

土木工程测量学

下册 工程测量学

GONGCHENG CELIANGXUE

主 编 邓洪亮 副主编 苏跃宏 张红艺

GONGCHENG CELIANGXUE

北京工业大学出版社

土木工程测量学

下册 工程测量学

主 编 邓洪亮

副主编 苏跃宏 张红艺

北京工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量学. 下, 工程测量学/邓洪亮主编. 北京:
北京工业大学出版社, 2005.4

ISBN 7-5639-1497-8

I. 土... II. 邓... III. 土木工程-工程测量-高等
学校-教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 019907 号

土 木 工 程 测 量 学

下册 工 程 测 量 学

主 编 邓洪亮

副主编 苏跃宏 张红艺

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编: 100022 电话: (010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 16 开 15.25 印张 374 千字

印数: 1 ~ 3000 册

ISBN 7-5639-1497-8/G·764

定价: 23.00 元

序 (一)

测绘科学技术是一门古老而又现代的科学和技术。从古代尼罗河泛滥之后土地边界再划分到航天飞机发射,从大禹治水到长江截流,测绘科学与技术作为时代的结晶,在人们认识自然、改造自然与发展生产力的过程中发挥了十分重要的作用。

测绘学是一门与时俱进的学科,总是与时代高新科技完美结合,望远镜广泛用于测绘仪器,照相机用于摄影测量,飞机和卫星作为影像获取平台,激光用于指向和测距,计算机用于测量平差、制图和数据库载体,卫星用于 GPS 定位,所有这些空间技术、计算机技术、自动化技术、光电技术,把我们测绘科技推向前所未有的时代。现代测绘学科已是有着深奥理论和高新科学技术的重要学科,成为研究空间数据获取、地球科学和各类工程建设所不可缺少的科学与技术。

随着空间技术的发展,空间工业化、空间商业化和空间军事化,将在 21 世纪成为大国争霸空间的焦点,“谁占有了空间,谁就占有了地球”,测绘学将成为发展空间科学的源动力。空间大地测量技术的迅速发展和广泛应用,越来越显示出它对空间科学的重要作用,使它成为空间科学的重要支柱之一。

在测绘学科发生巨大变革的情况下,测量学作为高等学校测绘专业及农林、土建、交通、矿业、地质、水利等专业的一门技术基础课,其教学内容势必要进行重大的改革,以适应培训各类专业人员的需要。

邓洪亮同志是我熟悉的一位勤奋、富于开拓和创新精神的青年教师,多年来从事生产实践和教学研究,为测绘科学的发展作了大量卓有成效的工作,《土木工程测量学》就是在他和其他几位教师共同努力下,本着改革的精神,辛勤劳动的结果。本书的出版必将进一步促进测量学课程得到不断的改革和进步。

我希望作者能及时收集广大读者对本书的意见与建议,深入研究 21 世纪测量学教学中的新理论、新技术、新问题,全面提高测量学课程教学质量。

中国测绘科学研究所所长、教授、博士生导师

林宗坚

2004 年 11 月

序（二）

测量学是一门古老的地球科学，它来自于希腊文的“土地划分”，至今已有4000多年的历史。我国是世界文明古国之一，测量学的发展也有悠久的历史。近代的测量学已经发展为一门综合科学，它是在一系列测量仪器与工具的帮助下能够解决许多复杂的科学、技术与工程问题，研究如何测定地面点的位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图以及确定地球的形状和大小的科学。现代测绘学科已是有着深奥理论和高新科学技术的重要学科，成为研究空间数据获取、地球科学和各类工程建设所不可缺少的科学与技术。随着空间技术的发展，空间工业化、空间商业化和空间军事化将在21世纪成为大国争霸空间的焦点，“谁占有了空间，谁就占有了地球”，测绘学将成为发展空间科学的源动力。

