

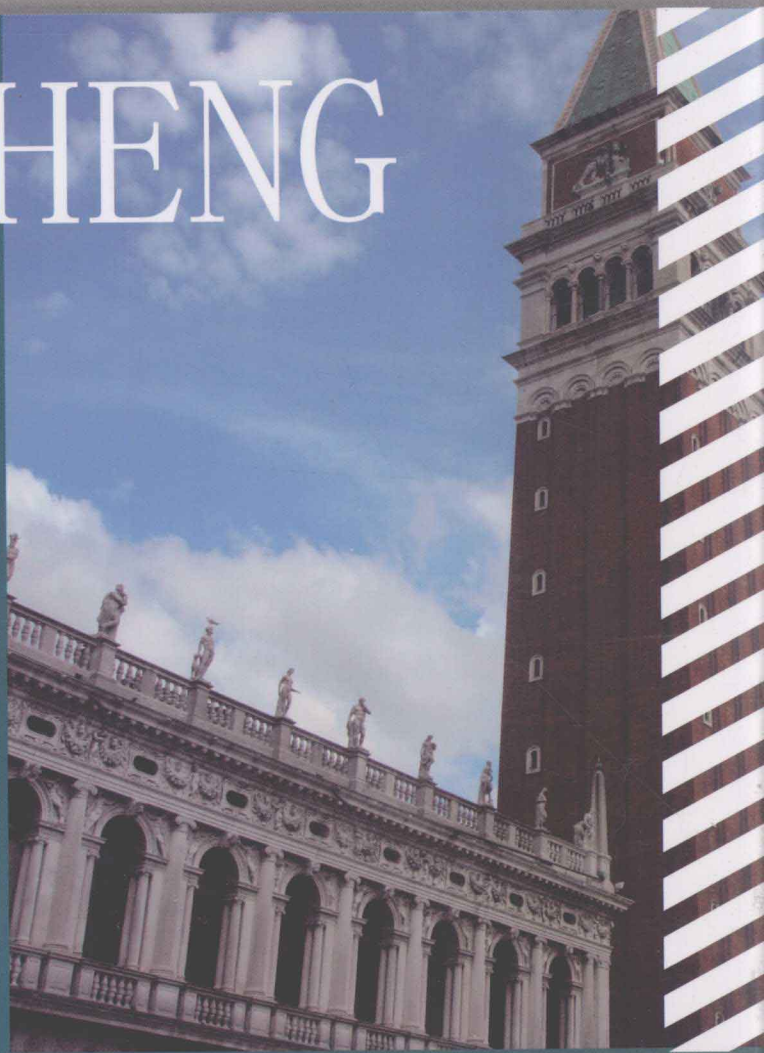


高等学校土建类专业“十二五”规划教材

工程测量

杨鹏源 叶凤芬 主 编 李章树 盖玉杰 副主编

GONGCHENG
CELIANG



化学工业出版社

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

工 程 测 量

杨鹏源 叶凤芬 主 编
李章树 盖玉杰 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高等学校土建类专业“十二五”规划教材。全书共分 16 章，内容包括：绪论、水准测量、角度测量、距离测量及直线定向、全站仪测量原理及使用、测量误差的基本知识、小区域控制测量、全球定位系统（GPS）测量原理与方法、大比例尺数字化地形图测绘、地形图的应用、施工测量基本方法、工业与民用建筑施工测量、线路工程测量、桥梁与隧道施工测量、水利工程测量、建（构）筑物变形监测。

本书内容力求理论联系实际，将传统测量技术与现代测绘科技相结合，增加了现代测绘技术如 GPS 技术和数字化测绘技术以及全站仪测量技术在工程建设中的应用。

本书可作为普通高等学校土木工程类、水利工程类、交通工程类、农林类、建筑学、城市规划、环境工程等专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

工程测量/杨鹏源 叶凤芬主编. —北京：化学工业出版社，2012.7

高等学校土建类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-14254-2

I. 工… II. 杨… III. 工程测量-高等学校-教材
IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 093969 号

责任编辑：陶艳玲
责任校对：陈 静

装帧设计：杨 北

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：三河市延凤印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 487 千字 2012 年 8 月北京第 1 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：36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本教材按照高等学校土木工程类“工程测量”课程教学大纲的要求编写而成，编者在总结多年实践教学经验的基礎上，根据当今测绘技术的进展，增加了全站仪、电子水准仪、GPS技术和数字化测绘技术等工程建设中的应用内容；对部分过时的内容进行了删减。本教材适用于土木工程类、水利工程类、环境工程类、交通工程类、建筑学、城市规划、农林类等专业的教学，也可作为其它相关专业的教学用书，以及工程技术人员的参考书。

本教材以基础理论和基本概念为重点，力求理论与实际相结合，将传统经典测量技术与现代测绘科技相结合，对重点和难点内容深入阐述分析，各部分内容由浅入深，循序渐进。

参加本教材编写的作者及分工如下：

杨鹏源（兰州理工大学），第1章、第2章。

盖玉杰（东北林业大学），第4章、第5章。

叶凤芬（云南农业大学），第11章、第16章。

李章树（西华大学），第7章、第9章。

魏玉明（兰州理工大学），第14章、第15章。

杨育丽（兰州理工大学），第6章。

孔令杰（兰州理工大学），第8章。

张秀霞（兰州理工大学），第3章。

赵健赞（青海大学），第12章。

赵声玉（云南农业大学），第10章。

于 坤（东北林业大学），第13章。

本书由杨鹏源、叶凤芬担任主编，李章树、盖玉杰担任副主编，全书由杨鹏源组织、统稿和校对；党星海教授主审，在此致以诚挚的谢意。

本书参考了大量文献，谨向有关作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在谬误之处，敬请读者批评指正，并将意见和建议发至 yangpy@lut.cn，以便编者修订完善。

