

# 城市轨道交通快慢车模式下乘客出行时间优化方法研究

张鑫<sup>1</sup> 丁小兵<sup>1</sup> 刘志钢<sup>1</sup> 吴金龙<sup>2</sup>

(1. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海;  
2. 扬州工业职业技术学院交通工程学院, 225127, 扬州//第一作者, 硕士研究生)

**摘 要** 在城市轨道交通快慢车运营组织模式下,对乘客出行时间进行分析,建立乘客出行时间最小模型;利用遗传算法,通过 MATLAB 程序对该模型进行求解;结合上海轨道交通 16 号线客流量进行验证,开行快慢车后乘客总出行时间为 25 642 h,较开行前减少 1 054 h,节省出行时间 3.9%。对比原运营方案,优化方案可在一定程度上节省乘客出行时间,为出行提供便利。

**关键词** 城市轨道交通;快慢车模式;乘客出行时间;遗传算法

**中图分类号** F530.7

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.10.013

**Study of Passenger Travel Time Optimization under Urban Rail Transit Fast and Slow Mode**  
ZHANG Xin, DING Xiaobing, LIU Zhigang, WU Jinlong

**Abstract** The passenger travel time is firstly analyzed under the fast and slow train running organization mode, a model of minimum passenger travel time is established. Then, the genetic algorithm is used to solve the model through MATLAB program, and the calculation result is verified by the passenger flow data of Shanghai metro Line 16. The result shows that total passenger travel time after adopting the fast and slow train mode is 25 642 hours, 1 054 hours less than before adopting the operation mode, saving 3.9% of the travel time. Obviously, the optimized fast and slow train mode can save passenger travel time to some extent compared with the original train stop plan, and provide convenience for passengers.

**Key words** urban rail transit; fast and slow train mode; passenger travel time; genetic algorithm

**First-author's address** College of Urban Rail Transit, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

形式单一,缺乏针对性。因此,采用快慢车组合运营模式能够满足不同出行乘客的需求,以保证城市轨道交通优良的服务质量。

文献[1]对乘客的旅行时间和列车区间运营时间等方面进行了分析,并构建了相关模型;文献[2]根据乘客的选择行为,在传统模式和快慢车模式下分别构建了以时间和成本最小为目标的优化模型,利用遗传算法对案例进行求解;文献[3]对快、慢车跨站停车方案进行对比分析,构建了节省时间最多的 0/1 整数跨站模型,并利用禁忌搜索法进行案例求解;文献[4]通过对乘客出行时间和车站重要度进行分析,设计启发式蚁群算法,利用问卷调查获得相关数据对上海轨道交通 16 号线进行模型求解。

上述成果为乘客出行时间的研究提供了一定帮助,但缺少考虑不同乘客类型所引起的乘客出行时间变化。本文从乘客类型出发,根据乘客起讫点的不同将乘客划分类型,在此基础上对乘客出行时间进行分析,并构建相关模型,结合实际情况设计适当算法来缩短乘客出行时间。

