

文章编号:1006-2106(1999)02-0063-68

# 对南昆线(西段)隧道衬砌渗漏水整治的思考

许和平\*

(中国铁道建筑总公司,北京 100855)

**提 要:**本文对新建南昆铁路西段隧道衬砌渗漏水病害整治所采用的主要方法做了简要介绍,包括衬砌背后注浆、衬砌内部注浆、喷抹砂浆防水层、嵌缝堵漏、凿槽排水等方法。同时,对其产生的原因进行了分析,并提出了整治的体会,供今后防排水设计和施工参考。

**主题词:**隧道衬砌; 渗漏整治; 防排水技术

**分类号:** U457.2 **文献标识码:** A

## 1 前言

南(宁)昆(明)铁路是我国90年代修建的又—西南山区电气化铁路干线,中国铁道建筑总公司11、15、16、17、18、20共六个工程局担负其西段(兴义—威舍—昆明)约320 km的施工任务。其中共有隧道工程104座78 267延米。由于设计、施工及地质情况复杂多变等方面的原因,大部分隧道施工完成以后,产生了不同程度的衬砌渗漏水病害。为了确保电气化铁路国优要求“拱部不滴水,边墙不滴水,安装设备之孔眼不渗水”的标准,各施工单位对各自管区的隧道衬砌渗漏水采用了衬砌背后注浆、衬砌内部注浆、喷抹砂浆防水层、嵌缝堵漏、凿槽排水等不同方法进行了整治,取得了较好的效果,顺利地通过了1997年底的工程初验,并被评为优良。本文将其整治技术做一简单介绍,供今后施工或运营隧道相同病害整治时参考。同时提出对今后铁路隧道防排水设计和施工的意见和建议。

## 2 隧道衬砌渗漏水原因分析

### 2.1 地质上

该段线路主要通过岩溶极易发育的石灰岩地

区,除岩溶外,还有断层,暗河等不良地质现象广泛分布,节理裂隙发育,地下水道路通畅,再加上西南地区雨量大,汛期长(例如云南省罗平县境内每年汛期高达200余天),致使地表水补给充沛,造成岩溶、裂隙等地下水丰富、涌水量大。这是隧道衬砌渗漏水的主要原因。

### 2.2 设计上

该段绝大部分隧道防排水设计全部采用防水混凝土衬砌这一结构自防水技术和普通盲沟排水系统。衬砌结构自防水对施工接缝处理要求较高,设计上没有过硬的处理工艺和措施,而仅采用一般背贴式橡胶止水带处理,不易严格达到防水标准,再加上普通排水盲沟极易被泥水堵塞,导致地下水没有出路,而沿衬砌施工缝和衬砌裂缝渗漏。

### 2.3 施工上

(1)由于支护技术不过关,而采用先拱后墙法施工,而且循环进尺短、衬砌紧跟、以衬代支,致使衬砌接缝过多,且接缝处理不能达到防水标准,导致接缝渗水;

(2)由于拱顶衬砌不密实,当围岩压力过大时,导致拱腰部位衬砌出现纵向拉裂,拱顶衬砌压碎掉

\* 收稿日期:1998-07-20 许和平 工程师 男 1969年1月出生

块,导致渗漏;

(3)软岩地段,仰拱施工滞后,衬砌不能及时成环,墙脚受力内移,致使边墙出现纵向裂缝,导致渗漏;

(4)岩溶发育地区隧道施工中,由于开挖对围岩的影响,致使围岩裂隙与岩溶贯通。若施工在旱季,岩面渗水不明显,而没有采取防排水措施,雨季岩溶水补给后,导致渗漏;

(5)混凝土衬砌施工中,由于振捣不到位,致使衬砌不密实,出现蜂窝麻面,使防水混凝土的抗渗强度达不到要求,导致渗漏等。

3 渗漏水整治原则

(1)整治以拱部为主,拱部和边墙同时进行。

(2)拱部:堵排结合,综合整治;边墙:以排为主,局部拌有泥砂者以堵为主。

4 整治方法

各单位按照渗漏水整治原则,根据不同的渗漏水形式,水量和渗漏水部位,采用了多种整治方法。表 1 所示:

表 1 配 合 比

渗 漏 水 程 度	灰浆重量比(c : s)		延散度(cm)	
	水泥砂浆	纯水泥浆	水泥砂浆	纯水泥浆
潮 湿	1 : 3	1 : 0	16~18	18~20
一般渗漏水	1 : 2~1 : 3	1 : 0	16~18	18~20
严重渗漏水	1 : 1~1 : 1.5	1 : 0	14~16	18~20

