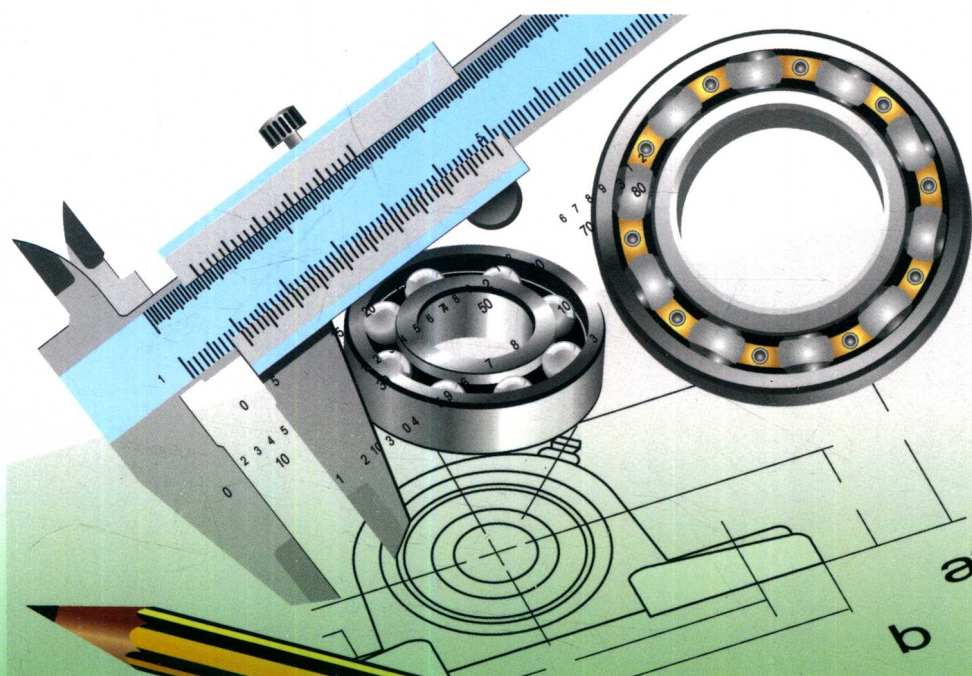


建筑专业“十三五”规划教材

建筑工程测量

JIANZHU GONGCHENGCELIANG

主编◎邹冠华 程 琤 赵思炯



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

建筑专业“十三五”规划教材

建筑工程测量

主 编 邹冠华 程 琤 赵思炯
副主编 高玉梅 余 勇 苏叶青
唐 文 王 明



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

建筑工程测量是建筑工程在设计、施工阶段和竣工使用期间的测量工作。本书依据《工程测量规范》《城市测量规范》和《建筑变形测量规范》，结合建筑工程工地施工测量所需要的知识体系编写。本书共12章，主要包括建筑工程测量概述、水准测量、角度测量、距离测量、全站仪、GNSS卫星定位系统、小地区控制测量、大比例尺地形图测绘及应用、建筑施工测量、建筑物变形观测、民用建筑施工测量和工业建筑施工测量等知识。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校土木建筑工程专业的教材，也可供建筑工程专业技术人员阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

建筑工程测量 / 邹冠华，程琤，赵思炯主编. -- 北京：
北京希望电子出版社，2017.7

ISBN 978-7-83002-475-8

I. ①建… II. ①邹… ②程… ③赵… III. ①建筑测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 134656 号

出版：北京希望电子出版社
地址：北京市海淀区中关村大街 22 号
 中科大厦 A 座 9 层
邮编：100190
网址：www.bhp.com.cn
电话：010-82626270
传真：010-62543892
经销：各地新华书店

封面：赵俊红
编辑：金美娜
校对：李 冰
开本：787mm×1092mm 1/16
印张：18.75
字数：342 千字
印刷：廊坊市广阳区九洲印刷厂印制
版次：2017 年 7 月 1 版 1 次印刷

定价：48.00 元

前言

“建筑工程测量”是建筑工程技术、工程管理等专业的一门主要的专业基础课。该课程重点介绍建筑工程测量基本知识、测量仪器的使用方法、建筑施工测量和线路施工测量等内容,培养学生的建筑工程测量技能,满足提高建筑工程施工及管理的能力的需求。为了落实教育规划纲要,深化高等教育和职业教育的课程改革,使大学生具备社会所需要的就业能力,特组织专家和一线骨干教师编写了《建筑工程测量》。本书编写具有如下特色:

(1) 紧紧结合行业、专业发展前沿技术,尤其重点介绍了目前各国的卫星定位系统(GNSS)和电子地图测绘应用技术等。

(2) 紧扣工程建设状况,选取典型工程案例,与工程测量生产实际紧密结合,强化训练学生的测量技能。

(3) 结合应用型本科、职业教育特色,本着“必需、适度、够用”的原则编写而成,将理论教学和实践教学融为一体,有利于全面提高学生的实践能力。

本书共12章。第1章建筑工程测量概述,第2章水准测量,第3章角度测量,第4章距离测量,第5章全站仪,第6章GNSS卫星定位系统,第7章小地区控制测量,第8章大比例尺地形图测绘及应用,第9章建筑施工测量,第10章建筑物变形观测,第11章民用建筑施工测量,第12章工业建筑施工测量。本书文字通俗易懂,言简意赅,注重实用,内容一目了然,没有复杂测量理论的阐述,有利于教师教学和学生自学。

