

高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

建筑测量学

邹积亭 主编



中国建筑工业出版社

高等学校规划教材

建筑测量学

邹积亭 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑测量学/邹积亭主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-10999-9

I. 建… II. 邹… III. 建筑测量-高等学校-教材
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 082993 号

本书是为建筑类高等院校讲授《工程测量》这门课程而编写的, 其内容是根据城市规划专业、土木工程专业、交通工程专业、给水排水工程专业、环境工程专业、工程管理专业和成人教育相关专业等《工程测量》课的教学大纲编写完成的, 同时考虑到自学和授课的需要, 每章之后附有一定数量的思考题与习题。

全书共十五章。第一章至第六章主要讲述测绘工程的基本概念和基本知识以及工程上常用的仪器和现代高端仪器, 特别是对能够直接得到点位三维坐标的全站仪、全球卫星导航定位系统和三维激光扫描仪作了较为全面的介绍。同时还介绍了测量误差理论和观测数据处理的基本知识。第七章至第十章主要讲述小地区的控制测量、地形图测绘及地形图应用的各种方法和测设的基本工作。第十一章至第十四章主要针对不同专业讲述了测绘工程在各自专业中的应用, 并对移动道路测量系统进行了介绍。第十五章主要介绍了建(构)筑物变形监测的基本理论和监测方法。

本书作为建筑类高等院校《工程测量》及相关课程的教材, 适用于城市规划、土木工程、交通土建工程、道路与桥梁工程、给水排水工程、环境工程、工程管理及其成人教育等相关专业, 也可作为高等教育自学及有关工程技术人员参考书。

* * *

责任编辑: 王 跃 牛 松

责任设计: 张政纲

责任校对: 王金珠 孟 楠

高等学校规划教材

建筑测量学

邹积亭 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 438 千字

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-10999-9

(18246)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

现代科学技术的发展,使测量技术手段由传统的水准仪、经纬仪、钢尺等发展为激光测量、自动测量和卫星测量,对大地测量学、工程测量学和普通测量学等理论和方法产生了革命性影响。全站仪、激光三维扫描仪、全球卫星导航定位系统和移动道路测量系统等新仪器、新技术的不断涌现,使得测绘工作更加快捷和方便。建立经济实用的连续运行卫星定位综合服务系统(CORS),是现代全球卫星定位测量技术发展热点之一。

本教材为适用于建筑类高等院校城市规划、土木工程、交通工程、道路与桥梁工程、给水排水工程、环境工程、工程管理和成人教育相关专业的教学而编写,也可作为高等教育自学考试及相关工程技术人员参考书。全书共十五章。第一章至第六章主要讲述测绘工程的基本概念和基本知识以及工程上常用的仪器和现代高端仪器,特别是对能够直接得到点位三维坐标的全站仪、全球卫星导航定位系统和三维激光扫描仪作了较为全面的介绍。同时还介绍了测量误差理论和观测数据处理的基本知识。第七章至第十章主要讲述小地区的控制测量、地形图测绘及地形图应用的各种方法和测设的基本工作。第十一章至第十四章主要针对不同专业讲述了测绘工程在各自专业中的应用,并对移动道路测量系统进行了介绍。第十五章主要介绍了建(构)筑物变形监测的基本理论和监测方法。

为了便于教学我们配有相关电子教案,免费为读者提供。在教学中各专业可以根据需要和要求,有选择地讲解各章节内容,附录提供了北京建筑工程学院《工程测量》课程48学时的教学日历供授课教师参考。北京建筑工程学院有70多年的办学历史,1977年恢复高考时,学院就有“测绘工程”本科专业,是当时有“测绘工程”本科专业为数不多的院校之一。30多年来,“测绘工程”专业建设得到了突飞猛进的发展,2007年“测绘工程”专业被评为北京市品牌专业。《工程测量》是针对非测绘专业学生开设的一门专业基础课程,在“测绘工程”专业背景的支撑下,《工程测量》课程得到了很好的建设和发展,2006年《工程测量》课程被评为北京市精品课程。

本书由北京建筑工程学院测绘学院的部分教师共同承担。邹积亭担任主编,组织和负责全书的编写工作。第一章由赵西安编写,第二、十、十一和十三章由陈秀忠编写,第三章由朱凌编写,第四、五(1)、八和九章由周乐皆编写,第五(2)、十二和十五章由邹积亭编写,第五(3)章由张瑞菊编写,第六、七章由陆立编写,第十四章由丁克良编写。全书由邹积亭统稿并得到严莘稼的执笔修改,书中还借鉴了大量相关有关书籍和文章(见书后参考文献),同时在编写过程中还得到了朱光教授、刘旭春博士的指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正,以便再版时修订。

