



高等职业院校测绘课程“十三五”规划教材
“工程测量技术”高素质技能型人才培养校企合作编写教材

工程测量

(测绘类)

GONGCHENG CELIANG
(CEHUILEI)

主 编◎杜文举
主 审◎卢 正



西南交通大学出版社



高等职业院校

见划教材

“工程测量技术”高素质技能型人才培养校企合作编写教材

工程测量

(测绘类)

主 编◎杜文举
主 审◎卢 正

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工程测量：测绘类 / 杜文举主编. —成都：西南
交通大学出版社，2016.5

高等职业院校测绘课程“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5643-4656-0

I. ①工… II. ①杜… III. ①工程测量—高等职业教
育—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 082229 号

高等职业院校测绘课程“十三五”规划教材

工程测量

(测绘类)

主编 杜文举

责 任 编 辑 胡晗欣
封 面 设 计 何东琳设计工作室

出 版 发 行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发 行 部 电 话 028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码 610031

印	刷	四川森林印务有限责任公司
成 品 尺 寸		185 mm × 260 mm
印	张	15.5
字	数	389 千
版	次	2016 年 5 月第 1 版
印	次	2016 年 5 月第 1 次
书	号	ISBN 978-7-5643-4656-0
定	价	36.00 元

课件咨询电话：028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

面对 21 世纪教育改革的新发展,为了满足各类工程建设的新需要,使工程测量技术更紧密地理论联系实际,在“工程测量技术”四川省高职院校省级重点专业建设项目的资助下,我们特地编写了《工程测量》这本全新的教材。

工程测量学是测绘科学技术的二级学科,也是一门技术性、应用性很强的学科。本书紧密结合工程测量的实际需要,涵盖了传统理论和目前最新的应用技术,包含高速公路、高速铁路、市政工程等工程测量工作、建筑物的施工放样、变形监测以及工业施工测量等内容。

本教材具有较强的实用性和通用性,重点突出“以贴近实际应用能力为基础”的指导思想,紧扣生产实际的需要,在编写过程中尽量避免对理论知识的长篇大论,杜绝贪多求全,有利于学生学习、实践和提高解决工程中实际问题的能力。教材中给出了大量图片、例题和习题,以利于培养学生分析和解决工程实际问题的能力。教材内容由易到难,由简单到深入、由基本技能到高级技能,由基础知识到实践应用,由注重理论到注重实践,突出了理论和实践的有机结合。

本书在知识体系上深入浅出,淡化理论推导,注重工程测量技术的实践性,力求体现高职教育的特点,满足高职教育培养技术应用型人才的需要。在教材编写中,打破了传统教材的体系框架,紧密结合各种工程建设的实际需要,以工程项目测量实际需要为导向进行编写。在编写过程中,编者紧密结合最新标准和最新规范,结合多年工程实践和教学经验,收集了大量的资料与案例,并参考和借鉴了同类教材的相关内容,按照工程测量技术专业高级人才培养模式进行编写,可作为高职院校工程测量技术及相关专业教学使用,也适合房建、市政、公路、铁路等工程一线工程技术人员学习和参考使用。

本书由四川建筑职业技术学院杜文举教授担任主编,四川建筑职业技术学院卢正教授担任主审,全书由杜文举统稿。具体编写分工为:第 1 章由四川建筑职业技术学院杨元意和景淑媛合作编写;第 2 章由河南财政税务高等专科学校姜毅编写;第 3 章由四川建筑职业技术学院张恒编写;第 4~7 章由四川建筑职业技术学院杜文举编写;第 8 章由中国铁建十六局集团第三工程有限公司侯金刚和四川建筑职业技术学院杜文举、谢兵合作编写。

本书由杜光美和陈志同志绘制了大量插图，书中的部分教学案例由四川路桥桥梁工程有限责任公司刘刚提供，在编写过程中也得到了四川建筑职业技术学院许辉熙教授和四川川北公路规划勘察设计有限责任公司刘昌华高工的帮助和指导，也感谢李熠、汪越、刘辉、陆芑成、刘贵山、王恒、金礼、郑凯宁、杜奎、吴江、罗若与、应政、唐晓康等帮助收集整理资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平、经验和时间所限，书中难免存在缺点和不妥之处，敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2015 年 11 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 工程测量技术的发展	1
1.2 工程测量技术的性质和研究的对象	9
1.3 工程测量技术的特点和学习方法	10
练习题	12
第 2 章 地形图的应用	13
2.1 地形图的基本知识	13
2.2 地物符号	19
2.3 等高线基本知识	21
2.4 地形图的应用	26
2.5 地形图上的面积测定方法	33
2.6 场地平整中的土石方计算	46
练习题	52
第 3 章 施工测量的基本工作	54
3.1 工程测设的基本工作	54
3.2 工程测设的方法	57
3.3 直线的放样方法	61
练习题	63
第 4 章 曲线测设	64
4.1 概 述	64
4.2 圆曲线的测设	64
4.3 综合曲线的测设	73
4.4 卵形曲线的测设	83
4.5 回头曲线	86
4.6 竖曲线的测设	88
练习题	91

