

SUIDAO GONGCHENG FANGSHUI SHEJI YU SHIGONG

隧道工程防水设计与施工

朱祖熹 陆明 柳献 编著

中国建筑工业出版社

隧道工程防水设计与施工

朱祖熹 陆明 柳献 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道工程防水设计与施工/朱祖熹, 陆明, 柳献编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-112-14056-5

I. ①隧… II. ①朱…②陆…③柳… III. ①隧道工程-防水
设计②隧道工程-防水-工程施工 IV. ①U453. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 038413 号

本书首先总述了隧道工程及其防水工程的分类和设计, 以及隧道混凝土结构的耐久性设计; 接着对盾构法隧道、明挖法隧道、沉管法隧道、顶管法隧道和矿山法隧道的防水作了详细介绍, 并有工程实例和试验数据分析; 对隧道防水设计与施工中的常见病和隧道渗漏水等病害的检查与治理也作了阐述; 最后还介绍了特种材料、工艺和检测方法等。

本书内容大多是作者通过几十年试验研究, 参与隧道防水设计和施工实践经验的总结, 丰富翔实, 对从事地下工程、隧道、地铁等防水设计和施工的有关人员很有实用价值。

* * *

责任编辑: 唐旭 唐炳文
责任设计: 李志立
责任校对: 陈晶晶 赵颖

隧道工程防水设计与施工 朱祖熹 陆明 柳献 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京天成排版公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 33 字数: 883 千字
2012 年 10 月第一版 2012 年 10 月第一次印刷
定价: 85.00 元

ISBN 978-7-112-14056-5
(22091)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

序

要说隧道工程防水,我虽不专攻此行,但在长期负责地铁、隧道及其地下工程技术工作中,深感“结构”与“防水”两者是相辅相成的、须臾不可分的,防水的效果客观上已成为衡量隧道工程质量的主要指标,这就不断引发了我对防水技术的兴趣与关注,因缘际会,还担当过这方面学术团体的负责人。

新世纪以降,隧道建设获得空前发展,随着施工技术的创新,隧道结构构造也日趋多样化,与之相应的防水材料、防水设计与防水施工技术也不断拓展。由于工程难度的提升、环保要求的迫切,面对如何认清防水材料与应用技术的关系;如何正确理解混凝土工程结构自防水与结构耐久性的关系,并使之相互交融;如何使隧道工程结构与防水设计获得至善至臻的结合等,形成或产生了一系列严峻的大课题以及具体实施中的种种难点,真可谓“路漫漫其修远兮”,这些都有待防水专业人员持之以恒,悉心探索,勇于攀登。

朱祖熹教授级高工从事隧道防水四十五年,几十年来参与并负责了上海地区绝大多数隧道的防水设计或施工、评审,也编制过不少国家与地方的防水技术标准,撰写了许多防水专业论文,是有经验、有见识的防水专家,这次他在两位中青年防水骨干配合下负责编著这本专论隧道工程防水设计与施工的书,既是对自己实践的回顾,也是对隧道防水技术的总结,无疑是有积极意义的,也是值得提倡的。为此,我乐于向隧道业的同行推介此书,是为序。

王振信

前言

在书稿即将付梓之际,为了让读者在阅读一开始便能对本书有个总体的了解,感到有必要将编著背景先写上几句。

关于本书各章内容,除在“目录”中可以了解外,还各有若干需要说明之处:

第一章“总述”。该章除介绍隧道及其防水工程的分类;隧道工程与地下水、与围护结构体系、隧道防水等级标准等隧道防水基本理论外,还对各个阶段设计的要求作了突出的介绍;包括设计内容、设计流程、设计深度等。

第二章从混凝土结构耐久性设计总体目标出发,根据隧道结构耐久性退化机理,介绍了相关设计理论与方式的衍变与发展,重点介绍基于可靠度的耐久性设计理论及保障、控制措施。本章还包括对已建工程的混凝土结构耐久性评估、耐久性改造措施等对主题扩展的内容。

第三章和第五章,针对盾构法、沉管法隧道在隧道工程建设中比例的上升,结合笔者在盾构法隧道防水实践中多年的经验,联系工程实例,详细阐述盾构法隧道防水设计、施工及试验研究等防水技术问题。同样,对沉管法隧道防水技术也力求作较广泛的介绍与探讨。

第四章,鉴于明挖法施工是隧道设计中普遍的施工方法,也是涉及隧道防水技术很广的一类,因此在本章中对基坑工程、围护结构与隧道防水;各类接缝、细部构造防水;尤其是各种常用防水材料,包括特性、用途、性能指标、施工工艺等作了集中介绍。至于,防水混凝土材料与配比,因在第二章中多有涵盖,故适当简化。

第六章,本章不仅反映矿山法隧道初次衬砌、二次衬砌混凝土及复合防水层各环节防水设计与施工(包括施工阶段的止水),也注重论述矿山法隧道的疏排水,包括对严寒地区、腐蚀条件等特殊环境的隧道排水。此外,对地面挡水、截水系统、洞口防倒灌等各类隧道共有的排水技术也多有涉及。

