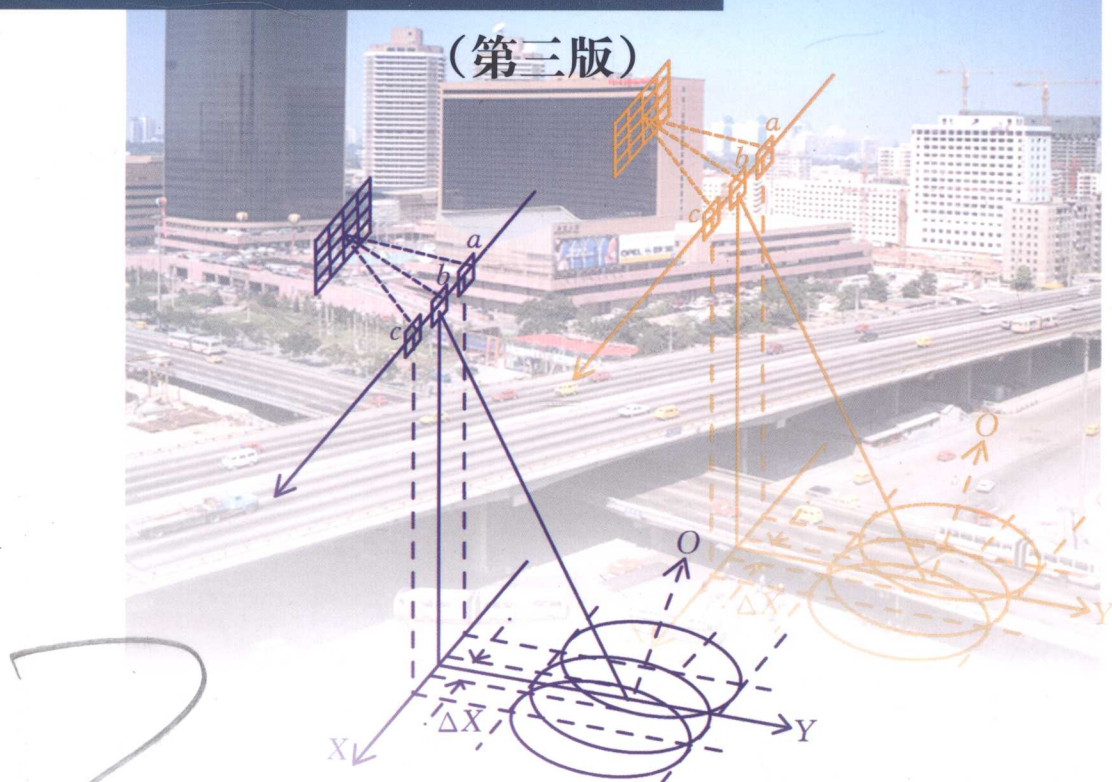


普通高等教育测绘类规划教材

# 工程测量学

李青岳 陈永奇 主编

(第三版)



ENGINEERING SURVEYING

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

(第三版)

李青岳 陈永奇 主 编

测 绘 出 版 社

· 北京 ·

## 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/李青岳,陈永奇主编. —3 版. —北京:测绘出版社,2008. 8

普通高等教育测绘类规划教材

ISBN 978-7-5030-1867-1

I. 工… II. ①李… ②陈… III. 工程测量—高等学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 090767 号

责任编辑 贾晓林

封面设计 赵培璧

出版发行 **测绘出版社**

社 址 北京西城区复外三里河路 50 号

电 话 010-68512386 68531558

印 刷 北京市通州次渠印刷厂

成品规格 184mm×260mm

字 数 656 千字

版 次 2008 年 8 月第 3 版

印 数 64501—69500

邮政编码 100045

网 址 [www.sinomaps.com](http://www.sinomaps.com)

经 销 新华书店

印 张 26.5

印 次 2008 年 8 月第 12 次印刷

定 价 39.80 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1867-1/P·486

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

# 《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

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,但对原教材作了较大的修改、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,但对内容作了较大的修改;
- (5)原教材第三章改为第二章,并对内容作了较大的修改;
- (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,对原教材内容作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作了调整和修改,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、有特色的工程对象作了个别处理(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,则作比较详细的叙述。

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,使这份教材能比较多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
-----	---

