

轨道交通车辆基地无人驾驶改造设计方案

占 俊

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//工程师)

摘 要 基于全自动无人驾驶车辆基地的布置要求,以苏州轨道交通 7 号线为工程背景,对既有车辆基地改扩建为无人驾驶车辆基地的方案进行研究,探索无人驾驶车辆基地总平面布置思路 and 方案,总结既有车辆基地改造为具有无人驾驶功能的车辆基地的设计要点。结果表明,具有无人驾驶功能的车辆基地改造设计方案,及其 3 种转换轨设计方案,可有效保障全自动无人驾驶车辆安全高效运营,亦可最大化集约利用土地资源。

关键词 城市轨道交通; 车辆基地; 无人驾驶; 改造设计

中图分类号 U279.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.025

Design Scheme of Unmanned Driving Reform at Rail Transit Vehicle Depot

ZHAN Jun

Abstract Based on the layout requirements of fully automatic driverless vehicle depot, Suzhou rail transit Line 7 is taken as the engineering background, the scheme of reconstruction and expansion of the existing vehicle depot into a driverless vehicle depot is studied, the general layout ideas and schemes of driverless vehicle depot are explored, and the design points of transforming the existing vehicle depot is summarized. The research shows that the driverless vehicle depot design and three switch rail design schemes in the depot can effectively guarantee the safe and efficient operation of fully automatic driverless vehicle, maximize the intensive use of land resources at the same time.

Key words urban rail transit; vehicle depot; driverless operation; renovation design

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

全自动无人驾驶轨道交通的研究和设计工作已在我国许多城市开展,大量既有的城市轨道交通线路与新设计的全自动无人驾驶的城市轨道交通线路需要贯通运营,这就涉及到既有线路的升级改造问题。本文结合苏州轨道交通 7 号线(以下简为

“7 号线”)全自动无人驾驶的要求,对既有支线停车场全自动驾驶车辆基地的改造方案进行分析,研究无人驾驶车辆基地改造方案,提出既有库线的改造、转换轨设计、分区设计等方案,以期为后续全自动无人驾驶车辆基地的设计与建造提供参考。

1 苏州轨道交通 7 号线项目概况

1.1 基本概况

7 号线为全自动驾驶线路,整体呈南北走向,在既有 4 号线支线基础上向南北延伸。全线约 52 km,分为北段、南段及原 4 号线支线。7 号线北段起于华阳路站,止于红庄站;南段起于龙翔路站,止于泾南路站。

本次设计研究范围包含 7 号线的北段、南段及原 4 号线支线。7 号线实施段(莫阳站—红庄站)北起南天成路与苏虞张路路口东侧的莫阳站,南至红庄站(不含);线路长约 29 km,设站 25 座(不含红庄站),均为地下站。全线设置的 2 处地面车辆基地含在本次研究范围内,其中,车辆段位于天鹅荡(基于原 4 号线天鹅荡停车场扩建而成,即原线路拆解后,原 4 号线支线天鹅荡停车场扩建改造为 7 号线天鹅荡车辆段);停车场选址位于苏虞张路、太东路与京沪高铁所夹地块。

1.2 列车运用交路

7 号线初、近、远期列车运用交路如图 1 所示。

1.3 车辆配属表

本工程车辆选型为架空接触网受电 B2 型车,与苏州市既有轨道交通线路车辆选型一致。根据本线行车交路运用车数资料,计算初、近、远期 B2 型车配属车辆,如表 1 所示。

2 7 号线车辆检修工作量、检修设施的设计规模及车辆运用设施分配

2.1 车辆检修工作量

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》^[1]中车

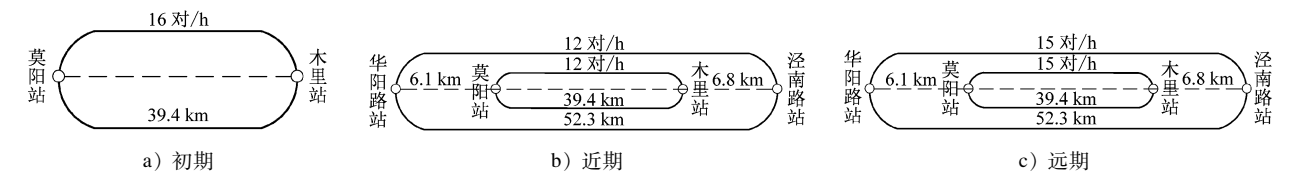


图 1 7 号线初、近、远期列车运用交路图

Fig. 1 Preliminary, short-term and long-term train operation routing diagram of Line 7

