

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



工程测量

党星海 郭宗河 郑加柱 主编
翟 翊 主审



人民交通出版社

China Communications Press

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

China Communications Press

内 容 提 要

本书是交通版高等院校土木工程类系列教材之一。全书共十七章,其中:第一章~第六章为测绘学的基本知识,包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、全站仪及其使用、误差理论的基本知识;第七章为小地区控制测量;第八章为全球定位系统(GPS);第九章~十一章为地形图的基本知识,包括大比例尺地形图的测绘、地形图的应用、数字测图原理与方法;第十二章~第十六章为施工测量,包括施工测量原理与方法、建筑工程测量、线路工程测量及桥梁、隧道施工测量、水利工程测量;第十七章为工程建筑物变形观测。附录为CASIO fx-4800P科学计算器的使用方法。

本书可作为普通高等学校土木类、建筑类、水利类、农林类各专业教材,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/党星海,郭宗河,郑加柱主编. —北京:
人民交通出版社, 2006.2
ISBN 7-114-05903-5

I.工... II.①党...②郭...③郑... 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(2006)第007785号

书 名: 工程测量

著 作 者: 党星海 郭宗河 郑加柱

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19.25

字 数: 483 千

版 次: 2006年1月 第1版

印 次: 2006年1月 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05903-5

印 数: 0001—3000册

定 价: 32.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

主任委员：阎兴华

副主任委员：张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘

宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员：彭大文 林继德 张俊平 刘春原

党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长：张征宇

随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平 and 质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材已陆续出版。

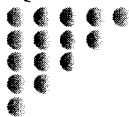
这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会

人民交通出版社

2005年8月



本书是按照高等学校土木类、建筑类、水利类、农林类“测量学”课程大纲的要求,在总结编者多年教学及工程实践经验的基础上编写的。本书适用于土木工程、工程管理、给排水、水利工程、建筑学、城市规划、环境工程、农业与林业等有关专业,也可作为其他相关专业教学用书,以及作为工程技术人员参考书。

当前测绘科技的发展日新月异,为顺应现代测绘技术的发展潮流,体现“厚基础、重能力、求创新”的人才培养思路,本书在精选传统经典测绘内容的基础上,充实了测绘科学的新技术和新方法,如数字测图原理与方法、卫星定位原理与方法、摄影测量与遥感、地理信息系统、自动化监测系统;以及新仪器设备,如电子水准仪、电子经纬仪、电磁波测距仪、全站仪、GPS等。一方面使学生了解测绘科学发展的前沿,同时根据各自专业的培养要求,将现代测绘科技与专业知识相结合,增强学生的工程实践能力,并拓展专业服务领域。

本书共分十七章,其中第一、七、九、十六章及附录由兰州理工大学党星海编写,第五、十一、十三、十七章由青岛理工大学郭宗河编写,第六、八、十四章由南京林业大学郑加柱编写,第二、四、十、十二章由兰州理工大学杨鹏源编写,第三章由河北建筑工程学院郝雯编写,第十五章由南阳理工学院马中军编写。全书由党星海统稿,赵健赞作了文字校核和修改工作。

信息工程大学测绘学院翟翊教授对本书进行了全面审查,提出了不少宝贵意见和建议,在此深表谢意。

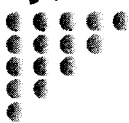
感谢人民交通出版社为本书出版付出的辛勤劳动。在本书编写过程中参考了有关标准、规范、教材和论著,谨向有关编者表示感谢。CASIO 公司欧阳鹏先生为本书的出版做了很多工作,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中可能存在不妥之处,恳请读者批评指正,并将意见和建议发至 dxh@lut.cn,以便编者修订完善。