编 者

2009年3月

尊敬的读者：

感谢您选购我社图书！建工版图书按图书销售分类在卖场上架，共设22个一级分类及43个二级分类，根据图书销售分类选购建筑类图书会节省您的大量时间。现将建工版图书销售分类及与我社联系方式介绍给您，欢迎随时与我们联系。

★建工版图书销售分类表（详见下表）。

★欢迎登陆中国建筑工业出版社网站www.cabp.com.cn，本网站为您提供建工版图书信息查询，网上留言、购书服务，并邀请您加入网上读者俱乐部。

★中国建筑工业出版社总编室 电 话：010—58934845

传 真：010—68321361

★中国建筑工业出版社发行部 电 话：010—58933865

传 真：010—68325420

E-mail: hbw@cabp.com.cn

建工版图书销售分类表

一级分类名称（代码）	二级分类名称（代码）	一级分类名称（代码）	二级分类名称（代码）
建筑学 （A）	建筑历史与理论（A10）	园林景观 （G）	园林史与园林景观理论（G10）
	建筑设计（A20）		园林景观规划与设计（G20）
	建筑技术（A30）		环境艺术设计（G30）
	建筑表现·建筑制图（A40）		园林景观施工（G40）
	建筑艺术（A50）		园林植物与应用（G50）
建筑设备·建筑材料 （F）	暖通空调（F10）	城乡建设·市政工程· 环境工程 （B）	城镇与乡（村）建设（B10）
	建筑给水排水（F20）		道路桥梁工程（B20）
	建筑电气与建筑智能化技术（F30）		市政给水排水工程（B30）
	建筑节能·建筑防火（F40）		市政供热、供燃气工程（B40）
	建筑材料（F50）		环境工程（B50）
城市规划·城市设计 （P）	城市史与城市规划理论（P10）	建筑结构与岩土工程 （S）	建筑结构（S10）
	城市规划与城市设计（P20）		岩土工程（S20）
室内设计·装饰装修 （D）	室内设计与表现（D10）	建筑施工·设备安装技 术（C）	施工技术（C10）
	家具与装饰（D20）		设备安装技术（C20）
	装修材料与施工（D30）		工程质量与安全（C30）
建筑工程经济与管理 （M）	施工管理（M10）	房地产开发管理（E）	房地产开发与经营（E10）
	工程管理（M20）		物业管理（E20）
	工程监理（M30）	辞典·连续出版物 （Z）	辞典（Z10）
	工程经济与造价（M40）		连续出版物（Z20）
艺术·设计 （K）	艺术（K10）	旅游·其他 （Q）	旅游（Q10）
	工业设计（K20）		其他（Q20）
	平面设计（K30）	土木建筑计算机应用系列（J）	
执业资格考试用书（R）		法律法规与标准规范单行本（T）	
高校教材（V）		法律法规与标准规范汇编/大全（U）	
高职高专教材（X）		培训教材（Y）	
中职中专教材（W）		电子出版物（H）	

注：建工版图书销售分类已标注于图书封底。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测绘学与测绘学科	1
第二节 测绘学的发展概况	2
第三节 地面点位的确定	4
第四节 水平面代替水准面的限度	9
第五节 建筑测量概述	10
第二章 水准测量	12
第一节 水准测量原理	12
第二节 水准测量的仪器和工具	13
第三节 水准仪的使用	16
第四节 水准测量的方法	17
第五节 水准仪的检验与校正	22
第六节 水准测量误差与注意事项	25
第七节 自动安平水准仪和数字水准仪	26
第三章 角度测量	30
第一节 水平角测量原理	30
第二节 光学经纬仪及其操作	31
第三节 水平角测量	36
第四节 竖直角测量	38
第五节 电子经纬仪	41
第六节 光学经纬仪的检验和校正	43
第七节 角度测量误差及注意事项	47
第四章 距离测量与直线定向	50
第一节 钢尺量距	50
第二节 视距测量	54
第三节 电磁波测距	56
第四节 直线定向	62
第五章 直接得到点位坐标的仪器和方法	66
第一节 全站仪及其使用	66
第二节 全球卫星导航定位测量基础	82
第三节 三维激光扫描测量技术	94

