

文章编号:1004-2954(2025)04-0001-07

超高速磁浮铁路全尺寸试验平台的技术进展

徐升桥, 高 策

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘 要:超高速低真空管道磁浮铁路全尺寸试验平台, 包含长度2 km 试验线及试验基地1座, 位于山西省大同市阳高县。对管梁(隧)磁阻力的形成机理、快速计算方法, 管梁温度场分布规律及变形控制措施, 磁浮铁路的车-磁-桥耦合系统动力性能, 低真空条件下混凝土材料性能, 管梁设计方法、结构构造及施工工艺等开展研究, 揭示管梁磁阻力及温度场分布规律。建立适用于时速1 000 km 的真空管道磁浮铁路车-磁-桥耦合振动分析模型, 提出管梁静、动力技术参数, 构建超高速低真空管道磁浮桥梁工程技术体系, 实现超导电动磁浮技术、真空技术与传统桥梁土建技术的交叉融合。2024年7月成功完成低真空环境下系统集成超导车辆运行演示验证试验, 车辆最大航行速度和悬浮高度符合预设值, 实测航迹与理论曲线一致。

关键词:超高速磁浮铁路; 真空管道; 磁阻力; 动力性能; 管梁设计; 技术进展

中图分类号:U237 **文献标识码:**A **DOI:**10.13238/j.issn.1004-2954.202502090001

Technological Progress of Full-Scale Test Platform for Ultra-High-Speed Maglev Railway

XU Shengqiao, GAO Ce

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: The full-scale test platform for ultra-high-speed low-vacuum tube maglev railway includes a 2-kilometer test line and a test base, which is located in Yanggao County, Datong City, Shanxi Province. Research was conducted on the formation mechanism and rapid calculation method of the magnetic resistance of the tube beam (tunnel), the distribution patterns of the temperature field and deformation control measures of the tube beam, the dynamic performance of the vehicle-magnet-bridge coupled system in the maglev railway, the properties of concrete materials under low-vacuum conditions, and the design methods, structural configuration, and construction technology of the tube beam. The distribution patterns of the magnetic resistance and temperature field of the tube beam were revealed. A vehicle-magnet-bridge coupled vibration analysis model suitable for a 1 000 km/h vacuum tube maglev railway was established, proposing static and dynamic technical parameters for tube beams and establishing an engineering technology system for ultra-high-speed low-vacuum tube maglev bridges. This achieved the cross-integration of superconducting electrodynamic maglev technology, vacuum technology, and traditional bridge civil engineering technology. In July 2024, the demonstration and verification test of the system-integrated superconducting vehicle operating under low-vacuum conditions was successfully completed. The maximum running speed and levitation height of the vehicle met the preset values, and the measured trajectory was consistent with the theoretical curve.

Key words: ultra-high-speed maglev railway; vacuum tube; magnetic resistance; dynamic performance; tube-beam design; technological progress

收稿日期:2025-02-09; 修回日期:2025-02-22; 网络首发日期:2025-02-26

基金项目:中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XBZD-20);北京市优秀青年工程师创新工作室资助项目(2021-13);中国中铁股份有限公司科技研究开发计划(2021-重大-09, 2022-重大-10);中铁工程设计咨询集团科技研究课题(研2021-1, 研2023-38)

作者简介:徐升桥(1966—),男,正高级工程师,全国工程勘察设计大师,1991年毕业于长沙铁道学院桥梁与隧道工程专业,工学硕士,主要从事桥梁设计及前沿技术研究工作, E-mail: cecql_xs@qq.com。

1 概述

地表大气中运行的高速交通工具受空气阻力及气动噪声因素制约(空气阻力与速度的平方成正比),最高经济速度不宜超过 $600 \text{ km/h}^{[1]}$ 。将超高速磁浮列车敷设于管道内运行(即“超高速磁浮铁路”),是最大限度地减小列车高速运行时摩擦阻力和气动阻力的有效途径,其运营速度可达 $1\,000 \text{ km/h}^{[2]}$ 。

超高速磁浮铁路原理见图 1、图 2,主要适用于运距长、站间距大、直达客流多、轮轨高铁难以满足时间目标要求的运输场景,主要为长距离(距离 $> 1\,000 \text{ km}$)重要城市群之间及国际旅客运输^[3]。

