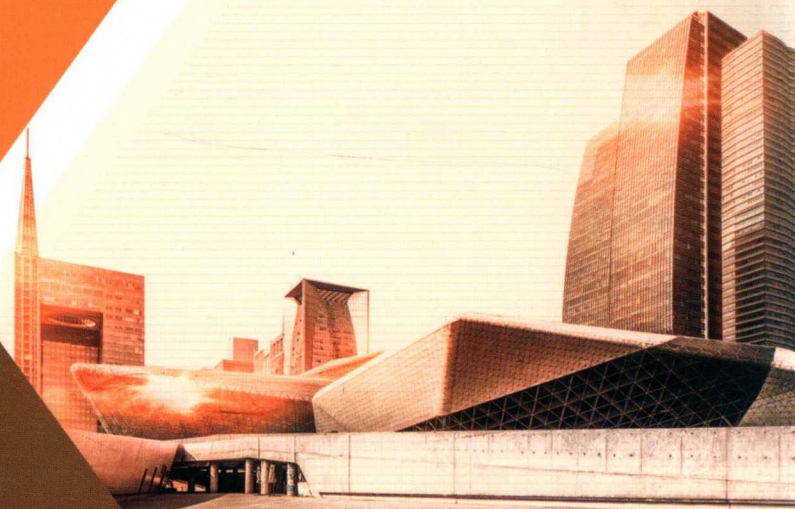


大型土石方工程 施工技术及案例

李大华 邵先锋 朱克亮 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

大型土石方工程 施工技术及案例

■ 编著者 李大华 邵先锋 朱克亮
廖振修 陈曦鸣 钱朝军
王安会 李国宁 昂 龙
宋辰辰 韩 炎 陈 强
审 定 丁克伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分 9 章, 主要内容包括土石方地形数据采集及量算方法、土的性质与分类、施工排水、土方施工、爆破工程、基坑工程、地基处理技术、绿色施工、土石方工程施工案例等, 较系统地介绍了土方工程设计、施工中的实用技术、方法和措施, 并辅以工程案例, 以便学习参考。

本书按照最新颁布的相关工程的设计、施工及验收规范编写, 力求新颖、简明、实用, 反映我国在土方工程施工领域的最新成果和技术水平。

本书可供从事土木工程施工、监理、质量监督管理的工程技术人员使用, 也可供大专院校的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型土石方工程施工技术及案例 / 李大华等编著. —北京: 中国电力出版社, 2018.5
ISBN 978-7-5198-1840-1

I. ①大… II. ①李… III. ①土方工程—工程施工②石方工程—工程施工 IV. ①TU751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 045572 号

出版发行: 中国电力出版社
地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)
网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>
责任编辑: 王晓蕾
责任校对: 马 宁
装帧设计: 张俊霞
责任印制: 杨晓东

印 刷: 北京天宇星印刷厂
版 次: 2018 年 5 月第一版
印 次: 2018 年 5 月北京第一次印刷
开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本
印 张: 12.75
字 数: 303 千字
定 价: 48.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



前 言

土方工程是土木工程施工中主要的工程之一，人类建造的各类工程设施，如房屋、道路、铁道、管道、隧道、桥梁、运河、港口、电站、飞机场等，都必须建立在一定的地基基础之上。由于地基土层的形成年代、生成环境及成分等各不相同，导致其种类多种多样，且不同种类的土，施工受地质、水文、气象等条件影响较大。此外，长期的工程实践经验告诉我们，土方工程的工程量大，特别是随着现代工程项目建设规模的不断扩大，土方工程量亦与之俱增。因此，工程项目正式施工之前，必须对土层进行工程地质勘探，充分了解土的物理力学性质，以便做出合理的工程地质评价，选择合理的土方工程施工方案。

土方工程也是建设工程项目施工的先导施工过程，土方施工方案的选择是否科学合理，不仅关系到工程建设各方的经济效益，也关乎施工安全乃至施工场地附近已建工程设施的安全，一旦出现失误，往往会造成重大损失，而且处理也比较困难。

鉴于此，本书作者力求揭示土方施工的一般规律，分别从土方工程的理论、设计、施工等环节加以论述，并在书后辅以工程案例作为参考，使读者对于土方工程的施工工序、方法和相关规范（规程）的要求有一个系统了解。全书按照土方工程施工的顺序和特性，分别介绍了地形数据采集及土方工程量计算方法、土的性质与分类、施工排水、土方的开挖和回填、土石方的爆破技术、基坑工程及地基处理技术、土方工程绿色施工技术等内容，并对相关施工过程的技术措施、质量安全等给出了必要的参考数据。

本书以最新的施工验收规范、技术规程为依据，突出实用技术，并对各部分内容辅以例题，便于读者学习理解。既可满足工程技术人员需要，解决工程实际问题，也可以作为高校土木工程等专业学生学习专业知识的参考书。

在编写本书的过程中，我们参考和借鉴了有关书籍和资料，得到了不少施工和建设单位的大力支持，许多热心的朋友也给予了很大帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于土木工程技术发展日新月异，工程建设的形式和地质情况复杂多变，加之作者水平有限，时间仓促，书中难免有欠妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编著者

