

高职高专规划教材

工程测量

GONGCHENG CELIANG

翟 翊 周建郑 主编
宋新龙 主审



化学工业出版社

高职高专规划教材

工程测量

GONGCHENG CELIANG

翟 翊 周建郑 主编
宋新龙 主审



NLIC2970862666



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据高职高专水利水电工程类、交通运输类、土建类专业应达到的技能要求和作者多年从事教学和实践经验编写的。全书按教学单元编写,共分17章。内容主要包括:水准测量,角度测量,距离测量与直线定向,全站仪测量,GNSS全球卫星定位系统简介,测量误差的基本知识,控制测量,大比例尺地形图的基本知识、测绘及应用,施工测量的基本知识,建筑施工测量,水利工程测量,公路工程测量,曲线测设,桥梁隧道施工测量。为了便于教学和提高学生的动手能力,本书配套有《工程测量实训指导书》(另册),以利于学生学习、实践和解决工程中实际问题的能力。

本书适用于高职高专院校水利水电工程、道路与桥梁工程、建筑工程技术、城镇规划、给水排水工程、水资源、工业与民用建筑、工程监理、工程地质、水文地质等专业的教学使用,也可供从事以上专业的技术人员和测绘工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/周建郑主编. —2版. —北京:化学工业出版社,
2013.1

高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-15805-5

I. ①工… II. ①周… III. ①工程测量-高等职业教育-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 263365 号

责任编辑:王文峡

责任校对:边涛

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张28 字数566千字 2013年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:42.00元(含实训指导书)

版权所有 违者必究

前 言

“工程测量”是高职高专水利水电工程、道路与桥梁工程、隧道工程、给水排水工程、水资源、村镇建设、城乡规划等专业的一门主要专业课，重点学习工程测量的基本知识，测量仪器的使用、工程建设实地测设以及施工测量和变形观测等内容。对培养学生的专业和岗位能力具有重要的作用。本书第一版自 2007 年 12 月出版以来，为多所院校选用为教材，得到了肯定和好评。

为使本教材具有较强的实用性和通用性，突出“以能力为本位”的指导思想，修订时力求做到：基本概念准确，各部分内容紧扣培养目标，文字简练、相互协调、通顺易懂、减少不必要的重复。为了提高学生的动手能力，配有《工程测量实训指导书》(另册)，以利于学生学习、实践和解决工程中实际问题的能力。

近年来，全站仪和 GNSS 接收机在工程测量中得到了广泛的应用。使用 GNSS 接收机进行控制测量和工程放样已经变得比使用传统的测角量边的方法更加便利和容易掌握。而作为 GIS 端数据采集的数字测图技术，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，对培养学生的专业和岗位能力具有重要的作用。因此，修订教材时强化了这部分内容，力求体现高职教育的特点，力求满足高职教育培养技术应用型人才的要求，力求内容精练、突出应用、加强实践。

本书由黄河水利职业技术学院周建郑教授主编。其中，第一、十、十四章由周建郑教授编写；第二、九、十七章由朱曙光编写；第三、十三章由高琼编写；第四、六、十二章由务新超编写；第五、十六章由朱恩利编写；第七、八章由师军良编写；第十一、十五章由黄河勘测规划设计有限公司测绘信息工程院周光奎高级工程师编写；《工程测量实训指导书》由周建郑教授、陈慧共同编写。全书由周建郑教授统稿，解放军信息工程大学翟翊教授、河南省测绘工程院宋新龙教授级高级工程师担任本书主审，在此致以诚挚的谢意。

在本书编写过程中，得到了化学工业出版社和编写者所在单位的大力支持，在此一并致谢。

限于编写的水平和经验，书中不妥之处，敬请专家和广大读者批评指正。

编 者
2012 年 8 月

第一版前言

本教材是根据高职高专水利、交通、土建等专业应达到的技能要求和作者多年从事教学和实践经验编写的。本教材主要讲述普通测量学和工程测量学的部分内容。着重介绍水利工程、道路与桥梁工程、隧道工程、给水排水工程、村镇建设、城乡规划中常用测量仪器的构造与使用,大比例尺地形图的测绘与应用以及一般工程的施工测量。

科学的成就和测绘科学的进步为测量技术提供了新的方法和手段,先进的全站仪和GPS系统等仪器设备,在测量中得到了广泛的应用。工程控制测量、数字地形图测绘、公路测设以及各种工程施工放样等朝着自动化、数字化迈进,跨入了现代化。

为使本教材具有较强的实用性和通用性,突出“以能力为本位”的指导思想,在体系安排上,介绍了工程测量中常用的仪器设备,包括水准仪、经纬仪、测距仪、全站仪和GPS系统等的工作原理、功能、操作方法、维护和检验校正等方面的知识。编写时力求做到:基本概念准确,各部分内容紧扣培养目标,文字简练、相互协调、通顺易懂。全书在内容上力求结合各种工程测量的生产实际,同时也力求将现代测量领域的最新科技成果、技术方法反映出来。为了提高学生的动手能力,配有《工程测量实训指导书》(另册),以培养学生学习、实践和解决工程中实际问题的能力。

