

## 地铁车辆维保部门定员计算方法研究\*

钱科元<sup>1</sup> 杨文锐<sup>2</sup> 李 涛<sup>2</sup> 王孔明<sup>1</sup> 张茂帆<sup>1</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都;

2. 金华市轨道交通集团运营有限公司, 321017, 金华//第一作者, 工程师)

**摘要** 目的:地铁车辆维保部门作为地铁系统重要的组成部分,目前其定员配置在国内尚无统一的计算方法,而合理地确定地铁项目定员配置对节省投资减少运营成本有着显著作用。为此,需开展地铁车辆维保部门定员计算方法的研究。**方法**:对国内城市轨道交通系统定员研究现状进行了梳理,归纳分析车辆维保部门的组织架构、功能及岗位设置;充分考虑人员工作效率、检修工作量、岗位班制、设备配置及使用频率等多种影响定员配置的因素;提出了车辆检修车间、设备车间和技术管理岗定员计算方法。**结果及结论**:应用该方法确定了不同岗位班制下车辆维保部门定员配置方案,分析了存在的问题,提出了解决措施。通过案例计算可知:若采用四班制的运用工班作业,将会导致人员不能充分利用,造成浪费,建议采用“均衡修”模式,优化定员数量;采用一班制的列检工班和二班制的双周检工班也能减少定员数量,初、近、远期分别能减少 15 位、49 位、56 位检修车间一线作业人员。

**关键词** 地铁车辆;维保部门;定员计算方法

**中图分类号** U279.1; F530.64

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.07.037

## Calculation Method of Metro Vehicle Maintenance Department Personnel Capacity

QIAN Keyuan, YANG Wenrui, LI Tao, WANG Kongming, ZHANG Maofan

**Abstract** **Objective**: Metro vehicle maintenance department is an important composition part of metro system, which currently lacks a unified calculation method for its personnel capacity allocation in China, and reasonable determination of metro project personnel capacity allocation has a significant effect on saving investment and reducing operation costs, for this purpose the study of metro vehicle maintenance department personnel capacity calculation method is carried out. **Method**: After sorting out the research status of urban rail transit system personnel capacity in China, the organizational structure, function and post setting of the vehicle maintenance department are

summarized and analyzed. Various factors affecting personnel capacity allocation such as personnel work efficiency, maintenance workload, post shift system, equipment configuration and usage frequency are fully considered. The capacity calculation methods for vehicle maintenance workshop, equipment workshop and technical management posts are proposed. **Result & Conclusion**: By applying this method, the personnel capacity allocation schemes for the vehicle maintenance department under different post shift systems are determined. Existing problems are analyzed, and solutions are put forward. It is found from case calculation that: (1) if four-shift system is adopted for shift operations, personnel utilization insufficiency and human resource waste will consequently occur, thus it is recommended to adopt 'balanced repair' mode for optimal capacity number; (2) using the 'one-shift' line inspection shift and the 'two-shift' bi-weekly inspection shift can also reduce capacity number, reducing maintenance workshop frontline staff number by 15, 49, and 56 for the early, short and long term respectively.

**Key words** metro vehicle; maintenance department; personnel capacity calculation method

**First-author's address** China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China

定员配置和运营成本有关,据相关文献研究表明,运营成本中人员工资占比达 30%~40%<sup>[1]</sup>。在定员配置方面,国内已对站务、乘务、工务定员和技术管理岗等定员配置进行了研究,而车辆维保部门的定员配置尚未涉及。在站务定员配置方面,国内学者通过总结多年来地铁运营经验,考虑到客流因素、车站规模和作业类型等因素的影响,得到了站务定员配置计算方法,其结果与实际较为吻合<sup>[2]</sup>。在乘务的定员配置方面,国内学者提出按照人车比配备乘务员,并指出了传统乘务班组管理的不足,

\* 中铁二院科学技术研究计划项目(KSNQ202044, KYY2019097(19-21))

