



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

应用工程测量学

主 编 胡振琪
副主编 王家贵 余学祥

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

应用工程测量学

主 编 胡振琪

副主编 王家贵 余学祥

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书针对快速经济发展中工程建设对测量工作提出的新要求和测绘新技术的发展,介绍了工程测量学的概念、内涵与发展,阐述了工程建设中的施工放样、工程控制网、地形图测绘、建筑施工、线路、桥梁和水利等基本的工程测量技术,并从矿山建设工程的实际需要出发介绍了矿山地面工程测量、变形测量、设备安装测量和露天矿测量等技术,同时对日益发展的土地利用工程中的测量技术进行了论述。

本书适于高等学校测绘工程专业的本科生教材,也可作为大专院校、科研与规划设计单位有关测绘、建筑、采矿、土地资源管理、国土整治等领域的师生和工程技术人员使用或参考。

图书在版编目(CIP)数据

应用工程测量学/胡振琪主编. —北京:煤炭工业出版社, 2008. 1

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3233-3

I. 应… II. 胡… 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 (2007) 第 186946 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 787mm×960mm^{1/16} 印张 24^{1/2}
字数 509 千字 印数 1—3,000
2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
社内编号 6034 定价 54.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

工程测量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，是测绘科学与技术在国民经济和国防建设中的直接应用，是来自于生产实践并服务于生产实践的一门应用科学。工程测量是直接为工程建设服务的，它的服务和应用范围包括城建、地质、铁路、交通、房地产管理、水利电力、能源、航天和国防等各种工程建设部门。随着我国国民经济持续快速发展，各种工程建设不断对测量工作提出新的要求，同时现代科学技术和测绘新技术的发展，给直接为经济建设服务的工程测量带来了严峻的挑战和极好的机遇。特别是道路、桥梁、矿山、工厂、土地利用等工程建设规模越来越大、要求越来越高，3S 技术（全球定位系统 GPS、地理信息系统 GIS 和摄影测量与遥感 RS）以及数字化测绘和地面测量先进技术的快速发展，使工程测量的手段、方法和内涵产生了深刻的变化，工程测量的服务领域在进一步扩展。

尽管已有若干部工程测量学方面的教材和专著，有的侧重于理论，有的侧重于道路、桥梁、石油等某方面的工程建设。对矿山建设和土地利用方面的工程测量涉及较少，因此我们六所煤炭高校的教师，面对矿山建设和相关工程测量发展的新要求以及煤炭高校发展的需求，试图编写一部适宜矿山高校测量专业应用型人才培养需要的工程测量学教材，由于侧重于应用性，我们将其称之为《应用工程测量学》。本书除了介绍一般工程测量学教材中都介绍的施工放样、工程控制网、地形图测绘、建筑施工、线路、桥梁和水利等工程测量技术以外，增加了矿山地面工程测量、变形测量、设备安装测量、露天矿测量和土地利用工程测量等，并试图将新技术和新方法溶入各种工程测量技术的介绍之中，使之更系统、更实用。对于地下工程测量（含矿山测量）将有专门的教材介绍，在本书中就不赘述。

本书由中国矿业大学（北京）胡振琪教授担任主编，辽宁工程技术大学

的王家贵教授和安徽理工大学的余学祥教授担任副主编。全书共有 12 章，具体分工是：第 1 章，胡振琪、赵艳玲；第 2 章，陈俊杰；第 3 章，余学祥；第 4 章，王家贵；第 5 章，陈俊杰；第 6 章，余学祥；第 7、8 章，胡海峰；第 9、10 章，刘尚国；第 11 章，王家贵；第 12 章，赵艳玲、胡振琪。

