



高等职业技术教育土建类专业“十三五”规划教材  
“互联网+”创新型教材

# 工程测量

主 编 付仁俊 张超



武汉理工大学出版社

高等职业技术教育土建类专业“十三五”规划教材  
“互联网+”创新型教材

# 工 程 测 量

主 编 付仁俊 张 超  
副主编 张敏华 王义剑 伍 根

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 内 容 提 要

本书为适应高职高专土木大类相关专业的教学改革,全面提升在校学生的测量理论及操作水平而编写。全书包括:绪论、测量基准、水准测量、角度测量与轴线放样、全站仪操作及工程应用、大比例尺地形图测绘、道路施工测量、高铁测量概论、GPS 测量技术应用,共 9 章。重点讲解了水准仪、经纬仪、全站仪、激光垂准仪、GPS 的常规操作以及测绘软件南方 CASS 的基本应用,摒弃了光学经纬仪操作、钢卷尺量距、平板测绘地形图等过时的内容。

本书可作为高职高专建筑工程技术、工程测量技术、工程监理等土木类专业的教学用书,也可供相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测量/付仁俊,张超主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2019.1  
ISBN 978-7-5629-5917-5

I. ①工… II. ①付… ②张… III. ①工程测量-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 002601 号

项目负责人:张淑芳 戴皓华

责任校对:张明华

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

印 刷 者:武汉兴和彩色印务有限公司

经 销 者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:12.5

字 数:312 千字

版 次:2019 年 1 月第 1 版

印 次:2019 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3000 册

定 价:34.00 元

责任编辑:戴皓华

封面设计:芳华时代

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

# 前言

测量操作技能是土木建筑类专业学生的重要职业技能,为适应高职高专土木大类相关专业的教学改革,全面提升在校学生的测量理论及操作水平,编写了这本《工程测量》。本书侧重于对学生操作仪器完成测量任务的能力培养,书中分章节讲解了水准仪、经纬仪、全站仪、激光垂准仪、GPS的常规操作以及测绘软件南方CASS的基本应用,摒弃了光学经纬仪操作、钢卷尺量距、平板测绘地形图等过时的内容。书中将建筑施工测量划分为不同的阶段贯穿到各章节中,在每章的讲解中均以高层建筑施工测量为主;对测绘大类知识则是以实用、够用为原则,主要讲述了数字测图、无人机应用以及GPS-RTK测量应用等时下主流和前沿的内容;对于道路施工测量这一章则由经验丰富的道桥高级工程师亲自执笔编写,同时将时下比较前沿的高铁测量技术纳入到本书中。

本书每一章大致按照以下四部分内容进行编排:(1)基础理论;(2)仪器使用;(3)工程应用;(4)实训操作。在本书的编写过程中,作者多次与施工现场测量技术管理人员沟通,在书中加入了GPS-RTK测量操作、无人机航测技术、高铁测量等新内容。结合作者多年从事测绘工作的经验,本书在教学案例和实训内容上都是以真实的测量项目作为教学素材,以期让学生在实训过程中体验真实的测量项目操作方法,在实训项目成果验收时,始终把当前最新的行业规范作为验收的主要标准。本书作为湖北职业技术学院建筑技术学院的专业特色教材,具备比较鲜明的职教特色,概括起来有三点:(1)紧扣行业脉搏;(2)严格遵守规范;(3)理论实操结合。

本书由湖北职业技术学院付仁俊、张超担任主编,湖北职业技术学院张敏华、王义剑、咸宁职业技术学院伍根担任副主编。其中第1、3、4、5、6、8章由湖北职业技术学院付仁俊编写,第2章由湖北职业技术学院张敏华、王义剑编写,第7章由湖北职业技术学院张超编写,第9章由湖北职业技术学院张超、咸宁职业技术学院伍根编写。

本书按照120学时分配,其中理论部分60学时,实训部分60学时,鉴于不同专业对工程测量的要求不同,建议在使用本书时酌情选择相应教学内容。

在此特别感谢教材评审专家、行业同仁对本书编写所给予的大力支持,由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