第七章,主要为顶管和箱涵顶进法隧道防水,也包括输送污水等腐蚀介质管道的金属与混凝土防腐蚀(包括腐蚀机理、多种对策)。鉴于内容相对较少,于是把同样内容偏少的沉井法、沉箱法施工的隧道防水归集到这一章。

第八章,本章结合作者在多年的防水评审、咨询、现场调查等实践中发现的防水工程方面的“常见病”、“顽症”,尤其是至今仍然经常出现的、似是而非的做法,加以披露;并分析原因,指明危害,予以纠正。

第九章,本章主要论述隧道施工中、运营中的各类不容回避的渗漏水问题,包括渗漏水等病害的调查及其国内外相关的治理对策。编写中力求去芜存精,提出以渗漏水堵止为中心的、操作性强、有实效的具体治理程序与细则,并通过工程实例加以验证。

第十章,主要介绍当前隧道工程中实际采用的一些防水新材料、新工艺,其中大多是笔者参与工程实践的,希冀能体现一定的探索性和前瞻性,但对于日新月异发展的防水技术来说,这介绍或许还是有局限的。

本书第七章由上海市隧道工程轨道交通设计研究院陆明编写，他还负责编绘了本书的许多插图；第二章、第六章由同济大学柳献编写；朱祖熹编写了其余各章，并担当了全书的策划和统稿。

本书在编著前、编著中受到中国工程院刘建航院士的多次勉励，鼓舞不小。回溯数十年的隧道防水实践，有很多项目正是在他的直接关心、指导下进行并取得进步的。

庆幸的是本书承王振信教授撰写序言。王振信先生是国际著名的隧道专家，曾是上海市隧道工程设计院的院长，也是隧道与地下工程学会防排水专业委员会主任。1967年春，我随他在上海“651”工地对我国第一条水下隧道打浦路越江隧道的盾构气闸门，采用环氧树脂密封胶嵌缝密封，这是我在隧道工程第一线实践的开端。

在编撰中承蒙沈秀芳、乔宗昭、周顺华、崔玖江、张勇(京)等不同方面专家的帮助，谨此深谢。书中亲历的设计、施工、试验等实践，都是有許多同事先后参与、携手完成的，其中，值得一提的是张家骏、蔡瑞英、薛绍祖、俞志强、张莘、陆明、陈心茹、张勇、邵臻、李永慈等同仁，令人感念。此外，何太洪、张茜珍、徐之奇、贾逸、王瑾等(尤其前两位)为此书的文字、图表整理等做了许多工作，在此一并致意。

我的工作单位-上海市隧道工程轨道交通设计研究院，是它几十年来提供了开阔的、可以驰骋的“战场”，让我有机会成为防水战线超期服役的老兵，这尤其令我感怀不已。

本书引用了国内外设计院、研究院所、大专院校、建设单位、施工企业的专家、同行的研究成果、工程实例，主要是学术论著、论文，也包括学术报告，已列入各章结尾的“参考文献”中，在此，表示感谢。此外，国内外防水企业的一些技术资料，也是拙著中不可或缺的材料。

最后，自启笔编写至全稿送交出版社，历时三年余，耽误甚久，愧疚十分。究其缘由，虽可找出多条，说到底还是“疏懒”。有赖责任编辑唐炳文编审耐心而细致的审校，使拙著今天能呈现在读者诸君面前。如果本书对隧道防水事业的后来者有点滴的裨益，作者就深感欣慰了。

限于专业，囿于见闻，笔者对与防水相关的隧道工程其他专业技术欠谙熟，在书中的反映与阐述想必有诸多不足，务望谅解。此外，本书写来粗率，差错在所难免，如蒙读者诸君纠谬赐教，则不胜感激。

朱祖熹 2011.3

目录

第一章 总述	1	(二) 地下水对工程结构的 浮托作用	13
第一节 隧道工程及其防水工程 的分类与设计	2	(三) 降水引起软土地基沉降	14
一、隧道工程的分类与防水技术	2	(四) 潜蚀和流砂作用影响	14
(一) 隧道工程各类施工 法比较表	2	(五) 对地基强度与结构耐久 性的影响	15
(二) 隧道分项工程与防水 工程的分类	4	三、承压水对隧道基坑的作用	15
二、隧道防水工程施工分项与设防 要求	5	四、地下水对钢筋混凝土的腐蚀	16
(一) 隧道防水工程的施工分项	5	(一) 腐蚀类型	16
(二) 隧道防水工程设防要求	5	(二) 腐蚀性评价标准	17
三、隧道工程防水设计阶段程序与 深度	7	五、地下水渗流对隧道等施工的 影响及其对策	19
(一) 各阶段防水设计程序	7	(一) 防止地下水渗入基坑	19
(二) 各设计阶段文件组成内容 及深度要求	8	(二) 流砂现象对地下工程 施工的影响	20
(三) 设计与校审的主要程序	8	第三节 围护结构体系	21
四、各类隧道工程施工图防水设计 内容	10	一、围护结构体系的分类	21
(一) 地下明挖隧道结构防水	10	(一) 桩(墙)式围护体系	22
(二) 盾构法隧道结构防水	10	(二) 重力式围护体系	22
(三) 沉管法隧道防水设计	10	二、围护结构的特点	23
(四) 其他隧道工程防水设计	11	(一) 影响基坑围护结构设计 的不确定因素	23
五、其他	11	(二) 环境调查及基坑安全 等级	23
(一) 施工配合要求	11	(三) 坑底抗渗流	24
(二) 工作重点及注意事项	11	三、围护结构设计	24
第二节 隧道工程与地下水	12	(一) 桩(墙)围护结构	24
一、地下水对隧道工程的渗透作用	12	(二) 钢板桩围护墙	24
二、地下水位升降对隧道工程的 作用	13	(三) 重力式围护墙	24
(一) 引起地下水水位变化的 因素	13	(四) 地下连续墙结构	25
		第四节 地下隧道工程的防水 等级标准	26
		一、国外的防水等级标准	26

