



高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

土木工程测量

金芳芳 张丹 主编
朱兆军 胡景东 副主编

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材
盐城工学院教材基金资助出版

土木工程测量

金芳芳 张丹 主编
朱兆军 胡景东 副主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量/金芳芳, 张丹主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 11

高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-22840-9

I. ①土… II. ①金… ②张… III. ①土木工程-工程测量-高等学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 242621 号

本书根据高等学校土建类各专业测量教学大纲及国家最新测量规范编写, 内容包括: 水准测量、角度测量、距离测量与全站仪测量、测量误差分析、控制测量、建筑施工测量、道路工程测量、桥梁施工测量、隧道测量、无人机摄影测量与应用等。

本书专业应用面广, 注重工程实践和理论相结合, 尤其是无人机信息化测绘, 改变了建筑行业, 本书力求反映当代工业智能化测绘的最新技术。每章结尾附有思考与练习题, 并将“互联网+”思维融入教材, 以二维码的形式实现纸质教材与数字资源的有机结合。

本书既可作为高等学校土建类各专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

本书作者制作了多媒体课件, 有需要的读者可发送邮件至 jiangongkejian@163.com 索取。

* * *

责任编辑: 仕 帅 吉万旺

责任校对: 王雪竹

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材

高校土木工程专业规划教材

盐城工学院教材基金资助出版

土木工程测量

金芳芳 张 丹 主 编

朱兆军 胡景东 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{1}{4}$ 字数: 404 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价: 38.00 元 (赠课件及配套二维码资源)

ISBN 978-7-112-22840-9

(32956)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

近几年来,随着我国科学技术的发展,测绘无人机新技术将改变测绘行业作业方式,信息化测绘方法已经引领了整个测绘市场;从模拟化的光学仪器到数字化全站仪、GPS,再到信息化测绘的无人机,实现了由人工转智能、由点向面的跳跃。

土木工程测量是土建类的专业基础课,本书按照国家最新测量规范,从现代建筑测绘技术的发展和市场经济对人才的需要,并根据高等学校土建类各专业测量教学大纲编写。本书适用于土木工程、工程管理、给水排水工程、建筑学、城市地下空间工程、建筑环境与能源应用工程、交通工程等专业。

本教材在编写过程中参阅了国内外专家论著,尽量体现实用性和先进性,内容共13章,分为四大部分。第一部分为第1~4章,介绍了测量学的基本知识,主要介绍了测量的三项基本工作:测高、测角和测距;第二部分为第5~8章,介绍了测量误差基本理论、小区域控制测量及大比例尺地形图的测图、识图和用图;第三部分为第9~12章,是施工测量部分,详细介绍了建筑、道路、桥梁、隧道与水利施工测量等内容,各专业可根据需要选用。第四部分为第13章,主要介绍了目前在工程中最前沿的测绘技术——无人机测绘,重点介绍了无人机倾斜摄影系统、机载激光雷达、地面控制系统以及数字处理等。对无人机影像的三维重建和空中全景监测等相关技术及其应用进行了深入的探讨。每章结尾附有思考与练习题,并将“互联网+”思维融入教材,以二维码的形式实现纸质教材与数字资源的有机结合。

本教材由金芳芳、张丹主编,参加本书编写工作的有盐城工学院金芳芳(第1、4、5、13章),江苏盐城元盛建设工程有限公司胡景东(第10、12章),盐城工学院张丹(第7、8、9、11章),盐城工学院朱兆军(第2、3、6章),全书由金芳芳统稿。

由于编者水平有限,本教材不完善之处,敬请专家和读者批评指正,编者在此先行表示感谢!

