



百校土木工程专业通用教材

土木工程测量

TUMUGONGCHENG CELIANG

同济大学出版社

主 编 覃 辉
副主编 唐平英 余代俊
主 审 宁津生

百校土木工程专业通用教材

土 木 工 程 测 量

主 编 章 辉

副主编 唐平英 余代俊

主 审 宁津生

同济大学出版社

内 容 提 要

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会编制的《测量学》课程教学大纲的要求组织编写的,各章节叙述的主要内容有:水准测量,角度测量,距离测量与直线定向,全站仪及其使用,测量误差的基本知识,小地区控制测量,全球定位系统的原理、测量方法与数据处理,大比例尺地形图的测绘,地形图的应用,大比例数字测图及其在土木工程中的应用,土木施工测量等。本书的附录中包括 11 项测量实验,随书赠送的光盘中含有地形地籍数字成图软件(CASS5.1(学习版))和本书的电子教案等,方便使用。

本书适用于土木工程专业各方向和建筑学、城市规划、给排水、房地产经营与管理以及测绘工程等专业作为测量学课程教材,也可用于土建工程技术人员继续教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/覃辉主编. —上海:同济大学出版社,
2004.1

百校土木工程专业通用教材

ISBN 7-5608-2746-2

I. 土... II. 覃... III. 土木工程—工程测量—
高等学校—教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002290 号

百校土木工程专业通用教材

土木工程测量

主编 覃 辉

责任编辑 杨宁霞 责任校对 郁 峰 封面设计 李志云

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 苏州望电印刷有限公司印刷

开 本 787×960 1/16

印 张 29.5

字 数 590 000

印 数 1—5 100

版 次 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2746-2/TU·538

定 价 40.00 元(随书赠送光盘一张)

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

“百校土木工程专业通用教材”编写委员会

主任 陈以一（同济大学）

委员 （排名不分主次）

刘春原（河北工业大学）

许成祥（长江大学）

赵顺波（华北水利水电学院）

朱彦鹏（兰州理工大学）

麻建锁（河北建筑工程学院）

周新刚（烟台大学）

覃辉（五邑大学）

许强（成都理工大学）

梁兴文（西安建筑科技大学）

方云（中国地质大学·武汉）

陈忠汉（苏州科技学院）

王全凤（华侨大学）

李章政（四川大学）

李传才（武汉大学）

虞庐松（兰州交通大学）

范进（南京理工大学）

郑荣跃（宁波大学）

赵林（河南科技大学）

王广月（山东大学）

杜守军（河北农业大学）

白晓红（太原理工大学）

肖琦（东北电力学院）

徐汉涛（南通工学院）

严兵（江西科技师范学院）

高洪波（信阳师范学院）

策划 周克荣（同济大学）

前 言

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科培养目标和培养方案及课程教学大纲》(2002年11月出版)中的《测量学》课程教学大纲的要求组织编写的,经全国高等学校测绘学科教学指导委员会主任、中国工程院院士宁津生教授亲自评审后推荐出版。本书适用于土木工程专业各方向和建筑学、城市规划、给排水、房地产经营与管理以及测绘工程等专业作为测量学课程教材,也可用于土建工程技术人员的继续教育教材。

1999年1月1日颁布实施的《中华人民共和国高等教育法》规定:“高等教育的任务是培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才。”实践能力一般是指综合应用专业技术知识完成某项任务的能力,衡量其强弱的标准是完成任务的质量和效率。测量学作为土建类专业一门重要的专业基础课程,培养学生工程实践能力主要体现在测、算、绘三个方面。正如宁津生院士在各种学术会议上多次强调的:测绘学科是受新技术影响最大的传统学科之一,3S技术——GPS(全球定位系统)、GIS(地理信息系统)和RS(遥感系统)的不断发展、成熟与应用的日益普及,赋予了测量学传统教学内容测、算、绘崭新的诠释。在21世纪,如果不将测绘新技术,尤其是市场上已经非常成熟的新技术引入到测量学课程的教学,是很难让工程界信服我们高等学校培养的学生具有较强的实践能力。