在测绘学科发生巨大变革的情况下，测量学作为高等学校测绘专业及农林、土建、交通、矿业、地质、水利等专业的一门专业基础课，其教学内容势必要进行重大的改革，以适应培养各类专业人员的需要。邓洪亮同志执教多年，勤奋工作，多年来从事生产实践和教学研究工作的，为测绘科学的发展做了大量的工作，《土木工程测量学》就是在他和其他几位教师的共同努力下，本着改革的精神，辛勤劳动的结果。本书的出版必将进一步促进测量学课程得到不断的改革和进步。

同时，我希望作者能及时收集广大读者对本书的意见与建议，深入调查研究，及时总结测量学教学中的经验，用最新的理论、最新的技术，解决工程中的新问题，全面提高测量学课程的教学质量，为测绘科学的发展做出更大的贡献。

中国地质大学信息工程学院院长、博士生导师

吴信才

2004年11月

前 言

21世纪是科学、教育全面发展的世纪。为了更好地培养出新世纪的科技人才,我国各高等院校正在进行着广泛的教育改革和教学改革,非测量专业的测量学课程教学同样也进行着课程和教学改革。本教材是按高等学校土木类“工程测量”教学大纲的要求编写的,并加强了数字化测图和测绘新技术的内容,可用于土木工程、交通土建工程、交通工程、水务工程、城市规划和建筑学等专业的教学用书,也可作为土木工程等专业技术人员的专业参考书。

在人类社会进入新世纪的今天,科学技术高度发达,空间科学、电子学、计算机科学、网络信息学等高、精、尖科学技术飞速发展,人类历史进入了一个崭新的时代。例如,海湾战争实际上是一场“3S”大战,美国国防制图局(DMA)的GIS充分发挥了作用,及时地将反映战场现状的正射影像图叠加到数字地图上。总之,测绘科学技术随着当前现代科学技术的发展有了极大的发展,RS、GIS、GPS及其集成技术是测绘科学与当今时代发展相结合的产物,这极大地促进了测绘科学、测绘产业的发展,测绘科学出现了空前繁荣的景象。

随着社会的发展和科学的进步,工程测量学的理念和测量手段近年来发生了重大的变化。由于遥感、遥测等新技术的应用和迅速发展,使资源与环境信息的数量激增。由于信息科学、计算机科学、网络技术、人工智能特别是数据库技术的发展,促进了数字测图技术和制图自动化技术的发展,使资源与环境信息的数字化采集、存储、处理、显示和自动输出成为可能。随着信息时代以多学科跨领域为特征的科学思维的发展,使社会发展和国家宏观决策更趋向于从纵观全局的高度进行系统分析,必须把自然界和人类社会作为一个整体,必须将资源与环境作为一个巨大的系统来对待。测量手段已逐渐从经纬仪加钢尺测量的模式向全站仪与计算机结合的数字化模式转变,向“3S”集成技术发展。

本教材的编写是在多次到设计、施工等用人单位调研的基础上,结合多年来的教学实践经验编写的,强调了对学生的基础知识、基础理论和基本技能的培养,反映了测量学科的新理论、新知识、新仪器和新方法,同时充分考虑到学生在校学习期间所学知识的系统性和完整性,考虑了学生就业后的实用性和参考价值,考虑了教学循序渐进的特点。

本教材共十八章,分为上、下两册,上册为普通测量学,下册为工程测量学,每册各九章,由北京工业大学建筑工程学院邓洪亮主编,其中上册第二、三、四章由内蒙古工业大学建筑工程学院苏跃宏编写,第六、七章由河南科技大学建筑工程学院马宝卿编写,下册第二章由内蒙古工业大学建筑工程学院李

永编写，第八、九章由张红艺编写。在编写过程中得到了北京工业大学、内蒙古工业大学、河南科技大学领导和同事们的大力支持，在此表示衷心感谢，同时对参加本教材编写和校对的李金灵、武胜林、韦宏鹤、马宏伟、尹金宽、于蕊、齐赛、陈得飞、张凯、刘旭、余博、赵婧英、张东、赵亮、王紫玉、杨森、贾楠、陶坤玉、关春昊、谢向文、郭玉松、张昊、王洪治等一并致谢。

