

//
高等学校教材

测量学

► 杨正尧 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

测量学

杨正尧 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/杨正尧主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 6
高等学校教材
ISBN 7-5025-7247-3

I. 测… II. 杨… III. 测量学-高等学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 070825 号

高等学校教材
测量学

杨正尧 主编
责任编辑: 王文峡
文字编辑: 吴开亮
责任校对: 郑捷
封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

· 开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 420 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7247-3

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

教材建设是教学改革的重要环节之一。全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本教材结合我国当前高等教育改革和课程设置的实际情况编写,具有以下特点。

1. 当前正处于新老测绘技术的转换时期,本教材在内容上正确处理了现代测绘技术与传统测绘技术的关系,在介绍测绘新技术的同时,注意精选保留传统测绘技术的基本内容。教材内容精练,专业覆盖面广,能满足培养宽口径、复合型人才的需

求。

2. 考虑到我国地区间经济发展的不平衡以及各高校之间的发展不平衡,本教材可满足教学需求多样性的要求。

3. 教材编写着眼于培养学生的学习能力,突出基础理论和基本概念,加强理论联系实际,每章后有思考题和习题。

4. 把握测绘科学技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材具备先进性与实用性。

本书是依据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。本书为高等院校土木工程专业本科“测量学”课程通用教材,也可作为其他非测绘工程专业本科“测量学”课程的教材,并可供广大工程技术人员阅读参考。

本书共分十六章,参加本书编写工作的有:武汉大学杨正尧(编写第一、六、七、八、九章),浙江大学陈丽华(编写第十、十一、十二、十三、十四、十五章),广西大学陈伟清(编写第二、三、四章),武汉大学向东(编写第五、十六章)。全书由杨正尧主编并统稿。本书由武汉大学潘正风担任主审,在此深表谢意!对于本书中参考的有关文献资料的原作者表示诚挚的谢意!感谢化学工业出版社所做的辛勤工作!

由于编者水平有限,书中疏漏与不妥之处恳请使用本教材的教师和广大读者提出宝贵意见。

编 者

2005 年 4 月

内 容 提 要

本书依据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编写。全书共分十六章。在阐述测量基本知识、基础理论和基本测量方法的基础上,结合土木工程施工测量的特点,介绍了一般土木工程施工测量的内容和方法。教材中包括了多方面的基础知识以扩展视野、拓宽知识面,并力求做到简明扼要,实用性强,有新意,反映现代测绘新技术、新仪器的应用。为满足教学需要,在每章之后附有思考题和习题。

本书具有较宽的专业适应面,可作为高等院校土木工程专业本科“测量学”课程通用教材,也可用作其他非测绘工程专业本科“测量学”课程的教材,并可供广大工程技术人员阅读参考。

目 录

第一章 测量基础知识	1
第一节 测绘学的任务及作用	1
一、测绘学的内容和任务	1
二、测绘学的发展概况	2
三、测绘科学技术的地位和作用	3
四、学习测量学的目的和要求	4
第二节 地球形状和大小	4
一、大地水准面	4
二、参考椭球体	5
三、参考椭球定位	6
第三节 测量坐标系	7
一、大地坐标系	7
二、空间直角坐标系	7
三、WGS-84 坐标系	7
四、平面直角坐标系	8
五、高程	11
第四节 测量工作概述	12
一、测量的基本工作	12
二、测量工作的主要任务	12
三、测量工作的基本原则	13
第五节 用水平面代替水准面的限度	14
一、水准面曲率对水平距离的影响	14
二、水准面曲率对水平角的影响	14
三、水准面曲率对高程的影响	15
思考题与习题	15
第二章 水准测量	16
第一节 水准测量原理	16
一、水准测量原理	16
二、转点和测站	17
三、地球曲率的影响	18
第二节 DS ₃ 微倾式水准仪	18
一、水准仪的分类	18
二、DS ₃ 微倾式水准仪的基本构造	18
三、水准尺和尺垫	21
四、DS ₃ 水准仪的使用	22

