



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

(第三版)

工程测量

Gongcheng Celiang

李仕东 主 编

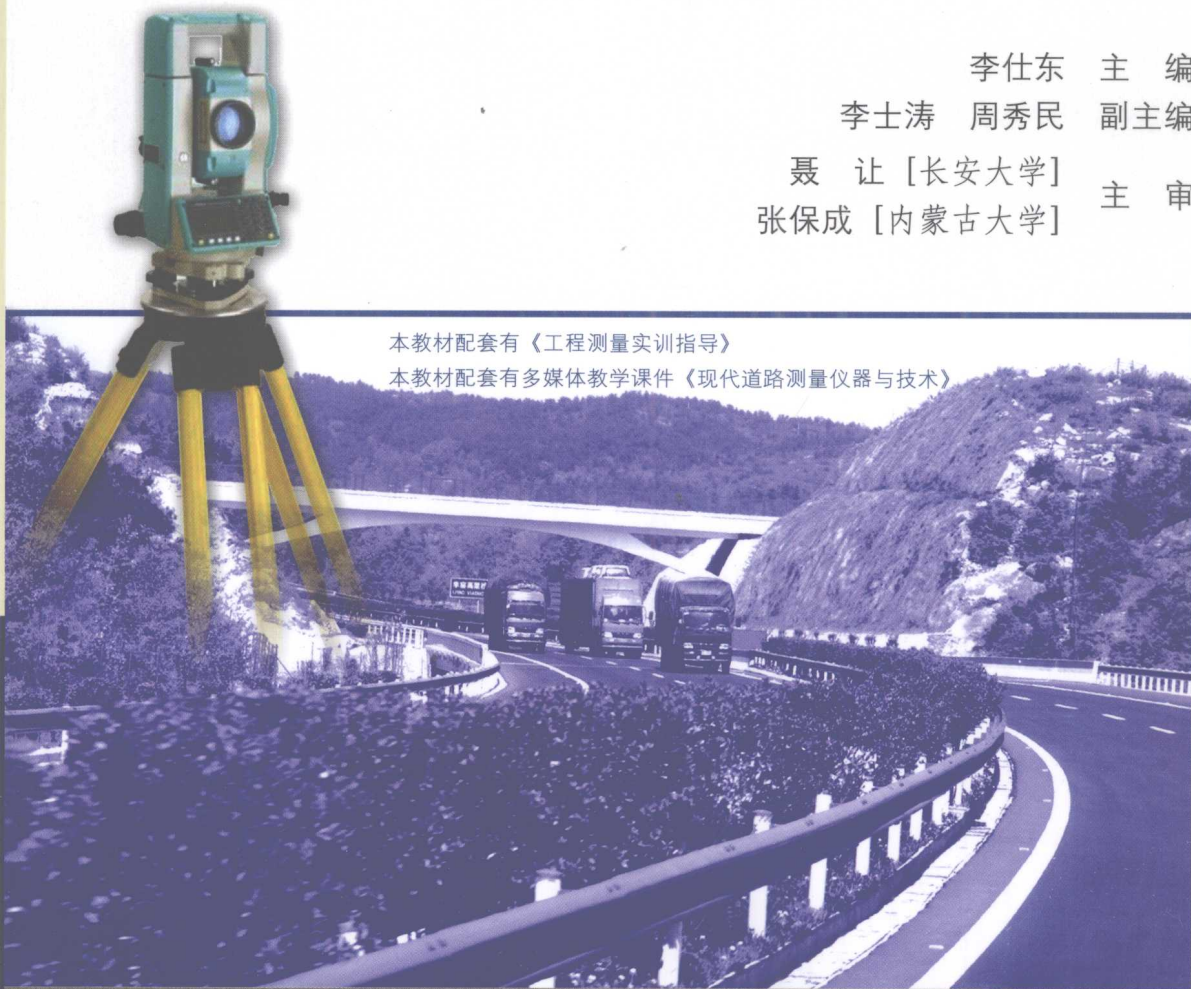
李士涛 周秀民 副主编

聂 让 [长安大学] 主 审

张保成 [内蒙古大学]

本教材配有《工程测量实训指导》

本教材配有多媒体教学课件《现代道路测量仪器与技术》



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

工 程 测 量

Gongcheng Celiang

(第三版)

李仕东 主 编
李士涛 周秀民 副主编

聂 让[长安大学] 主 审
张保成[内蒙古大学]

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,全国交通土建高职高专规划教材。全书共分十四章,第一章至第六章,系统讲述了工程测量的基本知识和各种常用测量仪器、工具的工作原理、使用方法及其检验校正方法的基础技术。第七章对测量误差知识进行了基础性的介绍。第八章至第十一章,分别讲述了工程测量中的控制测量、地形测量、道路中线测量以及道路纵横断面测量等工作的原理与常用方法。第十二章至第十四章分别介绍了道路、桥梁及隧道施工测量的基本技术。

