

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版
教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组编

控制测量技术

■ 主 编 陈传胜 张鲜化

■ 副主编 王百勇 王利军 陈水仙



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组编

控制测量技术

主 编 陈传胜 张鲜化

副主编 王百勇 王利军 陈水仙



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

控制测量技术/陈传胜,张鲜化主编;王百勇,王利军,陈水仙副主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.1

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版

ISBN 978-7-307-12351-9

I.控… II.①陈… ②张… ③王… ④王… ⑤陈… III.控制测量 IV.P221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 312630 号

责任编辑:胡 艳

责任校对:汪欣怡

版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:474 千字 插页:1

版次:2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12351-9 定价:30.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高职高专测绘类专业 “十二五” 规划教材·规范版

编审委员会

顾问

宁津生 教育部高等学校测绘学科教学指导委员会主任委员、中国工程院院士

主任委员

李赤一 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会主任委员

副主任委员

赵文亮 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

李生平 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

李玉潮 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

易树柏 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

王久辉 教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员

委员 (按姓氏笔画排序)

王 琴 黄河水利职业技术学院

王久辉 国家测绘地理信息局人事司

王正荣 云南能源职业技术学院

王金龙 武汉大学出版社

王金玲 湖北水利水电职业技术学院

冯大福 重庆工程职业技术学院

刘广社 黄河水利职业技术学院

刘仁钊 湖北国土资源职业学院

刘宗波 甘肃建筑职业技术学院

吕翠华 昆明冶金高等专科学校

张 凯 河南工业职业技术学院

张东明 昆明冶金高等专科学校

李天和 重庆工程职业技术学院

李玉潮 郑州测绘学校

李生平 河南工业职业技术学院

李赤一 国家测绘地理信息局人事司

李金生 沈阳农业大学高等职业学院

杜玉柱 山西水利职业技术学院

杨爱萍 江西应用技术职业学院

陈传胜 江西应用技术职业学院

明东权 江西应用技术职业学院

易树柏 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心

赵文亮 昆明冶金高等专科学校

赵淑湘 甘肃林业职业技术学院

高小六 辽宁省交通高等专科学校

高润喜 包头铁道职业技术学院

曾晨曦 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心

薛雁明 郑州测绘学校

序

武汉大学出版社根据高职高专测绘类专业人才培养工作的需要,于2011年和教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会合作,组织了一批富有测绘教学经验的骨干教师,结合目前教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会研制的“高职测绘类专业规范”对人才培养的要求及课程设置,编写了一套《高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版》。该套教材的出版,顺应了全国测绘类高职高专人才培养工作迅速发展的要求,更好地满足了测绘类高职高专人才培养的需求,支持了测绘类专业教学建设和改革。

当今时代,社会信息化的不断进步和发展,人们对地球空间位置及其属性信息的需求不断增加,社会经济、政治、文化、环境及军事等众多方面,要求提供精度满足需要,实时性更好、范围更大、形式更多、质量更好的测绘产品。而测绘技术、计算机信息技术和现代通信技术等多种技术集成,对地理空间位置及其属性信息的采集、处理、管理、更新、共享和应用等方面提供了更系统的技术,形成了现代信息化测绘技术。测绘科学技术的迅速发展,促使测绘生产流程发生了革命性的变化,多样化测绘成果和产品正不断努力满足多方面需求。特别是在保持传统成果和产品的特性的同时,伴随信息技术的发展,已经出现并逐步展开应用的虚拟可视化成果和产品又极好地扩大了应用面。提供对信息化测绘技术支持的测绘科学已逐渐发展成为地球空间信息学。

伴随着测绘科技的发展进步,测绘生产单位从内部管理机构、生产部门及岗位设置,进而相关的职责也发生着深刻变化。测绘从向专业部门的服务逐渐扩大到面对社会公众的服务,特别是个人社会测绘服务的需求使对测绘成果和产品的需求成为海量需求。面对这样的形势,需要培养数量充足,有足够的理论支持,系统掌握测绘生产、经营和管理能力的应用性高职人才。在这样的需求背景推动下,高等职业教育测绘类专业人才培养得到了蓬勃发展,成为了占据高等教育半壁江山的高等职业教育中一道亮丽的风景。

