



交通职业教育教学指导委员会推荐教材

全国交通高级技工学校、技师学院公路施工与养护专业教学用书

全国交通技师培训教材

工程测量

》主编 王景峰 》主审 程兴新

Gongcheng
Celiang



人民交通出版社

China Communications Press

交通职业教育教学指导委员会推荐教材

全国交通高级技工学校、技师学院公路施工与养护专业教学用书

全国交通技师培训教材

Gongcheng Celiang

工 程 测 量

主编 王景峰

主审 程兴新

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是全国交通技师培训教材,由交通职业教育教学指导委员会公路(技工)专业指导委员会组织编写。全书对测量仪器、测量理论、测量技术以及测量方法作了详细的介绍与阐述。主要内容包括:水准测量,角度测量,距离测量与直线定向,全站仪,测量误差理论的基本知识,小区域控制测量,大比例尺地形图的测绘与应用,施工测设的基本方法,道路工程测量,桥梁施工测量,隧道测量。

本书是全国交通高级技工学校、技师学院公路施工与养护专业教学用书,也可作为职业培训及技能鉴定教材,或供从事工程测量工作的人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量:技师 / 王景峰主编. —北京:人民交通出版社, 2007.6
ISBN 978-7-114-06537-8

I. 工… II. 王… III. 工程测量 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 065846 号

书 名: 全国交通技师培训教材
工程测量

著 作 者: 王景峰

责任编辑: 郝瑞苹

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市吉祥印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.25

字 数: 404 千

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06537-8

印 数: 0001-3000 册

定 价: 29.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

**交通职业教育教学指导委员会
公路(技工)专业指导委员会**

主 任: 周以德

副主任: 朱小茹 张文才

委 员: 卞志强 严 军 周萌芽 高连生 梁柱义

蒋 斌 杜建忠 任义学 刘雅洲

秘 书: 张宏春

前言 *Qianyan*

交通行业是一个劳动密集型行业,全行业约有4000万从业人员,其中90%以上是在交通建设、养护和运输服务等一线工作的,处于交通工程建设、养护和交通运输服务的终端环节,其素质和能力在很大程度上决定了交通发展的质量和效益。目前,各个专业和工种都普遍缺乏技能型人才,特别是高技能人才,公路施工与养护、筑路机械操作与维护等工种都属于交通行业技能型紧缺人才。

为了配合“交通行业技能型紧缺人才培养培训工程”的实施,加快高技能人才的培养培训步伐,交通职业教育教学指导委员会公路(技工)专业指导委员会组织全国交通类高级技工学校、技师学院的教师编写了《公路施工与养护》和《公路工程机械使用与维修》两个专业工种的技师培训教材。编写人员进行了广泛的一线走访,听取了工程施工与养护生产一线高技能人员的意见,使本套教材具有良好的实用性和先进性。本套教材填补了我国在公路施工与养护和公路工程机械使用与维修方面技师培养培训教材的空白,既可作为技师学院教学用书,又可作为在职培训技师用教材,对本行业高技能人才的培养培训具有重要的现实意义。

本套教材具有以下特点:

1. 教材内容与技师等级标准、考核标准相衔接,适应现代公路工程机械化施工与养护的要求。
2. 教材全部采用最新的标准和规范,符合先进性、科学性和实用性的要求。
3. 教材编写满足理实一体化和模块式的教学方式,体现职业教育特色,重点培养学生的实际操作技能。
4. 每个单元后均附有思考题,力求提高学生思考问题、解决实际问题的能力,以达到技师标准的要求。

《工程测量》是全国交通高级技工学校、技师学院公路施工与养护专业通用教材之一,内容包括:水准测量,角度测量,距离测量与直线定向,全站仪,测量误差理论的基础知识,小区域控制测量,大比例尺地形图的测绘与应用,施工测设的基本方法,道路工程测量,桥梁施工测量,隧道测量。

参加本书编写工作的有:陕西交通技术学院王景峰(编写单元一、六、十二),河南省南阳市公路技工学校马松(编写单元二、四、八),唐山市公路技工学校孙纳新(编写单元三、九),浙江公路机械技工学校刘有根(编写单元五、十一),河北省交通职业技术学校付海军(编写单元七),广东省交通高级技工学校黎军(编写单元十)。全书由王景峰担任主编,陕西交通职业技术学院程兴新担任主审。

本套教材在编写过程中得到了全国20余所交通类职业院校领导、工程施工养护领域的专家及一线高技能人员的大力支持和帮助,共有70余名专业教师参与了教材的编审工作,在此表示感谢。