第 5 章 公路工程测量	92
5.1 概 述	92
5.2 公路勘测阶段的测量工作	93
5.3 公路施工阶段的测量工作	105
练习题	119
第 6 章 市政工程测量	120
6.1 概 述	120
6.2 城市立交桥工程测量	120
6.3 管道工程测量	130
6.4 地铁工程测量	138
练习题	148
第 7 章 工业与民用建筑施工测量	150
7.1 建筑工程施工测量控制网概述	150
7.2 建筑工程平面施工控制测量	151
7.3 建筑高程控制测量	157
7.4 多层民用建筑施工测量	157
7.5 高层建筑施工测量	169
7.6 工业建筑施工测量	186
7.7 竣工总平面图的编绘和竣工测量	194
练习题	196
第 8 章 客运专线施工测量	197
8.1 客运专线施工测量	197
8.2 精密控制网施工复测	198
8.3 轨道控制网 (CPⅢ) 测量	205
8.4 线下工程结构物变形监测	221
参考文献	242

第 1 章 绪 论

1.1 工程测量技术的发展

工程测量学是研究地球空间中具体几何实体测量和抽象几何实体测设的理论、方法和技术的一门应用学科，它是直接为国民经济建设和国防建设服务，紧密与生产实践相结合的学科，是测绘学中最活跃的一个分支学科。

工程测量通常是指在工程建设的勘测设计、施工和管理阶段中运用的各种测量理论、方法和工程测量技术的总称。传统工程测量技术的服务领域包括建筑、水利、交通、矿山等行业，其基本内容有测图和放样两部分。现代工程测量已经远远突破了仅仅为工程建设服务的概念，它不仅涉及工程的静态、动态几何与物理量测定，而且包括对测量结果的分析，甚至对物体发展变化的趋势进行预报。

工程测量有着悠久的历史，近二三十年来，随着测绘仪器的飞速发展，工程测量技术已经发生了质的变化，并取得了巨大的成就。随着传统测绘技术向数字化测绘技术转化，我国工程测量的发展可以概括为“四化”和“十六字”。所谓“四化”是：工程测量内外业作业的一体化，数据获取及其处理的自动化，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；“十六字”是：连续、动态、遥测、实时、精确、可靠、快速、简便。

1.1.1 测距工具和仪器的发展

《史记·夏本纪》中记载夏朝大禹使用“准、绳、规、矩”测定距离远近和高低的记载；公元前 400 年我国战国时代发明了记里鼓车，进行测量距离；1903 年，研制了因瓦基线尺，应用于精密距离测量，精度可达 $1/1\,000\,000$ ；20 世纪 60 年代中期，出现了以砷化钾管作为光源的红外测距仪；20 世纪 60 年代末，出现了以氦氖激光器作为光源、采用晶体管线路的激光测距仪，其主机质量约 20 kg，测程可达 60 km，并且可以在白天和夜间观测，测距精度可达到 $\pm (5\text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ ；1956 年生产出第一台微波测距仪，在理想的条件下，测程可达 66 ~ 80 km。

1.1.2 测角仪器（经纬仪）的发展

经纬仪是用来测量水平或竖直角度的仪器，根据角度测量原理制成，是一种重要的大地测量仪器。公元前 3 世纪，中国已经利用磁石指极性制成了指南仪器——司南，用来测定方

向；724 年，我国唐朝僧一行开始用“覆矩”测定天体的高度角，用“立杆测影”的方法测定纬度；1680 年，意大利人制成附有视距丝的望远镜，用在测角仪器上，奠定了早期经纬仪的基础；1714 年，清朝康熙皇帝亲自监制了一台铜质游标经纬仪；英国机械师西森（Sisson）约于 1730 年首先研制成功游标经纬仪，后经改进成型，正式用于英国大地测量中。1783 年，英国制成了度盘直径 90 cm、质量 91 kg 的游标经纬仪，完成游标经纬仪的雏形；1920 年，德国蔡司光学仪器厂威特等人研制成世界上第一台光学经纬仪，定名为 T1 型；1960 年开始出现了电子经纬仪，随着电子测微技术的发展，电子经纬仪的测角精度越来越高。