由于我们的水平有限，难免有不足和错误之处，欢迎批评指正。

胡振琪

2007 年 11 月

目 次

0 绪论	1
0.1 工程测量学的内容及特点	1
0.2 工程测量学的作用及其与相邻学科的关系	5
0.3 工程测量学的发展概况	7
1 工程施工放样的基本方法及精度分析	15
1.1 工程建设施工放样的任务及内容	15
1.2 建筑限差及放样的精度要求	16
1.3 传统的地面测量技术方法	20
1.4 全站仪、GPS 在工程放样中的应用	31
2 工程控制网的布网理论	35
2.1 工程测量控制网的参考基准	35
2.2 工程测量控制网的质量标准	39
2.3 工程测量控制网的优化设计	45
2.4 施工测量控制网的建立	49
2.5 现代地面测量技术在工程测量控制网建设中的应用	53
3 工程建设中地形图的测绘	71
3.1 工程建设各阶段地形图的作用	71
3.2 大比例尺地形图的精度	72
3.3 勘测设计阶段大比例尺数字测图	77
3.4 工矿区场地现状图的测绘	81
3.5 水下地形测量	83
4 建筑施工测量	91
4.1 建筑工程测量的任务和内容	91

4.2	场地平整测量	92
4.3	工业建筑的施工测量	95
4.4	圆形建筑物的施工测量	106
4.5	高层建筑施工测量	108
4.6	民用建筑施工测量	115
5	线路工程测量	121
5.1	线路工程概述	121
5.2	铁路线路测量	124
5.3	管线工程测量	151
5.4	隧道施工测量	162
5.5	曲线测设	176
5.6	全站仪、GPS在线路工程放样的应用	186
5.7	数字地面模型在线路勘察设计中的应用	191
6	矿山地面工程测量	198
6.1	概述	198
6.2	井筒中心与井筒十字中线的标定	199
6.3	矿区工业场地的平整测量	203
6.4	特殊凿井工程测量	205
6.5	矿区地表沉陷观测	213
6.6	立井井筒延深时的测量工作	224
7	桥梁及水利水电工程测量	238
7.1	桥梁及水利枢纽工程概述	238
7.2	桥梁工程施工测量	242
7.3	水利枢纽工程施工测量	247
8	变形测量与数据处理	256
8.1	变形与变形监测	256
8.2	变形监测方案的确定	260
8.3	变形监测点与监测网布设	267
8.4	建(构)筑物变形监测	279
8.5	滑坡观测	288

8.6	变形监测网的稳定性检验与分析	292
8.7	变形监测数据处理与分析	304
9	设备安装测量	315
9.1	建筑施工中的设备安装与检校测量	315
9.2	矿井提升设备安装时的测量工作	326
9.3	工业测量系统在设备安装与检测中的应用	340
10	露天矿测量	353
10.1	露天矿控制测量	353
10.2	露天矿采剥场测量	359
10.3	露天矿排土场测量	364
10.4	露天矿矿藏储量测量与管理	366
10.5	露天矿边坡稳定监测	369
10.6	GPS 与 GIS 用于露天矿卡车调度系统	372
11	土地利用工程测量	374
11.1	土地利用工程测量概述	374
11.2	土地利用工程规划设计阶段的测量工作	377
11.3	土地利用工程实施中的测量工作	380
11.4	土地利用工程竣工验收阶段的测量工作	381
	参考文献	383

0 绪 论

0.1 工程测量学的内容及特点

0.1.1 工程测量学的概念

测量学是一门古老的科学，它的兴起和发展与人类征服自然、改造自然的工程建设密不可分。其发展历史可追溯到公元前 14 世纪，当时埃及人为划定因尼罗河水泛滥而淹没的土地边界，进行过土地边界的测定。我国早在四千多年前夏禹治水时，就已有勘测情况的记录。

工程测量学是测绘科学与技术的重要分支，目前有多种定义，概括来说有以下几种：

定义一：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。其中各种工程包括：工业建设、城市建设、交通工程、水利电力工程、地下工程、管线工程、矿山工程等。规划设计、施工建设和运营管理为一般工程建设的划分阶段。

定义二：工程测量学主要研究在工程、工业和城市建设以及资源开发各个阶段所进行的地形和有关信息的采集和处理、施工放样、设备安装、变形监测分析和预报等的理论、方法和技术，以及研究对测量和工程有关的信息局域性管理和使用的学科。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。

