

高等学校工程应用型土建类系列教材

土木工程测量

第二版

周秋生 郭明建 张为成 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

013067060

TU198

13-2

高等学校工程应用

土木工程测量

TUMU GONGCHENG CELIANG

第二版

周秋生 郭明建 张为成 主编



TU198
13-2



北航

C1674785



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

013087000

内容简介

本书是高等学校工程应用型土建类系列教材之一，在保持第一版教材特点的基础上，根据新的测绘技术、方法、设备和软件，参照新规范、新图式、新规定和新细则等修订而成。全书共 12 章，包括测量学的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、控制测量、全球导航卫星系统、大比例尺地形图测绘与应用、施工放样与施工控制网的布设、工业与民用建筑施工测量、线路工程及桥隧工程测量、工程建筑物的变形观测。

本书可作为高等学校土建类各专业的测量学教材，也可作为城市规划、建筑学等专业的教材或教学参考书，亦可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量 / 周秋生, 郭明建, 张为成主编. --
2 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2013. 8
ISBN 978 - 7 - 04 - 038039 - 2

I. ①土… II. ①周… ②郭… ③张… 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(2013)第 165145 号

策划编辑 葛心 责任编辑 水渊 封面设计 姜磊 版式设计 童丹
插图绘制 尹莉 责任校对 刘莉 责任印制 刘思涵

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	山东鸿杰印务集团有限公司		http://www.landraco.com.cn
开 本	787 mm × 960 mm 1/16	版 次	2004 年 7 月第 1 版
印 张	21		2013 年 8 月第 2 版
字 数	380 千字	印 次	2013 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	30.70 元
咨询电话	400 - 810 - 0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 38039 - 00

高等学校工程应用型土建类系列教材编委会名单

主任委员:

汤放华(湖南城市学院)

副主任委员(按姓氏笔画排序):

张建勋(福建工程学院)

周云(广州大学)

周先雁(中南林业科技大学)

唐勇(山东交通学院)

麻建锁(河北建筑工程学院)

黄双华(攀枝花学院)

武鹤(黑龙江工程学院)

委员(按姓氏笔画排序):

万德臣(山东交通学院)

郑毅(长春建筑学院)

马石城(湘潭大学)

王永春(青岛理工大学)

王用信(哈尔滨华德学院)

王振清(河南工业大学)

王新堂(宁波大学)

司马玉洲(南阳理工学院)

申向东(内蒙古农业大学)

白宝玉(长春建筑学院)

石启印(江苏大学)

刘海卿(辽宁工程技术大学)

刘锡军(湖南科技大学)

何培玲(南京工程学院)

余跃心(淮阴工学院)

张文福(大庆石油学院)
 张志国(内蒙古大学)
 张国栋(三峡大学)
 张季超(广州大学)
 张 奎(平顶山工学院)
 张新东(塔里木大学)
 李晓目(孝感学院)
 李 斌(内蒙古科技大学)
 李 毅(北华大学)
 杨伟军(长沙理工大学)
 汪仁和(安徽理工大学)
 沈小璞(安徽建筑工业学院)
 肖 鹏(扬州大学)
 陈 伟(攀枝花学院)
 陈伯望(湖南城市学院)
 姚金星(长江大学)
 荀 勇(盐城工学院)
 贺国京(中南林业科技大学)
 赵风华(常州工学院)
 赵永平(黑龙江工程学院)
 赵明耀(长春建筑学院)
 夏军武(中国矿业大学徐海学院)
 徐新生(济南大学)
 高福聚(中国石油大学)
 常伏德(长春建筑学院)
 董 黎(广州大学)
 窦立军(长春工程学院)
 蓝宗建(东南大学成贤学院)
 臧秀平(徐州工程学院)
 蔡雪峰(福建工程学院)
 谭宇胜(茂名学院)
 薛志成(黑龙江科技学院)
 薛 姝(湖南城市学院)

