

文章编号: 1671-6612 (2026) 04-583-11

基于上海长江隧道长期温度实测的 海太隧道温度控制模型支撑研究

陈玉远¹ 车轮飞¹ 梅方晨¹ 王小飞¹ 关冰玥² 曾令杰² 高 军²

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司 武汉 430061;

2. 同济大学 上海 200092)

【摘 要】 超长跨江公路隧道因纵向距离长、难设通风井, 易积热致出口温高, 影响司乘舒适与安全。以上海长江隧道为对象, 通过调取运营历史数据、冬夏季实地测试、布设长期温度自记仪, 获取其内部温度数据并分析, 同时支撑海太长江隧道(设计参数相似、待建)温度控制模型。结果显示: 无机械通风时, 交通活塞风使隧道内形成 2~6m/s 风速; 无机械通风工况下, 隧道最高温升 5.5℃, 出口最高温超 39℃ (2021 年 8 月 25 日 17 时达 39.74℃), 因围护结构冬蓄热、夏蓄冷, 冬季温升(最高 12℃)高于夏季(2~4℃)。上海长江隧道实测数据可验证海太隧道温度控制模型, 提供边界条件与精度依据, 为同类隧道研究及海太隧道设计提供支撑。

【关键词】 超长过江隧道; 温度控制; 温度规律实测; 机械通风

中图分类号 U453.5 文献标志码 A

Study on Support for Haitai Tunnel's Temperature Control Model Based on Long-term Temperature Measurement of Shanghai Yangtze River Tunnel

Chen Yuyuan¹ Che Lunfei¹ Mei Fangchen¹ Wang Xiaofei¹ Guan Bingyue² Zeng Lingjie² Gao Jun²

(1.China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd, Wuhan, 430061;

2.Tongji University, Shanghai, 200092)

【Abstract】 Ultra-long river-crossing highway tunnels are prone to heat accumulation due to their long longitudinal distance and difficulty in arranging ventilation shafts, leading to high temperatures near the exit, which affects the thermal comfort of drivers and passengers as well as traffic safety. Taking the Shanghai Yangtze River Tunnel as the research object, this study obtained and analyzed its internal temperature data through three methods: retrieving historical operation monitoring data, conducting on-site tests in winter and summer, and deploying long-term temperature recorders. Meanwhile, the study provided support for the temperature control model of the Haitai Yangtze River Tunnel (a proposed tunnel with similar design parameters). The results show that: (1) Without mechanical ventilation, the traffic piston wind generates a longitudinal wind speed of 2-6 m/s inside the tunnel; (2) Under the condition of no mechanical ventilation, the maximum temperature rise inside the tunnel reaches 5.5℃, and the maximum temperature at the exit exceeds 39℃ (with a measured value of 39.74℃ at 17:00 on August 25, 2021). Due to the heat storage effect of the tunnel envelope in winter and cold storage effect in summer, the temperature rise in winter (maximum 12℃) is higher

基金项目: 中铁建地下空间利用领域科研计划项目(2024-W18); 超长海底隧道多目标协同优化与科学设计方法(2023YFB2603601)

作者简介: 陈玉远(1982.05-), 男, 硕士研究生, 正高级工程师, E-mail: 004050@crfsdi.com

通讯作者: 曾令杰(1990.06-), 男, 博士, 助理教授/高级工程师, E-mail: zenglingjie@tongji.edu.cn

收稿日期: 2025-12-09

than that in summer (2–4 °C); (3) The measured data of the Shanghai Yangtze River Tunnel can verify the temperature control model of the Haitai Tunnel, provide boundary conditions and accuracy basis, and offer support for the research on similar tunnels and the design of the Haitai Tunnel.

【Keywords】 Ultra-long river-crossing tunnel; Temperature control; On-site measurement of temperature law; Mechanical ventilation

0 引言

随着长江经济带等区域发展战略的推进,我国超长水底公路隧道建设迎来快速发展期。此类隧道作为跨江交通的关键枢纽,有效缩短了区域时空距离,对推动沿线经济融合与交通网络完善具有不可替代的作用^[1]。然而,其“纵向距离长、中途难以布置通风井”的固有特征,导致车辆行驶中产生的热量易沿隧道轴线累积,最终在出口区域形成显著高温区—这不仅降低了司乘人员的热舒适体验,更可能影响车辆设备稳定性与隧道运营安全,成为制约超长水底隧道长期安全运营的核心问题之一。

要解决上述温升难题,首要前提是通过实测分析掌握隧道内部温度场的演变规律,为温度控制模型的构建与优化提供真实数据支撑^[2,3]。近年来,国内外学者围绕隧道温度场开展了大量实测研究,但现有成果呈现明显的研究对象聚焦性:张思凯^[4]、郑泽福^[5]等聚焦寒区隧道,探究低温环境下围岩与空气的热交换规律;丁云飞^[6]、钟小春^[7]针对高海拔或常规公路隧道,分析洞内外温湿度的耦合影响;王春旺^[8]、刘楠^[9]则以地铁隧道为研究载体,验证轨排风机等设备的控温效果;张晨曦^[10]统计了多座运营隧道的温度数据,但仍以非水下隧道为主。杨平平^[11]、李俊生^[12]、Ciocanea^[13]研究了超长隧道压入式、混合式、拱顶式和模块式通风的降温效果,分析了风口布置、间距及送风与车辆的相互作用对温度场的影响。整体来看,针对“超长水下公路隧道”这一特殊场景的实测研究仍较为匮乏,尤其缺乏对其冬夏季温度差异、交通活塞风与温度的关联、围护结构热效应等关键问题的系统分析,难以满足同类隧道温度控制模型的精准构建需求。

鉴于此,本文选择已运营的上海长江隧道(超长水下公路隧道典型代表)为研究对象,通过“调取历史监测数据+冬夏季实地测试+长期温度日记”三维度数据获取方式,系统分析其内部温度场分布特征与演变机制;同时,依托上海长江隧道与待建海太长江隧道在地理位置、设计参数(长度、车道

规模、交通量预期)上的高度相似性,将实测数据用于海太隧道温度控制模型的支撑与验证。本研究不仅可填补超长水下公路隧道温度实测研究的缺口,更能为海太隧道及同类工程的温度控制设计提供可靠的实测依据,对保障超长水底隧道运营安全具有重要的理论与工程研究价值。