第六章 测量误差的基本知识	105
第一节 测量误差概述	105
第二节 偶然误差的统计规律性	107
第三节 衡量观测值精度的指标	108
第四节 误差传播定律	111
第五节 等精度观测值的最或然值和精度评定	113
第六节 非等精度观测值的最或然值和精度评定	115
第七章 小地区控制测量	120
第一节 控制测量概述	120
第二节 导线测量	122
第三节 三、四等水准测量	127
第四节 三角高程测量	130
第八章 大比例尺地形图测绘	133
第一节 地形图的比例尺	134
第二节 大比例尺地形图图式	136
第三节 地貌的表示方法	141
第四节 碎部点平面位置的测量方法	145
第五节 大比例尺地面模拟法测图	148
第六节 大比例尺地面数字测图	155
第九章 地形图应用	167
第一节 地形图的识读	167
第二节 地形图的基本应用	173
第三节 图形面积的量算	175
第四节 工程建设中的地形图应用	178
第五节 数字地形图的应用	180
第十章 测设的基本工作	188
第一节 水平距离、水平角和设计高程的测设	188
第二节 点的平面位置测设方法	190
第十一章 建筑施工测量	194
第一节 概述	194
第二节 建筑场地施工控制测量	195
第三节 民用建筑施工中的测量工作	198
第四节 工业建筑工程施工中的测量工作	201
第十二章 道路工程测量	205
第一节 概述	205
第二节 道路初测阶段的测量	205

第三节	路线中线测量	206
第四节	单圆曲线元素的计算和主点测设	209
第五节	单圆曲线的详细测设	211
第六节	其他圆曲线类型简介	214
第七节	缓和曲线的测设	215
第八节	高速公路线型简介	221
第九节	竖曲线	223
第十节	路线纵横断面测量	223
第十一节	道路施工测量	228
第十三章	管道工程测量	233
第一节	概述	233
第二节	管道工程中线测量	233
第三节	管道纵、横断面测量	235
第四节	管道工程施工测量	236
第十四章	测绘在城市规划管理中的应用	244
第一节	概述	244
第二节	城市规划测量是城市规划建设的保障	244
第三节	移动道路测图技术	246
第四节	GIS 在城市规划中应用	253
第五节	遥感技术	257
第十五章	建（构）筑物变形监测	260
第一节	概述	260
第二节	建（构）筑物的沉降监测	262
第三节	假设检验理论在沉降监测的应用	268
第四节	建（构）筑物的水平位移监测	276
第五节	建（构）筑物的倾斜监测与裂缝监测	277
主要参考文献		279

第一章 绪 论

第一节 测绘学与测绘学科

测绘学是研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状和大小、地球重力场，测量和描述地球表面自然形态和地物的几何分布，编制全球或局部地区各种比例尺的地图和专题图的理论与技术的学科。

测绘学根据其研究对象、要求和手段不同，已经形成了一些分支学科。

大地测量学是研究和测定地球形状、大小、地球重力场以及建立国家大地控制网。现代大地测量已经突破了经典大地测量的时空限制，进入以空间大地测量为主的新阶段，它将为人类提供高精度、高分辨率，实时、动态的定量空间信息，是研究地壳运动与变形、地球动力学、海平面变化、地质灾害预测等的重要手段之一。

全球卫星导航定位系统（Global Navigation Satellite System, GNSS），通过安置在地面（或车、机载平台）上的卫星信号接收机，接收来自太空的卫星发射回地球的导航电文。据此，可在很短时间内计算得到接收机天线中心的三维坐标。

地理信息系统（Geographic Information System, GIS）是利用计算机数据库技术将与地球有关的空间位置和属性特征（例如地面植被分布、地表水质量、地下矿藏储量等数据）存放在数据库中，在此基础上实现智能化应用。由于地理信息系统管理着丰富的与地球空间位置有关的地理、环境、资源、人文等属性数据，已经在包括建筑工程在内的众多领域得到了广泛应用。

摄影测量与遥感（Remote Sensing, RS）是通过航空、航天传感器获取被测物立体影像信息，经过影像匹配、特征提取和分析，得到被测物的位置、形状、大小及其他属性特征，进而生成各种比例尺地图、地形图和专题图；全数字摄影测量、机载实时测图、航空航天遥感影像信息融合、数据挖掘、图形和图像数据库、数字地面模型、数字表面模型和虚拟现实正在成为这门学科的关键技术。

工程测量学研究大型工程建设在勘测、规划、设计、施工和管理阶段的测量技术和方法。工程测量面向大型、特种工程建设。从电磁波测距、电子测角到全站仪以及测量机器人技术、卫星测量技术等都在大型工程施工与监测中得到大量应用。测量自动化、测量数据的三维可视化和激光技术等在大及特种工程中起着重要作用。

普通测量学是研究地球表面较小范围内大比例尺测量的基本技术、方法与应用的学科。大比例尺地形图的数字成图和可视化技术应用已经是地形测量学的主要技术手段。

建筑测量学属于普通测量学与工程测量学的范畴。在城乡建设应用中，建筑测量学的任务主要包括地形测绘、施工测设和变形监测三个方面内容。地形测绘是通过一定的测量

方法将地球表面的一定区域缩绘成图，满足国防和国家经济建设的需要。施工测设是将设计在图纸上的建（构）筑物位置标定到实地，作为建筑施工的依据。变形监测则是对各类建（构）筑物（例如高层建筑、大型水工构筑物、城市高架桥等）、山体、地壳等因各种荷载变化或外力作用后产生的变形进行实时测量。