本教材在编写过程中北京威远图数据开发有限公司、南方测绘公司、北京天力发科贸有限责任公司、中翰集团和北京励精思仪器公司等单位给予了大力支持，在此表示感谢。

在本教材编写过程中参考了大量的教材和文献，在此对作者表示感谢。

本教材承蒙我国著名测绘专家、中国测绘科学院院长、博士生导师林宗坚教授和中国地质大学信息工程学院院长、博士生导师吴信才教授作序，北京林业大学测绘学科带头人、博士生导师冯仲科教授在百忙中对本书全文审阅，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，谨请读者批评指正。

邓洪亮

2004年10月于北京

目 录

第一章 工程测量学及测绘新技术	(1)
第一节 工程测量学概述	(1)
第二节 工程测量学的发展	(1)
第三节 工程测量理论方法的发展	(3)
一、测量平差理论	(3)
二、工程控制网优化设计理论和方法	(3)
三、变形观测数据处理	(4)
第四节 工程测量学与土木工程的关系	(7)
第五节 工程测量学在其他学科中的应用	(8)
第六节 我国地理信息系统的发展概况	(8)
思考与练习题	(10)
第二章 工程放样的基本方法	(11)
第一节 角度放样方法	(11)
一、经纬仪盘左盘右分中法测设水平角	(11)
二、归化法测设水平角	(11)
三、用钢尺测设水平角	(12)
第二节 角度放样精度及误差来源	(12)
一、角度放样的精度	(12)
二、水平角放样的误差来源	(13)
第三节 长度放样方法	(16)
一、一般方法	(16)
二、用钢尺精密的测设法	(17)
三、端点改正法	(17)
第四节 长度放样精度	(17)
第五节 高程放样方法	(18)
第六节 高程放样精度	(21)
一、几何水准测量的误差	(21)
二、高程放样的误差	(22)
第七节 点的平面位置的测设	(23)
一、直角坐标法	(23)
二、极坐标法	(23)
三、距离交会法	(24)
四、角度交会法	(24)
第八节 全站仪放样技术	(24)
一、用角度距离放样点位	(24)
二、按三维坐标进行测设	(25)

思考与练习题	(25)
第三章 线路地形测量	(27)
第一节 概述	(27)
第二节 道路勘测设计的一般概念	(28)
第三节 测量桩志与测量记录	(29)
一、测量桩志的种类与用途	(29)
二、测量桩志的埋设	(30)
三、桩志的书写	(30)
四、水准点桩	(30)
五、测量桩志的保护	(31)
六、测量记录	(31)
第四节 平面控制测量	(31)
一、一般规定	(31)
二、测量主要技术要求	(32)
三、平面控制网的设计	(34)
四、水平角观测	(34)
五、距离测量	(35)
六、成果的记录、整理和计算	(37)
第五节 高程控制测量	(39)
一、一般规定	(39)
二、水准点的布设与观测	(40)
三、外业成果的整理	(41)
第六节 地形测量	(41)
一、一般规定	(41)
二、图根控制测量	(43)
三、地形图测量	(44)
思考与练习题	(46)
第四章 线路初测	(47)
第一节 目的与任务	(47)
第二节 准备工作	(47)
第三节 导线布置	(47)
第四节 导线测量与计算	(48)
第五节 带状地形图测绘	(52)
第六节 线路定线	(53)
第七节 勘测与调查	(55)
一、路基、路面及排水勘测与调查	(55)
二、桥涵勘测	(55)
三、隧道勘测	(56)
四、线路交叉及设施勘测与调查	(56)
第八节 初测应提交的资料	(57)
思考与练习题	(57)

