



# 工程测量学



主 编 王 健  
副主编 宋利杰 田桂娥

河北人民出版社



# 工程测量学



主 编 王 健  
副主编 宋利杰 田桂娥

河北人民出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量学 / 王健主编. — 石家庄: 河北人民出版社, 2014.8  
ISBN 978-7-202-09287-3

I. ①工… II. ①王… 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178820号

---

书 名 工程测量学  
主 编 王 健  
副 主 编 宋利杰 田桂娥

---

责任编辑 沈鸿雁  
美术编辑 吴书平  
责任校对 付敬华

---

出版发行 河北人民出版社 (石家庄市友谊北大街330号)  
印 刷 河北理工大学印刷厂  
开 本 787毫米×1092毫米 1/16  
印 张 18.5  
字 数 448 000  
版 次 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-202-09287-3/TU · 60  
定 价 35.00元

---

版权所有 翻印必究

# 内容简介

本书共分为六篇，包括总论、建筑工程测量篇、线路工程测量篇、水利工程测量篇、矿山测量篇、变形监测篇，详细介绍了建立工程控制网和施工放样的方法和要求，并分类介绍了工业与民用建筑、道路、桥梁、隧道、水利枢纽、矿山等工程建设中的具体测量工作，各篇之间既相互独立又相互联系，体现了工程测量既有共性又有个性化的特点。该书在注重基本理论、方法的基础上，又结合了一些典型工程的测量实践，并引入了新的理论和技术。

本书可作为测绘工程专业本科生及专科生的教学用书，也可作为从事测绘工作的专业技术人员的参考用书。

# 前 言

“工程测量学”是测绘工程专业的一门专业课程，它是在学习了“测量学基础”“控制测量学”“摄影测量学”等先修课程后开设的课程，内容突出实用。

工程测量的特点是不同的工程类型、规模，其测量工作的内容和要求也不尽相同，但在建设的基本顺序、基本理论、基本方法上又有很多相似之处，它们之间既相互独立又相互关联。本书针对这一特点，将共性的、基础的内容归为总论篇，将各种工程按其类型各归一篇，意义在于明确工程测量学共性和个性的内容，使学生在掌握基本理论、方法的基础上，结合各种类型工程建设的特点准确把握其测量工作的内容、方法和要求。本书在注重基本理论、方法的基础上，又结合了一些典型工程的测量实践，为了增强其实用性，尽量采用步骤化的具体方法描述测绘工作。

本书共分六篇（十八章）。第一篇为总论，主要讲述工程测量内容与发展、施工控制网建立的方法和要求、施工放样的方法和精度分析。第二篇为建筑工程施工测量，主要讲述建筑施工测量的准备工作、控制网的建立、建筑施工各环节的测量工作。第三篇为线路工程施工测量，主要讲述线路工程设计阶段的测量工作、线路曲线测设方法、道路、桥梁、地下隧道工程的施工测量。第四篇为水利工程测量，主要讲述水下地形测绘方法、河道测量、水利枢纽工程测量。第五篇为矿山测量，主要讲述矿山工程各阶段的测量工作、岩层移动与保护煤柱的留设方法。第六篇为变形监测，主要讲述变形测量的一般方法和要求、变形观测数据处理、各种工程建筑物变形观测的内容和施测方法。

参加编写的作者及分工情况如下：王健（河北联合大学），撰写第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章；宋立杰（河北联合大学），撰写第十一章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章；田桂娥（河北联合大学），撰写第十六章、第十七章、第十八章。

在本书的编写中，作者参阅和引用了大量书籍、文章及网上相关资料，在此向有关作者表示衷心感谢！虽然作者多次修改书稿，力图完善，但仍难免存在疏漏和错误，敬请读者提出宝贵的修改意见。

# 目 录

## 第一篇 工程测量总论

<b>第一章 绪 论</b> .....	3
第一节 工程测量的内容与要求 .....	3
第二节 工程测量的发展 .....	4
第三节 工程规划设计对地形图的要求 .....	8
<b>第二章 施工控制网的建立</b> .....	12
第一节 施工控制网建立的一般要求 .....	12
第二节 施工控制网精度确定的一般方法 .....	14
第三节 施工控制网平面坐标系的选择 .....	15
第四节 施工控制网的优化设计 .....	17
<b>第三章 施工放样的方法和精度分析</b> .....	22
第一节 概 述 .....	22
第二节 水平角和水平距离的放样及误差分析 .....	23
第三节 坐标法放样点的平面位置 .....	27
第四节 其他点位平面位置的放样方法 .....	31
第五节 归化法放样点位 .....	33
第六节 高程放样方法 .....	35
第七节 铅垂线放样 .....	38