由于我们的业务水平和教学经验有限,编审人员工作繁忙、时间仓促,书中难免有不妥之处,恳切希望使用本书的教师和读者批评指正。

交通职业教育教学指导委员会
公路(技工)专业指导委员会
二〇〇七年四月

目 录 *Mulu*

单元一 概述	1
课题一 工程测量的任务和作用	1
课题二 施工测量的基本方法	5
课题三 对施工测量技术人员的基本要求	10
思考题	11
单元二 水准测量	12
课题一 水准测量的原理和仪器	12
课题二 普通水准测量	19
课题三 水准仪的检验与校正	25
思考题	29
单元三 角度测量	30
课题一 角度测量原理及光学经纬仪	30
课题二 角度测量的方法和计算	35
课题三 经纬仪的检验及校正	44
思考题	50
单元四 距离测量与直线定向	51
课题一 钢尺量距	51
课题二 视距测量	58
课题三 直线定向	60
思考题	64
单元五 全站仪	65
课题一 全站仪基本功能介绍	66
课题二 坐标测量	71
课题三 点放样	77
课题四 拓普康 GTS—720 全站仪简介	81
思考题	84
单元六 测量误差理论的基本知识	85
课题一 测量误差概述	85
课题二 评定精度的标准	88
课题三 误差传播定律	90
思考题	93
单元七 小区域控制测量	94
课题一 控制测量概述	94

课题二	导线测量	99
课题三	全站仪导线测量	112
课题四	小三角测量	116
课题五	交会法定点	120
课题六	高程控制测量	122
思考题		127
单元八	大比例尺地形图的测绘与应用	129
课题一	地形图的基本知识	129
课题二	地形图的测绘	136
课题三	地形图的应用	142
思考题		148
单元九	施工测设的基本方法	149
课题一	施工测设的基本工作	149
课题二	测设点的平面位置	155
课题三	已知设计坡度线的放样	158
思考题		160
单元十	道路工程测量	161
课题一	道路工程测量概述	161
课题二	中线测量工作内容	162
课题三	圆曲线测设	168
课题四	复曲线、回头曲线的测设	174
课题五	缓和曲线的测设	176
课题六	路线纵、横断面测量	182
课题七	控制点复测与路线恢复	194
课题八	全站仪测设公路中线与坐标计算	198
课题九	路基施工测量	202
课题十	路面施工测量	206
思考题		209
单元十一	桥梁施工测量	210
课题一	桥轴线长度的测量方法	210
课题二	桥梁三角网布设形式	212
课题三	桥梁墩、台定位与墩、台轴线测量	214
课题四	桥梁高程控制测量	219
课题五	桥墩、桥台及基础高程放样	221
思考题		224
单元十二	隧道测量	226
课题一	隧道施工准备和施工测量的一般规定	226
课题二	公路隧道洞外平面控制测量	228
课题三	隧道洞内控制测量放样	233
课题四	隧道施工洞内水准测量	241

课题五	隧道开挖断面测量及衬砌施工放样.....	242
课题六	隧道竖井高程传递施工测量.....	242
课题七	辅助坑道测量.....	243
课题八	隧道贯通误差测定及调整.....	244
课题九	隧道竣工测量.....	246
思考题		247
参考文献		248

单元一 概 述

知 识 点

1. 施工测量的内容、目的和意义;
2. 施工测量的原则、程序和方法。

本单元主要学习工程测量的任务和作用、原则和程序、基本方法以及对施工测量技术人员的基本要求。

课题一 工程测量的任务和作用

一、测量学的一般概念

测量学是测定地面点的空间位置,将地球表面地形和其他地理信息测绘成图,研究并确定地球形状和大小的科学。测量学已发展为以下几门彼此紧密联系又自成体系的分支学科,它包括:

1. 普通测量学

研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技能、方法及普通测量仪器的使用技术和大比例尺地形图测绘与应用的学科,是测量学的基础部分。

2. 大地测量学

研究在较大区域内建立高精度大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术及方法的学科。由于人造地球卫星的发射和空间技术的发展,大地测量工作可以为其他测量工作提供高精度的起算数据,也为空间科学技术和国防建设提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料,并为与地球有关的科学研究提供重要的资料。

3. 摄影测量学

研究利用摄影手段来获得被测物体的图像信息,从几何和物理方面进行分析处理,对所摄对象的本质提供各种资料的一门学科。由于摄影取得的信息能真实和详尽地记录摄影瞬间客观景物的形态,具有良好的量测精度和判读性能,所以被广泛应用于建筑、考古、生物、医学、工业等领域,如桥梁变形观测、汽车碰撞试验、爆炸过程监视和动态目标测量等方面。

4. 工程测量学

研究工程建设在勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有:工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量等。工程测量学是一门应用科学,它是在数学、物理学等有关学科的基础上应用各种测量技术解决工程建设中实际测量问题的学科。随着激光技术、光电测距技术、工程摄影测量技

术、快速高精度空间定位技术在工程测量中的应用,工程测量学的服务面愈来愈广,特别是现代大型工程的建设,大大促进了工程测量学的发展。

我国的测量技术有着悠久的历史,在几千年的文明历史中有着许多关于测量的记载,如战国时期就发明了世界上最早的指南针;东汉张衡发明了浑天仪;西晋裴秀编写了《制图体系》;到18世纪初清康熙年间,进行了大规模的大地测量,于1718年完成了世界上最早的地形图之一《皇舆全图》。新中国成立后,成立了国家和地方测绘管理机构,建立了全国天文大地控制网,统一了全国大地坐标和高程系统,测绘了国家基本地形图。尤其是现代科学技术的发展,测量内容由常规的大地测量发展到人造卫星大地测量;由空中摄影测量发展到遥感技术的应用;被测对象由地球表面扩展到空间,由静态发展到动态;测量仪器已广泛趋向电子化和自动化。

