

全国高等院校测绘专业规划教材

免费赠送
PPT电子课件
及习题答案

测量学

刘茂华 主 编
任东风 范海英 韦峰 路海洋 副主编

- 吸纳同类教材精华，内容全面
各类精选习题，易学易用
全新规范标准，推陈出新



清华大学出版社

全国高等院校测绘专业规划教材

测 量 学

刘茂华 任东风 主 编
范海英 韦 峰 路海洋 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍应用各类测绘仪器进行各种空间地理数据的采集,包括点位坐标与直线方位测定与测设、地形图数字化测绘等外业工作和运用测量误差与平差理论进行数据处理计算、计算机地图成图等内业工作的工程技术和方法。内容主要包括测量学的基本知识、地图分幅、空间点位平面坐标与高程及直线方位测定与测设、误差理论与直接平差、大比例尺地形图数字成图等基本理论与方法。

本教材在强调掌握有关课程知识体系内容的基础上,增加了测绘理论、技术和新型测绘仪器的应用方面等实践技能内容。该教材适合作为所有工程类测量学的教学,以及测绘科技人员自学测绘新理论和新技术。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

测量学/刘茂华主编. —北京:清华大学出版社,2015

(全国高等院校测绘专业规划教材)

ISBN 978-7-302-38071-9

I. ①测… II. ①刘… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 221116 号

责任编辑:张丽娜

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19

字 数:456千字

版 次:2015年1月第1版

印 次:2015年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00元

前 言

随着科学技术的发展,测绘理论及技术已经涵盖了全球卫星导航系统(GNSS)、遥感(RS)及地理信息系统(GIS)等相关学科,形成了更加丰富、先进的现代测绘科学。因此,本书对传统测绘理论和技术进行了全面介绍,并增加了测绘新技术、新理论、新设备、新方法,且结合建筑、道桥、管线、地质勘探、矿山等特点,全面介绍测绘在这些行业中的具体应用和实施,以满足各类工程专业毕业生今后工作岗位的需求。在实际教学实践中,任课教师可以根据具体情况对本书内容进行选择教学。

本书以马振利等主编的《测绘学》(2005年版)为基础,在得到作者许可后加以更新出版,并更名为《测量学》。本书可作为各行业测绘工程技术人员的参考用书,尤其适合作为工院校地矿类、土建类、水利类、道桥类、环境与安全类等各本、专科及高等职业教育的教学用书;也可作为施工现场测量人员的培训教材及参考资料。

本书由沈阳建筑大学刘茂华编写第1~3章,辽宁工程技术大学任东风编写第14章,辽宁科技学院范海英编写第13章,辽宁工程技术大学韦峰编写第6、7章,辽宁地质工程职业学院路海洋编写第5章,沈阳建筑大学姚敬编写第9、11章,北京欧诺嘉科技有限公司崔焕玉参编第11章,沈阳建筑大学王欣编写第4章、辽宁工程技术大学张继超编写第8章、中交第一公路工程局有限公司夏志忠、宋宝欢、韩卯编写第10章,辽宁地质工程职业学院赵晓琳编写第12章,最后由刘茂华、任东风校正。感谢马振利、张志超、孟庆伟、崔焕玉对本书编写给予的大力支持,感谢沈阳金图数码科技有限公司、上海华测导航技术有限公司、北京欧诺嘉技术有限公司为本书提供的技术支持。

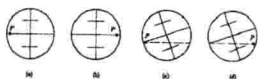
由于编者水平有限,书中必然存在疏漏之处,敬请各位专家和读者不吝赐教。

编 者

目 录

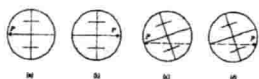
| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 测绘学的研究与应用领域 | 1 |
| 1.1.1 大地测量学 | 1 |
| 1.1.2 摄影测量与遥感 | 1 |
| 1.1.3 地形测量学 | 2 |
| 1.1.4 工程测量学 | 2 |
| 1.2 地球形状和大小 | 3 |
| 1.3 地面点位的确定 | 4 |
| 1.3.1 地面点的坐标 | 4 |
| 1.3.2 地面点的高程 | 7 |
| 1.3.3 水平面代替水准面的限度 | 7 |
| 1.4 直线定向与点位坐标计算 | 9 |
| 1.4.1 直线定向 | 9 |
| 1.4.2 坐标方位角推算 | 12 |
| 1.4.3 地面点坐标测算原理 | 13 |
| 1.5 罗盘仪及其使用 | 14 |
| 1.5.1 罗盘仪的构造 | 14 |
| 1.5.2 用罗盘仪测定直线的 磁方位角 | 15 |
| 1.5.3 注意事项 | 15 |
| 习题 | 15 |
| 第 2 章 水准测量 | 16 |
| 2.1 水准测量原理 | 16 |
| 2.2 水准测量的仪器与工具 | 17 |
| 2.2.1 水准仪 | 17 |
| 2.2.2 水准尺和尺垫 | 21 |
| 2.3 水准仪的使用 | 22 |
| 2.4 水准测量作业程序 | 23 |
| 2.4.1 水准点 | 23 |
| 2.4.2 水准路线 | 24 |
| 2.4.3 微差水准测量 | 25 |
| 2.4.4 水准测量的检核 | 26 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 2.4.5 水准测量的内业 | 28 |
| 2.5 水准仪的检验与校正 | 30 |
| 2.5.1 圆水准器轴平行于仪器竖轴的 检验与校正 | 31 |
| 2.5.2 十字丝横丝垂直于仪器竖轴的 检验与校正 | 32 |
| 2.5.3 水准管轴平行于视准轴的 检验与校正 | 32 |
| 2.6 水准测量的误差及注意事项 | 34 |
| 2.6.1 仪器误差 | 34 |
| 2.6.2 观测误差 | 34 |
| 2.6.3 外界条件影响 | 35 |
| 2.7 精密水准仪与电子水准仪 | 36 |
| 2.7.1 精密水准仪及水准尺 | 36 |
| 2.7.2 电子水准仪 | 39 |
| 习题 | 40 |
| 第 3 章 角度测量 | 43 |
| 3.1 角度测量原理 | 43 |
| 3.1.1 水平角和竖直角 | 43 |
| 3.1.2 测角原理 | 44 |
| 3.2 经纬仪 | 44 |
| 3.2.1 经纬仪的分类 | 44 |
| 3.2.2 光学经纬仪的结构与使用 | 45 |
| 3.2.3 电子经纬仪简介 | 47 |
| 3.3 水平角观测 | 47 |
| 3.3.1 经纬仪的安置 | 48 |
| 3.3.2 照准标志及照准目标方法 | 48 |
| 3.3.3 水平角观测方法 | 49 |
| 3.3.4 电子经纬仪测角的简单操作 | 52 |
| 3.4 竖直角观测 | 53 |
| 3.4.1 竖直角测量的用途 | 53 |
| 3.4.2 竖直角度盘 | 53 |
| 3.4.3 竖直角的观测和计算 | 54 |