编者

2005 年 10 月

目录 MU LU

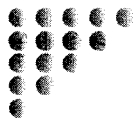


第一章 绪论	1
第一节 测绘学简介	1
第二节 地球的形状和大小	3
第三节 测量坐标系	5
第四节 用水平面代替水准面的限度	10
第五节 测量工作的组织实施	11
思考题与习题	13
第二章 水准测量	14
第一节 水准测量原理	14
第二节 水准测量仪器与工具	16
第三节 水准测量方法与成果计算	19
第四节 微倾式水准仪的检验与校正	26
第五节 水准测量误差分析	28
第六节 自动安平水准仪	30
第七节 精密水准仪	31
第八节 电子水准仪	33
思考题与习题	35
第三章 角度测量	37
第一节 角度测量原理	37
第二节 光学经纬仪	38
第三节 水平角测量	43
第四节 竖直角测量	47
第五节 经纬仪的检验与校正	49
第六节 角度测量误差分析	52
第七节 激光经纬仪与电子经纬仪	54
思考题与习题	56
第四章 距离测量与直线定向	58

第一节 钢尺量距	58
第二节 视距测量	62
第三节 电磁波测距	65
第四节 直线定向	73
思考题与习题	80
第五章 全站仪及其使用	81
第一节 全站仪概述	81
第二节 全站仪的操作使用	82
第三节 全站仪在工程测量中的应用	88
思考题与习题	90
第六章 误差理论的基本知识	91
第一节 测量误差概述	91
第二节 衡量精度的指标	94
第三节 误差传播定律	96
第四节 等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	98
第五节 不等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	100
思考题与习题	102
第七章 小地区控制测量	103
第一节 平面控制测量概述	103
第二节 导线测量	106
第三节 交会测量	112
第四节 高程控制测量	117
思考题与习题	124
第八章 全球定位系统	125
第一节 GPS 概述	125
第二节 GPS 的组成	126
第三节 GPS 定位的基本原理	129
第四节 GPS 测量实施	133
思考题与习题	135
第九章 大比例尺地形图测绘	136
第一节 地形图的比例尺	136
第二节 地形图图式	137
第三节 大比例尺地形图的分幅与编号	143
第四节 白纸测图前的准备工作	144
第五节 经纬仪测绘法	145

第六节 地形图的绘制、检查与整饰	148
第七节 摄影测量与遥感概述	151
第八节 地籍测绘简介	153
思考题与习题	157
第十章 地形图的应用	158
第一节 地形图的识读	158
第二节 地形图应用的基本内容	164
第三节 图形面积的量算	166
第四节 工程建设、规划及设计中的地形图应用	167
第五节 地理信息系统(GIS)概述	173
思考题与习题	178
第十一章 数字测图原理与方法	180
第一节 数字化测图概述	180
第二节 野外数据采集	183
第三节 机助制图基本原理	187
第四节 图形文件的生成和图形编辑	193
第五节 成果输出	199
思考题与习题	200
第十二章 施工测量原理与方法	201
第一节 施工测量概述	201
第二节 测设的基本工作	205
第三节 地面点平面位置的测设	208
思考题与习题	211
第十三章 建筑工程测量	212
第一节 建筑施工控制测量	212
第二节 建筑施工测量	214
第三节 竣工总平面图的编绘	217
第四节 工程测量监理概述	217
思考题与习题	219
第十四章 线路工程测量	220
第一节 线路工程测量概述	220
第二节 线路中线测量	220
第三节 圆曲线测设	225
第四节 缓和曲线及其测设	232
第五节 复曲线及缓和复曲线测设	236

第六节 曲线的特殊测设	241
第七节 路线纵横断面测量	245
第八节 路线施工测量	251
思考题与习题	255
第十五章 桥梁、隧道施工测量	257
第一节 桥梁施工测量	257
第二节 隧道施工测量	261
思考题与习题	265
第十六章 水利工程测量	266
第一节 概述	266
第二节 水工建筑物施工测设与安装测量	266
第三节 水工建筑物的安全监测	269
思考题与习题	272
第十七章 工程建筑物变形观测	273
第一节 概述	273
第二节 沉降观测	276
第三节 水平位移观测	279
第四节 建筑物的倾斜观测	280
第五节 裂缝观测	282
思考题与习题	283
附录 CASIO fx-4800P 可编程计算器的使用方法	284
参考文献	294



