

# 基于智慧城轨的地铁车辆基地设计需求与关键技术<sup>\*</sup>

朱健伟<sup>1,2</sup>

(1. 轨道交通工程信息化国家重点实验室(中铁一院), 710043, 西安;

2. 黄山市铁路投资有限公司, 245099, 黄山//工程师)

**摘要** 基于智慧城轨发展蓝图,从面向车辆、面向场段、面向人员的三个角度,深入分析了地铁车辆基地建设运营过程中的相关业务场景与设计需求。进而以需求为导向,提出了以智能运维体系、智能运行体系、智能基础设施、智能管理体系四项关键技术为核心的技术支撑体系。

**关键词** 地铁; 车辆基地; 智慧城轨; 设计需求; 关键技术  
**中图分类号** U279.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.044

## Metro Vehicle Base Design Requirements and Key Technologies Based on Smart Urban Rail ZHU Jianwei

**Abstract** Based on the development blueprint of smart urban rail, facing the three angles of vehicle, depot and personnel, the relevant business scenarios and design requirements in the whole process of metro vehicle base construction and operation are analyzed in depth. Oriented by demand, a technical support system with four key technologies of intelligent maintenance, intelligent operation, intelligent infrastructure and intelligent management as the core is proposed.

**Key words** metro; vehicle base; smart urban rail; design requirement; key technology

**Author's address** State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Informatization (FSDI), 710043, Xi'an, China

《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》绘制了智慧城轨的发展蓝图,并提出智慧城轨是建立在更具安全性、便捷性、经济性和高效化、绿色化五大基础上的新一代城市轨道交通<sup>[1]</sup>。智慧城轨的建设对车辆基地相关业务场景提出了新要求。车辆基地须创新性地集成多项智能化技术,以适应智慧城轨的要求。

### 1 智慧城轨车辆基地设计场景与需求

基于智慧城轨提出的“创建智慧乘客服务、智

能运输组织、智能能源系统、智能列车运行、智能技术装备、智能基础设施、智能运维安全和智慧网络管理八大技术体系,以及1个城轨云与大数据平台<sup>[1]</sup>”,从不同的主体对象角度,分析车辆基地的功能定位及业务场景。面向车辆、停车场及车辆段(以下简为“场段”)和人员时,车辆基地的主要业务场景各不相同<sup>[2]</sup>。

#### 1.1 面向车辆

##### 1.1.1 运维检修

车辆运维检修是车辆基地的根本任务,其过程一般包括状态数据的采集、检修计划的制定与检修作业的执行。在传统模式下,通常采用“计划修+故障修”的策略,主要依靠人工纸质化记录的方式进行车辆故障数据的采集与判断、检修计划的生成与派发、作业过程的执行与把控,以及作业信息的记录与反馈。如今传统的车辆运维模式已不能匹配智慧城轨的需求,需要运用智能技术来实现运维过程的数字化、信息化与自动化,支撑计划修及故障修向状态修的转换,以降低运维成本<sup>[3]</sup>。

##### 1.1.2 运行控制

列车全自动运行是城市轨道交通的重要发展趋势。采用全自动运行系统后,车辆基地设计原则需随之调整<sup>[4]</sup>:全自动运行系统的控制权将从正线延伸至车辆基地停车场;停车列检库内,列车自动完成入库、休眠、唤醒、自检与出库。结合智能运维技术,可实现正线停车,减少车辆空驶时间,优化车辆修程。

#### 1.2 面向场段

##### 1.2.1 建设施工

作为前期阶段,设计引领施工、服务运营,故车辆基地的设计阶段需要考虑包含施工与运营在内的全过程智慧化需求。设计为施工提供指导和依

<sup>\*</sup> 陕西省重点研发计划项目(2020GY-182);中铁第一勘察设计院集团有限公司科研开发项目(院科20-10)

据,施工将设计方案转化为具体成果,在设计阶段预先融入智能化建造相关技术,可有效提高施工效率、质量与安全管理水平。

### 1.2.2 运行调度

除车辆检修外,车辆基地的主要运营业务还包括行车作业、乘务派班(全自动运行模式下无乘务派班作业)等。在传统车辆基地,调度管理信息化程度普遍不足,仍依靠具备一定工作经验的工作人员手动办理,并通过电话传递信息<sup>[5]</sup>。智慧城轨车辆基地需建设信息化手段,提升管理决策的便捷性与高效性。

