

# 城市轨道交通乘务排班工作中的混合班制方案<sup>\*</sup>

张德超<sup>1</sup> 刘志钢<sup>1</sup> 潘寒川<sup>1</sup> 沈世昉<sup>2</sup>

(1. 上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海;

2. 上海地铁第四运营有限公司, 200071, 上海//第一作者, 硕士研究生)

**摘 要** 基于四班二运转乘务排班方案, 提出了将车队错班复合的混合班制方案, 详细说明了混合班制方案的排班思路, 介绍了公共序号、常态序号及人员配比等重要参数的计算确定。基于上海轨道交通 12 号线的现场实际数据进行分析, 阐述了混合班制方案在组织管理和经济效益方面的优越性, 分析了混合班制方案广泛的适用性。

**关键词** 城市轨道交通; 混合班制; 乘务排班; 人员优化

**中图分类号** F530.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.049

## Mixed Class Scheme in Urban Rail Transit Crew Scheduling

ZHANG Dechao, LIU Zhigang, PANG Hanchuan, SHEN Shifang

**Abstract** Based on the four-shift and two-operation crew scheduling mode, a mixed-shift system with mixed-operation for crew scheduling is proposed, and important parameters like the public serial number, normal serial number and personnel ration are calculated. Based on an analysis of the on-site field data obtained from Shanghai rail transit Line 12, advantages of the mixed class scheme in organization, management and economic benefits are expounded, the wide applicability of which is further analyzed.

**Key words** urban rail transit; mixed class; crew scheduling; staff optimization

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

随着城市轨道交通的快速发展, 其运营管理越来越重要。乘务排班计划是乘务管理一系列工作的起点, 也是乘务管理的难点。乘务排班计划, 是将列车运行图中的乘务任务分配给列车司机的工作计划, 具体表示为安排某个司机在某天中执行的

具体运行任务。当客流量峰谷特征明显时, 处理高峰期的运行任务需要较多的工作班次, 而非高峰期时则不需要较多的工作班次。这样势必会造成多数工作班次在最佳时间没有可接续的连续作业段, 只能按时间向后顺延, 造成工作班次效率降低和司机资源的浪费。在城市轨道交通中, 司机的人力成本占整个运营管理费用的比例巨大, 有效地降低司机的成本费用, 能大幅提高运营企业的效益。

乘务排班优化问题一直以来是城市轨道交通领域重点研究对象, 良好的乘务排班方式既能保证乘务人员之间工作的均衡性, 又能保证乘务人员的驾车效率 and 安全性。文献[1]以广义费用作为模型的目标, 将乘务排班分割为日班和夜班两部分。文献[2]对乘务值乘方式进行了探讨。文献[3]探讨使用列生成法进行排班计划并求解, 讨论了算法的适应性。文献[4]结合乘务劳动作息规则, 建立乘务任务划分模型, 并结合列生成思想设计了算法。文献[5]详尽分析了我国城市轨道交通乘务排班问题的考虑因素, 总结了排班计划编制方法的优化原则和方向, 并在此基础上构建了值乘区段生成和乘务交路生成的双层模型。文献[6]提出了时间均衡度的概念, 并构建了以时间均衡度为目标的乘务排班计划优化模型。文献[7]基于标准化作业的重要性以及轨道交通乘务管理工作的特征, 提出地铁乘务管理工作应标准化。文献[8]以南昌轨道交通为例, 将乘务司机作为乘务管理工作的核心, 提出了加强开展乘务司机管理和培训以及标准化作业的观点。文献[9]针对现有制度提出优化策略与运用办法。

本文以传统的四班二运转方案为基础, 创新性地提出混合班制方案, 对城市轨道交通乘务排班计划进行优化。本研究主要针对乘务人员的轮班方

<sup>\*</sup> “十三五”国家重点研发计划子课题(2016YFC0802500); 国家科技支撑计划项目子课题(2015BAG19B02-28)