第一节 测绘学简介

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地球分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科。它是地球科学的一个分支学科。

一、测绘学发展历程

测绘学有悠久的历史。古埃及尼罗河洪水泛滥,水退之后重新划界,开始了测量工作。公元前 2 世纪我国司马迁在《史记·受本纪》中叙述了大禹受命治理洪水而进行测量工作的情况。从 16 世纪起,随着测量技术的发展,可以根据实地测量结果绘制国家规模的地形图,不仅有方位和比例尺,精度较高,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,并按不同用途,将实测地形图缩制编绘成各种比例尺的地图。到 20 世纪 60 年代出现了计算机辅助地图制图的方法,从此出现了数字地图和电子地图,制图的精度和速度都有很大的提高,并且在计算机软、硬件的支持下发展成为地理信息系统,形成地图制图与地理信息系统学科。

测绘学获取观测成果的工具是测量仪器,它的形成和发展在很大程度上依赖测绘方法和测绘仪器的创造和变革。17 世纪前使用简单的工具,如中国的绳尺、步弓、矩尺等,以量距为主。17 世纪初发明望远镜,1730 年英国西森制成测角用的第一台经纬仪,促进了三角测量的发展。随后陆续出现小平板仪和大平板仪及水准仪,用于野外直接测绘地形图。16 世纪中叶起为欧美两洲间的航海需要,许多国家相继研究海上测定经纬度,以定船位。直到 18 世纪时钟的发明,此问题得到圆满解决,从此开始了大地天文学的系统研究。随着测量仪器和方法不断改进,测量数据精度的提高,要求有精确的计算方法,1809 年法国的勒让德和德国的高斯分别提出了最小二乘准则,为测量平差奠定了基础。19 世纪 50 年代,法国的洛斯达首创摄影测量方法,到 20 世纪初形成地面立体摄影测量技术。1915 年制造出自动连续航空摄影机,可将航摄相片在立体测图仪上加工成地形图,因而形成了航空摄影测量方法。到 20 世纪 50 年代测绘仪器又朝着电子化和自动化的方向发展,1948 年发展起来电磁波测距仪,可精确测定远达几十公里的距离。与此同时电子计算机的出现,发展成有电子设备和计算机控制的测绘仪

器设备,使测绘工作更为简便、快速和精确。继而在 20 世纪 60 年代又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。自 1957 年原苏联第一颗人造卫星发射成功,使测绘工作出现了新的飞跃,发展了人造卫星的测绘工作。卫星定位技术和遥感技术在测绘学中得到广泛的应用,并形成空间大地测量和摄影测量与遥感学科。

二、测绘学的分支学科

测绘学是一级学科,下分大地测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋测绘学和地图制图学(地图学)几个分支学科。

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

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的学科。

地图制图学(地图学)是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法及应用的学科。它是用地图图形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。

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,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。

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行控制、地形测绘、施工放样和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。工程测量按工程建设的规划设计、施工建设和运营管理 3 个阶段分为“工程勘测”、“施工测量”和“变形监测”,这 3 个阶段对测绘工作有不同的要求,现简述如下。

(1) 工程建设规划设计阶段的测量工作。每项工程建设都必须按照自然条件和预期目的进行规划设计。在这个阶段中的测量工作,主要是提供各种比例尺的地形图,另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探以及水文测验等进行测量。对于重要的工程(例如某些大型特种工程)或在地质条件不良的地区(例如膨胀土地区)进行建设,则还要对地层的稳定性进行观测。