| | | | | | |
|-------|---------------|----|-------|--|-----|
| 3.4.4 | 竖盘指标差 | 55 | 5.1.1 | 测量误差产生的原因 | 83 |
| 3.4.5 | 竖盘指标差自动补偿装置 | 56 | 5.1.2 | 测量误差的分类与处理原则 | 84 |
| 3.5 | 水平角测量误差 | 56 | 5.2 | 偶然误差的特性 | 85 |
| 3.5.1 | 仪器误差 | 57 | 5.3 | 评定精度的标准 | 87 |
| 3.5.2 | 对中误差与视标误差 | 59 | 5.3.1 | 中误差(Mean Square Error) | 87 |
| 3.5.3 | 观测误差 | 60 | 5.3.2 | 相对误差(Relative Error) | 90 |
| 3.5.4 | 外界条件的影响 | 60 | 5.3.3 | 极限误差(Limit Error) | 90 |
| 3.6 | 经纬仪的检验与校正 | 60 | 5.4 | 误差传播定律及应用 | 91 |
| 3.6.1 | 照准部水准管的检验与校正 | 61 | 习题 | | 93 |
| 3.6.2 | 十字丝竖丝的检验与校正 | 61 | 第6章 | 控制测量 | 94 |
| 3.6.3 | 视准轴的检验与校正 | 62 | 6.1 | 控制测量概述 | 94 |
| 3.6.4 | 横轴的检验与校正 | 63 | 6.1.1 | 控制测量的作用和布网原则 | 94 |
| 3.6.5 | 竖盘指标水准管的检验与校正 | 64 | 6.1.2 | 国家控制网 | 95 |
| 3.6.6 | 光学对中器的检验与校正 | 64 | 6.1.3 | 工程控制网 | 96 |
| 习题 | | 65 | 6.1.4 | 图根控制网(Mapping Control Network) | 98 |
| 第4章 | 距离测量 | 66 | 6.2 | 导线测量 | 99 |
| 4.1 | 距离测量概述 | 66 | 6.2.1 | 概述 | 99 |
| 4.2 | 视距测量 | 66 | 6.2.2 | 导线测量的外业工作 | 99 |
| 4.2.1 | 视准轴水平时的视距原理 | 66 | 6.2.3 | 导线测量的内业计算 | 101 |
| 4.2.2 | 视准轴倾斜时的视距原理 | 67 | 6.3 | 三角测量 | 107 |
| 4.3 | 钢尺量距 | 68 | 6.3.1 | 三角测量的概念 | 107 |
| 4.3.1 | 钢尺及其辅助工具 | 68 | 6.3.2 | 小三角测量 | 108 |
| 4.3.2 | 直线定线 | 69 | 6.4 | 交会法测定点位 | 112 |
| 4.3.3 | 钢尺量距的一般方法 | 70 | 6.4.1 | 前方交会法(Forward Intersection) | 112 |
| 4.3.4 | 钢尺量距的主要误差来源 | 72 | 6.4.2 | 侧方交会法(Side Intersection) | 114 |
| 4.3.5 | 钢尺量距的注意事项及维护 | 72 | 6.4.3 | 距离交会法 | 114 |
| 4.4 | 电磁波测距 | 73 | 6.5 | 高程控制测量 | 115 |
| 4.4.1 | 测距原理 | 73 | 6.5.1 | 三、四等水准测量 | 115 |
| 4.4.2 | 红外测距仪及其使用 | 75 | 6.5.2 | 三角高程测量(Trigonometric Leveling) | 118 |
| 4.4.3 | 测距误差和标称精度 | 77 | 6.5.3 | 光电三角高程测量(Electro-optical Trigonometric Leveling) | 119 |
| 4.5 | 电子全站仪的使用 | 78 | 6.6 | GPS 卫星定位测量简介 | 120 |
| 4.5.1 | 概述 | 78 | 6.6.1 | GPS 的产生及其发展 | 120 |
| 4.5.2 | 全站仪的使用 | 78 | | | |
| 习题 | | 81 | | | |
| 第5章 | 测量误差的基本知识 | 83 | | | |
| 5.1 | 测量误差的概念 | 83 | | | |

