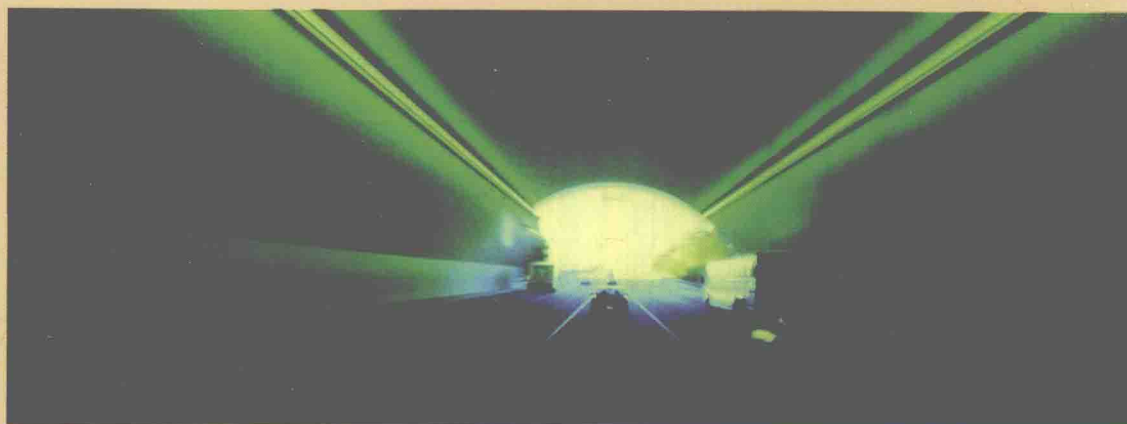




新世纪土木工程专业系列教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材



# 地下结构工程

DIXIA JIEGOU GONGCHENG

(第3版)

穆保岗	陶 津	主编
穆保岗	陶 津	编著
童小东	缪林昌	
	龚维明	主审

东南大学出版社

新世纪土木工程专业系列教材  
“十二五”江苏省高等学校重点教材

# 地下结构工程

(第3版)

穆保岗 陶 津 主编

穆保岗 陶 津 编著

童小东 缪林昌

龚维明 主审

东南大学出版社

·南京·

## 内 容 提 要

本书是土木工程专业的专业课程教材,全书分为12章。主要讲述地下结构工程的基本设计理论;深基坑支护工程的设计、施工与监测;地下隧道的设计与施工,包括新奥法、盾构法、TBM法、沉管法;其他地下工程,包括顶管法、沉井法的设计与施工;介绍了上述地下结构工程建造可能引起的环境保护问题。全书采用现行规范,注重理论在最新工程中的实践和发展。

本书可作为土木工程专业高年级本科生或研究生教材或教学参考书,也可供设计单位、施工单位、建设单位的土木工程技术人员参考使用。

(为更好地支持本课程的教学,对采用本书作为教材的教师提供教学素材资料,需要者请登录网址:  
<http://www.seupress.com>)

### 图书在版编目(CIP)数据

地下结构工程/穆保岗,陶津主编.—3版.—南京:  
东南大学出版社,2016.3  
新世纪土木工程专业系列教材  
ISBN 978-7-5641-5683-1

I. ①地… II. ①穆…②陶… III. ①地下工程—  
结构工程—高等学校—教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第013121号

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京四牌楼2号 邮编210096

出 版 人:江建中

网 址:<http://www.seupress.com>

电子邮件:[press@seupress.com](mailto:press@seupress.com)