案,未涉及到乘务人员与列车运行图的具体运行线进行任务派对。

## 1 混合班制方案的制定

### 1.1 四班二运转方案

四班二运转方案是目前城市轨道交通中最为常见的一种乘务排班方案,在北京及上海等城市广泛采用。

四班二运转方案有 4 个司机班组,各自负责当日整天的地铁列车驾驶任务。一天的工作划分为夜出班、白班及夜班,则司机在 4 天中完成 1 次工作循环。1 次工作循环为白班、夜班、夜出班(有时也称为“小休”)及大休。一般情况下,白班工作时间大致为 07:30—17:00,夜班工作时间大致为 17:00—列车回库,夜出班列车时间大致为列车出库—早上 7:30。具体时间可按实际情况来调整。

在运营结束后,夜班的列车司机回到停车场的司机公寓休息就寝,次日凌晨进行夜出班作业。四班二运转的司机集中休息时间较长,只要合理安排即可使夜班司机得到较好的休息。而且出勤表编制简单。四班二运转排班方式也存在缺点:夜班工作时间较长,司机容易疲劳;难以安排固定的培训时间等。

### 1.2 混合班制方案思路

基于四班二运转方案,综合考虑运行图中早晚高峰时段和非高峰时段的用车情况,本文提出了“错班复合”的混合班制方案。

与传统四班二运转相比不同的是,混合班制方案要抽取 2 个班组中的部分人员来共同完成早晚高峰的驾驶任务。混合班制的工作安排如图 1 所示。

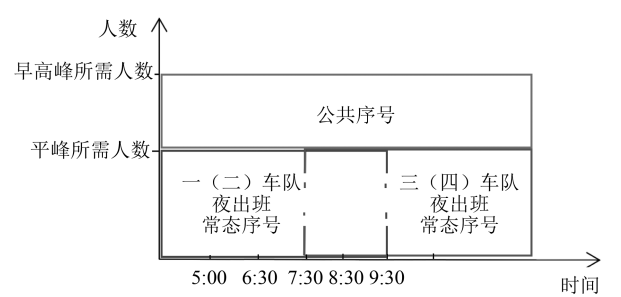


图 1 早高峰前后混合班制的工作安排示意简图

“错班复合”的混合班制有翻班特殊性,基于四班二运转方案中第一和第三班组、第二和第四班组之间相互翻班的特点,在各班组内抽取部分人员组成公共班组,主要负责高峰增设列车的驾驶任务,从而形成班组之间相互交错轮换,共同完成驾驶任务。其中,高峰增设列车指在早晚高峰时段比在非高峰时段多开行的正线列车。

混合班制方案的编制难点在于既要保质保量地完成高峰时段驾驶任务,又要均衡 2 个翻班班组的人员分配。

本文选取取非高峰时段与双休日的正线行车数中的较大数作为正线基准行车数,按早晚高峰时段的最大正线行车数与正线基准行车数差额的 1/2,来确定公共班组人数,并对公共班组人员排列公共序号。本文将这些公共班组人员称为“公共序号人员”。公共序号人员专门负责高峰时段增设列车的驾驶任务及午间用餐期间的饭圈驾驶任务(以下称为“午间饭圈”)的驾驶工作。将车队内部除公共序号人员外的司机均称为常态序号人员,其仍以四班二运转方式排班,负责除了增设列车以外及午间饭圈的正线驾驶任务。混合班制的班组轮班情况如表 1 所示。

表 1 混合班制的班组轮班情况

时间	第一班组		第三班组		第二班组		第四班组	
	常态序号人员	公共序号人员	公共序号人员	常态序号人员	常态序号人员	公共序号人员	公共序号人员	常态序号人员
第一天	日班	夜出班	夜出班	夜出班	夜班	夜班	夜班	
第二天	夜班	夜班	夜班		夜出班	夜出班	夜出班	日班
第三天	夜出班	夜出班	夜出班	日班		夜班	夜班	夜班
第四天		夜班	夜班	夜班	日班	夜出班	夜出班	夜出班

### 1.3 公共序号

混合班制将保留现有的 4 个司机班组管理结构

不变。因其班组结构不变更,故与现行四班二运转方案的衔接更为有效、有序。班组内的公共序号人

员轮班循环沿用现有的日进制,即每天换一批新成员担任公共序号人员。公共序号人员在节假日及双休日正常上班,无休假。此外,公共序号人员与常态序号人员会依次轮换,二者工作用的差异较小。

