



全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材



实用工程测量

拓万兵 周海波 主 编

赠送
电子课件



清华大学出版社

全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材

实用工程测量

拓万兵 周海波 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是作者在教育部提出地方本科高校转型发展的大背景下,结合实际教学经验,应独立学院和民办普通本科院校内涵提升和教学建设的需要,围绕“应用为本、学以致用”的教育理念,充分考虑现代行业的岗位需求,以“易、新、实”为编写原则,结合学生具体情况,以“易懂、够用”为度,深入浅出地启发、引导学生自主学习。本书对传统测量学教学内容进行了合理的精简和梳理,保留了基础知识,秉承了经典理论并与实际应用紧密结合,激发学生的学习兴趣;紧密结合现代测量新仪器和新方法,体现内容的先进性和科学性,突出实用,体现应用型本科生培养的特点。各章后均附有习题,重点章节还附有“案例分析”或“应用案例”。此外,全书加大了实践教学内容,便于师生开展实践性教学,有利于培养技术应用型人才。

本书分三篇共20章,第一篇为基础部分,包括绪论、距离测量与直线定向、水准测量、角度测量、全站仪测量、GNSS测量、测量误差的基本知识、小地区控制测量、数字地形图测绘;第二篇为各专业根据不同需求的选学部分,包括工程测设的基本工作、地形图的应用、工业与民用建筑的施工测量、建筑物的变形监测、道路工程的测量、公路隧洞的施工测量、地质勘探工程的测量、矿井的测量;第三篇为实践教学内容。

本书适合作为技术应用型高等院校的测绘工程、采矿工程、安全工程、矿井建设、地质工程、土木工程、工程管理、城市规划、交通运输等相关专业的教材,也可作为其他高校相关专业的师生参考教材,还可供从事工程测量相关的工程技术人员参考。

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

实用工程测量/拓万兵,周海波主编.——北京:清华大学出版社,2015
(全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材)
ISBN 978-7-302-39808-0

I. ①实… II. ①拓… ②周… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第080571号

责任编辑:张丽娜
装帧设计:刘孝琼
责任校对:周剑云
责任印制:沈露

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 刷 者: 北京季蜂印刷有限公司

装 订 者: 三河市溧源装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 26.75

字 数: 657千字

版 次: 2015年7月第1版

印 次: 2015年7月第1次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 48.00元

产品编号: 062238-01

前 言

随着空间信息技术的迅速发展,传统的测量方法和手段已逐步被新技术、新方法所取代,非测绘专业的工程测量学教学内容和方法也应随之变革。同时,伴随地方本科高校转型发展的不断深入,各地方本科高校都在对课程体系和教学内容进行改革,以适应培养技术应用型人才的需求,专业课时数被大量压缩,实践教学内容大幅提高。为顺应当代高等教育的发展潮流,更好地培养技术应用型人才,满足现代岗位对人才的需求,编者在总结实际课程教育教学改革成果的基础上,参阅国内外大量测量学教材,进行多次学术研讨和教学经验交流,结合当下应用型本科院校非测绘专业的工程测量教学特点与需求,在教材的编写内容上体现科学性、先进性和实用性,把握行业岗位要求,满足相关专业的培养目标和教学大纲的基本要求,注重实用性,以就业为导向,突出应用型院校教育教学的特色。在培养目标上强调促进学生知识运用能力,突出实践能力培养原则,充分体现理论与实践的结合,知识传授与能力、素质提升的结合。教材在结构上分为必学、选学和实践教学三部分:第一篇为基础部分,包括绪论、距离测量和直线定向、水准测量、经纬仪测量、全站仪测量、GNSS 测量、测量误差的基本知识、小地区控制测量、数字地形图测绘;第二篇为各专业根据不同需求的选学部分,包括工程测设、地形图的应用、工业与民用建筑施工测量、建筑物变形监测、道路工程测量、公路隧道测量、地质勘探工程测量、矿井测量;第三篇为实践教学内容,便于师生开展实践性教学,有利于培养技术应用型人才。各章后均附有习题,且重点章节后有“案例分析”或“应用案例”。

本书由拓万兵、周海波担任主编,李珊珊、郭仓、蔡文婧担任副主编,郭秦、文静、吴凤民、杨齐名参编。全书由拓万兵统一修改定稿。具体编写分工为:中国矿业大学银川学院拓万兵编写第1章、第5章、第16~18章、第19章的部分内容;西南科技大学城市学院周海波编写第10章、第12章、第13章;河南理工大学万方科技学院李珊珊编写第9章、第11章;西南科技大学城市学院文静编写第2章、第3章;河南理工大学万方科技学院郭仓编写第8章、第14章、第15章;宁夏国土测绘院蔡文婧编写第4章、第7章;西南科技大学城市学院郭秦编写第6章;河南理工大学万方科技学院杨齐名编写第19章的部分内容、第20章;中国矿业大学银川学院吴凤民负责全书的插图与表格。

本书也是宁夏教育厅本科重点建设专业项目的研究成果,由中国矿业大学银川学院马振利教授担任主审,并提出了许多中肯的宝贵意见,在此表示衷心感谢。在本书的编写过程中,参阅了大量文献,引用了同类书刊中的部分资料,在此谨向有关作者表示衷心的感谢!