第三节 自动安平水准仪和精密水准仪	24
一、自动安平水准仪	24
二、精密水准仪	25
第四节 电子水准仪	27
一、电子水准仪概述	27
二、电子水准仪的基本构造和原理	27
三、条码水准尺	28
四、电子水准仪的使用	28
第五节 水准测量的外业施测	28
一、水准点	28
二、水准路线布设	29
三、普通水准测量	30
第六节 单一水准路线的计算	31
一、附和水准路线的计算	31
二、闭合水准路线的计算	33
三、支水准路线的计算	33
第七节 水准仪的检验与校正	34
一、微倾式水准仪应满足的几何条件	34
二、微倾式水准仪的检验与校正	34
第八节 水准测量的误差来源	37
一、仪器误差	37
二、观测误差	38
三、外界条件的影响	38
思考题与习题	39
第三章 角度测量	41
第一节 角度测量原理	41
一、水平角测量原理	41
二、竖直角测量原理	41
第二节 光学经纬仪	42
一、经纬仪的分类	42
二、DJ ₆ 光学经纬仪的构造与读数方法	42
三、DJ ₂ 光学经纬仪的构造与读数方法	44
第三节 电子经纬仪	46
一、电子经纬仪概述	46
二、电子经纬仪测角原理	47
第四节 经纬仪的基本操作	48
一、经纬仪的安置	48
二、照准目标	49
三、配置水平度盘	49
第五节 水平角观测	50

一、测回法	50
二、方向观测法	51
第六节 竖直角观测	52
一、竖盘构造	52
二、竖直角计算公式	52
三、竖盘指标差	53
四、竖直角观测	54
五、竖盘指标自动补偿装置	55
第七节 光学经纬仪的检验与校正	56
一、经纬仪的主要轴线及应满足的几何条件	56
二、经纬仪的检验与校正	56
第八节 水平角观测的误差来源	59
一、仪器误差	59
二、观测误差	60
三、外界条件的影响	61
思考题与习题	61
第四章 距离测量	64
第一节 钢尺量距	64
一、量距工具	64
二、尺长方程式	64
三、钢尺量距方法	65
四、钢尺量距的主要误差来源	67
第二节 视距测量	68
一、视距测量的基本原理	68
二、视距测量方法	69
三、视距测量的主要误差来源	70
第三节 光电测距	71
一、电磁波测距概述	71
二、光电测距的基本原理	71
三、光电测距仪及其使用	72
四、光电测距误差的主要来源	74
第四节 全站仪	75
一、全站仪概述	75
二、全站仪的基本构造及功能	75
三、南方 NTS-550/660 系列全站仪简介	76
思考题与习题	78
第五章 直线定向	79
第一节 三北方向	79
一、基本方向的种类	79
二、子午线收敛角与磁偏角	80

第二节 方位角与象限角	80
一、直线定向的表示方法	80
二、坐标方位角的计算	81
第三节 罗盘仪测定磁方位角	82
一、罗盘仪	82
二、磁方位角的测定	84
第四节 陀螺经纬仪测定真方位角	84
一、陀螺经纬仪	84
二、陀螺经纬仪测定真方位角的方法	86
思考题与习题	86
第六章 测量误差的基本知识	88
第一节 测量误差	88
一、观测条件	88
二、测量误差的分类	89
三、偶然误差的特性	89
第二节 评定精度的指标	91
一、中误差	91
二、极限误差	92
三、相对误差	93
第三节 误差传播定律	93
一、线性函数	93
二、一般函数	94
第四节 算术平均值及观测值的中误差	95
一、算术平均值	95
二、算术平均值的中误差	96
三、按观测值的改正值计算中误差	96
第五节 加权平均值及其精度评定	98
一、不等精度观测及观测值的权	98
二、加权平均值	99
三、定权的常用方法	100
四、加权平均值的中误差	101
五、单位权中误差的计算	102
思考题与习题	103
第七章 控制测量	104
第一节 概述	104
一、平面控制测量	104
二、高程控制测量	105
第二节 导线测量	107
一、导线的布设形式	107
二、导线测量的外业工作	108

