

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

土木工程测量

何东坡 付开隆 主 编

唐 冲 李秋实 副主编
武百超 马福义



科学出版社

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

土木工程测量

何东坡 付开隆 主 编

唐 冲 李秋实

副主编

武百超 马福义

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是专门针对“卓越工程师培养计划”培养方案编写而成。针对“卓越工程师培养计划”对人才培养要求的特殊性,考虑土木工程测量在土木工程专业的重要性,在介绍土木工程测量基础理论和基本方法的基础上,本书删减了陈旧性的理论和过时的测量方法,增加了当今新理论、新仪器的介绍。内容涵盖水准测量、角度测量、距离测量和全站仪、测量误差的基本知识、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘及应用、施工测量的基本方法。此外,书中还介绍了线路测量、桥梁和隧道、测量工民建测量、变形测量以及 GNSS 在土木工程测量中的应用。

本书适用于土木工程专业的各个方向,也可作为交通工程、园林、环境等非测绘类本科专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量 / 何东坡, 付开隆主编. —北京: 科学出版社, 2015

(土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材)

ISBN 978-7-03-045114-9

I. ①土… II. ①何… ②付… III. ①土木工程-工程测量-高等学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 132948 号

责任编辑: 任加林 / 责任校对: 刘玉靖

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 19 1/2

字数: 428 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138017

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

土木工程测量是高等学校土木工程专业必修的一门专业基础课，是学习其他专业课程之前的必修课程。作为卓越工程师培养计划所选教材，本书联合多家高校具有多年教学经验的“双师型”教师和生产单位具有多年生产经验的高级专业人员共同编写，参考大量国内国家级规划教材，并对以往的教材内容进行大胆的改革，删除了不用的、过时的知识。把 GNSS 和 RTK 等内容作为与水准仪和经纬仪并列的基本仪器增加进来，凸显了本书作为培养卓越工程师教材的实用性特点。本书主要内容包括：工程测量的基本知识；常规光学仪器的构造、使用和检校方法；电子仪器的基本原理和使用方法；误差的基本理论；控制测量、地形测量的基本理论和方法；数字化成图方法和数字地形图的应用；RTK 在公路、隧道和高铁测量中的应用；变形监测等内容。读者在熟练掌握工程测量基本理论和方法的基础上，更能利用最新的现代化测量仪器和理论解决工程实际问题。本书的特点是实用性和先进性，可以使学生尽快适应生产实际，又能掌握当今测绘领域的前沿技术。本书着重测量学的基础知识，兼顾测量领域的新技术，放眼测量的发展趋势，同时结合一些典型案例具体阐述测量技术在土木工程领域的应用，使教材除了体现出理论性、时代性，还体现了一定的实践性，为土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”的顺利实施提供基础条件。

本书可作为土木工程、交通工程、建筑工程、环境工程、市政工程及农林等专业本科非测绘专业教材，也可供相关工程技术人员和教师参考。

全书共分 14 章，参加教材编写的有：东林林业大学土木工程学院何东坡（第十三章）、付开隆（第一、九章）、武百超（第二、三、四章）、李秋实（第十、十二章），黑龙江科技大学马福义（第五、六、十一、十四章）、唐冲（第七、八章）。全书由何东坡、付开隆主编、统稿。全书由辽宁工程技术大学宋伟东教授担任主审，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中存在不足之处在所难免，期待读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 测绘学的研究内容及其分类	1
1.1.2 测绘学在国民经济建设中的作用	1
1.1.3 本课程的学习任务	2
1.2 地球的形状和大小	2
1.3 地面点位的确定	3
1.3.1 测量坐标系统	3
1.3.2 测量高程系统	6
1.4 用水平面代替水准面的限度	7
1.4.1 水准面曲率对距离的影响	7
1.4.2 水准面曲率对角度的影响	8
1.4.3 水准面曲率对高差的影响	8
1.5 测量工作概述	9
1.5.1 测量工作的基本内容	9
1.5.2 测量工作的基本原则	9
本章小结	9
复习思考题	10
第二章 水准测量	11
2.1 高程测量概述	11
2.2 水准测量原理	11
2.2.1 水准测量原理	11
2.2.2 高程计算方法	11
2.2.3 连续水准测量	12
2.3 水准测量的仪器和工具	13
2.3.1 DS ₃ 型微倾式光学水准仪	13
2.3.2 水准尺和尺垫	16
2.4 水准仪的使用	17
2.4.1 粗平	17
2.4.2 瞄准	18
2.4.3 精平	18
2.4.4 读数	18

