

文章编号: 0451-0712(2005)06-0194-05

中图分类号: U457.2

文献标识码: B

季冻区隧道渗漏与冻害防治研究

吕康成^{1,3}, 崔凌秋²

(1. 长安大学公路学院 西安市 710064; 2. 吉林省高速公路建设局 长春市 310013;

3. 解放军后勤工程学院 重庆市 400041)

摘 要: 针对季冻区隧道渗漏水与冰冻产生的原因,提出了采用防水、排水、保温、供热等方法进行综合防治的工程措施,其中包括:防水板选用低温性能好的材料,并在防水层敷设前尽量降低喷射混凝土表面的粗糙度,以保持防水层的长期完好;在衬砌施工缝中,采用先排后堵的可排水止水带;在衬砌下隅角背后,设置保温层,并使之防潮;在衬砌紧靠防水层一侧,设置环向电加热带,必要时通电加热使上部渗水顺畅下排。

关键词: 隧道; 防冻; 防渗; 保温层; 电热带

季冻区隧道常在春融期出现渗漏,并引发各种冻害,影响行车安全,威胁结构稳定。由于隧道防水问题本身就比较复杂,在季冻区还有温度因素的介入,更增加了解决隧道防渗防冻问题的难度,以致我国北方地区的一些新建隧道,建成后不久便开始受到渗漏与冰冻的困扰。近年来,国内工程界对季冻区隧道的防渗防冻进行了一些研究,并在季冻区隧道的设计理论和计算方法等方面取得了一定的进展。笔者在防水层工后力学性态试验、隧道衬砌与围岩温度测试的基础上,分析了季冻区隧道渗漏与冰冻产生原因,并有针对性地提出了相应的防治措施。

1 季冻区隧道渗漏原因

季冻区隧道渗漏的原因虽然相当复杂,但概括起来不外乎两点:防水不严和排水不畅。隧道的防水体系和排水体系具有圈层构造,即层层设防,层层疏导。目前,工程上对山岭隧道渗漏水的设防可归纳为“三道防线”,即围岩注浆堵水、防水层防水和衬砌混凝土防水;在隧道渗水三道防线之间共有两个界面,排水的两条通道分别位于这两个界面上。季冻区山岭隧道发生的渗漏现象,皆因“三防两排”体系中存在問題而引起。对防排水工程中的绝大多数问题,工程界正在采取各种措施进行预防。另外还有一些引发隧道渗漏的原因,目前还尚未引起足够的重视。

1.1 运营期防水板的损伤

目前在修建山岭隧道时,都通过在复合式衬砌

中设置防水层来预防渗漏。显然,如果设置的防水板完好无损,那么,季冻区隧道在任何季节都不会出现渗漏,春融期也不例外。所以,导致隧道出现渗漏的原因首先是防水板的破损。众所周知,在隧道施工期间,防水板会受到损伤,但这里强调的是防水层在隧道运营期间也会受到损伤。

防水层在服务期间,一侧是喷射混凝土,另一侧是二次衬砌混凝土。两侧虽然同是混凝土,但由于施工方法不同,它们与防水层相邻表面的粗糙程度大不相同。喷射混凝土表面十分粗糙,局部还会呈“葡萄状”与“泼粥状”。二次衬砌混凝土与防水层的接触面相当光滑,这是因为浇注时,混凝土混合料呈流动态。隧道建成后,由于隧道围岩的流变而使围岩内的应力与位移逐渐调整。二次衬砌为人工结构,其整体性较好并相对来说变形很小。由于喷射混凝土与二次衬砌间的变形不协调,在局部,喷射混凝土会对二次衬砌施加极大的压力。当然,介于两个承载结构之间的防水层也要承受极大的压力。在围岩应力重分布过程中,喷射混凝土与二次衬砌之间还可能出现相对错动;另外,二次衬砌还会因季节变化出现纵向伸缩,也会引发二次衬砌与喷射混凝土之间出现相对错动。这些错动会使防水层承受较大的剪力。不论是两承载结构之间的压力,还是其间的剪力,都会在应力值达到一定限度时,因喷射混凝土表面的粗糙不平,导致防水板损伤。为了研究防水层的工后力学特性,笔者进行了复合式衬砌防水层力学性态模

