

寒区隧道竹缠绕管中心排水温度实测与分析

陈 群, 杜耀辉

(兰州交通大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为防治寒区隧道中心排水管冻害问题, 兰州市某隧道应用了以竹缠绕复合管为中心排水管的新型排水方式。通过现场监测的手段, 对隧道施工现场进行了长期的温度监测, 并分析了试验监测结果, 以验证竹缠绕管作为中心排水管的保温效果。结果显示: 受持续低温影响, 隧道在1、2月份的最大冻深达到了90~100 cm范围, 而竹缠绕管埋置深度在120 cm左右, 故未发生冻害。分析结果表明, 竹缠绕复合管具有良好的保温性能, 可为寒区隧道中心排水管优化设计提供新的方向。

关键词: 寒区隧道; 中心排水管; 竹缠绕复合管; 现场监测; 冻害防治

中图分类号: U459.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0264-05

Measurement and Analysis on Central Drainage Temperature of Bamboo Winding Pipe in Tunnel in Cold Region

CHEN Qun, DU Yaohui

(School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to prevent the freezing damage of central drainage pipe in the tunnel in cold regions, a new drainage method with bamboo winding composite pipe as the central drainage pipe is applied in a tunnel in Lanzhou City. Through the on-site monitoring means, the temperature of the tunnel construction site is monitored for a long time, and the test monitoring results are analyzed to verify the thermal insulation effect of bamboo winding pipe as the central drainage pipe. The results show that the maximum freezing depth of the tunnel in January and February even reaches 90 ~ 100 cm under the influence of continuous low temperature. The buried depth of the bamboo winding pipe is about 120 cm, so there is no freezing damage, which shows that the bamboo winding composite pipe has good thermal insulation performance and can provide a new direction for the optimization design of the central drainage pipe of tunnel in cold regions.

Keywords: tunnel in cold region; central drainage pipe; bamboo winding composite pipe; on-site monitoring; freezing damage control

0 引 言

近年来,隧道建设在高寒地区得到了大力发展,随之而来的冻害问题也日益凸显,主要表现为隧道洞口墙体开裂、衬砌开裂挂冰、排水管冻结堵塞及道床积水冻胀开裂等^[1]。其中的隧道排水管冻结堵塞现象是因隧道排水系统没有及时将水排出,导致积水在严寒气候条件下发生冻结而引发。

针对隧道排水系统冻害问题,一些学者提出了相应的治理措施。Lai等^[2]通过供电加热方式,埋设电缆升温,从而解决隧道排水系统冻结问题;朱国伟^[3]建议在隧道最大冻结线以下设置中心深埋水沟

和环向盲沟,以提高寒区隧道的防冻能力;丁然^[4]提出在中心深埋水沟的顶部设置聚氨酯保温板以及在边墙处设置双层保温板的策略,以增强隧道排水系统的防冻能力;夏勇等^[5]提出拱墙采用保温板代替深埋盲管,仰拱使用轻质混凝土代替横向深埋导水管的方案,为寒区防排水设计提供了新的方向;王增运^[6]依托乌鞘岭隧道研究,提出了一系列适用于高海拔寒区隧道冻害防治的保温措施。

随着“碳排放”、“碳中和”等环保理念的兴起,竹缠绕复合管作为一种新型环保材料,在管廊工程中得到了广泛应用。王宁^[7]通过渠首大道竹缠绕管廊工程,验证了竹缠绕管良好的应用效果。本文采用现场温度监测手段来验证竹缠绕复合管在寒区隧道的保温防冻能力,以深入研究其在寒区环境下的应用效果。

收稿日期: 2024-02-04

作者简介: 陈群(1998—),男,硕士,从事隧道工程及岩土工程研究工作。

1 工程概况

1.1 隧道工程概况

依托隧道工程位于甘肃省兰州市,起讫里程为 DK121+330~DK122+228.74,全长 898.74 m,V 级围岩,最大埋深约 85 m,双线高铁隧道。进口端接长明洞 30 m,采用正切式洞门;出口端接长明洞 10.74 m,采用倒切式洞门。洞身主体结构初期支护采用 C25 喷射混凝土,二衬拱墙和仰拱部位采用 C40 钢筋混凝土。支护结构主要使用 I12 型钢和 I20 型钢钢架。采用竹缠绕中心排水管,自隧道进口端每隔 35.1 m 设置 1 处 100 cm×100 cm 的矩形检查井。隧道地处高寒地区,高程 2 310~2 403 m,年平均气温为 5.8℃,极端最低气温为-28.1℃。隧道纵断面示意图见图 1。