第五章 线路定测	(59)
第一节 概述	(59)
一、目的与任务	(59)
二、准备工作	(59)
三、线路放线	(59)
四、线路曲线的类型	(60)
五、里程桩	(60)
第二节 交点测设和转角测定	(61)
一、线路交点与线路转角	(61)
二、交点的测设	(61)
三、转点的设置	(62)
四、线路转角的测定	(63)
第三节 单圆曲线和复曲线主点的测设	(63)
一、单圆曲线主点的测设	(63)
二、复曲线主点的测设	(65)
第四节 圆曲线的详细测设	(65)
一、偏角法	(65)
二、切线支距法	(67)
三、中央纵距法	(68)
四、圆弧放样法	(69)
第五节 综合曲线的测设	(69)
一、缓和曲线	(69)
二、综合曲线主点测设元素的计算	(73)
三、综合曲线主点里程桩号推算与测设	(74)
四、综合曲线详细测设	(75)
第六节 回头曲线的测设	(78)
一、对称形回头曲线主点的测设	(78)
二、非对称形回头曲线主点的测设	(80)
三、回头曲线的详细测设	(81)
四、有缓和曲线的回头曲线的测设	(81)
第七节 困难地段圆曲线及缓和曲线的测设	(82)
一、交点上不能安置仪器	(82)
二、曲线起点或终点不能到达	(83)
三、偏角法测设圆曲线时视线遇障碍	(84)
四、偏角法测设缓和曲线视线遇障碍	(84)
第八节 高速公路平面线型和对测量的要求	(85)
一、高速公路的建筑形式与组合平面线型	(85)
二、有关高速公路的几项技术标准	(87)
三、高速公路对测量的要求	(87)
四、线路工程中线桩坐标推算	(88)
思考与练习题	(91)
第六章 线路断面测量	(94)

第一节 线路纵断面测量	(94)
一、水准点的设置与施测 (基平测量)	(94)
二、跨河、跨越山谷高程测量	(94)
三、中线桩水准测量 (中平测量)	(95)
四、纵断面图的绘制	(97)
第二节 横断面测量	(98)
一、横断面方向的测定	(98)
二、横断面测量方法	(99)
三、横断面图的绘制	(101)
第三节 根据纵横断面测量结果计算工程量	(101)
思考与练习题	(101)
第七章 线路工程施工测量	(103)
第一节 概述	(103)
第二节 控制点复测	(103)
一、导线控制点和路线控制桩的复测	(104)
二、导线控制点的补测和移位	(105)
第三节 路基施工测量	(105)
一、中线测量	(105)
二、高程放样测量	(107)
三、横断面放样测量	(110)
第四节 路面施工测量	(112)
一、路槽放样	(112)
二、路面放样	(112)
第五节 公路施工动态控制系统	(113)
一、公路三维空间体模型的概念	(114)
二、任一点三维坐标的计算	(114)
三、公路施工动态控制系统	(115)
第六节 桥梁、涵洞施工测量	(118)
一、桥梁施工测量	(118)
二、涵洞施工测量	(125)
第七节 隧道施工测量	(125)
一、概述	(125)
二、地面控制测量	(126)
三、竖井联系测量	(127)
四、地下控制测量	(129)
五、贯通精度分析及误差估计	(130)
第八节 管道工程施工测量	(133)
一、准备工作	(133)
二、管道施工测量	(133)
三、顶管施工测量	(134)
四、管道工程竣工测量	(135)

思考与练习题	(136)
第八章 建筑施工测量与变形观测	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 建筑场地的施工平面控制测量	(137)
一、施工控制网	(137)
二、建筑方格网	(138)
三、建筑基线	(140)
四、施工高程控制网	(141)
第三节 建筑施工测量	(141)
一、准备工作	(141)
二、建筑物矩形网的测设	(141)
三、建筑物平面位置的测设	(142)
四、基础工程施工测量	(143)
五、墙体施工测量	(144)
第四节 厂房构件的安装测量	(144)
一、柱子安装测量	(144)
二、吊车梁安装测量	(145)
三、吊车轨道安装测量	(146)
第五节 高层建筑物的竖向投测	(146)
一、吊垂球投测法	(146)
二、经纬仪投测法	(147)
三、光学垂准仪法	(147)
四、激光铅直仪法	(148)
第六节 高耸建(构)筑物的施工测量	(149)
第七节 大型复杂建筑物定位测量	(150)
一、圆弧形平面图形的定位测量	(150)
二、椭圆形平面曲线建筑物定位测量	(152)
三、双曲线形平面曲线建筑物定位测量	(155)
四、抛物线形平面曲线建筑物定位测量	(157)
第八节 建筑物变形观测的目的与精度要求	(157)
第九节 垂直位移测量	(158)
一、垂直位移控制网的建立与水准点埋设	(158)
二、变形观测点布设	(159)
三、垂直位移观测	(160)
四、垂直位移观测成果资料整理	(160)
第十节 水平位移观测	(161)
一、基准线法	(161)
二、前方交会法	(161)
三、极坐标法	(161)
第十一节 倾斜观测	(161)
一、直接测量法	(162)

