



公路施工现场

GONGLU SHIGONG XIANCHANG
JISHU RENYUAN PEIXUN JIAOCAI

技术人员培训教材

公路

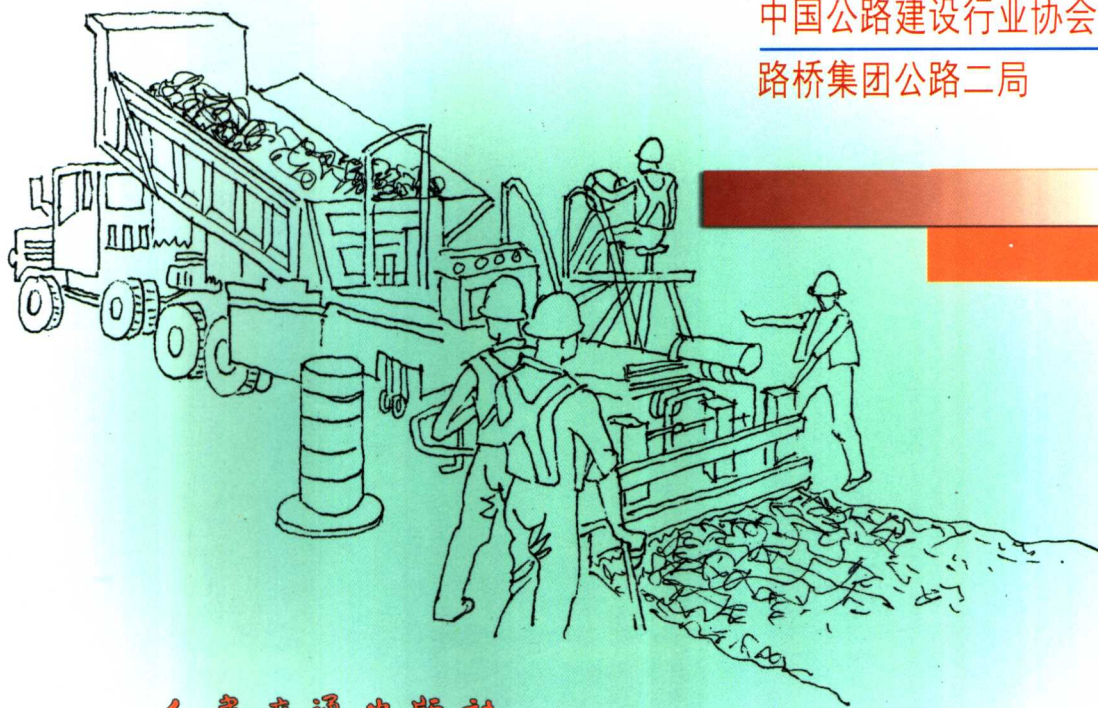
施工测量技术

Gonglu Shigong Celiang Jishu

刘培文 主编

中国公路建设行业协会组织审定

路桥集团公路二局 主审



人民交通出版社

China Communications Press

华北水利水电学院图书馆



206480538

U415.1

L650



公路施工现场

GONGLU SHIGONG XIANCHANG

JISHU RENYUAN PEIXUN JIAOCAI

技术人员培训教材

公路 施工测量技术

Gonglu Shigong Celiang Jishu

刘培文 主编

中国公路建设行业协会组织审定

路桥集团公路二局

主审



人民交通出版社
China Communications Press

648053

内 容 提 要

本书为《公路施工现场技术人员培训教材》之一。全书共分六章,内容包括:公路施工测量常用仪器和工具的构造、测量原理和正确使用;测量误差的基本理论,等精度观测和不等精度观测的最或然值确定及测量的平差方法;道路施工测量的基本原理、理论和实用方法;桥梁和隧道施工测量的基本原理、主要方法;工程位移和裂缝观测的基础知识。

本书可作为从事公路工程测量技术人员的培训教材,也可供相关专业技术人员和大专院校公路与城市道路及桥梁与隧道专业学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路施工测量技术 / 刘培文主编. —北京:人民交通出版社,2003.3