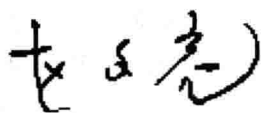
高职高专测绘类专业的广大教师积极努力,在高职高专测绘类人才培养探索中,不断推进专业教学改革和建设,办学规模和专业点的分布也得到了长足的发展。在人才培养过程中,结合测绘工程项目实际,加强测绘技能训练,突出测绘工作过程系统化,强化系统化测绘职业能力的构建,取得很多测绘类高职人才培养的经验。

测绘类专业人才培养的外在规模和内涵发展,要求提供更多更好的教学基础资源,教材是教学中的最基本的需要。因此面对“十二五”期间及今后一段时间的测绘类高职人才培养的需求,武汉大学出版社将继续组织好系列教材的编写和出版。教材编写中要不断将测绘新科技和高职人才培养的新成果融入教材,既要体现高职高专人才培养的类型层次特征,也要体现测绘类专业的特征,注意整体性和系统性,贯穿系统化知识,构建较好满足现实要求的系统化职业能力及发展为目标;体现测绘学科和测绘技术的新发展、测绘管理

与生产组织及相关岗位的新要求；体现职业性，突出系统工作过程，注意测绘项目工程和生产中与相关学科技术之间的交叉与融合；体现最新的教学思想和高职人才培养的特色，在传统的教材基础上勇于创新，按照课程改革建设的教学要求，让教材适应于按照“项目教学”及实训的教学组织，突出过程和能力培养，具有较好的创新意识。要让教材适合高职高专测绘类专业教学使用，也可提供给相关专业技术人员学习参考，在培养高端技能应用性测绘职业人才等方面发挥积极作用，为进一步推动高职高专测绘类专业的教学资源建设，作出新贡献。

按照教育部的统一部署，教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会已经完成使命，停止工作，但测绘地理信息职业教育教学指导委员会将继续支持教材编写、出版和使用。

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员



二〇一三年一月十七日

前 言

本书按照教育部《关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)文件精神 and 全国测绘地理信息职业教育教学指导委员会“高职测绘类专业规范”对本课程的基本要求及高职项目法教学的实施要求进行编写。

本书由校企双方共同编写,教材主编及各编写人员具有丰富的企业一线生产经验。教材编写以项目为导向、对接控制测量岗位要求,突出一线控制测量岗位实际作业各项能力的培养,能够满足高职测绘类专业“控制测量技术”课程“教中学、学中做”的需要。具有高职教材鲜明的“项目化”、“工学结合”特色,具体有以下特点:

(1)以实用性为原则,以控制测量的实际工作项目为导向整合和优化教学内容,构成控制测量基本知识、常规平面控制测量、常规精密高程控制测量、卫星定位控制测量和控制测量综合实训5个教学项目。

(2)每一项目基于生产一线控制测量作业工作过程和学生的认知规律编排组织教学内容,构成“基本知识准备—技术设计—外业实施—内业计算—技术总结”五个教学环节,并以任务驱动的形式展开教学,强化了工作过程的完整性,淡化了知识的系统性,实现了学习过程与工作过程的有机融合。

(3)各项目开始明确提出项目的学习目标,项目学习过程中有技能训练,项目结束后有小结,最终达到学习者所学知所用,所做有所果的效果。

(4)教材内容选取测绘生产广泛应用的新技术、新方法、新手段,同时兼顾传统技术,并注重二者的衔接和过渡。

(5)教材编写采用国家最新颁布的相关测绘行业标准,并以此标准衡量学习者的技能训练成果。

本教材参考了大量相关专业文献,引用了部分教材的内容;江西省地矿测绘院李国平教授级高工认真审阅了教材编写大纲和教材,并提出了宝贵的修改意见。在此一并致以真诚的谢意。

本书由江西应用技术职业学院陈传胜教授、张鲜化任主编,王百勇(山西水利职业技术学院)、王利军(甘肃工业职业技术学院)、陈水仙(核工业二六四大队赣州勘察院)任副主编;参编人员及分工如下:课程导入由陈传胜编写;项目1由王利军、陈传胜编写;项目2由李孝雁(黄河水利职业技术学院)、毕婧(湖北国土资源职业学院)、王百勇、张鲜化编写;项目3由张鲜化、陈水仙编写;项目4由张鲜化、陆金平(江西应用技术职业学院)、李玲(重庆工程职业技术学院)编写;项目5由张鲜化编写。各编者初稿完成后,首

