

简明 工程测量学

张正禄 等 编著

Concise
Engineering
Geodesy



测绘出版社

简明工程测量学

Concise Engineering Geodesy

张正禄 文鸿雁 葛永慧 编著
王宝山 薛雁明 王铁生

测绘出版社

· 北京 ·

© 张正禄 2014

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

工程测量学是各种大专院校测绘工程专业的一门重要必修课。本书以作者多年从事工程测量学教学、科研和科技开发的经验和成果为基础,简明系统地讲述工程测量学的理论技术和方法,涵盖工程测量学的全部内容。全书结构严谨、叙述清楚、观点正确、图表丰富、联系实际且简明易懂,每章给出重点、难点和思考题。本书配有简明工程测量学习题集、课程设计和实习指导书,有益于该课程的规范化教学。

全书共 14 章,包括工程测量学的理论、技术和方法,工程测量控制网,地形图测绘和应用,工程的施工放样,工程的变形监测分析和预报,设备安装测量和工业测量,以及建筑工程测量、线路工程测量、水利和港口工程测量、桥梁和隧道工程测量、城市地下管线探测和矿山测量等典型工程测量,最后对工程测量学的历史、现状和发展进行系统性的归纳和总结。

本书可作为各大专院校测绘工程专业在校、函授、成人教育的本科、专科学生教材,也可作为其他高等院校非测绘类专业工程测量的教材,以及供测绘相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

简明工程测量学 / 张正禄等编著. —北京: 测绘出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5030-3517-3

I. ①简… II. ①张… 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(2014)第 294762 号

责任编辑	吴 芸 余易举	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)				
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)				
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)				
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com				
印 刷	三河市世纪兴源印刷有限公司	经 销	新华书店				
成品规格	184mm×260mm						
印 张	17.75	字 数	437 千字				
版 次	2014 年 12 月第 1 版	印 次	2014 年 12 月第 1 次印刷				
印 数	0001—2000	定 价	40.00 元				

书 号 ISBN 978-7-5030-3517-3/P·732

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前言

本书是在2013年11月出版的高等学校测绘工程专业核心课程规划教材《工程测量学》(第2版)的基础上,重新组织并改写的。删除“工程建设各阶段的测量及信息管理”一章;将“高速铁路工程测量”改为“线路工程测量”;将“桥梁工程测量”和“隧道与地下工程测量”改写合并为“桥梁和隧道工程测量”;增加了“矿山测量”和“工程测量学的回顾、现状和展望”两章;其他章节,如“水利和港口工程测量”也做了较大的修改和压缩,力求简洁明了。正如本书最后一章中所述:“在近半个多世纪,测绘科技的发展就超过了过去几千年。”所以,有许多理论、技术和方法都面目一新,一些测量理论、技术和方法面临过时而淘汰。本书指出了已过时的理论、技术和方法。同时,贯穿了下面的思想:“测绘学是一个古老而现代的学科”、“测绘工作是一个普通而广泛的职业”、“大型工程建设包括规划设计(又称勘测设计)、施工建设和运营管理三个阶段”、“大型特种精密工程是工程测量学发展的动力”、“精密工程测量是工程测量的高峰”、“变形监测是基础,变形分析是手段,变形预报是目的”、电磁波测距技术是最核心的测量技术等。本书在工程测量学的理论、技术和方法,广义可靠性理论,基于可靠性的工程控制网优化设计和变形监测基准网点确定的组合后验方差检验法等研究,以及科傻软件系统系列软件和测量机器人软件等方面,体现了作者的研究成果。

全书共14章:第1章绪论;第2章至第7章是工程测量的共性部分,是必学的基础性内容;第8章至第13章属于典型工程测量,可选择性地学习。每一章都附有重点、难点和思考题。各章之间有独立性和相关性,例如:工程测量学的理论、技术和方法在各种工程中都有应用;工程的变形监测除了在第6章有系统性的讲述外,在建筑工程测量中有深基坑的变形监测,在高速铁路工程、桥梁工程和水利工程中也有许多典型的变形监测内容;对于工程测量控制网,其他许多章节也有涉及;对于矿山测量的知识,本书仅作为一章,并提出了作者的一些观点;城市地下管线探测一章涉及的面较宽,体现了本书的完备性;第14章与第1章相互呼应,既有工程测量学的发展历史,又有现状和展望。

参加编写的作者及分工情况如下:

张正禄博士,武汉大学教授、博士生导师,武汉大学教学名师。主要从事精密工程测量、变形监测分析与预报、测量数据处理和工程信息系统方面的教学和科研工作。负责全书的组织、统稿和检校,撰写和部分撰写第1章至第14章。

文鸿雁博士,桂林理工大学教授,硕士生导师。主要从事工程形变分析、测量数据处理和地理信息系统等方面的教学和科研工作。参编撰写第6章。

葛永慧博士,太原理工大学教授,博士生导师,山西省教学名师。主要从事测量数据处理、数字成图和地理信息系统应用的教学和科研工作。参编撰写第3章。

王宝山博士,河南理工大学教授,博士生导师。主要从事矿山测量、3S技术及应用、测量数据处理等方面的教学和科研工作。参编撰写第13章。

薛雁明硕士,郑州测绘学校高级讲师,摄影测量高级技师。长期从事测绘职业教育的教学工作。参编撰写第4章。

王铁生博士,华北水利水电大学教授,硕士生导师。主要从事水利水电工程测量和数据处理方面的教学和科研工作。参编撰写第10章。

同济大学张松林副教授对第2章、第5章、第7章、第8章和第12章进行了检校,并提出了修改意见;杨喜平博士和张宇冉、周武平硕士对部分电子稿的格式和文字进行了检校。在此一并表示感谢!

“著书多,没有穷尽;读书多,身体疲倦。”应提倡多著书、多读书,但不要以著书多、读书多为念,要写好书、读好书,并且要在实践中学习,读天地万物和大自然这本书。

由于作者的水平和精力有限,书中所存在的谬误之处,敬请读者批评指正。

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 工程测量学的定义和地位	1
1.2 工程建设各阶段的测量工作	1
1.3 工程测量学的内容和应用领域	5
1.4 工程测量学的发展历史	6
1.5 对工程测量人员的要求	8
重点和难点	9
思考题	10
第2章 工程测量学的理论、技术和方法	11
2.1 已过时的理论、技术和方法	11
2.2 工程测量学的理论	11
2.3 工程测量学的技术和方法	21
重点和难点	48
思考题	48
第3章 工程测量控制网	49
3.1 工程测量控制网的作用和分类	49
3.2 工程测量控制网的基准和布设	52
3.3 工程测量控制网的质量准则和优化设计	54
3.4 工程测量控制网的数据处理	58
3.5 典型的工程测量控制网	61
3.6 工程测量控制网网点的埋设	63
重点和难点	68
思考题	68
第4章 地形图测绘和应用	69
4.1 地形图及其比例尺系列	69
4.2 地形图测绘简述	70
4.3 工程建设对地形图的要求	73
4.4 地形图的应用	74
4.5 竣工总图实测与编绘	79
重点和难点	82
思考题	82

第 5 章 工程的施工放样	83
5.1 建筑限差和施工放样	83
5.2 施工放样的种类和方法	84
5.3 道路曲线计算和曲线测设	91
5.4 典型工程的施工放样举例	98
重点和难点	101
思考题	102
第 6 章 工程的变形监测分析和预报	103
6.1 变形监测的基础知识	103
6.2 变形监测方案设计	109
6.3 变形监测数据处理	115
6.4 变形监测资料整理及成果表达与解释	125
重点和难点	134
思考题	134
第 7 章 设备安装测量和工业测量	136
7.1 概 述	136
7.2 设备安装控制测量	136
7.3 设备安装测量方法	138
7.4 设备安装测量实例	143
7.5 三维工业测量系统	145
重点和难点	154
思考题	154
第 8 章 建筑工程测量	156
8.1 大型厂区测量	156
8.2 高层建筑物测量	161
8.3 高耸建筑物测量	166
8.4 异形异构建筑物测量	174
重点和难点	180
思考题	180
第 9 章 线路工程测量	181
9.1 概 述	181
9.2 高速铁路工程及测量的特点	181
9.3 高速铁路工程的控制网布设	182
9.4 CPⅠ、CPⅡ和 CPⅢ三网合一测量技术	184
9.5 轨道系统精密测量	185

