭球参数不够精确、椭球面普遍低于我国大地水准面等缺点,建立了新的大地坐标系,定名为1980西安坐标系。在新的大地基准中,椭球参数采用1975年国际大地测量与地球物理联合会第16届大会的推荐值(见表1-1),应用多点定位法定位;大地原点地处我国中部,位于陕西省西安市以北60km处的泾阳县永乐镇北洪流村,称为西安大地原点。该坐标系建立后,实施了全国天文大地网平差,平差后提供的大地点成果属于1980西安坐标系,它与原1954北京坐标系的成果是不同的,使用时必须注意所用成果相应的坐标系。

第三节 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置,需要建立坐标系。大地测量坐标系是一种固定在地球上,随地球一起转动的非惯性坐标系。根据其原点位置不同,分为地心坐标系和参心坐标系。前者的原点与地球质心重合,后者的原点与参考椭球中心重合。

一个点在空间的位置需要三个坐标量来表示。在一般测量工作中,常将地面点的空间位置用大地经度、大地纬度(或高斯平面直角坐标)和高程表示,它们分别从属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和指定的高程系统,即是用一个二维坐标系(椭球面或平面)和一个一维坐标系(高程)的组合来表示。在卫星大地测量中,采用三维的空间直角坐标系。

在各种坐标系之间,地面上同一点的坐标均可进行坐标换算。

一、大地坐标系

地面上一点的空间位置可用大地坐标(B, L, H)表示。大地坐标系是以地球椭球面作为基准面,以起始子午面和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

图1-5中所示,过地面点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角,称为该点的大地经度,用 L 表示。规定从起始子午面起算,向东为正,由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东

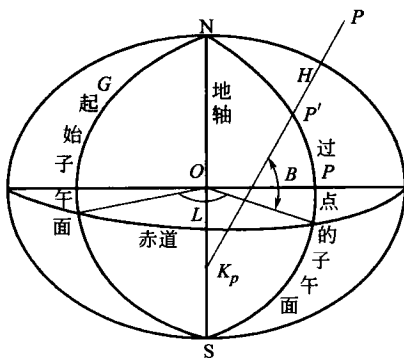


图 1-5 大地坐标系