本书由湖南有色金属职业技术学院的邹冠华、徐州工业职业技术学院的程琤和江西工业贸易职业技术学院的赵思炯担任主编,由河北建工集团有限公司的高玉梅、湖南有色金属职业技术学院的余勇、苏叶青、唐文和王明担任副主编。本书在编写过程中得到了北京希望电子出版社编辑的大力帮助。本书的相关资料和售后服务可扫本书封底的微信二维码或与QQ(2436472462)联系获得。

本书在编写过程中难免有疏漏和不当之处,敬请各位专家及读者不吝赐教。

编者

2017年6月

目 录

| | |
|--------------------------------------|--|
| 第 1 章 建筑工程测量概述 1 | |
| 【本章导读】..... 1 | |
| 【学习目标】..... 1 | |
| 1.1 建筑工程测量的基本知识..... 1 | |
| 1.1.1 测量学的分类..... 1 | |
| 1.1.2 建筑工程测量的作用..... 2 | |
| 1.1.3 测量工作的基本内容..... 2 | |
| 1.1.4 测量工作的基本原则..... 3 | |
| 1.2 地面点定位..... 5 | |
| 1.2.1 地球的形状和大小..... 5 | |
| 1.2.2 地面点位的表示方法..... 6 | |
| 1.3 水平面代替水准面的限度..... 11 | |
| 1.3.1 对距离的影响..... 11 | |
| 1.3.2 对高程的影响..... 13 | |
| 1.3.3 对水平角的影响..... 13 | |
| 1.4 测量误差的基本知识..... 14 | |
| 1.4.1 研究测量误差的目的..... 14 | |
| 1.4.2 测量误差的来源..... 15 | |
| 1.4.3 测量误差的分类及处理 方法..... 15 | |
| 1.4.4 衡量精度的标准..... 19 | |
| 1.4.5 误差传播定律..... 21 | |
| 【本章小结】..... 26 | |
| 【思考与练习】..... 26 | |
| 第 2 章 水准测量 28 | |
| 【本章导读】..... 28 | |
| 【学习目标】..... 28 | |
| 2.1 水准测量的基本知识..... 28 | |
| 2.1.1 水准测量的原理..... 28 | |
| 2.1.2 微倾式水准仪..... 29 | |
| 2.1.3 自动安平水准仪及其使用..... 33 | |
| 2.1.4 精密水准仪及其使用..... 34 | |
| 2.1.5 电子水准仪..... 38 | |
| 2.2 水准仪的使用..... 41 | |
| 2.2.1 水准仪的基本操作程序..... 41 | |
| 2.2.2 水准仪检验与校正..... 43 | |
| 2.3 普通水准测量..... 47 | |
| 2.3.1 水准点..... 47 | |
| 2.3.2 水准测量路线形式..... 48 | |
| 2.2.3 普通水准测量外业实施..... 49 | |
| 2.3.4 水准测量的成果计算..... 50 | |
| 2.4 水准测量误差..... 52 | |
| 2.4.1 仪器误差..... 53 | |
| 2.4.2 观测误差..... 53 | |
| 2.4.3 外界因素影响的误差..... 53 | |
| 【实训】等外闭合水准路线测量..... 55 | |
| 【本章小结】..... 56 | |
| 【思考与练习】..... 57 | |
| 第 3 章 角度测量 58 | |
| 【本章导读】..... 58 | |
| 【学习目标】..... 58 | |
| 3.1 角度测量基本知识..... 58 | |
| 3.1.1 角度测量原理..... 58 | |
| 3.1.2 DJ ₆ 型光学经纬仪..... 60 | |
| 3.1.3 电子经纬仪..... 65 | |
| 3.2 经纬仪的使用..... 70 | |
| 3.2.1 经纬仪的操作..... 70 | |
| 3.2.2 经纬仪的检验与校正..... 73 | |
| 3.3 水平角测量..... 78 | |
| 3.3.1 测回法..... 78 | |