9.6 双块轨枕精调测量	188
9.7 轨道板精调测量	190
9.8 高速铁路的变形监测	192
重点和难点	195
思考题	195
第 10 章 水利和港口工程测量	196
10.1 概 述	196
10.2 水利工程勘测阶段的测量	198
10.3 水利工程施工阶段的测量	198
10.4 大坝安全监测	202
10.5 港口工程的控制测量	206
10.6 港口工程桩基定位测量	207
10.7 港口工程施工测量和安全监测	208
重点和难点	210
思考题	210
第 11 章 桥梁和隧道工程测量	211
11.1 概 述	211
11.2 桥梁工程在勘测和施工阶段的测量	213
11.3 桥梁的变形监测	218
11.4 隧道贯通误差影响值估算	222
11.5 隧道工程的控制测量	226
11.6 隧道工程的联系测量	229
11.7 隧道施工与竣工测量	233
重点和难点	236
思考题	236
第 12 章 城市地下管线探测	238
12.1 概 述	238
12.2 城市地下管线探测	239
12.3 城市地下管线测绘	243
12.4 城市地下管线网信息系统	248
重点和难点	253
思考题	253
第 13 章 矿山测量	254
13.1 概 述	254
13.2 矿山控制测量	256

13.3	矿井联系测量	257
13.4	矿山施工测量	258
13.5	其他的矿山测量	260
	重点和难点	261
	思考题	261
第 14 章 工程测量学的回顾、现状和展望		262
14.1	工程测量学的回顾	262
14.2	工程测量学的发展现状	263
14.3	工程测量学的发展展望	266
	重点和难点	267
	思考题	267
参考文献		268

第1章 绪 论

工程测量学是测绘学的二级学科,是一门实用性很强、理论技术方法很多、应用面很广的工程类学科。本章主要讲述工程测量学的定义和地位,工程建设各阶段的测量工作,工程测量学的内容、应用领域和发展历史,最后指出对工程测量人员的要求和如何学好工程测量学这门课程。

1.1 工程测量学的定义和地位

1.1.1 工程测量学的定义

工程测量指各种工程建设在勘测设计、施工建设和运营管理三阶段所进行的各种测量,主要包括工程建设各阶段所进行的地形信息采集、施工放样测量、设备安装测量和变形测量,提供、管理和使用测量资料及与工程有关的各种信息。工程测量学属于测绘学在国家经济建设和国防建设中的应用性学科。概括地说,工程测量学属于研究地球空间中(包括地面、空中、地下和水下)具体几何实体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论、方法和技术的一门应用性学科。工程测量主要以建筑工程和机器设备为研究和服务对象。

工程建设指投资兴建(建造、购置和安装)固定资产的经济活动以及与之相联系的其他工作;地形信息采集主要表现为各种大比例尺地形图测绘;施工放样是将工程的室内设计放样实现到实地;变形测量又称变形监测;测量是贯穿于工程建设各阶段的为保障工程安全运营的;具体几何实体指一切被测对象;抽象几何实体指一切设计的但尚未实现的各项工程。

工程测量属于工程测量学,但不等于工程测量学,更多地涉及技术方法的应用。工程测量可英译为 engineering survey;工程测量学可英译为 engineering geodesy。

1.1.2 工程测量学的地位

工程测量所属的工程测量学是测绘学的二级学科,即工程测量属于工程测量学这门学科;城市测量、矿山测量、工业测量、近景摄影测量以及工程变形监测数据处理和工程灾害预报等也属于工程测量学。

目前国内测绘教育将测绘学划分为大地测量学与测绘工程、摄影测量与遥感、地图制图学与地理信息工程三个二级学科专业,工程测量属于大地测量学与测绘工程专业。在国外,地籍测量(又称不动产测量)也是一个重要的专业方向。

1.2 工程建设各阶段的测量工作

大型工程建设包括规划设计(又称勘测设计)、施工建设和运营管理三个阶段。工程测量的任务是为工程建设提供测绘保障,满足工程建设各阶段的各种需求。在工程规划设计阶段,

主要提供设计所需要的地形图等测绘资料,为工程的勘测设计、初步设计和技术设计服务;在工程建设阶段,主要是施工控制和放样测量,保证施工的进度、质量和安全;在运营管理阶段,则以工程健康监测为重点,保障工程安全、高效运营。

工程测量在工程建设中,起尖兵和卫士的作用。工程测量关系到工程设计的好坏,关系到工程建设的速度和质量,关系到工程运营的效益和安全。以变形监测为例,它贯穿于工程建设和工程运营的始终,是长久性的工作。监测是基础,分析是手段,预报是目的。工程的变形监测,不仅是工程和设备正常和安全运营的保障,其数据处理结果也是对设计正确性的检验,变形分析资料是建设中修改设计或新建类似工程设计的重要依据。