在编写这本教材时,我们力求体现高职教育的特点,与测绘企业深度融合,力求满足高职教育培养技术应用型人才的要求,力求内容精练、突出应用、加强实践。为了体现教材的特色,我们对传统的教材内容体系作了适当的调整,希望调整后的体系能更适合高职教学的要求。根据高等职业教育理论与实践并重,理论课课时较少的情况,本书内容按“必需、够用”的原则安排。

本书由周建郑担任主编,方思勤担任副主编。第一、十、十四章由周建郑编写;第二、九、十七章由方思勤编写;第三、十三章由赵杰编写;第四、六、十二章由务新超编写;第五、十六章由纪勇编写;第七、八章由娄洪富编写;第十一、十五章由韩新芳编写。全书由周建郑统稿,杨中利主审。在此致以诚挚的谢意。

在本书编写过程中,得到了化学工业出版社和编写者所在单位的大力支持,在此一并致谢。

限于编者的水平、经验及时间,书中如有欠妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编者

2007年9月

目 录

第一章 绪论	1		
第一节 测量学的任务及内容	1	第三节 用水平面代替水准面的限度	9
一、测量学概述	1	一、用水平面代替水准面对水平距离的 影响	9
二、工程测量在水利水电工程建设中的 应用	2	二、用水平面代替水准面对水平角的 影响	10
三、工程测量在道路与桥梁工程、隧道 工程中的应用	2	三、用水平面代替水准面对高程的影响	10
第二节 地面点位的确定	3	第四节 测量工作的基本原则	11
一、地球的形状和大小	3	小结	12
二、确定地面点位的方法	5	思考题与习题	14
第二章 水准测量	15		
第一节 水准测量原理	15	第六节 水准测量误差来源及其影响	31
一、水准测量原理	15	一、仪器误差	31
二、转点、测站	16	二、水准标尺的误差	31
第二节 水准测量的仪器和工具	17	三、整平误差	32
一、DS3 型微倾式水准仪	17	四、读数误差的影响	32
二、水准尺及附件	19	五、仪器和标尺升沉误差	32
第三节 微倾式水准仪的基本操作程序	20	六、大气折光的影响	32
一、使用微倾式水准仪的方法	20	第七节 自动安平水准仪	33
二、注意事项	22	一、自动安平原理	33
第四节 水准测量的方法	22	二、DZS3-1 型自动安平水准仪	34
一、水准点和水准路线	22	第八节 精密水准仪及电子水准仪简介	35
二、水准测量的方法、记录计算及注意 事项	24	一、精密水准仪	35
三、水准测量的成果处理与计算	25	二、电子水准仪的基本原理	37
第五节 水准仪的检验与校正	27	三、电子水准仪的特点	39
一、水准仪应满足的几何条件	27	四、天宝 DiNi03 电子水准仪的简介	39
二、水准仪的检验与校正	28	小结	41
第三章 角度测量		思考题与习题	41
第一节 角度测量的基本概念	44		
一、水平角的测量原理	44	一、测回法	51
二、竖直角度的测量原理	45	二、方向观测法	52
第二节 DJ6 型光学经纬仪	45	第五节 竖直角观测	54
一、测微尺读数装置的光学经纬仪	45	一、竖直度盘结构	54
二、单平板玻璃测微器读数装置的光学经 纬仪	47	二、竖直角度的计算	54
第三节 经纬仪的使用	49	三、竖盘指标差	55
一、安置经纬仪	49	四、竖直角观测	56
二、照准目标	50	五、竖盘指标自动归零补偿器	57
三、读数或置数	50	第六节 经纬仪的检验与校正	57
第四节 水平角观测	51	一、经纬仪应满足的几何条件	57
		二、经纬仪的检验与校正	58
		第七节 水平角观测的误差来源及消减	