拟试验。试验中,防水层有两种:一种是1.0 mm厚的EVA和400 g/m²土工布;另一种是1.0 mm厚PVC与土工布的复合防水卷材。在进行压缩和压剪试验后,取出防水层观察,EVA防水板和PVC防水板均出现了严重损伤,而这些应力在防水板服务期间都是可能出现的。试验还发现,当喷射混凝土试块的表面不太粗糙时,防水层在试验过程中不易损伤。事实上,试验所用的喷射混凝土试块表面的粗糙度远较工程实际中的喷射混凝土表面粗糙度为小,所以,防水层的喷射混凝土基面过于粗糙,是造成防水层在服务期间损伤的主要原因。

1.2 防水层与衬砌间的排水工程缺失

在防水层与衬砌之间不设排水通道,是目前山岭隧道设计中普遍存在的问题。事实上,由于施工和运营过程中的种种原因,都有可能使防水板受到损

伤,当地层有渗水时,渗水便有可能穿越防水层。因为在防水层与衬砌之间没有排水通道,所以渗水只能在防水层与衬砌之间滞留或流动。当衬砌混凝土存在缺陷时,隧道便会发生渗漏。在春融期,季冻区隧道的排水比较困难,防水层与衬砌间的排水工程缺失则更易引发不良后果。如果在设计时对此问题有所认识与重视,则可在防水层与衬砌之间设置排水管,使渗水顺利排泄,无疑会减少隧道渗漏的机会。

1.3 春融期防水层两侧界面排水不畅

所谓春融期,是指春季冰雪消融的时期,对于隧道来说,是指隧道围岩温度由负变正的时期。如图1所示,根据冰冻线和防水层的相对位置,可将春融期分为三个阶段:第一阶段为冰冻线位于围岩内时;第二阶段为冰冻线位于防水层时;第三阶段为冰冻线位于衬砌内时。不同的阶段冰冻对隧道的排水有不同的影响。

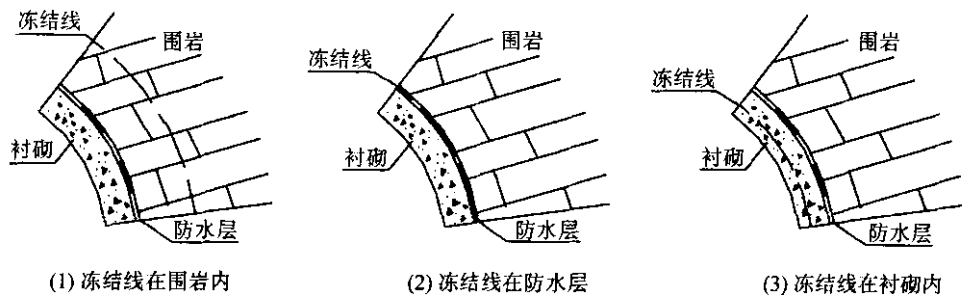


图1 冻结线与防水层的相对位置

在第一阶段,防水层外侧的围岩还有一定的冰冻范围,深部围岩内的渗水进入冰冻范围内时,渗水会很快结冰;冻结圈表面处于冰水混合状态。0℃的水会沿冻结圈表面下渗。在这一阶段,无论防水板是否破损,隧道都不会出现渗漏。由此可见,并非隧道围岩冻深越大,隧道可能出现的渗漏与冻害就越严重。