对其进行了优化,提出了更低的人车比系数,以减少乘务员的配置<sup>[3]</sup>。在工务的定员配置方面,国内学者按照里程或者设备数量提出指标及注意事项,并得出计算公式<sup>[4]</sup>。在技术管理岗的定员配置方面,国内外学者还提出了在一线作业定员基础上计算技术、管理岗位定员的预测模型<sup>[5-6]</sup>。本文考虑检修人员工作效率、各级检修工作量和工艺设备配置数量及使用频率等众多因素的影响,引入“折算时长”统计物理量,提出车辆检修车间和设备车间定员计算方法,并将该方法得以应用。

### 1 车辆维保部门的组织架构及相关情况

车辆维保部门通常会设置设备车间和检修车间。设备车间主要负责场段内的工艺设备操作、保养、维修及相关的安全技术管理工作。大型车辆基地的检修车间包括运用车间和大架修车间。其中:运用车间含运用工班、检修工班,运用工班(不含乘务人员)负责列检、双周检和临修任务,检修工班负责三月检和定修任务,同时运用车间还需负责与车辆运用定修有关的安全技术管理工作,并负责定临修库内设置的起重机、叉车和电瓶车的驾驶工作;大架修车间主要负责车辆的大架修工作。地铁车辆维保部门组织架构及岗位情况如图 1 所示。

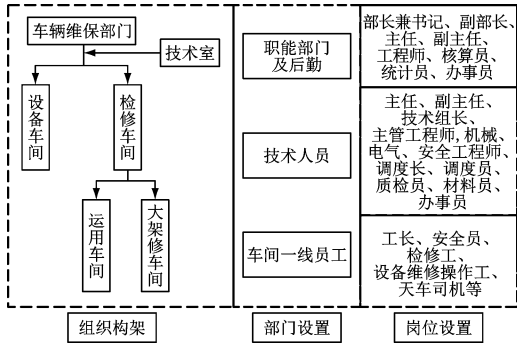


图 1 地铁车辆维保部门组织架构及岗位情况

Fig. 1 Organizational architecture and job post status of metro vehicle maintenance department

## 2 定员配置的主要影响因素

### 2.1 检修工的工作效率

影响检修员工工作效率的因素众多,员工的个人素质、业务的熟练程度,以及使用的检修设备性能和运营公司的管理制度等都会对工作效率产生影响。本文引入一个物理量去度量这些因素,其物

理意义为每人完成 1 辆车的某项检查所需的小时数,通过调研和搜集资料等方式将该物理量进行量化。

根据调研,某地铁运营公司 2 人完成 1 列车(6 节编组)双日检作业需 1 h;8 人完成 1 列车双周检作业需 6 h,其中 3 人负责车顶检修作业,3 人负责车厢作业,2 人负责车辆底部作业;10 人完成 1 列车三月检作业需 72 h,其中 3 人负责车顶检修作业,3 人负责车厢作业,4 人负责车辆底部作业;18 人完成 1 列车年检作业需 120 h,其中 6 人负责车顶检修作业,6 人负责车厢作业,6 人负责车辆底部作业。

现假设:①每位检修工的工作效率一样;②地铁车辆的头尾车、中间车检修耗时一样。根据调研结果可得到地铁车辆各级修程折算时长统计如表 1 所示。

表 1 地铁车辆各级修程折算时长统计

Tab.1 Statistics on the conversion duration of all metro vehicle maintenance schedules

检修修程	检查范围	折算时长/(人·h/辆)
双日检(列检)	整辆车合计	1/3
	车顶	3
双周检	车顶	3
	车底	2
	整辆车合计	8
三月检	车顶	18
	车顶	18
	车底	24
	整辆车合计	60
年检(定修)	车顶	60
	车顶	60
	车底	60
	整辆车合计	180

### 2.2 各级修程(含临修)的工作量

地铁车辆维修工作量不仅和车辆性能有关,还受线路条件、行车组织方案、线路里程等因素的影响。本文借鉴车辆基地规模计算方法,确定各级修程(含临修)的工作量。

### 2.3 工艺设备配置情况

地铁车辆段内通常会配置一些大型的工艺设备,如不落轮镟床、洗车机、架车机以及接触网检测车、轨道打磨车、内燃调机等工程车辆。设备车间负责这些设备的操作或维修,据调研,人员可按设备数量的一定比例配置,如表 2 所示。

