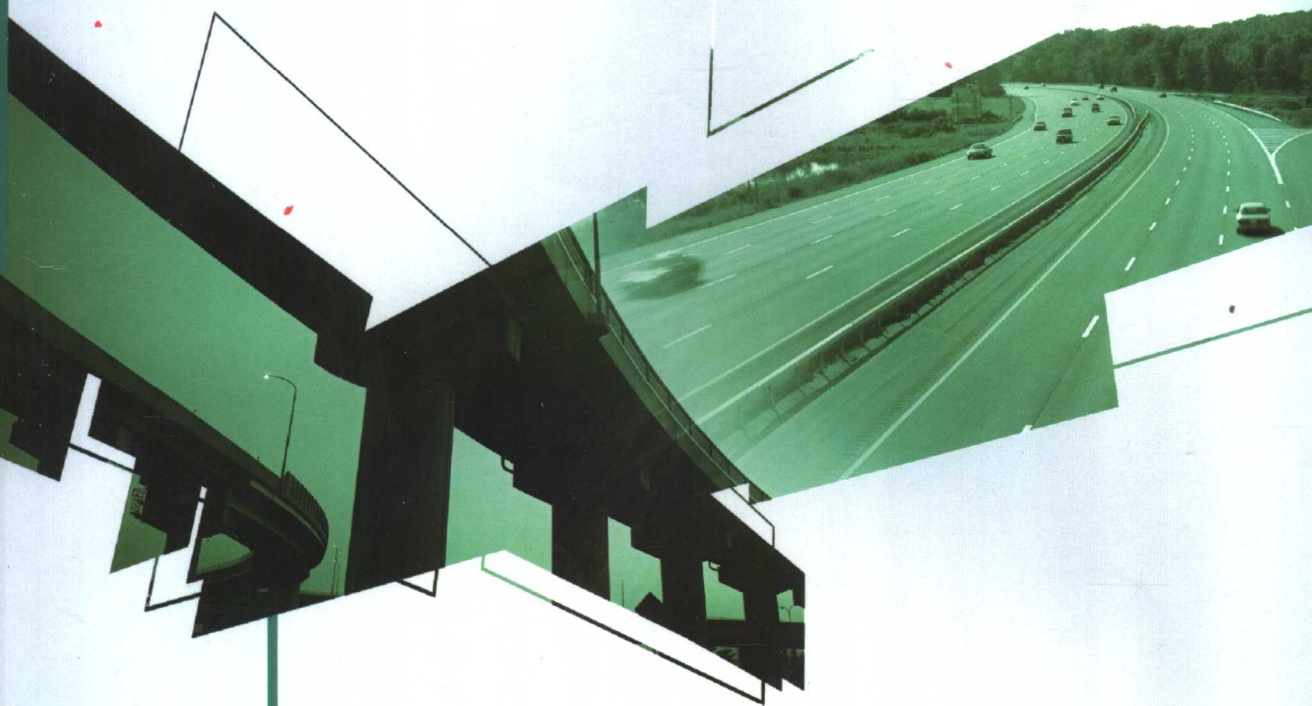




高等职业教育

工程造价专业系列教材



GONGLU GONGCHENG
SHIGONG FANGYANG

公路工程 施工放样

主 编 刘建明
副主编 莫延英 李培荣
主 审 谢远光



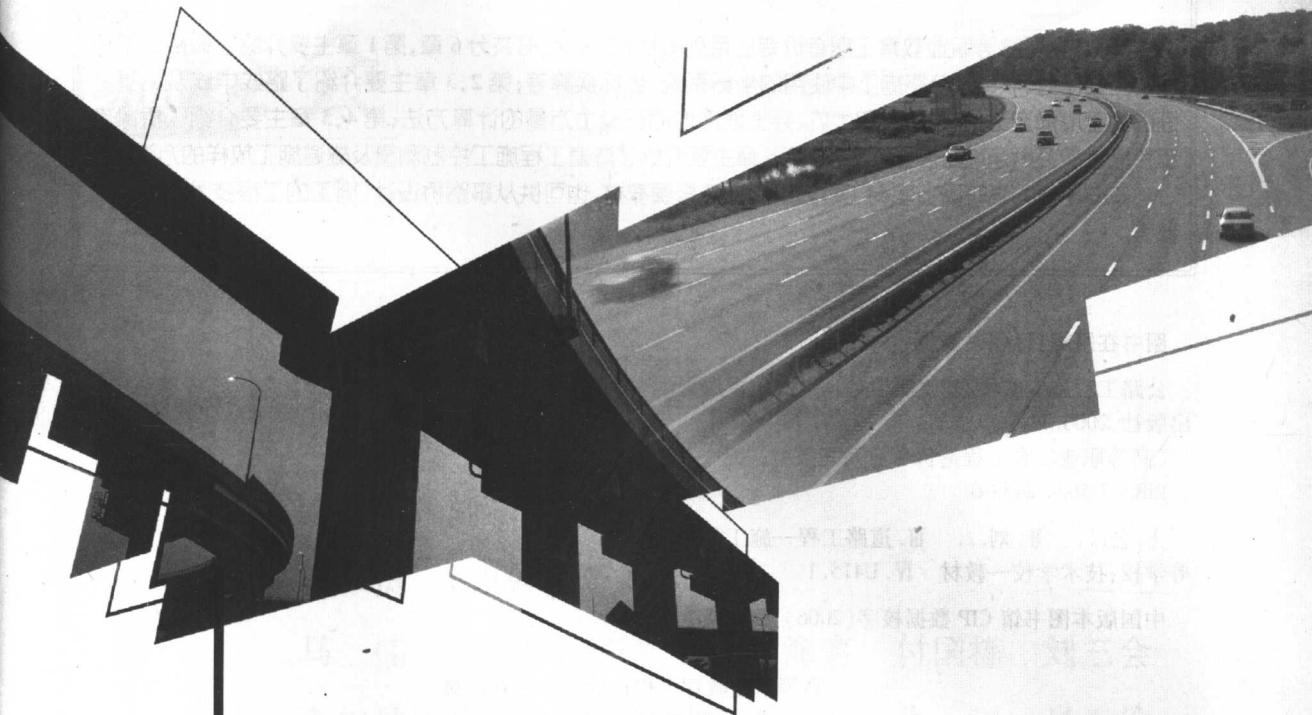
重慶大學出版社

<http://www.cqup.com.cn>



高等职业教育

工程造价专业系列教材



GONGLU GONGCHENG
SHIGONG FANGYANG

公路工程 施工放样

主 编 刘建明
副主编 莫延英 李培荣
主 审 谢远光

重庆大学出版社

内 容 提 要

本教材是《高等职业教育工程造价专业系列教材》之一,全书共分6章,第1章主要介绍了道路施工放样的主要任务、依据及公路施工中使用的坐标系统、坐标换算等;第2,3章主要介绍了路线中线及路基路面的施工放样方法,以及沿线取土坑、弃土堆占地面积及土方量的计算方法;第4,5章主要介绍了桥梁施工控制测量及桥涵施工放样等知识;第6章主要介绍了隧道工程施工控制测量及隧道施工放样的方法。

本书可作为高等职业教育工程造价专业选修课教材,也可供从事路桥设计、施工的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程施工放样/刘建明主编. —重庆:重庆大学出版社,2006.11
(高等职业教育工程造价专业系列教材)
ISBN 7-5624-2458-6

I.公... II.刘... III.道路工程—施工测量—高等学校:技术学校—教材 IV.U415.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 132774 号

高等职业教育工程造价专业系列教材

公路工程施工放样

主 编 刘建明

副主编 莫延英 李培荣

主 审 谢远光

责任编辑:陈红梅 温以舟 版式设计:范心渝

责任校对:李定群 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:6 字数:150千

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5624-2458-6 定价:10.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编委会

顾 问 尹贻林 阎家惠

主 任 武育秦

副主任 刘 洁 崔新媛

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 楠 王小娟 王 亮 王海春 付国栋 刘三会

李中秋 许 光 刘 武 李绪梅 张 川 吴心伦

杨甲奇 吴安来 张建设 张国梁 时 思 钟汉华

郭起剑 涂国志 崔新媛 蒋中元 彭 元 谢远光

韩景玮 廖天平

特别鸣谢(排名不分先后)