措施	61	一、电子经纬仪的测角系统	63
一、仪器误差	61	二、电子经纬仪简介	64
二、观测误差	61	小结	66
三、外界条件的影响	62	思考题与习题	67
第八节 电子经纬仪简介	63		
第四章 距离测量与直线定向	69		
第一节 钢尺量距	69	第三节 直线定向	80
一、量距工具	69	一、标准方向线	80
二、直线定线	70	二、方位角	80
三、一般量距方法	71	三、用罗盘仪测定磁方位角	81
四、钢尺的检定	73	四、正、反坐标方位角	81
五、钢尺的精密量距	74	五、象限角	82
六、钢尺量距的误差分析及注意事项	76	第四节 坐标正、反算	82
第二节 视距测量	77	一、坐标正算	82
一、视距测量原理	77	二、坐标反算	83
二、视距测量的观测和计算	79	小结	83
三、视距测量的误差来源及消减方法	79	思考题与习题	84
第五章 全站仪测量	85		
第一节 概述	85	二、全站仪的配件	89
第二节 测距原理	86	三、全站仪的特性及其使用要点	90
一、脉冲式光电测距仪测距原理	86	四、尼康 DTM-532C 电子全站仪	92
二、相位式光电测距仪测距原理	87	五、使用全站仪的注意事项	97
第三节 全站型电子速测仪	88	小结	98
一、电子速测仪分类	88	思考题与习题	99
第六章 GNSS 全球卫星定位系统简介	100		
第一节 GPS 全球定位系统的建立	100	二、RTK 的系统组成	110
一、GPS 卫星星座	100	三、RTK 的作业方法	110
二、GPS 地面监控系统	102	第四节 GPS 网络 RTK 技术	113
三、GPS 用户设备部分	103	一、虚拟参考站 (VRS) 技术	113
四、GPS 现代化	105	二、区域改正数法 (FKP) 技术	114
第二节 GPS 定位的基本原理	106	三、Leica 的主辅站技术	114
一、静态定位与动态定位	106	四、CORS 在各种工程中的应用	115
二、单点定位和相对定位	106	五、如何申请使用 CORS 系统	115
三、用 GPS 定位的基本方法	108	小结	115
第三节 实时动态 (RTK) 定位技术简介	109	思考题与习题	116
一、RTK 的工作原理	109		
第七章 测量误差的基本知识	117		
第一节 测量误差及其分类	117	第四节 算术平均值及其观测值的中误差	122
一、测量误差产生的原因	117	一、算术平均值	122
二、观测类型	118	二、观测值的中误差	124
三、测量误差的分类	119	三、算术平均值中误差的计算公式	125
第二节 偶然误差的特性	119	第五节 误差传播定律	127
第三节 衡量精度的标准	120	一、线性函数	127
一、中误差	120	二、非线性函数	128
二、极限误差	121	小结	128
三、相对误差	122	思考题与习题	129

第八章 控制测量	130
第一节 控制测量概述	130
一、平面控制测量	131
二、高程控制测量	134
三、小区域平面控制测量	135
第二节 导线测量的外业观测	135
一、导线的布设形式	135
二、导线测量的外业工作	137
第三节 导线测量的内业计算	139
一、闭合导线计算	139
二、附合导线计算	142
三、支导线计算	144
第四节 全站仪导线测量	144
一、外业观测工作	144
二、以坐标和高程为观测值的导线近似平差计算	145
第五节 GPS 平面控制测量	146
一、GPS 控制网的分级	146
二、GPS 点的密度	147
三、测量作业基本技术规定	147
四、GPS 定位网的布设	147
五、野外选点	148
六、GPS 点标志和标石埋设	149
七、GPS 定位网的测设方案	149
八、外业观测	152
九、天线安置	152
十、观测作业	152
十一、外业成果记录	153
十二、观测成果的外业检核及处理	153
第六节 交会法测量	154
一、前方交会	155
二、后方交会	156
第七节 三、四等水准测量	156
一、三、四等水准测量的观测程序和记录方法	157
二、测站计算与校核	157
三、成果计算与校核	159
四、等外水准测量	159
第八节 三角高程测量	159
一、三角高程测量的主要技术要求	159
二、三角高程测量的原理	159
三、三角高程测量的观测与计算	160
小结	160
思考题与习题	161
第九章 大比例尺地形图的基本知识	163
第一节 地形图和比例尺	163
一、地形图、平面图、地图	163
二、比例尺的种类	163
三、地形图比例尺的选择	166
四、比例尺精度	166
第二节 大比例尺地形图的分幅与编号	168
一、梯形分幅和老图号的编号方法	168
二、国家基本比例尺地形图新的分幅和编号	171
三、矩形或正方形分幅和编号	172
四、三北方向线	172
五、坡度比例尺	173
第三节 地物、地貌在图上的表示方法	173
一、地物符号	176
二、地貌符号	176
小结	180
思考题与习题	181
第十章 大比例尺地形图测绘	183
第一节 测图前的准备工作	183
一、图纸准备	183
二、绘制坐标方格网	183
三、控制点展绘	185
第二节 经纬仪测绘法	185
一、碎部点的选择	185
二、一个测站上的测绘工作	186
三、测站点的增补	188
四、注意事项	188
五、地物、地貌的描绘	189
第三节 地形图的拼接、检查与整饰	190
一、地形图的拼接	190
二、地形图的检查	190
三、地形图的整饰	191
四、地形图的验收	191
第四节 大比例尺数字化测图简介	191
一、数字测图的原理和特点	191
二、数字测图的作业过程	192
三、数字测图的软件	194
四、数字测图内业	194
小结	203
思考题与习题	203
第十一章 地形图的应用	205