二、公路工程测量的任务和作用

测量在公路工程建设中占有非常重要的地位,从公路与桥梁的勘测设计,到施工放样、竣工检测无不用到测绘技术。例如公路在建设之前,为了确定一条经济合理的路线,必须进行路线勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,并在图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工。当路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,测绘桥址河流两岸的地形图,测量河床断面、水位、流速、流量和桥梁轴线的长度,以便设计桥台和桥墩的位置,最后将设计位置测设到实地。当路线跨越高山时,为了降低路线的坡度,减少路线的长度,多采用隧道穿越高山。在隧道修建之前,应测绘隧道大比例尺地形图,测定隧道轴线、洞口、竖井等位置,为隧道设计提供必要的资料。在隧道施工过程中还需要不断地进行贯通测量以保证隧道构造物的平面位置和高程正确。

为此,本教材将重点讲述公路工程测量学的基本理论和仪器使用方法,尤其是在施工测量中的方法与技能,并介绍测量新技术和新仪器在公路工程建设中的应用等内容。

三、施工测量的目的和意义

在道路与桥隧工程勘测及施工测量工作中,主要工作内容包括:路桥勘测过程中的野外定点技术,施工中道路和桥隧工程实体的几何定位及有关尺寸、形状的控制和放样测量。而施工测量的目的是根据施工的需要,将设计的工程建筑物或构筑物的平面位置和高程,按设计要求以一定的精度敷设在地面上,并在施工过程中进行一系列的测量工作,以衔接和指导各工序间的施工。

施工测量贯穿于整个施工过程中。从道路导线、水准联测、中边线放样、桥隧等构筑物的轴线定位,到基础工程施工;桥梁下部构造到桥梁上部构件的安装和桥梁的桥面系施工以及施工场地平整等,都需要进行施工测量。只有这样,才能使工程结构或建筑物各部分的尺寸、位置和高程符合设计要求。有些高大或特殊的建筑物、软土地质的路基及结构物在建成后,还要定期进行沉降观测与变形观测,以便积累资料,掌握下沉和变形的规律,为今后建筑物、道路及结构物的设计、维护和使用提供资料。

四、施工测量的任务

线形结构物的路基路面,独立实体结构物的桥梁、隧道,均由线条构成,是根据点动成线、线动成面、面动成体的原理形成。施工测量的基本工作是根据已知点的位置来确定未知点的

位置,实质上是确定点间的相对位置或者确定点的绝对位置。这些工作习惯上称为工程定位和施工放样。工程定位系指施工中工程的中心桩、轴线、高程和外轮廓尺寸的确定和放样,即通常所说的施工质量外形控制和内质控制的环节。

路桥工程定位与放样,包括路线放样、路基路面放样、桥涵放样、隧道放样和排水工程及附属设施放样。

路线放样是指根据设计文件提供的“路线平面图”、“直线、曲线及转角表”或“逐桩坐标表”及“导线点坐标表”等设计图表文件,在原地面上放出路线的中心线桩和重要的固定桩志等。路基、路面放样,是根据设计文件提供的“水准点表”、“路基横断面图”、“路基设计表”和“路面结构图”等图表文件,放样出路堑开挖坡顶边桩和路堤填筑坡脚边桩,以及附属工程定位中心桩和边桩等。在路面施工中,每施工一层路面结构层都要放出该层的路面中心线和边缘线,有时为了精确做出路拱,还要放出路面左右高程点各 $1/4$ 的宽度线桩;然后对路面结构层在其放样的高程控制位置处进行高程测定,以控制各层的施工高程。

桥涵放样主要是指在桥涵施工中的桥轴线,墩、台中心定位(钻孔桩的孔位、扩大基础底面中心位置),有关尺寸放样、高程放样,涵洞洞身、洞口建筑放样,以及桥涵基础开挖轮廓线等。

隧道放样包括洞内和洞外导线测量,竖井联系测量,隧道轴线、腰线的标定和开挖断面轮廓放样,以及地下水准测量等。

排水设施、附属设施等工程放样,包括放出边沟、排水沟、截水沟、跌水井、急流槽、护坡、挡土墙等的位置和开挖或填筑断面线等。

为了使放样位置尽可能准确,以上放样工作都是遵循“先控制,后碎部”的原则进行。比如放样中线的程序是先进行导线点的敷设与联测,继而放出中线。有时为防止施工与设计的周期差而导致的导线控制网的偏位,在放样前还应对控制网进行复测。