天津理工大学经济管理学院
重庆市建设工程造价管理总站
重庆大学
重庆交通大学应用技术学院
重庆工程职业技术学院
平顶山工学院
徐州建筑职业技术学院
番禺职业技术学院
青海建筑职业技术学院
浙江万里学院
济南工程职业技术学院
湖北水利水电职业技术学院
洛阳大学
邢台职业技术学院
鲁东大学
成都大学
四川交通职业技术学院
湖南交通职业技术学院
青海交通职业技术学院
河北交通职业技术学院
江西交通职业技术学院
新疆交通职业技术学院
甘肃交通职业技术学院
山西交通职业技术学院
云南交通职业技术学院
重庆市建筑材料协会
重庆市交通大学管理学院
重庆市建设工程造价管理协会
重庆市泰莱建设工程造价事务所
江津市建设委员会



《高等职业技术教育工程造价管理专业系列教材》共计 12 种,由重庆大学出版社于 1992 年正式出版发行,又于 2002 年进行了第 2 版的修订再版。该系列教材自问世以来,受到全国各有关院校师生及工程技术人员的欢迎,产生了一定的社会反响。编委会就广大读者对该系列教材出版的支持、认可与厚爱,在此表示衷心的感谢。

随着我国社会经济的蓬勃发展,建筑业管理体制改革的不断深化,工程技术和管理模式更新与进步,以及近年来我国工程造价计价模式和高等职业教育人才培养模式都有了较大的变化,这些变化必然对该专业系列教材的体系构成和教学内容提出更高的要求。为适应我国“高等职业教育工程造价专业”人才培养的需要,并以系列教材建设促进其专业发展,重庆大学出版社通过全面的信息跟踪和调查研究,在广泛征求有关院校师生和同行专家意见的基础上,决定重新改版、扩充《高等职业教育工程造价专业系列教材》。

本系列教材的编写是根据国家教育部制定颁发的《高职高专教育专业人才培养目标及规格》和《工程造价专业教育标准和培养方案》,以社会对工程造价专业人员的知识、能力及素质需求为目标,以国家注册造价工程师考试的内容为依据,以最新颁布的国家和行业规范、标准、法规为标准而编写的。本系列教材针对高等职业教育的特点,基础理论的讲授以应用为目的,以必需、够用为度,突出技术应用能力的培养,反映国内外工程造价专业发展的最新动态,体现我国当前工程造价管理体制改革的精神和主要内容,完全能够满足培养德、智、体全面发展的,掌握本专业基础理论、基本知识和基本技能,获得造价工程师初步训练,具有良好综合素质和独立工作能力,会编制一般土建、安装、装饰、工程造价,初步具有进行工程造价管理和过程控制能力的高等技术应用型人才。

由于现代教育技术在教学中的应用和教学模式的不断变革,教

材作为学生学习功能的唯一性正在淡化,而学习资料的多元性也正在加强。因此,为适应高等职业教育“弹性教学”的需要,满足各院校根据建筑企业需求,灵活调整及设置专业培养方向。我们采用了专业“共用课程模块+专业课程模块”的教材体系设置,给各院校提供了发挥个性和设置专业方向的空间。

本系列教材的体系结构如下:

共用课程模块	建筑安装模块	道路桥梁模块
建设工程法律法规	建筑工程材料	公路工程材料
工程造价信息管理	建筑结构基础	公路工程经济
工程成本和控制	建设工程监理	公路工程概论
工程测量	建筑工程技术经济	公路工程监理
工程造价专业英语	建设工程项目管理	公路工程施工组织设计
	建筑识图与房屋构造	道路工程制图与识图
	建筑识图与房屋构造习题集	道路工程制图与识图习题集
	装饰构造与施工工艺	公路工程施工与计量
	电气工程识图与施工工艺	桥隧施工工艺与计量
	管道工程识图与施工工艺	公路工程造价编制与案例
	建筑工程施工工艺	公路工程招投标与合同管理
	建筑工程造价	公路工程施工放样
	安装工程造价	
	装饰工程造价	
	建设工程造价管理	
	建设工程招投标与合同管理	
	建筑工程造价实例	

注:①本系列教材赠送电子教案。

②希望各院校和企业教师、专家参与本系列教材的建设,并请毛遂自荐担任后续教材的主编或参编,联系 E-mail:lich@cqup.com.cn。

这次该系列教材的重新编写出版,不仅每门课程的内容都做了较大增加和删改,还新增了9门课程。从而,拓宽了该专业的适应面和培养方向,给各有关院校的专业设置提供了更多的空间。这说明,该系列教材是完全适应工程造价相关专业教学需要的一套好教材,并在此推荐给有关院校和广大读者。

