

JIANZHUGONGCHENG

高等职业教育土木与
建筑专业“十二五”规划教材



建筑 工程测量

彭维吉 彭子茂 主编
翟 翊 顾问

中国建材工业出版社

高等职业教育土木与建筑专业“十二五”规划教材



建筑工程测量

彭维吉 彭子茂 主 编

任 伟 王郑睿 李乃宏 朱世同 副主编

汤敏捷 马彩霞 高 巍

马华宇 郭玉珍 万 径 彭奇娟 王田磊 参 编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程测量 / 彭维吉, 彭子茂主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2012.8
高等职业教育土木与建筑专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5160-0259-9

I. ①建… II. ①彭… ②彭… III. ①建筑测量-高等职业教育-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 176223 号

内 容 提 要

本书是根据高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育委员会制定的建筑工程技术专业教学标准、人才培养方案及课程标准编写的。全书共分十章, 内容包括: 建筑工程测量基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、全站仪测量、测量误差基础、控制测量、大比例尺地形图测绘、建筑施工测量、建筑物变形观测。

本教材能够满足建筑工程技术专业、道路桥梁技术专业的教学需要, 也能适应测绘工程和其他相关专业的教学需要, 还可作为职工岗位培训的教材, 是测绘和其他相关专业科技人员的技术参考书。

建筑工程测量

彭维吉 彭子茂 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 25

字 数: 608 千字

版 次: 2012 年 8 月第 1 版

印 次: 2012 年 8 月第 1 次

定 价: 48.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。电话: (010)88386906

对本书内容有任何疑问及建议, 请与本书责编联系。邮箱: jiaocaidayi51@sina.com

“建筑工程测量”是高等职业院校测绘类专业的专业课程，该课程的开设对于高等职业院校培养测绘专业人才具有很重要的意义。学生通过该课程的学习，可以掌握建筑工程测量的原理与方法，掌握工程测量的基本本领，拓宽就业面，为今后从事测绘工作打下良好基础。近些年来，随着测绘科学和技术的飞速发展，新的测量技术和仪器设备在测量实践中普及应用，建筑工程测量的方法和手段已经发生了巨大变化。

黄河水利职业技术学院的彭维吉老师曾长期从事城市规划测量及管理工作，具有丰富的实践经验，是我国首批经过考试取得注册测绘师资格的教师。《建筑工程测量》就是他与同事共同总结近几年的教学及实践经验编写而成的。该教材具有先进的教学理念和较高的理论水平，较好地处理了实践与理论的关系，处理了传统测量技术与现代测量新技术的关系，删除了传统测量中过时的内容，充实了现代测量的新技术，使教材内容更适合高职高专的教学需要。

教材内容通俗易懂，语言表述严谨准确，按照循序渐进、深入浅出的原则，符合高等职业技术学院培养学生的要求，符合高等职业院校测绘专业人才培养计划和课程标准，不仅可作为测绘工程和其他相关专业“建筑工程测量”课程的教材，还可作为测绘和其他相关专业科技人员的技术参考书。

翟 翔

中国测绘学会教育委员会秘书长
解放军信息工程大学教授

建筑工程测量是建筑工程技术专业的主要专业课程,内容包括测量的基本知识和基本方法,规划设计阶段测图控制测量、地形图测绘及应用,建筑工程施工阶段的施工控制测量和定位放样,运营阶段的竣工测量和变形监测,以及涉及内容从基坑到地表和地表上空的建设工程测量。本课程与施工技术联系紧密,对学生运用测量知识、方法解决土建工程的施工问题具有十分重要的作用。

近年来,测绘科学技术得到飞速发展,测量方法多样化、测量作业自动化、测量成果数字化、测绘工作信息化已成为测绘发展方向。为适应测量新技术、新方法和测量仪器的最新发展,本书适当扩充了全站仪测量、GPS测量、数字测图等教学内容。

本书编写力求理论与实践并重,重点强化能力训练,力求使每一位学习者通过对本书的学习,都能具备测量仪器的使用维护能力、测量方法的运用能力、测量数据的获取能力、测量数据的处理分析能力、测量成果的检查验收能力和测量方案的编制能力。

参加本书编写的有黄河水利职业技术学院彭维吉、朱世同、李乃宏、郭玉珍、万径、彭奇娟,湖南交通职业技术学院彭子茂,华北水电学院职业技术学院王郑睿,河南建筑职业技术学院马华宇,开封大学任伟,湖南娄底职业技术学院汤敏捷,邯郸职业技术学院马彩霞,商丘工学院高巍,南方测绘集团王田磊。全书由彭维吉、彭子茂统稿并担任主编,任伟、王郑睿、李乃宏、朱世同、汤敏捷、马彩霞、高巍担任副主编。解放军信息工程大学翟翊教授对本书进行了全面审查,提出了许多宝贵意见和建议,中国建材工业出版社编辑对本书出版给予了指导和帮助,在此表示衷心感谢。