2018年10月

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>1 绪论</b>              | (1)  |
| 1.1 学科概述                 | (1)  |
| 1.1.1 工程测量技术简介           | (1)  |
| 1.1.2 工程测量的主要任务          | (2)  |
| 1.2 工程测量技术的发展概况          | (2)  |
| 1.3 我国工程测量技术的现状          | (4)  |
| 1.3.1 先进仪器的应用            | (4)  |
| 1.3.2 摄影技术的应用            | (4)  |
| 1.3.3 数字化技术的应用           | (5)  |
| 1.4 工程测量技术的发展展望          | (6)  |
| <b>2 测量基准</b>            | (8)  |
| 2.1 测量坐标系                | (8)  |
| 2.1.1 大地坐标系              | (8)  |
| 2.1.2 空间直角坐标系            | (8)  |
| 2.1.3 平面直角坐标系            | (9)  |
| 2.1.4 高斯投影与高斯平面直角坐标系     | (9)  |
| 2.2 高程基准面                | (12) |
| 2.2.1 测量工作基准面——水准面、大地水准面 | (12) |
| 2.2.2 测量计算基准面——旋转椭球      | (12) |
| 2.2.3 地面点的高程             | (12) |
| 单元测试题                    | (13) |
| <b>3 水准测量</b>            | (15) |
| 3.1 基础理论                 | (15) |
| 3.1.1 高程                 | (15) |
| 3.1.2 水准点                | (15) |
| 3.2 高程测量                 | (16) |
| 3.2.1 高程测量方法             | (16) |
| 3.2.2 水准测量原理             | (17) |
| 3.3 仪器使用                 | (18) |
| 3.3.1 水准仪简介              | (18) |
| 3.3.2 水准仪的检验与校正          | (21) |
| 3.3.3 水准尺                | (24) |
| 3.4 水准仪基本操作              | (25) |
| 3.4.1 圆水准气泡粗平            | (25) |