表 1 7 号线车辆配属表					
Tab. 1 Line 7 vehicle allocation table					
项目	编组数/ 辆	运用车/ 列	检修车/ 列	备用车/ 列	配属车/ 列
初期	6	40	4	6	50
近期	6	66	6	6	78
远期	6	81	8	8	97

辆检修周期要求和车辆配属数,计算 7 号线全线的车辆检修工作量,如表 2 所示。

表 2 7 号线车辆检修工作量计算表					
Tab. 2 Calculation of Line 7 vehicle maintenance workload					
项目	不同检修项目时的车辆检修工作量/(列/年)				
	厂修	架修	定修	三月检	双周检
初期	5.0	5.0	29.4	156.8	980
近期	7.8	7.8	45.6	243.2	1 520
远期	9.7	9.7	57.6	307.2	1 920

2.2 检修设施的设计规模

7 号线检修设施的设计规模,如表 3 所示。

表 3 7 号线检修设施的设计规模				
Tab. 3 Design scale of Line 7 maintenance facilities				
检修项目	单位:列位			
	近期		远期	
	计算规模	设计规模	计算规模	设计规模
大修	1.20	*	1.49	*
架修	0.68	*	0.85	*
定修	1.44	2	1.79	2
临修		1		1
三月检	2.39	4	2.97	4
双周检	3.73	4	4.64	4

注:①表中“*”表示该检修项目由 4 号线车辆段承担。
②定修、三月检、双周检检修设施的设计规模考虑 7 号线全线远期能力,并按需求一次建成。

2.3 车辆运用设施分配

车辆检修设施全部设于天鹅荡车辆基地。根据 7 号线线路长度、全日开行计划等资料,结合车辆段、停车场用地条件,为避免列车空载运营的距离

过大,方便运营,确定天鹅荡车辆段和莫阳停车场近、远期车辆运用设施规模,如表 4 所示。

表 4 7 号线车辆运用设施分配表				
Tab. 4 Allocation of Line 7 vehicle operation facilities				
项目	不同时期、不同检修项目时车辆运用设施的规模/列位			
	近期		远期	
	停车列检	双周三月检	停车列检	双周三月检
天鹅荡车辆段	50	4	50	4
莫阳停车场	20	4	40	4
合计	70	8	90	8

注:天鹅荡车辆段停车列检设计规模含原 4 号线支线停车场的既有停车列检 10 列位。

3 天鹅荡无人驾驶车辆基地设计方案

3.1 采用无人驾驶的必要性

全自动无人驾驶已成为城市轨道交通发展的方向。全自动无人驾驶不仅可以提高地铁列车的收发车效率,减少站间等候时间,还能提高列车的行驶安全性,提升乘客的乘坐舒适感。

3.2 基地特点

与常规有人驾驶车辆基地相比,全自动无人驾驶系统的车辆段有以下特点:

1) 全自动无人驾驶地铁车辆段分为有人驾驶区和无人驾驶区。

2) 停车列检库设置无人驾驶防护分区和地下通道。

3) 由于无人驾驶防护分区开展列检作业管理,并且检修天窗的时间不足,1 线 2 列位的停车列检库库内检修地沟按 100% 设置。

4) 考虑到信号防护距离,停车列检库 2 列位之间的安全距离按不小于 20 m 设置;库尾车钩距车挡应不小于 15 m 的安全保护距离(不含车挡)。

3.3 设计原则

车辆基地无人驾驶改造设计原则如下:①保证工艺顺畅、避免工程浪费、节约投资;②满足无人驾驶等要求,分区合理,需改造既有停车库线为无人

驾驶库线;③改扩建后的车辆基地满足全自动无人驾驶功能及信号要求;④改造设计方案应避免对既有4号线支线停车场运营和收发车造成影响,不能中断线路运营。

3.4 改造方案

3.4.1 既有停车场总平面布置和预留扩建总图方案

3.4.1.1 既有设施

4 号线天鹅荡停车场的功能定位为承担 4 号线支线配属车辆的停放和维保,其设计规模为 5 条停车列检线(1 线 2 列位)共 10 列位。用地面积约 13.1 万 m^2 ,总建筑面积约 2.3 万 m^2 。既有设施包括运用库(停车列检)、综合楼、变电所、污水处理站、材料棚、材料线及堆场等。

4 号线天鹅荡停车场总平面呈南北向布置,运用库和预留设施采用逆向倒装式布置。运用库设在出入场线西南、东南两侧。其中,西南侧运用库为既有 4 号线支线天鹅荡停车场设施,采用尽端式布置。材料棚、材料线及材料堆场设在运用库北侧。材料棚北侧空地布置有污水处理站,且牵引降压混合变电所亦设置在材料棚北侧。

停车场设置综合楼和物业楼,综合楼建筑面积约 6 660 m²,停车场办公、信号楼、综合维修工区、食堂、浴室、乘务员公寓等均合设于楼内。停车场内设有用于运输、消防的环行道路,停车场出入口设 2 处,主出入口设在停车场的西侧、综合楼附近;次出入口设在东南角。4 号线既有天鹅荡停车场总平面布置见图 2。

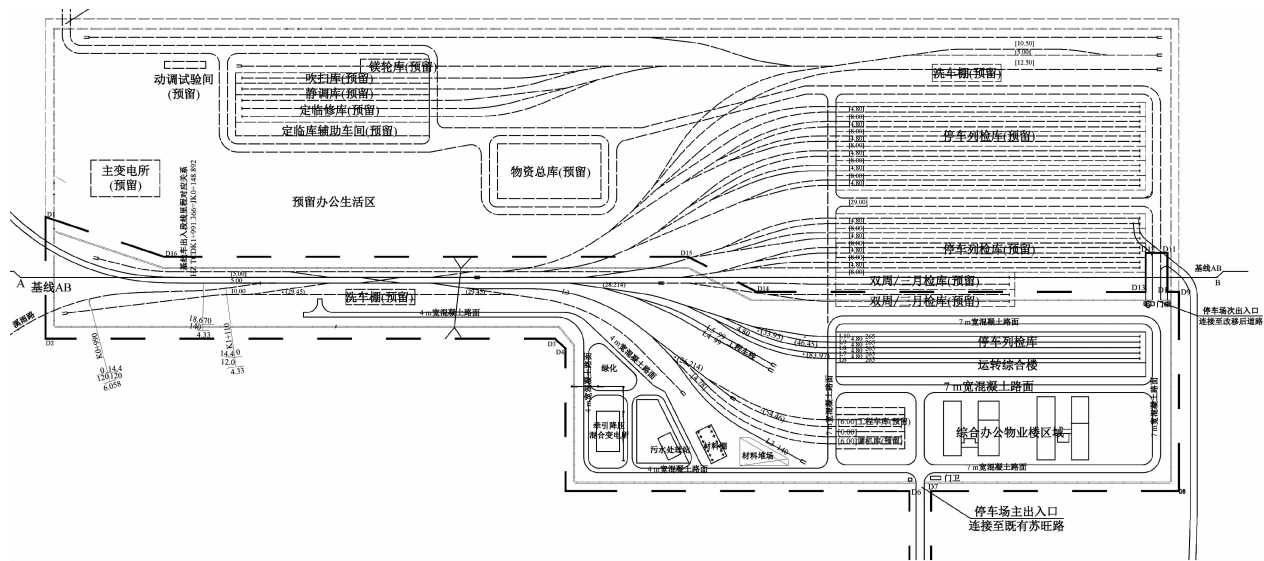


图2 4号线既有天鹅荡停车场总平面布置图

Fig. 2 General layout of existing Tian'edang Parking Lot on Line 4

3.4.1.2 车辆基地改造方案总图布置

天鹅荡停车场既有生产生活设施的功能用房主要满足4号线支线的运营需求,拆解后功能定位为7号线天鹅荡车辆段,其综合楼、变电所、运用库、检修库等设施建筑面积和设计能力均需要增加补强以满足7号线的运营需求。