书中如有不当之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

- 第一章 建筑工程测量基本知识 / 1
 - 第一节 测绘及其发展 / 1
 - 第二节 地面位置的确定与表示 / 6
 - 第三节 用水平面代替水准面的限度 / 24
 - 第四节 测量计量单位 / 26
 - 第五节 建筑工程测量的基本要求 / 28
- 第二章 水准测量 / 32
 - 第一节 高程测量概述 / 32
 - 第二节 水准测量原理 / 32
 - 第三节 水准测量仪器 / 35
 - 第四节 水准仪的使用 / 44
 - 第五节 水准测量实施 / 51
 - 第六节 水准点的高程计算 / 68
 - 第七节 水准测量成果 / 72
- 第三章 角度测量 / 74
 - 第一节 角度测量原理 / 74
 - 第二节 经纬仪的分类使用 / 75
 - 第三节 角度测量记录计算及误差分析 / 89
- 第四章 距离测量 / 99
 - 第一节 钢尺量距 / 99
 - 第二节 普通视距测量 / 106
 - 第三节 电磁波测距 / 110
- 第五章 全站仪测量 / 119
 - 第一节 全站仪的基本功能 / 119
 - 第二节 全站仪的数据通信 / 122
 - 第三节 全站仪使用 / 126
- 第六章 测量误差基础 / 132
 - 第一节 测量误差概述 / 132
 - 第二节 衡量精度的标准 / 137

第三节 观测值的算术平均值及其中误差 / 139

第四节 误差传播定律及其应用 / 141

第五节 非等精度观测值的最或然值及其中误差 / 143

● 第七章 控制测量 / 150

第一节 控制测量概述 / 150

第二节 导线测量 / 153

第三节 交会测量 / 168

第四节 四等水准测量 / 177

第五节 三角高程测量 / 181

第六节 GPS 控制测量 / 189

● 第八章 大比例尺地形图测绘 / 210

第一节 地形图基本知识 / 210

第二节 地形图分幅与编号 / 229

第三节 碎部点测量的方法 / 237

第四节 地物测绘及要求 / 247

第五节 等高线及地貌测绘 / 252

第六节 大比例尺地形图的测绘 / 260

第七节 GPS-RTK 地形测量 / 279

第八节 大比例尺地形图测绘成果 / 282

第九节 地形图基本应用 / 282

● 第九章 建筑施工测量 / 293

第一节 施工测量的基本工作 / 293

第二节 建筑施工控制测量 / 304

第三节 民用建筑施工测量 / 308

第四节 工业厂房施工测量 / 324

第五节 竣工总平面图的测绘 / 333

● 第十章 建筑物变形观测 / 336

第一节 变形观测概述 / 336

第二节 垂直位移观测 / 341

第三节 水平位移观测 / 358

第四节 倾斜观测 / 377

第五节 其他变形测量 / 382

第六节 基坑监测 / 388

● 参考文献 / 394

第一章 建筑工程测量基本知识

为工程建设规划设计阶段、施工阶段、竣工运营管理阶段提供测定、测设服务是工程测量的主要工程技术任务。测定是规划设计阶段、竣工运营管理阶段工程测量工作的主要任务,它是以地形图、竣工图、变形测量成果为依据定性、定量描述测量对象及其特征点的形状、大小、位置、变化、质量、安全等信息,主要为规划设计、建筑工程档案管理和安全运营管理服务。测设是施工阶段工程测量的主要任务,它是以规划图、施工图及其变更文件为依据,将建筑物及其特征点准确标定到地面、传递到地表空间的地下和上空,主要为建筑工程信息化施工服务。

根据规划设计阶段、施工阶段、竣工运营管理阶段对用图、放样、变形监测的需求,研究如何测绘、使用地形图,研究如何将规划设计图上的建筑物特征点位置测设到工作面上为施工提供依据,研究如何精确测定、监测建筑物上一系列关键点在自身荷载和外力作用下随时间的变化,确保建筑物的安全、稳定,为验证设计理论和信息化施工提供资料。

建设工程包罗万象,建筑工程仅是建设工程领域的一部分;工程测量是测绘地理信息业的领域之一。建筑工程测量主要是为土木建筑工程提供测定、测设服务的工程测量工作。

第一节 测绘及其发展

一、测绘的概念

准确理解测绘的职责,切实明确测绘的任务,全面保障测绘服务国家建设大局,是测绘不断发展的客观要求。

顾名思义,测绘就是测量和制图的总称。

测量是人们通过调查得到研究物体是什么、是谁的、何时建成的等属性信息,并通过专门的测量仪器设备获取该研究物体在哪里、什么样子、有多少、随时间变化情况或与位置、形状、大小等有关的定量信息,为规划设计、信息化施工和管理决策提供测绘信息,为建筑物正常使用、除险加固、拆迁重建提供决策依据。

制图就是将研究物体的定量、定性信息按照专门的制图符号、一定的比例尺绘制表达成图的过程。测绘不限于测量制图,已扩展到地球监测、地理国情监测的广阔领域。

测绘法明确规定,测绘是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动。

测绘的法定定义,从对象、任务及作用对测绘进行了严格界定,随着测绘法的修订将会逐步完善。

(一)测绘的对象

测绘对象包括大到地球表面、小到依附地表的建筑物、机器零件等自然地理要素和人工

设施。

在测量工作中,一般将地球表面的形态分为地貌和地物两大类。地球表面自然形成的呈现高低起伏形态的,如山岭、溪谷、平原等是地貌;由自然形成或人工建造的具有明显轮廓的固定物体,如房屋、道路、桥梁、湖泊、河流、海洋等,称为地物。地貌和地物总称为地形。