编 者
2012年3月

目 录

第1章 绪论	1	2.7 自动安平水准仪与精密水准仪	40
1.1 测绘学简介	1	2.7.1 自动安平水准仪	40
1.1.1 概述	1	2.7.2 精密水准仪和精密水准尺	42
1.1.2 测绘学的学科分类	1	2.8 数字水准仪及使用	44
1.1.3 测绘学发展简史与我国测绘事业的发展	3	2.8.1 数字水准仪的特点及工作原理	44
1.1.4 测绘学在国民经济建设中的作用	6	2.8.2 数字水准仪的使用方法	46
1.1.5 工程测量学的任务	6	习题与思考题	46
1.2 地面点位的确定	7	第3章 角度测量	47
1.2.1 地球的形状和大小	7	3.1 角度测量原理	47
1.2.2 测量坐标系与地面点位的确定	8	3.1.1 水平角测量原理	47
1.3 用水平面代替水准面的限度	12	3.1.2 竖直角测量原理	47
1.3.1 对水平距离的影响	13	3.2 光学经纬仪的结构及使用	48
1.3.2 对高程的影响	13	3.2.1 光学经纬仪构造	48
1.3.3 对水平角测量的影响	13	3.2.2 读数装置及读数方法	50
1.4 测绘工作概述	14	3.2.3 光学经纬仪的使用	53
1.4.1 测绘的基本工作	14	3.3 水平角测量	54
1.4.2 测绘的基本原则	15	3.3.1 测回法	54
1.5 学习工程测量的目的和要求	16	3.3.2 方向观测法	56
1.6 测量常用计量单位与换算	16	3.4 竖直角测量	57
习题与思考题	17	3.4.1 竖盘构造	57
第2章 水准测量	18	3.4.2 竖直角观测	57
2.1 水准测量原理	18	3.4.3 竖直角计算	58
2.2 水准测量仪器工具及使用	19	3.4.4 竖盘指标差的计算	59
2.2.1 微倾式水准仪的构造	20	3.4.5 竖盘指标自动归零补偿器	60
2.2.2 水准仪的使用	24	3.5 经纬仪的检验与校正	60
2.3 水准测量的施测方法及计算	25	3.5.1 经纬仪各轴线间应满足的几何关系	60
2.3.1 水准测量的外业实施	25	3.5.2 经纬仪的检验和校正	61
2.3.2 水准测量方法	27	3.6 角度测量误差分析及注意事项	64
2.3.3 水准测量的内业成果计算	32	3.6.1 仪器误差	64
2.4 水准测量的误差来源及注意事项	34	3.6.2 观测误差	64
2.4.1 水准测量的误差来源	34	3.6.3 外界条件的影响	65
2.4.2 水准测量注意事项	36	3.6.4 角度测量的注意事项	65
2.5 三、四等水准测量	36	3.7 电子经纬仪及使用	65
2.5.1 观测程序	36	3.7.1 仪器各主要部件名称	66
2.5.2 测站的计算与校核	37	3.7.2 苏一光 DJD 型电子经纬仪的使用	66
2.6 微倾式水准仪的检验与校正	38	习题与参考题	67
2.6.1 圆水准器轴平行仪器竖轴	38	第4章 距离测量及直线定向	69
2.6.2 十字丝横丝垂直与竖轴	38	4.1 距离丈量	69
2.6.3 水准管轴平行于视准轴	39		

4.1.1 丈量的工具	69	6.5.2 和差函数	109
4.1.2 钢尺一般量距	70	6.5.3 线性函数	110
4.1.3 精密丈量	71	6.5.4 一般函数	110
4.1.4 量距误差与注意事项	73	6.6 等精度独立观测值的最可靠值及精度 评定	111
4.2 视距测量	73	6.6.1 算术平均值及其中误差	111
4.3 电磁波测距仪及使用	76	6.6.2 等精度独立观测值中误差的 计算	111
4.3.1 概述	76	6.7 不等精度独立观测值的最可靠值与精 度评定	112
4.3.2 电磁波测距	77	6.7.1 观测值的权的概念	112
4.4 直线定向	82	6.7.2 加权平均值及其中误差	113
4.4.1 基本方向线	82	习题与思考题	114
4.4.2 子午线收敛角	83	第7章 小区域控制测量	115
4.4.3 方位角	83	7.1 控制测量概述	115
习题与思考题	84	7.1.1 平面控制测量	115
第5章 全站仪测量原理及使用	85	7.1.2 高程控制测量	118
5.1 全站仪的概述	85	7.1.3 控制测量的一般作业步骤	119
5.1.1 全站仪的结构原理	86	7.1.4 平面控制点坐标计算基础	120
5.1.2 全站仪的构造特点及测量 功能	86	7.2 导线测量	122
5.2 南方测绘 NTS-660 系列全站仪 介绍	86	7.2.1 导线的布设形式	122
5.2.1 南方测绘 NTS-660 系列全站仪 主要特点	86	7.2.2 导线外业测量工作	122
5.3 NTS-660 全站仪的基本操作与设置	87	7.2.3 导线测量的内业计算	123
5.4 NTS-660 全站仪的菜单操作	89	7.3 控制点加密	125
5.4.1 角度测量	89	7.3.1 测角前方交会	125
5.4.2 距离测量	91	7.3.2 测边前方交会	126
5.4.3 坐标测量	94	7.4 三角高程测量	127
5.4.4 数据输出	95	7.4.1 三角高程测量的原理	127
5.4.5 通过软键输出数据(记录)	96	7.4.2 三角高程测量的基本公式	127
5.4.6 程序模式	96	7.4.3 三角高程测量的计算	129
5.5 仪器使用的注意事项和养护	103	习题与思考题	129
5.5.1 使用注意事项	104	第8章 全球定位系统(GPS)测量原 理与方法	131
5.5.2 仪器的养护	104	8.1 概述	131
习题与思考题	104	8.2 GPS 的组成	131
第6章 测量误差的基本知识	105	8.2.1 空间星座部分	132
6.1 测量误差概述	105	8.2.2 地面监控部分	132
6.1.1 测量误差的概念	105	8.2.3 用户设备部分	133
6.1.2 观测条件	105	8.3 GPS 定位原理	133
6.2 测量误差的种类	106	8.3.1 测距码伪距定位	134
6.3 偶然误差的基本特性	106	8.3.2 载波相位定位	135
6.4 衡量观测值精度的指标	107	8.3.3 实时差分定位	136
6.4.1 中误差	107	8.4 GPS 测量的基本方法	137
6.4.2 容许误差	108	8.4.1 GPS 控制网设计	137
6.4.3 相对误差	108	8.4.2 GPS 外业工作	139
6.5 误差传播定律	108	8.4.3 成果检核与数据处理	140
6.5.1 倍数函数	109		