建筑类专业的学生通过本课程的学习，要求掌握测绘学的基本知识和理论，掌握建筑工程中常用仪器的使用，了解大比例尺测图原理和方法，在工程施工方面，具有正确使用地形图和有关测绘成果的能力，具有进行一般施工测量的能力，了解建（构）筑物变形监测的原理和方法。

随着人类对于自己生存的地球认识的加深，将会越来越多地依赖测绘遥感信息技术。在工农业生产方面，从工程的勘测、规划、设计到施工组织、竣工验收、工程安全性监测等都要进行大量的测量工作。GNSS、GIS 技术还在大型水工构筑物变形监测与仿真研究中起着重要作用。在国防建设中，军事测绘、GNSS 实时定位技术正在成为大规模诸兵种协同作战的技术保障之一。GNSS、GIS、RS 与计算机虚拟现实技术结合使远距离精确制导武器的威力越来越大。在空间武器、人造卫星或航天器发射中，测绘学科除了提供精确的空间坐标外，还要提供有关的空间重力场资料。在科学研究方面，随着各类航天器的发射，特别是高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率遥感卫星的发展，使全球监测与预报研究在国民经济中的地位更加凸显。

上述有关测绘学科的各项高新技术，已在或正在建设领域各专业中得到广泛应用。在工程建设的规划设计阶段，各种比例尺地形图、数字地形图或有关 GIS 广泛应用于城镇规划设计、管理、道路选线以及总平面图设计和竖向设计等，以保障建设选址得当，规划布局科学合理；在施工阶段，特别是大型特大型工程的施工，GNSS 技术和测量机器人技术已经用于高精度建（构）筑物的施工测设，并实时对施工、安装工作进行检验校正，以保证施工符合设计要求；在工程管理方面，竣工测量资料是扩建、改建和管理维护必需的资料。对于大型或重要建（构）筑物要定期进行变形监测，以确保其安全可靠。

第二节 测绘学的发展概况

由于政治、经济和科学文化发展的需要，测绘学科在人类历史进程中很早就产生了。根据史料记载，由于历史上古埃及尼罗河年年洪水泛滥后，需要重新划定土地界线，开始有了测量工作。公元前 6 世纪希腊哲学家毕达哥拉斯提出地球为圆球形的学说，公元前 3 世纪希腊天文学家埃拉托色尼初步测定地球为圆球形，亚历山大的埃拉托斯特尼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。公元 15 世纪，物理学家牛顿根据力学原理，提出地球是两极略扁的椭球体学说。荷兰的斯涅耳采用三角测量法进行弧度测量，克服了在地面上直接量测弧长的困难。同期，法国学者在南美洲和北欧进行的弧度测量证明了地球椭球理论。公元 16 世纪，法国 A. C. 克莱罗的《地球形状理论》，奠定了地球形状研究的物理方法。也是在 16 世纪，墨卡托创造了著名的地图制图方法，称为墨卡托投影。公元 18 世纪初，测定地面高低起伏形状的水准测量方法产生。公元 19 世纪德国

著名数学家、天文学家和测量学家高斯提出了横轴椭圆柱面投影学说（高斯投影），并创立最小二乘法，这些学说与方法至今仍是测量与地图学的基础。第一次世界大战期间，为了快速解决军事用图的需要，诞生了航空摄影测量。

测绘科学在我国的发展始于公元前 21 世纪。《史记·夏本纪》中著名的夏禹治水，就是使用简单测量工具测量距离和高低，“准、绳、规、矩”是指实际测量的工具。到春秋战国时期，测绘学科有了新的发展。其中《周髀算经》、《海岛算经》、《管子》（地图篇）、《孙子兵法》等有关论述，可以说明我国测绘学科在当时已经达到了相当高的水平。公元前 3 世纪，我们的祖先已利用磁石制成了世界最先进的指南工具“司南”。西晋裴秀（公元 224~271）在总结前人制图经验的基础上，编制了小比例尺地图制图法则，称为《制图六体》，是世界上最早的地图制图规范。魏晋的刘徽著“重差术”是世界上最早的地形测量规范。724 年中国唐代的张遂在今河南省的滑县至上蔡县，实测了约 300km 的子午弧长。在滑县、开封、扶沟、上蔡测量同一时刻的日影长度，推算纬度 1° 的子午弧长，这是世界上最早用子午线弧长测量方法测定地球形状与大小。到公元 11 世纪，我国已有四种指南针装置与制作方法。元代郭守敬（公元 1231~1316）拟定了全国纬度测量计划。清康熙四十七年至五十七年（公元 1684~1718）开展了大规模的经纬度测量和地形测绘，编制了著名的《皇舆全览图》，是中国历史上首次以实地测量结果绘制的地形图。