| | | | | | |
|---------|--------------------|-----|---------|----------------------|-----|
| 3.2.2 | 方向观测法 | 80 | 4.4.1 | 标准方向 | 114 |
| 3.2.3 | 影响水平角测量精度的因素 | 82 | 4.4.2 | 直线方向的表示方法 | 115 |
| 3.3 | 竖直角测量 | 85 | 4.4.3 | 坐标方位角的推算和 点位坐标计算 | 117 |
| 3.3.1 | 竖直度盘构造 | 85 | 4.4.4 | 磁方位角的测定 | 119 |
| 3.3.2 | 竖直角计算公式 | 85 | 【实训 1】 | 距离丈量及楼高的 测定 | 121 |
| 3.3.3 | 竖直角测量和计算 | 86 | 【实训 2】 | 视距测量 | 122 |
| 3.3.4 | 竖盘指标差与竖盘自动 归零装置 | 87 | 【本章小结】 | | 124 |
| 【实训 1】 | 水平角测量任务 | 89 | 【思考与练习】 | | 124 |
| 【实训 2】 | 竖直角测量任务 | 90 | 第 5 章 | 全站仪 | 125 |
| 【本章小结】 | | 92 | 【本章导读】 | | 125 |
| 【思考与练习】 | | 92 | 【学习目标】 | | 125 |
| 第 4 章 | 距离测量 | 93 | 5.1 | 全站仪的构造及其辅助设备 | 125 |
| 【本章导读】 | | 93 | 5.1.1 | 全站仪外部构造 | 126 |
| 【学习目标】 | | 93 | 5.1.2 | 各测量模式下功能键 (软键)的功能 | 128 |
| 4.1 | 钢尺量距 | 93 | 5.1.3 | 星键(★键)模式 | 130 |
| 4.1.1 | 量距工具 | 93 | 5.1.4 | 全站仪的辅助设备 | 131 |
| 4.2.2 | 直线定线 | 95 | 5.2 | 全站仪的基本操作 | 132 |
| 4.1.3 | 一般量距 | 96 | 5.2.1 | 全站仪测量原理 | 132 |
| 4.1.4 | 精密量距 | 99 | 5.2.2 | 测量前的准备工作 | 132 |
| 4.1.5 | 钢尺量距的误差及 注意事项 | 102 | 5.2.3 | 全站仪的操作与使用 | 133 |
| 4.2 | 视距测量 | 103 | 5.2.4 | 全站仪的其他功能 | 135 |
| 4.2.1 | 视距测量的原理 | 103 | 5.3 | 全站仪的模块测量 | 135 |
| 4.2.2 | 视距测量的观测与计算 | 105 | 5.3.1 | 坐标测量 | 135 |
| 4.2.3 | 视距测量误差分析及 注意事项 | 106 | 5.3.2 | 放样测量 | 137 |
| 4.3 | 电磁波测距 | 107 | 5.3.3 | 其他测量 | 138 |
| 4.3.1 | 光电测距原理 | 107 | 5.4 | 全站仪测量误差 | 139 |
| 4.3.2 | 光电测距主要设备 | 110 | 5.4.1 | 测角误差分析 | 139 |
| 4.3.3 | 光电测距仪的使用 | 112 | 5.4.2 | 测距误差分析 | 141 |
| 4.3.4 | 测距成果整理 | 113 | 5.4.3 | 测距频率误差 | 141 |
| 4.3.5 | 测距仪标称精度 | 114 | 5.4.4 | 仪器常数改正误差 | 142 |
| 4.4 | 直线定向 | 114 | 5.4.5 | 大气折射率误差 | 142 |
| | | | 【实训 1】 | 全站仪测量点的坐标 | 143 |

| | | | |
|-------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| 【实训 2】 全站仪测设点的位置 | 146 | 7.1.2 高程控制网 | 172 |
| 【本章小结】 | 148 | 7.2 导线测量 | 173 |
| 【思考与练习】 | 149 | 7.2.1 导线测量的形式 | 173 |
| 第 6 章 全球定位系统 | 150 | 7.2.2 导线测量外业工作 | 174 |
| 【本章导读】 | 150 | 7.2.3 导线测量内业计算 | 175 |
| 【学习目标】 | 150 | 7.3 交会测量 | 181 |
| 6.1 卫星定位系统基本知识 | 150 | 7.3.1 前方交会 | 181 |
| 6.1.1 GPS 的组成 | 150 | 7.3.2 侧方交会 | 183 |
| 6.1.2 GPS 坐标系统 | 152 | 7.3.3 后方交会 | 184 |
| 6.2 GPS 定位原理 | 153 | 7.3.4 测边交会定点 | 185 |
| 6.2.1 GPS 基本定位原理 | 154 | 7.4 高程控制测量 | 186 |
| 6.2.2 载波相位测量 | 155 | 7.4.1 每一站的观测顺序 | 186 |
| 6.2.3 相对定位 | 156 | 7.4.2 测站计算与检核 | 186 |
| 6.3 GPS 测量的实施 | 158 | 7.4.3 成果计算 | 188 |
| 6.3.1 GPS 网的技术设计 | 158 | 7.5 三角高程测量 | 188 |
| 6.3.2 选点与建立标志 | 159 | 7.5.1 三角高程测量原理与 计算 | 188 |
| 6.3.3 外业观测 | 160 | 7.5.2 地球曲率和大气折光对 高差的影响 | 189 |
| 6.3.4 数据处理 | 161 | 【实训】 闭合导线测量 | 191 |
| 6.3.5 观测成果的质量检核 | 161 | 【本章小结】 | 195 |
| 6.4 常规 RTK 技术 | 163 | 【思考与练习】 | 195 |
| 6.4.1 RTK 技术原理 | 163 | 第 8 章 大比例尺地形图测绘及 应用 | 197 |
| 6.4.2 RTK 作业模式与应用 | 164 | 【本章导读】 | 197 |
| 6.4.3 RTK 作业模式注意的 问题 | 165 | 【学习目标】 | 197 |
| 6.5 CORS 技术应用 | 165 | 8.1 地形图的比例尺 | 197 |
| 6.5.1 CORS 基本原理 | 165 | 8.1.1 比例尺的种类 | 197 |
| 6.5.2 CORS 系统的构成 | 166 | 8.1.2 地形图按比例尺分类 | 198 |
| 【实训】 GPS 的认识与使用 | 166 | 8.1.3 比例尺的精度 | 198 |
| 【本章小结】 | 168 | 8.2 地形图的分幅和编号 | 199 |
| 【思考与练习】 | 168 | 8.2.1 地形图的梯形分幅与 编号 | 199 |
| 第 7 章 小地区控制测量 | 169 | 8.2.2 地形图的矩形分幅与 编号 | 200 |
| 【本章导读】 | 169 | | |
| 【学习目标】 | 169 | | |
| 7.1 小地区控制测量基本知识 | 169 | | |
| 7.1.1 平面控制测量 | 171 | | |

