

普通高等教育测绘类规划教材



工程测量学 (第四版)

Engineering Surveying

陈永奇 主编



测绘出版社

普通高等教育测绘类规划教材

工程测量学

Engineering Surveying

(第四版)

陈永奇 主编

测绘出版社

·北京·

©本书编写组 2016

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。

内容提要

本书根据工程建设中的规划设计、建筑施工、运营管理 3 个阶段对测量工作的不同要求,系统地叙述了地面、水下地形信息以及有关专题信息的获取、施工测量、变形观测及工业设备形位检测的理论、方法和技术。工程测量服务对象很广,本书着重共性部分,对一些重点有特色的工程作为例子介绍。书中内容兼顾国际上工程测量技术的先进性和国内生产的实用性。

本书为高等学校测绘工程专业的教材,同时也适合广大工程测量人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量学/陈永奇主编. —4 版. —北京:测绘出版社, 2016. 5

普通高等教育测绘类规划教材

ISBN 978-7-5030-3942-3

I. ①工… II. ①陈… 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(2016)第 099977 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李 伟	责任校对	曹 平	责任印制	陈 超
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
社 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	三河市博文印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	28			字 数	695 千字		
版 次	2016 年 5 月第 4 版			印 次	2016 年 5 月第 19 次印刷		
印 数	85501—89500			定 价	49.00 元		
书 号	ISBN 978-7-5030-3942-3						

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

李青岳教授为本书第一版的主编,提出了“根据工程建设各个阶段的不同要求,叙述进行测量工作的理论与方法”的教材结构,这种“纵向处理”被实践证明是符合教学规律的。

谨向为本教材编写做出开创性贡献的李青岳教授致以崇高的敬意。

《工程测量学》编写、修订人员

第一版

(1984—1995)

主 编:李青岳

执行主编:李青岳

参编人员(按姓氏笔画排序):

李水清 李青岳 李宝桂 李裕忠 吴子安
吴栋材 虞定麒

修订版

(1995—2008)

主 编:李青岳 陈永奇

执行主编:陈永奇

参编人员(按姓氏笔画排序):

李宝桂 李裕忠 陈永奇 吴子安 吴栋材
张正禄 彭先进 虞定麒

第三版

(2008—2016)

主 编:李青岳 陈永奇

执行主编:陈永奇

参编人员(按姓氏笔画排序):

丁晓利 于胜文 田永瑞 孙现申 陈正阳
陈永奇 周兴华 黄 腾 潘正风 潘国荣

第四版

主 编:陈永奇

参编人员(按姓氏笔画排序):

丁晓利 于胜文 田永瑞 匡翠林 孙现申
陈永奇 周兴华 黄 腾 楼立志 潘正风

第四版前言

《工程测量学》(第三版)自2008年出版以来已印刷多次,在我国测量工程专业的教学和生产实践中发挥了重要作用。为了能更好地适应国内外测绘科学技术的发展以及满足国内工程测量生产的需要,在测绘出版社的鼓励和促进下我们对《工程测量学》(第三版)做了修订。在修订的过程中,我们广泛地征求了本书用户的意见,得到了很多很好的建议。本次修订是在第三版的基础上通过增加、删除和更新内容完成的。

本次修订工作由陈永奇组织,集体讨论,分工负责。参加编写的有香港理工大学陈永奇(绪论、第9章),武汉大学潘正风(第1章和第14章),长安大学田永瑞(第2章和第7章),海洋局第一海洋研究所周兴华(第3章),山东科技大学于胜文(第4章),同济大学楼立志(第5章和第6章),解放军信息工程大学孙现申和中南大学匡翠林(第8章和第10章),香港理工大学丁晓利(第11章和第12章),河海大学黄腾(第13章)。

修订工作得到作者所在单位的大力支持,得到本书用户的积极反馈和建议,我们在此表示衷心的感谢!