目 录

前言

第 1 章	土石方地形数据采集及量算方法	1
1.1	土石方地形数据采集方法	1
1.1.1	纸质地形图数字化法	1
1.1.2	野外数据采集法	2
1.1.3	地形数据采集方法的比较	10
1.2	土石方量算方法	11
1.2.1	断面法(截面法)	11
1.2.2	等高线法	14
1.2.3	方格网法	15
1.2.4	数字地面模型(DTM)法	17
1.2.5	各种计算方法适用场景比较	22
1.3	土方调配	23
1.3.1	土方调配原则、步骤与方法	23
1.3.2	案例	24
第 2 章	土的性质与分类	28
2.1	土的性质	28
2.1.1	土的物理性质	28
2.1.2	土的力学性质指标	29
2.1.3	土的工程性质	31
2.2	土的分类	34
2.2.1	地基土的分类	34
2.2.2	土的工程分类	35
2.3	土的现场鉴别方法	36
2.3.1	碎石土、砂土的现场鉴别方法	36
2.3.2	黏性土的现场鉴别方法	36
2.3.3	人工填土、淤泥、黄土、泥炭的现场鉴别方法	37
2.4	特殊土	38
第 3 章	施工排水	40
3.1	明排水法	40
3.1.1	地表水明排水法	40

3.1.2	地下水明排水法（集水井降水法）	40
3.2	人工降低地下水位（井点降水法）	43
3.2.1	轻型井点	44
3.2.2	喷射井点	52
3.2.3	电渗井点	53
3.2.4	深井井点	54
3.3	井点回灌技术	56
3.3.1	回灌井点构造	56
3.3.2	施工要点	57
3.4	流砂处理	57
3.4.1	流砂形成原因	57
3.4.2	易产生流砂的条件	58
3.4.3	流砂处理的常用措施	58
第4章	土方施工	59
4.1	土的开挖	59
4.1.1	场地土的开挖	59
4.1.2	基坑（槽、沟）的开挖	62
4.1.3	边坡及支撑（护）计算	66
4.1.4	支撑（护）施工	68
4.1.5	验槽	68
4.2	填土压实	71
4.2.1	土的填筑	71
4.2.2	土的压（夯）实	73
4.3	土方机械化施工	75
4.3.1	机械的选择	75
4.3.2	土方机械的作业方法	77
第5章	爆破工程	83
5.1	爆破原理	83
5.1.1	爆破作用圈	83
5.1.2	爆破漏斗	83
5.2	爆破材料	84
5.2.1	炸药	84
5.2.2	起爆材料	85
5.3	药包量的计算	87
5.3.1	药包的分类	87
5.3.2	药包量的计算	88
5.4	起爆方法	90

5.4.1	钻孔方法	90
5.4.2	起爆方法	90
5.5	爆破方法	92
5.5.1	基本爆破方法	93
5.5.2	特殊爆破方法	95
5.6	爆破安全	96
5.6.1	爆破材料的储存、保管与运输	96
5.6.2	爆破施工作业的安全措施	98
5.6.3	瞎炮的预防及处理措施	98
第 6 章	基坑工程	100
6.1	基坑工程特点和内容	100
6.1.1	基坑工程特点	100
6.1.2	基坑工程的主要内容	100
6.1.3	基坑工程的设计与基坑安全等级的分级	101
6.2	基坑工程勘察	102
6.2.1	工程地质和水文地质勘察	102
6.2.2	周边环境勘察	102
6.2.3	工程的地下结构设计资料调查	103
6.3	基坑支护结构选型	103
6.3.1	围护墙结构选型	104
6.3.2	支撑体系选型	105
6.4	常见基坑支护工程设计与施工	108
6.4.1	重力式水泥挡土墙	108
6.4.2	板桩式围护结构	110
6.4.3	土钉墙	112
第 7 章	地基处理技术	115
7.1	天然地基层部处理	115
7.1.1	松土坑、古墓、坑穴处理	115
7.1.2	土井、砖井、废矿井处理	117
7.1.3	软硬地基处理	117
7.2	人工地基处理技术	118
7.2.1	概述	118
7.2.2	常见地基处理方法	121
第 8 章	绿色施工	130
8.1	绿色施工概念	130
8.2	土方工程的绿色施工技术	131
8.2.1	环境保护技术要点	131

8.2.2	节材与材料资源利用技术要点	132
8.2.3	节水与水资源利用技术要点	132
8.2.4	节能与能源利用的技术要点	132
8.2.5	节地与施工用地保护的技术要点	133
8.3	爆破施工绿色技术要求	133
8.3.1	爆破地震的控制	133
8.3.2	爆破空气冲击波控制	134
8.3.3	爆破个别飞散物的控制	135
8.3.4	爆破对环境影响的控制	136
第9章	土石方工程施工案例	138
9.1	某山区大面积场平工程土方施工案例	138
9.1.1	编写依据	138
9.1.2	项目概况	138
9.1.3	施工部署	138
9.1.4	强夯施工	148
9.1.5	工期安排	155
9.1.6	雨季及夜间施工措施	155
9.1.7	特殊情况处理方法	158
9.1.8	安全文明施工	159
9.1.9	环境保护、水土保持措施	164
9.1.10	组织措施	166
9.2	某路堑开挖专项施工方案	167
9.2.1	编制依据	167
9.2.2	工程概况	167
9.2.3	施工计划	170
9.2.4	施工工艺技术	174
9.2.5	施工安全保证措施	183
9.2.6	其他技术组织措施(略)	191
9.2.7	劳动力计划	191
主要参考文献		193