第二版前言

本书第一版自2004年出版以来,已被黑龙江工程学院、湖北工程学院等多所高等学校选定为土建类专业测量学教材。经近十年来的教学实践证明,该教材适应于土建类专业应用型人才的培养,取得了良好的效果。随着现代科学技术的发展,尤其是空间技术、信息技术和计算机技术的发展,测绘技术被赋予了新的内涵,涌现出许多新的测绘技术、方法、设备和软件,同时国家也出台了新规范、新图式、新规定和新细则。因此,我们在保持原教材特点的基础上,与时俱进、吐故纳新,对原教材作了如下修订:

1. 在第1章中,增加了测量常用坐标系统与坐标系统间坐标转换。
2. 在第2章中,增加了数字水准仪测量原理和观测方法。
3. 在第3章中,删除了光学经纬仪中单平板玻璃测微器的读数方法及垂球对中这两部分内容。
4. 在第4章中,删除了钢尺量距中成果计算内容,增加了免棱镜全站仪测距内容。
5. 在第6章中,删除了交会定点测量计算表格和测边交会方法,增加了全站仪操作和观测方法。
6. 将全球导航卫星系统列为第7章,并增加了北斗卫星系统的介绍。
7. 在第8章中,地图符号采用了最新国家地图图式,简化和删除了地形图分幅和编号中一些不常用的知识。在地形图测绘方法中删除了平板测图的内容,而在数字化测图方法中,则结合数字化测绘软件,详细介绍了野外数据采集及内业数字成图的过程。
8. 在第9章中,增加了全站仪坐标法放样。
9. 在第10章中,增加了激光铅垂仪轴线投测方法。
10. 在第11章中,增加了RTK技术在道路路设中的应用。
11. 在第12章中,增加了水平位移观测微分法前方交会、倾斜观测和裂缝观测。

本书由周秋生、郭明建、张为成主编,其中张为成编写了第1、6、7、8、9、10、11章,郭明建编写了第2、3、4章,周秋生编写了第5、12章。全书由周秋生统稿和定稿。

李金平、魏旭东、刘于和参加了本教材第一版的编写,虽然未参加第二版

的编写工作，但他们在第二版的编写过程中都给予了大力的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。本书承蒙清华大学刘钊教授审阅，他对本书提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中，参考了许多国内外有关教材和参考书，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，敬请读者批评指正。

编 者

2013年4月

第一版前言

本教材是教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一。为适应高等学校管理体制、高校扩大招生和 21 世纪科技高速发展，高等教育必须不断地进行改革，尤其是教学内容的改革和教材的建设。应用型本科院校的教学内容要不断地吐故纳新、理论联系实际，在深度和广度上适合应用型人才的培养。本教材正是以此为出发点，经过多次到施工单位调研，结合多年的教学实践经验，在原有测量学教材的基础上进行了较大的改革和调整。本教材在总体上适当降低了理论知识的深度，突出了工程应用的特色，删除了一些陈旧的内容，增加了现代测绘新技术和新仪器，调整了工程测量的内容，主要包括测量学的基本知识、测量仪器、测量方法、地形图的测绘和应用、线路(道路、桥梁、管线)工程测量、工业与民用建筑工程测量、工程建筑物的变形观测等。

本书由黑龙江工程学院周秋生、湖北孝感学院郭明建主编，其中李金平编写第 1、6、7 章，郭明建编写第 2、3、4 章，刘于和编写第 5、9 章，魏旭东编写第 8、10 章，周秋生编写第 11 章。全书由周秋生统稿。

本书承蒙黑志坚教授审阅，他对本书提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中，参考了许多国内外有关教材和参考书，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，敬请读者批评指正。

