

深基坑防渗体的设计施工与应用

Design, construction and application
of impervious works for deep foundation pit

丛葛森 杨晓东 田 彬 著



深基坑防渗体的设计施工与应用

**Design, construction and application of impervious
works for deep foundation pit**

丛蔼森 杨晓东 田 彬 著

内容提要

本书是根据作者长期从事设计、科研、施工、咨询和管理的经验和体会,参考国内外地下连续墙、深基础及深基坑的最新经验编写而成的。本书比较系统地介绍了深基坑的渗流分析和计算方法;提出地基土、地下水与结构物相结合,基坑侧壁防渗、水平防渗与基坑降水相结合,安全、质量与经济相结合的基本设计原则;提出了深基坑防渗体的概念和由渗流稳定条件确定深基坑最小入土深度的计算原则;改进了原有的设计路线。本书对现有基坑支护技术规范(程)进行了讨论,对如何看待和使用这些规范(程)提出了建议。

本书分为四篇共25章,分别阐述了深基坑渗流分析与计算方法、深基坑防渗体设计、深基坑工程施工和监测,以及国内外的深基坑(深基础)工程实例。本书对深基坑的设计施工有指导参考意义。

责任编辑:陆彩云 石陇辉
封面设计:智兴设计室·张国仓

责任校对:董志英
责任出版:卢运霞

图书在版编目(CIP)数据

深基坑防渗体的设计施工与应用/丛蔼森,杨晓东,田彬著. —北京:
知识产权出版社,2012.1
ISBN 978-7-5130-0397-1

I. ①深… II. ①丛… ②杨… ③田… III. ①深基坑—防渗体—施工
设计 IV. ①TU46

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第247994号

深基坑防渗体的设计施工与应用

Shenjikeng Fangshenti De Sheji Shigong Yu Yingyong

丛蔼森 杨晓东 田 彬 著

出版发行:知识产权出版社

社 址:北京市海淀区马甸南村1号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话:010-82000860 转 8101/8102

编辑电话:010-82000860 转 8110

印 刷:北京富生印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 次:2012年3月第1版

字 数:1381千字

ISBN 978-7-5130-0397-1/TU·029 (3865)

邮 编:100088

邮 箱:bjb@cnipr.com

传 真:010-82005070/82000893

编辑邮箱:lcy@cnipr.com

经 销:新华书店及相关销售网点

印 张:53.75

印 次:2012年3月第1次印刷

定 价:120.00元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

序 言



钱七虎

本书是一本论述深大基坑渗流分析及防渗体设计、施工的专著，是第一作者丛蒨森教授级高级工程师组织、率领他的团队多年来在该领域密切结合工程实际进行设计、施工、科研、咨询和管理工作的系统总结。

深大基坑是伴随着现代大型基础工程建设发展起来的。在 20 世纪第二次世界大战以后的国民经济恢复时期，西方发达国家和日本相继建成了大量深大基础工程。这期间，经过不断探索、研究，在工作中创造性地开发出地下连续墙工法，正是由于这种工法的出现和实施，才使深大基坑和基础工程实现跨越式的发展。

在国际范围内，意大利于 1950 年率先在坝工领域建成世界上第一座地下连续墙。随后，在美国、德国、日本等国家迅速得到推广应用。近年来，在日本最大基坑开挖深度达 110.1m，使用超级液压铰槽机和抓斗建成的地下连续墙深度达 140m，厚度达 2.8m，均居国际前列。

目前，在各国的深大基坑建设中，地下连续墙工法已普遍应用于水利、水电、矿山、建筑、城市地铁、减灾防灾、环境保护等领域，取得了显著的社会效益和经济效益。

我国于 20 世纪 50 年代后期，在青岛月子口、北京密云水库开始试验并应用地下连续墙技术。此后在各种深大基坑基础建设中不断加以推广，应用范围日益扩大。目前，国内最深的地下防渗墙达 158m（西藏旁多水电站）。最深的地下连续墙达 77m，深基础和深基坑的开挖深度达 50.1m。

值得注意的是，进入 21 世纪以来，在全球范围内，经济发展和基础建设格局发生了相当大的变化。在欧美等发达国家，由于经济发展缓慢，基础建设相对萎缩；而在我国，随着国民经济的腾飞，各个领域的大规模基础建设工程不断涌现，从而有力地推动了深大基坑设计、施工技术的长足进步。

