

◎ 顾问 孙建平 许解良

轨道交通工程承压水风险控制指南

GUIDAO JIAOTONG GONGCHENG CHENGYASHUI FENGXIAN KONGZHI ZHINAN

刘 军 潘延平 主编

上海市建设工程安全质量监督总站 组编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

顾问 孙建平 许解良

李国豪主

轨道交通工程 承压水风险控制指南

刘 军 潘延平 主编

上海市建设工程安全质量监督总站 组编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

主要内容

本书从识别承压水风险源着手,对上海市承压含水层的区域分布特征进行了深入系统的分析,编制了《上海市水文地质分区图》;通过专家调查,对上海地区轨道交通承压水分险源进行了全面系统的辨识与汇总;提出了综合分析、评价轨道交通承压水风险等级的工具与方法;提高了轨道交通承压水风险控制体系(包括承压水风险控制技术措施及管理措施);最后通过典型案例的风险分析与评估,检验了风险评估模型的可行性、可靠性与实用性。

本书可作为轨道交通从业单位工程技术人员的专业手册,也可作为高校相关专业研究生和本科教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通工程承压水风险控制指南/刘军,潘延平 主编;
上海市建设工程安全质量监督总站 组编. —上海:同济大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-5608-3777-2

I. 轨… II. ①刘…②潘…③上… III. 城市铁路
铁路工程—承压水—风险分析 IV. U239.5 P641.139

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 050511 号

轨道交通工程承压水风险控制指南

刘 军 潘延平 主编 上海市建设工程安全质量监督总站 组编
责任编辑 宋 磊 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟华顺印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10

印 数 1—4100

字 数 250 000

版 次 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3777-2/H·80

定 价 39.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

本书编委会

顾问:

孙建平 许解良

编委会:

主任 刘 军

副主任 朱建纲 姜 敏

编 委 张国琮 白廷辉 王宝海 刘 坚 潘延平 陆 鸣

张常庆 沈光怡 邱志青 辛达帆 蔡 鹿 钱 洁

主 审 徐 伟

编写组:

主 编 刘 军 潘延平

副主编 缪俊发 陈丽蓉 杨国祥 辛达帆

成 员 许丽萍 邱锡宏 徐振峰 刘万兰 鲁智明 李 韬

琚 娟 孙 莉 褚伟洪 李方政 曹文宏 瞿成松

张国强 朱 伟 郭红远 赵建军 张继丰 余康华

序

近年来,我国城市轨道交通建设取得了飞跃发展。在上海市,自1995年地铁一号线建成、投入使用以来,目前已经投入运营的轨道交通线路里程已超过230.0km;至2010年世博会召开,上海市投入运营的轨道交通线路里程将达到400.0km,其工程建设规模之大和速度之快可谓世界之最。

随着轨道交通建设向纵深发展,许多超大、超深基坑工程不断涌现。上海地区地处深厚的海相沉积层上,分布有厚度不等的松散沉积物,蕴藏着丰富的承压水,对工程施工质量安全的威胁越来越大,承压水引发的施工安全与环境安全风险日益增长。在轨道交通建设过程中,必须解决承压水的风险评估与控制问题。在过去的两年中,上海市建设工程安全质量监督总站、上海岩土工程勘察设计研究院有限公司和同济大学等多家单位,共同承担、完成了上海市建设交通委员会“上海市轨道交通承压水风险控制研究”的重大科技攻关课题,在轨道交通承压水风险评估和控制方面积累了丰富的经验,取得了令人信服的成果。

为了在实际工程中尽快普及从业单位的承压水风险认识和控制水平,进一步提高轨道交通建设中监督、勘察、设计、施工、监理、降水等方面对承压水风险控制的工作,在上海市建设工程安全质量监督总站、上海岩土工程勘察设计研究院有限公司及同济大学的共同努力下,成立了由多位国内著名专家组成的本书编委会,经过一年多时间的努力,编写完成《轨道交通承压水风险控制指南》一书。