ISBN 7-114-04572-7

I.公... II.刘... III.道路工程—施工测量
IV.U415.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 002750 号

公路施工现场技术人员培训教材

公路施工测量技术

刘培文 主编

中国公路建设行业协会组织审定

路桥集团公路二局 主审

正文设计:彭小秋 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:24.5 字数:608 千

2003 年 6 月 第 1 版

2003 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:42.00 元

ISBN 7-114-04572-7

总 序

自 1998 年以来,为了应对亚洲金融危机,国家采取了积极的财政政策,中央与地方明显加大了基础设施投资力度。经过公路交通职工努力奉献,扎实工作,以国道主干线为重点的高等级公路建设突飞猛进,公路交通通达深度和覆盖面明显增强,公路的总量与质量都实现了重大突破,公路交通对国民经济发展的制约状况得到初步缓解。

按照党的十六大全面建设小康社会的总体部署,需要公路交通提供安全、便捷、快速、可靠的保障,以满足将生产分工与合作、资源与市场紧密联系的要求,交通部制定了我国公路发展规划,今后一段时间内,在公路交通基础设施方面,除继续加快国道主干线建设外,西部开发省际通道和东部国家重点干线也在建设。此外,各地路网改造和县际农村公路也要按计划加紧实施,全国公路交通建设将保持良好发展势头。因此,在公路建设规模大、任务重的背景下,依靠科技进步,全方位地加强工程建设质量管理,增强全体建设者的质量意识,始终坚持“百年大计,质量第一”的方针,对于确保优质高效地完成公路建设目标具有重要意义。

近些年来,为适应公路建设的快速发展,确保工程建设质量的要求,交通部连续多年开展了公路建设质量年活动,开展了针对提高公路修筑质量的技术攻关与针对公路工程质量通病的专项科研与治理工作。加强了工程质量管理制度的建设,强化质量监督,全面落实质量责任制,使全员的质量意识与管理水平得到明显的提高,对确保公路工程质量起到了积极的作用。公路工程质量的提高与多方面因素有关,这其中,最重要的因素之一则是从事公路建设的一线技术人员水平的提高。活跃在施工现场的技术人员,他们是公路工程项目的组织者与实施者,他们的专业和业务背景不尽相同,加强对他们的技术和业务培训,一方面是提高他们的管理水平,再就是提高他们的专业技术素质,使他们真正成为综合素质优的一线技术骨干,这样才能使公路建设质量得到最为直接的保证。从另一个角度而言,施工企业要取得效益,最为根本的还是提高工程的质量。施工单位应对施工人员进行岗位“应知、应会”教育,质量检查活动中应对现场技术人员的培训工作进行检查。针对今后持续发展的公路建设,尤其是大规模开展的农村公路建设项目,加强施工现场技术人员的培训,提高全体公路参建人员的素质,是确保工程质量的关键。有鉴于此,人民交通出版社与中国公路建设行业协会共同协商,组织编写一套《公路施工现场技术人员培训教材》,供各地开展培训之用。

该教材是在公路大发展的背景下,为配合各地对公路施工一线技术人员的培训工作的开展而设计的。教材的主要内容包括各类技术人员的工作职责、专业基

基础知识、管理细则等。教材编写的基本思路是：

(1)注重反映施工项目现场作业与操作的重点环节,体现了项目实施过程中管理与技术的内容。

(2)注重基本知识、基本操作技能的反映,内容选择上本着够用、实用为原则。注重反映近年来所涌现的新技术、新材料、新工艺与新设备在工程中的具体应用。

(3)在编写上考虑了语言简练、叙述清楚循序渐进的原则,各分册内容体系相对完整,既可作为培训教材使用,也可供一线技术人员自学及作为技术参考书使用。

该教材分为6册,涵盖公路工程施工的主要方面。教材主要包括《公路施工技术》、《公路施工测量技术》、《公路工程定额与统计》、《公路工程试验与检测》、《公路工程材料与管理》、《公路施工安全技术》。本套教材由人民交通出版社具体组织,中国公路建设行业协会组织审定。路桥集团公路一局、路桥集团公路二局、龙建路桥股份有限公司(原黑龙江路桥建设集团)、湖南路桥建设集团公司、江苏省交通工程总公司等公路施工企业,长期在公路施工现场从事项目管理的技术人员参与了具体审定工作。