测绘对象的表示,根据用途不同也稍有变化。

(1)根据大比例尺地形图制图需要,《国家基本比例尺地图图式 第1部分:1:500、1:1000、1:2000 地形图图式》(GB/T 20257.1—2007)将地表自然地理要素和人工设施分为测量控制点、水系、居民地及设施、交通、管线、境界、地貌、植被与土质、注记9大类,410多个地形图图式符号(注记除外)。地形图图式是人们阅读地表形态的语言,地图是人们认知地球的重要工具。

(2)根据土地管理工作需要,依据土地的自然属性、覆盖特征、利用方式、土地用途、经营特点及管理特性等因素,《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)将地表土地划分为12个一级类、57个二级类,每一类都对应有规定的图式符号。

(二)测绘的任务

采集、测定、处理和表述自然地理要素和人工设施定性、定量信息并提供用户使用是测绘的法定任务。简单地说,测绘的根本任务是测定、测设、成果表达与分发提供。

(1)测定就是用专门的测量仪器,通过调查、测量、计算、绘图等手段,获取自然地理要素或地表的人工设施是什么以及空间位置、形状、大小等定性、定量信息,并按一定比例尺、专门图式符号表达成供用户使用的普通地图、专题地图及基于计算机管理的基础地理信息系统。

如图1.1.1所示,要将测区内的山丘、房屋、河流、小桥、公路等内容按一定的程序和技术要求进行测绘,即经过控制测量、碎部测量、地形图绘制的程序,经测量、处理、绘制,表达成地形图。

采用导线测量、水准测量或三角高程测量的方法,建立平面控制网和高程控制网,得到控制点A~F的坐标、高程。

通过在已知控制点(如A点)上安置全站仪或经纬仪,在另一已知控制点F进行定向,以恢复测区统一坐标系统和高程系统。

经测站已知点检查、重合点检查正确无误后,即可进行碎部测量。测定测站一定范围(规范要求最大视距)内的地物、地貌特征点坐标、高程,通过白纸测图、数字成图等方法展绘、编辑、绘制成地形图。地物、地貌的特征点又称碎部点,测量碎部点坐标的过程称为碎部测量。

白纸测图是以人工、光学经纬仪为主,以模拟、图解技术为手段,有明显内、外业工作界线的传统作业方式,如大平板测图法、经纬仪配合分度仪测图法等,现已被数字测绘手段取代。

数字测绘是以计算机成图软件为核心,以全站仪、GPS-RTK等现代测量技术为手段,没有明显内、外界线的一体化数字测绘作业方式,如南方CASS、广州开思、武汉瑞得、清华山维等数字成图系统。

(2)测设就是将规划设计的建(构)筑物(如图1.1.1中的R、Q、P)的空间位置、形状、大小,用专门的测量仪器设备和一定的测量方法,经必要的数据处理,通过测量放线在实地标定出来,通过设置控制桩、龙门桩、龙门板等形式将轴线、高程投测到基础,传递到不同工作面,作