经 销:全国各地新华书店

印 刷:扬中市印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:18.75

字 数:450千

版 次:2004年2月第1版 2016年3月第3版

印 次:2016年3月第6次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-5683-1

印 数:1~3 000册

定 价:38.00元

# 新世纪土木工程专业系列教材编委会

顾 问 丁大钧 容柏生 沙庆林

主 任 吕志涛

副主任 蒋永生 陈荣生 邱洪兴 黄晓明

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁大钧 王 炜 冯 健 叶见曙 石名磊 刘松玉 吕志涛

成 虎 李峻利 李爱群 沈 杰 沙庆林 邱洪兴 陆可人

舒赣平 陈荣生 单 建 周明华 胡伍生 唐人卫 郭正兴

钱培舒 曹双寅 黄晓明 龚维明 程建川 容柏生 蒋永生

# 序

东南大学是教育部直属重点高等学校,在 20 世纪 90 年代后期,作为主持单位开展了国家级“20 世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题的研究,提出了由土木工程专业指导委员会采纳的“土木工程专业人才培养的知识结构和能力结构”的建议。在此基础上,根据土木工程专业指导委员会提出的“土木工程专业本科(四年制)培养方案”,修订了土木工程专业教学计划,确立了新的课程体系,明确了教学内容,开展了教学实践,组织了教材编写。这一改革成果,获得了 2000 年教学成果国家级二等奖。

这套新世纪土木工程专业系列教材的编写和出版是教学改革的继续和深化,编写的宗旨是:根据土木工程专业知识结构中关于学科和专业基础知识、专业知识以及相邻学科知识的要求,实现课程体系的整体优化;拓宽专业口径,实现学科和专业基础课程的通用化;将专业课程作为一种载体,使学生获得工程训练和能力的培养。

新世纪土木工程专业系列教材具有下列特色:

## 1. 符合新世纪对土木工程专业的要求

土木工程专业毕业生应能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、交通工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作,这是新世纪对土木工程专业的要求。面对如此宽广的领域,只能从终身教育观念出发,把对学生未来发展起重要作用的基础知识作为优先选择的内容。因此,本系列的专业基础课教材,既打通了工程类各学科基础,又打通了力学、土木工程、交通运输工程、水利工程等大类学科基础,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。例如工程结构设计原理教材,既整合了建筑结构和桥梁结构等内容,又将混凝土、钢、砌体等不同材料结构有机地综合在一起。

## 2. 专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列

由于各校原有基础和条件的不同,按土木工程要求开设专业课程的困难较大。本系列专业课教材从实际出发,与设课群组相结合,将专业课程教材分为建筑工程类、交通土建类、地下工程类三个系列。每一系列包括有工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等专业课系列,使自然科学、工程技术、管理、人文学科乃至艺术交叉综合,并强调了工程综合训练。不同课群组可以交叉选课。专业系列课程十分强调贯彻理论联系实际的教学原则,融知识和能力为一体,避免成为职业的界定,而主要成为能力培养的载体。

## 3. 教材内容具有现代性,用整合方法大力精减

对本系列教材的内容,本编委会特别要求不仅具有原理性、基础性,还要求具有现代性,纳

人最新知识及发展趋向。例如,现代施工技术教材包括了当代最先进的施工技术。

在土木工程专业教学计划中,专业基础课(平台课)及专业课的学时较少。对此,除了少而精的方法外,本系列教材通过整合的方法有效地进行了精减。整合的面较宽,包括了土木工程各领域共性内容的整合,不同材料在结构、施工等教材中的整合,还包括课堂教学内容与实践环节的整合,可以认为其整合力度在国内是最大的。这样做,不只是为了精减学时,更主要的是可淡化细节了解,强化学习概念和综合思维,有助于知识与能力的协调发展。

#### 4. 发挥东南大学的办学优势

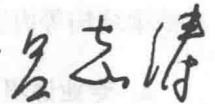
东南大学原有的建筑工程、交通土建专业具有 80 年的历史,有一批国内外著名的专家、教授。他们一贯严谨治学,代代相传。按土木工程专业办学,有土木工程和交通运输工程两个一级学科博士点、土木工程学科博士后流动站及教育部重点实验室的支撑。近十年已编写出版教材及参考书 40 余本,其中 9 本教材获国家和部、省级奖,4 门课程列为江苏省一类优秀课程,5 本教材被列为全国推荐教材。在本系列教材编写过程中,实行了老中青相结合,老教师主要担任主审,有丰富教学经验的中青年教授、教学骨干担任主编,从而保证了原有优势的发挥,继承和发扬了东南大学原有的办学传统。

新世纪土木工程专业系列教材肩负着“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的重任。因此,为了出精品,一方面对整合力度大的教材坚持经过试用修改后出版,另一方面希望大家在积极选用本系列教材中,提出宝贵的意见和建议。