### 1.2.3 运营管理

1) 资产管理。车辆基地工程设施设备数量多、种类杂。目前,在传统车辆基地,管理手段能效低,数据集成度很低,竣工资产交付工作存在准确度差、工作繁琐、标准不一、数据丢失严重等问题。智慧城轨车辆基地需要借助数字化手段与信息化平台,打造便捷、全面、清晰的资产全生命周期管理模式。

2) 安全防护。场段安防措施通常包括视频监控、检修作业防护、平交道口管理、火灾自动报警、环境与设备监控以及周界防护等。列车全自动运行下安防要求更为严密,需考虑无人驾驶区内人员进出、作业与登车的安全防护以及自动停车安全距离等。传统安防手段部分依靠人工把控,在此基础上需要结合各项智能检测手段和逻辑联锁控制方法,建立全面立体化的安全管控体系,避免因人为疏忽可能导致的安全隐患,切实提高场段安防措施的可靠度。

3) 能源管控。绿色化是新一代城轨系统的基础特征。建设节约环保型车辆基地,可为运营带来经济效益,并助力“碳达峰”与“碳中和”。在设计阶段,智慧城轨车辆基地需在源端对通风空调、采暖、给排水、动力照明等专业采用高效节能型环控设备,并通过智能化管控来实现能源由配额化管理向精益化管理的转变。

## 1.3 面向人员

智慧城轨具有社会科学和自然科学的双重特征,其实现不仅要先将先进技术赋能于设备设施,还需赋能于人,以达到更高效能<sup>[1]</sup>。与正线运营不同,车辆基地面向的是段内各级生产办公人员,其作业场景交叉于车辆基地各项业务中。智慧城轨

理念下的车辆基地在运维检修中运用自动化设备代替人工进行重复性强、强度大、环境恶劣的作业;运营管理依托高效化培训,提升人员应急处置能力与作业技能水平;生产环境贯彻生态人文理念,解决因过度开发导致的雨水循环受阻以及盖下采光缺失、烟尘废气、振动噪音等问题。可见,智慧城轨车辆基地能为作业人员提供人机交互友善、健康舒适的生产条件,有利于激发其积极性、主动性、创造性,从而有效保障生产安全、提高生产效率。

## 2 智慧城轨车辆基地设计的关键技术

基于智慧城轨理念的车辆基地设计需契合安全、便捷、经济、高效、绿色建设目标,考虑运维手段、运行模式、基础设施及管理策略的需求。如图1所示,车辆基地设计的技术支撑体系需以需求为导向,将各项智能化系统的实施作为着力点,以推动车辆基地建设运营全过程的智慧化发展。

### 2.1 智能运维体系

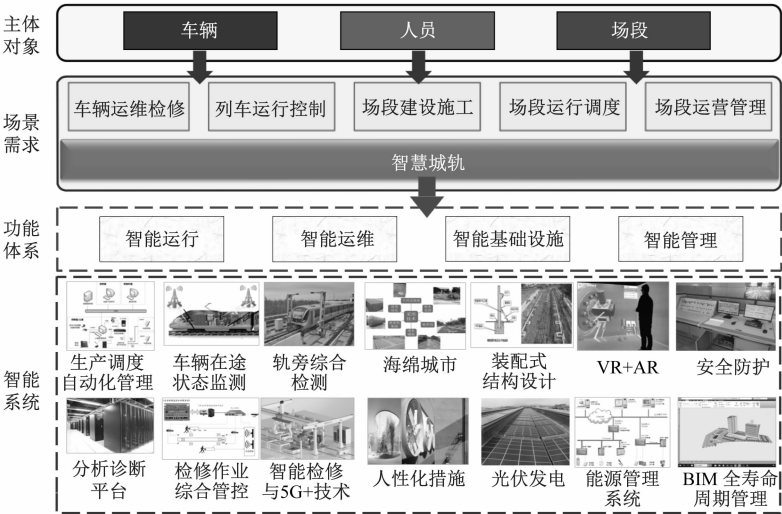
智能运维体系的建设是智慧城轨车辆基地设计的关键技术之一。通过搭建车载设备在途状态监测系统、轨旁设备综合检测系统、智能运维专家平台、检修作业综合管控系统、智能检修系统与基础传输网络,以实现运维过程的数据采集数字化、分析诊断智能化、管理系统信息化与工业生产自动化。车辆基地智能运维体系架构如图2所示。

#### 2.1.1 车载在途状态监测系统

车载在途状态监测系统一般包括对走行部、受电弓、蓄电池、空调、车门与列车等的运行实时状态监测功能模块。当监测到发生故障时,该系统将通过车辆总线实时报出故障代码,并借助 WLAN(无线局域网)、LTE(长期演进)、4G 或 5G 等技术,将车辆状态信息通过 PIS(乘客信息系统)或专用车地无线通信网络通道传至地面智能运维系统平台,实现车辆基地对车辆运行状态的全息感知。