中华人民共和国成立后，我国测绘事业有了长足发展，已经在全国范围内建立了国家大地控制网、水准网、基本重力网和卫星多普勒网。应用全球卫星定位测量技术，北起大兴安岭，南至南沙群岛，西自塔克拉玛干沙漠，东到沿海地区大陆架，测定了 700 多个 GPS 卫星控制点，点位精度已经达到国际先进水平。完成了珠穆朗玛峰高程测量和南极长城站及中山站地形图测绘。在举世瞩目的长江三峡水利工程建设、北京正负电子对撞机安装中，测绘工作者都作出了卓越的贡献。

由于 GNSS 实时动态定位技术（RTK）要求测区附近控制点数据，实际测量应用中需要架设基准站，考虑到初始化时间与改正模型等方面因素，建立经济实用的连续运行卫星定位服务系统（CORS）是现代全球卫星定位测量技术发展热点之一。CORS 系统是将网络技术引入大地测量，连续运行参考站系统可以定义为一个或若干个固定的、连续运行的 GNSS 参考站，利用现代计算机、数据通信和互联网技术组成网络，实时地向不同类型、不同需求、不同层次的用户自动提供经过检验的不同类型的 GNSS 观测值（载波相位，伪距），各种改正数、状态信息，以及其他有关 GNSS 服务项目的系统。总之，随着现代科学技术的发展，测量手段正由传统的水准仪、经纬仪钢尺等发展为激光测量、自动测量和全球卫星定位测量，正在对大地测量学、工程测量学等的理论和方法产生革命性影响。

摄影测量由获取航空摄影照片的解析摄影测量发展为航空航天遥感传感器获取被测物的数字影像信息，通过影像立体匹配、影像解译来获取地面数字信息（包括数字高程模型、数字正射影像和数字地形图等）。航空激光扫描技术（Lidar）通过获取地球表面三维点云数据（地面离散点的三维坐标），基于点云数据自动分析和目标提取快速得到地面数字高程模型。遥感技术用于对地观测与全球变化研究，使人类对于自己生存的地球有了新的认识。差分干涉雷达成像技术（D-InSAR）的发展，正在为地震监测、城市大型工程安全运行以及快速生成数字地面模型提供又一高新技术手段和方法；地面激光三维扫描技术

通过直接获取被观测物体三维点云信息，研究古建筑保护、正射影像制作和古建筑变形分析等。意大利学者利用地面激光扫描获取 Nicolo 教堂三维点云，建立数字表面模型，与彩色强度影像配准后生成教堂的正射影像。其特点是该法可获取高密度、可重复使用的科学实验数据，通过与历史数据比较研究文化变迁。利用地面激光三维扫描仪在“故宫博物院古建筑修缮”中，对“太和殿”数据采集方法、三维建模及修缮过程变形监测做了大量实验，与彩色影像配准后生成“太和殿”的正射影像。同时，利用移动道路测量系统（基于车载立体视频、CCD 成像、惯性导航和 GNSS 定位等技术集成），进行城市道路和交通空间信息快速获取，在城市建设与管理中也得到了重要应用。地理信息系统用于政府管理决策、大型工程的仿真研究；网络地理信息系统与计算机虚拟现实技术结合，使城市规划研究正在发展成为规划专家、政府决策人员与普通市民共同参与的城市规划。

第三节 地面点位的确定

一、地球的形状与大小

地球的自然表面有高山、丘陵、平原、江、河、湖、海等，高低不平，也极不规则，如图 1-1 (a) 所示。最高的珠穆朗玛峰高出平均海水面 8844. 43m，最低的马里亚纳海沟在海平面以下 11022m。相对于地球形体（平均半径为 6371km）而言，这种自然表面的起伏变化还是很有限的。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