工程测量的特点可以归纳为:应用非常广泛,涉及知识丰富,服务对象众多,条件千变万化,要求不尽相同。每一项测量工程都需要制订最优的测量方案,既要满足各项要求,又切实可行,还降低成本。许多精密工程测量项目没有固定的作业模式可以照搬照套,需要遵循多种测绘规范和工程标准。现代工程建设的规模越来越大,结构越来越复杂,造型越来越别致,工程建设的速度也越来越快,例如,特长隧道,特大桥梁,特高楼塔,异型异构建筑,测量条件恶劣的高压、高热、高辐射建筑,作业难度大的地下、水下建筑,对测量的精度、速度、可靠性、自动化、智能化等提出了挑战。工程测量作为一门应用学科,在大型特种精密工程建设中发挥的作用越来越大。

1.2.1 规划设计阶段

规划设计阶段的测量工作视工程不同而各异,下面以工业企业、线路工程和桥梁工程为例进行说明。其分别代表面状、线状和典型工程在规划设计阶段的测量工作,也可供其他工程参考。

1.2.1.1 工业企业测量

工业企业具有面状特征,一般来说:1:5 000 地形图可用于厂址选择、总体规划和方案比较等规划设计;1:2 000 地形图可用于初步设计;1:1 000 地形图可用于技施设计;对于地形复杂、建筑物密集、精度要求高的技施设计,需要 1:500 地形图。规划设计阶段所需地形图的测绘,对于大范围宜采用航测数字化成图,并结合全站仪地面数字化测图技术进行,后者适合 1:1 000 和更大比例尺地形图测绘。

设计人员要在数字地形图上进行设计,例如要进行总图运输设计,绘制建筑总平面图、管线总平面图等。其中,总图运输设计是在数字地形图和勘测资料基础上,综合利用各种条件,合理确定工业企业区域内各种建筑物、构筑物及交通运输设施的平面关系、竖向关系、空间关系及与生产活动的有机联系,要根据工业企业生产特点,以地形图为底图进行主辅车间、动力运输设施、仓库、管网以及办公与生活设施等的平面与竖向布置。工业场地的平面布置主要涉及建筑主轴线和辅助轴线的确定、建筑物的布设等,对地形图的平面位置精度的要求一般为图上不大于 1 mm;竖向布置要对厂区的自然地形进行平整改造,使建设中的填挖方基本平衡,确定场地平整高程,设计建筑物的地坪高程、铁道轨顶高程、道路中心线高程以及管网高程。这些高程的设计要考虑地形条件和排水问题,如室内地坪要高出室外地面 0.15~0.5 m,地下管道最小埋设深度为 0.6 m。因此,所提供地形图的高程精度应不低于 0.15 m。

1.2.1.2 线路工程测量

铁路、公路、架空送电线路及输油管道等称线路工程,它们的中线称线路。一条线路工程

的规划设计,主要是根据国家计划与自然地理条件等,确定线路最经济合理的位置。

线路在规划设计阶段的测量工作称为线路测量,为线路设计提供一切必要的地形资料。线路设计涉及社会、政治、经济、自然、地形、地质和水文等方面,一般要分阶段进行,勘测工作也要分阶段进行。各种线路工程的勘测工作大体相似,现以铁路工程为例进行说明。

按照我国铁路规划设计的程序,设计包括方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段,勘测主要分为初测和定测两个阶段。

方案设计是设计人员根据已有的地形图资料,根据国家需求,设计几个可能的线路方案,全面分析比较后,提出主要方案。初测就是根据方案设计下达的规划设计任务书,为满足初步设计需要,对一条或多条主要线路所进行的各种测量。初测包括:进行线路的分级平面、高程控制测量,沿线路实地选点、插旗、标出线路方向,补充方案设计中没有考虑的局部方案,沿线路方向进行初测控制测量和地形测量。初测就是测绘 1:5 000~1:2 000 的带状地形图(称初测地形图)。

设计人员在初测地形图上进行初步设计,报送审批,确定一个初步设计方案。定测是针对批准的初步设计方案,将选定的线路测设到实地所进行的有关测量。线路测设时,结合地形、水文和地质等情况,可能对初步设计方案有小的局部改善,使线路更经济合理。

