

文章编号: 1674—8247(2024)01—0063—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.01.012

# 世界首条永磁磁浮轨道交通试验线总体设计研究

耿晓婷 李晓飞

(中铁第六勘察设计院集团有限公司, 天津 300308)

**摘要:** 永磁磁浮轨道交通系统是一种中低速、中低运量的新型轨道交通,具有完全自主知识产权。该系统采用非接触悬浮运行,具有转弯半径小、爬坡能力强、节能环保、噪音低等优点,适用于城市、景区等常规环境,也适合高寒、沿江、荒漠等困难地势环境,可以与地铁、轻轨交通互相补充。本文从线路、车辆与限界、道岔、桥梁、静调库及工艺设计和牵引供电等多角度出发,对世界首条永磁磁浮轨道交通试验线——兴国工程试验线的总体设计进行重点阐述。研究成果可为现代智能交通系统提供借鉴和参考。

**关键词:** 永磁磁浮; 新型轨道交通; 试验线; 总体设计

中图分类号: U237

文献标志码: A

## Study on Overall Design of the World's First Permanent Maglev Rail Transit Test Line

GENG Xiaoting LI Xiaofei

(China Railway Liuyuan Group Co., Ltd., Tianjin 300308, China)

**Abstract:** Permanent maglev rail transit system is a new type of rail transit with medium-low speed and medium-low traffic volume, and China has completely independent intellectual property rights. The system operates through non-contact suspension, has a small turning radius and strong climbing ability, is energy-saving and environmentally friendly, and produces low noise. It is suitable for regular environments such as cities and scenic areas, as well as challenging terrains like high-cold, riverside, and desert regions. Moreover, it can mutually complement subways and light rail transit systems. This paper reviewed the overall design of Xingguo Project Test Line, the world's first permanent maglev rail transit test line, from multiple perspectives such as the route, vehicle and clearance, turnout, bridge, static commissioning workshop, process design and traction power supply. The findings can provide reference for modern intelligent transportation systems.

**Key words:** permanent maglev; new rail transit; test line; overall design

### 1 系统概况

永磁磁浮轨道交通系统“红轨”由江西理工大学于2014年首次提出。2022年8月,世界首条永磁磁

浮轨道交通试验线——兴国工程试验线在江西省赣州市兴国县竣工。该新型轨道交通系统是一种能够适应复杂地形的中低运量品质化、个性化、智能化交通运输方式,适用于中小运量交通线路,可作为地铁、

收稿日期:2023-11-30

作者简介:耿晓婷(1990-),女,工程师。

基金项目:中铁第六勘察设计院集团有限公司科技开发重大课题(KY202209)

引文格式:耿晓婷,李晓飞.世界首条永磁磁浮轨道交通试验线总体设计研究[J].高速铁路技术,2024,15(1):63-67.

GENG Xiaoting, LI Xiaofei. Study on Overall Design of the World's First Permanent Maglev Rail Transit Test Line [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1):63-67.

轻轨等大运量交通方式的末端接入,也可作为城区站点、城乡连接的新载体。该系统由稀土永磁悬浮模块、直线电机牵引驱动模块、智能定位与通信信号模块、运行控制与安全保障模块、轨道支撑与牵引供电系统、车辆装备系统等6大部分组成<sup>[1-2]</sup>。

永磁磁浮轨道交通系统属于悬挂式单轨与磁浮技术的创新融合,是一种悬挂式单轨交通系统,车辆悬挂于轨道梁下方行驶,利用永磁材料同性相斥的原理,在竖向保持悬浮状态<sup>[3-4]</sup>。

该轨道交通系统具有生态、智能、安全、经济四大特点<sup>[5]</sup>。

### 1.1 生态

系统节能环保无污染。系统少占地、少拆迁,对地面交通影响小,通过稀土永磁阵列实现“零功率”悬浮,动力系统采用直线电机驱动,无废气排放,系统悬浮运行,节能、噪音小且易维护,是一种节能环保型的轨道交通系统。

### 1.2 智能

系统运行智能化。行驶过程采用无人驾驶技术,由运行控制单元进行智能化运输组织与调度;各种运行数据通过无线网络进行实时传输,由中央控制单元进行数据处理与分析,并命令相关执行模块进行相应操作,实现无人驾驶及智能化运输组织。

