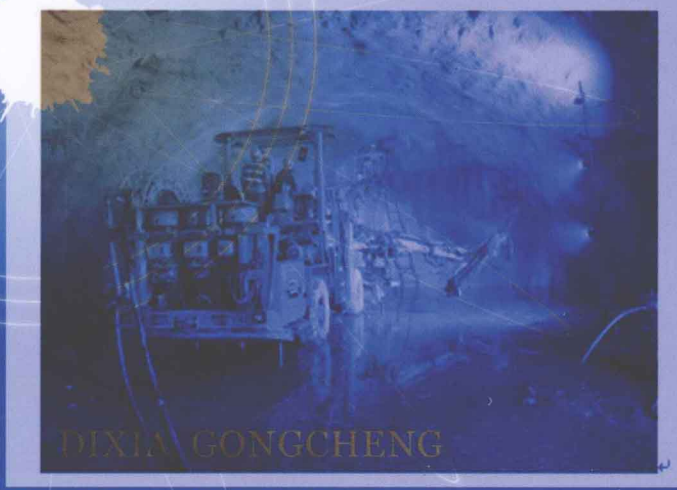




铁路科技图书出版基金资助出版



CHENGYA DIXIASHUI DE  
KONGZHI YU FANGZHI JISHU YANJIU

# 地下工程承压地下水的 控制与防治技术研究

王星华 涂鹏 周书明 龙援青 汪建刚 著

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

# 地下工程承压地下水的 控制与防治技术研究

王星华 涂 鹏 周书明 龙援青 汪建刚 著

中国铁道出版社

2012年·北京

## 内 容 简 介

具有承压地下水特点的地下工程防排水问题是一世界性难题,本书在国家 863 计划项目企业科研基金联合支持下,以实际工程为背景,应用理论分析、数值模拟计算、室内外模型试验、现场测试和现场施工工艺试验等方法,有针对性地研究了承压地下水对地下工程围岩的渗透与破坏机理,获得承压地下水防治与控制的相关技术措施。

本书可供土木工程、铁道工程、交通工程、隧道工程、水利工程等领域的科研人员、工程技术人员参考,也可作为相关专业研究生、本科生的教材和参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

地下工程承压地下水的控制与防治技术研究/王星华等著. —北京:中国铁道出版社, 2012. 12  
ISBN 978-7-113-15346-5

I. ①地… II. ①王… III. ①地下工程-地下水-水处理-研究 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 223691 号

书 名: 地下工程承压地下水的控制与防治技术研究  
作 者: 王星华 涂 鹏 周书明 龙援青 汪建刚

---

责任编辑: 徐 艳 电话: 010-51873193  
编辑助理: 江新照  
封面设计: 郑春鹏  
责任校对: 张玉华  
责任印制: 郭向伟

---

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)  
网 址: <http://www.tdpress.com>  
印 刷: 北京铭成印刷有限公司  
版 次: 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷  
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 27.25 字数: 669 千  
书 号: ISBN 978-7-113-15346-5  
定 价: 85.00 元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)  
打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

## 序 言

应用钻爆法修建隧道,特别是水下隧道工程时,承压地下水的防治若处理不好,将会造成突水、突泥等安全事故,严重影响隧道施工人员的生命安全及施工成本,同样会对隧道运营期间的安全与维护产生影响。

近年来,随着我国国民经济的发展,地下工程的建设也随之快速发展,以满足交通、国防、市政、矿山等各个方面的需求,为此修建了大量的山岭隧道、水下隧道、矿山坑道、城市地铁以及各种地下工程。这些隧道无一例外地都要穿越各种复杂的地质构造单元,所通过的地层中均存在着或多或少的断层破碎带、岩脉侵入带等不良地层,而且遇到的地下水大部分都具有一定的水压力。这些地层的岩石破碎、节理裂隙发育、透水性好,在隧道施工过程中,由于地下水的影响,在施工中极易产生突水、突泥等灾难性事故,是隧道施工中最具危害性的灾害之一,如渝怀铁路的圆梁山隧道、歌乐山隧道等突水事故以及新闻媒体经常报导的煤矿突水事故等。因此,为了保证隧道的安全施工,对隧道施工过程中所遇到的承压地下水必须加以控制与疏导。

