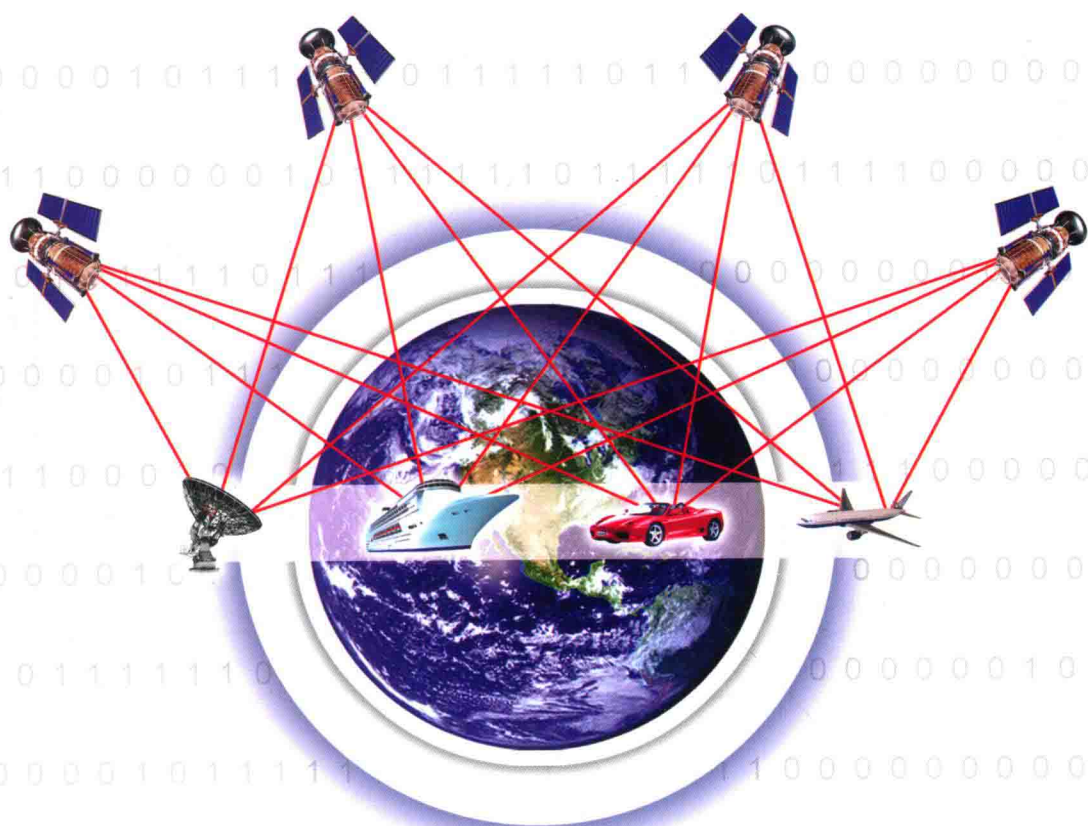


高等学校
测绘工程专业核心课程规划教材

工程测量学

(第二版)

主编 张正禄



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校
测绘工程专业核心课程规划教材

工程测量学

(第二版)

主编 张正禄

编委 张正禄 黄声享 岳建平

徐万鹏 刘成龙 田永瑞



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程测量学/张正禄主编. —2版. —武汉:武汉大学出版社,2013.11
高等学校测绘工程专业核心课程规划教材
ISBN 978-7-307-11710-5

I. 工… II. 张… III. 工程测量—高等学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 221584 号

责任编辑:王金龙 责任校对:鄢春梅 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:湖北省荆州市今印印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:586千字 插页:1

版次:2005年10月第1版 2013年11月第2版

2013年11月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-11710-5 定价:45.00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。