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的任务与应用	2
1.1.1 测量学的任务	2
1.1.2 测量学的应用	2
1.1.3 土木工程测量的基本要求	3
1.2 测量学发展简史	3
1.2.1 测量学的发展概况	3
1.2.2 测量学的发展展望	6
1.3 测量学的基础知识	7
1.3.1 地球的形状和大小	7
1.3.2 测量坐标系	8
1.3.3 高程系统	11
1.3.4 地球曲率对测量工作的影响	11
1.4 测量工作的基本概念	13
1.4.1 测量工作的基本原则	13
1.4.2 控制测量	14
1.4.3 碎部测量	14
1.4.4 施工放样的概念	15
1.4.5 测量的三项基本工作	15
1.5 测量常用计量单位	16
1.5.1 长度单位	16
1.5.2 面积与体积单位	16
1.5.3 平面角单位	16
1.5.4 测量数据计算的凑整规则	16
思考与练习题	16
第 2 章 水准测量	18
2.1 水准测量原理	19
2.2 DS ₃ 型微倾式水准仪及其使用	20
2.2.1 DS ₃ 型微倾式水准仪的构造	20
2.2.2 水准尺和尺垫	22
2.3 水准仪的使用	22
2.4 水准测量的一般方法	23
2.4.1 水准测量的实施	23
2.4.2 水准测量的校核方法和精度要求	24
2.5 水准测量的内业计算	26
2.5.1 闭合水准路线的成果检核与整理	26

2.5.2	附和水准路线高差闭合差的调整	27
2.5.3	支水准路线高差闭合差的调整	29
2.6	微倾式水准仪的检验和校正	29
2.7	水准测量的误差及其消减方法	32
2.8	自动安平水准仪	34
2.9	精密水准仪	35
2.10	数字水准仪	37
	思考与练习题	38
第3章	角度测量	39
3.1	角度测量原理	40
3.1.1	水平角测量原理	40
3.1.2	竖直角测量原理	40
3.2	DJ6型经纬仪	40
3.3	水平角测量的方法	44
3.3.1	经纬仪的技术操作	44
3.3.2	测回法测水平角	46
3.3.3	方向观测法测水平角	47
3.4	竖直角测量的方法	48
3.4.1	竖直度盘的构造	48
3.4.2	竖直角的计算公式	49
3.4.3	竖直角的观测方法	50
3.4.4	竖盘指标差	50
3.5	经纬仪的检验和校正	52
3.5.1	经纬仪应满足的主要条件	52
3.5.2	经纬仪的检验和校正方法	52
3.6	角度测量的误差分析	56
3.6.1	仪器误差	56
3.6.2	观测误差	58
3.6.3	外界条件的影响	60
3.7	电子经纬仪	60
	思考与练习题	61
第4章	距离测量与全站仪测量	63
4.1	钢尺量距	64
4.1.1	量距工具	64
4.1.2	直线定线	64
4.1.3	钢尺量距的一般方法	65
4.2	视距测量	66
4.3	光电测距	68
4.3.1	光电测距原理	68
4.3.2	测距成果整理	70
4.3.3	测距仪标称精度	71
4.4	全站仪测量	72
4.4.1	全站仪的基本构造	72

4.4.2	全站仪的分类	72
4.4.3	全站仪的等级与检测	72
4.4.4	徕卡 TS02 全站仪的使用	73
	思考与练习题	80
第 5 章	测量误差基本知识	81
5.1	测量误差概述	82
5.1.1	测量误差来源	82
5.1.2	测量误差分类	82
5.1.3	偶然误差特性	83
5.2	衡量精度的标准	85
5.2.1	中误差	85
5.2.2	相对误差	85
5.2.3	极限误差与容许误差	86
5.3	误差传播定律	86
5.4	算术平均值及其中误差	88
5.4.1	算术平均值	88
5.4.2	观测值改正数	89
5.4.3	等精度观测值的中误差	89
5.4.4	等精度观测算术平均值中误差	90
5.5	非等精度观测值的精度评定	91
	思考与练习题	92
第 6 章	控制测量	93
6.1	概述	94
6.2	直线定向	95
6.2.1	标准方向	95
6.2.2	直线方向的表示法	96
6.2.3	正、反坐标方位角	96
6.2.4	坐标方位角的推算	96
6.3	坐标正算与坐标反算	97
6.3.1	坐标正算公式	97
6.3.2	坐标反算	98
6.4	导线测量	99
6.5	交会法定点	107
6.5.1	角度前方交会	107
6.5.2	侧方交会	108
6.5.3	后方交会	108
6.5.4	距离交会法	109
6.6	高程控制测量	110
6.6.1	三、四等水准测量	110
6.6.2	三角高程测量	112
6.7	全球定位系统 (GPS) 定位原理简介	114
6.7.1	概述	114
6.7.2	全球定位系统 (GPS) 的组成	114