8.5 南方测绘灵锐 S86T GPS-RTK 操作	140	10.4 数字地形图的应用	180
8.5.1 仪器介绍	140	10.4.1 数字地形图概念	180
8.5.2 仪器基本操作	142	10.4.2 数字地形图的基本应用	180
习题与思考题	145	10.5 数字地形模型 (DTM) 与数字高程模型 (DEM)	181
第 9 章 大比例尺数字化地形图测绘	146	10.5.1 概述	181
9.1 地形图的基本知识	146	10.5.2 DEM 的表示法	182
9.1.1 地形图的比例尺	146	10.5.3 DEM 的建立	183
9.1.2 比例尺精度	148	10.6 地理信息系统 (GIS) 简介	184
9.1.3 地形图符号	148	10.6.1 地理信息系统概念	184
9.1.4 图廓及图廓外注记	150	10.6.2 地理信息系统的组成部分	185
9.1.5 地物和地貌在地形图上的表示方法	151	10.6.3 地理信息系统功能	185
9.2 大比例尺地形图解析测绘方法	155	习题与思考题	186
9.2.1 地形图的分幅与编号	155	第 11 章 施工测量基本方法	188
9.2.2 大比例尺地形图的测绘工作	159	11.1 施工测量概述	188
9.3 大比例尺数字化测图	167	11.1.1 施工测量的目的和内容	188
9.3.1 数据采集	167	11.1.2 施工测量的特点	188
9.3.2 地形图要素分类和代码	168	11.1.3 施工测量的原则	188
9.3.3 地形图符号的自动绘制	168	11.2 施工测量的基本工作	189
9.3.4 数字地形图编辑和输出	169	11.2.1 水平角的测设 (放样)	189
9.4 地籍测量简介	169	11.2.2 水平距离的测设 (放样)	189
9.4.1 地籍测量的任务和作用	169	11.2.3 高程的测设 (放样)	191
9.4.2 地籍测量平面控制测量	170	11.3 已知水平线和已知坡度线的测设 (放样)	192
9.4.3 地籍调查	170	11.4 点的平面位置的测设	194
9.4.4 地籍图测绘	170	11.4.1 直角坐标法	194
9.4.5 识读地籍图示例	171	11.4.2 极坐标法	194
习题与思考题	173	11.4.3 角度交会	195
第 10 章 地形图的应用	174	11.4.4 距离交会法	195
10.1 地形图识读	174	11.4.5 全站仪坐标法	196
10.1.1 地形图图外注记识读	174	11.4.6 自由设站放样法	196
10.1.2 地物识读	174	11.4.7 GPS (RTK) 放样法	196
10.1.3 地貌识读	174	习题与思考题	197
10.2 地形图应用的基本内容	175	第 12 章 工业与民用建筑施工测量	198
10.2.1 在图上确定某点的坐标	175	12.1 建筑施工控制测量	198
10.2.2 在图上确定两点间的水平距离	176	12.1.1 坐标系统及坐标换算	198
10.2.3 在图上确定某一直线的坐标方位角	176	12.1.2 建筑基线	199
10.2.4 在图上确定任意一点的高程	176	12.1.3 建筑方格网	200
10.2.5 在图上确定某一直线的坡度	176	12.1.4 高程控制网	200
10.3 地形图在工程规划设计中的应用	177	12.2 工业与民用建筑施工测量的基本要求	200
10.3.1 绘制已知方向线的纵断面图及确定两点间通视情况	177	12.2.1 建筑物施工放样的基本要求	201
10.3.2 按规定坡度选定最短路线	178	12.2.2 结构安装测量的基本要求	201
10.3.3 地形图在平整场地中的应用	178	12.2.3 设备安装测量的基本要求	202
10.3.4 面积的计算	179	12.3 民用建筑施工测量	202

12.3.1	建筑物的定位	202
12.3.2	房屋基础施工测量	204
12.3.3	轴线投测与高程传递	204
12.4	工业厂房施工测量	204
12.4.1	厂房柱列轴线的测设	204
12.4.2	厂房基础施工测量	204
12.4.3	厂房构件的安装测量	205
12.5	高层建筑施工测量	207
12.5.1	高层建筑物的轴线投测	207
12.5.2	高层建筑物的高程传递	209
12.6	烟囱、水塔施工测量	210
12.6.1	烟囱的定位、放线	210
12.6.2	烟囱的基础施工测量	210
12.6.3	烟囱筒身施工测量	210
12.7	竣工测量和竣工图的编绘	211
12.7.1	竣工测量	211
12.7.2	竣工总平面图的编绘	212
	习题与思考题	212
第 13 章	线路工程测量	213
13.1	线路工程测量概述	213
13.1.1	线路工程测量的任务与内容	213
13.1.2	线路工程测量的特点	213
13.2	新建线路工程初测	213
13.2.1	导线测量	214
13.2.2	高程测量	215
13.2.3	带状地形图测绘	216
13.2.4	线路定线	216
13.2.5	初测提交的资料	217
13.3	线路工程详测	217
13.3.1	交点和转点的测设	217
13.3.2	路线转角的测定	220
13.3.3	里程桩的设置	220
13.3.4	圆曲线的测设	221
13.3.5	缓和曲线的测设	225
13.3.6	困难地段曲线测设	231
13.3.7	复曲线的测设	234
13.3.8	路线断面测量	237
13.4	道路施工测量	244
13.4.1	道路中线的恢复	244
13.4.2	路基边桩的测设	245
13.5	管道施工测量	246
13.5.1	准备工作	246
13.5.2	管道施工测量	246
13.5.3	顶管施工测量	248
13.5.4	管道竣工测量	248
	习题与思考题	249