## 第一篇 工程建设中地形信息的获取和应用

<b>第一章 工程建设对地形图的要求与应用</b>	8
§ 1-1 地形图在工程建设规划设计阶段的作用	8
§ 1-2 大比例尺地形图的精度分析	10
§ 1-3 工业企业设计对地形图的要求	13
§ 1-4 大比例尺地形图在工程设计中的应用	18
§ 1-5 数字地面模型的获取和应用	23
§ 1-6 三维透视立体图的绘制	27
<b>第二章 线路设计阶段的测绘工作</b>	30
§ 2-1 线路设计的有关知识	30
§ 2-2 线路初测阶段的测量工作	38
§ 2-3 线路定测阶段的测量工作	42
§ 2-4 线路纵横断面的测绘	47
§ 2-5 既有线路测量	49
§ 2-6 航测、遥感技术在线路勘测中的应用	50
<b>第三章 水下地形测绘</b>	54
§ 3-1 精度要求与技术设计	54
§ 3-2 导航定位	56
§ 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	73
<b>第四章 专题图测绘</b>	80
§ 4-1 地下管线探测与管线图测绘	80
§ 4-2 地下管网地理信息系统	89
§ 4-3 竣工图测绘	96
§ 4-4 房地产测绘与估价	101
§ 4-5 建筑测绘	113



## 第二篇 工程建设中的施工测量

<b>第五章 施工控制网的建立</b> .....	119
§ 5-1 控制网精度确定的一般方法 .....	119
§ 5-2 国家高精度控制点的利用 .....	121
§ 5-3 施工控制网的设计 .....	124
§ 5-4 典型工程施工控制网的布设 .....	131
§ 5-5 特殊工程施工控制网的布设 .....	139
<b>第六章 施工放样的方法和精度分析</b> .....	147
§ 6-1 概 述 .....	147
§ 6-2 坐标法放样 .....	148
§ 6-3 其他直接放样方法 .....	153
§ 6-4 归化法放样 .....	155
§ 6-5 高程放样方法 .....	157
§ 6-6 刚体的放样定位 .....	159
§ 6-7 高耸建筑物的铅垂线放样 .....	160
§ 6-8 施工放样新技术 .....	166
<b>第七章 线路工程放样</b> .....	174
§ 7-1 概 述 .....	174
§ 7-2 平面曲线 .....	175
§ 7-3 平面曲线放样数据的准备 .....	182
§ 7-4 平面曲线的放样方法 .....	188
§ 7-5 竖曲线 .....	192
§ 7-6 线路施工与竣工测量 .....	194
§ 7-7 输电线路施工测量 .....	197
<b>第八章 地下工程施工测量</b> .....	205
§ 8-1 概 述 .....	205
§ 8-2 地面控制测量 .....	208
§ 8-3 地下控制测量 .....	211
§ 8-4 联系测量 .....	214
§ 8-5 贯通测量误差预计 .....	222
§ 8-6 地下工程施工测量与竣工测量 .....	226
§ 8-7 隧道(巷道)贯通后实际偏差的测定与调整 .....	231

§ 8-8 摆式陀螺仪的寻北原理 .....	233
§ 8-9 陀螺经纬仪 .....	238
§ 8-10 陀螺经纬仪定向观测方程 .....	241
§ 8-11 逆转点观测数据的处理方法 .....	246
§ 8-12 不跟踪式观测的几种简易方案 .....	249
§ 8-13 陀螺摆动方程的一般拟合 .....	257
§ 8-14 陀螺经纬仪定向作业过程 .....	260
§ 8-15 自动陀螺经纬仪定向原理简介 .....	263
<b>第三篇 工程建设中变形测量和工业设备形位检测</b>	
<b>第九章 变形测量概述 .....</b>	<b>266</b>
§ 9-1 变形测量的意义、目的和内容 .....	266
§ 9-2 变形监测的特点 .....	268
§ 9-3 变形监测技术和方法 .....	270
§ 9-4 变形观测数据分析 .....	274
<b>第十章 垂直位移与水平位移观测 .....</b>	<b>276</b>
§ 10-1 垂直位移监测网(点)布设及观测标志 .....	276
§ 10-2 垂直位移观测 .....	282
§ 10-3 地面倾斜测量 .....	287
§ 10-4 水平位移观测网及观测标志 .....	294
§ 10-5 水平位移测量技术概述 .....	299
§ 10-6 视准线法测量水平位移 .....	300
§ 10-7 激光准直测量 .....	304
§ 10-8 引张线法测量水平位移 .....	307
§ 10-9 建(构)筑物主体倾斜和挠度测量 .....	309
§ 10-10 裂缝测量 .....	312
<b>第十一章 变形观测新技术 .....</b>	<b>313</b>
§ 11-1 全球卫星定位系统 .....	313
§ 11-2 合成孔径雷达干涉测量 .....	316
§ 11-3 近景摄影测量 .....	331
§ 11-4 激光扫描技术 .....	332
<b>第十二章 变形观测数据处理 .....</b>	<b>334</b>
§ 12-1 观测基准点稳定性分析 .....	334