6.7.3	GPS 信号	116
6.7.4	GPS 误差	116
6.7.5	GPS 卫星定位基本原理	117
6.7.6	GPS 测量实施	119
6.7.7	RTK 简介	120
6.7.8	CORS 简介	120
	思考与练习题	122
第 7 章	地形图测绘	124
7.1	地形图的基本知识	125
7.1.1	地形图比例尺	125
7.1.2	地形图的分幅、编号和注记	126
7.1.3	大比例尺地形图的分幅与编号	127
7.1.4	图廓	127
7.1.5	图外注记	127
7.1.6	地物的表示方法	128
7.1.7	地貌的表示方法	130
7.2	测图前的准备工作	133
7.3	经纬仪测绘法测绘地形图	134
7.4	地形图的拼接、检查和整饰	138
7.5	大比例尺数字测图概述	139
	思考与练习题	142
第 8 章	地形图的识读与应用	143
8.1	地形图的识读	144
8.1.1	地形图识读的目的和基本要求	144
8.1.2	地形图识读的基本内容	144
8.2	地形图的基本应用	144
8.2.1	图上确定某点的高程	144
8.2.2	在地形图上确定点的坐标	145
8.2.3	在地形图上确定两点间的距离	146
8.2.4	利用地形图求某直线的坐标方位角	146
8.2.5	在地形图上确定某一直线的地面坡度	147
8.2.6	在地形图上按限制坡度选择最短路线	147
8.3	图形面积量算	147
8.3.1	透明方格纸法	147
8.3.2	平行线法	148
8.3.3	解析法	148
8.3.4	求积仪法	149
8.4	利用地形图绘制某方向的断面图	151
8.5	在地形图上确定汇水面积	151
8.6	利用地形图计算土方量	152
8.6.1	方格网法	152
8.6.2	等高线法计算土方量	154
8.6.3	断面法计算土方量	155

思考与练习题	156
第9章 建筑工程测量	157
9.1 建筑施工测量概述	158
9.2 建筑场地施工控制网	159
9.2.1 平面控制网	159
9.2.2 高程控制网	161
9.3 民用建筑放样	161
9.3.1 民用建筑物定位	161
9.3.2 民用建筑物放线	162
9.3.3 基础施工测量	163
9.3.4 墙体施工测量	164
9.4 高层建筑施工测量	165
9.4.1 高层建筑施工测量的特点	165
9.4.2 建(构)筑物主要轴线的定位	165
9.4.3 轴线的竖向投测	166
9.4.4 高程传递	167
9.5 建筑变形观测	168
9.5.1 建筑物变形的概念	168
9.5.2 沉降观测	169
9.5.3 倾斜观测	172
9.6 竣工总平面图的编绘与实测	173
9.6.1 编绘竣工总平面图的目的	174
9.6.2 编绘竣工总平面图的原则	174
9.6.3 竣工总平面图的编绘	174
9.6.4 竣工总图的实测	175
思考与练习题	175
第10章 道路工程测量	176
10.1 概述	177
10.2 道路工程的初测	177
10.2.1 控制测量	177
10.2.2 带状地形测量	178
10.3 中线测量	178
10.3.1 中线测量任务	178
10.3.2 中线测量的过程	179
10.3.3 中线测量的方法	183
10.3.4 断链	184
10.4 圆曲线测设	184
10.4.1 圆曲线的要素计算	185
10.4.2 圆曲线控制点的测设方法	186
10.4.3 偏角法测设圆曲线	186
10.4.4 切线支距法测设圆曲线	188
10.5 路线纵、横断面测量	189
10.5.1 纵断面测量	189