在第二阶段,防水层外侧围岩中的结冰已完全融化,深部围岩中的渗水,可能会向隧道方向流动,而这时,冻结线在防水层界面上,防水板的外侧被冰水混合物充满。这时,由于有冰块的阻挡,融水下渗困难,造成水压升高,如果恰巧防水板在有水部位破损,则融水便会穿过防水板而与二次衬砌接触。在防水板的内侧,水流的下排亦不通畅,处于冻融临界状态的冰水沿防水板与二次衬砌之间的间隙纵向流动,寻求二次衬砌的薄弱环节进行突破,最终导致隧道渗漏。

在第三阶段,冻结线已移至防水层以内的衬砌结构上。这时,隧道的环向排水已不受冻结的影响。

由此可见,在春融期的第二阶段,围岩中已经存在渗水,同时冻结线恰好位于防水层上,冰冻使渗水下排不畅并引发渗漏。

1.4 春融期纵向排水管冻结

季冻区隧道的排水体系常为:环向排水管——纵向排水管——横向排水管——中央排水管——保温出水口。其中,环向排水管因间距大,其影响范围有限,渗水主要沿防水板与喷射混凝土的间隙下排。纵向排水管是上部渗水的汇集管,在春融期有可能处于冻结状态,使上部渗水不能顺利排泄。笔者曾在吉林的小盘岭隧道进行过衬砌后温度的测试,图2示出了距边墙表面0.75 m深度处的温度与底角距检修道路面0.75 m深度处的温度变化曲线。由图可见,两个部位的温度变化并不同步。底角0.75 m左右深度处常为纵向排水管的安装位置。在不同的年份,不同的冻融条件下,极可能出现上融下冻现象,即衬砌壁后已经消融而纵向排水管仍然冻结,使渗水下排受阻,造成水压升高,渗水穿过防水板及二次衬砌而发生渗漏。顺便指出,横向排水管及中央排水