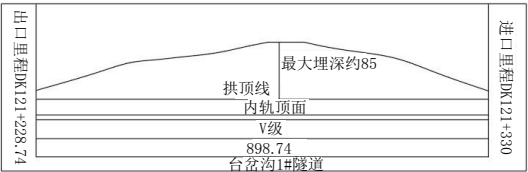


图1 隧道纵断面示意图(单位:m)

1.2 隧道保温设计

隧道全长布设双侧保温水沟和中心保温排水管。保温侧沟采用双层盖板,并在中间填充聚氨酯保温板。中心排水管则采用内径 50 cm、壁厚 2 cm 的竹缠绕复合管。竹缠绕复合管是以竹子为基材,树脂为胶黏剂,经缠绕工艺加工而成的复合管道^[8]。

竹缠绕复合管结构示意图见图 2。

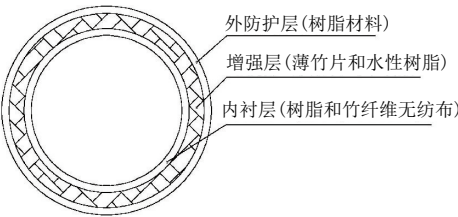


图2 竹缠绕复合管结构示意图

由于竹缠绕复合管具有良好的保温性能和耐腐蚀性能,并且低碳环保、使用年限长、抗震能力强,用于工程中具备运输安装方便、设计灵活以及维护成本低等优势,因此在寒区隧道排水系统中使用竹缠绕复合管具有一定的优越性。

竹缠绕排水管被埋置于距仰拱内缘 10 cm 处,管周围回填 C40 混凝土。施工严格执行《竹缠绕复合管》(GB/T 37805—2019)的技术要求。隧道衬砌纵断面示意图见图 3。

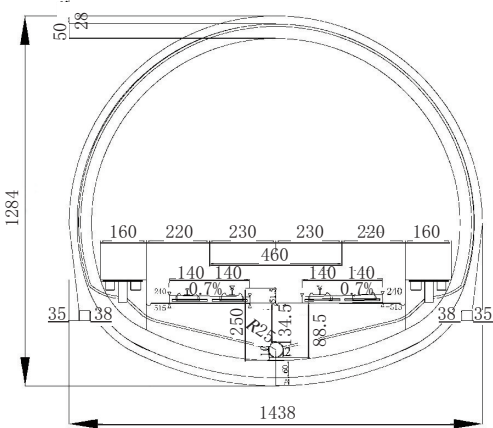


图3 隧道衬砌纵断面示意图(单位:mm)

2 温度监测方案

竹缠绕排水管道的温度场主要受周围环境温度和管内温度的共同影响,形成了一个随时间变化的瞬态温度场。为了研究季节性冻土区预埋竹缠绕复合管的温度场变化规律,对隧道竹缠绕复合管试验段内的温度进行了现场监测。

采用自主研发的多点测温系统,用于跟踪隧道内温度变化规律,设备主要包括 109ss 高精度温度传感器、MX2201 蓝牙温度记录仪、CR300 数据采集器和 HKT-PW 户外供电系统。温度传感器的工作原理是基于测量物体自身所发射出的红外辐射来确定其温度变化,再通过数据采集器汇总数据,其精度可达小数点后 9 位,供后续处理和分析使用。整个数据采集过程由户外供电系统供电。

在断面 K121+365 左边墙处,布置 1 个蓝牙温度记录仪,编号为 1#。在断面 K121+370 仰拱基底混凝土位置,埋设 1 根高精度温度传感器,即杆式温度传感器,共布置 11 个测点,每个测点间距为 10 cm,探测深度为 1.1 m,编号为 2#。在 1 号检查井(K121+372)前后竹缠绕管道内,各布置 1 个蓝牙温度记录仪,利用图钉胶粘在管顶位置,分别编号为 3#、4#。测点位置汇总表见表 1。