| | | | | | |
|--------------|---|------------|--------------|---|------------|
| 6.6.2 | GPS 系统的组成..... | 120 | 7.5.2 | 矩形分幅与编号(Rectangular Sheet and Numbering) | 152 |
| 6.6.3 | GPS 定位的基本原理..... | 121 | 7.6 | 地形图的应用 | 153 |
| 6.6.4 | GPS 接收机的基本类型..... | 121 | 7.6.1 | 地形图应用概述 | 153 |
| 6.6.5 | GPS 网的布设..... | 121 | 7.6.2 | 地形图应用的基本内容..... | 154 |
| 6.6.6 | GPS 技术的应用..... | 122 | 7.6.3 | 在地形图上求算平面面积..... | 157 |
| 6.6.7 | GPS 高程及其应用..... | 124 | 7.6.4 | 在地形图上确定汇水范围..... | 161 |
| 6.7 | GNSS 接收机实例简介..... | 124 | 7.6.5 | 地形图在地质勘探工程中的 应用 | 161 |
| 6.8 | 手持 GPS 接收机的应用..... | 129 | 7.6.6 | 地形图在采矿工程中的应用... .. | 162 |
| 6.8.1 | 概述..... | 129 | 7.6.7 | 地形图在农田水利工程中的 应用 | 162 |
| 6.8.2 | 开机与使用..... | 129 | 习题..... | | 163 |
| 6.8.3 | 基本操作与用途..... | 130 | 第 8 章 | 测设(放样)的基本工作..... | 164 |
| 习题..... | | 132 | 8.1 | 测设水平距离 | 164 |
| 第 7 章 | 大比例尺地形图的测绘 和应用..... | 134 | 8.1.1 | 一般方法 | 164 |
| 7.1 | 地形图的基本知识..... | 134 | 8.1.2 | 精确方法 | 164 |
| 7.1.1 | 地形图的比例尺(Scale)..... | 134 | 8.2 | 测设水平角 | 165 |
| 7.1.2 | 地形图的图幅、图号和图廓... .. | 135 | 8.2.1 | 一般方法 | 165 |
| 7.2 | 地形图的符号 | 137 | 8.2.2 | 精确方法 | 165 |
| 7.2.1 | 地物符号(Object Symbol)..... | 137 | 8.3 | 测设点的平面位置 | 166 |
| 7.2.2 | 地貌符号(Relief Symbol) | 137 | 8.3.1 | 直角坐标法(Method by Rectangular Coordinates) | 166 |
| 7.2.3 | 注记符号(Letter Symbol)..... | 143 | 8.3.2 | 极坐标法(Method by Polar Coordinates)..... | 166 |
| 7.3 | 图根点加密与测图前准备工作 | 144 | 8.3.3 | 角度交会法(Method by Angular Intersection) | 167 |
| 7.3.1 | 图根点的测量和加密方法 | 144 | 8.3.4 | 距离交会法(Method by Linear Intersection)..... | 168 |
| 7.3.2 | 测图前准备工作 | 144 | 8.4 | 测设已知高程 | 168 |
| 7.4 | 大比例尺地形图的测绘 | 146 | 8.5 | 测设已知坡度线 | 169 |
| 7.4.1 | 经纬仪测绘法(Method of Transit Mapping) | 147 | 习题..... | | 170 |
| 7.4.2 | 小平板仪与经纬仪联合 测图法(Topographic Mapping with Plane-table and Transit)..... | 147 | 第 9 章 | 建筑施工测量..... | 171 |
| 7.4.3 | 大平板仪测图法(Topographic Mapping with Plane-table) | 148 | 9.1 | 建筑场地的施工控制测量..... | 171 |
| 7.4.4 | 全站仪数字化测图法 (Topographic Mapping with Total Station)..... | 149 | 9.1.1 | 建筑基线 | 171 |
| 7.5 | 地形图的分幅与编号 | 150 | 9.1.2 | 建筑方格网 | 172 |
| 7.5.1 | 梯形分幅与编号(Trapeze and Numbering) | 150 | 9.1.3 | 建筑场地的高程控制..... | 175 |