第 14 章	桥梁与隧道施工测量	250
14.1	桥梁工程施工测量	250
14.1.1	桥梁施工控制测量	250
14.1.2	桥梁墩、台中心测设	253
14.1.3	桥梁施工测量	255
14.2	隧道工程施工测量	257
14.2.1	洞外平面控制测量	258
14.2.2	洞外高程控制测量	258
14.2.3	洞内控制测量	258
14.2.4	竖井联系测量	259
14.2.5	隧道施工与竣工测量	261
	习题与思考题	262
第 15 章	水利工程测量	263
15.1	概述	263
15.1.1	发展历史	263
15.1.2	水利工程测量工作内容	263
15.2	渠道测量	264
15.2.1	渠道的选线及中线测量	264
15.2.2	渠道横断面测量	265
15.2.3	渠道纵横断面图绘制	265
15.2.4	渠道施工放样及验收	266
15.3	大坝施工测量	268
15.3.1	土坝的控制测量	268
15.3.2	混凝土坝的施工控制测量	269
15.3.3	大坝清基开挖线的放样	269
15.3.4	大坝坝体的立模放样	270
15.3.5	混凝土浇筑高度的放样	270
15.4	水闸的施工放样	271
15.4.1	水闸主轴线的放样	271
15.4.2	闸底板的放样	271
15.4.3	闸墩的放样	271
	习题与思考题	272
第 16 章	建(构)筑物变形监测	273
16.1	变形监测概述	273
16.1.1	变形监测的定义及目的	273
16.1.2	变形监测的特点	273
16.1.3	变形监测点的布设	274
16.1.4	变形监测的内容	275
16.1.5	变形监测的类型	275
16.2	垂直位移监测	275
16.2.1	水准基点及沉降观测点的布设	275
16.2.2	沉降观测的实施	276
16.2.3	沉降观测的成果整理	277
16.3	水平位移监测	278
16.3.1	水平位移监测点的布设	278

16.3.2	水平位移监测的实施	279	16.5	测绘新技术及其在建（构）筑物变形	
16.3.3	水平位移观测的成果整理	281		监测中的应用	284
16.4	建（构）筑物倾斜观测与裂缝			习题与思考题	285
	观测	281		部分习题与思考题参考答案	286
16.4.1	建（构）筑物倾斜观测	281		参考文献	290
16.4.2	建（构）筑物裂缝观测	284			

第 1 章 绪 论

【本章要点】：本章主要介绍测绘学的基本概念以及学科发展，包括学科分类、各学科的研究进展，大地水准面、测量坐标系、测量工作的基本原则等概念。

1.1 测绘学简介

1.1.1 概述

测绘学是测量学与制图学的统称。它研究的对象是地球整体及其表面和外层空间中的各种自然物体、人造物体的有关地理空间信息。研究内容包括：研究测定、描述地球的形状、大小、重力场、地表形态以及它们的各种变化，确定自然和人工物体、人工设施的空间位置及属性，制成各种地图（含地形图）和建立有关信息系统。研究的任务是对这些与地理空间有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用。测量学是研究测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场，以及地球表面自然形态和人工设施的几何形态的科学；测量学研究的内容分测定和测设两部分。测定指运用测量仪器和方法，通过测量和计算，获得地面点的测量数据，或者把地球表面的地形按一定比例缩绘成地形图，供科学研究、国民经济建设和规划设计使用；测设是将规划图纸上设计好的建筑物、构造物的位置（平面位置和高程）用测量仪器和测量方法在地面上标定出来作为施工的依据。制图学是结合社会和自然信息的地理分布，研究绘制全球和局部地区各种比例尺的地形图和专题地图的理论和技术的科学。由此可见，测量学与制图学是测绘学的两个组成部分，其中测量学是它的重要组成部分。

测绘学的应用范围很广。在城乡建设规划、国土资源的合理利用、农林牧渔业的发展、环境保护以及地籍管理等工作中，必须进行土地测量和测绘各种类型、各种比例尺的地图，以供规划和管理使用。在地质勘探、矿产开发、水利、交通等国民经济建设中，则必须进行控制测量、矿山测量和线路测量，并测绘大比例尺地图，以供地质普查和各种建筑物设计施工用。在国防建设中，除了为军事行动提供军用地图外，还要为保证火炮射击的迅速定位和导弹等武器发射的准确性，提供精确的地心坐标和精确的地球重力场数据。在研究地球运动状态方面，测绘学提供大地构造运动和地球动力学的几何信息，结合地球物理的研究成果，解决地球内部运动机制问题。

测绘学的主要研究对象是地球及其表面的各种形态。为此，首先要研究和测定地球的形状、大小及其重力场，并在此基础上建立一个统一的坐标系统，用以表示地表任一点在地球上的准确几何位置。

1.1.2 测绘学的学科分类

测绘学是一级学科，按照研究对象及采用技术的不同，又可分为下列学科。

（1）大地测量学

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理论和技术的学科。大地测量学中测定地球的大小，是指测定地球椭球的大小；研究地球形状，是指研究大地水准面的形状；测定地面点的几何位置，是指测定以地球椭球面为参考的地面点的位置。将地面点沿法线方向投影于地球椭球面上，用投影点在椭球面上

的大地纬度和大地经度表示该点的水平位置，用地面点至投影点的法线距离表示该点的大地高程。点的几何位置也可以用一个以地球质心为原点的空间直角坐标系中的三维坐标来表示。大地测量工作为大规模测制地形图提供地面的水平位置控制网和高程控制网，为用重力勘探地下矿藏提供重力控制点，同时也为发射人造地球卫星、导弹和各种航天器提供地面站的精确坐标和地球重力场资料。

（2）摄影测量与遥感学

研究利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息（影像的或数字式的），进行分析和处理，以确定被测物体的形状、大小和位置，并判断其性质的一门学科。摄影测量学包括航空摄影测量、地面立体摄影测量等。航空摄影测量是摄影测量学的主要内容。摄影测量的特点是通过图像对被摄目标进行间接量测，无须接触被摄物体本身。摄影测量主要用于测制地形图，但它的原理和基本技术也适用于非地形测量。自从出现了影像的数字化技术以后，被测对象可以是固体、液体，也可以是气体；可以是微小的也可以是巨大的；可以是瞬时的也可以是变化缓慢的。这些特性使摄影测量方法得到广泛的应用。