定义三：工程测量学是研究地球空间具体几何实体测量描绘和抽象几何实体测设实现的理论、方法和技术的一门应用性学科。具体几何实体指一切被测对象，包括存在的、已建成的各项工程及其与工程有关的目标。抽象几何实体指一切设计的但尚未实现的、未建成的各项工程。

上述三个定义各有侧重，定义一易于理解；定义二更具体、准确，范围大；定义三更加概括、抽象和科学，被许多教材采用。总的来说，工程测量学主要包括以工程建筑为对象的工程测量和以机器设备为对象的工业测量两大部分，主要任务是为各种服务对象提供测绘保障，满足它们所提出的各种要求。

0.1.2 工程测量学的内容

1. 按工程建设阶段划分

按工程建设的规划设计、施工建设和运营管理三个阶段，工程测量分为工程勘测、施

工测量和安全监测，这三个阶段对测绘工作有不同的要求。

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。在这个阶段的测量工作，主要是提供各种比例尺的地形图、纵横断面图，另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探及水文测验等进行测量。对于重要的工程（例如某些大型特种工程）或在地质不良的地区（例如膨胀土地区）进行建设，则还要对地层的稳定性进行观测。这些都必须由测量工作来提供或到实地定点、定线。

2) 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（即定线放样），作为实地修建的依据。为此，要根据工地的地形、工程的性质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转移到实地。此外，还要进行施工质量控制，这里主要是对几何尺寸（如高层建筑物的竖直度、地下工程的断面等）进行监控。为监测工程进度，还要进行开挖与建筑方量测绘、工程竣工测量、变形监测及设备的安装测量等。

3) 运营管理阶段的测量工作

工程竣工后，在运营期间，为了了解建筑物的安全情况，确认设计是否合理，验证设计理论是否正确，需要对工程建筑物的水平位移、沉陷、倾斜及摆动等进行定期或持续地监测。这些工作，就是通常所说的变形监测。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。为了对工程进行有效地管理、维护，为了日后扩展的需要，还需建立工程信息系统。

2. 按服务对象划分

工程测量是为工程建设服务的，服务对象众多，所以它所包括的内容非常广泛。按服务对象可分为：工业与民用建筑工程测量，铁路、公路、管线等线路工程测量，水利工程测量，隧道及地（水）下工程测量，矿山测量及国防工程测量等。随着经济的发展及工程种类的增多，其服务领域也将更为广泛。对于不同的工程，具体内容有所不同，现就典型的4种工程分述如下：

1) 建筑工程测量

建筑工程测量是指建筑工业与民用建筑工程在规划设计、施工建设和运营管理过程中的测量工作。具体工作如下。

(1) 测绘地形图。在勘测设计阶段，为了给建筑物的具体设计提供地形资料，需在建筑区开展测绘地形图、纵横断面图、定点取样等测量工作。由于其测量工作只是在很小的区域进行，因此作业过程中可以不顾及地球曲率影响和正常高的改正，只需按常规作业程序进行即可满足精度要求。

(2) 使用地图。建筑物的设计方案力求经济、合理、实用、美观、环保。需要应用地图制图学的理论和方法在图上测量距离、角度等要素,确定建筑物在图上的具体位置,并为标定到现场提供测量数据。

(3) 工程放样。建筑物进入施工阶段就需要根据它的设计图纸,按照设计要求,通过测量的定位、放线和标高测量,将其平面位置标定到施工的作业面上。另外,在施工过程中还要随时对建筑物进行安全监测,为施工提供依据并指导施工。

(4) 竣工测量。建筑物竣工后,需测绘竣工图及其他点、线位置,作为验收的依据。

(5) 运营管理中测量工作。交付使用后,还需对其进行沉降、水平位移、倾斜、挠度、裂缝观测,从而监视该建筑物在各种外界因素影响下的安全性和稳定性,为建筑物的安全使用提供测绘保障。