编委会

2005年10月

前言

本书是根据重庆大学出版社组织召开的《高等职业教育工程造价专业系列教材》编写工作研讨会的会议精神,以及高等职业教育的特点和教学大纲的要求而编写的。在编写过程中,针对本门课程的体系特点,充分考虑了高等职业教育的特色,力求符合工程造价专业高职教材的编审原则。

本书以现行的国家和行业法规、标准、规范为标准,以“应用”为主旨和特征构建教学内容,系统地阐述了公路工程施工放样的全部过程,同时又补充了测量学中的不足,是指导学生掌握施工全过程的一本工具书,可作为道路桥梁工程技术专业、造价专业测量学后续课程的教材或参考书,也可作为公路工程施工技术的参考书。本书是在掌握了测量学的基本技能和基本理论的基础上,强调了实践教学环节,注重培养学生的施工放样技能和施工技术水平,以使学生在将来的实际工作中,更快地进入角色,适应工作环境。

本书由青海交通职业技术学院刘建明主编,其中第1章由山西交通职业技术学院李培荣编写;第2章由青海交通职业技术学院刘建明编写;第3章由青海交通职业技术学院莫延英编写;第4章由河北交通职业技术学院颜海编写;第5章由青海交通职业技术学院段国胜编写;第6章由青海交通职业技术学院王海春编写。全书由重庆交通大学职业技术学院谢远光主审。

本书在编写过程中,得到了重庆大学出版社及各兄弟院校的帮助和支持,并参考了有关作者的教材和资料,在此一并衷心致谢。

限于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不足在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

编者
2006年8月

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后E-mail发回

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)		系
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____ 人	_____ 年级	学时: _____
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail:(必填)			
您对本书的建议:		系主任签字	
		盖章	

请寄:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)
重庆大学出版社市场部

邮编:400030

电话:023-65111124

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:fxk@cqup.com.cn

目录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 平面直角坐标的换算	2
1.3 公路工程施工中使用的高程系统	8
1.4 施工放样的基本方法	10
思考题	15
2 路线中线的施工放样	17
2.1 概述	17
2.2 控制点复测	18
2.3 用导线控制点恢复中线	21
2.4 用路线控制桩恢复中线	24
2.5 纵断面的施工放样	30
思考题	31
3 路基路面的施工放样	32
3.1 路基横断面施工放样	32
3.2 路基施工阶段各层次的抄平方法	37
3.3 路面施工放样	39
3.4 构造物施工放样	42
3.5 沿线取土坑、弃土堆占地面积及土方量计算	44
思考题	46
4 桥梁施工控制测量	47
4.1 施工控制测量	47
4.2 桥梁中线测量	57
4.3 桥梁墩(台)定位与墩(台)轴线测量	60
思考题	66

5 桥涵施工放样	67
5.1 桥梁墩(台)及基础标高放样	67
5.2 涵洞放样	69
5.3 桥梁细部施工放样	70
5.4 桥梁墩(台)竣工测量	72
思考题	74
 6 隧道施工放样	75
6.1 隧道贯通测量的精度要求	75
6.2 隧道控制测量	77
6.3 隧道施工放样	81
思考题	84
 参考文献	85

1 绪 论

本章学习重点:公路工程施工放样的任务和依据;公路工程施工中使用的坐标系统和高程系统;公路工程施工中已知距离、已知角度、已知高程和点位的放样方法。

1.1 概 述

· 1.1.1 公路工程施工放样的任务 ·

公路工程施工放样的主要任务是利用测量技术将设计图纸上的工程构造物的平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据;在施工过程中,检测工程构造物的几何尺寸,以实现从设计图纸到工程实物的质和量的转变。

在交通土木工程中,工程构造物主要指路基、路面、桥涵、隧道及其附属构造物和排水构造物。在路基施工前,通过测量放样确定路线中线桩、公路用地界桩、路堑坡顶、路堤坡脚、边沟等构造物的施工位置;在桥涵施工前,通过测量放样确定基坑开挖、墩(台)建造的施工位置;在隧道施工前,利用控制测量结果对隧道定向定位等都是通过测量放样实现的。在施工过程中,通过测量放样对工程构造物外形几何尺寸进行控制和检测,及时修正偏差,以准确体现设计意图。在工程竣工后,通过测量对工程进行质量检查和验收。实践证明,精确地测量放样能准确控制施工质量和节约工程成本。因此,施工放样是工程施工过程中的重要一环,它贯穿于整个工程施工过程。