## 第二篇 建筑工程测量

<b>第四章 建筑施工测量的准备工作</b> .....	43
第一节 概 述 .....	43
第二节 施工测量的准备工作 .....	43
第三节 工业厂区施工控制网的布设 .....	44
第四节 建筑方格网的建立 .....	47
<b>第五章 建筑工程施工测量</b> .....	52
第一节 建筑物定位放线和基础施工测量 .....	52
第二节 建筑结构主体施工测量 .....	54
第三节 工业建筑施工测量 .....	57

第四节	高耸建筑物施工测量 .....	61
第五节	竣工测量 .....	62

### 第三篇 线路工程测量

<b>第六章</b>	<b>线路工程设计阶段的测量工作 .....</b>	<b>65</b>
第一节	概 述 .....	65
第二节	线路初测阶段的测量工作 .....	66
第三节	线路定测阶段的测量工作 .....	69
第四节	既有线路测量 .....	75
<b>第七章</b>	<b>线路曲线测设 .....</b>	<b>77</b>
第一节	概 述 .....	77
第二节	单圆曲线的测设 .....	78
第三节	有缓和曲线的圆曲线 .....	81
第四节	偏角法测设带缓和曲线的圆曲线 .....	86
第五节	坐标法放样平面曲线 .....	89
第六节	其他类型平面曲线的测设 .....	91
第七节	竖曲线 .....	93
<b>第八章</b>	<b>道路工程施工测量 .....</b>	<b>95</b>
第一节	道路工程控制网的建立 .....	95
第二节	道路路基施工与竣工测量 .....	100
第三节	公路路面施工测量 .....	103
第四节	铁路轨道施工测量与竣工测量 .....	105
<b>第九章</b>	<b>桥梁施工测量 .....</b>	<b>107</b>
第一节	概 述 .....	107
第二节	桥梁施工控制网的建立 .....	108
第三节	桥梁基础施工测量 .....	112
第四节	桥梁墩、台及高塔柱施工测量 .....	113
第五节	桥梁架设施工测量 .....	117
<b>第十章</b>	<b>地下隧道工程施工测量 .....</b>	<b>124</b>
第一节	概 述 .....	124
第二节	地面控制测量 .....	125
第三节	地下控制测量 .....	128
第四节	贯通测量误差预计 .....	129
第五节	隧道施工测量与竣工测量 .....	133

## 第四篇 水利工程测量

第十一章 水下地形测绘 .....	141
第一节 概 述 .....	141
第二节 测深点定位 .....	144
第三节 水深测量 .....	146
第四节 水位改正和水位观测 .....	153
第五节 水深数据处理和成图 .....	155
第十二章 河道测量 .....	158
第一节 概 述 .....	158
第二节 河道测量 .....	158
第十三章 水利枢纽工程测量 .....	165
第一节 概 述 .....	165
第二节 水利枢纽建筑区的施工控制网 .....	166
第三节 水工建筑物的施工测量 .....	172

## 第五篇 矿山测量

第十四章 矿山工程测量 .....	185
第一节 概 述 .....	185
第二节 矿区控制测量 .....	186
第三节 建井工程测量 .....	193
第四节 矿井联系测量 .....	198
第五节 巷道施工测量 .....	209
第六节 贯通测量 .....	215
第十五章 岩层移动与保护煤柱的留设 .....	220
第一节 岩层与地表移动的概念 .....	220
第二节 移动角的确定及移动观测 .....	222

## 第六篇 变形监测

第十六章 变形测量的方法和要求 .....	227
第一节 概 述 .....	227
第二节 垂直位移监测网(点)的布设 .....	231
第三节 垂直位移观测 .....	235
第四节 地面倾斜测量 .....	237