| | | | |
|--|------------|------------------------------------|------------|
| 9.2 工业与民用建筑中的施工测量 | 175 | 10.6.2 地形编码(Landform Coding) | 214 |
| 9.2.1 民用建筑施工中的测量工作 | 175 | 10.7 桥梁工程测量 | 215 |
| 9.2.2 工业厂房的测设工作和柱基施工测量 | 177 | 10.7.1 桥梁施工控制网 | 215 |
| 9.2.3 工业厂房构件的安装测量 | 178 | 10.7.2 桥梁墩台定位测量 | 217 |
| 9.3 高层建筑物施工测量 | 181 | 10.7.3 桥梁架设施工测量 | 218 |
| 9.3.1 高层建筑物的轴线投测 | 181 | 习题 | 218 |
| 9.3.2 高层建筑物的高程传递 | 182 | 第 11 章 管线工程测量 | 220 |
| 9.4 竣工测量 | 183 | 11.1 管道中线测量 | 220 |
| 9.4.1 现场竣工测量 | 183 | 11.1.1 管道主点的测设 | 220 |
| 9.4.2 竣工总平面图的编绘 | 184 | 11.1.2 中桩(里程桩)的测设 | 221 |
| 9.5 建筑物的变形观测 | 184 | 11.1.3 转向角测量 | 222 |
| 9.5.1 建筑物的沉降观测 | 184 | 11.1.4 绘制里程桩手簿 | 222 |
| 9.5.2 建筑物的倾斜观测 | 187 | 11.2 管道纵、横断面图测绘 | 223 |
| 习题 | 188 | 11.2.1 纵断面图测绘 | 223 |
| 第 10 章 道桥工程测量 | 191 | 11.2.2 横断面图测绘 | 225 |
| 10.1 道路中线测量 | 191 | 11.3 管道施工测量 | 226 |
| 10.1.1 测算转向角 α | 191 | 11.3.1 地下管道施工测量 | 226 |
| 10.1.2 测设中桩(里程桩)(Centerline Stake) | 192 | 11.3.2 架空管道施工测量 | 229 |
| 10.2 圆曲线测设 | 192 | 11.3.3 顶管施工测量 | 229 |
| 10.2.1 圆曲线要素的计算 | 193 | 11.4 管道竣工测量 | 230 |
| 10.2.2 圆曲线主点的测设 | 193 | 11.4.1 管道竣工带状平面图 | 230 |
| 10.2.3 圆曲线的详细(加密)测设 | 194 | 11.4.2 管道竣工断面图 | 231 |
| 10.3 纵、横断面图测量 | 197 | 11.5 三维激光扫描仪简介 | 231 |
| 10.3.1 纵断面图的测绘 | 197 | 11.5.1 产品特点 | 232 |
| 10.3.2 横断面图的测绘 | 199 | 11.5.2 规格参数 | 232 |
| 10.4 道路施工测量 | 202 | 11.5.3 三维数据后处理软件 | 233 |
| 10.4.1 施工控制桩的测设 | 202 | 习题 | 237 |
| 10.4.2 路基的测设 | 202 | 第 12 章 地籍测绘 | 239 |
| 10.4.3 竖曲线的测设 | 204 | 12.1 概述 | 239 |
| 10.4.4 土方量的计算 | 205 | 12.1.1 地籍的概念 | 239 |
| 10.5 新技术在路线工程测量中的应用 | 206 | 12.1.2 地籍测量的任务 | 239 |
| 10.5.1 路线控制测量的基本要求 | 206 | 12.2 地籍平面控制测量 | 240 |
| 10.5.2 GPS 控制网布设 | 211 | 12.2.1 地籍测量的坐标系统 | 240 |
| 10.5.3 GPS 控制网的观测工作 | 211 | 12.2.2 平面控制网的等级和施测 | 240 |
| 10.6 路线带状地形图测绘 | 213 | 12.3 地籍要素调查 | 241 |
| 10.6.1 地形点的描述 | 214 | 12.3.1 地块的划分和编号 | 241 |

| | | | |
|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 12.3.2 调查的内容和方法 | 241 | 习题 | 258 |
| 12.4 地籍要素测量 | 242 | 第 14 章 矿山测量 | 259 |
| 12.4.1 地籍要素测量的内容 | 242 | 14.1 矿山测量概述 | 259 |
| 12.4.2 地籍要素测量的方法 | 242 | 14.1.1 矿山测量的任务 | 259 |
| 12.4.3 地籍要素测量的精度 | 243 | 14.1.2 矿山测量的作用 | 259 |
| 12.4.4 地籍测量点的编号 | 243 | 14.1.3 矿山测量工作的特点 | 260 |
| 12.4.5 界址点坐标成果表和地籍 草图的编绘 | 244 | 14.2 井下控制测量 | 260 |
| 12.5 地籍成果整理 | 246 | 14.2.1 井下控制测量的特点 | 260 |
| 12.5.1 地籍图的绘制 | 246 | 14.2.2 井下平面控制 | 261 |
| 12.5.2 面积量算 | 248 | 14.2.3 井下高程控制 | 264 |
| 12.6 地籍修测 | 248 | 14.3 井下联系测量 | 265 |
| 习题 | 249 | 14.3.1 平面联系测量 | 266 |
| 第 13 章 地质勘探工程测量 | 250 | 14.3.2 高程联系测量 | 274 |
| 13.1 勘探工程测量 | 250 | 14.4 巷道施工测量 | 276 |
| 13.1.1 勘探线、勘探网的测设 | 250 | 14.4.1 中线的标定 | 276 |
| 13.1.2 物探网的测设 | 251 | 14.4.2 腰线的标定 | 279 |
| 13.1.3 探槽、探井、钻孔等勘探 工程测量 | 254 | 14.4.3 激光给向(Laser Guiding) | 281 |
| 13.2 地质剖面测量 | 255 | 14.4.4 贯通测量 | 282 |
| 13.2.1 剖面定线 | 255 | 14.5 矿图 | 284 |
| 13.2.2 剖面测量 | 255 | 14.5.1 矿图的概念和种类 | 284 |
| 13.2.3 剖面图的绘制 | 256 | 14.5.2 井下测量图的投影原理 | 284 |
| 13.3 地质填图测量 | 257 | 14.5.3 井下测量图的绘制 | 286 |
| 13.3.1 地质填图的比例尺 | 257 | 14.5.4 井下测量图的专用符号 | 289 |
| 13.3.2 地质填图的方法 | 257 | 14.5.5 矿山测量图的拼接 | 290 |
| 13.3.3 地质填图工程中应注意的 问题 | 257 | 习题 | 290 |
| 13.3.4 地形地质图的绘制 | 257 | 参考文献 | 291 |