虽然本套丛书是为公路施工一线技术人员量身定做的,但是各个施工企业背景不同,人员水平不一,加之教材本身编写水平有限,很难完全满足大家的要求。在培训过程中,各地应根据具体情况与要求,对教材内容进行适当增删调整,以取得好的培训效果。

本教材的出版,将有助于各施工建设单位培训工作的开展。也希望大家在使用过程中,及时发现问题,总结经验,以便教材修订时充实完善。

此外,需要说明的是,本套教材除可作为施工现场技术人员培训教材使用,也可作为交通职业高等教育相关专业教材。

中国公路建设行业协会

人民交通出版社

2003年4月22日

《公路施工现场技术人员培训教材》

出版说明

党的十六大提出全面建设小康社会的奋斗目标,公路交通建设要实现新的跨越式发展对公路建设质量提出了更高的要求。作为活跃在施工现场基层的技术人员,其业务技术与管理水平的高低已成为公路建设项目能否高质量、高效率完成的关键。

近年来随着公路建设的发展,公路建设从业人员队伍的不断扩大,多行业的施工企业加入到公路建设之中,专业素质和业务能力差异较大,使得公路建设从业人员技术和管理水平参差不齐,他们十分需要进行较系统地培训、学习。因此,对施工技术人员规范化地进行技术培训,提高他们的业务素质和专业技能是一项十分必要和紧迫的工作。为确保公路工程建设质量,国家和行业主管部门对加强施工现场技术人员(包括劳务人员)的技术培训,提高他们的业务素质提出了明确的要求,要求施工单位应组织施工人员进行所在岗位的培训,并应取得相应岗位资格。中国公路建设行业协会按照行业主管部门的要求,结合公路建设项目的特点,将开展公路施工现场技术人员技术培训工作,并把编写出版一套内容全面的培训教材列入协会近期的一项重要工作。本教材由人民交通出版社和中国公路建设行业协会牵头组织,由中国公路建设行业协会组织审定。

本套教材主要内容包括各种技术人员的工作职责、专业技术知识、业务管理细则等。其特点是针对性强,基本涵盖了施工现场技术人员在工作中可能遇到的要点、难点,通俗易懂,实用性强,可操作性好,是一套拿来就可用的教学参考书,也是各类技术人员不可或缺的工具书。

本套教材包括如下6个分册:

- 1.公路施工技术
- 2.公路施工测量技术
- 3.公路工程定额与统计
- 4.公路工程试验与检测
- 5.公路工程材料与管理
- 6.公路施工安全技术

本套教材的出版,将有利于公路交通行业从业人员培训工作的开展,同时,本套教材也适用于农村公路建设从业人员的技术与管理培训之用。欢迎各施工企业根据自身的实际情况选用。

2003年4月20日

前言

Preface

随着我国公路建设的飞速发展,越来越多的建设单位参与公路施工,因此,有必要规范测量队伍的技术要求,以提高从事公路工程测量队伍的整体业务素质。为此我们特编写这本书,以抛砖引玉,希望对从事施工测量的技术人员有所帮助。

从事施工测量技术的人员,首要的问题是掌握常规和现代测量仪器的原理、构造、使用与维护方法,随着施工部门施工技术装备的不断提高,现各施工单位已由传统的经纬仪等常规测量仪器发展为以全站仪为主,甚至使用 GPS 仪的现代装备时代。但有为数不少的测量技术人员不熟悉全站仪的原理、构造和使用,只好现用现学。因此,本书编入了最为广泛使用的全站仪的原理、构造和用于一般工程测量及高级测量的方法。全站仪品种很多,但其功能和使用上却大同小异,大部分仅使用界面不同而已,故本书以索佳 SET2100 为蓝本加以叙述。考虑按逐级控制的测量程序,施工测量时,免不了用不同的仪器完成不同的控制对象,因此,本书仍编入了常规仪器的测量原理、构造和正确使用方法。

