

寒区运营隧道洞口段冻害分析及对策

王晓宇¹, 杨明宇^{2*}

1. 辽宁省公路勘测设计公司, 辽宁 沈阳 110006; 2. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072

摘要:为解决寒区公路运营隧道的冻害问题,分析冻害形成机理,依据冻融周期内隧道现场拱顶、边墙和路面3个测孔位置不同孔深处的监测温度数据,分析隧道洞口段冻害类型。结果表明:在冻融期,隧道洞口段边墙从隧道二次衬砌表面沿径向延伸至围岩深部的温度逐渐升高,拱顶位置从衬砌表面向深部延伸处温度先升高后降低,路面从隧道路面边缘表面沿径向延伸至围岩深部温度逐渐升高;洞口段在冰冻季节温度均低于冰点,冻害风险较高,极易造成洞口段环向排水系统冻结,隧道洞顶边仰坡冻融作用造成的滑塌、二次衬砌开裂、衬砌渗漏水挂冰、路面积冰等病害。对比分析不同测孔同一深度的温度可知,隧道洞口段拱顶温度、边墙温度、路面温度依次升高。对隧道洞口段采取防冻措施时,先后做好浅埋段洞顶、边墙、排水系统及路面的防冻措施,针对不同病害类型分别采取衬砌结构抗冻等级增强、增设保温板、围岩注浆隔水、提高隧道内温度、增加地下水的热量、电伴热保温隔热、深埋中心排水沟等方法。改造后的监测结果表明,隧道洞口段内各结构保温性能良好,可为设计类似工程洞口段冻害的防治方案提供依据。

关键词:寒区隧道;冻害;温度监测;防冻措施

中图分类号:U475⁺.2

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)02-0063-09

引用格式:王晓宇,杨明宇.寒区运营隧道洞口段冻害分析及对策[J].山东交通学院学报,2022,30(2):63-71.

WANG Xiaoyu, YANG Mingyu. Analysis and countermeasures of freezing damage at the tunnel portal section operation in cold region[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(2): 63-71.

0 引言

随着我国西部大开发战略、振兴东北老工业基地及“一带一路”政策的实施,我国基础设施建设得以快速发展,而寒冷地区的基础设施建设规模发展尤为突出。我国季节性冻土面积约占总领土面积的53.5%,主要分布在东北、西北、华北及西南高海拔山区。随着交通基础设施的持续深入发展,为有效提高运营舒适性,克服地形限制,提高安全性,已相继建设了大量的寒区公路隧道。2000—2020年,我国已建成公路隧道26 224座,隧道通行里程达23 841.1 km^[1-3]。

随着隧道运营年限的增长,寒区公路隧道冻害问题日益凸显,其危害程度不断加大。据统计,约80%的寒区隧道除存在渗水、路面湿滑、微裂缝等一般病害外,还会发生路面鼓胀、衬砌冻胀开裂、混凝土剥落、掉块、挂冰、排水沟冻结、侵占建筑限界及洞口边仰坡滑塌等严重冻害。隧道冻害不仅使隧道受力结构遭到破坏,二次衬砌侵入隧道建筑限界,严重危及行车安全和结构稳定,还给运营养护和病害治理带来极大困难^[4-5]。如何采取有效的隧道冻害防治措施,避免冻害转化为次生地质灾害,保证公路运营安全是当前亟待解决的重点问题。

本文以某寒区隧道洞口段防治冻害工程为背景,在隧道拱顶、边墙和路面不同深度处设置监测仪器,监测温度变化,分析温度变化规律与冻害现象的关系,并对隧道洞顶、边墙和排水系统等处的不同冻害现

收稿日期:2021-12-25

第一作者简介:王晓宇(1986—),女,吉林通化人,工程师,主要研究方向为桥梁隧道设计,E-mail:1282037498@qq.com。

* 通信作者简介:杨明宇(1984—),男,辽宁鞍山人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为桥梁隧道设计,E-mail:154477649@qq.com。

象采取不同防治措施,以期减少冻害现象的发生。

1 冻害机理分析及常见冻害类型

寒区隧道病害的主要原因为水在冬季冰冻在隧道结构内形成冻结圈,产生冻胀力,破坏各结构的受力状态,围岩裂隙水和孔隙水处理不当是产生冻结的直接原因。

1.1 冻害机理分析

在冰冻季节,寒区隧道衬砌背后围岩孔隙水流量减少,流速较缓。待温度降至冰点后,在衬砌背后形成冻结圈,围岩裂隙水冻结后体积膨胀,受到隧道衬砌与围岩双重约束作用时即产生冻胀力。当作用于支护结构上的冻胀力大于结构材料强度时,衬砌发生变形,产生裂缝等病害,甚至导致衬砌渗漏水或衬砌结构破坏^[6-10]。