作者

2015年8月

第三版前言

由李青岳、陈永奇主编的《工程测量学》(修订版)自1995年出版以来在我国测绘工程专业的教学中发挥了应有的作用。然而,十多年过去了,科学技术飞速发展,国内外工程测量工作的内容和方法也发生了显著的变化,因此原教材中的很多内容就显得陈旧了。在测绘出版社的鼓励和促进下,我们决定重新修订《工程测量学》(修订版),以适应时代的发展。经多年教学实践证明,原有的教材结构“根据工程建设不同阶段的不同要求,叙述进行测量工作的理论与方法”是合理的。因此,此次修订我们继续保留这种结构,但对原教材做了较大的修改、调整和补充。修订时既参考国际上工程测量的先进方法和手段,又兼顾国内工程的生产实际,力图做到将教材内容的先进性和实用性相结合。与修订版教材相比,这次修改的主要内容有:

- (1)删去原教材第四篇“特种工程测量”,其相关知识分别安排在第二篇及第三篇;
- (2)原教材第一、第二章合并为一章,即“工程建设中对地形图的要求和应用”;
- (3)增加第四章“专题图测绘”;
- (4)原教材第四至第七章保留,但对内容做了较大的修改;
- (5)原教材第三章改为第二章,并对内容做了较大的修改;
- (6)原教材第八、第九章合并为一章,即“地下工程施工测量”;
- (7)原教材第十章改为“变形测量概述”;
- (8)原教材第十一、第十二章合并为一章,即“垂直位移与水平位移观测”;
- (9)在新版中增加第十一章“变形观测新技术”;
- (10)删去原教材第十三章“应用地面摄影测量方法进行变形观测”,有些内容在“变形观测新技术”一章中有所体现;
- (11)在新版中增加第十三章“变形观测工程实例”介绍,通过一些具体工程介绍变形观测的内容、仪器和方法;
- (12)在新版中增加第十四章“工业设备形位检测”。

本教材修订工作由陈永奇组织,集体讨论,分工负责。参加编写的有陈永奇(绪论、第九章),潘正风(第一、十四章),田永瑞(第二、七章),周兴华(第三章),于胜文(第四章),潘国荣(第五、六章),陈正阳、孙现申(第八、十章),丁晓利(第十一、十二章),黄腾(第十三章)。

由于测绘技术发展很快,工程测量应用领域不断扩大,所以我们恳切希望使用本教材的教师和广大读者对本书提供宝贵意见,并对工程测量学课程内容的选择、深度和广度等各方面提出建议,以便再版时修正。

作 者

2007年7月

第二版前言

李青岳主编的《工程测量学》自1984年第一版以来,经各兄弟院校和我校工程测量和大地测量本科专业多年教学实践,证明了“根据工程建设不同阶段的不同要求,叙述进行测量工作的理论与方法”的教材结构,是符合教学规律的,因此修订版保留了原教材的结构处理原则。然而,随着科学技术的飞速发展,我国的工程测量工作也发生了显著的变化,因此原教材中一些内容就显得陈旧。为了适应当前《工程测量学》教改的形势,使教材更紧密结合教学与生产实际,在征得各方面意见后,对原教材内容做了较大的修改和调整。修订时充分兼顾到教材内容的先进性和实用性,修改的主要内容有:

1. 将原教材的第六、七章合并为一章“施工放样方法和精度分析”;
2. 原教材的第二、九、十四、十六章的内容修改量较大,重新调整了章、节,增加了理论分析和先进技术的内容;
3. 原教材的其他章、节内容,在知识面的深度与广度上也做了调整和修改,在兼顾我国生产技术状况不平衡的情况下,较好地处理了先进技术与传统测量方法之间的关系;
4. 本教材结构保留了原教材按工程建设各个阶段的测量内容进行讲解的处理原则(称为“纵向处理”),这次修改时对于重点的、有特色的工程对象做了个别处理(称为“横向处理”)。

本教材修订工作由陈永奇组织,集体讨论,分工负责。参加编写的有李裕忠(绪论、第三、四、九章)、吴子安(第十、十二、十四章)、虞定麒(第一、五、十一章)、张正禄(第八章)、陈永奇(第十三章)、彭先进(第二章)、吴栋材(第六、十五章)、李宝桂(第七章)。各章编写完后,虞定麒负责第一篇初校,李裕忠负责第二篇初校,吴子安负责第三篇初校,张正禄负责第四篇初校。全书由陈永奇负责统一校订。