根据现场抽样调查分析,现从事公路施工测量技术人员中半数以上的为同类专业高等学校毕业生,他们在校期间已学过一些理论知识。因此本书以既强调理论又注重实践的原则编写。力求使内容具备一定的广度、跨度和深度。

随着高速公路的大规模兴建,设计中大多强调用视觉连续和速度连续的理论,去寻求线形美观,因此,现在的道路路线上使用的坡、弯、斜桥颇多。无论是道路还是桥隧,都涉及到中心线的放线问题,故本书对道路中心线的施工测量的理论原理和方法加以系统的阐述。

桥隧工程放样往往是一个比较复杂的问题,鉴于不同的桥型其放样的内容及相应的方法有所差异,但限于篇幅,难以言尽,故本书主要介绍桥隧施工测量中最基本和最常用的方法。

本书编写时还照顾了不同知识深度的读者对象,书中内容可以适用于初级、中级和高级技术人员和专项工程师的培训需要。各地在讲授时,可从中节选内容。本书中所有内容应作为专项工程师培训的基本要求。为了读者便于理解,书中选编了大量例题,以供参考。

在编写过程中,反复征求一线技术人员和施工单位意见,并多次请专家审核,多次修改,在此作者对参与本书编、审、核的同志和本书参考原著作者表示衷心的感谢。

感谢。

本书由路桥集团公路二局欧阳效勇、宋剑、梁鸿甲、伊仕桃、杜兵等审定。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中缺点和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正,以便再版时修正。

编者

二〇〇二年九月于北京

目 录

Contents

第一章 概述	1
第一节 施工测量的目的和意义	1
第二节 施工测量的任务和程序	1
第三节 施工测量的基本方法	4
第四节 对施工测量技术人员的基本要求	22
第二章 公路施工常用测量仪器和工具	24
第一节 简单定位和放样仪器	24
第二节 水准仪的构造和使用	27
第三节 经纬仪的构造和使用	37
第四节 全站仪的构造和使用	46
第五节 测量仪器的检验与校正	109
第三章 测量误差理论的基本知识	121
第一节 测量误差概述	121
第二节 评定精度的标准	123
第三节 误差传播定律	125
第四节 观测值的最或然值及其中误差	129
第五节 测量结果的平差方法	140
第六节 地形测图控制网平差示例	154
第四章 道路施工测量	175
第一节 道路施工测量相关知识	175
第二节 公路中心线的线形	197
第三节 顺路导线法施工放线	205
第四节 自由测站法施工放线	233
第五节 路基路面施工放样	256
第五章 桥隧施工测量	265
第一节 桥梁施工测量的相关知识	265
第二节 桥梁轴线和墩台中心定位测量	281
第三节 桥梁下部构造施工测量	301
第四节 桥梁施工阶段的水准测量	309
第五节 预应力简支梁架设施工测量	317

第六节	隧道施工中的地面控制测量	320
第七节	隧道施工中的洞内施工测量	325
第八节	竖井联系测量	333
第九节	隧道贯通测量与贯通误差估计	346
第六章	工程位移与裂缝观测	368
第一节	工程位移观测	368
第二节	工程裂缝观测	376
第三节	桥隧位移和变形观测	377
参考文献		380

第一章

概述

第一节 施工测量的目的和意义

从事道路与桥隧工程勘测与施工测量工作的技术人员,其主要工作内容包括: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要求敷设在地面上,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及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、道路及结构等的设计、维护和使用提供资料。

第二节 施工测量的任务和程序

一、施工测量的任务

任何物体,不外乎由点、线、面所构成。线形结构物的路基路面、独立实体结构物的桥梁、隧道,均由线条构成的。根据点动成线、线动成面、面动成体的原理,施工测量的基本工作是根据已知点的位置(平面位置和高程)来确定未知点的位置,实质上是确定点间的相对位置(相对平面位置与相对高差)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、有关轴线、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外形控制环节。