表1 测点位置汇总表

里程桩号	位置	编号	说明
K121+365	左边墙	1#	左边墙洞内温度
K121+370	仰拱混凝土层	2#	左线各地层温度
K121+372	检查井前管道内	3#	井前管道内温度
	检查井后管道内	4#	井后管道内温度

杆式传感器埋设完毕后,通过太阳能板连接耐低温胶体电池为系统机箱供电。杨明宇等^[9]指出,入

冬时各监测点温度高于洞外气温,开春时各监测点温度值低于洞外气温。因此,监测时间选取为2021年12月30日—2022年5月4日,历时125 d,对各测点地温和气温进行了信息化监测。

3 监测结果分析

冬季隧道内气温分布为洞口低、中间高,外界气温易影响洞内温度变化^[10]。因此在分析监测结果之前,需收集2021年12月30日—2022年5月4日的隧道洞外温度数据,绘制隧道外温度时程变化曲线,见图4。

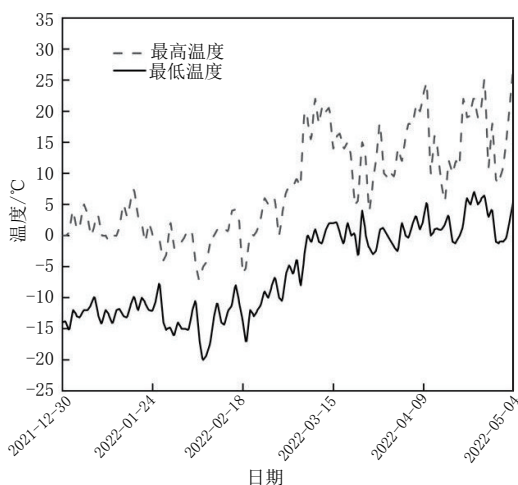


图4 隧道外温度时程变化曲线

由图4可知,在监测期内,外界温度呈现先波动下降、后稳步上升的趋势。尤其在1月底和2月初,处于极低温期。在2月7日时,气温甚至降到了 -20.26°C 。因此,需要特别关注竹缠绕管在极低温期的监测结果。

3.1 K121+365 边墙温度监测

由于隧道冬季温度从隧道外向隧道内逐渐升高,且洞口段50~100 m范围内温度变化最为明显^[11],故选取在隧道K121+365监测断面,距离洞口35 m的左边墙,布置1个蓝牙温度记录仪。对左边墙温度监测结果进行收集整理,绘制左边墙1#测点温度时程曲线,见图5。

由图5可见,在1月底和2月初期间,断面K121+365边墙也经历了极低温环境,但仅经历了几天负温期。左边墙1#监测点在2月19日达到最低温度,为 -6.44°C 。左边墙温度变化曲线与洞外环境温度密切相关,变化趋势一致。

3.2 K121+370 左线地温监测

选取在隧道K121+370监测断面,距离洞口40 m

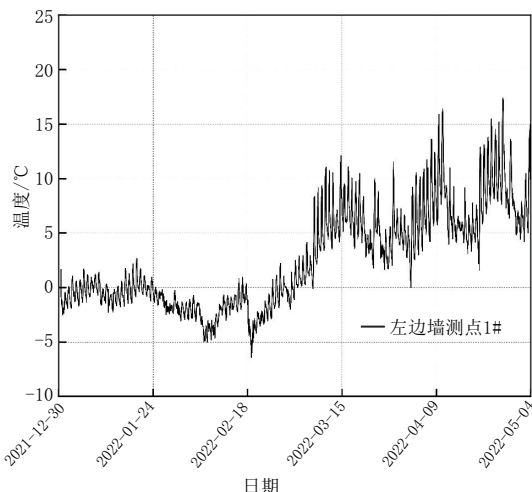


图5 左边墙1#测点温度时程曲线

处,仰拱填充层埋设1个杆式温度传感器,布置11个测点,相邻测点间隔10 cm,埋深至地下1.1 m。在监测期内,对2#测点地温监测结果进行收集整理,从而绘制气温时程曲线图。由于地表浅层相邻地层的温度变化不大,故选取几个具有代表性的地层,绘制2#测点不同埋深处的温度时程曲线,见图6。