### 1.3 安全

系统运行安全可靠。系统采用半封闭轨道梁和防脱轨设计实现了系统的安全运行;永磁磁浮轨道交通系统采用的永磁体是静态磁场,无磁污染;永磁磁浮轨道交通的精确定位和状态监测对系统运行车辆进行实时安全管理;列车设有双重救援及逃生装置,确保乘客安全。

### 1.4 经济

系统经济适用性好。单位建设成本与地铁、轻轨、中低速磁浮相比具有较大优势;系统没有平交道口,对现有的交通系统干扰少,施工周期短,选线灵活;采用永磁悬浮技术,运行阻力较小,能耗较低;系统简单可靠,大幅降低了运营、维护费用和全生命周期成本。

## 2 主要设计原则及标准

### 2.1 主要设计原则

(1)本工程近期为试验线,线路、桥梁按近期试验要求实施,为远期预留运营条件。

(2)本工程采用单线设计,预留双线条件,远期线路延伸后,静调库拆除、工艺设备重新利用,试验道岔作为远期列车折返渡线的一部分使用。

(3)设备系统紧密结合试验线、非运营线的基本特征进行设计;根据近期试验功能要求,设备系统仅考虑供电、通风空调、给排水及消防、动力照明系统,其余系统进行预留。

(4)始终坚持安全可靠、功能合理、经济适用的基本原则。

(5)系统和设备选型应立足国产化,工程设计应符合国家、行业及地方有关规范、规定的要求。

### 2.2 主要设计标准

根据试验大纲,结合线路条件及行车速度,本试验线系统制式采用悬挂式单轨(永磁磁浮)制式,主要技术标准如下<sup>[6]</sup>:

(1)正线数目:单线,预留双线条件。

(2)车辆最高运行速度:70 km/h。

(3)站台计算长度:21 m。

(4)线路平面最小曲线半径:50 m。

(5)竖曲线最小半径采用1 500 m。

(6)车辆编组形式:试验/运营期间均为2辆编组,悬挂式单轨(永磁磁浮)车辆。

(7)供电方式:DC750V 接触轨。

## 3 工程总体设计

### 3.1 线路

本工程位于赣州市兴国县,试验线设计范围内地势平缓,线路呈南北走向,南起兴国西站,沿现状站前大道东侧走行,在黄金坪附近接入静调库。线路长度0.8 km,均为高架线。共设兴国西站1座,为地上二层侧式站台车站。

兴国西站站前设置道岔一处,岔后线路长度约80 m,岔线最小曲线半径50 m<sup>[7]</sup>,此道岔近期用以检验道岔及小曲线半径的通过性能。

本线设静调库1座,位于黄金坪附近,由线路终点接入。

### 3.2 车辆与限界

本线试验车型为新研发车型,目前配属1辆列车,采用2辆编组。本次试验线研究确定了区间高架建筑限界、车站建筑限界、静调库建筑限界和道岔地段限界加宽值。根据永磁磁浮悬挂式单轨交通特点,通过动力学分析,提出了管线和设备的布置原则。

其中,区间直线地段水平方向建筑限界为1 800 mm。车辆底部建筑限界距离箱梁最底面为3 950 mm。车站直线地段站台有限范围内,站台边缘距线路中心直线限界1 186 mm,箱梁最底面距离站台面的高度为3 270 mm,线路中心线距离站台门限界为1 280 mm。

曲线段建筑限界应在直线段建筑限界基础上另行加宽。当建筑限界侧面或者顶面没有设备或管线时,建筑限界和设备限界之间的安全间隙不小于 200 mm。当有设备和管线时,轨旁设备和管线与设备限界应保持不小于 50 mm 的安全间隙。区间直线地段双线桥梁建筑限界,如图 1 所示。