《轨道交通承压水风险控制指南》编制了《上海市水文地质分区图》,全面分析、梳理了轨道交通工程中若干承压水风险源,提出了轨道交通承压水风险等级判定方法、判别标准和评估模型,建立了承压水风险控制体系,并列举了两个应用实例,理论与实践并举,是一本内容丰富、实践性强的实用指南。

随着我国城市轨道交通的快速发展,承压水风险和与之紧密相关的风险评估与控制将引起越来越多的关注。本指南的出版将有助于工程技术人员、高校师生的理论学习和实践工作,为我国轨道交通建设做出更大的贡献。

陈建平

2008年4月10日

目 录

序	1
1 概 述	(1)
1.1 主要内容	(2)
1.2 主要特色	(2)
2 轨道交通承压水风险控制进展	(5)
2.1 风险分析	(5)
2.2 轨道交通发展与承压水风险控制	(8)
3 轨道交通承压水控制现状	(9)
3.1 轨道交通承压水控制技术和方法现状	(9)
3.2 轨道交通承压水管理与控制现状	(12)
4 水文地质条件分区	(15)
4.1 上海地区承压水分布特征	(15)
4.2 与轨道交通建设密切相关的承压含水层分布特征	(19)
4.3 水文地质分区的重要性及分区原则	(19)
4.4 《上海市水文地质分区图》编制	(20)
5 轨道交通承压水风险源辨识	(25)
5.1 工程技术方面的承压水风险源辨识	(25)
5.2 市场管理方面的承压水风险源辨识	(43)
5.3 工程管理方面的承压水风险源辨识	(44)
6 轨道交通承压水风险分析	(46)
6.1 风险源分析	(47)
6.2 风险分析方法	(51)
6.3 风险评价及标准	(54)

6.4	专家调查成果简介	(56)
6.5	风险概率水平基本值的确定	(60)
6.6	风险概率水平影响系数分析	(60)
7	轨道交通承压水风险控制技术措施	(64)
7.1	深基坑工程中的承压水风险控制技术措施	(64)
7.2	区间隧道工程的承压水风险控制技术措施	(76)
7.3	旁通道工程的承压水风险控制技术措施	(80)
7.4	盾构进出洞的承压水风险控制技术措施	(84)
8	轨道交通承压水风险控制管理措施	(88)
8.1	建设管理风险控制措施	(88)
8.2	从业单位管理风险控制措施	(93)
8.3	仪器设备资源紧缺风险控制措施	(96)
8.4	技术标准不完善风险控制措施	(97)
8.5	市场竞争不规范风险控制措施	(97)
9	工程应用	(101)
9.1	轨道交通九号线宜山路站基坑工程承压水风险分析	(101)
9.2	轨道交通 M8 线周家渡—西藏南路区间隧道承压水风险分析	(112)
10	结束语	(123)
附表	轨道交通承压水风险控制措施表	(124)
附表 1	深基坑工程承压水风险源与技术控制措施表	(124)
附表 2	区间隧道工程承压水风险源与技术控制措施	(132)
附表 3	旁通道工程承压水风险源与技术控制措施	(136)
附表 4	盾构进出洞工程承压水风险源与技术控制措施	(141)
参考文献		(147)

1 概 述

改革开放以来,我国城市建设以空前的速度与规模迅猛发展。为了解决城市土地紧缺与日益扩大的土地需求之间的矛盾,提高土地的空间利用率,城市建设的施工逐步从地面转入地下,朝着地下空间发展。

上海市轨道交通大规模建设中,地铁车站、区间隧道、旁通道及进出洞的施工均涉及承压含水层问题。随着地铁车站及工作井的超深、超大型基坑增多,施工安全与建筑环境安全问题日显突出。对于深度较大的基坑工程,为防止深层承压含水层地下水水头的顶托作用而可能发生的坑底土层突涌、基坑倒塌,通常采用减压降水降低深层承压水位,达到保护基坑安全与施工安全的目的;在轨道交通旁通道施工、盾构进出洞遇承压含水层时通常采用冰冻技术或其他办法加固地基土,以防止承压水突涌,确保施工安全。目前的研究及工程实践经验表明,承压含水层(地下水)对地下工程的施工安全性具有重要影响,且承压水位的变化对相邻建筑环境的安全性亦具有重要的影响。