二、用差异沉降法推算	(162)
第十二节 裂缝观测	(164)
第十三节 日照变形观测	(164)
第十四节 滑动式测斜仪在变形观测中的应用	(165)
一、滑动式测斜仪的主要部件及其应用	(165)
二、滑动式测斜仪的原理	(165)
三、现场测量中的几个技术问题	(167)
四、数据处理与图像	(168)
思考与练习题	(169)
第九章 3S 技术及其应用	(170)
第一节 3S 集成技术	(170)
第二节 GIS 技术	(171)
一、GIS 概念	(171)
二、GIS 的基本功能	(172)
三、GIS 迅速发展的原因	(173)
四、GIS 的应用范围	(174)
五、GIS 研究前沿	(175)
第三节 RS 技术	(177)
一、RS 的特点	(177)
二、卫星遥感系统	(178)
三、遥感影像的判读	(180)
四、遥感影像的数据处理	(187)
第四节 GPS 技术	(192)
一、GPS 定位系统	(192)
二、GPS 的定位原理和系统特点	(193)
三、GPS 技术发展现状	(195)
四、GPS 的用途	(198)
五、我国的 GPS 定位技术应用和发展情况	(199)
第五节 数字城市地理信息系统研究	(200)
一、数字城市地理空间基础框架建设的目标与任务	(200)
二、城市地理空间基础框架建设的内容	(201)
三、数字城市地理空间基础框架建设的原则与步骤	(204)
第六节 基于 GIS 的城市交通建设和管理系统	(205)
一、城市交通与 GIS 的关系	(205)
二、城市交通现代化的基本思想及其原则	(206)
三、城市交通建设与管理系统	(206)
思考与练习题	(206)
附录 测量学名词解释	(208)
主要参考文献	(225)

第一章 工程测量学及测绘新技术

第一节 工程测量学概述

工程测量学是研究各种工程建设在勘测设计、施工建设及运营管理等阶段中各项测量工作的理论、方法和技术的科学。

随着测绘技术的飞速发展，工程测量的技术面貌发生了巨大的变化，取得了很大的发展。同时，科学技术领域的新成就，即电子计算机技术、微电子技术、激光技术和空间技术等新技术的发展和运用，以及测绘技术本身的进步和各种大型建筑物及构筑物的建设工程、特种精密建设工程等不断增加，对工程测量不断提出新任务、新课题和新要求。

工程测量主要是应用大地测量和摄影测量的仪器、工具、方法以及计算和平差理论，解决工程建设中测量问题的一门应用科学，因此，它与其他学科的关系非常密切。工程测量的特点是与工程的设计、施工联系紧密；工程测量的程序从属于工程施工的程序；工程测量的精度要求与工程的性质和施工方法直接有关。因此，工程测量工作者除了应具有测量本学科的专业知识以外，还必须学习工程设计和工程施工方面的有关知识，必须掌握先进的测量技术，例如应该具有读图、识图和校核图纸的能力等，这一点，对工程测量工作者来说是不可缺少的。工程测量在一定意义上讲是测量和工程施工、工程管理、运营管理相结合的学科，只有测量的理论而没有工程建设等的实际知识，工程测量工作是很难胜任的。