早在1996年,中国工业与应用数学学会和全国高等学校数学与力学教学指导委员会,相继将《数学实验》课程列为面向21世纪教学内容和课程体系革新的突破口,并定位于理工科大学生数学教育的基础课。《数学实验》课程倡导将数学工具软件如Mathematica, Matlab等作为学习、研究和应用数学的一种新的手段,早在20世纪80年代就已经在美国等西方发达国家的大学里成为大学生必须掌握的基本程序语言,更是早已成为研究设计单位和工业部门解决工程计算问题的一种标准软件。现在,诸如Mathematica数学工具软件、Excel电子表格软件和AutoCAD绘图软件就像20世纪80年代的电子计算器一样,已经成为当代大学生学习与获取知识的重要基本工具。因此,测量学教材必须应用这些基础课教学改革成果。

随着GPS接收机的高度智能化、数据处理自动化以及价格的不断下降,使用GPS进行控制测量已经变得比使用传统的测角量边的测量方法更加便利和容易掌握;而作为GIS前端数据采集的数字测图技术,在学生已经学习过AutoCAD以后,也变得比传统的经纬仪和平板仪测图法更容易操作。新技术的使用,不但可以激发学生学习测量学的兴趣,更重要的是可以极大地提高他们学习和工作的效率。

本书将Mathematica, Excel, AutoCAD作为基本工具应用到了测量学的公式

证明、数据计算和绘图中。在适当介绍数字测图原理和全球定位系统原理的基础上,结合 CASS5.1 地形地籍数字成图软件和 NGS9600 静态 GPS 接收机,介绍了数字测图和 GPS 控制测量的基本方法。我们的教学改革实践证明,通过周密地计划与合理地组织测量实习,完全可以培养学生较熟练地掌握这些新技术。实施这些教学内容的另一个重要目的是让学生了解:新技术本身虽然是比较复杂的,但是,学习与掌握使用新技术的操作方法是容易实现的,从而进一步激发学生关注新技术、学习新技术的兴趣。

承蒙南方测绘仪器公司为本书提供了 CASS5.1 学习版,可供广大读者免费无限次使用,它的全部安装文件放置在随书光盘的“CASS 安装文件”路径中,其用户手册和参考手册的 Word 文档放置在随书光盘的“CASS 说明书”路径中。

CASS5.1 学习版与正式版的区别主要有两点:① 光盘中的 CASS5.1 删除了打印功能和块存盘命令 Wblock,使用 Qsave 命令存盘时,只能保存 90 kB 以内的图形文件;② 学习版只能在中望 CAD 下安装,光盘的“CASS 安装文件”路径下有广州中望龙腾科技发展有限公司授权给本书读者使用的中望 CAD 的安装程序。中望 CAD 的使用说明书放置在随书光盘“中望 CAD 使用说明书”文件夹下。有关中望 CAD 操作的视频演示片,请读者注意从 www.wyu.edu.cn/stations/surveying 网页及时下载,有关中望 CAD 的信息,请从 www.zwcad.com 网址查看。

安装学习版 CASS5.1 的操作步骤是:先执行光盘“CASS 安装文件”路径下的“中望 CAD 中文版(简体).exe”文件,系统自动安装中望 CAD。完成安装后,先运行一次中望 CAD,然后关闭它;再执行该路径下的“Setup.exe”命令安装 CASS5.1 学习版。全部安装过程请读者播放随书光盘“教学演示片”文件夹下的“中望 CAD 中文版与 CASS5.1 学习版的安装方法 VCD 教学片.avi”视频演示文件观看。

要说明的是,中望 CAD 的安装将不影响用户计算机中已经安装的 Auto CAD 的正常使用,且中望 CAD 中的绝大部分命令、操作界面和操作方法与 Auto CAD 完全相同。

为了便于读者学习 CASS 和应用 Auto CAD 解决测量中的制图问题,掌握软件的操作技巧,我们将一些重要的操作过程制作成了带同期录音的视频演示片。视频演示片文件的扩展名为 .avi。如果读者计算机安装有声卡并连接好了音箱,可以打开音箱的电源听到解说声音。全部视频演示片文件放置在随书光盘的“演示片文件”文件夹下。用户可以使用 Windows 附件中的“Windows Media Player”多媒体播放软件或用“豪杰解霸”软件播放需要观看的视频文件。

光盘中还给出了最新型号静态 GPS 接收机 NGS9600 后处理软件 Gpsadj 的用户操作手册的 Word 文档,给出了下载最新星历预报文件的互联网网址和操作 Gpsadj 进行星历预报的方法。