(2) 工程建设施工阶段的测量工作。每项工程建设的设计,经过讨论、审查和批准之后,即进入施工阶段。这时,首先要将所设计的工程建筑物,按照施工的要求在现场标定出来(即所谓定线放样),作为实地修建的依据。为此,要根据工地的地形、工程的性质以及施工的组织与计划等,建立不同形式的施工控制网,作为定线放样的基础。然后再按照施工的需要,采用各种不同的放样方法,将图纸上所设计的内容转移到实地。此外,还要进行施工质量控制,这里主要是指几何尺寸,例如高建筑物、构筑物的竖直度,地下工程的断面等。还有,为监测工程进度,测绘人员还要做土方工程量测量。有时还要进行一些竣工测量、变形观测,以及设备的安装测量。

(3) 工程建设运营管理阶段的测量工作。在工程建筑物运营期间,为了监视其安全和稳定的情况,了解其设计是否合理,验证设计理论是否正确,需要定期地对其位移、沉陷、倾斜以及摆动等进行观测。这些工作,就是通常所说的变形观测。对于大型的工业设备,还要进行经常性的检测和调校,以保证其按设计安全运行。另外为了工程的有效管理、维护和日后扩展的需要,还要做竣工测量,建立工程信息系统。

三、当代测绘学科的发展及应用

传统的测绘技术由于受到观测仪器和方法的限制,只能在地球的某一局部区域进行测量工作,而空间技术(各类对地观测卫星)则为我们提供了对地球整体进行观察和测绘的工具。卫星航天观测技术能采集全球性、重复性的连续对地观测数据,数据的覆盖可达全球范围内,因此这类数据可用于对地球作为一个整体进行理解,这就好像可以把地球放在实验室里进行观察、测绘和研究一样方便。正是由于以空间技术、计算机技术、通信技术和信息技术为支柱的现代测绘高新技术日新月异的迅猛发展,致使测绘学的理论基础、测绘工程技术体系、研究领域和科学目标等正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。因而影响到测绘生产任务也由传统的纸上或类似介质的地图编制、生产而更新发展到对地理空间数据进行采集、处理、组织、管理、分析和显示,传统的数据采集技术已由遥感卫星或数字摄影获得的数字影像所代替。测绘工作和测绘行业正在向着数字化、信息化、网络化和自动化的方向发展,不仅减轻了体力劳动,也使生产力得到很大的提高。今天的光缆通信、卫星通信、数字化多媒体网络技术可使测绘产品从单一的纸质信息转变为磁盘和光盘等电子信息,因此测绘生产产品分发方式从单一的邮路转到“电路”(数字通讯和计算机网络传真等),测绘产品的形式和服务社会的方式由于信息技术的支持发生了很大的变化,进入了信息化的发展阶段,表现为正以高新技术为支撑和动力,进入市场竞争求发展,测绘行业正在逐渐成为信息行业中的一个重要组成部分。它的服务范围和对象由原来单纯为国家制作基本地形图,扩大到国民经济和国防建设中与地理空间数据有关的各个领域。

第二节 地球的形状和大小

一、地球的自然形体

测量工作是在地球的自然表面上进行的。地球的自然表面是十分复杂的,它有高山、丘陵和平原,有江河湖泊和海洋。通过长期的测绘实践和科学调查,人们发现地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。有高达 8 844.43m 的珠穆朗玛峰,又有深达 11 022m 的马里亚纳海沟。但这样的高低起伏相对于地球庞大的体积来说仍然是微不足道的,就其总体形状而言,地球是一个接近于两极稍扁的椭球体。

二、大地水准面

地球上的任意一点,都同时受到两个作用力。其一是地球自转产生的离心力;其二是地心引力。这两种力的合力称为重力。重力的作用线又称为铅垂线。

铅垂线是测量工作的基准线,用细绳悬挂一个垂球 G ,其静止时所指示的方向即为悬挂点 O 的重力方向,也称为铅垂线方向(图 1-1)。

处于自由静止状态的水面称为水准面。由物理学可知,这个面是一个重力等位面,水准面上各点处处与点的重力方向(铅垂线方向)垂直。在地球表面上、下重力作用的范围内,通

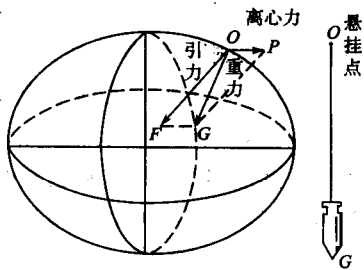


图 1-1 铅垂线方向

过任何高度的点都有一个水准面,因而水准面有无数个。

在测量工作中,把一个假想的、与静止的海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的待定重力等位面称为大地水准面。通常用平均海水面代替静止的海水面。大地水准面所包围的形体称为大地体。