| | | | |
|------------------------|------------|--------------------------|------------|
| 8.3 地形图图外注记..... | 201 | 9.3 点的平面位置的测设..... | 231 |
| 8.3.1 图名和图号..... | 201 | 9.3.1 直角坐标法..... | 231 |
| 8.3.2 接合图表..... | 201 | 9.3.2 极坐标法..... | 231 |
| 8.3.3 图廓及坐标网格..... | 201 | 9.3.3 角度交会法..... | 233 |
| 8.3.4 三北方向关系图..... | 202 | 9.3.4 距离交会法..... | 233 |
| 8.4 大比例尺地形图图式..... | 202 | 9.3.5 全站仪坐标法..... | 234 |
| 8.4.1 地物符号..... | 202 | 9.4 建筑施工控制测量..... | 234 |
| 8.4.2 地貌符号..... | 203 | 9.4.1 施工控制网的分类..... | 234 |
| 8.4.3 注记..... | 203 | 9.4.2 施工场地的平面控制 | |
| 8.5 等高线..... | 203 | 测量..... | 235 |
| 8.5.1 典型地貌的等高线..... | 204 | 9.4.3 施工场地的高程控制 | |
| 8.5.2 等高线的特性..... | 207 | 测量..... | 238 |
| 8.5.3 等高线的分类..... | 207 | 【实训1】 平面点位的测设..... | 238 |
| 8.6 大比例尺地形图的测绘..... | 208 | 【实训2】 设计高程及坡度线的 | |
| 8.6.1 数字测图作业过程..... | 208 | 测设..... | 239 |
| 8.6.2 数字测图系统..... | 209 | 【本章小结】..... | 241 |
| 8.7 大比例尺地形图的应用..... | 210 | 【思考与练习】..... | 242 |
| 8.7.1 地形图的识读..... | 210 | | |
| 8.7.2 地形图的应用..... | 211 | 第10章 建筑物变形观测..... | 243 |
| 【实训】 道路横断面测量..... | 220 | 【本章导读】..... | 243 |
| 【本章小结】..... | 222 | 【学习目标】..... | 243 |
| 【思考与练习】..... | 222 | 10.1 建筑物变形观测基本知识..... | 243 |
| 第9章 建筑施工测量..... | 223 | 10.1.1 工业与民用建筑变形 | |
| 【本章导读】..... | 223 | 监测项目..... | 243 |
| 【学习目标】..... | 223 | 10.1.2 建筑物的变形监测的 | |
| 9.1 建筑施工测量基本知识..... | 223 | 等级划分及精度要求..... | 244 |
| 9.1.1 建筑工程测量的原则..... | 223 | 10.2 建筑物的沉降观测..... | 245 |
| 9.1.2 施工测量的精度..... | 223 | 10.2.1 水准基点和沉降观测点的 | |
| 9.1.3 施工坐标系与测量 | | 布设..... | 245 |
| 坐标系的坐标转换..... | 224 | 10.2.2 建筑物的沉降观测..... | 246 |
| 9.2 测设的基本工作..... | 225 | 10.3 建筑物的倾斜观测..... | 249 |
| 9.2.1 已知水平距离的测设..... | 225 | 10.3.1 一般建筑物的倾斜观测..... | 249 |
| 9.2.2 测设已知水平角..... | 227 | 10.3.2 圆形建筑物及构筑物 | |
| 9.2.3 测设已知高程..... | 228 | 主体的倾斜观测..... | 251 |
| 9.2.4 已知坡度直线的测设..... | 230 | 10.4 建筑物的裂缝和位移观测..... | 252 |
| | | 10.4.1 构件的挠度观测..... | 252 |

| | | | |
|-------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 10.4.2 建筑物的裂缝观测 | 252 | 【实训 2】 测设点的平面位置和 高程 | 273 |
| 10.4.3 建筑物位移观测 | 253 | 【本章小结】 | 275 |
| 【本章小结】 | 254 | 【思考与练习】 | 275 |
| 【思考与练习】 | 254 | 第 12 章 工业建筑施工测量 | 276 |
| 第 11 章 民用建筑施工测量 | 255 | 【本章导读】 | 276 |
| 【本章导读】 | 255 | 【学习目标】 | 276 |
| 【学习目标】 | 255 | 12.1 工业建筑控制网的测设 | 276 |
| 11.1 民用建筑施工测量基本知识 | 255 | 12.2 厂房柱列轴线的测设和 柱基施工测量 | 277 |
| 11.2 建筑物的定位和放线 | 259 | 12.2.1 柱列轴线的测设 | 277 |
| 11.2.1 建筑物定位 | 259 | 12.2.2 柱基的测设 | 278 |
| 11.2.2 轴线控制桩设置 | 260 | 12.2.3 基坑的高程测设 | 278 |
| 11.3 基础施工测量 | 261 | 12.2.4 基础模板的定位 | 279 |
| 11.3.1 基槽开挖深度的控制 | 261 | 12.3 工业厂房构件的安装测量 | 279 |
| 11.3.2 槽底口和垫层轴线投测 | 262 | 12.3.1 柱子安装测量 | 280 |
| 11.3.3 基础施工测量 | 263 | 12.3.2 吊车梁的安装测量 | 281 |
| 11.4 主体施工测量 | 264 | 12.3.3 吊车轨道安装测量 | 282 |
| 11.4.1 轴线投测 | 264 | 12.4 烟囱、水塔施工放样 | 283 |
| 11.4.2 高程传递 | 265 | 12.4.1 基础中心定位 | 283 |
| 11.5 高层建筑施工测量 | 266 | 12.4.2 基础施工放样 | 284 |
| 11.5.1 高层建筑施工的精度 要求 | 266 | 12.4.3 筒身施工放样 | 284 |
| 11.5.2 桩位放样及基坑标定 | 266 | 【实训】 建筑物轴线放样 | 285 |
| 11.5.3 基坑支护工程监测 | 267 | 【本章小结】 | 287 |
| 11.5.4 基础放线及标高控制 | 269 | 【思考与练习】 | 287 |
| 11.5.5 轴线的竖向投测 | 270 | 参考文献 | 288 |
| 【实训 1】 一个测站上碎部测量 | 272 | | |