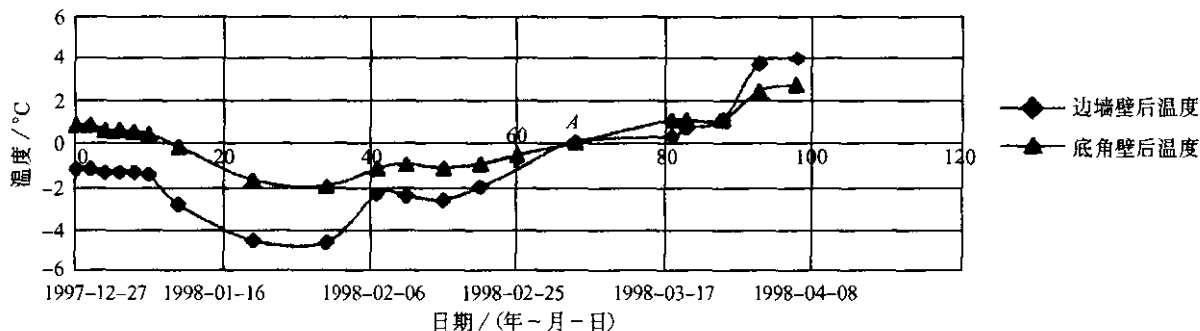


图2 隧道衬砌壁后实测温度~时间曲线对比

管设计的埋深,一般大于隧道当地的最大冻深,所以春融期冻结的可能性不大。

1.5 春融期地下水压力较大

由图2可以看出,隧道衬砌与围岩内的冻结线,一年之中一般要两度穿越防水层,第一次在11~12月份。冻结线由衬砌移向围岩;第二次在次年的2月下旬至3月中旬,冻结线由围岩移向衬砌。如果在以上两个时期,隧道围岩中的地下水位相同,那么,隧道在这两个时期的渗漏状况也应相同。事实上,在冻结线第一次穿越防水层时,绝大多数季冻区隧道的渗漏状况与平时无异,看不出冰冻对隧道渗漏有多大影响。而当冻结线第二次穿越防水层时,许多季冻区隧道却出现严重渗漏,表明冰冻对季冻区隧道的渗漏有明显影响。目前山岭隧道围岩中的地下水主要通过防水层与喷射混凝土的间隙下排,围岩自身的渗透能力较小,地下水通过围岩内的裂隙下渗较为困难。在冻结线第一次穿越防水层之前,防水层外侧的排水通路是畅通的,围岩中的地下水接近疏干,地下水压力较小,不易导致隧道渗漏;而在冻结线第二次穿越防水层之前,防水层外侧的排水通路因冰冻而封堵,围岩内的地下水不断积聚,地下水压力较大,当冻结线位于防水层上时,季冻区隧道容易因地下水压力较大而发生渗漏。

针对季冻区春融期隧道渗漏与冰冻的原因,在季冻区隧道设计时应采取适宜的技术措施加以防范,并注意使工程措施可靠、简便、经济、耐久。

2 防水

2.1 选择低温柔性好的防水材料

在防水层工后力学性态试验中发现,有的防水材料比较柔软,有的防水材料则相反。防水材料越脆越容易损伤,在低温条件下高分子材料容易变脆,所以,在季冻区隧道中应选择低温柔性好的防水材料。

例如,工程上常用的PVC防水卷材,其柔性就较好。

2.2 喷射混凝土表面降糙

防水层工后力学性态试验证实,喷射混凝土表面的粗糙度对防水层的长期完好性有至关重要的影响,因此,应根据隧道围岩的类别,采取不同的措施,对喷射混凝土表面进行光滑处理。笔者在吉林省的新交洞隧道进行渗漏与冻害防治试验研究,试验中采取了以下工程措施。

(1) V、Ⅵ级围岩表面抹光

V、Ⅵ级围岩在应力重新分布的过程中,变形较大,这意味着衬砌做成后,防水层会受到较大的围岩压力,因此,在这种情况下,宜对喷射混凝土的表面进行认真的光滑处理,可用砂浆抹光喷射混凝土表面,以达到降糙之目的。

(2) Ⅲ、Ⅳ级围岩环向冲筋抹光

与V、Ⅵ级围岩相比,Ⅲ、Ⅳ级围岩的变形相对较小,可考虑在喷射混凝土的表面沿环向用水泥砂浆冲筋,筋带表面抹光,筋带宽20 cm,厚1.5 cm,筋带间隔60 cm。

(3) I、Ⅱ级围岩表层喷砂浆

I、Ⅱ级围岩在应力重新分布的过程中变形量较小,但仍需要对喷射混凝土的表面进行降糙处理,比较简单的方法是在既有的喷射混凝土的表面,再喷射一层水泥砂浆,并尽量使砂浆表面平整。

3 排水

3.1 可排水止水带防止施工缝渗漏

施工缝是隧道渗漏的常见部位,所以对施工缝的渗漏水应特别注意防范。可排水止水带是对环向施工缝中的渗水进行“先排后堵”的新型止水带。可排水止水带为内置式止水带,设置在衬砌厚度的中间,横断衬砌环向施工缝。当环向施工缝内出现渗水时,渗水沿环向施工缝流至止浆滤水带,由于止浆

滤水带可透水,渗水很容易进入排水通道,并由其排入隧道的排水系统。如果部分渗水在穿越止浆滤水带时,沿止水带与混凝土之间的间隙横向流动,则会遇到粘贴在止水带翼缘上的橡胶条的阻挡,渗水沿横向流动阻力增大,从而提高了止水带的止水能力,如图3所示。可排水止水带的应用,可为防水层与衬砌之间的渗水提供下排通道,如图4所示。