高等学校测绘工程专业核心课程规划教材 编审委员会

主任委员

宁津生 武汉大学

副主任委员

贾文平 解放军信息工程大学

李建成 武汉大学

陈 义 同济大学

委员

宁津生 武汉大学

贾文平 解放军信息工程大学

李建成 武汉大学

陈 义 同济大学

汪云甲 中国矿业大学

刘雁春 海军大连舰艇学院

靳奉祥 山东科技大学

岳建平 河海大学

宋伟东 辽宁工程技术大学

李永树 西南交通大学

张 勤 长安大学

朱建军 中南大学

高 飞 合肥工业大学

朱 光 北京建筑工程学院

郭增长 河南理工大学

刘爱松 武汉大学出版社

序

根据《教育部财政部关于实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》中“专业结构调整与专业认证”项目的安排，教育部高教司委托有关科类教学指导委员会开展各专业参考规范的研制工作。我们测绘学科教学指导委员会受委托研制测绘工程专业参考规范。

专业规范是国家教学质量标准的一种表现形式，并是国家对本科教学质量的最低要求，它规定了本科学子应该学习的基本理论、基本知识、基本技能。为此，测绘学科教学指导委员会从2007年开始，组织12所测绘工程专业的高校建立了专门的课题组开展“测绘工程专业规范及基础课程教学基本要求”的研制工作。课题组根据教育部开展专业规范研制工作的基本要求和当代测绘学科正向信息化测绘与地理空间信息学跨越发展的趋势以及经济社会的需求，综合各高校测绘工程专业的办学特点，确定专业规范的基本内容，并落实由武汉大学测绘学院组织教师对专业规范进行细化，形成初稿。然后多次提交给教指委全体委员会、各高校测绘学院院长论坛以及相关行业代表广泛征求意见，最后定稿。测绘工程专业规范对专业的培养目标和规格、专业教育内容和课程体系设置、专业的教学条件进行了详尽的论述，提出了基本要求。与此同时，测绘学科教学指导委员会以专业规范研制工作作为推动教学内容和课程体系改革的切入点，在测绘工程专业规范定稿的基础上，对测绘工程专业9门核心专业基础课程和8门专业课程的教材进行规划，并确定为“教育部高等学校测绘学科教学指导委员会规划教材”。目的是科学统一规划，整合优秀教学资源，避免重复建设。

2009年，教指委成立“测绘学科专业规范核心课程规划教材编审委员会”，制订“测绘学科专业规范核心课程规划教材建设实施办法”，组织遴选“高等学校测绘工程专业核心课程规划教材”主编单位和人员，审定规划教材的编写大纲和编写计划。教材的编写过程实行主编负责制。对主编要求至少讲授该课程5年以上，并具备一定的科研能力和教材编写经验，原则上要具有教授职称。教材的内容除要求符合“测绘工程专业规范”对人才培养的基本要求外，还要充分体现测绘学科的新发展、新技术、新要求，要考虑学科之间的交叉与融合，减少陈旧的内容。根据课程的教学需要，适当增加实践教学内容。经过一年的认真研讨和交流，最终确定了这17门教材的基本教学内容和编写大纲。

为保证教材的顺利出版和出版质量，测绘学科教学指导委员会委托武汉大学出版社全权负责本次规划教材的出版和发行，使用统一的丛书名、封面和版式设计。武汉大学出版社对教材编写与评审工作提供必要的经费资助，对本次规划教材实行选题优先的原则，并根据教学需要在出版周期及出版质量上予以保证。广州中海达卫星导航技术股份有限公司对教材的出版给予了一定的支持。

目前，“高等学校测绘工程专业核心课程规划教材”编写工作已经陆续完成，经审查

合格将由武汉大学出版社相继出版。相信这批教材的出版应用必将提升我国测绘工程专业的整体教学质量，极大地满足测绘本科专业人才培养的实际要求，为各高校培养测绘领域创新性基础理论研究和专业化工程技术人才奠定坚实的基础。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '宁永生'.