· 1.1.2 公路工程施工放样的依据 ·

公路工程施工放样的依据是《公路工程技术标准》,以及各种构造物的施工技术规范、规程、测量规范和工程设计图纸。测量放样工作应遵循从整体到局部的原则,先进行控制测量,再进行细部放样测量。通过控制测量,首先建立起平面控制点和高程控制点与工程构造物特征点之间的平面位置和高程的几何联系,然后以平面控制点的坐标和高程控制点的高程为依据,利用传统测量仪器进行距离、高程和角度的测量放样或者利用全站仪和 GPS 进行三维坐标放样来确定工程构造物特征点在实地的空间位置。在放样过程中,工程设计图纸是图解控制点和工程构造物特征点之间几何关系的依据;现行的施工技术规范、规程,以及测量规范是核查放样结果精度的依据。只有利用精度符合标准的几何数据,才能精确地测定工程构造物特征点的准确位置,以指导施工。

1.2 平面直角坐标的换算

工程构造物特征点的平面位置是用坐标表示的。在施工放样以前,必须了解设计数据所提供的点的坐标是采用哪一种坐标系。只有在坐标系统一的条件下,才能进行坐标、距离、角度的计算和改正。在公路工程测量中有 5 种坐标系可供选用。

• 1.2.1 国家 3° 带高斯正投影平面直角坐标系 •

工程建设是在地球曲面上进行的,工程设计计算是在平面上进行的,这样就存在曲面上的数据向平面归算的问题,高斯平面直角坐标系就是在此基础上建立起来的。利用它可以解决曲面数据与平面数据的转换问题。在离中央子午线较近,地面平均高程较低的地区,不必考虑投影变形的影响,可直接采用国家统一的 3° 带高斯正投影平面直角坐标系。

1) 高斯投影的几何意义

高斯投影是高斯平面直角坐标系建立的基础,如图 1.1 所示。

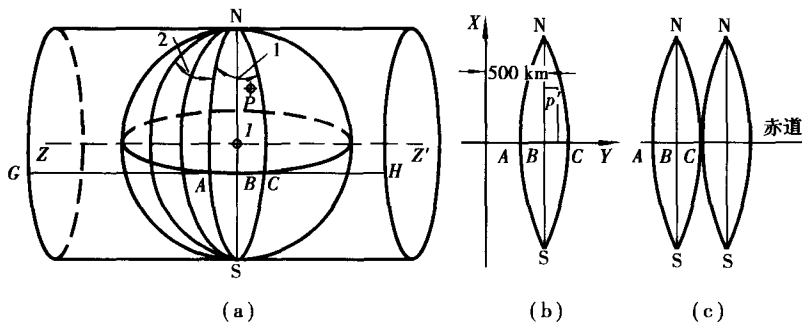


图 1.1 高斯投影图

为了便于说明高斯投影的概念,将地球椭球体作为圆球看待。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 NBS 称为轴子午线(中央子午线)。 NAS 和 NCS 是 2 条和 NBS 经差为 3° 或 1.5° 并关于 NBS 对称的子午线。这样,球面上的轴子午线就完全地转移到圆柱面上。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,圆柱体上的 2 条正交的直线,就是高斯平面直角坐标系统的坐标轴。其中由轴子午线投影的直线 NBS 是高斯平面直角坐标系的纵轴,称为 X 轴;而由赤道投影的直线 GH 是高斯平面直角坐标系的横轴,称为 Y 轴; B 为坐标原点。由子午线 NAS, NCS 所包围而构成的带状称为投影带,若子午线 NAS 和 NCS 经差为 6° ,称为 6° 投影带;若经差为 3° ,称为 3° 投影带。

如上所述,每一个高斯投影的 6° 带和 3° 带都有其自己的坐标轴和坐标原点。横坐标的计算是以轴子午线以东为正,以西为负;纵坐标的计算是以赤道以北为正,赤道以南为负。为了使横坐标均为正值,我国轴子午线的横坐标值加上 500 km,即将坐标原点向西平移 500 km,如图 1.1b 所示。

高斯平面的特点:

①投影后的中央子午线 NBS 长度不变。

②投影后的赤道 ABC 保持与 NBS 垂直。

③离开中央子午线的子午线投影是以两极作为终点的弧线。离中央子午线越远,弧线的曲率越大,说明离中央子午线越远投影变形越大。

2) 高斯平面直角坐标系的建立

根据高斯平面投影带的特点,高斯平面直角坐标系按下述4个规则建立:

① X 轴是中央子午线 NBS 的投影,北方为正方向;

② Y 轴是赤道 ABC 的投影,东方为正方向;

③原点,即中央子午线与赤道交点,用点 O 表示;

④4个象限按顺时针顺序 I, II, III, IV 排列,如图 1.2 所示。

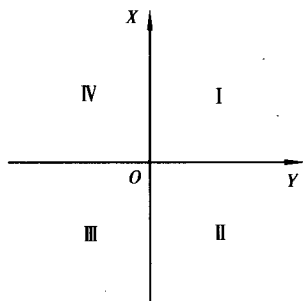


图 1.2 高斯平面直角坐标系

3) 投影带的中央子午线与编号

投影带的宽度以投影带边缘子午线之间的经度差 ΔL 表示。为避免高斯投影带的变形太大, ΔL 不能太宽,一般 ΔL 宽度取 6° 或者 3° 。高斯投影根据经差 ΔL 逐带连续进行,即将地球曲面展开成平面。经差 ΔL 为 6° 的 6° 带高斯投影平面,将全球分为 60 个 6° 的投影带,各带的中央子午线的经度 L_0 与投影带的带号 N 有如下对应关系:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.1)$$

经差 ΔL 为 3° 的 3° 带高斯投影平面,将全球分为 120 个 3° 的投影带,各带的中央子午线的经度 L_0 与投影带的带号有如下对应关系:

$$L_0 = 3N \quad (1.2)$$

根据我国在大地坐标系中的经度位置 ($74^\circ \sim 135^\circ$),从上述公式可见,我国用到的 6° 带的带号 N 为 $13 \sim 23$, 3° 带的带号 N 为 $25 \sim 45$ 。

4) 高斯平面直角坐标表示的地面的位置

我国国家测量大地控制点均按高斯投影计算其高斯平面直角坐标。在图 1.1a 中,球面点 P ,大地坐标为 (L_p, B_p) 。图 1.1b 中的点 P' 是点 P 的高斯投影点,其高斯平面直角坐标是 (X_p, Y_p) 。

它们的意义是:

① x_p 表示 P 点在高斯平面上到赤道的距离。

② y_p 包括:投影带的带号、附加值 500 km 和实际坐标 Y 的 3 个参数,即

$$y_p = \text{带号 } N + 500 \text{ km} + Y_p \quad (1.3)$$

例如,某地面点坐标 $x = 2\,433\,586.693 \text{ m}$, $y = 38\,514\,366.157 \text{ m}$ 。其中, x 表示该点在高斯平面上到赤道的距离,为 $2\,433\,586.693 \text{ m}$ 。根据式(1.3),该地面点所在的投影带带号 $N = 38$,是 3° 带,地面点 Y_p 坐标的实际值为 $14\,366.157 \text{ m}$ (即去掉原坐标轴中带号 38,并减去附加值 500 km),表示该地面点在中央子午线以东 $14\,366.157 \text{ m}$;若 y 坐标实际值 Y 带负号,则表示该地面点在中央子午线以西。根据 y_p 坐标的投影带带号,可以按式(1.2)推算投影带中央子午线的经度为 $L_0 = 114^\circ$ 。

• 1.2.2 补偿投影面的 3° 带高斯正形投影平面直角坐标系 •

这种坐标系仍采用国家 3° 带高斯正形投影,但是投影的高程面不采用参考椭球面,而是选用一个高程参考面,借以补偿因高斯投影带来的长度变形。在这个高程参考面上,投影长度变形为零。

• 1.2.3 任意带高斯正形投影平面直角坐标系 •

任意带高斯正形投影平面直角坐标系仍将地面观测结果归算到参考椭球面上,但不采用国家 3° 带统一的分带方法,而是选择过测区边缘或测区中央及其以内某一点的子午线作为中央子午线,借以补偿因实测结果归算至参考椭球面带来的长度变形。

• 1.2.4 高程抵偿面的任意带高斯正形投影平面直角坐标系 •

这种坐标系通常是把投影的中央子午线选在测区的中央,地面观测值归算至测区的平均高程面上,按高斯正形投影计算平面直角坐标。这是综合补偿投影面的 3° 带高斯正形投影平面直角坐标系和任意带高斯正形投影平面直角坐标系这2种坐标系优点的一种任意高斯平面直角坐标系,是工程中常用的测量坐标系统。