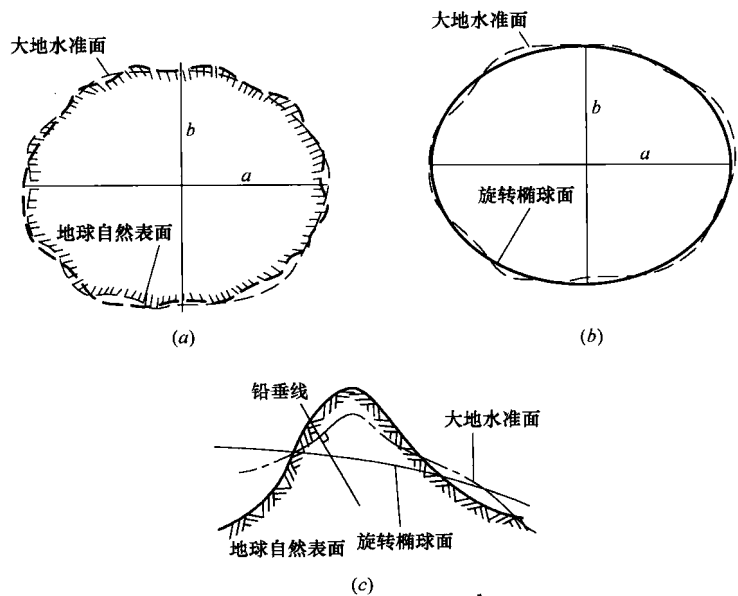


图 1-1 地球形状

(a) 地球自然表面与大地水准面；(b) 大地水准面与旋转椭球面；(c) 三者关系

线。地球表面 71% 是被海水所覆盖；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，重力线方向（铅垂线）是测量工作中的基准线。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。大地水准面是测量工作的基准面，大地水准面包围的地球形体称为大地体。

地球内部质量分布不均匀，使铅垂线方向随位置不同而变化 [图 1-1 (c)]。因此，大地水准面仍然是一个复杂的曲面，人们还是无法在这个曲面上直接进行测量数据处理。从地球动力学的角度看，地球是一个旋转的非均质流体，其平衡状态近似为旋转椭球体 [图 1-1 (b)]，大地测量也证明了地球是一个沿赤道稍稍膨起和两极略扁的椭球体。为此，通常用一个非常接近大地水准面的旋转椭球面代替地球表面。旋转椭球体的表面是一数学面，可以作为测量计算工作的基准面。其参数方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

式中 a ——椭球体的长半轴；

b ——其短半轴。

定义椭球体几何扁率 α 为

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

目前，我国采用的椭球参数为： $a=6378.137\text{km}$ ， $1/\alpha=298.257$ 。

经过椭球体定位，得到我国的大地坐标系，称为国家大地坐标系。我国大地坐标的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于旋转椭球体的扁率很小，当测区面积不太大时，可以把地球近似当作圆球看待，其平均半径为 6371km 。

二、确定地面点位的方法

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。众所周知，表示地面点的空间位置需要三个分量。测量工作中用该点投影到椭球面上或水平面上的位置和该点到大地水准面的铅垂距离表示，即地面点的坐标和高程。为了方便起见，通常分别用测量点在投影面上的坐标和到大地水准面的距离来表示。

1. 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程，或称海拔。如图 1-2 所示，地面上 A 、 B 两点沿铅垂线方向到大地水准面的距离为 H_A 和 H_B ，即绝对高程。由于海水面是一个随时间发生变化的动态曲面，为此，在我国青岛设立海水涨落观测站，称为验潮站，长期观测海水面的升降变化。同时，建立一个与验潮站相联系的水准基点，作为高程起算点，这个水准基点称为水准原点。我国采用的“1985 国家高程基准”，是根据青岛验潮站 1952~1979 年验潮资料等确定的我国黄海平均海水面起算的高程系统。依此推算出国家水准原点高程值为 72.260m 。

在局部地区或根据工程需要，也可以假设一个水准面作为高程起算面。如图 1-2 所示，地面点到该水准面的铅垂距离称为假定高程，或者叫做相对高程。地面点 A 的绝对高程为 H_A ，相对高程为 H'_A 。两个地面点间的高程之差称为高差。地面点 A 、 B 之间的

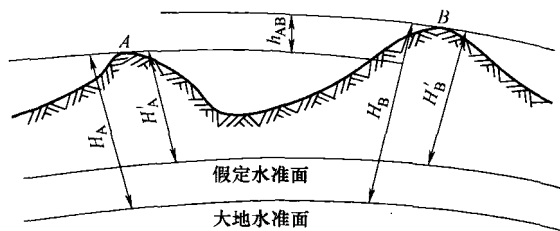


图 1-2 高程系统

高差可写为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由上式可知，两点间的高差与高程起算面无关。

2. 地面点在投影面上的坐标

(1) 大地坐标系

当研究整个地球或较大区域的测量工作时，考虑到地球曲率的影响，可建

立关于旋转椭球面的大地坐标系（或者建立相应大地直角坐标系）。用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置。如图 1-3 所示，以 O 为中心的旋转椭球体，其旋转轴与地球自转轴平行，其起始子午面 $NGDS$ 与英国格林尼治天文台平均子午面平行。起始子午面与旋转椭球体的截线称为首子午线。设地面一点在旋转椭球面上的投影为 P ，则该点的大地经度 L 就是过 P 点的子午面 $NPAS$ 与起始子午面 $NGDS$ 间所构成的二面角。该点的大地纬度为过 P 点的法线 PK 与赤道面的夹角。我国目前采用的是 1980 年国家大地坐标系。