为工程施工的依据。

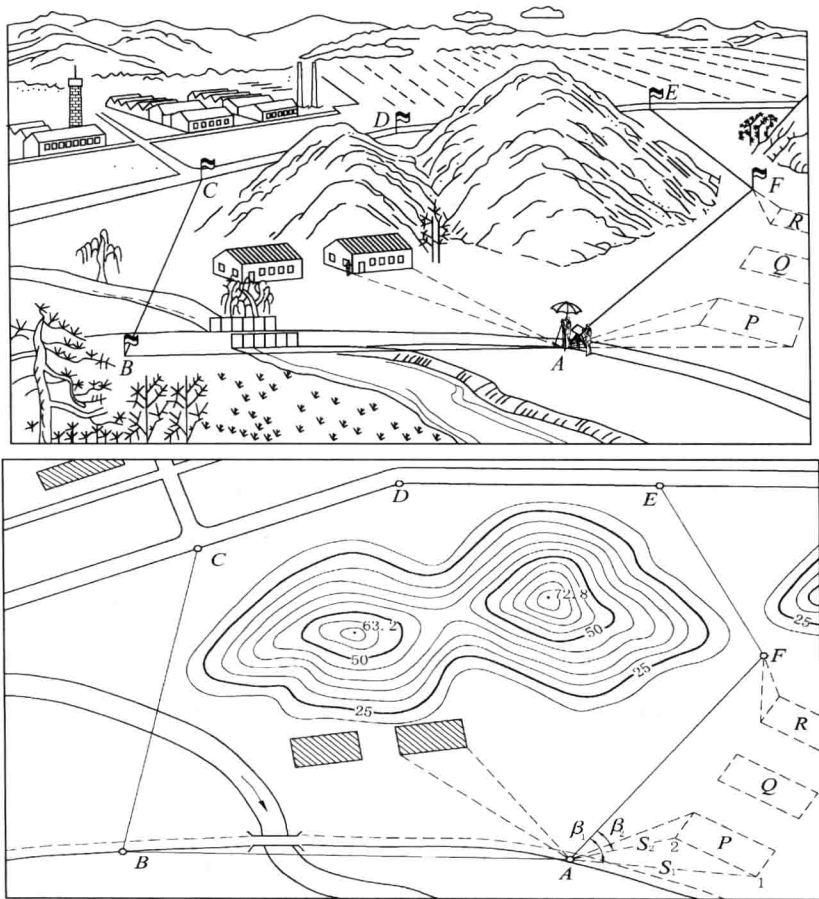


图 1.1.1 测设

图 1.1.1 中,设计人员已经在图纸上设计出了 P 、 Q 、 R 三幢建筑物,可通过极坐标法或其他方法将它们的位置标定到实地,通过激光准直仪、经纬仪将轴线投测到工作面,通过皮数杆、垂吊钢尺和电磁波测距将高程传递到各楼层。

如图 1.1.2 所示,极坐标法放样就是在设计建筑物附近的已知控制点 A 上安置全站仪或经纬仪,再选另一个已知控制点 B 作为定向方向,通过坐标反算计算出水平夹角 β 、水平距离 D ,用经纬仪或全站仪转换角 β 指示方向,如 $A1$ 方向,沿该方向测量距离 D_1 ,即可标定 1 号轴线点,然后依次测量、标定其他各点。

基槽或基坑开挖后,这些标定的建筑物轴线点要被挖掉,因此,需要将轴线投测到控制桩或龙门板上,以便基础施工时将轴线交点投测到基础实际位置,如图

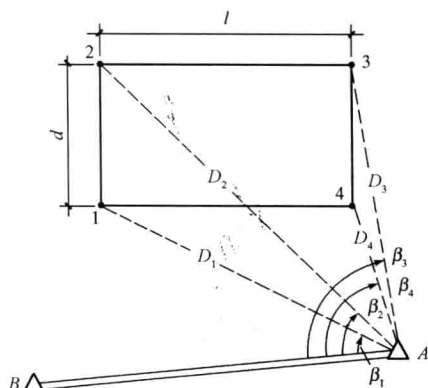


图 1.1.2 极坐标法放样

1.1.3 所示。

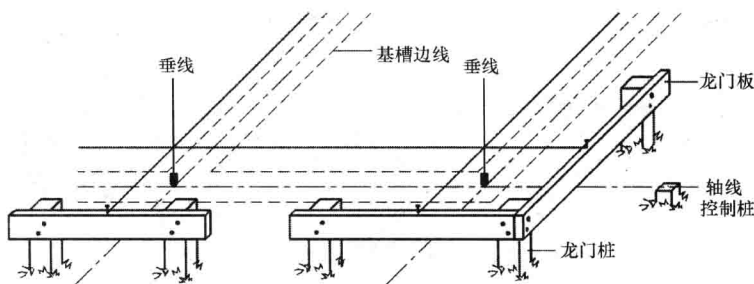


图 1.1.3 龙门板测设

房屋轴线平面位置的投测,通常使用重垂球、激光准直仪按内控法传递,也有按外控法用经纬仪方向交会投测。

墙体施工时,通过吊垂球使墙体沿铅垂线方向砌筑,用皮数杆使墙体高度沿铅垂线传递。

高层建筑各楼层高程传递通常采用吊钢尺法进行,吊钢尺有困难时,也可采用全站仪天顶方向测距法来引测高程。

(3)将测定获取的地理信息进行处理、表达,形成以纸质地图、数字地图、导航电子地图、互联网电子地图、地理信息系统等形式表达的测绘成果,通过人工提供或基于“信息高速公路”的网络分发,满足经济建设、国防建设和社会对测绘地理信息成果的需求。

· (三)测绘的分类

1. 测绘的学科分类

测绘科学与技术属于工学学科门类中的一个一级学科,下设三个二级学科,分别是:大地测量学与测量工程、摄影测量与遥感、地图制图学与地理信息工程。在理学学科门类地理学一级学科下,设有地图学与地理信息系统二级学科。

2. 测绘的业务分类

国家测绘局颁发的《测绘资质分级标准》将测绘分为:大地测量、测绘航空摄影、摄影测量与遥感、工程测量、地籍测绘、房产测绘、行政区域界线测绘、地理信息系统工程、地图编制、海洋测绘、导航电子地图制作、互联网地图服务和移动测量 13 个业务领域,这些领域实际上是测绘的工程技术任务。

二、测绘的作用

测绘事关国家安全、国防建设和社会稳定,测绘服务科学管理决策,测绘保障工程建设顺利进行,测绘满足社会大众生活,测绘促进科学研究、文化建设等社会事业发展。

测绘是交通、水利、城镇、工矿等经济建设管理和科学规划的重要依据。各项规划的编制离不开地图,项目建设选址意见书、土地征用方案、用地规划许可证、工程施工许可证的办理离不开测绘。