• 1.2.5 工程独立平面直角坐标系 •

这是一种对测区面积较小时使用的独立平面直角坐标系。可以认为该测区的球面为平面,即可不进行方向和距离改正,将地面点直接沿铅垂线投影到水平面上,把局部地球表面作为平面而建立的独立平面直角坐标系。这种坐标系统可与国家控制网联系,获取起算坐标及起始方位角;亦可采用假定坐标,《公路勘测规范》(JTJ 061—99)规定,二级(含二级)以下公路、独立桥梁、隧道及其他构造物等小测区方可采用。

在计算平面点位放样数据时,如果点的坐标处于不同的坐标系,要首先进行坐标换算(换算成统一的坐标系),再计算放样数据。

• 1.2.6 平面直角坐标的换算 •

1) 平面直角坐标换算的一般方法

如图1.3所示,设 X_p, Y_p 为点 P 在国家控制网坐标系中的坐标; x'_p, y'_p 为点 P 在工程独立控制网坐标系中的坐标; X_0, Y_0 为工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标; $\Delta\alpha$ 为两坐标系纵坐标轴的夹角。如果一条边 PM 在国家坐标系中的坐标方位角为 A ,而在工程独立坐标系中的坐标方位角为 α ,则 $\Delta\alpha$ 可按式计算:

$$\Delta\alpha = A - \alpha \quad (1.4)$$

当由工程独立坐标系中的坐标(x'_p, y'_p)换算到国家坐标系中的坐标(X_p, Y_p)时,其换算公式为:

$$\begin{cases} X_p = x'_p \cos \Delta\alpha - y'_p \sin \Delta\alpha + X_0 \\ Y_p = x'_p \sin \Delta\alpha + y'_p \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{cases} \quad (1.5)$$

当国家坐标系换算到工程独立坐标系时也可以使用式(1.5)。换算时应将式中的 X_p, Y_p

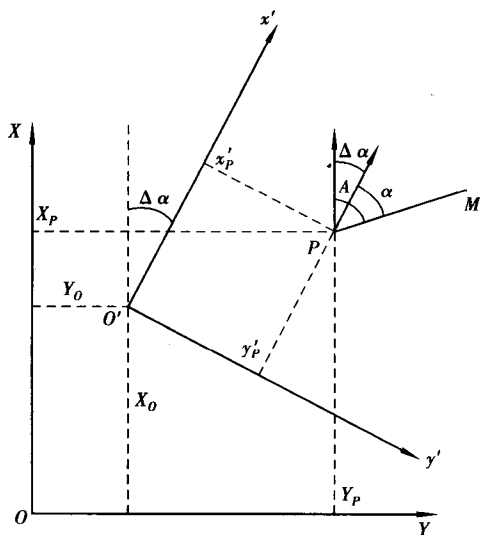


图 1.3 平面直角坐标

与 x'_P, y'_P 互换, 并且 $\Delta\alpha = \alpha - A$ 。

例 1.1 已知 A, B 两点在国家坐标系中的坐标为: $X_A = 92\,562.608\text{ m}$, $Y_A = 72\,049.157\text{ m}$; $X_B = 92\,529.371\text{ m}$, $Y_B = 72\,174.555\text{ m}$ 。在工程独立坐标系中, 若坐标为 $x'_A = 1\,073.382\text{ m}$, $y'_A = 1\,199.447\text{ m}$, $x'_B = 1\,036.841\text{ m}$, $y'_B = 1\,323.922\text{ m}$ 。试求出两坐标系的换算公式。

解:

①工程独立坐标系中的坐标换算到国家坐标系中的坐标的实用公式:

$$A_{AB} = \arctan \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \arctan \frac{72\,174.555 - 72\,049.157}{92\,529.371 - 92\,562.608} = 104^\circ 50' 42''$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y'_B - y'_A}{x'_B - x'_A} = \arctan \frac{1\,323.922 - 1\,199.447}{1\,036.841 - 1\,073.382} = 106^\circ 21' 37''$$

由式(1.4)得:

$$\Delta\alpha = A_{AB} - \alpha_{AB} = 104^\circ 50' 42'' - 106^\circ 21' 37'' = -1^\circ 30' 55''$$