定测包括中线测量、曲线测设、纵横断面测量、局部的地形图测绘和专项调查测量,为施工图设计收集资料。有关曲线测设的内容详见 5.3 节。

由于测绘技术的进步,特别是摄影测量数字化成图技术的发展,不仅减轻了测量人员的劳动强度,提高了效率,丰富了线路勘测成果,也为设计人员提供了数字化设计平台,可在逼真的数字高程模型(digital elevation model,DEM)上进行设计。

1.2.1.3 桥梁工程测量

桥梁规划设计阶段主要包括以下测量工作:

(1)桥位平面和高程控制测量。建立平面和高程控制网,要求与国家或地方高等级已知三角点和水准点联测。

(2)桥址定线测量。在控制测量基础上按一级导线测量精度于实地测设中线控制点(包括交点等)。

(3)桥址中线和断面测量。在桥址定线范围内,按有关规范要求施测全桥中线纵断面,编制纵断面资料,绘制 1:500 断面图。根据设计需要测绘若干桥墩(台)的 1:200 横断面图。

(4)桥位地形测绘。测绘 1:500 桥位陆地地形,准确反映地形、地物现状,测量与桥址中线交叉的道路及管线的平面位置、高程及悬空高度等;同时测绘桥址中线上、下游一定范围内的河床地形图。

(5)桥址水文测量。包括洪水位调查、水面坡度测量和流速流向测量。施测桥址中线上、下游一定范围内主河道上水流的流速和流向,按 1:500 绘制流向图。要求有效浮标测线至少 8 条,施测时要测记水位、风向和风速。可采用前方交会法定位浮标,或在浮标上安置全球导航卫星系统(GNSS)接收机测量浮标位置。

(6)船筏走行线测量。施测桥址中线上、下游一定范围内的航迹线,按 1:500 绘制桥址航迹线图。要求上、下行的船舶各测 4 条左右。测记水位、船名、船型等。

(7)钻孔定位。按照地质勘探提供的坐标资料于实地测设钻孔的位置并测量地面高程,提交钻孔定位资料表。

1.2.2 施工建设阶段

施工建设阶段的主要测量工作是施工放样(有时称测设),即将设计图上的建(构)筑物,根据其位置、形状、大小及高程按要求在实地标定出来的测量工作,是为工程施工服务的;另外还包括工程监理测量。因此,要建立、维护施工平面和高程控制网,并进行土石方测量、局部地形图测绘、施工期的变形监测以及施工结束后的竣工测量。

施工放样与测量的原理一样,但工作程序恰好相反。测量是获取客观世界中被测物体或对象的位置信息(用坐标和高程);放样是根据设计物体或对象的位置信息确定其在客观世界中的位置。施工放样前,要根据总图运输设计或工程设计平面图以及地形等条件建立施工控制网,并加密施工测量控制点。施工放样根据控制点坐标、高程和放样点设计位置进行,包括线(中线、轴线)、点和高程放样。这部分内容详见第5章。

工程监理测量在工程施工阶段特别重要,测量监理起审查、检核和监督作用,以保证工程的质量和进度。国际咨询工程师联合会(FIDIC)条例中规定监理具有一票否决权、分割工程权和终止合同的权力。业主方、施工方和监理方的关系如下:施工方的测量单位受监理方的测量主管监督,监理方代表业主执行测量监督;没有测量监理工程师的签字,业主方可以不支付任何费用给施工方。测量监理工作的侧重点与施工单位的测量有很大的区别,下面以公路、桥梁工程测量的监理测量工作为例进行说明:

(1)在施工开始前,要对施工控制网进行复测、检查。按原规范、原网形进行复测和成果计算比对,检查施工加密控制点。

(2)验收施工定线。在施工前,检查验收施工方提供的基准点和数据,检查所做的施工定线。

(3)检查验收作为断面施工图和土石方计算依据的原始地面高程。

(4)检测桥梁上、下部结构的施工放样,如:T梁、板梁、现浇普通箱梁、现浇预应力箱梁的顶面高程放样检测,桩基础、承台、立柱、墩帽等的放样检测等。

(5)抽查每层路基的厚度、平整度、宽度和纵横坡度。

(6)检查施工方的内业资料。

(7)审批施工方提交的施工图,必要时进行补测,保证资料的准确和完整。

施工控制网是整个工程施工的基准,需要建立和维护,可参见第3章。局部地形图测绘和竣工测量是施工阶段的重要内容,可参见第4章。施工期的变形监测可参见第6章等有关章节。