愿广大读者与我们一起把握时代的脉搏,使本系列教材不断充实、更新并适应形势的发展,为培养新世纪土木工程高级专门人才作出贡献。

最后,在这里特别指出,这套系列教材,在编写出版过程中,得到了其他高校教师的大力支持,还受到作为本系列教材顾问的专家、院士的指点。在此,我们向他们一并致以深深的谢意。同时,对东南大学出版社所作出的努力表示感谢。

中国工程院院士



2001 年 9 月

# 前 言

地下结构工程是土木工程专业的主干课程之一。根据教育部新的普通高等学校本科专业目录,原建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程等多个专业合并为土木工程专业。当前人才培养模式已向宽专业口径发展,原有教材远远不能满足现在专业要求。为了适应土木工程专业课程教学的要求,编写本书。

由于地下结构工程涉及面广,不同地下结构有各自的规范。本书力图考虑学科发展新水平,结合新规范,着重从基本概念、基础理论角度讲解主要的地下结构,反映地下结构的成熟成果与观点。全书重点突出,深入浅出,加强了各章之间的相互衔接,各章还附有习题及思考题。同时,由于相关专业的参考书籍也较多,学习时可以结合参考文献课外阅读其他的专著。

本书第1、2、3章由龚维明编写,第4、7、8章由童小东编写,第5、9章由穆保岗编写,第6、10、11章由缪林昌编写。本书由龚维明主编,蒋永生主审。

希望读者在使用过程中多提意见,使本书日臻完善。

龚维明

2003.6

## 第2版前言

《地下结构工程》一书,自2004年首次出版以来,在东南大学和其他兄弟院校的土木专业中广泛使用,并在使用过程中提出了很多中肯的意见和建议,我们近期组织编写了该教材的第2版,力争反映近期地下工程技术最新进展。

在第1版的基础上,第2版对书中部分章节的顺序进行了修订,并对全书的内容作了补充和调整,教材内容更加丰富。补充了土和岩石地下结构的计算理论,丰富了盾构隧道设计理论,增加了整体式隧道结构的设计计算理论,介绍了最新的地下结构工程的环境保护原理和理论,并对地下结构工程的防水和降水进行了系统的阐述。第2版更加注重章节之间的逻辑性,充实了更多的关于地下结构方面的基本理论阐述,尽量与现行规程、规范保持一致,并注意与不断发展的工程实践相结合,力图提供给读者更多的有效信息。

第1版教材中,编写者为龚维明、童小东、缪林昌、穆保岗,由蒋永生教授主审。第2版教材中,第1、3、4、5、6、7章由穆保岗负责调整和编写,第2、8、9、10、11、12、13、14、15章由陶津负责调整和编写,全书由龚维明教授主审,硕士研究生龚丛强不辞辛苦的承担了文字录入工作。

本书编写过程中参考了很多同行的现行教材、专著、图片资料等,在此表示感谢,并期望得到同行的宝贵意见,以利于我们教材水平的不断提高。限于作者的水平与经验,书中可能尚有不妥之处,敬请读者指正。

本教材出版获得了“江苏省高校优势学科建设工程”资助。

穆保岗 陶 津

2011年10月



## 第3版前言

《地下结构工程》一书,自2004年出版,2011年改版以来,在东南大学和其他兄弟院校的土木工程学科教学中广泛使用,读者在使用过程中提出了很多中肯的建议,我们近期组织了该教材的重新再版,力争反映近年来地下结构工程学科的最新进展。

原版教材中,编写者为龚维明、童小东、缪林昌、穆保岗,由蒋永生教授审核,在此非常感谢原编写者提供的良好工作基础。

本版在第2版的基础上,对书中部分章节的顺序进行了调整和修订。精简了地下结构的计算理论,对基坑支护部分更新了最新规范,增加了施工监测内容,丰富了盾构隧道设计理论,介绍了最新的地下结构工程的环境保护原理和理论,并将降水、防水分散在各种地下结构类型中。与第2版相比,本版更加注重章节之间的逻辑性,并与现行规程、规范保持一致。

本版教材中,第1、3、4、5、9、10、11章由穆保岗老师负责调整和编写,第2、6、7、8、12章由陶津老师负责调整和编写。全书由龚维明教授审核,研究生冯超元、钱程、龚相源承担了部分文字编排工作,在此表示感谢。