先由张鲜化根据编写大纲对初稿进行整理，最后由陈传胜修改定稿。

限于编者水平、经验，书中难免存在疏漏甚至错误之处，热忱希望使用本教材的老师
和广大读者提出宝贵意见，以便进一步修正与完善。

编 者

2013 年 5 月

目 录

课程导入	1
项目 1 控制测量基本知识	3
任务 1-1 控制测量的任务及作用	3
任务 1-2 控制测量的基准和坐标系统	6
任务 1-3 国家控制网的布设	16
任务 1-4 工程控制网的布设	23
任务 1-5 控制测量的工作流程	25
任务 1-6 控制测量实训的一般要求	26
项目小结	29
思考题	29
项目 2 常规平面控制测量	30
任务 2-1 精密测角仪器认识与使用	30
任务 2-2 影响精密测角的误差分析	47
任务 2-3 方向观测法测量水平角	57
任务 2-4 精密测距	64
任务 2-5 常规平面控制测量技术设计	78
任务 2-6 导线测量实地选点与标石埋设	90
任务 2-7 导线测量外业观测仪器的检校	96
任务 2-8 导线测量外业观测	107
任务 2-9 地球椭球与高斯投影计算	115
任务 2-10 导线网的内业计算	138
任务 2-11 常规平面控制测量技术总结	162
项目小结	166
思考题	168
项目 3 常规精密高程控制测量	170
任务 3-1 精密水准测量仪器的认识与使用	170
任务 3-2 影响精密水准测量的主要误差分析	181
任务 3-3 一测段精密水准观测	186

任务 3-4 精密水准测量技术设计	191
任务 3-5 精密水准测量的实地选点与标石埋设	199
任务 3-6 精密水准仪及水准尺的检校	204
任务 3-7 精密水准测量外业观测	210
任务 3-8 水准网的内业数据处理	216
任务 3-9 精密水准测量技术总结	224
项目小结	227
思考题	228
项目 4 卫星定位控制测量	229
任务 4-1 卫星定位技术简介	229
任务 4-2 全球定位系统(GPS)基础知识	232
任务 4-3 影响 GPS 测量的误差来源	244
任务 4-4 GPS 卫星定位网技术设计	247
任务 4-5 GPS 控制点实地选定与标石埋设	258
任务 4-6 GPS 控制网外业数据采集	262
任务 4-7 GPS 控制网内业数据处理	271
任务 4-8 GPS 控制测量技术总结	302
项目小结	305
思考题	307
项目 5 控制测量综合实训	309
任务 5-1 常规控制网的建立	309
任务 5-2 GPS 控制网的建立	311
项目小结	312
主要参考文献	313

课程导人

一、课程性质

控制测量技术是以大地测量学为理论基础,以工程建设为主要服务对象而发展和形成的,其主要任务是:在一定区域范围内,按照测绘工程所要求的精度,通过建立控制网,精确测定地面控制点的位置,即三维坐标(X 、 Y 、 H)。其服务对象主要是各种工程建设、城镇建设和土地规划与管理等工作。“控制测量技术”课程是培养学习者控制测量岗位能力的一门主干专业核心课程,它是测绘工作者必须要掌握的一门实用技术,该技术是进行所有测绘工作的基础和依据。

本课程的前导课程为“测量技术基础”和“测量误差与数据处理”。学习者通过本课程的学习,掌握常规控制测量技术及卫星定位控制测量技术的基本理论、方法及建网过程,具备进行控制测量或其他与控制测量相关测量工作的职业技能和职业素养;并为后续“工程测量”、“数字化测图”、“地籍与房产测绘”、“遥感与摄影测量”等课程的学习提供知识基础和技能准备。

二、课程培养目标

通过本课程的学习,使学习者能够了解控制测量的作用,具备控制测量的基本知识,掌握常规控制测量技术及利用卫星定位技术建立控制网的方法、要求、内容及工作流程;应用测量规范对观测过程及结果进行质量控制;并通过单次技能训练和综合项目实训,最终使学习者能够在团队协作下,发现、分析、解决工作过程中遇到的各种问题,完成实际生产中的各种控制测量工作,获得合格的控制测量成果。