本书主要作为高等职业院校道路桥梁工程技术及相关专业的工程测量教材,也可供专业工程技术人员和测绘工作者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 李仕东主编. —3 版. —北京: 人民交通出版社, 2009.6

ISBN 978-7-114-07762-3

I. 工… II. 李… III. 工程测量 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 081112 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名: 全国交通土建高职高专规划教材
工程测量 (第三版)

著 作 者: 李仕东

责任编辑: 卢仲贤 师 云

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) 85285656, 59757969, 59757973

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: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.75

字 数: 424千

版 次: 2002年7月 第1版

2005年6月 第2版

2009年6月 第3版

印 次: 2009年6月 第3版 第1次印刷 总第23次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07762-3

印 数: 113000~120000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)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2~3年时间,解决好高职高专教材的有无问题,再用2~3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成**一纲多本、优化配套**的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任和骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行,首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准、规范的更新,本套教材在使用了2~3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

2005年6月,编委会在长春召开了同属交通土建大类、与路桥专业链接紧密的“工程监理专业、工程造价专业、高等级公路维护与管理专业”主干课程教材研讨会,正式规划和启动了这三个专业教材的编写出版工作。

2005年12月,教育部高等教育司发布了“关于申报普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”选题的通知(教高司函[2005]195号),人民交通出版社积极推荐本套教材参加了“十一五”国家级规划教材选题的评选。

2006年6月,经教育部组织专家评选、网上公示,本套教材中有十五种入选为“十一五”国家级规划教材,2008年1月,又有六种教材在“十一五”国家级规划教材补报中列选,共计21种,标志着广大参与本套教材编写的教师的辛勤劳动得到了社会的认可、本套教材的编写质量得到了社会的认同。

2006年7月,交通土建高职高专统编教材编审委员会及时在银川召开会议,有24所各省区交通高职院校或开办有交通土建类专业的高等学校系部主任、专业带头人、骨干教师以及人民交通出版社领导共39位代表出席了本次会议。会议就全面落实教育部“十一五”国家级规划教材的编写工作进行了研讨。与会代表一致认为必须以入选的十五种国家级规划教材为基本标准,进一步全面提升本套教材的编写质量,编审委员会将严格按照国家级规划教材的要求审稿把关,并决定本套教材更名为“**全国交通土建高职高专规划教材**”,原编委会相应更名为“**全国交通土建高职高专规划教材编审委员会**”。以期在全国绝大多数交通高职院校和开办有交通土建类专业的高等院校的参与、统筹、规划下,本套教材中有更多的进入“十一五”国家

级规划教材行列。

2007年5月,编委会在湖南长沙召开工作会议,就“十一五”国家级规划教材主参编人员的确定和教材的编写原则作出了具体安排,全面启动“十一五”国家级规划教材的编写与出版工作。

2008年4月,编委会在广东珠海召开工作会议,研讨了“工学结合”高职高专教材编写思路,决定在“十一五”国家级规划教材编写过程中,注重高职教学改革新方向,注重工程实践经验的引入,倡导“工学结合”。

本套高职高专规划教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际密切结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准、规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际;

——为加强学生的实际动手能力,针对《工程测量》、《道路建筑材料》等课程,本套教材特别配套有实训类辅导教材;

——为方便教学,本套教材配套有《道路工程制图多媒体教材》、《公路工程试验实训多媒体教材》、《路基路面施工与养护技术多媒体教材》、《桥涵设计多媒体教材》、《桥涵施工技术多媒体教材》、《现代道路测量仪器与技术多媒体教材》等。

本套教材的出版与修订再版,始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

人民交通出版社

2008年5月

第三版前言

2006年8月8日教育部发出通知,将由李仕东主编的《工程测量》教材列入“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。为了教材的成功编写,2007年4月,人民交通出版社特在湖南长沙召开了“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材工作会议”(以下简称“长沙会议”),全国多所交通职业技术学院积极参加了此次会议。

本书是在李仕东主编、聂让主审的《工程测量》(第二版)的基础上,根据“长沙会议”精神,依据教育部“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”编写的指导思想和职业技术教育的特点进行修订编写的。

本次《工程测量》(第三版)的修订,内容方面在保持原教材基本体系不变的基础上,尽量做到精炼内涵、通俗易懂,最大程度地适合高等职业技术教育特点,以更好地培养学生分析问题、解决问题的能力。教材编写考虑到当前工程实际,对部分内容进行适当增减,较全面地介绍了工程测量近年来的科学技术成就,并突出介绍其在公路、桥梁、隧道等工程上的应用。