1.2 常见冻害类型

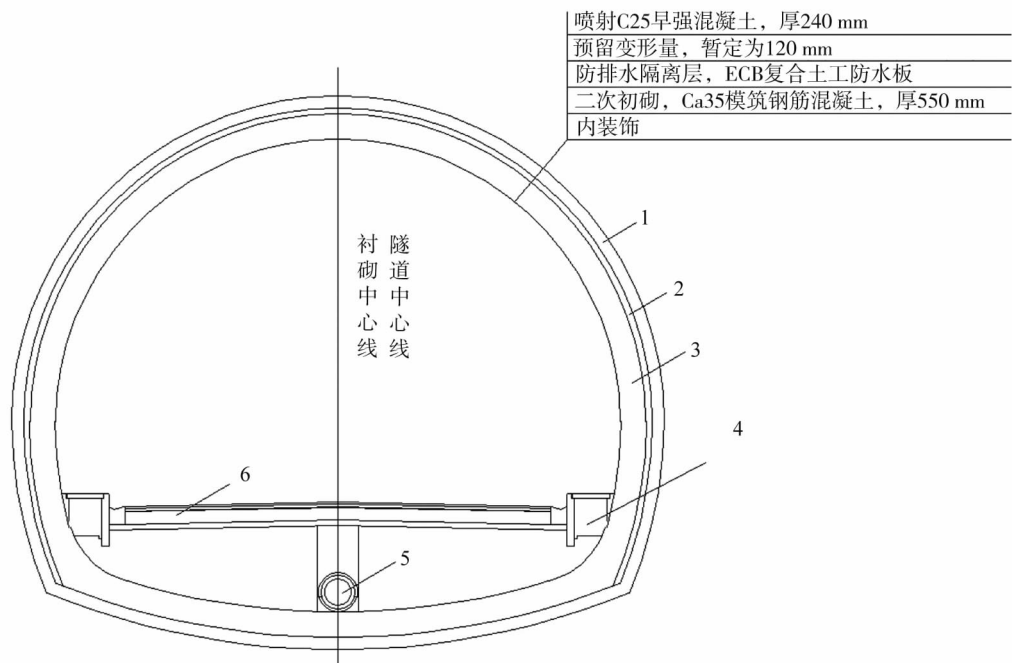
寒区隧道冻害成因较多,均与围岩裂隙水及保温防冻措施不完善有关,包括隧道排水系统不畅、保温措施设置不当、二衬混凝土耐久性较差、隧道纵坡支护强度不足、养护不到位等问题。隧道冻害往往是多种因素综合作用导致,且因素越多,病害越严重^[11-13]。

受低温和冻融作用影响,寒区隧道主要病害分为边仰坡滑塌、路面积水或积冰、洞门墙开裂、二次衬砌变形和开裂、防水板破损、衬砌渗漏挂冰、衬砌混凝土劣化、路面鼓胀、排水系统堵塞冻胀^[3,14]等。

2 监测数据分析

2.1 工程概况

某寒区隧道位于内蒙古自治区兴安盟段国道 G302 上,为上、下行分离式隧道,全长 1.77 km。路面为沥青混凝土面层的复合式路面结构。隧道采用三心圆拱形曲墙式断面结构,复合式衬砌型式,二衬为钢筋混凝土结构,隧道建筑限界净宽 10.25 m,建筑限界净高 5.0 m,入口侧、出口侧洞门均为削竹式结构,洞身采用中心排水沟排水,路面采用路缘排水沟排水。洞口段衬砌结构断面如图 1 所示。



1—初期支护;2—预留变形缝;3—二次衬砌;4—电缆槽;5—中心排水沟;6—路面结构。

图1 洞口段衬砌结构断面

2.2 监测仪器

采用 PC-3 型气象环境采集与传输系统设备监测气象数据,监测设备分别安装在隧道进、出口两端洞顶截水沟顶部平台处地势较高的平坦位置,可测量隧道洞外气象环境的风向、风速、温度、湿度、雨量、气压等 6 个要素。

在隧道内安装温度监测仪器监测地温和气温。监测断面距隧道洞口 5 m,断面上共设置 3 个测温孔,分别位于拱顶 D (距隧道中心线 1 m)、路面边缘 M (距路面边缘 2 m)、边墙 B (距电缆槽顶面 0.5 m),每个测孔沿径向设置 6 个温度传感器,分别测量二衬表面及孔深 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0 m 处的温度,测孔及测点布置如图 2 所示。

监测隧道温度历经 2018-11-21—2019-05-16、2019-11-21—2020-05-16 两个冻融期,本文选取平均温度较低的第 1 个冻融期的监测数据进行分析研究。

2.3 数据分析

根据气象监测资料,在 12 月上旬至次年 4 月中旬历时约 4 个月,隧道内气温低于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$,已达到冻结临界值,低温影响周期较长。