## 1 城市轨道交通快慢车运营组织模式下乘客出行时间分析

快慢车运营组织模式是指在开行慢车的同时,开行快车的一种模式。该模式能够较好地解决客流的时空分布不均衡性。图 1 为快慢车停站模式图。

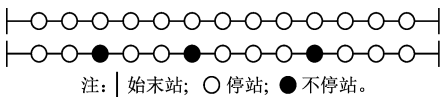


图 1 城市轨道交通快慢车停站模式图

Fig.1 Stop mode diagram of fast and slow urban rail transit trains

目前,城市轨道交通一般采用站站停模式,其

本文从乘客的角度来研究出行时间。乘客的出行时间可由乘客进站和出站时间、候车时间、在车时间及换乘时间等组成。乘客的出行时空分布,如图 2 所示。

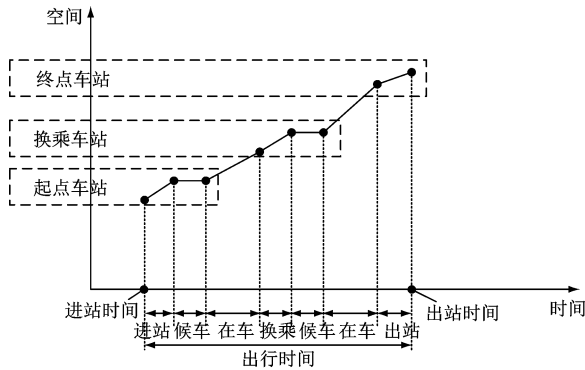
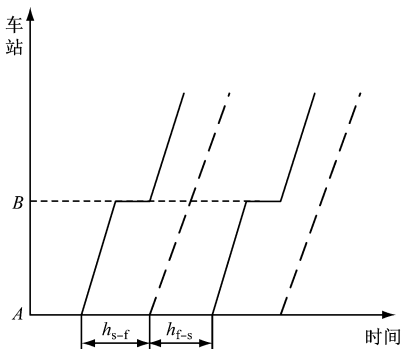


图 2 乘客出行时空分布图

Fig. 2 Spatial and temporal distribution of passenger travel

### 1.1 列车发车间隔

快慢车发车间隔关系如图 3 所示。其中,  $A$ 、 $B$  为车站。



注:  $h_{s-f}$ ——前行慢车和后行快车的发车间隔;  
 $h_{f-s}$ ——前行快车和后行慢车的发车间隔。

图 3 快慢车发车间隔关系

Fig. 3 Relationship between fast and slow departure intervals

列车越行受始发站前行慢车和后行快车发车间隔的影响,且应满足:

$$I_m \leq h_{s-f} \leq \frac{T}{f_s} - I_m \quad (1)$$

式中:

$I_m$ ——列车最小追踪间隔时间;

$f_s$ ——慢车发车频率;

$T$ ——研究时段。

### 1.2 列车越行

当后行快车在  $n$  站超越前行慢车时,  $n$  站即为越行站,即:

$$h_{s-f} - \sum_{j=2}^n [(1 - x_k)t_k] \leq I_m \quad (2)$$

式中:

$x_k$ ——1 或 0, 当  $x_k = 1$  时,列车在  $k$  站停站;当  $x_k = 0$  时,列车在  $k$  站不停站;

$t_k$ ——列车在  $k$  站的停站时间。

当快车越行时,需要延长慢车在  $n$  站的停站时间来避让快车。此时慢车的待避时间为:

$$t_n = 2I_m \quad (3)$$

式中:

$t_n$ ——在越行站  $n$  时慢车的待避时间。

### 1.3 乘客候车时间

乘客候车时间是指乘客到达站台时起至乘坐某列列车出发时止的时间。

当快车数量和慢车数量按 1:1 发车,且两者发车频率相等时,乘客出行只能选择一种列车,则乘客候车时间为:

$$t_{h,r-s} = \frac{1}{2} \frac{T}{f_s} \quad (4)$$

式中:

$t_{h,r-s}$ —— $r$  站— $s$  站区间乘客候车时间总和。

### 1.4 乘客在车时间

乘客在车时间是指乘客在列车内经历的时间,包括列车区间运行时间和停站时间。本文根据乘客出行起讫点的差别将乘客分为 3 种类型:

1) 第 1 种类型:乘客只乘坐快车或者慢车。此时乘客在车时间  $t_{z1}$  为:

$$t_{z1} = t_{r-s} + \sum_{k=r+1}^{s-1} x_k t_k \quad (5)$$

式中:

$t_{r-s}$ ——列车在  $r$  站— $s$  站区间的运行时间。

2) 第 2 种类型:乘客从起点乘坐慢车,到达  $u$  站后换乘快车并到达终点站。此时乘客的在车时间  $t_{z2}$  为:

$$t_{z2} = t_{r-s} + \sum_{k=r+1}^{u-1} t_k + \sum_{k=u+1}^{s-1} x_k t_k \quad (6)$$