二〇一二年五月十八日

前 言

《工程测量学》是高等学校测绘工程专业核心课程规划教材编审委员会确定的17门核心课程规划教材之一。2005年10月,由张正禄等8位高校老师编著的高等学校测绘工程专业核心教材、普通高等教育“十五”国家级规划教材《工程测量学》,到2013年10月刚好8年,在这8年里,该书被许多高等院校的师生作为教材使用,荣获第六届全国高等学校优秀测绘教材一等奖。随着测绘科技的快速发展和变革性进步,编者深感有必要对《工程测量学》进行了重新编写,内容上作较大更新,篇幅上要显著压缩。删除了过时陈旧的内容,归纳了工程测量学的理论方法,增加了现代高新技术,全书的内容更加丰富,章节的编排更加合理。与8年前的教材相比,新编《工程测量学》的更新达百分之六十以上。删除了“工程测量学的仪器与方法”一章,代之以“工程测量学的理论技术和方法”,增加了“高速铁路工程测量”和“城市地下管线探测”两章,删除了“线路工程测量”和“大型离子加速器的精密工程测量”这两章。对章名相同或相近的章,如“工程建设各阶段的测量及信息管理”、“地形图测绘及应用”、“工程建筑物的施工放样”、“工程建筑物的变形监测”、“设备安装检校和工业测量”、“桥梁工程测量”、工业与民用建筑测量”和“隧道与地下工程测量”等,也做了较大的改动。参编作者也有所变动,编写单位有武汉大学、西南交通大学、河海大学、长安大学和中铁十五局,主编张正禄所编写的比例超过百分之六十。书中既充分反映工程测量学科的全貌和最新发展,又包括了主编和作者在教学、科研和生产实践中的成果和经验,可从参考文献目录中查到。

全书共分14章,第1章“绪论”,主要讲述什么是工程测量学,为什么要学工程测量学,如何学习工程测量学;第2章“工程建设各阶段的测量及信息管理”,第3章“工程测量学的理论技术和方法”,第4章“工程测量控制网”,第5章“地形图测绘及应用”、第6章“工程建筑物的施工放样”,第7章“工程建筑物的变形监测”,第8章“设备安装检校和工业测量”,这6章是工程测量学的共性部分,是必学的基础性内容,第8章到第14章,依次是“工业与民用建筑测量”、“高速铁路工程测量”、“桥梁工程测量”、“水利和港口工程测量”、“隧道与地下工程测量”以及“城市地下管线探测”,属于典型工程的测量和实践,可以选择性地学习。各章之间有独立性和相关性,如工程测量学的理论技术和方法在工程建筑物的变形监测中有广泛应用,而工业与民用建筑测量中的深基坑变形监测,高速铁路、桥梁和水利工程中有许多典型的变形监测,则是对第7章内容的补充,相得益彰。对于工程测量控制网,其他许多章节也有涉及。隧道与地下工程测量和城市地下管线探测这两章涉及的面较宽,表现了该教材的完备性。

本书各章附有本章的重点和难点以及思考题。与本书配套的有《工程测量学习题、课程设计和实习指导书》,指导书针对各章,有名词解释、填空题、选择题、问答题、判断题、计算题和编程题等,还有一般性和综合性课程设计,有实践性教学和集中实习等内