本书经全国测绘教材委员会审定,蒙卓健成、于来法教授审阅并提出许多宝贵意见,谨此致谢。

由于编者水平有限,教材中难免存在缺点,谨请读者批评和指正。

编者

1993年10月

第一版前言

按照工程测量专业的教学计划,《工程测量学》是一门专业课程。它是在学习了《测量学》、《控制测量学》以及《摄影测量学》等课程以后,在四年级学习的课程。因而其内容主要在实用方面。也就是说,主要是根据工程建设各个阶段的不同要求,叙述进行测量工作的理论与方法,而对基本理论与基本操作则叙述较少。对于工程测量中的一些专用仪器以及与处理某些实际问题所涉及的理论,则做比较详细的叙述。

在编写过程中,我们曾到过一些生产单位进行参观学习,并收集和整理了一些资料,使这份教材能比较地结合我国的生产实践。此外,还参考了有关院校的一些教材。在此,向这些单位的同志们表示深切的感谢。

本教材由李青岳同志主编。参加编写的还有李裕忠,吴子安、虞定麒、吴栋材、李宝桂、李水清等同志。孙桂芳、徐方等同志参加了绘图与誊写工作。

由于我们的水平所限和收集的资料不够多,教材中一定会有许多缺点,希望同志们给予批评和指正。

编 者

1982年2月

目 录

绪 论	1
-----	---

第 1 篇 工程建设中地形信息的获取和应用

第 1 章 工程建设对地形图的要求与应用	11
1.1 地形图在工程建设规划设计阶段的作用	11
1.2 大比例尺地形图的精度分析	13
1.3 工业企业设计对地形图的要求	15
1.4 大比例尺地形图在工程设计中的应用	20
第 2 章 线路设计阶段的测绘工作	28
2.1 线路设计的有关知识	28
2.2 线路初测阶段的测量工作	36
2.3 线路定测阶段的测量工作	41
2.4 线路纵横断面的测绘	43
2.5 既有线路测量	45
2.6 航测、遥感技术在线路勘测中的应用	47
2.7 机载 LiDAR 技术在线路勘测中的应用	51
第 3 章 水下地形测绘	55
3.1 精度要求与技术设计	55
3.2 导航定位	58
3.3 水深测量	60
3.4 水位改正和水位观测	71
3.5 水深数据处理和成图	74
第 4 章 专题图测绘	80
4.1 地下管线探测与管线图测绘	80
4.2 地下管网综合管理地理信息系统	91
4.3 竣工图测绘	99
4.4 房地产测绘	103
4.5 建筑测绘	118

第 2 篇 工程建设中的施工测量

第 5 章 施工控制网的建立	129
5.1 控制网精度确定的一般方法	129
5.2 投影变形与坐标系的选择	132
5.3 施工控制网的设计	135

5.4	典型工程施工控制网布设	142
5.5	特殊工程施工控制网的布设	151
第6章	施工放样的方法和精度分析	159
6.1	坐标法放样	159
6.2	其他直接放样方法	166
6.3	归化法放样	168
6.4	高程放样方法	170
6.5	刚体的放样定位	172
6.6	高耸建筑物的铅垂线放样	173
6.7	施工放样新技术	179
第7章	线路工程放样	185
7.1	概 述	185
7.2	平面曲线	186
7.3	平面曲线放样数据的准备	192
7.4	平面曲线的放样方法	196
7.5	竖曲线	199
7.6	线路施工与竣工测量	201
7.7	输电线路施工测量	204
7.8	铁路轨道控制测量	211
第8章	地下工程施工测量	216
8.1	概 述	216
8.2	地面控制测量	219
8.3	地下控制测量	222
8.4	联系测量	225
8.5	贯通测量误差预计	233
8.6	地下工程施工与竣工测量	237
8.7	隧道(巷道)贯通后实际偏差的测定与调整	243
8.8	摆式陀螺仪的寻北原理	244
8.9	陀螺经纬仪	250
8.10	陀螺经纬仪定向观测方程	253
8.11	陀螺经纬仪的定向作业	257
8.12	自动陀螺经纬仪及其定向原理简介	262