1 测试方法

1.1 测试地点

被测试的隧道为位于上海市浦东新区的上海长江隧道前半段。该隧道连接上海主城区和长兴岛,具体测试位置如图1所示。被测隧道长约8.9km,隧道内径13.70m,外径15.0m,分上下层。上层为双管双向六车道高速公路,下层为轨道交通9号线预留空间^[14]。



图1 测试隧道地理位置

Fig.1 Geographic location of the test tunnel

1.2 现场测试方案及测试仪器

对该隧道的实测包括冬季测试与夏季测试过程。冬季测试时间为2022年2月23日23:00–2月24日1:00(见图10),夏季测试时间为2022年7

月 12 日 23:00–7 月 13 日 2:00 (见图 12)。该隧道全长约 8955m, 由于中间联通通道、疏散通道与上部下部区域平时均为关闭状态, 因此沿隧道纵向等间隔布置测点, 第一个测点位于隧道入口后约 500m 处, 后续每隔 400m 布置一个测点, 共计 21 个测点。每个测点由红外测温计 (型号 FLIR TG65, 精度 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, 分辨率 0.1°C , 测量温度范围 $-25\sim 380^{\circ}\text{C}$) 测量隧道壁温, 由热线风速仪 (型号 WFWZY-1, 精度 $\pm 0.05\text{m/s}$, 分辨率 0.01m/s , 测量风速范围 $0.05\sim 30\text{m/s}$) 测量隧道内风速, 由温湿度测试仪 (型号 Accurate, 温度精度 1%, 温度分辨率 0.1°C , 测量温度范围 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$; 湿度精度 3RH, 湿度分辨率 0.1RH , 测量湿度范围 $0\sim 100\%\text{RH}$) 现场测量隧道内温湿度, 并布置温度自记仪 (型号 WZY-1, 精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 分辨率 0.1°C , 测量温度范围 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$) 记录一段时间内测点空气温度 (冬季测试的仪器于 6 月 9 日回收, 夏季测试的仪器于 8 月 1 日回收)。

2 测试结果

为系统揭示超长水下隧道温度场演变规律, 并为海太隧道温度控制模型提供多维实测支撑, 本研究采用三种互补的数据获取方法, 形成长期与短期

互补的数据体系。历史数据 (见 2.1 节) 来源于运营方的长期自动监测记录, 时间覆盖全年, 可反映隧道出口最不利位置的温度宏观季节变化与极端峰值, 提供整体热环境特征。现场实测数据 (见 2.2 节) 在冬、夏季典型时段沿隧道纵向移动测量空气温湿度、风速及多部位壁温, 可精准获得某时刻下热环境的沿程分布与季节差异。长期实测数据 (见 2.3 节) 通过布设温度自记仪, 获取连续数月沿程多点温度演变过程, 揭示温升程度随室外气温、交通量变化的动态响应, 弥补历史数据仅固定测点、现场实测仅为瞬时取样的不足。三类数据在时间尺度、空间维度和表征意义上相互补充、交叉验证, 共同构成本文分析隧道温度场规律及支撑模型验证的完整数据基础。以下分别阐述具体结果。

2.1 历史数据

除测试所得数据外, 通过与上海长江隧道的运营管理方取得积极合作, 本研究调取并处理了大量关于风速和温度的记录数据。运营方表示在隧道靠近上行出口处的传感器 (温度、CO、风速等) 会定期校准, 数据相对准确, 且由于隧道热量沿程累积, 故隧道出口为最不利位置, 因此选择该测点 (SK8+215) 数据进行分析, 该传感器位置如图 2 所示。

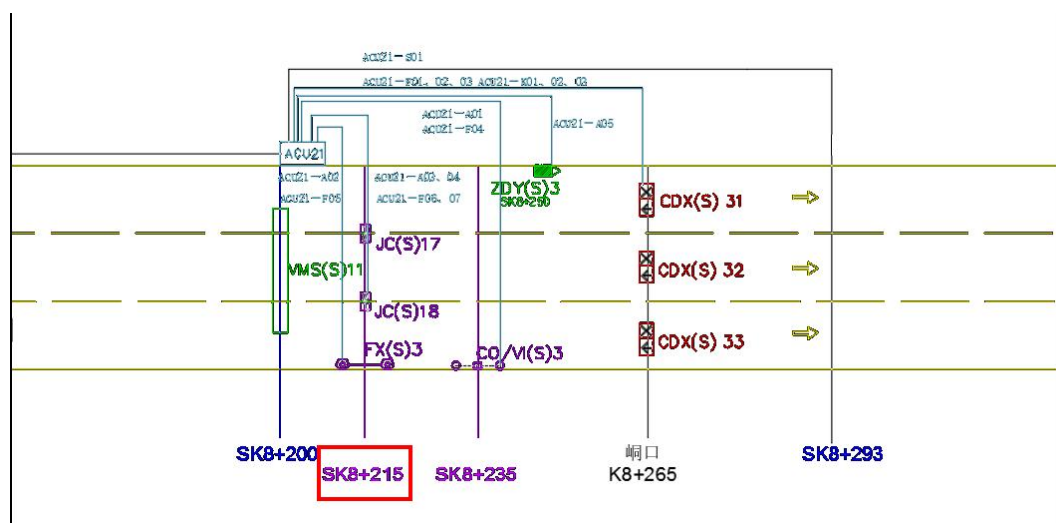


图 2 SK8-215 测点的温度、风速测点布置

Fig.2 Layout of temperature and wind speed measuring points at SK8-215

从数据库中调取了长江隧道若干相关数据并进行了整理, 选取典型时段的测点监测数据开展分析。由于 8、17、18 时对应上海的早、晚高峰通勤时间, 因此针对 8、17、18 时的数据进行整理, 中

