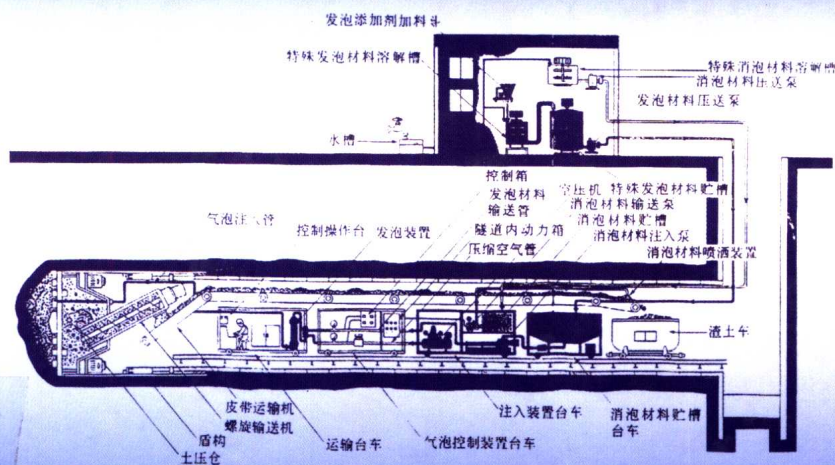


地下建筑工程 防水技术

薛绍祖 编著



中国建筑工业出版社

地下建筑工程防水技术

薛绍祖 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下建筑工程防水技术/薛绍祖编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003

ISBN 7-112-05904-6

I. 地… II. 薛… III. 地下建筑物-防水 IV. TU96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 050993 号

地下建筑工程防水技术

薛绍祖 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 17¼ 字数: 462 千字

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月第一次印刷

印数: 1—4,000 册 定价: 31.00 元

ISBN 7-112-05904-6

TU·5182 (11543)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书总结了地下建筑工程防水技术丰富的实践经验。全书共分五篇 22 章内容。主要包括：地下工程防水技术综述；城市地铁建设与地下水；防水等级标准；混凝土结构自防水；混凝土结构附加防水层；混凝土结构迎水面防水；混凝土结构背水面防水；水泥基渗透结晶型防水材料；地下工程变形缝；防水混凝土施工缝；混凝土结构防腐蚀；盾构法隧道防水综述；管片防水密封垫；水膨胀橡胶防水材料；盾尾密封的油脂注入技术；盾尾间隙的注浆技术；土压平衡盾构的化学泡沫注入技术；新奥法隧道防水技术；沉埋法隧道防水技术；渗漏水治理；混凝土结构裂缝；隧道衬砌混凝土剥落事故及分析；现场防水材料的防火安全管理。

本书特点是按照国家最新颁布的规范、标准编写；书中囊括了最新的科研成果·丰富的地下防水实践经验以及国内外地下防水新技术动态；书中内容简明、实用、文图并茂，适应现代建筑发展的需要。

本书可供广大工程设计、施工工程技术人员使用，也可供大专院校相关专业师生参考使用。

* * *

责任编辑 余永祯

责任设计 孙 梅

责任校对 王金珠

序

随着我国房屋建设和城市基础设施建设的快速发展,为保障地下建筑工程的使用功能、安全性和耐久性,对工程的防水设防要求越来越高,相应对防水设计、施工技术以及所使用的防水材料品种、规格、质量均提出了更严格的要求。

众多专家指出:地下工程建设从设计阶段开始就应对防水倍加重视,按地下工程的类型、性质和使用功能要求,把握好防水工程设计质量的三个重要环节;合理确定防水等级、周密制订防水方案、择优选用防水材料。施工单位应按防水设防要求筹划制订可靠的防水施工管理系统与施工过程的质量控制。业主最终按有关标准、规范进行工程验收。在新版《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2001)中,明确表述“地下工程防水设计内容包括:防水等级和设防要求”为强制性条文,并列人国家《工程建设标准强制性条文》。与该规范配套执行的《地下防水工程质量验收规范》也作出了“地下防水工程应按工程设计的防水等级标准进行验收”的规定,并将“防水混凝土的变形缝、施工缝、后浇带、穿墙管道、埋设件等设置和构造,均须符合设计要求,严禁有渗漏”规定为强制性条文。这些规定对保证地下防水工程的质量控制具有重要意义。