考虑到测量经常需要在野外进行适度的计算,同时,作为工程技术人员,工作中也经常需要使用计算器进行日常计算,因此,可编程计算器仍然是一种比较重要的便

携计算工具。本书中的例题演算采用的是 CASIO fx-4800P 计算器,它可以在程序区域中最多存储 4 500 字节的程序与数据,完全可以满足一般工程计算的需要。

本书由覃辉担任主编并统稿,唐平英和余代俊任副主编。各章编写分工如下:覃辉编写第 1 章、第 3 章的 3.8 和 3.9 节、第 4 章的 4.5 节、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章的 9.7 和 9.8 节、第 11 章、附录 I 和各章节 CASIO fx-4800P 编程、Excel 电子表格计算以及撰写测量学英文名词的内容,并制作随书光盘。余代俊编写第 2 章,王仁谦编写第 3 章,徐汉涛编写第 4 章,党星海编写第 9 章,高永泉编写第 10 章,叶海青编写第 12 章,马保卿编写第 12 章的 12.7 和 12.8 节,唐平英编写第 13 章,罗新宇编写第 13 章的 13.7 和 13.8 节,袁辉编写附录 II。全书近 400 幅插图全部由覃辉采用最新版 Auto CAD2004 精心绘制并打印输出为 JPG 图像格式文件创建,其绘图技巧与输出 JPG 图像格式文件的方法请读者参阅文献[29]或浏览并下载 www.wyu.edu.cn/stations/huitu 网站上的相关内容。

为了便于教师教学和学生复习,我们将本书全部 13 章的内容制成了 20 个总容量约 154 MB 的 Microsoft PowerPoint2000 格式的电子教案,在使用过程中有何建议和意见请发电子邮件给我们,我们根据读者的意见修改后,将在 www.wyu.edu.cn/stations/surveying 网页上发布,供读者免费下载。我们还将在上述网页上发布最新版的 CASS 和 Gpsadj 等测绘与数据处理软件、最新型的测绘仪器介绍等内容,欢迎读者及时上网浏览和下载。读者对本书以及我们的网页有何意见和建议,欢迎将其发送到 qh-506@163.com 邮箱,我们将及时地加以改进。

感谢全国高等学校测绘学科教学指导委员会主任、中国工程院院士宁津生教授担任本书的主审工作。

编 者

2003 年 10 月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 测量学简介	1
§ 1.2 地球的形状和大小	3
§ 1.3 测量坐标系与地面点位的确定	4
§ 1.3.1 确定点的球面位置的坐标系	5
§ 1.3.2 确定点的高程系	9
§ 1.3.3 WGS-84 坐标系	11
§ 1.4 地球曲率对测量工作的影响	11
§ 1.5 测量工作概述	13
§ 1.6 测量常用计量单位与换算	15
思考题与练习题	15
第 2 章 水准测量	17
§ 2.1 水准测量原理	17
§ 2.2 水准测量的仪器与工具	19
§ 2.3 水准测量方法与成果处理	25
§ 2.4 微倾式水准仪的检验与校正	32
§ 2.5 水准测量的误差及其消减方法	35
§ 2.6 自动安平水准仪	36
§ 2.7 精密水准仪和精密水准尺	38
§ 2.8 数字水准仪和条码水准尺	40
思考题与练习题	42
第 3 章 角度测量	44
§ 3.1 角度测量原理	44
§ 3.2 光学经纬仪的结构及其度盘读数	45
§ 3.2.1 DJ6 级光学经纬仪的结构	45
§ 3.2.2 DJ6 级光学经纬仪的读数装置	47

§ 3.2.3 DJ2 级光学经纬仪	50
§ 3.3 经纬仪的安置与水平角观测	52
§ 3.4 水平角测量方法	54
§ 3.5 竖直角测量方法	58
§ 3.6 经纬仪的检验和校正	62
§ 3.7 水平角测量的误差分析	65
§ 3.8 激光经纬仪	68
§ 3.9 电子经纬仪	69
§ 3.9.1 电子经纬仪的测角原理	70
§ 3.9.2 ET-02 电子经纬仪的使用	71
思考题与练习题	74
第 4 章 距离测量与直线定向	77
§ 4.1 钢尺量距	77
§ 4.2 视距测量	82
§ 4.3 电磁波测距	85
§ 4.3.1 电磁波测距技术发展简介	86
§ 4.3.2 光电测距仪的基本原理	86
§ 4.3.3 红外测距仪及其使用	90
§ 4.3.4 光电测距的误差分析	97
§ 4.3.5 光电测距仪使用注意事项	98
§ 4.4 直线定向	99
§ 4.5 陀螺经纬仪与直线真子午线方位角的测定	102
思考题与练习题	107
第 5 章 全站仪及其使用	109
§ 5.1 全站仪概述	109
§ 5.2 NTS-355 全站仪的基本操作	110
§ 5.3 NTS-355 全站仪的存储管理	120
§ 5.4 使用 NTS-355 全站仪进行建筑施工放样	125
§ 5.5 使用 NTS-355 全站仪进行数据采集	128
§ 5.6 新型全站仪简介	131
思考题与练习题	133
第 6 章 测量误差的基本知识	135
§ 6.1 测量误差的概念	135
§ 6.2 偶然误差的特性	136