编者

2004 年 5 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 测量学的基本知识	1
1.1 测绘学	1
1.2 地球的形状及地面点位的 确定	3
1.3 测量常用坐标系与坐标系 间坐标转换	6
1.4 用水平面代替水准面的 限度	13
1.5 测量工作概述	15
思考题与习题 1	18
第 2 章 水准测量	19
2.1 水准测量原理	19
2.2 水准测量仪器、工具及 使用	20
2.3 普通水准测量	29
2.4 水准测量的误差来源及 注意事项	36
2.5 水准仪的检验与校正	38
2.6 精密水准仪和水准尺	41
2.7 数字水准仪	44
思考题与习题 2	52
第 3 章 角度测量	54
3.1 角测量原理	54
3.2 光学经纬仪	55
3.3 水平角测量方法	61
3.4 竖直角测量方法	64
3.5 水平角测量的误差来源及 注意事项	68
3.6 经纬仪的检验与校正	70

3.7 电子经纬仪测角原理	75
思考题与习题 3	77
第 4 章 距离测量与直线定向	79
4.1 钢尺量距	79
4.2 视距测量	83
4.3 光电测距原理	86
4.4 直线定向	90
思考题与习题 4	92
第 5 章 测量误差的基本知识	94
5.1 测量误差概述	94
5.2 衡量观测值精度的标准	98
5.3 误差传播定律	101
5.4 等精度直接观测平差	104
5.5 不等精度直接观测平差	107
思考题与习题 5	111
第 6 章 控制测量	113
6.1 控制测量概述	113
6.2 导线测量	117
6.3 交会定点测量	126
6.4 高程控制测量	130
6.5 全站仪	136
思考题与习题 6	144
第 7 章 全球导航卫星系统	147
7.1 卫星定位系统的组成	148
7.2 GNSS 卫星定位的基本 原理和方法	149
7.3 GNSS 卫星信号	150
7.4 GNSS 接收机及其工作 原理	151

7.5 GNSS 测量设计与实施	152	第 11 章 线路工程及桥隧工程	
思考题与习题 7	155	测量	254
第 8 章 大比例尺地形图测绘与		11.1 概述	254
应用	156	11.2 道路中线测量	256
8.1 地形图的基本知识	156	11.3 圆曲线的测设	263
8.2 地形图的分幅和编号	166	11.4 全站仪在道路测设中的	
8.3 大比例尺地形图测绘		应用	271
方法	170	11.5 RTK 在道路测设中的	
8.4 数字化测图方法	174	应用	273
8.5 地形图的拼接、检查和		11.6 线路纵横断面测量	276
整饰	191	11.7 道路施工测量	284
8.6 地形图的应用	192	11.8 管道施工测量	288
思考题与习题 8	206	11.9 隧道施工测量	290
第 9 章 施工放样与施工控制网的		11.10 桥梁施工测量	297
布设	209	思考题与习题 11	302
9.1 施工放样概述	209	第 12 章 工程建筑物的变形	
9.2 角度与长度放样	210	观测	304
9.3 平面位置放样	212	12.1 概述	304
9.4 高程放样	219	12.2 变形观测的特点	305
9.5 建筑工程施工控制网的		12.3 变形观测的精度和	
布设	222	频率	306
思考题与习题 9	229	12.4 沉降观测	309
第 10 章 工业与民用建筑施工		12.5 水平位移观测	312
测量	230	12.6 倾斜观测	316
10.1 概述	230	12.7 裂缝观测	318
10.2 民用建筑施工测量	231	12.8 变形观测资料的整编	319
10.3 高层建筑施工测量	241	思考题与习题 12	321
10.4 工业建筑施工测量	245	参考文献	322
思考题与习题 10	253		

第 1 章

测量学的基本知识

1.1 测 绘 学

1.1.1 测绘学研究的对象和内容

测绘学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和人造物体的有关空间信息。它研究的内容是测定空间点的几何位置、地球的形状、地球重力场及地球表面自然形态和人工设施的几何分布,研究采集和处理地球表面各种形态及其变化信息并绘制成图的理论、技术和方法及各种工程建设中的测量工作的理论、技术和方法。