#### 2.1.2 轨旁综合检测系统

轨旁综合检测系统通常安装于车辆基地入库前轨道旁,一般包括车体 360°检测、轮对受电弓在线检测、走行部红外温度检测、车辆限界轮廓检测等子系统。车辆经过时,该系统可自动检测其外表故障、磨耗件尺寸、走行部温度及车体姿态等,并将检测信息通过以太网传输至服务器终端,从而实现故障自动识别与状态数据记录。



注:VR 为虚拟现实;AR 为增强现实;BIM 为建筑信息模型;5G+指 5G 技术的应用。

图 1 以需求为导向的车辆基地技术支撑体系

Fig. 1 Demand-oriented technical support system of vehicle base

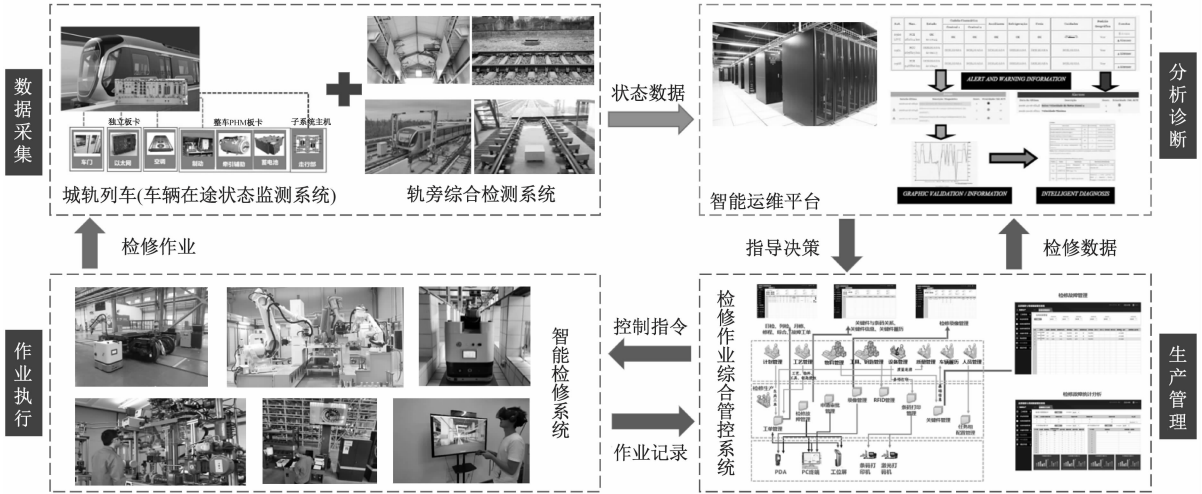


图 2 车辆基地智能运维体系架构

Fig. 2 Architecture of vehicle base intelligent operation and maintenance system

2.1.3 智能运维平台

智能运维平台依托城轨云与大数据平台,融合大数据分析、云计算及人工智能等技术,能将接收的实时故障代码、车辆状态数据、实时检测数据及检修过程数据等作为数据基础,并据此制定检修策略与作业指导规范。此外,在 DCC(车辆基地调度中心)内还应设置智能运维监控室,以实现列车状态信息的集成存储、可视化展示及统计分析等功能。

2.1.4 检修作业综合管控系统

检修作业综合管控系统服务器置于 DCC 内,以便检修调度人员进行终端控制;感知与执行设备分

散布置于应用现场。检修作业综合管控系统将检修计划管理、作业安全管理、作业质量管理、人员管理、仓储物流管理、设备管理及全程可视化等功能融入同一平台进行信息化管控,以实现检修生产各环节的信息共享和高效协同。

2.1.5 智能检修系统

检修人员配备了基于虚拟现实技术的智能终端与智能检修工装等装备,可实现远程协作指导,提升作业精准度。目前,AGV(自动导引运输车)、列检机器人与清洗机器人等在地铁车辆检修中的运用已较为普及,可部分代替人工作业,但其缺乏单点设备间的有机集成。合理运用工业机器人与