本文研究的天鹅荡车辆段在原 4 号线支线天鹅荡停车场基础上进行改扩建,其功能定位为 7 号线定修段。天鹅荡车辆段按无人驾驶车辆段考虑,设计规模为:存车规模为 20 条停车列检线(1 线 2 列位)+4 条周月检线(1 线 1 列位)。用地面积约 33.4 万 m^2 ,总建筑面积约 8.3 万 m^2 。新建设施包

括新建运用库、联合车库、物资总库、洗车库、工程车库、试车线、综合楼(1.2 万 m²)等。

新建 7 号线天鹅荡车辆段整体呈倒桩式布置,其运用库位于既有运用库东侧。考虑到未来物业开发和建设无人驾驶车辆段的可能性,新建 7 号线天鹅荡车辆段按无人驾驶车辆段进行设计,以满足远期检修运用的需要。联合车库设在预留停车列检库的北侧,采用尽端式布置。联合车库由定/临修库及辅助车间、静调库、吹扫库、镟轮库组成。在联合车库东南侧预留有物资总库。预留洗车库设置在咽喉区西侧,采用八字式布置。

预留工程车库设在既有运用库西侧。在联合

车库东侧、北侧预留有发展用地,作为生活办公房屋、主变电所的用地。在车辆段用地的东北角预留

1 处出口。新建天鹅荡车辆段总平面布置见图 3。

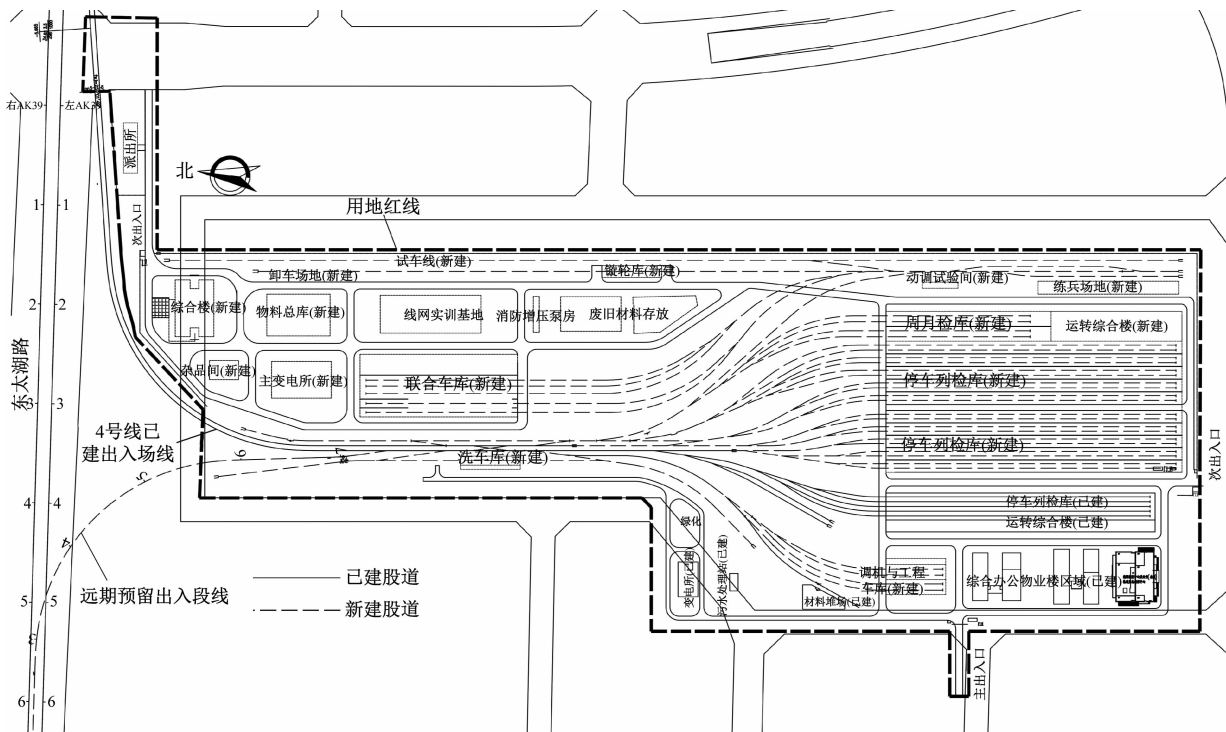


图 3 新建天鹅荡车辆段总平面布置

Fig. 3 General layout of new Tian'edang Depot

3.4.2 改造过渡期拆解接入方案分析

7 号线施工时,需保证既有 4 号线支线及原天鹅荡停车场(即 7 号线一期工程)正常运营。为此,拟采用如下方案对既有 4 号线支线进行拆解后接入/新建 7 号线。

1) 维持既有 4 号线支线天鹅荡停车场停车列检库、污水处理站、变电所、材料棚综合楼、物业楼等生产生活设施在 7 号线实施过渡期的正常运转。

2) 新建设施包括新建运用库、联合车库、物资总库、洗车库、工程车库、试车线、综合楼(1.2 万 m^2) 等,主要在原天鹅荡停车场址东侧预留用地范围内实施。需考虑新建设施工期及进度,避免影响原天鹅荡停车场既有停车列检库、运转综合楼、出入段线、场区咽喉等运用检修设施的正常使用。