近年来房屋建筑地下工程的施工技术大为拓展。如围护结构采用地下连续墙法,地下商业街建设采用复合式衬砌,渗漏水治理选用化学注浆法,以及城市基础设施采用盾构法、沉埋法等。这些“特殊施工法防水工程”、“注浆工程”等已将规范的适用范围延伸到防护工程、市政隧道、地下铁道等防水工程中。

为配合以上所述《规范》的实施,解读《规范》有关条文提

出的要求，作者集长期从事地下工程防水技术工作经验，在多年主持和参加完成科研项目成果、技术工作业绩、国外文献编译、各种杂志发表的文章、学术会议论文等基础上编著而成的《地下建筑工程防水技术》一书，有利于为广大工程设计、施工等方面的技术人员，加快适应现代建筑发展的需要，及时了解、熟悉、掌握应用防水专业新技术，进一步推动与提高地下防水工程质量创造良好条件。本书的特色主要表现在：1. 全面阐述了混凝土结构防水、盾构法隧道、新奥法与沉埋法隧道等综合应用技术；2. 特殊施工法防水、防水工程管理与维护等篇章，为同类防水技术论述所鲜见；3. 内容丰富翔实，其中对隧道、地铁工程防水技术的论述与分析尤为深刻。

在阅读本书中，论述盾构法钢筋混凝土管片衬砌的接缝防水章节，使我回忆起 20 世纪 60 年代初与作者当时的工作单位上海市隧道工程局设计处协作，进行钢筋混凝土管片接缝防水课题研究的日子。我详细向课题组介绍了在苏联实习地下工程防水的收获，提供了在国外收集的管片嵌缝、螺孔密封等防水制件样品，对当时的技术人员有启蒙和导向作用，算作一点贡献。时过境迁，今天眼观该领域的技术已取得巨大进步，当叹为观止，因而在本书付梓之际，我乐于应约书序，祝贺本书的出版。

李承刚

（中国建筑科学研究院 研究员）

2002 年 8 月于北京

目 录

序

第一篇 绪 论

第一章 地下工程防水技术综述	2
第一节 施工方法和防水	2
第二节 地下工程防水原则	3
第三节 地下工程防水各论	4
第四节 混凝土结构防水评述	9
第二章 城市地铁建设与地下水	16
第一节 环境调查及危害预测	16
第二节 地下水调研实例	20
第三章 防水等级标准	24
第一节 英国的防水等级标准	24
第二节 德国的防水等级标准	26
第三节 我国的防水等级标准	28
第四节 渗漏水调查与量测	29

第二篇 混凝土结构防水

第一章 混凝土结构自防水	36
第一节 结构自防水的发展概况	36
第二节 补偿收缩混凝土结构	38
第三节 结构自防水工程的设计与施工	40
第四节 结构自防水在上海地铁的应用	40
第二章 混凝土结构附加防水层	48

第一节	迎水面防水与背水面防水	48
第二节	地下防水工程设防标准	48
第三章	混凝土结构迎水面防水	51
第一节	涂料防水层施工实例	51
第二节	卷材防水层施工实例	58
第三节	聚合物水泥砂浆防水层	78
第四章	混凝土结构背水面防水	84
第一节	背水面防水处理技术的实用意义	84
第二节	20 世纪背水面防水处理技术的发展	85
第三节	水泥基背水面防水涂层的三大类型	86
第四节	几种背水面防水涂层的比较分析	89
第五节	防水层的构成和防水机理	91
第六节	混凝土表面处理是成败的关键	94
第五章	水泥基渗透结晶型防水材料	97
第一节	该类材料进入中国市场的情况及主要品种	98
第二节	化学反应机理	99
第三节	施工操作工艺举例	102
第四节	验证水泥结晶增生特性的各项试验	104
第五节	工程应用范围	117
第六节	工程实例	119
第七节	质量控制及检验标准	127
第八节	材料的毒理检验	133
第六章	地下工程变形缝	136
第一节	历史沿革	136
第二节	变形缝的合理间距	138
第三节	诱导缝与变形缝	140
第四节	欧洲的设计施工技术	144
第五节	国外的工程实例	152
第六节	国产止水带实例及标准	160
第七节	变形缝的渗漏水补修	169