第1章 建筑工程测量概述

【本章导读】

人类在地球上的生存、发展离不开点位置的确定, 离不开边界点、边界线的确定, 离不开这些场所的面积以及建筑工程的位置测定。测量科学正是适应人类生存、发展的需要和建筑工程建设的定位技术需求而发展起来。建筑工程测量的任务主要包括测绘和测设两部分。测绘是指使用测量仪器和工具, 通过实地测量和计算得到一系列测量信息, 把地球表面的地形绘成地形图或编制成数据资料, 供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上用特定的方式标定出来, 作为施工的依据, 又称施工放样。

【学习目标】

- 了解建筑工程测量的基本任务;
- 掌握地面点位的表示方法;
- 理解水平面代替水准面的适用条件;
- 掌握测量误差的分类, 产生原因及衡量精度的指标。

1.1 建筑工程测量的基本知识

测量学(Surveying)是研究如何确定地球表面上点的位置, 如何将地球表面的地物、地貌、行政和权属界限测绘成图, 如何确定地球形状和大小, 以及将规划设计的点和线在实地上定位的科学。

1.1.1 测量学的分类

测量学按研究范围和对象不同可分为以下几个分支学科:

(1) 大地测量学。研究测定地球的形状、大小和地球的重力场的测量方法、分布情况及其应用的学科。

(2) 摄影测量与遥感学。是研究利用电磁波传感器测定目标物的影像数据, 从中提取语义和非语义的信息, 并利用图形、图像和数字形式表达目标物空间分布及相互关系的科学。

(3) 地图制图学与地理信息工程。研究利用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化, 并对空间信息进行获取、

智能抽象、存储、管理、分析、可视化及其应用的科学。

(4) 工程测量学。研究测量、制图的理论和技术在工程建设中的应用。包括控制测量、地形测绘、施工放样、变形检测理论与技术。工程测量学是测绘科学技术在国民经济和国防建设中的直接应用。

(5) 地籍测量学。是调查和测定土地及其上附着物的权属、位置、质量、数量和利用现状等基本状况的科学。地籍测量为土地和房屋管理、城乡规划、税收、土地整理等方面提供重要的基础资料。主要内容包括地籍控制测量,地籍图绘制,界址点坐标值及权属范围的面积计算,调查权属主姓名、住址、土地利用现状、类别和等级,房产情况等。

1.1.2 建筑工程测量的作用

建筑工程测量包括建筑工程在规划设计、施工建筑和运营管理阶段所进行的各种测量工作。在不同的领域中,测量工作的内容和步骤也是不同的。

(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地形图,为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料。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、地形的断面并进行地形分析等。

(2) 施工建筑阶段。将图纸上设计好的建筑物或构筑物的平面位置和高程,按设计要求在实地上用桩点或线条标定出来,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,要测绘竣工图,供日后扩建、改建、维修和城市管理使用。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,监测建筑物或构筑物的水平位移和垂直沉降,了解建筑物或构筑物的变形规律,以便采取措施,保证建筑物的安全。

由此可见,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 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。

1.1.3 测量工作的基本内容

测量工作的基本任务就是确定地面点的空间三维坐标,即地面点投影到大地水准面或某一平面得到点的二维坐标(水平距离、水平角)和该点到大地水准面的铅垂距离(高程)。因此,角度测量、距离测量、高差测量是地面点定位的基本测量技术工作。测量得到的水平角度(β)、水平距离(D)、高差(h)是地面点定位的基本元素,称为定位元素。这些定位元素具有独立性(即某一元素与其他同类元素之间不存在函数关系)和直接可量性(即可利用测量仪器直接测量其大小),故称为直接观测量,或称为直接定位元素。地面点的定位参数 x 、 y 、 H 不能直接测量得到,但可以利用地面点的直接定位