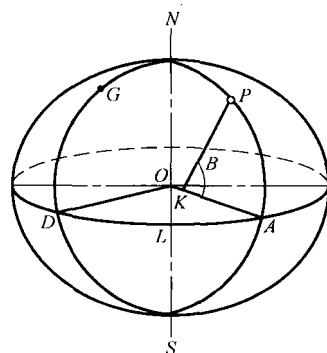


图 1-3 大地坐标系

(2) 高斯平面直角坐标系

大地坐标系用来确定地面点在旋转椭球面上的位置，而大比例尺地形图的测绘是相对于水平面而言，其测量计算也是在平面上进行。为此，有必要将旋转椭球面上的点位或图形投影到一平面直角坐标系，这种投影称为地图投影。地图投影的方法很多，我国采用的是高斯—克吕格投影方法（简称高斯投影）。

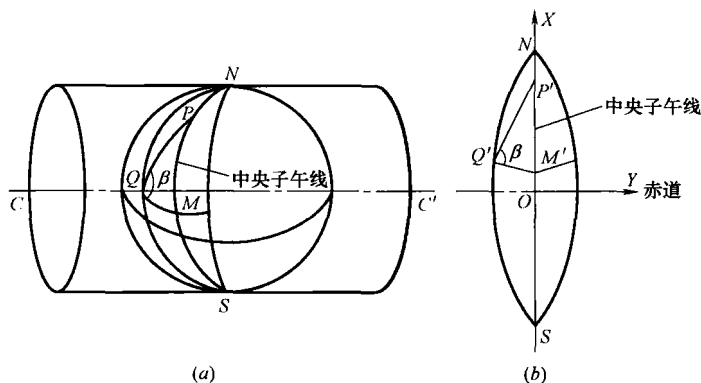


图 1-4 高斯—克吕格投影

(a) 高斯投影过程；(b) 投影带

如图 1-4 所示，高斯投影是设想用一个椭圆柱面横向与地球椭球面相套合，使椭圆柱面的中心轴线 CC' 通过地球椭球中心并与地球自转轴垂直。椭圆柱面与地球椭球上一子午线相切。在保证投影前后角度相等的条件下，将切线两侧一定经度差范围内地球椭球表面的点位投影到该椭圆柱面上，然后沿椭圆柱面上过南北极的母线剪开，将其展开成为平

面，即高斯投影平面。在高斯平面上原切线（即子午线）是一条直线且长度不变形，称该子午线为中央子午线。离开中央子午线越远，其长度投影变形越大。为了控制投影变形的程度，通常按经差 6°分带，即从地球椭球的首子午线（通过英国格林尼治天文台的首子午线）起，将旋转椭球按经差 6°由西向东划分为 60 个投影带：按每带进行投影，称为 6°投影带。用数字 1、2、3、……、60 表示投影带的号数。则第 1 带的范围自经度 0°到经度 6°，该投影带的中央子午线经度为 3°。

任意带的中央子午线经度 L_0 按下式计算：

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

其中 N 为 6°投影带的带号。

当测绘大比例尺地形图时，要求投影变形更小，则可将旋转椭球按经度差 3°，从东经 1°30'起，由西向东划分为 120 个带，称为 3°带，如图 1-5 所示。每带中央子午线的经度为