司机人数的计算方法如下:

将公共序号人员数设定为  $T$ ,则有:

$$T = \begin{cases} (x - y)/2, z \leq y \\ (x - z)/2, z > y \end{cases} \quad (1)$$

式中:

$x$ ——正线早高峰时段的最大上线列车数;

$y$ ——非高峰时段用列车数;

$z$ ——双休日用列车数。

将常态序号人员的人数设定为  $Q$ ,则有:

$$Q = 4a + 4b + c + 4d + 4e \quad (2)$$

式中:

$a$ ——单个班组的车队长人数,取 3 人;

$b$ ——单个班组的驻调人数,取 1 人;

$c$ ——综合组人数,取 6 人;

$d$ ——单个班组的备用人数,取  $E$  人( $E \geq 4$ );

$e$ ——单个班组的轮勤小组长人数,取 1 人。

非高峰时段用人数=非高峰时段用列车数+各折返点轮乘人数。将线路车队的司机总人数设为  $C$ ,则有:

$$C \geq \begin{cases} 4(y + S + T) + Q, z \leq y \\ 4(z + S + T) + Q, z > y \end{cases} \quad (3)$$

式中:

$S$ =每个班组的各折返点轮乘人数。在上海轨道交通 12 号线(以下简为“12 号线”), $S=8$  人。

## 2 混合班制方案的应用方法

本文以 12 号线的相关数据为例,对混合班制方案的应用方法进行论述。

目前,12 号线采用四班二运转排班计划。本文通过实地调研,结合 12 号线现有运行图及 2019 年年末的增能运行预测图,制定了混合班制方案。

### 2.1 确定公共序号

根据 12 号线增能运行预测图:工作日早高峰时段上线 50 列列车(含 1 列备用列车),非高峰时段上线 34 列列车(含 3 列备用列车);晚高峰上线 45 列列车(含 1 列备用);与非高峰时段相同,双休日有 34 列上线列车(含 3 列备用列车)。可见,基准行车数为 34 列,工作日早高峰时段需增设列车 16 列,晚高峰时段增设列车 11 列。

根据上线列车最大数可确定,司机的序号为 1~50。由式(1)计算可得, $T=8$  人。故 1~42 号为常态序号,43~50 号为公共序号,且以日进制的方式进行轮班循环。

### 2.2 建立工作排班表

基于原有的四班二运转方案排班情况,建立混合班制的 12 号线司机值乘排班表,如表 2 所示。因早晚高峰时段的行车数不一致,故有部分公共序号人员在晚高峰时段无驾驶任务。这部分晚高峰期间无驾驶任务的公共序号人员可安排午间饭圈的值乘,其具体安排应根据实际情况确定。

### 2.3 人员配置情况分析

混合班制方案与四班二运转方案的具体人员配置如表 3 所示。

在表 3 中:混合班制方案的上线列车人数 41 人,已包含了公共序号人员 8 人;午间饭圈人数取 12 号线早晚高峰时段的行车数差值,为 5 人;折返点轮乘人数按现行方案取 8 人。

在混合班制方案中,预设正线 16 列回库列车作为统计数据。随着回库列车的增加,正线司机值乘人数将减少;反之,随着回库列车的减少,正线司机值乘人数将增加。混合班制方案以最贴近上海申通地铁集团规定的人员配比目标(1:5.30)进行统计,并预设了 4 名备用人员以备回库列车减少之需。故表 3 中每个班组的备用人数取最小值 4 人。其余配备人数均按式(2)中的要求配比。

除表 3 所列班组人员外,12 号线车队还配置了 6 人的综合组。结合表 3 可知:四班二运转方案共需配置 294 人,人员配比为 5.88;混合班制方案共需配置 262 人,人员配比为 5.24。由此可见,在满足正线驾驶,以及司机病假、公假等需求的情况下,与四班二运转方案相比,混合班制方案不仅人员配置少 32 人,而且其在相同备用人数情况下的人员配比小于规定的 1:5.3,更符合 12 号线线路部的管理要求。