1.1.2 测绘学的分类

1. 大地测量学

大地测量学是研究在广大区域建立国家和全球三维大地控制网并考虑网中点位随时间变化,确定地球的形状及其大小,测定地球重力场及其随时间变化,测定和表达各种地球动力现象等方面的理论、方法和技术的学科。

大地测量学从学科内容上分为几何大地测量学、物理大地测量学、空间大地测量学。几何大地测量学亦即天文大地测量学,是以一个与地球外形最为接近的几何体(旋转椭球)代表地球的形状,采用天文测量方法测定地球的形状和大小。物理大地测量学也有称为理论大地测量学,是研究用物理方法(重力测量)测定地球的形状及其外部重力场的学科。空间大地测量学主要是研究利用人造地球卫星及其他空间探测器来进行地面点的定位及测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科。由于空间科学、电子和计算机科学的发展,大地测量发生了重大变革,其重要标志是空间大地测量的崛起,形成了现代大地测量。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是对地球表面和物体的摄影像片或辐射能图像信息进行处理、量测、判释和研究,以测得地面与物体的形态、大小和位置的模拟形式的图形或数学形式的信息成果,以及研究关于环境可靠性信息等方面的理论、方法和技术的学科。

以前摄影测量主要测制各种比例尺的线划地形图,目前摄影测量是进行城市大比例尺地形图、地籍图测绘与更新及大型工程勘察的重要手段和方法,它可以提供数字的、影像的、线划的等各种形式的地图成果。近年来,由于全数字摄影测量工作站的广泛应用,为摄影测量技术应用提供了崭新的技术手段和方法。随着全数字摄影测量系统的发展,摄影测量的产品将从影像图、线划图向数字化系列产品——4D产品转化,即DEM——数字高程模型、DOM——数字正射摄影图、DLG——数字线划图、DRG——数字栅格图。由于GPS(Global Positioning System,全球定位系统)测量技术在摄影测量中的应用,大大减少野外控制点的连测,提高效率和效益,开创了摄影测量向自动化、数字化方向的迈进。

热红外成像技术和微波遥感技术是两类遥感技术。热红外成像技术是利用地面目标的热辐射信息来成像的,可日夜获得目标的数据。微波遥感技术是靠地面目标反射从雷达发射来的电磁波成像的。

随着传感器技术、航空和航天平台技术和数据通信技术的发展,现代遥感技术已经进入一个能够动态、快速、准确、多手段提供多种对地观测数据的新阶段。

3. 工程测量学

工程测量学是研究各种工程建设在规划、勘察设计、施工建设及运营管理各个阶段中各项测量工作的理论、方法和技术的学科。

随着测绘技术的飞速发展,工程测量的技术面貌发生了深刻的变化,取得了很大发展。其原因:一是科学技术的新成就,即计算机技术、微电子技术、激光技术、空间技术等新技术的发展和运用,以及测绘技术本身的进步;二是各种大型建筑物和构筑物的建设工程、特种精密建设工程等不断增加,对工程测量不断提出新任务、新课题和新要求。

4. 地图制图学

地图制图学已发展为地图制图学与地理信息工程(或地图学与地理信息系统),是研究用空间图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化,并对空间地理环境进行获取、智能抽象、存储、管理、分析加工、可视化和应用的一门科学与技术。信息时代地图

制图学功能的延伸和扩展形成了地理信息系统(GIS, Geographic Information System)。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是研究测量海岸、水面及海底自然与人工形态及其变化状况,以及编制各种海图的理论、方法和技术的学科。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集的编制等。