经纬仪根据度盘刻度和读数方式的不同，分为游标经纬仪、光学经纬仪和电子经纬仪，目前我国主要使用光学经纬仪和电子经纬仪，游标经纬仪早已被淘汰。

1.1.3 水准测量工具和仪器的发展

11 世纪，我国宋朝科学家沈括创立了用分层筑堰法进行水准测量，利用水平尺在地形测量中测定地面高低；17 世纪中叶，在水准器和望远镜的基础上，研制出了最早的水准仪；20 世纪初，在内对光望远镜和符合水准器的技术基础上，制造出了微倾水准仪；1950 年，德国蔡司光学仪器厂生产出了世界上第一台自动安平水准仪；20 世纪 60 年代，研制出了激光水准仪；20 世纪 90 年代，在研制出条形码水准尺的基础上，徕卡公司研制出了世界上第一台数字水准仪 WILD NA2000。

水准仪（Level）是建立水平视线测定地面两点间高差的仪器，按精度分为精密水准仪和普通水准仪；按结构分为微倾水准仪、自动安平水准仪、激光水准仪和数字水准仪（又称电子水准仪）。

（1）微倾水准仪。

借助微倾螺旋获得水平视线，其管水准器分划值小、灵敏度高，望远镜与管水准器连接成一体，凭借微倾螺旋使管水准器在竖直面内微作俯仰，附合水准器居中，视线水平。

（2）自动安平水准仪。

借助自动安平补偿器获得水平视线，当望远镜视线有微量倾斜时，补偿器在重力作用下对望远镜做相对移动，从而迅速获得视线水平时的标尺读数，较微倾水准仪工效高、精度稳定。

（3）激光水准仪。

利用激光束代替人工读数，将激光器发出的激光束导入望远镜筒内使其沿视准轴方向射出水平激光束，在水准标尺上配备能自动跟踪的光电接收靶，即可进行水准测量。

（4）数字（电子）水准仪。

这是 20 世纪 90 年代发展的水准仪，集光机电、计算机和图像处理等高新技术为一体，是现代测绘科技最新发展的结晶，电子水准仪是以自动安平水准仪为基础，在望远镜光路中增加了分光镜和探测器（CCD），并采用条码标尺和图像处理电子系统而构成的光机电测一体化的高科技产品，采用普通标尺时，又可像一般自动安平水准仪一样使用，它与传统水准仪相比有以下特点：

① 读数客观。不存在误差、误记问题，没有人为读数误差。

② 精度高。视线高和视距读数都是采用大量条码分划图像经处理后取平均得出来的，因此削弱了标尺分划误差的影响。多数仪器都有进行多次读数取平均的功能，可以削弱外界条件影响，不熟练的作业人员业也能进行高精度测量。

③ 速度快。由于省去了报数、听记、现场计算的时间以及人为出错的重测数量，测量时间与传统仪器相比可以节省 1/3 左右。

④ 效率高。只需调焦和按键就可以自动读数，减轻了劳动强度，视距还能自动记录、检核、处理并能输入电子计算机进行后处理，可实现内外业一体化。

1.1.4 全站仪的发展

全站仪，即全站型电子速测仪（Electronic total station），是一种集光、机、电为一体的高技术测量仪器，是集水平角、垂直角、距离（斜距、平距）、高差测量功能于一体的测绘仪器系统。其类型主要有：编码盘测角系统、光栅盘测角系统及动态（光栅盘）测角系统三种。根据测角精度可分为 0.5″，1″，2″，3″，5″，10″等几个等级，1977 年，徕卡公司生产了全球首款具有机载数据处理功能的全站仪（Wild）TC1。

20 世纪 80 年代末，人们根据电子测角系统和电子测距系统的发展不平衡，将全站仪分成两大类，即积木式和整体式。早期的全站仪，大都是积木型结构，即电子速测仪、电子经纬仪、电子记录器各是一个整体，可以分离使用，也可以通过电缆或接口把它们组合起来，形成完整的全站仪。随着电子测距仪进一步的轻巧化，现代的全站仪大都把测距、测角和记录单元在光学、机械等方面设计成一个不可分割的整体，其中测距仪的发射轴、接收轴和望远镜的视准轴为同轴结构，这对保证较大垂直角条件下的距离测量精度非常有利。