表 2 设备车间人员配置与工艺设备配置关系

Tab.2 Relation between equipment workshop personnel allocation and process equipment allocation

类别	设备名称	人员配置系数
工艺设备操作类	不落轮镗床	2 人/台
	洗车机	2 人/台
	固定式架车机	3 人/台
	移动式架车机	1 人/台
	移车台	1 人/台
工程车维修类	大客车	1 人/辆
	接触网工程车	2 人/辆
	轨道打磨车	2 人/辆
	内燃机车	2 人/辆
	轨道平板吊车	2 人/辆

3 地铁车辆维保部门定员计算方法

3.1 各级修程检修人员的定员计算

3.1.1 工作量的确定

1) 地铁车辆修程。依据 GB 50157—2013《地铁设计规范》确定地铁车辆检修修程和检修周期。

2) 按年走行公里指标  $S_{\text{年}}$  确定检修工作量。

$$S_{\text{年}} = 2 \times 365 \times \sum_{i=1}^n (J_i N_i) \tag{1}$$

式中：

- $i$ ——交路类别；
- $J_i$ ——交路  $i$  的运营里程,单位 km；
- $N_i$ ——交路  $i$  的全日运用车数,单位 列。

$$N_{\text{大修}} = S_{\text{年}} / S_{\text{大修}} \tag{2}$$

$$N_{\text{架修}} = (S_{\text{年}} / S_{\text{架修}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{大修}}) \tag{3}$$

$$N_{\text{定修}} = (S_{\text{年}} / S_{\text{定修}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{架修}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{大修}}) \tag{4}$$

$$N_{\text{三月检}} = (S_{\text{年}} / S_{\text{三月检}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{定修}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{架修}}) - (S_{\text{年}} / S_{\text{大修}}) \tag{5}$$

式中：

$N_{\text{大修}}$ ——大修修程的工作量,其他参数可同理确定；

$S_{\text{大修}}$ ——车辆检修修程中大修修程走行公里指标,其他参数可同理确定。

3.1.2 各级修程检修人员计算

各级修程全年折算时长  $L_j$  为：

$$L_j = N_j B l_j \tag{6}$$

式中：

- $j$ ——检修修程类别；
- $N_j$ ——某修程计算的工作量；

$B$ ——列车编组数；

$l_j$ ——各修程的折算时长,由表 1 可查得。

当班人员数  $Q_j$  的计算如下：

$$Q_j = \left\lceil \frac{L_j}{dT} \frac{1}{\alpha} \right\rceil \tag{7}$$

式中：

- $\lceil \cdot \rceil$ ——向上取整函数,如  $\lceil 3.1 \rceil = 4$ ；
  - $d$ ——全年有效工作天数；
  - $T$ ——每天有效工作小时数,每班 8 h 时长的有效工作小时数按 6 h 计,每班 12 h 时长的有效工作小时按 9 h 计；
  - $\alpha$ ——岗位班制系数。
- 系数  $d$  与  $\alpha$  之间存在一定的关系,如表 3 所示。

表 3 系数  $d$ 、 $\alpha$  之间关系表

Tab.3 Relation between coefficients  $d$  and  $\alpha$

系数	岗位班制			
	四班三运转制	四班二运转制	二班制	一班制
$\alpha$	2	1	2	1
$d/d$	365	365	250	250

注:四班运转制白天、夜晚轮流作业;二班制和一班制只白天作业,其中每班工作时间为 8 h。

列检当班人员数  $Q_{\text{列}}$  的计算如下：

$$Q_{\text{列}} = \frac{(N_{\text{运}} + N_{\text{备}}) B l_{\text{列检}}}{\beta t} \tag{8}$$

式中：

- $N_{\text{运}}$ ——运用列车数；
- $N_{\text{备}}$ ——备用列车数；
- $l_{\text{列检}}$ ——列检修程折算时长,由表 1 可查得；
- $\beta$ ——列检时间间隔系数,取 1 或 2；
- $t$ ——夜间列检时的有效工作小时数,据调研地铁夜间列检作业有效时长约为 4.5 h。