五、施工测量的基本原则和程序

1. 必须逐级控制,做到层层放样

定位和放样工作中,习惯上是按“逐级控制”的办法来进行。这种控制分为平面和纵面控制。对于路线放样,目前有三种平面控制方法:一种是沿路线附近设置的由一系列的导线点来构成的所谓“专控导线”,亦称为“自由导线”,如图 1-1c)。这些导线点往往和国家高级控制网联测,其坐标取自国家高级坐标系统。一般而言,测设的导线点的坐标是经过严密的平差计算后得到的。公路中线是以这些控制导线点为依据,再确定公路中线上各桩点的位置。实际上是确定导线点与中线点之间的相对距离和相对方向,继而确定公路中线。

另一种是沿用过去传统的方法,即路线的导线基本上是公路中线,只不过是转折处敷设曲线构成。这实际上也是一种控制,即由交点和转点构成的路线控制导线,习惯上称为“顺路导线”或“中线导线”,如图 1-1 b)。放线时,先放这些控制点,然后再放中线,而边线放样则是在中线的基础上放置出来的。

以上两种控制放线的方法是先放路线导线,再放中线,最后放边线,即逐级控制放线。还有一种是采用 GPS 网控制,此处不作阐述。

图 1-1 中, a) ~ d) 为路线测设和施工测量工作中,各种方法的逐级控制示意图。

对于斜、弯、坡桥放样逐级控制的办法是,先在“专控导线”的基础上,围绕桥梁设一个闭合导线圈,这些闭合导线点跟路线的控制导线进行联测,在符合精度要求的前提下,经过导线

平差计算,得到闭合导线点的精确位置;再以导线点为基础,放出桥梁的轴线桩、桥墩或桥台的中心桩以及基础轮廓和开挖边线等,这也是一种平面逐级控制的办法。再如,大型结构物施工时往往要在结构物附近引测几个水准点,这些水准点引自路线水准点并经平差,再以这些水准点控制桥梁各部位的施工高程,这是纵面逐级控制。

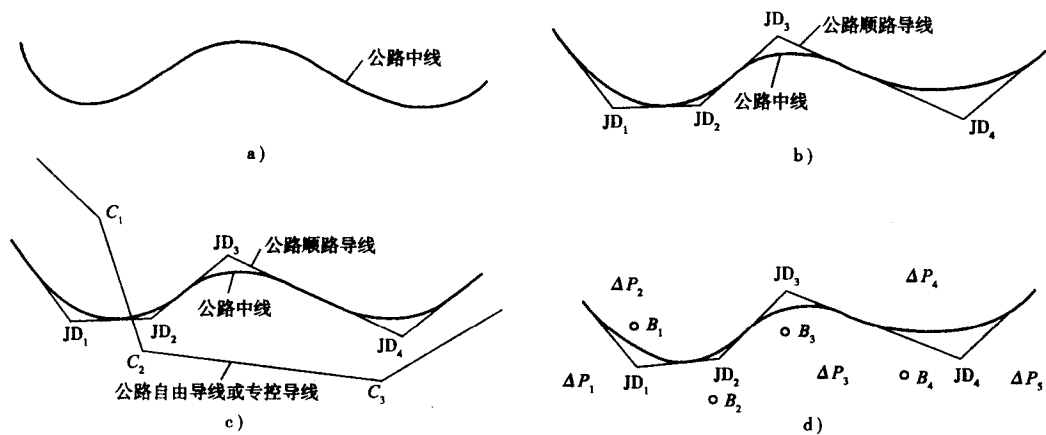


图 1-1 道路测设各种控制导线和控制网

a) 公路中线; b) 公路顺路导线; c) 公路专控导线; d) GPS 测量控制网

总之,在施工测量放线的布局上要做到由“整体到局部”,在程序上要“先控制后碎部”,精度上要有“高级到低级”的基本原则。

2. 留有校核依据,符合精度要求

施工定位和放线过程中,另一个重要的问题是要有校核的依据。比如,放一个墩台基础高程时,从水准点出发,放出后再回到另一个水准点或本水准点才知道放的是否正确,否则,没有校核是不可靠的。再如,测放一个位于季节性或浅水河道上的斜、弯、坡桥墩、桥台中心桩,一般从导线点上以坐标法放 1~2 次,还要沿跨径方向通过拨角量距的办法再放 1 次,用两种方法确定的点位相符或在一定的限差内,方可施工。

3. 选用仪器正确,采用方法得当

测量放样的基本工作是确定两点的相对位置,测前应明确确定点位所用仪器构造、测量原理及使用方法,以及确保点位最大限度地准确,所涉及的测量误差分析及运用测量仪器进行工程测量的原理和方法。