浆液的稠度根据注浆要求,通过水灰比加以调整,常用的浆液水灰比:稀浆:2、1.5、1 : 1,稠浆:0.8、0.75、0.6 : 1。

4.1.2 水泥-水玻璃浆液

(1)注浆材料:

水泥:425#普通硅酸盐水泥;

水玻璃:模数 2.4~2.8,浓度 50~56 波美度。

(2)配合比:

水泥净浆水灰比:W : C=0.5、0.7 : 1;

水玻璃浓度:45 波美度;

双液体积比:(水泥浆 : 水玻璃):1 : 0.3~1 : 1。

(3)浆液配置:

根据试验确定的注浆用水玻璃浓度,将水玻璃

4.1 衬砌背后压注水泥浆、水泥砂浆工水泥-水玻璃双液浆

根据渗漏水的轻重,衬砌背后注浆采用初次注浆和检查注浆。初次注浆采用水泥砂浆,注浆孔深只到岩层即可,注浆压力 0.2~0.4 MPa;检查注浆材料采用纯水泥浆,注浆孔需钻入岩层 10~20 cm,注浆压力 0.6~1.0 MPa。当地下水压力较大,水流速度快,渗漏严重时,采用可灌性好、结实率高、快凝早强、凝结时间可调的水泥-水玻璃双液浆。

4.1.1 纯水泥浆和水泥砂浆

(1)注浆材料:

水泥:≤325#普通硅酸岩水泥;

砂子:尽量采用河砂(若用机制砂,要符合规范要求),细度模数 1.2~2.0,以 1.7~1.8 最佳;

外加剂:掺入水泥重量 5%左右的塑化剂,以提高其塑性,也可加入适量速凝剂。

(2)配合比:

根据渗漏水程度不同,选用不同的配合比,如

原液一边用波美度计测定,一边加水稀释至所需的浓度。也可用下式计算确定:

$$V_w = \frac{D_1 - D_2}{D_2 - 1} V$$

式中:V<sub>w</sub>——所需水的体积(m<sup>3</sup>);

D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>——水玻璃稀释前后的比重(波美度);

V——水玻璃稀释前的体积(m<sup>3</sup>)。

4.1.3 注浆原则

衬砌背后注浆同一般的注浆原理一样,是一种常用的技术,其注浆机具的选择及具体的施工过程此处不再详述,仅就衬砌背后注浆的特点强调以下原则:

(1)由下部孔眼向上部孔眼压注,以确保地下

水被封堵在衬砌背后;

(2)由无水地段向有水地段压注,由水少地段向水多地段压注,以使水流汇集,便于引排;

(3)根据孔眼水流及注浆情况,调节水泥及水泥砂浆的散延度,开始注浆采用稀浆,逐步变为稠浆,一般情况下,尽量采用稠浆,避免浆液流散过远,造成浪费。

4.2 衬砌内部压注丙凝化学浆液

此法主要适于隧道渗漏水较小,水流分散,不利于引排的拱部施工缝、衬砌裂缝及个别出水点面。进行衬砌内部注浆,以封闭水流通道及衬砌裂隙,或使水流相对集中,便于引排。注浆压力一般控制在 0.3~0.5 MPa。

4.2.1 丙凝注浆止水的化学原理

丙凝浆液分甲乙两种,甲液主要是由丙烯先胺、亚甲基双丙烯先胺,三乙醇胺混合形成的液态浆液;乙液是由过硫酸胺与水稀释而成。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,膨胀后堵填裂纹达到止水目的。

4.2.2 配合比的选定

甲、乙液配比的选定要根据具体工程情况与施工方案所要求的凝结时间,通过室内试验确定,其基本配合比如表 2 所示:

表 2 甲液、乙液配合比

材 料 名 称		作 用	重量比(%)
甲 液	丙烯先胺	主 剂	18.9
	亚甲基双丙烯先胺	交联剂	1
	三乙醇胺	促进剂	0.7
	水		79.4
乙 液	过硫酸胺	引发剂	0.7
	水		99.3

浆液的凝结时间可通过调整甲乙液比例调节,一般情况下,甲乙液比例越大,凝结时间越长。

4.2.3 浆液配置

配置甲液时,要根据每次注浆用量,按确定的配合比量取各种化学制剂,先用少量水温为 50~60℃的热水将亚甲基双丙烯先胺充分溶解,再补充冷水至所需要量,然后溶入丙烯先胺,在混合物中