三、课程的地位及作用

本课程是培养工程测量技术专业学生控制测量岗位核心能力的一门专业核心课程。该课程是工程测量技术专业各课程相互联系的纽带。该课程对于工程测量技术专业人才培养目标的实现至关重要。学习者通过该课程的学习,能为后续课程提供知识基础及技能准备。

四、课程的教学内容

本课程主要介绍根据国家相关测量规范及甲方任务书的要求,通过常规控制测量及卫星定位控制测量两种常用的建立控制网的方法建立符合实际需要、相关测量规范及甲方任务书要求的地面控制网,精确测定地面点的三维坐标的基本原理、方法及工作过程。

本教材根据课程性质、课程培养目标及控制测量的作业方式，将课程内容分为 5 个项目，即控制测量基本知识、常规平面控制测量、常规精密高程控制测量、卫星定位控制测量、控制测量综合实训。各项目以任务驱动的形式、基于控制测量岗位工作过程，并结合学习者的学习规律将课程内容展现出来。课程具体学习内容如下：

（一）控制测量基本知识

本项目主要介绍控制测量的含义、基本任务，控制测量的基准，控制网的建立方式，我国大地控制网和工程控制网的基本知识，以及控制测量的工作流程、控制测量实训时应注意的问题等内容。

（二）常规平面控制测量

本项目主要解决怎样利用常规的平面控制测量技术建立平面控制网的基本原理、基本方法和工作流程。具体包括：精密测角仪器、精密测距仪器的使用及影响常规平面控制测量外业观测的误差分析；常规平面控制测量的技术设计；常规平面控制测量仪器的检校、常规平面控制测量的外业观测；内业计算、技术总结及检查验收等内容。

（三）常规精密高程控制测量

本项目主要解决怎样利用精密水准测量技术建立精密高程控制网的基本原理、基本方法和工作流程。具体包括：精密水准仪的使用及影响精密水准测量外业观测的误差影响；精密水准测量的技术设计；精密水准仪的检校、精密水准测量的外业观测；内业计算、技术总结及检查验收等内容。

（四）卫星定位控制测量

本项目主要解决怎样利用卫星定位技术建立卫星定位控制网的基本原理、基本方法和工作过程。具体包括：卫星定位系统简介、GPS 基础知识及接收机的使用，影响 GPS 控制测量外业观测的误差影响；GPS 控制测量技术设计；GPS 控制测量的外业观测、内业计算、技术总结及检查验收等内容。

（五）控制测量综合实训

本项目主要是对上述项目内容的知识及技能进行整体强化。主要包括两个综合实训任务，即常规控制测量实训项目和 GPS 控制测量实训项目，通过这两个综合实训项目的训练，从整体上提高学习者的控制测量岗位核心能力。

项目1 控制测量基本知识

【项目概述】

本项目主要介绍控制测量工作的基本知识，包括控制测量的任务及作用；控制测量的基准和坐标系统；控制网布设的基本形式及我国控制网的布设情况；控制测量的工作流程；控制测量实训的一般要求等。

【学习目标】

知识目标：①建立控制测量工作的整体概念；②了解控制测量的基准和坐标系统的类型及作用；③了解控制网布设的基本形式及我国国家控制网的布设现状和特点；④掌握控制测量的基本工作过程；⑤熟知控制测量实训的一般要求。

【关键内容】

(1)重点：①控制测量的基准和坐标系统；②控制网布设的基本形式；③控制测量的工作流程；④控制测量实训的基本要求。

(2)难点：①控制测量的基准和坐标系统；②我国国家控制网的布设情况。

任务1-1 控制测量的任务及作用

一、控制测量的含义

通常在一个城市或一个工矿地区范围内设置一系列能够长期保存、便于应用的固定点位，称为控制点；这些点位按不同的测量方式彼此连接，构成统一的整体网形，称为控制网。控制测量通常是指在一定的区域范围内，按测量任务所要求的精度，通过建立控制网，测定一系列地面标志点(控制点)的水平位置和高程，并监测其随时间的变化量的测量工作。