第 1 章 土石方地形数据采集及量算方法

土石方工程，是指工程建设过程中土石方的挖掘、填筑和运输等过程，以及排水、降水、土壁支撑等准备和辅助工程。在建筑工程中，最常见的土石方工程有场地平整、基坑（槽）开挖、地坪填土、路基填筑及基坑回填等。

土石方工程中的土石方量算，是影响工程费用概算及方案选优的重要因素，是工程管理、设计及施工的重要组成部分。土石方量是竖向规划或调整的重要依据，直接关系到工程造价。如何准确、快速地确定土石方工程中的平衡标高、土石方量，是土石方工程中的关键问题。这当中涉及工程场地地形数据的采集方法、土石方量算方法和土方的平衡调配三个方面，下面将分章节详细叙述。

1.1 土石方地形数据采集方法

要保证土石方工程中土石方量计算准确，除了计算模型适用正确外，更重要的是要保证参与计算的“原料”——地形数据能够准确地反映实际的地面起伏状态。能够获取工程现场地形数据的采集方法不少，主要有纸质地形图数字化法、野外数据采集法、航空摄影测量法和三维激光扫描法。这些方法在采集效率、数据精度、经济成本及使用范围等方面各有特点，下面分而述之。

1.1.1 纸质地形图数字化法

纸质地图数字化也称为老图数字化或老图矢量化，即将承载在纸质地图的地形特征信息提取并用数字形式表达和存储。纸质地图数字化的前提，是拥有工程区域的纸质地形图，缺乏对应的数字地形图，同时纸质地形图所表达的地形情况和实际地形有很好的吻合度，即纸质地形图的现势性较好。纸质地形图数字化方法无须进行实地数据采集，相比其他地形数据采集方法而言，效率高，成本低。但其成果精度受原图精度和数字化精度双重影响，在同等比例尺下一般比其他地形数据采集方法要低，在方案选择时要综合考虑。

纸质地图数字化需要借助数字化仪完成。数字化仪又称图数转换器，是一种通过一定量测方式将图形或图像转换成数字信息的装置。根据数字化仪类型的不同，纸质地图数字化有手扶跟踪数字化和扫描数字化两种方式。

手扶跟踪数字化是在随机软件的支持下，直接把数字化仪的感应板当作屏幕，把定标器当作鼠标，对粘贴在感应板上的纸质地图进行坐标采集，原理上和“扫描矢量化”中通过矢量化软件，对扫描生成的数字栅格图像进行矢量化是一致的。不过，手扶跟踪数字化仪是 20

世纪 80 年代末出现的一种地图数字化设备，只能对空间坐标进行离散采集，功能较为单一，能够连接数字化仪进行地图数字化的软件也不多。相对而言，工程扫描仪可以把纸质地图上的信息几乎毫无损失地转换为便于计算机存储的栅格图像，在功能越来越强大的矢量化软件和图像处理软件支持下，不仅可以轻松地对地图上的空间坐标进行离散采集，还能够对地图图像进行多种多样的变换处理，从而获取比“手扶跟踪数字化”更丰富的空间及属性信息。因此，纸质图扫描矢量化已经逐步取代手扶跟踪数字化，成为纸质地图数字化的主流方式。

1.1.2 野外数据采集法

要能够准确反映工程期间实际的地面起伏状态，最好的方法就是走出工作室，走到现场，直接对工程现场地物地貌进行空间数据采集，这就是所谓的野外数据采集。传统上，光学经纬仪测量水平角、皮尺或钢尺丈量水平距离和光学水准仪测量高程，是经典的野外数据采集方法，但自从 20 世纪 80 年代中后期电子全站仪、电子水准仪在测绘领域的普及应用及 20 世纪 90 年代中后期 GNSS 卫星定位技术的革命性出现，当前在土方工程中的外业数据采集，经典的外业数据采集方法已经走进故纸堆，几乎已完全被光电导线结合电子水准的光电几何测量定位技术和 GNSS 卫星定位技术所取代了。由于光电几何测量定位技术中所使用的电子全站仪、电子水准仪和 GNSS 卫星定位技术中所使用的 GPS 接收机都能够把外业采集到的空间数据转化为数字存储在采集仪上，因此也叫全数字野外数据采集。