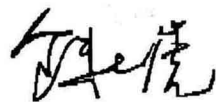
但是，在取得辉煌成绩的同时，我国在深大基坑建设中也发生了不少事故，有的甚至造成人员伤亡。究其原因，大部分事故与基坑渗流设计、施工不当有关。加之现行规程、规范对上述问题论述甚少，远不能满足工程要求。因此，著者在分析、总结国内外大量科研成果和工程实例的基础上，就此专题进行全面、系统的论述是十分必要的。专著中不乏创新性观点，如著者提出的地基土、地下水和结构物相结合，基坑侧壁防渗、水平防渗和基坑降水相结合，安全、质量和经济相结合的设计原则，以及深基坑防渗体的概念和由渗流稳定条件确定深基坑最小入土深度的计算原则等都值得大家关注。

专著的第一作者丛蒨森同志是国际基础协会会员，中国岩石力学与工程学会理事、锚固与注浆分会副理事长，中国水利学会地基基础委员会副主任委员，中国深基础协会理事。历年来，丛蒨森同志积极参加了国内外各种学术活动，在从事或主持水利、市政、环

保和地基基础工程的规划、设计和科研工作 27 年之后，近 20 年来主要在深大基坑工程建设施工领域辛勤耕耘，不断探索，持续创新。在治学过程中，他始终把参与工程实践放在重要地位，善于从工程实践中发现问题，解决问题，提高理论水平，促进学科发展。他的代表性专著《地下连续墙的设计施工与应用》于 2001 年出版后，深受广大读者的欢迎。

现在，为满足工程上的迫切需要，丛蔼森同志又主持出版一本新的专著《深基坑防渗体的设计施工与应用》，无疑具有十分重要的意义。

本书的特点在于理论密切联系实际，论证充分、深入浅出，便于广大工程技术人员在设计施工中应用。此外，该书列举了大量工程实例，既包括大量成功的经验，也包括不少失败的教训，便于读者学习、借鉴。不言而喻，该书的问世必将进一步推动深大基坑学科发展、工程应用及相关规程、规范的修订，不但填补了国内的空白，在国际领域也堪称上流。



中国工程院院士

中国岩石力学与工程学会理事长

2011 年 10 月 12 日

前言

本书讨论的是深大基坑的渗流分析与防渗体设计。

基坑，土中挖坑是也。自从人类从树上走向大地，先是利用天然岩洞得以栖身，后来发展到在土中挖坑，上覆树枝、树皮以为房屋，生生不息。更有大者，相传轩辕黄帝在涿鹿的丘山之中，掘土以为城池，以御外敌。现在西北高原上的黄土窑洞，想必是先民遗风吧。这都是很久远的历史了。

现代基坑工程是随着资本主义的工业革命起步和发展的。高大建筑物必须有深厚的基础才能站立在历史的长河边，而要把它建设完成，则必须先把基坑挖好。

这里要指出的是，随着地下连续墙技术的出现和发展，才使深大基坑工程能够以日新月异的速度向深、大、难方向发展。所以这里要回忆一下地下连续墙的由来和发展历程。

地下连续墙首先是由意大利 1950 年在水库大坝中建成的，至今已有 60 年历史。其后在米兰地铁中得到应用，又推广到其他工程中。

1954 年建成了槽板式地下连续墙，也就是我们常说的地下连续墙。此后，德国、日本和美国相继引进效仿和发展。

我国是在清华大学黄文熙教授 1957 年赴意大利考察后，1958 年在青岛月子口试验建成了桩排式防渗墙，1958~1959 年在密云水库试验建成了槽孔（板）式防渗墙，这就是目前大量应用的地下连续墙的前身。可见我国的地下连续墙技术起步并不算晚，但在施工设备制造能力和施工水平上相对弱些。

我国从 20 世纪 80 年代末和 90 年代初开始引进国外的液压抓斗，2000 年以后又引进了国外的液压双轮铣，并进行了一些自主生产和自主研发创新，使我国的地下连续墙技术越来越接近了国际先进水平。

日本的地下连续墙技术在上世界上最先进的，已经使用超级液压铣槽和抓斗建成了最深 150m 厚度达 2.8m 的地下连续墙，最大的深基坑（竖井）内径达到 144m，开挖深度已达到 110.1m。