采集温度传感器的数据,分析拱顶、边墙和路面不同深度处温度变化规律及其与冻害现象的关系,绘制拱顶、边墙、路面监测孔不同位置的温度随时间变化曲线,如图 3 所示。

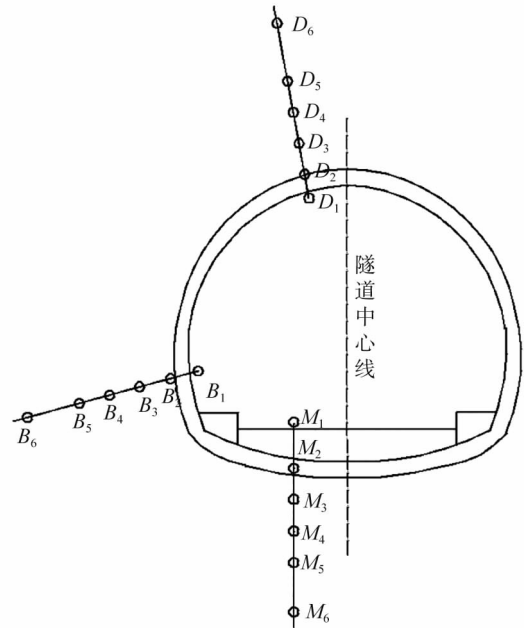
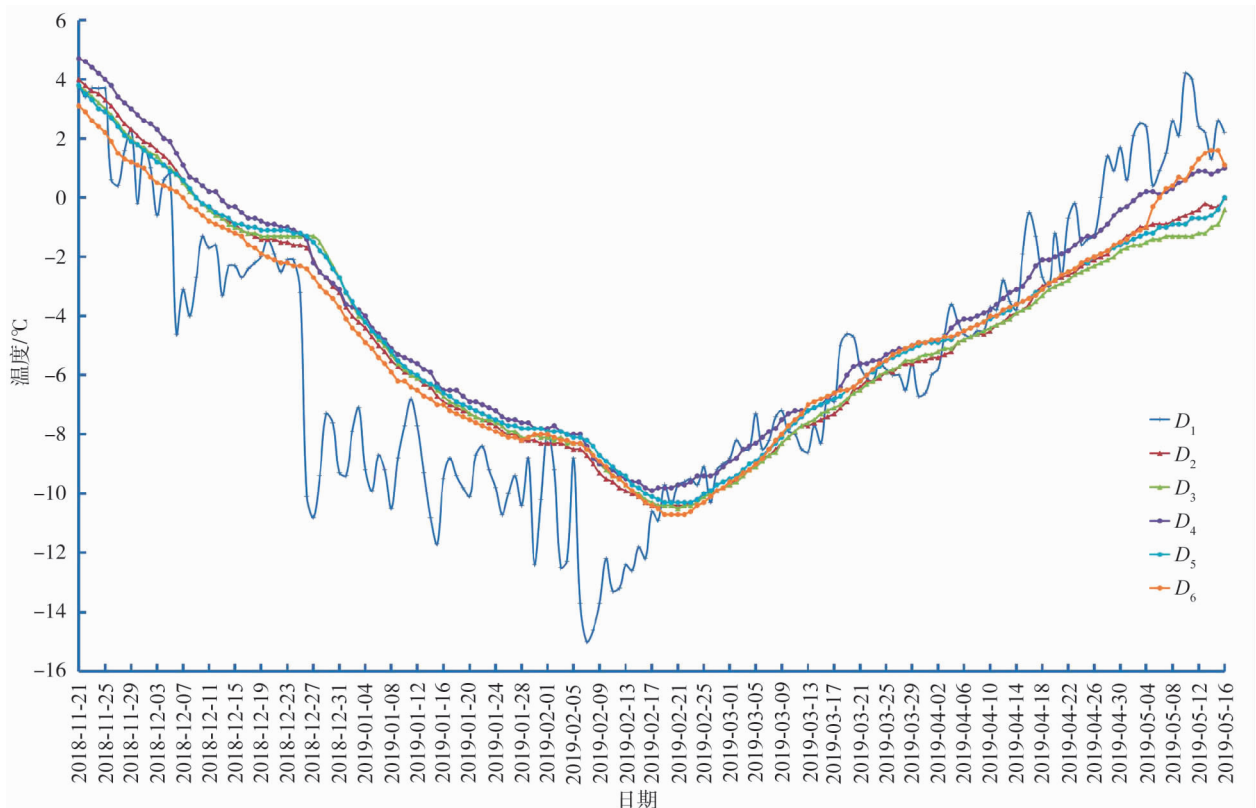
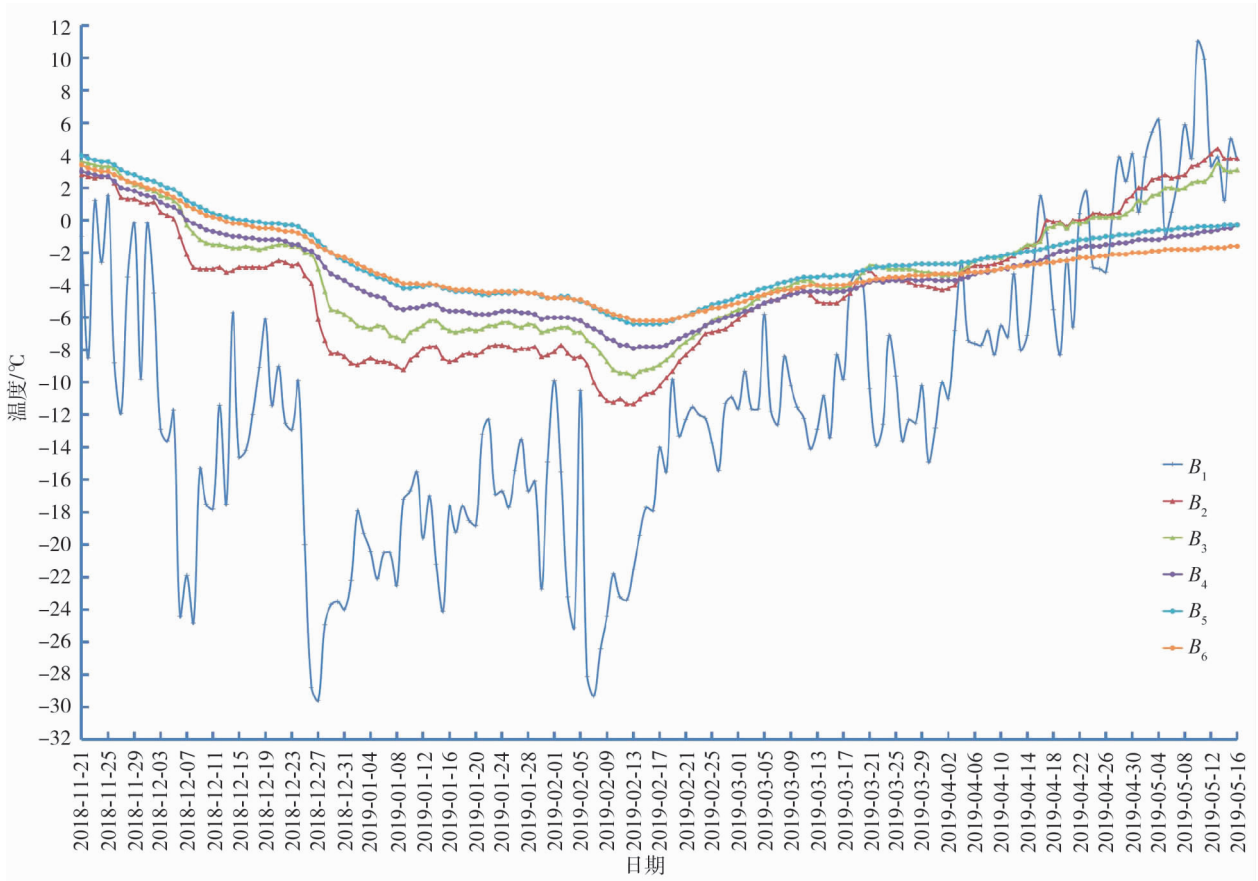