第一节 地形图的阅读	205	第三节 地形图在工程建设中的应用	209
一、图廓外的有关注记	205	一、按设计线路绘制纵断面图	209
二、地貌阅读	205	二、在地形图上按限制坡度选择最短 路线	210
三、地物阅读	205	三、图形的面积量算	210
四、植被分布阅读	207	四、根据地形图等高线平整场地	211
第二节 地形图的基本应用	207	五、在地形图上确定经过某处的汇水 面积	214
一、在图上确定某点的高程和坐标	207	小结	214
二、在图上确定两点间的直线距离	208	思考题与习题	215
三、在图上确定某直线的坐标方位角	208		
四、确定图上某直线的坡度	209		
第十二章 施工测量的基本知识	216		
第一节 施工测量概述	216	第三节 测设平面点位的方法	221
一、概述	216	一、直角坐标法	221
二、施工测量的特点	216	二、极坐标法	222
第二节 测设的基本工作	217	三、前方交会法	223
一、测设已知水平距离	217	第四节 已知坡度直线的测设	223
二、测设已知水平角	218	小结	225
三、测设已知高程	219	思考题与习题	225
第十三章 建筑施工测量	227		
第一节 建筑工程施工控制网	227	四、墙体施工测量	235
一、施工控制网的特点	227	第六节 工业建筑施工测量	236
二、施工控制点的坐标换算	228	一、厂房控制网的测设	236
第二节 建筑基线	228	二、厂房柱列轴线与柱基测设	237
第三节 建筑方格网	229	三、厂房预制构件安装测量	238
一、建筑方格网的布置	229	四、烟囱施工放样	241
二、建筑方格网的测设	229	第七节 竣工总平面图的编绘	243
第四节 高程控制测量	231	一、竣工测量	243
第五节 民用建筑施工测量	231	二、竣工总平面图的编绘	243
一、测设前的准备工作	231	小结	244
二、建筑物的定位和放线	232	思考题与习题	244
三、基础施工测量	234		
第十四章 水利工程测量	245		
第一节 渠道测量	245	三、清基开挖线的放样	259
一、选线测量	245	四、坡角线的放样	259
二、中心导线测量	246	五、坝体边坡线的放样	260
三、中线测量	247	六、修坡桩的测设	261
四、纵断面测量	249	第三节 水闸的施工放样	262
五、横断面测量	252	一、水闸主要轴线的放样	262
六、纵、横断面图的绘制	253	二、水闸底板的放样	262
七、横断面面积与土方计算	255	三、闸墩的放样	263
八、渠堤断面的放样	257	四、下游溢流面的放样	263
第二节 土坝的施工放样	257	小结	264
一、坝轴线的测设	257	思考题与习题	264
二、坝身控制测量	257		
第十五章 公路工程测量	266		
第一节 概述	266	第二节 新建公路的初测	266

一、导线测量	267	二、施工控制桩的测设	278
二、公路水准测量	267	三、路基边桩的测设	280
三、地形测量	267	四、路基边坡的放样	281
四、初测后应提交的资料	268	五、路面放样	282
第三节 公路详细测量	268	六、公路竣工测量	283
一、定线测量	268	第五节 地下管线施工测量	284
二、中线测量	271	一、施工前的测量工作	284
三、水准测量	273	二、管道施工测量	284
四、横断面测量	273	三、顶管施工测量	286
五、纵横断面图的绘制	276	四、竣工测量	286
第四节 道路施工测量	278	小结	286
一、恢复中线测量	278	思考题与习题	287
第十六章 曲线测设	288		
第一节 圆曲线的测设	288	第四节 困难地段的曲线测设	301
一、圆曲线测设元素的计算	288	一、路线交点不能安置仪器	302
二、圆曲线主点里程的计算	288	二、曲线起点或终点不能安置仪器	304
三、圆曲线主点的测设	289	三、视线受阻时用偏角法测设圆曲线	305
四、圆曲线的详细测设	290	四、遇障碍物时用偏角法测设缓和曲线	305
第二节 综合曲线的测设	293	五、全站仪任意设站测设曲线	306
一、缓和曲线点的直角坐标	294	第五节 复曲线的测设	310
二、有缓和曲线的圆曲线要素计算	294	第六节 回头曲线的测设	311
三、综合曲线上圆曲线段细部点的直角坐标	295	一、切基线法	311
四、曲线主点里程的计算和主点的测设	295	二、弦基线法	311
第三节 综合曲线详细测设	297	第七节 竖曲线的测设	312
一、切线支距法	297	一、竖曲线要素计算	312
二、偏角法	298	二、竖曲线的测设	313
三、极坐标法	300	小结	314
第十七章 桥梁隧道施工测量		思考题与习题	315
第一节 桥梁施工测量	316		
一、桥梁施工控制网的技术要求	317	一、普通桥梁施工测量的主要内容	324
二、桥梁施工平面控制网	317	二、桥梁下部构造的施工测量	324
三、桥梁施工高程控制	320	三、涵洞施工测量	326
第二节 直线桥梁施工测量	322	第四节 隧道施工测量	326
一、桥轴线测定	322	一、地面控制测量	326
二、直线桥梁的墩、台定位	323	二、地下控制测量	328
三、直线桥梁墩、台纵横轴线测设	324	三、竖井联系测量	330
第三节 普通桥梁施工测量	324	小结	334
参考文献		思考题与习题	336
			337

第一章 绪 论

学习目标

- 了解测量学的任务及内容。在不同的工程领域，测量工作的内容和步骤也不相同。
- 理解地面点位的确定方法。
- 掌握高斯-克吕格正形投影的分带计算。

第一节 测量学的任务及内容

一、测量学概述

测量学(surveying)是一门历史悠久的科学,是研究如何测定地面点的点位,将地球表面的各种地物、地貌及其他信息测绘成图,以及确定地球形状和大小的一门科学。

早在几千年前,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。公元前21世纪,中国在夏禹治水时,就发明和应用了“准、绳、规、矩”等测量工具和方法;春秋战国时期发明的指南针,于中世纪由阿拉伯人传到欧洲,至今在全世界得到了广泛的应用;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。