3.2 设备车间工班定员计算

设备车间工班定员  $Q_{\text{设}}$  计算如下：

$$Q_{\text{设}} = \gamma \sum_{k=1}^3 Q_k \tag{9}$$

式中：

- $k$ ——班组类别；
  - $Q_1$ ——工艺设备操作类班组定员；
  - $Q_2$ ——工程车维修类班组定员；
  - $Q_3$ ——设备维修类班组定员；
  - $\gamma$ ——初、近、远期设备使用频率系数。
- 考虑到设备使用频率和车辆配属数量有一定

关系,可由初、近、远期配属车数与远期配属车数的比值估算。

工艺设备操作类班组、工程车维修类班组定员 $Q_k$ (即 $Q_1$ 或 $Q_2$ )计算如下:

$$Q_k = \sum (K_f N_f)$$
 (10)

式中:

- $f$ ——工艺设备类别;
  - $K_f$ ——人员配置系数,由表 2 可查得;
  - $N_f$ ——场段某工艺设备的配属数量。
- 设备维修类班组定员 $Q_3$  计算如下:

$$Q_3 \approx 1.2 Q_1$$
 (11)

式(11)为根据查找资料得到的估算公式,也可参照运用检修车间定员计算方法确定,但由于目前缺乏相关工程车修程、折算时长等相关数据资料,本文不做讨论。

3.3 技术管理岗定员计算

经国内外相关文献研究,技术和管理部门定员宜采用比例定员分析法确定。即技术人员配员按一线工作人员人数的 20% 配置,后勤及职能部门按一线和技术人员的 10% 配置<sup>[5-6]</sup>。

3.4 车辆维保部门定员配置

车辆维保部门总定员为各级修程作业人员和设备车间工班及技术管理岗三者之和。

4 应用案例

4.1 项目概况

某地铁设计项目线路全长为 50.4 km,采用 6 节编组 A 型车,分 3 期建设。其中,一期、二期、三期工程的线路长度分别为 20.359 km、17.4 km、12.7 km。该线路设置车辆段和停车场各 1 座,负责全线车辆定修、临修、三月检、双周检和停车列检等任务;而大架修由其它线大架修车辆段负责,本线不承担。本项目工艺设备配属、列车配属数量及检修工作量分别见表 4—表 6。

4.2 定员配置

4.2.1 检修车间定员配置

方案 1:列检任务和双周检任务由运用工班班组统一担任,该班组岗位采用四班二运转制;夜间进行列检作业,白天进行双周检作业。定修和三月检任务由检修工班班组统一担任,该班组岗位采用二班运转制。

表 4 工艺设备配置

Tab. 4 Process equipment allocation			
工艺设备	数量	工艺设备	数量
不落轮镟床	1 台	内燃调机	2 辆
固定式架车机	1 台	公铁两用车	1 辆
洗车机	1 套	轨道打磨车	2 辆
液压随车吊	2 台	接触网工程车	1 辆
大客车	1 辆		

表 5 列车配属数量

Tab. 5 Number of auxiliary trains			
车名	设计年度列车配属数量/列		
	初期(2019 年)	近期(2026 年)	远期(2041 年)
运用车	19	61	71
备用车	2	6	6
检修车	3	8	10
配属车合计	24	75	87

表 6 检修工作量

Tab. 6 Overhaul workload						
设计年度	全年列车走行车公里/万 km	检修工作量/(列/年)				
		大修	架修	定修	三月检	双周检
初期(2019 年)	263.50	0	4.39	13.18	70.27	439.17
近期(2026 年)	871.91	7.27	7.27	43.60	232.51	1 453.19
远期(2041 年)	1 058.27	8.82	8.82	52.91	282.20	1 763.78

方案 2:单独成立列检工班和双周检工班。列检工班只负责夜间列检任务,该班组岗位采用一班运转制。双周检工班负责双周检作业,只白天作业,采用二班运转制。定修和三月检任务由检修工班班组统一担任,该班组岗位采用二班运转制。