鉴于不同的测量仪器具有不同的精度和功能,不同的工程对象有不同的精度要求,因此要求选用仪器正确,方法得当。

由于受测量仪器、观测者、外界条件等的影响,不可避免地造成测量误差,因而对某一施测对象进行测量而得出的数值并非是其真值。尽管如此,我们总希望取得最接近真值的值。测量放样工作中讲究确定观测值的最或是值及其精度评定,这也是施工测量技术人员必须要注重的方面。例如,为减小或尽量消除某些误差,测量时应采取一定的措施。为消除仪器本身误差而引起的测量误差,如经纬仪在测角时用正、倒镜测回法,这样做是为了消除横轴不垂直于竖轴及横轴不垂直于视准轴对水平角观测结果的影响;又如在使用微倾水准仪进行水准测量时,应尽量使前后视距离大致相等,这样可以减小和削弱由于仪器视准轴不平行于水准管轴对测量结果的影响;如用钢尺量距就可用钢尺鉴定的尺长改正数经过计算加以消除;当用钢尺丈量基线,必要时还要进行尺长、拉力、垂曲、倾斜、温度等改正。对有些重要的工程结构,必须强

调重复放样,必要时对其精度进行评定。

4. 仪器检校完善,消除误差及时

要熟练并能灵活地进行放样工作,应首先掌握测量学的有关知识,尤其应注意和了解各种仪器的原理、构造、正确使用方法及注意事项等。当使用微倾式水准仪时,使用前仪器必须满足4个几何条件,其中之一是水准管轴平行于视准轴,因为它是利用水平视线求取两点间高差,而视线是否水平,肉眼是看不见的,也就是说,仪器上必须有判别视线水平的装置。水准管就是这样的装置。因此,常用的经纬仪、水准仪等仪器,使用前务必进行检验和校正,使其满足应有的几何条件。

5. 做到反复放样,注重步步校验

由于不可预见的因素的存在,在实际工作中,尽管我们十分谨慎和仔细地做了大量的测量工作,但难免有遗漏和疏忽之处。为此,放样后的点位应至少校验1~2次,力求做到万无一失。特别是对桥梁和隧道等重要工程结构物尤应如此。

课题二 施工测量的基本方法

一、点位的表示方法

工程测量最基本的内容是确定地面点的空间位置,因此有必要建立一个能表达地面点的空间位置的定位体系。如果选择一个能代表地球形状和大小且相对固定的理想曲面作为测量的基准面,就可以用地面点在基准面上的投影位置 and 高度来确定地面点的空间位置。工程定位放样工作实际上就是测定地面或结构上点位的工作。定位放样过程中,根据施工对象的不同,有时考虑地球曲率的影响,有时则不考虑。当放样路线中线桩点的给定坐标为高斯平面坐标时,说明控制网已与国家高级控制网联测,相当于考虑了地球曲率的影响;而对于有些工程实体局部施工测量,则不考虑地球曲率的影响。所以应首先了解地球的形状和大小。

1. 地球的形状和大小

对于采用高斯平面坐标(相当于考虑地球曲率的影响)的路线工程放样,需要研究地球的形状和大小。由于地球的表面极不规则,有高山、峡谷、湖泊和海洋,而且高山和海底间的凸凹起伏相差近2万米。虽然地球表面的起伏如此巨大,但与半径为6371km的整个地球相比还是微不足道的。由于地球表面陆地只占29%,而海洋却占71%,所以可以设想:由静止的海水面向陆地延伸,形成一个封闭的曲面,这个曲面称为大地水准面,如图1-2a)所示,由大地水准面所包围的形体称为大地体,它可以代表地球的总体形状。

任何静止的水面在测量学中称为水准面,如图1-2b)所示。水准面的特点是它处处与铅垂线相垂直。水准面可以位于不同的高度,所以水准面可以有无数个。水准面在实际测量中作为高程的起算面,如某点高程为1024.936,则此点距水准面的垂直距离为1024.936m。由于潮汐波浪关系,完全静止平衡状态的海水面是难以求得的。为此人们在海岸设立验潮站,用验潮站所测得的平均海水面来代替静止的海水面,取平均海水面作为大地水准面,它是无数水准面中的一个。

由于地球外层物质分布不均匀,因而大地水准面也是一个不规则的曲面。为了便于计算大地测量成果,需要用一个简单的几何形体来代替大地体。从力学理论和实测结果证明地球是一个两极稍扁的球体,所以可以用一个椭圆体来代替大地体,即大地水准面。有些地方在椭

圆体表面上,有些地方则在椭圆表面之下,如图 1-2a)所示。椭圆体的大小用长半轴 a 和短半轴 b 表示,如图 1-2c)所示。由于地球的扁率很小,在小测区测量工作中可把地球看作一个圆球来处理,其半径近似为 $R = 6371 \text{ km}$ 。