2.5	水准测量的外业	18
2.5.1	水准点	18
2.5.2	水准路线	19
2.5.3	水准测量的外业实施	20
2.5.4	水准测量的检核	20
2.6	水准测量的内业	22
2.6.1	计算步骤	22
2.6.2	计算实例	22
2.7	微倾式水准仪的检验与校正	23
2.7.1	水准仪的几何轴线及其应满足的条件	23
2.7.2	水准仪的检验与校正	24
2.8	自动安平水准仪与精密光学水准仪	27
2.8.1	自动安平水准仪	27
2.8.2	精密光学水准仪	28
2.9	电子水准仪简介	30
2.10	水准测量的误差	32
2.10.1	仪器误差	32
2.10.2	观测误差	33
2.10.3	外界条件的影响	33
	本章小结	34
	复习思考题	34
第三章	角度测量	36
3.1	角度测量概述	36
3.1.1	水平角测量原理	36
3.1.2	竖直角测量原理	37
3.2	光学经纬仪	38
3.2.1	光学经纬仪概述	38
3.2.2	光学经纬仪的构造	38
3.2.3	光学测微装置和读数方法	40
3.2.4	经纬仪的使用	42
3.3	水平角测量	45
3.4	竖直角测量	46
3.4.1	竖直度盘的构造	46
3.4.2	竖直角度的计算公式	47
3.4.3	竖盘指标差	48
3.4.4	竖直角观测	49
3.4.5	竖盘指标自动垂直补偿器	49

3.5 光学经纬仪的检验	50
3.5.1 经纬仪轴线应满足的条件	50
3.5.2 经纬仪的检验	50
3.6 电子经纬仪简介	53
3.7 角度测量的误差分析	54
3.7.1 仪器误差	54
3.7.2 观测误差	55
3.7.3 外界条件的影响	56
本章小结	56
复习思考题	56
第四章 距离测量和全站仪	58
4.1 钢尺量距	58
4.1.1 量距的工具	58
4.1.2 钢尺量距的一般方法	59
4.2 光电测距	61
4.2.1 电磁波测距基本原理	62
4.2.2 光电测距的精度指标	62
4.3 全站仪简介	62
4.3.1 全站仪的技术等级	63
4.3.2 全站仪外观及反射器	64
4.3.3 全站仪的基本测量功能	65
4.3.4 全站仪的设站	67
本章小结	68
复习思考题	68
第五章 测量误差基本知识	69
5.1 测量误差及其分类	69
5.1.1 真值和真误差	69
5.1.2 误差来源	70
5.1.3 测量误差分类	71
5.2 衡量观测精度的标准	74
5.2.1 方差和中误差	75
5.2.2 相对误差	76
5.2.3 极限误差	76
5.3 误差传播定律	76
5.3.1 线性函数	77
5.3.2 非线性函数	78

5.4 误差传播定律的应用	78
5.4.1 同精度独立观测值的算术平均值的精度	79
5.4.2 水准测量的精度	79
5.4.3 三角高程测量的精度	80
5.4.4 若干独立误差的联合影响	80
5.4.5 由三角形闭合差计算测角中误差(菲列罗公式)	81
本章小结	81
复习思考题	82
第六章 小区域控制测量	83
6.1 概述	83
6.1.1 国家控制网	83
6.1.2 城市控制网	84
6.1.3 小区域控制网	84
6.1.4 图根控制网	84
6.2 直线定向	85
6.2.1 直线定向的概念	85
6.2.2 直线方向的表示方法	85
6.3 导线测量	87
6.3.1 引言	87
6.3.2 导线的布设形式	87
6.3.3 导线测量的技术要求	88
6.3.4 导线测量的外业工作	89
6.3.5 导线测量的内业工作	91
6.3.6 错误的检查方法	95
6.4 高程控制测量	97
6.4.1 引言	97
6.4.2 三、四等水准测量	97
6.4.3 光电三角高程测量	100
6.5 交会定点	101
6.5.1 前方交会	101
6.5.2 后方交会	103
本章小结	104
复习思考题	105
第七章 大比例尺地形图测绘	106
7.1 地形图的基本知识	106
7.1.1 地形图概述	106