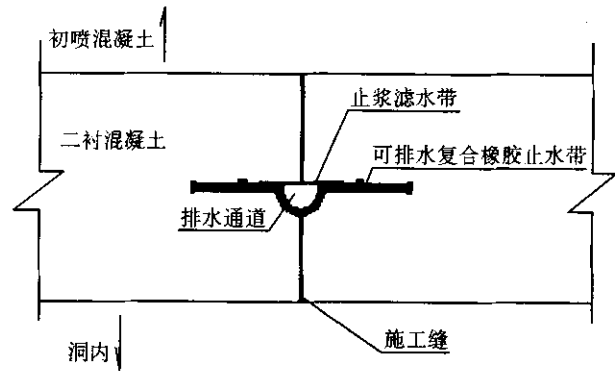


图3 可排水止水带构造

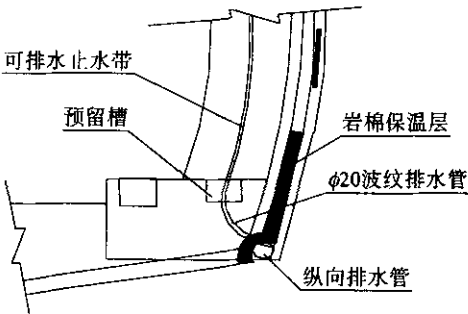


图4 可排水止水带下部构造与岩面保温层

3.2 波形纵向排水管

一般纵向排水管的坡度与隧道路面坡度一致,坡度一般在0.3%~3%范围内。这样的坡度容易出现两个问题:一是施工误差造成两横向排水管之间的纵向排水管下凹,使用后管内泥砂堆积导致排水不畅;二是水流在管内流速慢,低温条件下结冰冻管。针对上述问题,在季冻区隧道排水系统设计中,可采用波形纵向排水管。小盘岭隧道的路面坡度为1.3%,采用了如图5所示的纵向排水管后,其局部纵坡达到了3%和3.7%,减小了冰冻几率。

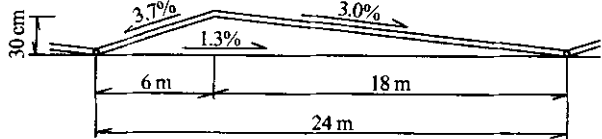


图5 波形纵向排水管

4 保温

(1)在下隅角的防水层与衬砌之间设置保温层
隧道两侧下隅角纵向排水管的封冻,对隧道冻害防治的影响很大。因此,可在隧道两侧下隅角设置高2 m、厚5 cm的岩棉保温层(见图4)。为了保证其保温性能,应对保温层进行防水处理。

(2)洞外设保温出水口

在隧道洞外选择背风、朝阳、排水通畅的位置设置保温出水口。出水口应有特殊的构造,表面用沥青涂黑,冬季可用稻草覆盖。此外,根据隧道的具体情况,必要时设计可加热的出水口。

5 供热

5.1 防水层与衬砌之间设置电热带

在春融季节,隧道衬砌的背后容易出现上融下冻现象,从而引发渗漏。在衬砌与防水层之间设置电热带,可以达到向隧道供热的目的。具体方法是衬砌施工时,在衬砌与防水层间预埋UPVC塑料管,该塑料管下埋至纵向排水管,上端从距路面6 m处弯出衬砌。隧道运营管理中,根据需要向管内下插电热带,并在必要时通电供热,见图6所示。

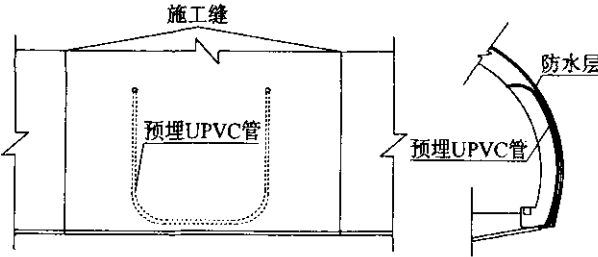


图6 预埋UPVC管(侧视)