3) 由于 7 号线按无人驾驶线路考虑,因此新建停车列检库线和段场分区均按无人驾驶条件设计。7 号线天鹅荡车辆段按无人驾驶车辆段建设完成后,原天鹅荡停车列检库需考虑改造为无人驾驶停车列检库或维持既有功能设施和条件。

3.4.2.1 新建 7 号线天鹅荡车辆段完成后再进行既有停车列检库改造(方案 1)

7 号线天鹅荡车辆段按无人驾驶车辆段新建完成,并在 4 号线支线拆解完成后,初期维持既有停车列检库土建设施。既有停车列检库土建设施,包括检修地沟、车顶作业平台等均不进行改造,仅考虑局部改造通信信号系统为无人驾驶模式。改造后的无人驾驶停车列检库线按 1 线 1 列位停车。远期 7 号线线路延伸工程实施时,既有停车列检库可根据运营需求与莫阳停车场扩建工程一并实施改造为完善的 1 线 2 列位无人驾驶停车列检库。远期改造内容包括:停车列检库线延长,无人驾驶地下通道设置,库线隔离栅栏设置,通信信号系统改造,供电系统改造,以及既有停车列检库房土建结构改造等。

改造工程带来的影响:本方案为初期既有停车列检库部分改造为无人驾驶库线,改造内容与改造工程量较小、改造周期短;拆解完成后,既有停车库原存放车辆考虑停放于新建天鹅荡停车列检库,对 7 号线无人驾驶运营组织有一定影响。需考虑新建设施工期及进度,结合既有情况与相关专业制定改造方案。

改造工程对相关设施及系统引起的变化包括:停车列检库供电系统改造,通信和信号系统改造,综合监控系统改造,DCC(车辆段控制中心)改造,轨道改造,以及变电所容量增加等。

3.4.2.2 既有停车列检库改造与7号线天鹅荡车辆段新建工程同步实施(方案2)

既有停车列检库改造与本次天鹅荡改扩建工程同步实施并完工。在7号线车辆段改扩建实施阶段,为保证4号线支线的正常运营,原4号线支线配属车辆不再停放在既有停车列检库,考虑在4号线主线松陵车辆段或元和停车场停放和维保。本方案对4号线支线收发车有一定影响,需运营单位做相应准备。

改造工程带来的影响如下:本方案为既有停车列检库全部改造为无人驾驶库线,改造内容多、改造工程量、改造周期长;拆解完成后,既有停车库原停放车辆考虑停放于新建天鹅荡停车列检。本方案需考虑新建天鹅荡车辆段工期及进度,结合既有情况制定改造方案。