技术进步的步伐是飞快的！当时间跨入 21 世纪，出现了能够快速而高精度获取空间三维点云的三维激光扫描测绘技术，以及以小型或微型无人飞机为搭载平台的倾斜摄影测量技术。相较于光电几何测量定位技术和 GNSS 卫星定位技术逐点式的空间数据采集方式，三维激光扫描技术和倾斜摄影测量技术则可以说是集群式的空间数据采集方式，它们能够在短短几分钟内获得百万数量级的精度在毫米级到分米级区间的所谓“点云”空间数据，快速地对工程现场进行精确的三维建模，从而为诸如土方量算、建筑保护、地质灾害预防等应用快速提供测绘基础数据。

本节将简要介绍光电几何测量定位技术和 GNSS 卫星定位技术在测绘工程中的应用，以及三维激光扫描测绘技术和倾斜摄影测量技术的技术特征和应用场景。

1. 光电几何量测定位技术

根据几何学中的球面坐标知识可知，只需要确定球面上任意一点相对于起始参考面的水平夹角和竖直夹角，再测定出球面半径，就可以唯一确定出空间中任意点的坐标，实现空间定位。传统做法中，我们用光学经纬仪确定水平角，用皮尺或钢尺进行量距，实现地面点位平面坐标数据的采集。再结合水准仪量测出地面两点间高差，进而推算出地面任意点的高程，从而实现工程现场中三维空间信息的数据采集。角度、平距和高差的量测，属于典型的几何量量测，由于采用的是纯光学的采集设备，我们可以把用经纬仪测角、钢尺量距和水准仪测高程统称为光学几何量测定位技术。当前传统的光学度盘测角技术已经被电子测角技术取代，钢尺量距也基本上由光电测距代替，也出现了能够替代传统光学水准仪的电子水准仪用于测量高程。这些基于现代光电技术的量测手段不仅精度高、效率快，相较于传统的光学设备成

本也不算高昂，而且后期维护维修都比较便捷，目前已广泛应用在工程测量相关的各个领域。由于量测的几何量没有改变，我们把用电子全站仪量测角度和距离、电子水准仪量测高程统称为光电几何量测定位技术。

(1) 电子测角技术。电子全站仪测角采用电子测角的方法，通过光电转换，以光电信号的形式来表达角度测量的结果。不同厂家生产的设备在结构、操作方法上有着一定的差异，但其基本功能、基本原理，以及野外数据采集的程序大致是相同的。电子测角仍然是采用度盘来进行，与光学经纬仪不同的是，电子测角是从度盘上获取电信号，然后根据电信号再转换成角度。根据获取电信号的方式的不同可分为编码度盘测角和光栅度盘测角（测角原理请参考精密仪器、几何量测方面的专业书籍，此处不详述）。

(2) 光电测距技术。20 世纪 40 年代，人们研制出了以红外线作为测距介质的光电测距仪（图 1-1）；60 年代，随着激光技术的出现及电子计算机技术的发展，各种类型的电磁波测距仪相继出现；90 年代，又出现了将测距仪和电子经纬仪的功能集成于一体的电子全站仪，除了可自动显示角度、距离数据外，还可以通过仪器内部的微处理器，直接得到地面点的空间坐标。

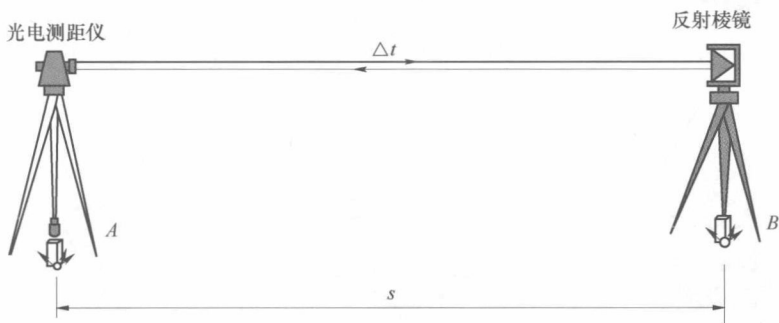


图 1-1 光电测距原理示意图

电磁波测距仪的出现，克服了高精度测距这一测量工程中的瓶颈。与钢尺量距的麻烦和视距测量的低精度相比，电磁波测距具有测程长、精度高、操作简便、自动化程度高的优点。根据测距介质的不同，电磁波测距可分为利用微波作载波的微波测距和利用光波作载波的光电测距。在工程测量中，广泛采用的是利用光电测距原理生产的光电测距仪，利用微波测距原理生产的微波测距仪大多用于军事测绘上。

(3) 电子全站仪——电子测角技术与光电测距技术的集成。电子全站仪全称为全站型电子速测仪，是由电子测角、电子测距、电子计算和数据存储等单元组成的三维坐标测量系统，是上述电子测角技术与光电测距技术的集成产品。电子全站仪是能自动显示测量结果，能与外围设备交换信息的多功能测量仪器，较完美地实现了测量和处理过程的电子一体化。

随着计算机技术的不断发展与应用及用户的特殊要求，还出现了防水型、防爆型、计算机型、电动机驱动型等各种类型的全站仪，以及能够自动跟踪测量目标的测量机器人。目前，世界各仪器厂商已生产出各种型号的全站仪，品种越来越多，精度越来越高。常见的进口全站仪品牌有瑞士徕卡（Leica）TPS 系列，美国天宝（Trimble）S 系列，日本尼康（Nikon）