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、文、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、文、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,讲究层层放线、层层操平。层层放线,即是指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,还要放出路面左右标高各 $1/4$ 的宽度线桩;层层操平,即是指每施工一层路面结构层都要对各控制的断面在其放样的标高控制位置处进行高程测定,以控制各层的施工标高。

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、标高放样,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。

为求得放样位置尽可能的准确,以上放样工作都是遵循“先控制,后碎部”的原则进行。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,在放样前往往还应对控制网进行复测,这些复测工作不但在平面上要进行,在纵面上也要进行,如水准点的复测等。

二、施工测量的基本原则和程序

(一)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而得到的。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位置的。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。

另一种是过去传统沿用的方法,即路线的导线基本上是公路中线,只不过是在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,习惯上俗称为“顺路导线”或“中线导线”如图 1-1b)。放线时,先放这些控制点,然后再放中线,而边线放样则以中线的中线上放置出来的。

以上两种控制的放线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。

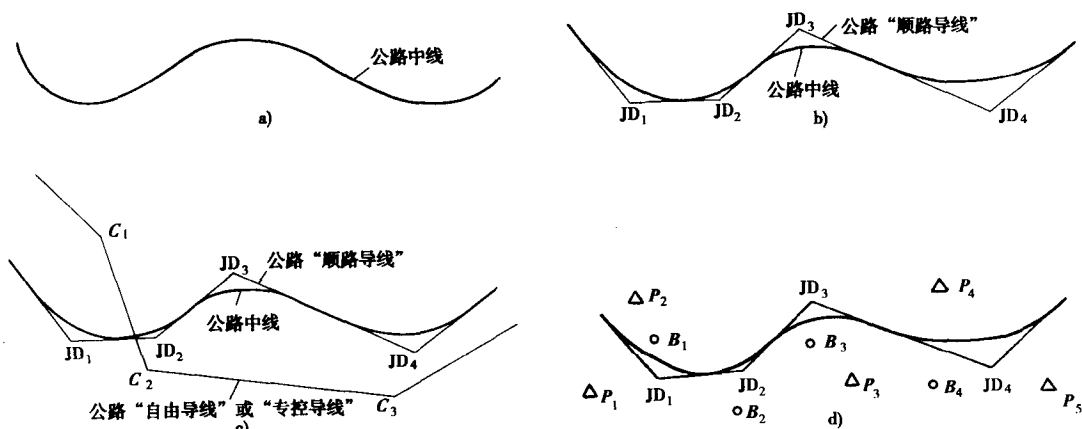


图 1-1 道路测设各种控制导线和控制网

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

还有一种是采用 GPS 网控制。有关 GPS 控制网这里限于篇幅,不作阐述,请读者参考有关专著。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(坐标);再以导线点为基础,放置桥梁的轴线桩、桥或墩台中心桩和基础轮廓及开挖边线等,这也是一种平面逐级控制的办法。再如,施工大型结构物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标高,这是纵面逐级控制。

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”;精度上要以“高级到低级”的基本原则。

(二)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,放置一个墩台基础标高时,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,放一个位于季节性或浅水河道上的斜弯坡桥墩台中心桩,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。

(三)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(相对平面位置与相对高差),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价格、精度和功能,一个施工部门不可能拥有大量的高级仪器;不同的工程对象,有不同的精度要求,因此难免用不同的仪器完成不同的工程对象,这就要选用仪器正确,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(即最或然值)。测量放样工作中讲究确定观测值的最或然值及其精度评定,这也是施工测量技术人员必须要注意的方面。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,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,这样可以减小和消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。

(四)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。过去测量时一直强调使用仪器一定要检校完善,这里有它的道理。当使用微倾式水准仪时,使用前仪器必须满足四个几何条件,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。使用时使水准管气泡居中即认为视线水平,它的前提条件是视准轴必须平行于水准管轴。否则尽管按