|       |                             |      |
|-------|-----------------------------|------|
| 3.4.2 | 管水准气泡精平                     | (26) |
| 3.4.3 | 照准目标                        | (26) |
| 3.4.4 | 调焦及精确照准                     | (26) |
| 3.4.5 | 消除视差                        | (27) |
| 3.4.6 | 水准仪装箱                       | (27) |
| 3.5   | 水准尺读数                       | (28) |
| 3.6   | 水准测量应用                      | (28) |
| 3.6.1 | $\pm 0.000\text{m}$ 标高控制桩测设 | (28) |
| 3.6.2 | 施工场地标高测设                    | (29) |
| 3.6.3 | 高层建筑标高传递                    | (30) |
| 3.6.4 | 视距测量                        | (30) |
| 3.6.5 | 水准路线测量                      | (33) |
| 3.7   | 实训案例                        | (35) |
| 3.7.1 | 任务一:水准尺读数                   | (35) |
| 3.7.2 | 任务二:标高控制桩测设                 | (36) |
| 3.7.3 | 任务三:基坑警示桩测设                 | (37) |
| 3.7.4 | 任务四:四等水准测量                  | (37) |
|       | 单元测试题                       | (39) |
| 4     | 角度测量与轴线放样                   | (42) |
| 4.1   | 基础理论                        | (42) |
| 4.1.1 | 水平角概念                       | (42) |
| 4.1.2 | 竖直角概念                       | (42) |
| 4.2   | 仪器使用                        | (43) |
| 4.2.1 | 仪器简介                        | (43) |
| 4.2.2 | 经纬仪操作                       | (45) |
| 4.2.3 | 注意事项                        | (46) |
| 4.2.4 | 仪器检验与校正                     | (47) |
| 4.3   | 水平角测量方法                     | (49) |
| 4.3.1 | 测回法                         | (49) |
| 4.3.2 | 方向观测法(全圆测回法)                | (50) |
| 4.4   | 竖直角测量方法                     | (52) |
| 4.4.1 | 竖直角的观测                      | (52) |
| 4.4.2 | 竖直角的计算                      | (52) |
| 4.4.3 | 竖盘指标差                       | (53) |
| 4.5   | 角度测量应用                      | (54) |
| 4.5.1 | 直角坐标法放样建筑轴线                 | (54) |
| 4.5.2 | 建筑轴线引测                      | (55) |
| 4.5.3 | 大型构筑物垂直度测量                  | (59) |
| 4.6   | 实训案例                        | (60) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 4.6.1 任务五:水平角观测 .....       | (60)  |
| 4.6.2 任务六:竖直角测量 .....       | (61)  |
| 4.6.3 任务七:轴线放样 .....        | (62)  |
| 单元测试题 .....                 | (64)  |
| <b>5 全站仪操作及工程应用</b> .....   | (66)  |
| 5.1 全站仪工作原理 .....           | (66)  |
| 5.1.1 测角原理 .....            | (66)  |
| 5.1.2 测距原理 .....            | (66)  |
| 5.1.3 测量(放样)原理 .....        | (67)  |
| 5.2 全站仪简介 .....             | (68)  |
| 5.2.1 全站仪的发展历程 .....        | (68)  |
| 5.2.2 常见全站仪介绍 .....         | (69)  |
| 5.2.3 全站仪的精度指标 .....        | (70)  |
| 5.2.4 全站仪检定 .....           | (71)  |
| 5.3 全站仪菜单及操作 .....          | (71)  |
| 5.3.1 全站仪构造 .....           | (71)  |
| 5.3.2 界面操作 .....            | (71)  |
| 5.3.3 注意事项 .....            | (75)  |
| 5.4 导线测量 .....              | (76)  |
| 5.4.1 导线测量概述 .....          | (76)  |
| 5.4.2 导线测量的外业工作 .....       | (78)  |
| 5.4.3 导线测量的内业计算 .....       | (79)  |
| 5.5 坐标放样 .....              | (84)  |
| 5.5.1 计算测设数据 .....          | (84)  |
| 5.5.2 点位测设方法 .....          | (85)  |
| 5.5.3 放样操作步骤 .....          | (85)  |
| 5.6 土方量测算 .....             | (88)  |
| 5.6.1 土方计算 .....            | (88)  |
| 5.6.2 土方计算案例 .....          | (88)  |
| 5.7 实训案例 .....              | (90)  |
| 5.7.1 任务八:导线测量 .....        | (90)  |
| 5.7.2 任务九:建筑物定位(坐标放样) ..... | (95)  |
| 单元测试题 .....                 | (104) |
| <b>6 大比例尺地形图测绘</b> .....    | (105) |
| 6.1 地形图基础知识 .....           | (105) |
| 6.1.1 比例尺 .....             | (105) |
| 6.1.2 地物符号 .....            | (106) |
| 6.1.3 等高线 .....             | (108) |
| 6.1.4 地形图的分幅与编号 .....       | (110) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 6.2 数字化地形图测绘 .....               | (112)        |
| 6.2.1 数字测图方法 .....               | (113)        |
| 6.2.2 数字测图的优势 .....              | (114)        |
| 6.2.3 数字测图过程 .....               | (116)        |
| 6.3 无人机航测技术 .....                | (124)        |
| 6.3.1 航测无人机简介 .....              | (124)        |
| 6.3.2 无人机测图外业工作流程 .....          | (125)        |
| 6.3.3 无人机测图内业工作流程 .....          | (128)        |
| 6.3.4 无人机航测技术特点 .....            | (132)        |
| 6.4 实训案例 .....                   | (134)        |
| 任务十:利用数字测图的方法绘制校园地形图 .....       | (134)        |
| 单元测试题 .....                      | (138)        |
| <b>7 道路施工测量 .....</b>            | <b>(140)</b> |
| 7.1 道路测量概论 .....                 | (140)        |
| 7.1.1 勘测设计阶段的道路测量 .....          | (140)        |
| 7.1.2 施工阶段的道路测量 .....            | (140)        |
| 7.1.3 竣工测量(验收测量) .....           | (141)        |
| 7.1.4 运营阶段测量(变形监测) .....         | (141)        |
| 7.2 道路中线测量 .....                 | (142)        |
| 7.2.1 交点和转点的测设 .....             | (142)        |
| 7.2.2 转角的测定 .....                | (144)        |
| 7.2.3 里程桩的设置 .....               | (144)        |
| 7.3 圆曲线测设 .....                  | (146)        |
| 7.3.1 圆曲线的主要元素及计算公式 .....        | (146)        |
| 7.3.2 主点的桩号计算及检核 .....           | (147)        |
| 7.3.3 圆曲线的主点的测设过程 .....          | (147)        |
| 7.3.4 圆曲线测设 .....                | (147)        |
| 7.3.5 圆曲线遇到障碍时的测设 .....          | (148)        |
| 7.4 缓和曲线测设 .....                 | (148)        |
| 7.4.1 带有缓和曲线的圆曲线的主点及元素计算 .....   | (149)        |
| 7.4.2 带有缓和曲线的圆曲线的主点桩号计算及检核 ..... | (150)        |
| 7.4.3 带有缓和曲线的圆曲线的主点的测设过程 .....   | (150)        |
| 7.4.4 偏角法测设带有缓和曲线的曲线 .....       | (150)        |
| 7.5 断面测量 .....                   | (151)        |
| 7.5.1 纵断面测量 .....                | (151)        |
| 7.5.2 横断面测量 .....                | (151)        |
| 7.6 道路施工测量 .....                 | (152)        |
| 7.7 实训案例 .....                   | (153)        |
| 任务十一 道路定测 .....                  | (153)        |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 单元测试题                  | (155) |
| <b>8 高铁测量概论</b>        | (157) |
| 8.1 勘测设计阶段测量           | (157) |
| 8.1.1 控制网设计            | (157) |
| 8.1.2 控制网布设            | (158) |
| 8.1.3 初测               | (159) |
| 8.1.4 定测               | (159) |
| 8.2 线下工程测量             | (160) |
| 8.2.1 线下工程施工测量         | (160) |
| 8.2.2 线下工程竣工测量         | (161) |
| 8.3 无砟轨道铺设阶段测量         | (162) |
| 8.3.1 建立无砟轨道铺设控制网      | (162) |
| 8.3.2 无砟轨道的安装测量        | (162) |
| 8.3.3 轨道铺设竣工测量         | (163) |
| 8.4 变形监测               | (163) |
| 8.4.1 路基变形测量           | (164) |
| 8.4.2 桥梁变形测量           | (165) |
| 8.4.3 隧道变形测量           | (168) |
| 单元测试题                  | (169) |
| <b>9 GPS 测量技术应用</b>    | (172) |
| 9.1 GPS 全球测量技术概述       | (172) |
| 9.1.1 GPS 测量的特点        | (172) |
| 9.1.2 GPS 构成           | (173) |
| 9.2 GPS 定位原理           | (175) |
| 9.2.1 GPS 定位方法         | (175) |
| 9.2.2 绝对定位原理           | (175) |
| 9.2.3 相对定位原理           | (176) |
| 9.2.4 GPS 的后处理定位方法     | (176) |
| 9.3 GPS 控制网优化设计        | (177) |
| 9.3.1 精度指标             | (177) |
| 9.3.2 网形设计             | (178) |
| 9.3.3 网的基准             | (179) |
| 9.4 南方 S82GPS-RTK 测量操作 | (179) |
| 9.5 实训案例               | (182) |
| 任务十二 RTK 测量            | (182) |
| 单元测试题                  | (184) |
| <b>参考文献</b>            | (187) |