2) 线路工程测量

线路工程包括公路、铁路、输电线、输油线路、灌渠及各种地下管线等工程。各种线路工程在规划设计、施工建设和营运管理阶段的测量工作统称为线路工程测量。

(1) 规划设计阶段的测量工作。线路初测是根据计划任务书确定的修改原则和线路的基本走向,通过对几条有比较价值的线路进行实地勘测,从中确定最佳方案,为编制初步设计文件提供资料。测量的主要内容有控制测量、高程测量、纵横断面测量、地形测量。线路定测是根据批准的初步设计文件和确定的最佳线路方向及有关构造建筑物的布设方案,将图纸上初步设计的线路和构筑物位置测设到实地,并根据现场的具体情况,对不能按原设计测设之处作局部线路调整,为施工图提供设计资料。它包括中线测量、高程测量、纵横断面测量。

(2) 施工建设阶段的测量工作。在施工建设阶段,首先要检测设计阶段所建立的平面、高程控制桩位,在检测的基础上进行线路中线的恢复。另外,还要进行路基放样、边坡放样、建(构)筑物的定位放样等工作。线路工程竣工后,为了检查工程质量是否符合要求,需进行竣工测量。其主要是在控制测量和高程测量的基础上进行中线位置和里程桩的标定。测绘线路中心线纵断面和路基横断面图,在大型建(构)筑物附近设置平面和高程控制点,供以后工程养护管理使用。

(3) 运营管理阶段的测量工作。在工程运营过程中还需对路面、构筑物、护坡进行沉降和位移观测,为线路安全运营提供可靠保障。

3) 水利工程测量

水利工程测量在规划设计阶段的主要任务是为水工建(构)筑物设计提供必要的地形资料和其他测量数据。因而,在为水利枢纽工程设计提供地形图资料时,应根据具体情况确定相应的比例尺。由于为水利枢纽工程提供的地形图是一种专业性用图,在测量精度、地形图所表示的内容方面都有特殊要求。一般来说,与国家基本图相比,平面位置精度要求较松,而对地形精度要求有时较严。

在水利枢纽工程的施工建设期间，测量工作的主要任务是按照设计的意图，将设计图纸上的建筑物以一定的精度要求测设于实地。此外，在施工过程中，有时还要对地基及水工建筑物本身或基础进行施工中的变形观测，以了解建筑物的施工质量，并为施工期间的科研工作收集资料。

在工程竣工或阶段性完工时，要进行验收和竣工测量。在水利枢纽中，大坝是最重要的建筑物，因此要定期或不定期地对其进行变形观测，我们常把用工程测量的方法观测水工建筑物几何形状的空间变化的测量工作称为外部变形观测。包括水平位移观测、垂直位移观测、挠度观测和倾斜观测等。

4) 矿山测量

通常将配合地质找矿、矿物开采工作的各种测量工作统称为地质矿山工程测量。其中配合地质技术找矿的测量工作叫地质勘探工程测量，配合地球物理勘探和地球化学勘探技术找矿的测量工作叫物探测量，配合矿物开采的测量工作叫矿山工程测量或地下工程测量。

其主要工作有以下几个方面内容：

(1) 按地质勘察工作的需要，提供矿区的控制测量和各种比例尺的地形图等基本测绘资料。

(2) 根据地质勘探工程的设计，在实地定点、定线，提供工程的施工位置和方向，指导地质勘探工程的施工。

(3) 及时准确地测定已竣工工程的坐标和高程，为编写地质报告和储量计算提供必要的测绘数据和资料。

(4) 在矿山设计、施工和生产阶段测绘各种大比例尺地形图，进行建（构）筑物的放样、设备的安装测量、线路测量等工作，生产时随时需要进行巷道标定与测绘、储量管理和开采监督、岩层与地表变化的观测与研究、露天矿边坡稳定性观测与研究等。