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。

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,无法用数学公式精确表达(图 1-2)。

经过长期测量实践研究表明,地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球。即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。而其旋转椭球面可以用较简单的数学公式准确地表达出来。在测量工作中就是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(图 1-3)。

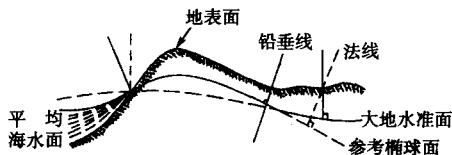


图 1-2 大地水准面

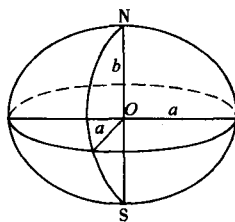


图 1-3 旋转椭球体

世界各国通常均采用旋转椭球代表地球的形状,并称其为“地球椭球”。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球;把与某个区域如一个国家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。由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个。

椭球的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球体的基本元素是:

长半轴 a , 短半轴 b , 扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素是:

$a = 6\,378\,140\text{m}$, $b = 6\,356\,755.3\text{m}$, $\alpha = 1/298.257$ 。

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做的测量工作,称为参考椭球体的定位。在一个国家适当地点选一点 P ,设想大地水准面与参考椭球面相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上(图 1-4),这样椭球面上 P' 点的法线与该点对大地水准面的铅垂线重合,并使椭球的短轴与地球的自转轴平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小,从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系,这就是椭球的定位工作。

这里, P 点称为大地原点。我国大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇,在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量,获得了大地原点的平面起算数据,以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球体的扁率很小,在普通测量中可以把地球看作圆球体,其平均半径为:

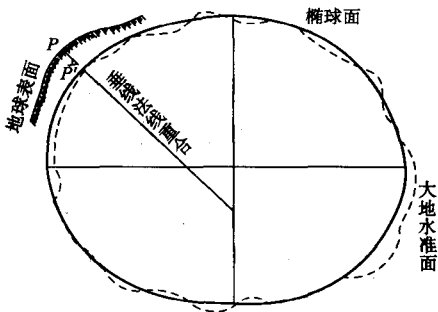


图 1-4 参考椭球体的定位

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \approx 6\,371(\text{km})$$

第三节 测量坐标系

为了确定点在空间的位置,需要建立测量坐标系。1个点在空间的位置,必须用3个量确定。在一般测量工作中,地面点的空间位置用1个二维坐标系(椭球面或平面)与1个一维坐标系(高程)的组合来表示。由于卫星大地测量的迅速发展,地面点的空间位置也采用三维的空间直角坐标表示。

一、大地坐标系

地面上一点 P 的位置,可以用大地坐标 (L, B) 表示。大地坐标系是以参考椭球面作为基准面,以起始子午面(即通过英国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起算面。

过地面某一点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(图 1-5)。规定从起始子午面起算,向东为正,由 0° 至 180° 称为东经;向西为负,由 0° 至 180° 称为西经。

过地面某点的椭球面法线 P_p 与赤道面的夹角,称为该点的大地纬度,用 B 表示。规定从赤道面起算,由赤道面向北为正,从 0° 到 90° 称为北纬;由赤道面向南为负,从 0° 到 90° 称为南纬。

P 点的大地经度、纬度,可由天文观测方法测得 P 点的天文经、纬度 (λ, ϕ) ,再利用 P 点的法线与铅垂线的相对关系(称为垂线偏差)改算为大地经度、纬度 (L, B) 。在一般测量工作中,可以不考虑这种改化。