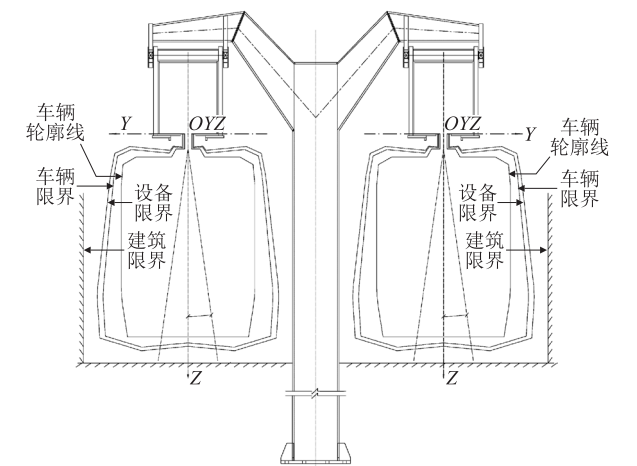


图 1 区间直线地段双线桥梁建筑限界图

3.3 道岔

悬挂式单轨(永磁磁浮)道岔组成结构复杂,涉及桥梁、车辆、供电和信号等专业。正线设置左开道岔 1 组,用于车站内左右线换线。本次设计道岔直向通过速度 70 km/h,侧向 20 km/h。根据线路布置,按 4 号小号码道岔线形布置,因列车通过侧股曲线行驶速度较低,道岔侧股采用单圆曲线线型。4 号道岔几何线形,如图 2 所示。

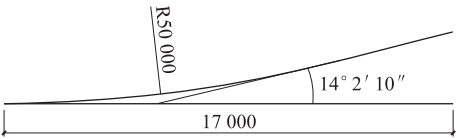


图 2 道岔几何线形示意图(mm)

道岔作用时间包括转辙指令发出、解锁、转辙、锁定、位置状态信息生成,总转辙时间不大于 25 s。转辙结构采用单回转点替换梁式道岔,该道岔转辙角设置简单,转辙灵活,结构原理简洁,便于保养维护,转辙时间短。

道岔设计主要由机械装置和控制装置两大部分组成,其中机械部分主要由道岔梁、门墩、驱动装置、走行机构、锁定装置等组成;控制装置由控制柜、锁闭电机、驱动电机、限位开关等组成。道岔具有集中控制、现场控制、手动控制方式,并具有系统检测、故障

诊断保护和报警功能。当道岔控制电路发生故障时,由人工手动控制完成解锁、转辙和锁定。

3.4 桥梁

本项目位于兴国西站高速铁路站附近,行人车辆相对较多,考虑到城市景观、环保和施工要求,全线采用高架桥梁,桥梁线性与线路线性相吻合。由于车辆行驶在轨道梁下方,因此本工程轨道梁采用下部开口的钢箱结构。轨道梁的设计同时应满足列车磁轨布置、导向走行要求和通信、信号及供电等系统在箱梁内的安装要求。

全线高架桥采用简支结构体系,标准跨径为 25 m,曲线段梁部根据曲线半径,跨径采用 25 m、20 m 和 16 m,在跨越防护堤和路口处采用特殊设计的 30 m 简支梁。桥墩采用矩形截面钢结构桥墩或者钢结构+混凝土混合结构桥墩,全线在预留双线段采用 Y 形墩,单线段采用倒 L 形墩,跨路口或道岔梁两侧采用门式墩。L 形墩和 Y 形墩钢结构如图 3 所示。

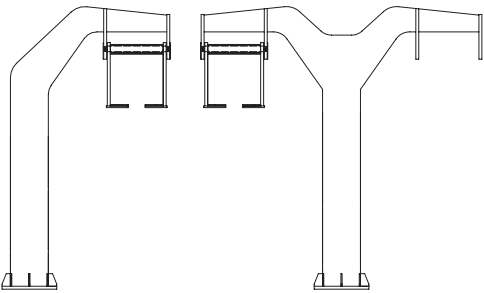


图 3 钢结构桥墩示意图

标准段简支梁基础结构采用  $\phi 1.8\text{ m}$  单桩和 4 根  $\phi 0.8\text{ m}$  的群桩,承台顶埋深不小于 0.2 m,桩基采用摩擦桩和嵌岩桩。墩梁连接形式采用销轴连接,钢桥墩与基础之间采用柱脚螺栓连接。

3.5 静调库及工艺设计

静调库为本次试验线配套设施,用于本线配属 1 辆列车的组装和调试。满足车辆静态调试需求,也兼做车辆卸车和组装场地,同时考虑设置车辆在试验过程中临时故障检修场地。本试验线静调库任务范围具体包括:试验车辆上下线及停放任务;试验车辆静调及临修任务;物资材料、备品配件的存储任务。