元素按某种规定的法则推算得到，故又称地面点的定位参数 x 、 y 、 H 为间接观测量，或称为间接定位元素。

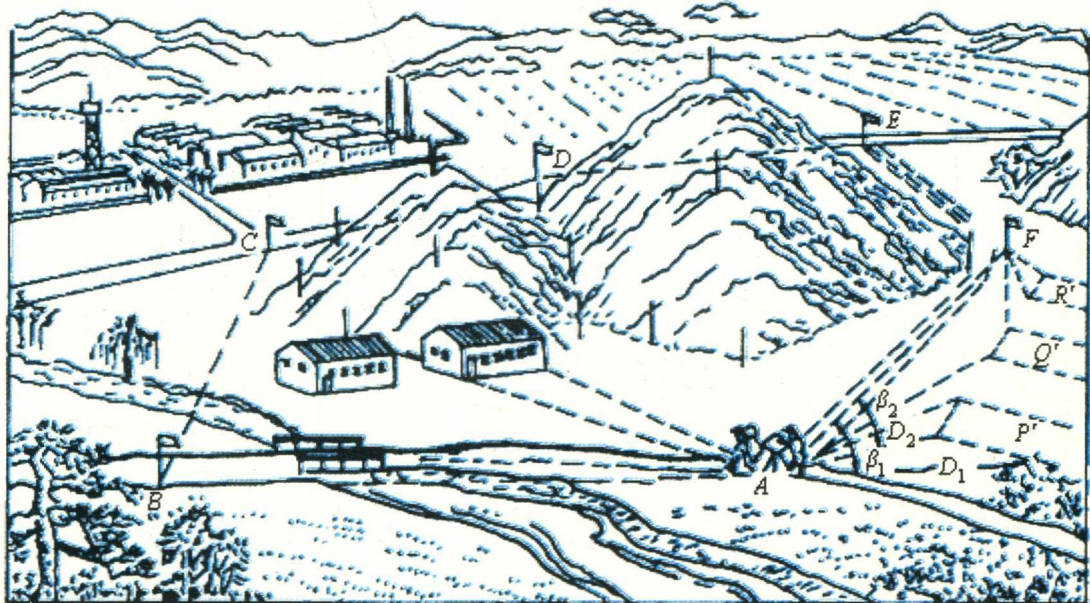
1.1.4 测量工作的基本原则

地球表面复杂多样的形态，可分为地物和地貌两大类。地面上固定性物体称为地物，如河流、湖泊、道路和房屋等。地面上高低起伏形态称为地貌，如山岭、谷地和陡崖等。不论地物或地貌，它们的形状和大小都是由一些特征点的位置所决定。这些特征点也称碎部点。测量时，主要就是测定这些碎部点的平面位置和高程。碎部点的测定通常分为两步：

第一步为控制测量，以较精确的仪器和方法测定各控制点之间的距离、各控制边之间的水平夹角，某一条边的方位角，如图 1-1a) 所示。设某点的坐标为已知，则可计算出其他控制点的坐标，以确定其平面位置。同时还要测出各控制点之间的高差，设某点的高程为已知，求出其他控制点的高程。

第二步为碎部测量，即根据控制点测定碎部点的位置，如图 1-1b) 所示。这种“从整体到局部”“先控制后碎部”的方法是组织测量工作应遵循的原则，它不仅可以减少误差累积，保证测图精度，而且可以分幅测绘，加快测量进度。

另外，从上述可知，当测定控制点的相对位置有错误时，以其为基础所测定的碎部点位也就有错误；碎部测量中有错误时，以此资料绘制的地形图也就有错误。因此，测量工作必须严格进行检核工作，故“前一步测量工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则，它可以防止错漏发生，保证测量成果的正确性。



a)