三、导线测量的内业计算	109
第三节 交会测量	112
一、前方交会	113
二、后方交会	113
三、测边交会	114
四、自由设站法	115
第四节 高程控制测量	115
一、三、四等水准测量	115
二、跨河水准测量	117
三、三角高程测量	119
四、三角高程测量的应用	120
第五节 全球定位系统 (GPS) 在控制测量中的应用	120
一、GPS 系统的组成	121
二、GPS 定位的基本原理	122
三、GPS 测量误差	123
四、GPS 控制网的布设形式	124
五、GPS 控制网的外业观测	126
思考题与习题	126
第八章 大比例尺地形图测绘	128
第一节 地形图的基本知识	128
一、地形图的内容	128
二、地形图的比例尺	129
三、地形图符号	130
四、图廓及图廓外注记	132
第二节 地形图的分幅与编号	134
一、梯形分幅与编号	134
二、20 世纪 70~80 年代我国基本比例尺地形图的分幅与编号	134
三、新的国家基本比例尺地形图分幅与编号	137
四、矩形分幅与编号	139
第三节 传统测图方法	140
一、测图的准备工作	140
二、平板仪测图	141
三、经纬仪测图	142
第四节 地物测绘	143
一、地物测绘的一般原则	143
二、地物符号	143
第五节 等高线和地貌测绘	145
一、等高线及其特性	145
二、等高线表示地貌	147
三、地貌测绘	147

第六节 地形图的拼接、检查和整饰	148
一、地形图的拼接	148
二、地形图的检查	148
三、地形图的整饰	149
第七节 地面数字测图	150
一、概述	150
二、全站仪数据采集的作业模式	150
三、全站仪数字测图作业过程	151
四、图形信息编码	151
第八节 航空摄影测量成图简介	152
一、航摄相片的基本知识	152
二、航测成图方法简介	154
思考题与习题	155
第九章 地形图的应用	157
第一节 概述	157
第二节 地形图应用的基本内容	157
一、量取图上点的坐标值	157
二、量测两点间的距离	158
三、量测直线的坐标方位角	158
四、确定地面点的高程和两点间的坡度	158
五、按指定方向绘制断面图	159
六、确定汇水面积	159
七、按限制坡度选线	160
八、根据等高线整理地面	160
第三节 面积和体积计算	161
一、面积量算	161
二、体积计算	164
第四节 数字高程模型及应用	166
一、概述	166
二、数字高程模型的特点	167
三、DEM 的表示方法	167
四、数字高程模型的应用	168
第五节 地图数据库	169
一、数据库概念	169
二、地图数据	169
三、城市地图数据库的数据分层	170
思考题与习题	171
第十章 施工测量基本工作	172
第一节 概述	172
一、施工测量的任务	172

二、施工测量的特点	172
三、施工测量的精度	172
四、测绘新技术在施工测量中的应用	173
第二节 施工放样的基本方法	174
一、测设已知水平距离	174
二、测设已知水平角	175
三、测设已知高程	176
第三节 平面点位的测设	176
一、直角坐标法	177
二、极坐标法	177
三、角度交会法	178
四、距离交会法	178
五、全站仪测设法	179
第四节 设计坡度的测设	179
第五节 铅垂线和水平面的测设	180
一、铅垂线的测设	180
二、水平面的测设	181
思考题与习题	181
第十一章 线路测量	183
第一节 概述	183
一、勘测设计阶段	183
二、施工阶段	183
三、运营管理阶段	183
第二节 中线测量	183
一、交点和转点的测设	184
二、线路转向角的测定	186
三、里程桩的设置	186
第三节 圆曲线测设	187
一、圆曲线主点测设	187
二、圆曲线细部点测设	188
第四节 缓和曲线测设	191
一、缓和曲线的概念及公式	191
二、带有缓和曲线的圆曲线测设	193
第五节 复曲线测设	195
一、复曲线的类型	195
二、不设缓和曲线的复曲线测设	195
第六节 纵断面和横断面测量	196
一、纵断面测量	196
二、横断面测量	200
思考题与习题	203