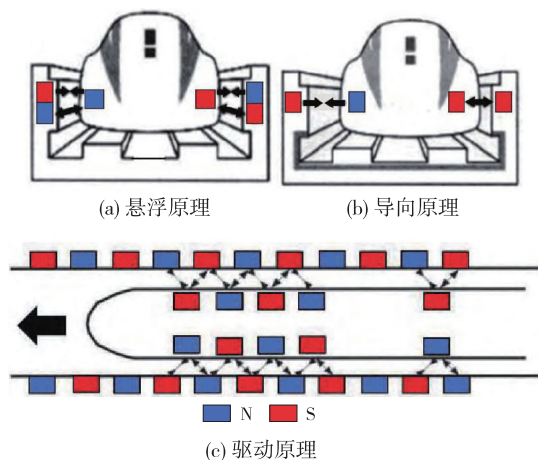


图 1 超导电动悬浮系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of superconducting electric levitation system

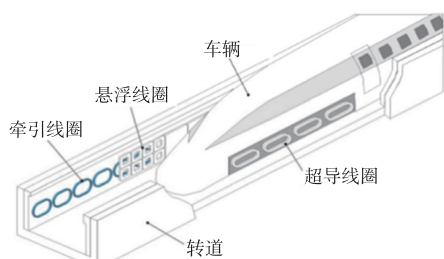


图 2 车辆运行原理示意

Fig. 2 Schematic diagram of vehicle operation principle

我国未来可重点考虑在距离较远的国家中心城市间(如北京、上海、深圳、武汉、广州、西安、成都等)以及中心城市与国外主要城市间建设超高速磁浮铁路,以保证充足的客流支撑^[4],并应尽量减少沿途设站^[5],充分发挥速度优势,与轮轨高铁、民航实现差异化的客运服务^[6]。

作为一种具有颠覆意义的交通运输方式,超高速磁浮铁路需要攻克以下技术难关:管梁(隧)磁阻力的形成机理、快速计算方法;管梁温度场分布规律及变形

控制措施;时速 $1\,000 \text{ km}$ 磁浮铁路的车-磁-桥耦合动力学行为及关键设计参数;低真空条件下混凝土的材料性能;真空管道磁浮桥梁的设计方法、结构构造及施工工艺;大直径异型伸缩装置设计制造及现场安装。

2 超高速磁浮铁路管梁(隧)理论探索与技术体系

通过揭示管梁的磁阻力形成机理、温度场分布规律及低真空环境下的混凝土性能变化规律,建立时速 $1\,000 \text{ km}$ 的真空管道磁浮铁路车-磁-桥耦合振动分析模型,提出管梁静、动力技术参数及磁阻力限值,形成超高速低真空管道磁浮桥梁技术体系。

2.1 管梁(隧)磁阻力计算方法

依据管梁结构和内部材料,对管梁进行等效简化(图 3);然后以二阶矢量磁位为变量,建立三维新型管梁优化样品的全局三维解析模型,推导出磁阻力的解析表达式。

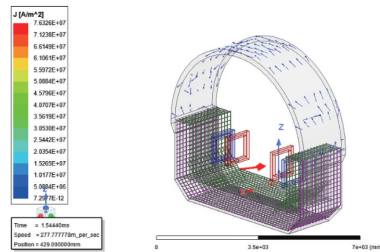


图 3 磁阻力数值分析模型

Fig. 3 Numerical analysis model of magnetic resistance

对管梁进行有限元分析和相关测试(图 4),管梁的钢结构外壳和预应力钢绞线为磁阻力的主要贡献者。利用积分法和二维离散傅里叶变换求解、推导气隙磁场的解析表达式;以二阶矢量磁位为求解变量,推导管梁的电磁力解析表达式,并通过三维有限元模型验证解析计算的准确性与求解方法的合理性。

