



高等职业教育地下工程与隧道工程技术专业
“十二五”规划教材

隧道养护

SUIDAO YANGHU

■ 曹彦国 主 编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育地下工程与隧道工程技术专业
“十二五”规划教材

隧道养护

曹彦国 主 编
向 群 副主编
郭 胜 主 审



中国铁道出版社

2013年·北京

内 容 简 介

本书根据铁路隧道、公路隧道及地下铁道维修养护技术规范、规则编写,参考了大量的铁路、公路及地下铁道隧道病害分析及其整治、维修管理案例,内容丰富,贴近工作实际,操作性较强。全书共有6个项目,涉及隧道的水害及其整治、冻害和腐蚀及其整治、衬砌裂损及其整治、整体道床病害及其整治、洞口病害及其整治、隧道的通风、照明及防灾救援等内容。

本书适用于高职高专及各类成人教育的地下工程与隧道工程技术、城市轨道交通工程技术、铁道工程技术、高速铁路技术等相关专业教学使用,也可作为相关领域工程技术人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

隧道养护/曹彦国主编. —北京:中国铁道出版社, 2013. 10

高等职业教育地下工程与隧道工程技术专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-16781-3

I. ①隧… II. ①曹… III. ①隧道—养护—高等教育—教材 IV. ①U457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 163911 号

书 名: 隧 道 养 护
作 者: 曹彦国 主编

责任编辑: 李丽娟

编辑部电话: (010) 51873135

读者热线: 400-668-0820

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 龚长江

责任印制: 李 佳

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.51eds.com>

印 刷: 北京华正印刷有限公司

版 次: 2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 9.5 字数: 240 千

书 号: ISBN 978-7-113-16781-3

定 价: 20.00 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



前言

据 2010 年统计,我国建成的铁路隧道总长度已经超过 7 000 km,预计到 2020 年前,将建设 5 000 座铁路隧道,长度超过 9 000 km;公路隧道 7 384 座,计 5 122.6 km,且以每年 300 km 的速度增长。有 20 多个城市在建地下铁道。“十二五”期间全国城市轨道交通运营里程将达到 3 000 km。一方面隧道的数量在急剧上升,而另一方面有相当数量的老隧道已经到了其使用寿命的中后期,可谓“人到中年”。由于当时的历史条件,这些老隧道的设计理念落后,施工技术水平不高,造成通车运营后各种病害多发,给交通安全带来许多隐患,也使养护维修工作大量增加,急需一大批养护维修技术人员。经过多年的探索和设计、施工及养护维修的实践,隧道养护方面的新技术、新工艺、新材料等不断涌现,需要建设专门的《隧道养护》教材,培养高素质的隧道及地下工程技术高技能型人才。

本教材对接地下工程与隧道工程维修行业桥隧工等岗位的任职要求,围绕地下工程与隧道工程结构特点和技术标准,根据铁路、公路与城市轨道交通相关设计、施工、维修新规范编写,保持学生学习和实际工作的一致性。本教材基于铁路、公路、地下铁道的养护维修管理过程安排教学项目,反映最新的高职教学理念,实现真正意义上的教学做一体,培养学生的职业能力和职业素质。本教材将融合铁路、公路与地下铁道教学内容,使学生掌握相关维护施工技术,突出实际应用实例。

本教材以项目法作为体例,以相关案例引出隧道病害及其整治方法,注重从力学及岩体变形理论分析病害产生的原因,突出操作工艺,注重广泛收集实例并加以分析综合,力争达到多用图表、简明扼要、深入浅出、通俗易懂,以适应当前高职学生的认知特点。

本教材由天津铁道职业技术学院曹彦国任主编,天津铁道职业技术学院向群任副主编,北京铁路局工务处郭胜任主审。编写分工如下:向群编写项目 1,曹彦国编写项目 2~5,天津铁道职业技术学院万宏林编写项目 6。因编者水平有限,成稿仓促,缺点和错误定会不少,希望读者谅解并指正,以便改进。本教材编写过程中,撷取了大量相关专家有关论著文献的精华,在此谨向他们表示衷心地感谢!

编者

2013 年 5 月于天津



目录

项目 1 隧道水害及其防治	1
典型工作任务 1.1 隧道水害及其观测	3
典型工作任务 1.2 隧道水害的防治	7
知识拓展	24
复习思考题	28
项目 2 隧道冻害、衬砌腐蚀及其整治	31
典型工作任务 2.1 隧道冻害及其整治	34
典型工作任务 2.2 衬砌腐蚀及其防治	39
知识拓展	44
复习思考题	45
项目 3 隧道衬砌裂损及其防治	46
典型工作任务 3.1 隧道衬砌裂损类型分析	49
典型工作任务 3.2 隧道衬砌裂损检查观测与描述	53
典型工作任务 3.3 隧道衬砌裂损预防和整治	65
知识拓展	73
复习思考题	78
项目 4 铁路隧道整体道床的病害整治及基底处理	79
典型工作任务 4.1 铁路隧道整体道床病害分析	80
典型工作任务 4.2 铁路隧道整体道床病害整治及基底处理	85
知识拓展	95
复习思考题	97
项目 5 隧道洞口病害及其防治	98
典型工作任务 5.1 隧道洞口病害及其原因分析	99
典型工作任务 5.2 整修洞门与增设明洞	102
知识拓展	106
复习思考题	108
项目 6 运营隧道的通风、照明与防灾救援	109
典型工作任务 6.1 铁路运营隧道通风、照明及有害气体防治	110