摄影测量与遥感学作为基于影像的空间信息科学，是地球空间信息学（Geomatics）的核心。地球空间信息学是空间数据的采集、量测、分析、存贮、管理、显示和应用的集成科学与技术，属于现代空间信息科学技术的范畴。2004年美国劳动部把地球空间信息技术与纳米和生物技术一起列为当今最具发展潜力的三大技术。

（3）海洋测绘学

以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制工作。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量，以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。海洋测绘是海洋事业的一项基础性工作，其成果广泛应用于经济建设、国防建设和科学研究的各个领域。例如海上交通，海洋地质勘探，海洋资源开发，海洋工程建设，海底电缆和管道的敷设，海洋疆界的勘定，海洋环境保护和地壳变迁、板块构造等理论的研究，都离不开海洋测绘。海洋测量的基本理论、技术方法和测量仪器设备等，同陆地测量相比，有它自己的许多特点。主要是测量内容综合性强，需多种仪器配合施测，同时完成多种观测项目；测区条件比较复杂，海面受潮汐、气象等影响起伏不定；大多为动态作业，精确测量难度较大。

（4）地图制图学与地理信息工程

地图制图学与地理信息工程是研究地球空间信息存储、处理、分析、管理、分发及应用的科学与技术，它能够提供一种科学的手段来提高工作效率与工程质量，以完善、丰富、强大的数据信息为科技人员和各级管理人员提供良好的决策基础和决策环境，为社会广大人民群众提供各种咨询和信息服务，促进社会经济与城市建设的迅猛发展。地图制图学同许多学科都有联系，尤其同测量学、地理学和数学的联系更为密切。

（5）工程测量学

研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论和技术的学科。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。工程测量学的主要任务是为各种工程建设提供测绘保障，满足工程所提出的要求。工程测量学所研究的内容，按工程测量所服务的工程种类，分为建筑工程测量、线路测量（如铁路测量、公路测量、输电线路测量和输油管道测量等）、桥梁测量、隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量、海洋工程测量、军事工程测量、三维工业测量等。按工程建设进行的程序，又可分为规划设计阶段的测量，施工兴建阶段的测量和竣工后的运营管理阶段的测量，每个阶段测量工作的重点和要求各不相同。

(6) 普通测量学

研究地球表面局部区域内测绘工作的基本理论、仪器和方法的学科,是测绘学的一个基础部分。局部区域指在该区域内进行测量、计算和制图时,可以不顾及地球的曲率,把这区域的地面简单地当作平面处理,而不致影响测图的精度。普通测量学研究的主要内容是局部区域内的控制测量和地形图的测绘。基本工作包括距离测量、角度测量、高程测量和测绘地形图以及地形图的应用。

本教材是在普通测量学的基础上,增加了现代测量科学技术的内容,同时又根据土木工程各专业的要求,充实了部分工程测量的内容而编写的。

1.1.3 测绘学发展简史与我国测绘事业的发展

测绘学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业。古埃及尼罗河每年洪水泛滥,淹没了土地界线,水退以后需要重新划界,从而开始了测量工作。公元前2世纪,中国司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治理洪水的情况:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州、通九道、陂九泽、度九山”。说明在公元前很久,中国人为了治水,已经会使用简单的测量工具了。

人类对地球形状的科学认识,是从公元前6世纪古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)最早提出地球是球形的概念开始的。两世纪后,亚里士多德(Aristotle)作了进一步论证,支持这一学说,称为地圆说。又一世纪后,亚历山大的埃拉托斯特尼(Eratosthenes)采用在两地观测日影的办法,首次推算出地球子午圈的周长,以此证实了地圆说。世界上有记载的实测弧度测量,最早是中国唐代开元十二年(724年)南宫说在张遂(一行)的指导下在今河南省境内进行的,根据测量结果推算出了纬度1度的子午弧长。17世纪末,英国牛顿(I. Newton)和荷兰的惠更斯(C. Huygens)首次从力学的观点探讨地球形状,提出地球是两极略扁的椭球体,称为地扁说。1743年法国A. C. 克莱洛证明了地球椭球的几何扁率同重力扁率之间存在着简单的关系。19世纪初,随着测量精度的提高,通过对各处弧度测量结果的研究,发现测量所依据的垂线方向同地球椭球面的法线方向之间的差异不能忽略。1849年Sir G. G. 斯托克斯提出利用地面重力观测资料确定地球形状的理论。1873年,利斯廷(J. B. Listing)创用“大地水准面”一词,以该面代表地球形状。自那时起,弧度测量的任务,不仅是确定地球椭球的大小,而且还包括求出各处垂线方向相对于地球椭球面法线的偏差,用以研究大地水准面的形状。

地图的出现可追溯到上古时代,那时由于人类从事生产和军事等活动,就产生了对地图的需要。据文字记载,中国春秋战国时期地图已用于地政、军事和墓葬等方面。公元前3世纪,埃拉托斯特尼最先在地图上绘制经纬线。1973年,在中国湖南省长沙马王堆汉墓中发现的绘制在帛上的地图,是公元前168年之前制作的。公元2世纪,古希腊的C. 托勒密所著《地理学指南》一书,提出了地图投影问题。100多年后,中国西晋的裴秀总结出“制图六体”的制图原则,从此地图制图有了标准,提高了地图的可靠程度。16世纪,地图制图进入了一个新的发展时期。中国明代的罗洪先和德国的G. 墨卡托都以编制地图集的形式,分别总结了16世纪之前中国和西方在地图制图方面的成就。从16世纪起,随着测量技术的发展,尤其是三角测量方法的创立,西方一些国家纷纷进行大地测量工作,并根据实地测量结果绘制国家规模的地形图,这样测绘的地形图,不仅有准确的方位和比例尺,具有较高的精度,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,还可按不同的用途,将实测地形图缩制编绘成各种比例尺的地图。现代地图制图的方法有了巨大的变革,地图制图的理论也不断得到丰富,特别是20世纪60年代以来,又朝着计算机辅助地图制图的方向发展,使成图的精度和速度都有很大的提高。17世纪之前,人们使用简单的工具进行测量。这些测量工具都是机