含有承压地下水的隧道不同于一般的隧道,有其自身的特殊性,许多设计和施工问题还需进一步地完善和解决。如何安全通过岩层断裂破碎带与岩脉侵入带等不良地层将成为隧道安全施工的关键,也是影响地下水防治工程成败的关键,其中最主要的是如何控制与疏导隧道施工过程中所遇到的承压地下水。国内外对于承压地下水的控制措施也不尽相同,针对各自特点具有不同的设计规范和规定。我国已有的防排水设计规范中,铁路隧道和公路隧道允许采用“全排”或“全堵”防水方式,但是对“以堵为主、限量排放”原则中的限量标准没有明确的规定。对于较高水头的暗挖海底隧道结构的防排水设计而言,目前国内铁路隧道设计规范和公路隧道设计规范都没有明确说明。

承压地下水隧道的防治水工作是一项世界性的高难度课题,本书作者们在国家 863 计划和有关企业科技计划的联合资助下,以精伊霍铁路北天山隧道、青岛胶州湾海底隧道、长沙营盘路湘江隧道与南湖路湘江隧道等实际工程为背景,应用理论分析、数值模拟计算、室内外模型试验、现场测试和现场施工工艺试验等方法,有针对性地研究了承压地下水对地下工程围岩的渗透与破坏机理,获得承压地下水防治与控制的相关技术措施,攻克有压力地下水条件地下工程安全施工的关键技术难题,保证隧道的安全施工,提高了施工效率,降低了施工运营成本,形成具有自主知识产权的承压地下水条件下隧道钻爆法施工的成套关键核心技术。隧道建成后进行了地下水治理效果测试,结果表明隧道结构表面干燥,排水量为

单洞低于  $0.2\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ , 优于设计值  $0.4\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$  的标准, 也优于世界先进水平的代表, 如挪威海底隧道的控制标准  $30\text{L}/\text{min}\cdot 100\text{m}$  ( $0.432\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ ) 和日本青函隧道海底段标准  $45\text{L}/\text{min}\cdot 100\text{m}$  ( $0.648\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ )。这些研究成果在隧道软弱围岩破碎带地段有压地下水防治技术方面获得了突破性进展。

纵观全书, 起点较高, 资料丰富, 内容新颖。本书成果不仅整体上有一定的超前性, 而且对于工程实际具有很好的实用性和指导性。本书的出版将为我国地下工程防治水方面的工程实践提供很好的经验借鉴, 是一本具有较高学术水平和工程指导意义的专著。

作者在本专著中将研究成果翔实地向同行们作了系统的介绍, 相信在促进同行们学术交流的同时, 也能够拓展同行们分析工程问题的思路, 为解决实际问题提供帮助和参考。希望广大读者在阅读本书的同时, 从不同的学科领域出发, 将自己的聪明才智和研究成果贡献给我国的地下工程事业。



中国科学院院士  
中科院寒区旱区环境与工程研究所副所长、研究员  
2012. 9. 29

## 前 言

在修建各种地下工程时,地下水严重影响到地下工程的正常施工和安全运营,特别是承压地下水,对地下工程的施工安全影响更大。如若不能很好地控制与疏导承压地下水,将会在施工过程中造成突水、突泥等灾难性事故,严重影响到施工人员的生命安全与施工成本,同时也影响到地下工程的运营成本。

近年来,我国修建了大批山岭隧道、水下隧道、矿山坑道以及各种地下工程。由于地质条件的千变万化,在地层中所修建隧道也会遇到各种复杂的地质构造单元和断层破碎带、岩脉侵入带等不良地层,而这些不良地层往往都含有大量的地下水,有些甚至与地下暗河相通。随着隧道的埋深越来越大,所遇到的地下水的压力也越来越大,水下隧道的这种情况就更加严重。由于这些地层的围岩破碎、节理裂隙发育、透水性好,当隧道施工通过时,由于地下水的影响,在施工过程中极易产生突水、突泥等灾难性事故,是隧道施工过程中最具危害性的灾害之一。如宜万铁路野三关隧道、厦门翔安海底隧道、渝怀铁路的圆梁山隧道、歌乐山隧道等突水事故以及新闻媒体经常报导的煤矿突水事故等。因此,为了保证隧道的安全施工,对隧道施工过程中所遇到的承压地下水必须加以控制与疏导。