3. 按测量任务划分

按测量任务划分，工程测量包括图形测绘、工程控制网布设、施工放样、变形监测等。

1) 图形测绘

图形测绘主要包括地形图、竣工图和各种纵横断面图测绘。在工程规划设计中所用的地形图比例尺一般较小，根据工程的规模可直接使用 $1:10\,000 \sim 1:100\,000$ 的国家基本地形图。对于一些大型工程，往往还要专门测绘 $1:2\,000 \sim 1:5\,000$ 的区域性或带状性地形图。在施工建设和运营管理阶段，往往需要测绘 $1:500 \sim 1:1\,000$ 乃至更大比例尺的地形图或专题图。此外，还包括水下（含江、河、库、湖、海等）地形图测绘。在兴建新的、现代化的工业与民用建筑或扩建、改建原有工业与民用建筑运营管理的过程中，往往需要进行工程竣工图的测绘，目的是使设计、施工和生产管理人员掌握工程内部现有全部建筑物的平面与高程位置关系、设计要素的现状及场地地形地物的情况。尤其是对于线路

工程,需要绘制纵横断面图,以把握带状地形的变化,为工程设计提供依据。

2) 工程控制网布设

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,它们不同于国家基本网和城市等级网,在选点、埋标、观测方案设计、质量控制、平差计算、精度分析,以及其他与之相关的数据处理等方面都具有自身的鲜明特色。目前,除特高精度的工程专用网和设备安装控制网外,绝大多数首级工程控制网都可采用 GPS 定位技术来建立。如何将现代卫星测量技术与地面测量技术相结合、取长补短显得尤为重要。

3) 施工放样

将设计的抽象的几何实体放样到实地,成为具体几何实体所采用的测量方法和技术称为施工放样,机器和设备的安装也是一种放样。放样可归纳为点、线、面、体的放样,其中点放样是基础。放样与测量的原理相同,使用的仪器和方法也相同,只是目的不一样。施工放样的工作量很大,因此,施工放样一体化、自动化显得特别重要。

4) 工程的变形监测分析和预报

变形监测几乎包括了全部的工程测量技术,除常规的仪器和方法外,大量地使用各种传感器和专用仪器,变形观测数据的处理涉及工程、地质、水文、应用数学、系统论和控制论等学科,属于多学科的交叉领域,是变形分析和预报的基础。

此外还有工程测量的通用和专用仪器、误差及平差理论。

0.1.3 工程测量的特点

工程测量是在测量学基础上发展起来的,因此它与其他测量学科的关系非常密切。如利用航测图作为线路选线设计的依据已成为行之有效的方法,近景摄影测量则可用于观测水流的形态和构筑物的变形等。

工程测量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,因施工对象、工程性质、作业程序和条件的不同,工程测量具有自身的特点。

首先,控制测量有不同的精度要求。控制测量的精度要求和施测方法均按统一的规范与规程进行,而工程测量控制网的精度取决于工程建设的性质,一般其精度远高于测图控制网的精度。

其次,工程测量具有专用的测量仪器(如变形观测中的引张线、液体静力水准仪等),并且其控制点的点位及标志的构造有其特殊之处(如倒垂线设置等)。

再次,工程测量较之常规测量时间性强、数据多、作业环境复杂等。

0.2 工程测量学的作用及其与相邻学科的关系

工程测量学是测绘科学技术在国民经济建设中的直接应用,与国民经济建设息息相关。

在国民经济和社会发展规划中,测量信息是最重要的基础信息之一。各种规划和地籍管理,首先要有地形图和地籍图。另外,在各项工农业基本建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器的发射,要保证其精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学实验方面,诸如空间科学技术的研究,地壳的变形、地震的预报等都要应用测绘资料。即使在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

工程测量学与测绘学及其他学科课程之间有密切的关系。大地测量学是工程测量学的理论基础,主要包括:几何大地测量中的椭球体部分,国家控制网的建立和应用;物理大地测量学中大地水准面、重力异常、垂线偏差等内容;卫星大地测量学中的卫星轨道运动、GPS定位原理及其应用等。在工程规划设计阶段,常常需要用到国家中小比例尺的地形图系列;建立工程或专题信息系统,必须以各种比例尺的数字或电子地图为基础地理信息;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;近景摄影测量方法在特殊情况下的地形图测绘、变形监测、三维工业测量、文物保护、公安侦破、医疗体育等方面被广为采用;工程竣工测量与地籍测量和城市基本图测绘有密切关系。所以,工程测量工作者必须具备大地测量学、地图制图学、摄影测量与遥感、地理信息系统以及地籍测量与土地管理方面的有关知识。误差理论、测量平差、数理统计是工程控制网及变形观测数据处理的基础,与之相关的还需要最优化设计理论、数值计算方法、线性代数等方面的知识。