第1章 绪论

【学习目标】

- 了解测量学的基本概念;
- 了解地球的形状与大小及地面点位的确定;
- 熟悉直线定向及点位坐标的计算;
- 熟悉罗盘仪的实用方法。

测绘学(Surveying and Mapping 或 Geomatics)是采集、量测、处理、应用与地球和空间分布有关数据的一门科学。它的研究对象非常广泛,从地球的形状、大小乃至地球以外的空间,到地面上局部区域的面积及点位等有关数据和信息。

1.1 测绘学的研究与应用领域

按照研究范围和对象的不同,测绘科学形成了许多分支学科。

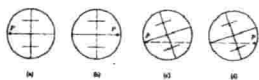
1.1.1 大地测量学

大地测量又可分为卫星大地测量、空间大地测量、几何大地测量(空间大地测量与几何大地测量又称为天文大地测量)、重力大地测量、海洋大地测量等。大地测量学(Geodesy)主要研究地球的形状与大小(精化水准面)、地球的整体运动(地球的自转和极移等)、地球的局部运动(块运动和区域性地壳形变等)。

大地测量学为地球动态变化状态以及动力学机制提供理论研究依据;为研究海平面变化、保护人类生存环境、地震中长期预报提供依据和信息;为经济建设提供控制;为科学研究、航空、航天、航海提供定轨、定位;为国防建设,提高战略、战术武器的命中精度提供制导手段等。

1.1.2 摄影测量与遥感

摄影测量与遥感(Photogrammetry and Remote Sensing)又可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面立体摄影测量、遥感测量。摄影测量可以快速获取地球表面上地貌、地物的影像。在当代通信技术、计算机技术支持下,人们可以实时地获取各种纸质和数字地图。利用遥感技术(电磁波、光波、热辐射等)可快速获取地球表面、地球内部、环境景象、天体等传感目标的信息特征信号,并将其应用于农业调查、土壤性质分析、植被分布、地下资源、气象、环境污染等调查以及自然灾害预测等。



1.1.3 地形测量学

地形测量学(或普通测量学, Topographic Surveying)主要研究地球表面小范围的测绘问题。由于全球卫星导航系统(GNSS)、地理信息系统(GIS)、当代遥感技术(RS),即 3S 技术为代表的测绘新技术的迅猛发展,地形测量学的产品已经开始由传统的纸质地图快速向 4D (数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM), 数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM), 数字栅格地图(Digital Raster Graphic, DRG), 数字线划地图(Digital Line Graphic, DLG))产品过渡。4D 产品在网络的支持下将成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基础,为相关的研究工作以及国民经济各行业、各部门应用地理信息带来巨大便利。

1.1.4 工程测量学

工程测量学(Engineering Surveying)主要研究有关城市建设、矿山工厂、水利水电、农林牧业、道路交通、地质矿产等领域的勘测设计、建设施工、竣工验收、生产经营、变形监测等方面的测绘工作。工程测量学的特点是应用基本测量理论、技术、仪器设备,针对不同工程的特点,研究其具有特殊性的施工测绘方法。

此外,测绘科学还包括海洋测量学(Hydrographic Surveying)、地图制图学(Cartography)等。

测绘科学的地位非常重要。在 21 世纪的信息时代,国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)即“国家信息高速公路”必须由国家空间数据基础设施(National Spatial Data Infrastructure, NSDI)作为基础,“数字地球”(Digital Earth)也必须以 NSDI 作为基础。现代测绘业正是 NSDI 的主干产业,它提供的地理信息数据产品、技术产品和地理信息工程将作为 NSDI 的基础框架,因而现代测绘业越来越多地被称为地球信息科学(Geomatics)产业。

测绘科学在国家各级政府部门的管理和决策、国民经济的发展规划、科学研究、各项农业基本建设、国防建设中都有着极广泛的应用。例如,我国国务院常务会议室就使用了电子地图系统——国务院国情地理信息系统。再如,对于各种工程建设,在勘测设计阶段要求有相应比例尺的地形图,供规划、选址、管道及交通路线选线以及总平面图设计和竖向设计之用。在施工阶段,要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,指导施工。施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测,以保证其安全运营和使用。

对于一般工程建设而言,测量学的基本工作内容包括两部分:测定(或测绘)和测设(或放样)。测定(Determination)是通过使用专用仪器设备、采用一定的技术方法,将地貌、地物转化成一系列数据,经过处理后成为各种纸质地图或数字地图。测设(Laying out)则是测定的反过程,即按照图上的规划或设计(如构筑物的位置、图形)在实地上标定出来,作为建设施工的依据。