测量技术人员从场地平整、施工放样到轴线及高程传递、监测的全过程,为工程的信息化

施工和安全运营提供服务。工程测量的服务领域涵盖国家建设的各个领域,包括城建、地质、交通、房地产管理、水利电力、能源、航天和国防建设等行业。

城乡规划建设离不开测量。搞好城乡建设规划,先要有现势性好的地图,为编制科学合理的城乡规划蓝图提供基础,城市规划的实施需要测量、拨地定桩、规划道路定线、建筑物放样,规划验收需要进行竣工测量,建筑物安全施工和运营需要进行变形监测。

资源勘察与开发离不开测量。地球蕴藏着丰富的自然资源,需要人们去开发。勘探人员在野外工作时离不开地图,从确定勘探地域到最后绘制地质图、地貌图、矿藏分布图等,都需要用测量技术手段。重力测量可以直接用于资源勘探,工程师和科学家根据测量取得的重力场数据可以分析地下是否存在重要矿藏,如石油、天然气、各种金属等。

交通运输、水利建设离不开测量。铁路、公路的建设从选线、勘测设计到施工建设,都离不开测量。大、中水利工程也是先在地形图上选定河流渠道、水库、水电站的坝址,先从较小比例尺地形图上划定流域面积,再测制详细的地形图作为河渠布设、水库及坝址选择、库容计算和工程设计的依据。如三峡工程从选址、移民到设计大坝等,测量工作都发挥了重要作用。

国土资源调查、土地利用和土壤改良离不开测量。建设现代化的农业,首先要进行土地资源调查,摸清土地“家底”,编制基本农田保护规划,确保国家 18 亿亩耕地红线不被突破,编制建设用地规划,确保经济建设发展用地。

三、测绘的发展

人类在不断认识、利用和改造自然的过程中,应用不断发展着的测量技术,使用更加先进的测量仪器投入到认识自然、改造自然的活动中,并充分应用测绘活动的成果促进经济和社会进步。

测量具有悠久的发展历史,古代就已开始进行高度、距离、方向的测量、计算和地图绘制工作,以满足水利建设、村镇建设、土地管理、行政区划、军事需要和管理决策。

测量发展在很大程度上依赖于测量仪器的革新与发展,测量仪器的进步甚至会引起测量理论、测量技术、测量成果的进步和发展以及测量应用领域的拓展。

17 世纪之前,测量使用的工具比较简单,测量精度也比较低,以测距为主,如绳尺、步弓和矩尺等。1608 年荷兰工匠利普塞尔发明望远镜;次年意大利物理学家伽利略在利普塞尔发明的基础上,研制了高倍望远镜;1640 年英国的加斯科因在望远镜上增加了十字丝,用于精确照准,成为光学测量仪器的开端;1730 年英国的西森制成用于角度测量的经纬仪,促进了三角测量的发展;随后,相继出现了小平板仪、大平板仪和水准仪等光学测量仪器,用于野外直接测绘地形图。

19 世纪中叶,法国的洛斯达首创摄影测量方法;20 世纪初出现了地面立体摄影测量技术;随着飞机的发明,摄影与航空技术开始用于测量,使测制地形图的方法产生了重大变革。利用航空摄影测制地形图,虽然仍需做大量的野外工作,但已大大减轻了野外工作量,提高了测图精度,加快了成图速度。

可以说,从 17 世纪到 20 世纪中叶,光学测量仪器体系逐步形成并得到了较快发展,同时带动了传统测量理论与方法的发展,因此模拟测绘技术趋于成熟。到 20 世纪中叶以后,随着

电子技术的发展,测量仪器开始向电子化方向发展。1948年电磁波测距仪的发明,克服了量距的困难,使导线测量、三边测量方法得到重视和发展。与此同时,电子计算机的发明和发展,促进了基于计算机的测量仪器设备的进一步发展,出现了用于航空摄影测量的解析测图仪和数控绘图仪,解析测绘的发展使地形图测绘更加简便、快速和精确。

近二三十年,卫星定位、航空航天遥感、地理信息系统、计算机技术和数据通信等现代信息技术的发展与相互集成使测量的理论、方法和手段发生了划时代的变革。常规大地测量被卫星大地测量所代替;航空摄影测量拓展为航空航天摄影测量,且利用遥感技术可以多波段、多类别地对地形进行探测,测量已进入数字摄影测量阶段;地图制图实现了自动绘制,测量成果已不仅仅是一纸地图,而是以数字地图和数字地面模型为主的数字地理信息,可用于各种类型的地理信息系统;工程测量实现了测量和数据处理的一体化;海洋测量的仪器和方法实现了自动化和信息化。传统的地形测量方法已经发生根本变化,以光学经纬仪、水准仪和平板仪为主要代表的传统测量仪器正在被GPS接收机、全站仪所取代。就地形测图而言,利用全站仪和动态GPS接收机结合掌上计算机所构成的数字测图系统已完全改变了传统的测图模式,并可直接测得数字地图。数字地图不仅改变了地图产品的存储、生产模式,同时有利于地图产品的传输和更新,为建立地图数据库和地理信息系统提供了数据保障。数字测绘为信息化测绘奠定了坚实基础。