我国目前在西部地区的高山峡谷中建设的水电站，如西藏旁多水电站的防渗墙已经达到了 158m；深基础和深基坑的开挖深度最大达到 50.1m，地下连续墙的深度达到了 77m，墙厚达到 1.5m，取得了可喜的成果。

近年来，我国经济建设飞速发展，各类基础设施和许多大型、超深的基坑和深基础工程正在进行规划设计和施工。由于设计、施工地质勘察和运行管理方面的缺陷和失误，导致了不少基坑发生了质量事故，有的则涉及人身安全，造成了不必要的损失，日益引起人们的重视。

在这些事故中，有 80% 以上是与水有关系的。由于对基坑渗流理解不深，造成了一些本来可以避免的工程事故。

从事故的原因来分析，涉及规划设计、地质勘探、施工工艺和运行管理以及监理等方

面。笔者认为设计是重要环节,有的设计本身就存在问题,即使再认真施工,避免不了发生渗流破坏。而目前设计所采用的基坑支护设计规范存在不少问题,这才是问题的根源所在。所以对这些规程有必要进行讨论、修改。总之,在深基坑的设计施工中,还存在着一些似是而非的、认识不一致的模糊问题,需要集思广益、取长补短、深入探讨这些问题。

笔者(指本书第一作者,以下同)从事水工建筑、岩土和地基基础工程设计 27 年后,又从事地基基础施工 20 年,积累了一定的设计、施工的心得体会,并于 2001 年出版了《地下连续墙的设计施工与应用》一书。笔者先后三次主持地下连续墙和深基坑的科研课题研究,并对多个地方的深基坑工程进行了技术咨询。在近几年接触的各种深基坑工程中,笔者深感深大基坑的渗流分析计算与防渗体设计施工等方面存在着对地下水认识不深、对渗流问题理解更少的问题。而目前的规范、规程中和一些书籍中,对此关注也少,有些只是浅显的内容。从施工实践来看,需要一本深入浅出、实用的深基坑渗流方面的书籍供有关人员学习、参考。

笔者希望把自己在地下连续墙设计施工、科研和现场咨询以及在深基坑渗流和防渗体设计施工方面的心得体会,以及收集到的国内外有关方面的最新资料,写入此书,供大家参考。

本书是根据笔者长期从事设计、科研、施工、咨询和管理的经验和体会,参考国内外地下连续墙、深基础及深基坑的最新经验编写而成的。本书比较系统地介绍了深基坑的渗流分析和计算方法;提出地基土、地下水和结构物相结合,基坑侧壁防渗、水平防渗和基坑降水相结合,安全、质量和经济相结合的基本设计原则;提出了深基坑防渗体的概念和由渗流稳定条件确定深基坑最小入土深度的计算原则;改进了原有的设计路线。本书对现有基坑支护技术规范(程)进行了讨论,对如何看待和使用这些规范(程)提出了建议。

本书共分四篇 25 章,分别阐述了深基坑渗流分析与计算方法、深基坑防渗体设计、深基坑工程施工和监测,以及国内外的深基坑(深基础)工程实例。本书对深基坑的设计施工有指导参考意义。

本书由从蔼森主笔写稿。本书在写作过程中,中国科学院地质和地球物理研究所傅冰骏研究员、原华北水电学院院长张镜健教授和中国水利水电科学研究院副院长、中国岩石力学与工程学会锚固与注浆分会主任委员杨晓东教授等专家,参与了本书策划工作,并审阅了本书重点章节内容。杨晓东教授还参与了部分章节的写作,中国水电七局、成都水利水电建设有限公司田彬高级工程师参与施工篇和应用篇的策划和部分章节的编写工作。在此表示衷心感谢!

梁建民工程师全程参与了本书的写作和组织编排工作,在此表示感谢。对于参与电算的许国安研究员、刘昌军高级工程师、李鹏辉教授和高晓军总工程师,表示衷心感谢!对于提供技术资料的各位同行表示感谢!