由于编者的水平、经验所限,书中难免存在错漏之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

**全国高等院校土木与建筑专业
十二五创新规划教材
编委会名单**

主 编 拓万兵 周海波

副主编 李珊珊 郭仓 蔡文婧

编写人员 (按拼音排序):

蔡文婧(宁夏国土测绘院)

郭仓(河南理工大学万方科技学院)

郭秦(西南科技大学城市学院)

李珊珊(河南理工大学万方科技学院)

拓万兵(中国矿业大学银川学院)

吴凤民(中国矿业大学银川学院)

文静(西南科技大学城市学院)

杨齐名(河南理工大学万方科技学院)

周海波(西南科技大学城市学院)

目 录

第一篇 测量基础篇

第 1 章 绪论.....1	2.3.4 手持激光测距仪简介..... 25
1.1 测量学与实用工程测量.....2	2.4 直线定向..... 26
1.1.1 测量学及其分类.....2	2.4.1 标准方向的种类..... 26
1.1.2 实用工程测量及其任务.....3	2.4.2 直线方向的表示方法..... 26
1.2 地面点位的确定.....3	2.4.3 正反方位角的关系..... 27
1.2.1 地球的形状和大小.....3	习题..... 28
1.2.2 确定地面点位的方法.....5	第 3 章 水准测量..... 29
1.3 用水平面代替水准面的限度.....10	3.1 水准测量的原理..... 30
1.3.1 地球曲率对水平距离的影响.....10	3.2 水准测量的仪器和工具..... 31
1.3.2 地球曲率对水平角度的影响.....11	3.2.1 水准仪..... 31
1.3.3 地球曲率对高程的影响.....12	3.2.2 水准尺和尺垫..... 33
1.4 测量工作的内容和原则.....13	3.3 水准仪的使用..... 34
1.4.1 测量的基本工作.....13	3.3.1 安置水准仪..... 34
1.4.2 测量工作的基本原则.....13	3.3.2 粗略整平..... 34
1.5 测量常用单位及换算.....13	3.3.3 瞄准水准尺..... 34
习题.....14	3.3.4 精确整平..... 35
第 2 章 距离测量与直线定向.....16	3.3.5 读数..... 35
2.1 钢尺量距.....17	3.4 普通水准测量的施测与数据处理..... 35
2.1.1 量距的工具.....17	3.4.1 水准点..... 36
2.1.2 直线定线.....18	3.4.2 水准路线..... 36
2.1.3 丈量距离的一般方法.....19	3.4.3 水准测量的实施..... 37
2.1.4 钢尺量距的精度.....20	3.4.4 水准测量的校核..... 38
2.1.5 钢尺量距的误差分析及注意 事项.....20	3.4.5 水准测量的成果整理..... 40
2.2 视距测量.....21	3.5 三、四等水准测量的施测与数据 处理..... 42
2.2.1 视距测量的基本概念.....21	3.5.1 三、四等水准测量的技术 要求..... 42
2.2.2 视距测量的原理与方法.....21	3.5.2 三、四等水准测量的方法..... 43
2.2.3 视距测量的观测与计算.....23	3.6 自动安平水准仪和电子水准仪..... 46
2.3 光电测距.....24	3.6.1 自动安平水准仪..... 46
2.3.1 电磁波测距的分类.....24	3.6.2 电子水准仪..... 47
2.3.2 光电测距仪的工作原理.....24	习题..... 49
2.3.3 光电测距的使用.....25	

第4章 角度测量	51
4.1 角度测量的原理	51
4.1.1 水平角测量的原理	51
4.1.2 竖直角测量原理	52
4.2 DJ6 级光学经纬仪及其使用	53
4.2.1 光学经纬仪概述	53
4.2.2 DJ6 级光学经纬仪的构造及轴系关系	53
4.2.3 DJ6 级光学经纬仪的读数	56
4.3 水平角观测	57
4.3.1 水平角观测的步骤	57
4.3.2 水平角观测的方法	59
4.4 竖直角观测	62
4.4.1 竖直角用途	62
4.4.2 竖直度盘的构造	62
4.4.3 竖直角计算	63
4.4.4 竖直角观测	63
4.4.5 竖盘指标差	64
4.5 电子经纬仪的基本构造及使用	65
4.5.1 电子经纬仪的结构	65
4.5.2 电子经纬仪的功能	66
4.5.3 电子经纬仪的测角原理	66
4.5.4 电子经纬仪的使用	67
4.5.5 电子经纬仪使用的注意事项	69
习题	69
第5章 全站仪及其使用	71
5.1 全站仪概述	71
5.1.1 全站仪的基本组成	72
5.1.2 全站仪的结构类型及特点	72
5.1.3 全站仪的精度及其等级	73
5.2 全站仪的使用	73
5.2.1 南方 NTS-352 型全站仪的结构	73
5.2.2 NTS-352 型全站仪的使用	75
5.2.3 NTS-352 型全站仪的储存管理	78
5.2.4 NTS-352 型全站仪野外数据采集	80