典型工作任务 6.2 公路隧道照明与通风设施维护	115
典型工作任务 6.3 地下铁道运营通风	128
典型工作任务 6.4 隧道防灾救援疏散	130
知识拓展	140
复习思考题	143
参考文献	144

项目 1 隧道水害及其防治



项目描述

我国既有铁路和公路中,相当数量的隧道营运超过 30 年,这对于平均寿命为 50 年的隧道衬砌混凝土来说,已经到了病害多发的时期。据有关资料统计,我国运营铁路隧道中有水害的隧道约占 70%,水害严重导致状态失格者占 30%以上。可以看出,评价隧道水害,并有针对性地治理隧道水害十分必要。本项目主要讲述隧道水害的现象、形成与观测评价,以及隧道水害的治理方法。



拟实现的教学目标

1. 能力目标

- (1)能够对隧道渗漏水等水害情况进行有效观测和检测;
- (2)能够确定隧道水害类型并分析原因;
- (3)能够进行隧道防排水系统的规划和维护;
- (4)能够进行隧道水害防治措施选择并组织施工。

2. 知识目标

- (1)掌握隧道渗漏水等水害基本知识;
- (2)掌握隧道水害类型和产生原因;
- (3)掌握隧道防排水方法;
- (4)掌握隧道水害防治措施和施工工艺。

3. 素质目标

- (1)培养学生良好的职业道德和吃苦耐劳的优良品质;
- (2)培养学生分析问题、解决问题、积极思考、勇于创新的能力;
- (3)培养学生的业务能力。



相关案例:南昆铁路隧道渗漏水及其整治

于 1999 年建成的全长 899 km 的南宁至昆明电气化铁路共有隧道 258 座,隧道总长 194.6 km,约占线路总长的 21.6%。这些隧道交付使用后,大部分产生了不同程度的渗漏水现象,通过采用衬砌背后注浆、衬砌内部注浆等方法进行整治,取得了较好的效果。

1. 隧道渗漏水原因分析

(1) 地质因素

南昆铁路通过极为发育的岩溶地区,该地区还有断层、暗河等不良地质现象,岩层节理裂隙发育,地下水路通畅,地区降雨量大、汛期长,地表水补给充沛,造成岩溶、裂隙等地下水丰富、水量大。

(2) 设计因素

绝大多数隧道防排水设计虽采用了防水混凝土衬砌,但采用的普通盲沟排水极易被堵塞;另外,衬砌施工缝仅设计了一般背贴式橡胶止水带,止水效果很差。

(3) 施工因素

①采用传统的先拱后墙法施工,衬砌施工缝多且防水措施不能达标。

②拱顶衬砌背后有空洞,较大的围岩压力导致拱腰部位衬砌纵向张裂、拱顶衬砌压碎掉块。

③软岩地段,由于仰拱施作不及时,衬砌闭合晚,导致墙脚内移、边墙纵裂。

④衬砌混凝土振捣不密实,出现蜂窝、麻面等。

2. 渗漏水整治原则

(1)以拱部为主,拱部和边墙同时进行整治作为总原则。

(2)拱部采取“堵排结合,综合整治”的原则;边墙采取“以排为主,局部漏水伴有泥砂者以堵为主”的原则。

3. 整治方法

(1) 向衬砌背后注浆

衬砌背后注浆分初次注浆和检查注浆两个步骤。初次注浆采用水泥砂浆,注浆孔钻至岩层即可,注浆压力控制在 $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$;检查注浆采用纯水泥浆,注浆孔需钻入岩层 $10\sim 20\text{ cm}$,注浆压力控制在 $0.6\sim 1.0\text{ MPa}$ 。当地下水压力较大时,采用水泥—水玻璃双液浆。注浆顺序为:由下向上依次压注,由无水地段向有水地段依次压注,由水少地段向水多地段依次压注,以便于将地下水流汇集引排。

(2) 衬砌内部注浆

对渗漏水较小、水流分散、衬砌结构不密实或不利于引排的拱部衬砌,向衬砌内部注丙凝化学浆,注浆压力一般控制在 $0.3\sim 0.5\text{ MPa}$ 。

丙凝化学浆液分甲、乙两种,甲种主要是由丙烯酰胺、亚甲基双丙烯酰胺与三乙醇胺混合形成的液态浆液,乙种由过硫酸铵与水稀释而成,甲、乙液混合形成胶液状混合物,通过胶联剂、促进剂和引发剂发生化学反应形成固结状胶体且体积微膨胀,所以先在渗水点、缝、面处钻孔,安设塑料注浆管引水,注浆管埋置深度一般为 $8\sim 10\text{ cm}$,并进行抹面和嵌缝,使渗水只从注浆管中流出。待嵌缝和抹面材料达到一定强度后,进行压水试验(压力维持在 0.4 MPa 左右)以检查嵌缝和抹面情况,疏通衬砌裂缝并确定压浆参数后即可进行注浆。