# 1 绪 论

## 1.1 学 科 概 述

测量学科是一门研究地球形状、大小及确定地面(地下、海洋)和空间点位置的科学,是研究对地球整体及其表面和外层空间中各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集处理、管理、更新和利用的科学和技术。根据对象及任务的不同,传统上又将测量学科分为以下几个主要分支学科:大地测量;摄影测量与遥感;地形测量;工程测量;地图制图。

### 1.1.1 工程测量技术简介

工程测量(Engineering Surveying)——在工程建设的设计、施工和管理各阶段中进行测量工作所需的理论、方法和技术的总称。工程测量是测绘科学与技术国民经济和国防建设中的直接应用,是综合性的应用测绘科学与技术。

按工程建设的程序,工程测量可分为规划设计阶段的测量、施工兴建阶段的测量和竣工后的运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是提供地形资料。取得地形资料的方法是,在所建立的控制测量的基础上进行地面测图或航空摄影测量。施工兴建阶段的测量的主要任务是,按照设计要求在实地准确地标定建筑物各部分的平面位置和高程,作为施工与安装的依据。一般也要求先建立施工控制网,然后根据工程的要求进行各种测量工作。竣工后的运营管理阶段的测量,包括竣工测量以及为监视工程安全状况的变形观测与维修养护等测量工作。

按工程测量所服务的工程种类,也可分为建筑工程测量、线路测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。此外,还将用于大型设备的高精度定位和变形观测称为高精度工程测量;将摄影测量技术应用于工程建设称为工程摄影测量;将以电子全站仪或地面摄影仪为传感器在电子计算机支持下的测量系统称为三维工业测量。图 1-1~图 1-3 所示为测量技术在实际工程中的应用。