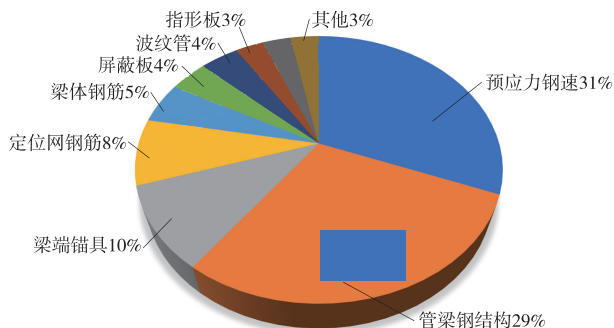


图 4 磁阻力组成

Fig. 4 Composition of magnetic resistance

采用三维全局解析法分析系统的磁场特性,可方便、精确地计算任意速度、任意气隙、车体任意姿态条件下的电磁特性,可以进行系统的全工况解析计算。

管梁电磁数学模型中,钢绞线和超导线圈是由不同介质构成的各向异性区域,其余均为各向同性区域。合理描述各向异性媒质中的三维电磁场方程,是建立管梁三维电磁解析模型的关键。

超导线圈属于激励源,其输入属于已知变量,采用基于毕奥-萨伐尔定律的数值积分法和二维离散傅立叶变换进行分析;钢绞线涡流属于被动感应部分,需要建立空间电磁约束方程,利用分离变量法和边界条件进行求解。

超导线圈区域可用矩形平面磁源等效,积分法和等效磁源法所得磁场对比如图5、图6所示。计算结果表明:用平面磁源代替线圈磁场所计算的结果与积分法结果高度吻合,等效之后空间磁场分布与超导线圈产生的磁场一致。

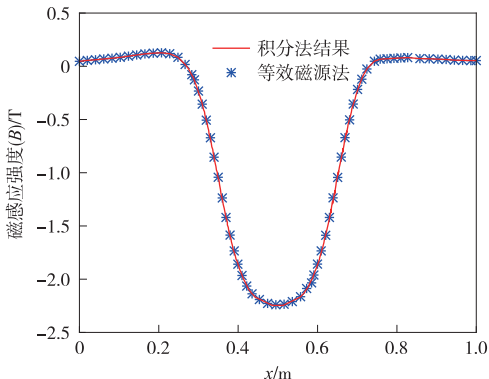


图5 积分法和等效磁源法所得磁场对比(气隙221 mm, $x=0$ 处)

Fig.5 Comparison of magnetic fields obtained by integration method and equivalent magnetic source method (air gap 221 mm, $x=0$)

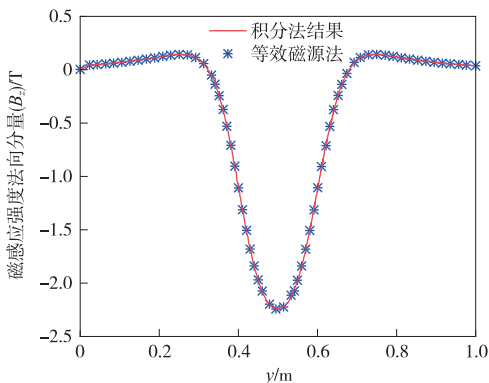


图6 积分法和等效磁源法所得磁场对比(气隙221 mm, $y=0$ 处)

Fig.6 Comparison of magnetic fields obtained by integration method and equivalent magnetic source method (air gap 221 mm, $y=0$)

钢绞线区域由钢绞线和空气组成,采用精确子域法将整个区域按照不同材料划分为若干子区域,建立

每个子区域的拉普拉斯约束方程,利用分离变量法得到通解表达式,通过边界条件求解得到每个区域的通解。基于二阶矢量磁位(SOVP)的两个分量横电位分量及横磁位分量,选定管道横向作为参考方向构建方程组,从而得到磁场分布。图7为解析计算和有限元计算的气隙磁场分布,从图中可以看出,解析计算和有限元计算结果吻合较好。

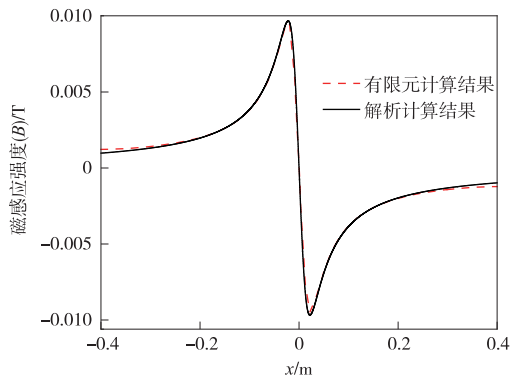


图7 解析计算和有限元计算结果对比

Fig.7 Comparison of analytical calculation and finite element calculation results