操作要领完成,也是徒劳无益的。因此,常用的经纬仪、水准仪等仪器,使用前务必检验和校正,使其满足应有的几何条件。

(五)做到反复放样,注重步步校验

由于不可预见的因素,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。

第三节 施工测量的基本方法

一、施工测量的基本原理

(一)点位的表示方法

工程定位放样工作上都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且给定坐标为高斯平面坐标时,说明控制网已于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。所以在阐述如何确定地面点位之前,应该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。我们知道,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两万米。虽然地球表面的起伏是如此巨大,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[图 1-2a)],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[图 1-2b)]。水准面的特点是它处处与铅垂线相垂直,同一水准面上势能处处相等。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用来作为高程(标高)的起算面,如某点标高为 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的不均匀,引起各处铅垂线方向的不规则变化,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(或称椭圆球)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[图 1-2a)]。椭圆体的大小用长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α 表示, $[\alpha = (a - b)/a]$ 一般用 α 表示,如图 1-2c)。 α 被称为椭圆体的元素。为了测量工作的需要,在一个国家或一个地区需要推算或选用一个最接近于该地区大地水准面的椭圆体,这样的椭圆体称参考椭圆体。我国目前用 1975 年国际大地测量协会推荐的地球椭圆体,其元素值为:

$$a = 6378137\text{m}, b = 6356752\text{m}, \alpha = 1:298.253$$

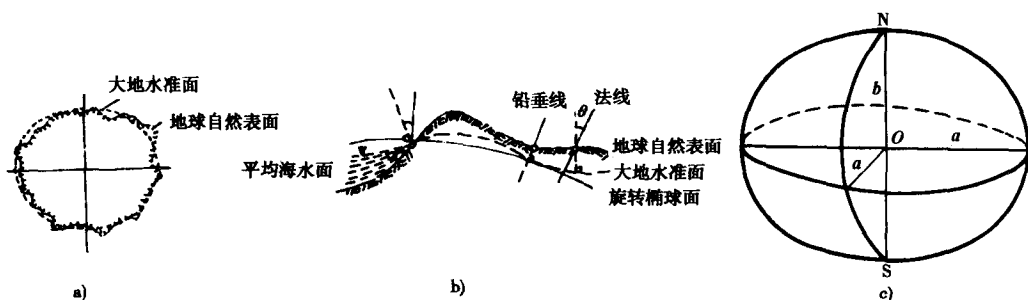


图 1-2 地球椭球与大地水准面

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

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 $R = 6371\text{km}$ 。

2. 点的位置的表示方法

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。

现代 GPS 测量技术是基于时间同步的几何定位测量系统,其定位涉及到对卫星位置与地面点位的描写。描写空间位置的坐标系有两类:一类是与地球自转无关的固定坐标系,主要用于对天体位置的描写,如对恒星、行星、地球卫星的定位描写;另一类是与地球自转相关和地球固连在一起的地固坐标系,主要用于表达地面(包括地下和空中)点的位置关系,经典大地测量和 GPS 基线向量的定位描写就属于这一类。每类坐标系都有空间直角坐标系与球面坐标系两种表现形式。

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(椭球面上点的表示方式是用大地经度和大地纬度)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。当用全站仪等常规测量仪器勘测或放样路线“自由导线”时,且当点定位的坐标系统为考虑地球曲率影响时,采用的坐标系统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(大地经纬度)再投影化算到高斯投影面上。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统

(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坐标(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 1-3a), 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 $P_{\text{地}}$ 的法线 $P_{\text{地}}O$ 交椭球面于 P 点, NPS 为 $P_{\text{地}}$ 的子午面,则地面点 $P_{\text{地}}$ 大地坐标为:

大地纬度 B —— $P_{\text{地}}O$ 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,

向南为负($0^\circ \sim -90^\circ$),称南纬;

大地经度 L —— $P_{\text{地}}$ 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,向西为负($0^\circ \sim -180^\circ$),称为西经;