(一) 英国的隧道与地下工程			
防水分级标准	26		
(二) 德国的防水等级标准	27		
二、我国隧道与地下工程防水			
等级标准	29		
(一) 新订的隧道与地下工程防			
水等级标准	29		
(二) 对隧道工程防水等级标准			
及其修订的解析	29		
三、渗漏水量的检测法	30		
(一) 有流动水的隧道内(多为			
最低处)设集水井积水量			
检测	30		
(二) 有流动水的隧道内设			
贮水堰积水量检测	31		
(三) 湿迹与漏点的检测与换算	31		
参考文献	32		
第二章 隧道混凝土结构耐久			
性设计	33		
第一节 耐久性设计的总体			
目标	33		
一、结构的耐久性问题	33		
二、结构耐久性设计的目标	34		
三、结构的耐久性设计方法	35		
第二节 隧道结构的耐久性			
退化机理	36		
一、影响结构耐久性的因素	36		
二、隧道钢筋混凝土结构的			
退化模型	39		
第三节 传统设计方法	43		
一、设计思路	43		
二、环境条件及分级	43		
(一) 环境条件	43		
(二) 环境类别和分级	45		
三、设计要求	46		
(一) 混凝土结构	46		
(二) 钢筋保护	49		
(三) 盾构隧道要求	51		
第四节 基于劣化模型的耐久			
性设计方法	53		
一、可靠度计算方法	53		
二、隧道钢筋混凝土结构的耐久			
性极限状态	55		
三、耐久性设计模型	56		
第五节 耐久性保障措施	59		
一、施工质量检验	59		
二、定期检测	61		
三、长期监控	62		
第六节 工程实例	63		
一、南京九华山隧道	63		
二、广州龙头山隧道	66		
三、厦门翔安隧道	68		
四、青岛胶州湾湾口海底隧道	72		
五、荷兰绿色心脏隧道的耐久性设			
计——基于性能与可靠度的使			
用年限设计	78		
(一) 概况	78		
(二) 耐久性设计要求	78		
(三) 混凝土耐久性设计方法	79		
(四) 隧道结构及其可能的退			
化作用	79		
(五) 混凝土及钢筋材料的要求			
与施工参数	80		
(六) 计算举例	81		
(七) 结语	81		
六、丹麦斯多贝尔特大海峡隧道			
工程	81		
附录 地下工程渗漏水调查与			
检测法	83		
附录一 渗漏水调查	83		
附录二 渗漏水检测	84		
附录三 渗漏水检测记录	85		
参考文献	86		
第三章 盾构法隧道防水	88		
第一节 盾构法隧道及其防水			
的特点	88		