1.2.3 运营管理阶段

运营管理阶段主要的测量工作是工程建筑物的变形监测。变形监测又称变形观测、变形测量,有时也称健康监测、安全监测,本书统称变形监测。变形指监测点位置的变化,被监测对象的位移、沉降、倾斜、摆动、震动等变化;监测就是将变化用测量的手段,定期地、动态地或持续地描述出来。变形监测包括建立变形监测网,进行水平位移、沉降、倾斜、裂缝、挠度、摆动和震动等监测。变形监测在工程规划设计阶段、施工建设阶段也可能是必须的,例如为了确定某大型水电站的坝址,对坝址下游附近的一个滑坡进行了长期的监测,以确定是否会对大坝和电站发电造成危害。高层建筑在基础开挖到建成的整个施工期间,都要进行变形监测。相关规

范规定,所有大中型电站在运营的全过程中都要进行大坝变形监测,分为大坝内部变形观测(内观)和大坝外部变形观测(外观),参见 10.4 节。许多变形监测项目,除了要监测位移、沉降、倾斜等几何量外,还要测量应力、应变、渗流、渗压、风力、风速、水位、水压,以及各种温度等物理量,供变形分析之用。有时,变形监测需要的精度要求是当时测量技术方法能达到的最高精度,要花费大量的人力、物力和财力。对于大型特种精密工程来说,变形监测是非常必要的。变形分析是涉及许多学科和知识的交叉学科,变形监测分析的目的是进行变形预报,以便采取必要的防治措施,保证工程的安全运营,并验证设计是否正确,为工程设计提供依据。变形监测是基础,变形分析是手段,变形预报是目的。

1.3 工程测量学的内容和应用领域

1.3.1 工程测量学的内容

工程测量学的内容包括地形资料的获取与表达、工程控制测量及数据处理、建筑物的施工放样、设备安装检核测量、工程的变形监测分析和预报、工程测量专用仪器的研制与应用、工程信息系统的建立与应用等,现从以下几方面分别说明。

1.3.1.1 工程测量学的理论、技术和方法

主要包括误差、精度、可靠性、灵敏度、误差分配、精度匹配、优化设计、坐标系及其转换等。经纬仪、水准仪、全站仪是工程测量的通用仪器,光学经纬仪、光学水准仪逐渐被电子经纬仪、电子水准仪、电子全站仪取代。全球定位系统(GPS)(属于 GNSS,参见 2.3.2.1)接收机已成为通用仪器而广泛使用。陀螺经纬仪可直接测定方位角,主要用于联系测量和地下工程测量。通用仪器可测角度、距离、高差、坐标差和坐标等几何量。为了保持内容的完备性,对于在测量学、大地测量学基础中已经讲述的测量技术和方法,本书只作简要归纳;对一些现代空间测量技术和方法则作系统性介绍,重点放在特殊的测量技术和方法上,如应用在精密工程测量领域的各种专用仪器技术和方法,包括确定待测点相对于基准线(或基准面)的偏距的基准线测量(或准直测量)、微距离及其变化量的精密距离测量、液体静力水准测量、倾斜测量和挠度测量等。此外,车载、机载和地面三维激光扫描仪已成为数据采集的重要手段,多传感器的高速铁路轨道测量系统,由 GPS 接收机、惯导仪、激光扫描仪、智能全站仪、电荷耦合器(CCD)相机以及其他传感器等集成的地面移动式测量系统,由 GPS OEM 板、通信模块、自动寻标激光测距仪等集成的变形遥控监测预警系统等,都代表了工程测量技术的现代发展。

1.3.1.2 地形资料的获取与表达

在测量学中已经学习了大比例尺地形图的数字测绘方法。工程测量中主要是:大、中、小比例尺地形图的应用,水下地形图、竣工图和各种纵横断面图测绘等。

1.3.1.3 工程控制测量及数据处理

包括工程测量控制网的分类、设计、建立和应用,涉及坐标系、基准、仪器和方法选取,建网、观测和网平差数据处理等问题。

1.3.1.4 建筑物的施工放样

放样可归纳为点、线、面、体的放样。点放样是基础,放样点应满足一定的条件,如在一条给定的直线或曲线上,或在空间形状符合设计要求的曲面上。放样分高程放样、直线放样、二