1.1.3 土木工程测量学及其在土木工程中的作用

土木工程测量学是研究土木工程建设的勘察设计、施工建设及运营管理阶段中各项测量工作的理论、方法和技术的学科。其主要任务有测图、用图、放样和变形观测等。土木工程测量在道路、桥梁、隧道、城市规划、工业与民用建筑、环境工程、给排水等土木工程类各专业的在工作中具有重要作用。在勘测设计各个阶段,应在测区范围内测绘大比例尺地形图或电子地图,然后在地形图上进行工程规划、选址和设计。在施工阶段,要进行施工测量,将设计的建(构)筑物的空间位置测设于实地,以此进行施工;施工的同时依据建(构)筑物的要求开始进行变形观测,为保护建筑物提供资料。施工结束后,应进行竣工测量,为今后的扩建、改建、修建提供依据。在建(构)筑物使用和工程的运营阶段,对大型或重要建(构)筑物还要进行变形观测和安全监测,为安全运营和生产提供资料。由此可见,土木工程测量贯穿于土木工程建设的始终,对土木工程建设的非常重要。

1.2 地球的形状及地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量学的主要研究对象是地球的自然表面,而地球的自然表面是极不规则的,分布着高山、丘陵、平原、河流、湖泊和海洋,有高达 8 844.43 m 的世界第一高峰珠穆朗玛峰,有深达 11 034 m 的马里亚纳海沟,二者的高度差接近 20 000 m。这样大的高低起伏,相对于半径约为 6 371 km 的庞大地球来说仍可忽略不计。地球的自然表面是高低起伏、复杂的不规则表面,不能用数学公式概括和表达。地球的自然表面大部分是海洋,占地球表面积 70.8%,陆地占 29.2%,因此人们设想,将静止海水面向陆地延伸而形成一個闭合的曲面来代替地球表面。

地球上的每一个质点都受两个力的作用，其一是地球自转产生的离心力，其二是地球引力，这两个力的合力称为重力。重力的作用线又称铅垂线，铅垂线是测量工作的基准线。

静止的水面称为水准面。水准面上的点处处与点的铅垂线垂直。海水水位是动态的，水准面有无穷多个，并且互不相交。在测量工作中，把通过平均海水面并向陆地延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。大地水准面是测量工作的基准面。

由于地球内部质量分布不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化，因而大地水准面实际上是一个表面有微小起伏的不规则曲面，无法用数学公式精确表达(图1-1)，在这个曲面上不能进行测量数据的处理，为此必须选择一个与大地体非常接近的数学球体代替大地体。

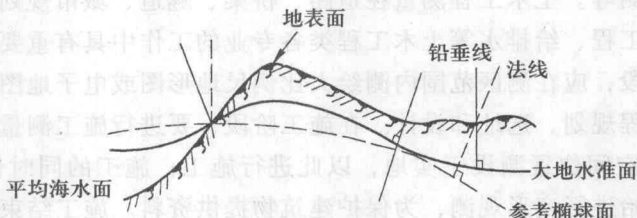


图1-1 大地水准面

长期的测量实践表明，地球的形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球，即一个椭圆绕其短半轴旋转而形成的形体。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球；把与某个地区大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球，其椭球面称为参考椭球面。椭球面可以用较简单的数学公式准确表达。由此可见，总地球椭球只有一个，参考椭球有许多个。

椭球的形状和大小是由其长半轴 a 、扁率 α 决定的。其中 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ ，式中 b 为短半轴。目前我国采用的椭球元素： $a = 6\,378\,137\text{ m}$ ， $\alpha = 1/298.257$ 。由于参考椭球的扁率很小，在小区域测量中，可以近似地将地球作为一个圆球，其半径为 $6\,371\text{ km}$ 。

根据一定的条件，确定参考椭球面与大地水准面的相对位置所进行的测量工作，称为参考椭球体定位。参考椭球体定位的方法可分为两种：一点定位和多点定位。其中最简单的方法是一点定位，在地面上选 P 点，将 P 点沿铅垂线投影到大地水准面 P' 点，使参考椭球在 P' 点与大地体相切，如图1-2所示，这样过 P' 点的法线与铅垂线重合，并使椭球的短轴与地球的自转轴平行，

且椭球面与大地水准面差距尽量小,从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系。这里, P 点称为大地原点。