10.5.2 横断面测量	192
思考与练习题	194
第 11 章 桥梁施工测量	195
11.1 桥梁控制测量	196
11.1.1 桥梁平面控制测量	196
11.1.2 桥梁高程控制测量	198
11.2 墩台中心定位和轴线测设	199
11.2.1 墩台中心定位	199
11.2.2 墩台轴线测设	202
11.3 桥梁细部施工放样	202
11.4 桥梁墩台的变形观测	204
11.4.1 墩台的垂直位移观测	204
11.4.2 墩台的水平位移观测	206
11.4.3 上部结构的挠曲观测	207
思考与练习题	208
第 12 章 隧道测量	209
12.1 概述	210
12.1.1 隧道工程的特点	210
12.1.2 隧道测量的内容	210
12.1.3 隧道贯通测量的含义	211
12.2 隧道洞外平面控制测量	211
12.2.1 GPS 测量法	212
12.2.2 精密导线法	212
12.2.3 中线法	213
12.2.4 三角锁网法	214
12.3 隧道洞内平面控制测量	214
12.3.1 精密导线法	214
12.3.2 中线法	216
12.3.3 陀螺经纬仪定向法	216
12.4 隧道高程控制测量	216
12.4.1 洞外高程控制测量	216
12.4.2 洞内高程控制测量	216
12.5 隧道贯通精度的预计	217
12.5.1 贯通精度预计的意义	217
12.5.2 洞外、洞内平面控制测量对横向贯通误差的估算	218
12.6 隧道施工测量	221
12.6.1 隧道进洞测量	221
12.6.2 洞内施工中线测量	222
12.6.3 高程控制	223
12.6.4 掘进方向指示	223
12.6.5 开挖断面的放样	223
12.6.6 结构物的施工放样	224
12.7 隧道变形监测	224

12.7.1	隧道地表沉降监测	224
12.7.2	隧道洞内变形监测	224
12.8	隧道竣工测量	225
	思考与练习题	226
第 13 章	航空摄影测量与机载激光雷达信息技术的应用	227
13.1	航空摄影测量	228
13.1.1	航空摄影测量的简要测图过程	229
13.1.2	倾斜摄影测量	230
13.2	机载激光雷达测量	233
13.2.1	机载激光雷达的工作原理	234
13.2.2	机载激光雷达测量技术优点	234
13.2.3	激光点云	235
13.2.4	数字高程模型 (DEM)	235
13.2.5	数字地表模型 (DSM)	236
13.2.6	数字正射影像 (DOM)	236
13.2.7	机载激光雷达测量作业流程	236
13.2.8	机载激光雷达测量与航空摄影测量	238
13.3	地面控制系统	239
13.3.1	地面站的典型配置	240
13.3.2	地面站的典型功能	240
13.3.3	关键技术及典型解决方案“友好”的人机界面	241
13.3.4	操作员的培训	241
13.3.5	一站多机的控制	242
13.3.6	地面站对总线的需求	242
13.3.7	可靠的数据链	243
13.3.8	无人机地面站发展的趋势	243
13.4	无人机飞行平台	243
13.5	数据处理	244
13.5.1	Smart3DCapture™	244
13.5.2	在线学习资源: Bentley 教育软件	247
	思考与练习题	248
	参考文献	249

第1章

绪 论

是扩建、改建和管理维护等项工程。对于大型或重要工程，建设单位在前期进行决策监督，如编制可行性研究报告，由设计单位编制可行性研究报告，由建设单位审批。对于小型工程，建设单位在前期进行决策监督，如编制可行性研究报告，由设计单位编制可行性研究报告，由建设单位审批。

绪论部分主要介绍工程测量的重要性、发展概况、分类、作用、特点、任务、要求、原则、方法、步骤、成果、应用、展望等。绪论部分主要介绍工程测量的重要性、发展概况、分类、作用、特点、任务、要求、原则、方法、步骤、成果、应用、展望等。

1.1 绪论的发展概况
 绪论的发展概况主要介绍工程测量的历史、现状、发展趋势、应用前景等。绪论的发展概况主要介绍工程测量的历史、现状、发展趋势、应用前景等。

1.1 测量学的任务与应用

1.1.1 测量学的任务

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面（包括空中、地下和海底）点位的科学。它的任务包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据或成果，将地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。测设（放样）是指用一定的测量方法，按要求的精度，把设计图纸上规划设计好的建（构）筑物的平面位置和高程标定在实地上，作为施工的依据。