间再选取车流量较小的下午 15 点的数据作为补充, 2021 全年 8、15、17 及 18 时的温度监测数据随时间变化如图 3 所示。

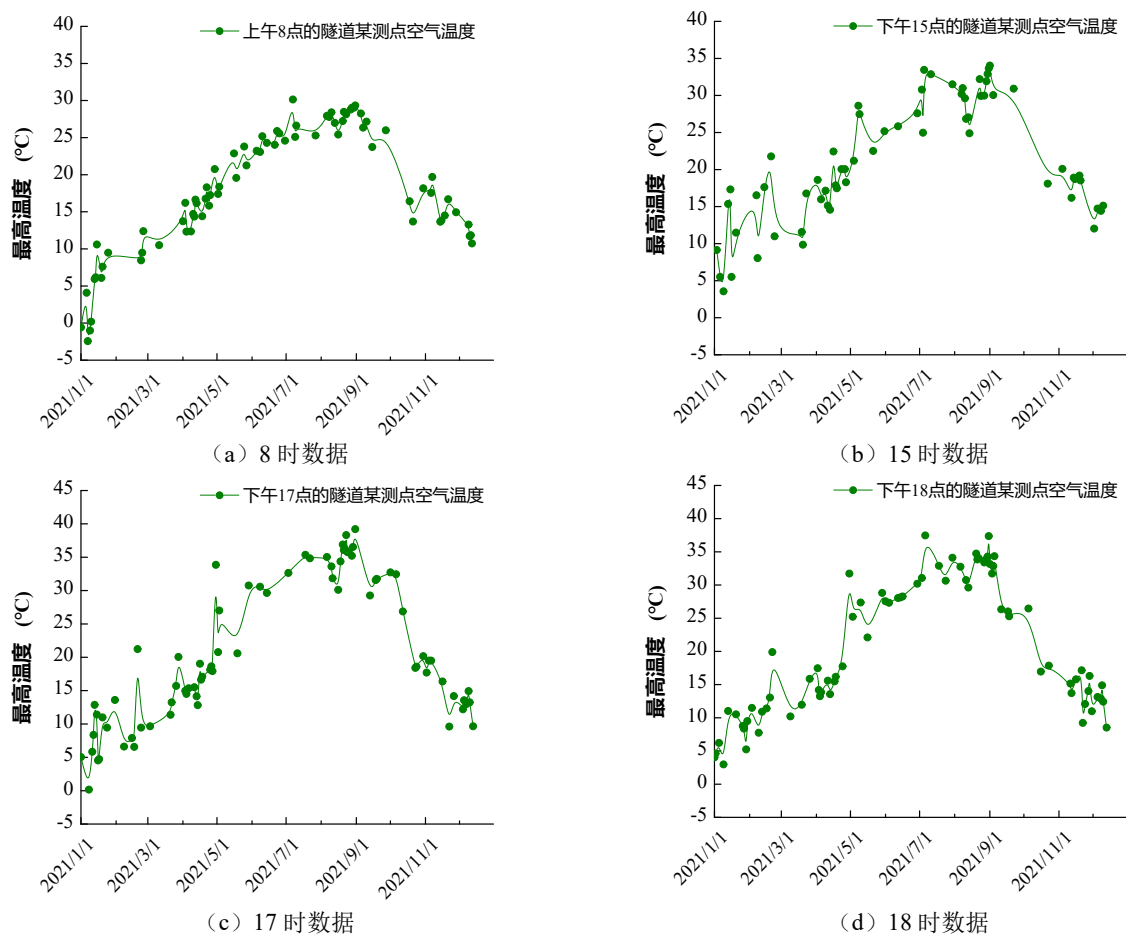


图3 SK8-215 测点 2021 年全年温度监测数据

Fig.3 Annual temperature monitoring data of measuring point SK8-215 in 2021

分析可得,隧道内的温度主要受室外气温和车流量的叠加影响,且由于运营方的测点接近壁面,所以监测温度整体偏低一些。由图3可看出,上午8时虽然车流量较大,但由于室外温度总体较低,所以其全年监测温度偏低,下午17-18点车流量和室外温度均较高,所以测点全年监测温度峰值出现在这一时间段。进一步分析可知,2021年隧

道内的最高温度出现在8月25日的下午17点,为39.74℃。

之后细化统计隧道内7、8月份隧道内某测点的温度监测数据,经过整理后结果如图4所示,由图可知,7、8月隧道内温度较高,总体上逐时温度8月>7月,最高温度出现在8月末,与全年监测数据反映的结果相符。

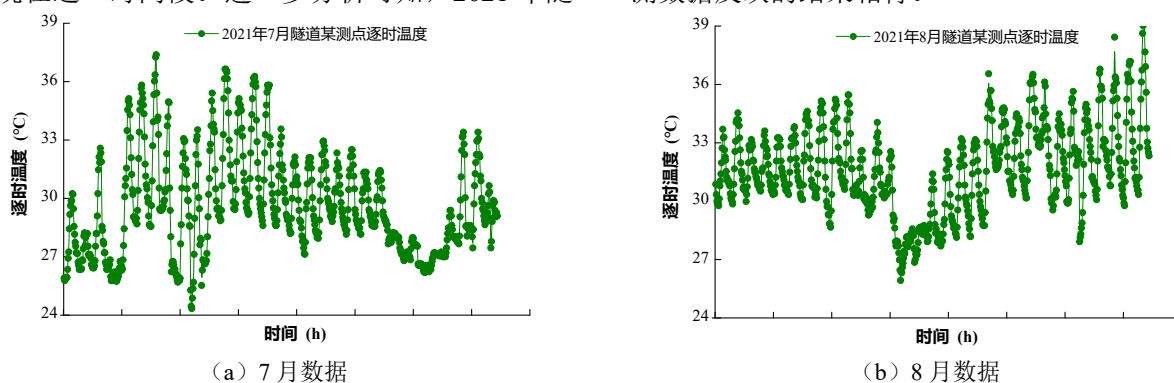


图4 SK8-215 测点的温度监测数据(7月、8月逐时温度)

Fig.4 Temperature monitoring data of measuring point SK8-215 (hourly temperatures in July and August)

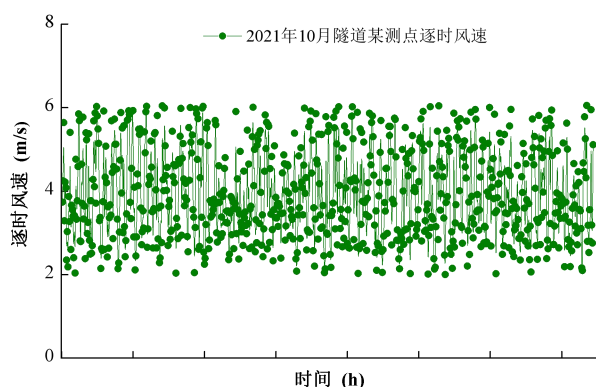
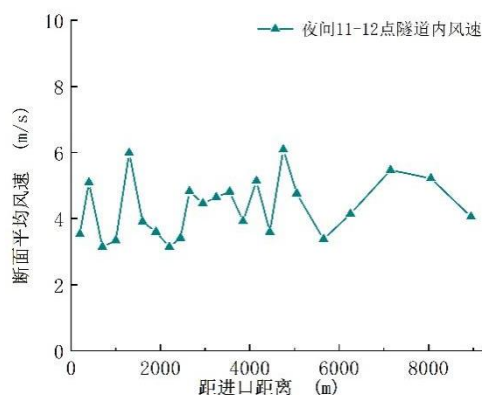