本次工艺设计主要包括车辆检修修程及检修、车辆上下线及运用作业流程。设计车辆的检修修程及周期参照悬挂式单轨规范执行。检修内容为对车辆悬浮系统、直线电机牵引系统、各种电气装置、制动控制装置的状态进行外观检查,更换损耗件,重点处理危及运行安全的故障,确保行车安全。



3.5.1 车辆上线流程

- (1)将台架第一跨(靠出库端)走行轨道梁向两侧打开。
- (2)将第一节车体(已安装悬浮架二系)吊装到钢轮平板车上,放稳调平。
- (3)人力推动平板车向前走行,至第一跨台架底部。
- (4)用桁车将悬浮架构架由上向下吊装与二系悬吊梁对位,安装中心销轴,连接车体和悬浮架之间的线缆。
- (5)通过桁车起吊悬浮架,将组装后的单节车向上起吊一定高度,使安全轮略高于走行面。闭合轨道梁至设计位置,桁车下降至走行面与安全轮接触并承载车辆全部重量,即可卸下吊带,将平车推至台架尾部。
- (6)将第一节车拖至轨道梁上,然后按同样流程将第二节车组装完毕,最后安装车端连接系统。

3.5.2 车辆出入库流程

- (1)车辆入库流程
    - ①车辆停放在静调库门口位置,线路高压断电。
    - ②将台架尾部的钢丝绳挂钩挂在车辆尾部的拖车点上,启动卷扬电机,将车辆拖拉进库内。拖拉到位后(可设置止轮器限位),拆除钢丝绳挂钩。
  - (2)车辆出库流程
    - ①将库外的钢丝绳挂钩挂在车辆前端的拖车点上。
    - ②启动卷扬电机,将车辆拖拉至库外固定梁上,同时可通过尾部卷扬系统拖拉车辆来制动,拆除钢丝绳挂钩,将钢丝绳卷在滚筒上固定好,避免侵界。
  - (3)列车运用作业流程
- 列车运用作业流程如图4所示。

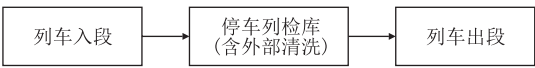


图4 列车运用作业流程图

3.6 供电系统

本工程供电系统设计范围包括:供电网络、变电所、接触轨等(不含外电源)。本工程近期为试验线,远期为公共交通线。试验线阶段供电系统从城市电网引入1回10kV供电电源。中压交流供电系统采用牵引动力照明混合供电网络,采用10kV供电方式。

牵引供电系统主要由整流机组、直流开关设备、直流馈线电缆、正负极接触轨、回流电缆、负地单向导通装置组成。每座牵引变电所设置一套整流机组,采

用DC750V悬挂式单轨接触轨供电。

全线接触轨贯通,兴国西站牵引变电所设置1回DC750V上网馈线向全线接触轨供电。

为配合列车电制动,避免机械制动频繁投入导致列车制动装置磨损增加、降低乘客乘坐舒适性,本次设计在兴国西站牵引所设置列车再生制动能量吸收装置。

本工程牵引网安装于轨道梁内,采取梁内侧面绝缘安装的方式。无论是采用接触轨,还是采用架空刚性接触网,都能向车辆提供安全可靠的电能。

4 主要创新点

- (1)在项目建设过程中,实现了轨道交通、悬挂式单轨、永磁悬浮、人工智能、大数据等技术的深度融合。
- (2)首次将永磁磁浮技术与轨道交通相结合,系统采用永磁技术实现悬浮,采用直线电机牵引,系统简单、环保、安全、稳定。
- (3)首次提出轨道梁结构变形控制要求,为本系统后续项目设计和类似系统研发提供借鉴。
- (4)首次在悬挂式单轨交通领域采用单回转点替换梁道岔。

5 结束语

悬挂式单轨(永磁磁浮)试验线的建设丰富了我国轨道交通形式,该系统具有节能环保、占用空间小等优势,缓解了城市交通拥堵问题,有望成为一种低成本、高性价比、个性化、智能化的交通运输系统,具有广阔的应用前景。本试验线的建成对开展新型轨道交通系统研究具有重要的理论和现实意义。

参考文献:

[1] 胡步毛,潘妍,鲁昭,等. 我国首条悬挂式单轨试验线建设实践[J]. 都市快轨交通, 2019, 32(1): 38-42.  
HU Bumao, PAN Yan, LU Zhao, et al. Construction Practice of the First Suspension Monorail Test Line in China [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019, 32(1): 38-42.