测量学按其研究的范围和对象的不同，可分为以下几个分支学科：

普通测量学：研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法，不考虑地球曲率的影响，把地球表面当作平面看待，是测量学的基础。

大地测量学：研究整个地球的形状和大小，解决大地区控制测量和地球重力场问题的学科。随着科学技术的发展，大地测量学又分为天文大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学。

摄影测量学：研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息，进行分析处理，绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。

海洋测量学：以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编绘工作，属于海洋测绘学的范畴。

工程测量学：研究工程建设在规划、设计、施工、管理各阶段，进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测的理论、技术和方法的学科。

制图学：利用测量所得的成果资料，研究如何投影编绘和印刷各种地图的工作，属于制图学的范畴。

1.1.2 测量学的应用

测量学的应用十分广泛，对于国民经济建设、国防建设和科学研究起着重要的作用。国民经济建设发展的整体规划，城镇和工矿企业的建设与改（扩）建，交通、水利水电、各种管线的修建，农业、林业、矿产资源等的规划、开发、保护和管理，以及灾情监测等都需要测量工作；在国防建设中，测绘技术对国防工程建设、战略部署和战役指挥、诸兵种协同作战、现代化技术装备和武器装备应用等都起着重要作用；对于空间技术研究、地壳形变、海岸变迁、地极运动、地震预报、地球动力学、卫星发射与回收等科学研究方面，测绘信息资料也是不可缺少的。同时，测绘资料是重要的基础信息，其成果是信息产业的重要组成部分。

在土木工程中，测绘科学的各项高新技术，已在或正在土木工程各专业中得到广泛应用。在工程建设的规划设计阶段，各种比例尺地形图、数字地形图或有关 GIS（地理信息系统），用于城镇规划设计、管理、道路选线以及总平面和竖向设计等，以保障建设选址得当，规划布局科学合理；在施工阶段，特别是大型、特大型工程的施工，GPS（全球定位系统）技术和测量机器人技术已经用于高精度建（构）筑物的施工测设，并适时对施工、安装工作进行检验校正，以保证施工符合设计要求；在工程管理方面，竣工测量资料

是扩建、改建和管理维护必需的资料。对于大型或重要建（构）筑物还要定期进行变形监测，以确保其安全可靠；在土地资源管理方面，地籍图、房产图对土地资源开发、综合利用、管理和权属确认具有法律效力。因此，测绘资料是项目建设的重要依据，是土木工程勘察设计现代化的重要技术，是工程项目顺利施工的重要保证，是房产、地产管理的重要手段，是工程质量检验和监测的重要措施。

土木工程技术人员必须明确测量学科在土木工程建设中的重要地位。通过本课程的学习，要求学生掌握测量基本理论和技术原理，熟练操作常规测量仪器，正确地应用工程测量基本理论和方法，并具有一定的测图、用图、放图和变形测量等的独立工作能力。

本教材主要介绍土木工程在各个阶段所进行的测绘工作。它与普通测量学、工程测量学等学科都有着密切的联系，主要有绘图、用图、放样和变形观测等项内容。

1.1.3 土木工程测量的基本要求

本课程是土木工程专业的技术基础课。土木工程各专业的学生，学习本课程之后，需要掌握下列内容：

1) 地形图测绘——运用测量学的理论、方法和工具，将小范围内地面上的地物和地貌测绘成地形图、地籍图等，这项任务简称为测图。

2) 地形图应用——为工程建设的规划设计，从地形图中获取所需要的资料，如点的坐标和高程、两点间的距离、地块的面积、地面的坡度、地形的断面和进行地形分析等，这项任务简称为图的应用。