已经发生的重大建设工程事故表明,承压含水层(地下水)已成为导致建设工程事故的关键因素之一。当停止降水、降水失效或未采取有效的承压水治理措施,导致承压水水位大于安全高度时,基坑与旁通道将发生严重的突涌破坏,坑外发生严重的水土流失、地面沉降或沉陷,围护结构发生严重的下沉、歪斜、破坏或失稳,最终引发严重的工程事故,延缓或停滞工程建设,并可能造成严重的人员伤亡与(或)巨大的经济损失。当降水方法选用不当,导致坑外承压水水位降幅过大时,坑外将产生分布范围较广、绝对值较大的地面沉降,引发严重的环境岩土工程问题,相邻建(构)筑物可能发生不同程度的损坏,如相邻建筑物的倾斜、开裂甚至倾倒破坏,相邻市政管线的损坏或毁坏以及相邻地面交通设施、地下交通线路的严重损坏等,影响社会稳定、人民的生命与财产安全等。随着地下空间开发规模与深度的不断扩大,引发承压水风险的因素、概率日趋增加,风险等级日趋提高,控制承压水风险的重要性日益凸显。在轨道交通工程建设中,探索和建立完善的承压水风险控制体系与方法,已成为亟待解决的重要课题。

20 世纪 70 年代以后,隧道工程风险分析的研究取得了一定的成果,但多以理念的建立和定性的研究为主,而定量的研究往往止步于可靠度的计算。至今,隧道工程风险分析主要集中在影响隧道施工的过程风险分析和环境风险分析。

我国风险分析在隧道工程中的应用研究还比较少。近几年,随着轨道交通建设的快速发展,国内各大设计院、保险公司以及高校等单位,都已开始了相关研究工作,并逐渐从

理论研究转向工程应用。

在承压水控制技术方面,经过 20 多年的研究与工程实践,已有较成熟的设计理论、技术标准、施工工艺及运行技术等。在遭遇了许多因承压水处理不当而引起的重大工程事故、承受了重大的经济损失与人员伤亡的惨痛教训之后,人们逐渐认识到承压水的工程特性,并逐渐重视承压水的影响。但是,尽管承压水的重要性已得到了土木工程界的广泛关注与重视,人们对承压水风险的认识仍处于较为肤浅的阶段,对风险的认识与评估缺少有效的工具与方法。

1.1 主要内容

本指南从识别承压水风险源着手,探索的承压水风险等级判别方法,建立承压水风险评估模型,探索控制承压水风险的有效途径与措施,建立完善的风险控制体系,规避承压水风险,最终形成一套完整的关于轨道交通承压水风险的评价与控制体系,期望能为今后软土地区承压水风险控制提供有效的工具与方法,为建设单位及政府监督机构的决策提供理论依据。

主要内容如下:

- (1) 根据以上海为代表的承压含水层分布特征进行水文地质分区;
- (2) 系统分析目前轨道交通建设中承压水控制现状及存在问题;
- (3) 通过正确的途径与方法,分别对深基坑、区间隧道、旁通道及进出洞进行承压水风险源进行识别;
- (4) 在系统总结国内外工程界风险控制理论与方法的基础上,探索与提出合适、有效的地下空间开发中承压水风险等级判定方法,建立风险等级判别标准,建立风险评估模型,综合分析、评价承压水风险等级;
- (5) 在风险源识别及风险评估的基础上,提出有针对性的技术及管理控制措施;进一步明确管理流程及建设主体各方职责,为政府管理机构制定管理条例及技术规定提供依据,为控制承压水风险提供有效的工具。

1.2 主要特色

1.2.1 针对轨道交通承压水风险控制编制《上海市水文地质分区图》

本指南在上海地区水文地质分布特征的基础上,根据第⑤₂层与第⑦层分布特征以及与其他含水层(或隔水层)的组合关系,进行水文地质分区,编制上海市中心城区的《上海

市水文地质分区图》。该图提供了承压水分布的基础性资料,用于指导风险源的识别。

1.2.2 对目前轨道交通建设中的承压水风险源进行辨识

轨道交通建设属于复杂的生命线系统工程,承压水风险因素存在于工程建设的各个环节。因此,承压水风险源辨识成为轨道交通承压水风险分析与评估的工作基础,对承压水风险控制具有极其重要的意义。