物联网技术,可实现检修作业的数字化转型;结合车辆检修工艺,还能进一步形成自动化检修线,以构建“无人工厂”的检修模式。

## 2.2 智能运行体系

### 2.2.1 列车全自动运行系统

为满足列车全自动运行需求,全自动运行线路的车辆基地在设计时需分区布置,2个区域边界应清晰划分并设置隔离栅栏。车辆基地分区布置图如图3所示。无人驾驶区包括出入段线、洗车线、停车列检线;人工驾驶区包括检修线、镟轮线、调机及工程车库等;周月检线可根据工艺布局灵活选择归属分区。分区间设转换轨并配套登车平台,以便转换驾驶模式,登车区域部署安全防护系统。洗车机可采用全自动洗车模式,以提高作业效率。停车列检库是无人驾驶区的核心。综合考虑作业安全与运营效率,停车列检库内划分为若干防护分区,各分区间设防护栅栏;库中或库后设置地下通道或架空天桥供人员出入,且出入口门禁与行车信号、接触网或接触轨的状态安全连锁;边跨内增设处于热备状态的备用控制中心,可在应急情况下接管全线的运营指挥。

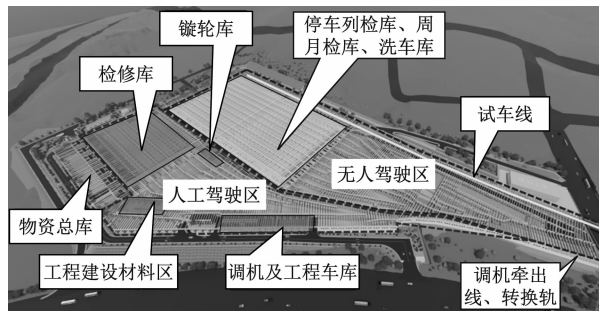


图3 全自动运行线路的车辆基地布置方案

Fig.3 Vehicle base layout plan of fully automatic operation line

全自动运行系统能自动收集各专业系统的行车数据,有利于实现车辆智能运维。车辆智能运维技术成熟后,可通过正线停车来减小车辆基地规模,增加运营灵活性。

### 2.2.2 智能调度指挥平台

信息化、数字化的调度指挥平台,能实现车辆基地内收发车、调车、检修与乘务派班计划自动编制(全自动运行模式下无需编制乘务派班计划),以及列车调车进路自动办理。调度指挥平台的控制层包括计算机联锁、车号自动识别和调车电台信令等子系统,能按作业调度计划自动执行任务并反馈

执行结果,其主要用于控制现场信号设备、监测列车运行状态、与调车组进行无线通信等;调度指挥层为场段调度员的调度指挥平台,主要实现各工种调度员和管理人员间的信息共享,以及不同作业流程的智能化调度;决策层和管理层可为各级管理人员提供生产报表等,以便其掌握实际生产情况并按需下达指令。

## 2.3 智能基础设施

### 2.3.1 装配式结构

目前,车辆基地内的生产房屋中,除运用库、检修库、物资总库可局部采用装配式结构设计外,常用的装配式结构设施还包括装配式作业平台、装配式轨道桥、装配式综合管廊与装配式综合支吊架等<sup>[6]</sup>。与传统结构相比,其建设周期短、绿色环保、质量可控,在美观、安全、施工效率、节约空间、后期维护等方面均有优势。

### 2.3.2 海绵设施

基于车辆基地内雨水流向,布置绿色屋顶、透水铺装、雨水花园、植草沟、下沉式绿地与雨水调蓄池等被称为“海绵设施”的城市水循环系统。通过渗、滞、蓄、净、用、排,海绵设施能有效吸收雨水径流冲击与污染负荷。其结合生态景观的建设,还可为工作人员提供绿色舒适的生产办公环境。

### 2.3.3 人文设计

结合开发方案,将以人为本的思想融入车辆基地设计理念,从环境工程学、人机工程学、行为心理学、建筑心理学等角度着力营造温馨舒适的工作环境,综合考虑天然采光、体感温度、建筑外立面与内饰、色彩心理、景观绿化、盖板与风机等吸音降噪、盖下通风排烟、活动场地预留与设备人机交互等因素,切实提高人员身心舒适度与归属感。

## 2.4 智能管理体系

### 2.4.1 基于BIM技术的设计、施工、运营数字一体化

在车辆基地的设计、施工、运营中,BIM作为基础数据承载载体,能有效保存和传递信息。如图4所示,开发BIM全寿命周期管理平台,形成统一的数据源,推广标准化资源共建共享模式,实现项目全寿命周期的信息化、可视化、精细化管理<sup>[7]</sup>。