---

§ 12-2	回归分析原理 .....	341
§ 12-3	变形量的统计规律及成因分析 .....	346
<b>第十三章</b>	<b>变形观测工程实例 .....</b>	<b>350</b>
§ 13-1	基坑支护工程变形监测 .....	350
§ 13-2	工业与民用建筑变形监测 .....	357
§ 13-3	水工建筑物变形监测 .....	362
§ 13-4	桥梁工程变形监测 .....	372
§ 13-5	地铁隧道结构变形监测 .....	379
§ 13-6	滑坡监测 .....	387
<b>第十四章</b>	<b>工业设备形位检测 .....</b>	<b>395</b>
§ 14-1	概 述 .....	395
§ 14-2	经纬仪工业测量系统 .....	397
§ 14-3	全站仪工业测量系统 .....	401
§ 14-4	数字近景摄影工业测量系统 .....	405
§ 14-5	激光测量系统 .....	409
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>413</b>

## 绪 论

测量是从人类生产实践中发展起来的一门历史悠久的科学,是人类与大自然作斗争的一种手段。翻开人类历史,在文化最先发达的地区,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,山行乘犂,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。以后随着历史文化的发展,科学技术的进步,工程建设的项目愈来愈多,规模愈来愈大,内容愈来愈复杂,对测量工作的要求也愈来愈高,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为目标。国际测量师联合会(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、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,以及城市建设测量等等。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 3 个阶段,即规划设计阶段、建筑施工阶段与运营管理阶段。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观测。这些工作,就是通常所说的工程建筑物的变形观测。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。

由此可见,工程测量学就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,在测量工程专业教学计划

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工程建设中规划设计所需各种比例尺地形图这个问题的。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中。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。航空摄影的资料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察中的问题。用全球定位系统(Global Positioning System, GPS)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,要顾及到重力场的变化,也要用到重力测量学的知识。

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。例如,在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。因为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,所以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,都需要具有该项工程的构造及其使用情况的知识。所以,在工程建设的3个阶段中进行测量工作时,都需要有关工程的知识。这样,才能使测量工作有针对性,避免盲目性,从而合理地解决工程建设中的测量问题。

工程测量的发展由两方面的因素推动。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工具和手段;另一方面,社会的发展为工程测量提出了新的任务和新的要求,使工程测量的应用领域不断扩大。在过去的十多年来,工程测量显著的发展可归纳为以下几个方面。

## 一、空间技术在工程测量中的应用与发展

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2~10 m;载波相位单点定位为厘米到分米级;差分GPS(Differential Global Positioning System, DGPS)定位为亚米级到米级;实时动态定位(Real-Time Kinematic, RTK)为亚厘米到厘米级,而载波静态相对定位为毫米级。可以看出,GPS定位技术可满足不同工程测量工作的要求,它的出现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广泛应用。

目前,美国正在进行GPS现代化改造,俄罗斯也在进一步加强全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GLONASS)系统,欧盟委员会正在研制GALLIEO系统,还有其他国家,包括我国、日本和印度,使卫星定位由单一GPS向全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)。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。

### (一) 卫星定位技术使控制测量发生了显著的变化

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。彻底改变了传统多级控制方法,减少了控制级别,保证了成果质量,提高了控制网布设效率。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,以及特长跨海大桥等,卫星定位技术在大型工程控制网建设中发挥着重要作用,为上述工程的顺利进行提供了有力的技术保障。