本指南系统分析了目前轨道交通建设中承压水控制现状及存在的主要问题。在此基础上,对轨道交通建设的“地铁车站深基坑工程”、“区间隧道工程”、“旁通道工程”及“盾构进出洞工程”等4个重要组成部分的承压水风险源进行了辨识与汇总。

1.2.3 提出合适、有效的承压水风险等级判定方法与判别标准

综合运用调查和专家打分法、层次分析法,确定各承压水风险源的风险概率水平及分级、风险损失水平与分级。以此为基础,运用风险分析计算工具,得到各承压水风险源的归一化风险指标 R 。根据风险指标 R 与风险事件的可接受程度,确定各承压水风险源的风险等级,制定风险等级判别标准。

1.2.4 提出轨道交通承压水风险评估模型

借助于层次分析法,以各承压水风险源的风险等级及等级判别标准为基础,构建风险判断矩阵,从而建立风险评估模型,综合分析并评价轨道交通承压水风险等级或某一部分(“地铁车站深基坑工程”、“区间隧道工程”、“旁通道工程”或“盾构进出洞工程”)的承压水风险等级。

本指南所提出的风险评估模型是一个动态模型。在轨道交通建设过程中,承压水风险源及其发生概率、风险损失是随着工程进展的不同阶段不断变化的,应用本指南提出的轨道交通承压水风险评估模型,可以对不同阶段的风险概率与风险损失进行分析与评估,确定特定建设阶段的轨道交通承压水风险等级。

1.2.5 提出轨道交通承压水风险控制体系

基于承压水风险分析与评估,本指南提出了轨道交通承压水风险控制体系,其内容包括承压水风险控制技术与承压水风险控制管理措施。

根据上海地区工程与技术经验总结、归纳、梳理承压水风险控制技术措施,按基坑、区间隧道、旁通道、进出洞口4个部分进行阐述。技术控制措施力求覆盖面广且详细,并汇编成附表形式(详见附表1—附表4)。该附表信息量大,各风险源其原因分析与控制措施逐一对应,便于实际工程中查阅与参考。具体工程应用中,应根据具体情况明确主要风险

源,采取针对性的技术控制措施。

针对上海地区轨道交通建设现状、承压水风险控制现状、管理经验与教训等,提出承压水风险控制管理措施,其内容覆盖了“建设管理”、“从业单位管理”、“仪器设备资源”、“技术标准”和“市场竞争”等5个方面。

1.2.6 通过轨道交通典型案例的工程应用,详细说明轨道交通承压水风险分析与评估的流程

选取 2 个轨道交通的典型工程案例,分别进行承压水风险分析与评估的应用研究,提出和演绎了具体的承压水风险评估的工作步骤与方法。

应用研究结果表明,本指南提出的风险分析模型适用于上海市轨道交通承压水风险评估,其判别的风险等级符合实际;具有丰富经验的编写组成员的参与,确保了风险源识别和各级风险源重要度排位等重要基础性工作的质量;承压水风险评估中充分考虑了水文地质区域特征、从业单位综合实力和周边环境条件的影响,提高了评估工作的准确度。

2 轨道交通承压水风险控制进展

2.1 风险分析

2.1.1 工程风险管理

风险通常指事件发生的不确定性以及这种不确定性带来的损害。其构成要素包括风险源、风险事件和风险损失等。

风险源是指促使损失频率和幅度增加的要素,是导致事故发生的潜在原因,是造成损失的直接或间接原因。

风险事件是指造成生命财产损失的偶发事件,是直接或间接造成损失的事故,因此可以说风险事故是损失的媒介物。

风险损失是指非正常、非预期的经济价值减少。

目前比较通用的风险各要素之间关系式为

$$R=f(P,C) \quad (2-1)$$

式中 R ——风险;

P ——风险事件发生的概率;