DTM 系列、拓普康 (Topcon) GTS 系列、宾得 (Pentax) R 系列、索佳 (SOKKIA) SET 系列;我国生产的全站仪品牌有广州南方测绘科技股份有限公司的 NTS 系列、广东科力达仪器有限公司的 KTS 系列、北京博飞仪器股份有限公司的 BTS 系列、苏州一光仪器有限公司 RTS 系列等 (见图 1-2)。国产品牌的电子全站仪和进口品牌的全站仪相比,在实现的测量功能上基本没有什么差别,有的甚至更符合国内测绘工作者的工作习惯。全站仪的使用可以分为观测前的准备工作、基本测量工作 (角度测量、距离测量) 和专门测量工作 (坐标测量、坐标放样、导线测量、交会定点等)。由于电子全站仪的核心功能都是测角测距,不同品牌不同型号的全站仪在使用方法上大同小异。



图 1-2 常见进口、国产全站仪品牌

由于电子全站仪具有极高的测角精度和测距精度,且机载程序提供了强大的测量程序,测量结果以数字文件形式存储在仪器中,可以方便地传输到计算机当中,形成内外业一体化数字化测绘作业,其在测绘领域已经得到非常广泛的应用,是事实上的测绘工作标准配置仪器设备之一。当然,电子全站仪的工程应用范围已不仅局限于测绘工程,其在大型工业生产设备 and 构件的安装调试、船体设计施工、大桥水坝的变形观测、地质灾害监测及体育竞技等领域中都得到了广泛应用。全站仪的应用具有以下特点:① 在地形测量过程中,可以将控制测量和地形测量同时进行。② 在施工放样测量中,可以将设计好的管线、道路、工程建筑的位置测设到地面上,实现三维坐标快速施工放样。③ 在变形观测中,可以对建筑 (构筑) 物的变形、地质灾害等进行实时动态监测。④ 在控制测量中,导线测量、前方交会、后方交会等程序功能,操作简单、速度快、精度高,其他程序测量功能方便、实用、应用广泛。⑤ 在同一个测站点,可以完成全部测量的基本内容,包括角度测量、距离测量、高差测量;实现数据的存储和传输。⑥ 通过传输设备,可以将全站仪与计算机、绘图机相连,形成内外一体

的测绘系统，从而大大提高地形图测绘的质量和效率。

(4) 电子水准仪。当前测量高差经典的方法是几何水准测量，其使用的仪器是水准仪，其原理是借助于水平视线获取竖立在两点上的标尺读数，从而测定两立尺间的高差。光学水准仪长期以来一直是水准测量的主要仪器，其结构简单，且有可靠的精度保证。但人工观测记录、作业强度大，满足不了数字化和自动化的测量要求。随着测量技术的发展，光学水准仪正在被电子水准仪所替代。

电子水准仪（又称数字水准仪）是在水准仪望远镜光路中增加了分光镜和光电探测器（CCD 阵列）等部件，采用条形码分划水准尺和图像处理电子系统构成光、机、电及信息存储与处理的一体化水准测量系统。电子水准仪具有读数客观和精度高、速度快、效率高等特点。

1) 电子水准仪测量原理。电子水准仪须配套使用的是条形编码水准尺，通常由玻璃纤维或钢化制成，其外形类似于一般商品外包装上印制的条形码。在电子水准仪中装置有行阵传感器（CCD 阵列），它可识别水准标尺上的条形编码。电子水准仪摄入条形编码后，经处理器转变为相应的数字，再通过信号转换和数据化，在显示屏上直接显示中丝读数和视距，如图 1-3 所示。

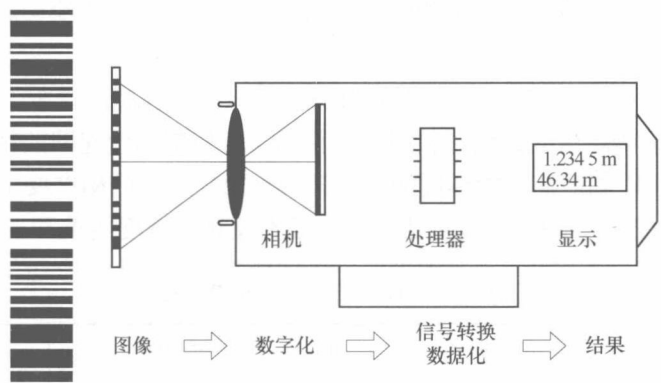


图 1-3 电子水准测量原理图

2) 电子水准仪的观测精度。电子水准仪的观测精度高，如瑞士徕卡公司开发的 NA2000 型电子水准仪的分辨率为 0.1mm，每千米往返测的高差中误差为 2.0mm；DNA03 型电子水准仪（图 1-4）的分辨率为 0.01mm，每千米往返测得高差中误差为 0.3mm，是当前最高精度的电子水准仪品牌之一。