4. 整治案例

南昆铁路米花岭单线电气化铁路隧道全长 9.498 km ,运营后出现严重水害,尤其是隧底翻浆冒泥严重影响到行车安全,所以采取注浆加固的办法进行整治。

首先选择 5 m 长病害段做注浆试验,按照钻孔→注浆→扫孔→注浆→扫孔→注浆的工序进行注浆试验,并满足如下要求:

(1)注浆孔间距。注浆孔间距视翻浆冒泥情况而定,轻微地段为 2 m ,较严重地段为 1.5 m ,严重地段为 1 m 。在两侧水沟内对称布置注浆孔。

(2)注浆孔深度:隧底注浆孔垂直向下深度最深为2 m(从水沟流水面至钻孔底),边墙底部以向下45°斜孔注浆,孔深2.5 m。

(3)注浆孔径及注浆管安设:钻孔孔径为60 mm,注浆管选用 $\phi 40$ mm钢管。注浆管孔口60 cm以远制成花钢管,即每隔10~15 cm开一 $\phi 6\sim 8$ mm小孔,小孔呈梅花形布置;注浆管于注浆前一天安设,注浆管孔口段60 cm用高等级砂浆堵塞,防止注浆时串浆。

(4)注浆压力:隧底注浆压力为0.5~0.8 MPa,边墙注浆终止压力为0.5 MPa。

(5)注浆材料:采用42.5级普通硅酸盐水泥纯水泥浆,适当掺加速凝剂。

(6)浆液配合比:水灰比为1:1。

(7)注浆顺序:注浆从洞内向洞外依次进行,即先压注严重病害段,再压注较严重病害段,最后压注轻微病害段。每个注浆段按间隔一孔跳跃注浆,间隔不注浆孔作为先注浆孔的排气和检查孔。每个注浆段边墙注浆完成后,再对隧底注浆。对边墙进行注浆时,先堵塞边墙底泄水孔,待浆液初凝后拆除堵塞物,以防止浆液堵塞泄水孔。

当注浆压力达到设计终止压力时,稳定20~30 min即可结束。当进浆量很大而压力上不去时,说明有串浆现象,可采用间歇注浆,以防止浆液渗得很远。

通过以上案例可知,隧道水害的整治一定要采取“防、排、截、堵,因地制宜、综合治理”的措施。隧道水害整治之前,首先要进行一定的检查观测评定,确定水害的类型及等级,研究制定水害的治理原则,采取技术先进的、工艺完备可靠的综合治理方案,在治理过程中还要认真检查治理效果,及时调整、优化治理措施。在实际操作中,要严格按照操作程序和要领进行。

典型工作任务1.1 隧道水害及其观测

1.1.1 工作任务

通过对隧道水害等有关知识的学习,能够承担以下工作任务:

- (1)能够对隧道水害的情况进行有效检查观测;
- (2)能够进行隧道防水系统的规划和维护。

1.1.2 相关配套知识

隧道水害是指在隧道修建和运营过程中遇到的地下水干扰所形成的危害,是最常见的隧道病害。

水害会对隧道稳定、洞内设施、行车安全、地面建筑和隧道周围水环境产生诸多不良影响甚至形成威胁。因此,探明隧道水害成因,进行合理的防水技术设计,采用正确的方法和工艺进行整治,成为隧道养护的重要内容。

地下水的来源可分为自然因素和人为因素,见表1-1-1。地下水按水源补给情况,可分为地下水补给和地表水补给两种。

表1-1-1 地下水的来源分析

自然因素	含水层的储蓄水,含水层局部聚集水,地层中流水,断层、裂隙等构造水,溶洞,河流、湖泊、海洋
人为因素	隧道施工用水,探孔或钻孔,煤矿、水库、渠道、管道及其他隧道,废弃工程、古代工程

地下水补给往往有稳定的地下水源,水量四季变化不大;地表水补给则随季节性变化而变化。同一处渗漏水处所,可能包括上述两种补给水源。

1. 隧道渗漏水情况描述及铁路隧道防水要求

(1) 隧道渗漏描述

铁路隧道渗漏,按其发生的部位和流量可分为润湿、渗水、滴水、漏水、射水、涌水六级。

①润湿:衬砌表面出现湿痕但形不成水滴落下者;

②渗水:衬砌表面出现水痕,3 min 以上汇集成水滴下落者;

③滴水:水滴间断缓慢下落者;

④漏水:水滴间断急速下落者;

⑤射水:水滴连续成线下落者;