3) 施工放样——把图上设计的工程结构物的位置在实地标定，作为施工的依据，这项任务简称为测设或放样。

1.2 测量学发展简史

1.2.1 测量学的发展概况

测量学是一门历史悠久的学科，是从人类生产实践中逐渐发展起来的。早在公元前二十七世纪建设的埃及大金字塔，其形状与方向都很准确，这说明当时就已有放样的工具和方法。我国早在二千多年前的夏商时代，为了治水就开始了水利工程测量工作。司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述：“陆行乘车，水行乘船，泥行乘橇，山行乘攀，左准绳，右规矩，载四时，以开九州，通九道，陂九泽，度九山。”这里所记录的就是当时的工程勘测情景，准绳和规矩就是当时所用的测量工具，准是可揆平的水准器，绳是丈量距离的工具，规是画圆的器具，矩则是一种可定平、测长度、测高度、测深度、画圆和画矩形的通用测量仪器。早期的水利工程多为河道的疏导，以利防洪和灌溉，其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子领导修建的都江堰水利枢纽工程，曾用一个石头人来标定水位，当水位超过石头人的肩时，下游将受到洪水的威胁；当水位低于石头人的脚背时，下游将出现干旱。这种标定水位的办法与现代水位测量的原理完全一样。北宋时沈括为了治理汴渠，测得“京师之地比泗州凡高十九丈四尺八寸六分”，是水准测量的结果。

公元前 14 世纪，在幼发拉底河与尼罗河流域曾进行过土地边界的划分测量。我国的地籍管理和土地测量最早出现在殷周时期，秦、汉过渡到私田制。隋唐实行均田制，建立户籍册。宋朝按乡登记和清丈土地，出现地块图。到了明朝洪武四年，全国进行土地大清

查和勘丈，编制的鱼鳞图册，是世界最早的地籍图册。

早在公元前一千多年以前，我国就诞生了地图。《汉书·郊毅志》中有：“禹收九牧之金，铸九鼎，像九州”的记载。《左传》中有：“惜夏方有德也，远方图物，贡金九牧，铸鼎象物，百物而为之备，使民知神奸”。意思是说，在夏朝极盛时期，远方的人把地貌、地物以及禽兽画成图，而九州的长官把图和一些金属当作礼品献给夏禹，禹收下“九牧之金”铸成鼎，并把远方人画的画铸在鼎上，以便百姓从这些图画中辨别各种事物。文中的“百物而为之备”，很明显说明是供牧人、旅行者使用的图。可惜，原物流传至二千多年前的春秋战国时，因战乱被毁而失传。据宋代思想家朱熹推断，后来的《山海经图》是从夏代九鼎图像演变而来的，也是一种原始地图。在《山海经图》的“五藏三经图”上，画着山、水、动物、植物、矿物等，而且注记着道里的方位，是较规范的地图形式。由此可以说，中国在夏代已经有了原始的地图。

中国战国时期修筑的午道，公元前 210 年秦始皇修建的“堑山堙谷，千八百里”直道，古罗马构筑的兵道，以及公元前 218 年欧洲修建的通向意大利的“汉尼拔通道”等，都是著名的军用道路，修建中应用了测量工具进行地形勘测、定线测量和隧道定向开挖测量。唐代李筌指出“以水佐攻者强，……，先设水平测其高下，可以漂城，灌军，浸营，败将也”，说明了测量地势高低对军事成败的作用。中华民族伟大象征的万里长城修建于秦汉时期，这一规模巨大的防御工程，从整体布局到修筑，都进行了详细的勘察测量和施工放样工作。

工程测量学的发展在很长的一段时间内是非常缓慢的。直到 20 世纪初，由于西方的第一、二次技术革命和工程建设规模的不断扩大，工程测量学才受到人们的重视，并发展成为测绘学的一个重要分支。以核子、电子和空间技术为标志的第三次技术革命，使工程测量学获得了迅速的发展。20 世纪 50 年代，世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道、城市地铁中，对工程测量提出了一系列要求；20 世纪 60 年代，空间技术的发展和导弹发射场建设促使工程测量进一步发展；20 世纪 70 年代以来，高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行、远程武器发射等，需要建设各种巨型实验室，从测量精度和仪器自动化方面都对工程测量提出了更高的要求。20 世纪末，人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸，测量对象不仅限于地面而且深入地下、水域、空间和宇宙，如核电站、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥、大型正负电子对撞机等。由于仪器的进步和测量精度的提高，工程测量的领域日益扩大，除了传统的工程建设三阶段的测量工作外，在地震观测、海底探测、巨型机器、车床、设备的荷载试验、高大建筑物（电视发射塔、冷却塔）变形观测、文物保护，甚至在医学上和罪证调查中，都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。1964 年国际测量师联合会（FIG）为了促进和繁荣工程测量，成立了工程测量委员会（第六委员会），从此，工程测量学在国际上作为一门独立的学科开展活动。