[2] 张文斌,文功启. 某中低速磁浮试验线桥梁总体设计[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(6): 93-97.  
ZHANG Wenbin, WEN Gongqi. General Bridge Design of Medium and Low Speed Magnetic Levitation Test Line [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(6): 93-97.

[3] 李晓飞,李际胜. 悬挂式永磁悬浮单轨交通系统兴国试验线总体设计[J]. 铁道勘察, 2023, 49(5): 114-118.  
LI Xiaofei, LI Jisheng. Overall Design of Xingguo Test Line of Suspended Permanent Maglev Monorail Transportation System [J].

- Railway Investigation and Surveying, 2023, 49(5): 114 – 118.
- [4] 高涛. 永磁磁浮轨道交通系统的悬浮系统研究与设计[D]. 赣州: 江西理工大学, 2019.
- GAO Tao. Research and Design of Suspension System for Permanent Magnetic Maglev Rail Transit System [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2019.
- [5] 李定南. 国内外悬挂式单轨列车的发展与展望[J]. 国外铁道车辆, 2017, 54(3): 1 – 4, 45.
- LI Dingnan. Development and Prospects of the Suspended Monorail Train in China and Abroad [J]. Foreign Rolling Stock, 2017, 54(3): 1 – 4, 45.
- [6] 李涛, 余浩伟, 姜梅. 悬挂式单轨交通线路设计[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(6): 66 – 71.
- LI Tao, YU Haowei, JIANG Mei. Route Selection Design of Suspended Monorail Transit [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(6): 66 – 71.
- [7] 王建才. 悬挂式单轨交通线路最小曲线半径的选择[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(9): 56 – 59.
- WANG Jiancai. Selection of the Minimum Curve Radius for Suspended Monorail Transit [J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(9): 56 – 59.

(上接第62页)

- 2015, 43(11): 54 – 57.
- [11] 李龙江, 张俊勇. “公转铁”背景下我国铁路货运增量的分析研究[J]. 铁路采购与物流, 2020, 15(5): 58 – 61.
- LI Longjiang, ZHANG Junyong. Analysis and Research on the Increment of Railway Freight Transportation in China under the Background of “Highway to Railway” Policy [J]. Railway Purchasing and Logistics, 2020, 15(5): 58 – 61.
- [12] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007, 37(6): 804 – 812.
- FANG Jingyun, GUO Zhaodi, PIAO Shilong, et al. Estimation of Carbon Sinks of Terrestrial Vegetation in China from 1981 to 2000 [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 37(6): 804 – 812.
- [13] 国家铁路大型客站能源消耗专项调查组, 韩砚, 王康平. 2011年国家铁路大型客站能源消耗专项调查情况分析[J]. 铁道经济研究, 2012(5): 8 – 13.
- Investigation Team of Energy Consumption at Large-scale National Railway Passenger Stations, HAN Yan, WANG Kangping. Analysis on 2011 Investigation of Energy Consumption at Large-scale National Railway Passenger Stations [J]. Railway Economics Research, 2012(5): 8 – 13.
- [14] 王常凯, 谢宏佐. 中国电力碳排放动态特征及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 21 – 27.
- WANG Changkai, XIE Hongzuo. Analysis on Dynamic Characteristics and Influencing Factors of Carbon Emissions from Electricity in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(4): 21 – 27.
- [15] 谢汉生, 黄茵, 马龙. 高速铁路节能环保效应及效益分析研究[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2011, 1(1): 19 – 22.
- XIE Hansheng, HUANG Yin, MA Long. Study on the Effects of Energy Conservation and Environmental Protection of High-speed Railway [J]. Railway Energy Saving & Environmental Protection & Occupational Safety and Health, 2011, 1(1): 19 – 22.