第七章 防水混凝土施工缝	174
第一节 水膨胀橡胶止水条	174
第二节 钢板橡胶腻子止水板	183
第三节 施工缝预埋注浆管施工技术	187
第八章 混凝土结构防腐蚀	191
第一节 土层水中介质对混凝土的化学作用	191
第二节 混凝土结构的腐蚀	193
第三节 钢筋在混凝土结构中的腐蚀	203

第三篇 盾构法隧道

第一章 盾构法隧道防水综述	216
第一节 防水技术发展历程	216
第二节 管片接缝承力衬垫	220
第二章 管片防水密封垫	222
第一节 管片防水密封垫的分类	222
第二节 密封垫沟槽形状设计	224
第三节 密封垫的断面形式设计	225
第四节 橡胶密封垫的生产工艺	231
第五节 橡胶密封垫的物理力学性能	235
第六节 橡胶密封垫抗水压性能测试	242
第七节 密封垫的构造形式实例	277
第三章 水膨胀橡胶防水材料	310
第一节 水膨胀橡胶的研究与发展	310
第二节 水膨胀橡胶的防水机理	311
第三节 膨胀剂的类别	314
第四节 水膨胀橡胶的生产工艺及质量控制	323
第五节 物理力学性能及测试	324
第六节 水膨胀橡胶耐水压性能测试	330
第七节 管片防水密封垫工程实例	344
第八节 水膨胀橡胶的耐久性	352

第九节	水膨胀橡胶的缓膨胀剂	352
第四章	盾尾密封的油脂注入技术	357
第一节	盾尾密封的基本概念	357
第二节	盾尾密封油脂（膏）	358
第三节	盾尾密封油脂（膏）的技术性能	359
第四节	土压平衡盾构盾尾密封油脂注入工艺	362
第五节	工程实例	364
第五章	盾尾间隙的注浆技术	365
第一节	注浆材料	365
第二节	注浆方式	370
第三节	土压平衡盾构的同步注浆	376
第四节	上海地铁同步注浆材料的配合比优选	383
第六章	土压平衡盾构的化学泡沫注入技术	395
第一节	土压平衡盾构基本工作原理	395
第二节	加沫式土压平衡盾构	398
第三节	气泡土的性能	401
第四节	发泡材料与消泡材料	402
第五节	大断面泡沫加泥土压平衡盾构施工实例	404

第四篇 新奥法、沉埋法隧道

第一章	新奥法隧道防水技术	414
第一节	基本概念和定义	414
第二节	适用范围	415
第三节	混凝土二次被覆	416
第四节	防水层	421
第五节	防水隔离层的研究和施工实例	424
第六节	日本的防水技术	442
第二章	沉埋法隧道防水技术	446
第一节	管段的自防水	446
第二节	外防水层	449

第三节	接头防水	452
第四节	管段间的防水	456
第五节	应用技术分析	460
第五篇 防水工程管理与维护		
第一章	渗漏水治理	464
第一节	地下工程渗漏水原因分析	464
第二节	渗漏水治理技术方案的制订	472
第三节	盾构法隧道的渗漏水测量	482
第四节	渗漏水补修的合同价格确定实例	489
第二章	混凝土结构裂缝	493
第一节	防水混凝土裂缝的产生与控制	493
第二节	混凝土裂缝及破损面的补修	499
第三节	衬砌裂缝注浆	505
第三章	隧道衬砌混凝土剥落事故及分析	510
第一节	隧道安全问题的概况	511
第二节	隧道剥落事故的原因分析	512
第三节	事故分析的结论与评述	518
第四章	现场防水材料的防火安全管理	521
第一节	隧道现场火灾成因和防火管理现状	521
第二节	防水卷材的难燃性研究	526
第三节	防水卷材的防火对策	531
参考文献		536

第一篇 绪论

- ◇ 第一章 地下工程防水技术综述
- ◇ 第二章 城市地铁建设与地下水
- ◇ 第三章 防水等级标准

第一章 地下工程防水技术综述

随着建筑业的发展，各种用途地下空间的利用与开发以及城市地下铁道的建设，地下建筑的施工方法正在我国迅速发展。其防水技术的开拓，日益显示出它的重要性。

地下建筑的表现防水效果，已经成为工程质量的主要考核指标和技术经济效益的重要体现。

工程防水效能的耐久性，取决于防水材料、施工工艺，很大程度上与操作人员的技术素质有关。因而防水材料配制、防水施工技艺越来越多地成为专业防水施工队伍的技术诀窍。

第一节 施工方法和防水

隧道及地下工程施工时，须先开挖出相应的空间，然后在其中修筑衬砌，施工方法的选择，应以地质、地形及环境条件以及埋置深度为主要依据，其中对施工方法有决定性影响的是埋置深度。埋置较浅的工程，施工时先从地面挖基坑或塹壕，修筑衬砌之后再回填，这就是明挖法。当埋深超过一定限度后，明挖法不再适用，而要改用暗挖法，即不挖开地面，采用在地下挖洞的方式施工。盾构法、顶管法均属暗挖法。