3) 第 3 种类型:乘客从起点乘坐快车,到达  $u$  站后换乘慢车并到达终点站。此时乘客的在车时间  $t_{z3}$  为:

$$t_{z3} = t_{r-s} + \sum_{k=r+1}^{u-1} x_k t_k + \sum_{k=u+1}^{s-1} t_k \quad (7)$$

### 1.5 列车停站时间

列车停站时间从列车停稳开始计算,包括列车

开门时间、上下客时间、关门时间等。列车停站时间与列车和乘客等相关因素有关。列车停站时间为：

$$\begin{cases} t_f = t_{OP} + t_C + t_D + P\psi t_{UD}/(LDm_h) \\ t_s = t_{OP} + t_C + t_D + P\psi t_{UD}/(LDm_h) + t_n \end{cases} \quad (8)$$

式中：

- $t_f$ ——快车停站时间；
- $t_s$ ——慢车停站时间；
- $t_{OP}$ ——列车从停稳到开门的时间；
- $t_C$ ——车门开、关门时间；
- $t_D$ ——列车从关门到起动时间，取 3 s；
- $P$ ——站台上、下车客流量；
- $\psi$ ——乘客不均匀分布影响系数；
- $t_{UD}$ ——每位乘客平均上、下车花费时间；
- $L$ ——车门通道数；
- $D$ ——每列列车的车门数量；
- $m_h$ ——列车每小时开行列数；
- $t_n$ ——在越行站  $n$  时慢车的待避时间。

1.6 乘客换乘时间

乘客换乘时间为乘客在中间站换乘时所需要的时间。换乘时间由走行时间和候车时间等 2 部分构成。本文规定乘客在同站台进行换乘，不考虑乘客的走行时间，因此换乘时间相当于前行慢车与后行等待快车在换乘站的间隔时间。乘客换乘时间  $t_{tr}$  为：

$$t_{tr} = \sum_{k=r+1}^{s-1} [(1 - x_k)t_k] \quad (9)$$

式中：

- $t_k$ ——快车或慢车停站时间。

1.7 乘客数量

对应上述乘客的 3 种类型，将乘客数量分为  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  3 种：

1) 第 1 种客流起讫点均为快车站或慢车站，其乘客总量  $A_1$  为：

$$A_1 = \sum_{r=1}^{N-1} x_r \sum_{s=r+1}^N x_s q_{r-s} \quad (10)$$

2) 第 2 种客流起讫点分别为慢车站和快车站，其乘客总量  $A_2$  为：

$$A_2 = \sum_{r=1}^{N-1} (1 - x_r) \sum_{s=r+1}^N x_s q_{r-s} \quad (11)$$

3) 第 3 种客流起讫点分别为快车站和慢车站，其乘客总量  $A_3$  为：

$$A_3 = \sum_{r=1}^{N-1} x_r \sum_{s=r+1}^N (1 - x_s) q_{r-s} \quad (12)$$

式中：

- $q_{r-s}$ —— $r$  站— $s$  站区间的客流；
- $x_r$ 、 $x_s$ ——在站台  $r$  及站台  $s$  是否停车，取 0 或 1；
- $N$ ——车站数量。

1.8 快慢车开行比例

快慢车开行比例是影响线路通过能力的主要因素之一。快慢车不同开行比例下，理论上线路的最大通过能力，如表 1 所示。

表 1 快慢车不同开行比例下的线路理论最大通过能力值  
Tab. 1 Theoretical line maximum capacity value under different ratios of fast and slow trains

快慢车开行比例	通过能力/(对/d)
4:1	33
3:1	32
2:1	30
1:1	26
1:2	27
1:3	28
1:4	28

2 乘客出行时间最小模型的建立

本文主要从乘客的类型出发，建立乘客出行时间最小模型，即通过减少乘客的出行时间实现整体效益最大化。

2.1 模型假设

- 1) 快慢车性能参数一致，如车型等。
- 2) 快慢车开行比例为 1:1。
- 3) 不考虑突发事故，如设备故障、突发大客流、灾害等影响因素。
- 4) 确定停站方案后不发生变更。