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,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的三维坐标、自动保存观测数据和将观测数据传输到计算机中实现自动绘制地形图的功能,可以实现数字化测绘地形图。全球导航卫星系统(GNSS——global navigation satellite system)的出现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GNSS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。随着航天遥感技术的不断完善,利用航天遥感相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。地理信息系统(GIS——geographic information system)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,是一定格式的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,经过五十多年的发展历程,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。

随着社会生产和科学技术的不断发展,根据研究对象和应用范围的不同,测量学又分为普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学、制图学等学科。

普通测量学是研究地球表面较小区域(不顾及地球曲率的影响,把该小区域内的投影球面直接作为平面对待)内测绘工作的基本理论、技术和方法的学科。主要是指用地面作业的方法,将地球表面局部地区的地物和地貌等测绘成大比例尺地形图。

大地测量学是研究测定地球的形状、大小和研究地球重力场的理论,在地球表面广大区

域内建立国家大地控制网等方面的测量理论、技术和方法的学科,为测量学的其他分支学科提供最基础的测量数据和资料。

摄影测量学是研究如何利用摄影或遥感技术来测定物体的形状、大小、位置和获取其他信息的学科,是我国测绘国家基本地形图的主要方法,目前多用于测绘城市基本地形图和大规模地形复杂地区的地形图。

工程测量学是研究各种工程建设中测量方法和理论的一门学科。主要研究在工程、工业和城市建设以及资源开发各个阶段进行地形和有关信息的采集、处理、施工放样、变形监测、分析与预报的理论和技術,以及与研究对象有关的信息管理和使用,为工程建设提供测绘保障。

制图学是研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。是将地球表面的点、线经过投影变换后绘制成满足不同要求的地图。

本教材主要讲述普通测量学和工程测量学的部分内容。着重介绍水利水电工程、道路与桥梁工程、隧道工程、工业与民用建筑、给水排水工程、村镇建设、城乡规划中常用测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘与应用以及一般工程的施工测量。

二、工程测量在水利水电工程建设中的应用

测量工作在水利水电建设中起着十分重要的作用。为了合理开发和利用我国的水资源,治理水旱灾害,必须兴建水利工程。但是,水利工程的规划、设计、施工和运营管理各个阶段都离不开测量工作。水利工程测量的主要任务如下。

(1) 规划设计阶段: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出工程建设区域的地形图;为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料。

(2) 施工阶段:将图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程,按设计要求在实地上标定出来,作为施工的依据;在施工过程中,要进行各种施工测量工作,以保证所建工程符合设计要求。

(3) 运营管理阶段:工程完工后,对重要建筑物或构筑物,在建设中和建成以后都需要定期进行变形观测,监测建筑物的水平位移和垂直沉降,了解建筑物的变形规律,以便采取措施,保证建筑物的安全。

三、工程测量在道路与桥梁工程、隧道工程中的应用

为了确定一条最经济合理的路线,首先要进行路线勘测,绘制路线附近的带状地形图和纵、横断面图,在地形图上进行路线设计,然后将设计路线的平面位置、纵坡和路基边坡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、比降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轴线、洞口和竖井的位置,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,在施工过程中还需要不断地进行贯通测量,以保证其平面位置和高程正确贯通。工程竣工后,要编制竣工图,供验收、维修、加固之用。在运营管理阶段要定期进行变形观测,确保道路、桥梁、隧道构造物的安全使用。

由此可见,各种工程建设以及工程建设的各个阶段都离不开测量工作,测量工作贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员,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 GNSS 测量及计算机数据处理

等,并能将它们应用到工程建设的生产实践中,只有这样,才能担负起工程规划设计、施工建筑和运营管理等各个阶段的任务,才能使自己在激烈的市场竞争中立于不败之地。

第二节 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面。众所周知,地球的表面是极不规则的,研究表明,地球近似于椭球,其长短半轴之差约为 21.3km。地球北极高出椭球面 19m 左右,地球南极凹下椭球面约 26m,如图 1-1 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,重力的方向称为铅垂线方向。如图 1-2(a)所示。

由地表任一点向参考椭球面所作的垂线称法线,除了大地原点,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。如图 1-2(b) 所示。