第3篇 工程建设中变形监测和工业设备形位检测

第9章	变形监测概述	269
9.1	变形监测的意义、目的和内容	269
9.2	变形监测的特点	271
9.3	变形监测技术和方法	274

9.4	变形观测数据分析	278
第 10 章	垂直位移与水平位移观测	280
10.1	垂直位移监测网(点)布设及观测标志	280
10.2	垂直位移观测	285
10.3	倾斜测量	290
10.4	水平位移监测网及观测标志	297
10.5	水平位移测量技术概述	302
10.6	视准线法测量水平位移	304
10.7	激光准直测量	308
10.8	引张线法测量水平位移	311
10.9	建(构)筑物主体倾斜和挠度测量	313
10.10	裂缝测量	316
第 11 章	变形监测新技术	318
11.1	全球导航卫星系统	318
11.2	雷达干涉测量	323
11.3	近景摄影测量	341
11.4	激光扫描技术	342
11.5	光纤传感器技术	342
第 12 章	变形观测数据处理	344
12.1	观测基准点稳定性分析	344
12.2	回归分析原理	351
12.3	变形量的统计规律及成因分析	356
第 13 章	变形监测工程实例	360
13.1	基坑支护工程变形监测	360
13.2	工业与民用建筑变形监测	367
13.3	水工建筑物变形监测	372
13.4	桥梁工程变形监测	382
13.5	地铁隧道结构变形监测	388
13.6	滑坡监测	407
第 14 章	工业设备形位检测	415
14.1	概 述	415
14.2	经纬仪工业测量系统	417
14.3	全站仪工业测量系统	421
14.4	数字近景摄影工业测量系统	424
14.5	激光测量系统	428
14.6	高速铁路无砟轨道几何状态测量	432
主要参考文献		436

绪 论

测量学是人类从生产实践中发展起来的一门历史悠久的科学,是人类与大自然做斗争的一种手段。翻开人类历史,在文化最早发达的地区,都有测量工作的史实记载。早在公元前27世纪,埃及大金字塔的建设,其形状与方向都很准确,这说明当时已有放样的工具和方法。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测定。在我国汉代司马迁的《史记》中,对夏禹治水,有“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘橇,左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山”等勘测情况的记录。这些实际上都是工程测量的内容。随着历史文化的发展、科学技术的进步,工程建设的项目越来越多,规模越来越大,内容越来越复杂,对测量工作的要求也越来越高,这就在测绘科学这个领域内渐渐地形成了“工程测量学”这门学科。目前,国内外测绘专业都有工程测量学这门课程。国内大多数测量工程专业都以培养工程测量人才作为目标。国际测量师联合会(Fédération Internationale des Géomètres, FIG)中设有工程测量专业委员会(第六委员会),以便在世界范围内交流这门学科的成就,探讨它的发展方向。

工程测量的内容,如果按照其服务的对象来讲,它包括工业建设测量、矿山测量、铁路公路测量、桥梁测量、隧道及地下工程测量、水利工程建设测量、输电线路与输油管道测量、军事工程测量、港口与水下工程建设测量以及城市建设测量等。为各项工程建设服务的测量工作,各有其特点与要求,但从其基本原理与基本方法来看,又有很多共同之处。因此,也可以不分工程的种类,而按照工程建设中测量工作进行的次序以及所用的测量理论作业方法的性质,综合地讲述工程测量学的内容。本教材基本上是采用这种方式编写的。一般的工程建设,基本上可以分为三个阶段,即规划设计阶段、施工阶段和运营管理阶段。现将各个阶段的测量工作概述如下:

工程建设规划设计阶段的测量工作。每项工程建设都必须按照自然条件和预期目的,进行规划设计。在这个阶段中的测量工作,主要是提供各种比例尺的地形图,另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探以及水文测验等进行测量。对于重要的工程(如某些大型特种工程)或在地质条件不良的地区(如膨胀土地区)进行建设,则还要对地层的稳定性进行观测。