根据推导的解析公式,编制管梁磁阻力解析计算程序,程序参数包括超导线圈和管道材料参数,参数输入的用户界面如图8所示。



图8 解析计算软件可视化界面

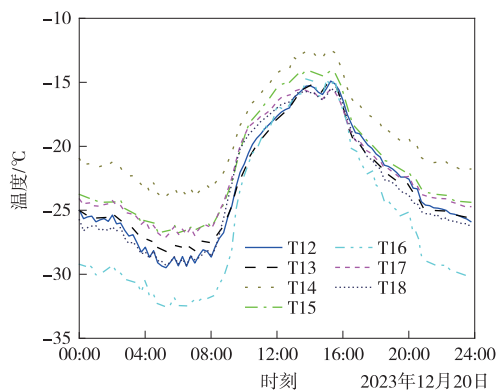
Fig.8 Visualized interface of analytical calculation software

2.2 管梁变形控制

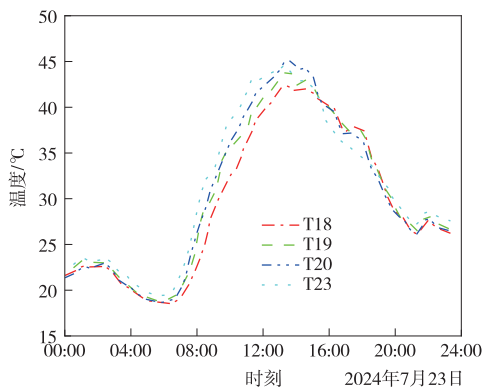
通过开展全尺寸管梁加载试验及仿真分析,形成钢板-混凝土组合结构及部分预应力混凝土结构相结合的设计理论,优化了真空管梁混凝土裂缝宽度限值。

通过管梁现场温度场测试(图9),揭示低真空管梁温度场分布规律,为超高速低真空管梁设计提供重要依据。

开展低真空环境下的混凝土强度、弹性模量、收缩徐变试验(图10),制作相关真空测试环境,提出真空环境下混凝土材料的强度^[7]、弹性模量、收缩徐变^[8]



(a) 冬季管梁温度



(b) 夏季管梁温度

图 9 管梁“n”形钢壳的温度数据

Fig. 9 Temperature data of n-shaped steel shell of tube beam

等设计参数取值建议^[9-15]。

测试分析不同工况下“n”形钢壳对管梁徐变变形的影响(图 11),探究了真空管梁变形规律及成因,“n”形钢壳对混凝土梁有加劲作用,对控制结构徐变十分重要。

针对时速 1 000 km 磁浮铁路对线路不平顺的严格要求,提出可有效控制徐变的重要施工顺序,即安装“n”形钢壳→施工支撑轨及凸台→安装模组预制板→灌注自密实混凝土→安装模组,形成了管梁徐变发展规律与控制技术。

2.3 管梁动力性能

针对电动制式真空管道磁浮列车运行需求,建立车-磁-桥耦合分析模型并分析车辆振动及结构响应,提出用于时速 1 000 km 桥梁设计的动力学参数指标。

(1) 简支管梁的自振频率限值

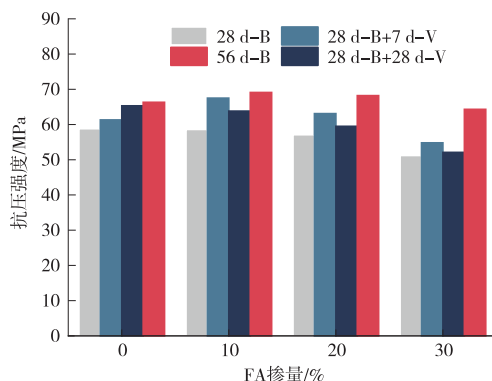
$$\begin{cases} f \geq 32\,000L^{-2.85} \text{ Hz}, & L \leq 24 \text{ m} \\ f \geq 300L^{-1.35} \text{ Hz}, & 24 \text{ m} < L \leq 42 \text{ m} \\ f \geq 2 \text{ Hz}, & L > 42 \text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