本教材共分十四章,鲁东大学土木工程学院李仕东担任主编,南京交通职业技术学院李士涛、吉林交通职业技术学院周秀民担任副主编,参加编写的还有青海交通职业技术学院董亚辉、陕西交通职业技术学院赵国刚。具体编写情况如下:李仕东编写第一、二、三、六、八、九章;李士涛编写第四、五、七章;周秀民编写第十、十一、十二章;董亚辉编写第十三章;赵国刚编写第十四章。

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会特邀长安大学聂让教授和内蒙古大学张保成教授担任本教材主审。两位教授认真审阅了本教材,提出了许多宝贵的修改建议,在此,向聂教授和张教授深表谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2009年6月

第二版前言

本教材为人民交通出版社 2002 年出版的《工程测量》的再版。教育部周济部长在高等教育第三次产学研结合经验交流会上指出,高职主要任务是培养高技能人才,要把高职教育学制由三年逐步过渡到两年。本书在原版的基础上,内容作了较多的增删,重新编写而成。

科学技术的成就和测绘科学本身的进步为工程测量技术提供了新的方法和手段,先进的地面测量仪器,如全站仪以及 GPS 系统等仪器设备,在工程测量中得到广泛的应用。工程控制测量、地形图测绘、公路测设以及工程施工放样等朝着自动化、数字化方向迈进,跨入了现代化时期。

作为教材,全书在编写上保持了学科的系统性和逻辑性,做到深入浅出、通俗易懂。同时考虑到我国各地经济和技术发展的不平衡,在慎重删除了部分陈旧内容的前提下,仍保留了大量的常规测设方法。与此同时,为尽可能反映现代工程测量领域最新科技成果,增加了全站仪以及 GPS 等新仪器的介绍与应用。在体系安排上,首先介绍了工程测量中常用仪器设备,包括水准仪、经纬仪、测距仪、全站仪和 GPS 系统等的工作原理、功能、操作方法、维护和检验校正等方面的知识;然后按照控制测量、地形测量、道路中线测量、纵横断面测量和施工测量的顺序,分别介绍各项工作的原理和使用方法。并在各章后面,于原版基础上增加了大量的思考题与习题,以便于学生课后对所学知识进行复习巩固。全书在内容上力求结合我国公路工程测量的生产实际,同时也力求将现代测量领域的最新科技成果、技术方法反映出来,并注重实际,以培养学生分析问题、解决问题的能力。

本教材由鲁东大学交通学院李仕东主编,其中第四章、第五章由鲁东大学交通学院慕春歌编写,第十章、第十一章由青岛市莱西公路管理局李波编写,第十二章由青岛市莱西公路管理局李举文编写。

本书再版时,承蒙安徽交通职业技术学院陶大鹏先生的关心,对本书的部分内容提出了修改建议,在此向陶老先生致以衷心的感谢!

交通土建高职高专统编教材编审委员会特邀长安大学教授聂让先生担任本书主审。聂教授认真审核了本书,提出了许多宝贵的修改建议。在此向聂教授表示深深的谢意。

为了使交通土建类专业的学生更好地掌握实用测量技术,在交通土建高职高专统编教材编审委员会安排下,辽宁交通高等专科学校马真安、新疆交通职业技术学院阿巴克力依据《国家职业技能鉴定规范(工程测量工考核大纲)》和《国家工人技术等级标准(工程测量)》,编写了《工程测量实训指导书》,作为本书的配套用书。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,本书编者恳请读者批评指正。

编 者
2005 年 6 月

第一版前言

本教材是根据2001年7月在昆明市召开的全国交通职教路桥工程学科教学与教材建设研讨会上讨论通过的《工程测量》教材编写大纲编写的。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“路桥专业高职教材编审的原则意见”(试行)。

为了保证教材的质量,在编写过程中,征求了许多交通职业院校教师和工程单位专家及技术人员的意见和建议。教材初稿完成后,人民交通出版社组织有关编审人员及长期从事《测量学》教学的专家学者,于2002年4月在四川交通职业技术学院召开了本教材的审稿会议,与会人员共同对本教材的体系及内容安排进行了认真详细的磋商。在体系安排上,保持教学内容的系统性和逻辑性,深入浅出,通俗易懂,循序渐进,使使用本书者感到学习《工程测量》是一件轻松愉悦的事情,从而提高学习者的学习兴趣。在内容安排上,在保证测量学的基本内容的基础上,尽量做到精炼内涵。由于我国各地经济和技术发展的不平衡,本书慎重地删除了以往同类教材中一些陈旧的内容,着重讲清基本概念、基本原理和基本方法,其理论上的广度和深度,高于中等职业教育的水平,但又不同于本科院校的教材,而是本着“必需、够用”的原则,并力争做到推理充分、严密,内容详细,文字通顺,以便于学生的自学。另外,加强了理论与实际的结合,除了讲授常规的测量仪器、工具和应用以外,还增加了目前较先进的测量仪器、工具及应用示例,如电子水准仪、条码码水准尺、电子经纬仪、光电测距仪、全站仪和全球定位系统(GPS)的介绍及在工程中的应用;强调了实践教学环节,注重对学生分析问题、解决问题能力的培养,使学生能在将来的实际工作中,适应新技术、新理论的发展。