维和三维放样。放样的方法很多,可分为一般的通用的放样方法和特殊的专门的放样方法。施工放样的工作量很大,放样一体化、自动化显得特别重要。

1.3.1.5 设备安装检核测量

包括设备安装检核测量的特点和方法,讲述有关控制测量、短边测角、方位传递、几种工业测量系统及应用。

1.3.1.6 工程的变形监测分析和预报

工程的变形监测、分析和预报是工程测量的重要研究内容。变形监测除了针对工程本身和所在范围外,还要对与工程有关的对象、范围进行监测,例如水利枢纽工程的库区滑坡、修建道路引发的滑坡、岩崩等。变形监测主要包括水平位移、垂直位移、沉陷、倾斜、挠度、摆动、震动和裂缝等的监测,分周期性监测和持续性监测。变形分析和预报又称变形观测数据处理,一般分为统计分析法和确定函数法。统计分析法以大量的监测数据为基础,侧重于变形的几何分析;确定函数法基于外力和变形之间的函数关系,是变形的物理解释方法。变形分析和预报涉及工程、地质、水文、应用数学、系统论和控制论等学科,属于多学科交叉领域。

1.3.1.7 其他各种工程中的典型测量

主要包括工业与民用建筑测量、水利与港口工程测量、高速铁路工程测量、桥梁工程测量、地下工程测量、城市地下管线探测、地下工程测量、加速器工程以及核电厂等工程的典型测量。

1.3.2 工程测量学的应用领域

工程测量学是一门应用性很强的工程学科,在国家经济建设、国防建设、环境保护及资源开发中都必不可少,其应用领域可按工程建设阶段和服务对象划分。

按工程建设的规划设计、施工建设和运营管理三个阶段,工程测量可分为工程勘测、施工测量和安全监测;按所服务的对象可分为建筑工程测量、水利工程测量、线路工程测量、桥隧工程测量、地下工程测量、海洋工程测量、军事工程测量、三维工业测量,以及矿山测量、城市测量等。各项服务对象的测量工作各有其特点与要求(称为个性或特殊),但从其测量的基本理论、技术和方法来看,又有很多共同之处(称为共性或一般)。共性知识重点在第2章到第7章讲述;个性或服务对象的内容则在第8章到第13章讲述。

工程测量学的应用领域还可扩展到工业、农业、林业、国土、资源、地矿、海洋等各行各业。工程测量已经远远突破了为工程建设服务的概念,而向所谓的“广义工程测量”发展,认为“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”。可以说:哪里有人类,哪里就有工程测量;哪里有建设,哪里就离不开工程测量。

1.4 工程测量学的发展历史

工程测量所属的工程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。在古代,它与测量学并没有严格的界限。到近代,随着工程建设的大规模发展,才逐渐形成了工程测量学。

《史记》中有很多测绘工作的描述。《圣经》中与测绘相关的经文约有二三十处,其文字记载最早可追溯到公元前1400年前,有关于地球形状的描述,也有关于地籍登记、地籍图绘制、房产测量和建筑工程测量的记载。

公元前约 2700 年建造的埃及大金字塔,其形状、方向和位置之精准,都令人惊讶,说明当时就有测量工具和方法。

公元前 2070 年,我国的夏朝时代就开始了水利工程测量。司马迁在《史记》中对夏禹治水的勘测情景作了如下描述:“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘撵(jǔ),左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山。”“准绳”和“规矩”是当时的测量工具;“准”是简单的水准器;“绳”可量距,“规”可画圆;“矩”是一种可定平,测长度、高度、深度和画矩形的测量工具。

早期的水利工程以防洪、灌溉为主,要测量水位和堤坝高度。我国战国时期(公元前 475—公元前 221 年),秦国蜀郡太守李冰父子领导修建都江堰,用一个石头人来标定水位,当水位超过石头人的肩时,将受到洪水的威胁,水位低于石头人的脚背时,下游将干旱。

1973 年从长沙马王堆出土的三号汉墓(约公元前 168 年)中发现的地图,包括地形图、驻军图和城邑图三种,表示的内容相当丰富,绘制技术也非常熟练,在颜色使用、符号设计、分类和简化等方面都达到了很高水平,是目前世界上发现的最早的地图,表明西汉时期的地形测量、军事工程测量和城市测量已臻发达。

北宋时沈括(公元 1031—公元 1095 年)为了治理汴渠,采用“分层筑堰法”测得开封和泗州之间地势高度相差十九丈四尺八寸六分。这种测量方法,是把汴渠分成许多段,分层筑成台阶形的堤堰,引水灌注入内,然后逐级测量各段水面,累计各段的差,总和就是开封和泗州间的“地势高下之实”,精确到了寸分,在世界水利史上也是一个创举。