(2) 简支管梁的动力系数取值

$$\begin{cases} 1 + \mu = 1 + 6\,000L^{-2.5}, & 18 \text{ m} < L \leq 30 \text{ m} \\ 1 + \mu = 2.2, & L > 30 \text{ m} \end{cases} \quad (2)$$



(a) 真空环境下的徐变测试



(b) 真空处理抗压强度对照(B-标养, V-真空处理)

图 10 低真空环境下混凝土徐变试验及标养和真空处理抗压强度对照

Fig. 10 Creep test of concrete under low-vacuum conditions and comparison of compressive strength between standard curing and vacuum treatment

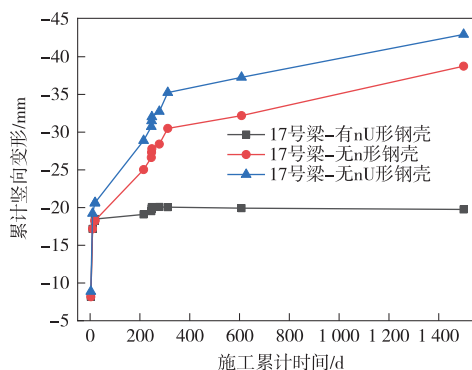


图 11 “n”形钢壳对徐变变形影响

Fig. 11 Effect of n-shaped steel shell on creep deformation

通过试验线测试得到超高速低真空管道磁浮铁路线路不平顺数据(图 12),为建立不平顺谱积累试验数据。

3 超高速磁浮铁路管梁设计

创新设计了超高速低真空管道磁浮低磁阻力的常用跨度管梁上下部结构以及新型磁浮轨道板构造,研

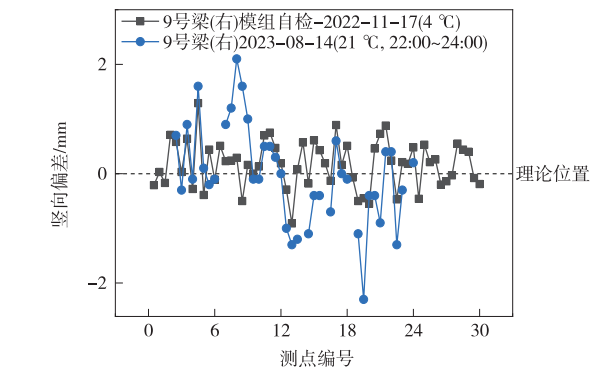


图 12 典型梁部模组实测竖向坐标

Fig. 12 Measured vertical coordinates of typical beam module

发具有伸缩和气密功能的大直径异型伸缩装置,实现了超导电动磁浮技术、真空技术与传统桥梁土建技术的交叉融合^[16-18],建成超高速低真空管道磁浮铁路全尺寸试验平台^[19](图 13),解决了常压时速 600 km、预留低真空时速 1 000 km 磁浮桥梁的结构设计难题。



图 13 超高速低真空管道磁浮铁路全尺寸试验平台

Fig. 13 Full-scale test platform for ultra-high-speed low-vacuum tube maglev railway

3.1 低磁阻力管梁(隧)