由于含有承压地下水的隧道具有不同于一般隧道的一些特性,许多设计和施工方面的问题还需进一步的完善和解决。如何安全通过地层断裂破碎带与岩脉侵入带等不良地层是隧道安全施工的关键,如何处理与控制承压地下水也是影响地下水防治工程成败与隧道运营成本高低的关键之一,其中最主要的是如何控制与疏导隧道施工过程中所遇到的承压地下水。在施工过程中如果能够很好地控制与疏导承压地下水,一方面能保证施工人员的安全、降低施工成本,另一方面则能减少隧道运营期间的排水量,降低排水的费用,达到降低运营成本的目的。各个国家由于国情不同,对于承压地下水的控制措施与方法也不相同,都针对各自的特点,制定了不同的设计规范和标准。在我国现有的地下工程防排水设计规范中,一方面允许地下工程采用“全排”或“全堵”的防水方式,另一方面也允许采用“以堵为主、限量排放”的防水方式,但是对该原则中的限量排放的标准没有明确的规定。对于具有较高水头的海底隧道和深埋长大山岭隧道结构的防排水设计而言,目前国内的铁路隧道设计规范和公路隧道设计规范都没有明确说明“限量排放”的量到底是多少,这个量是关系到隧道运营期间排水费用高低的关键所在。

为了保障地下工程的施工安全和降低施工成本,减少运营期间的维护费用,

本书以精伊霍铁路北天山隧道、青岛胶州湾海底隧道、长沙营盘路湘江隧道等实际工程为背景,有针对性地研究了承压地下水对地下工程围岩的渗透和破坏机理,得到了承压地下水的防治与控制的有关措施,保证了隧道的安全施工,提高了施工效率,降低了施工和运营成本,形成具有自主知识产权的承压地下水条件下隧道钻爆法施工的成套关键核心技术。隧道建成后所进行的地下水治理效果测试结果表明隧道结构表面干燥,实际的排水量为单洞低于  $0.2 \text{ m}^2/\text{d} \cdot \text{m}$ , 优于设计值  $0.4 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$  的标准,也优于世界先进水平的代表:挪威海底隧道控制标准  $30 \text{ L}/\text{min} \cdot 100\text{m}$  ( $0.432 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ ) 和日本青函隧道海底段标准  $45 \text{ L}/\text{min} \cdot \text{m}$  ( $0.648 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ )。

本书是国家 863 高科技计划和有关企业科研基金资助的几个项目研究成果的总结。本书作为承压地下水隧道防治水方面的专著,共分 7 篇,共 44 章。第一篇主要论述了承压地下水条件下隧道围岩的应力场、位移场与渗流场相互之间的耦合关系;第二篇论述了承压地下水隧道注浆效果的检测方法、理论与工程实例;第三篇论述了承压地下水隧道超前地质预报的方法、理论与工程实例;第四篇论述了注浆浆液结石体使用寿命评估方法的原理、理论与测试仪器;第五篇依托工程——青岛胶州湾海底隧道论述了注浆工艺的特点;第六篇依托工程——北天山隧道论述了注浆工艺的特点;第七篇论述了承压地下水隧道防排水设计方法、原理及特殊防排水工艺与材料的应用。

本书在撰写过程中得到了中铁十七局集团精伊霍铁路项目指挥部、中铁隧道勘测设计院青岛胶州湾海底隧道项目部、中铁二局青岛胶州湾海底隧道项目部、中铁十六局青岛胶州湾海底隧道项目部、中铁隧道局青岛胶州湾海底隧道项目部等单位的帮助,他们提供了大量的现场实际资料 and 现场试验的方便,也要感谢中铁十七局的段东明、荆学亚、张秋生、潘敏、罗忠贵等人所提供的丰富的北天山隧道现场数据和资料,中铁隧道设计院的周书明、张先锋等人所提供的大量海底隧道的设计资料,中铁二局的龙援青、伍智清、卿三惠、方朝刚,中铁十六局的黄忆龙、陈广亮、凌树云、江波,中铁七局的毛锁明、王建军等人所提供的相关青岛胶州湾隧道的注浆资料,也要感谢中铁十六局青岛胶州湾海底隧道项目部的凌树云、江波等人为注浆的室内试验所提供的场地和材料!