第二节 地面位置的确定与表示

测绘以“围绕位置服务”为根本目的。在哪里、去哪里、怎么去、怎么回等人类生活80%以上的信息,都与依附地球表面的位置有关。通过对地球的认识,建立起依托地球的坐标系统、高程系统作为位置参考基准,在该参考基准下按一定的投影法则,将以点、线、面、体形式存在的地物、地貌用纸介地图、导航电子地图、互联网地图及其他形式表达出来,才能科学地回答在哪里、去哪里的的问题,才能科学地解决怎么去、怎么回、效率最高、收益最大等问题。

建设工程如何选址选线,如何规划设计,怎么施工投资最小、工期最短、效益最大等一切测量工作的出发点、落脚点,都是以确定位置为根本任务。

一、地球的形状和大小

只有对地球自然形态、物理形态和数学形态有科学的认识,才能科学地建立定位和位置服务的参考基准。

1522年麦哲伦领导船队环球航行成功,证明地球是圆球后,激起人们对地球形状的热烈关注,直到17世纪后期,牛顿、惠更斯等学者根据万有引力理论,提出地扁学说,认为地球不停地围绕地轴旋转,其形状必然为两极略扁的椭球。

地球南北略扁可用弧度测量方法证实,由于靠近两极的子午椭圆曲率小,其曲率半径大;而靠近赤道的子午椭圆曲率大,曲率半径小。我国唐代张遂、南宫说从河南境内的滑县、开封到上蔡进行了世界上首次弧度测量,法国科学院于1735年派遣两个测量队分赴秘鲁和北欧拉普兰进行弧度测量,证实了地扁说,宣布以巴黎天文台第一任台长卡西尼为代表的“地长说”的

失败。

重力测量是地扁说的很好佐证,纬度低的地方重力值小,说明地面离地心较远;纬度高的地方重力值大,说明地面离地心较近。重力测量进一步证明地球是扁球。

测量工作是在地球表面进行的。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地和海洋,其表面粗糙不平,很不规则。地表上海洋约占整个地球表面的 71%、陆地表面约占 29%,地表上最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 8844.43m,最低的马里亚纳海沟低于海水面达 11022m,“山高不如海深”,这样的高低起伏,相对于地球 6371km 的平均半径来说只算是微小的起伏。总体而言,地球是一个被水面包围的球体。

根据牛顿万有引力定律可知,在地球的自转运动中,地球上任一质点都要受到地球引力和离心力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称铅垂线。铅垂线是野外测量工作的基准线。在地球的任意一点上,通过用细线悬挂重锤,用重锤静止后细线的方向来取得该点铅垂线的方向,如图 1.2.1 所示。

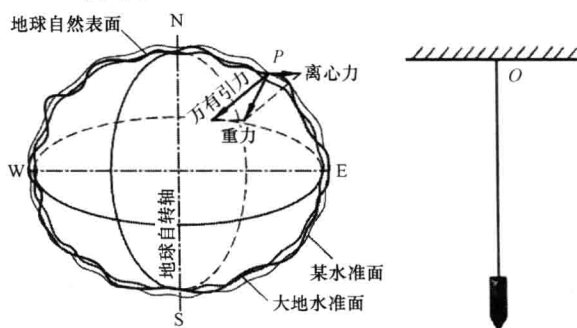


图 1.2.1 地球自然面和铅垂线

静止的水面称为水准面。静止的水准面是不流动的水受地球重力影响而形成的重力等位面,它是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。与水准面零点相切的平面称为水平面。测量仪器的水准器中,加入加热的酒精或乙醚密封冷却后,形成的水准气泡就成为判定测量仪器是否水平、或者仪器竖轴是否处于铅垂线方向的参考基准。当测量仪器上的水准气泡居中时,就认为水准面静止,仪器即处于水平状态,仪器竖轴就与铅垂线方向一致。

静止的水面可高可低,测量中每次安置的仪器高低也都不一样。因此,符合上述特点的水准面有无数多个。其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿地壳内部延伸,延伸时保持与铅垂线垂直,形成的一个包围地球的闭合曲面,就是大地水准面。大地水准面是一个重力等位面,大地水准面也是地球的物理面。大地水准面是测量工作的基准面,由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

由于地表高低起伏和地球内部质量分布不均,铅垂线的方向产生不规则变化,这就导致与铅垂线垂直的大地水准面也出现微小的起伏变化,如图 1.2.2 所示,成为一个不很光滑的复杂曲面。可见,在大地水准面上无法进行精确的数学计算。

将一个很不光滑、复杂、不规则曲面的大地水准面归化、投影转换成平面的计算是非常困难的,甚至是不可能的。因此,选用一个和大地水准面非常接近且能用数学模型表示的几何形

体,代替地球的自然形状,作为测量计算工作的基准面——参考椭球面。如图 1.2.2 右侧所示的椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的地球椭球,叫旋转椭球体或参考椭球体,它是地球的数学形体。

通过参考椭球定位、定向,使在选定的大地原点处铅垂线和通过该点的法线重合,此时大地水准面和参考椭球面最吻合,即可建立适合本区域乃至整个地球的坐标系统。参考椭球面与大地水准面相切的点称大地原点。