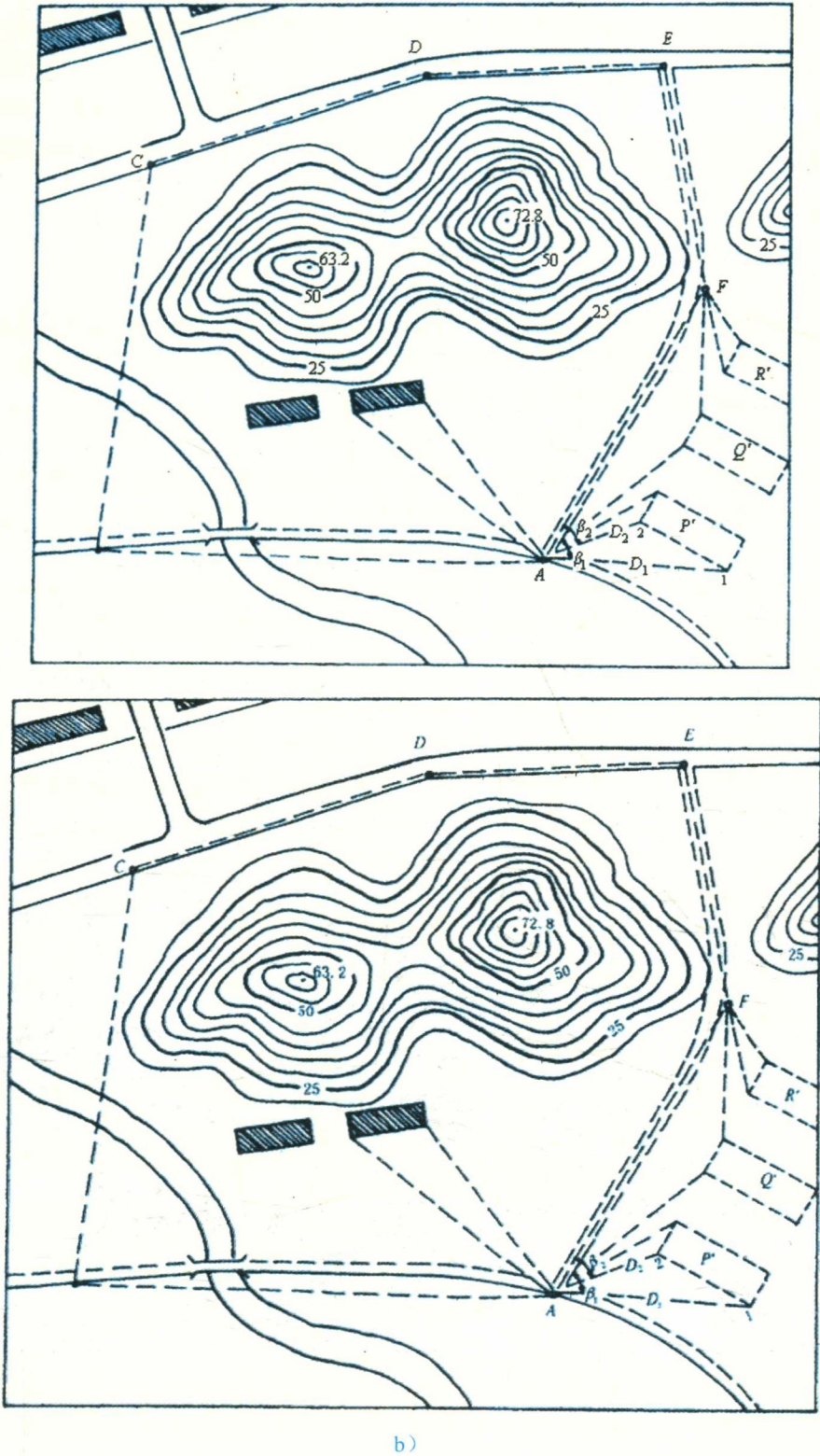


图 1-1 某测区的控制测量与碎部测量

1.2 地面点定位

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的，而地球自然表面很不规则，有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高程为 8844.43m，最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11022m。但是这样的高低起伏，相对于地球半径 6371km 来说还是很小的。

再顾及到海洋约占整个地球表面的 71%，因此，人们把海水面所包围的地球形体看作地球的形状。由于地球的自转运动，地球上任意一点都要受到离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面，水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水面可高可低，因此符合上述特点的水准面有无数多个，其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面，如图 1-2 所示。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体，称为大地体，如图 1-3 所示。

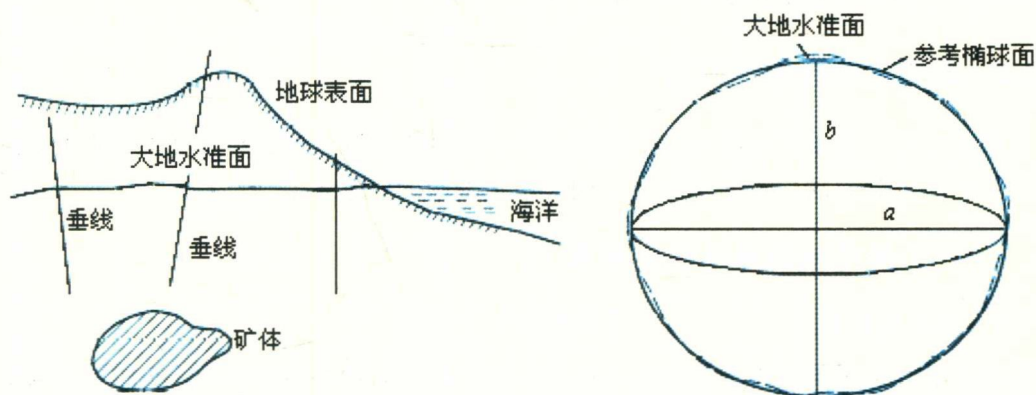


图 1-2 大地水准面

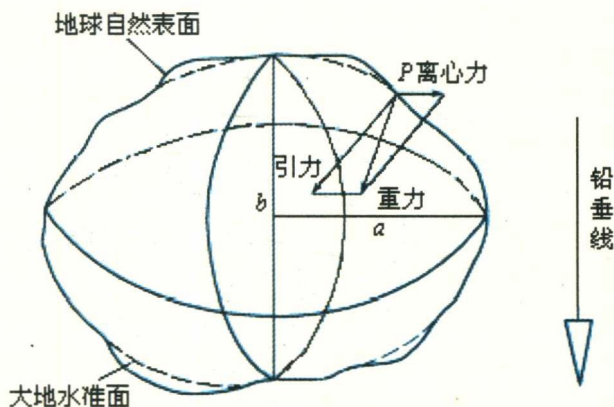


图 1-3 地球上各种面线之间的关系（大地体）

用大地体表示地球形体是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个复杂的曲面,无法在这曲面上进行测量数据处理。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体(即地球椭球)来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面,称为参考椭球面。由于椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称旋转椭球,可以用数学公式表示为:

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

旋转椭球体由长半径 a (短半径 b) 和扁率 α 所决定,扁率 α 由式 (1-2) 计算:

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

我国目前使用的 1980 年国家大地坐标系采用 1975 年 16 届国际大地测量与地球物理联合会 IUGG 推荐参数 (IAG-75: 元素值为长半径 $a = 6378140\text{m}$, 短半径 $b = 6356755.288 \text{ m}$, 扁率 $\alpha = 1/298.257$), 并选择陕西泾阳县永乐镇某点为大地原点,进行了大地定位。由于地球椭球的扁率很小,因此,当测区范围不大时,可近似地把地球椭球作为圆球,其半径为 6371 km。

1.2.2 地面点位的表示方法

测量工作的基本任务就是确定地面点的空间三维坐标,即地面点投影到大地水准面或某一平面得到点的二维坐标和该点到大地水准面的铅垂距离(高程)。

(一) 确定地面点位的坐标系

1. 地心坐标系

地心坐标系属于空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量,如图 1-4 所示。地心坐标系取地球质心为坐标原点 O , X 、 Y 轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为 X 轴, Z 轴与地球自转轴相重合。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 X_A 、 Y_A 和 Z_A 表示。