编写过程中参考引用了很多同行的现行教材和专著、图片、文献资料等,在此不能一一列出,在此一并致谢,并真诚期望得到读者的批评指正。

本教材为“十二五”江苏省高等学校重点教材,并获得了国家科技支撑计划(2012BAJ14B02)、国家自然科学基金(51208105)、“江苏省高校优势学科建设工程”的联合资助。

穆保岗 陶 津

2015年12月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 地下结构的用途 .....	1
1.2 地下结构型式 .....	3
1.3 设计内容 .....	6
1.4 计算原则 .....	6
1.5 本课程的内容和任务 .....	8
<b>2 地下结构的计算理论</b> .....	9
2.1 地下结构计算理论的发展 .....	9
2.2 地下结构荷载 .....	11
2.2.1 荷载分类和组合 .....	11
2.2.2 围岩压力 .....	16
2.2.3 弹性抗力 .....	19
2.3 地下结构的计算模型 .....	20
2.3.1 荷载—结构模型 .....	21
2.3.2 地层—结构模型 .....	24
<b>3 深基坑工程概述</b> .....	26
3.1 概述 .....	26
3.2 基坑支护结构设计原则 .....	28
3.2.1 基坑支护结构极限状态 .....	28
3.2.2 基坑支护结构设计的勘察要求 .....	30
3.2.3 土的抗剪强度指标规定 .....	30
3.3 支护结构方案及选择 .....	31
3.3.1 常用的支护形式及使用条件 .....	31
3.3.2 支撑体系 .....	31
3.4 支护结构上的作用 .....	33
3.4.1 土压力 .....	33
3.4.2 水压力 .....	38
3.5 基坑工程地下水的作用与处理 .....	39

3.5.1	地下水的基本性质	39
3.5.2	地下水的处理方法	40
3.5.3	地下工程降水设计计算	42
<b>4</b>	<b>常见基坑支护形式的设计与施工</b>	<b>49</b>
4.1	大开挖基坑工程	49
4.1.1	垂直开挖	49
4.1.2	放坡开挖	49
4.2	支挡式结构	53
4.2.1	支挡式结构的计算简图	54
4.2.2	支挡式结构的嵌固稳定性	57
4.2.3	整体稳定性验算	58
4.2.4	坑底隆起稳定性验算	59
4.2.5	地下连续墙	61
4.2.6	排桩和双排桩	62
4.2.7	土(岩)层锚杆	66
4.3	土钉墙	69
4.3.1	土钉墙的特点	69
4.3.2	土钉墙的适用范围	70
4.3.3	土钉墙的设计	70
4.3.4	构造要求	73
4.4	水泥土重力式围护墙	73
4.4.1	水泥土重力式围护墙的类型	73
4.4.2	水泥土重力式围护墙的破坏形式	74
4.4.3	水泥土重力式围护墙的适用条件	74
4.4.4	重力式水泥土墙的稳定性计算	75
4.4.5	重力式水泥土墙墙体的强度验算	76
4.4.6	水泥土重力式围护墙加固体一般技术要求	77
4.5	型钢水泥土搅拌墙	77
4.5.1	型钢水泥土搅拌墙的特点	78
4.5.2	型钢水泥土搅拌墙的适用条件	78
4.5.3	型钢水泥土搅拌桩的布置形式	79
4.5.4	型钢水泥土搅拌墙的设计与计算	79
4.6	逆作拱墙	82
4.6.1	挡土拱圈的构造和特点	82