大地高 H —— $P_{\text{地}}$ 沿法线方向到椭球体的距离 $P_{\text{地}}P$ 从椭球面起算,向外为正,向内为负。

大地高 H 与水准测量中的正高 H_N 或正常高 H_V 有以下关系:

$$H = H_N + N = H_V + \zeta$$

式中: N ——大地水准面差距;

ζ ——高程异常。

若将地面点 $P_{\text{地}}$ 沿铅垂线投影到大地水准面上,投影点为 P' ,再将 P' 沿法线投影到椭球面上得 P_0 点[图 1-3b)],则沿铅垂线的距离 $P_{\text{地}}P'$ 就是 H_N ,而 $P'P_0$ 就是大地水准面差距 N 。

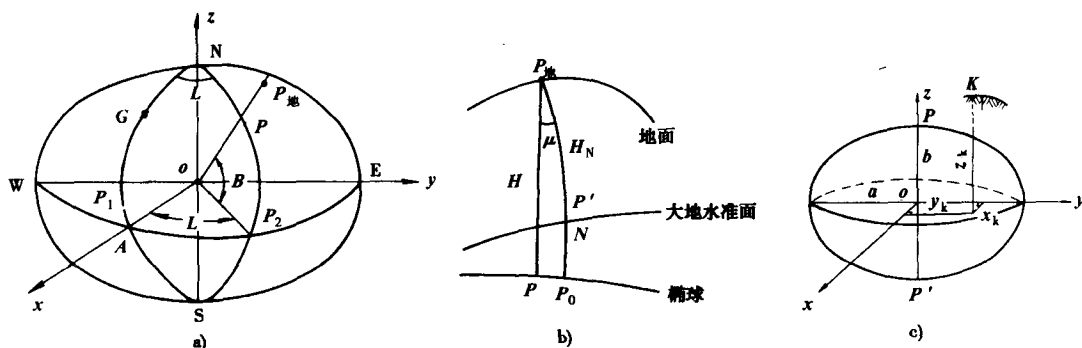


图 1-3 地球坐标系

a) 地球大地坐标系; b) 大地高与正常高间的关系; c) 地球空间直角坐标系

(2) 地球空间直角坐标系

这种坐标系是基于以地球质心为坐标原点; X 轴正方向以赤道面上由地心指向格林威治子午线的方向, Y 轴正方向在赤道面上由地心指向东经 90° 的正方向; Z 轴正方向为平均地极北方向。在图 1-3c) 中可以看出, 地球空间直角坐标系是以椭球中心为坐标系原点, 以起始子午面 NGS 与赤道 WAE 的交线为 x 轴以椭球的短轴为 Z 轴(正北方向), 而以在赤道面上与 x 轴的正交方向为 y 轴, 构成右手空间直角坐标系 $O-xyz$ 。地面点 K 的点用位于 OK 在这三个坐标轴上的投影 $x_K y_K z_K$ 表示 x_K, y_K, z_K 就是 $P_{\text{地}}$ 的空间直角坐标系, 它们与大地坐标系相对应。

3) 描述空中点位(GPS 卫星)的坐标系统——天球坐标系

(1) 天球上的基本圈点

以地球为中心, 无穷大为半径的假想圆球称为天球。地球半径相对天球的半径来讲很小, 所以除了观测太阳、月亮等天体外, 观测者不论在地球上任何位置, 总是可以认为观测者位于天球的中心, 也就是把整个地球当做一个中心点来处理。如图 1-4a), 在测站 O 上将观测天体 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ 的视线延长与天球相交于 $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3, \dots$, 这些位置称为天体的视位置。人们面北观察天空, 由于地球绕自转轴旋转, 便可察觉天球由东向西转动, 天体东升西落, 一昼夜旋转一周, 这个现象称为天体的视运动。

为了决定天体在天球上的视位置, 必须在天球上建立一个坐标系统, 称为球面坐标系。因此, 在天球上假设了一些参考圈、点, 如图 1-4b)。

①天顶和天底 测站点 O 的铅垂线与天球相交, 在上者为天顶 Z , 在下者为天底 Z' ;