第五节	水平位移观测网及观测技术	241
第六节	视准线法测量水平位移	243
第七节	引张线法测量水平位移	244
第八节	建(构)筑物主体倾斜和挠度测量	245
第九节	GPS定位技术在变形监测中的应用	247
第十节	裂缝测量	249
<b>第十七章</b>	<b>变形观测数据处理</b>	<b>250</b>
第一节	概 述	250
第二节	变形观测数据处理的基本工作	250
第三节	基准点稳定性的分析	252
第四节	回归分析原理	255
第五节	变形量的统计规律及成因分析	260
<b>第十八章</b>	<b>工程建筑物变形观测的方法和应用</b>	<b>262</b>
第一节	工业与民用建筑变形监测	262
第二节	基坑支护工程变形监测	264
第三节	水工建筑物变形监测	268
第四节	桥梁施工和运营期间的变形监测	272
第五节	地铁隧道结构变形监测	276
第六节	滑坡监测	280
第七节	高等级公路变形监测	283
<b>参考文献</b>		<b>287</b>

# 第一篇

# 工程测量总论



# 第一章 绪论

## 第一节 工程测量的内容与要求

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。可以说，任何一项工程从开始到结束都离不开测量工作，自从有了人类以后，测量工作就伴随着人类的生产实践活动。随着人类历史文化的发展和科学技术的进步，工程建设数量越来越多，规模越来越大，内容越来越复杂，对测量工作的要求越来越高，在测绘科学领域内渐渐形成了“工程测量学”这门学科。

我国的测量技术有着悠久的历史，在几千年发展中有许多关于测量的记载。例如，西晋的裴秀编写了《制图体系》，清朝康熙年间完成了世界上最早的地形图之一《皇舆全图》。新中国成立后，我国建立了全国天文大地控制网，统一了国家大地坐标系和高程系统，特别是现代科学技术的发展，极大地推动了工程测量技术的发展。传统的工程测量工作主要是采用机械和几何的方法解决，近年来，其逐渐被光学的、电子的、自动化的方法所代替。

工程测量学研究的专题很多，应用领域很广，其内容的划分方式也有多种，其中常用的划分方式是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、作业方法的性质来划分。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、建筑施工阶段、运营管理阶段，三个阶段对应的测量工作分别为“工程勘测”“施工测量”“安全监测”，现概述如下：

(1) 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。

(2) 工程建设施工阶段的测量工作。每项工程建设进入施工阶段后，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。所以这一阶段主要包括施工控制网的建立和定线放样工作两项内容。此外，还要进行施工质量控制，例如高层建筑物的垂直度、地下工程的断面监控等，有时还要进行一些竣工测量、变形观测以及设备的安装测量等工作。

(3) 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。

工程测量的内容，如果按照其服务的行业划分，它包括建筑工程测量、铁路公路测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、水利工程测量、矿山测量、三维工业测量等等。每一种工程都有其特殊性，所以为各项工程建设服务的测量工作，各有其特点与要求。而按照工程建设的三个阶段划分，不同类型的工程在同一建设阶段中的测量工作的基本原理和基本方法又有相同之处。所以本书的编写采取了“共性与个性”相结合的结构体系，共性是指各种工程建

设过程中普遍性、一般性的测量工作和方法，个性是指不同工程建设中测量工作的不同内容、方法和要求。在本书的总论部分，详细阐述了“共性”内容，主要包括施工控制网的建立方法和要求、施工放样的方法和精度分析；在后面的各篇中，分别讲述了各类工程建设过程中测量工作的特殊内容、方法和要求，这就是“个性”的内容，主要包括建筑工程测量、线路工程测量、水利工程测量、矿山测量等；在变形监测方法与应用篇，同样首先阐述“共性”内容，即常见变形监测的内容、方法、要求与数据处理，然后阐述“个性”内容，即不同工程在建设施工和运营管理阶段的变形监测工作。

工程测量学与其他测量学科的关系非常密切。例如，在勘测设计阶段，主要是建立工程控制网、测绘大比例尺地形图，完成这些工作必须掌握测量学、控制测量学、测量平差、摄影测量学等有关方面的理论和方法以及测量所用仪器的构造和使用方法。在施工建设和运营管理阶段，施工控制网的建立、工程点位的放样和变形观测等工作，很多都是建立在测量学和控制测量学基础上的。全球定位系统（GPS）已经广泛的应用到工程测量的各种工作中。现在利用摄影测量的方法测绘地形图，已经广泛地应用于工程建设的规划设计阶段中，利用近景摄影测量的方法进行工程建筑物的变形观测已经趋于成熟。