图 1-1 隧道工程测量

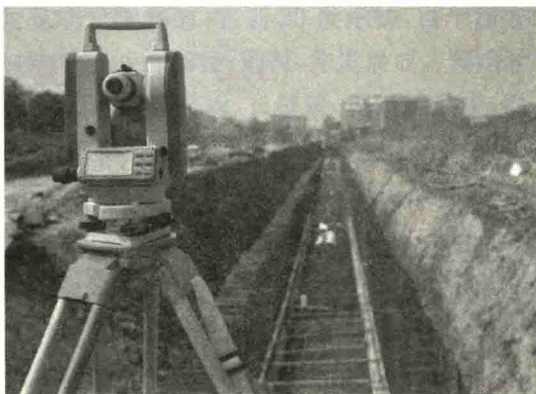


图 1-2 建筑施工测量

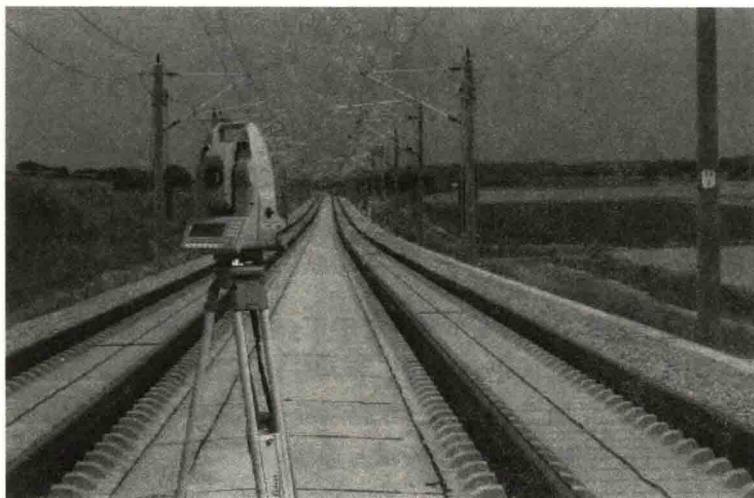


图 1-3 高铁测量

### 1.1.2 工程测量的主要任务

测量(测绘)——由地物到图形。指使用测量仪器,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或把地球表面的地形缩绘成图。

测设(放样)——由图形到地面。指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

建筑工程测量是测量学的一个组成部分,它是研究建筑工程在勘测设计、施工和运营管理阶段进行的各种测量工作所需的理论、技术和方法。它的主要任务是:

- (1)测绘大比例尺地形图;
- (2)建筑物的施工测量;
- (3)建筑物的变形观测;
- (4)竣工测量。

测量工作贯穿于工程建设的整个过程,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量。因此,每一位从事工程建设的人员,都必须熟练掌握必要的测量知识和技能。

## 1.2 工程测量技术的发展概况

工程测量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线,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技术。我国是世界文明古国,由于生活和生产的需要,测量工作开始得很早,在测量方面也取得了辉煌的成就,天水放马滩 1 号秦墓出土的 7 幅地图,均用墨线绘在 4 块大小基本相同(长 26.7cm、宽 18.1cm、厚 1.1cm)的松木板上(图 1-4)。据同时出土的竹书纪年和随葬品的特征,经甘肃省文物考古研究部门鉴定为秦王政八年(公元前 239 年)物品,是目前所知世界上最早的木板地图,其保存之完好实属罕见。木板地图分为政区图、地形图和林木资源图。在这几

幅图上,不仅有山川、河流、居民点、城邑,还特别注有各地之间的相距里程,与现今距离大都相符,可见这些地图是相当准确的实测图。

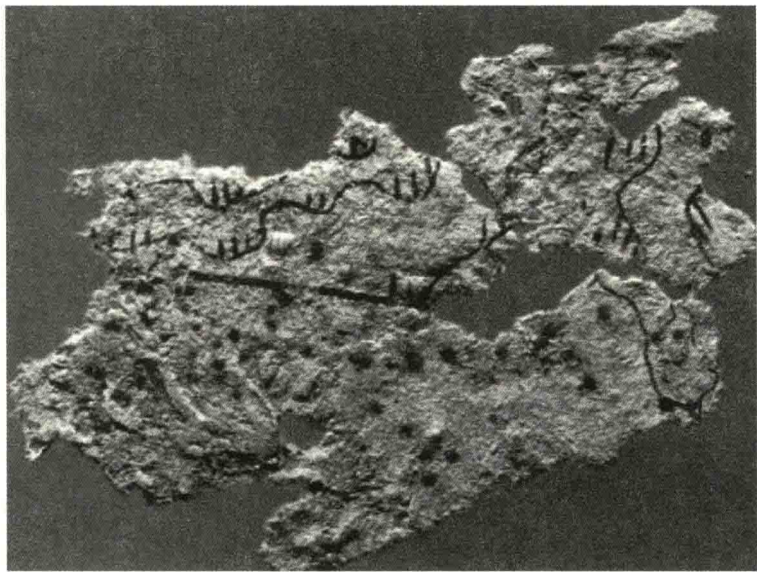


图 1-4 秦朝地图

我国早在夏商时代,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,山行乘橧。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。准是古代的水准器;绳是丈量距离的工具;规是画圆的器具;矩则是一种可定平,测长度、高度、深度,画圆和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。战国时期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。