丛蔼森

2011 年 8 月 3 日

目 录

第一篇 概 论

第 1 章 基坑工程概述	1
1.1 基坑的基本概念	1
1.2 地下连续墙的优缺点	1
1.3 深基坑和深基础工程的发展概况	2
1.3.1 概述	2
1.3.2 地下连续墙的施工深度	2
1.3.3 基坑内部开挖深度	2
1.3.4 钢筋混凝土地下连续墙的厚度	3
1.3.5 深基坑的平面尺寸	3
1.3.6 混凝土的强度	3
1.3.7 地下连续墙深基础	4
1.4 基坑工程的设计要点	4
1.4.1 概述	4
1.4.2 支护结构的内力计算与细部设计	4
1.4.3 防渗和降水设计	4
1.4.4 地基处理设计	5
1.4.5 检测和监测	6
1.5 设计思路的改进	6
1.6 本书写作说明	7
第 2 章 地基土(岩)和地下水的基本概念	8
2.1 概述	8
2.1.1 土的基本概念	8
2.1.2 土的矿物成分和特性	8
2.2 土的基本性能	8
2.2.1 土的物理性质和化学特性	8
2.2.2 土的基本力学性质	10
2.2.3 土的分类	11
2.2.4 几种特种土	12
2.3 岩石的基本概念	12
2.3.1 岩石的分类	12
2.3.2 岩石的基本性能	15

2.3.3 残积土和风化带	16
2.4 地下水	19
2.4.1 地下水分类	19
2.4.2 地下水特性	20
2.4.3 地下水的作用	22
2.4.4 地下水对基坑工程的影响	22
2.4.5 岩石中的地下水	23
2.5 土的渗透性	24
2.5.1 基本概念	24
2.5.2 土的渗透性和达西定律	25
2.5.3 渗流作用力	27
2.5.4 渗透系数的测定和参考建议值	29
2.6 流网和电拟实验	35
2.6.1 概述	35
2.6.2 描述稳定渗流场的拉普拉斯方程	35
2.6.3 流网的一般特征	36
2.6.4 电拟实验	37
2.7 渗流破坏类型和判别	39
2.7.1 概述	39
2.7.2 土体渗流破坏型式	40
2.7.3 临界渗透坡降的计算	43
2.7.4 渗流破坏型式的判别	47
2.7.5 砂砾地基的渗透变形特点	52
2.7.6 黏性土地基的渗透变形特点	54
2.7.7 坑底残积土渗透破坏判别	55
2.8 砂的液化	55
2.9 本章小结	57
2.9.1 土(岩)和地下水的相互作用和影响	57
2.9.2 土的渗透破坏	57
2.9.3 粉细砂的液化问题	57
2.9.4 计算单位问题	57
第3章 槽孔的稳定	59
3.1 概述	59
3.2 非支撑槽孔的稳定	59
3.2.1 干砂层中挖槽	59
3.2.2 黏土层内挖槽	60
3.3 黏土中泥浆槽孔的稳定	61
3.3.1 稳定分析方法	61
3.3.2 黏土中挖槽的特殊问题	62
3.4 砂土中泥浆槽孔的稳定	64

3.4.1 干砂中泥浆槽孔的稳定性	64
3.4.2 含水砂层中泥浆槽孔的稳定性	65
3.4.3 粉砂及粉质砂土中的深槽	66
3.4.4 砂土中挖槽的特殊问题	66
3.5 槽孔稳定性的深入研究	67
3.5.1 黏土中的槽孔	67
3.5.2 浇注混凝土时的槽孔稳定	68
3.5.3 砂土中的深槽	68
3.5.4 泥浆的渗透作用	69
3.5.5 泥皮对槽孔稳定的影响	70
3.5.6 槽孔的圆弧滑动	72
3.5.7 槽孔的稳定分析	72
3.6 泥浆的流变性对槽孔稳定的影响	77
3.7 深槽周围的地面沉降	78
3.8 泥浆与地基土的相互作用	78
3.8.1 护壁	79
3.8.2 渗透	79
3.8.3 界面化学作用	80
3.9 关于槽孔稳定问题的讨论	81
3.9.1 有利于槽孔稳定的因素	81
3.9.2 不利于槽孔稳定的因素	81
3.9.3 提高槽孔稳定性的措施	81
3.10 混凝土浇注过程中的槽孔稳定性	82
3.10.1 非常松散的砂基	82
3.10.2 软土地基	82
3.10.3 黏性土地基	82
3.11 工程实例	82
3.12 本章小结	85
第4章 地下连续墙和深基坑(础)的试验研究成果和论文	86
4.1 槽孔混凝土成墙规律试验研究	86
4.1.1 概述	86
4.1.2 模型设计制作	86
4.1.3 试验方法及内容	88
4.1.4 槽孔混凝土的流动形态	89
4.1.5 在泥浆下浇注槽孔混凝土的几种现象	97
4.1.6 地下连续墙质量缺陷的试验研究	98
4.2 地下连续墙质量缺陷和预防	105
4.2.1 地下连续墙墙体质量缺陷	105
4.2.2 其他质量缺陷	109
4.3 多层地基和承压水深基坑的渗流问题探讨	111