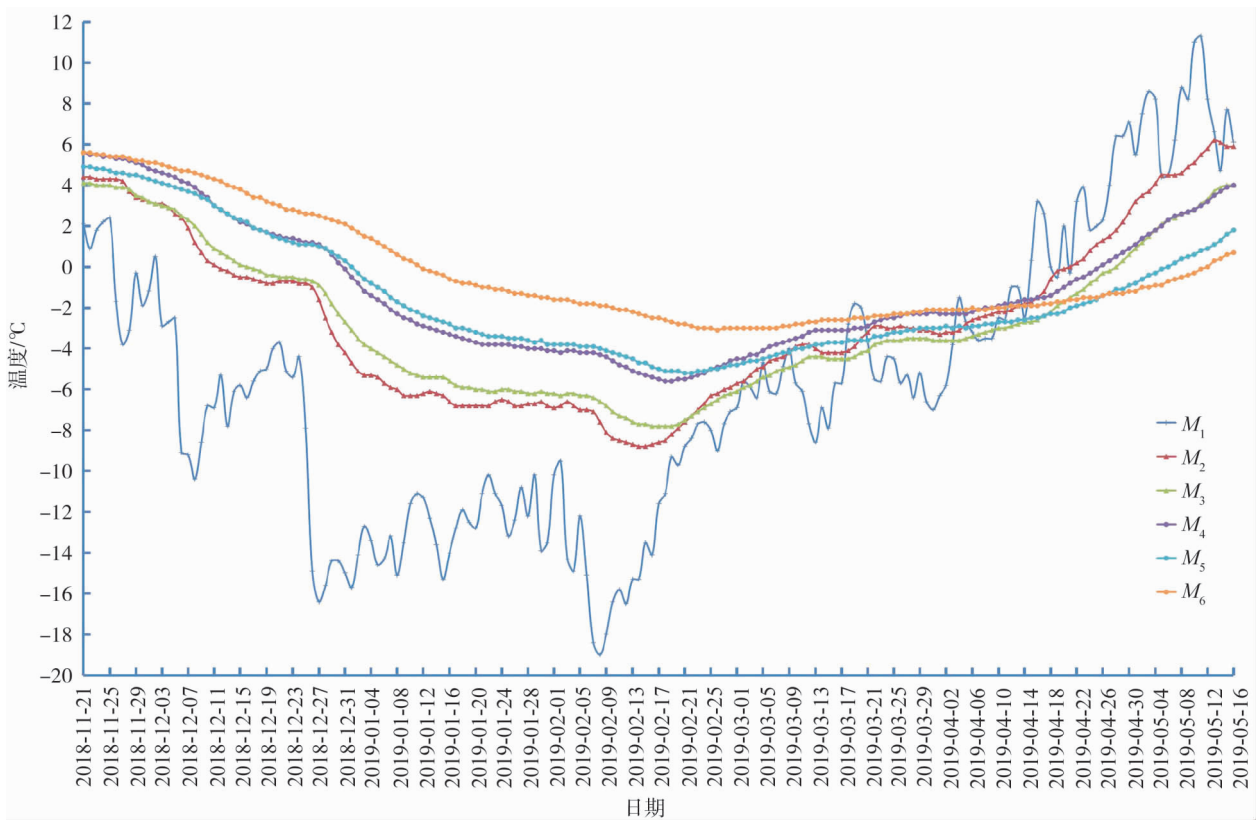
图 2 测孔及测点布置图



a) 拱顶



b) 边墙



c) 路面

图3 拱顶、边墙、路面监测孔不同位置的温度随时间变化曲线

由图3可知:洞口监测断面处拱顶、边墙、路面的摄氏温度由11月下旬开始由正变为负,至次年2月上旬出现最低温度,然后隧道内温度逐渐升高,次年5月上旬开始摄氏温度由负转正,历时约6个月,到次年11月中下旬再次进入摄氏温度为负阶段,并依此规律循环。在气温低于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,隧道衬砌存在冻害风险。不同孔深处的监测温度变化均与气温变化密切相关,随气温降低而逐步降低,随气温升高而逐步升高。在冬季,拱顶位置从隧道二次衬砌表面(D_1)沿径向延伸至围岩深部(D_6)的温度先升高后降低,边墙位置从隧道二次衬砌表面(B_1)沿径向延伸至围岩深部(B_6)的温度逐渐升高,路面位置从隧道路面边缘表面(M_1)沿径向延伸至围岩深部(M_6)的温度逐渐升高。