7.1.2	地形图的比例尺	106
7.1.3	地形图符号	108
7.1.4	地形图的分幅与编号	111
7.2	测图前的准备工作	114
7.2.1	大比例尺测图的技术设计	114
7.2.2	资料收集与仪器准备及人员的组织与安排	117
7.2.3	图板的准备	117
7.3	大比例尺地形图测绘	119
7.3.1	大比例尺地形图测绘的原理	119
7.3.2	图根控制测量与测站点测定	120
7.3.3	碎部点的数据采集方法	121
7.3.4	地形图绘制	124
7.3.5	地形图的拼接、检查和整饰	125
7.4	大比例尺数字化测图	126
7.4.1	数字化测图与全站仪数字化测图	126
7.4.2	大比例尺数字化测图的作业模式	127
7.4.3	大比例尺数字化测图的基本作业过程	128
	本章小结	134
	复习思考题	134
第八章	地形图应用	136
8.1	地形图应用的概述	136
8.1.1	地形图图外注记识读	136
8.1.2	地物识读	138
8.1.3	地貌识读	139
8.2	地形图应用的基本内容	139
8.2.1	在地形图上确定点的坐标	139
8.2.2	在地形图上确定点的高程	140
8.2.3	在地形图上确定直线的长度	141
8.2.4	在地形图上确定直线的坐标方位角	142
8.2.5	在地形图上确定直线的坡度	143
8.3	工程建设中地形图的应用	143
8.3.1	图形面积的量算	143
8.3.2	按设计坡度选定最短路线	145
8.3.3	绘制纵断面图	146
8.3.4	确定汇水面积	146
8.3.5	平整场地时填挖边界的确定和土方量的计算	147
8.4	数字地形图的应用	150

8.4.1	数字地形图基本几何要素的查询	150
8.4.2	土方量的计算	151
8.4.3	断面图的绘制	153
	本章小结	154
	复习思考题	154
第九章	施工测量的基本方法	156
9.1	施工测量概述	156
9.2	放样的基本工作	156
9.2.1	水平角的测设	156
9.2.2	距离的测设	157
9.2.3	高程的测设	158
9.3	测设点位的方法	159
9.3.1	极坐标法放样	159
9.3.2	方向线交会法放样	159
9.3.3	角度交会法放样	160
9.4	已知水平线及已知坡度线的测设	160
9.4.1	已知水平线的测设	160
9.4.2	已知坡度线的测设	161
9.5	垂准测量	162
9.5.1	吊垂线法	162
9.5.2	经纬仪法	163
9.5.3	激光垂准仪的应用	163
	本章小结	164
	复习思考题	164
第十章	线路测量	165
10.1	公路工程测量概述	165
10.2	公路工程测量的精度标准	165
10.2.1	平面控制测量的精度指标	165
10.2.2	高程控制测量的精度指标	168
10.3	路线中桩测量	169
10.3.1	路线交点的测设	170
10.3.2	路线转点的测设	171
10.3.3	路线转角的测定	172
10.3.4	里程桩的设置	172
10.4	圆曲线及其测设	173
10.4.1	圆曲线主点测设	173