高等数学中的级数、微积分、微分方程,物理学中的电磁波传播、力学、光学等内容在工程测量学中也应用得很普遍;工程测量专用仪器及测量自动化则要求具备光、机、电(子)以及传感器方面的基础知识。

工程测量的服务对象是各种工程,因此必须具备有关土建工程、机械工程、工程地质、水文地质和环境地质方面的知识,对变形作物理解释时需要材料力学、结构力学的有关知识,对变形分析与预报时还涉及现代系统论乃至非线性科学方面的有关理论。

毫无疑问,工程测量学中大量的数据处理、图形图像处理、建立信息系统,以及基于知识的专家系统,都离不开计算机科学与技术方面的知识,要有一定的软件设计和编程能力,具有计算机软硬件和网络方面的知识。工程测量工作者不仅需要学习和掌握相邻学科和交叉学科的知识,还要善于与相邻学科和交叉学科的专业人员一道工作。

最后,值得指出的是,随着空间技术、通信技术、信息技术、计算机技术的飞速发展,人类进入了信息时代。数字地球的建立和应用,地球村概念的出现,地球上人们相互往来日益增多,信息、技术和经验交流日益迫切,测绘成为信息产业中的地理信息产业。为了加强国内外的学术交流,工程测量工作者要有较好的人文管理方面的知识,还要学一

至两门外语,具有较好的听、说、阅读理解乃至思维能力。第一外语最好是英语,第二外语应首选德语或俄语。

0.3 工程测量学的发展概况

0.3.1 工程测量学发展简史

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(Engineering Surveying Engineering Geodesy)。

早在公元前 27 世纪的埃及大金字塔,其形状与方位都很准确,这说明当时就已有放样的工具和方法。我国早在 4000 多年前的夏商时代,为了治水就开始了水利工程测量工作。司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述:“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。”这里所记录的就是当时的工程勘测情景,准绳和规矩就是当时所用的测量工具,准是可揆平的水准器,绳是丈量距离的工具,规是画圆的器具,矩则是一种可定平,可测长度、高度、深度和画圆、画矩形的通用测量仪器。早期的水利工程多为河道的疏导,以利防洪和灌溉,其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子领导修建的都江堰水利枢纽工程,曾用一个石头人来标定水位,当水位超过石头人的肩时,下游将受到洪水的威胁,当水位低于石头人的脚背时,下游将出现干旱。这种标定水位的办法与现代水位测量的原理完全一样。北宋时沈括为了治理汴渠,测得“京师之地比泗州凡高十九丈四尺八寸六分”,是水准测量的结果。1973 年,从长沙马王堆汉墓出土的地图包括地形图、驻军图和城邑图三种,不仅所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、内容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,这与当时测绘技术的发达分不开。

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划分测量。我国的地籍管理和土地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。到了明朝洪武四年,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,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的贡献。在国外,意大利都灵保存有公元前 15 世纪的金矿巷道图。埃及也有公元前 13 世纪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,专门论述了开采中

用罗盘测量井下巷道的一些问题。

工程测量学的发展也受到了战争的促进。我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。修建中应用了测量工具进行地形勘测、定线测量和隧道定向开挖测量。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。中华民族的伟大象征——万里长城修建于秦汉时期，这一规模巨大的防御工程，从整体布局到修筑，都要进行详细的勘察测量和施工放样工作。

工程测量学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，工程测量学才受到人们的重视，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，使工程测量学获得了飞速发展。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，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，测量对象不再仅限于地面，而且深入地下、水域、空间和宇宙，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（电视发射塔、冷却塔）变形观测，文物保护，乃至在体育、医学、法学上，都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。1964 年国际测量师联合会为了促进和繁荣工程测量，成立了工程测量委员会（第六委员会），从此工程测量学在国际上作为一门独立的学科开展活动。