工程建设施工阶段的测量工作。每项工程建设的设计,经过讨论、审查和批准之后,即进入施工阶段。这时,首先要将所设计的工程建筑物,按照施工的要求在现场标定出来(即所谓定线放样),作为实地施工的依据。为此,要根据工地的地形、工程的性质以及施工的组织与计划等,建立不同形式的施工控制网,作为定线放样的基础。然后再按照施工的需要,采用各种不同的放样方法,将图纸上所设计的内容测设到实地。所以这一部分就包括了施工控制网的建立和定线放样工作两大部分。此外,有时还要进行一些施工中的质量监测、竣工测量、变形观测以及设备的安装等测量工作。

工程建设运营管理阶段的测量工作。在工程建筑物运营期间,为了监视其安全和稳定的情况,了解其设计是否合理,验证设计理论是否正确,需要定期地对其位移、沉陷、倾斜以及摆动等进行监测。这些工作,就是通常所说的工程建筑物的变形监测。对于大型的工业设备,还

要进行经常性的检测和调校,以保证其按设计安全运行。另外,还要为运营管理的科学化建立各种信息系统。

由此可见,工程测量学是研究各项工程在规划设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。它与其他测量学科的关系非常密切。例如,在测绘工程专业教学计划中所设置的“测量学(或数字测图原理与方法)”和“控制测量学(或大地测量学基础)”课程,其主要任务就是解决为工程建设的规划设计提供各种比例尺的地形图这个问题的。而在施工放样和变形观测方法的研究中,有很多方面也是建立在测量学和控制测量学的基础上的。此外,用摄影测量方法测绘地形图,现在已广泛地应用于工程建设的规划设计阶段。目前用航空摄影测量方法除了制作常规的线划地形图以外,还制作影像地图供设计时应用。用近景摄影测量的方法,还可以观测水流的形态及工程建筑物的变形(其中包括对于某些建筑物由于动荷载而发生的瞬间变形)。应用航空摄影测量进行铁路勘测选线,是行之有效的方法。航空摄影的数据还可以用来进行森林、土壤、地质等的判读,从而解决工程建设与资源勘查中的问题。用全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)进行工程测量,涉及空间大地测量和重力测量等学科。在大型精密工程测量中,要顾及重力场的变化,也要用到重力测量学的知识。在工程运营管理阶段要建立各种信息系统,需要用到地理信息系统(geographic information system, GIS)的知识和工具。

因为工程测量是直接为工程建设服务的,所以工程测量工作者还必须具有一定的有关工程建设方面的知识。当为工程建设的规划设计进行勘测时,应该了解该项工程的作用、总体布置的特点以及它与周围环境的关系等;当为工程的施工进行定线放样时,必须了解工程的结构,掌握其各部分的关系,了解工程施工的步骤和方法与施工场地的布置情况,以便确定在现场应该放样的点和线,找出它们之间的关系,算出它们的平面与高程位置;设计图样是工程师的语言,一般的工程结构都是通过各种图纸来表示的,工程测量工作者必须善于识图和读图,才能正确执行定线放样任务;当进行变形观测时,为了合理地进行观测点和控制点的布置,确定观测的精度,选择观测的方法,以及合理地进行成果的整理与分析,都需要具备该项工程的构造及其使用情况的知识,特别是进行变形的物理解释研究变形的机理时,测量工作者需要具备岩土力学和土木工程结构的知识。因此,在工程建设的三个阶段中进行测量工作时,都需要有关工程知识,才能使测量工作有针对性,避免盲目性,才能与其他学科的专家有共同语言,紧密协作,从而合理地解决工程建设中的测量问题。

工程测量发展是由两方面的因素推动的:一方面,社会的发展为工程测量提出了新的任务和新的要求,使工程测量的领域不断扩大;另一方面,科学技术的发展,包括测绘学及其他学科的成就为工程测量的发展提供了新的方法、新的工具和手段。十多年来,工程测量的发展可归纳为以下几个方面。