改造工程对相关设施及系统引起的变化包括:停车列检库供电系统改造,通信和信号系统改造,综合监控系统改造,DCC改造,轨道改造,以及变电所容量增加等。

3.4.3 风险分析

1) 在不影响既有区域运营的前提下,对新建区域进行施工。新建区域建成后,与入场线咽喉合拢。合拢时可能会影响到已建股道区停车列检线的运用,需要运营单位做相应准备。

2) 4号线支线拆解及天鹅荡车辆段改扩建,会对运营组织及运营现状造成一定影响,需要运营单位在实际实施阶段前制定详细方案。

4 天鹅荡无人驾驶车辆基地改造特点分析

4.1 停车列检库线设计

设计的无人驾驶停车列检库线按1线2列位布置,结合既有场区条件,其库线长应满足GB 50157—2013《地铁设计规范》^[1]的要求,同时考虑无人驾驶信号保护距离及要求。无人驾驶停车列位之间的安全距离取20 m,无人驾驶停车列位距车档附加安全距离(含车档)取15 m,停车库两端横向通道总宽度取9 m。

则最小停车列检库线长的计算公式^[1]如下:

$$L_{jk} = (L + 5.5 \text{ m})N_i + 20(N_i - 1) + 15 \text{ m} + 9 \text{ m} \quad (1)$$

式中:

L_{jk} ——列检库长度,m;

L ——车辆长度,m;

N_i ——每条线列检列位数,列位。

由式(1)计算得到,本次设计的无人驾驶B2型车停车列检库长为295 m。将该长度取为3的模数,则按297 m设计。

本设计的无人驾驶停车列检库线宽度方向,考虑每2股道的隔离分区库线间距要求,停车列检库共设10个2线跨,并考虑与30 m宽的4线周月检库并库设置。根据GB 50016—2014《建筑设计防火规范》,库宽大于150 m时,增设的纵向消防通道宽度取8 m。停车列检库宽计算^[1]如下:

$$W_{jk} = d_1 N_1 + d_2 N_2 + 8 \text{ m} \quad (2)$$

式中:

d_1 ——无人驾驶2线分区线间距,本次设计的B2型车线间距取4.6 m;

N_1 ——无人驾驶2线分区数,个;

N_2 ——停车列检线股道数,条;

d_2 ——无人驾驶股道中心线至隔离栅栏/库边间距,本次设计的B2型车至库边/隔离栏杆间距取3.6 m。

由式(2)计算得到,本次设计的无人驾驶运用库(含周月检库和停车列检库)宽148 m。

4.2 转换轨设计方案

转换轨包括两种:一种用于驾驶模式转换,一种用于控制权交接。对于划分了自动驾驶区和人工驾驶区的车辆基地,需设转换轨用于驾驶模式转换,一般将其设于牵出线或两分区咽喉区的联络线上。转换轨附近一般设置有司机登乘平台,方便有人驾驶时司机登乘列车。本研究根据无人驾驶总平面布置要求,结合既有预留条件,提出了3种转换轨设计方案(见图4)。