本教材由烟台师范学院交通学院李仕东主编,其中第四章、第五章和第六章由南京交通职业技术学院李士涛编写,四川交通职业技术学院李全文担任本教材的主审。

在此特别感谢河北交通职业技术学院田平,感谢他在四川召开的审稿会上,审阅了本教材初稿的全部内容,并提出了许多诚恳、宝贵的建议。同时感谢对本教材编写给予大力帮助和支持的人民交通出版社卢仲贤副编审、贵州交通职业技术学院张润虎、南京交通职业技术学院陆春其、烟台师范学院交通学院于敦荣以及其他兄弟院校、工程单位的教师、专家和学者。

由于编写时间仓促和编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,本书编者恳请读者批评指正。

编 者

2002年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测量学的任务及其在公路建设中的应用.....	1
第二节 地球的形状和大小.....	3
第三节 地面点位的表示方法.....	5
第四节 用水平面代替基准面的限度.....	8
第五节 测量工作的程序与原则	10
思考题与习题	11
第二章 水准测量	13
第一节 水准测量的原理	13
第二节 水准测量的仪器和工具	14
第三节 水准测量实施	18
第四节 微倾式水准仪的检验与校正	24
第五节 自动安平水准仪	27
第六节 电子水准仪及其使用	30
第七节 水准测量的误差及注意事项	33
思考题与习题	35
第三章 角度测量	37
第一节 概述	37
第二节 光学经纬仪及其基本操作	38
第三节 水平角观测	43
第四节 竖直角观测	46
第五节 光学经纬仪的检验与校正	49
第六节 角度观测的误差及注意事项	53
思考题与习题	55
第四章 距离测量与直线定向	57
第一节 卷尺量距	57
第二节 视距测量	62
第三节 直线定向	64
第四节 罗盘仪的构造与使用	66
思考题与习题	67
第五章 全站仪测量技术	69
第一节 概述	69
第二节 全站仪测量原理	70

第三节	全站仪的构造	74
第四节	全站仪的基本测量方法	77
第五节	全站仪的模块测量方法	79
第六节	全站仪测量误差	81
	思考题与习题	85
第六章	GPS 测量简介	86
第一节	GPS 系统的组成	86
第二节	GPS 轨道的大地参考坐标系	90
第三节	GPS 定位的概念及主要特点	91
第四节	GPS-RTK 测量	95
第五节	GPS 测量的作业模式	99
第六节	GPS 误差源及其对定位精度的影响	101
	思考题与习题	104
第七章	测量误差基本知识	105
第一节	测量误差的概念	105
第二节	偶然误差的特性	106
第三节	观测值的算术平均值及改正值	108
第四节	评定观测值精度的标准	109
第五节	误差传播定律及应用	112
	思考题与习题	114
第八章	小区域控制测量	117
第一节	控制测量及其等级	117
第二节	导线测量	120
第三节	GPS 测量	130
第四节	交会法定点	134
第五节	高程控制测量	136
	思考题与习题	141
第九章	大比例尺地形图测绘及应用	144
第一节	地形图的基本知识	144
第二节	地物和地貌在图上的表示方法	149
第三节	测图前的准备工作	155
第四节	大比例尺地形图测绘	157
第五节	地形图的检查、拼接与整饰	161
第六节	全站仪地面数字测图	162
第七节	地形图的应用	165
	思考题与习题	170
第十章	道路中线测量	172
第一节	定线测量	172
第二节	路线转角的测定	175
第三节	里程桩的设置	178

第四节	圆曲线的测设·····	180
第五节	虚交·····	184
第六节	缓和曲线的测设·····	188
第七节	复曲线的测设·····	194
第八节	回头曲线的测设·····	196
第九节	道路中线逐桩坐标计算·····	198
	思考题与习题·····	201
第十一章	路线的纵、横断面测量 ·····	203
第一节	基平测量·····	203
第二节	用水准仪进行中平测量·····	204
第三节	用全站仪进行中平测量·····	207
第四节	路线的纵断面图·····	207
第五节	横断面测量·····	209
第六节	横断面图的绘制·····	213
	思考题与习题·····	213
第十二章	道路施工测量 ·····	214
第一节	公路施工放样的任务·····	214
第二节	施工测量的基本方法·····	214
第三节	点的平面位置的测设·····	217
第四节	公路路线施工测量·····	219
	思考题与习题·····	224
第十三章	桥涵测量 ·····	225
第一节	概述·····	225
第二节	涵洞施工测量·····	226
第三节	桥梁控制网的形式·····	226
第四节	桥梁轴线和墩台中心定位测量·····	235
第五节	桥涵附属工程放样测量·····	242
	思考题与习题·····	243
第十四章	公路隧道施工测量 ·····	244
第一节	概述·····	244
第二节	地面控制测量·····	245
第三节	洞内施工测量·····	253
第四节	竖井联系测量·····	257
第五节	贯通测量与贯通误差估计·····	260
	思考题与习题·····	262
附录	参考教学大纲 ·····	263
	参考文献 ·····	265