⑥涌水:水滴成柱状下落或喷射。

(2) 防水要求

①拱部不滴水,边墙不淌水,安装设备之孔眼不渗水;

②隧底不涌水,道床不积水;

③在有冻害地段的隧道,拱部和边墙基本上不渗水,衬砌背后不积水;

④碎石道床无翻浆冒泥,整体道床基床稳定;

⑤消除侵蚀性水对衬砌的腐蚀。

2. 隧道水害种类及其危害

隧道水害有渗漏水、衬砌周围积水、潜流冲刷等几种。

(1) 隧道渗漏水的危害

①隧道渗漏水可引起衬砌混凝土风化、剥蚀,甚至造成衬砌结构破坏,如地下水中含有侵蚀性介质,还可造成衬砌混凝土腐蚀,引起围岩变形;

②隧道渗漏水与冻害相联系,在寒冷和严寒地区,隧道渗漏水会造成边墙结冰、拱部挂冰,侵入隧道建筑限界,还会造成衬砌冻胀裂损,形成冻害,引发洞内线路高低起伏不平,降低轮轨间的附着力;

③隧道渗漏水会加快其内部设备(通信、照明、钢轨等)锈蚀,影响设备的正常使用,缩短线路设备的使用寿命,增加维修费用;

④隧道渗漏水可引发路基下沉、基底裂损、翻浆冒泥等病害,导致铁路轨距、水平变形超限,压力大的地下水还会使隧道结构破损涌水,造成淹没轨道,冲空道床,影响行车安全;

⑤隧道渗漏水会使电绝缘失效、短路、跳闸,引发漏电伤人事故,影响安全运营;

⑥严重渗漏水会引发地面和地面建筑物的不均匀沉降和破坏;

⑦隧道渗漏会造成地表水和含水层水大量流失,破坏周围水环境,造成生态环境灾害。

(2) 衬砌周围积水的危害

衬砌周围积水是指地下水向隧道周围渗流汇集,不能迅速排走,聚集在衬砌周围,其危害有:

①产生过大水压致使衬砌破坏;

②软化围岩,致使围岩压力增大,衬砌开裂;

③致膨胀性围岩体积膨胀,压溃衬砌;

④寒冷地区积水结冰引发冻害。

(3) 潜流冲刷的危害

潜流冲刷是指由于地下水渗流和流动而产生的冲刷和溶蚀作用,其危害有:

- ①引起衬砌基础下沉,导致边墙开裂或仰拱、整体道床下沉开裂;
- ②引起围岩滑移错动,致使衬砌变形甚至开裂;
- ③引起衬砌背后产生较大空洞,致使衬砌破坏。

3. 隧道水害原因分析及评定

(1)隧道水害原因分析

隧道水害的原因可分为自然因素与人为因素两方面。

自然因素主要是指当隧道穿越砂类土和漂卵石类土的含水地层、断层带及节理(裂隙)发育的富含裂隙水的地层、可能富有水压的岩溶地层以及受地表水影响严重的浅埋地层时,就有可能产生隧道漏水。

人为因素主要可分为:

- ①勘测设计阶段对周围地下水的水源、水量、水质调查分析不够,防排水理念落后,防排水设施布置不周,衬砌的防蚀、耐冻、抗渗专项设计不足。
- ②施工质量差,造成隧道衬砌开裂,先天防水能力差,或防水混凝土不达标,或防水材料施工不合格,或者是结构工作缝、伸缩缝、沉降缝等接缝处理不当;衬砌水害没有及时发现并治理,造成病害加重。

(2)隧道受水害影响程度评价

在我国《铁路桥隧建筑物修理规则》铁运[2010]38 号文中,从定性的角度将隧道衬砌渗漏水对隧道劣化等级分为 AA、A1、B、C 四级,如表 1-1-2 所示。在《高速铁路桥隧建筑物修理规则》铁运[2011]131 号中,对隧道渗漏水引起的劣化分为 A(AA 和 A1)、B 三个等级,如表 1-1-3 所示。因此,对铁路隧道的水害影响要进行观测与评定,为制定合理的治水方案提供依据。

表 1-1-2 衬砌渗漏水对普速铁路隧道劣化等级的评定

漏水或涌水的危害等级		隧道状态
A	AA	水砂突然涌入隧道,淹没钢轨,危及行车安全;电力牵引区段,拱部漏水直接传至接触网
	A1	隧底冒水、拱部滴水成线、严寒地区边墙滴水,翻浆冒泥严重、道床下沉,不能保持正常轨道的几何尺寸,影响正常运行
B		隧道滴水、淌水、渗水及排水不良引起洞内局部道床翻浆冒泥
C		漏水使基床状态恶化,钢轨腐蚀,养护周期缩短,继续发展将来会升级至 B 级

表 1-1-3 衬砌渗漏水对高速铁路隧道劣化等级的评定

漏水或涌水的危害等级		隧道状态
A	AA	隧底冒水,拱部滴水成线,严寒地区边墙淌水,翻浆冒泥严重,道床下沉,不能保持轨道几何尺寸,影响正常运行
	A1	隧道滴水、淌水、渗水及排水不良引起洞内局部道床翻浆冒泥
B		漏水使基床状态恶化,钢轨腐蚀