一、盾构法隧道概述	88	(一) 日本松井 TAIL SEALER ...	133
二、盾构法隧道防水技术的发展	89	(二) 法国 CONDAT 公司	
三、盾构法隧道基本技术参数与		WR89	135
分类	91	(三) 盾尾密封油脂(上海隧道	
(一) 隧道设计的若干基本参数	91	防水材料厂)	137
(二) 盾构法隧道的分类	91	(四) 关于密封油脂材质与性能	
四、盾构法隧道防水分类及防水		的几点评析	138
等级标准	94	六、尚待研究的盾构隧道防水的技	
(一) 盾构法隧道防水分类	94	术问题	138
(二) 盾构法隧道的防水等级		第四节 盾构法隧道防水施工与	
标准	94	质量检验	139
第二节 盾构法隧道防水内容与		一、衬砌接缝防水施工	139
技术要求	98	(一) 施工准备	139
一、盾构法隧道防水的内容	98	(二) 弹性密封垫、传力衬垫、	
二、盾构法隧道防水技术要求	98	螺孔密封圈施工	139
(一) 管片及砌块混凝土结构		(三) 衬砌接缝嵌缝防水施工	140
防水与耐久性	98	二、盾构法隧道防水项目质量	
(二) 衬砌外防水涂层	105	检验	140
第三节 衬砌接缝密封和其他		第五节 工程设计与施工实例	142
密封防水	111	一、工程设计实例	142
一、接缝防水方式与原理	111	(一) 上海长江隧道管片接缝防	
二、接缝防水的主要防线——密封		水密封垫设计	142
垫防水	112	(二) 南京长江隧道管片接缝防	
(一) 密封垫种类	112	水密封垫方案设计	145
(二) 密封垫设计	117	(三) 苏伊士运河 Ahmed Hamdi	
(三) 密封垫的加工制造	121	隧道防水设计与施工	149
(四) 密封垫的辅助材料	122	(四) 丹麦斯托贝尔特跨海铁路	
三、接缝防水的其他材料	123	隧道防水、防腐蚀设计	150
(一) 接缝螺孔密封材料与形式 ...	123	二、施工实例	151
(二) 嵌缝密封	124	(一) 上海延安东路北线隧道拱	
(三) 衬砌变形缝防水	126	顶排风道管片内肋防腐蚀	
(四) 注入密封剂防水	128	施工实例	151
(五) 纠偏、缓冲、衬垫等接缝		(二) 上海轨道交通 9 号线盾构	
面材料	128	区间隧道施工事故管片修	
四、竖井、连接通道及其与圆形隧		补与防水处理	152
道接头防水	130	三、工程试验、数理分析实例	157
(一) 连接通道与圆形隧道接头		(一) 密封垫及挡水条耐久性	
防水	130	试验	158
(二) 竖井与圆形隧道接头防水 ...	132	(二) 密封垫断面的数理分析	159
五、盾尾密封油脂与盾尾密封	133	(三) 密封垫断面形式研究结果 ...	161

(四) 接缝挡水条研究结果	161	(三) 横向垂直施工缝防水	
(五) 密封垫设计优化的展望	162	构造	202
参考文献	162	(四) 后浇带防水构造	204
第四章 明挖法隧道防水	165	(五) 支撑位置的防水	206
第一节 明挖法施工隧道概述	165	四、隧道接缝防水材料的选用	
一、明挖法施工隧道的特点	165	和施工要则	207
二、基坑工程	166	(一) 接缝防水材料的选用	207
三、结构构造形式的分类与特点	167	(二) 隧道接缝防水细部构造	
(一) 复合(墙)结构的特点	167	施工要则	209
(二) 叠合墙结构的特点	168	第四节 隧道结构防水层防水	210
(三) 分离墙结构的特点	170	一、防水层的作用与设置	210
(四) 单墙结构的特点	170	(一) 防水层的作用	210
(五) 半叠合半复合(墙)结构的		(二) 不同结构明挖法隧道防水	
特点	171	层的设置	210
四、明挖法隧道的设防原则与基本		(三) 明挖法隧道防水层设置的	
措施	172	基本要求	212
(一) 设防原则	172	二、隧道涂料防水层	213
(二) 设防范围与基本措施	172	(一) 隧道涂料防水层材料的	
(三) 不同围护施工法、不同构造		选用	213
隧道防水的技术要求	173	(二) 隧道涂料防水层应用的其	
第二节 各类结构形式的防水	175	他要求	222
一、隧道混凝土结构自防水	175	三、隧道卷材防水层	223
二、叠合结构与防水	177	(一) 卷材防水层材料的选用	223
(一) 叠合结构的优点	177	(二) 卷材类防水材料施工的	
(二) 叠合结构缺点(内衬开裂)		基本要求与方法	229
的剖析	178	四、膨润土防水毯材料	231
三、复合结构与防水	181	(一) 材料定义与特点	231
第三节 隧道现浇混凝土结构的		(二) 膨润土防水毯施工	232
接缝防水	183	五、丁基橡胶密封防水胶带	235
一、变形缝防水	184	第五节 明挖法隧道工程排水	236
(一) 变形缝的防水构造	184	一、渗排水与盲沟排水	236
(二) 变形缝止水带	185	二、渗排水设计	236
(三) 变形缝其他防水材料	190	三、盲沟排水设计	237
二、诱导缝防水	194	附录	238
三、施工缝、后浇带防水	196	参考文献	239
(一) 施工缝、后浇带设置		第五章 沉管法隧道防水	241
的意义	196	第一节 沉管法隧道概述	241
(二) 纵向水平缝防水构造、		一、沉管法隧道施工法简介	241
材料与施工	197	二、沉管法隧道技术的发展简史	242