4.3.1	引言	111
4.3.2	对基坑支护的基本要求	112
4.3.3	深基坑渗流特性	112
4.3.4	基坑渗流计算	113
4.3.5	深基坑抗渗设计要点	117
4.3.6	基坑渗流控制措施	118
4.3.7	结论	119
4.4	当前基坑支护工程必须考虑渗流稳定问题	
	——《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999) 中有关问题的讨论	119
4.4.1	当前基坑工程出现的一些问题	119
4.4.2	从实践中发现 JGJ 120—1999 存在的一些不足之处	120
4.4.3	对基坑渗流压力与静水压力的理解	120
4.4.4	对承压水的理解	120
4.4.5	对基坑土体多样(层)性的认识	120
4.4.6	对入土深度 h_d 的讨论	121
4.4.7	基坑坑底的渗流稳定分析	124
4.4.8	对基坑防渗体和地下连续墙合理深度的讨论	125
4.4.9	关于基坑降水(水位)的讨论	126
4.4.10	结语	127
4.5	非圆形大断面的地下连续墙深基础工程综述	127
4.5.1	引言	127
4.5.2	井筒式地下连续墙基础	129
4.5.3	墙桩(条桩)的设计	133
4.5.4	我国的应用实例	136
4.6	高压喷射灌浆技术的最新进展	144
4.6.1	概述	144
4.6.2	单管法的新进展	146
4.6.3	改良后的二重管法	146
4.6.4	三重管法	146
4.6.5	多重管法	147
4.6.6	超级喷射法(SUPER JET)	147
4.6.7	交叉喷射法(X-JET)	148
4.6.8	喷射搅拌法(JACSMAN)	149
4.6.9	低变位喷射搅拌工法(LDis)	150
4.6.10	扩幅式喷射搅拌工法(SEING-JER)	150
4.6.11	喷射干粉工法	150
4.6.12	苏联的喷射冷沥青技术	150
4.6.13	意大利的 RJP 工法	152
4.6.14	关于浆液的改进	155
4.6.15	关于高喷灌注体的质量检验	155

4.6.16 结语	156
第5章 深基坑支护工程总体设计要点	157
5.1 概述	157
5.1.1 发展概况	157
5.1.2 我国发展概况	158
5.2 深基坑支护结构设计要点	159
5.2.1 概述	159
5.2.2 深基坑支护的主要型式	162
5.2.3 支护结构选型	168
5.2.4 基坑安全等级分类	169
5.2.5 设计基本原则	169
5.2.6 设计内容	170
5.3 设计荷载和计算参数	170
5.3.1 概述	170
5.3.2 土的抗剪强度与强度指标的选定	171
5.3.3 土压力计算	178
5.3.4 地下水对土压力的影响和计算	187
5.3.5 特殊情况下的土压力	190
5.3.6 土的常用参数及其选用	190
5.3.7 结构及土体参数的选用计算	196
5.4 地下连续墙设计	200
5.4.1 概述	200
5.4.2 地下连续墙的特点和适用条件	200
5.4.3 地下连续墙的细部设计	201
5.4.4 T形地下连墙设计要点	205
5.4.5 我国的T形地下连续墙	211
5.5 基坑土体加固	214
5.5.1 概述	214
5.5.2 基坑内被动区的加固方法	215
5.5.3 被动区加固设计	218
5.5.4 基坑加固的其他方法	221
5.6 本章小结	223
第6章 井筒式深基础工程设计要点	225
6.1 概述	225
6.1.1 发展概况	225
6.1.2 地下连续墙基础的分类	227
6.2 井筒式基础的设计	228
6.2.1 概述	228
6.2.2 深基础的设计条件	230
6.2.3 设计流程	231

6.2.4	基础的平面形状	232
6.2.5	基础的稳定计算	232
6.2.6	细部设计	239
6.2.7	顶板（承台）的设计	243
6.2.8	设计实例 1	244
6.2.9	设计实例 2	250
6.3	建筑深基础的设计要点	253
6.3.1	概述	253
6.3.2	周边地下连续墙桩	254
6.3.3	组合建筑基础的设计	260
6.4	本章小结	267