孔深大于 0.5 m 时,长时间摄氏温度为负,拱顶、边墙、路面的最低温度分别为 $-10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-8.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在拱顶位置,隧道环向排水系统位于隧道洞口段冻结范围,极易造成洞口段环向排水系统冻结、隧道洞顶边仰坡在冻融作用下的滑塌、二次衬砌开裂、衬砌渗漏水挂冰、路面积冰等冻害;在边墙位置,隧道环向排水系统和纵向集水管位于隧道洞口段冻结范围,极易造成洞口段环向排水系统和纵向集水管冻结、二次衬砌开裂、衬砌渗漏水挂冰、路面积冰等病害;在路面位置,隧道横向排水系统和中心排水沟位于隧道洞口段冻结范围,在冻融期洞口段极易形成中心排水沟和横向排水管的冻结、路面返水积冰、路面鼓胀等病害。

由图3可知:洞口段拱顶、边墙、路面不同测温孔的同一孔深处的同期温度变化规律为隧道拱顶温度、边墙温度、路面温度依次升高,且拱顶位置从衬砌表面向深部延伸时温度先升后降,原因是洞口段存在明洞或浅埋(超浅埋段)段落,洞顶的覆土厚度较小,填土密实性较差,洞顶排水系统不完善、衬砌背后保温设施损坏等因素综合导致拱顶温度相对较低。

3 隧道冻害防治对策

防治寒区隧道洞口段或者浅埋段的冻害可采取可靠的截排水措施,也可采取提升衬砌结构抗冻等级、增设保温板、围岩注浆隔水、提高隧道内温度、增加地下水的温度、电伴热保温隔热、深埋中心排水沟等方法^[15]。同时在排水系统和洞口段衬砌背后增加保温隔热层,保证排水系统保温层敷设的有效性,减少外部环境与隧道内部的热量交换。

3.1 排水系统

3.1.1 排水系统冻害防治措施

隧道的围岩裂隙水和孔隙水冻结产生冻胀力^[16-18],对隧道结构及运营不利。减少冻害的关键因素是减少洞内存水:截堵围岩裂隙水和地表水,根据渗漏水量和洞口段上覆土层厚度采用地表注浆堵水、增设洞顶截水沟等措施,可有效防治边仰坡滑塌病害;加强防排水,通过采取加密环向和横向排水管、加大中心排水管直径、增设泄水洞和排水纵坡等措施减少裂隙水的温度损失,增强防水材料耐久性和抗冻性,防止地下水侵蚀二次衬砌并造成冻害。

排水系统冻结可采用加热防冻、深埋中心水沟和增设保温层等方法预防。加热防冻法包括电伴热电缆加热和地热、锅炉等供热^[19-21]。可采用聚氨酯、聚苯乙烯、聚乙烯和酚醛泡沫板等材料包裹保温排水系统,以达到保温隔热效果。

路面鼓胀而后积冰的主要原因是路面下排水系统冻结或堵塞,地下水不能快速排出隧道,可采用深埋中心排水沟、增设泄水洞、保温井盖和过滤网等措施。

3.1.2 排水系统施工方案

改造洞顶截水沟,将原M10浆砌片石结构改造为C25钢筋混凝土结构,并根据地形选择南侧天然沟渠为截水沟出水口,保证截流的地表冻融水不会渗入衬砌背后形成冻结圈。

采用深埋中心检查井(井底埋深 -2.06 m),在相对标高 -0.5 m 处设置直径 650 mm 的保温井盖,井盖上包裹厚 0.35 m 的聚氨酯保温材料,而后安装直径 700 mm 的高分子树脂井盖。检查井保温措施如图4所示。