图5 SK8-215测点的风速监测数据(10月逐时风速)

Fig.5 Wind speed monitoring data of measuring point SK8-215 (hourly wind speed in October)



根据隧道运营方监测的风速数据,虽然长江隧道平时并未开启通风系统,但由于自然风、交通风的作用,隧道内仍会形成2~6m/s左右的风速(较随机)。如图5所示,监测到风速较低的时间基本处于早晚高峰时段,交通拥堵导致交通风风速降低。

2.2 实测数据

在冬、夏两季的实测过程中,均在隧道沿程布置了共21个测点,并测试了各测点的地面壁温、上侧壁面壁温、下侧壁面壁温、左侧壁面壁温以及右侧壁面壁温,同时测量了各测点位置上的风速和空气温湿度,经过整理后冬季和夏季的风速和空气温湿度测试结果如图6所示。

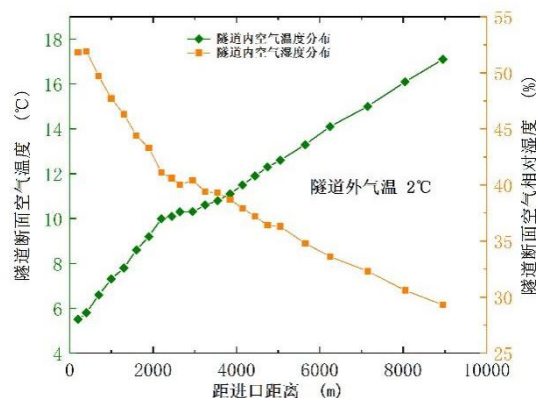


图6 冬季风速(左)及空气温湿度(右)实测结果图

Fig.6 Measured results of winter wind speed (left) and air temperature and humidity (right)

由测试结果可以看出,在冬季,隧道内风速在3~6m/s内上下波动,基本在5m/s左右,隧道此时并未开启隧道机械通风,因此该风速主要受到汽车车流活塞风(又称“交通风”)的影响。此时为夜间23:00~24:00,隧道内车流量较少,可以预测,若车流量上升,在没有拥堵且车速正常的情况下交通风风速还会升高。由图6(右)可知,隧道内空气温度沿入口至出口呈现上升趋势,符合热量积累效应。同时,隧道内空气相对湿度沿程逐渐降低,主要原因在于空气温度升高使饱和水蒸气分压力增大,在车辆散湿和吸湿作用均可忽略的情况下,空气含湿量基本保持稳定,因此相对湿度随温度升高而降低。

与冬季情况一致,隧道此时亦并未开启隧道机械通风,因此该风速主要受到交通风的影响。同样地,在夜间23:00~24:00,隧道内车流量较少,

可以预测出若车流量上升,在没有拥堵且车速正常的情况下,交通风风速仍会上升。结果有所不同的是,在夏季,隧道内风速在2~3m/s范围内上下波动,基本在2m/s左右。与冬季测试结果相比,隧道内风速明显降低,经分析可知,夏季测试当天上海崇明岛隧道外的室外风速较小,为0.27m/s,而冬季测试当天上海崇明岛隧道外的室外风速较大,为2.8m/s。在两个季节同一时间段内,车流量相差不大,因此推测冬、夏季风速测试结果的差异主要受隧道内自然风速的影响。由图7(右)可知,隧道内空气温度沿入口至出口呈现上升趋势(从30.2°C升至32.9°C),符合热量积累效应,但与冬季相同时段的温升相比(从5.8°C升至17.1°C),夏季温升(2.7°C)明显较低。经分析,在冬季,水下隧道围护结构对隧道起保温作用,围护结构相当于蓄热体,导致隧道沿程温升较大。而在夏季,

水下隧道围护结构由于和外部水及江底泥沙（温度大幅低于室外空气）直接接触，围护结构相当于蓄冷体，导致汽车散热部分的热量会向隧道围护结构传递，隧道总体沿程温升较小，以上现象可类比山洞或溶洞内的夏凉冬暖现象。对于隧道内的相对湿

度而言，总体上，空气相对湿度在冬、夏两季沿程均逐渐降低，这是由于空气温度升高导致的饱和水蒸气分压力升高，使得在车辆几乎无散湿吸湿的情况下，相对湿度逐渐下降。需要说明的是，冬夏相对湿度降低量的差异主要是温升差异导致的。

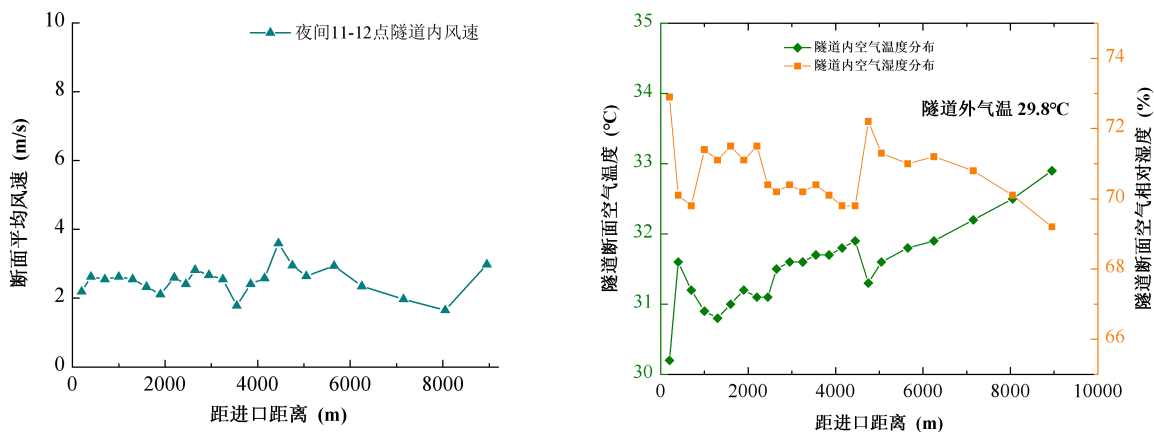


图7 夏季风速（左）及空气温湿度（右）实测结果图

Fig.7 Measured results of summer wind speed (left) and air temperature and humidity (right)