感谢刘园园、方晓慧、孙建林、庄乐等研究生为书稿的文字校对所做的工作!此外,本课题的研究工作得到了“国家高科技发展计划(863 计划)”项目基金的资助(No. 20077AA11Z134),也得到了中铁二局科研基金(No. 009R023)、中铁七局科研基金(No. 2008-04)、中铁十六局科研基金(No. 2009R01-009)的联合资助,在此一并表示感谢。本书的出版得到了铁路科技图书出版基金的资助,在此表示感谢,笔者也衷心感谢铁道出版社有关人员为本书的出版所付出的辛勤劳动和努力。

我国最年轻的科学院院士赖远明博士为本书所作的序言,既是对作者的鼓

励,也是对作者的鞭策。在此,非常感谢赖院士从百忙中抽出时间为本书写序。

本书是以作者所参与的研究课题的相关科研成果为基础而整理成文的,时间仓促,难免存在错漏,敬请各位读者批评指正,伺机修正。

作者

2012年9月于长沙



# 目 录

## 第一篇 承压地下水条件下隧道围岩应力场、位移场与渗流场耦合研究

第 1 章 绪 论	3
1.1 国内外承压地下水隧道建设发展现状与存在的问题	3
1.2 隧道围岩稳定性研究现状与存在的问题	10
1.3 裂隙岩体中渗流场研究现状与存在的问题	12
1.4 隧道衬砌外水压力研究现状与存在的问题	14
第 2 章 隧道围岩渗流场研究	16
2.1 引 言	16
2.2 岩石断裂带隧道围岩的岩性特征与力学性质研究	16
2.3 隧道岩石断裂带与围岩的水力学特性、渗流场特性	18
2.4 裂隙岩体地下水渗流的数学模型研究	19
2.5 裂隙介质渗流规律	21
2.6 岩体渗流场与应力场的相互作用机理	24
2.7 岩体渗流场与应力场、位移场耦合的数学模型	26
2.8 岩体渗流场与应力场、位移场耦合的解析解、数值解	31
2.9 裂隙岩体渗流场的数值模拟分析	33
2.10 本章小结	38
第 3 章 隧道围岩的结构力学性能分析研究	39
3.1 屈服条件	39
3.2 模型建立	43
3.3 弹塑性分析	43
3.4 地下水对岩体力学性质的影响	48
3.5 圆形隧道围岩与衬砌相互作用的弹塑性研究	50
3.6 仰拱对隧道力学特性的影响	52
3.7 隧道超欠挖力学效应的研究	53
3.8 本章小结	54
第 4 章 隧道围岩稳定的力学场、位移场与渗流场的流固耦合分析研究	55
4.1 有限差分法及 FLAC 3D 简介	55
4.2 FLAC 3D 在流固耦合分析中的应用	56
4.3 隧道衬砌外水压力研究	63

4.4	计算方法的分析	63
4.5	衬砌背后水压力的影响因素	65
4.6	隧道衬砌背后水压力的数值模拟分析	65
4.7	本章小结	87
<b>第5章</b>	<b>实际隧道的数值模拟</b>	<b>88</b>
5.1	青岛胶州湾海底隧道施工数值模拟	88
5.2	北天山隧道施工数值模拟	101
5.3	本章小结	112
<b>第6章</b>	<b>隧道断裂破碎带注浆设计</b>	<b>113</b>
6.1	青岛胶州湾海底隧道 F <sub>4-4</sub> 断裂破碎带注浆设计	113
6.2	北天山隧道注浆施工设计	122
6.3	本章小结	126
<b>第7章</b>	<b>隧道最大涌水量预测</b>	<b>127</b>
7.1	隧道涌水量预测方法的研究	127
7.2	隧道涌水量与各量值之间的关系	129
7.3	承压地下水山岭隧道涌水量预测方法	131
7.4	海底隧道涌水量预测方法	136
7.5	多年冻土地区隧道涌水量预测方法	139
7.6	工程实例	139
<b>第8章</b>	<b>结 论</b>	<b>150</b>

## 第二篇 承压地下水隧道注浆效果检测研究

<b>第1章</b>	<b>绪 论</b>	<b>155</b>
1.1	注浆的起源、发展、现状、趋势	155
1.2	注浆效果评价方法的研究现状、发展趋势	159
1.3	注浆效果检查的意义	161
<b>第2章</b>	<b>注浆浆液流变学</b>	<b>162</b>
2.1	浆液的流变性	162
2.2	宾汉流体	165
2.3	幂律体浆液扩散公式	167
<b>第3章</b>	<b>注浆浆液在孔隙地层中的流动规律</b>	<b>169</b>
3.1	牛顿流体粗糙裂隙的渗流规律	169
3.2	非牛顿流体粗糙裂隙渗流规律的研究	171
3.3	牛顿流体扩散模型	173