提出并实现低磁阻力桥梁设计理念,低磁钢筋、玻璃纤维筋、316 不锈钢、低磁高韧钢、钢筋绝缘等特殊材料和措施在管梁主体及附属结构中得到规模应用(图 14)。

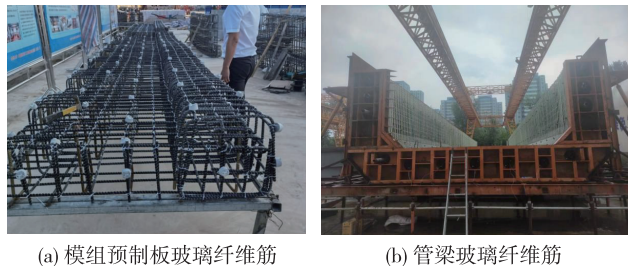


图 14 玻璃纤维筋应用

Fig. 14 Application of glass fiber reinforced polymer bars

3.2 新型管梁结构

为适应真空管道磁浮桥梁的真空密闭环境及限定磁阻力的全新要求,发明了一种以钢板-混凝土组合结构为受力主体兼具气密性的低真空“n”U 管梁结构

(图 15),具有可大规模梁场预制、整体架设、施工便捷的特点,真空试验测试效果优良,为超高速低真空管道磁浮铁路试验平台建设奠定了基础^[20-22]。

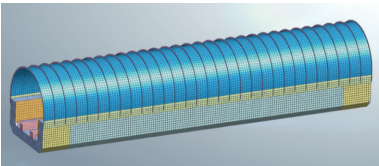


图 15 “n”U 管梁结构三维模型

Fig. 15 Three-dimensional model of n-shaped U-tube beam structure

为满足超导电动磁浮车辆悬浮、导向、定位测速等复杂接口需求,提出真空管道磁浮铁路的桥面布置构造(图 16),并开发用于固定电动磁浮线圈的磁浮轨道构造^[23],实现了受力可靠和高精度安装的目标。



图 16 管梁桥面构造

Fig. 16 Structure of tube beam bridge deck

研制大直径波纹管膨胀节式伸缩装置^[24](图 17),填补了超高速低真空管梁伸缩装置这一关键部件空白。

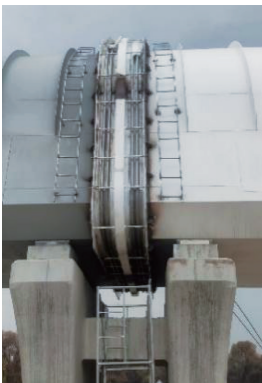


图 17 大直径异型伸缩装置

Fig. 17 Large-diameter irregular-shaped expansion device

4 超高速磁浮铁路管梁施工

充分借鉴我国高速铁路桥梁快速施工的成功经验,开发管梁线上运架、分步形成管梁闭合截面、高精度控制网布设等施工技术,以及管梁运架、桥面系施工

工艺和专用设备,构建了超高速低真空管道磁浮桥梁成套建造技术,攻克了超高速磁浮管梁轨道设施毫米级施工精度控制的难题^[25],为车辆平稳航行(图 18)提供了技术支撑。

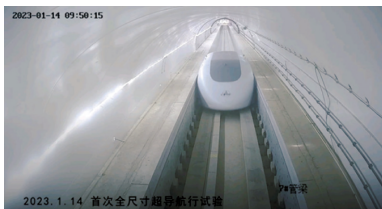


图 18 车辆航行试验

Fig. 18 Vehicle navigation test

4.1 管梁施工

“n”U 管梁上下两部分采用分步施工法施工。对于长大干线,施工时首先采用架桥机架设下半部分,施工至终点后再反向架设上半部分;对于平台试验线,采用管梁吊装架设,桥位焊接上半部分钢壳形成闭合截面的方法,解决了闭合截面管梁运架施工的难题。见图 19。



图 19 管梁 U 梁

Fig. 19 U-beam of tube beam

对管梁吊装架设方法、半自动脱模辅助工装、新型托架系统等工艺进行专项研究,形成管梁 U 形钢结构正拼、管梁现浇、大型闸板阀安装工法,填补了大直径钢-混组合结构闭合截面管梁及真空过渡舱的施工工艺空白。

4.2 桥面系安装

研制集运输、混凝土灌注、多向精调功能于一身的模组预制板安装专用设备(图 20),通过空间坐标控制模组预制板精度的安装工艺,成功解决了毫米级安装精度的难题。

通过理论计算预留孔空间坐标进行预制板架设,采用全站仪测量预留孔坐标,与理论位置进行比对,确定精调方向及距离,最终实现精确就位。

研制管道内混凝土支撑轨浇筑支撑装置、支撑轨伸缩缝预埋件整体浇筑定位工装、支撑凸台悬挂定位工装、支撑轨与地面感应环线凸台整平一体机等桥面系成套施工装备,达到了超高速低真空管道磁浮新型

桥面系的高精度目标。

建立激光跟踪仪附加张力线偏距约束的控制网建立方法及平差模型,研制张力线偏距测量系统,控制网点精度从 0.1 mm 提升到 0.05 mm,解决了狭长密闭空间长直线横向误差控制难题^[26]。