10.4.2	圆曲线的详细测设	175
10.4.3	虚交点法测设圆曲线主点	178
10.5	缓和曲线及其测设	180
10.5.1	缓和曲线公式	180
10.5.2	缓和曲线的主点测设	182
10.5.3	缓和曲线的曲线详细测设	183
10.6	路线中线逐桩坐标计算	185
10.7	路线纵横断面测量	187
10.7.1	路线纵断面测量	187
10.7.2	路线横断面测量	190
10.8	路线施工测量	193
10.8.1	中线恢复测量	193
10.8.2	施工控制桩测设	193
10.8.3	路基边桩测设	193
10.8.4	竖曲线测设	194
10.9	高速铁路施工测量概述及精度标准	196
10.9.1	高速铁路施工测量概述	196
10.9.2	平面控制测量的精度标准	196
10.9.3	高程控制测量的精度标准	198
10.10	高速铁路平面控制测量	200
10.10.1	框架控制网(CP0)	200
10.10.2	案例介绍:合肥至蚌埠客运专线CP0网建立	202
10.10.3	基础平面控制网(CPI)和线路平面控制网(CPII)简介	204
10.10.4	轨道平面控制网(CPIII)	205
10.11	高速铁路高程控制测量	206
10.11.1	线路水准基点控制网测量	206
10.11.2	轨道控制网(CPIII)高程测量	207
10.12	高速铁路轨道施工测量	207
10.13	全站仪进行公路曲线测设案例	209
10.13.1	曲线示例数据	209
10.13.2	全站仪放样公路曲线	209
	本章小结	214
	复习思考题	214
第十一章	桥梁和隧道工程测量	216
11.1	桥梁工程施工测量	216
11.1.1	小型桥梁施工测量	216
11.1.2	中型桥梁施工测量	217

11.2	隧道施工测量	221
11.2.1	隧道洞外控制测量	221
11.2.2	隧道洞外、洞内联系测量	225
11.2.3	隧道洞内控制测量	229
11.2.4	隧道洞内中线测量	231
11.2.5	隧道施工测量	232
	本章小结	234
	复习思考题	234
第十二章	工业与民用建筑测量	235
12.1	建筑场地上的施工控制测量	235
12.1.1	建筑施工测量概述	235
12.1.2	建筑场地上施工平面控制网的建立	236
12.1.3	建筑场地上施工高程控制网的建立	239
12.2	一般民用建筑施工测量	240
12.2.1	建筑物测设前的准备工作	240
12.2.2	场地平整的测量工作	241
12.2.3	建筑物主轴线的定位测量	242
12.2.4	建筑物放线	243
12.2.5	建筑物基础工程施工测量	244
12.2.6	砌墙身的测量工作	246
12.3	工业厂房控制网和柱列轴线测设	247
12.3.1	工业厂房控制网的测设	247
12.3.2	柱列轴线的测设和柱基施工测量	248
12.3.3	工业厂房构件的安装测量	249
12.4	高层建筑施工测量	253
12.4.1	高层建筑物的轴线投测	253
12.4.2	高层建筑物的高程传递	255
12.5	烟囱、水塔施工测量	255
12.5.1	烟囱的定位、放线	256
12.5.2	烟囱基础的施工测量	256
12.5.3	烟囱的施工测量	256
12.6	大坝施工测量	257
12.6.1	坝轴线放样	257
12.6.2	坝体控制测量	258
12.6.3	清基范围的测定	259
12.6.4	坝体浇筑中的施工放样	260
12.7	管道工程测量	261

12.7.1	管道中线测量	261
12.7.2	管线纵、横断面测量	262
12.7.3	管线施工测量	263
12.7.4	顶管施工测量	263
12.7.5	管线竣工测量	265
12.8	竣工总平面图的编绘	265
12.8.1	竣工测量	265
12.8.2	竣工总平面图的编绘	266
	本章小结	267
	复习思考题	267
第十三章	变形监测	268
13.1	变形监测概述	268
13.1.1	变形监测的基本概念	268
13.1.2	变形监测的对象	268
13.1.3	变形监测特点	268
13.1.4	变形监测的主要内容	269
13.2	变形监测方案设计	269
13.2.1	基本技术要求	269
13.2.2	变形监测的等级和精度	270
13.2.3	变形监测网点	270
13.2.4	变形监测网的布设及精度要求	271
13.2.5	变形监测数据处理与变形分析	271
13.3	工程建筑物的变形监测	272
13.3.1	沉降观测	272
13.3.2	水平位移观测	276
13.3.3	倾斜观测	278
13.3.4	挠度观测	280
13.3.5	裂缝观测	280
	本章小结	281
	复习思考题	281
第十四章	全球卫星定位系统在土木工程中的应用	282
14.1	原理与方法	282
14.1.1	GPS 概述	282
14.1.2	GPS 定位原理	282
14.1.3	GPS 定位基本方法	283
14.2	GPS-RTK 在数字化测图中的应用	284