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及其在公路建设中的应用

一、测量学及其任务

测量学是一门研究如何确定地球表面上点的位置;如何将地球表面的地貌、地物、行政和权属界线测绘成图;如何确定地球的形状和大小;以及将规划设计的点和线在实地上定位的科学。它的任务包括两个部分:测绘和测设。

测绘是指使用测量仪器和工具,通过实地测量和计算得到一系列测量信息,通过把地球表面的地形绘成地形图或编制成数据资料,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。

测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构造物的位置在地面上用特定的方式标定出来,作为施工的依据。测设又称施工放样。

二、测量学的分类

测量学按照研究范围和对象的不同,可划为如下几个分支学科。

1. 大地测量学

是研究和测定地球的形状、大小和重力场、地球的整体与局部运动和地面点的几何位置以及它们变化的理论和技术的科学。由于全球定位系统(GPS)、卫星激光测距(SLR)、甚长基线干涉(VLBI)和卫星测高(SA)等新技术的引进,导致大地测量从分维式发展到整体式,从静态发展到动态,从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理—几何空间,从地表层测量发展到地球内部结构的反演,从局部参考坐标系中的地区性大地测量发展到统一地心坐标系中的全球性大地测量。大地测量又分为常规大地测量和卫星大地测量。

2. 摄影测量与遥感学

是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据,从中提取语义和非语义的信息,并用图形、图像和数字形式表达目标物空间分布及相互关系的科学。这一科学过去叫摄影测量学。摄影测量本身已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”的发展历程,现在正进入“数字摄影测量”阶段。由于现代航天技术和计算机技术的发展,当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得的黑白像片更丰富的影像信息,因此在摄影测量中引进了遥感技术。遥感技术不仅自身在飞速发展,而且与卫星定位技术和地理信息技术相集成,成为地球空间信息的科学与技术。

3. 地图制图学与地理信息工程

是研究用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应

用的科学。当今,随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具,地图制图学已经进入数字(电子)制图和动态制图的阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的科学。

4. 海洋测量学

是以海洋水体和海底为测绘对象,研究测量及海图编制的理论和方法的科学。同陆地测绘相比,海洋测绘具有独自的特点,主要有:测量内容综合性强,要同时完成多种观测项目,需多种仪器配合施测;测区条件复杂,大多为动态作业;肉眼不能通视水域底部,精确测量难度较大等。因此海洋测绘的基本理论、技术方法和测量仪器设备有许多不同于陆地测量之处。

5. 工程测量学

是研究工程建设和自然资源开发中进行的控制测量、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的科学。工程测量学是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用。而现代工程测量已远远突破了仅仅为工程建设服务的狭隘概念,向着所谓“广义工程测量学”发展,正如瑞士苏黎世高等工业大学马西斯教授所指出:“一切不属于地球测量,不属于国家地图集范畴的地形测量和不属于公务测量的应用测量,都属于工程测量”。

现代工程测量的发展趋势和特点可概括为“六化”和“十六字”。

(1)“六化”:测量内外业作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。

(2)“十六字”:精确、可靠、快速、简便、连续、动态、遥测、实时。

本教材主要介绍测量学在公路工程测量中的有关应用。

三、工程测量在公路建设中的应用

测量工作对于国家的经济建设和国防建设具有非常重要的作用,在道路、桥梁和隧道工程建设中有着广泛的应用。公路工程测量是指公路建设在设计、施工和管理等各阶段,所进行的各种测量工作。公路是一种位于自然界供汽车等交通运输工具运行的结构物,其位置受社会经济、自然地理和技术条件等因素制约。一条公路的优劣与驾驶者的判断和反映、乘客的感觉、适应汽车的性能、行车对公路的要求、道路本身的状况、公路所处的环境等因素密切相关。要建设一条能体现安全、迅速、经济、美观的公路,必须在调查研究、实地测量、掌握大量基础资料的前提下,设计出具有一定技术标准、满足交通运输要求、经济合理的方案,然后经过现场施工而完成。其中实地测量获取资料、施工测量保证设计方案的准确实施是至关重要的。从理论上讲,公路路线以平、直最为理想。但实际上,由于受到地物、地貌、水文、地质及其他等因素的限制,路线必然有方向的转折和上、下坡的变化。