第二节 工程测量学的发展

国际测量师联合会（FIG）的第六委员会称作工程测量委员会，过去它下设 4 个工作组：测量方法和限差工作组；土石方计算工作组；变形测量工作组；地下工程测量工作组。此外还设了一个特别组：变形分析与解释工作组。现在，该委员会设了 6 个工作组和 2 个专题组。6 个工作组是：大型科学设备的高精度测量技术与方法工作组；线路工程测量与优化工作组；变形测量工作组；工程测量信息系统工作组；激光技术在工程测量中的应用工作组；电子科技文献和网络工作组。2 个专题组是：工程和工业中的特殊测量仪器专题工作组；工程测量标准专题工作组。

德国、瑞士、奥地利 3 个德语语系国家自 20 世纪 50 年代发起组织每 3 年 ~ 4 年举行一次的“工程测量国际学术讨论会”。过去把工程测量划分为以下几个专题：测量仪器和数据获取；数据解释、处理和应用；高层建筑和设备安装测量；地下和深层建筑测量；环境和工程建筑物变形监测。

1992 年第 11 届讨论会的专题是：测量理论与测量方案；测量技术与测量系统；信息系统及 CAD 在建筑工程和工业中的应用。

1996 年第 12 届讨论会的专题是：测量和数据处理系统；监测和控制；在工业和建筑工程中的质量问题；数据模型和信息系统；交叉学科的大型工程项目。

从以上可见,工程测量学的研究领域既有相对的固定性,又是不断发展变化的。笔者认为,工程测量学主要包括以工程建筑为对象的工程测量和以设备与机器安装为对象的工业测量两大部分。在学科上可划分为普通工程测量和精密工程测量。工程测量学的主要任务是各种工程建设提供测绘保障,满足工程所提出的要求。精密工程测量代表着工程测量学的发展方向,大型特种精密工程建设是促进工程测量学科发展的动力。

工程测量仪器可分为通用仪器和专用仪器。通用仪器中常规的光学经纬仪、光学水准仪和电磁波测距仪将逐渐被电子全站仪、电子水准仪所替代。电脑型全站仪配合丰富的软件,向全能型和智能化方向发展。带电动马达驱动和程序控制的全站仪结合激光、通讯及 CCD 技术,可实现测量的全自动化,被称作测量机器人。测量机器人可自动寻找并精确照准目标,在 1 s 内完成一目标点的观测,像机器人一样对成百上千个目标作持续和重复观测,可广泛用于变形监测和施工测量。GPS (全球卫星定位系统) 接收机已逐渐成为一种通用的定位仪器在工程测量中得到广泛应用。将 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人连接在一起,称超全站仪或超测量机器人。它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪灵活的三维极坐标测量技术完美结合,可实现无控制网的各种工程测量。

专用仪器是工程测量学仪器发展最活跃的,主要应用在精密工程测量领域。其中,包括机械式、光电式及光机电(子)结合式的仪器或测量系统。主要特点是:高精度、自动化、遥测和持续观测。

测量目标点相对于基准线(或基准面)的偏距(垂距),称为基准线测量或准直测量。这方面的仪器有正、倒锤与垂线观测仪,金属丝引张线,各种激光准直仪、铅直仪(向下、向上)、自准直仪,以及尼龙丝或金属丝准直测量系统等。

在距离测量方面,包括中长距离(数十米至数千米)、短距离(数米至数十米)和微距离(毫米至数米)及其变化量的精密测量。以 ME5000 为代表的精密激光测距仪和 TERRAMETER LDM2 双频激光测距仪,中长距离测量精度可达亚毫米级;可喜的是,许多短距离、微距离测量都实现了测量数据采集的自动化,其中最典型的代表是钢瓦线尺测距仪 DISTINVAR,应变仪 DISTERMETER ISETH,石英伸缩仪,各种光学应变计,位移与振动激光快速遥测仪等。采用多谱勒效应的双频激光干涉仪,能在数十米范围内达到 $0.01 \mu\text{m}$ 的计量精度,成为重要的长度检校和精密测量设备;采用 CCD 线列传感器测量微距离可达到百分之几微米的精度,它们使距离测量精度从毫米、微米级进入到纳米级世界。