3) 电子水准仪的应用。由于电子水准仪的优点显著，目前已经广泛应用于大地测量、工程测量、工业测量等领域。电子水准仪除了用于线路水准测量和面水准测量之外，在施工和变形监测中也得到广泛应用。当前我国在高速铁路的施工建设中，线下工程的沉降监测网采用二等水准精度等级标准，

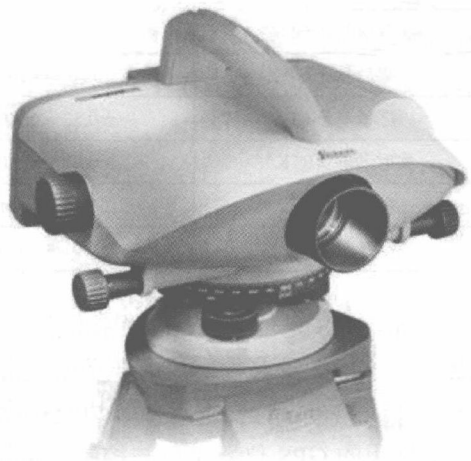


图 1-4 徕卡电子水准仪 DNA03

其所采用的水准测量设备广泛采用了高精度的电子水准仪。

2. GNSS 卫星定位技术

GNSS 的全称是全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)，泛指所有的全球卫星导航系统及区域和增强系统。GNSS 卫星定位技术利用包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 GALILEO、中国的北斗卫星导航系统 (BDS)，美国的 WAAS (广域增强系统)、欧洲的 EGNOS (欧洲静地导航重叠系统) 和日本的 MSAS (多功能运输卫星增强系统) 等卫星导航系统中的一个或多个系统进行导航定位，并同时提供卫星的完备性检验信息 (Integrity Checking) 和足够的导航安全性告警信息。

GNSS 卫星定位技术不但可以用于军事上各兵种和武器的导航定位，在民用上也具有广泛的应用。如智能交通系统中的车辆导航、车辆管理和救援；民用飞机、船只的导航及姿态测量；气象观测中的大气参数测试；电力和通信系统中的时间控制；地震和地球板块运动检测，等等。在测绘领域，如大地测量、城市和矿山控制测量、建构物变形监测及水下地形测量等方面也得到广泛的应用。与传统测绘方法相比，GNSS 卫星定位技术具有定位速度快、成本低、不受天气影响、点间无须通视、不用建标等优点，而且仪器设备小巧轻便，操作简单便捷。GNSS 卫星定位技术引发了测绘技术的一场革命，使得测绘领域步入了一个崭新的时代。

表 1-1 是几种常用 GPS 定位方式的精度比较。从表中可以看出，应用经典静态测量、快速静态测量能够满足从高精度大地控制测量到普通工程控制测量建网的精度要求。而实时动态 (RTK)、网络 RTK 则能满足地形图测绘、工程点放样测量的精度要求，常规差分 GPS、事后差分 GPS 和广域差分 GPS 能满足诸如土地动态监测的精度要求。

表 1-1 几种常用 GPS 定位方式精度比较

定位技术名称	精度 (m)	作用距离 (km)	观测时间 (min)
经典静态	$\pm 0.001 \sim \pm 0.005$	1~3000	>60
快速静态	$\pm 0.01 \sim \pm 0.05$	<20	5~20
常规差分 GPS	$\pm 0.50 \sim \pm 10.00$	<200	实时
事后差分 GPS	$\pm 0.50 \sim \pm 10.00$	<200	单历元
广域差分 GPS	$\pm 0.50 \sim \pm 3.00$	<1500	实时
实时动态 (RTK)	$\pm 0.01 \sim \pm 0.05$	<15	实时
网络 RTK	$\pm 0.01 \sim \pm 0.10$	<100	实时
精密单点	$\pm 0.01 \sim \pm 0.50$	全球	实时

(1) GPS 定位技术在工程控制测量中的应用。利用 GPS 技术进行工程控制测量有如下优点：第一，不要求通视，这样避免了常规控制测量点位选取的局限条件；第二，没有常规三角网 (锁) 布设时要求近似等边及精度估算偏低时应加测对角线或增设起始边等烦琐要求，只要使用的 GPS 仪器精度与控制测量精度相匹配，控制点位的选取符合 GPS 点位选取要求，那么所布设的 GPS 网精度就完全能够满足相应规程要求。

由于 GPS 定位技术的不断改进和完善,其测绘精度、测绘速度和经济效益都大大地优于常规控制测量技术。目前,常规静态测量、快速静态测量、RTK 测量已经逐步取代常规的测量方式,成为工程控制测量的主要手段。边长大于 15km 的长距离 GPS 基线向量,适宜采取常规静态测量方式。边长在 10~15km 的 GPS 基线向量,如果观测时刻的卫星很多,外部观测条件好,可以采用快速静态 GPS 测量模式;如果是在平原开阔地区,可以尝试 RTK 模式;边长小于 5km 的一、二级控制网的基线,优先采用 RTK 测量模式,如果设备条件不能满足要求,可以采用快速静态定位方法。边长为 5~10km 的二、三、四等基本控制网的 GPS 基线向量,优先采用 GPS 快速静态测量模式;设备条件许可和外部观测环境合适,可以使用 RTK 测量模式。