## 3 混合班制方案的优势

### 3.1 车队管理体系更优化

因混合班制方案仍保留现有的 4 个班组的管理体系不变,其车队体系不变更,故能与现行的四班二运转方案有效、有序地衔接。

混合班制方案中的公共序号人员采用不固定周期循环制模式,可避免员工因长期夜班而导致的缺乏活力及工作积极性的下降等负面影响。

表 2 12 号线司机值乘排班表

时间	班次及 工作范围	第一班组		第二班组		第三班组		第四班组	
		值乘的 常态序号	值乘的 公共序号	值乘的 常态序号	值乘的 公共序号	值乘的 常态序号	值乘的 公共序号	值乘的 常态序号	值乘的 公共序号
第一天	早高峰驾驶		43-50			1-42	43-50		
	非高峰	1-42			待定				
	日间驾驶			1-42					
	饭圈驾驶								
第二天	夜间驾驶								
	晚高峰驾驶				43-50				43-50
	早高峰驾驶			1-42	43-50				43-50
	非高峰							1-42	
第三天	日间驾驶								
	饭圈驾驶		待定						
	夜间驾驶	1-42							
	晚高峰驾驶		43-50				43-50		
第四天	早高峰驾驶	1-42	43-50				43-50		
	非高峰					1-42			
	日间驾驶								待定
	饭圈驾驶							1-42	
第五天	夜间驾驶				43-50				43-50
	早高峰驾驶				43-50			1-42	43-50
	非高峰			1-42			待定		
	饭圈驾驶					1-42			
第六天	夜间驾驶								
	晚高峰驾驶		43-50				43-50		

表 3 不同方案的班组人员配置

人员配置	四班二运转方案		混合班制方案	
	每个 班组	4 个班组 合计	每个 班组	4 个班组 合计
上线列车人数	49	196	41	164
备车人数	1	4	1	4
折返点轮乘人数	8	32	8	32
午间饭圈人数	0	0	5	20
驻调司机	1	4	1	4
轮勤小组长	1	4	1	4
车队长	3	12	3	12
备用人数	9	36	4	16
总人数	72	288	64	256

混合班制方案采用的错班复合工作模式使得班组之间有了更深的交流。各班组以部分人员的合作为契机,交流经验,取长补短,使得车队的管理更有成效。

3.2 提高工作效能与公司效益

12 号线混合班制方案的人员配比优于现行的优化配比目标,降低了人力成本,相应提高了司机岗位的工作效能和公司效益。具体如表 4 所示。

根据表 4,混合班制方案比四班二运转方案每年少配置司机 32 人,可节省人力成本 480 万元。

混合班制方案不仅适用于 12 号线,还可用于其

表 4 12 号线混合班制方案效益与现行优化目标的对比

比较项目	现行的优化配比目标	混合班制方案
上线列车/列	50	50
人员配比	1:5.30	1:5.24
配置司机数/人	265	262
人力成本/(万元/年)	3 975	3 930
减少司机数/人		3
节省人力成本/(万元/年)		45
注:每位司机的人力成本按税前 15 万元/年计算		

他采用四班二运转方案、且有明显早晚高峰的线路,具有普遍意义。目前,上海轨道交通 6 号线和 8 号线采用第五车队方案,在四班二运转方案的基础上设立独立的高峰组车队来应对高峰时段的大客流运输需求。经计算,与第五车队方案相比,混合班制方案可少配置司机 8 人,相应节省人力成本 120 万元。

综上所述,在满足正线驾驶需求,并考虑了司机病假及公假的情况下,混合班制方案有着明显的优势。

4 结语

本研究以四班二运转方案为基础,提出混合班制方案来优化城市轨道交通的乘务排班工作。将车队进行错班复合,建立班制简要示意图,并通过“混合班制”方案人员计算公式进行公共序号和常

态序号的确定。由于此方式基于“大四班”故有翻班特殊性,所以对于既有的四班二运转方式具有普遍意义。以上海轨道交通 12 号线进行试验,基于现场实际数据,通过实例对比分析可以看出该方案具有优越性,不仅对司机的工作效能更优化,还在公司的效益和管理上更具优势。

“混合班制”方案与“现有人员优化”方案进行对比,使得车队成员得到更为完整、有序的车队培训。当然,对于列车应急操作的培训必须做到持续、有效、持之以恒。对于业务薄弱人员、重点盯控人员也能进行持续有效的督促。当前研究还存在着部分不足,如饭圈人数是否能满足午间乘务的需要还需根据实际运营情况决定是否增设,且本文的研究主要针对乘务人员的轮转方案,未涉及到乘务人员与列车运行图的具体运行线进行任务配对,故需要进一步研究和探索。

## 参考文献

- [1] 李献忠,徐瑞华. 基于乘务广义费用的城市轨道交通排班[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007(6): 750.