1) 方案1:基于改扩建后的车辆段总平面呈倒桩式布置,考虑转换轨设置于段址北侧靠近咽喉区的牵出线上。

2) 方案2:基于改扩建后的车辆段总平面呈倒桩式布置,考虑转换轨设置于段址东南侧靠近试车

线的牵出线上。

3) 方案3:基于改扩建后的车辆段总平面呈倒

桩式布置,考虑转换轨设置于 2 条牵出线间的联络线上。

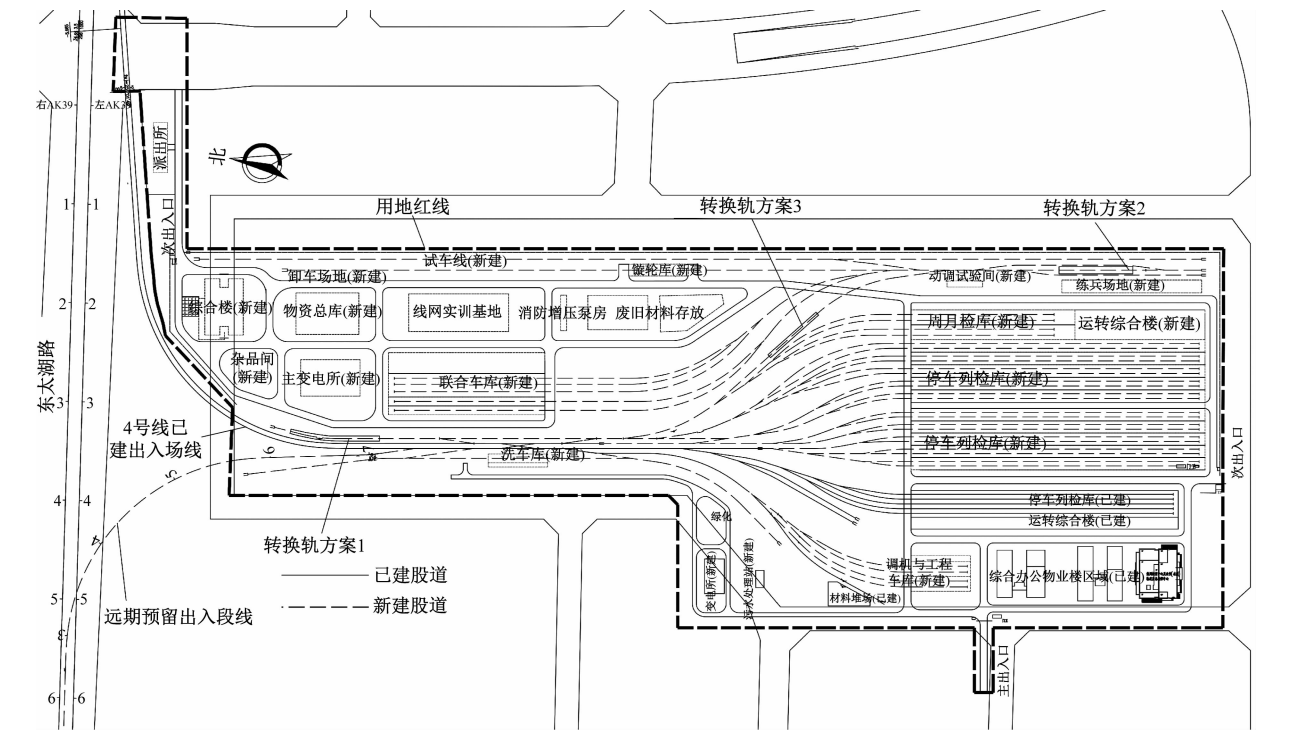


图4 天鹅荡无人驾驶车辆基地总平面布置及转换轨设置方案

Fig.4 General layout of Tian'edang driverless vehicle base and setting scheme of transfer track

以上 3 种方案均满足无人驾驶车辆基地转换轨设置的要求,无人驾驶区和有人区分区隔离设计合理。新建停车列检库、周月检库及既有改造后的停

车列检库划分为无人驾驶区,新建联合车库、镗轮库及试车线设置在有人区。3 种方案的优缺点对比见表 5。

表 5 天鹅荡无人驾驶车辆基地转换轨设置方案对比表

Tab.5 Scheme comparison table of transfer track setting of Tian'edang driverless vehicle base

方案	分区合理性	分区是否切割段内主干道路	分区是否独立,信号控制有无影响
方案 1	合理	无切割	2 条牵出线间的部分进路在无人区和有人区重叠,需增加信号控制,段内有人区调车运行至联络线时需增加开放信号进路控制
方案 2	合理	分区对段内道路不产生有人区和无人区的切割,需考虑在道路上设置分区隔离设施	无人区和有人区无重叠进路,不需增加信号进路控制
方案 3	合理	无切割	无人区和有人区无重叠进路,不需增加信号进路控制

通过对比分析 3 种转换轨设置方案可以发现,转换轨方案 3 相较方案 2,其功能分区对于段内道路未产生物理切割,无需增加段内道路分区隔离设施;相较方案 1,无人区和有人区分区完整独立,无重叠进路,不需增加信号进路控制。综上所述,推荐方案 3 为无人驾驶转换轨(牵出线)设计方案。