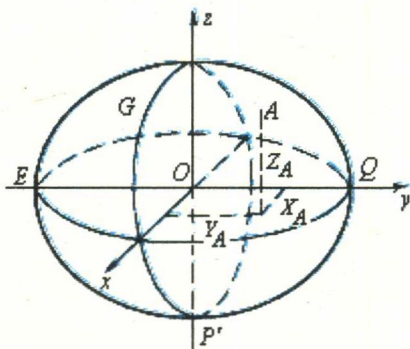


图 1-4 地心坐标系

2. 大地（地理）坐标系

大地（地理）坐标系是建立在地球椭球面上的坐标系，地球椭球面和法线是大地地理坐标系的主要面和线，地面点的大地坐标是它沿法线在地球椭球面上投影点的经度 L 和纬度 B 。

如图 1-5 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 1-5 中的 $NPCS$ 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（如图 1-5 中的 $NGDS$ 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 1-5 中的 $WDCE$ ），赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。

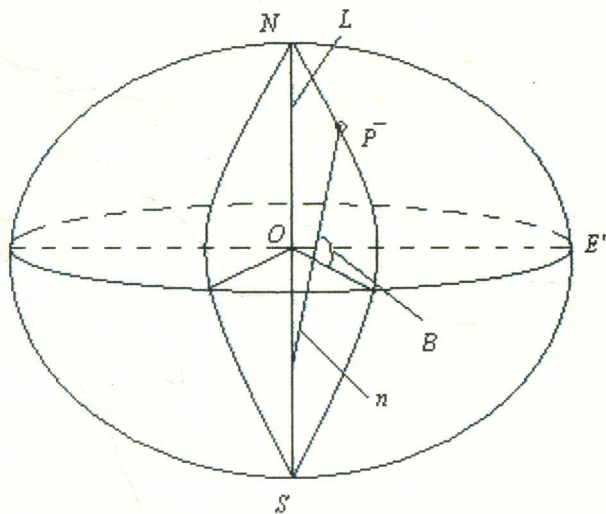


图 1-5 大地坐标系

从地面上任意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。地面点的大地经度 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。

中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，例如河南某点的大地坐标为东经 $114^\circ 19'$ ，北纬 $34^\circ 48'$ 。

3. 高斯平面直角坐标系

工程建设在地球曲面上完成，工程设计均在平面上进行。“平面”与“曲面”必然有矛盾。高斯平面直角坐标系是一种应用广泛的坐标系统，可以解决这类问题。为了简化计算，要将（椭）球面上的元素归算（投影）到平面上。

高斯投影是等角横切圆柱投影。将地球每隔 3° 或者 6° 分成若干投影带进行高斯

投影，以赤道为 y 轴，自西向东为正；以中央子午线为 x 轴，自南向北为正；四象限按顺时针顺序 I、II、III、IV 排列。按投影带不同通常分为 6° 带和 3° 带。

按 6° 分带时，投影带是从起始子午线开始，每隔经度 6° 划分为一带，自西向东将整个地球划分为 60 个带，如图 1-6。任意带的中央子午线经度 L_0 可按下列公式计算：

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

式中， N 为投影带的号数。

当采用 3° 分带投影法时，从东经 $1^\circ 30'$ 起，自西向东每隔经差 3° 划分一带，将整个地球划分为 120 个带，如图 1-6 所示，每带中央子午线的经度 L'_0 可按下列公式计算：

$$L'_0 = 3 \times n \quad (1-4)$$

式中， n 为三度带的号数。

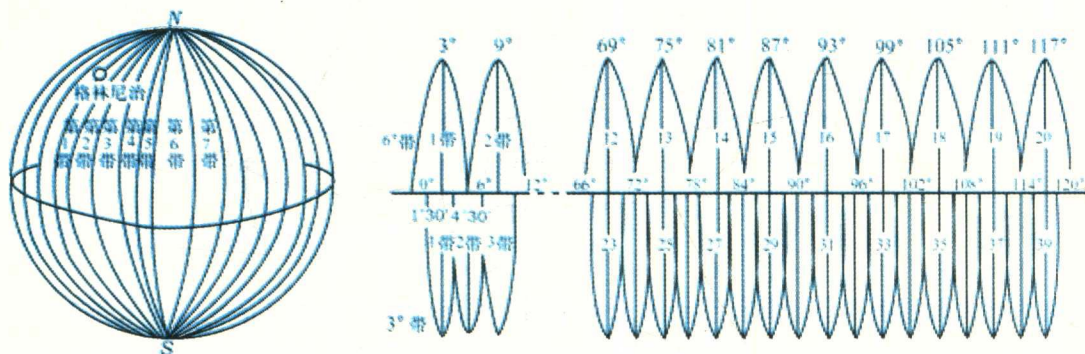


图 1-6 6° 带和 3° 带的投影

点在高斯平面直角坐标系中的坐标值， X 坐标是点至赤道的距离， Y 坐标是点至中央子午线的距离，设为 y' 。我国位于北半球， X 坐标均为正值，而 Y 坐标有正有负。为避免横坐标 Y 出现负值，故规定将 x 轴向左（西）平移 500km，在 Y 坐标之前加上带号而得到坐标值。即： $Y = N \times 1\,000\,000 + 500\,000 + y'$ 。 $Y_A = 20\,225\,760\text{ m}$ ，表示 A 点位于第 20 带内，其真正的横坐标值为： $225\,760\text{ m} - 500\,000\text{ m} = -27\,4240\text{ m}$ 。

高斯投影带的展开步骤如图 1-7 所示：

- (1) 沿 N 、 S 两极在参考椭球面均匀标出子午线（经线）和分带。
- (2) 假想一个横椭圆柱面套在参考椭球面上。
- (3) 地球表面投影到横椭圆柱面上，取出地球的投影后剪开压平形成高斯平面投影带。