械式的,而且以用于量测距离为主。17 世纪初发明了望远镜。1617 年,荷兰的斯涅耳(W. Snell)为了进行弧度测量而首创三角测量法,以代替在地面上直接测量弧长,从此测绘工作不仅量测距离,而且开始了角度测量。约于 1640 年,英国的加斯科因(W. Gascoigne)在两片透镜之间设置十字丝,使望远镜能用于精确瞄准,用以改进测量仪器,这可算光学测绘仪器的开端。约于 1730 年,英国的西森(Sisson)制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量法的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。

19 世纪初,随着测量方法和仪器的不断改进,测量数据的精度也不断提高,精确的测量计算就成为研究的中心问题。1806 年和 1809 年法国的勒让德(A. M. Legendre)和德国的高斯分别发表了最小二乘准则,这为测量平差计算奠定了科学基础。19 世纪 50 年代初,法国洛斯塔(A. Laussedat)首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪,地面立体测图仪等。到 20 世纪初,则形成比较完备的地面立体摄影测量法。可以说,从 17 世纪末到 20 世纪中叶,测绘仪器主要在光学领域内发展,测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。

20 世纪中叶,新的科学技术得到了快速发展,特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等在自身发展的同时,给测绘科学的发展开拓了广阔的道路,创造了发展的条件,推动着测绘技术和仪器的变革与进步。测绘科学的发展很大部分是从测绘仪器发展开始的,然后使测绘技术发生重大的变革。如 1947 年,光波测距仪的问世;20 世纪 60 年代激光器作为光源用于电磁波测距,使长期以来艰苦的手工业生产方式的测距工作发生了根本性的变革,氦氖激光光源的应用使测程达到 60km 以上,精度达到 $\pm(5\text{mm}+5\text{ppm}\times D)$ 。固体激光器的应用使测程更加增大,使测月、测卫工作得以实现;80 年代开始,多波段(多色)载波测距的出现,抵偿减弱了大气条件的影响,使测距精度大大提高,ME5000 测距仪达到 $\pm(0.2+0.1\text{ppm}\times D)$ 的标称精度。除了光波测距以外,微波测距也有很大发展,80 年代之后,全自动化的微波测距仪 CA-100、WM-20 等已用于军事部门。随着光源和微处理机的问世和应用,测距工作向着自动化方向发展。与此同时,砷化镓发光管和激光光源的使用使测距仪的体积大大减小,重量减轻,向着小型化迈出了一步,同时也使大地测量工作中以测角为主的面貌得到了彻底改变,除用三角测量外,还可用导线测量和三边测量,这些均在工程中得到广泛应用。

测角仪器的发展也十分迅速,它和其它仪器一样,随着科学技术进步而发展,从金属度盘发展为光学度盘。近 20 年来,伴随着电子技术、微处理机技术的广泛应用,经纬仪已使用电子度盘和电子读数,生产出电子经纬仪,并得到广泛应用。电子经纬仪能自动显示读数、自动记录。同时,电子经纬仪与测距仪结合,构成了电子速测仪(全站仪),其体积小,重量轻,功能全,自动化程度高,为在一个测站上,直接测得三维坐标和为数字测图开拓了广阔前景。近年来厂家又推出了智能全站仪,连瞄准目标、测量也可自动化。这将结束测角、测距手工业生产方式的漫长历史,实现使用测量机器人的梦想。

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始。之后,又发展了激光水准仪、激光扫平仪,为提高水准测量的精度和开拓广泛的用途创造了条件。近年来,数字水准仪的诞生也使水准测量自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实。它和经纬仪一样,也可选取目标后自动进行观测,实现了水准测量的全自动化。

20 世纪 80 年代,全球定位系统(Global Positioning System,简称 GPS)问世,并用于测量工作,对此广大的测绘工作者给予了很大关注。全球定位系统在短时间内可以进行空间点的三维定位,况且不受局部气象条件的影响,无须通视,不需要建立高标,使测绘工作发生了极大变革。全球定位系统原是美国为军事服务的导航系统,以后被用于民用。从 70 年代开始,历经了 30 年,世界上很多国家为了使用全球定位系统的信号,迅速进行了接收

机的研制。从70年代到现在,已有百余厂家,研制了一二百种精度不同、类型不同的仪器,并且已发展到第五代产品,其体积小,功能全,重量轻,使用方便。

除了美国研制GPS定位系统外,前苏联研制了GLONASS定位系统,于1995年投入运营。目前欧盟委员会正在加紧建设伽利略(Galileo)全球卫星导航系统。我国除了进行GPS定位理论及应用研究外,于2003年利用自主研发的地球同步卫星,建立了第一代北斗卫星导航定位系统。该系统具有导航定位、精密授时、短报文通信等功能,可用于我国领土和相邻的周边地区导航定位、授时、数据传输、通信和移动目标监控等方面,2012年初,已发射十一颗卫星的北斗卫星导航系统建成了基本系统,开始正式提供试运行服务,范围覆盖我国及周边地区,按计划2012年北斗区域系统就要建成。

20世纪70年代,除了用飞机进行航空摄影测量的航片测绘地(形)图外,还可通过人造地球卫星使用遥感(Remote Sensing,简称RS)技术拍摄地球照片,监测自然现象的变化,并且利用这些卫星照片进行地图的测绘,其精度逐步提高。近年来,伴随着数字摄影技术的发展,改变了过去模拟摄影测量的方式,用数字摄影技术进行测量工作,其成果稳定、可靠,并且自动化程度高,还可与计算机组成一个系统,使地图的生产、使用、修改、更新易于完成。

地面的测图系统,也由于测绘仪器的飞速发展和技术的广泛应用,由过去的传统测图方式发展为数字测图,所得地形图是由数字表示的,用计算机进行绘制和管理,既便捷,又迅速,精度可靠。

为了满足国民经济飞速发展的需要,在计算机科学、信息学和测绘学的支持下,地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)应运而生,它能为地球科学、环境科学和工程设计以及对政府行政职能和企业经营管理提供必需而重要的信息,因而发展很快,并与GPS、RS集成为“3S”技术。在“3S”技术的促进和支持下,测绘工作和测绘技术正向着自动化、数字化、网络化、可视化和信息化的方向发展,使测绘学科进入了一个信息化测绘学全新的发展阶段。