2.2 目标函数

本文将开行快慢车后乘客的总出行时间最小作为目标函数。乘客的总出行时间及其组成为：

$$\min Z = T_{候} + T_{换} + T_{在} \quad (13)$$

$$T_{候} = A_1 t_{h1,r-s} + A_2 t_{h2,r-s} + A_3 t_{h3,r-s} \quad (14)$$

$$T_{换} = (A_2 + A_3)t_{tr} \quad (15)$$

$$T_{在} = A_1 t_{z1} + A_2 t_{z2} + A_3 t_{z3} \quad (16)$$

式中：

- $Z$ ——全线乘客总出行时间；
- $T_{候}$ ——全线乘客总候车时间；
- $T_{换}$ ——全线乘客总换车时间；

$T_{\text{在}}$ ——全线乘客总在车时间;

$t_{h1,r-s} \setminus t_{h2,r-s} \setminus t_{h3,r-s}$ ——3 种类型乘客候车时间。

## 2.3 约束条件

1) 快车停站约束: 快车在起始站和终点站  $n$  停站。

$$x_1 = x_n = 1 \quad (17)$$

式中:

$x_1$ ——列车是否在起始站停站;

$x_n$ ——列车是否在终点站停站。

2) 快慢车开行比例约束: 快车和慢车开行比例为 1:1, 即:

$$f_f = f_s \quad (18)$$

式中:

$f_f$ ——快车发车频率。

3) 快车跨站数量约束: 列车至少跨行 1 站。

$$\sum_{k=1}^n x_k < N_0 \quad (19)$$

式中:

$N_0$ ——越行站总数。

4) 列车发车频率约束: 总发车频率在规定发车频率范围内。

$$f_{\min} \leq f_f + f_s \leq f_{\max} \quad (20)$$

式中:

$f_{\min}$ ——最小规定发车频率;

$f_{\max}$ ——最大规定发车频率。

5) 满载率约束: 总发车频率保持一定满载率。

$$\frac{A_{\max}}{P\eta_{\min}} \leq f_f + f_s \leq \frac{A_{\max}}{P\eta_{\max}} \quad (21)$$

式中:

$A_{\max}$ ——区间最大断面客流量;

$P$ ——列车定员;

$\eta_{\min}$ ——平均满载率下限;

$\eta_{\max}$ ——平均满载率上限。

## 2.4 遗传算法设计

本文以乘客出行时间最小为目标构建单目标非线性规划优化模型。该模型一般可通过遗传算法来进行求解。图 4 为遗传算法流程图。

1) 染色体编码。为了确认快车的数量和停站位置,需对停站方案进行二进制编码。

2) 初始种群。设初始化父代种群为  $P_0$ , 考虑到起始站和终点站的停站约束条件,可产生  $n_0$  个初始解。

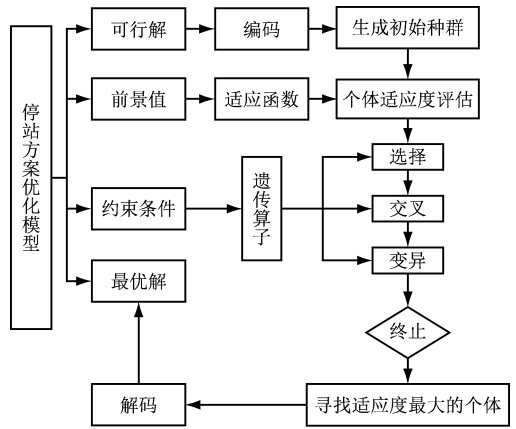


图 4 遗传算法流程图

Fig. 4 Flow chart of genetic algorithm

3) 适应度函数。该函数可以用来鉴别种群个体的优劣。采用  $c(x)$  表示目标函数,  $C$  表示种群函数的最大值。则适应度函数  $f(x)$  为:

$$f(x) = C - c(x) \quad (22)$$

4) 选择操作。本文采用轮赌盘选择操作,即被挑选出个体的概率随着适应度函数值的增大而增加。

5) 交叉操作。本文采用单点交叉操作,通过随机选择的某个点,以该点为界,将左右两处编码分别进行交换。

6) 变异操作。变异操作采用基本位变异的方法,从新生成的群体中随机选取一个表示快车是否停站的某一个基因位。

## 3 实例分析

### 3.1 上海轨道交通 16 号线概况

上海轨道交通 16 号线(以下简为“16 号线”)起始站为龙阳路站,终点站为滴水湖站。线路长度为 59.334 km,车站总数量为 13 座。现运行的列车为 A 型,其中,快车为 3 节编组,慢车为 6 节编组。列车最高运行速度为 120 km/h。上海轨道交通 16 号线各区间长度,如表 2 所示。

16 号线快慢车运营信息如表 3 所示。

### 3.2 上海轨道交通 16 号线客流量

以 1 h 为间隔对 16 号线 AFC(自动售检票)系统及闸机的客流量进行采样,获得沿线车站早、晚高峰进站客流量,如表 4 所示。

表 2 16 号线各区间长度

Tab.2 Length of each section on metro Line 16	
区间	长度/km
1—2	4.5
2—3	2.6
3—4	5.0
4—5	3.6
5—6	2.6
6—7	3.6
7—8	4.9
8—9	6.0
9—10	5.7
10—11	10.7
11—12	6.9
12—13	2.6

表 3 16 号线快慢车运营信息

Tab.3 Operation information of Line 16 fast and slow trains		
停站方案	旅行时间/s	旅行速度/(km/h)
快车	2 060	103.6
慢车	2 864	74.2

表 4 16 号线沿线车站早、晚高峰进站客流量

Tab.4 Passenger flow of stations along Line 16 in morning and evening peak hours		
车站	停站时间/s	客流量/(人次/h)
龙阳路站	45	1 978
华夏中路站	40	942
罗山路站	40	1 260
周浦东站	30	1 026
鹤沙新城站	30	392
航头东站	30	280
新场站	30	1 624
野生动物园站	30	570
惠南站	45	1 006
惠南东站	30	296
书院站	45	660
临港大道站	40	412
滴水湖站	0	1 506

16 号线某工作日高峰小时 OD(起讫点)客流量,如表 5 所示。

表 5 16 号线某工作日高峰小时 OD 客流量

Tab.5 Peak hour OD passenger flow of metro Line 16 in a working day														
起始站	不同终点站时高峰小时 OD 客流量/(人次/h)													合计/ (人次/h)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0	181	249	75	24	99	78	89	363	35	736	133	719	2 782
2	60	0	316	86	28	32	15	48	240	9	460	83	319	1 696
3	75	61	0	82	27	71	32	77	299	20	305	55	219	1 323
4	88	78	101	0	16	29	23	28	74	23	52	9	45	564
5	34	30	39	20	0	11	9	11	29	9	20	4	17	233
6	93	28	65	55	18	0	5	24	84	30	36	7	46	490
7	78	17	32	48	16	28	0	15	49	23	28	5	50	387
8	104	53	83	35	12	38	14	0	45	7	35	6	32	465
9	387	170	292	82	27	208	201	96	0	121	399	72	443	2 499
10	34	33	22	40	13	53	84	28	59	0	34	6	29	435
11	760	437	103	53	17	61	74	100	430	127	0	129	620	2 911
12	151	87	21	11	3	12	15	20	86	25	47	0	123	600
13	726	364	187	45	15	47	52	55	380	121	93	17	0	2 101
合计	2 591	1 538	1 509	631	215	688	600	592	2 136	549	2 247	528	2 662	16 486

3.3 模型求解

取最小规定发车间隔为 5 min,研究时段为 1 h,满载率上限为 1.3,定员为 216 人。快慢车旅行时

间、旅行速度及停站时间按表 3~4 进行取值。

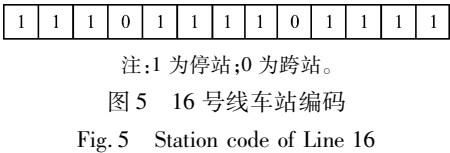
通过遗传算法,首先对最大迭代次数、初始种群大小等参数进行取值,再对染色体进行编码,最