4.6.2	拱墙计算	84
4.6.3	构造要求	85
4.7	逆作法施工	85
4.7.1	逆作法分类	85
4.7.2	逆作法的优、缺点	85
<b>5</b>	<b>基坑的施工期监控</b>	<b>89</b>
5.1	概述	89
5.1.1	监控目的	89
5.1.2	监控的原则	89
5.2	现场巡视检查	90
5.2.1	现场安全巡视内容	90
5.2.2	现场安全巡视的资料整理	91
5.3	监测项目	91
5.3.1	工程监测等级	91
5.3.2	基坑主体监测断面及测点布置	95
5.3.3	周边环境监测	96
5.4	监测点埋设方法	96
5.4.1	围护结构顶部水平位移监测点埋设与测试	96
5.4.2	墙体变形及和土体侧向变形	98
5.4.3	地下水位的监测	99
5.4.4	支撑轴力的监测	100
5.4.5	沉降变形的监测	101
5.4.6	围护墙侧向土压力的监测	103
5.4.7	孔隙水压力监测	103
5.4.8	裂缝监测	104
5.4.9	高程控制网的布设与检查	105
5.5	监测频率、精度与预警值	105
5.5.1	施工前期	105
5.5.2	施工期	105
5.6	监测资料的主要处理方法	107
<b>6</b>	<b>新奥法隧道结构</b>	<b>108</b>
6.1	传统矿山法	108
6.2	新奥法概述	109

6.3	开挖方法 .....	111
6.3.1	全断面法 .....	111
6.3.2	台阶法 .....	111
6.3.3	分部开挖法 .....	113
6.4	钻爆施工要点 .....	115
6.4.1	爆破破岩机理 .....	115
6.4.2	控制爆破 .....	116
6.5	锚喷支护结构 .....	117
6.5.1	锚喷支护原理 .....	117
6.5.2	锚喷支护特点 .....	120
6.5.3	锚喷支护施工原则 .....	121
6.6	隧道衬砌内力计算 .....	123
6.6.1	半衬砌结构 .....	124
6.6.2	直墙拱结构 .....	128
6.6.3	连拱隧道结构 .....	133
6.7	隧道辅助施工措施 .....	135
6.7.1	超前锚杆和超前小钢管 .....	136
6.7.2	管棚 .....	136
6.7.3	超前小导管注浆 .....	137
6.8	防排水措施 .....	138
6.9	施工监测 .....	138
<b>7</b>	<b>盾构法隧道结构 .....</b>	<b>140</b>
7.1	概述 .....	140
7.1.1	盾构法 .....	140
7.1.2	盾构法的发展历史 .....	140
7.2	盾构的基本构造 .....	143
7.2.1	盾构外壳 .....	143
7.2.2	开挖系统 .....	145
7.2.3	掘进系统 .....	146
7.2.4	管片拼装系统 .....	147
7.2.5	控制系统 .....	147
7.3	盾构机的类型及选择 .....	147
7.3.1	泥水盾构 .....	149
7.3.2	土压平衡盾构 .....	150

7.3.3	盾构机机型的选择依据 .....	151
7.3.4	盾构对环境条件的适应性 .....	151
7.4	衬砌结构 .....	153
7.5	管片结构设计 .....	155
7.5.1	设计原则 .....	155
7.5.2	荷载计算 .....	155
7.5.3	衬砌内力计算 .....	161
7.6	盾构法隧道施工 .....	163
7.6.1	盾构机的始发和到达 .....	163
7.6.2	盾构机的掘进 .....	165
7.6.3	辅助工法 .....	165
7.7	盾构隧道结构防排水 .....	166
7.7.1	管片防水 .....	166
7.7.2	管片接缝防水 .....	167
7.8	盾构法隧道施工监测 .....	168
7.9	工程实例 .....	169
7.9.1	上海长江隧桥工程 .....	169
7.9.2	上海外滩通道工程 .....	173
7.9.3	武汉长江隧道 .....	177
<b>8</b>	<b>TBM 法隧道结构 .....</b>	<b>181</b>
8.1	概述 .....	181
8.2	TBM 的分类 .....	181
8.2.1	支撑式(敞开式或开敞式)TBM .....	182
8.2.2	护盾式 TBM .....	182
8.2.3	扩孔式 TBM .....	183
8.2.4	摇臂式 TBM .....	184
8.3	TBM 的构造 .....	184
8.3.1	刀具及刀盘 .....	184
8.3.2	反力支承靴部 .....	185
8.3.3	推进部 .....	186
8.3.4	排土部 .....	186
8.3.5	TBM 的附属设施 .....	187
8.4	采用 TBM 法的基本条件 .....	187
8.4.1	工程地质条件 .....	187