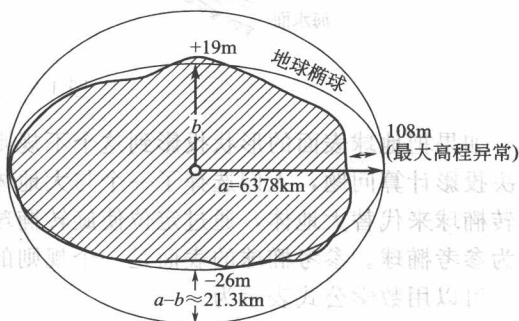


图 1-1 北凸南凹的梨形地球

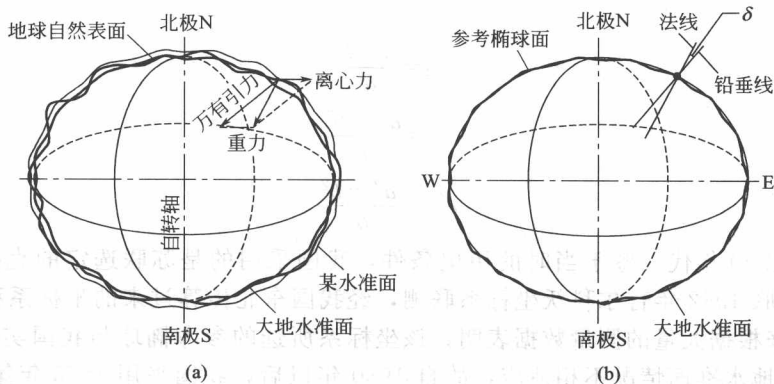


图 1-2 地球上各种面、线之间的关系

我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8844.43m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟则深达 11022.00m。两者相比,起伏变化非常之大,虽然如此,这种起伏变化和庞大的地球(平均半径约 6371km)比较起来是微不足道的。此外,地球表面约 71%的面积被海洋覆盖,陆地面积仅占约 29%,因此人们就把地球总的形状看作是被海水包围的球体。于是设想有一个静止的、没有潮汐风浪等影响的海洋表面,向陆地延伸并处处保持与铅垂线方向正交的封闭曲面,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体,大地体就代表了地球的形状和大小。

地球上任何自由静止的水面都是水准面,水准面有无数多个,水准面的特性是处处与铅垂线(重力作用线)垂直,与水准面相切的平面称为水平面。大地水准面、水平面和铅垂线分别是测量的基准面和基准线。

由于地球内部质量分布不均匀,导致地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,所以大地水准面实际上是一个有微小起伏、不规则的、很难用数学方程表示的复杂曲面。如图 1-3 所示。

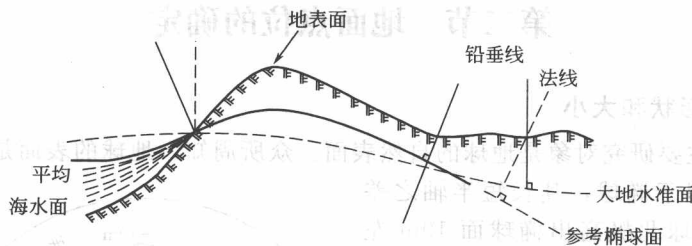


图 1-3 大地水准面

如果把地球表面的形状投影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量的计算工作。为了解决投影计算问题,人们选择了一个与大地体形状和大小较为接近的、能用数学方程表示的旋转椭球来代替大地体,通过定位使旋转椭球与大地体的相对位置固定下来,这个旋转椭球称为参考椭球。参考椭球的表面是一个规则的数学曲面,它是测量计算和投影制图所依据的面。可以用数学公式表示为

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

参考椭球面是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而成,参考椭球的元素有长半径 a ,短半径 b 。此外,根据 a 和 b 还可以定义出扁率 α 、第一偏心率 e 和第二偏心率 e' ,其公式如下。

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

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1-3)$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (1-4)$$

在 20 世纪 50 年代,鉴于当时的历史条件,我国采用的是苏联选定的克拉索夫斯基椭球,通过与苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测,经我国东北传算过来的坐标系称“1954 北京坐标系”,后来根据大量的测量数据表明,该坐标系所选的参考椭球与我国实际情况相差较大,与我国大地水准面情况不相适应,故自 1980 年以后,我国采用 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理联合会 (IUGG) 推荐的椭球,大地原点设在我国中部的陕西省泾阳县永乐镇,通过对椭球定位,建立了我国自己的大地坐标系,称为“1980 西安坐标系”。近年来,由于 GNSS 定位技术的大力发展,我国各行各业引进了许多种型号的 GNSS 接收机,用于大地测量、工程测量以及导航定位等工作,其采用的坐标系是 WGS-84 世界大地坐标系,采用 1979 年 17 届国际大地测量与地球物理联合会 (IUGG) 推荐的椭球。

20 世纪 80 年代中后期,日臻成熟的卫星大地测量技术尤其是全球卫星导航定位技术几乎取代了传统的测量手段,成为便捷和高效地获取地面点高精度地心坐标的重要手段,为国家采用地心坐标系提供了现实的技术和方法。同时,全球卫星导航定位技术的广泛推广和应用,使各行业和部门对采用地心坐标系提出了迫切的需求,为了适应国民经济和科学技术发展的需要,我国于 2008 年 7 月开始启用新的国家大地坐标系——2000 国家大地坐标系,英文名称为 China Geodetic Coordinate System 2000,英文缩写为 CGCS 2000。国务院要求用 8~10 年的时间,完成现行国家大地坐标系向 2000 国家大地坐标系的过渡和转换。现有各