容，并有完整的答案。对该课程的规范化、标准化教学有很好的参考作用。

参加编写的作者及分工情况如下：

主编张正禄教授、博士生导师(武汉大学)，负责全书的组织、统稿和检校，撰写了第1、2、3、4、5、7、8章和第14章，其余的各章有部分编写；

黄声享教授、博士生导师(武汉大学)，撰写第6章；

岳建平教授、博士生导师(河海大学)，撰写第12章；

徐万鹏教授级高工(中铁十五局)，撰写第9、10章；

刘成龙教授、博士生导师(西南交通大学)，撰写第11章；

田永瑞副教授、硕士生导师(长安大学)，撰写第13章。

感谢同济大学张松林副教授对主要章节的检校并提出的修改意见，感谢张宇冉、周武平硕士对全书电子稿在格式和文字上的检校工作。

由于作者的水平 and 精力有限，书中所存在的谬误之处，敬请读者批评指正。

编著者

2013年8月1日

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 工程测量学的定义和作用	1
1.1.1 工程测量学的定义	1
1.1.2 工程测量学的学科地位	2
1.1.3 工程测量的任务和作用	2
1.2 工程测量学的内容和应用领域	3
1.2.1 工程测量学的内容	3
1.2.2 工程测量学的应用领域	4
1.2.3 与工程测量有关的学术团体	4
1.3 工程测量学的特点和学习方法	5
1.3.1 工程测量学的特点	5
1.3.2 工程测量学与相邻课程的关系	5
1.3.3 工程测量学的学习方法	6
1.4 工程测量学的发展历史和展望	7
1.4.1 工程测量学的发展历史	7
1.4.2 工程测量学的展望	8
第2章 工程建设各阶段的测量及信息管理	12
2.1 工程勘测设计阶段的主要测量工作	12
2.1.1 工业企业的测量	12
2.1.2 线路工程的测量	13
2.1.3 桥梁工程的测量	13
2.2 工程施工建设阶段的测量	14
2.3 工程运营管理阶段的测量	15
2.4 工程测量信息管理	15
第3章 工程测量学的理论技术和方法	18
3.1 工程测量学的理论	18
3.1.1 测量误差和精度理论	18
3.1.2 可靠性理论	21
3.1.3 灵敏度理论	25
3.1.4 工程控制网优化设计理论	25

3.1.5	测量基准理论	27
3.2	地面测量技术和方法	28
3.2.1	角度测量	28
3.2.2	方向测量	29
3.2.3	距离测量	29
3.2.4	高程测量	33
3.2.5	坐标测量	36
3.2.6	三维激光扫描测量	38
3.2.7	远程微形变雷达测量系统(IBIS)	39
3.2.8	近景摄影测量	40
3.3	对地观测技术和方法	42
3.3.1	GNSS 技术和方法	42
3.3.2	InSAR 技术和方法	45
3.3.3	机载 LIDAR 技术和方法	48
3.4	特殊测量技术和方法	49
3.4.1	基准线法测量	49
3.4.2	微距及其变化的测量	52
3.4.3	倾斜测量	53
3.4.4	挠度测量	54
3.4.5	投点测量	55
3.4.6	传感器测量	56
第4章	工程测量控制网	58
4.1	概述	58
4.2	工程测量控制网的种类	58
4.2.1	测图控制网	59
4.2.2	施工测量控制网	59
4.2.3	变形监测网	60
4.2.4	安装测量控制网	61
4.3	工程测量控制网的基准	61
4.4	工程测量控制网的布设	62
4.4.1	导线的布设	63
4.4.2	边角网的布设	63
4.4.3	GNSS 网的布设	63
4.4.4	水准网的布设	64
4.5	工程控制网的质量准则	64
4.5.1	精度准则	64
4.5.2	可靠性准则	67
4.5.3	灵敏度准则	67