后进行计算分析。

1) 参数取值。遗传参数取值见表 6。

表 6 遗传参数取值	
Tab.6 Genetic parameter value	
参数	取值
最大迭代次数	150
初始种群大小	150
交叉概率	0.8
变异概率	0.05

2) 染色体编码。该线路共有 13 座车站,采用图 5 所示的二进制方法对车站进行编码。



3) 计算方式。运用 Matlab 编程软件,以该案例所设定的参数为基础,对快慢车模型进行求解,得到乘客总出行时间与总发车次数的关系,如图 6 所示。由图 6 可知,乘客总出行时间初期随总发车次数的增加而减少,之后趋于平稳;当总发车次数为 22 次时,乘客总出行时间为最小。

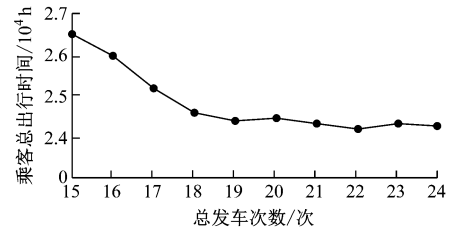


图 6 乘客总出行时间与总发车次数关系变化图

Fig. 6 Relationship between passenger total travel times and total departure times

3.4 优化结果

16 号线最优停站方案如表 7 所示。由表 7 可知,总发车次数为 22 次,快车和慢车均为 11 列/h,快车经停站均为上、下车客流量较大的车站,即在 1、3、7、9、12、13 站停站。开行快慢车后乘客总出行时间为 25 642 h,比开行前减少 1 054 h,节约 3.9%,这对于高峰时期通勤客流而言比较重要。对于城市轨道交通运营系统整体而言,减少了乘客的总出行时间。开行快慢车后,停站数量相比之前减少,缩短了部分乘客的总出行时间,给乘客出行带来了便利。

表 7 16 号线停站优化方案				
Tab.7 Stop optimization scheme of Line 16				
车站	大站停		站站停	
	$x_k$	时间/s	$x_k$	时间/s
龙阳路站	1	45	1	35
华夏路站	0	0	1	30
罗山路站	1	35	1	35
周浦东站	0	0	1	30
鹤沙航城站	0	0	1	30
航头东站	0	0	1	30
新场站	1	40	1	35
野生动物园站	0	0	1	30
惠南站	1	35	1	35
惠南东站	0	0	1	30
书院站	0	0	1	30
临港大道站	1	30	1	30
滴水湖站	1	40	1	35

4 结语

在快慢车模式下,乘客的候车时间与慢车出行时间会增加。仅当快慢车开行比例在适当范围内,才可在一定程度上降低快车出行时间,从而最大化节省乘客的出行时间。通过停站优化方案,乘客的出行效率可得到有效提高。

参考文献

[1] LIU Z, YAN Y, QU X, et al. Bus Stop-skipping scheme with random travel time [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 35 (9): 46.

[2] 张要. 组合交路条件下城市轨道交通列车停站方案优化研究 [J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2017 (3): 99.

ZHANG Yao. Study on optimization of train stop scheme of urban rail transit under combined routing [J]. Journal of Shijiazhuang Railway University (Natural Science Edition), 2017 (3): 99.

[3] 郑锂, 宋瑞, 何世伟, 等. 城市轨道交通跨站停车方案优化模型及算法 [J]. 铁道学报, 2009 (6): 1.

ZHENG Li, SONG Rui, HE Shiwei, et al. Optimization model and algorithm of cross station parking scheme of urban rail transit [J]. Journal of Railways, 2009 (6): 1.

[4] 丁小兵, 徐行方. 基于出行时间的快慢车停站方案优化算法 [J]. 城市轨道交通研究, 2016 (6): 55.