之后对隧道内各个壁面的温度进行统计分析，

冬季统计结果如图8所示。

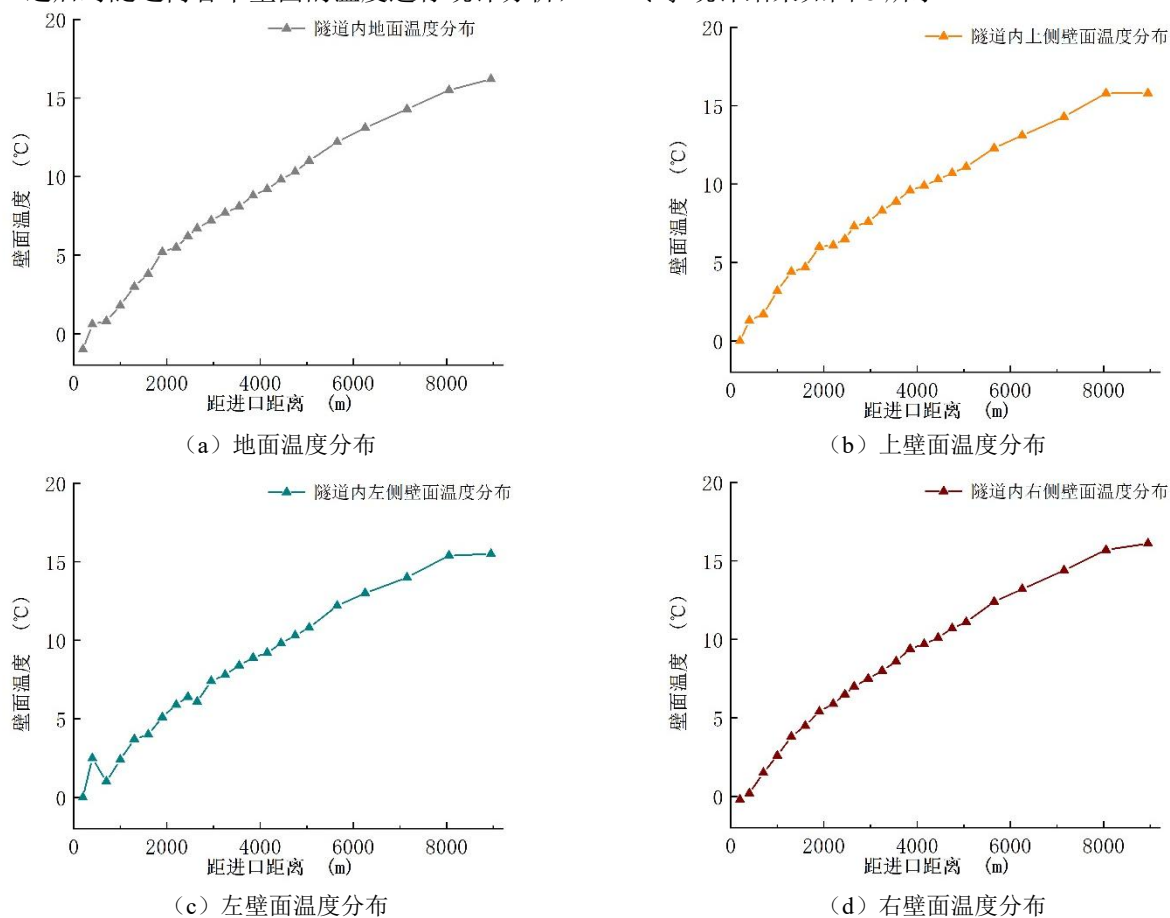


图8 冬季长江隧道壁温实测结果图

Fig.8 Measured results of tunnel wall temperature of the Yangtze River Tunnel in winter