第二节 管段混凝土结构	
自防水	243
一、管段混凝土自防水	243
二、管段后浇带混凝土	245
三、管段制作施工与混凝土	
自防水	246
(一) 管段制作施工工艺要求	246
(二) 大体积混凝土裂缝控制	246
(三) 冷却管工艺	247
(四) 养护技术	248
四、管段混凝土外防水	248
(一) 国内外的管段混凝土外	
防水技术的发展	248
(二) 管段混凝土的主要外	
防水措施	250
(三) 防水层选材设计要则	252
五、管段混凝土分缝及接缝防水	252
(一) 管段混凝土分缝	252
(二) 管段混凝土施工缝防水	253
第三节 管段接头密封防水	255
一、管段接头橡胶止水带	
密封防水	256
(一) 管段接头 GINA 止水	
带防水	256
(二) 管段接头 OMEGA 止水	
带防水	260
二、管段接头其他密封防水防	
腐蚀	263
(一) 管段接头拉索与端钢壳	
防腐蚀	263
(二) 其他密封防水	266
第四节 岸边段混凝土结构	
防水	267
一、暗埋段混凝土自防水	267
二、暗埋段、敞开段变形缝接	
缝防水	267
三、岸边段与管段接头密封	268
第五节 工程实例	269
一、日本东京湾隧道的管段防水	
试验与检测	269
(一) 管段接头密封垫试验	269
(二) 用于管段接头与竖井的	
密封 L 形止水带材料试验	271
(三) 用于管段接头与竖井密封	
的 W 形橡胶密封垫试验	272
(四) 管段混凝土及浇筑技术	
试验	272
(五) 管段外防水钢板材料及防	
腐蚀研究	274
(六) 管段顶板涂料或卷材等防	
水材料试验	275
(七) 管段变形缝、施工缝止水	
带试验	276
二、上海泰和路外环沉管法隧道接	
头密封垫防水试验与设计	277
(一) 试验内容	277
(二) 试验目的、试件、装置、	
步骤介绍及试验结果分析	278
(三) 结论与建议	287
参考文献	288
第六章 顶管法隧道(含沉井施工)	
防水	289
第一节 顶管法施工概述	289
一、顶管法施工工序	289
二、顶管工作井设置	289
三、常用顶管施工法介绍	290
四、中继环及其施工	291
第二节 管道及其接口防水	291
一、管道及其接口类别	291
二、管道接口的密封	292
三、顶管法施工防水技术措施	296
四、曲线顶进技术与防水	299
第三节 特殊用途的顶管	
防腐	301
一、H ₂ S 腐蚀与腐蚀估算	301
(一) H ₂ S 腐蚀机理	301
(二) 腐蚀估算	302
二、防腐蚀措施	303
(一) 水利改进	303

(二) 改进通风装置·····	303	二、防水混凝土分类·····	335
(三) 控制混凝土原材料·····	303	三、防水混凝土的技术要求·····	335
(四) 其他耐腐蚀衬砌·····	304	第六节 施工缝、变形缝防水 ·····	336
第四节 沉井法施工隧道 ·····	308	一、变形缝防水·····	336
一、沉井的类型·····	308	二、施工缝防水·····	337
二、沉井施工的基本程序·····	309	第七节 矿山法隧道防水施工	
(一) 施工前的准备工作·····	309	与质量检验·····	339
(二) 沉井下沉·····	309	一、隧道防水板施工·····	339
(三) 接高井壁·····	309	二、接缝防水施工与质量检验·····	341
(四) 沉井封底·····	309	第八节 隧道防水工程实例 ·····	343
(五) 沉井混凝土施工中的防水		一、铁峰山2号隧道防水工程	
抗裂措施·····	309	实例·····	343
三、工程实例·····	310	二、海底隧道防水工程实例·····	352
参考文献 ·····	312	三、三拱暗挖地铁车站防水施工	
		步骤实例·····	355
		四、多年冻土区防水处理实例·····	362
第七章 矿山法隧道防水 ·····	313	第九节 隧道排水与工程	
第一节 矿山法隧道及其防水		实例·····	366
的特点·····	313	一、排水技术要求·····	366
一、矿山法隧道概述·····	313	二、隧道结构排水·····	366
二、矿山法隧道防水分类及防水		三、厦门翔安海底隧道排水	
等级标准·····	317	工程实例·····	367
三、国内外防排水研究现状·····	318	参考文献 ·····	369
四、矿山法隧道防水的内容·····	322		
第二节 锚喷初期支护衬砌			
防水·····	323	第八章 隧道防水设计与施工中	
一、锚喷初期支护衬砌防水		的常见病·····	371
基本要求·····	324	第一节 防水原则、标准及术	
二、锚喷初期支护衬砌防水		语上的常见病·····	371
质量要求·····	324	一、防水原则·····	371
三、提高喷射混凝土防水能力		二、防水等级标准·····	371
的方法·····	325	三、防水术语·····	373
第三节 注浆防水 ·····	328	第二节 混凝土结构自防水与	
一、注浆防水的分类·····	329	耐久性设计与施工中	
二、注浆防水的技术要求·····	329	的常见病·····	374
三、注浆防水的设计要求·····	330	一、设计·····	374
第四节 防水层 ·····	331	二、施工·····	376
一、塑料防水板·····	331	(一) 浇捣·····	376
二、防水砂浆·····	332	(二) 养护·····	377
第五节 二次衬砌防水混凝土 ·····	334	(三) 裂缝·····	378
一、防水混凝土简介·····	334	(四) 强度和抗渗·····	378