在公路建设中,为了选择一条安全、迅速、经济、美观、合理的路线,首先要进行路线勘测,即在沿着路线可能经过的范围内布设控制点,进行控制测量,测绘路线带状地形图、纵断面图,收集沿线地质、水文、资源等资料,作为纸上定线、编制比较方案和初步设计的依据。根据测量得到的数据资料进行路线选线。确定路线方案后,还要进行路线的详细测设,也就是进行路线的中线测量、纵断面测量、横断面测量和有关调查测量等,以便为路线设计提供准确、详细的外业资料。当路线跨越河流时,拟设置桥梁之前,应测绘河流两岸的地形图,测定桥轴线的长度及桥位处的河

床断面,为桥梁方案选择及结构设计提供必要的的数据。当路线采用隧道形式穿越高山时,应测绘隧址处地形图,测定隧道的轴线、洞口、竖井等位置,为隧道设计提供必要的的数据。

公路经过技术设计后,其平面线形、纵坡、横断面及其他内容等,便有了设计图纸和数据,据此即可进行公路施工。施工前,需要恢复中线,公路中线定测后,一般情况要过一段时间才能施工,在这段时间内,部分标志桩被破坏或丢失,因此,施工前必须进行一次复测工作,以恢复公路中线的位置。需要将已设计好的路线、桥涵和隧道等构造物的图纸中的各项元素,按规定的精度准确无误地测设于实地,即施工前必须进行的施工放样测量。施工过程中,要经常通过各种测量来检查工程的进度和质量。在隧道施工过程中还要不断地进行贯通测量,以保证隧道的平面位置和高程正确贯通。道路、桥梁、隧道工程结束后,还要用测量来检查竣工情况,即进行竣工验收,并通过必要的测量来编制竣工图,以满足工程的验收、维护、加固以及扩建的需要。

在投入使用后的营运阶段,还要应用测量进行一些常规检查和定期进行变形观测,进行必要的养护和维修,以确保道路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。

可以说,道路、桥梁、隧道的勘测、设计、施工、竣工及养护维修的各个阶段都离不开测量技术。因此,作为一名从事道桥建设的技术人员,必须具备测量学的基本理论、基本知识和基本技能,才能为我国的交通事业多做贡献。

四、学 习 目 标

根据公路工程的特点,结合我国交通事业的发展,学生在学习完该课程以后,要求达到:

- (1)掌握普通测量学及公路工程测量学的基本理论和基本方法;
- (2)随着科技的发展,测量仪器不断地更新换代,要求不仅能正确地使用各种测量仪器和工具,而且要掌握各类仪器测量的原理,以便在将来的工程中能适时地应用每一种新型仪器和工具,适应测量方面新技术、新理论的发展;
- (3)能采用不同的仪器及利用多种方法正确地进行小区域大比例尺的地形测绘;
- (4)在公路勘测、设计和施工中,具有正确应用地形图和有关测量资料的能力,如能根据图纸进行地形分析、施工前的放样分析等;
- (5)掌握公路工程中公路中线测量、基平测量、中平测量、纵横断面图测绘以及施工放样的基本方法,能完成路基边桩、边坡、竖曲线以及涵洞的放样,能测定桥梁中线,能进行桥梁墩台中心的定位,了解隧道的有关测量,具有较强的测、算、绘的测量基本功。

第二节 地球的形状和大小

测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面有高山、丘陵、平原和海洋等,其形态高低不平,很不规则。为了确定地面点的位置和绘制地形图,就有必要把直接观测的数据结果归化到一个参考面上,而这个参考面必须尽可能与地球形体的表面相吻合,因此我们有必要认识地球的形体和与测量有关的坐标系问题。

一、大地水准面

尽管地球的表面高低不平,很不规则,甚至高低相差较大,如最高的珠穆朗玛峰高出海平

面达 8 844.43m,最低的太平洋西部的马里亚纳海沟低于海平面达 11 022m。但是这样的高低起伏,相对于半径近似为 6 371km 的地球来说还是很小的。又由于海洋面积约占整个地球表面的 71%,陆地面积只占 29%,因此,可以把海水面延伸至陆地所包围的地球形体看作地球的形状。设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一闭合曲面,这个曲面称为水准面。水准面作为流体的水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于海水有潮汐,海水面时高时低,因此,水准面有无数多个,将其中一个与平均海水面相吻合的水准面,称为大地水准面,如图 1-1a) 所示。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。