4.5.4	费用准则	67
4.6	工程测量控制网的优化设计	67
4.7	工程测量控制网的数据处理	68
4.8	几种典型的工程测量控制网	71
4.8.1	特长隧道的洞外平面控制网	71
4.8.2	特大桥梁的施工控制网	71
4.8.3	大型水利枢纽工程的施工控制网	72
4.8.4	大型离子加速器的安装测量控制网	72
4.8.5	大型升船机工程的施工与安装测量控制网	72
4.9	工程测量控制网点的埋设	75
4.9.1	标石	75
4.9.2	标志	77
4.9.3	有关的其他标石标志	78
第5章	地形图测绘及应用	80
5.1	地形图及其比例尺系列	80
5.1.1	地形图的定义和特点	80
5.1.2	地形图的比例尺	80
5.2	地形图测绘简述	81
5.2.1	陆地地形图测绘	81
5.2.2	水下地形图测绘	82
5.3	工程建设对地形图的要求	84
5.3.1	工程建设对地形图比例尺的要求	84
5.3.2	工程建设对地形图的精度要求	85
5.4	地形图的应用	85
5.4.1	地形图的普通应用	85
5.4.2	大比例尺地形图的典型应用——场地平整	87
5.4.3	地形图在工程建设中的应用	90
5.5	竣工总图实测与编绘	91
5.5.1	竣工总图及其特点	91
5.5.2	竣工总图的分类	92
5.5.3	竣工总图的实测	92
5.5.4	竣工总图的编绘	93
第6章	工程建(构)筑物的施工放样	96
6.1	建筑限差和放样精度	96
6.1.1	建筑限差	96
6.1.2	放样精度的确定方法	96
6.2	施工放样的种类和常用方法	97

6.2.1	施工放样的种类	97
6.2.2	点和平面直线放样方法	98
6.2.3	铅垂线放样方法	104
6.2.4	高程放样方法	105
6.3	特殊的施工放样方法	107
6.3.1	大跨度桥梁的放样方法	107
6.3.2	异形建筑的放样方法	109
6.4	道路曲线及其放样数据计算	114
6.4.1	圆曲线	115
6.4.2	带缓和曲线的圆曲线	118
6.4.3	回头曲线	121
6.4.4	竖曲线	122
6.4.5	曲线测设方法	123
6.5	典型工程施工放样举例	124
6.5.1	三峡工程的特殊施工放样简述	124
6.5.2	苏通大桥的特殊施工放样简述	125
6.5.3	国家游泳中心的特殊施工放样简述	128
第7章	工程建筑物的变形监测	134
7.1	变形监测的基础知识	134
7.1.1	变形监测的定义和分类	134
7.1.2	工程变形监测的意义和特点	135
7.1.3	变形影响因子和变形模型	136
7.1.4	变形监测的技术和方法	140
7.2	变形监测方案设计	141
7.2.1	典型变形的监测设计	141
7.2.2	测量方案设计需考虑的问题	144
7.3	变形观测数据处理	147
7.3.1	概述	147
7.3.2	监测网参考点的稳定性分析	147
7.3.3	变形分析	150
7.4	变形监测资料整理、成果表达和解释	157
7.4.1	变形监测资料整理	157
7.4.2	成果表达	159
7.4.3	成果解释	165
第8章	设备安装检校测量和工业测量	170
8.1	概述	170
8.2	设备安装检校的控制测量	170

8.3	设备安装检校中的若干测量	172
8.3.1	精密定线	172
8.3.2	短边精密测角	173
8.3.3	短边方位传递	176
8.4	设备安装检校测量的方法	177
8.4.1	传统测量方法	177
8.4.2	现代测量方法	177
8.5	三维工业测量系统	179
8.5.1	全站仪测量系统	179
8.5.2	激光跟踪测量系统	183
8.5.3	工业摄影测量系统	185
8.5.4	距离交会测量和室内 GPS 系统	188
8.5.5	工业测量系统软件	190
8.6	大型天线的安装检校测量实例	191
8.6.1	概述	191
8.6.2	控制网测量	191
8.6.3	天线面板水平拼装	193
8.6.4	工作姿态下的测量及调整	194
第9章	工业与民用建筑测量	197
9.1	概述	197
9.2	大型工业厂区测量	197
9.2.1	大型厂区施工控制测量	198
9.2.2	大型厂区施工测量	200
9.3	高层建筑物测量	204
9.3.1	内部控制网的建立和传递	204
9.3.2	垂直度计算	205
9.3.3	高程传递	205
9.3.4	深基坑变形监测	205
9.4	高耸建筑物测量	209
9.4.1	高耸建筑物竖向轴线控制——分层投点法	209
9.4.2	烟囱的施工测量	213
9.4.3	电视塔的施工测量	214
9.4.4	摩天大楼的施工测量	218
9.5	异型异构建筑物测量	220
9.5.1	国家体育场——“鸟巢”的测量	220
9.5.2	国家大剧院的测量	224
9.5.3	大型古建筑和文物的测量	229