### (二) 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。卫星定位技术,特别是高精度、实时 RTK 技术是大型工程建设施工放样的关键技术之一。现有不少在 PDA 上的施工放样软件,结合 RTK 可以方便准确地进行工程放样。如西气东输管道施工放样,要求长达 6 000 多千米输油管线,分多个施工段同时进行,利用 GPS 定位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,满足平面精度 2 cm,高程精度 5 cm 的要求。另外,用 RTK 加上测图软件还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,以便 GPS 接收机能接收到足够多卫星信号。把 GPS 接收机安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工人的工作,提高工作效率。这方面国外有相当多的例子。

### (三) 城市连续运行参考站网向一网多用方向发展

城市参考站网络系统是在一个城市及其近邻地区建立的若干个覆盖所辖地区的连续运行 GPS 永久性参考站。这些站采集的数据通过通讯网络传送到数据处理中心,经过处理,然后再通过无线通信网或因特网(Internet)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。目前,我国已有多座城市建立了卫星定位参考站网,今后这种网还会向更多的城市普及。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,以及向用户发播卫星信号或 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、管理、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提供服务。因此,这种网也被称为卫星定位综合服务网。

### (四) 空间技术开始在变形监测中应用

GPS 已开始用于工程建筑物变形观测,特别是一机多天线系统,可以降低成本,提高经济效益,很有发展潜力。另外,遥感雷达卫星影像技术也开始用于地面变形。

## 二、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,经过十几年的发展已日渐成熟,形成了自己的方法和多个具有自主知识产权的国产软件。现在的数字测绘正在从二维向三维发展,形成三维测绘技术。城市地理信息系统已经得到了足够的重视,工业企业地理信息系统也正在兴起。

下面分别介绍这些方面的现状和发展。

### (一)数字测绘技术

数字化测绘技术已经普及,大比例尺地形图、地籍图、房产图、竣工图、地下管网图、导航电子地图等基本上都已实现了数字化测绘,白纸测图方法已经淘汰。国内主要数字化测图方案有:

#### 1. 全站仪技术

全站仪、便携机(PDA掌上计算机)、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的专业测绘软件,如房产图测绘、竣工图测绘、地下管网图测绘等。

#### 2. GPS RTK 技术

GPS RTK、便携机(PDA掌上计算机)、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,其测图软件增加了坐标转换和地图投影功能。

#### 3. 摄影测量技术

利用轻型飞机、飞艇、气球及无人飞机为平台,实现低空遥感,获取大比例尺遥感图像,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成图实验,完成了城镇1:1 000、1:2 000数字地图的制作。20世纪90年代初期,香港国际新机场建设期间,利用直升机进行低空摄影,获取DTM(digital terrain model)数据,计算土方工程量。一般1~2星期重复一次。

上述测图系统还解决了与常用地理信息系统的接口问题,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。

快速测图系统也发展得很快,国外称移动测图(mobile mapping)。20世纪90年代初期,第一台移动测图系统问世,在车上安有GPS接收机和惯性导航装置(Inertial Navigation System,INS)用于定位,还装有电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)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。再如用直升机作为运载工具,机上有GPS RTK,进行飞机定位;机上装有相机,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。有关单位用此方法进行过高速公路路面监测实验,高程精度达5 mm。

### (二)数字三维(虚拟)城市与建筑测绘

现在的城市规划、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CAD专用商用软件问世。而构造三维城市或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,例如虚拟伦敦、数字化三维威海城市模型等。

建筑测绘目前多采用地面摄影测量与地面激光扫描系统综合,激光扫描提供点阵数字信息,摄影测量提供数理信息。地面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,配合水平和竖直方向伺服马达,组成的全自动化三维激光扫描系统。目前已用该技术对古代建筑进行了数字化保护研究,制作了古建筑真彩色数

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。

### (三)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,被人们称为城市的“生命线”。随着城市建设的快速发展,城市地下空间规划设计、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所重视。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。近年来发展的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,根据接收到的反射波的旅行时间、幅度与波形资料,解释推断地下介质结构的。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。因此,探地雷达弥补了常规地下管线探测仪在探测非金属地下管线方面的缺陷,已成为探测非金属地下管线的重要技术方法之一。电子标识器的使用为探测非金属地下管线提供了另一种新的方法。地下管线敷设时,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道的管道竣工验收、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术与气体泄漏检测技术的结合,可快捷、准确地查找燃气管道的泄漏点位置。外防腐层缺陷检测技术、绝缘电阻评价技术和气体泄漏检测技术的应用,为管道维护和修复计划制订,以及管道的安全评价提供了数据依据,为保障燃气管道的安全运行提供了技术支撑。区域漏水评价与诊断技术的进展,大幅度提高了供水管道泄露点检测的效率和准确性。在一个特定的区域内,通过安置在供水管道上一定数量的声波采集器采集漏水声波,利用采集的声波资料进行分析,根据漏水声波的稳定性和连续性特点,可以有效地发现区域内的漏水异常。