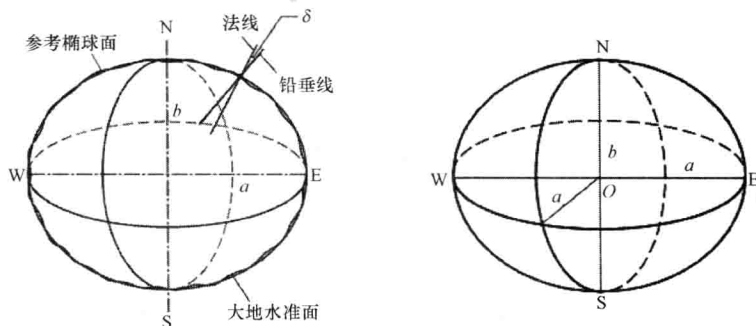


图 1.2.2 大地水准面和参考椭球面

旋转椭球的数学模型用方程 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$ 表示。

决定地球椭球体形状和大小的参数是椭圆的长半径 a 、短半径 b 和扁率 α 。其关系式为

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

目前,地球椭球体最精确的参数值为: $a=6378137\text{m}$, $\alpha=1:298.257222101$ 。我国 2008 年 7 月 1 日启用的 CGCS 2000 地心坐标系,即 2000 国家大地坐标系就采用了该椭球参数。

1954 年北京坐标系采用克拉索夫斯基椭球(Krasovsky ellipsoid)参数, $a=6378245\text{m}$, $\alpha=1:298.3$ 。

1980 年西安坐标系采用 IUGG 1975 椭球参数,即 1975 年第 16 届“国际大地测量与地球物理联合会”推荐的椭球, $a=6378140\text{m}$, $\alpha=1:298.257$ 。

WGS-84 坐标系采用 IUGG 1979 椭球参数, $a=6378137\text{m}$, $\alpha=1:298.257223563$ 。

由于地球椭球体的扁率 α 很小,当测量的区域不大时,可将地球看作半径为 R 的圆球。

$$R = \frac{a+b+a}{3} \approx 6371\text{km}$$

二、坐标系统及地面点的表示

对地球“长相”、“个头高低”,按照由粗略到精细、从自然形态到数学形体的不断认识,为建立地球测量的定位基准奠定了科学基础。

高低起伏相差悬殊的地球自然表面,仍有起伏、不规则的大地水准面,以及能用数学公式表达的光滑规则参考椭球面,分别作为野外测量工作的依托面、野外测量工作的基准面、内业测量计算的基准面,形成建立和维持国家、区域、全球乃至整个宇宙的统一定位系统,成为确定

地面点在该定位系统中空间位置的重要参考依据。

新中国成立以来,为满足经济建设、国防建设和社会事业发展要求,我国相继建立了 1954 年北京坐标系、1980 年国家大地坐标系和 CGCS 2000 国家大地坐标系。

1954 年北京坐标系是前苏联 1942 年坐标系的延伸,参考椭球体采用的是克拉索夫斯基椭球元素,其大地原点位于前苏联的普尔科沃。因该大地原点处铅垂线和法线重合,仅仅考虑到前苏联地区大地水准面和参考椭球的密合问题,1954 年北京坐标系参考椭球面在我国范围内与大地水准面并不能达到最佳吻合,加上椭球定向问题,在东部地区,两面的差距最大达 69m 之多。随着我国天文大地网的完成,于 1982 年建立了我国 1980 年国家大地坐标系,参考椭球元素采用 1975 年 IUGG 第 16 届大会推荐的数值,大地原点位于陕西省西安市以北 60km 的泾阳县永乐镇石际寺村。1980 年国家大地坐标系简称 1980 西安坐标系。以上两个大地坐标系是以经典测量技术为基础建立的局部大地坐标系,已经不适应科学技术特别是空间技术的发展,不适应我国经济建设和国防建设需要。

以空间技术为基础的地心大地坐标系,是我国新一代大地坐标系的适宜选择。近年来,国家测绘部门、军队测绘部门先后建成的全国 GPS 一、二级网,国家 GPS A、B 级网,中国地壳运动观测网络和许多地壳形变网,为地心大地坐标系的实现奠定了较好的基础。经国务院批准,自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系,即 CGCS 2000 坐标系。

测量上的坐标系通常有地心坐标系和参心坐标系之说。参心坐标系的原点在参考椭球的中心,地心坐标系的原点在地球的质心。CGCS 2000、WGS-84 属于地心坐标系,1954 年北京坐标系、1980 年西安坐标系属参心坐标系。工程测量通常使用参心坐标系。

不论参心坐标还是地心坐标,椭球短轴的定义都有明确的指向。

不同坐标系统的坐标可以相互转换,但不同地区具有不同的转换参数,使用控制点成果时,一定要注意坐标系的统一。

从整个地球考虑点的位置通常用地理坐标表示。以铅垂线 and 大地水准面为基准,表示地面点在大地水准面上位置的坐标系是天文坐标系,点的位置用天文经度 λ 、天文纬度 φ 表示。