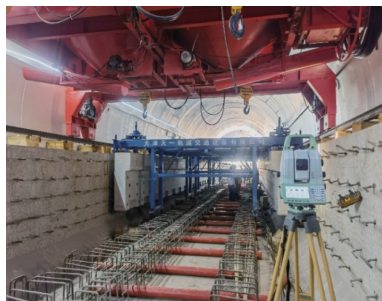


图 20 模组预制板安装及精密测量

Fig. 20 Installation and precision measurement of prefabricated modular panels

4.3 管梁真空性能检测

研发了管线接缝处狭小空间检漏的装置及方法,通过封堵波纹管与管梁结构间狭小空间的措施,再使用循环装置使氦气均匀分散,方便外侧检测设备探测,达到检测效率翻倍、氦气使用节约一半的水平,填补了大直径管线伸缩连接处焊缝检测方法的空白^[27]。

5 结语

超高速磁浮铁路全尺寸试验平台,先后于 2022 年 10 月 15 日完成永磁车辆首航试验,2023 年 1 月完成国内首次超导车辆航行试验,2024 年 1 月 29 日完成全尺寸车辆超导电动悬浮试验;2024 年 7 月 22 日,完成低真空环境下系统集成演示验证试验,试验中车辆进出真空环境过程顺利,试验车在真空环境下实现加速、巡航、悬浮、制动全系统、全流程、全尺寸验证;速度、位置控制精准,悬浮姿态稳定,系统工作正常。这次试验是国际上首次瞄准时速 1 000 km,采用超导电动悬浮制式在低真空环境下的集成验证,验证了多项系统级关键技术,提升了系统技术成熟度。

超高速磁浮铁路全尺寸试验平台的技术攻关,交叉融合了土木、电磁、机械工程技术,建立了真空管道磁浮铁路前沿技术体系,有效促进了真空管道磁浮铁路技术的工程化和新质生产力的发展。

参考文献:

- [1] 沈志云. 关于我国发展真空管道高速交通的思考[J]. 西南交通大学学报, 2005(2): 133-137.
Shen Zhiyun. On Developing High-speed Evacuated Tube Transportation in China[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005 (2): 133-137.
- [2] 侯自豪,毛凯,朱雨建,等. 低真空管道列车关键气动问题研究进