- [2] 刘德礼. 乘务派班及值乘方式的探讨[J]. 现代城市轨道交通,2009(1): 367.
- [3] 郑玢. 列生成算法在地铁乘务计划编制问题中的应用分析[J]. 物流技术,2011(11): 126.
- [4] 石俊刚,史宏杰,徐瑞华. 城市轨道交通乘务任务划分模型及算法研究[J]. 铁道学报,2014(5): 1.
- [5] 张增勇,毛保华,杜鹏,等. 基于惩罚费用的城市轨道交通乘务排班优化模型与算法[J]. 交通运输系统工程与信息,2014(2): 113.
- [6] 丰富. 城市轨道交通乘务排班计划优化方法研究[D]. 北京: 北京交通大学,2015.
- [7] 滕文光. 地铁乘务管理标准化研究与分析[C]//中国城市科学学会数字城市专业委员会轨道交通学组,天津轨道交通集团有限公司,中城科数(北京)智慧城市规划设计研究中心. 第四届全国智慧城市与轨道交通学术会议暨轨道交通学组年会论文集. 北京:中城科数(北京)智慧城市规划设计研究中心,2017.
- [8] 王哲. 新时期下关于地铁乘务管理工作的新思考[J]. 城市建设理论研究(电子版),2017(24): 179.
- [9] 苏韬. 城市轨道交通乘务组织的优化与运用[J]. 智能城市,2018(9): 106.

(收稿日期:2018-10-10)

(上接第 200 页)

2) 测试工况二:  $\Delta$  型接法的电阻值相当于 Y 型接法的 3 倍,电容值相当于 Y 型接法的  $1/3$ 。当选取较小的电容时,电阻的温升明显降低,其温升仅为 90 K 左右,在安全运行范围内。可见,采用  $\Delta$  型接线方式、降低电容值能有效降低吸收电阻的温升。

3) 测试工况三:将电阻阻值增大后,电阻平均温升约 70 K,有轻微降低。这与电阻阻值增大后的吸收功率增加有关。

## 3 结语

回馈型再生制动能量利用装置可以有效实现对列车制动能量的高效利用,对城市轨道交通的节能具有举足轻重的意义。引入回馈至牵引变压器 1 180 V 侧的再生制动能量利用装置后,对现有整流机组 RC 回路参数的选取有重大影响。若参数选取不合适,则可能导致电阻温升接近临界值,从而影响 RC 回路运行的安全。本文从理论分析及试验

验证两方面对再生能馈装置接入后的整流器 RC 回路参数选择进行了研究。研究结果表明:RC 回路采用  $\Delta$  型接线方式、降低吸收电容、提高吸收电阻阻值,能有效降低吸收电阻的温升,提高 RC 回路的安全性。

## 参考文献

- [1] 梁广深,黄隆飞. 地铁 B 型车牵引能耗与再生制动节能效果分析[J]. 城市轨道交通研究,2016(2): 27.
- [2] 张海申. 城市轨道交通再生制动能量回馈装置容量选择研究[J]. 现代城市轨道交通,2017(5): 7.
- [3] 于松伟,杨兴山,韩连祥,等. 城市轨道交通供电系统设计与应用[M]. 成都:西南交通大学出版社,2008.
- [4] 李建民,尹传贵. 城市轨道交通牵引供电系统谐波分析[J]. 城市轨道交通研究,2004(6): 46.
- [5] 袁伟,杨振宇,桂志兴,等. 地铁列车在不同工况下的网侧电流谐波分析[J]. 城市轨道交通研究,2016(7): 65.
- [6] 王兆安,张明勋. 电力电子设备设计 and 应用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

(收稿日期:2018-10-10)