第三节 细部构造(施工缝、诱导缝、变形缝)防水的常见病	379	一、隧道运营阶段的渗漏水等病害检查	402
一、施工缝	379	(一) 检查频度与要求	402
二、诱导缝、变形缝	381	(二) 建立渗漏水与其他病害及其治理的档案	403
(一) 嵌缝密封	381	(三) 基本的检查(含各种维修治理效果检测手段)	404
(二) 模板拉杆螺栓	382	二、隧道运营阶段的结构耐久性评估	405
(三) 桩头	382	第二节 隧道工程防水及耐久性的施工风险与安全性的监测	405
(四) 外防水层	383	一、沉管法隧道防水安全性监测	405
第四节 特殊构造防水的常见病	384	(一) GINA 止水带	405
一、盾构法隧道防水	384	(二) GINA 止水带异常的工作状态	406
(一) 材料性能指标项目与检测频度规定的当	384	(三) OMEGA 止水带	406
(二) 密封垫允许最大压缩率的含义与规定不正确	386	二、盾构法与明挖法隧道工程防水和耐久性施工的风险性管理	408
(三) 管片环、纵缝缝面用衬垫材料的目的与功效相背	387	(一) 盾构法隧道防水和耐久性施工的安全性监测	408
(四) 密封垫被完全压至沟槽内的闭合压缩力的规定不恰当	388	(二) 明挖暗埋隧道工程防水的安全性监测	409
(五) 防水材料命名杂乱、不规范	388	第三节 隧道工程渗漏与腐蚀治理	410
(六) 对管片接缝密封垫水密性、管片混凝土抗渗等级、管片单块检漏三者的抗水压力要求混淆	389	一、隧道工程渗漏分类与治理对策	410
(七) 其他	390	(一) 隧道渗漏部位和治理材料与工艺	410
二、矿山法复合衬砌隧道防水	390	(二) 隧道裂缝分类	411
三、沉管法隧道防水	391	二、注浆治理渗漏水的主要材料	411
四、顶管或箱涵顶进法隧道防水	392	(一) 注浆堵水	411
五、明挖暗埋箱形结构隧道防水	394	(二) 注浆堵水材料及其性能指标	412
第五节 渗漏水治理的常见病	395	(三) 盾构法隧道渗漏治理工艺及选材	418
一、方案设计	395	三、其他堵漏材料及其施工工艺	420
二、堵水工艺	398	(一) 无机防水堵漏材料	420
参考文献	400	(二) 混凝土裂缝封闭类防水材料	421
第九章 隧道渗漏水等病害检查与治理	402		
第一节 隧道渗漏水等病害检查	402		

(三) 混凝土结构喷涂(或涂抹)	
聚合物水泥防水砂浆	423
(四) 金属防腐蚀的主要材料	428
四、渗漏与腐蚀治理的主要技术	
措施	430
(一) 接(裂)缝的分类	430
(二) 注浆堵漏	430
(三) 电渗透防渗技术	440
(四) 其他治理措施	442
(五) 加强隧道防渗漏水及其治	
理档案的建立	444
第四节 工程实例——上海打浦	
路隧道结构防水与耐久	
性治理工程	444
一、工程概况	444
二、隧道结构防水的现状与	
分析	445
(一) 圆形隧道江中段	445
(二) 浦西、东矩形段	446
(三) 竖井(共三个, 编号为	
1号、2号、3号)	446
(四) 现状的综合分析	446
三、隧道工程渗漏水及其他病害	
治理	447
(一) 结构防水治理的原则与	
目标	447
(二) 结构防水治理措施(注: 下	
列斜体字内容为供工程预	
概算所估的估算量)	448
四、隧道的耐久性分类与可使用	
年限	449
五、隧道防渗改造治理后防渗漏	
与耐久性的要求	450
参考文献	451

第十章 特种材料、工艺与检

测法

第一节 混凝土结构自防水	
与耐久性	453

一、聚羧酸减水剂	453
(一) 概述	453
(二) 聚羧酸减水剂的特点	453
(三) 聚羧酸减水剂的应用	
依据	455
(四) 聚羧酸外加剂混凝土	
配制试验	455
(五) 技术难点与前景	460
二、混凝土抗裂增强钎削型钢	
纤维	461
(一) 钢纤维混凝土应用要求	461
(二) 钢纤维混凝土使用条件	461
(三) 钢纤维混凝土在车站大开	
孔的应用实例	462
(四) 零覆土顶板混凝土添加钢	
纤维抗裂的车站	463
(五) 钢钎钎削型钢纤维及应用	
特点	463
(六) 几种钢纤维的比较	464
三、高强度钢筋混凝土保护	
层定位件(简称高强度垫块)	466
(一) 概述	466
(二) 国内外代表性制品	466
(三) 评析	469
第二节 混凝土结构外防水	
材料	469
一、喷涂聚脲、聚氨酯弹性体	
防水涂料	469
(一) 概述	469
(二) 性能特点与适用性	470
(三) 喷涂聚脲施工工艺	472
(四) 工程实例	474
(五) 技术难点及尚待澄清、	
克服的问题	475
二、喷涂聚合物水泥快凝防水	
防腐砂浆	476
(一) 概述	476
(二) 快凝聚合物砂浆的原料	476