5.2.5 数据通信	81
5.3 全站仪在测量工作中的应用	82
5.3.1 后方交会测量	82
5.3.2 放样测量	83
5.3.3 偏心测量	83
5.3.4 对边测量	84
5.3.5 悬高测量	85
5.3.6 面积测量	85
习题	86
第6章 GNSS 测量	87
6.1 GNSS 概述	88
6.1.1 GNSS 的概念	88
6.1.2 GNSS 的发展	88
6.1.3 全球四大卫星导航系统	89
6.2 GPS 卫星定位的基本原理	92
6.2.1 GPS 卫星信号的组成	92
6.2.2 GPS 的常用坐标系	93
6.2.3 GPS 的定位原理	93
6.2.4 伪距测量与载波相位测量	94
6.2.5 GNSS 的定位方法	95
6.3 GNSS 测量的实施	97
6.3.1 GNSS 测量的技术设计	97
6.3.2 GNSS 网的布设原则	98
6.3.3 选点要求	98
6.3.4 外业观测	99
6.3.5 成果检核及数据处理	100
习题	101

第7章 测量误差的基本知识	102
7.1 测量误差及分类	102
7.1.1 测量误差及多余观测	102
7.1.2 测量误差的分类	103
7.1.3 偶然误差的特性	104
7.2 衡量精度的标准	105
7.2.1 中误差	106
7.2.2 极限误差	107
7.2.3 相对误差	107
7.3 误差传播定律	108
7.3.1 线性函数	108

7.3.2 非线性函数.....	108	9.1.1 比例尺与比例尺精度.....	138
7.3.3 误差传播定律的应用.....	109	9.1.2 地形图符号.....	140
7.4 算术平均值及其中误差.....	110	9.1.3 地形图的图幅、分幅、图号 和图廓.....	145
7.4.1 算术平均值.....	110	9.2 数字地形图测绘.....	148
7.4.2 精度评定.....	110	9.2.1 数字化测图的概念.....	148
习题.....	111	9.2.2 地面数字测图系统.....	148
第8章 小地区控制测量	113	9.2.3 地面数字测图作业模式的基本 过程与方法.....	149
8.1 概述.....	114	9.3 地面数字测图前的准备工作.....	151
8.1.1 平面控制测量的分类及技术 要求.....	114	9.3.1 控制测量.....	151
8.1.2 平面控制测量的分类及技术 要求.....	117	9.3.2 仪器器材与资料准备.....	152
8.2 导线测量.....	118	9.3.3 测区划分.....	152
8.2.1 导线的布设形式.....	118	9.3.4 人员配备.....	152
8.2.2 导线的外业工作.....	119	9.4 野外数据采集工作.....	152
8.2.3 导线内业计算.....	120	9.4.1 全站仪野外数据采集.....	152
8.3 GNSS 小区域控制测量.....	127	9.4.2 GNSS RTK 野外数据采集.....	153
8.3.1 GNSS 静态相对测量.....	127	9.5 地面数字测图的内业.....	156
8.3.2 GNSS RTK 测量.....	130	9.5.1 CASS 9.0 软件操作界面.....	157
8.4 高程控制测量.....	131	9.5.2 数据传输与参数设置.....	157
8.4.1 三、四等水准测量.....	131	9.5.3 平面图绘制.....	158
8.4.2 三角高程测量.....	131	9.5.4 等高线绘制与编制.....	159
8.4.3 GPS 拟合高程测量.....	133	9.5.5 地物地貌的编辑与整饰 输出.....	159
8.5 案例分析.....	134	习题.....	160
习题.....	135		
第9章 数字地形图测绘	138		
9.1 地形图的基本知识.....	138		

第二篇 工程应用篇

第10章 工程测设的基本工作	163	10.3.1 直角坐标法.....	169
10.1 测设的基本工作.....	164	10.3.2 极坐标法.....	170
10.1.1 水平距离测设.....	164	10.3.3 角度交会法.....	170
10.1.2 水平角测设.....	165	10.3.4 距离交会法.....	171
10.1.3 高程测设.....	166	10.3.5 全站仪坐标放样法.....	172
10.2 已知坡度线的测设.....	167	10.3.6 GPS(RTK)放样法.....	172
10.3 平面点位的测设.....	169	习题.....	173