5.2 电加热带

为了解决一些重要输水管线等的防冻问题,近年来,我国从国外引进了一种电加热新技术——导电塑料电热带。电热带的发热原理是:在电热带内,母线之间发热高分子材料的电路导通数量随温度的变化而变化。当周围的温度较低时,导电塑料产生微分子的收缩而使碳粒连接形成导电通路,当电流流经这些通路时,电加热带发热。当温度逐渐升高并达到一定量值时,导电塑料产生微分子的膨胀,碳粒渐渐分开,引起导电通路中断,电阻上升,自动减少功率输出。当周围变冷时,导电塑料又恢复到微分子收缩状态,碳粒又相应连接起来,形成导电通路,电加热带又增加输出功率使温度上升。

在工程应用中,首先要根据发热量的要求选定

电热带的型号。常用的电热带有三种系列:ETV、PTV、FTV,各型号的性能参数见表1。其次,要根据各回路的最大允许电流,确定其最大长度。为了保证电加热系统工作在良好的状态下,笔者在新近进行的实验中采用了型号为 30 PTV,输出功率为 24 W/m,每个加热回路长 12 m 的电热带。

表 1 电加热带的型号与性能指标

系数	型号	输出功率	最高维持温度	最高承受温度	工作电压
		(10℃时) W/m	℃	℃	V
ETV	15ETV	10	65	85	220
	20ETV	16	65	85	220
PTV	30PTV	24	65	85	220
	35PTV	30	65	85	220
FTV	40FTV	40	110	135	220
	50FTV	50	110	135	220

6 结语

随着公路和铁路建设的发展,我国在季冻区将有大量的隧道需要建设。在季冻区,由于隧道排水管

路和衬砌壁后的冰冻,使渗水下排不畅,更易出现渗漏,进而引发冻害。春融期季冻区隧道渗漏与冰冻的这种复杂因果关系,导致了工程上很难采用单一的技术措施或某种新材料,就能解决存在的问题。因此,在新隧道的建设中,必须坚持综合防治的原则,把握好设计与施工的各个环节,才能取得理想的渗漏与冻害防范效果。

参考文献:

[1] 杨彦民. 青海大坂山隧道设计[A]. 公路隧道学术会论文集[C]. 2001.

[2] 张祉道. 高海拔及严寒地区隧道防冻设计[J]. 现代隧道技术, 2004,41(3).

[3] 胡元芳,王建宇. 青藏铁路昆仑山隧道冻胀压力计算[J]. 现代隧道技术,2002,39(2).

[4] 吕康成,等. 复合式衬砌防水层工后力学性态试验研究[J]. 中国公路学报,2000,(4).

[5] 吕康成,等. 寒区隧道春融期渗漏水原因分析及预防方法[J]. 现代隧道技术,2001,(4).

[6] 吕康成,等. 隧道防排水工程指南[M]. 北京. 人民交通出版社, 2005.

A Study on Prevention of Tunnel leakage and Freezing in Seasonally Frozen Zone

LU Kang-cheng^{1,3} CUI Ling-qiu²

(1. Highway Institute, Chang'an University, Xi'an, 710064, China; 2. Jilin Expressway Construction Bureau, Changchun 310013, China; 3. Logistics Engineering Institute of PLA, Chongqing 400041, China)

Abstract: To counter the reasons of tunnel leakage and freezing turned up in seasonally frozen zone, comprehensive techniques to prevent the problems are presented. The techniques include: (1) choosing water-proof material with good properties at low temperature, and smoothing the surface of shot-concrete to keep the water-proof membrane in good condition over a long period of time; (2) installing drainage water stop between the water-proof layer and the lining to supply the passage for the water which has passed through the layer; (3) setting up thermal insulating layer on the back of lining at the bottom corners and preventing the layer from moist; and (4) installing electro-thermal wires between the water-proof layer and the lining, and electrifying to melt the ice on the back of lining when necessary.

Key words: tunnel; freezing prevention; water-proof; thermal insulating layer; electro-thermal wire