经过分析发现,在冬季,隧道断面各侧壁面温度分布较相似,隧道入口温度由0℃上升至出口

温度约15℃。

夏季壁温测试的统计结果如图9所示。

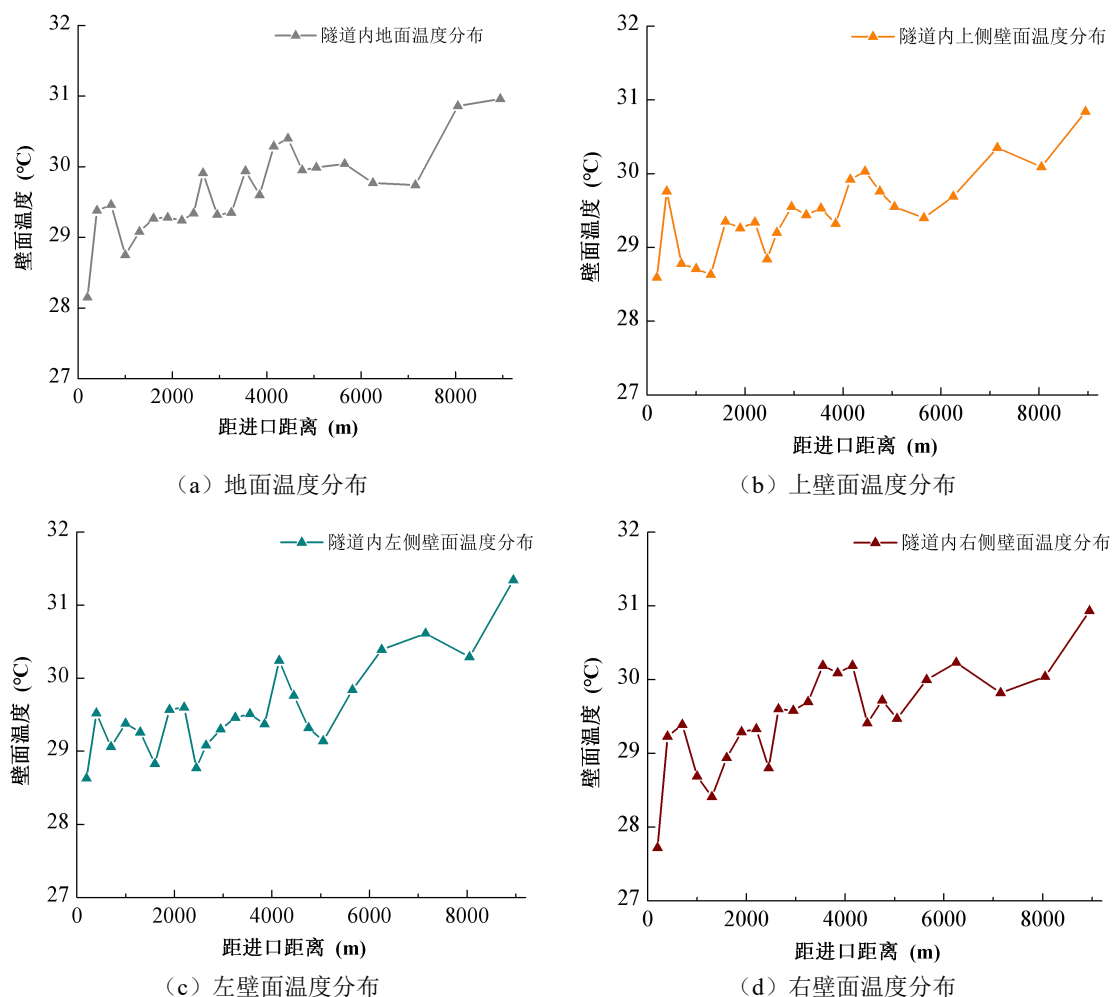


图9 夏季长江隧道壁温实测结果图

Fig.9 Measured results of tunnel wall temperature of the Yangtze River Tunnel in summer

经分析发现,在夏季,隧道断面各侧壁温比隧道内空气温度低约1~2℃,从隧道入口至出口,各侧壁温逐渐升高,但上升幅度均在3℃以内,最后可达30~31℃。

2.3 长期实测数据

研究者于2月23日在上海长江隧道内布置了温度自记仪,仪器于6月9日回收。首先整理2月23日~6月8日的数据,由于自记仪的数据记录时间间隔是5分钟,为便于作图分析,将测点的数据做日平均处理,同时保留测点在当日的最高温度。由图10和11可知,隧道内的温度累积效应随室外温度的升高而减小,在冬季时,隧道由入口至出口的温升最高可达12℃,而在春季,该温升基本降

低至5℃以下,某些天温升甚至只有2~3℃。同时,研究者还发现冬季隧道内的温度大幅高于上海崇明地区的逐日均温,而在进入春季后,部分时间的隧道内温度甚至低于隧道外的空气温度,说明隧道在冬季具有保温的作用;而到了春夏季之后,由于隧道围护结构与其外部的水和土壤换热,隧道内部壁温降低,隧道内的空气温度也间接降低。另外,从图10还可以看出疫情封控期间,隧道内各天的沿程温升出现了一定程度的降低,一方面是气温逐渐升高导致的,另一方面,封控导致隧道内的车流量大幅降低,车辆散热大幅下降,进而使由车辆散热及交通风效应共同导致的隧道内沿程温升不明显。

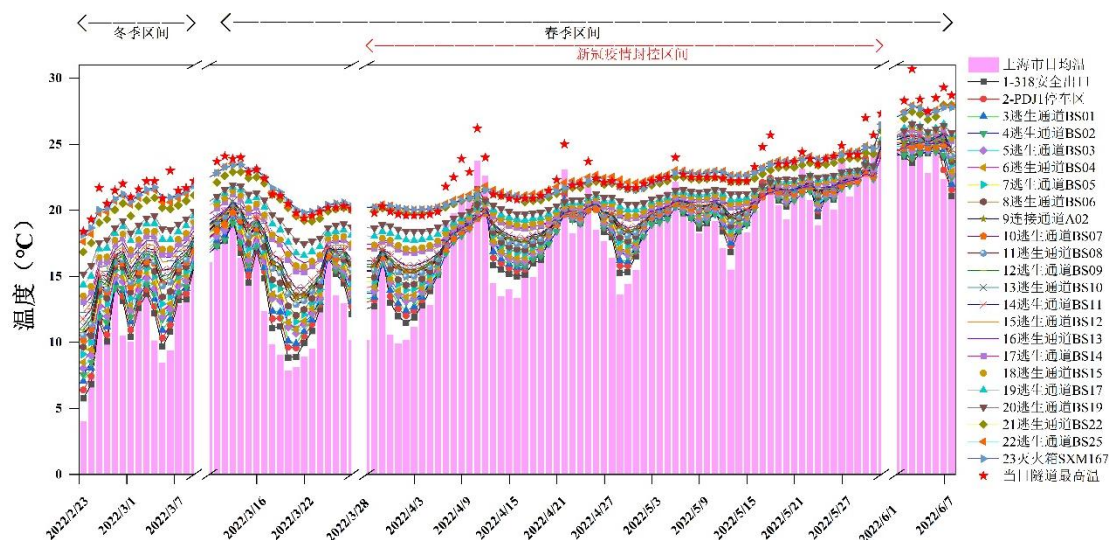


图 10 冬、春季隧道内温度自记仪记录数据

Fig.10 Data recorded by temperature recorders in the tunnel during winter and spring