第 11 章 地形图的应用	175
11.1 地形图的识读.....	176
11.1.1 图廓外附注的识读.....	176
11.1.2 地物和地貌的识读.....	176
11.2 地形图的一般应用.....	178
11.2.1 确定图上某点的平面坐标.....	178
11.2.2 确定图上两点间的距离.....	179
11.2.3 确定直线的方向.....	179
11.2.4 确定点的高程.....	180
11.2.5 确定两点间的坡度.....	180
11.3 地形图在工程建设中的应用.....	181
11.3.1 按设计线绘制纵断面图.....	181
11.3.2 在地形图上按限制坡度选择 最短线路.....	182
11.3.3 确定汇水面积.....	182
11.3.4 面积的量算.....	183
11.3.5 土石方量计算.....	185
11.4 数字地形图在工程中的应用.....	187
11.4.1 用数字地形图查询基本几何 要素.....	187
11.4.2 利用数字地形图计算 土方量.....	188
11.4.3 利用数字地形图绘制 断面图.....	197
11.5 地形图在土木工程中的应用.....	199
11.5.1 建筑设计中的地形图应用.....	199
11.5.2 给排水设计中的地形图 应用.....	200
11.5.3 勘测设计中的地形图应用.....	200
习题.....	200

第 12 章 工业与民用建筑的施工 测量.....

12.1 施工控制网的测量.....	202
12.1.1 平面施工控制网.....	202
12.1.2 高程施工控制网.....	205
12.2 一般民用建筑的施工测量.....	205
12.2.1 准备工作.....	206
12.2.2 建筑物的定位.....	206

12.2.3 建筑物的放线.....	208
12.2.4 基础工程的施工测量.....	210
12.2.5 墙体的施工测量.....	211
12.3 高层建筑的施工测量.....	213
12.3.1 高层建筑施工测量的特点.....	213
12.3.2 高层建筑基础的施工测量.....	214
12.3.3 高层建筑的轴线投测.....	215
12.3.4 高层建筑物的高程传递.....	219
12.3.5 滑模的施工测量.....	220
12.4 工业建筑工程的施工测量.....	220
12.4.1 厂房矩形控制网的测设.....	220
12.4.2 厂房柱列轴线的测设.....	221
12.4.3 厂房基础的施工测量.....	222
12.4.4 厂房预制构件的安装测量.....	226
12.5 竣工总平面图的编绘.....	229
12.5.1 竣工总图编绘的目的.....	229
12.5.2 竣工总图的编绘.....	229
12.5.3 竣工测量的实测.....	230

习题..... 231

第 13 章 房屋建筑的变形测量..... 232

13.1 概述.....	233
13.1.1 建筑物变形测量的定义、任务 及其目的.....	233
13.1.2 建筑物产生变形的原因.....	233
13.1.3 变形测量的内容.....	233
13.1.4 变形测量的精度要求.....	233
13.1.5 变形测量观测周期的确定.....	234
13.1.6 变形测量成果的提交.....	234
13.2 建筑物及深基坑垂直位移的测量.....	235
13.2.1 水准测量法.....	235
13.2.2 液体静力水准测量法.....	238
13.3 建筑物及深基坑水平位移的测量.....	238
13.3.1 基准线法和小角法.....	239
13.3.2 导线法和前方交会法测水平 位移.....	240
13.3.3 测量机器人技术.....	240
13.3.4 GPS 在变形测量中的应用.....	241
13.4 建筑物和深基坑的倾斜观测.....	241