C ——风险事件发生的后果,即损失。

式中的函数关系中最简单、最多的是相乘关系,即

$$R=PC \quad (2-2)$$

工程风险管理指依据风险环境和设定的目标,对工程风险分析和处置进行决策的过程。工程风险管理通常包括两大环节和四个步骤。两大环节为工程风险分析、制定和实施风险处置方案;四个步骤包括风险源辨识、风险估计、风险评价和风险处置。

工程风险分析是指辨识和估计工程风险,并且对工程风险的结果进行评价,为工程风险管理计划的制定和实施提供依据。工程风险分析不仅仅是简单的风险辨识、估计和评价,而是一项复杂的风险管理工程。通过风险分析找出风险转化的条件,然后采取措施改变特定的风险转化条件,从而控制工程风险事件发生的频率和风险损失程度,是工程风险分析的目的。

工程风险辨识阶段可以采用的方法包括资料法、现场调查法、专家调查法、WBS-RBS法(工作分解结构)、AHP法(层次分析法)等。工程风险估计的方法包括模糊综合评判

法、风险指数法、统计和概率法、敏感性分析法和蒙特卡罗模拟技术等。工程风险评价可以采用规范分析模式,首先确定风险评价标准,然后评价风险对目标实现的影响,在此基础上确立风险处置的基本策略。

2.1.2 轨道交通风险分析

国际上,隧道工程风险分析和风险管理方面的研究和应用,呈现一片生机盎然的景象。

20 世纪 70 年代以后,隧道工程风险分析的研究取得了一定的成果,但多以理念的建立和定性的研究为主,而定量的研究往往止步于可靠度的计算。如何进一步达到技术与经济指标的结合,目前的成果不是特别多,隧道工程风险分析主要集中在影响隧道施工的过程风险分析和环境风险分析。

隧道工程施工风险分析的代表人物是美国的 Einstein H. H.,其主要贡献是,指出了隧道工程风险分析的特点和应遵循的理念。隧道工程环境风险分析方面的代表人物是英国的 Peck 和 Burland J. B.。Peck 第一次提出地层损失的概念,并建议采用 Gauss 分布函数,即 Peck 公式,描述盾构法施工引起的地表沉降。其后,国内外学者在这方面作了大量的研究工作。Burland J. B. 从工程项目角度出发,在风险评估的项目实施中寻求规律,其主要贡献为:在地下工程的环境影响的评估方面,提出了隧道工程对环境影响的评估方法和程序。

我国风险分析在隧道工程中的应用研究还比较少。在近几年内,随着轨道交通建设的快速发展,国内各大设计院、保险公司以及高校等单位,都已开始相关研究工作,并逐渐从理论研究转向工程应用。其中,以上海为代表性地区,以同济大学为主进行的沪崇通道的风险评估项目,可以说是国内风险分析技术应用于隧道工程的第一个大型项目。

2006 年,上海城建集团白云教授等完成了上海轨道交通十号线风险评估,同济大学黄宏伟教授等完成了上海轨道交通九号线二期工程和轨道交通十一号线风险评估。这些项目的研究成果主要提交有关保险公司,作为投保依据和今后相关问题的解释依据。从这些风险评估报告的内容来看,采用了专家调查法结合层次分析法进行,均对风险做了定性的分析。

2.1.3 轨道交通风险管理标准化

2.1.3.1 国际动态

十多年来的实践表明,隧道工程风险已经造成了保险公司的大量损失。保险公司通过提高投保费率、停止隧道工程保险,并限定投保范围等方式,规避隧道风险带来的损失。为了推动隧道施工和保险的良性发展,英国隧道协会首先与保险公司合作,制定了《英国

隧道作业风险管理实施规范》。2004年,国际隧道保险组织与国际隧道协会(ITA)合作,制定了《隧道工程作业的风险管理实施规范》,同时发表了《隧道工程风险管理指南》。

2005年5月,ITA在土耳其伊斯坦布尔召开了第三十一届会员国大会。在本届大会上,ITA第三工作组讨论了国际隧道保险组织正在编写的《隧道工程风险管理实施规范》,认为对于大的工程,在客户和保险公司之间,此规范可以作为风险管理的框架和指南。