充分搅拌,再加入三乙醇胺即可。配置乙液,只需按照配比计算并量取定量的过硫酸胺,加入定量水中搅匀即可。要注意存放甲乙液的容器需用塑料或玻璃制品。

4.2.4 施工工艺

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 8~10 cm,并对渗水的面和缝分别进行抹面和嵌缝处理,使渗水只能从注浆管中流出。在确认其他地方不再漏水,待嵌缝和抹面固管达到一定强度后,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,疏通衬砌裂隙并确定压浆参数。对嵌缝和抹面漏水部位重新补封。压水试验后即可进行注浆,注浆结束后,对个别仍有渗漏的点,可用凿槽排水法处理。

4.2.5 注浆施工中需要注意以下几点:

- (1)点漏注浆先注水量较小者,后注较大者;
- (2)垂直裂缝,施工缝由下向上依次注浆;
- (3)水平或斜裂缝由水量较小端向较大端注浆;
- (4)面漏由周边向中心依次注浆。

4.3 喷抹砂浆防水层法

此法主要用于拱部大面积出现面漏、网状裂缝渗漏水,对主要出水点在凿槽引排、嵌缝堵漏后,喷抹砂浆防水层,防水层厚度 20~25 mm。

主要施工方法是:在引排水、嵌缝后,对渗漏面进行凿毛处理,凿毛表面粉尘要清洗干净,并保持衬砌混凝土湿润。每次喷抹配置好的砂浆厚度为 6~8 mm,抹砂浆前,在混凝土面涂水泥净浆,以便砂浆同混凝土粘结。每层抹面间隔时间为 2~3 小时,每层抹好后用铁抹子压实,抹第二层时要对前一层拉毛,一般抹三层即可。抹好砂浆后,需进行养护,养护时间为 14 天。

每层砂浆所用材料及配比如表 3:

表 3 每层砂浆所用材料和配比表

层次	水泥	BR 增强 防水剂	BR-2 型 专用粉	中砂	水
第一层	1	0.14	0.04	2.0	0.4
第二层	1	0.14	0.04	1.5	0.4
第三层	1	0.14	0.04	2.5	0.4

4.4 嵌缝堵漏法

此法主要用于局部施工缝浸水、渗水等水量较小的部位处理。

隧道环向施工缝堵漏采用嵌入复合式膨胀橡胶条,结合凿槽埋管,将水引入侧沟。方法是凿 6 cm 深、2 cm 宽的槽,凿好后埋入橡胶条,用防水砂浆封闭,如图 1 所示。

隧道纵向缝堵漏,采用嵌入式 BW 自粘型止水条,进行封堵。方法是凿 6 cm 深、2 cm 宽的槽,将 BW 止水条置于槽底,用木条捣实,然后用防水砂浆封闭,如图 2 所示:

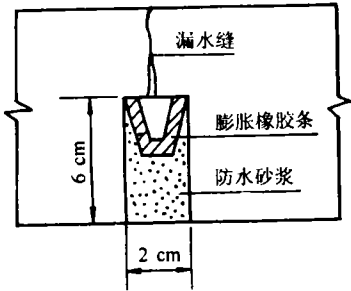


图 1 膨胀橡胶止水条止水示意图

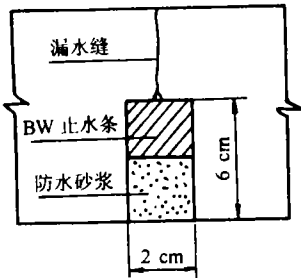


图 2 BW 止水条止水示意图

防水砂浆用 425# 普通硅酸盐水泥,其配合比如下:

水泥:BR 增强防水剂:BR-2 型专用粉:砂:水=1:0.14:0.03:0.35。

4.5 凿槽排水法

此法主要用于拱、墙单点线流、股流、射流等水量较大而不易用以上几种堵水措施处理的渗漏部位。

其方法是从渗水点起凿槽,在槽中埋设半个聚氯乙烯管或塑料排水板,外用防水砂浆封闭,如图 3 及图 4 所示。防水砂浆的配比同 4.4。

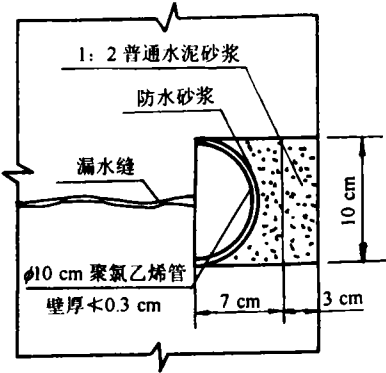


图 3 埋管排水法示意图

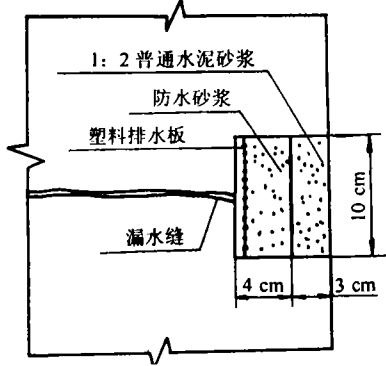


图 4 埋设塑料排水板排水示意图

5 几点体会

5.1 整治效果及存在问题

此次南昆线兴义-威舍-昆明段隧道衬砌渗漏水病害整治采用以上几项技术是成功的,不仅有效地封堵了地下水,达到了验标要求,使该段隧道工程在初验中整体水平达到优良。同时也为今后同类病害的整治提供了借鉴。但是也存在着一一些问题,主要是:

(1)整治费用高。无论是衬砌背后还是衬砌内部注浆,均费工费时费料,尤其是丙凝等化学制剂费用昂贵,且总体用量较大,必然导致工程成本增加。

(2)与铺架工程干扰大。因为隧道尤其是长大隧道工程工期一般较紧,一旦出现病害,其整治大都在铺轨过后进行。这样既影响前方铺架运料列车正常通过,又可能污染道床,造成换碴等不必要的浪费。

(3)整治工艺要求高。尤其是注浆施工,即要不注浆机具,又要有严格的施工工艺,丙凝化学注浆中的化学制剂还是有毒物品,还要采取特殊的劳动保护措施。

## 5.2 防止隧道衬砌渗漏水病害的措施

隧道衬砌渗漏水是铁路隧道主要病害之一,其整治是一项迫不得已的工作。既费工费时费料,又可能影响建设工期和正常运营,需要尽量减少和避免。而要在根本上解决这一问题,则需要在设计和施工上下功夫。

(1)设计上采用先进可靠的防排水技术。

一个好的防排水设计,既要考虑防排水材料的性能、衬砌结构构造、水文地质环境,还要考虑其施工工艺和可操作性。目前国内铁路隧道采用的主要方法是:在衬砌背后全面铺设防水板,并对施工接缝进行一般性处理或衬砌背后注浆的方法。虽然这两种方法经过多年应用,工艺逐步完善,但是前者不但工艺复杂,费时费料且存在固定和粘结及防水板老化等问题,后者也存在着防水效果不佳,需要钻注设备和严格的注浆工艺等问题,制约了这些防水技术的应用。目前,采用具有抗裂、防渗两种功能的衬砌收缩混凝土衬砌这一结构自防水技术是地下工程防水技术的发展方向,经过地下工程界多年来的工程实践,结构自防水技术已发展到一个新阶段。铁路隧道衬砌防水设计也开始应用这一技术,南昆线隧道衬砌防排水设计采用防水混凝土这一结构自防水措施,但由于衬砌接缝处理工艺不过硬,导致衬砌接缝渗漏水,出现病害。因此,衬砌结构自防水的重点是接缝处理技术。铁道部专业设计院结合工程实际研究开发的利用混凝土本身的自防水性能,重点防止接缝漏水,从而确保整体衬砌不渗漏技术较好地解决了这一问题,具有很好的推广价值。其主要做法是在衬砌接缝中设置三道防线:第一道防线为MG-1型盲沟止水带,设在衬砌背后,分别与围岩(或支护)和衬砌密贴。与围岩接触的一面,盲沟止水带留有纵肋,与岩面之间形成数条流水槽,将衬砌背后接缝附近围岩的渗水顺暗道由拱部顺边墙排至底部,通过汇水孔,流入隧道侧内,排出洞外。第二道防线为具有弹性和微膨胀性的881-I型嵌缝条,挤压在两组衬砌接缝中间。阻止越过第一道防线进入接缝的少量渗水进一步的渗入。第三道防线为ZS-1型止水带和R系列堵漏防水剂,通过特殊的衬砌工艺使其与两组衬砌混凝土分别密贴,将越过前两道防线的渗水阻止在其背后,并顺ZS-1止水带,沿边墙泄至底部,流入

隧道侧洞排出。该技术与铺设防水板防水技术相比,不仅防水效果好,且工艺简单,造价低廉。另外,江苏宜兴新开隧道防排水厂生产的专利产品:弹塑软式渗水管,采用防锈簧支撑管体,形成抗高压软式结构,无帆布内衬过滤,使泥砂杂质不能进入管内,达到净水功效,同时配有连接方便的直通、三通接头,以组成高效的排水系统。在西康铁路和朔黄铁路隧道排水系统中应用,取代传统的渗水盲沟,取得了较好的效果。在今后的隧道防排水设计中,要大力推广以上综合防排水技术,使防排水设计日趋完善。