以法线和参考椭球面为基准,表示地面点在参考椭球面上位置的坐标系是大地坐标系,点的位置用大地经度 L 、大地纬度 B 表示。天文坐标通过实测获取,大地坐标通过计算得到。

将椭球表面的微小区域采用高斯投影方法投影到平面上,表示地面点在高斯平面上位置的坐标系是高斯平面坐标系。不经投影直接假定的平面坐标系是假定平面直角坐标系。

(一)地理坐标系

地理坐标系是经纬度坐标系,也可称为真实世界的坐标系,是用于确定地物在地球上的位置,将地球看作一个球体,而经纬网就是“套”在地球表面的地理坐标参照格网,即经、纬线划分的坐标格网,如图 1.2.3 所示。在地理坐标系中,点的位置用经度、纬度表示。

1. 经线和经度

所有通过地轴的平面都和地球表面相交而成为圆,这就是经

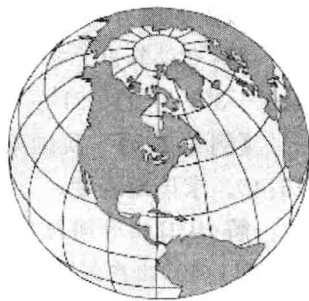


图 1.2.3 地理坐标系

线圈。每个经线圈都包括两条相差 180° 的经线,一条经线则只是一个半椭圆弧。所有经线都会在南北两极交会,都呈南北方向。经度是一个两面角,是两个经线平面的夹角。为了度量经度选取一个起点面,经 1884 年国际会议协商,决定以通过英国伦敦近郊泰晤士河南岸的格林尼治天文台(旧址)的一台主要子午仪十字丝的那条经线为起始经线,称为本初子午线。本初子午面是经度的起算面。

包含地面点 P 的铅垂线且平行于地球自转轴的平面称为地面点 P 的天文子午面。天文子午面与地球表面的交线称为天文子午线;包含地面点 P 的法线且通过地球旋转轴的平面称为 P 的大地子午面,大地子午面与地球表面的交线称为大地子午线。

某一点的经度,就是该点所在的子午线平面与本初子午面间的夹角。图 1.2.4 中设 G 点是格林尼治天文台的位置,通过 G 点的子午面即为首子午面。

过点 P 的天文子午面与天文子午面所夹的两面角就称为 P 点的天文经度,用 λ 表示。

过 P 点的大地子午面与首大地子午面所夹的两面角就称为 P 点的大地经度,用 L 表示。

经度的取值范围是 $0^\circ \sim 180^\circ$,自本初子午面起分别往东、往西度量,往东量值称为东经度,往西量值称为西经度。本初子午线是 0° 经度,东经度的最大值为 180° ,西经度的最大值为 180° ,东、西经 180° 经线是同一根经线,因此不分东经或西经,而统称 180° 经线。我国处在东半球,首都北京的经度为东经 $116^\circ 23' 17''$ 。

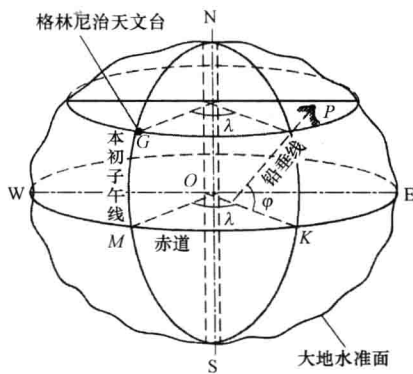


图 1.2.4 地理坐标

经度与时间密不可分,1530 年荷兰天文学家伽玛·弗里西斯提出了“以时间确定经度”的原理,约翰·哈里森在 1759 年造出了直径 13cm,重 1.45kg 的当时世界上最精美的航海钟表 H4,正确地为船舶提供定位服务;随后哈里森越过重重困难,成功地解决了经度的测定问题,并当之无愧地赢得了英国政府于 1714 年设立的悬赏奖金。

我们可根据地球自转一圈是 24h 为 360° ,1h 即 15° ,4min 即 1° 的常识,确定某地的地理经度,也可将北京时间换算为该地的地方时。

【例 1.2.1】 太阳通过某地测站天顶方向瞬间测定的北京时间为 12 时 14 分 36 秒,根据此时该地的地方时为 12 时,计算该地的地理经度。

解: 可以算出北京时间与该地地方时相差 14.6 分,则该地的地理经度为 $120^\circ + \text{经差} = 120^\circ - 3^\circ 39' = 116^\circ 21'$ 。

【例 1.2.2】 我国某省一个小组测得某日当地日出日落时间分别为北京时间 06:40 和 16:40。求该地经度。

解: 从日出时间与日落时间可知,该地昼长为 10h,也就是说:该地地方时正午应该是北京时间 11:40,比东经 120° 地方时(北京时间)早 20min,也就是东 5° ,所以该地为东经 125° 。

【例 1.2.3】 已知北京时间为 05:37,拉萨(91°)的时间为多少?

解: $120^\circ - 91^\circ = 29^\circ$,经差 1° 对应时差 4min, $29 \times 4 = 116\text{min}$,116min 是 1h56min,而西边