由于以上这些先进测量仪器的生产和应用,使测量工作向着自动化、电子化方向发展,减轻了劳动强度,提高了工作效率,并且使野外工作大大减少,向着内外业一体化的方向发展,同时,大大改善了测绘工作艰苦的环境。

自1950年起,中国的测绘事业有了很大的发展。1956年成立了国家测绘总局;建立了测绘研究机构,组建了专门培养测绘人才的院校,目前,有测绘工程专业的院校已达数十所;测绘专业硕士、博士的培养学校也有几十所;各业务部门也纷纷成立测绘机构和科研机构,党和国家对测绘工作给予很大关怀和重视。主要成就有:在全国范围内建立了国家大地网、国家水准网、国家基本重力网和卫星多普勒网,并对国家大地网进行了整体平差;全国GPS大地控制网业已完成,完成了国家基本图的测绘工作;进行了两次(1975年和2005年)珠峰测量、南极长城站的地理位置和高程的测量;各种工程建设的测量工作也取得显著成绩,如长江大桥、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、三峡水利枢纽、正负电子对撞机和同步辐射加速器、核电站等大型和特殊工程的测量工作。近年来,又完成许多大型工程和特殊工程建设的测量工作,诸如30多公里的杭州湾大桥,山西42.6km的引黄工程隧洞,大伙房水库85.5km工程隧洞,以及上海磁悬浮铁路、北京中国大剧院、奥运体育场馆等特殊工程的施工测量;还建立了中国内地地壳水平、垂直运动速度场,出版发行了地图1600多种,发行量超过11亿册。为了发展卫星大地测量技术,相继研制了卫星摄影仪、卫星激光测距仪和卫星多普勒接收机,并已投入实际应用。在摄影测量技术上已普遍应用电子计算机进行解析空中三角测量,并正在研制解析测图仪、正射投影仪,研究自动测图系统和航天遥感资料

在测绘上的应用。在海洋测绘方面,采用了新的海洋定位系统。这些新技术和新仪器的使用,进一步推动了中国测绘事业的发展。

1.1.4 测绘学在国民经济建设中的作用

现代测绘学的内容广泛,任务涉及面大,是现代高新技术互相渗透的结果。现代测绘学与传统的测绘学有所不同,它不只是手段先进,方法新颖,而且其研究和服务的对象、范围越来越广泛,重要性越来越显著。如上所述,现代测绘学是一门科学性、技术性很强的学科,对于国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域是一门重要的基础科学。

在土木工程建设方面,工程的勘测、规划、设计、施工、竣工及运营后的监测、维护都需要测量工作。现代测量学是现代测绘的一个重要组成部分,在土木建筑类各专业的工作中,不但应用广泛,而且已与各专业结合得越来越紧密。例如,勘测设计各个阶段,需要勘测区的地形信息和地形图或电子地图,供工程规划、选址和设计使用。在施工阶段,要进行施工测量,把设计好的建筑物、构筑物的空间位置,测设于实地,以便据此进行施工;随着施工的进展,不断地测设高程和轴线,以指导施工;并且根据需要还要进行设备的安装测量。在施工的同时,要根据建(构)筑物的要求,开始变形观测,直至建(构)筑物基本停止变形为止,以监测施工的建(构)筑物变形的全过程,为保护建筑物提供资料。施工完成后,及时地进行竣工测量,编绘竣工图,为今后建筑物的扩建、改建和维修,以及进一步开发提供依据。在建、构筑物使用和工程的运营阶段,对于现代大型或重要的建筑物还要继续进行变形观测和安全监测,为保障安全运营和生产提供资料。由此看出,测量工作在土木建筑工程专业中应用十分广泛,它贯穿着工程建设的全过程,特别是大型和重要的建筑工程,测量工作更为重要。

在军事上,首先由测绘工作提供地形信息;在战略的部署、战役的指挥中,除必需的军用地图(包括电子地图,数字地图)外,还需要进行目标的观测定位,以便进行打击。至于远程导弹、空间武器、人造地球卫星以及航天器的发射等,都要随时观测、校正飞行轨道,保证它精确入轨飞行。为了使飞行器到达预定目标,除了测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小、重力场的精确数据。航天器发射后,还要跟踪观测飞行轨道是否正确。总之,现代测绘科学技术与现代战争紧密结合在一起,是军事上决策的重要依据之一。

在科学实验方面,如地震预测、预报,地壳形变、气象预报、环境保护、灾情监测、空间技术研究、资源调查、海底资源探测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测等,以及其它科学研究,无一不需要测绘工作紧密配合和提供空间信息。另外,由于现代测量技术已经或将实现无人自动观测和数据处理,具有检测地学事件的能力,可以预测地质灾害的发生。

此外,我国各种地理信息系统及专题地理信息系统,以及数字中国、数字城市等都要求测绘工作为其提供空间数据和有关属性信息,作为这些系统的基础数据信息。

1.1.5 工程测量学的任务

工程测量学主要是面向土木建筑、环境、道路、桥梁、水利、规划等学科,其主要任务如下。

(1) 研究测绘地形图的理论和方法

地形图是土木工程勘察、规划、设计的依据。土木工程测量是研究确定地球表面局部区域建筑物、构筑物、天然地物和地貌、地面高低起伏形态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,以及将测量资料按比例绘制成地形图或电子地图的原理和方法。

(2) 研究在地形图上规划、设计的基本原理和方法

地形图的应用十分广泛,在土木工程建设过程中,常常遇到区域规划、道路选线、场地平整等问题,本课程将对其中的主要问题进行研究讨论。

(3) 研究建筑物施工放样、质量检验的技术和方法

施工放样是施工测量的主要工作,它的主要任务是将设计好的建筑物位置在实地上标定出来。另外,在施工过程中,为保证工程的施工质量,必须对施工结果分阶段进行检查验收。

(4) 研究变形监测的基本理论和方法

在土木工程施工过程中或竣工后,为确保工程的安全,应进行工程的变形监测。本课程重点介绍建(构)筑物变形监测的原理和方法。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