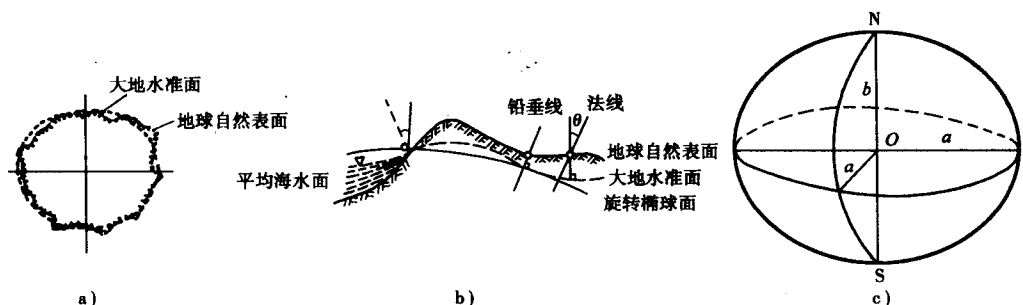


图 1-2 地球椭球与大地水准面

a) 大地水准面与地球自然表面; b) 大地水准面、地球自然表面和椭球面的关系; c) 地球椭球及其元素

2. 点位置的表示方法

1) 描述空间和地面点的方法

概括地讲,点位表达通常有两种方法,其一是用极坐标表达;其二是用直角坐标表达。这两类坐标都需要研究坐标的轴系问题。

实际测量工作中地面上的点位是用它的水平投影位置或平面位置和它的高程表示的。水平投影位置是指地面点投影到椭圆上的位置,分别用大地坐标或平面直角坐标来表示。高程是指地面点到大地水准面或假定水准面的垂直距离。

路线测量和施工放样通常是用平面直角坐标来表示。如果用全站仪等常规测量仪器勘测或放样路线,当考虑地球曲率影响时,采用的坐标系为高斯平面直角坐标。

我国的平面控制系统是在全国范围内布置三角点,这些点的位置已由专业测绘部门测绘,并已归算成椭球面上坐标再投影转化到高斯投影面上。因此,公路“自由导线”和“顺路导线”如与国家三角点闭合,必须统一成高斯坐标系。

2) 表示地面点位的坐标系

(1) 地球大地坐标系。有了地球椭球的基本概念后,地面上的点可以用大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 来表示。用大地坐标表示点位所对应的坐标系称为大地坐标系。如图 1-3 所示, O 为椭球的中心, EW 为赤道面, NGS 为起始大地子午面(大地子午面,又称首子午线,其中 N 和 S 分别表示北极和南极),地面点 $P_{地}$ 的法线 $P_{地}O$ 交椭球面于 P 点, NPS 为 $P_{地}$ 的子午面,则地面点 $P_{地}$ 大地坐标为:

大地纬度 B — $P_{地}O$ 与赤道面 WAE 的夹角,由赤道面起算,向北为 $0^\circ \sim 90^\circ$,称北纬,向南为 $-0^\circ \sim -90^\circ$,称南纬。

大地经度 L — $P_{地}$ 的子午面 NPS 与起始子午面 NGS 所构成的二面角,向东为正 $0^\circ \sim 180^\circ$,称为东经,向西为 $-0^\circ \sim -180^\circ$,称为西经。

大地高 H — $P_{地}$ 沿法线方向到椭球体的距离 $P_{地}$ 从椭

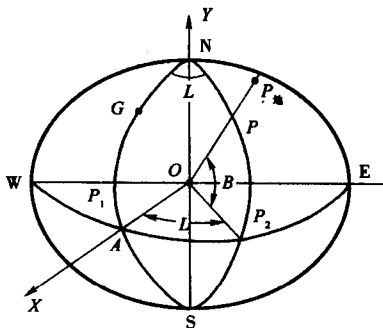


图 1-3 地球坐标系

球面起算,向外为正,向内为负。

(2)平面直角坐标系。

①高斯平面直角坐标系。高斯曲面是考虑到地球并不是一个平面而是一个椭球形曲面的情况,为使点的定位坐标计算简化为平面问题而采用的一种等角投影。这里先讨论高斯投影的概念。

旋转椭球体面是一个规则的数学表面,是大地测量计算的基准面,在旋转椭球体面上计算的点的坐标是大地坐标。而地形测图是在平面上进行的,所以用于地形测图的控制点坐标必须是平面坐标。因此,应将椭球体面上的大地坐标,按一定规律投影到平面上。这种将椭球体面上的点投影到平面上的理论,称为地图投影。投影后,测量元素中有的要发生变形,根据投影变形的特点,可分为等角投影、等积投影、等距投影等各种地图投影。高斯投影是等角横圆柱投影。

为便于说明高斯投影概念,假想将椭球体作为圆球看待,如图 1-4a)所示。在圆球表面上选定一个子午圈,将投影面卷成一个圆柱,套在圆球上并使其与选定的子午圈相切,这条切线 POP_1 ,称为轴子午线(中央子午线)。这样,球面上的轴子午线就毫无变形地转移到圆柱面上。此外,将赤道面扩大使之与圆柱体相交,其交线 GH 即与轴子午线垂直。当将圆柱体从两极沿着圆柱轴线切开,并展开成平面时,圆柱体上这两条正交的直线,就是平面直角坐标系的轴,如图 1-4b)所示。其中由轴子午线投影的直线 PP_1 ,就是直角坐标系的纵轴,称为 X 轴,而由赤道投影的直线 GH 是直角坐标系的横轴,称为 Y 轴, O 为坐标系原点。