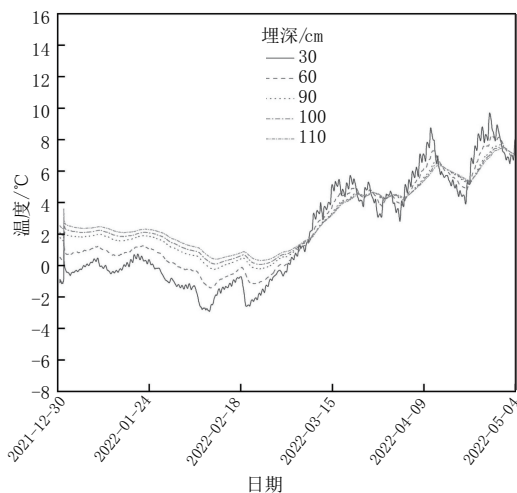


图6 2#测点不同埋深处温度时程曲线

由图6可知,在极端洞外环境温度 -20.26°C 的影响下,K121+370监测断面处的隧道最大冻深达到了90~100 cm范围。在90 cm深度处,温度在2022年2月10日达到最小值,为 -0.25°C ;在100 cm深度处,温度同样在2022年2月10日达到最小值,为 0.06°C 。由图6还可看出,地表和地下浅层受外界气温影响较为严重,导致地表及地下一定深度范围内的温度呈现周期性波动。这是由地热传导的特性所决定,即热能在地下深处传播速度较慢,导致较深层的温度相对稳定。地表和地下浅层的温度波动不仅影响着自然生态系统的稳定性,还会对工程建设和能源利用等方面产生重要影响。

3.3 K121+372 检查井前后管内温度监测

在 K121+372 监测断面,距离洞口 42 m 处,分别在 1 号检查井前后管道内的管壁顶部布置 1 个蓝牙温度记录仪。检查井前管道内测点编号为 3#;检查井后管道内测点编号为 4#。

3#测点的气温时程曲线见图 7;4#测点的气温时程曲线见图 8。

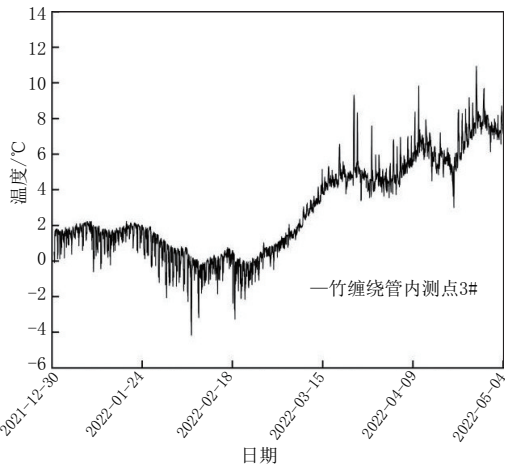


图7 检查井前管道内 3#测点的气温时程曲线

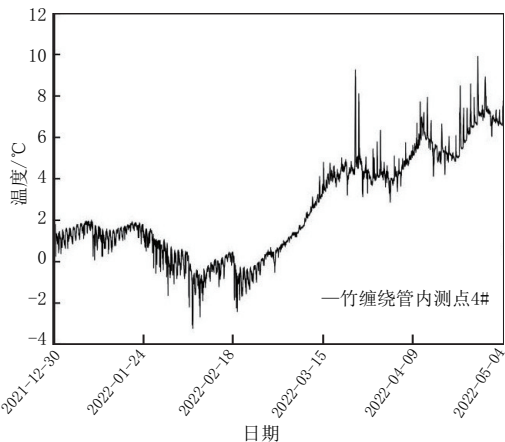


图8 检查井后管道内 4#测点的气温时程曲线

由图 7、图 8 可知,竹缠绕复合管的气温变化时程曲线与洞内温度变化趋势基本一致,并且也经历了几天负温期。在 2022 年 2 月 6 日,竹缠绕管道内的 3#测点温度达到了最低值,为 -4.16°C ;同时,4#测点温度也达到了最低值,为 -3.22°C 。由图 7、图 8 还可知,距离洞口越近的位置,温度呈现出越低的趋势。其根本原因在于洞口附近地表与外部环境直接接触,没有足够的填充层来阻挡热量散失,同时地表的导热性加快了热量的传递,导致地表温度下降;此外,洞口附近受风力影响严重,进一步加快了热量的损失。