②地平圈 过测站点 O 与铅垂线垂直的平面称为地平面, 地平面延伸与天球相交的大圆

称为地平圈 ESWN。

③垂直圈 通过天顶和天底所作的大圆称为垂直圈,又名地平经圈。通过天体 σ 的垂直圈为 $Z\sigma Z'$ 。

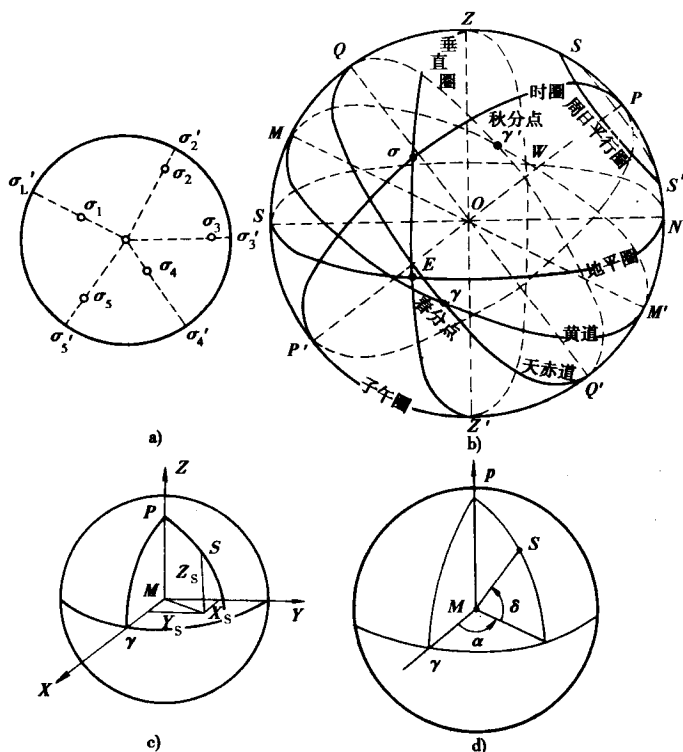


图 1-4 天球与天球坐标系

a)测站、天体和天球的关系;b)天球上的基本圈点;c)天球直角坐标系;d)天球球面坐标系

④天极 延长地球自转轴与天球相交的两点称为天极,北端称为天北极 P ;南端称为天南极 P' , PP' 称为天轴。

⑤时圈 通过天南北极的大圆称为时圈,也称为赤经圈,图中 $P\sigma P'$ 为通过天体 σ 的时圈。

⑥子午圈与子午线 通过测站天顶、天底的时圈称为测站子午圈 $PZP'Z'$,子午圈相应的平面称为子午面,子午面与地平面相交的直线 NS 称为测站子午线。

⑦天赤道 地球赤道平面延伸与天球相交的大圆 $Q\gamma Q'\gamma'$ 称为天赤道。

⑧黄道 地球绕太阳公转的轨道平面与天球相交的大圆 $M\gamma M'\gamma'$ 称为黄道,黄道平面与赤道平面交角约为 23.5° ,黄道与赤道相交于两点,东交点为春分点 γ ,西交点为秋分点 γ' 。

⑨周日平行圈 由于地球自转,使人们看到天体绕地球运动,例如太阳东升西落,这种现象称为天体的周日视运动,其运动轨迹是平行于天赤道的小圈 SS' ,称为周日平行圈。天体沿其周日平行圈运行,每旋转一周要经过子午圈两次,当天体运行到子午圈上,靠近天顶时为上中天 S ,离天顶远时为下中天 S' 。

(2)天球坐标系

天球上坐标系统有地平坐标系和赤道坐标系等,常用的有天球直角坐标系和天球球面坐标系两种形式,主要描述的是天体的位置,如卫星、行星等。

①天球直角坐标系〔图 1-4c〕 坐标原点在地球质心 M , X 轴由地心指向春分点 γ 为正方向; Y 轴在赤道面与 X 轴正交指向东经 90° 为正方向。天体的位置以空间直角坐标 X_S, Y_S, Z_S 表示。