高程测量方面,最显著的发展应数液体静力水准测量系统。这种系统通过各种类型的传感器测量容器的液面高度,可同时获取数十乃至数百个监测点的高程,具有高精度、遥测、自动化、可移动和持续测量等特点。两容器间的距离可达数十千米,如用于跨河与跨海峡的水准测量;通过一种压力传感器,允许两容器之间的高差从过去的数厘米达到数米。

与高程测量有关的是倾斜测量(又称挠度曲线测量),即确定被测对象(如桥、塔)在竖直平面内相对于水平或铅直基准线的挠度曲线。各种机械式测斜(倾)仪、电子测倾仪都向着数字显示、自动记录和灵活移动等方向发展,其精度达微米级。

具有多种功能的混合测量系统是工程测量专用仪器发展的显著特点,采用多传感器的高速铁路轨道测量系统,用测量机器人自动跟踪沿铁路轨道前进的测量车,测量车上装有棱镜、斜倾传感器、长度传感器和微机,可用于测量轨道的三维坐标、轨道的宽度和倾角。液体静力水准测量与金属丝准直集成的混合测量系统在数百米长的基准线上可精确测量测点的

高程和偏距。

综上所述，工程测量专用仪器具有高精度（亚毫米、微米乃至纳米）、快速、遥测、无接触、可移动、连续、自动记录、微机控制等特点，可作精密定位和准直测量，可测量倾斜度、厚度、表面粗糙度和平直度，还可测振动频率以及物体的动态行为。

第三节 工程测量理论方法的发展

一、测量平差理论

最小二乘法广泛应用于测量平差。最小二乘配置包括了平差、滤波和推估。附有限制条件的条件平差模型被称为概括平差模型，它是各种经典的和现代平差模型的统一模型。测量误差理论主要表现在对模型误差的研究上，主要包括：平差中函数模型误差、随机模型误差的鉴别或诊断；模型误差对参数估计的影响，对参数和残差统计性质的影响；病态方程与控制网及其观测方案设计的关系。由于变形监测网参考点稳定性检验的需要，导致了自由网平差和拟稳平差的出现和发展。观测值粗差的研究促进了控制网可靠性理论，以及变形监测网变形和观测值粗差的区分性理论的研究和发展。针对观测值存在粗差的客观实际，出现了稳健估计（或称抗差估计）；针对法方程系数阵存在病态的可能，发展了有偏估计。与最小二乘估计相区别，稳健估计和有偏估计称为非最小二乘估计。

巴尔达的数据探测法对观测值中只存在一个粗差时有效，稳健估计法具有抵抗多个粗差影响的优点。建立改正数向量与观测值真误差向量之间的函数关系，可对多个粗差同时进行定位和定值，这种方法已在通用平差软件包中得到算法实现和应用。

方差和协方差分量估计实质上是精化平差的随机模型，过去一直仅停留在理论的研究上。实际中，要求对多种观测量进行综合处理，因此，方差分量估计已成为测量平差的必备内容了。目前，通用平差软件包中已增加了该功能，但还需要在测量规范中明确提出来。

需要指出的是：许多测量作业单位喜欢采用附和导线进行逐级加密，主要依据目前规范中有关一、二、三级导线和图根导线的规定。无疑附和导线具有许多优点，但由于多余观测少，发现和抵抗粗差的能力较弱，不宜滥用。建立一个区域的控制，首级网点采用 GPS 测量，下面最好用一个等级的导线网作全面加密。从测量平差理论来看，全面布设的导线网具有更好的图形强度，精密较均匀，可靠性也较高。