工程测量技术的发展在很长的一段时间内是非常缓慢的,直到 20 世纪初,由于西方的技术革命和工程建设规模的不断扩大,工程测量技术才受到人们的重视,并发展成为测绘学的一个重要分支。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地建设促使工程测量进一步发展。20 世纪 70 年代以来,高能物理试验、天体物理试验、人造卫星发射、宇宙飞行器发射、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,测量对象不仅限于地面而且涉及地下、水中和空中,如核电站、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥等。

## 1.3 我国工程测量技术的现状

### 1.3.1 先进仪器的应用

20 世纪 80 年代以来,逐渐出现了很多比较先进的测量仪器,为工程测量提供了很多更加先进的技术和手段,比如电子经纬仪、全站仪、电子水准仪等,这些设备的出现为工程测量技术迈向自动化、现代化提供了条件,同时也改变了传统意义上的道路测量、施工测量、地形测量以及控制网的布网。三角网已经改变成了边角网、三边网以及测距导线网。放样测量过程中现阶段也使用高科技的具有连续现实和跟踪功能的测距仪器。最新的测距仪器摆脱了无法攀登到测距点的问题。现代化、自动化的精密仪器在现实的工程测量中已经得到了广泛的应用,代替了传统意义上的基线测量。

GPS 是在 20 世纪 70 年代由美国最先开始研制的,直到 1994 年,历时 20 年,耗资近 200 亿美元,终于研制出了三维全方位的导航和定位的 GPS 卫星定位系统。随着这项技术的不断进步和发展,工程测量这项地面工程也渐渐地引入 GPS 技术。现代的工程测量也因为有了 GPS 技术而变得更加轻松、简单、高速和精确。目前我国 GPS 技术已经在各个领域都得到了广泛的应用,例如城市的控制网,国家大地网等。在通信线路、隧道贯通、地震形变、石油勘测、高速公路建设等方面也得到了广泛的应用。现阶段 GPS 技术在智能导航上已无处不在,成为人们日常活动不可或缺的工具(图 1-5)。

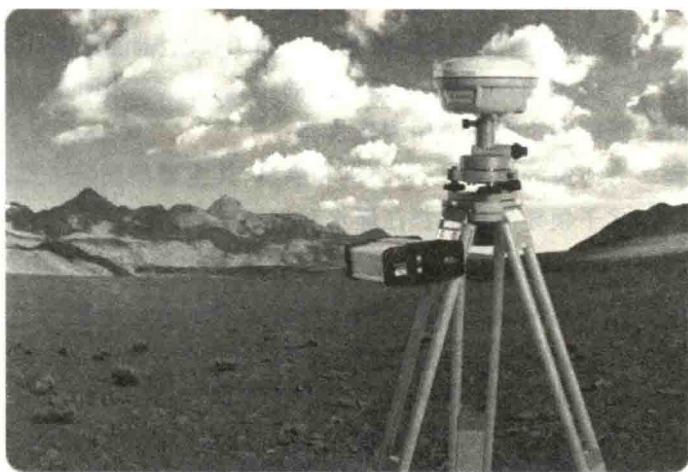


图 1-5 GPS 测量设备

### 1.3.2 摄影技术的应用

近些年摄影工具的质量和精度都得到了很大的提高,再加上计算机的应用,摄影测量的技术也越来越受到人们的重视和青睐。摄影测量可以为人们提供实时、完整的三维信息,它不但可以不接触物体,而且将户外的工作量降到最低。摄影测量拥有精度高、效率高和成果多的特点,在城市测量、铁路测量、地籍测绘、建筑物的检测、异物定位和文物保护等方面都起到了相

当大的作用,这是一般测量工具很难达到的。

无人机航测技术(图 1-6)就是摄影技术的典型代表,该技术具有机动灵活、高效快速、精细准确、作业成本低、适用范围广、生产周期短等特点,在小区域和飞行困难地区高分辨率影像快速获取方面具有明显优势。随着无人机与数码相机技术的发展,基于无人机平台的数字航摄技术已显示出其独特的优势,无人机与航空摄影测量相结合使得“无人机数字低空遥感”成为航空遥感领域的一个崭新发展方向。无人机航拍可广泛应用于国家重大工程建设、灾害应急与处理、国土监察、资源开发、新农村和小城镇建设等方面。尤其在基础测绘、土地资源调查监测、土地利用动态监测、数字城市建设和应急救援测绘数据获取等方面具有广阔前景。