根据上述方案和式(7)、式(8)计算公式,方案 1 的当班人员数量计算如表 7 所示。

表 7 方案 1 的当班人数计算表

Tab. 7 Calculation of the attendant number in scheme 1					
工班名称	修程	岗位班制	定员/人		
			初期(2019 年)	近期(2026 年)	远期(2041 年)
检修工班	定修	二班制	3	8	10
	三月检	二班制	5	14	17
运用工班	双周检	四班二运转制	7	22	26
	列检	四班二运转制	5	15	18

由表 7 可知,列检和双周检修程所需单班人员

数均相差较大,合设 1 个运用工班难以同时兼顾 2 个修程检修当班人员的需求,且会存在浪费人力的情况。

鉴于列检和双周检通常在不同时段开展工作,按照方案 2,单独成立列检工班和双周检工班方案的定员计算情况如表 8 所示。

表 8 方案 2 的当班人数计算表

Tab.8 Calculation of the attendant number in scheme 2					
工班名称	修程	岗位班制	定员/人		
			初期 (2019 年)	近期 (2026 年)	远期 (2041 年)
检修工班	定修	二班制	3	8	10
	三月检	二班制	5	14	17
双周检工班	双周检	二班制	4	12	15
列检工班	列检	一班制	5	15	18

定修作业时,会频繁使用到定修库内的天车和叉车,检修工班每班应额外考虑 1 名操作人员。方案 1 和方案 2 检修车间一线员工定员配置如表 9 所示。

表 9 检修车间一线员工定员配置表

Tab.9 Allocation of frontline staff in the maintenance workshop							
运营时期	方案 1 的检修车间定员/人			方案 2 的检修车间定员/人			
	运用工班	检修工班	合计	列检工班	双周检工班	检修工班	合计
初期	28	18	46	5	8	18	31
近期	88	46	134	15	24	46	85
远期	104	56	160	18	30	56	104

由表 9 可知:方案 1 的检修车间定员人数从初期、近期到远期分别为 46 人、134 人、160 人;方案 2 检修车间定员人数从初期、近期到远期分别为 31 人、85 人、104 人。由此可见,方案 2 的检修车间定员人数更少,近远期更明显。这主要是由于方案 1 近远期配置人员没有充分利用。本应用案例的车辆检修车间定员推荐采用方案 2 来进行配置。

方案 1 的定员未被充分利用,可通过均衡维修模式(将列检、双周检任务均匀分配至白天或夜间作业中)进行优化,以减少检修人员定员配置。

4.2.2 车辆维保部门定员配置

应用案例项目的车辆维保部门定员配置如表 10 所示。

表 10 车辆维保部门定员配置表

Tab.10 Allocation of vehicle maintenance department personnel			
岗位名称	设计定员/人		
	初期 (2019 年)	近期 (2026 年)	远期 (2041 年)
技术及管理岗	19	36	42
列检工班	5	15	18
双周检工班	8	24	30
检修工班	18	46	56
设备操作工班	13 × 0.28	13 × 0.86	13 × 1
工程车维修工班	14 × 0.28	14 × 0.86	14 × 1
设备维修工	16 × 0.28	16 × 0.86	16 × 1
车辆维保部门总计	62	158	189

注:①初近期人员配置未考虑人才储备因素;②未考虑与乘务有关的定员。

5 结语

1) 本文通过引入“折算时长”物理量,首次提出了检修车间工班定员计算方法。该方法适用范围广,适用于各种制式的轨道交通系统检修工班定员计算。

2) 车辆制式修程、“折算时长”统计物理量、有效工作小时数等参数结合各城市的运营情况可作修正。从理论上讲,只要车辆制式修程、“折算时长”统计物理量、有效工作时长等数据与现场实际吻合,检修工班定员人数需求将更为精确,能够用于预测检修工班人数需求。

3) 双周检作业和列检作业定员差别较大。若采用四班制的运用工班作业,将会导致人员不能充分利用,造成浪费。建议采用“均衡修”模式,优化定员数量,采用一班制的列检工班和二班制的双周检工班也能减少定员数量。

4) 本文按照运营经验以及比例定员分析法给出了设备车间和技术管理岗位定员,还有待现场作进一步检验。

5) 定员配置是一个复杂的问题,本文内容难免还存在不足之处,只希望本方法对集约化的设计以及运营公司定员配置、岗位班制选择等方面有所帮助。

(下转第 210 页)