全站仪按测量功能可分成以下四类：

（1）经典型全站仪（Classical total station）。

经典型全站仪也称为常规全站仪，它具备全站仪电子测角、电子测距和数据自动记录等基本功能，有的还可以运行厂家或用户自主开发的机载测量程序，其经典代表为徕卡公司的 TC 系列全站仪。

（2）机动型全站仪（Motorized total station）。

在经典全站仪的基础上安装轴系步进电机，可自动驱动全站仪照准部和望远镜的旋转。在计算机的在线控制下，机动型系列全站仪可按计算机给定的方向值自动照准目标，并可实现自动正、倒镜测量，徕卡 TCM 系列全站仪就是典型的机动型全站仪。

（3）无合作目标性全站仪（Reflectorless total station）。

无合作目标型全站仪是指在无反射棱镜的条件下，可对一般的目标直接测距的全站仪。因此，对不便安置反射棱镜的目标进行测量，无合作目标型全站仪具有明显优势。如徕卡 TCR 系列全站仪，无合作目标距离测程可达 1 000 m，可广泛用于地籍测量、房产测量和矿山施工测量等。

（4）智能型全站仪（Robotic total station）。

在机动化全站仪的基础上，仪器安装自动目标识别与照准的新功能，因此在自动化的进

程中，全站仪进一步克服了需要人工照准目标的重大缺陷，实现了全站仪的智能化。在相关软件的控制下，智能型全站仪在无人干预的条件下可自动完成多个目标的识别、照准与测量，因此，智能型全站仪又称为“测量机器人”，典型的代表有徕卡的 TCA 型全站仪等。

全站仪按测距还可以分为以下三类：

(1) 短距离测距全站仪。

测程小于 3 km，一般精度为 $\pm (5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，主要用于普通测量和城市测量。

(2) 中测程全站仪。

测程为 3 ~ 15 km，一般精度为 $\pm (5 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ ， $\pm (2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \cdot D)$ 通常用于一般等级的控制测量。

(3) 长测程全站仪。

测程大于 15 km，一般精度为 $\pm (5 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，通常用于国家三角网及特级导线的测量。目前，世界上最高精度的全站仪：测角精度（一测回方向标准偏差）0.50″，测距精度 $1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$ ，利用 ATR（Auto Targets Recognition，自动目标识别）功能，白天和黑夜（无需照明）都可以工作。如图 1-1 为徕卡 TS30 全站仪，测角精度 0.50″，最小显示 0.1″，测距精度 $1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$ ，既可人工操作也可自动操作，既可远距离遥控运行也可在机载应用程序控制下使用，可使用在精密工程测量、变形监测、无容许限差的机械引导控制等应用领域。

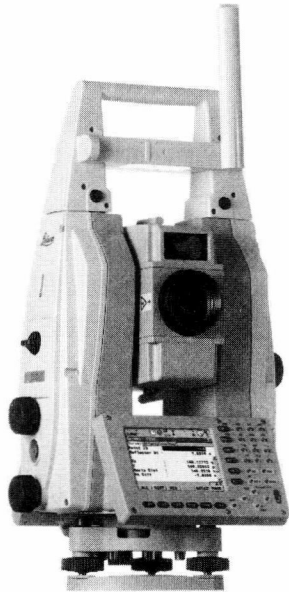


图 1-1 徕卡 TS30

全站仪的发展趋势有：长测程无棱镜技术，高度集成化技术，WinCE 可视化技术，与图像有机结合技术，全面自动化技术，与 GPS 结合化技术。

全站仪的生产厂家很多，其中进口品牌有：徕卡、索佳、尼康、拓普康、宾得和天宝；进口品牌国产化的有：科维（拓普康）和中纬（徕卡）；国产品牌有：中海达、南方、三鼎、瑞得、科力达、苏州一光、常州大地、天津欧波、北京博飞和常州迈拓等。

1.1.5 陀螺经纬仪的发展

陀螺经纬仪 (Gyro theodolite) 是带有陀螺仪装置、用于测定直线真方位角的经纬仪, 其关键装置之一是陀螺仪, 简称陀螺, 又称回转仪。主要由一个高速旋转的转子支承在一个或两个框架上而构成, 具有一个框架的称二自由度陀螺仪; 具有内外两个框架的称三自由度陀螺仪。经纬仪上安置悬挂式陀螺仪, 是利用其具指北性确定真子午线北方向, 再用经纬仪测定出真子午线北方向至待定方向所夹的水平角, 即真方位角。指北性, 是指悬挂式者在受重力作用和地球自转角速度影响下, 陀螺轴将产生进动、逐渐向真子面靠拢, 最终达到以真子面为对称中心, 作角简谐运动的特性, 确定真子午线北方向的常用方法, 有中天法和逆转点法。主要应用于隧道施工测量, 以及盾构掘进中的水平及真北方向测量, 可大大弥补导线过长所造成的精度损失。