现代工程测量已经远远突破了为工程建设服务的狭窄概念，而向所谓的“广义工程测量学”发展。苏黎世高等工业大学马西斯教授指出：“一切不属于地球测量，不属于国家地图集范畴的地形测量和不属于官方的测量，都属于工程测量”。

从工程测量学的发展历史可以看出，它的发展经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量自动化、从常规测量到精密测量的发展道路，它的发展始终与当时的生产力水平相

同步,并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的愈来愈高的需求。举世瞩目的三峡水利枢纽工程,小浪底、二滩和溪洛渡等水利枢纽工程;长达30多公里的杭州湾大桥和东海大桥工程;已竣工的秦岭隧道(18.4km),山西省引黄工程南干线5号隧洞(长26.5km)、7号隧洞(长42.6km),以及辽宁省大伙房引水工程隧道(长达85.3km);上海磁悬浮铁路;北京国家大剧院等大型精密特种工程,都堪称世界之最。大型特种精密工程建设和对测绘的要求是工程测量学发展的动力。下面结合国内外有关工程予以说明。

三峡水利枢纽工程变形监测和库区地壳形变、滑坡、岩崩以及水库诱发地震监测,其规模之大,监测项目之多,都堪称世界之最。如对滑坡体变形与失稳研究的计算机智能仿真系统,拟进行研究的三峡库区滑坡泥石流预报的3S工程等,都涉及精密工程测量。隔河岩大坝外部变形观测的GPS实时持续自动监测系统,监测点的位置精度达到亚毫米级。该工程用地面方法建立的变形监测网,其最弱点精度优于 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

北京正负电子对撞机的精密控制网,点位精度达 $\pm 0.3\text{mm}$,设备定位精度优于 $\pm 0.2\text{mm}$,200m长的直线段漂移管准直精度达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。大亚湾核电站控制网最弱点点位精度达 $\pm 2\text{mm}$,秦山核电站的环型安装测量控制网的精度高达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

武汉长江二桥全桥的贯通精度(跨距和墩中心偏差)达毫米级。长达30多公里的杭州湾大桥的GPS首级控制网的最弱点点位精度高达 $\pm 1.4\text{mm}$ 。高454m的上海东方明珠电视塔对于长114m、重300t的钢桅杆天线,安装的铅垂准直误差仅 $\pm 9\text{mm}$ 。

长18.4km的秦岭隧道,洞外GPS网的平均点位精度优于 $\pm 3\text{mm}$,一等精密水准线路长120多公里。已贯通的辅助隧道,在仅有一个贯通面的情况下,贯通后实测的横向贯通误差为12mm,高程方向的贯通误差只有3mm。

国外的大型特种精密工程更不胜枚举。以大型粒子加速器为例,德国汉堡的粒子加速器研究中心,堪称特种精密工程测量的历史博物馆。1959年建成的同步加速器,直径仅100m;1978年的正负电子储存环,直径743m;1990年的电子质子储存环,直径2000m。为了减少能量损失,改用直线加速器代替环形加速器,正在建的直线加速器长达30km,100~300m的磁件相邻精度要求优于 $\pm 0.1\text{mm}$,磁件的精密定位精度仅几个微米,并能以纳米级的精度确定直线度。用精密激光测距仪TC2002K进行距离测量,其测距精度与ME5000相当,平均边长为50m的3800条边,改正数小于 $\pm 0.1\text{mm}$ 的占95%。美国的超导超级对撞机,其直径达27km,为保证椭圆轨道上的投影变形最小且位于一平面上,采用了一种双重正形投影。所做的各种精密测量,均考虑了重力和潮汐的影响。主网和加密网采用GPS测量,精度优于1ppm。