(2) GPS 定位技术在地形图测绘及施工放样中的应用。GPS RTK 测量使量测精度、作业效率、实时性达到了最佳的融合,为地形图碎部测量和工程施工放样提供了一种崭新的测量模式。与电子全站仪相比,采用 RTK 测量模式进行碎部测量速度快,作业效率高。同全站仪一样,RTK 测量单点的时间需要几秒到几十秒,但是,它不要求通视,不需要频繁换站,减少了全站仪频繁换站所花的时间,而且可以多个流动站同时工作。

(3) GPS 定位技术在土地利用变更调查和动态监测中的应用。当前我国经济快速发展,土地利用的形式将发生一系列的变化,随时摸清土地利用形式的变化,进行土地利用变更登记,将是我国各级土地管理部门的一项重要的和经常性的工作。土地调查中,通常对应不同的位置精度要求,在采用 GPS 测量模式上,可以使用精密单点、常规差分 GPS、PPK、广域差分 GPS 等方式。这些 GPS 测量模式,可成倍地提高土地利用变更调查和动态监测速度,其精度和可靠性得到极大的改善,克服了传统方法的种种弊端,省时省工,适用于各种各样复杂的变更情况,真正地实现了动态监测的实时性和数字化,保证了土地利用数据的现势性。在土地调查中,如果定位精度要求不高,优先采用单点定位模式。如果定位精度要求达到米级,可以采用广域差分 GPS 模式;如果附近已经建立常规差分参考站并能够接收到差分信号,也可以采用常规差分 GPS。如果没有广域差分信号接收设备,可以在调查地区附近的已知点上,建立常规差分参考站,采用常规差分或 PPK 模式。如果是局部地区的精密土地划界,可以采用 RTK 测量系统。近几年,许多部门应用 GPS 技术进行了多项土地调查活动。如科技人员在四川攀枝花、内蒙古包头、四川乐山、北京郊区等地进行了土地调查试验,其几何精度完全可以满足土地利用变更调查和动态监测的要求,并且方便、快速、实时。

3. 三维激光扫描测绘技术

三维激光扫描测绘技术是一种全自动高精度数字化的三维立体扫描技术,它是相继于 GNSS 卫星定位技术之后出现的又一项高新测绘技术。三维激光扫描测绘技术可以实现对各种大型的、复杂的、标准或非标准的实体或实景三维数据的采集和处理,然后快速建立出目标物体的三维立体模型及点、线、面、立体模型等各种制图综合的数据(图 1-5)。利用地面三维激光扫描的技术进行测绘工作时,可以应用在任何复杂的地形地貌中进行扫描测绘的操作,也可应用在不受光线影响的扫描测绘工作当中。传统的大地测量方法,如三角测量方法、导线测量方法、定位测量都是基于点的测量,而三维激光扫描是基于三维立体面的数据采集测量。三维激光扫描系统是一种集合了多种高新技术的新型空间信息数据获取手段,它由三

维激光扫描仪、扫描仪旋转平台、数码相机、软件控制平台、数据处理平台及电源和其他的附件共同构成。三维激光扫描获得的原始数据称为点云数据。点云数据是大量扫描后生成离散点的整体集合。三维激光扫描数据经过简单的点云数据处理就可以直接使用，无须经过费时费力的数据后处理，并且不需要与被测物体直接接触，所以可以在很多复杂环境下应用。三维激光扫描数据可以和定位系统联合使用，使测绘产品生产的过程更加高效。

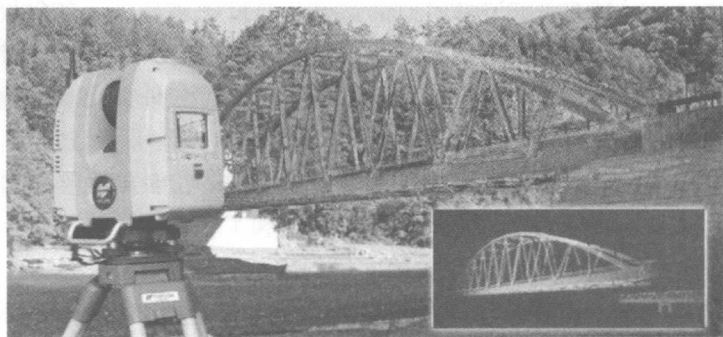


图 1-5 三维激光扫描仪测量实景图

三维激光扫描仪种类繁多，按其工作原理可分为脉冲式三维激光扫描仪和相位式三维激光扫描仪。脉冲式三维激光扫描仪是通过测量激光脉冲从发出经被测物体表面再返回所用的时间，从而计算目标物体与测站之间的距离。相位式三维激光扫描仪主动发射一束不间断的整数波长的激光，通过计算发射激光波长与从被测物体表面反射回来的激光波长的相位差，进而计算和记录目标物体与测站之间的距离。两者相比较而言，脉冲式三维激光扫描仪的可测量距离大，而相位式三维激光扫描仪的测量精度高。若按有效扫描距离分类，则三维激光扫描仪可分为表 1-2 所示的三种类型。