13.4.1 深基坑的倾斜观测.....	241	15.4.2 测定贯通误差的方法.....	293
13.4.2 钻孔测斜仪的测斜方法.....	242	15.4.3 贯通误差的调整.....	293
13.4.3 房屋建筑的倾斜观测.....	243	15.5 综合案例.....	295
13.4.4 塔式构筑物的倾斜观测.....	243	习题.....	296
13.5 挠度和裂缝的观测.....	245	第 16 章 地质勘探工程的测量.....	298
13.5.1 挠度的测量.....	245	16.1 概述.....	298
13.5.2 裂缝的观测.....	245	16.2 地质填图测量.....	299
习题.....	246	16.3 勘探工程的测量.....	301
第 14 章 道桥工程的测量.....	247	16.3.1 勘探线、勘探网的测设.....	301
14.1 道路工程的测量.....	248	16.3.2 物探网的测设.....	303
14.1.1 线路的初测.....	248	16.3.3 钻探工程的测量.....	304
14.1.2 道路的中线测量.....	249	16.4 地质剖面的测量.....	305
14.1.3 道路圆曲线的测设.....	254	16.5 综合案例.....	308
14.1.4 道路缓和曲线的测设.....	257	习题.....	310
14.1.5 道路纵横断面的测量.....	261	第 17 章 矿井的测量.....	312
14.2 桥梁工程的测量.....	267	17.1 近井点和井口水准基点.....	312
14.2.1 桥梁施工控制网的建立.....	267	17.2 矿井的联系测量.....	313
14.2.2 桥梁墩台的定位.....	270	17.2.1 概述.....	313
14.2.3 桥墩纵横轴线的测设.....	273	17.2.2 一井定向.....	314
14.3 综合案例.....	274	17.2.3 两井定向.....	318
习题.....	276	17.2.4 陀螺定向.....	320
第 15 章 公路隧洞的施工测量.....	277	17.2.5 导入高程.....	322
15.1 地面的控制测量.....	278	17.3 井下的平面测量.....	324
15.1.1 地面平面的控制测量.....	278	17.3.1 井下平面的控制测量.....	324
15.1.2 地面高程的控制测量.....	281	17.3.2 井下采区的测量.....	329
15.1.3 洞内外的联系测量.....	281	17.4 井下高程的测量.....	331
15.2 隧洞内的控制测量.....	285	17.5 巷道施工的测量.....	333
15.2.1 隧洞内的平面测量.....	285	17.5.1 巷道中线的标设.....	333
15.2.2 隧洞内的高程测量.....	286	17.5.2 巷道腰线的标设.....	336
15.2.3 隧洞掘进过程中的测量		17.5.3 激光指向及其应用.....	338
工作.....	287	17.6 贯通测量.....	339
15.3 竖井的联系测量.....	288	17.6.1 贯通测量的主要任务.....	339
15.3.1 一井定向测量.....	288	17.6.2 水平巷道间的贯通测量.....	340
15.3.2 竖井的高程传递.....	289	17.6.3 倾斜巷道的贯通.....	341
15.4 隧洞的贯通测量.....	290	17.7 综合案例.....	342
15.4.1 贯通误差的分析.....	291	习题.....	347

第三篇 实践教学篇

第 18 章 工程测量实践教学的内容

及要求349

18.1 实践教学的目的与要求349

18.2 实践教学的分类349

18.2.1 认识实验350

18.2.2 教学综合实习350

18.3 实践教学环节的技术要求351

18.3.1 测量仪器、工具的正确使用
与维护35118.3.2 测量资料的记录、计算
要求353

第 19 章 工程测量实验(实训)354

19.1 普通水准仪的认识与使用354

19.2 自动安平水准仪的认识与使用356

19.3 普通水准仪的测量358

19.4 四等水准仪的测量360

19.5 微倾式水准仪检验与校正362

19.6 DJ6 光学经纬仪的认识与使用364

19.7 测回法(方向法)观测水平角366

19.8 竖直角测量368

19.9 DJ6 光学经纬仪的检验与校正369

19.10 直线定线与距离丈量373

19.11 全站仪的认识与使用375

19.12 GNSS 接收机的认识与使用376

19.13 经纬仪导线的测量377

19.14 三角高程的测量379

19.15 点位的测设380

19.16 建筑物主轴线的测设381

19.17 建筑物方格网的测设383

19.18 高程控制测量及 ± 0.000 标高
测设384

19.19 根据已有建筑物定位385

19.20 一井定向386

19.21 井下水准的测量387

19.22 井下三角高程的测量388

19.23 井下导线的测量389

19.24 巷道中线的标定390

19.25 巷道腰线的标定392

第 20 章 工程测量综合(生产)实习394

20.1 实习目的394

20.2 实习计划394

20.3 实习仪器395

20.3.1 实习仪器和工具的领取395

20.3.2 实习仪器的检验与校正396

20.4 注意事项396

20.5 方法步骤与技术要求397

20.6 综合实习技术总结报告的编写397

20.7 综合实习上交成果397

20.8 仪器操作考核与成绩综合评定398

附录 测绘英文术语词汇(Vocabulary in
Geomatics)399

参考文献415



第一篇 测量基础篇

第1章 绪 论

教学目标

通过对本章内容的学习，使学生了解测量学的研究对象、学科分类和工程测量的基本任务，掌握地球形状和大小及相关概念，掌握确定地面点位的方法，掌握用水平面代替水准面限度的计算方法与规定，理解测量工作的基本原则。

应该具备的能力：初步具备确定地面点位置的基本能力，初步利用测定和测设的基本概念解决一些现实工程问题。

教学要求

能力目标	知识要点	权 重	自测分数
掌握测量学的一些基本概念	水准面、大地水准面、铅垂线	20%	
熟悉确定地面点的坐标系	确定地面点的坐标系	30%	
掌握水平面代替大地水准面的限度	水准面曲率对水平距离和高差的影响	15%	
理解绝对高程和相对高程的概念及相互间的关系	绝对高程和相对高程	20%	
理解测量工作的三原则	测量工作的三原则	15%	

导读

从公元前7世纪左右，管仲所著《管子》一书中收集的早期27幅地图开始到清康熙年间完成的《皇舆全图》，再到当今大家熟悉的电子地图；从公元前2世纪，中国的司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治水时的“左准绳，