陀螺经纬仪的陀螺装置由陀螺部分和电源部分组成, 陀螺本体在装置内用丝线吊起使旋转轴处于水平。当陀螺旋转时, 由于地球的自转, 旋转轴在水平面内以真北为中心产生缓慢的岁差运动, 旋转轴的方向由装置外的目镜可以进行观测, 陀螺指针的振动中心方向指向真北。利用陀螺经纬仪的真北测定方法有“追尾测定”和“时间测定”等, 应用陀螺经纬仪进行定向的操作过程可概括为以下几个步骤:

- (1) 在已知方位的边上测定仪器常数。
- (2) 在待定边上测定陀螺方位角:
 - ① 观测测前测线方向值;
 - ② 观测测前零位;
 - ③ 粗略定向, 即使望远镜视准轴位于近似北方向;
 - ④ 精密定向, 即测定陀螺摆动的平衡位置 (即陀螺北方向);
 - ⑤ 观测测后零位;
 - ⑥ 观测测后测线方向值。
- (3) 在已知边上重新测定仪器常数。
- (4) 计算测线的坐标方位角。

陀螺特性的发现与应用于我国西汉末年开始, 近代由于航海与采矿业的发展, 将陀螺技术用于测北定向。法国人 L. Foucault 于 1852 年创造了第一台实验陀螺罗经, 德国人 H. Anschütz 制成第一台实用陀螺罗经样机, 德国人 M. Schuler 于 1908 年首次制成单转子液浮陀螺罗经, 用于军事和航海, 1949 年德国 Clausthal 矿业学院 O. Rellensmann 研制出 MW1 型子午线指示仪, 并于 1958 年研制出金属带悬挂陀螺灵敏部的 KT-1 陀螺经纬仪。近代世界各国先后开展了陀螺经纬仪的研制工作, 相继生产出多种型号的产品, 根据仪器结构和发展阶段, 将陀螺经纬仪划分为液体漂浮式、下架悬挂式和上架悬挂式三种类型。

1.1.6 陀螺全站仪的发展

陀螺全站仪是利用高速回转体的内置陀螺进行真北方向的准确定位的高精度全站仪, 是由长安大学杨志强教授领队研发出来的, 能够用以超长隧道的定向等高精度测量, 其优势在于其真北方向的准确确定。

天津中船重工 TJ9000 陀螺全站仪（见图 1-2）是我国军方研制的高精度性能可靠稳定的陀螺全站仪，通过感应地球微弱磁场来精确寻北，目前最高精度已达到 15 s，实现全自动精确寻北。我国陀螺仪技术在国际上较为领先，我国军方早在 20 世纪 50 年代末就开始研发并生产陀螺仪，具有 60 多年陀螺研发生产历史，并且早已大量装备部队，2008 年北京麦格天宝科技发展集团与军方强强合作，将 TJ9000 陀螺仪成功推进我国民用市场。

BTJ-8（见图 1-3）陀螺全站仪（经纬仪）是由北京格林瑞达科技发展有限公司和中国航天合作开放应用于民用产品的全自动陀螺仪，产品性能通过军工标准验证，稳定性好，精度高，能够短时间内全自动测定目标方位角，该全自动陀螺全站仪（经纬仪）的操作步骤简单，与传统陀螺仪相比，操作者只需简单的几次按键，其他工作全部由仪器自动完成。

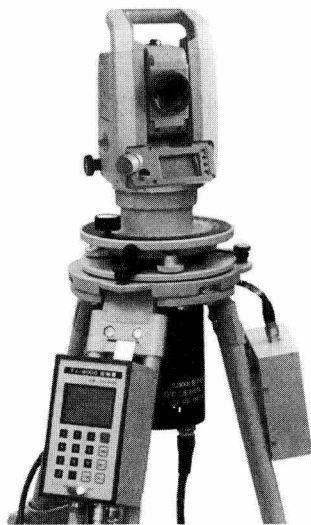


图 1-2 TJ9000 型陀螺全站仪



图 1-3 陀螺全站仪 BTJ-8

HGG05 型全自动积分式陀螺仪，定向精度 $\leq 5''$ ，定向时间 $\leq 12\text{ min}$ ，是在解放军 1001 厂已批量生产的 Y/JTQ-1 积分式陀螺仪的基础上，充分借鉴和吸收国内外产品的成熟经验，研制出的一种全自动、高精度、具有市场推广应用价值的新型陀螺仪。它采用积分法测量原理，在测量中除架设和瞄准外，整个过程无需任何人工操作。测量结束后，在全站仪上直接显示真北方位角，实现了测量全过程的自动限幅、自动锁放、自主寻北，可快速地提供精确的方位基准，也可用于火炮、雷达和需要标定方位的军事设施，在大地测量、工程测量和矿山贯通测量等领域也有广泛的应用前景。