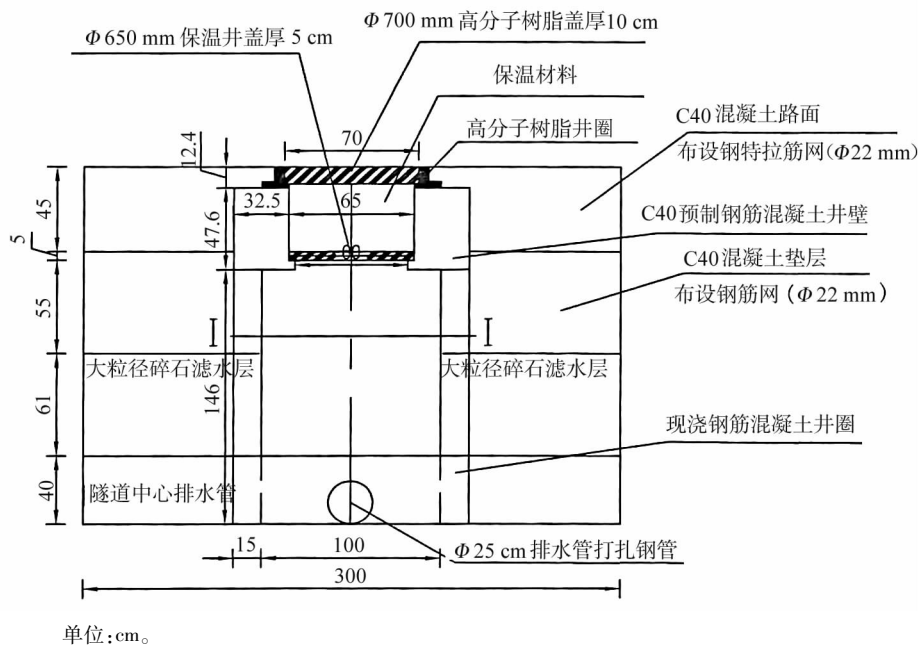


图4 检查井保温措施方案

采用厚 8 cm 的聚氨酯保温材料包裹横向排水管,形成横向保温排水系统。

3.2 二次衬砌

围岩裂隙水冻结产生的冻胀力作用于衬砌结构引起二次衬砌开裂,可采用防冻隔热法,利用铺设于衬砌表面、初支和二衬间的保温隔热材料,减少隧道外环境与衬砌背后的热交换。

衬砌结构裂缝和漏水量较大时,采用凿槽引流方式排除地下水;裂缝和漏水量较小时,采用钻孔注浆的方式进行封堵,防止渗、漏水冻结形成冰柱影响运营安全。

对二次衬砌裂缝渗、漏水较严重的部位采用凿槽封堵措施,开槽为倒梯形,开槽深度和宽度均大于 20 mm;采用低黏度、可注性好的改性环氧树脂类胶液对衬砌裂缝进行注浆封堵,采用骑缝方式布置注射孔,孔间距为 30 cm,注射压力不小于 0.2 MPa;再涂刷厚 2 mm 的界面胶,填充材料为改性环氧修补砂浆,槽体外表面粘贴碳纤维复合材料。二次衬砌凿槽封堵方案如图 5 所示。

3.3 施工注意事项

在施工中需注意:1)加深检查井,拆除现有 C30 检查井井壁、底座及 C15 混凝土垫层至仰拱顶面后,支立模板浇筑 C30 混凝土,待混凝土达到其抗压强度后,进行保温井盖、保温层及树脂井盖的施工;2)对横向排水管的保温层,在既有横向排水管位置锯切开槽,开槽宽 20 cm,挖除既有复合式路面结构,在既有横向排水管周边安装厚 8 cm 聚氨酯保温层,然后采用与既有路面结构层同等材料回填沟槽,保持路面结构顺畅;防治裂缝渗、漏水的施工工序为开槽—清除残渣—钻孔—注浆封堵—涂刷界面胶—填充环氧树脂—粘贴碳纤维复合材料。

施工中,聚氨酯保温管的闭孔率不小于 88%,抗压强度不小于 0.3 MPa,导热系数不大于 0.03 W/(m·K),确保保温层的厚度和保温效果;检查井深埋施工中,不能破坏仰拱结构整体的安全性;处理衬砌裂缝时需及时分析现场监测数据,结合现场情况调整处置方案,避免在治理中产生新的病害。