第 10 章 高速铁路工程测量	231
10.1 概述	231
10.2 高铁控制网的布设和测量基准	232
10.2.1 控制网布设	232
10.2.2 测量基准及建立方法	233
10.3 轨道控制网(CPⅢ)的布设和处理	237
10.3.1 测量基准和精度匹配问题	237
10.3.2 CPⅢ布设	238
10.3.3 CPⅢ网平面测量	239
10.3.4 CPⅢ网高程测量	240
10.3.5 三网合一技术	241
10.3.6 CPⅢ网三维严密平差技术	242
10.4 轨道系统精密测量	251
10.4.1 轨道工程测量方法及专用仪器	251
10.4.2 轨道精调测量	254
10.5 双块轨枕精调	255
10.5.1 轨排精调测量	256
10.5.2 机械法施工的支脚精调	256
10.6 轨道板精调	257
10.6.1 博格精调技术	257
10.6.2 基于轨道的轨道板精调技术	262
10.7 通用型强制对中装置	263
10.8 高速铁路的变形监测	266
10.8.1 沉降监测网布设	266
10.8.2 精度要求和数据处理原则	267
10.8.3 桥梁沉降监测	267
10.8.4 路基沉降监测	268
第 11 章 桥梁工程测量	270
11.1 概述	270
11.2 桥梁施工控制网的精度和布设	270
11.2.1 桥梁施工控制网的精度	270
11.2.2 桥梁施工控制网的布设	271
11.3 悬索桥基准索股的垂度测量	272
11.3.1 垂度测量的内容、要求和方法	272
11.3.2 基于单向大气折光系数改正的垂度测量	273
11.3.3 西堍门大桥的垂度测量	274
11.3.4 西堍门大桥的垂度控制及精度	275
11.4 悬索桥的索塔变形监测	276

11.4.1	日照温差影响的索塔静态变形监测	276
11.4.2	猫道施工阶段的索塔变形监测	277
11.4.3	索股牵引阶段的索塔变形监测	277
11.4.4	钢箱梁吊装阶段的索塔变形监测	278
11.4.5	索塔变形的距离差监测法	279
11.5	连续刚构桥悬臂箱梁的挠度变形监测	280
11.5.1	挠度变形的成因分析	280
11.5.2	挠度变形监测与精度	281
11.5.3	挠度变形监测的措施	283
11.5.4	挠度变形的规律	284
11.6	长悬臂箱梁标高的温度影响	284
11.6.1	温度对长悬臂箱梁标高的影响	285
11.6.2	温度影响的实验分析	286
11.6.3	克服温度影响的对策	287
第12章	水利和港口工程测量	290
12.1	水利工程测量概述	290
12.2	大型水利工程的施工测量	291
12.2.1	施工控制测量	291
12.2.2	施工测量和放样	292
12.2.3	设备安装测量	293
12.3	大坝安全监测	295
12.3.1	大坝外部变形监测	295
12.3.2	大坝内部变形监测	296
12.4	港口工程测量	298
12.4.1	概述	298
12.4.2	港口地形和控制测量	299
12.4.3	桩基定位与施工测量	299
12.4.4	港口施工测量和安全监测	301
第13章	隧道与地下工程测量	304
13.1	概述	304
13.2	隧道贯通误差与估算	305
13.2.1	隧道贯通误差	305
13.2.2	隧道贯通误差的分配	306
13.2.3	隧道横向贯通误差影响值估算	307
13.2.4	高程测量误差对高程贯通误差的影响	310
13.3	地下工程的控制测量	310
13.3.1	隧道工程的地面控制测量	311