隧道及地下工程施工时有下列特点：①受工程地质和水文地质条件的影响较大；②工作面少而狭窄，工作环境差；③暗挖法施工对地面影响较小，但埋置较浅时可能导致地面沉陷；④有大量弃土要进行处理。

19世纪为修建水底隧道，创制了盾构，经100多年改进，盾构法成为在松软地层中常用的方法之一。

为避免在水下施工，19 世纪末又出现了沉管法，此法主要工序在地面上进行，优点显著，应用日益广泛。

在敷设管道或设置地道时，为了不影响地面房屋和其他工程设施，用千斤顶将预制的管段或箱涵配合挖土向前顶进，这就是顶管法。用这种方法穿过街道、路堤等障碍物是很有效的。

用沉井法修筑地下建筑，具有占地面积小、挖土量少、施工方便、对周围设施影响较小等优点。

城市中用明挖法施工，打设板桩时会产生很大噪声和振动。地下连续墙法无此弊病，它是用专门机械开挖深槽，应用触变泥浆护壁，然后在槽中灌注水下混凝土，筑成地下连续墙来挡土或作为地下结构的一部分。

随着岩体力学的发展，20 世纪中叶创造了新奥法。此法的主旨是尽量利用围岩的自承能力，用喷锚支护控制围岩的变形及应力重分布，使达到新的平衡。这样就把支护和围岩组成一整体结构，而其中的主要承载部分是围岩。此法是在软弱围岩中施工的有效方法。

施工方法的发展有赖于系列化、自动化施工机械的研制和新材料的发展，特别是防水材料和施工技术的创新，以缩短施工期限和保证工程质量。

第二节 地下工程防水原则

地下防水的设计，总体要求是“防排结合，防为基础；多道防线，刚柔并举；因地制宜，综合治理”的原则。在总体应用上，宜按实际情况进行分解与细化。如防排结合，包括截、堵、导等措施。而多道防线、刚柔并举，则包括材料防水与构造防水并举，结构自防水与柔性防水材料并举，以及与接缝密封材料、止水或堵漏材料互补并用等措施。

近年来，随着高层建筑的日益增多，埋土较深的多层地下建筑已很普遍（如 3~5 层甚至更多），这类地下建筑的防水、防潮

问题尤为突出。在设计上若稍有疏忽，势必影响地下工程的正常使用，造成不必要的损失与浪费。

多层地下建筑防水设计的关键是，首先必须采取多道设防，单一的结构自防水是不可靠的；其次在选用柔性防水材料时，要充分考虑施工条件的因素，如保证防水材料 with 基层粘结牢固，但又有一定的抗变形能力；第三是宜考虑在各构造层次间设置必要的隔离措施，以减少约束的影响。

第三节 地下工程防水各论

一、地下工程防水的三种形式

纵观各国防水技术，大体上可归纳为三种类型。其一是从围岩、结构或附加防水层着手，拒水于工程之外，采取种种办法，千方百计不使地下水进入工程内边，称之为水密型。其二是从疏水、泄水着手，将地下水有意识地导入工程内边的排水系统，使之不施虐于结构本身，称之为泄水型或引流自排型。其三是两者结合，在同一工程中既有泄水的一面，又有水密的另一面，称之为混合型。

对于具体工程，选用何种型式，则须根据水文地质条件、周围地形地貌、工程性质、施工方法以及造价高低来确定。各种形式的防水方法，均有其利弊，要作具体分析才能得出取舍的结论。