§ 6.3	评定真误差精度的指标	138
§ 6.4	误差传播定律及其应用	141
§ 6.5	等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	143
§ 6.6	不等精度独立观测量的最可靠值与精度评定	147
§ 6.6.1	权	147
§ 6.6.2	加权平均值及其中误差	148
§ 6.6.3	单位权中误差的计算	149
思考题与练习题		151
第 7 章 小地区控制测量		153
§ 7.1	控制测量概述	153
§ 7.2	平面控制网的定向、定位与坐标正反算	158
§ 7.3	导线测量	161
§ 7.4	交会定点的计算	172
§ 7.5	三、四等水准测量	177
§ 7.6	三角高程测量	180
思考题与练习题		183
第 8 章 全球定位系统(GPS)的原理、测量方法与数据处理		185
§ 8.1	GPS 概述	185
§ 8.2	GPS 的组成	187
§ 8.2.1	地面监控系统	187
§ 8.2.2	用户设备	188
§ 8.3	GPS 定位的基本原理	189
§ 8.3.1	工作卫星信号	189
§ 8.3.2	伪距定位	190
§ 8.3.3	载波相位定位	191
§ 8.3.4	实时差分定位	193
§ 8.4	GPS 测量实施	195
§ 8.5	使用 NGS9600 静态 GPS 接收机进行控制测量的案例	197
§ 8.5.1	星历预报	197
§ 8.5.2	数据采集	198
§ 8.5.3	数据处理	200
思考题与练习题		207

第 9 章 大比例尺地形图的测绘	208
§ 9.1 地形图的比例尺	208
§ 9.2 大比例尺地形图图式	212
§ 9.3 地貌的表示方法	215
§ 9.4 1:500~1:2 000 大比例尺地形图的分幅与编号	219
§ 9.5 测图前的准备工作	220
§ 9.6 大比例尺地形图的解析测绘方法	221
§ 9.6.1 量角器配合经纬仪测图法	222
§ 9.6.2 经纬仪联合光电测距仪测图法	223
§ 9.6.3 大平板仪测图法	223
§ 9.6.4 地形图的绘制	226
§ 9.6.5 地形图测绘的基本要求	227
§ 9.6.6 地形图测绘的内容与取舍	228
§ 9.6.7 地形图的拼接、检查和提交的资料	231
§ 9.7 航空摄影测量成图简介	232
§ 9.8 地籍测绘简介	237
思考题与练习题	246
第 10 章 地形图的应用	248
§ 10.1 地形图的识读	248
§ 10.2 地形图应用的基本内容	255
§ 10.3 图形面积的量算	258
§ 10.4 工程建设中的地形图应用	264
§ 10.5 建筑设计中的地形图应用	269
§ 10.6 给排水设计中的地形图应用	270
§ 10.7 城市规划用地分析的地形图应用	270
思考题与练习题	271
第 11 章 大比例尺数字测图及其在土木工程中的应用	273
§ 11.1 大比例尺数字地形图生产方法概述	273
§ 11.2 内外业一体化数字测图	275
§ 11.2.1 CASS5.1 对计算机软硬件的要求	276
§ 11.2.2 CASS5.1 的操作界面	276
§ 11.2.3 草图法数字测图	277
§ 11.2.4 电子平板法数字测图	283
§ 11.2.5 等高线的处理	287