二、空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点,起始子午面与赤道面交线为 X 轴,赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴,椭球体的旋转轴为 Z 轴,指向符合右手规则。在该坐标系中, P 点的点位用 OP 在这3个坐标轴上的投影 x, y, z 表示(图 1-6)。

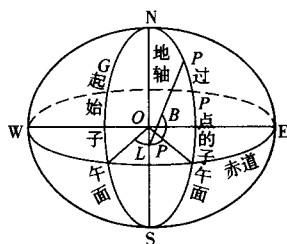


图 1-5 大地坐标系

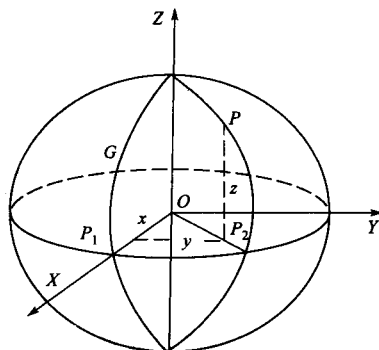


图 1-6 空间直角坐标系

三、独立平面直角坐标系

当测区范围较小时(如小于 100km^2),常把球面投影面看作平面,这样地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标系如图 1-7a)所示。

规定南北方向为纵轴 x 轴,向北为正;东西方向为横轴 y 轴,向东为正。

坐标原点有时是假设的,假设的原点位置应使测区内各点的 x, y 值为正。测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系的区别见图 1-7。

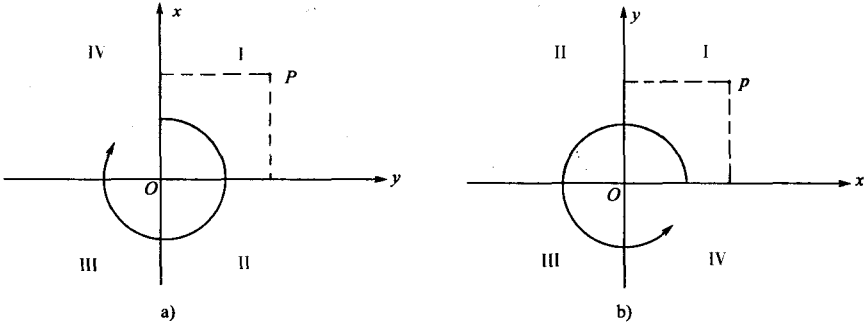


图 1-7 两种平面直角坐标系的比较

a) 测量平面直角坐标系; b) 数学平面直角坐标系

四、高斯平面直角坐标系

1. 高斯投影

高斯平面直角坐标系采用高斯投影方法建立。高斯投影是由德国测量学家高斯于 1825 年 ~ 1830 年首先提出,到 1912 年由德国测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式,所以又称高斯-克吕格投影。

如图 1-8 所示,设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面,使它与椭球上某一子午线(该子午线称为中央子午线)相切,圆柱体的中心轴通过椭球体中心,然后用一定的投影方法将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上,再将此柱面展开即成为投影面。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。

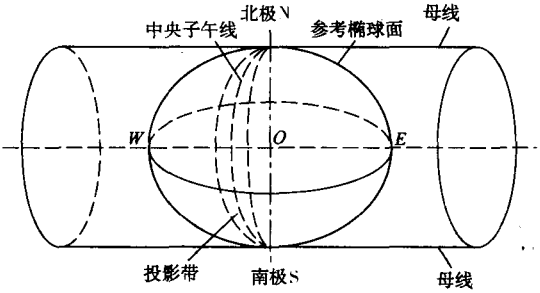


图 1-8 高斯投影

高斯投影中,除中央子午线外,各点均存在长度变形,且距中央子午线越远,长度变形越大。为了控制长度变形,将地球椭球面按一定的经度差分为若干范围不大的带,称为投影带。每隔经度 6° 或 3° 划分为一带,分别称为 6° 带和 3° 带,如图 1-9 所示。