第二篇 深基坑的渗流分析和防渗体设计

第 7 章	深基坑的渗流分析与计算	270
7.1	概述	270
7.1.1	渗流分析的目的	270
7.1.2	渗流计算内容	270
7.1.3	渗流计算水位	271
7.1.4	最不利的计算情况	271
7.2	基坑渗流的基本计算方法	271
7.2.1	概述	271
7.2.2	基坑渗流水压力计算	272
7.2.3	基坑底部垂直渗流水压力计算	274
7.2.4	水下混凝土底板的抗浮计算	276
7.2.5	板桩基坑中的渗流计算	278
7.2.6	基坑支护水压力探讨	280
7.3	深基坑综合渗流分析方法和实例	281
7.3.1	概述	281
7.3.2	基坑工程基本资料	281
7.3.3	计算原理和方法	282
7.3.4	计算研究的成果分析	284
7.3.5	坑底地基的渗透稳定分析和安全评估	290
7.3.6	小结	292
7.4	三维空间有限元 1	292
7.4.1	概述	292
7.4.2	燕塘站基坑渗流计算	292
7.5	三维空间有限元 2	298
7.5.1	概述	298
7.5.2	燕塘站计算结果及分析	298
7.6	支护墙（桩）裂隙渗流计算	306

7.6.1	概述	306
7.6.2	工程概况	306
7.6.3	桩间空隙的渗流计算	306
7.6.4	渗流计算结果	307
7.6.5	桩间灌浆帷幕的评价	311
7.6.6	咬合桩防渗帷幕实例	311
7.6.7	防渗墙的开叉(裂缝)	315
7.7	潜水条件下基坑渗流分析小结	315
7.7.1	概述	315
7.7.2	地下连续墙悬挂在砂层中	316
7.7.3	地下连续墙悬挂在坑底表层有黏土的砂层中	316
7.7.4	地下连续墙悬挂在双层地基中	317
7.7.5	地下连续墙底深入黏土层内	317
7.7.6	小结	318
7.8	深基坑防渗体渗流分析小结	318
7.8.1	概述	318
7.8.2	深基坑防渗体深度的确定	318
7.8.3	渗流计算方法的选定	320
7.8.4	潜水和承压水的渗流计算方法	321
7.8.5	水泵失电(动力)计算和防护	322
7.8.6	岩石风化层对渗流的影响	322
第8章	深大基坑的渗流控制	324
8.1	渗流控制的基本任务	324
8.2	渗流控制原则	324
8.2.1	渗流控制目的	324
8.2.2	基本措施	324
8.2.3	防渗和止水	324
8.2.4	基坑降水	324
8.2.5	反滤	325
8.3	允许渗透坡降的参考值	325
8.3.1	渗流安全准则	325
8.3.2	水利水电地质勘察规范	325
8.3.3	水闸设计规范推荐的允许渗流坡降值	326
8.3.4	管涌土允许平均渗流坡降	326
8.3.5	管涌土允许渗透坡降与含泥量的关系	327
8.3.6	黏性土体的允许渗流坡降	327
8.4	对基坑底部地基抗浮稳定的讨论	327
8.4.1	坑底抗浮稳定和结构物抗浮的区别	327
8.4.2	坑底抗浮的有利和不利因素	328
8.4.3	如何判断坑底抗浮稳定性	328
8.5	本章小结	329