德国的露天煤矿大型挖煤机开挖量动态测量计算系统是GPS、GIS技术相结合在大型特种工程中应用的一个典型例子。大型挖煤机长140m,高65m,自重8000t,其挖斗轮的直径达17.8m,每天挖煤量可达10多万吨。为了实时动态地得到挖煤机的采煤量,在其上安置了三台GPS接收机,与参考站进行无线电实时数据传输和差分动态定位,挖煤机上两点间距离的精度可达 $\pm 1.5\text{cm}$,根据三台接收机的坐标,按一定几何模型可计算出挖煤机挖斗轮的位置及采煤层的截面,其平面精度为 $\pm 3\text{cm}$,高程精度为 $\pm 2\text{cm}$ 。结合露天煤矿的数字地面模型,可计算出采煤量,经对比试验,其精度高达4%。

南非某一核电站的冷却塔高165m,直径163m,在整个施工过程中,要求每一高程面上塔壁中心线与设计尺寸的限差小于 $\pm 50\text{mm}$,在塔高方向上每10m的相邻精度优于

±10mm。由于在建造过程中发现地基地质构造不良,出现不均匀沉陷,使塔身产生变形。为此,要根据精密测量资料拟合出实际的塔壁中心线作为修改设计的依据。采用测量机器人用极坐标法作三维测量,对每一施工层,沿塔外壁设置了1600多个目标点,在夜间可完成全部精密测量工作。对大量的测量资料通过恰当的数据处理模型使精度提高了一至数倍,所达到的相邻精度高于设计要求。精密测量不仅是施工的质量保证,为整治工程病害提供可靠的资料,同时也能对整治效果做出精确评价。

瑞士阿尔卑斯山的哥特哈德特长双线铁路隧道长达57km,为该工程的修改特别地重新做了国家大地测量(LV95),采用GPS技术施测的控制网,以厘米级的精度确定出了整个地区的大地水准面。为加快进度和避开不良地质段,中间设了三个竖井,共四个贯通面,较只设一个贯通面可缩短工期11年。整个隧道的工程投资预计约15亿瑞士法郎,计划于2004年全线贯通。整个工程的测量工作集中反映了工程测量的最新技术。

高耸建筑物方面,有人设想,在21世纪将建造2000m乃至4000m的摩天大厦,这不仅是建筑师的梦想,也是对测量工程师的挑战。

1.2.2 测量学的发展展望

工程测量的发展趋势和特点可概括为:测量内外业作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。现代工程测量发展的特点可概括为:精确、可靠、快速、简便、连续、动态、遥测、实时。

测量内外业作业的一体化系指测量内业和外业工作已无明确的界限,过去只能在内业完成的事现在在外业可以很方便地完成。测图时可在野外编辑修改图形,控制测量时可在测站上平差和得到坐标,施工放样数据可在放样过程中随时计算。

数据获取及处理的自动化主要指数据的自动化流程。电子全站仪、电子水准仪、GPS接收机都是自动化地进行数据获取,大比例尺测图系统、水下地形测量系统、大坝变形监测系统等都可实现或都已实现数据获取及处理的自动化。用测量机器人还可实现无人观测即测量过程的自动化。

测量过程控制和系统行为的智能化主要指通过程序实现对自动化观测仪器的智能化控制。测量成果和产品的数字化是指成果的形式和提交方式,只有数字化才能实现计算机处理和管理。测量信息管理的可视化包含图形可视化、三维可视化和虚拟现实等。信息共享和传播的网络化是在数字化基础上进一步锦上添花,包括在局域网和国际互联网上实现。

从整个学科的发展来看,精密工程测量的理论与技术与方法、工程的形变监测分析与灾害预报、工程信息系统的建立与应用是工程测量学研究的三个主要方向。

展望未来,工程测量学在以下方面将得到显著发展:

测量机器人将作为多传感器集成系统在人工智能方面得到进一步发展,其应用范围将进一步扩大,影像、图形和数据处理方面的能力进一步增强。

在变形观测数据处理和大型工程建设中,将发展基于知识的信息系统,并进一步与大地测量、地球物理、工程与水文地质以及土木建筑等学科相结合,解决工程建设中以及运行期间的安全监测、灾害防治和环境保护的各种问题。

工程测量将从土木工程测量、三维工业测量扩展到人体科学测量,如人体各器官或部位的显微测量和显微图像处理。