1.1.7 全球定位系统（GPS）的发展

利用 GPS 定位卫星，在全球范围内实时进行定位、导航的系统，称为全球卫星定位系统，简称 GPS。1957 年，人造地球卫星上天，从此开始了卫星大地测量和卫星定位测量，GPS 起始于 1958 年美国军方的一个项目；1973 年，美国国防部批准建立全球定位系统（GPS）；1974 年，美国开始研制 GPS；1978 年 2 月 22 日第一颗 GPS 卫星上天，主要目的是为陆、海、空

三大领域提供实时、全天候和全球性的导航服务，并用于情报收集、核爆监测和应急通信等一些军事目的；1991 年，全球第一台采用快速静态测量技术的 GPS 产品——System 200 诞生。1993 年 12 月 8 日，美国国防部正式宣布 GPS 已达到“初始运作能力”，GPS 的单点定位精度为 $\pm 25 \text{ m}$ （P 码）或 $\pm 100 \text{ m}$ ，相对定位精度 $\pm (5 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6})$ ，到 1994 年，全球覆盖率达 98% 的 24 颗 GPS 卫星星座已布设完成，按《全球定位系统（GPS）测量规范》，GPS 测量精度共划分为 AA、A、B、C、D、E 级。

GPS 由空间部分、地面控制系统和用户设备部分三部分组成。

GPS 的空间部分是由 24 颗卫星组成（21 颗工作卫星，3 颗备用卫星），它位于距地表 20 200 km 的上空，运行周期为 12 h。卫星均匀分布在 6 个轨道面上（每个轨道面 4 颗），轨道倾角为 55° 。卫星的分布使得在全球任何地方、任何时间都可观测到 4 颗以上的卫星，并能在卫星中预存导航信息，GPS 的卫星因为大气摩擦等问题，随着时间的推移，导航精度会逐渐降低。

地面控制系统由监测站（Monitor Station）、主控制站（Master Monitor Station）、地面天线（Ground Antenna）所组成，主控制站位于美国科罗拉多州春田市（Colorado. Springfield）。地面控制站负责收集由卫星传回的信息，并计算卫星星历、相对距离、大气校正等数据。

用户设备部分即 GPS 信号接收机，其主要功能是能够捕获到按一定卫星截止角所选择的待测卫星，并跟踪这些卫星的运行。当接收机捕获到跟踪的卫星信号后，就可测量出接收天线至卫星的伪距离和距离的变化率，解调出卫星轨道参数等数据。根据这些数据，接收机中的微处理计算机就可按定位解算方法进行定位计算，计算出用户所在地理位置的经纬度、高度、速度、时间等信息。接收机硬件和机内软件以及 GPS 数据的数据后处理软件包构成完整的 GPS 用户设备。GPS 接收机的结构分为天线单元和接收单元两部分。接收机一般采用机内和机外两种直流电源，设置机内电源的目的在于更换外电源时不中断连续观测。在用机外电源时机内电池自动充电，关机后机内电池为 RAM 存储器供电，以防止数据丢失，各种类型的接收机体积越来越小，质量越来越轻，便于野外观测使用。GPS 卫星接收机种类很多，根据型号分为测地型、全站型、定时型、手持型、集成型；根据用途分为车载式、船载式、机载式、星载式、弹载式；根据接收机按载波频率分类有单频与双频两种，但由于价格因素，一般使用者所购买的多为单频接收器。

单频接收机只能接收 L1 载波信号，测定载波相位观测值进行定位，由于不能有效消除电离层延迟影响，单频接收机只适用于短基线（ $<15 \text{ km}$ ）的精密定位。

双频接收机可以同时接收 L1、L2 载波信号，利用双频对电离层延迟的不一样，可以消除电离层对电磁波信号的延迟的影响，因此双频接收机可用于长达几千千米的精密定位。

GPS 的优势有：

（1）全球全天候定位。

GPS 卫星的数目较多，且分布均匀，保证了地球上任何地方任何时间至少可以同时观测到 4 颗 GPS 卫星，确保实现全球全天候连续的导航定位服务（除打雷闪电不宜观测外）。