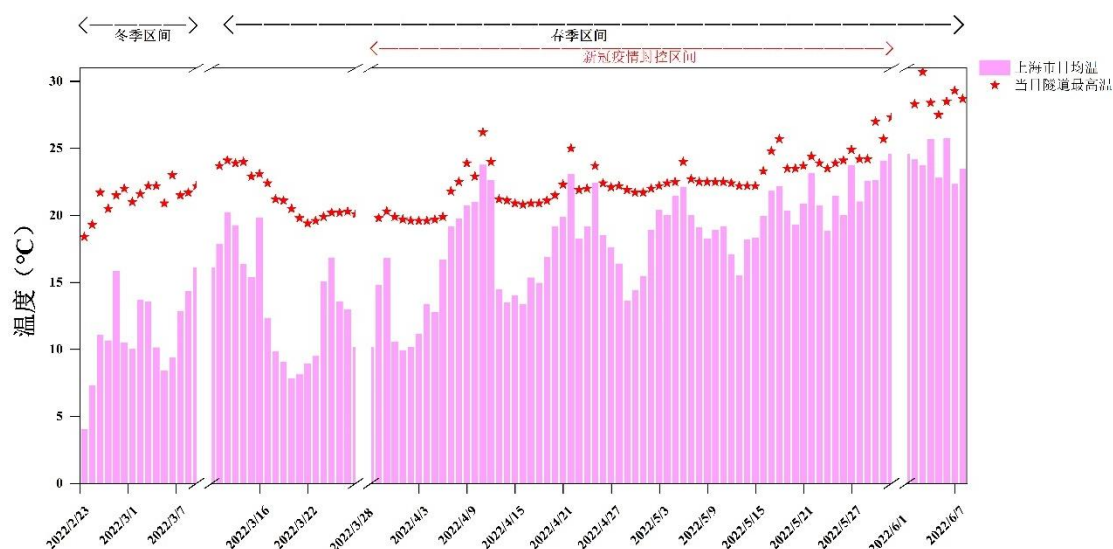


图 11 冬、春季隧道内各天记录的最高温度及上海市日均温

Fig.11 Daily maximum temperatures recorded in the tunnel and daily average temperatures in Shanghai during winter and spring

为得到夏季上海长江隧道内的温度分布情况,研究者于7月12日夜间再次布置了温度自记仪,仪器于8月1日回收,期间仪器工作正常。研究者进一步整理了7月12日-8月1日的数据,采用了与冬季数据处理相同的方式。如图12和图13所示,夏季隧道内的沿程温升基本在2-4℃之间,与7月12日夜间的现场实测数据趋势一致。若进一步结

合隧道内当日的最高温度监测数据(5min间隔数据,仅在下午交通高峰时期短暂出现),则隧道内沿程最高温升约为5.5℃。隧道内的最高温度出现在上海市7月日均温度最高的7月14日,为39℃。由于上海长江隧道在7月运营中并未开启隧道通风系统,可以预见的是,当通风系统打开后,实测温度将出现进一步降低。

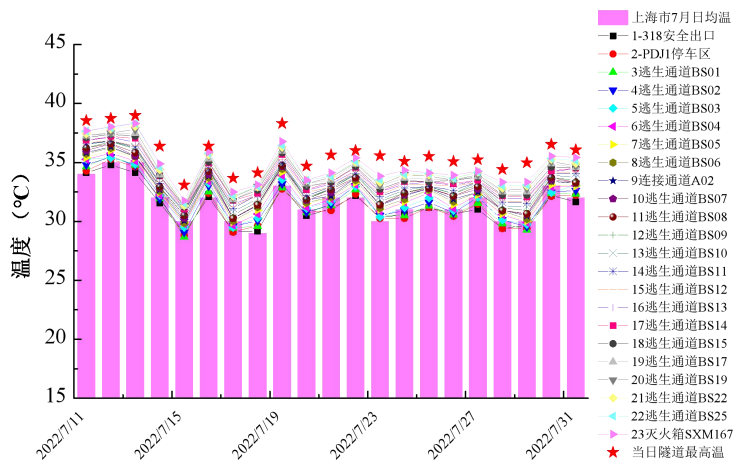


图 12 夏季隧道内温度自记仪记录结果

Fig.12 Data recorded by temperature recorders in the tunnel during summer

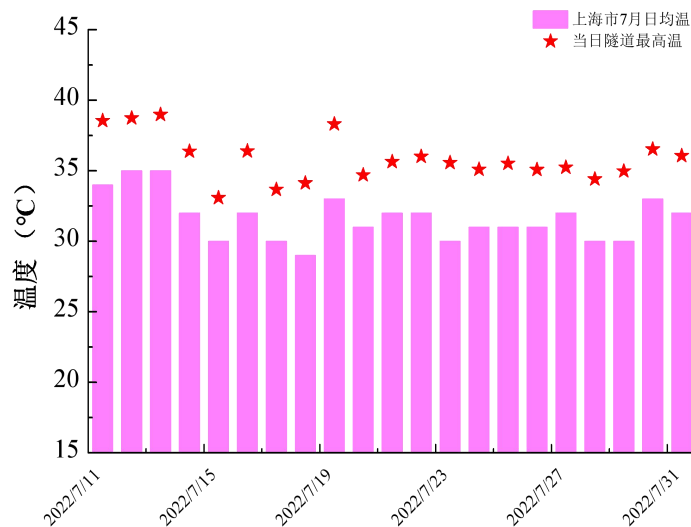


图 13 夏季隧道内各天记录的最高温度及上海市日均温

Fig.13 Daily maximum temperatures recorded in the tunnel and daily average temperatures in Shanghai during summer

3 对海太隧道温度控制模型的支撑

根据国家发展改革委批复的《长江干线过江通道布局规划(2020-2035年)》^[15], 海太过江通道为近期重点推动实施 79 座过江通道之一, 同时

也是江苏省综合立体交通网络的重要组成部分。通道位于苏通大桥下游, 北接海门, 南连太仓(见图 14)。隧道建筑总长约 11.2km, 盾构段长度为 9315m (见图 15)。



图 14 海太隧道地理位置

Fig.14 Geographic location of the Haitai Tunnel

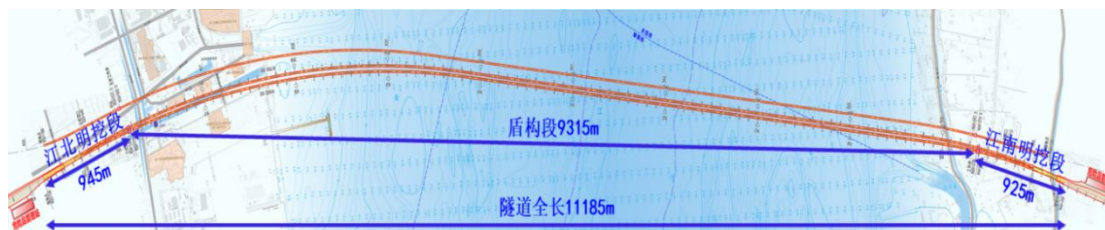


图 15 海太隧道总平面图

Fig.15 General layout plan of the Haitai Tunnel

海太长江隧道作为一座即将开工建设的超长水底隧道,在设计阶段同样面临热量累积导致的温升问题,且海太长江隧道与上海长江隧道在长度、气象参数、地理位置、交通量等设计参数十分相似,因此对上海长江隧道温度场进行实地测试,对支撑海太隧道温度控制模型具有重要意义。研究者基于海太隧道设计参数搭建了数值仿真模型,用以实现超长水底隧道内部温度预测,并利用上海长江隧道实测数据进行验证,结果如图 16 所示。