右规矩”到今天的“3S”测量技术；从公元前 6 世纪古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)提出地球是球形到公元 1 世纪中国张衡的“天体圆如弹丸，地如鸡中黄”直到现在研究证明地球总体上是一个不规则的梨形体；……这无不说明测量学有着悠久的历史，它是由人类的生产实践、生活需要和对地球的认识需求而来，又随着与之有关的学科发展而发展。相信同学们会问：测量学是怎样的一门学科？它的主要研究对象和内容是什么？它在我们现代生活的地位如何？本章将针对这些问题一一给予解答。

1.1 测量学与实用工程测量

1.1.1 测量学及其分类

测量学是研究地球的形状、大小及测定地面点或空间点相对位置的一门科学。其目的是为人们了解自然和改造自然服务。测量学的内容主要包括**测定(或测绘)**和**测设(或放样)**两个部分。**测定**就是使用测量仪器和工具，通过测量和计算，将测区内的地物和地貌缩绘成各种纸质或数字地形图，供规划设计、经济和国防建设使用。传统的方法是用平板仪测绘地形图，但随着测绘技术与计算机绘图技术的不断发展，测绘仪器的自动化程度越来越高，目前，传统的平板仪和经纬仪测图方法基本不再使用，而多采用数字化的测图技术，即利用全站仪或 GNSS 接收机进行野外数据采集，利用计算机进行内业绘图。同时以全球导航卫星系统(GNSS)、地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)为代表的测绘新技术迅猛发展和应用到测绘作业中，使测绘产品由传统的纸质地图转变为现代化的“4D”(包括数字高程模型 DEM、数字正射影像 DOM、数字栅格地图 DRG、数字线划地图 DLG)产品。“4D”产品在网络技术的支持下，增强了数据的共享性，为各行业、各部门应用地理信息带来了巨大的方便。**测设**是测定的反过程，即把图上设计好的具有数字特征(坐标、高程、方位角等)的拟建(构)筑物的位置在实地标定出来，作为工程建设的依据。

随着现代测量技术及手段的不断发展及其与不同学科的交叉融合，测量学产生了许多分支学科。如研究整个地球的形状和大小，解决大范围控制测量和地球重力场问题的**大地测量学**；研究地球表面小区域内(可把地球表面看作平面而不考虑地球曲率影响)测绘工作的基本理论、技术和方法的**普通测量学**；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、图像或数字形式表达测绘成果的**摄影测量与遥感**；通过地面上 GNSS 卫星信号接收机，接收太空 GNSS 卫星发射的导航信息，快捷地确定(解算)接收机天线中心位置的**GNSS 卫星测量**；以海洋和陆地水域为研究对象进行测量工作的**海洋测绘学**；为满足工程建设各阶段的需要，结合各种工程建设的特点而进行测量工作的**工程测量学**；研究如何确保矿产资源的合理开发、安全生产和矿区环境治理的**矿山测量学**；研究利用所获得的测量成果资料，编绘和印制各种地图的**制图学**。

1.1.2 实用工程测量及其任务

在教育部地方本科高校转型发展的背景下,结合技术应用型人才培养的特点及需求,实用工程测量对传统测量学教学内容进行了合理的精简和梳理,保留了基础知识,秉承了经典理论并与实际应用紧密结合,增加现代测量新仪器和新方法的内容,主要讲述普通测量学及土木工程测量和矿山测量的部分内容。其主要任务如下。

(1) 为各项工程的勘测、规划、设计提供所需的测绘资料;勘测、规划时需要提供中、小比例尺地形图及有关信息,建筑物设计时需测绘大比例尺地形图。

(2) 施工阶段要将设计好的建筑物按其位置、大小标定到实地,以便据此施工,此工作称为测设(俗称放样)。另外,施工过程中,为保证工程的施工质量,必须对施工结果分阶段进行检查验收。

(3) 工程竣工后,要将建筑物群体测绘成竣工平面图,作为质量验收和日后维修或改建、扩建的依据,称为竣工测量。

(4) 对大型工程,如高层建筑物、水坝、大型桥梁等,工程竣工后,为监测工程的状况,保证安全,需要进行周期性的重复观测,即变形监测。

相关专业的学生学习该课程后,要求掌握测量学的基本理论和基础知识;能熟练操作常规和现代测绘仪器;熟悉大比例尺数字测图的原理、过程和方法;掌握有关测量数据处理理论和精度评定的方法;在工程规划与施工作业中能正确使用地形图和测绘信息;在施工作业中能够正确地使用测量仪器进行一般工程的施工放样工作,同时也能对测绘科学技术的发展有所了解和认识。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的,要确定地面点之间的相互关系,将地球表面测绘成地形图,需要了解地球的形状和大小。而地球的自然表面高低起伏,有陆地和海洋,是一个复杂的不规则表面。地球上最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m(我国 2005 年 10 月 9 日向世界宣布),而太平洋西部的马里亚纳海沟低于海平面 11022m。这一高低差异与巨大的地球半径(平均 6371km)相比是微不足道的。若顾及地球表面上陆地面积仅占 29%而海洋面积占了 71%,则可认为地球是被静止的海水面所包围的球体。