控制测量是在大地测量基本理论基础上，以工程建设测量为主要服务对象发展和形成的，旨在为人类社会活动提供有用的空间信息。它和地形测量、工程测量等的基本目的都是以测绘工作为手段，确定出地面点在空间的位置，并把它表示成数据形式或者描绘在图面上，供工农业建设和工程设计施工用。它和地形测量的区别主要在于：

(1)测量的精度等级更高，工作更加严密。测量工作总是按从整体到局部的逐级控制原则进行的。在广阔的范围内所进行的控制测量工作，必须对局部的具体测量工作负责，能够起到应有的支撑和控制作用。为此，控制测量技术就需要更加精密的测量仪器、测量方法、数据处理方法等。

(2)测量的范围更加广阔。控制测量的测量范围常常是上百平方公里至数千平方公

里。由于地球形状接近于旋转椭球，其表面是一个不可展平的曲面。既要保证很高的测量精确度，又要提供出局部测绘平面所需要的控制测量成果，此时就不能再将地球表面视作平面，必须研究地球曲率等多种因素对测量成果的影响，解决地面观测成果到参考椭球面，再到高斯投影平面上的转化问题。

(3) 常规测量侧重于从微观上将地球表面的形态加以模型化，并且形象地描绘在平面上。而控制测量则要求从宏观上更加精密地测定控制点的位置，并将这些点构成整体框架，控制整个区域的地形测图和工程测量工作。如果说地形图的测绘和应用是常规测量技术的研究对象，那么建立科学化、规范化的地面控制网的理论、方法及工作过程就成为控制测量技术的研究对象。

二、控制测量分类

(一) 从工作内容分

控制测量按工作内容，可分为平面控制测量和高程控制测量。其中，测定地面控制点水平位置的工作叫做平面控制测量，测定地面控制点高程的工作叫做高程控制测量。所以，控制测量是由平面控制测量和高程控制测量组成的。

(二) 从用途分

从用途分，广义的控制测量还包括大地控制测量和工程控制测量。大地控制测量是指为了满足大范围区域地形图测绘和工程建设需要，在一个或几个区域范围内，按照国家统一颁发的法式、规范在适当选定的参考坐标系中，测定一批足够数量的地面点的平面坐标和高程值所进行的控制测量工作；所建立的国家统一的控制网叫做大地控制网。大地控制网中的点，叫做大地控制点；大地控制测量需要全球大地测量所确定的大地测量常数和参考基准，以便对观测结果进行顾及地球曲率和重力场影响的归算。而为了某项工程建设或施测局部大比例尺地形图的需要，在较小的地区范围内，在大地控制网的基础上独立建立的控制网，叫做工程控制网，这种控制测量叫做工程控制测量。狭义的控制测量即指工程控制测量。

三、控制测量的基本任务与作用

(一) 控制测量的基本任务

控制测量的服务对象主要是各种工程建设、城镇建设和土地规划与管理等，这就决定了它的测量范围比大地测量要小，并且在观测手段和数据处理方法上还具有多样化的特点。作为控制测量服务对象的工程建设工作，在进行过程中，大体上可分为设计、施工和运营3个阶段。每个阶段都对控制测量有不同的要求，其基本任务分述如下：

1. 在设计阶段建立必要精度的测图控制网

我们知道，在各项工程建设规划设计阶段，都必须具有各种比例尺的地形图，作为工程规划设计的依据。例如，在兴建水利工程之前，必须对全流域进行规划，确定梯级开发方案，测量汇水面积，计算库容，选择坝址，确定水头高度，等等。这些规划设计工作都需要在各种比例尺地形图上进行量算，以求得所需的数据。因此，控制测量在这个阶段的任务就是布设作为地形图测绘所依据的测图控制网，以保证地形图的精度和各幅地形图之

间的准确拼接。此外，对于地籍与房产测绘工作，这种测图控制网也是相应地籍与房产测绘的依据。

2. 在施工阶段建立必要精度的施工控制网

在这一阶段，施工测量的主要任务是按照设计和施工的要求，将图纸上设计的建筑物（或构筑物）的位置、形状、大小及其高程在实地上标定出来，以便进行施工。对于不同的工程来说，施工控制测量的具体任务也不同。施工平面控制网多以主体建筑物的主轴线为依据扩展网形，如桥梁施工控制网是以桥中线为准，向两侧布设对称网形。而隧道施工测量由于其主要任务是保证对向开挖的隧道能够按照规定的精度贯通，并使各建筑物按照设计的位置修建，因此其施工控制网多布设成与主要开挖方向或建筑物相互平行的方格网。