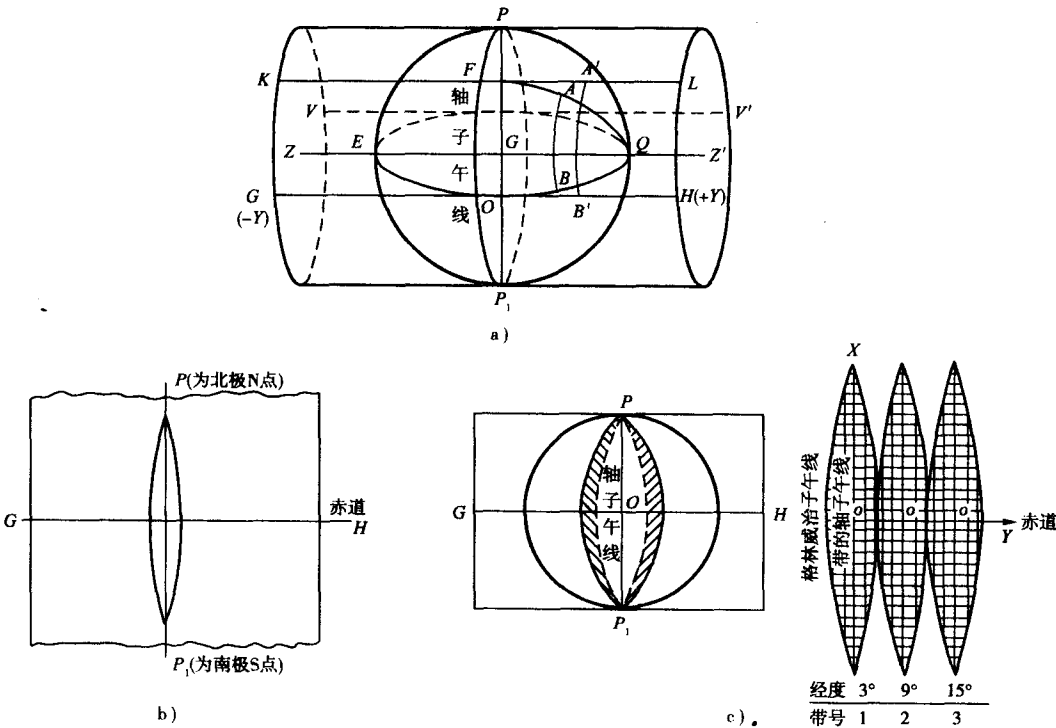


图 1-4 高斯投影与高斯平面坐标系

a) 高斯投影面;b) 高斯投影坐标轴;c) 高斯投影坐标分带

由上述可知,轴子午线上的长度转移到平面上是没有变形的,但轴子午线外任何直线转移

到平面上都将发生变形。为使变形不太大,将其限制在一定范围之内。如果在轴子午线两侧各取经差 3° ,即在经差 6° 的范围内进行投影,如图 1-4c) 左边图中的虚线为球面上的图形,投影到圆柱体的图形以实线表示,其边缘处的变形可在 $1/1000$ 左右,这对于一般精度的丈量不必进行距离的修正。就此,应以经度 $3^\circ, 6^\circ \dots$ 不同的子午线作为轴子午线,分别与圆柱相切,使投影限制在经差 6° 以内,而对 $1:10000$ 或更大的比例尺测图则应限制在经差 3° 以内。这个范围称为投影带,每一带都有它自己的独立坐标系。采用 6° 带的高斯投影,是从格林威治子午线起,自西向东每隔 6° 分地球为 60 个带,如图 1-4c) 右边的图所示。采用 3° 带的高斯投影,其分带方法是自东经 1.5° 起,每隔 3° 分地球为 120 个带。

②独立平面直角坐标系。在小区域内进行测量,局部的球面可以看作平面,点的水平位置用直角坐标来表示较为方便。测量中所用的平面直角坐标与数学中的直角坐标稍有不同。测量中是以 X 轴作为纵轴,表示南北方向; Y 轴为横轴,表示东西方向,如图 1-5 所示。象限的顺序按顺时针计,这是因为在测量中南北方向是最容易确定的基本方向,而且确定直线方向的角度都是从纵轴北端开始按顺时针方向计量的。这样的改变并不影响三角公式的应用。

3) 地面和结构物上点纵面位置的描述——高程

地面或地上结构物上点的空间位置除了用大地坐标或平面直角坐标确定外,还需要有高程。任意点沿铅垂线方向到高程起算面的距离称为该点的高程。测量工作中一般都取大地水准面作为高程起算面,这样得出的高程称绝对高程,通称为海拔。如果取任意水准面作为高程起算面,则得出的高程称为假定高程。

两点高程之差称为高差,“高差”实际上就是两点间竖向的相对高低。从图 1-6 可得:

$$h_{AB} = H_A - H_B = H'_A - H'_B \quad (1-1)$$

式中: h_{AB} —— A, B 两点间的高差;

H_A —— A 点的绝对高程;

H_B —— B 点的绝对高程;

H'_A —— A 点的假定高程;