3.4	宾汉姆流体的扩散模型 .....	179
3.5	Herschel-Bulkley 浆液在裂隙岩体中的扩散规律研究 .....	184
<b>第4章</b>	<b>注浆效果检测方法研究</b> .....	<b>188</b>
4.1	分 类 .....	188
4.2	静力触探法 .....	189
4.3	旋转触探法 .....	193
4.4	弹性波探查法 .....	200
4.5	电 探 法 .....	207
4.6	注浆效果检查的物探法研究 .....	214
<b>第5章</b>	<b>注浆效果检测实例分析</b> .....	<b>217</b>
5.1	注浆前 TSP 超前预报成果分析 .....	217
5.2	注浆后 TSP 超前预报成果分析 .....	219
5.3	开挖后岩层注浆效果分析 .....	220
<b>第6章</b>	<b>结 论</b> .....	<b>222</b>

### 第三篇 承压地下水隧道超前地质预报研究

<b>第1章</b>	<b>绪 论</b> .....	<b>225</b>
1.1	地质分析方法 .....	225
1.2	地球物理探测方法 .....	226
1.3	承压地下水隧道超前地质预报的目的和性质 .....	228
<b>第2章</b>	<b>地球物理特性</b> .....	<b>231</b>
2.1	密度与波速 .....	231
2.2	电 阻 率 .....	233
2.3	介电常数 .....	234
2.4	岩石的红外辐射特性 .....	235
<b>第3章</b>	<b>施工超前地质预报方案</b> .....	<b>237</b>
3.1	地质调查法 .....	237
3.2	超前钻探法 .....	237
3.3	物 探 法 .....	239
3.4	超前导坑预报法 .....	249
3.5	超前地质预报技术手段的效用及特点 .....	250
3.6	承压地下水隧道超前地质预报方案选择 .....	251
<b>第4章</b>	<b>海底隧道承压水地质超前预报</b> .....	<b>252</b>
4.1	海底隧道超前地质预报方案编制的指导思想 .....	252

4.2	海底隧道超前地质预报方案编制要求 .....	252
4.3	海底隧道超前地质预报方案 .....	252
4.4	超前地质预报应用的影响因素 .....	253
<b>第5章</b>	<b>山岭岩溶隧道承压水地质超前预报 .....</b>	<b>255</b>
5.1	引起突水灾害的地质条件 .....	255
5.2	山岭隧道超前地质预报方案 .....	256
5.3	岩溶地区山岭隧道超前地质预报方案 .....	256
<b>第6章</b>	<b>实际地质条件与预报结果的对比分析 .....</b>	<b>273</b>
<b>第7章</b>	<b>结 论 .....</b>	<b>280</b>

## 第四篇 注浆浆液结石体使用寿命评估方法研究

<b>第1章</b>	<b>绪 论 .....</b>	<b>283</b>
<b>第2章</b>	<b>浆液结石体固结原理 .....</b>	<b>285</b>
2.1	水泥浆液水化固结原理 .....	285
2.2	水泥+黏土浆液固结原理 .....	290
2.3	黏土固化浆液的固结原理 .....	291
2.4	水泥+水玻璃浆液固结原理 .....	293
<b>第3章</b>	<b>浆液结石体寿命评价方法的研究 .....</b>	<b>294</b>
3.1	引 言 .....	294
3.2	水泥基注浆材料使用寿命评估及预测理论 .....	294
3.3	酸性环境下注浆材料使用寿命的评估预测 .....	302
3.4	海水环境下注浆材料使用寿命的评估预测 .....	306
3.5	本章小结 .....	311
<b>第4章</b>	<b>浆液结石体使用寿命评估标准 .....</b>	<b>312</b>
4.1	浆液结石体使用寿命评估程序 .....	312
4.2	浆液结石体使用寿命影响因素 .....	313
4.3	浆液结石体使用寿命评估实例 .....	314
<b>第5章</b>	<b>注浆结石体寿命测试仪的研究 .....</b>	<b>317</b>
5.1	引 言 .....	317
5.2	注浆结石体寿命测试仪的研究思路 .....	317
5.3	注浆结石体寿命测试仪的基本结构及各部分的功能 .....	318
5.4	注浆结石体寿命测试仪的使用说明 .....	319
5.5	注浆结石体寿命测试仪的操作规程 .....	320
5.6	小 结 .....	320