由于工程测量是直接为工程建设服务的，所以工程测量人员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。在为工程施工进行定线放样时，必须了解工程的结构，了解工程施工的步骤和方法以及施工现场的布置情况，以便确定在现场应该放样的点和线，选择合适的控制点布设位置和控制测量方案，选择合适的放样方法。测量工作者必须善于识图和读图，以便在工作中验证工程图纸的正确性，正确地计算所需的有关元素。当进行变形监测时，为了合理地进行观测点和基准点的布置，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。总之，在工程建设的整个过程中进行测量工作时，都需要有关工程的知识。工程测量的目的是为工程建设服务，工程测量的程序从属于工程勘察设计和施工的程序，工程测量的方法受施工方法的影响，工程测量的精度取决于工程建筑的限差要求。因此，从事工程测量工作的人员必须掌握相关的工程建设方面的知识，这样才能使测量工作有针对性、避免盲目。

## 第二节 工程测量的发展

随着测绘科学技术的发展，工程测量的领域不断拓宽，工程测量学科正沿着测量数据采集和处理一体化、实时化方向发展，工程测量仪器正向精密化、自动化、智能化发展，工程测量产品正向多样化和社会化发展。

### 一、工程测量的仪器

#### （一）工程测量的通用仪器

施工测量的条件复杂，精度要求高，工作量大，因此施工测量仪器发展的方向是自动化、智能化。具体表现为以下几个方面：

（1）精密测角仪器已由传统的光学仪器发展到光电仪器。光电测角仪器不但实现了数据的自动获取、改正、传输、显示和存储，而且实现了目标自动照准，测角精度与光学仪器相当甚至更高。如 T2000、T3000 电子经纬仪不但采用了动态测量原理，而且其测角精度可达 $\pm 0.5''$ 。精密距离测量仪器发展迅速，光电测距仪与传统的距离丈量相比，其自动化程度

与测距精度也越来越高。光学水准仪逐渐被能自动读数、记录、数据处理的电子水准仪代替。

(2) 电子全站仪发展非常迅速，它实现了自动测角、测距、自动记录、计算及存储功能。全站仪能够利用其高精度的测角、测距功能提供三维坐标测量系统 (STS)，如 Leica 公司推出的 TC2003，其测角精度为  $\pm 0.5''$ ，测距精度为  $1\text{mm}+10^{-6}\times D$ 。

(3) 陀螺经纬仪可直接测定方位角，主要用于为地下工程测量提供方位角。陀螺全站仪逐渐发展和普及起来，相对于传统的陀螺经纬仪，它有定位精度高、一次定位时间短、功能更加强大等优点。

(4) 数字摄影测量系统。数字摄影测量系统是利用近景摄影测量原理，通过两台高分辨率数码相机对待测物同时拍摄，从而获得物体的数字影像，再经过对图像的处理和计算后得到精确的 X、Y、Z 坐标。数字摄影测量的最新进展是采用高分辨率的数码相机提高测量精度，同时可利用条码标志来实现控制点编号的自动识别，采用专用纹理投影可取代物体表面的标志设置，从而使数字摄影测量技术向着完全自动化方向发展。

(5) 在全球定位系统 GPS 仪器方面，实时动态 GPS 技术的不断发展，使得 GPS 技术的应用领域不断拓宽。用 GPS 进行工程测量具有精度高，速度快，不受时间、气候条件和通视条件的限制，并可提供统一坐标系中三维坐标信息等优点，因此在工程测量中得到了广泛应用。例如，在城市控制网、工程控制网的建立与改造中 GPS 技术得到了普遍应用，在地形测量、地籍测量、石油勘探、高速公路及铁路建设、通信线路、隧道贯通、变形测量、滑坡监测、地壳形变监测及地震监测中也广泛使用 GPS 技术。

(6) 将 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人连接在一起，称为超站仪，它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪的三维坐标测量技术完美结合。CCD 传感器与电子全站仪结合，构成摄像全站仪，可实现面状数据的快速获取。

## (二) 工程测量的专用仪器

专用仪器是工程测量学仪器发展的活跃领域，主要应用在精密工程测量领域，包括机械式、光电式及光机电 (子) 多传感器集成式仪器或测量系统。

(1) 用于建立水平或竖直的基准线或基准面，确定待测点相对于基准线 (或基准面) 的偏距 (或垂距) 的测量，称为基维线测量或准直测量。这方面的仪器有正锤、倒锤、引张线仪、各种激光准直仪、铅直仪 (向下、向上)、尼龙丝或金属丝准直测量系统等。