14.3	全球卫星定位系统在公路测量中的应用	289
14.3.1	GPS 在道路设计中应用	289
14.3.2	GPS 在道路放样中应用	291
14.4	全球卫星定位系统在变形监测中的应用	293
14.4.1	GPS 在变形监测中的特点	293
14.4.2	矿区边坡 GPS 变形监测	294
	本章小结	295
	复习思考题	295
	主要参考文献	297

第一章 绪 论

内容提要

本章对测量学课程研究的内容和测量学的分类进行一个全面、宏观的介绍；叙述测量工作的基本内容、基本方法以及测量工作的基本原则，对地球的形状和大小在宏观上加以阐述，并介绍测量工作中确定点位的空间位置的平面坐标系统和高程系统。

1.1 概 述

1.1.1 测绘学的研究内容及其分类

测量学是研究地球的形状和大小，以及确定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置的科学。测量学主要包括测定和测设两个方面。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算将地物及地貌的位置按一定比例尺、用规定的符号缩小并绘制成地形图，供科学研究和工程建设规划设计使用；测设（放样）是指用一定的测量方法，按要求的精度，将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

根据研究对象、采用技术手段和应用的不同，分为以下几个学科。

大地测量学：它是研究地球的形状、大小和重力场，测定地面点空间位置和地球整体和局部运动的理论和技术的学科。

普通测量学：它是研究地球表面局部区域形状、大小的测量理论、技术和方法的学科。

摄影测量学：它是利用摄影测量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。

地图制图学：研究地图制作的地图学基础理论、地图设计、地图编绘和复制的技术方法及应用的学科。

工程测量学：它是研究工程建设在勘测、设计、施工、竣工验收和运行管理中进行各种测量的理论、技术和方法的科学。由于对象不同，分为建筑工程测量、线路工程测量、桥隧测量和矿山测量等。

海洋测绘学：它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。

1.1.2 测绘学在国民经济建设中的作用

测量工作在国民经济建设、国防建设和科学研究等领域起到非常重要的作用。国民经济建设发展的总体规划、土地资源调查和利用、海洋开发、农林牧渔业的发展、工矿

企业的建设、公路和铁路的修建、各项水利工程的兴建、地下矿藏的勘探与开发、森林资源的调查和保护、地籍测量与土地利用和生态环境保护等都必须进行相应的测量工作；在国防建设中也起重要作用，如远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射等，要保证其精确发射至预定的位置或轨道，随时校正轨道和命中目标，除了测算出发射点和目标点的准确坐标、方位和距离外，还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关重力场资料；近年来，在地震预测、海底资源勘测、灾情监测、地壳运动、重力场的时空变化及其他科学研究中都广泛应用了测量技术。

1.1.3 本课程的学习任务

根据本专业的特点，结合我国国民经济的发展状况以及交通事业的发展现状，相关专业的学生学习完本课程后要达到：

(1) 熟练掌握测量学的基本理论和基本方法。

(2) 在熟练掌握常规测量仪器使用的基础上，能够了解当代新型仪器的测量原理，并能够正确使用各种先进仪器，如全站仪、GPS、RTK 等高端仪器。

(3) 能够利用不同的仪器进行小区域控制测量和大比例尺的地形测量。

(4) 能够识别各种图纸并能掌握工程施工的各种放样工作。

1.2 地球的形状和大小

地球表面是错综复杂的，有高山、平原和丘陵，有纵横交错的江河湖泊和浩瀚的海洋。其中海洋水面约占整个地球表面的 71%，而陆地仅占 29%。陆地最高的是珠穆朗玛峰，高出海水面 8844.43m，海洋中最深的是马里亚纳海沟，低于海水面 11 022m，但这样的高低差距相对于地球平均半径 6371km 是很微小的。由于地球的质量和自转运动，地球上任何一点都同时受到地心引力和地球自转运动的离心力影响，这两个力的合力称为地球重力，重力的方向线称为铅垂线。设想一个自由静止的海水面（只有重力作用，无潮汐、风浪影响），并延伸通过大陆、岛屿形成一个包围地球的封闭曲面，这个曲面就称为水准面。水准面是一个处处与重力线方向垂直的连续曲面。水准面有无数多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面；大地水准面包围的地球形体称为大地体。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。