类测绘成果,在过渡期内可沿用现行国家大地坐标系;2008年7月1日后新生产的各类测绘成果应采用2000国家大地坐标系。

我国采用过的两个参考椭球以及GPS测量定位使用的地球椭球元素值列于表1-1中。表中1954北京坐标系和1980西安坐标系属于参心坐标系,WGS-84世界大地坐标系、CGCS 2000国家大地坐标系属于地心坐标系。

表 1-1 我国采用的参考椭球和地球椭球元素值

坐标系名称	长半轴 a/m	扁率 α	第一偏心率平方 e^2	第二偏心率平方 e'^2
1954 北京坐标系	6378245	1 : 298.3	0.006693421622966	0.006738525414684
1980 西安坐标系	6378140	1 : 298.257	0.006694384999588	0.006739501819473
WGS-84 坐标系	6378137	1 : 298.257 223 563	0.00669437999013	0.00673949674227
2000 国家大地坐标系	6378137	1:298.257222101	0.00669438002290	0.00673949677548

由于参考椭球的扁率很小,而普通测量中所研究的对象仅局限于很小的范围,故一般可将地球近似地看成是一个圆球,其半径为

$$R = \frac{a+b}{3} \approx 6371 \text{ (km)}$$

二、确定地面点位的方法

地面点的空间位置都与一定的坐标系相对应。在高低起伏的地球自然表面上,地面点的位置通常以坐标和高程来表示,在测量上常用的坐标系有大地坐标系和高斯平面直角坐标系以及平面直角坐标系等。

1. 地面点的坐标

(1) 大地坐标 用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,称为大地坐标。

如图1-4所示, O 为参考椭球的球心, NS 为椭球的旋转轴,通过该轴的平面称为子午面(如图中的 $NPMS$ 面)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称为经线,其中通过英国伦敦原格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心 O 且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面(如图中的 WM_0ME),赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点 P 且与过 P 点切平面垂直的直线 PK ,称为 P 点的法线。地面上任一点都可以向参考椭球面作一条法线。地面点在参考椭球面上的投影,即通过该点的法线与参考椭球面的交点。

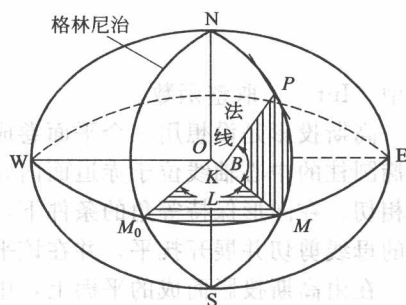


图 1-4 大地坐标

大地经度 L ,即通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起,向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度 B ,即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起,向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬;向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线,它平行于赤道。地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量的方法确定。

我国位于地球的东北半球,因此所有地面点的经度和纬度均为东经和北纬,例如某点的大地坐标为东经 $114^\circ 19'$,北纬 $34^\circ 48'$ 。

类型(2)高斯平面直角坐标 大地坐标是球面坐标,用它表示地面点的位置形象直观,但其观测和计算都比较复杂。但地球是一个不可展的曲面,在局部工程建设的规划、设计与施工中,更多的则是需要把它投影到某个平面上来,使测量计算与绘图变得容易。

地图投影有多种方法,在大面积的地形测绘中,我国采用的是高斯-克吕格正形投影,高斯正形投影是将地球按经线划分成带,称为投影带。投影带是从起始子午线开始,每隔经度 6° 划分为一带,如图1-5所示,自西向东将整个地球划分为60个带。

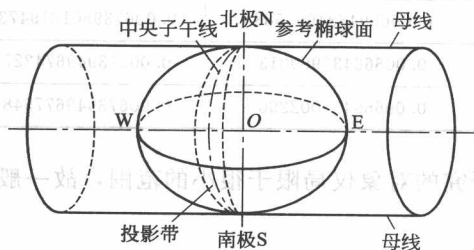


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

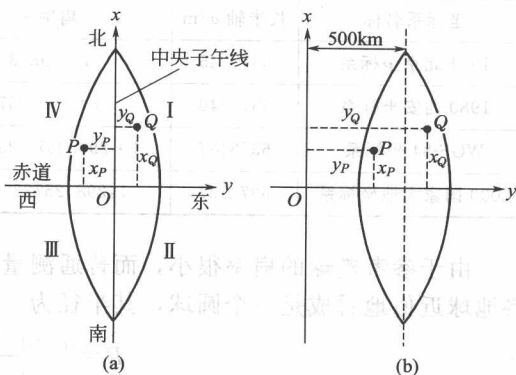


图 1-6 高斯平面直角坐标系

带号从起始子午线开始,用阿拉伯数字1、2、3、…、60表示,东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第1带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第2带,依此类推,直到第60带。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线,第1带的中央子午线的经度为 3° ,第2带的中央子午线的经度为 9° ,任意带的中央子午线的经度为 L_0 与投影带号 N 的关系为