§ 11.2.6	地形图的整饰	292
§ 11.3	图解地形图的数字化	294
§ 11.3.1	手扶跟踪数字化	294
§ 11.3.2	扫描数字化	298
§ 11.4	数字地形图应用基础	301
§ 11.4.1	查询计算与结果注记	302
§ 11.4.2	土方量的计算	303
§ 11.4.3	坐标数据文件的输出	306
§ 11.5	数字地形图在路线勘察设计中的应用	307
§ 11.5.1	路线曲线设计	307
§ 11.5.2	不含路线曲线的中线纵断面图的绘制	309
§ 11.5.3	包含路线曲线的中线纵、横断面图的绘制和 土方量的计算	311
§ 11.6	数字地形图与 GIS 的数据交换	315
§ 11.6.1	输出 ARC/INFO E00 格式文件	316
§ 11.6.2	输出 MAPINFO MIF/MID 格式文件	316
§ 11.6.3	输出国家空间矢量格式	316
§ 11.6.4	输出文本格式的数据交换文件	316
思考题与练习题		316

第 12 章 建筑施工测量

§ 12.1	施工测量概述	317
§ 12.2	施工测量的基本工作	318
§ 12.3	点的平面位置的测设	322
§ 12.4	建筑施工控制测量	324
§ 12.5	建筑施工测量	328
§ 12.5.1	轴线的测设	328
§ 12.5.2	施工控制桩和龙门板的测设	331
§ 12.5.3	基础施工测量	332
§ 12.5.4	工业厂房构件安装测量	333
§ 12.5.5	高层建筑的轴线投测和高程传递	336
§ 12.6	管道工程测量	341
§ 12.7	建筑变形测量	345
§ 12.7.1	建筑变形测量的一般规定	346
§ 12.7.2	沉降观测	348
§ 12.7.3	位移观测	354
§ 12.8	竣工总平面图的编绘	359

思考题与练习题	361
第 13 章 路线测量与桥梁、隧道施工测量	363
§ 13.1 路线测量概述	363
§ 13.2 路线中线测量	364
§ 13.3 路线圆曲线测设	368
§ 13.4 缓和曲线及其测设	378
§ 13.5 路线纵横断面测量	382
§ 13.6 路线施工测量	391
§ 13.7 隧道测量	396
§ 13.7.1 隧道测量概述	396
§ 13.7.2 洞外控制测量	397
§ 13.7.3 隧道施工测量	399
§ 13.7.4 洞内控制测量	403
§ 13.7.5 竖井联系测量	403
§ 13.8 桥梁施工测量	405
§ 13.8.1 桥位控制测量	406
§ 13.8.2 桥墩的测设	408
思考题与练习题	409
附录 I CASIO fx-4800P 可编程序计算器的使用方法	413
附录 II 测量实验	428
测量实验须知	428
实验一 DS3 光学水准仪的认识和使用	430
实验二 水准测量	432
实验三 水准仪的检验与校正	434
实验四 DJ ₆ 光学经纬仪的认识和使用	436
实验五 测回法测量水平角	438
实验六 方向观测法测水平角	439
实验七 竖直角与视距三角高程测量	441
实验八 经纬仪的检验和校正	443
实验九 钢尺量距与罗盘仪的使用	446
实验十 地形测量(量角器配合经纬仪测图法)	447
实验十一 NTS-355 全站仪建筑物轴线交点的放样(测设)	450
参考文献	454

第 1 章 绪 论

§ 1.1 测量学简介

人类生活的地球表面极不规则,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等自然形成的物体,还有房屋建筑、工厂、公路、铁路、桥梁等人工建造的建筑物和构筑物。测量学将地表物体分为地物和地貌。

地物(feature) 地面上天然或人工形成的物体,它包括平原、湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。

地貌(geomorphy) 地表高低起伏的形态,它包括山地、丘陵和平原等。

地物和地貌总称为**地形(landform)**。测量学是研究地球的形状和大小,确定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置的科学。其主要任务是测定和测设。

测定(location) 使用测量仪器和工具,通过测量和计算将地物和地貌的位置按一定比例尺、规定的符号缩小绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用。

测设(setting-out) 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。

测量学(Surveying)是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等古代国家的人民就开始创造与运用测量工具进行测量。在远古时代,我国就发明了指南针,以后又发明创造了浑天仪等测量仪器,并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传到欧洲,以后在全世界得到了广泛地应用,直到今天,它仍然是利用地磁测定方位的简便测量工具。