通过对本课程的学习,要求学生对测绘学的基本知识、基础理论有一定的了解,并掌握工程水准仪、经纬仪等常规工程测绘仪器的基本操作方法和基本内业计算工作,以便在各自的工作中具有正确应用有关测绘信息与资料的能力,更好地为专业工作服务。

1.2 地球形状和大小

地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、盆地、平原和海洋,所以人们把平均海水面及其延伸到大陆内部所形成的闭合曲面称为大地水准面(Geoid)(见图 1-1(a)、(b)),用来代表地球的几何形状。这是因为大地水准面同地球表面的形状非常接近。大地水准面是一个处处与重力方向垂直的封闭曲面。重力的方向线又称铅垂线(Plumb Line),是测量工作的基准线,而大地水准面则是测量工作的一个基准面。

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面,人们无法在此曲面上直接进行测绘和数据处理。但从力学角度看地球是一个旋转的均质流体,其平衡状态是一个旋转椭球体。于是人们进一步利用一个合适的旋转椭球面来逼近大地水准面(见图 1-1(c))。

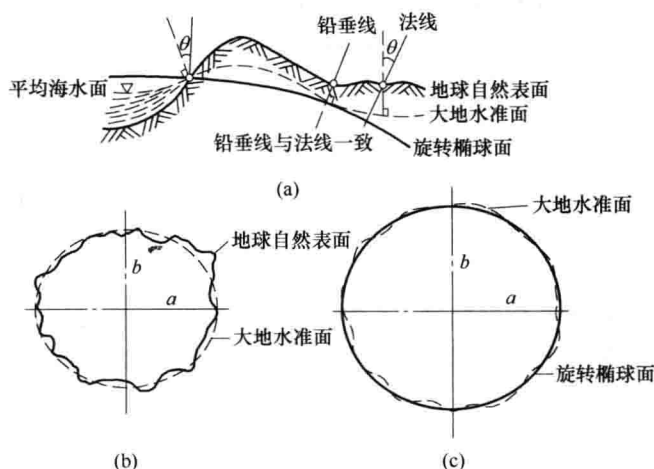


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和旋转椭球面

旋转椭球面是一个数学表面。在直角坐标系 $Oxyz$ 中(见图 1-2),若椭圆长半轴为 a ,短半轴为 b ,则旋转椭球面标准方程为

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

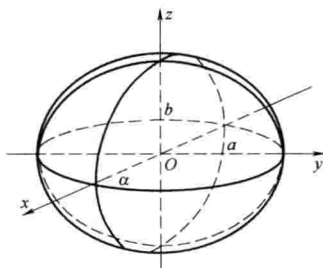
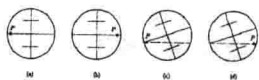


图 1-2 旋转椭球



地球的形状非常接近于一个旋转椭球,其长半轴 a 为 6378140m,短半轴 b 为 6356755m,扁率 α 为 1:298.257。其中

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

在一般情况下,地面点上的铅垂线同旋转椭球面正交的法线是不平行的,两者之间的角称为垂线偏差,以 θ 表示,其值一般在 $10''$ 之内(见图 1-1(a))。

由于地球椭球的扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球当作圆球来看待,其平均半径为 6371km。

1.3 地面点位的确定

测量工作的根本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置,通常是求出该点的球面位置或投影在水平面上的平面位置,称为坐标(Coordinate),以及求出该点到大地水准面的铅垂距离,称为高程或标高(Elevation),也就是确定地面点的坐标和高程。

1.3.1 地面点的坐标

地面点的坐标,根据实际情况可选用下列三种坐标系统中的一种来确定。

1. 地理坐标

地面点在球面上的位置是用经纬度表示的,称为地理坐标(Geographic Coordinates)。地理坐标又按坐标所依据的基本线和基本面的不同以及求坐标方法的不同,可分为天文坐标和大地坐标两种。

1) 天文坐标

天文坐标(Astronomical Coordinates)又称天文地理坐标,是表示地面点在大地水准面上的位置,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示,如图 1-3 所示。

地球的自转轴 NS 称为地轴。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线,垂直于地轴的平面并通过球心 O 与球面相交的纬线称为赤道,经过 F 点和赤道平面的夹角,称为 F 点的纬度,常以 φ 来表示。由于地球是椭球体,所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南自 0° 至 90° , 分别称为北纬或南纬。

2) 大地坐标

大地坐标(Geodetic Coordinates)又称大地地理坐标,是表示地面点在旋转椭球面上的位置,用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。 F 点的大地经度 L , 就是包含 F 点的子午面和首子午面所夹的二面角; F 点的大地纬度 B , 就是过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道面的夹角。

天文经纬度是用天文测量的方法直接测定的,而大地经纬度是根据大地测量数据由椭球定位的数学关系推算而得。不同的椭球和定位方法得到不同的坐标系。目前我国使用“2000 年国家大地坐标系”。

地面上一点的天文坐标和大地坐标之所以不同,是因为各自依据的基本面和基本线不同,前者依据的是大地水准面和铅垂线,后者依据的是旋转椭球面和法线。由于旋转椭球面和大地水准面不一致,因此过同一点的铅垂线和法线也不一致,而产生垂线偏差 θ (见图 1-1(a))。