(1)空间技术在工程测量中的应用与发展。

这里的空间技术是指卫星定位和卫星遥感。全球定位系统(Global Positioning System, GPS)的出现使定位、导航发生了革命性的变革。目前, GPS 伪距单点定位的精度为米级,载波相位精密单点定位为厘米级,差分 GPS 定位为亚米到米级,实时动态测量(real-time kinematic survey, RTK)为厘米级,而载波静态相对定位为毫米级或更高。可以看出, GPS 定位技术可满足不同工程测量工作的要求。它为工程测量提供了崭新的技术手段。在工程控制测量、地形测绘、施工放样、竣工测量、变形监测及工程机械控制中都得到了广泛应用。目前,

除 GPS 外,还有俄罗斯的格洛纳斯导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GLONASS)也可使用,我国的北斗卫星导航系统(BDS)和欧盟的伽利略卫星导航(Galileo)系统都在发展中,还有其他国家也在研发各自的卫星定位系统,这使卫星定位由依靠单一的美国 GPS 发展到利用各类卫星系统。导航卫星的组合使将来卫星定位精度更高,整周模糊度解算更方便,势必为工程测量的发展提供更有力的保证。

——卫星定位技术使传统控制测量发生显著的变化。由于卫星定位速度快、精度均匀、不需要站间通视、对控制网图形要求低等特点,已被广泛用于各类工程控制网建设。它彻底地改变了传统多级控制方法,可以减少控制级别,保证成果质量,提高控制网布设效率。近年来随着我国经济发展,大型和精密工程不断出现,如长江三峡工程、西气东输工程、南水北调工程、青藏铁路工程、高速铁路工程以及特长跨海大桥工程等,卫星定位技术在大型工程控制网建设中发挥着重要作用,为上述工程顺利进行提供了有力的技术保障。

——RTK 技术提高了施工放样和细部测量的速度和精度。对于大型工程建设如大型桥梁、高速公路、铁路工程、水坝工程、大型建筑物及大型体育场馆等,由于建设场地大、建筑结构特异、施工复杂、工期紧,对施工的准确、快速、高效的要求越来越高。利用卫星定位技术,特别是高精度 RTK 技术是大型工程建设施工放样的关键技术之一。例如,西气东输管道施工放样,要求长度超过 6 000 km 的输油管线,分多个施工段同时进行,利用 GNSS 技术既保证了自西向东控制网的精度和速度,也保证了输油管线施工放样的速度和精度。再如某跨海大桥长达 38 km,大桥距海岸 15 km,采用常规测量进行桥墩施工放样十分困难,而利用网络 RTK 技术,即可直接用于大桥桥墩施工放样,既快速又满足平面和高程精度的要求。一般把 GNSS 接收机安置在土方工程机械上或露天矿开采机械上,利用 RTK 技术配上相应的软件,能自动指导机械上操作人员的工作。另外,用 RTK 加上测图软件可方便地进行地形测图和工程的竣工测量。当然这些应用必须在开阔地区,GNSS 接收机能接收到足够多卫星信号。

——建立城市连续运行参考站网和精化局部大地水准面。目前我国越来越多的城市建立了卫星定位参考网。城市参考站网络系统是在一个城市及其近邻地区建立若干覆盖所辖地区的连续运行基准站(continuously operating reference station, CORS)。这些站采集的数据通过通信网络传送到数据处理中心进行处理,然后再通过无线通信网或因特网为用户提供高精度、连续的空间定位服务,还可向导航、地震、气象、灾害防治等部门提供各种数据服务。由于参考站网是在一个城市、一个地区建立若干固定连续运行的卫星信号跟踪站,利用先进的通信网,统一进行卫星信号采集、处理,及向用户发播卫星信号、差分 GPS 或 RTK 差分信号,因此可以实现一网多用、节省投资、资源共享。这样参考站网不但可以实现城市控制网的功能,还可为市政工程、城市规划、工程施工放样、地理信息快速更新提供服务。其静态观测数据还可为地壳形变、地震监测、短期大气水汽含量监测服务。这种网也被称为卫星定位综合服务网。与之相联系的是局部大地水准面的精化。由于 GNSS 所测的高程是大地高,为了转化成水准测量的高程(GPS 水准),需要知道精密大地水准面高,这是精化局部大地水准面的主要目的。