20 世纪 60 年代开始,随着社会经济的发展,世界科技进入高速发展时期,同时也促进了测绘科学技术的发展。光电技术和微型电子计算机引入测绘仪器制造领域后,产生了将电磁波测距与电子测角融为一体的全站仪,它具有自动计算测点三维坐标、自动保存观测数据和将观测数据传输到计算机实现自动绘制地形图的功能,可以实现数字化测绘地形图。随着航天遥感技术的不断完善,利用航天遥感像片及扫描信息测绘地形图,不仅覆盖面积大,而且不受地理及气候条件的限制,能全天候作业,极大地提高了测绘工作效率。1993 年后迅速发展和普及的利用卫星测定地面控制点坐标的新技术——全球定位系统(GPS — Global Positioning System)彻底改变了传统的通过测角量边计算地面点位坐标的方法,测量人员只需将 GPS 接收机安置在测点上,通过接收卫星信号,使用专门的数据处理软件,就可以快速计算出测点的三维坐标。1962 年开始研究的地理信息系统(GIS — Geographic Information System)

是一定格式的数字地图与地面有关资源信息的集成并实现有关空间数据管理、空间信息分析及其传播的计算机系统,是传统学科(测量学、地理学和地图学等)与现代科学技术(遥感技术、计算机科学等)相结合的产物,经过四十多年的发展历程,已经取得了巨大的成就,被广泛应用于土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、城市规划、经济建设以及政府各职能部门。

在国民经济建设中,测量技术的应用非常广泛。但在不同的领域中,测量工作的内容和步骤也是不同的,例如在城市规划、给水排水、煤气管道、工业厂房和高层建筑建设中的测量工作是:在设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供结构物的平面及竖向设计使用;在施工阶段,要将设计结构物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;工程完工后,要测绘竣工图,供日后扩建、改建、维修和城市管理应用,对某些重要的建筑物或构筑物,在建设中和建成以后都需要进行变形观测,以保证建筑物的安全。

在铁路、公路建设中的测量工作是:为了确定一条最经济合理的路线,必须预先测绘路线附近的地形图,在地形图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地面上以指导施工;当路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,要测绘河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速、流量和河床地形图以及桥梁轴线长度等,为桥梁设计提供必要的资料,最后将设计桥台、桥墩的位置用测量的方法在实地标定;当路线穿过山岭需要开挖隧道时,开挖之前,必须在地形图上确定隧道的位置,根据测量数据计算隧道的长度和方向;隧道施工通常是从隧道两端相向开挖,这就需要根据测量成果指示开挖方向,保证其正确贯通。

对于土木工程专业学生,通过本课程的学习,要掌握下列有关测定和测设的基本内容:

① 地形图测绘 运用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把小范围内地面上的地物、地貌按一定的比例尺测绘成图;

② 地形图应用 在工程设计中,从地形图上获取设计所需要的资料,例如,点的坐标和高程、两点间的水平距离、地块的面积、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等;

③ 施工放样 把图上设计好的建筑物或构筑物的位置标定在实地上,作为施工的依据;

④ 变形观测 监测建筑物或构筑物的水平位移和垂直沉降,以便采取措施,保证建筑物的安全;

⑤ 竣工测量 对生活在科学技术尤其是新技术飞速发展年代的大学生,既要熟练掌握传统的测绘理论与方法,也要努力学习和掌握成熟的测绘新技术,例如,数字测图、全站仪和 GPS 测量及计算机数据处理等,并能将它们应用到土木工程建设的生产实践中,只有这样,才能使自己在激烈的市场竞争中立于不败之地。

§ 1.2 地球的形状和大小

地球是一个南北极稍扁、赤道稍长、平均半径约为 6 371 km 的椭球体。测量工作是在地球表面上进行的,而地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中,海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。下面先介绍重力、铅垂线、水准面、大地水准面、参考椭球面和法线的概念及关系。

如图 1-1(a)所示,由于地球的自转,其表面的质点除受万有引力的作用外,还受到离心力的影响。该质点所受的万有引力与离心力的合力称为重力(gravity),重力的方向称为铅垂线(plumb line)方向。