另外,我们将重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

由于海水面是个动态的曲面,平均静止的海水面是不存在的。为此,我国在青岛设立验潮站,长期观察和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为我国的大地水准面的位置(其高程为零),并在青岛建立了水准原点。

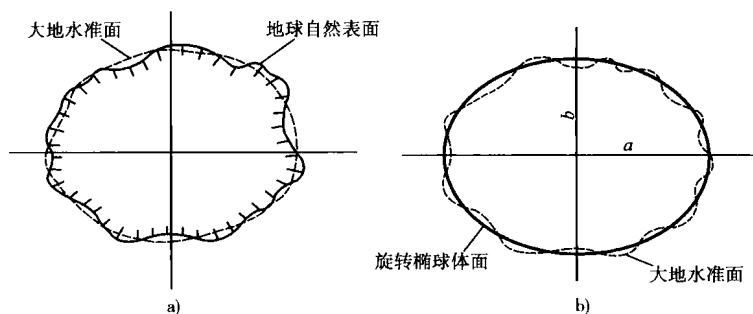


图 1-1 地球的自然表面、大地水准面和旋转椭球面

二、旋转椭球面

用大地体表示地球的形状是比较恰当的,但是由于地球内部质量分布不均匀,引起局部重力异常,导致铅垂线的方向产生不规则的变化,使得大地水准面上也有微小的起伏,成为一个复杂的曲面,如图 1-1b) 所示。因此无法在这个复杂的曲面上进行测量数据的处理。为了测量计算工作的方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体来代替地球的形状作为测量计算工作的基准面。这一几何形体称为地球椭球,它是由一个椭圆绕其短轴旋转而成,故地球椭球又称为旋转椭球,见图 1-1b)。这样,测量工作的基准面为大地水准面,而测量计算工作的基准面为旋转椭球面。

旋转椭球的形状和大小可由其长半轴 a (或短半轴 b) 和扁率 α 来表示。我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素为:

长半轴: $a = 6\,378.140\text{km}$

短半轴: $b = 6\,356.755\text{km}$

扁率: $\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$

由于旋转椭球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把旋转椭球作为圆球,其半径近似值为: $R = \frac{1}{3}(2a+b) \approx 6\,371\text{km}$ 。

第三节 地面点位的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。在一般工程测量中,确定地面点的空间位置,通常需用三个量,即该点在一定坐标系下的三维坐标,或该点的二维球面坐标或投影到平面上的二维平面坐标,以及该点到大地水准面的铅垂距离(高程)。

一、确定地面点位的坐标系

地面点的坐标,根据不同的用途可选用不同的坐标系,下面介绍几种常用的坐标系。

1. 大地坐标系

用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影到旋转椭球面上位置的坐标,称为大地坐标系,亦称为大地地理坐标系。该坐标系以参考椭球面和法线作为基准面和基准线。

如图 1-2 所示,NS 为地球的自转轴(或称地轴),N 为北极,S 为南极。过地面任一点与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线或称经线。国际公认通过英国格林尼治(Greenwich)天文台的子午面,是计算经度的起算面,称为首子午面。过 F 点的子午面 NFKSON 与首子午面 NGMSON 所成的两面角,称为 F 点的大地经度。大地经度自首子午线向东或向西由 0° 起算至 180° ,在首子午线以东者为东经,可写成 $0^\circ \sim 180^\circ\text{E}$,以西者为西经,可写成 $0^\circ \sim 180^\circ\text{W}$ 。

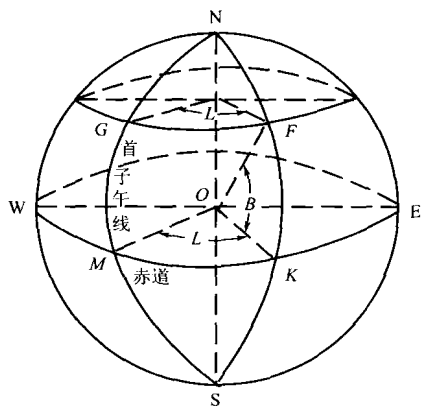


图 1-2 大地坐标系

垂直于地轴 NS 的平面与地球球面的交线称为纬线；通过球心 O 并垂直于地轴 NS 的平面，称为赤道平面。赤道平面与球面相交的纬线称为赤道。过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道平面的夹角，称为 F 点的大地纬度。在赤道以北者为北纬，可写成 $0^\circ \sim 90^\circ\text{N}$ ，在赤道以南者为南纬，可写成 $0^\circ \sim 90^\circ\text{S}$ 。

例如,我国首都北京位于北纬 40° 、东经 116° ,也可用 $B = 40^\circ\text{N}$ 、 $L = 116^\circ\text{E}$ 表示。

用大地坐标表示的地面点,统称大地点。一般而言,大地坐标是由大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 三个量组成,用以表示地面点的空间位置。