表 1-2 三维激光扫描仪分类（按有效扫描距离）

类型	扫描距离	用 途
短距离型	<3m	扫描电子、机械部件等微小物体
中距离型	3~30m	扫描大型物体或室内扫描
长距离型	>30m	建筑物测绘、工程测量、地形测绘等长距离扫描

最近几年，三维激光扫描技术不断发展并日渐成熟。三维激光扫描仪的巨大优势就在于可以快速扫描被测物体，无须反射棱镜即可直接获得高精度的扫描点云数据，从而高效地对真实世界进行三维建模和虚拟重现。三维激光扫描技术及应用已经成为当前研究的热点之一，并在文物数字化保护、土木工程、工业测量、自然灾害调查、数字城市地形可视化、城乡规划等领域有广泛的应用。

4. 倾斜摄影测量测绘技术

近年来国际地理信息领域将传统航空摄影技术和数字地面采集技术结合起来，发展了一种称为机载多角度倾斜摄影的高新技术，简称倾斜摄影技术。通过在同一飞行平台上搭载多台或多种传感器同时从多个角度采集地面影像（图 1-6），克服了传统航空摄影技术只能从垂

直角度进行拍摄的局限性，能够更加真实地反映地物的实际情况，弥补了正射影像的不足。相对于正射影像，倾斜影像能让用户从多个角度观察物体，更加真实地反映了地物的实际情况，极大地弥补了基于正射影像分析应用的不足，通过配套软件的应用，可直接利用成果影像进行包括高度、长度、面积、角度、坡度等属性的量测，扩展了倾斜摄影技术在行业中的应用，针对各种三维数字城市应用，利用航空摄影大规模成图的特点，加上从倾斜影像批量提取及贴纹理的方式，能够有效地降低城市三维建模成本。

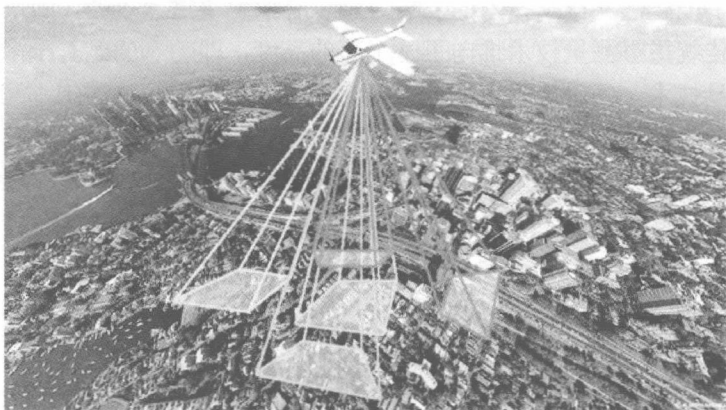


图 1-6 倾斜摄影测量场景图

(1) 倾斜摄影测量模型生成方式。倾斜摄影获取的倾斜影像经过影像加工处理，通过专用测绘软件可以生产倾斜摄影模型。模型有两种成果数据：一种是单体对象化的模型，一种是非单体化的模型数据。单体化的模型成果数据，利用倾斜影像的丰富可视细节，结合现有的三维线框模型（或者其他方式生产的白模型），通过纹理映射，生产三维模型。这种模型数据是对象化的模型，单独的建筑物可以删除、修改及替换，其纹理也可以修改，尤其是建筑物底色这种时常变动的信息，这种模型就能体现出它的优势。国内比较有代表性的公司如天际航、东方道尔等均可以生产该类型的模型。非单体化的模型成果数据（以下简称“倾斜模型”），这种模型采用全自动化的生产方式，模型生产周期短、成本低，获得倾斜影像后，经过匀光匀色等步骤，通过专业的自动化建模软件生产三维模型（图 1-7）。这种全自动化的生产方式减少了建模的成本，模型的生产效率大幅提高。目前国内比较有代表性的专业软件系统有上海埃弗艾代理的 Smart3DCapture、华正及 Airbus 代理的 Street Factory 等。

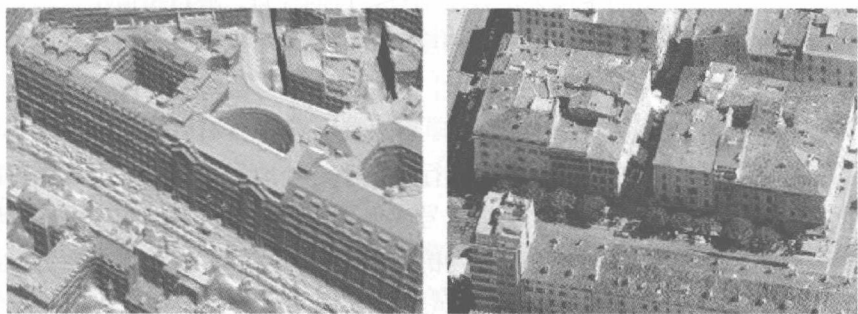


图 1-7 Smart3DCapture 三维场景构建