现代工程测量已经远远突破了为工程建设服务的狭窄概念，而向所谓的“广义工程测量学”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”。从工程测量学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，它的发展始终与生产力水平相同步，并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的愈来愈高的需求，如举世瞩目的长江三峡水利枢纽工程，溪洛渡、向家坝、小浪底和二滩等大型水利枢纽工程，长达 30 多公里的杭州湾大桥和东海大桥工程，已竣工的秦岭隧道（18.4 km），山西省引黄工程南干线的 7 号隧洞（长 42.6 km），以及辽宁省大伙房引水工程隧道（长达 85.3 km），上海磁悬浮铁路，北京国家大剧院等大型精密特种工程。大型特种精密工程建设和对测绘提出的愈来愈高的要求是工程测量学发展的动力。下面结合国内外有关工程

予以说明。

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,其规模之大、监测项目之多,都堪称世界之最。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,监测点的位置精度达到亚毫米级。该工程用地面方法建立的变形监测网,其最弱点精度优于 $\pm 1.5\text{ mm}$ 。北京正负电子对撞机的精密控制网,点位精度达 $\pm 0.3\text{ mm}$,设备定位精度优于 $\pm 0.2\text{ mm}$,200 m长的直线段漂移管准直精度达 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。大亚湾核电站控制网最弱点点位精度达 $\pm 2\text{ mm}$,泰山核电站的环形安装测量控制网的精度高达 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

武汉长江大桥全桥的贯通精度(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454 m的上海东方明珠电视塔相对于长114 m、重300 t的钢桅杆天线,安装的铅垂准直误差仅 $\pm 9\text{ mm}$ 。长18.4 km的秦岭隧道,洞外GPS网的平均点位精度优于 $\pm 3\text{ mm}$;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12 mm,高程方向的贯通误差只有3 mm。国外的大型特种精密工程更不胜枚举。以大型粒子加速器为例,德国汉堡的粒子加速器研究中心,堪称特种精密工程测量的历史博物馆。1959年建的同步加速器,直径仅100 m,1978年的正负电子储存环,直径743 m,1990年的电子质子储存环,直径2 000 m。为了减少能量损失,改用直线加速器代替环形加速器,正在建的直线加速器长达30 km,100~300 m的磁件相邻精度要求优于 $\pm 0.1\text{ mm}$,磁件的精密定位精度仅几微米,并能以纳米级的精度确定直线度。用精密激光测距仪T22002K进行距离测量,其测距精度与ME5000相当,平均边长为50 m的3 800条边,改正数小于 $\pm 0.1\text{ mm}$ 的占95%。1990年欧洲原子核研究中心建成的环形正负电子对撞机,直径8.6 km,周长27 km,整个工程位于百米深的地下。美国的超导超级对撞机,其直径就长达27 km,为保证椭圆轨道上的投影变形最小且位于平面上,采用了一种双重正形投影,所作的各种精密测量,均考虑了重力和潮汐的影响。

德国的露天煤矿大型挖煤机开挖量动态测量计算系统是GPS、GIS技术相结合在大型特种工程中应用的一个典型例子。大型挖煤机长140 m,高65 m,自重8 000 t,其挖斗轮的直径达17.8 m,每天挖煤量约为 $1 \times 10^5\text{ t}$ 。为了实时动态地得到挖煤机的采煤量,在其上安置了3台GPS接收机,与参考站进行无线电实时数据传输和差分动态定位,挖煤机上两点间距离的精度可达 $\pm 1.5\text{ cm}$,根据3台接收机的坐标,按一定几何模型可计算出挖煤机挖斗轮的位置及采煤层的截面,其平面精度为 $\pm 3\text{ cm}$,高程精度为 $\pm 2\text{ cm}$ 。结合露天煤矿的数字地面模型,可计算出采煤量,经对比试验,其精度高达4%。

南非某一核电站的冷却塔高165 m,直径163 m,在整个施工过程中,要求每一高程面上塔壁中心线与设计尺寸的限差小于 $\pm 50\text{ mm}$,在塔高方向上每10 m的相邻精度优于