6° 带:从 0° 子午线起,自西向东每隔经差 6° 分带,依次编号 1, 2, 3..., 60, 各带相邻子午线称为分带子午线。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系为:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

3°带:从东经 1.5°子午线起,自西向东每隔经差 3°分带,依次编号 1,2,3...,120,带号 n 与相应的中央子午线经度 l_0 的关系为

$$l_0 = 3n \quad (1-2)$$

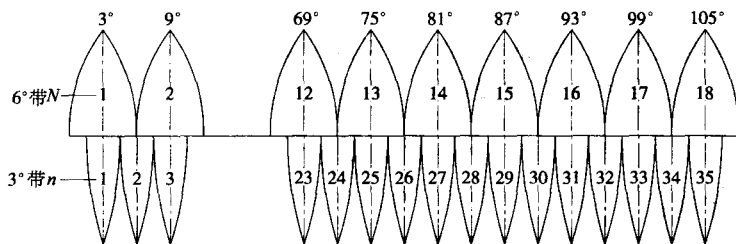


图 1-9 6°带投影与 3°带投影的关系

在投影面上,中央子午线和赤道的投影均为直线。由于在参考椭球面上,中央子午线与赤道相互垂直,所以投影后的中央子午线与赤道也相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴(x 轴),向北为正;以赤道为坐标横轴(y 轴),向东为正,中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O ,由此建立的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球, x 坐标值恒为正, y 坐标值则有正有负,当测点位于中央子午线以东时为正,以西时为负。例如图 1-10a)中 P 点位于中央子午线以西,其 y 坐标值为负值。对于 6°带高斯平面直角坐标系,最大的 y 坐标负值约为 -365km 。为了避免 y 坐标值为负值,我国统一规定将每个点的 y 坐标值加上 500km ,见图 1-10b)。为了根据横坐标值能够确定某点位于哪一个投影带内,还要在 y 坐标值前冠以带号。将经过加 500km 和冠以带号处理后的横坐标用 Y 表示。这种坐标称为国家统一坐标。

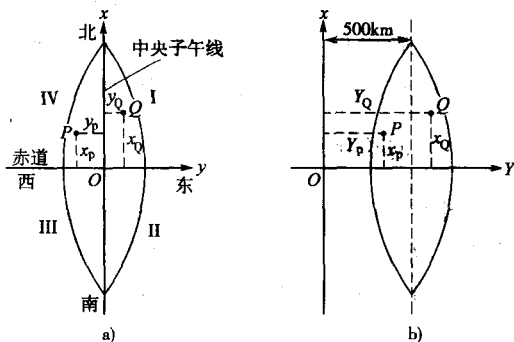


图 1-10 高斯平面直角坐标系

例如,图 1-10 中的 P 点位于第 19 带内,其高斯平面直角坐标 $x_p = 3\,275\,611.188\text{m}$, $y_p = -376\,543.211\text{m}$ 。则该点的国家统一坐标表示为 $X_p = 3\,275\,611.188\text{m}$, $Y_p = 19\,123\,456.789\text{m}$ (其中 19 为带号,横坐标值为: $500 \times 10^3 - 376543.211 = 123\,456.789$)。

2. 高斯投影变形

从球面上的图形投影到平面上,将会出现差异,这种差异称作投影变形。投影变形主要有长度变形、角度变形和面积变形 3 种。在制作地图时,可根据需要来控制变形或使某一种变形为零,如等角投影(又称正形投影)、等距离投影以及等积投影等。

高斯投影是正形投影的一种,正形投影在一个小范围内地图上的图形同椭球面的上原形保持相似,即投影前后的角度相等。除此以外,高斯投影还具有如下特点:

(1) 中央子午线投影后为直线,且长度不变。距中央子午线愈远,投影后变曲程度愈大,长度变形也愈大。

(2) 椭球面上除中央子午线外,其他子午线投影后,均向中央子午线弯曲,并向两极收敛,同时还对称于中央子午线和赤道。