为加强对铁路隧道的病害及其相关的衬砌厚度及混凝土强度缺陷、隧道衬砌背后空洞或回填不密实、基底不密实情况进行观测评价,实现对隧道建筑物病害的预测及控制,原铁道部以铁运函[2004]174 号下发了《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》。其中规定了

隧道水害的量化评定指标,并将隧道水害分为极严重、严重、较严重和轻微四级,如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 隧道水害分级的量化指标

水害等级 水害项目	1	2	3	4
	轻 微	较严重	严 重	极严重
衬砌漏水	拱部有季节性滴水,边墙有季节性滴水	拱部有滴水,边墙有滴水	拱部滴水呈线,边墙淌水流泥,隧底涌水,结冰侵限	拱部漏水直击接触网,影响正常运营

注:衬砌厚度及混凝土强度缺陷、隧道衬砌背后的空洞或回填不密实、基底不密实量化指标见本项目知识拓展表 1-拓-1、表 1-拓-2。

对于公路隧道的渗漏水、结冰、砂土流出等造成的结构破损情况,可按表 1-1-5 进行判定。

表 1-1-5 渗漏水所致结构破损的判定基准

异常情况判定	渗漏水	结冰、砂土流出
B	从衬砌裂缝等处渗水,几乎不影响行车安全	有渗漏水,但现在几乎没有影响
1A	从衬砌裂缝等处漏水,不久可能会影响行车安全	由于排水不良,铺砌层可能积水
2A	从衬砌裂缝等处涌水,影响行车安全	由于排水不良,铺砌层积水
3A	从衬砌裂缝等处喷射水流,严重影响行车安全	在寒冷地区,由于漏水等形成挂冰、冰柱,侵入规定限界;砂土等伴随漏水流,出,铺砌层可能发生浸没和沉降

4. 隧道漏水情况检查观测

为了准确描述隧道病害的位置,需要将隧道衬砌分成若干部分进行命名。一般是将隧道衬砌的拱部和边墙分左右两大部分,仰拱作为一个大部分,总体上分为五个大部分。将每一大部分依衬砌内缘再进一步细分为四等分,这样整个隧道衬砌结构被分割为 14 个部位进行描述,见图 1-1-1。为了描述隧道病害的位置和分布情况,需要将衬砌图(图 1-1-1)从仰拱底正中切开(有时不要仰拱,直接从边墙墙角展开)并按照左为隧道进口方向右为隧道出口方向展示,见本项目附录。

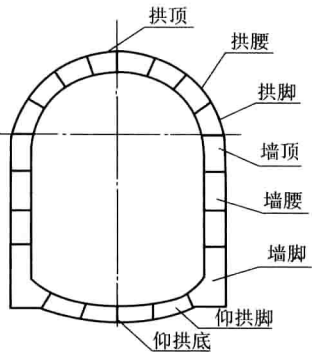


图 1-1-1 衬砌部位划分图

铁路隧道漏水检查观测主要包括以下几方面:

- (1)洞外检查。主要检查洞顶仰坡坡面是否平顺,洞顶地面有无裂隙、洞穴和积水洼地。观测地表水流水痕迹及其流向、地面排水系统的状态。
 - (2)洞内检查。主要检查洞内漏水量、面积和部位,并检查洞内排水设备是否畅通等。
 - (3)漏水量观测。对隧道的排水沟进行流量观测,摸清地下水和地表水在隧道内各段的分布情况及随季节的变化规律。
- 当隧道渗漏水量较大时,可用容器法、浮标法、三角堰法来观测。

对于洞内的漏水程度、面积、部位以及观测时间应进行详细描述,并绘制到隧道衬砌展开图中,见本项目附录。

公路隧道、铁路隧道及地下铁道有关规范要求在对隧道渗漏水检查观测时,要测定水的温度、pH 值及导电度,以判定渗漏水是否会对混凝土结构产生劣化作用。同时要检查渗漏水中是否混有砂土,并测定砂土流出量。

典型工作任务 1.2 隧道水害的防治

1.2.1 工作任务

通过对隧道水害治理有关知识的学习,能够承担以下工作任务:

- (1)能够对隧道水害原因进行分析;
- (2)能够选择适当的措施并组织隧道水害的整治施工。

1.2.2 相关配套知识

1. 隧道防排水原则

《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2008)提出,地下工程设施与施工应遵循“防、排、截、堵,刚柔并济,因地制宜,综合治理”的总原则。铁路隧道防排水采取的是“防、截、排、堵结合,因地制宜,综合治理”的原则,以期达到防水可靠、经济合理的目的。北京地下铁道在设计 and 施工时提出了“以防为主,以排为辅”的原则。

综上所述,在隧道防排水理念上,已逐渐由以排为主转变为排堵结合、适量排水、保护环境。

防、排、截、堵措施可具体描述为:

(1)防——建立具有一定结构自防水能力的防水体系,防止地下水的无度渗入,确保隧道的使用功能,同时也使地下水环境处于可控状态,如衬砌采用防水混凝土或设置防水板防水层等。隧道衬砌结构应以本体防水为主,施工缝等防水为重点。如图 1-2-1 所示,隧道工程应设置由地表处理、围岩防渗、防水层防水、衬砌结构自防水等根据需要组合构成的隧道防水系统。

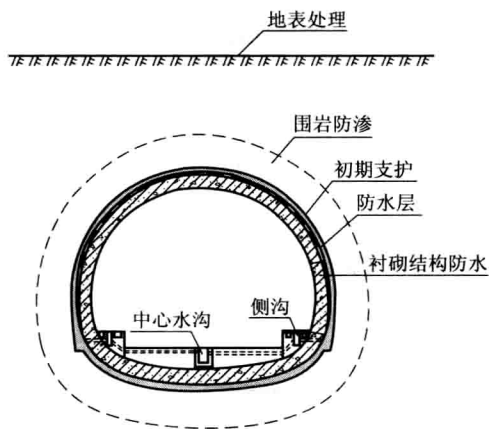


图 1-2-1 隧道防水图

(2)排——隧道应有完善的排水系统并充分利用,以减小渗水压力,维护结构安全,但必须注意大量排水诱发如围岩颗粒流失、围岩稳定性降低、次生灾害及水环境的破坏(造成当地农田灌溉和生活用水困难、水体污染)等的不良后果。

(3)截——隧道顶部如有地表水易于下渗的通道,可能直接补给隧道的水系、坑洼积水等,应设置截、排水沟等设施;地下水丰富、来源明确而隧道排水能力不足时,可于地下水来源一侧设置泄水洞等截水。

(4)堵——隧道附近有直通隧道的漏斗、管道等时,可采用堵塞封闭的工程措施;有涌水、突水时,可采用注浆等封堵地下水径流通道,也可采用注浆、喷(抹)涂防水层、嵌填防水材料等措施堵水。

按照我国《地下工程防水技术规范》,地下工程的防水等级分为四级,各级的防水等级标准和适用范围如表 1-2-1 和表 1-2-2 所示。

表 1-2-1 地下工程防水等级标准

防水等级	标准描述
一 级	不允许渗水,结构表面无湿渍
二 级	不允许渗水,结构表面可有少量湿渍。 工业与民用建筑:总湿渍面积不应大于总防水面积(包括顶板、墙面、地面)的 1/1 000;任意 100 m² 防水面积上的湿渍不超过 1 处,单个湿渍的最大面积不大于 0.1 m²。 其他地下工程:总湿渍面积不应大于总防水面积的 6/1 000;任意 100 m² 防水面积上的湿渍不超过 4 处,单个湿渍的最大面积不大于 0.2 m²;其中,隧道工程还要求平均渗水量不大于 0.05 L/(m²·d),任意 100 m² 防水面积上的渗水量不大于 0.15 L/(m²·d)
三 级	有少量漏水点,不得有线流和漏泥砂。 任意 100 m² 防水面积上的漏水点数不超过 7 处,单个漏水点的最大漏水量不大于 2.5 L/d,单个湿渍的最大面积不大于 0.3 m²
四 级	有漏水点,不得有线流和漏泥砂。 整个工程平均漏水量不大于 2 L/(m²·d);任意 100 m² 防水面积的平均漏水量不大于 4 L/(m²·d)

表 1-2-2 不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一 级	人员长期停留的场所;因有少量湿渍会使物品变质、失效的贮物场所及严重影响设备正常运转和危及工程安全运营的部位;极重要的战备工程
二 级	人员经常活动的场所;在有少量湿渍的情况下不会使物品变质、失效的贮物场所及基本不影响设备正常运转和工程安全运营的部位;重要的战备工程
三 级	人员临时活动的场所;一般战备工程
四 级	对渗漏水无严格要求的工程