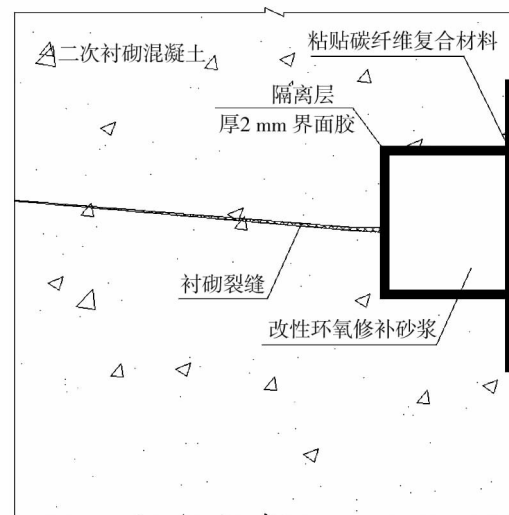


图5 二次衬砌凿槽封堵方案

3.4 防治冻害改造后的效果

采取防冻措施改造隧道洞口段后,对检查井和横向排水管进行温度监测,结果如图6所示。

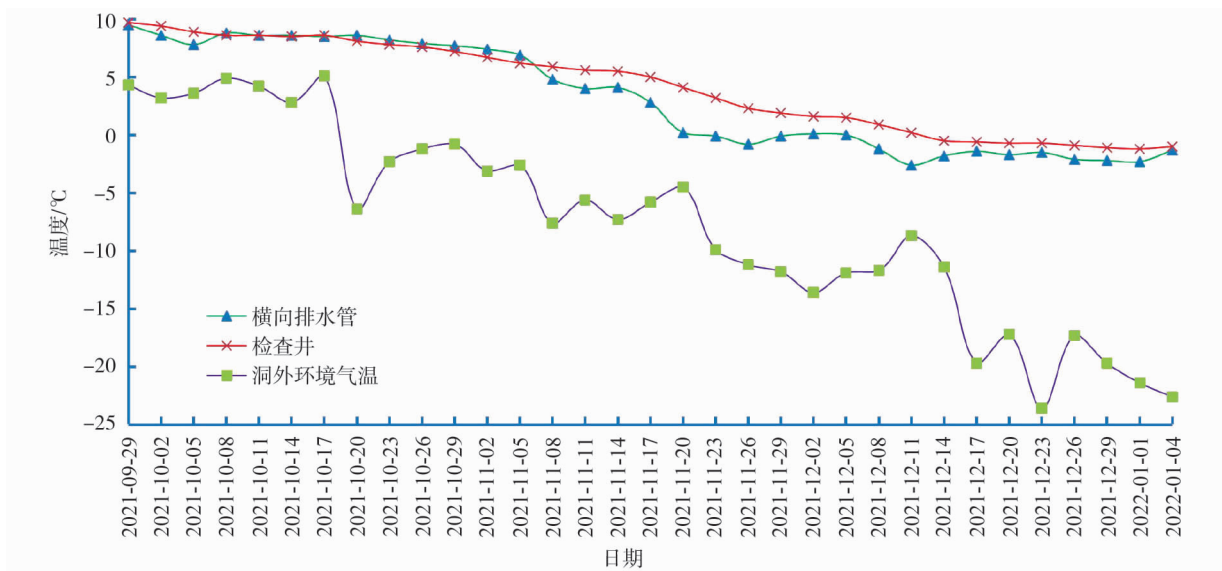


图6 改造后隧道排水系统温度随时间变化曲线

由图6可知:在冻融期内横向排水管最低温度为 -3.3°C ,未到冻结临界值。隧道洞口段未出现挂冰、路面结冰、路面返水、排水系统冻结等冻害,横向排水管的温度远高于未采取保温措施前。同时考虑排水系统坡度、地下水的流速等综合因素影响,隧道洞口段发生冻结等病害的可能性较小,冻害防治总体效果良好。

4 结论

1)对寒区运营隧道进行现场监测,分析温度沿监测孔深度方向的变化规律及不同监测孔同一深度的变化规律。各监测位置的温度变化规律与季节变化和气温变化密切相关,随气温升高而逐步升高,随气温降低而逐步降低。

2)温度监测孔深大于 0.5 m 时,温度低于 0°C 时间较长,隧道排水系统基本位于隧道洞口段冻结范围内,冻害风险较高,根据监测数据的变化规律,可设计防冻胀衬砌、保暖中心排水沟和检查井、电伴热、衬砌背后铺设保温层、增大排水纵坡、完善排水系统、深埋水沟等防冻害方案。

3)一般隧道洞口段拱顶温度、边墙温度、路面温度依次升高。对隧道洞口段采取防冻措施时,需先后做好浅埋段洞顶、边墙、路面的防冻措施,可采取衬砌结构抗冻等级增强、增设保温板、围岩注浆隔水、提高隧道内温度、增加地下水的热量、电伴热保温隔热、深埋中心排水沟等方法。

4)隧道洞口段采取防冻措施改造后的第1个冻融期,隧道各结构未出现冻害,整体防冻效果较好。

参考文献:

- [1]夏才初,吕志涛,王岳嵩.寒区隧道冻胀力计算方法研究进展与思考[J].中国公路学报,2020,33(5):35-43.
XIA Caichu, LÜ Zhitao, WANG Yuesong. Advance and review on frost heaving force calculation methods in cold region tunnels[J]. China Journal of Highway and Transport, 2020,33(5):35-43.
- [2]袁超,李树忱,李术才,等.寒区老旧隧道病害特征及治理方法研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(增刊1):3354-3361.
YUAN Chao, LI Shuchen, LI Shucui, et al. Study of defects characteristics and repair methods of old tunnel in cold region [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011,30(Suppl.1):3354-3361.

- [3] 魏星星, 郑波, 王仁杰. 季节性冻土隧道冻害机理分析及防冻探索[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(2): 44-50.
WEI Xingxing, ZHENG Bo, WANG Renjie. Frost damage mechanisms and anti-freezing measures for tunnels in a seasonally frozen soil region[J]. Modern Tunnelling Technology, 2018, 55(2): 44-50.
- [4] 方钱宝, 牛国栋. 高海拔寒区隧道端墙式洞门冻胀力影响的模型试验研究[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(增刊2): 444-450.
FANG Qianbao, NIU Guodong. Model test study on the effect of frost heave force on the end wall type portal of high altitude cold area tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2019, 56(Suppl. 2): 444-450.
- [5] 苑郁林, 赖远明. 寒区隧道围岩冻融冻结环境识别和类别划分研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(3): 19-25.
YUAN Yulin, LAI Yuanming. The identification and classification of freezing; thawing and frozen environments for the surrounding rocks of tunnels in cold regions[J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(3): 19-25.
- [6] 铁道第三勘察设计院. 冻土工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [7] 陈建勋. 寒冷地区隧道防冻隔温层设计计算方法及应用[J]. 土木工程学报, 2004, 37(11): 85-88.
CHEN Jianxun. Design method and application for anti-freezing thermal-protective layers in cold-area tunnels[J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(11): 85-88.
- [8] 夏才初, 白雪莹, 韩常领. 冻融作用下多年冻土隧道结构及围岩变形规律[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2020, 41(7): 1016-1021.
XIA Caichu, BAI Xueying, HAN Changling. Deformation rules of surrounding rock and the structure of permafrost tunnels under freeze-thaw cycles[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2020, 41(7): 1016-1021.
- [9] 张国柱, 夏才初, 殷卓. 寒区隧道轴向及径向温度分布理论解[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(8): 1117-1122.
ZHANG Guozhu, XIA Caichu, YIN Zhuo. Analytical solution to axial and radial temperature of tunnel in cold region[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2010, 38(8): 1117-1122.
- [10] 李磊. 多年冻土隧道洞口段抗冻设防长度计算方法及温度响应研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- [11] 刘永华. 青海省G227线大坂山隧道病害整治设计[J]. 公路隧道, 2020(1): 48-50.
- [12] 郑波, 吴剑, 高红兵. 季节冻土区隧道洞口衬砌开裂机理及防治[J]. 铁道工程学报, 2017(7): 72-77.
ZHENG Bo, WU Jian, GAO Hongbing. Lining cracking mechanism and treatment measures at tunnel portal in seasonally-frozen soil regions[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017(7): 72-77.
- [13] 郑波, 吴剑, 陈建平. 寒区隧道洞口衬砌开裂和道床冰害原因分析及整治[J]. 隧道建设, 2017, 37(7): 864-871.
ZHANG Bo, WU Jian, CHEN Jianping. Analysis of causes of lining cracking and ballast bed freezing at railway tunnel portal in cold regions and their countermeasures[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(7): 864-871.
- [14] 高焱, 朱永全, 赵东平, 等. 隧道寒区划分建议及保温排水技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(增刊1): 3489-3499.
GAO Yan, ZHU Yongquan, ZHAO Dongping, et al. Study on classified suggestion of tunnel in cold region and thermal insulation-considered drainage technology[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018, 37(Suppl. 1): 3489-3499.
- [15] 夏才初, 汪超, 黄文丰. 寒区隧道保温层铺设长度及衬砌防冻措施研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2020, 39(3): 100-106.
XIA Caichu, WANG Chao, HUANG Wenfeng. Laying length of tunnel thermal insulation layer and anti-freezing measures of lining in cold region[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2020, 39(3): 100-106.
- [16] 刘秀, 王文祖, 马培新, 等. 高海拔寒区隧道保温防冻系统设计要点分析[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2018, 32(2): 31-35.
LIU Xiu, WANG Wenzu, MA Peixin, et al. The design essentials of thermal insulating and antifreezing system for tunnels in the high-altitude cold regions[J]. Journal of Shandong University of Technology(Natural Science Edition), 2018, 32(2): 31-35.
- [17] 李又云, 张玉伟, 赵亚伟, 等. 川西高海拔寒区富水隧道温度测试与冻胀分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(7): 1778-1785.
LI Youyun, ZHANG Yuwei, ZHAO Yawei, et al. Temperature test and frost analysis of cold regional rich water tunnel at high altitude on the western of Sichuan province[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15(7): 1778-1785.