地球的形状和大小,自古以来人类对它就很关心,对它的研究从来没有停止过。研究地球的大小和形状是通过测量工作进行的。

地球是太阳系中的一颗行星,它围绕着太阳旋转,又绕着自己的旋转轴旋转。地球的自转和公转使地球形体形成了椭球状,其赤道半径大、极半径小。地球的自然表面极其复杂,有高山、丘陵;有盆地、平原和海洋。有高于海平面 8844.43m 的珠穆朗玛峰;有低于海平面 11022m 的马里亚纳海沟,地形起伏很大。但是由于地球半径很大,约 6371km,地面高低变化幅度相对于地球半径只有 1/300,从宏观上看,仍然可以将地球看作为圆滑椭球体。地球自然表面大部分是海洋,占地球表面积的 71%,陆地仅占 29%,所以人们设想将静止的海水面向大陆延伸,形成的闭合曲面来代替地球表面。地球有引力,地球上每个质点都受到地球引力的作用。地球的自转又产生离心力。每个质点又受到离心力的作用。因此地球上每个质点都受到这两个力的作用。这两个力的合力称为重力。地球表面的水面,每个水分子都会受到重力作用。当水面静止时,说明每个水分子的重力位相等。重力方向线又称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线;假想有一个静止的海水面,向陆地延伸形成一个封闭的曲面,这个曲面称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点的重力方向重合。由于海水受潮汐的影响而不断变化,所以水准面有无数个。为此,人们在海滨设立验潮站,通过长期观测,求出平均高度的海水面,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,它代表地球的一般形状。

由于地球表面起伏不平,地球内部质量分布不均匀,地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,大地水准面仍然是一个复杂的不规则曲面,不是一个简单的数学曲面,不能用一个数学模型表达,因此,也就无法在这样的面上直接进行测量和数据处理。于是,人们进一步设想用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面,旋转椭球面所包含的形体称为旋转椭球体,同大地水准面最为接近的椭球面称为平均地球椭球面。旋转椭球体是由椭球面 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体(见图 1.1),其形状和大小取决于长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 $\alpha = (a-b)/a$ 。

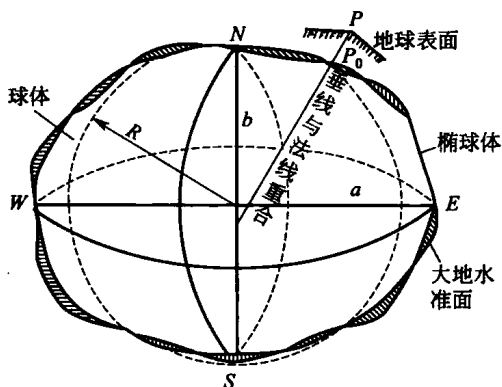


图 1.1 大地水准面和参考椭球面

为了将观测成果准确地化算到椭球面，各国都根据本国的实际情况，采用与大地体非常接近的自己国家的椭球体，并选择地面上一点或多点使椭球定位。如图 1.1 所示，地面上选一点 P ，令 P 点的铅垂线和椭球面上相应点 P_0 的法线重合，并使 P_0 点的椭球面与大地水准面相切。这里的 P 点称为大地原点，旋转后的椭球面称为参考椭球面，其包围的形体称为参考椭球体。

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，参考椭球面及其法线是测量计算所依据的基准面和基准线。

人类对地球形状的认识经历了很长的时间。初期认为天圆地方，以后逐渐认识到地球是个圆球。17 世纪法国人发现地球不是正圆而是扁的，牛顿等根据力学原理，提出地球是扁球的理论，这一理论直到 1739 年才为南美和北欧的弧度测量所证实。其实，在此之前中国为编绘《皇舆全图》，就曾进行了大规模的弧度测量，并发现纬度愈高，经线的弧长愈长的事实。这同地球两极略扁，赤道隆起的理论相符。1849 年英国的 Sir G. G. 斯托克斯提出利用地面重力观测确定地球形状的理论。经过 100 多年来的努力，特别是人造卫星等先进技术的应用，使地球形状的测定越来越精确。

利用地面观测来研究地球形状的经典方法是弧度测量，即根据地面上丈量的子午线弧长，推算出地球椭球的扁率（见表 1.1）。以后，人们广泛地用建立天文大地网的方法确定同局部大地水准面最相吻合的参考椭球。但是这些纯几何测量的方法都由于不能遍及整个地球而有很大的局限性。近代空间技术的发展为研究地球形状提供了新手段，如干涉测量、激光测距和多普勒测量等。

表 1.1 地球椭球参数

椭球名称	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	推算年代和国家
白塞尔	6377397	6356564	1 : 299.2	1841 年,德国
克拉克	6378249	6356515	1 : 293.5	1880 年,英国
海福特	6378388	6356912	1 : 297.0	1909 年,美国
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3	1940 年,前苏联
IUGG-75	6378140	6356755.3	1 : 298.257	1979 年,国际大地测量与地球物理联合会
WGS-84	6378137	6356752	1 : 298.257223563	1984 年,美国

1.2.2 测量坐标系与地面点位的确定

测绘工作的主要任务之一是确定地面点的空间位置，其表示方法为坐标和高程，而地面点的空间位置与一定的坐标系相对应。在测绘工作中，常用的坐标系有空间直角坐标系、大地坐标系、高斯投影平面直角坐标系、假定平面直角坐标系等。

1.2.2.1 大地坐标系

大地地理坐标又称大地坐标，用于表示地面点在参考椭球面上的位置，它的基准是参考椭球面及其法线，它用大地经度和大地纬度表示。过 P 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角称 P 点的大地经度；过 P 点的法线与赤道面的夹角称 P 点的大地纬度。

如图 1.2 所示，地心空间直角坐标系 (X,Y,Z) 的 Z 轴与地球平均自转轴重合，与 Z 轴垂直的平赤道面构成 XY 平面； XZ 平面是包含平均自转轴和格林尼治平均天文台的平面； Y 轴的指向使该坐标系成为右手坐标系。椭球的短轴与地心空间直角坐标系的 Z 轴重合，起始子午面和赤道面分别与该坐标系的 XZ 平面和 XY 平面重合。 P 点沿椭球面法线到椭球面上的投影是 Q ， $PQ=H$ ，称为 P 点的大地高程， L 和 B 是 P 点的大地经度和大地纬