闸信号均采用接点方式。

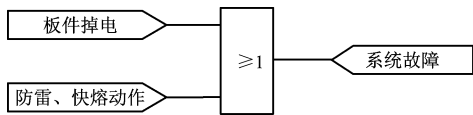


图8 系统故障逻辑

Fig. 8 System failure logic

## 4 结语

智轨系统是一种多元城市交通解决方案的交通新制式,是城市轨道交通毛细血管的组成部份。智轨系统车载磷酸铁锂电池储能,车辆续航能力极高且充电速度快。其充电变电站的供电系统已发生深刻转变,一体化整流与斩波大功率充电变流装置是充电变电站的发展方向。

本文介绍了智轨系统大功率充电变流装置的系统结构,选择适配单牵引变压器的 PWM 整流和 Buck 斩波调压技术路线,充分应用变流器矢量控制技术,形成一体式模块化充电站技术方案。设计的大功率充电变流装置具有双环控制技术、有源阻尼技术、电网适应性控制技术、多模式控制技术及主动均流控制技术,通过系统保护实现输出的恒压及限流控制,满足智轨车辆大功率快速充电需求。采用四象限整流与直流 Buck 斩波的一体式模块化设计满足一体化智能箱式充电站内安装,避免在乘客站台安装带来的噪声和接口问题。整体方案减少了整流机组数量,提升了能量转换效率;提升了续流回路冗余度,并使功能单元模块化,方便扩展;能

(上接第 204 页)

## 参考文献

- [1] 张庆娟. 城市轨道交通成本构成分析: 以北京地铁四号线为例[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.  
ZHANG Qingjuan. The analysis on cost of urban rail transit—with example of Beijing Subway Line 4[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
- [2] 朱效洁, 王志海. 轨道交通运营体系中车务人员标准配置研究[J]. 城市轨道交通研究, 2009, 12(7): 31.  
ZHU Xiaojie, WANG Zhihai. On standardized allocation of rail transit operational staff [J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(7): 31.
- [3] 张琦. 城市轨道交通乘务管理与驾驶员配属关系研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5): 59.  
ZHANG Qi. Relationship between crew team management and

精简设备数量,降低整体投资成本。该充电变流装置已成功应用于株洲智轨一期工程中,具有极好的应用推广价值。

## 参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通分类: T/CAMET 00001—2020 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.  
China Association of Metros. Classification of urban rail transit: T/CAMET 00001—2020 [S]. Beijing: China Railway Publish House, 2020.
- [2] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 株洲市智能轨道交通一期工程初步设计 [Z]. 北京: 北京城建设计发展集团股份有限公司, 2020.  
Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd. Preliminary design of Zhuzhou Intelligent Rail Transit phase I project [Z]. Beijing: Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., 2020.
- [3] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 株洲市智能轨道交通一期工程招标用户需求书 [Z]. 北京: 北京城建设计发展集团股份有限公司, 2020.  
Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd. User requirements specification for Zhuzhou Intelligent Rail Transit phase I project bidding [Z]. Beijing: Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., 2020.
- [4] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 株洲市智能轨道交通一期工程施工图设计 [Z]. 北京: 北京城建设计发展集团股份有限公司, 2020.  
Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd. Construction drawing design of Zhuzhou Intelligent Rail Transit phase I project [Z]. Beijing: Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., 2020.

(收稿日期: 2021-02-23)

staffing in urban rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 59.

- [4] 杨鸣. 城市轨道交通设计中工务维修定员及机具配备计算标准的探讨[J]. 铁道标准设计, 2007, 51(1): 29.  
YANG Ming. Discussion on the calculation standard of maintenance personnel and equipment allocation in urban rail transit design [J]. Railway Standard Design, 2007, 51(1): 29.
- [5] 吴艳艳. 呼和浩特市地铁 1 号线人员配置研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.  
WU Yanyan. Research on staffing configuration of Metro Line 1 in Hohhot City [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2018.
- [6] RUTHERFORD A W. Organizational evolution I-595 Port Everglades Expressway [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1989, 115(3): 357.

(收稿日期: 2021-01-28)