设计方利用BIM协作平台开展多专业协同设计,易于核实各专业间接口信息与工程数量,能有效避免差错漏碰等设计缺陷。施工方利用完成的

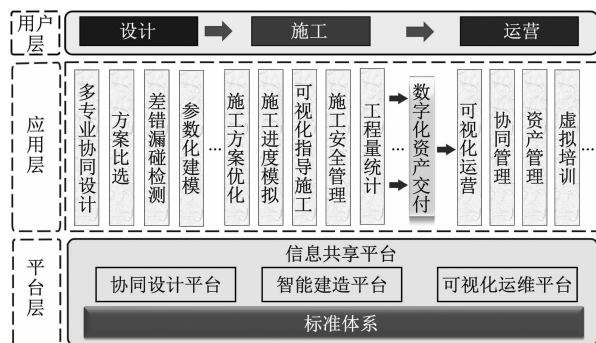


图 4 基于 BIM 的全寿命周期管理平台方案

Fig. 4 Full life cycle management platform scheme based on BIM

BIM 模型可有效指导现场施工、保障施工安全、加强施工质量与进度管理,还可利用模型工程量信息快速进行造价与耗材管理。

通过 BIM 竣工模型的数字化交付,设计院、设备供应商、施工单位与运营单位的文档、资产、维护等各系统数据可实现互联互通,形成以 BIM 为核心载体的电子数据库。运营方可充分挖掘数据库中大量的建设、监测与维护信息,开展数字化资产管理与可视化运维。在数字化资产交付中,先对设备等进行统一编码,使 BIM 模型数据库和资产管理数据库相关联,就可根据检索需求来实现设备的快速定位,并读取设备模型的资产管理信息。还可将模型数据库与设备实际监测数据进行关联,以动态监控设备运行状态。此外,将 BIM 模型与数字孪生技术等前沿技术融合,即可实现车辆基地运营全业务场景数字模型与物理模型的双向映射。在此基础上配套基于 VR、AR 等虚拟现实技术的培训指导平台,就能将沉浸式三维体验与 BIM 模型无缝对接,在提高技能水平、识别现场故障及应急处理突发情况等方面为运营人员提供训练支持。

#### 2.4.2 智能安防系统

智能安防系统可实现管控逻辑由人工把控向设备自控、人机联控、人员互控的转换,其相关子系统如下:

1) 智能门禁系统:应用红外检测、图像分析、生物识别等技术,实现指纹识别、人脸识别、防尾随、出入计数等功能,完成人员出入管理。

2) 侵界报警系统:于防护区域设置激光传感器、红外传感等探测设备,发现人员异常闯入即报警;与视频监控系统联动,影像实时传至显示终端,以便值班人员快速判断响应。

3) 可视化自动接地系统:实现验电、挂接地线及地线拆除等接地作业的全程可视化、操作自动化、管理网络化。

4) 人员定位系统:基于 RFID(射频识别)与 UWB(超宽带无线通信)等技术,实现库内检修作业人员的实时定位;并与视频监控系统联动,监测记录人员作业轨迹。

5) 安全联锁系统:基于 PLC(可编程逻辑控制器)与外部设备接口,实时采集和传输区域内车辆、信号、人员、供电等多维数据状态,根据不同运营场景需求,建立人员、车辆及设备互联互通的安全保障体系。

#### 2.4.3 智能能源系统

1) 布设可再生资源系统技术装备。库顶铺设分布式光伏发电系统,盖下采用光导照明等。

2) 配套精益化能源管控系统。可对检修设备、照明系统、空调系统、通风排风设备、冷热源设备、给排水设备及供配电系统等进行实时监测与控制,能及时发现能源消耗异常,进行报警并处理;采集、存储及管理相关系统耗能信息,以进行数据的分析和挖掘,并给出科学的节能建议。

### 3 结语

目前,在智慧城轨的建设实践经验下,车辆智能运维系统、全自动运行系统、智能城轨建设管理系统、绿色能源管理系统等已逐步得到应用。本文以设计者的角度,从车辆、场段、人员三界面出发,分析基于智慧城轨理念的地铁车辆基地建设运营过程中相关场景需求,以实际业务需求为导向,就车辆基地的设计提出了智能运维体系、智能运行体系、智能基础设施与智能管理体系四项关键技术,旨在提升车辆基地建设运营全过程的安全性、便捷性、经济性和高效化、绿色化。以期发挥规划设计的前导协同作用,推进智慧城轨的进一步建设发展。

### 参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要: 中城轨[2020]10号[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2020.  
China Association of Metros. China urban rail transit smart urban rail development outline: ZCG[2020] No.10[S]. Beijing: China Association of Metros, 2020.

(下转第 249 页)