- [18] 马志富,杨昌贤. 寒区铁路隧道保温排水设施设计标准研究[J]. 隧道建设,2019,39(6):960-971.
MA Zhifu, YANG Changxian. Design standard for thermal insulation and drainage facilities of railway tunnels in cold regions [J]. Tunnel Construction, 2019,39(6):960-971.
- [19] 邱军领,赖金星,张广龙,等. 季节性寒区隧道主动加热保温防冻方法及其试验[J]. 地下空间与工程学报,2017,13(4):982-987.
QIU Junling, LAI Jinxing, ZHANG Guanglong, et al. A case study on antifreeze of tunnel in seasonal cold-region using the electric heat tracing[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017,13(4):982-987.
- [20] 杨文东,夏杰,谢全敏. 高海拔寒区隧道主动保温系统加热功率的计算分析[J]. 水利水电技术,2019,50(7):99-104.
YANG Wendong, XIA Jie, XIE Quanmin. Calculation and analysis of heating power of active heat preservation system for tunnel in alpine region[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019,50(7):99-104.
- [21] 王平安,谭忠盛,任少强. 高原严寒地区富水高铁隧道冻害防治技术[J]. 土木工程学报,2017,50(增刊2):231-235.
WANG Pingan, TAN Zhongshen, REN Shaoqiang. Prevention technology of freezing injure in water-rich high speed railway tunnels in plateau cold regions[J]. China Civil Engineering Journal, 2017,50(Suppl. 2):231-235.

Analysis and countermeasures of freezing damage at the tunnel portal section operation in cold region

WANG Xiaoyu¹, YANG Mingyu^{2*}

1. Liaoning Provincial Highway Survey & Design Company, Shenyang 110006, China;

2. School of Architectural Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: To solve the freezing damage problem of highway tunnels in cold region, the freezing damage mechanism and the types of freezing damage at the tunnel entrance are analyzed according to the temperature monitoring data of different hole depths at the three hole positions of the tunnel vault, side wall and pavement during the freezing-thawing period. The results show that the temperature of the side wall extending from the secondary lining surface to the deep part of the surrounding rock gradually increases, and the temperature of the vault extending from the lining surface to the deep part increases firstly and then decreases, and the temperature of the pavement extending from the edge surface of the tunnel to the deep part of the surrounding rock gradually increases. In bithe freezing season, the temperature of the entrance section is lower than the freezing point, and the risk of freezing damage is high, which can easily cause the freezing of the circumferential drainage system in the entrance section, the collapse of the upward slope at the top of the tunnel due to freezing and thawing, the cracking of the secondary lining, the leakage of the lining and the ice on the road surface, etc. By comparing and analyzing the temperatures of different measuring holes at the same depth, the vault temperature of tunnel entrance section is less than that of side wall and pavement. When taking antifreezing measures for the tunnel entrance section, the antifreezing measures for the roof, side wall, drainage system and pavement of the shallow buried section should be done successively. According to different types of diseases, the following methods are adopted: strengthening the frost resistance grade of lining structure, adding insulation board, grouting surrounding rock to prevent water, increasing the temperature in tunnel, increasing the heat of groundwater, keeping heat and insulating with electric tracing, and burying the central drainage ditch deeply. The monitoring results show that the thermal insulation properties of each structure in the tunnel entrance section is good, which can provide scientific basis for designing the prevention and control program of freezing damage in the tunnel entrance section of similar project.

Keywords: tunnel in cold region; freezing damage; temperature monitoring; antifreezing measure

(责任编辑:郭守真)