（2）定位精度高。

应用实践已经证明，GPS 相对定位精度在 50 km 以内可达 $10 \sim 6 \text{ m}$ ，100 ~ 500 km 可达 $10 \sim 7 \text{ m}$ ，1 000 km 可达 $10 \sim 9 \text{ m}$ 。在 300 ~ 1 500 m 工程精密定位中，1 小时以上观测时解其

平面位置误差小于 1 mm, 与 ME-5000 电磁波测距仪测定的边长比较, 其边长较差最大为 0.5 mm, 校差中误差为 0.3 mm。

实时单点定位 (用于导航): P 码 1 ~ 2 m; C/A 码 5 ~ 10 m。

静态相对定位: 50 km 之内误差为几毫米 + $(1 \sim 2) \times 10^{-6} \times D$; 50 km 以上可达 $(0.1 \sim 0.01) \times 10^{-6}$ mm。

实时伪距差分 (RTD): 精度达分米级。

实时相位差分 (RTK): 精度达 1 ~ 2 cm。

(3) 观测时间短。

随着 GPS 系统的不断完善、软件的不断更新, 20 km 以内相对静态定位, 仅需 15 ~ 20 min; 快速静态相对定位测量时, 当每个流动站与基准站相距在 15 km 以内时, 流动站观测时间只需 1 ~ 2 min; 采取实时动态定位模式时, 每站观测仅需几秒钟, 因而使用 GPS 技术建立控制网, 可以大大提高作业效率。

(4) 测站间无需通视。

GPS 测量只要求测站上空开阔, 不要求测站之间互相通视, 因而不需要建造觇标。这一优点既可大大减少测量工作的经费和时间 (一般造标费用占总经费的 30% ~ 50%), 同时也使选点工作变得非常灵活, 也可省去经典测量中的传算点、过渡点的测量工作。

(5) 仪器操作简便。

随着 GPS 接收机的不断改进, GPS 测量的自动化程度越来越高, 有的已趋于“傻瓜化”。在观测中测量员只需安置仪器, 连接电缆线, 量取天线高, 监视仪器的工作状态, 而其他观测工作, 如卫星的捕获, 跟踪观测和记录等均由仪器自动完成, 结束测量时, 仅需关闭电源, 收好接收机, 便完成了野外数据采集任务。

如果在一个测站上需作长时间的连续观测, 还可以通过数据通信方式, 将所采集的数据传送到数据处理中心, 实现全自动化的数据采集与处理。另外, 接收机体积也越来越小, 相应的质量也越来越小, 极大地减轻了测量工作者的劳动强度。

(6) 可提供全球统一的三维地心坐标。

GPS 测量可同时精确测定测站平面位置和大地高程。GPS 水准可满足四等水准测量的精度, 另外, GPS 定位是在全球统一的 WGS-84 坐标系中计算的, 因此全球不同地点的测量成果是相互关联的。

瑞士阿尔卑斯山的哥特哈德特长双线铁路隧道长达 57 km, 为该工程的修建特别地重新作了国家大地测量 (LV95), 采用 GPS 技术施测的控制网, 以厘米级的精度确定出了整个地区的大地水准面, 于 2006 年全线贯通, 整个工程的测量工作集中反映了工程测量的最新技术。

1.1.8 中国北斗卫星导航系统 (BDS) 的发展

北斗卫星导航系统是中国自行研制的全球卫星定位与通信系统 (BDS), 是继美全球定位系统 (GPS)、俄罗斯 GLONASS 和欧洲伽利略 (Galileo Positioning System) 之后全球第四大卫星导航系统。系统由空间段、地面段和用户段组成, 可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务, 并具短报文通信能力, 已经初步具备区

域导航、定位和授时能力，定位精度优于 20 m，授时精度优于 100 ns，2012 年 12 月 27 日，北斗系统空间信号接口控制文件正式版正式公布，北斗导航业务正式对亚太地区提供无源定位、导航、授时服务。

北斗卫星导航系统“三步走”计划为：

第一步，即区域性导航系统，已由北斗一号卫星定位系统完成，这是中国自主研发，利用地球同步卫星为用户提供全天候、覆盖中国和周边地区的卫星定位系统。中国先后在 2000 年 10 月 31 日、2000 年 12 月 21 日和 2003 年 5 月 25 日发射了 3 颗“北斗”静止轨道试验导航卫星，组成了“北斗”区域卫星导航系统，北斗一号卫星在汶川地震发生后发挥了重要作用。