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测量。我国的地籍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。

我国的采矿业是世界上发展最早的国家,在公元前 2000 多年的黄帝时代就已开始应用金属(如铜器、铁器等),到了周代金属工具已普遍应用。据《周礼》记载,在周朝已建立有专门的采矿部门,开采时很重视矿体形状,并使用矿产地质图来辨别矿产的分布。我国四大发明之一的指南针,从司南、指南鱼算起,有 2000 多年的历史,对矿山测量和其他工程勘测有很大贡献。在国外,意大利都灵保存有公元前 15 世纪的金矿巷道图。公元前 13 世纪埃及也有按比例缩小的巷道图。公元前 1 世纪,希腊学者格罗·亚里山德里斯基对地下测量和定向进行了叙述;德国在矿山测量方面有很大贡献,1556 年,格·阿格里柯拉出版的《采矿与冶金》一书,有用罗盘测量井下巷道的论述。

工程测量的发展也受到了战争的促进。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。修建中需要进行地形勘测、定线和隧道开挖测量。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始建于公元前 770 年(春秋时期),经过秦朝、汉朝和明朝。国家测绘地理信息局 2009 年第 1 号公告中公布的明长城长度为 8 851.8 km。这一规模巨大的防御工程,从整体布局到修筑,都要进行详细的勘测和放样。

工程测量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,使工程测量获得了迅速的发展。1964年国际测量师联合会(FIG)成立了工程测量委员会(第六委员会),从此,工程测量成为了一门独立学科。20世纪50年代,世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道和城市地铁中,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得到进一步发展;20世纪70年代以来,由于高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行和远程武器发射等的需要,建设了各种巨型实验室,从测量精度和仪器自动化方面都对工程测量提出了更高要求。21世纪以来,人类科技向宏观宇宙和微观粒子世界延伸,测量对象从陆地发展到海洋和太空,工程测量的领域日益扩大,除了工程建设,如核电站、海底隧道、跨海大桥及大型正负电子对撞机等传统的工程建设中三个阶段的测量工作外,在太空站、巨型机器设备的荷载试验、高大建筑物(如摩天大楼、电视塔和射电天文望远镜等)的施工、安装和变形监测中,以及地震观测、海底探测、文物保护、体育、医学和法学方面,都需要应用工程测量技术和方法。

从工程测量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同步,并且能够满足大型特种精密工程对测量所提出的越来越高的需求。

1.5 对工程测量人员的要求

1.5.1 对工程测量人员的一般要求

工程测量人员应具备以下品质和素质:有信仰有理想有梦想,爱国爱家爱人,献身敬岗爱业,喜欢内外业工作,能吃大苦耐大劳,有较强的心理素质,有团队合作精神,有较强的组织管理能力,具有扎实的基础理论和专业知识,熟悉一些实用软件的功能和操作,有较强的自学能力和独立思考能力,有较好的写作能力和文字表达能力,有较强的动手能力和反应能力,有较强的方向位置感和地理尺度感,具备快速读图辨向能力,有较广泛的个人爱好。

1.5.2 对工程测量人员的知识要求

工程测量所属工程测量学与测绘学和其他学科的课程之间有密切的关系(见图1.1)。其中“大地测量学”可分为“测量学”、“大地测量学基础”等。“测量学”主要讲述测量基础知识、常用的测量仪器和大比例尺地形图的数字测绘方法;“大地测量学基础”主要讲述地球椭球体及其投影、分带,国家控制网的建立和维护,大地水准面,重力异常和垂线偏差等内容;另外,GNSS的原理及其应用,也是需要学习的。

工程规划设计阶段常用的中、小比例尺的地形图,需要一些“地图制图学”的知识,且能识图、读图、用图;“摄影测量与遥感”是测绘各种比例尺数字地图的主要技术,在新建铁路、公路初步设计阶段,常采用航空摄影测量方法生产供选线设计用的带状地形图;工程的竣工测量与“地籍测量”和城市基本图测绘有密切关系。所以,工程测量技术人员应具备“测量学”、“大地测量学”、“摄影测量与遥感”、“地图制图学”以及“地籍测量”等方面的有关知识。“误差理论与测量平差”是工程测量数据处理的基础。“高等数学”中的级数和微分内容,“物理学”中的电磁