3. 在工程竣工后的运营阶段建立以监测建筑物变形为目的的变形观测控制网

在工程施工阶段改变了地面的原有状态，加之建筑物本身的重量，将会引起地基及其周围地层的不均匀变化，建筑物本身及其基础也会由于地基的变化而产生变形，这种变形，如果超过了某一限度，就会影响建筑物的正常使用，严重的还会危及建筑物的安全。在一些大城市，如我国的上海、天津，由于地下水的过量开采，也会引起市区大范围的地面沉降，从而造成危害。因此，在竣工后的运营阶段，必须对这类建筑物或市区进行变形监测。为此，需布设变形观测控制网。工程建筑物变形的量一般都不大，因此，用来测量这些微小变形量的变形观测控制网及其测量方法应更加精密，这样才使得变形观测所取得的数据具有科学上的意义。

施工阶段和工程竣工后的运营阶段布设的两种控制网统称为专用控制网。

（二）控制测量的作用

由上述控制测量的基本任务中可以看出，控制测量在国民、国防建设及科学研究中发挥着重要作用，具体如下：

1. 控制网是进行各项测量工作的基础

对勘察设计阶段建立的控制网而言，基本控制网是扩展图根控制和进行测图的基础；对施工控制网而言，基本控制网是各种工程建筑物施工放样的基础。

2. 控制网具有控制全局的作用

对勘察设计阶段建立的控制网而言，控制网具有控制全局，保证所测的各幅地形图具有一定的精度，能够互相拼接成为一个整体。此外，控制网的坐标系统在广大区域内都是统一的，这样就可以在不同地点、不同时间，按轻重缓急顺其需要安排测图工作；摆脱了时空的限制，所测的地形图不会出现重叠和遗漏现象，均能相互拼接彼此利用。

对施工控制网而言，基本控制全局是指保证各建筑物轴线之间的相关位置具有必要的精度，以满足设计与施工的要求。

3. 控制网具有限制测量误差的传递和积累的作用

在建立控制网时所采用的分级布网、逐级控制的原则，是从技术上考虑具有限制测量误差的传递和积累的作用。如在测图时，地形测图工作本来可以自一点开始，由近及远、由此及彼逐步展开和延伸，但是这样做的结果必然导致测图误差的迅速积累和急剧增大，以致达到不能容许的程度。因此，在地形测图前，必须按上述原则建立符合要求的控制

网,测图时,必须依据高精度的控制点作为基础,使测量误差仅限定在控制点与周围的地形点之间。这样,一方面可以保证地形在图面上的应有精度,另一方面也能使各图幅的精度均匀一致。

4. 将地球曲面展成平面时控制了褶皱和断裂造成的误差

地球表面是一个不可展平的曲面,而地形测图又必须在平面上实施,用一般方法不能将球面上的地物、地貌展绘到平面上;而控制测量则成功解决了自地球表面投影到平面上的问题,利用控制测量所提供的控制点平面直角坐标系可以方便地将地形测绘到平面图上,而不产生明显误差。

5. 为地球动力学、地震学等科学研究提供信息

普通测量是将地球视为固定不变的测绘对象,而事实上,地球从表面到内部都处在不断运动之中,例如,地球自转轴在地球体内的位置和自转角速度都在随时间而变化,地核、地幔、地壳乃至地表也处于不断运动之中,研究这些变化的规律属于地球动力学的范畴。对于某一地区的地壳缓慢变化,可以定期重复测量该地区的控制网,综合分析比较不同时期的控制测量资料,便可发现该地区的地壳变化情况。

综上所述,控制测量在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性的基础保障作用;在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价与保护中发挥着特殊的作用;在发展空间技术和国防建设中,在丰富和发展当代地球科学的有关研究中,以及在发展测绘工程事业中,它的地位和作用将显得越来越重要。