地下工程相关规定,对电气化铁路隧道、寒冷地区铁路隧道的防水要求要达到二级,非电气化铁路隧道要求达到三级,见表 1-2-3。

表 1-2-3 铁路隧道、公路隧道及地下铁道隧道防水标准对比

	标 准	一 级	二 级	三 级	四 级	其 他
铁路隧道	标准描述	不允许渗水,围护结构无湿渍	不允许漏水,围护结构有少量偶见的湿渍	有少量漏水点,不得有线流和漏泥砂,每昼夜漏水量 $<0.5\text{ L/m}^2$	有漏水点,不得有线流和漏泥砂,每昼夜漏水量 $<2\text{ L/m}^2$	
	新建铁路隧道	车站隧道;高速铁路隧道;电气化铁路隧道拱部;隧道防冻害设防段衬砌	电气化隧道边墙;内燃牵引铁路隧道拱墙;隧底结构	防灾救援通道、检修通道、通风排烟通道的辅助坑道;人员临时活动场所		
	整治后的运营隧道		隧道拱部防水等级应达到二级防水要求			不翻浆冒泥、道床积水,泥沙不雍堵排水侧沟等
公路隧道	标准描述	拱部、边墙、路面、设备箱洞不渗水	衬砌背后不积水,排水沟不冻结。拱部不滴水,边墙不滴水			
	新建公路隧道	高速公路、一级公路、二级公路隧道	有冻害地段的隧道。车行横通道、人行横通道等服务通道			
地下铁道隧道	标准描述	不允许渗水,结构表面无湿渍	地下车站及机电设备集中区段			
	新建地下铁道隧道	顶部不滴漏,其他不漏水,结构表面可有少量湿渍,总湿渍面积不应大于防水面积的 $6/1\,000$,任意 100 m^2 防水面积的湿渍不超过4处,单个湿渍的最大面积不大于 0.2 m^2	区间隧道及连接通道等附属的隧道结构			

2. 隧道防水的方法

(1)衬砌自防水

衬砌自防水是指隧道衬砌采用防水混凝土。按照国家《地下工程防水技术规范》,防水混凝土的设计抗渗等级应符合表 1-2-4 的规定。铁路规定,隧道抗渗等级应达到 P8(即抗渗压力为 0.8 MPa)。

防水混凝土的水泥用量不宜小于 260 kg/m^3 ,胶凝材料(包括水泥及掺入的矿物掺和料)

表 1-2-4 防水混凝土设计抗渗等级

工程埋置深度(m)	设计抗渗等级
$H<10$	P6
$10\leq H<20$	P8
$20\leq H<30$	P10
$H\geq 30$	P12

总用量不宜小于 320 kg/m^3 ；砂率宜为 $35\% \sim 40\%$ ，泵送时砂率可增至 45% ；灰砂比宜为 $1:1.5 \sim 1:2.5$ ；水胶比（水与胶凝材料总和与质量比）不得大于 0.50 ，有侵蚀性介质时，水胶比不宜大于 0.45 ；掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土含气量应控制在 $3\% \sim 5\%$ ；防水混凝土采用预拌混凝土时，缓凝时间宜为 $6 \sim 8 \text{ h}$ 。

防水混凝土必须机械搅拌，搅拌时间不应小于 2 min 。掺外加剂时，应根据外加剂的技术要求确定搅拌时间。拌好的混凝土要及时浇筑，常温时应在 0.5 h 内运至现场，运输过程中，应尽量防止产生离析及坍落度和含气量的损失。当运距较大或气温较高时，可掺入适量缓凝型减水剂。防水混凝土拌和物在运输后如出现离析，必须进行二次搅拌。因坍落度损失不能满足施工要求时，应加入原水灰比的水泥浆或二次掺加减水剂进行搅拌，严禁直接加水。普通防水混凝土坍落度不宜大于 50 mm ，防水混凝土采用预拌混凝土时，入泵坍落度宜控制在 $120 \sim 160 \text{ mm}$ ，入泵前坍落度每小时损失值不应大于 20 mm ，坍落度总损失值不应大于 40 mm 。浇筑时应严格做到分层连续进行，每层厚度不宜超过 500 mm ，上下层浇筑的时间间隔不应超过 2 h ，夏季可适当缩短。防水混凝土必须采用高频机械振捣密实，振捣时间宜为 $10 \sim 30 \text{ s}$ ，以混凝土泛浆和不冒气泡为准，应避免漏振、欠振和超振。掺加引气剂或引气型减水剂时，应采用高频插入式振捣器振捣。

常温下，混凝土终凝 $4 \sim 6 \text{ h}$ 后，就应在其表面覆盖草袋，浇水湿润养护不少于 14 d 。在特殊地区还应采用蒸汽养护。

防水混凝土应连续浇筑，宜少留施工缝；如留施工缝时，墙体水平施工缝不应留在剪力与弯矩最大处或底板与侧墙的交接处，应留在高出底板表面不小于 300 mm 的墙体上；拱墙结合的水平施工缝，宜留在拱墙接缝线以下 $150 \sim 300 \text{ mm}$ 处；墙体有预留孔洞时，施工缝距孔洞边缘不应小于 300 mm 。垂直施工缝应避开地下水和裂隙水较多的地段，并宜与变形缝相结合。

在衬砌自防水方面，也可采用日本系列产品 PAPATEX 自闭水泥材料做防水层，效果不错，相关内容可见本项目知识拓展。

目前我国水泥基渗透结晶防水涂料得以在地下工程中应用，其主要优点是施工方便，在普通水泥中加入外掺料（剂）——某活化物质，该活化物质能渗透到混凝土体的孔隙中，并形成针形枝蔓状结晶，密实混凝土结构，防水效果好，而且还具有动态反应（无水可休眠）的特点，耐腐蚀，价格适宜。具体内容可见本项目知识拓展。