2. 高斯平面直角坐标

大地坐标只能用来确定地面点在旋转椭球面上的位置,不能直接用来测图。测量上的计算,最好在平面上进行。众所周知,旋转椭球面是一个曲面,不能简单地展成平面,那么如何建立一个平面直角坐标系呢?我国采用高斯投影的方法,建立高斯平面直角坐标(Gauss Planimetric Rectangular Coordinates)。

高斯投影就是设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在旋转椭球外面(见图 1-4),并与旋转椭球面上某一条子午线(如 NS)相切,同时使圆柱的轴位于赤道面内,并通过椭球中心,相切的子午线称为中央子午线。然后将中央子午线附近的旋转椭球面上的点、线投影到横圆柱面上,如将旋转椭球面上的 M 点投影到横圆柱面上得 m 点,再顺着过极点的母线,将圆柱面剪开,展成平面,此平面称为高斯投影平面(Gauss Projecting Plane)。

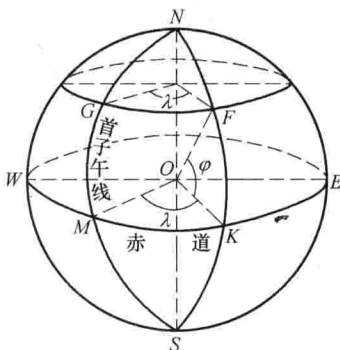


图 1-3 天文坐标

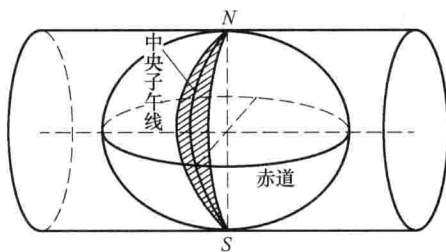


图 1-4 高斯投影

高斯投影平面上的中央子午线投影为直线且长度不变,其余子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度,离中央子午线越远长度变形越大。为了将长度变形限制在测量精度允许的范围内,因此有投影带的划分,一般都采用 6° 分带法,即从格林尼治零子午线起每隔经差 6° 为一带,将旋转椭球面由西向东等分为60个带(见图 1-5(a)), $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第1带。第1带的中央子午线的经度为 3° (见图 1-5(b))。任意带中央子午线经度 L 可按下式计算:

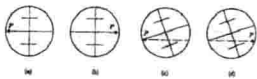
$$L=6n-3 \quad (1-3)$$

式中, n 为投影带的号数。每一投影带采用各自独立的高斯平面直角坐标(见图 1-6(a))。

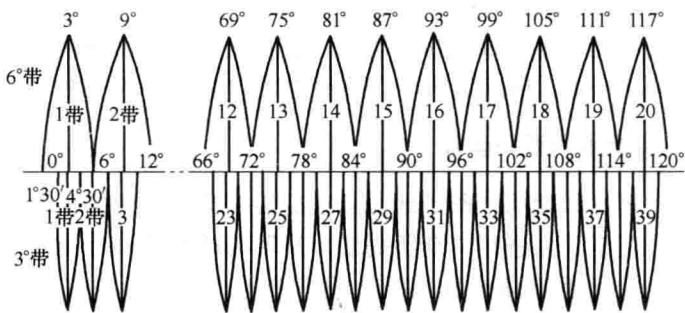
实践证明, 6° 带投影后,其边缘部分的变形能满足1:25000或更小比例尺测图的精度。

当进行1:10000或更大比例尺制图时,要求投影变形更小,可用 3° 分带法(见图 1-5(b))或 1.5° 分带法。 3° 分带法是从东经 $1^\circ 30'$ 起,每隔 3° 划分一带,全球共划分120个带,每带中央子午线经度 L_0 可按下式计算:

$$L_0=3n \quad (1-4)$$



(a)



(b)

图 1-5 分带示意图

测量学上以每一带的中央子午线的投影为直角坐标系的纵轴 x ，向上为正，向下为负；以赤道的投影为直角坐标系的横轴 y ，向东为正，向西为负；两轴交点 O 为坐标原点。由于我国领土全部位于赤道以北，因此 x 值均为正值，而 y 值则有正有负，如图 1-6(a)所示， $y_a=148680.54\text{m}$ ， $y_b=-134240.69\text{m}$ 。为了避免出现负值，每带的坐标原点向西移到 500km，则每点的横坐标值均为正值，如图 1-6(b)所示， $y_a=500000 + 148680.54=648680.54\text{m}$ ， $y_b=500000 - 134240.69 = 365759.31\text{m}$ 。

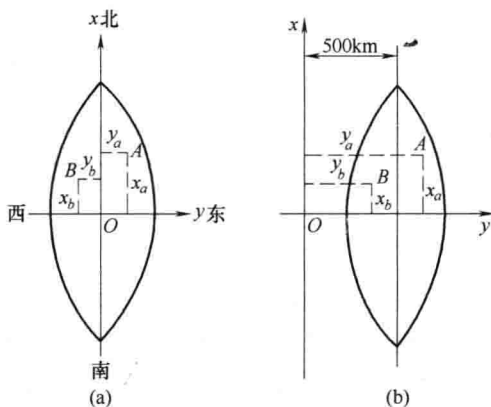


图 1-6 高斯平面直角坐标

为了根据横坐标值能确定某点位于哪一个 6° 带内，则在横坐标值前冠以带的编号。例如，A 点位于第 20 带内，则其横坐标值 y_a 为 20648680.54m。