2006年4月22日至27日,ITA在韩国首尔召开第三十二届会员国大会。这届年会的主要议题是“隧道工程风险与管理”,受邀专家在大会报告中介绍了隧道工程风险管理的经验与ITA主持的研究成果,主要包括以下内容:

- (1) *Introduction*(介绍), Martin Knights;
- (2) *Guidelines for Tunnelling Risk Assessment*(《隧道风险评估指南》), Eric Leca & Soren Degn Eskesen;
- (3) *Risk Management in Tunnelling: a systematic framework for the contractual apportionment of construction risk*(《隧道施工风险管理:施工风险契约分摊系统框架》), Arnold Dix & Martin Smith;
- (4) *Occupational Health & Safety Risk Management in Tunnel Works*(《隧道工作中的职业健康与安全风险管理》), Donald Lamont;
- (5) *Korean Risk Management Practices: a contractor's perspective*(《韩国风险管理实践:承包人的看法》), Woong-Suk Yoo;
- (6) *The Code of Practice for Risk Management of Tunnel works - Future Tunneling Insurance from the Insurer's Point of View*(《隧道工程作业风险管理实施规范:保险人眼中的未来隧道施工保险》), Heiko Wannick.

由上可见,在近年来ITA的专题报告中,风险管理规范与指南等方面的介绍或讨论所占的比例不断增大。

2.1.3.2 国内动态

2005年6月,在中国土木工程学会等单位召开的“全国地铁与地下工程技术风险管理研讨会”上,建设部副部长黄卫指出,(政府管理)必须实现从传统的政府危机管理向政府风险管理的模式转型与超越。目前,隧道及地下工程建设风险管理最缺乏的是没有可资利用和借鉴的方法,没有可以利用和指导应用的风险管理手册和指南。建设部已经委托土木工程学会组织有关单位专家编制《地铁与地下工程技术风险管理指南》,出台后将形成指导全国地铁与地下工程风险管理的规范。而为了保证重大工程的质量安全,未来我国还要引入保险机制,推行工程质量保险制度,发展工程保险市场。根据建设部有关规定,两类建筑原则上将办理工程保险:一是技术风险较大的房屋建筑工程、市政基础设施工程与土木工程;二是各类商品住宅工程。

中国保险监督管理委员会(保监会)于2006年10月颁布了《财产保险危险单位划分方法指引第6号:地铁隧道工程》,规定了地铁隧道工程项目危险单位划分的原则、方法和内容,提出了地铁隧道工程的风险分类和内容。

2.2 轨道交通发展与承压水风险控制

近年来,国内轨道交通建设得到突飞猛进的发展。根据2005年统计资料,我国共有20多个城市正在建设或规划建设轨道交通项目,其中基本符合国务院规定建设标准的城市18个,初步统计近期规划建设55条轨道交通线路,长约1500km,总投资达到5000亿元,而目前在建线路总长度超过390km。

就上海地区而言,2010年之前将有超过400km的轨道交通线路投入运营。轨道交通建设向纵深发展,松散软土区蕴藏的丰富的承压含水层地下水,对工程施工安全的威胁越来越大,人为改变承压水渗流场对建筑环境、城市生存环境的安全威胁也越来越大。因此,轨道交通建设工程中,承压水引发的施工安全与环境安全风险日益增长,能否有效与安全地控制承压水已成为影响轨道交通建设工程成功与否的关键因素之一。

3 轨道交通承压水控制现状

本章根据目前积累的轨道工程建设经验,分析总结轨道交通工程承压水控制常用的技术与方法、各类技术与方法的影响因素及控制现状;对政府主管单位、建设单位近年来针对承压水风险控制采取的措施、颁布的各项规定进行全面梳理,分析轨道交通大规模建设期管理方面的现状。

3.1 轨道交通承压水控制技术和方法现状

根据目前工程建设经验,上海地区轨道交通工程建设中涉及承压水时,针对不同部分(基坑工程、区间盾构隧道、旁通道、进出洞)采取的承压水控制方法如下:

(1) 在深基坑工程中,通常采用减压降水方法控制承压水,深部(承压水范围内)围护体渗漏则采用注浆或高压旋喷桩止水;

(2) 在区间隧道工程中,控制承压水的方法包括调整施工参数确保开挖面稳定、确保管片及止水带止水效果良好;

(3) 旁通道施工时,目前主要采用冰冻法加固暗挖施工工艺,地基加固方法被认为加固后土体仍可能不均匀,存在渗透通道而很少单独使用;

(4) 进出洞控制承压水方法包括地基加固、冰冻法或降水等。

承压水减压降水技术、地层冻结技术、注浆堵漏技术以及盾构施工中的防渗技术等,作为控制承压水的专项技术,对确保轨道交通建设安全、避免风险事件发生及工程抢险等,均发挥了各自重要的作用。

3.1.1 承压水减压降水

在地下工程施工期间,对于深度较大的基坑工程,为防止因深层承压水水头的顶托作用而可能发生的坑底土层突涌、基坑倒塌,通常必须采用深层减压降水的办法,降低深层承压含水层地下水水头,达到基坑稳定与施工安全的目的。

由于地下工程施工周期较长,连续降低地下水位一般延续数月至一年以上,导致浅层地下水位下降及深层承压水头的大幅度下降。地下水位(头)下降不仅改变了含水层组内的渗流场,而且改变了含水层组内各层土骨架的有效应力场的时空分布,从而导致地层变形,并由此引起相邻建(构)筑物的变形与破坏,相邻地面产生沉降。目前的研究成果表

明,地下水位下降导致地层发生压密变形,地下水位上升导致地层发生膨胀变形。因此,地下水对地下工程的施工安全性具有重要影响,地下水位的升降对相邻建筑环境的安全性具有重要的影响。

目前,在轨道交通建设中,大多数工程的承压水减压降水效果可确保施工顺利安全进行,且未对环境造成不良影响。例如,在轨道交通四号线董家渡隧道修复工程中,基坑开挖最大深度达 41.00m,开挖深度范围内已揭露第一承压含水层,且第一、二、三承压含水层连通,基坑减压降水的风险极大。经过精心设计与施工,在减压降水控制承压水方面取得了很好的效果。但是,少数工程的减压降水效果令人担忧,对工程建设及环境产生了不良影响。

根据大量工程资料分析,影响轨道交通工程承压水减压降水质量的因素较多,主要包括:

- (1) 对基坑降水区域的地质与水文地质条件特征缺乏全面与充分的认识;
- (2) 降水方案欠合理,尤其是未与基坑围护设计方案协调;
- (3) 减压降水井的施工质量不好,或挖土时被破坏;
- (4) 没有应急预案,或应急预案的可行性差。

3.1.2 地层冻结技术

利用人工制冷技术使地层中的水冻结,将天然状态下的土体变成冻土,增加其强度和稳定性,隔绝地下水与地下工程之间的联系,以便在冻土壁保护下,进行隧道、竖井和地下工程的开挖、衬砌施工等。地层冻结技术的实质是,利用人工制冷技术,临时改变天然岩土体的状态以固结地层,从而达到控制地下水,尤其是控制承压水对地下工程不利影响的目的。国内外大量冻结工程的实践经验表明,地层冻结技术在地下工程应用中具有下述优点:

- (1) 安全可靠性好。应用地层冻结法,可以有效地隔绝地下水。冻结施工使土体中的大部分地下水结冰,不仅提高了土体的强度,而且其阻水效果是其他方法无法比拟的。
- (2) 适应面宽广。地层冻结技术适用于任何含一定水量的松散岩土层,在复杂的工程地质和水文地质条件下,冻结技术均有效、可行。
- (3) 灵活性好。地层冻结技术可以人为地控制冻结体的形状与扩展范围,必要时可以绕过地下障碍物进行地层冻结。
- (4) 可控性好。冻结加固后的土体均匀、完整性好,可形成地下工程施工帷幕。
- (5) 污染性小。地层冻结过程中,不向地层中注入任何有害物质。冻结工程结束后,地层自然融化恢复为原有状态,不会在地层中留下碍于其他工程施工的地下障碍物。