第二步，即在“十二五”前期完成发射 12 颗到 14 颗卫星任务，组成区域性、可以自主导航的定位系统。

第三步，即在 2020 年前，有 30 多颗卫星覆盖全球。北斗二号将为中国及周边地区的军民用户提供陆、海、空导航定位服务，促进卫星定位、导航、授时服务功能的应用，为航天用户提供定位和轨道测定手段，满足导航定位信息交换的需要等。

2012 年北斗系统完成了 4 箭 6 星的发射，北斗系统区域组网完成后，与 2011 年 12 月 27 日提供试运行服务时的性能相比，服务性能大幅提升。覆盖区域由原有的东经 $84^{\circ} \sim 160^{\circ}$ 扩展到现在的东经 $55^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ，系统定位精度由去年的平面 25 m、高程 30 m 到现在的平面 10 m、高程 10 m，测速精度由 0.4 m/s 提高到 0.2 m/s。同时，北斗卫星导航系统与 GPS 等系统兼容共用。对用户来讲，由于北斗系统的加入将享受到更优质的卫星导航服务和更好的体验。而与美国 GPS、俄罗斯格洛纳斯等系统相比，除了能够提供其他系统所具备的无源导航、定位、授时服务外，“北斗”还继续保留了试验系统所具有的位置报告、短报文服务。一般的卫星导航用户只会知道自己在哪个地方，但是北斗卫星导航系统不仅可以让别人知道你在哪个地方，还可以知道别人在哪个地方，这是北斗有别于其他系统的重要特色。

2012 年 12 月 25 日 23 时 33 分，我国在西昌卫星发射中心用长征三号丙运载火箭，成功将第十六颗北斗导航卫星发射升空并送入预定转移轨道。这是一颗地球静止轨道卫星，将与先期发射的 15 颗北斗导航卫星组网运行，形成区域服务能力。根据计划，北斗卫星导航系统将于 2013 年初向亚太大部分地区提供正式服务，这次发射的北斗导航卫星和长征三号丙运载火箭，分别由中国航天科技集团公司所属中国空间技术研究院和中国运载火箭技术研究院研制。

1.2 工程测量技术的性质和研究的对象

1.2.1 工程测量技术的性质

本课程是工程测量技术专业的核心专业课程，也是一门实践性强、理论和实践相结合紧密的课程。通过本课程学习，可以培养学生在公路工程（含高速公路）、铁路工程（含客运专线）、工业与民用建筑工程、市政工程等土木工程建设中必须具有的测量基本理论、基本方法

和基本技能，培养学生动手、实践和创新能力，为学生学习后继专业课程和毕业后走向工作岗位奠定基础。

1.2.2 工程测量技术的研究对象和任务

工程测量技术是研究各项工程建设在规划设计、施工放样和运营管理各阶段中进行测量工作的理论、技术和方法的一门科学，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，工程测量技术的研究对象主要有：

- (1) 工业与民用建筑施工测量；
- (2) 铁路工程施工测量；
- (3) 公路工程施工测量；
- (4) 桥梁施工测量；
- (5) 隧道、地铁及地下工程施工测量；
- (6) 水利工程施工测量；
- (7) 输电线路与输油管道施工测量；
- (8) 市政工程施工测量。

工程测量技术的主要任务就是根据工程建设在规划设计、施工和运营管理这三个阶段所进行的各种测量工作。

(1) 规划设计阶段测量的任务主要是提供地形资料即地形图，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。

工程建设的规划设计通常可分选址、初步设计和施工设计几个阶段。各阶段设计的目的及任务不同，内容也有所不同，就其与测绘工作的关系来说，各设计阶段涉及地域的大小不同，对地形信息详细程度的要求不同，因而各设计阶段所需地形图比例尺的大小不同。

选址和初步设计阶段—— $1:5\,000$ 至 $1:100\,000$ 或利用已有的地形图；施工设计阶段—— $1:500$ 至 $1:2\,000$ ，通常按照设计需要的范围实地测绘。大面积的测图（如大型水利枢纽、铁路）一般采用摄影测量方法，而中、小范围的测图通常采用地面数字化测图方法。

(2) 施工建设阶段测量的主要任务是按照设计图纸要求在实地准确地标定建筑物（构筑物或结构物）各部分的平面位置和高程位置，作为施工与安装的依据，建设施工阶段的测量工作就包括施工控制网的建立和定线放样两大部分。

(3) 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。

1.3 工程测量技术的特点和学习方法

1.3.1 工程测量技术的特点

本课程具有实践性强、独立性强、综合性强、涉及面广等特点。