任务 1-2 控制测量的基准和坐标系统

一、控制测量的基准线与基准面

(一)控制测量外业的基准面与基准线

地球表面的任意一点,都同时受到两个力的作用:地球自转的离心力和地心引力,它们的合力称为重力,重力的方向即为铅垂线方向(见图 1-1)。

通常,测量外业工作都需要一个处于静止状态的水面,如平静的湖泊水面,我们称其为水准面;水准面处处与重力方向垂直,否则水就要流动,处于运动状态。在地球引力起作用的空间范围内,通过任何高度的点都有一个水准面。

过水准面上某点的切平面称为水平面。观测水平角时,置平测角仪器就是使仪器的纵轴位于铅垂线方向,从而使水平度盘位于通过度盘中心的水准面的切平面上。因此,所测水平角实际上就是视准线在水准面上的投影线之间的夹角。此外,用水准测量所求出的两点间的高差,就是过这两点的水准面间的垂直距离。对于实际边长的观测值,也存在化算到哪个高程水准面上的问题。

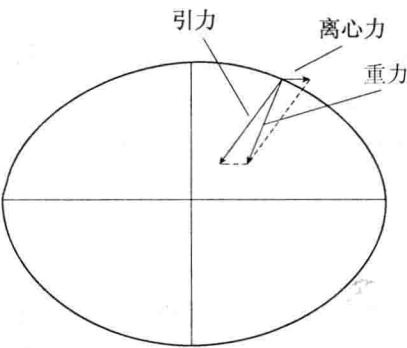


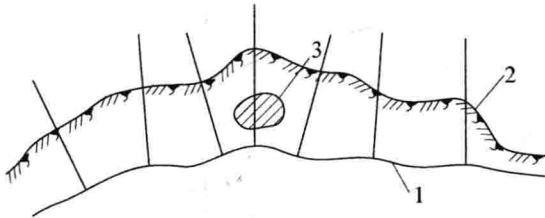
图 1-1 铅垂线方向

上述地面观测值，除水平角外，都同水准面的选取有关，特别是水准测量的结果，更是直接取决于水准面的选择。于是，为了使不同测量部门所得出的观测结果能够互相比较、互相统一、互相利用，有必要选择一个最有代表性的水准面作为外业成果的统一基准。

我们知道，海洋面积约占地球总面积的 71%，从总体上来说，海水面是地球上最广大的天然水准面。设想把一个只受重力作用，无潮汐风浪影响，完全处在静止和平衡状态的海水面扩展并延伸到大陆下面，从而形成一个处处与铅垂线方向正交的、包围整个地球的封闭曲面，则称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体。由于大地水准面的形状和大地体的大小均接近地球自然表面的形状和大小，并且它的位置也是比较稳定的，因此，我们选取大地水准面作为测量外业工作的基准面，而与其相垂直的铅垂线则是外业测量工作的基准线。

(二) 控制测量内业计算的基准面与基准线

如上所述，虽然大地水准面最适合于作为测量外业工作的基准面，但是控制测量的最终目的是精确确定控制点在地球表面上的位置，为此，必须确知所依据的基准面的形状。也就是说，基准面的形状要能用数学公式准确地表达出来。大地水准面是否能满足这一要求呢？研究表明，由于地表起伏以及地层内部密度的变化造成质量分布不均匀，大地水准面延伸穿过大陆的部分是略有起伏的不规则曲面，无法用数学公式把它精确地表达出来，因而也就无法确知其形状。如图 1-2 所示，高山山体下面有密度大的重金属矿体，从而造成左、右两侧局部质量分布不均匀的较大差异，导致铅垂线呈现不规则的变化，故大地水准面不能作为控制测量计算的基准面。



1—大地水准面；2—地球表面；3—大密度体

图 1-2 大地水准面的起伏变化

随着科学技术的发展，人类逐渐认识到地球的形状近似于一个两极略扁的旋转椭球，对于这个椭球的表面，可用简单的数学公式将它准确地表达出来，因而世界各国通常都采用旋转椭球来代表地球。

选好一定形状和大小的椭球后，还不能直接在它上面计算点位坐标，这是因为我们的观测成果是以大地水准面为基准，因此，首先应将以大地水准面为基准的野外观测成果化算到椭球面上。要做到这一点，只选定椭球面的形状和大小是不够的，还必须将椭球面与大地水准面在位置上的关系确定下来，这个工作称为椭球定位。

综上所述，我们把形状和大小与大地体相近并且两者之间的相对位置确定的旋转椭球