H'_B —— B 点的假定高程。

可以看出,无论用绝对高程还是用假定高程,计算高差的结果是一致的。

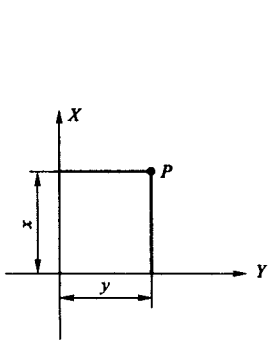


图 1-5 直角坐标

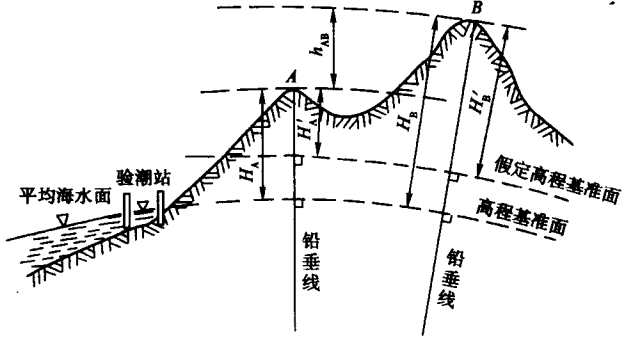


图 1-6 高程与高差的关系

二、直线的表示方法

一条直线的位置可分别用直线的方向与长度和位于直线上的两个点位来确定。

确定直线的方向也称直线定向。直线的方向,有相对方向和绝对方向之分。相对方向指

直线间的夹角;绝对方向指直线相对于某一基本方向的夹角。确定直线的绝对方向时,要有一个共同的基本方向,此外要有一定的方法来确定直线与基本方向之间的关系。

直线定向用的基本方法中有下列三种。

1. 真子午线

如图 1-7 所示,通过地球上某点指向地球南北极的方向线称为该点的真子午线。真子午线指出地面各点真北和真南的方向。由于地球上各点的子午线都向两极收敛而相交于两极,所以虽然各点的子午线方向都是向南北,然而它们之间并不平行。两点子午线方向间的夹角称为子午线收敛角。子午线收敛角随纬度的增大而增大,并与两点间的距离成正比。真子午线方向要用天文方法或用陀螺经纬仪来测定。

2. 磁子午线

通过地球上某点指向地球的北磁极或南磁极的方向线称为该点的磁子午线,自由旋转的磁针静止下来所指的方向就是磁子午线方向,所以磁子午线方向可用罗盘仪来确定。因地磁的两极与地球的两极并不一致,北磁极约位于西经 100. 60°,北纬 76. 2°;南磁极约位于东经 139. 4°,南纬 65. 8°。所以同一地点的磁子午线方向与真子午线方向不一致,其夹角称为磁偏角,用符号 δ 表示,如图 1-8a)、b) 所示。磁子午线北端在真子午线东时为东偏, δ 为“+”,在真子午线西时为西偏, δ 为“-”。磁偏角的大小随地点而异,在我国磁偏角的变化约在 +6° (西北地区)、-10° (东北地区) 之间。由于地球的磁极位置不断地在变动,以及磁针受局部吸引等影响,所以磁子午线不宜作为精密定向的基本方向。但由于用磁子午线定向方法简便,所以在独立的小地区的测量工作中仍可采用。

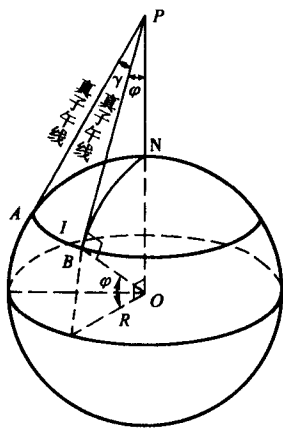


图 1-7 真子午线

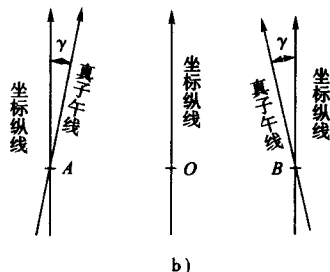
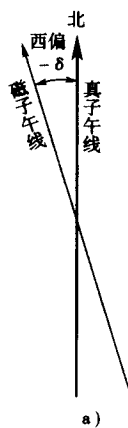


图 1-8 磁偏角

3. 坐标纵线(又称轴子午线)

不同点的真子午线方向或磁子午线方向都是不平行的,这使方向的计算很不方便。采用坐标纵线作为基本方向,由于各点的基本方向都是平行的,所以使计算十分方便。通常取测区内某一规定的子午线作为坐标纵线,也有取起点的子午线作为坐标纵线,在一定范围内都以坐标纵线作为基本方向。图 1-8b) 中过 O 点的真子午线作为坐标纵线,所以任意点 A 的真子午线与坐标纵线间的夹角就是 AO 两点子午线的收敛角 γ ,坐标纵线北端偏向真子午线东时 γ 为“+”,偏向真子午线西时 γ 为“-”。