### (四)城市信息系统和应用

20世纪90年代,美国副总统戈尔在一次演讲中提出了数字地球的概念,此后数字中国、数字城市的热潮席卷全国。大到整个国家,小到城市都开始建立空间数据基础设施。目前,国内很多城市都建立了城市基础地理信息系统,并在此基础上建立了各种专题信息系统,如土地利用与管理信息系统、城市规划管理信息系统、房产信息管理与发布系统、地下管网信息系统等。这些系统为政府的合理决策提供了保证。今后的发展应该是各政府部门系统信息的共享和兼容,以避免重复采集信息,浪费资源,还要定期更新数据以保证信息的现势性。

基于城市基础地理信息系统而发展起来的专题信息系统,与定位和通信功能组合在一起



是今后发展的重点,有很大的市场潜力。典型的如车辆导航系统、公共交通查询信息、基于位置服务系统等。

### 三、变形监测理论和方法的发展

变形监测是一项跨学科的研究,它是研究变形信息的获取、分析和解释,以及预报变形的理论和方法。研究成果对了解变形机理以及预防自然灾害都有极其重要的意义。

随着国民经济建设的飞速发展以及改造自然的加速,超大型建筑物、构筑物、地铁及在高楼密集的建筑群中兴建高楼、地库等工程不断出现,变形监测越来越重要,国际上引入了建筑物健康检测的概念,可见其重要性非同一般。变形观测精度要求也很高,一般都在1 mm左右,有的要求亚毫米。

变形观测除了采用常规的测量方法和仪器外,也采用专门的技术仪器和工具,如准直仪、倾斜仪、应变仪等。近年来在监测方法和技术方面的进步主要有:GPS测量、干涉合成孔径雷达(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)和自动跟踪的全站仪(测量机器人)。GPS测量,特别是一机多天线系统,可以降低成本,提高经济效益;InSAR用于测定大面积地面变形。

变形观测的特点是变形观测量小,且数据带有误差。要在这种“信噪比”较小的观测成果中提取有用的变形信息,必需特别重视数据处理的方法。这里特别要提到的是用方差-协方差估计方法模拟测量误差,以及有效的多个粗差定位、剔除的策略和技术。

变形分析包括变形的几何分析和物理解释。前者用于模拟变形的时空特性,后者是解释变形和引起变形原因之间的关系。变形的时空模拟是变形观测的热门研究课题,它的目标是有效地鉴别变形的空间特性和时间特性,以便用于变形预报。有一种叫变形分析的通用法,它可以处理任何形式的变形,也能综合处理不同种类的数据,包括常规测量方法所获得的几何观测量和用土仪器所获得的几何和物理观测量。变形解释是要确定变形和变形原因之间的关系。常采用统计分析法,即分析变形量与外因之间的相关性来建立荷载与变形之间的数学模型。另外还有其他学科专业人员采用的“确定函数法”,它利用变形体的几何和物理性质,以及应力-应变间的关系建立变形的预报模型。最新的进展是综合两种方法,用变形观测数据来校正变形体几何物理参数,也叫变形反演。

### 四、工业测量

现代工业生产要求对产品的设计、仿真、生产的自动化流程,生产过程控制,产品质量检验与监控等进行快速的、高精度的测量和定位,并给出复杂形体的数字模型或运行轨迹等,这对工程测量提出了新的任务,兴起了工业测量。工业测量技术发展飞速,技术设备向自动化、智能化、信息化的方向迈进。下面介绍主要的工业测量系统。

#### (一)工业大地测量系统

工业大地测量系统发展最早,应用较广,主要是利用电子经纬仪角度交会原理。国内外研制了不少系统,用于不同的用途。坐标确定精度在0.1 mm左右。

激光跟踪仪是近几年发展起来的工业测量仪器,其测量原理和全站仪相同,也是直接测量目标的三维坐标,但它具有自动跟踪目标的功能。它的最大特点是精度高。目前这种仪器主要用在飞机制造、汽车制造、精密工业设备安装等方面。它的出现使工业大地测量正在由静态