——空间技术在变形监测中的应用。GNSS 已越来越广泛地用于监测各类工程建筑物变形、地表沉降和滑坡。它可以周期性静态相对定位方式测量缓慢的变形,也可以动态定位方式测量快速的变形,如桥梁动态变形、高层建筑物摆动、海洋钻井平台变形等。另外,雷达干涉测量(interferometry SAR, InSAR)技术也开始用于监测地面变形。InSAR 是自 20 世纪 60 年代发展起来的一种遥感技术,是合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)遥感成像与电磁

波干涉两大技术的融合。该技术使用微波雷达成像传感器对地表进行主动遥感成像,采用一系列数据处理方法,从雷达影像的相位信号中提取地面的地形或变形信息。InSAR 技术用于变形观测时,具有测量精度高(亚厘米到厘米级)、空间分辨率高(一米到数十米)、不受云雨天天气制约等特点,在研究地面沉降以及山体滑坡等方面,已经表现出极好的应用前景。近年来,也开始研究用它监测建筑物(如桥梁)沉降,出现地基 InSAR 用于建筑物变形测量。

(2)数字测绘与空间信息系统技术的应用和发展。

我国数字测绘技术从 20 世纪 90 年代初开始,经过了 20 多年的发展,形成了自己的方法和多个具有自主知识产权的国产软件。数字测绘正在从二维向三维,并向信息测绘发展。城市、矿山及工业企业 GIS 系统已广泛应用,为科学合理的决策提供了依据。下面分别说明这些方面的现状和发展。

——数字测绘技术。

数字测绘技术已经普及,大比例尺地形图、地籍图、房产图、竣工图、地下管网图、导航电子地图等都已实现了数字化测绘,白纸测图方法已经淘汰。国内主要数字测图方案有:①全站仪技术。全站仪加上计算机以及带有地物编码的地形图绘图软件,形成一套完整的野外测图数据采集系统。针对不同的应用,还在测图软件的基础上开发了相应专业测绘软件,如房产测绘、竣工图测绘、地下管网图测绘等。②RTK 技术。GNSS RTK 定位加上计算机以及带有地物编码的地形图绘图软件形成一套基于卫星定位的野外测图系统,其测图软件还增加了坐标转换、地图投影以及测区大地水准数据库,以便进行高程系统转换。③遥感技术。通过遥感技术进行大比例尺测图。以轻型飞机、飞艇、气球及无人飞机为平台,实现低空摄影,获取大比例尺图像,制作大比例尺地形图。例如:国内有关部门进行轻型飞机大比例尺成图,完成了城镇 1:1 000、1:2 000 数字地图的制作;利用高分辨率卫星遥感影像(如 QuickBird)制作 1:2 000 大比例尺地图或大比例尺地图修测;在大型工程(如香港国际新机场)建设期间,利用直升机进行低空摄影,获取数字地面模型(digital terrain model,DTM),以计算土方工程量,一般 1~2 个星期重复一次。

上述测图系统还解决了与常用 GIS 系统的接口,实现了野外采集数据与 GIS 数据间的交换,使野外数字测图系统成为 GIS 系统前端数据获取的一个子系统。

快速移动测图(mobile mapping)系统也发展得很快。20 世纪 90 年代初期,世界上第一台移动测图系统在北美问世,该系统在车上安有 GPS 接收机和惯性导航系统(inertial navigation system,INS)用于定位,还装有 CCD(charge-coupled device)相机,用于获取影像。CCD 相机的姿态由 INS 测定。当车沿公路行驶时就能立即获取两边的地形、地物。还有用飞行器(直升机、无人飞机、飞艇等)作为运载工具,飞行器上装有 GNSS 接收机,用 RTK 技术进行飞机定位,装有相机,用于获取地形信息,相机的姿态由 INS 测定。利用无地面控制点的摄影测量原理就能进行大比例尺测图。目前还有机载激光扫描系统直接获取三维地形信息和构建三维城市。

——数字三维(虚拟)城市与建筑测绘。

现在城市规划、建筑设计正在推行三维规划和三维设计,因此建立城市或建筑物三维立体模型,实现可视化是今后一段时间城市测绘一项很重要的工作。三维建筑立体模型的构造相对简单,很多设计部门都已做到了,已有不少商用软件可实现该功能。而构造三维城市(或称虚拟城市)相对要复杂一些。目前常用的方案是利用大比例尺航空影像,进行三维量测或用机