(2) 在距离测量方面，出现了含中长距离 (数百米至数十千米)、短距离 (数米至数十米) 和微距离 (毫米至数厘米) 的精密测量仪器。ME5000 精密测距仪和 TERRA-METER-LDM2 双频激光测距仪，能在中长距离测量中达亚毫米级精度。许多短距离、微距离测量都实现了测量数据采集的自动化。采用多普勒效应的双频激光干涉仪，能在数十米范围内达到  $0.1\mu\text{m}$  的计量精度。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。

(3) 高程测量方面，显著的发展是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，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。

(4) 倾斜测量可用于确定被测对象 (如桥、塔) 相对于水平或铅直基准线的挠度曲线。各种机械式测斜仪、电子测斜仪都向着数字显示、自动记录和灵活移动等方向发展，

其精度达到微米级。

(5) 三维激光扫描仪可对被测对象在不同位置扫描，快速地获取物体在给定坐标系下的三维坐标，通过坐标转换和建模，可输出被测对象的各种图形和数字模型。车载、机载激光扫描仪将成为未来地面数据采集的主要手段。

(6) 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轨道前进的测量车，测量车上装有棱镜、倾斜传感器、长度传感器和微机，可同时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，工程测量仪器具有高精度、快速、遥测、无接触、可移动、连续自动记录、微机控制等特点，可进行精密定位测量、准直测量等，可测量坐标、偏距、倾斜度、厚度、表面粗糙度和平直度，还可测量振动频度以及物体的动态变化等。

## 二、工程测量的技术方法

### (一) 工程测量中的地形图测绘

在工程规划设计阶段所用的地形图中，有时可以根据工程的规模直接使用 1:1 万至 1:10 万的国家基本地形图，有时还需要专门测绘 1:2000 到 1:500 的区域性或带状地形图。大型工程的大比例尺地形图测绘，一般采用航空摄影测量的模拟法、解析法或全数字化法测图，而对于一般工程的地形图测绘，则大多采用地面数字成图法测绘。水利工程开发建设中，有时需要进行水下（含江、河、库、湖、海等）地形测绘和各种纵横断面图测绘。

### (二) 工程控制网的布设及优化设计

工程控制网分为测图控制网、施工控制网、变形监测网和安装控制网，它们不同于国家和城市控制网，在选点、埋石、观测方案设计、质量控制、平差计算、精度分析等方面都具有其自身的特点。目前，除特高精度的工程专用网和设备安装控制网外，绝大多数工程首级控制网都采用 GPS 方法建立。对于各种精密工程中的施工控制网、变形监测网以及安装控制网，都应该进行网的优化设计。优化设计涉及坐标系的确定、基准的选择、仪器与方法的选取、网的精度、可靠性、灵敏度和建网费用等问题。

### (三) 施工放样技术方法

对建筑物的施工放样（包含机器和设备的安装放样）可归纳为点、线、面、体的放样。点放样是基础，放样点必须满足特定的条件，例如在一条给定的直线或曲线上、在已知曲面上且空间形状符合设计要求。点位放样一般采用方向交会法、距离交会法、方向距离交会法、极坐标法、偏角法、投点法等。除常规的光学及电子经纬仪、水准仪、全站仪外，GPS 技术经常用于工程的施工放样、导航定位和建筑物构件的安装定位。机器设备的安装往往需要达到计量级精度，为此，往往需要研制专用的测量仪器、工具和专门的测量方法。施工放样的工作量很大，目前施工放样朝着一体化、自动化方向发展。

### (四) 工程的变形监测分析和预报

工程建筑物的变形监测、相关的灾害监测分析和预报是工程测量学的重要研究内容。变形监测网的布设和优化设计较其他工程控制网更加复杂：网的精度愈高愈好，需要具有更高的可靠性和灵敏度；应针对精度、可靠性以及灵敏度作网的优化设计计算；还要

确定所使用的仪器、网的等级、观测周期和观测时间等。变形监测方法几乎包括了全部的工程测量技术，除常规的仪器和方法外，还要大量地使用各种传感器和专用仪器。

### 三、工程测量的数据处理

随着计算机科学技术的不断发展，工程测量的数据处理正在逐步趋于自动化。主要体现在对各种工程控制网的整体平差、控制网的优化设计、变形监测数据的处理和结果分析等方面。

#### （一）工程测量学中的测量平差理论

最小二乘法广泛应用于测量平差。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和随机模型误差诊断；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。方差和协方差分量估计是通过对观测值的权迭代计算精化平差的随机模型，实际中，要求对多种观测进行综合处理，其已成为测量平差的必备内容。