- 展[J]. 空气动力学学报, 2024(2):1-20.
- HOU Zihao, MAO Kai, ZHU Yujian, et al. Progresses in Key Aerodynamic Problems of Low-vacuum Tube Trains[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2024(2): 1-20.
- [3] 张云娇,王修华,范丁元,等. 超高速管道磁浮系统通道规划研究[J]. 铁道标准设计,2024,68(2):1-6.
- ZHANG Yunjiao, WANG Xiuhua, FAN Dingyuan, et al. Research on Channel Planning of Ultra-high Speed Tubeline Maglev System[J]. Railway Standard Design, 2024, 68(2):1-6.
- [4] 张云娇,王修华,黄成名,等. 超高速管道磁浮系统示范线比选评价体系研究[J]. 铁道标准设计,2023,67(12):1-6.
- ZHANG Yunjiao, WANG Xiuhua, HUANG Chengming, et al. Research on the Evaluation System of Ultra-high Speed Tubeline Maglev System Demonstration Line [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(12):1-6.
- [5] 黄成名,杨文东,王英杰,等. 长沙至衡阳低真空管道磁浮线路方案动力性能评估[J]. 铁道勘察,2024,50(1):72-78.
- HUANG Chengming, YANG Wendong, WANG Yingjie, et al. Dynamic Performance Evaluation of a Low-vacuum Tube Maglev Line from Changsha to Hengyang[J]. Railway Investigation and Surveying, 2024,50(1):72-78.
- [6] 邵壮,张东风,马佳骏. 磁悬浮轨道道岔线形设计及计算方法研究[J/OL]. 铁道标准设计,1-8[2025-02-11]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202312300002>.
- SHAO Zhuang, ZHANG Dongfeng, MA Jiajun. Research on the design and calculation method of maglev track turnout alignment[J]. Railway Standard Design, 1-8[2025-02-11]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202312300002>.
- [7] LONG Z F, LONG G C, TANG Z, et al. Effects of Aggregates and Fibers on the Strength and Permeability of Concrete Exposed to Low Vacuum Environment[J]. Journal of Building Engineering, 2024, 97: 110902.
- [8] LONG G C, CHEN Y, TANG Z, et al. Drying Shrinkage Behavior of Cement Mortar under Low Vacuum Conditions[J]. Construction and Building Materials, 2023, 374: 130933.
- [9] SHANGGUAN M H, XIE Y J, LONG G C, et al. Hydration and Microstructure Evolution of Cement Paste in Low Vacuum Environments[J]. Construction and Building Materials, 2024, 438: 137233.
- [10] SHANGGUAN M H, XIE Y J, WANG F, et al. Effect of Low-vacuum Environment on the Strength and Permeability of Cement-based Materials[J]. Construction and Building Materials, 2023, 400: 132676.
- [11] SHANGGUAN M H, XIE Y J, XU S Q, et al. Mechanical Properties Characteristics of High Strength Concrete Exposed to Low Vacuum Environment[J]. Journal of Building Engineering, 2023,63:105438.
- [12] SHANGGUAN M H, XIE Y J, WANG F, et al. Preparation of Coatings for Moisture Migration Control of Cementitious Materials under Low-vacuum Environment[J]. Materials Letters, 2024,355:135553.
- [13] 陈月,上官明辉,龙广成,等. 低真空环境下水泥砂浆干缩性能及机理研究[J]. 铁道科学与工程学报,2023,20(7):2530-2538.
- CHEN Yue, SHANGGUAN Minghui, LONG Guangcheng, et al. Drying Shrinkage Deformation of Cement Mortar under Low Vacuum Condition and Its Mechanism[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2023,20(7):2530-2538.
- [14] 刘梦晶,谢友均,上官明辉,等. 低真空条件对混凝土中介质迁移性能的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版),2023,54(9):3535-3543.
- LIU Mengjing, XIE Youjun, SHANGGUAN Minghui, et al. Effect of Low Vacuum Condition on Medium Migration Performance in Concrete [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2023,54(9):3535-3543.
- [15] 龙广成,徐升桥,李辉,等. 一种高气密性混凝土及其制备方法:CN114573288B[P]. 2023-02-07.
- [16] 雷慧锋,陈斌,解丽霞,等. 用于真空管道磁悬浮列车的伸缩式隔断结构及真空管道:CN219904337U[P]. 2023-10-27.
- [17] 雷慧锋,陈斌,解丽霞,等. 用于真空管道磁悬浮列车的升降式闸板阀及真空管道:CN220365629U[P]. 2024-01-09.
- [18] 邵壮,马佳骏,裴爱华,等. 超高速管道磁悬浮道岔线型:CN220450589U[P]. 2024-02-06.
- [19] 吴亮,何勇,魏志斌. 超高速低真空磁浮交通试验基地总平面布置研究[J]. 铁道标准设计,2024,68(1):192-197.
- WU Liang, HE Yong, WEI Zhibin. Research on General Layout of Ultra-high-speed Low-vacuum Maglev Traffic Test Base[J]. Railway Standard Design, 2024,68(1):192-197.
- [20] 徐升桥,李辉,高策,等. 一种真空磁悬浮管道的梁部构造及真空磁悬浮管道:CN112849166B[P]. 2022-05-20.
- [21] 高策,徐升桥,李辉,等. 一种U型混凝土轨道梁:CN215800691[P]. 2022-02-11.
- [22] 高策,徐升桥,李辉,等. 一种用于真空管道的桥梁结构:CN217419280U[P]. 2022-09-13.
- [23] 徐升桥,李辉,高策,等. 一种线圈固定结构:CN215800715 U[P]. 2022-02-11.
- [24] 张小文,李张治,杨玉强,等. 一种带加强结构的波纹管:CN219975691U[P]. 2023-11-07.
- [25] 张小娟,王洪涛,高振华,等. 预制板安装辅助装置:CN118128299B[P]. 2024-07-09.
- [26] 方杨,吴国盼,魏涌,等. 一种预制梁的安装方法、装置、设备及可读存储介质:CN114776045B[P]. 2023-06-20.
- [27] 高振华,武强,张小娟,等. 一种大管接缝处狭小空间检漏的装置及方法:CN118150066B[P]. 2024-07-30.

(编辑:王婷)