(三) 原材料的掺入量对聚合物砂浆性能的影响	477	(二) DinnefCF 密封止水带	499
(四) 快凝聚合物砂浆的配合比	478	(三) Sikadur Combiflex 接缝防水系统	501
(五) 快凝聚合物砂浆的施工	478	(四) 评析	502
(六) 工程实例	479	五、纵向水平施工缝与环向变形缝	
(七) 结语	479	止水带(条)一体化	503
三、预铺防水卷材	480	(一) 概述	503
(一) 传统防水卷材的局限	480	(二) 工艺措施	503
(二) “预铺反粘”防水概念的优势	480	(三) 工程实例	504
(三) 高分子自粘胶膜预铺防水卷材材料特点	482	第四节 特殊密封、粘结、缓胀材料	504
(四) 高分子自粘胶膜预铺防水卷材施工特点与工艺顺序	485	一、密封垫减摩剂	504
四、渗透型改性环氧涂料	486	二、阻燃型胶粘剂	505
(一) 环氧树脂防水涂料	486	(一) 定义	505
(二) 高渗透改性环氧材料	488	(二) 材料选用及原理	505
第三节 细部构造防水	490	三、缓膨胀性与压缩状态下膨胀率的检测	506
一、施工缝、变形缝各类可注浆止水带	490	(一) 缓膨胀性的检测	506
(一) 带预埋注浆金属管的变形缝可注浆止水带	490	(二) 压缩状态下膨胀率的检测	508
(二) 变形缝用边翼有注浆管的可注浆塑料止水带	491	四、遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶一次挤出硫化	508
(三) 附加注浆软管的止水带	492	(一) 遇水膨胀橡胶与多孔的三元乙丙橡胶一次挤出原理	508
二、变形缝内防水、导水沟密封件	492	(二) 技术难点	509
(一) 概述	492	(三) 工程实例	509
(二) 材料	492	第五节 堵水及其他类材料	509
三、变形缝内防水预制成型密封件	494	一、接缝灌浆新材料——后膨胀聚氨酯灌浆材料	509
(一) 成框嵌入型密封件飞马堵(FERMADUR)	494	二、膨润土类灌浆材料	510
(二) 成框充气型密封件—阿拉丁	496	三、地下连续墙用聚丙烯酰胺高分子护壁泥浆	511
四、变形缝内防水密封带接缝防水系统	498	(一) 概述	511
(一) CF 防水密封带接缝防水系统概述	498	(二) 地下连续墙聚合物护壁泥浆作用	512
		(三) 地下连续墙聚合物护壁泥浆的优点与不足	513
		(四) 小结	513
		参考文献	513

第一章 总 述

在本书的开首，先简单认识一下我国隧道工程发展的概况。

自从 1887 年，在我国台北基隆窄轨铁路线上的石丘隧道(长 261.4m)建成，直到 1949 年，我国共建造 331 条隧道，总长度 100.1km，其中只有 238 条隧道投入运营。截至 1997 年，中国共有 8600 多条铁路、公路隧道，总长度约 4370km，其中有铁路隧道 6876 条，总长度为 3670km；公路隧道总数已达 1782 条，总长度 704km，铁路、公路隧道的总长度分别是改革开放之初的 4.7 倍和 13.5 倍，公路、铁路隧道数均居世界第一。其中，中国铁路隧道占世界 1/5，居世界第一位(日本为第二位，意大利居第三位)。如今，中国已成为世界上隧道和地下工程最多、工程技术最复杂、建设发展最快的国家了。

目前，全长 20.05km 的乌鞘岭特长隧道是中国最长的铁路隧道，洞身经断层破碎带约 1400m，它也是设置辅助坑道最多的隧道。中国青藏铁路中最长的隧道是新关角隧道(全长 4000m)，青藏铁路中还有世界上最长的高原冻土隧道——昆仑山隧道(全长 1686m，高程 4666m)；世界上最高的高原冻土隧道——风火山隧道(全长 1338m，轨面海拔标高 4905m)，它是横跨冻土区最长的高原永久冻土隧道，因此有“世界第一高隧”之称；另有渝怀铁路的岩溶富水隧道圆梁山隧道，隧道涌水压力高达 4.5MPa，难度超大，该铁路的武隆隧道、歌乐山隧道水文地质环境也异常复杂。