载激光扫描仪量测高程方向上的信息加上已有电子地图,利用“虚拟现实”软件构造城市三维图。国内外已有不少成功的例子,如虚拟伦敦、数字三维威海城市模型。

建筑测绘目前多采用地面摄影测量与激光扫描系统结合,激光扫描提供“点云”数字信息,摄影提供纹理信息。激光扫描是近几年发展比较快的系统,它是将高精度无合作目标激光测距仪与精确测角系统组合,配合水平和垂直方向伺服马达,组成了全自动化三维激光扫描系统。该技术可用于对古代建筑进行数字化保护研究,如制作古建筑真彩色数字三维模型、正射影像图、大木结构模型、平面图、立面图和剖面图,为古建筑大修工程的设计和数字化保护提供服务。

近年来发展的建筑物信息模拟(building information modeling, BIM)是一个值得注意的发展方向,应是测量工作者大有可为的领域。BIM是建筑设施的物理和功能特性的数字表达,不仅包含几何信息,还包含建筑物单元空间关系、数量和质量、成本及厂家等信息。

——城市地下管线探测。

地下管线是城市基础设施的重要组成部分,是城市赖以生存和发展的基础,关系到城市经济的持续、稳定和健康,被人们称为城市的“血管”和“神经”,是城市发展的“生命线”。随着国民经济和城市建设的快速发展,城市管线的种类不断增多,很多城市架空管线也逐步转入地下,地下管线越来越复杂,长度也在快速增长。例如,北京和上海的地下管线总量都在10万千米以上,中等城市都有几千千米。目前,随着城市化进程的加快,每年地下管线增量约10万千米。地下空间规划设计、建设、管理,地下管线运行和维护管理以及城市应急管理都需要现势、准确和完整的地下管线信息。地下管线信息的重要性以及地下管线的安全问题日益被城市各级政府部门重视。而地下管线探测、检测与评估是为摸清城市已有地下管线的现状,以及评估地下管线的风险服务的。

传统的地下管线探测仪采用电磁感应法,可以较好地探测金属管线。但对于非金属管线就无能为力了。探地雷达可以解决非金属管线的探测。探地雷达是通过发射高频宽频带电磁波,并接收来自地下介质面的反射波,根据接收到反射波的旅行时间、幅度与波形数据,解释推断地下介质结构。只要地下管线目标与周围介质之间存在足够的物性差异,就能通过探地雷达来进行探测。随着多频探地雷达仪器的应用,以及探地雷达仪器的轻便化和一体化,克服了传统探地雷达电磁波能量分散、探测深度浅、分辨率低的缺陷,提高了探地雷达的工作效率,使探地雷达日益成为快速、准确探测非金属地下管线的一种重要的技术手段。使用电子标识器为探测非金属地下管线提供了另一种方法。地下管线埋设时,根据地下管线的类型(如燃气、给水、排水、电力、通信等),在管线特征点处预埋相应种类电子标识器,之后在地面通过便携式探测仪查找地下电子标识器时,探测仪先向地下发出一定频率的电磁波信号,当靠近标识器时,标识器会反射探测仪发出的信号,从而被探测仪发现接收,根据仪器音频和读数可准确获得管线平面位置和埋深的准确信息。使用带信息存储功能的电子标识器,在地面通过便携式探测器,除了读取其埋深信息外,还可读取管径、材质、建设年代、权属单位等属性信息。

声呐等检测技术已开始应用于城市排水管线的管道竣工验收、灾害调查、健康普查、管道移交检查以及管道修复后的质量检查等领域,为保障管道的安全高效运行提供了可靠的技术保障。人体电容和直流电压梯度(direct current voltage gradient, DCVG)等检测技术方法,已成功应用于城市燃气钢质管道的外防腐层缺陷检测;通过电磁法测量的管道电流来评价管段的外防腐层绝缘电阻技术也已取得实质性的进展,并已投入工程应用;外防腐层缺陷检测技