二、工程控制网优化设计理论和方法

网的优化设计方法有解析法和模拟法两种。解析法是基于优化设计理论构造目标函数和约束条件，求解目标函数的极大值或极小值。一般将网的质量指标作为目标函数或约束条件。网的质量指标主要有精度、可靠性和建网费用，对于变形监测网还包括网的灵敏度或可区分性。对于网的平差模型而言，按固定参数和待定参数的不同，网的优化设计又分为零类、一类、二类和三类优化设计，涉及到网的基准设计，网形、观测值精度以及观测方案的设计。在工程测量中，施工控制网、安装控制网和变形监测网都需要作优化设计。由于采用 GPS 定位技术和电磁波测距，网的几何图形概念与传统的测角网有很大的区别。除特别的精密控制网可考虑用专门编写的解析法优化设计程序作网的优化设计外，其他的网都可用模拟法进行设计。模拟法优化设计的软件功能和进行优化设计的步骤主要是：根据设计资料和地

图资料在图上选点布网，获取网点近似坐标（最好将资料作数字化扫描并在微机上进行）。模拟观测方案，根据仪器确定观测值精度，可进一步模拟观测值，计算网的各种质量指标如精度、可靠性、灵敏度。精度应包括点位精度、相邻点位精度、任意两点间的相对精度、最弱点和最弱边精度、边长和方位角精度。进一步可计算坐标未知数的协方差阵或部分点坐标的协方差阵，协方差阵的主成分计算，特征值计算，点位误差椭圆、置信椭圆的计算等。可靠性包括每个观测值的多余观测分量（内部可靠性）和某一观测值的粗差界限值对平差坐标的影响（外部可靠性）。灵敏度包括灵敏度椭圆、在给定变形向量下的灵敏度指标以及观测值的灵敏度影响系数。将计算出的各质量指标与设计要求的指标比较，使之既满足设计要求，又不至于有太大的富余。通过改变观测值的精度或改变观测方案（增加或减少观测值）或局部改变网形（增加或减少网点）等方法重新作上述设计计算，直到获取一个较好的结果。

在实践中，总结出了下述优化设计策略：先固定观测值的精度，对选取的网点，观测所有可能的边和方向，计算网的质量的指标，若质量偏低，则必须提高观测值的精度。在某一组先验精度下，若网的质量指标偏高了，这时可按观测值的内部可靠性指标 n ，删减观测值。 n 太大，说明该观测值显得多余，应删去；若 n 很小，则该观测值的精度不宜增加。这种根据 n 大小来删除观测值的方法称为从“密”到“疏”，从“肥”到“瘦”的优化策略。

从模拟法优化设计的整个过程来看，它是一种试算法，需要有一个好的软件。该软件除具有通用平差软件的功能外，在成果输出的多样性、直观性，在可视化以及人机交互界面设计方面都有更高要求。同时也要求设计者具有坚实的专业知识和丰富的经验。

用模拟法可获得一个相对较优且切实可行的方案，可进一步用模拟观测值作网的平差计算，同时可模拟观测值粗差并计算对结果的影响。这种方法称为数学扭曲法或蒙特卡洛法。对于一个精度、可靠性以及灵敏度要求极高的监测网或精密控制网，作上述优化设计和精细计算是十分必要的。国内在这方面的应用报道较少，多是为了安全起见，有较大的质量富余，建网费用偏高。网优化设计费用很少，所带来的效益较大，凡是较重要的工程控制网，都应作优化设计。

三、变形观测数据处理

工程建筑物及与工程有关的变形的监测、分析及预报是工程测量学的重要研究内容，其中的变形分析和预报涉及到变形观测数据处理。但变形分析和预报的范畴更广，属于多学科的交叉。

1. 变形观测数据处理的几种典型方法

根据变形观测数据绘制变形过程曲线是一种最简单而有效的数据处理方法，由过程曲线可作趋势分析。如果将变形观测数据与影响因子进行多元回归分析和逐步回归计算，可得到变形与显著性因子间的函数关系，除作物理解释外，也可用于变形预报。多元回归分析需要较长的一致性好的多组时间序列数据。

若仅对变形观测数据，可采用灰色系统理论或时间序列分析理论建模，前者可针对小数据量的时间序列，对原始数列采用累加生成法变为生成数列，因此有减弱随机性、增加规律性的作用。如果对一个变形观测值（如位移）的时间序列，通过建立一阶或二阶微分方程提