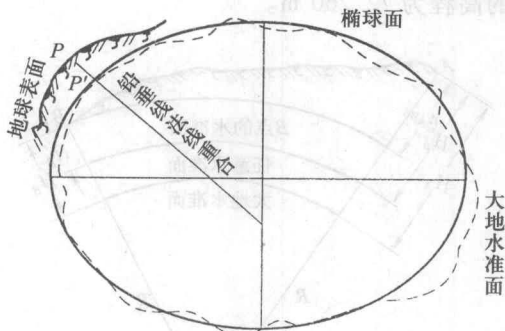


图 1-2 参考椭球体的定位

1.2.2 地面点位的确定

在测量工作中,地面点的空间位置用三个量来确定。其中两个量是地面点沿投影线(或法线)在投影面(大地水准面、椭球面或平面)上的坐标;第三个量是地面点沿投影线到基准面的距离(高程)。它们分别从属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和高程系统,即地面点的空间位置是用一个二维坐标系与一个一维坐标系的组合来表示。

1.2.3 地面点的高程

某地面点沿该点铅垂线方向到大地水准面的距离,称为该地面点的绝对高程或海拔,简称高程,以 H 表示。某地面点沿该点铅垂线方向到任一水准面的距离,称为该地面点的相对高程,用 H' 表示。地面上两点的高程之差称为高差,以 h 表示,如图 1-3 所示,即

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

在测量工作中,通常采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面,平均海水面的确定是通过验潮站多年验潮资料求定的。我国确定平均海水面的验潮站设在青岛,为维护平均海水面的高程进而设立与验潮站相联系的水准点作为高程起算点,这个水准点称为水准原点。我国水准原点设在青岛市观象山上,全国各等级的水准点的高程都是以青岛的水准原点为依据引测得到的。根据青岛验潮站 1950—1956 年共计 7 年的验潮资料求定的黄海平均海水面作为高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”,水准原点的高程为 72.289 m。由

于海洋潮汐长期变化的周期为 18.6 年, 采用 1952—1979 年的观测资料确定新的黄海平均海水面作为高程起算面的高程系统, 称为“1985 国家高程基准”, 依此推算水准原点的高程为 72.260 m。

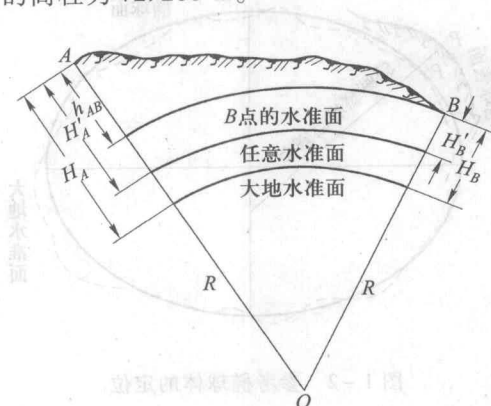


图 1-3 高程系统

1.3 测量常用坐标系与坐标系间坐标转换

测量上常用的坐标系有大地坐标系、高斯平面直角坐标系、独立平面直角坐标系、空间直角坐标系等。

1.3.1 大地坐标系

地面点(如 P)在参考椭球面上的位置, 可用大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 表示。大地坐标是以参考椭球面作为基准面, 以起始子午面(通过格林尼治天文台的子午面)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。

(1) 过地面某点的子午面与起始子午面的夹角, 称为该点的大地经度, 用 L 表示。规定以起始子午面起算, 向东由 0° 至 180° 称为东经; 向西由 0° 至 180° 称为西经, 如图 1-4 所示。过地面某点的椭球面法线与赤道面的夹角, 称为该点的大地纬度, 用 B 表示。规定以赤道面起算, 由赤道面向北从 0° 至 90° 称为北纬; 向南从 0° 至 90° 称为南纬。 P 点沿椭球面法线到椭球面的距离 H , 称为大地高, 从椭球面起算, 向外为正, 向内为负。

目前我国常用的大地坐标系有:

(1) 1954 年北京坐标系