第十二章 建筑施工测量	205
第一节 概述.....	205
一、施工放样应具备的资料.....	205
二、建筑物施工放样的主要技术要求.....	205
第二节 建筑施工控制测量.....	206
一、施工平面控制.....	206
二、施工高程控制.....	209
第三节 民用建筑施工测量.....	209
一、建筑物的定位.....	210
二、龙门板和轴线控制桩的设置.....	211
三、基础施工测量.....	212
四、主体施工测量.....	213
第四节 工业厂房施工测量.....	215
一、厂房柱列轴线测设.....	215
二、基础施工测量.....	216
三、厂房构件安装测量.....	216
第五节 竣工测量与竣工图编绘.....	218
一、竣工测量.....	218
二、竣工总平面图的编绘.....	219
思考题与习题.....	220
第十三章 道路与地下管道施工测量	221
第一节 概述.....	221
一、道路施工测量.....	221
二、管道施工测量.....	221
第二节 道路施工测量.....	222
一、中线恢复测量.....	222
二、施工控制桩的测设.....	222
三、线路纵坡的测设.....	223
四、竖曲线测设.....	223
五、路基边桩的测设.....	224
六、路基边坡的测设.....	227
七、路面的测设.....	227
第三节 地下管道施工测量.....	228
一、复核中线和测设施工控制桩.....	228
二、槽口放线.....	229
三、施工控制标志的测设.....	229
四、顶管施工测量.....	230
思考题与习题.....	231
第十四章 桥梁与隧道施工测量	232
第一节 概述.....	232

第二节 桥梁施工测量	232
一、桥梁施工控制网的建立	232
二、桥梁墩台中心定位	233
三、桥墩细部放样	234
四、桥梁上部结构的测设	234
第三节 隧道施工测量	235
一、隧道洞外控制测量	235
二、隧洞开挖中的测量工作	236
第四节 竖井联系测量	239
一、竖井定向测量	239
二、竖井高程传递	240
思考题与习题	241
第十五章 建筑物的变形观测	242
第一节 概述	242
一、变形观测的特点	242
二、变形测量点的分类	242
三、变形观测的基本要求	242
四、变形观测的等级划分及精度要求	243
第二节 建筑物的沉降观测	243
一、沉降观测点的布设	243
二、观测方法	244
三、观测成果整理	244
第三节 建筑物的倾斜观测	245
第四节 建筑物的水平位移观测	246
第五节 建筑物的裂缝观测与挠度观测	247
一、裂缝观测	247
二、挠度观测	247
第六节 地面摄影测量及 GPS 在变形观测中的应用	248
一、地面摄影测量及在变形观测中的应用	248
二、GPS 在变形观测中的应用	248
思考题与习题	249
第十六章 测量实验	251
实验一 DS ₃ 水准仪的使用	251
实验二 普通水准测量	251
实验三 DS ₃ 水准仪的检验	252
实验四 电子水准仪的使用	253
实验五 DJ ₆ 光学经纬仪的使用	253
实验六 测回法观测水平角	254
实验七 方向法观测水平角	255
实验八 竖直角观测	255

实验九 DJ ₆ 光学经纬仪的检验	256
实验十 全站仪的使用	258
实验十一 四等水准测量	258
实验十二 经纬仪测绘法测绘地形图	259
实验十三 测设圆曲线	260
实验十四 纵断面图测绘	260
实验十五 建筑物轴线放样	261
参考书目	262

第一章 测量基础知识

第一节 测绘学的任务及作用

一、测绘学的内容和任务

测绘学是研究与地球有关的基础空间信息的采集、处理、显示、管理、利用的科学与技术，是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采用技术手段的不同，分为大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学和海洋测绘学等分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。大地测量学是测绘学各分支学科的基础，基本任务是建立地面控制网、重力网，精确测定控制点的空间三维位置，为地形测图提供控制基础，为各类工程施工测量提供依据，为研究地球形状大小、重力场及其变化、地壳形变及地震预报提供信息。现代大地测量学包含三个基本分支：几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。

2. 摄影测量学

摄影测量学是研究摄影影像与被摄物体之间的内在几何和物理关系，进行分析、处理和解译，以确定被摄物体的形状、大小和空间位置，并判定其性质的一门学科。

从不同角度对摄影测量学可进行如下分类：按距离远近分有航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量；按用途分有地形摄影测量和非地形摄影测量；按技术处理方法分，则有模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量。