#### （二）变形观测数据处理

变形观测数据处理，首先是对监测网周期观测值的处理。其中，参考点稳定性分析，目标点位移量计算，变形模型的建立、检验以及参数估计是几何变形分析的重要内容。其次是对目标点上的时间序列进行数据处理，包括多元线性回归分析、时间序列分析等方法。对周期性变形还可采用时间序列频谱分析法，对变形体的动态变化可用状态方程与观测方程描述和递推的卡尔曼滤波法。这种数据处理方法建立在大量变形观测值的基础之上，属于统计分析法。

另一种基于受力和变形之间函数关系的分析方法称为确定函数法，它是变形的一种物理解释方法。根据变形体的物理力学参数和边界条件，常采用有限元法解算位移场的动力微分方程，计算在外力作用下变形体离散结点上的位移值，与实测值比较，可以反演物理学参数和改进动力微分方程模型。如果用低阶的、简化的、在数学上可解的动力学方程来描述变形体系统的运动，则要采用系统论方法求解并研究解空间的特征及解的拓扑结构，这种方法可以更深刻地描述系统的变化过程和机理。用系统论方法作为指导，基于精确完整的监测数据，以几何分析为基础，与物理解释相结合，可以对变形体的静态、准静态、运动态和动态模型作确切的描述，能满足工程安全对变形分析预报的要求。变形分析预报也包括对变形观测成果的整理和图表输出等内容。

### 四、工程测量的实践

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产生和发展起来的。到近代，随着工程建设的迅速发展，工程测量学得到了快速的发展。20世纪50年代，世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道、城市地铁等工程中对工程测量提出了一系列要求，促进了工程测量的发展；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，都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，如核电站、摩天大楼、南北极站、太空站、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、高大建筑物变形观测、文物保护等方面，都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。

大型特种精密工程建设对测绘提出的愈来愈高的要求是工程测量学发展的动力，下面列举几个国内有关工程测量的实例。长江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，其监测规模庞大、项目非常多，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，监测精度达到亚毫米级。该工程用地面方法建立的变形监测网，最弱点精度优于  $\pm 1.5\text{mm}$ 。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。

### 第三节 工程规划设计对地形图的要求

在工程建设的规划设计阶段，必须对工程所在地的地形、地质和水文地质条件等有充分的了解，为此要进行勘察工作，其中测绘工作主要是地形图的测绘。工程建设的规划设计通常可分选址、初步设计和施工设计 3 个阶段。各阶段的目的及任务不同，内容也有所不同，而就与测绘工作的关系来说，其各设计阶段涉及地域的大小不同，对地形信息详细程度和精度的要求不同，因而各设计阶段所需地形图的比例尺的大小就不同。在选址和初步设计阶段一般使用 1:5000 至 1:10 万的地形图，我国大部分地区已测制了比例尺为 1:1 万至 1:5 万的地形图，在选址和初步设计阶段应尽量利用已有的地形图。在施工设计阶段需要详细设计各建筑物的细部，要求更大比例尺的地形图，如比例尺为 1:500 至 1:2000 的地形图，这些地形图通常是按照设计需要的范围实地进行测绘。

测绘资料要满足工程建设规划设计的需要，其主要质量标准有：地形图的精度、比例尺、测绘内容的取舍适度等。要合理解决这些问题，使得既能充分地满足规划设计的需要，又能使测绘工作经济合理，这就要根据设计工作对地形资料的需求情况进行分析，制订测绘计划。

#### 一、水利枢纽工程规划设计对地形图的要求

在水工建筑物（例如拦河坝、水闸、船闸、港口码头等）的规划设计之初，首先应该对一条河流或一个流域有一个综合开发利用的全面规划，进行梯级开发，合理地选择水利枢纽的位置和分布，以使其在发电、航运、防洪及灌溉等方面都能发挥最大的效益。这时应该有全流域的比例尺为 1:1 万至 1:10 万的地形图，以及水面和河底的纵断面图，以便研究河谷地貌的特点，探讨各个梯级中水利枢纽的水头高低、发电量大小、回水分布情况以及流域的面积与水库的库容等，并确定各主要建筑物的形式和建造的先后次序。

拦河坝是水利枢纽中的一项主要工程，坝址的选择主要决定于地形和地质条件，河谷最窄而岩层良好的河段是最可能建坝的地方。建坝以后，在河流的上游形成水库。水库的库容与淹没面积的大小取决于地形与蓄水高度。为了进行水库的设计，需要比例尺