$$L'_0 = 3^\circ n \tag{1-4}$$

其中 n 为 3°带的号数。

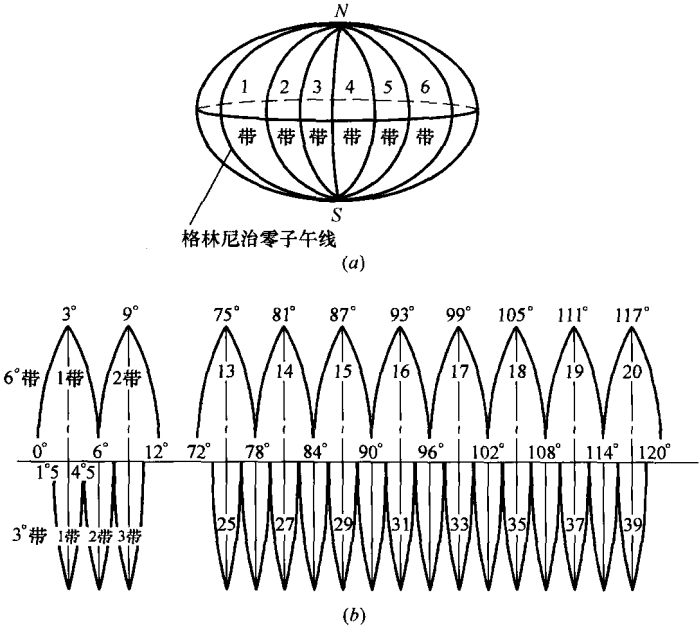


图 1-5 3°/6°分带方法

将各带独立的投影到高斯平面上，以本带中央子午线作为纵轴 X ；由于高斯平面上赤道的投影线是一条与中央子午线相垂直的直线，定义为横轴 Y 。两直线的交点为坐标原点 O ，由此建立各带独立的高斯平面直角坐标系。我国位于北半球， X 坐标总为正值，而 Y 坐标有正有负。为避免 Y 坐标出现负值，将各带坐标纵轴向西平移 500km。设 A 点 $x = 3380240.85\text{m}$ ， $y = -286250.36\text{m}$ ，则横坐标为 $y = (-286250.36) + 500000 = 213749.64\text{m}$ 。前者称为自然值，后者称为统一值。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值，也为了区分其所属投影带，规定在横坐标前冠以带号。例如， A 点位于第 18 带，则横坐标为 $y = 18213749.64\text{m}$ ，如图 1-6 所示。

(3) 独立平面直角坐标系

当测量区域较小时，可以把该区域内地球表面沿铅垂线方向投影到水平面上，用平面直角坐标来表示它的投影位置。为使测区内各点的坐标均为正值，规定以测区的西南角坐标为原点 O ，南北方向为纵轴（ X 轴），向北为正；以东西方向为横轴（ Y 轴），向东为正。这与数学上的规定有所不同，测量中取南北方向为纵轴，目的是为了定向方便。

为了使数学中有关三角函数公式可以直接应用到测量计算，在高斯平面直角坐标系和独立平面直角坐标系中将坐标系的象限定义为顺时针方向编号，如图 1-7 所示。

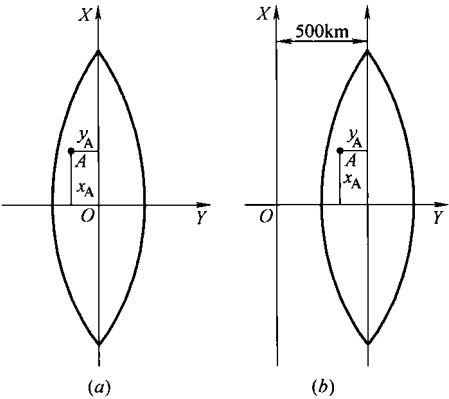


图 1-6 高斯平面直角坐标系
(a) 自然坐标；(b) 统一坐标

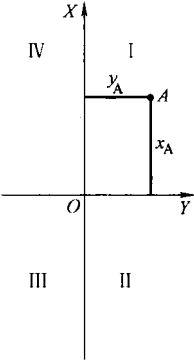


图 1-7 独立平面直角坐标系

3. 地面点的空间直角坐标

随着空间技术的发展，全球卫星测量应用领域非常广泛，特别是在大型建设工程中应用日益增多。全球卫星测量获得的是地心空间三维直角坐标，属于 WGS-84 世界大地坐标系（World Geodetic System, 1984），由美国国防部建立并公布。WGS-84 世界大地坐标系的几何定义是：原点在地球质心， Z 轴指向国际时间局 BIH 1984.0（Bureau International del' Heure）定义的协议地球极（CTP: Conventional Terrestrial Pole）方向， X 轴指向 BIH 1984.0 的零子午面和 CTP 赤道面的交点， Y 轴与 Z 、 X 轴构成右手坐标系，如图 1-8 所示。

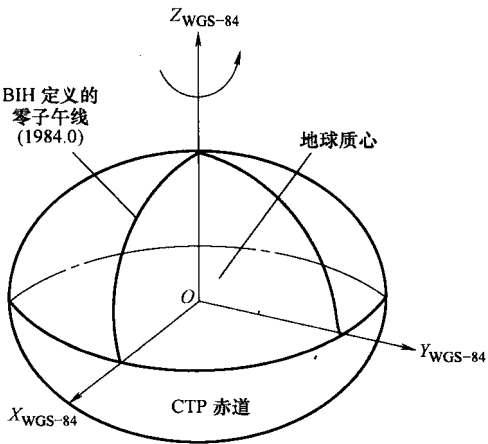


图 1-8 空间直角坐标系

由于地球自转轴在地球内部随着时间而发生位置变化，也称为极移现象。国际时间局（BIH）定期向外公布地极的瞬间位置。WGS-84 世界大地坐标系就是以国际时间局 1984 年首次公布的瞬时地极（BIH 1984.0）作为基准建立的坐标系统。

我国的 1980 年国家大地坐标系、城市坐标系以及大型建设中采用的独立平面直角坐标系与 WGS-84 世界大地坐标系之间存在相互转换关系。