13.3.2	隧道工程的地下控制测量	313
13.4	竖井联系测量	315
13.4.1	竖井平面联系测量	316
13.4.2	高程联系测量	320
13.5	陀螺仪定向原理及应用	321
13.5.1	概述	321
13.5.2	陀螺仪的基本特性	322
13.5.3	陀螺经纬仪定向原理	322
13.5.4	高精度磁悬浮陀螺全站仪定向原理及应用	326
13.6	隧道施工测量与竣工测量	331
13.6.1	隧道施工测量	331
13.6.2	隧道贯通误差的测定与调整	333
13.6.3	隧道竣工测量	335
13.6.4	施工期的变形监测	335
13.7	盾构自动引导测量和顶管施工测量	335
13.7.1	盾构自动引导测量系统	335
13.7.2	顶管施工测量	337
第14章	城市地下管线探测	342
14.1	概述	342
14.1.1	城市地下管线的现状	342
14.1.2	地下管线探测的目的和意义	343
14.1.3	城市地下管线分类和结构	343
14.1.4	城市地下管线探测基本流程	343
14.2	城市地下管线探测	344
14.2.1	地下管线探测方法	344
14.2.2	地下管线探测仪器	346
14.2.3	地下管线探测的程序和检验	347
14.3	城市地下管线测绘	348
14.3.1	一般规定	348
14.3.2	已有地下管线测量	348
14.3.3	新建地下管线测量	350
14.3.4	管线数据处理与图形编绘	351
14.4	城市地下管线网信息系统	354
14.4.1	系统结构	354
14.4.2	基本功能	354
14.4.3	数据标准制定和数据库设计	355
14.4.4	应用实例	356
	参考文献	360

第1章 绪 论

1.1 工程测量学的定义和作用

1.1.1 工程测量学的定义

工程测量学(Engineering Surveying 或 Engineering Geodesy)是测绘学的二级学科,归纳起来,有以下三种定义:

(1) 工程测量学是研究各种工程建设在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。

工程建设是指投资兴建(建造、购置和安装)固定资产的经济活动以及与之相联系的其他工作。工程建设一般分为勘测设计、施工建设和运营管理三个阶段。各种工程包括:工业与民用建筑(如大型厂区,城市高层、高耸和各种建筑物等),道路工程(各种铁路、公路等),桥梁与隧道工程,水利水电枢纽工程(包括大坝、厂房、船闸等),地下工程(如地下矿山、隧道、城市地铁和人防等),管线工程(高压输电线、输油气管道和城市地下管线等),矿山工程(专门有矿山工程测量学学科),其他工程(如军事工程、海洋工程、机场、港口、核电厂以及离子加速器这样的科学实验工程)等。工程测量贯穿于各种工程的各个阶段。

(2) 工程测量学主要研究在工程建设各阶段、环境保护及资源开发中所进行的地形和其他有关信息的采集及处理,施工放样、设备安装和变形监测的理论、方法与技术,研究对测量资料及与工程有关的各种信息进行管理和使用,它是测绘学在国家经济建设和国防建设中的一门应用性学科。

地形信息采集主要表现为各种大比例尺地形图测绘,施工放样是将工程的室内设计放样实现到实地,变形监测(亦称安全监测)贯穿于工程建设的三个阶段,还包括变形分析与预报。

(3) 工程测量学是研究地球空间中(包括地面、空中、地下和水下)具体几何实体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论、方法和技术的一门应用性学科。它主要以建筑工程和机器设备为研究服务对象。

具体几何实体指一切被测对象,包括存在的地形、地物,已建的各种工程及附属物;抽象几何实体指一切设计的但尚未实现的各项工程。

比较上述三种定义,定义(1)比较大众化,易于理解,工程测量学翻译成 Engineering Surveying 比较恰当。定义(2)较定义(1)更具体、准确,上升到了理论、方法与技术,且范围更大,包括了环境保护及资源开发。从学术意义上讲,定义(3)更加概括、抽象、严