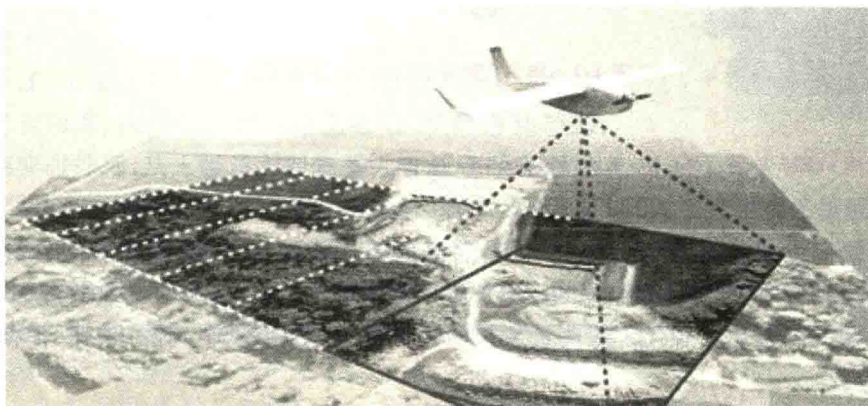


图 1-6 无人机航测技术

### 1.3.3 数字化技术的应用

在现代测绘工程中数字化技术的应用已经相当广泛了,将大比例测绘逐步向信息化、数字化的方向发展。历来大比例测绘工程就是工程测量以及城市中一种相当重要的任务,以往的制图方法本来就是在野外体力和脑力劳动相结合的一种艰苦的工作,并且还需要在室内进行数据处理及大量的绘图,绘图需要的时间很长且产品比较单一,这样就不能很好地适应高速发展的现代化建设和城市建设的需要。伴随着全站仪和某些 GIS 系统的应用,将采集野外数据的高科技设备和数控的测绘仪及计算机相结合,组成一个集野外数据采集、处理数据、自动完成绘图的高级测图系统。这个系统的研究其实主要是适用于对城市中大比例基本图、带状的地形图、地籍图、工程的地形图、纵横的断面图等各种各样的图件进行自动的绘图,并且这个系统能够直接提供软盘和纸图,实现了测图的高度自动化,也可以为设立专门的数据库及基本的地理信息库打下坚实的基础。

自从 20 世纪七八十年代至今,我国数字化的绘图和测量工程的研究和推广已经得到了飞跃的发展,效果明显。但是,仍存在着规范和技术标准的不同,外国的一些高科技成果如数字化的测量系统很难在中国得到很好的应用,推广就更加困难,因此,我们只能靠自己来研究与发展。1990 年建设部把这项技术称为我国第一批推广的技术项目之一。进入 21 世纪以来,我国已经拥有自主知识产权的自动测图系统(图 1-7),这标志着我国的测绘技术已赶上国际先进水平。



图 1-7 南方“测绘通”自动测图系统

## 1.4 工程测量技术的发展展望

工程测量的发展趋势和特点可概括为:测量内外作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。现代工程测量发展的特点可概括为:精确、可靠、快速、简便、连续、动态、遥测、实时。

测量内外作业的一体化是指测量内业和外业工作已无明确的界线,过去只能由内业完成的工作,现在外业也可以很方便地完成。测图时可在野外编辑修改图形,控制测量时可在测站上得到平差和坐标,施工放样数据可在放样过程中随时计算。数据获取及处理的自动化主要指数据的自动化流程。电子全站仪、电子水准仪、GPS 接收机都是自动化地进行数据获取。大比例尺测图系统、水下地形测量系统、大坝变形监测系统等都可实现或都已实现数据获取及处理的自动化。用测量机器人还可实现无人观测即测量过程的自动化。测量过程控制和系统行为的智能化主要指通过程序实现对自动化观测仪器的智能化控制。测量成果和产品的数字化是指成果的形式和提交方式,只有数字化才能实现计算机处理和管理。测量信息管理的可视化包含图形可视化、三维可视化和虚拟现实等。信息共享和传播的网络化是在数字化基础上进一步锦上添花,包括在局域网和国际互联网上实现。

从整个学科的发展来看,精密工程测量的理论、技术和方法,工程的形变监测分析与灾害预报,工程信息系统的建立与应用是工程测量技术的三个主要方向。展望未来,工程测量技术在以下方面将得到显著发展:

(1)测量机器人(图 1-8)将作为多传感器集成系统在人工智能方面得到进一步发展,其应用范围将进一步扩大,影像、图形和数据处理方面的能力进一步增强。

(2)在监测技术方面将发展基于知识的信息系统,并进一步与大地测量、地球物理、工程与水文地质以及土木建筑等学科相结合,解决工程建设中以及运行期间的安全监测、灾害防治和环境保护等各种问题。

(3)工程测量将从土木工程测量、三维工业测量扩展到人体科学测量,如人体各器官或部位的显微测量和显微图像处理。

(4)多传感器的混合测量系统将得到迅速发展和广泛应用,如GPS接收机与电子全站仪或测量机器人集成,可在大区域乃至国家范围内进行无控制网的各种测量工作。

(5)GPS、GIS技术将紧密结合工程项目,在勘测、设计、施工管理一体化方面发挥重大作用。

(6)大型和复杂建筑、设备的三维测量,几何重构以及质量控制将是工程测量技术发展的一个热点。固定式、移动式、车载式、机载式三维激光扫描仪将成为快速获取被测物体乃至地面建筑物、构筑物及地形信息的重要仪器。

(7)数据处理中数学物理模型的建立、分析和辨识将成为工程测量技术专业教学的重要内容。

综上所述,工程测量技术的发展,主要表现在从一维、二维到三维乃至四维,从点信息到面信息获取,从静态到动态,从后处理到实时处理,从人眼观测到机器人自动寻标观测,从大型特种工程到人体测量工程,从高空到地面、地下以及水下,从人工量测到无接触遥测,从周期观测到持续测量,测量精度从毫米级到微米乃至纳米级。一方面,随着人类文明的进展,对工程测量技术的要求愈来愈高,服务范围不断扩大;另一方面,现代科技新成就,为工程测量技术提供了新的工具和手段,从而推动了工程测量技术的不断发展。



图 1-8 徕卡 MS50 测量机器人

## 2 测量基准

为了确定地面点的空间位置,需要建立坐标系。一个点在空间的位置需要三个坐标量来表示。在一般测量工作中,常将地面点的空间位置用平面位置(大地经纬度或高斯平面直角坐标)和高程表示,它们分别属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和指定的高程系统。

### 2.1 测量坐标系

#### 2.1.1 大地坐标系

地面上一点的空间位置可用大地坐标 $(B, L, H)$ 表示。大地坐标系是以参考椭球面作为基准面,以首子午面和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

在图 2-1 中,过地面点  $P$  的子午面与首子午面之间的夹角,称为该点的大地经度,用  $L$  来表示。规定从首子午面起算,向东为正,由  $0^\circ$  至  $180^\circ$  称为东经;向西为负,由  $0^\circ$  至  $180^\circ$  称为西经。过地面点  $P$  的椭球面法线与赤道面的夹角称为该点的纬度,用  $B$  表示。规定从赤道面起算,由赤道面向北为正,从  $0^\circ$  到  $90^\circ$  称为北纬;由赤道面向南为负,由  $0^\circ$  到  $90^\circ$  称为南纬。

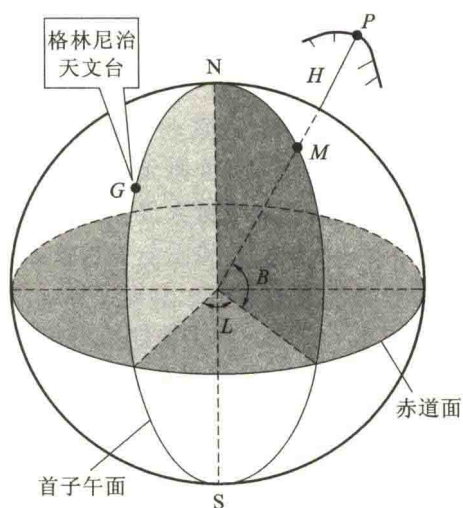


图 2-1 大地坐标系

#### 2.1.2 空间直角坐标系

如图 2-2 所示,以椭球体中心  $O$  为原点,首子午面与赤道面交线为  $X$  轴,赤道面上与  $X$  轴正交的方向为  $Y$  轴,椭球体的旋转轴为  $Z$  轴,构成右手直角坐标系  $O-XYZ$ ,在该坐标系中, $P$  点的点位用  $OP$  在这三个坐标轴上的投影  $X, Y, Z$  表示。