建国初期,我国采用大地坐标系为“1954 年北京坐标系”,亦称“北京 - 54 坐标系”(简称 P_{54})。该坐标系采用了原苏联的克拉索夫斯基椭球体,其参数是:长半轴 $a = 6\,378.245\text{km}$;扁率 $\alpha = 1/298.3$;坐标原点位于原苏联的普尔科沃。

我国目前采用的大地坐标为“1980 年国家大地坐标系”,亦称“西安 - 80 坐标系”(简称 C_{80}),是根据椭球定位的基本原理和我国的实际地理位置建立的。大地原点设在我国中西部的陕西省泾阳县永乐镇。椭球参数采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会推荐值:椭球长半轴 $a = 6\,378.140\text{km}$;扁率 $\alpha = 1/298.257$ 。

2. 地心坐标系

地心坐标系属于空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动,地心坐标系取地球质心为坐标原点 O , x 、 y 轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为 x 轴, z 轴与地球自转轴相重合,如图 1-3 所示。地面点 A 的空间位置用三维直角坐

标 x_A 、 y_A 和 z_A 表示。

地心坐标和大地坐标可以通过一定的数学公式进行换算。

3. 高斯平面直角坐标系

在工程测量中,常将椭球坐标系按一定的数学法则,投影到平面上成为平面直角坐标系,为满足工程测量及其他工程的应用,我国采用高斯(Gauss)投影。

高斯投影法是将地球划分成若干带,然后将每带投影到平面上。如图 1-4 所示,投影带是从首子午线起,每隔经差 6° 划一带(称为 6° 带),自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带,各带从首子午线起,自西向东依次编号用数字 1、2、3、 $\dots$ 、60 表示。位于各带中央的子午线,称为该带的中央子午线。

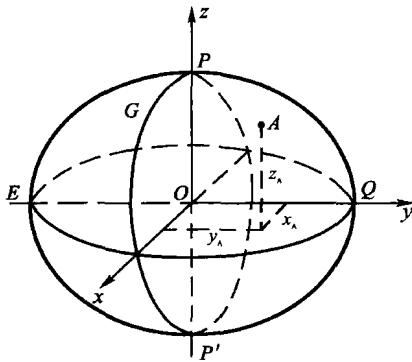


图 1-3 地心坐标系

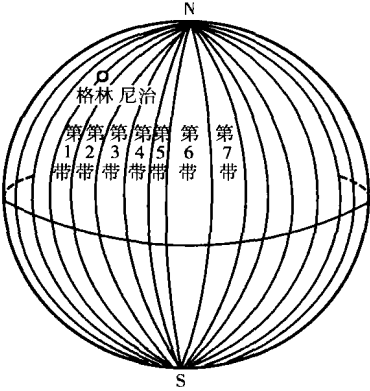


图 1-4 高斯投影分带

第一个 6° 带的中央子午线的经度为 3° ,任意带的中央子午线经度 L_0 可按式计算:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

式中: N ——投影带的带号。

按上述方法划分投影带后,即可进行高斯投影。如图 1-5a) 所示,设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在旋转椭球外面,使椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心,且使旋转椭球上某 6° 带的中央子午线与椭圆柱面相切。在椭球面上的图形与椭球柱面上的图形保持等角的情况下,将整个 6° 带投影到椭球柱面上。然后将椭球柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面,便得到 6° 带在平面上的影像,见图 1-5b)。中央子午线经投影展开后是一条直线,以此直线作为纵轴,向北为正,即 x 轴;赤道是一条与中央子午线相垂直的直线,将它作为横轴,向东为正,即 y 轴;两直线的交点作为原点,则组成了高斯平面直角坐标系。

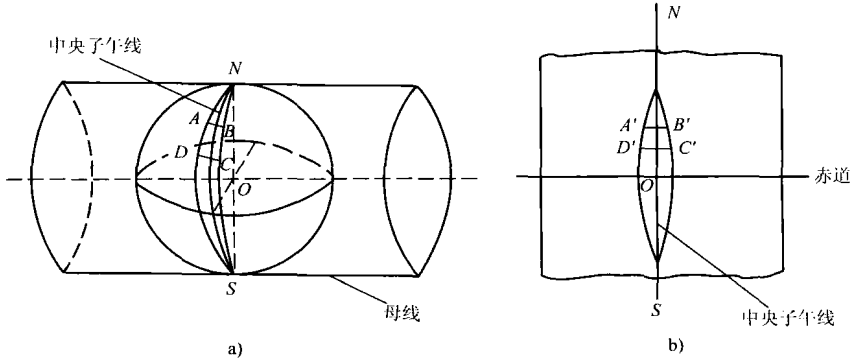


图 1-5 高斯投影