3. 地图制图学

地图制图学是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法以及应用的学科。

地图是测绘工作的重要产品形式。学科发展促使地图产品从模拟地图转向数字地图，从二维静态向三维立体、四维动态转变。利用遥感技术获得的信息进行遥感图像制图，利用虚拟现实技术实现对现实环境的模拟，借助特殊装备，可使用户有身临其境的感觉。计算机制图技术和地图数据库的发展，促使地理信息系统（GIS）产生。数字地图的发展及广泛的应用领域为地图学的发展和地图的应用展现出光辉的前景。

4. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中，在规划、勘测设计、施工和运营管理各

个阶段进行的控制测量、大比例尺地形测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析与预报等的理论和技术的学科。

工程测量学是一门应用学科，按其研究对象可分为：土木工程测量、水利工程测量、矿山测量、军事工程测量以及三维工业测量、精密工程测量等。

5. 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象，研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布，及编制各种海图的理论和技术的学科。内容包括海洋大地测量、海底地形测量、海道测量和海图编制。

在地球表面一个小区内进行测绘工作时，可以把这块球面看作平面而不必顾及地球曲率的影响。普通测量学（亦称为地形测量学）研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法及应用，其主要内容包括测量基本工作、地形图测绘及地形图的应用。

二、测绘学的发展概况

测绘学是一门历史悠久的学科，远溯到世界上古时代，我国古代夏禹治水，以及古埃及尼罗河泛滥后农田边界再划分中，就已使用简单的测量工具和方法。

我国历史悠久，测量在我国很早已得到发展。公元前7世纪前后，春秋时期，管仲在所著《管子》一书中已收集了早期的地图27幅。公元前5世纪～公元前3世纪，战国时期，我国就有用磁石制成的世界上最早的定向工具“司南”。公元前130年，西汉初期的《地形图》及《驻军图》于1973年从长沙马王堆三号汉墓中出土，为目前所发现我国最早的地图。公元前350年左右甘德和石申合编了世界第一个星表，即《甘石星表》。东汉张衡（78—139年）发明了“浑天仪”和“地动仪”，这是世界上最早的天球仪和地震仪。公元3～4世纪魏晋时期的刘徽所著《海岛算经》，论述了有关测量和计算海岛距离和高度的方法。西晋裴秀（224—271年）提出了绘制地图的六条原则，即《制图六体》，这是世界上最早的制图规范，他绘制了《禹贡地域图》18幅，缩编《天下大图》为《地形方丈图》。唐代贾耽（730—805年）根据《制图六体》理论编绘《海内华夷图》。公元9世纪李吉甫的《元和郡县图志》为我国古代最完善的全国地图。公元724年，在唐代僧一行（本名张遂）主持下，丈量了自河南滑县到上蔡300km的子午线弧长，并用日晷测定纬度，这是我国历史上第一次应用弧度测量的方法测定地球形状和大小、也是世界上最早的一次子午线弧长测量。北宋沈括（1031—1095年）在他的《梦溪笔谈》中记载了磁偏角现象，他曾在1076～1087年间绘制《天下州县图》。1072～1074年间沈括创造使用分层筑堰法，用水平尺和罗盘进行地形测量，并制作了立体地形模型，称为“木图”，比欧洲最早的地形模型早700多年。元代郭守敬（1231—1316年）在全国进行了大规模的纬度测量，共实测了27个点。18世纪初（清康熙二十三年），开始了全国测图工作，1708～1718年间完成了《皇舆全览图》，在此基础上于1761年（清乾隆二十六年）又编成《大清一统舆图》。

17世纪初，测绘科学在欧洲得到较大发展。1608年荷兰人汉斯发明了望远镜，随后被应用到测量仪器上，这是测绘科学发展史上一次较大的变革。1617年荷兰人斯纳留斯首次进行了三角测量。1683年法国进行了弧度测量，证明地球是两极略扁的椭球体。高斯（德国，1777—1855年）于1794年提出了最小二乘法理论，以后又提出了横圆柱投影理论，对