由于地球的自转运动,地球上任一点都受到地球引力和离心力的双重作用,这两个力的合力,称为重力(见图 1-1)。重力的方向线称为**铅垂线**,铅垂线是测量工作的基准线。自由静止的水面称为水准面。它是受重力影响而形成的一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是重力场的一个等位面。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面可高可低,因此水准面有无数多个。测量上,定义与静止平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸且保持处



处与铅垂线正交的、包围整个地球的封闭的水准面，我们称它为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。

大地水准面所包围的地球形体称为**大地体**。大地水准面同地球表面形状十分接近，又具有明显的物理意义，所以它代表地球的一般形状。然而，由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线方向产生不规则变化，致使大地水准面仍然是一个复杂的不规则曲面，不是一个简单的数学曲面，不能用一个数学模型表达(见图 1-1)。故大地水准面不能作为测量计算的基准面。因此，为了计算和绘图方便，人们通常设想用一个非常接近于大地水准面并可用数学公式表示的几何曲面来代替地球的形状，这个面称为**旋转椭球体面**。旋转椭球体面所包含的形体称为**旋转椭球体**。同大地水准面最为接近的椭球面称为平均地球椭球面。如图 1-2 所示，旋转椭球体是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而形成。其形状和大小由长半轴 a 和短半轴 b ，或一个长半轴和扁率 α 决定。 α 由式(1-1)计算，即

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

(1-1)

式中： a ， b ， α ——旋转椭球体元素。

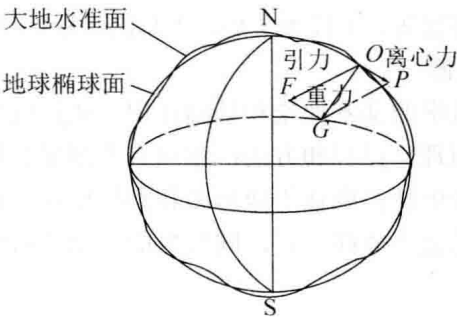


图 1-1 铅垂线、大地水准面示意图

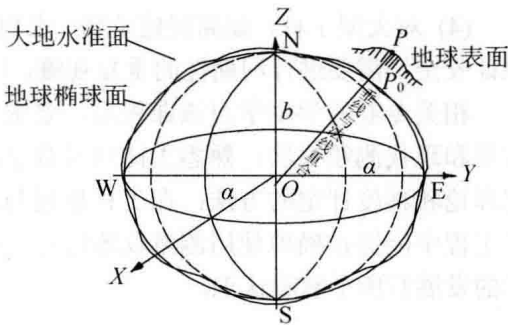


图 1-2 旋转椭球体示意图

为了将观测成果准确地化算到椭球面上，各国都根据本国的实际情况，采用与大地体非常接近于自己国家的椭球体，并选择一点或多点使椭球定位。如图 1-2 所示，地面上选一点 P ，令 P 点的铅垂线与椭球面上 P_0 点的法线重合，并使 P_0 点的椭球面与大地水准面相切。这里的 P 点称为大地原点，旋转后的椭球面称为参考椭球面，其包围的形体称为参考椭球体。世界上几个有代表性的地球椭球参数见表 1-1。参考椭球面及其法线是测量计算所依据的基准面和基准线。

表 1-1 椭球体参数

椭球名称	长半轴 a /m	短半轴 b /m	扁率 α	计算年代和国家	备 注
贝塞尔	6377397	6356079	1 : 299.152	1841, 德国	
海福特	6378388	6356912	1 : 297.0	1910, 美国	1942 年国际 第一个推荐值
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3	1940, 苏联	中国 1954 年 北京坐标系采用

续表

椭球名称	长半轴 a /m	短半轴 b /m	扁率 α	计算年代和国家	备 注
1975 国际椭球	6378140	6356755	1 : 298.257	1975, 国际 第三个推荐值	中国 1980 年 国家大地坐标系 采用
WGS-84	6378137	6356752	1 : 298.257	1979, 国际 第四个推荐值	美国 GPS 采用

由于地球扁率很小,当测区不大时,可以把地球当作圆球看待,其平均半径为 6371km。

1.2.2 确定地面点位的方法

测量工作的主要任务之一是确定地面点的空间位置,其表示方法为坐标和高程。**坐标**表示地面点投影到基准面上的位置,**高程**表示地面点沿投影方向到基准面的距离。而空间点的位置与一定的坐标系统相对应。测量工作中,常用的坐标系统有大地坐标系、高斯投影平面直角坐标系和独立平面直角坐标系等。