3. 独立平面直角坐标

当测量的区域较小时，可以把该测区的球面当作平面看待，直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用独立平面直角坐标 (Assumed Planimetric Rectangular Coordinates)(见图 1-7)来表示它的投影位置。将坐标原点选在测区西南角，使测区全部落在第一象限内，并以该地的子午线为 x 轴，向北为正， y 轴向东为正。象

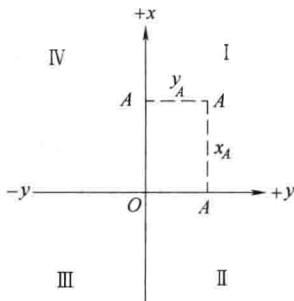


图 1-7 独立平面直角坐标

限按顺时针方向编号,这与数学上笛卡儿坐标系(Cartesian Coordinate)的规定不同。测量上取南北线为标准方向,主要是定向方便,而象限采取顺时针方向编号,其目的是便于将数学上的三角函数和解析几何的公式直接应用到测量计算,可不作任何改变。如地面上某点 A 的位置可用该点到横、纵坐标轴的垂直距离 x_A 和 y_A 表示。

1.3.2 地面点的高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程,又称海拔。如图 1-8 所示的 A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。海水面由于受潮汐、风浪等影响,是个动态的曲面,它的高低位置时刻都在变化,通常是在海边设立验潮站,进行长期观测,取海水面的平均高度作为高程零点,通过该零点的大地水准面称为高程基准面(即高程起算面)。新中国成立后,我国曾采用从青岛验潮站求得的黄海平均海面作为高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”,并在青岛市观象山上建立水准原点,其高程为 72.289m。由于验潮资料不足等原因,我国自 1987 年启用“1985 年国家高程基准”。它是采用青岛验潮站 1953—1979 年验潮资料计算确定的。依次推算的青岛国家水准原点高程为 72.260m。为了统一全国的高程系统,全国都应以新的原点高程为准。

在局部地区,也可以假设一个水准面作为高程起算面。地面点到假设水准面的铅垂距离,称为假设高程或相对高程。 A 、 B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

地面两点高程之差称为高差(Difference in Elevation),以 h 表示,如图 1-8 中 A 、 B 两点的高差为

$$h_{ab} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-5)$$

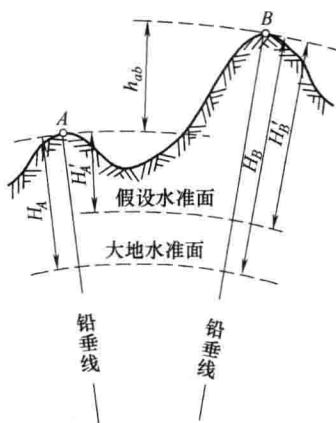
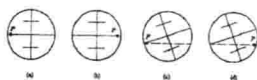


图 1-8 高程和高差

1.3.3 水平面代替水准面的限度

对于众多的工程来说,图纸是平面的,而且要求平面图上地貌、地物是实地地貌、地物按比例缩小的相似形。然而水准面是不可展开的曲面,如果一定要将水准面展开成平面,则会发生变形。



用水平面来代替水准面只有测区很小时才允许，那么，这个区域的范围究竟多大呢？如图 1-9 所示， A 、 B 、 C 是地面点，它们在大地水准面上的投影点是 a 、 b 、 c ，用该区域的切平面来代替大地水准面后，地面点在水平面上的投影是 a 、 b' 、 c' 点，现分析由此产生的影响。图 1-9 中， A 、 B 两点在水准面上的距离为 D ，在水平面上的距离为 D' ，两者之间的差别为 ΔD ，就是用水平面代替水准面后的差异。大地水准面是一个复杂的曲面，在推导公式时，近似地认为它是半径为 R 的球面，因此

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R\theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1-6)$$

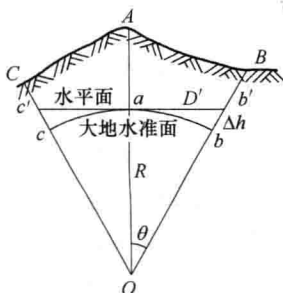


图 1-9 水平面代替水准面

已知

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

因 θ 角很小，只读取前两项，并将其代入式(1-6)，得

$$\Delta D = R \left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta \right)$$

把 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-7)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-8)$$

将地球平均半径 $R=6371\text{km}$ ，以及不同的距离 D 代入式(1-8)，便得到表 1-1 所示结果。

由表 1-1 可以看出，当 $D=10\text{km}$ 时，所产生的相对误差为 $1/1250000$ ，这样小的误差对一般精密测量来说也是允许的，所以在 10km 为半径的圆面积之内，可用水平面代替水准面。

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

| D/km | $\Delta D/\text{cm}$ | $\Delta D/D$ |
|---------------|----------------------|--------------|
| 10 | 1 | 1 : 1250000 |
| 25 | 7 | 1 : 200000 |
| 50 | 102 | 1 : 49000 |
| 100 | 812 | 1 : 12000 |