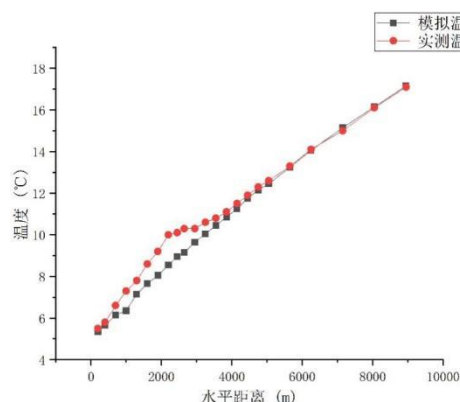


图 16 海太隧道数值模型仿真结果与上海长江隧道实测结果对比

Fig.16 Comparison of numerical simulation results of the Haitai Tunnel and measured results of the Shanghai Yangtze River Tunnel

由此可知,海太隧道数值模型仿真结果与上海长江隧道仿真结果规律相似,可以有效支撑海太隧道数值仿真模型。此外,上海长江隧道内部温度测试数据可以为海太隧道温度模型提供实测数据支撑。

(1) 上海长江隧道长期实测提供了壁面温度分布等重要的边界条件,鉴于海太隧道与上海长江隧道地理位置相似特征,该数据可有效支撑后续温度场仿真边界条件制定;

(2) 上海长江隧道实测结果显示,在绝大多

数工况下,依赖车流行驶产生的交通活塞风可以达到良好的温度控制效果,所以在绝大多数时间段并未开启机械通风,这种现状也可后续海太隧道温度控制模型提供实测支撑。

4 结论

通过对上海长江隧道的运营历史数据、冬夏季现场实测数据以及连续自记仪长期实测数据进行综合分析,得到以下几点认识。

(1) 隧道内部的温度与风速表现出较为清晰的基础特征。2021 年全年历史监测数据显示,隧道内部最高温度出现在 8 月 25 日 17 时,达到 39.74°C 。该时段正值晚高峰后的通勤时段,室外气温高与车流量大的叠加作用是温度峰值的主要诱因;在未开启机械通风的工况下,隧道内依托交通活塞风可形成 $2\sim 6\text{m/s}$ 的纵向风速,且风速在早晚高峰拥堵时段显著降低,印证了交通流状态对隧道自然通风效果的直接影响。

(2) 隧道内温度与湿度的沿程演变规律及季节差异都较为显著。长期实测数据表明,隧道内空气温度沿入口至出口呈稳定上升趋势,相对湿度则因温度升高、饱和水蒸气分压力上升而逐渐降低;从季节层面看,冬季无机械通风时隧道最高温升达到 12°C ,夏季最高温升约为 5.5°C (日常温升 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$),其差异源于隧道围护结构的热效应,即冬季围护结构呈“蓄热体”特性,加剧空气沿程温升,夏季则因与外部水体、江底泥沙换热呈“蓄冷体”特性,削弱温升效应。

(3) 上海长江隧道的实测数据对海太长江隧道温度控制模型具有重要的支撑作用。两条隧道在地理位置、隧道长度(上海 8.9km ,海太 11.2km)、车道规模及交通量预期等设计参数方面均高度相似,因此上海隧道的实测数据结果可直接为海太隧道温度控制模型提供两大支撑:一是提供壁面温度

分布等核心边界条件,提升海太隧道温度场仿真模型设定的准确性;二是验证模型仿真规律(如温度沿程变化趋势)的合理性;同时,上海隧道“多数工况下仅靠交通活塞风即可满足基础控温需求”这一实测结论,也为海太隧道通风系统设计提供了实践参考。

参考文献:

- [1] 孙钧.论跨江越海建设隧道的技术优势与问题[J].隧道建设,2013,33(5):337-342,332.
- [2] Chang Justin, Han Sangjin, Jung Dongjae, et al. Benefits of rerouting railways to tunnels in urban areas: a case study of the Yongsan line in Seoul[J]. International Journal of Urban Sciences, 2014,18(3):404-415.
- [3] 李芹,倪健,刘凯.基于安全管理度的隧道安全管理与运营效益量化模型研究[J].安全与环境工程,2016,23(2): 85-89.
- [4] 张思凯,高然,杨长青,等.寒冷地区地铁隧道洞口及风井处热环境实测研究[J].暖通空调,2023,53(1):136-142.
- [5] 郑泽福.多因素耦合作用下寒区铁路隧道温度场演化规律研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2022.
- [6] 丁云飞,高焱,包旭,等.草木沟隧道温度场实测与分析[J].科学技术与工程,2022,22(12):5051-5059.
- [7] 钟小春.基于数值模拟的隧道温度场分布规律研究[J].四川建筑,2022,42(4):206-209.
- [8] 王春旺,李晓锋.轨排风机排热效果实测研究[J].都市轨道交通,2022,35(1):119-125.
- [9] 刘楠.地铁隧道热污染规律及治理策略研究[D].青岛:青岛理工大学,2021.
- [10] 张晨曦.高海拔大坡度长大隧道洞内温度场规律研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2021.
- [11] 杨平平.高地温隧道温度场分布规律研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [12] 李俊生.基于通风方式对高温隧道掌子面温降效果的研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [13] Andrei Dragomirescu, Adrian Ciocanea. MODULAR VENTILATION OF URBAN ROAD TUNNELS USING AIR CURTAINS - PART I: CONCEPT AND BEHAVIOR OF THE CURTAINS[J]. University Politehnica of Bucharest scientific bulletin, D. Mechanical Engineering, 2008,70(4):67-78.
- [14] 张艳,盛芳.上海长江隧道上行线贯通[N].文汇报,2008-05-29(001).
- [15] 国家发展改革委.关于印发《长江干线过江通道布局规划(2020-2035年)》的通知[EB/OL].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-04/08/content_5500124.htm,2020-03-31/2024-06-08.