地球内部质量分布不均匀，使铅垂线的方向产生不规则变化。因此，大地水准面是不规则的、很难用数学表达的复杂曲面。如果将地球表面的物体投影在这个复杂的曲面上，人们还是无法在这个曲面上直接进行测量的数据处理。为此，通常用一个非常接近大地体的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小（图 1.1）。旋转椭球体也称为参考椭球体，又称为地球椭球体，其表面称为参考椭球面；由地表任一点向参考椭球面所作的垂线称法线。法线和参考椭球面是测量计算的基准线和基准面。决定参考椭球面形状和大小的元素是椭球的长半轴 a 和短半轴 b ，根据 a 和 b 还定义了扁率 f ，第一偏心率 e ，第二偏心率 e' ：

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

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

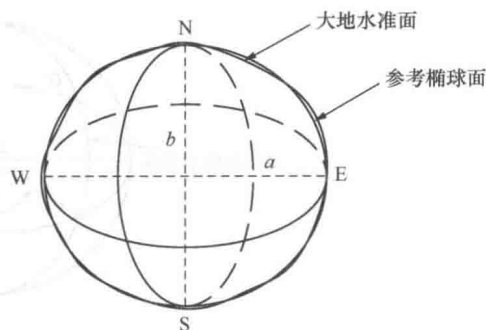


图 1.1 地球的形状

表 1.1 给出我国曾先后采用过的 1954 北京坐标系、1980 西安坐标系和 2000 国家大地坐标系及 GPS 测量采用的 WGS-84 坐标系的参考椭球元素值。

表 1.1 参考椭球元素值

坐标系名称	a/m	f	e^2	e'^2
1954 北京坐标系	6 378 245	1 : 298.3	0.006 693 421 622 966	0.006 738 525 414 683
1980 西安坐标系	6 378 140	1 : 298.257	0.006 694 384 999 59	0.006 739 501 819 47
2000 国家大地坐标系	6 378 137	1 : 298.257 223 563	0.006 694 679 990 13	0.006 739 496 742 23
WGS-84 坐标系	6 378 137	1 : 298.257 222 101	0.006 694 380 022 90	0.006 739 496 775 48

由于参考椭球的扁率很小，当测区范围不大时，可以将参考椭球近似看成半径为 6371km 的圆球。

1.3 地面点位的确定

1.3.1 测量坐标系

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。表示地面点的空间位置需要三个分量。测量工作中一般是用地面某点投影到参考曲线上的位置和该点到大地水准面间的铅垂距离来表示该点在地球上的位置，即地面点的坐标和高程。随着卫星大地测量学的发展，地面点的空间位置也采用空间直角坐标表示。

1. 大地坐标系

大地坐标系是表示地面点在参考椭球面上的位置，它的基准是法线和参考椭球面。大地坐标系如图 1.2 所示，表示为 $P(L, B, H_0)$ ： L 指 P 点的子午面和起始子午面（通过英国格林威治皇家天文台的子午面）所夹的两面角，叫 P 点的大地经度，由起始子午面起算，规定向东为正，称东经（ $0^\circ \sim 180^\circ$ ），向西为负，称西经（ $0^\circ \sim 180^\circ$ ）； B 指 P 点的法线与赤道面的夹角，称为 P 点的大地纬度，由赤道面起算，规定向北为正，称北纬（ $0^\circ \sim 90^\circ$ ），向南为负，称南纬（ $0^\circ \sim 90^\circ$ ）。如果 P 点不在椭球面上，还要附加另一参数——大地高 H_0 ，其定义为从观测点沿椭球法线方向至椭球面的距离。我国于 2008 年 7 月 1 日起正式启用 2000 国家大地坐标系。