将点 A 在两坐标系中的坐标 (X_A, Y_A) 和 (x'_A, y'_A) 及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1.5), 计算工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标, 得:

$$X_o^{(A)} = 91\,457.883\,8$$

$$Y_o^{(A)} = 70\,878.513\,4$$

将点 B 在两坐标系中的坐标 (X_B, Y_B) 和 (x'_B, y'_B) 以及 $\Delta\alpha$ 之值代入式(1.5), 计算工程独立坐标系原点 O 在国家坐标系中的坐标, 得:

$$X_o^{(B)} = 91\,457.883\,4$$

$$Y_o^{(B)} = 70\,878.513\,7$$

取由 A, B 两点算得的 X_o, Y_o 平均值:

$$X_o = (X_o^{(A)} + X_o^{(B)})/2 = 91\,457.883\,6$$

$$Y_o = (Y_o^{(A)} + Y_o^{(B)})/2 = 70\,878.513\,6$$

设 (x, y) 为某点在工程独立坐标系中的坐标; (X, Y) 为该点在国家坐标系中的坐标, 将

X_0, Y_0 及 $\Delta\alpha$ 三个值代入式(1.5)即可得到实用公式:

$$X = 0.999\ 65x + 0.026\ 44y + 91\ 457.883\ 6$$

$$Y = -0.026\ 44x + 0.999\ 65y + 70\ 878.513\ 6$$

②由国家坐标系中的坐标换算到工程独立坐标系坐标实用公式

$$\Delta\alpha = \alpha_{AB} - A_{AB} = 106^\circ21'37'' - 104^\circ50'42'' = 1^\circ30'55''$$

将式(1.5)中的 X, Y 和 x, y 互换, 可得:

$$\begin{cases} x'_p = X_p \cos \Delta\alpha - Y_p \sin \Delta\alpha + X_0 \\ y'_p = X_p \sin \Delta\alpha + Y_p \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{cases} \quad (1.6)$$

将 A, B 点的坐标 (X_A, Y_A) 和 (x'_A, y'_A) , (X_B, Y_B) 和 (x'_B, y'_B) 代入式(1.6), 并取平均值, 同样可算得式(1.6)中的 X_0, Y_0 为:

$$X_0 = -89\ 551.625\ 4$$

$$Y_0 = -73\ 272.194\ 8$$

将 X_0, Y_0 和 $\Delta\alpha$ 三个值代入式(1.6)即得到实用计算公式:

$$x = 0.999\ 65X + 0.026\ 44Y - 89\ 551.625\ 4$$

$$y = 0.026\ 44X + 0.999\ 65Y - 73\ 272.194\ 8$$

式中: x, y, X, Y 的含义同上。

2) 应用最小二乘法进行平面直角坐标换算

考虑到 2 种坐标系的长度比, 将式(1.5)改写成:

$$\begin{cases} X = mx \cos \Delta\alpha - my \sin \Delta\alpha + X_0 \\ Y = mx \sin \Delta\alpha - my \cos \Delta\alpha + Y_0 \end{cases} \quad (1.7)$$

式中 m ——长度比, 也称为尺度因子, 是指同一边长在两种坐标系中的长度之比。

由于式(1.7)中有 $X_0, Y_0, \Delta\alpha$ 和 m 四个变换参数是需要确定的, 所以必须有 2 个公共点, 它们在 2 种坐标系中的坐标 (X, Y) 和 (x, y) 是已知的。由此列出 4 个方程, 从而解出 4 个未知参数。当具有 2 个以上的公共点时, 需要用最小二乘法原理进行平差, 解出参数 $X_0, Y_0, \Delta\alpha$ 和 m 的最或是值(在等精度观测条件下, 观测值的算术平均值就是该量的最或是值)。

下面举例说明具体的解算方法: 具有 4 个公共点 A, B, C, D , 它们在 2 个坐标系中的坐标 $(x, y), (X, Y)$, 见表 1.1。求由坐标系 (x, y) 换算到坐标系 (X, Y) 的计算公式。

(1) 求出 2 个坐标系的重心坐标 $(x_z, y_z), (X_z, Y_z)$

$$\begin{cases} x_z = \frac{[x]}{4} \\ y_z = \frac{[y]}{4} \\ X_z = \frac{[X]}{4} \\ Y_z = \frac{[Y]}{4} \end{cases} \quad (1.8)$$

(2) 计算公共点 A, B, C, D 以重心坐标为原点的坐标值

$$\begin{cases} x' = x - x_z \\ y' = y - y_z \end{cases} \quad (1.9)$$