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-5)$$

式中 N —— 6° 带的带号。

反之,若已知地面某点的大地经度 L ,可按式计算该点所属的 6° 带的带号。

$$N = \text{Int} \left(\frac{L+3}{6} + 0.5 \right) \quad (1-6)$$

式中 Int ——取整函数。

高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心圆柱横着套在地球参考椭球体的外面,使空心圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心,使地球椭球体上某一中央子午线与圆柱面相切。在图形保持等角的条件下,将整个带投影到圆柱面上。然后将此圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平,并在该平面上定义平面直角坐标系。

在由高斯投影而成的平面上,中央子午线和赤道均为直线,两者互相垂直。以中央子午线为坐标系纵轴 x ,以赤道为横轴 y ,其交点为 O ,便构成此带的高斯平面直角坐标系,如图1-6(a)所示。在这个投影面上 P 、 Q 点的位置,都可用直角坐标 x 、 y 确定。此坐标与地理坐标的经度 L 、纬度 B 是对应的,它们之间有严密的数学关系,可以互相换算。

我国位于北半球, x 坐标均为正值,而 y 坐标则有正有负,图1-6(a)中的 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 坐标负值为 -365km 。为避免 y 坐标出现负值,规定把 x 轴向西平移 500km ,如图1-6(b)所示。此外,为表明某点位于哪一个 6° 带的高斯平面直角坐标系,又规定 y 坐标值前加上带号。例如,某点坐标为 $x = 3263245\text{m}$, $y = 21534357\text{m}$,表示该点位于第21个 6° 带上,距赤道 3263245m ,距中央子午线 34357m (去掉带号后的 y 坐标减 500000m ,结果为正表示该点在

中央子午线东侧,若结果为负表示该点在中央子午线西侧)。

高斯投影的特性有以下三点。

① 中央子午线是直线,其长度不变形,其他子午线是弧形,凹向中央子午线。离开中央子午线越远,变形越大;

② 投影后的赤道是一条直线,并与中央子午线正交;

③ 离开赤道的纬线是弧线,凸向赤道。

地面某直线的水平距离投影到高斯平面上需要两次投影。第一次是从地面投影到参考椭球面上,第二次则是从参考椭球面投影到高斯平面上。

在投影精度要求较高时,可以把投影带划分再小一些,例如采用 3° 分带,共分为 120 带,第 n 带的中央子午线经度为

$$L'_0 = 3n \quad (1-7)$$

式中 n —— 3° 带的带号。

反之,若已知地面某点的大地经度 L ,可按下式计算该点所属的 3° 带的带号。

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-8)$$

式中 Int ——取整函数。

如果投影精度要求更高,还可以采用 1.5° 分带。 1.5° 分带不必全球统一划分,可以将中央子午线的经度设置在测区的中心,因此也称为任意带。

我国幅员辽阔,所处的概略经度范围是东经 $73^\circ 27' \sim 135^\circ 09'$,含有 11 个 6° 带,即从 13~23 带(中央子午线从 $75^\circ \sim 135^\circ$),21 个 3° 带,从 25~45 带。可见,在我国的 6° 带和 3° 带的投影带号是不重复的,如图 1-7 所示。

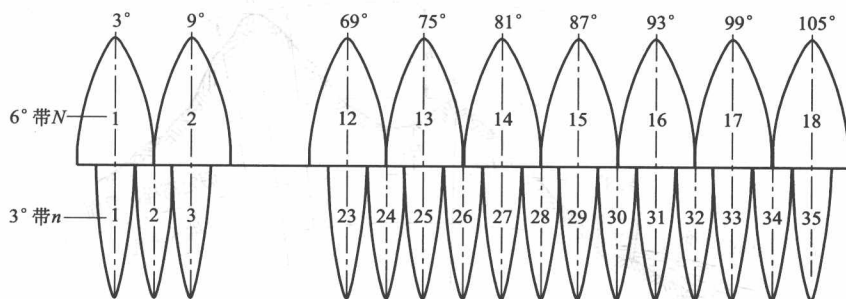


图 1-7 6° 带和 3° 带投影

(3) 平面直角坐标 《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011) 规定,面积小于 25km^2 的城镇,可以将水平面作为投影面,地面点在水平面上的投影位置可以用平面直角坐标表示。

如图 1-8 表示,在水平面上选定一点 O 作为坐标原点,建立平面直角坐标系。纵轴为 x 轴,与南北方向一致,向北为正,向南为负;横轴为 y 轴,与东西方向一致,向东为正,向西为负。则地面点 A 沿着铅垂线方向投影到该水平面上,则平面直角坐标系 x_A 、 y_A 就表示了 A 点在该水平面上的投影位置。如果坐标系的原点是任意假设的,则称为独立的平面直角坐标系。为了不使坐标出现负值,对于独立测区,往往把坐标原点选在西南角以外适当位置。

地面点的平面直角坐标,可以通过观测有关的角度和距

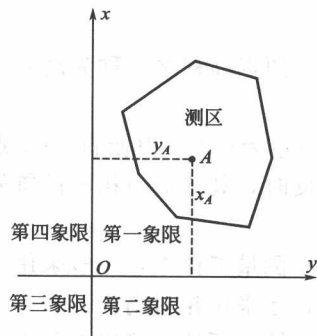


图 1-8 平面直角坐标系