<b>第6章 海底隧道注浆材料耐久性模糊综合评定</b> .....	322
6.1 引    言 .....	322
6.2 模糊综合评价方法简介 .....	322
6.3 注浆浆液材料及配比 .....	324
6.4 注浆浆液材料耐久性指标及试验方法 .....	325
6.5 浆液材料耐久性综合评定 .....	326
6.6 本章小结 .....	331
<b>第7章 结    论</b> .....	332

## 第五篇 青岛胶州湾海底隧道注浆施工工艺

<b>第1章 工程概况</b> .....	335
1.1 地质概况 .....	335
1.2 胶州湾海底隧道注浆情况概述 .....	335
<b>第2章 注浆设计</b> .....	336
2.1 设计原则 .....	336
2.2 注浆方案选择原则 .....	336
2.3 超前预注浆 .....	337
2.4 注浆效果分析方法 .....	338
2.5 径向补充注浆 .....	339
<b>第3章 注浆施工</b> .....	340
3.1 注浆施工决策 .....	340
3.2 注浆施工工序组织 .....	340
3.3 止浆墙施工 .....	341
3.4 钻孔注浆 .....	341
3.5 注浆结束标准 .....	344
3.6 注浆过程异常情况处理 .....	345
3.7 注浆施工中的技术管理 .....	346
3.8 注浆效果评价 .....	346
3.9 注浆机械设备、主要材料及劳动力组织 .....	348
<b>第4章 对青岛海底隧道注浆设计与施工的一些看法</b> .....	350
4.1 超前地质预报 .....	350
4.2 注浆材料问题 .....	350
4.3 预注浆关键部位 .....	350
4.4 止浆系统采用 .....	351
4.5 注浆试验的必要性 .....	351

## 第六篇 北天山隧道注浆施工工艺

<b>第 1 章 工程概况</b> .....	355
1.1 地质概况 .....	355
1.2 北天山隧道注浆情况概述 .....	355
<b>第 2 章 注浆设计</b> .....	356
2.1 注浆堵水工作原理 .....	356
2.2 注浆方案的选择原则 .....	356
2.3 径向注浆 .....	356
2.4 超前帷幕注浆 .....	359
<b>第 3 章 注浆施工</b> .....	364
3.1 注浆施工总体方案 .....	364
3.2 注浆施工参数 .....	364
3.3 注浆施工方案 .....	366
3.4 注浆施工要点 .....	368
3.5 注浆异常情况处理 .....	369
3.6 径向补充注浆 .....	370
<b>第 4 章 对北天山隧道注浆设计与施工的一些看法</b> .....	371
4.1 关键技术及创新点 .....	371
4.2 社会和经济效益 .....	371

## 第七篇 承压地下水隧道防排水设计与防水材料研究

<b>第 1 章 现有国内外防排水规范以及规定的设计情况</b> .....	375
<b>第 2 章 防排水设计原则和技术标准</b> .....	376
2.1 防排水设计原则 .....	376
2.2 防排水的技术标准 .....	376
<b>第 3 章 水压力作用与渗流场</b> .....	378
<b>第 4 章 承压地下水海底隧道防排水设计</b> .....	380
4.1 复合式衬砌防排水设计 .....	380
4.2 锚喷支护衬砌防排水设计 .....	383
4.3 特殊部位防排水设计 .....	383
<b>第 5 章 承压地下水山岭隧道防排水设计</b> .....	386
5.1 防水设计 .....	386
5.2 排水设计 .....	387
5.3 岩溶地区隧道的防排水设计 .....	388

---

---

<b>第 6 章 隧道防、排水系统施工</b> .....	390
6.1 防水层施工技术要求 .....	390
6.2 施工缝、变形缝的施工 .....	395
6.3 复合式衬砌隧道排水系统施工 .....	396
6.4 锚喷支护隧道排水系统施工 .....	397
<b>第 7 章 防排水材料</b> .....	398
7.1 防水材料 .....	398
7.2 排水材料 .....	399
7.3 注浆材料 .....	400
7.4 接缝防水材料 .....	402
<b>第 8 章 可维护排水设施的维护方法</b> .....	407
8.1 隧道排水管常见结垢原因 .....	407
8.2 可维护排水结构的清洗方法 .....	407
8.3 排水结构的维护设备 .....	409
<b>致 谢</b> .....	415
<b>参考文献</b> .....	416

# 第一篇

## 承压地下水条件下隧道围岩应力场、位移场与渗流场耦合研究