4 最低温度监测分析

根据监测结果,针对监测期内每月最低环境温度,统计 K121+365 左边墙 1#测点的月最低气温,及 K121+372 断面检查井前后管道内 3#和 4#测点的月最低温度。各测点的月最低温度监测数据统计表见表 2。

表 2 各测点的月最低温度监测数据统计表				单位: $^{\circ}\text{C}$
时间	气温	1#测点	3#测点	4#测点
2021-12	-14.38	-2.49	-0.09	0.25
2022-01	-16.47	-3.09	-2.06	-1.63
2022-02	-20.26	-6.44	-4.16	-3.22
2022-03	-10.22	-1.98	-0.47	-0.52
2022-04	-2.14	-0.02	3.00	2.87
2022-05	-1.29	4.20	6.56	6.56

由表 2 可知,在 2021 年 12 月—2022 年 5 月现场监测期间,2022 年 2 月份气温达到了极端低温 -20.26°C 。在该极值低温的影响下,K121+365 左边墙 1#测点记录到的最低温度为 -6.44°C ,而 K121+372 断面检查井的 3#、4#测点的最低温度分别为 -4.16°C 、 -3.22°C 。

由于检查井位置处在露天环境下,只有表面简单覆盖了一层混凝土盖板,竹缠绕管道内的 2 个测点均暴露在空气中,因此所测温度值接近于洞内环境温度,不能代表管内实际温度值,管内温度还需参考 2#测点的地温监测数据。

5 结 语

(1)现场各测点的温度均受外界环境温度影响,变化趋势基本一致。在监测期内,温度变化大多都呈现先波动下降、后稳步上升的趋势。在低温环境下,位置越靠近洞口,温度越低;地层越靠近地表,温度越低。

(2)K121+370 监测断面的地温数据表明,受持续低温影响,隧道最大冻深在 90~100 cm 范围。竹缠绕管道埋深在 120 cm 以上,故未受到冻害影响。外界气温只对地表浅层影响显著,而位于地表以下一定深度的地层温度较为稳定。

(3)在监测期内,2 月份外界环境最低气温为 -20.26°C ;左边墙 1#测点温度最低为 -6.44°C ;3#、4#测点温度最低值分别为 -4.16°C 、 -3.22°C 。由于隧道现场正处于施工阶段,未采取充分的保温措施,存在着不足之处,因此温度数值接近于现场洞内的环境

温度。

(3)竹缠绕管具有良好的保温性能,应用于寒区隧道排水系统中,能够满足排水要求,并有效防治隧道中心排水管的冻害问题。

参考文献:

- [1] 徐浩男,李昂.寒区山岭隧道温度场研究综述[C]//2022世界交通运输大会(WTC2022)论文集(桥梁工程与隧道工程篇).北京:中国科学技术协会、交通运输部、中国工程院、湖北省人民政府,2022: 586-594.
- [2] LAI J X, QIU J L, FAN H B, *et al.* Freeze-proof method and test verification of a cold region tunnel employing electric heat tracing[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 60(12): 56-65.
- [3] 朱国伟.寒冷及严寒地区铁路隧道防排水设计探讨[J].铁道工程学报,2013,30(1):49-53.
- [4] 丁然.京沈高速铁路支线天秀山隧道洞口段的防冻保温技术[J].铁道建筑,2020,60(10):68-72.
- [5] 夏勇,马志富.严寒地区隧道防排水改进措施探讨[J].铁道标准设计,2012(增刊1):27-29,73.
- [6] 王增运.乌鞘岭高海拔地区隧道冻胀机理及防冻措施研究[J].城市道桥与防洪,2020(7):240-243.
- [7] 王宁.竹缠绕复合材料技术在市政管廊中的应用[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2021,20(1):52-56.
- [8] 叶铃,孙元平.竹缠绕管廊工程设计及应用[J].地下空间与工程学报,2021,17(增刊1):209-214,220.
- [9] 杨明宇,王晓宇.寒区隧道排水系统冻害分析及防冻措施研究[J].北方交通,2022(7):80-84.
- [10] 彭波,迟军德.季冻区隧道病害防治关键技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(8):218-221.
- [11] 谭贤君,陈卫忠,于洪丹,等.考虑通风影响的寒区隧道围岩温度场及防寒保温材料敷设长度研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(7):1400-1409.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