1.2.2.1 坐标系统

1. 地理坐标系

用经纬度表示地面点空间位置的球面坐标系称作**地理坐标系**,依据采用的椭球和投影线不同,又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

1) 天文地理坐标系

天文地理坐标系又称**天文坐标系**,是以大地体(大地水准面)和铅垂线为基准建立的坐标系。如图 1-3 所示,过地面点 P 与地轴的平面为子午面,该子午面与首子午面(也称本初子午面)间的二面角为天文经度 λ ,其值为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$,在本初子午面(也称首子午线)以东的叫东经,以西的叫西经;东经为正,西经为负。过 P 点的铅垂线(由于地球离心力作用,铅垂线不一定经过地球中心)与赤道面(垂直于地轴并通过地球中心 O 的平面)的交角为天文纬度 φ ,其值为 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$,在赤道以北的叫北纬,以南的叫南纬。

任意一个地面点的天文坐标都可用天文测量测出,由于天文测量受环境条件限制,定位精度不高(测角精度为 $0.5''$,相当于地面长度 10m),天文测量是以大地水准面为基准面,坐标之间推算困难,故较少应用于工程测量,常用于天文控制网、卫星导弹发射或独立工程控制网起始点的定位定向。

2) 大地地理坐标系

大地地理坐标系又称**大地坐标系**,是以参考椭球面和法线为基准建立的坐标系。如图 1-4 所示,地面点 P 沿着法线投影到椭球面上为 P' 。 P' 与椭球短轴构成的子午面和首子午面间的二面角为**大地经度** L ,其值分为东经 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 和西经 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$;过 P 点的法线与赤道面的交角为**大地纬度** B ,其值为北纬 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 和南纬 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。



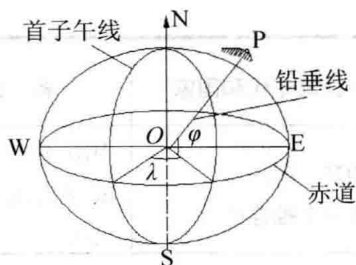


图 1-3 天文坐标系

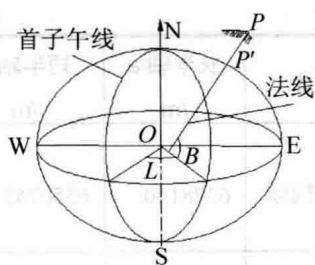


图 1-4 大地坐标系

大地经、纬度是根据大地原点坐标按大地测量所得的数据推算而得，大地原点坐标是经过天文测量获得的天文经纬度。采用不同的椭球，大地坐标系是不一样的，采用参考椭球体建立的坐标系叫作**参心坐标系**，采用总地球椭球并且坐标原点在地球质心的坐标系称为**地心坐标系**。

我国目前常用的大地坐标系有以下几种。

(1) 1954 年北京坐标系。

这是新中国成立初期采用克拉索夫斯基椭球建立的坐标系。由于该坐标系的大地原点在苏联，便利用我国东北边境的 3 个大地点与苏联大地网联测后的坐标作为我国天文大地网的起算数据，通过天文大地网计算，推算北京一点的坐标，故命名为“1954 年北京坐标系”。该坐标系在我国的经济建设和国防建设中发挥了重要作用，但也存在点位精度不高等诸多问题。

(2) 1980 年国家大地坐标系。

为了克服 1954 年北京坐标系存在的问题，我国于 20 世纪 70 年代末，对大地网重新进行了平差。该坐标系采用 IUGG-75 地球椭球，大地原点选在陕西省泾阳县永乐镇，椭球面与我国境内的大地水准面密合最佳，平差后精度明显提高。此坐标系命名为“1980 年国家坐标系”或“1980 年西安坐标系”。

(3) WGS-84 坐标系。

WGS(World Geodetic System, 世界大地坐标系)是美国国防部为进行 GPS 导航定位于 1984 年建立的地心坐标系，1985 年投入使用。WGS-84 坐标系的几何意义是：坐标系的原点位于地球质心， z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极(CTP)方向， x 轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点， y 轴通过右手规则确定。WGS-84 地心坐标系可以与 1954 年北京坐标系或 1980 年西安坐标系等参心坐标系相互转换。

(4) 2000 年国家大地坐标系。

2000 年国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)由 2000 年国家 GPS 大地网在历元 2000.0 的点位坐标和速度具体实现。2000 年国家大地坐标系符合 ITRS(国际地球参考系)的以下定义：原点在包括海洋和大气的整个地球的质量中心；长度单位为米，这一尺度同地心局部框架的 TCG(地心坐标时)时间坐标一致；定向在 1984.0 时与 BIH(国际时间局)的定向一致；定向随时间的演变由整个地球的水平构造运动无净旋转条件保证。