5 天鹅荡无人驾驶车辆基地的主要技术经济指标

天鹅荡无人驾驶车辆基地的主要技术经济指标见表 6。

表 6 天鹅荡无人驾驶车辆基地的主要技术经济指标表
Tab.6 Main technical and economic indexes of Tian’edang Driverless Vehicle Depot

项目	配属车数/列	不同检修项目的车辆设计规模/列位				土石方量/ m ³	拆迁房屋 面积/m ²	新建房屋 面积/m ²	总用地面 积/万 m ²
		定修	临修	周月检	停车列检				
初期	54	2	1	4	50				
近期	54	2	1	4	50	339 267	8 357	82 610	33.300
远期	54	2	1	4	50				

6 结语

本文基于既有停车场总平面方案和预留扩建条件,通过研究改扩建为无人驾驶车辆段的方案可行性,提出无人驾驶改造方案过渡期的实施策略和对策,以保证工程的可实施性和满足运营需求,总结提出无人驾驶库线长的计算方法,并研究分区转换轨的设计方案,提出联络线设置无人驾驶转换轨的方案,保证了无人驾驶分区各自独立和段内消防通道的通畅。可为后续无人驾驶车辆基地设计及改造提供参考。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People’s Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China. Code for Design of Metro:GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Construction Industry Press,2013.

[2] 王亚丽. 基于全自动驾驶技术的南京地铁 7 号线高架车辆段设计 [J]. 城市轨道交通研究,2018 (10) : 142.
WANG Yali. Design of the elevated depot for Nanjing Metro Line 7 based on fully automatic operation [J]. Urban Mass Transit, 2018 (10) : 142.

[3] 李猛,张艳兵,徐成永,等. 全自动运行系统地铁车辆关键技术 [J]. 都市快轨交通,2018 (1) : 123.
LI Meng,ZHANG Yanbing,XU Chengyong,et al. Key technology of vehicle in fully automatic operation system [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018 (1) : 123.

[4] 梁九彪. 地铁无人驾驶工程的匹配设计 [J]. 城市轨道交通研究,2014 (2) : 4.
LIANG Jiubiao. On unmanned metro engineering requirements for matching design [J]. Urban Mass Transit, 2014 (2) : 4.

[5] 朱蓓玲,宋键. 全自动无人驾驶车辆功能与特点 [J]. 地下工程与隧道,2005 (4) : 33.
ZHU Beiling, SONG Jian. Functions and characteristics of fully automatic driverless vehicle [J]. Underground Engineering and Tunnel, 2005 (4) : 33.

[6] 郭泽阔. 全自动驾驶车辆段总体布局方案设计 [J]. 都市快轨交通,2017 (2) : 42.
GUO Zekuo. Overall depot layout for fully automatic operation in urban rail transit [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017 (2) : 42.

[7] 张海涛,梁汝军. 地铁列车全自动无人驾驶系统方案 [J]. 城市轨道交通研究,2015 (5) : 33.
ZHANG Haitao, LIANG Rujun. Introduction to the unattended train operation system on metro train [J]. Urban Mass Transit, 2015 (5) : 33.

[8] 曹津晖. 首都国际机场线车辆基地的规划与设计研究 [D]. 天津:天津大学,2005.
CAO Jinhui. Research on the vehicle base planning and design of Capital International Airport Line [D]. Tianjin:Tianjin University, 2005

[9] 杨铭. 地铁车辆基地综合总图设计要求初探 [J]. 城市轨道交通研究,2013 (10) : 106.
YANG Ming. Design of the comprehensive general layout for urban rail transit depot [J]. Urban Mass Transit, 2013 (10) : 106.

[10] 叶芹禄. 如何做好车辆段总图设计与施工 [J]. 铁道勘测与设计,2010 (6) : 14.
YE Qinlu. How to design and construct the general layout of depot [J]. Railway Survey and Design, 2010 (6) : 14.

(收稿日期:2019-02-19)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com