二、我国地下工程的防水作法

防水作法按其采取的措施和手段的不同，分为材料防水和构造防水两大类。

材料防水是靠建筑材料阻断水的通路，以达到防水的目的或增强抗渗漏的能力，如卷材防水、涂膜防水、抹面防水等。

构造防水是采用合适构造形式，阻断水的通路，以达到防水的目的，如底板设置盲沟排水系统（倒滤层）、离壁式衬砌等。

任何一种防水作法都依附于（或立足于）混凝土结构的自防

水效能，即防水混凝土的质量。

三、防水混凝土

在 0.6MPa 以上水压下不透水的混凝土称为防水混凝土。

防水混凝土分为：

(1) 普通防水混凝土。所用原材料与普通混凝土基本相同，但两者的配制原则不同。普通防水混凝土主要借助于采用较小的水灰比（不大于 0.6），适当提高水泥用量（不小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ ）、砂率（35% ~ 40%）及灰砂比（1:2 ~ 1:2.5），控制石子最大粒径，加强养护等方法，以抑制或减少混凝土孔隙率，改变孔隙特征，提高砂浆及其与粗骨料界面之间的密实性和抗渗性。普通防水混凝土一般抗渗压力可达 0.6 ~ 2.5MPa。

(2) 外加剂防水混凝土。在混凝土拌合物中加入微量有机（引气剂、减水剂、三乙醇胺）或无机盐（如氯化铁），以改善其和易性，提高混凝土的密实性和抗渗性。引气剂防水混凝土抗冻性好，能经受 150 ~ 200 次冻融循环，适用于抗水性、耐久性要求较高的防水工程。减水剂防水混凝土具有良好的和易性，可调节凝结时间，适用于泵送混凝土及薄壁防水结构。三乙醇胺防水混凝土早期强度度，抗渗性能好，适用于工期紧迫、要求早强及抗渗压力大于 2.5MPa 的防水工程。氯化铁防水混凝土具有较高的密实性和抗渗性，抗渗压力可达 2.5 ~ 4.0MPa，适用于水下、深层防水工程或修补堵漏工程。

(3) 膨胀水泥防水混凝土。是利用膨胀水泥水化时产生的体积膨胀，使混凝土在约束条件下的抗裂性和抗渗性获得提高，主要用于地下防水工程和后灌缝。

四、附加防水层

地下工程多在迎水面设置防水水泥砂浆防水层、卷材防水层或涂料防水层等，其目的是补偿增强结构自防水，作为一道重要的防水线。目前，国内地下工程附加防水层常用的卷材防水层为 SBS 改性沥青防水卷材（北京地区）、涂膜防水层为聚氨酯涂膜及聚合物水泥防水砂浆等。

北京地铁复八线工程隧道与车站皆采用复合式衬砌结构，所谓复合式衬砌结构由初期支护 + 防水层 + 二次衬砌模浇筑防水混凝土构成。防水层设置在初期支护与二次衬砌模浇筑防水混凝土之间。遵循北京地铁复八线工程的防水原则，防水层选用柔性高分子树脂防水片材（如 EVA、ECB 或 LDPE 等），基于防水片材性能优越和施工工艺先进，能做到防水层整体连续密封性，因而取得了良好的防水效果。已建成的天安门东站、永安里车站均采用盖挖逆作法修建、防水层采用 EVA 膜（厚 0.8mm），虽然地下水位较高，车站主体无渗漏水。

防水层及其施工方法是根据地下建筑的用途、衬砌形式、构造埋深程度、地下水的侵蚀和水头等因素而决定的。

附加防水层能否达到预期效果，除取决于各组成材料的质量和构造设计的周密合理外，防水层的施工是关键的一环。防水层施工是一项工序繁杂、操作要求十分仔细的工作。并且整个施工是分阶段地穿插在各大工序间，要求各工种给予密切配合，若配合不周，操作疏忽都将造成渗漏事故。

地下工程防水层施工的某些阶段，要求将地下水位降低到垫层以下 30~40cm，基坑两侧设排水沟及时排除积水，并采取措施保持混凝土垫层不反潮。

五、细部构造防水作法

细部构造防水指钢筋混凝土结构变形缝（沉降缝、伸缩缝、抗震缝等）、施工缝、穿墙管道预埋套管等的防水处理。

细部构造是防水混凝土工程的薄弱环节，变形缝和管道穿墙孔常常是工程渗漏水的主要部位。

变形缝的构造形式经历了由繁到简的过程。变形缝构造越复杂，施工质量越难保证，可能漏水的环节也就增多。因此缝的构造应以简单可靠，易于施工为原则。

合理设置变形缝是防止混凝土结构开裂的重要措施。

沉降缝和伸缩缝的设置应尽量合一，以简化施工并减少渗漏的机会。