8.4.2	机械条件	188
8.4.3	开挖长度	188
8.4.4	工程所在地的设施条件	189
8.5	TBM 法的支护技术	189
8.6	工程实例	190
8.6.1	台湾雪山隧道	190
8.6.2	秦岭铁路隧道	192
<b>9</b>	<b>沉管结构</b>	<b>194</b>
9.1	概述	194
9.1.1	沉管隧道的特点	194
9.1.2	沉管隧道的分类	195
9.2	沉管结构设计	197
9.2.1	沉管的断面形状和尺寸	197
9.2.2	沉管的浮力设计	198
9.2.3	作用在沉管结构上的荷载	198
9.2.4	管段结构设计	199
9.2.5	管段接头设计	201
9.2.6	基础设计	203
9.2.7	竖井和引道设计	206
9.3	接缝管段处理与防水措施	207
9.3.1	变形缝布置与构造	207
9.3.2	止水缝带	208
9.3.3	管段外壁防水措施	208
9.3.4	钢壳与钢板防水	208
9.3.5	卷材防水	208
9.4	沉管隧道施工过程	209
9.4.1	管段制作	209
9.4.2	沟槽施工	209
9.4.3	管段的浮运	209
9.4.4	管段的沉放与水下连接	211
9.4.5	回填与覆盖	213
9.5	工程实例——港珠澳大桥沉管段	213
9.5.1	工程概况	213
9.5.2	沉管段介绍	214

<b>10 顶管法施工</b> .....	218
10.1 引言.....	218
10.2 顶管的关键技术.....	219
10.3 顶管的工程设计.....	220
10.3.1 工作井的设置 .....	220
10.3.2 顶管顶力的计算 .....	221
10.3.3 顶管承压壁后靠土体的稳定性验算 .....	222
10.4 常用顶管工具管.....	226
10.5 中继环.....	228
10.5.1 中继接力原理 .....	228
10.5.2 中继环构造 .....	229
10.5.3 中继环自动控制 .....	230
10.6 管道及其接口.....	230
10.6.1 排水管道.....	231
10.6.2 煤气管道.....	231
10.6.3 上水管道.....	231
10.7 顶管法施工主要技术措施.....	232
10.7.1 顶进中的方向控制 .....	232
10.7.2 减少顶进阻力的措施 .....	233
10.8 工程实例——嘉兴市污水处理排海管道工程.....	235
10.8.1 工程概况.....	235
10.8.2 顶管机型选择 .....	235
10.8.3 顶进技术措施 .....	236
<b>11 沉井法</b> .....	238
11.1 引言.....	238
11.2 沉井的分类、组成及其施工方法 .....	241
11.2.1 沉井的类型 .....	241
11.2.2 沉井结构组成 .....	243
11.2.3 沉井的施工方法 .....	244
11.3 沉井的下沉阻力.....	246
11.3.1 刃脚反力的计算 .....	246
11.3.2 侧摩阻力的计算 .....	247
11.3.3 稳定系数和下沉系数 .....	248
11.4 沉井的结构设计计算.....	249



11.4.1	沉井底节验算	249
11.4.2	沉井井壁计算	250
11.4.3	沉井刃脚验算	252
11.5	沉井的封底计算	256
11.6	南京长江四桥北锚碇沉井的下沉	258
11.6.1	工程概况	258
11.6.2	下沉方案	259
11.6.3	下沉过程	261
11.6.4	监控成果	261
<b>12</b>	<b>地下结构工程引起的环境问题</b>	<b>265</b>
12.1	基坑工程引起的环境问题	265
12.1.1	围护结构施工的环境影响	266
12.1.2	基坑开挖对环境影响的预测	268
12.1.3	环境保护措施	270
12.2	盾构施工引起的环境问题	271
12.2.1	盾构施工引起地层变形的的主要规律	271
12.2.2	盾构施工引起地层变形的机理	272
12.2.3	盾构施工引起地层变形的预测方法	273
12.2.4	环境保护措施	274
12.3	顶管施工引起的环境问题	274
12.3.1	顶管施工时的地层移动机理	274
12.3.2	顶管施工引起地层移动的预测方法	276
12.3.3	环境保护措施	276
12.4	降水对环境的影响	276
12.4.1	降水引起的地面沉降	276
12.4.2	降水引起地面沉降的估算	277
12.4.3	环境保护措施	278
	<b>参考文献</b>	<b>279</b>