(2)施工中要大力推广新技术,确保防排水设计的成功实施。

根据前述渗漏水病害产生的原因,在施工方面,不论是采用传统的先拱后墙法施工造成衬砌接缝过多,还是衬砌随受过大的围岩压力而发生开裂等等而导致的地下水渗漏,归结到一点都是由于支护技术不过关所致。目前铁路隧道常用的支护手段根据围岩类别的不同主要是喷锚、挂网、格栅支撑等。而这些支护手段的核心是喷混凝土。有效地实施这些支护手段的前提是开挖轮廓的圆顺,而这又要求开挖过程中实施控制超欠挖技术。因此,在施工上保证防水混凝土衬砌防水效果的关键是大力推广控制超欠挖技术和喷混凝土技术。控制超欠挖主要通过光面爆破和预裂爆破手段来实现,这些都已成熟的技术,只要在施工中加强管理,严格控制钻眼精度,合理调整爆破参数即可取得满意的爆破效果,进而有效地控制超欠挖。喷混凝土支护技术主要有干喷、湿喷两大类。干喷技术由于其回弹率高、粉尘大、一次喷厚小等缺点,而逐步被潮喷(二次拌合)工艺所取代。虽然潮喷技术目前已被广泛采用,但是喷混凝土粉尘、回弹等难题仍然没有很好解决。这一切导致支护措施很难达到设计标准,进而使衬砌承受过大的围岩压力导致开裂渗漏。目前,由铁科院西南分院研制成功的TK-961型湿喷机和配置使用的TX-1型液体速凝剂已成功地解决了这些问题,并使湿喷技术在西康线秦岭、堰岭隧道,朔黄线长梁山等隧道施工中成功地推广应用,取得了较好的效果,与干(潮)喷技术相比,其回弹率降低约50%,机旁粉尘下降70%左右。在今后的隧道施工中应进一步大力推广,使隧道施工中的支护技术达到新的水平,以保证先墙后

拱法衬砌得以全面推广,并使衬砌受力合理,进而减少施工缝和结构裂缝。同时在衬砌施工中加强捣固,避免蜂窝麻面问题的出现,从而保证防水混凝土的施工质量,以便从根本上减少由于施工原因导致的衬砌渗漏水病害。

(3)业主和监理工作,也是保证减少衬砌渗漏水病害的重要因素。

首先,如果业主为了控制投资而采用限额设计等措施,往往导致防排水标准降低;同时也存在不顾客观实际盲目压缩工期,致使施工工期紧张,导致防排水施工质量不能保证的问题,这些都必然为衬砌渗漏水病害的产生留下隐患。其次,如果监理工程师缺乏一定的防排水施工经验和认真负责精神,造成防排水施工环节出现质量问题,使防排水系统不能严格达到设计标准,也必然导致衬砌渗漏水病害的产生。

## 6 结束语

综上所述,笔者认为防止隧道衬砌渗漏水病害

是一项系统工程。既要求设计在业主的支持下,采用先进可靠的防排水技术,又要求施工在现场监理的严格监督和密切配合下,严格施工工艺,保证防排水设计意图的实现。以使铁路隧道衬砌防排水技术达到一个新的水平,进而从根本上解决隧道衬砌渗漏水病害问题。

## 参考文献

- [1] 刘宝权、李汶京.提高隧道衬砌防水性能的研究[A].中国土木工程学会隧道与地下工程学会防排水专委会第八次学术交流会论文集[C].1997-08.
- [2] 崔玫江.我国地下工程防水技术成就[A].中国土木工程学会隧道与地下工程学会防排水专委会第八次学术交流会论文集[C].1997-08.
- [3] 万德友.我国铁路隧道病害浅析及对策的探讨[J].铁道工程学报增刊,1998-10.
- [4] 张碧华,等.湿式喷射技术在长梁山隧道施工中的应用[J].世界隧道,1998,(2).

## THINK UPON TREATMENT OF LEAK OF TUNNEL LINING ON NANKUN RAILWAY (WEST-SECTION)

XU He-ping

China Railroad Construction General Corporation

**Abstract:** This paper briefly introduces the main methods which were applied to treat the defects of leak of tunnel lining on Nan-Kun railway(west-section),including the grouting on the back of lining, grouting inside of the lining,the spray of mortar waterproof layer,leaking stoppage by filling cracks, drainage by setting canals,etc. As well,the cause of formation of the defects are analyzed,and the thinking of treatment to them are presented. They are valuable as reference for the design and construction of waterproof and drainage.

**Keywords:** tunnel lining; treatment of leak; technique of waterproof and drainage