公路隧道方面，全长 18.4km 的秦岭终南山公路隧道 2007 年 1 月正式通车，这是世界最长的双洞、双车道公路隧道，也是世界第二、亚洲第一的超长公路隧道，按高速公路、安全等级一级设计。而 2010 年 4 月 27 日通车的海底公路隧道——翔安隧道是世界上第一条采用钻爆法施工的海底隧道。万开公路的铁峰山二号双线隧道，左线 6010m，右线 6020m，尤以途经逾 2000m 的膏盐地质地段施工困难著称。2009 年 10 月通车的上海崇明长江通道是世界上最大的桥隧工程，其中双向六车道的越江公路隧道全长 8893m(江中盾构段长 7470m)，由目前世界上最大的、直径为 15.43m 的盾构机械挖掘而成，还是上层走汽车，下层走地铁的公铁两用隧道。另外两条过长江的城市公路盾构隧道：武汉长江隧道、南京长江隧道，分别有首先跨越长江与地质条件复杂的特点。

值得一提的是我国的水工隧道，继 2003 年 21km 的万家寨引黄入晋工程一期完工、南水北调东、中线一期工程加紧建设后，2009 年 4 月 15 日，一条长 85.32km 的隧道——“大伙房水库输水工程”一期的输水隧道在辽宁山区全线贯通。输水隧道直径 8m，首尾高低相差 36m，地表到隧道顶端距离最大为 630m，最小 60m，穿越了 50 余座山峰、50 多条河谷、29 条断层。这条隧道的长度大大超过了 53.86km 的日本青函隧道，成为目前世界上已经建成的最长隧道。此外，四川省凉山彝族自治州雅砻江锦屏二级水电站的水工隧洞，电站利用雅砻江干流锦屏大河湾的 310m 天然落差，截弯取直开挖

隧洞。其中, 4 条引水隧洞平均长约 16.6km, 开挖洞径 13m, 引水隧洞洞群沿线上覆岩体一般埋深 1500m 以上, 最大埋深约为 2525m, 为目前世界上已建、在建工程中综合规模最大、技术难度最复杂的大型水工隧洞之一。其中, 锦屏二级电站东端 C4 标段隧洞最大埋深达 2500m, 最大应力达 90 多兆帕, 是典型的大埋深、高应力、强岩爆的长引水隧洞。

说到国内城市过江隧道时, 可以追忆到第一条大型盾构法施工的过江隧道是 1968 年上海采用国产网格挤压式盾构建成了江底公路打浦路隧道, 以后又分别于 1988 年、1996 年陆续建成北、南两线两条延安东路越江隧道(均由上海市隧道工程设计院设计)。第一条大型沉管法施工的过江隧道是我国于 1993 年在浙江宁波建成的宁波甬江公路隧道, 紧接着沉管法建造的广州珠江公铁两用隧道, 连同在其前、其后的我国香港红磡、台湾高雄沉管隧道, 我国 20 世纪 70~90 年代多条沉管隧道建成。特别是在山区城市重庆、青岛建成多条公路山岭隧道。近 20 年, 随着我国改革开放的发展, 经济的繁荣, 城市化进程加快, 城市公路、给排水、电力电缆、供气等隧道建设迅速, 至于地下铁区间隧道, 在改革开放前, 除了 20 世纪 60~70 年代京津地铁的区间隧道有所建设、上海地铁区间隧道展开试验外, 总体上处于停滞阶段, 而改革开放、经济建设掀起高潮后, 尤其在进入到 21 世纪, 随着城市轨道交通建设在全国一线城市全面展开, 我国的城市地铁区间隧道的里程与日俱进, 迅速增长。

要说隧道工程的防水设计与施工, 首先应该阐明隧道工程的分类。关于隧道工程的分类, 诚如上述所写的有多种方式。粗略地说, 它可以按施工方法分: 如明挖法、盾构法、沉管法、矿山法、顶管或箱涵顶进法、连续沉井、沉箱法等; 也可以按使用功能分: 如铁路隧道、公路隧道、城市地铁隧道、输水隧道、电缆隧道、输气隧道、共同沟(隧道)等; 也有根据所处地层、位置划分: 如软土隧道、软岩隧道、硬岩隧道; 水(江、河、湖、海)底隧道、山岭隧道等加以分类。本书主要按各种不同施工方法建造隧道工程加以划分, 并根据隧道工程的结构构造的组成, 按照与这些构造组成相对应的防水工程, 包括防水工程的范围、涵盖的内容等全面展开介绍。

第一节 隧道工程及其防水工程的分类与设计

一、隧道工程的分类与防水技术

诚如上述, 我们按不同施工方法建造隧道工程加以分类, 列出各类单位工程、以隧道工程的各结构部位为子单位工程, 可以辨明相对应的分部防水工程及相互间的关系。

依据场地工程地质水文条件、施工企业的机械设备管理水平、工期造价要求, 选择施工技术方案, 如山岭隧道施工中, 钻爆法、新奥法和隧道凿岩机全断面施工法(TBM 工法), 软地层隧道施工中的明挖法, 经地基处理后的暗挖法、盾构法、顶管法、沉管法、盖挖法和逆作法等工法。

(一) 隧道工程各类施工法比较表

表 1-1 为隧道及地下工程施工工法比较表。通过隧道及地下工程施工工法、施工工序进行比较, 可以粗略地从施工方法与结构构造的关系来选择相应的施工方法。