DING Xiaobing, XU Xingfang. Optimization algorithm of fast and slow train stop scheme based on transit time [J]. Urban Mass Transit, 2016 (6): 55.

需求的设备,将该类设备靠近库房外墙布置,并提前预留相关通风管引出口设置条件。

## 4 结语

地铁车辆段大架修工艺设备包容性设计,适用于车辆架大修时序尚早的情况,可避免大架修工艺设备的闲置和老化,满足工艺设备未招标情况下土建实施工期要求。尤其是适用于采用整体结构底板方案的大架修库。目前,国内关于大架修工艺设备包容性设计的研究较少,笔者根据大架修车辆段实际项目实施经验,提出了大架修工艺设备包容性设计方案。该方案预留了后期设备安装的二次浇注条件,同时设计了设备基础坑的封闭与防护方案。

## 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, 2013:241.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development 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 Architecture & Building Press, 2013: 241.
- [2] 周鸣语. 地铁车辆段与综合维修基地工艺设备接口[J]. 城市轨道交通研究, 2007(10):71.  
ZHOU Mingyu. On the interface of depot equipment of metro[J]. Urban Mass Transit, 2007(10):71.

- [3] 张雄,张荫. 地铁车辆段大架修设计能力计算方法研究[J]. 铁道工程学报, 2013(10):106.  
ZHANG Xiong, ZHANG Yin. Research on calculation method for capacity of car overhaul and heavy repair works in metro depots [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013(10):106.
- [4] 张雄. 地铁车辆段大架修移位作业工艺设计研究[J]. 铁道工程学报, 2016(10): 122.  
ZHANG Xiong. Research on the flow process workshop design of car overhaul and heavy repair works in metro depots[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016(10):122.
- [5] 肖瑞金. 国外地铁车辆段的设计和车辆维修设施[J]. 都市轨道交通, 2005(1): 75.  
XIAO Ruijin. Design ideas and car maintenance equipment of some foreign metro depots[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2005(1):75.
- [6] 张继彤,张济民. 深圳横岗车辆段主要检修工艺装备综述[J]. 城市轨道交通研究, 2012(5):117.  
ZHANG Jitong, ZHANG Jimin. Summary of main vehicle maintenance equipments in Heng-gang depot[J]. Urban Mass Transit, 2012(5):117.
- [7] 叶芹禄,姚应峰. 城市轨道交通车辆段设备国产化存在问题及对策[J]. 都市轨道交通, 2012(6):5.  
YE Qinlu, YAO Yingfeng. Existing problems and countermeasures for localization of metro depot equipment[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012(6):5.
- [8] 赖于坚. 地铁车辆段三大检修工艺设备的技术接口[J]. 都市轨道交通, 2007(5):92.  
LAI Yujian. Technical interfaces of equipments in metro depot [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007(5):92.

(收稿日期:2020-06-13)

(上接第 70 页)

- [5] 王智鹏,罗霞. 城市轨道交通快慢车停站方案优化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2015(12): 91.  
WANG Zhipeng, LUO Xia. Optimization of parking scheme for fast and slow trains of urban rail transit [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2015(12): 91.
- [6] 赵洪诚,王金香,张戢. 基于可达性的高速铁路列车停站方案优化研究[J]. 铁道运输与经济, 2012(9):36.  
ZHAO Hongcheng, WANG Jinxiang, ZHANG Jian. Study on optimization of train stop scheme of high-speed railway based on accessibility [J]. Railway Transportation and Economy, 2012(9): 36.

- [7] 屈明月,黄树明. 城市轨道交通快慢车方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2012(4):79.  
QU Mingyue, HUANG Shuming. Study on fast and slow train scheme of urban rail transit [J]. Railway Transportation and Economy, 2012(4): 79.
- [8] 向红. 地铁快慢车模式研究体系的建立[J]. 铁道工程学报, 2014(8):101.  
XIANG Hong. The establishment of the express/slow metro train organization mode's research system [J]. Journal of Railway Engineering, 2014(8): 101.

(收稿日期:2019-11-26)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704