（2）大面积湿渍的抹面防水

对于混凝土表面的大面积湿渍，在没有明水流出的情况下，由于其水压力和出水量很小，可先将混凝土表面凿毛，并用钢丝刷刷去浮尘，在其表面作防水抹面或刷涂防水涂料 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 。为保证涂抹质量，一般分 $2 \sim 3$ 次涂刷。防水抹面材料有普通水泥砂浆或添加了外加剂、防水剂、聚合物乳液的水泥浆（砂浆），特种水泥浆（砂浆）。涂料防水材料有水泥基防水涂料、聚氨酯类、硅橡胶类、聚合物水泥类、改性环氧树脂类、丙烯酸酯类、乙烯—醋酸乙烯类及其聚合物（EVA）等类。

目前，日本的 PAPATEX 自闭防水涂膜材料在地下工程中也已推广应用。我国有关规范规定采用渗透结晶型防水涂料。

地下铁道衬砌或管片内表面出现剥落、疏松现象时，可能会产生钢筋锈蚀膨胀，进而产生渗漏水，此时可用机械彻底剔除劣化松动的混凝土，对钢筋进行除锈并喷涂防护涂料，必要时埋设注浆（引水）管，然后采用喷涂改性环氧砂浆进行修补，图 1-2-2 是香港地下铁道混凝土剥离修补实例。

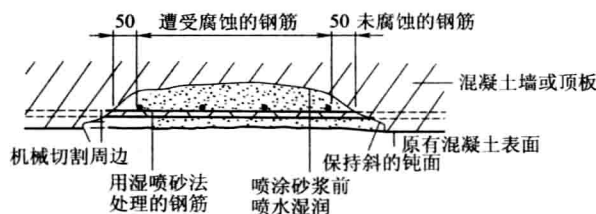


图 1-2-2 香港地铁混凝土剥离修补技术

(3) 注浆防水

① 隧道衬砌背后注浆

当隧道出现大面积渗漏时,采用注浆防水较为适宜。其原理是通过压力将防水浆液注入衬砌与围岩孔隙及岩层节理中,阻止地下水的渗入,集中疏导引出。水泥浆的可渗性可由水灰比调节,见表 1-2-5。常用的压浆方式主要有双泵压浆和单泵压浆两种(图 1-2-3 及图 1-2-4),常用的注浆嘴及其埋设情况见图 1-2-5。

表 1-2-5 水泥浆水灰比及可注性

水灰比	0.6	0.8	1.0	2.0	4.0	8.0	10.0	12.0
可进入的平均缝宽(mm)	0.53	0.47	0.48	0.39	0.39	0.38	0.33	0.28

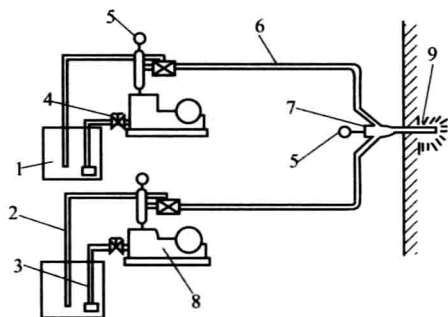


图 1-2-3 双泵压浆示意图

1—贮浆桶;2—回浆管;3—吸浆管;4—进浆阀门;
5—压力表;6—输浆管;7—混合器;8—压浆泵;9—压浆管

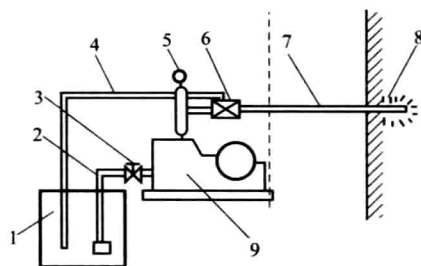
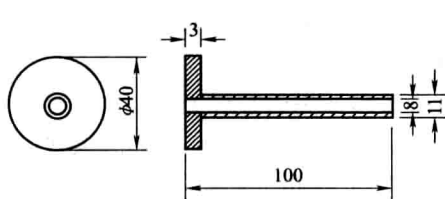
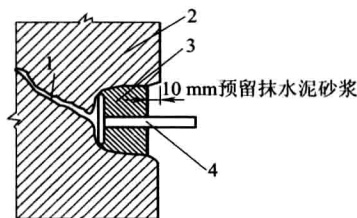


图 1-2-4 单泵压浆示意图

1—贮浆桶;2—吸浆管;3—进浆阀门;4—回浆管;
5—压力表;6—输浆管;7—输浆管;8—压浆管;9—压浆泵



(a) 聚氯乙烯塑料注浆嘴 (单位: mm)



(b) 注浆嘴埋设示意图

图 1-2-5 注浆嘴及其埋设示意

1—漏水裂缝;2—衬砌;3—水玻璃水泥胶浆;4—注浆嘴

注浆工艺为:

(a) 注浆区段长度一般长 15~30 m,每段间设置排水暗槽,打集水钻孔引排地下水至排水沟。在注浆区段内进行孔眼布置并确定孔深。