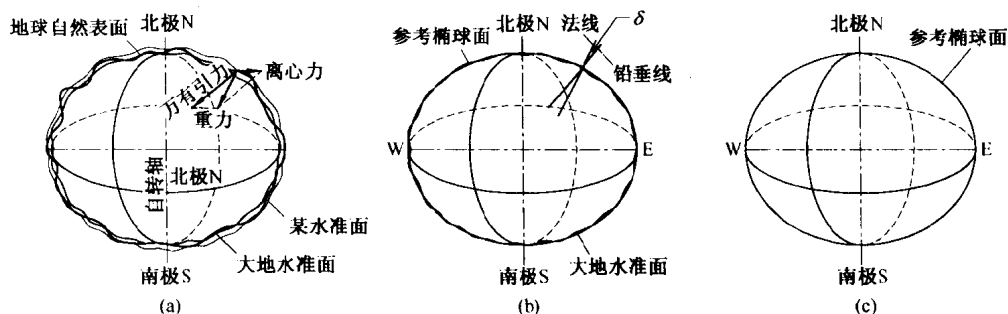


图 1-1 地球自然表面、水准面、大地水准面、参考椭球面、铅垂线、法线间的关系

假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围整个地球,形成一个封闭的曲面,这个封闭曲面称为水准面(level surface)。水准面是受地球重力影响形成的,它的特点是曲面上任意一点的铅垂线垂直于该点的曲面。根据这个特点,水准面也可以定义为:处处与铅垂线垂直的连续封闭曲面。由于水准面的高度可变,因此,符合该定义的水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面(geoid)。大地水准面是唯一的。

由于地球内部的质量分布不均匀,地球各处万有引力的大小不同,致使重力方向产生变化,所以大地水准面实际上是有微小起伏的、不规则的、很难用数学方程表示的复杂曲面。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂的曲面上,计算起来非常困难。为了解决投影计算问题,通常是选择一个与大地水准面非常接近的、能用数学方程表示的椭球面作为投影的基准面,这个椭球面是由椭圆 NESW 绕其短轴 NS 旋转而成的旋转椭球面(图 1-1(c)),旋转椭球又称为参考椭球(reference ellipsoid),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(normal line),除大地原点以外,地表任一点的铅垂线和法线一般不重合,其夹角 δ 称为垂线偏差(deflection of the vertical)。如图 1-1(b)所示。

决定参考椭球面形状和大小的元素是椭圆的长半轴 a (major radius)、短半轴 b

(secondary radius),如图 1-1(c)所示。此外,根据 a 和 b 还定义了扁率 f (flattening)、第一偏心率 e (first eccentricity)和第二偏心率 e' (secondary eccentricity)如下:

$$f = \frac{a-b}{a} \tag{1-1}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \tag{1-2}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \tag{1-3}$$

我国采用过的两个参考椭球元素值以及 GPS 测量使用的参考椭球元素值列于表 1-1。

表 1-1 参考椭球元素值

序	坐标系名称	a (m)	f	e^2	e'^2
1	1954 北京坐标系	6 378 245	1 : 298.3	0.006 693 421 622 966	0.006 738 525 414 684
2	1980 西安坐标系	6 378 140	1 : 298.257	0.006 694 384 999 588	0.006 739 501 819 473
3	WGS-84 坐标系 (GPS 用)	6 378 137	1 : 298.257 223 563	0.006 694 379 990 13	0.006 739 496 742 27

表 1-1 中,序 1 的参考椭球称为克拉索夫斯基椭球(Krasovsky ellipsoid),序 2 的参考椭球是 1975 年 16 届“国际大地测量与地球物理联合会”(International Union of Geodesy and Geophysics,缩写为 IUGG)通过并推荐的椭球,简称 IUGG1975 椭球,序 3 的参考椭球是 1979 年 17 届“国际大地测量与地球物理联合会”通过并推荐的椭球,简称 IUGG1979 椭球。

由于参考椭球的扁率很小,当测区范围不大时,可以将参考椭球看作半径为 6 371 km 的圆球。

§ 1.3 测量坐标系与地面点位的确定

测量学的主要任务是测定和测设,无论是测定还是测设,都需要通过确定地面点的空间位置来实现。空间是三维的,所以表示地面点在某个空间坐标系中的位置需要三个参数,确定地面点位的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。测量中,将空间坐标系分为参心坐标系和地心坐标系。“参心”意指参考椭球的中心,由于参考椭球的中心一般不与地球质心重合,所以它属于非地心坐标系,表 1-1 中的前两个坐标系是参心坐标系。“地心”意指地球的质心,表 1-1 中 GPS 使用的 WGS-84 属于地心坐标系。工程测量通常使用参心坐标系。