第9章 深基坑的防渗体设计	330
9.1 概述	330
9.1.1 设计要点	330
9.1.2 深基坑防渗措施	330
9.1.3 不透水层	331
9.2 基坑底部的防渗轮廓线	332
9.2.1 概述	332
9.2.2 防渗轮廓线设计要点	332
9.2.3 地下连续墙底进入不透水层的必要性	334
9.2.4 小结	335
9.3 地下连续墙的入土深度	335
9.3.1 概述	335
9.3.2 地下连续墙入土深度的确定	335
9.4 深基坑防渗体的合理深度	337
9.4.1 概述	337
9.4.2 基坑的防渗和降水方案的比较	337
9.4.3 防渗墙和帷幕的比较	338
9.4.4 深基坑防渗体的合理深度	338
9.5 深基坑垂直防渗体设计	338
9.5.1 垂直防渗体设计要点	338
9.5.2 地下连续墙兼做防渗墙	339
9.5.3 地下连续墙与灌浆帷幕	343
9.5.4 高压喷射灌浆和水泥土搅拌法	350
9.5.5 深基坑外围防渗体的设计	369
9.6 基坑底部的水平防渗体设计	376
9.6.1 概述	376
9.6.2 坑底水平防渗设计	377
9.6.3 坑底水平防渗措施	378
9.6.4 对水平防渗帷幕漏洞的讨论	382
9.7 悬挂式防渗墙的基坑设计要点	390
9.7.1 何时用悬挂式防渗体	390
9.7.2 设计要点	391
9.7.3 悬挂式基坑支护的防渗设计	391
9.8 深基础的基坑防渗设计	391
9.8.1 概述	391
9.8.2 井筒式深基础的基坑设计要点	392
9.9 本章小结	392
9.9.1 深基坑工程设计的基本原则	392
9.9.2 以渗流控制为主的设计新思路	392
9.9.3 深大基坑应优先考虑防渗为主	392
9.9.4 基坑入土深度的确定	393

9.9.5 深基坑防渗体的概念	393
9.9.6 深基坑垂直防渗体设计	393
9.9.7 坑底水平防渗帷幕	394
9.9.8 深基础的基坑防渗设计	394
9.9.9 悬挂式防渗墙	394
第 10 章 深基坑降水	396
10.1 概述	396
10.1.1 降水的作用	396
10.1.2 基坑渗水量估算	396
10.1.3 降排水方法与适用范围	396
10.1.4 事故停止抽水的核算	397
10.1.5 施工降水引起地面的沉降与变形	397
10.2 基坑降水的最低水位	398
10.2.1 概述	398
10.2.2 地铁接地线施工要求的地下水位	398
10.2.3 残积土基坑的降水水位	398
10.2.4 承压水基坑的降水水位	398
10.3 基坑降水计算	398
10.4 基坑降水设计要点	399
10.4.1 概述	399
10.4.2 应掌握的资料	399
10.4.3 基坑降水设计过程	400
10.4.4 基坑降水应以内降水为主, 外降水为辅	400
10.5 井点降水	400
10.5.1 概述	400
10.5.2 井点降水设计	405
10.5.3 滤水管的设计	408
10.5.4 渗水井点的设计与施工	409
10.5.5 小结	411
10.6 疏干井和减压井	411
10.6.1 概述	411
10.6.2 疏干井设计	411
10.6.3 减压井降水设计	412
10.6.4 小结	415
10.7 超级真空井点降水	416
10.8 回灌	417
10.8.1 概述	417
10.8.2 回灌井的设计	418
10.8.3 回灌井的施工	418
10.9 辐射井降水	419

10.9.1	辐射井概念	419
10.9.2	辐射井出水量的计算	420
10.9.3	辐射井设计要点	422
10.9.4	辐射井的施工要点	424
10.9.5	辐射井施工事故预防	428
10.9.6	辐射井工程实例	429
10.9.7	小结	431
10.10	减少基坑降水不良影响的措施	431
10.10.1	充分估计降水可能引起的不良影响	431
10.10.2	设置有效的止水帷幕, 尽量不在坑外降水	431
10.10.3	采用地下连续墙	431
10.10.4	坑底以下设置水平向止水帷幕	431
10.10.5	设置回灌系统, 形成人为常水头边界	432
10.11	本章小结	432
第 11 章	防渗体接头	433
11.1	概述	433
11.2	对防渗体接头的基本要求	433
11.3	钻凿接头	434
11.3.1	概述	434
11.3.2	套接接头	434
11.3.3	平接接头	434
11.3.4	双反弧接头	435
11.4	接头管	436
11.4.1	概述	436
11.4.2	圆接头管	437
11.4.3	排管式接头管	441
11.4.4	塑料接头管	442
11.4.5	接头管的施工要点	444
11.5	接头箱	444
11.5.1	概述	444
11.5.2	接头箱实例	445
11.6	隔板式接头	447
11.6.1	概述	447
11.6.2	隔板接头实例	448
11.7	预制接头	451
11.8	软接头	452
11.8.1	概述	452
11.8.2	胶囊接头管	452
11.8.3	麻杆接头管	453
11.9	其他接头	454