

城市轨道交通运营中乘务计划的优化与实践

迟胜超^{1,2} 屠朝丰³ 柴伟元² 徐向华² 吴德鑫²

(1. 西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 610031, 成都;

2. 青岛地铁集团有限公司运营分公司, 266041, 青岛;

3. 常州市轨道交通发展有限公司运营分公司, 213025, 常州//第一作者, 高级工程师)

摘要 分析了城市轨道交通乘务计划的影响因素,对乘务计划的班组、工作时制和人员配置进行研究。结合实际生产中司机使用效率不均匀的问题进行使用效率优化研究。研究表明,配置高峰期专用列车及司机,能够减小城市高峰客流对乘务计划的影响,提高乘务计划的使用效率,优化乘务计划组织。以开车率作为评价指标,可对单线司机和线网司机的使用效率进行评价。基于开车率均衡的原则,可评估各线网的司机配置,并进行司机人员调整。

关键词 城市轨道交通; 乘务计划; 运作班制; 人员配置

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.022

Optimization and Practice of Crew Plan in Urban Rail Transit Operation

CHI Shengchao, TU Chaofeng, CHAI Weiyuan, XU Xianghua, WU Dexin

Abstract The influencing factors of crew plan in urban rail transit operation are elaborated, including the teams, working hours and staffing of the crew plan. Problems of the uneven use efficiency of drivers in actual operation are studied from the angle of efficiency optimization, and the results show that adopting the method of allocating special train and driver mode during peak hours can reduce the impact of peak passenger flow on the crew plan, improve its efficiency and optimize the crew plan organization. By setting the driving rate as an evaluation index, the use efficiency of single-line drivers and network drivers can be evaluated. Based on the principle of driving rate balance, the staffing of each line network could be evaluated which is conducive to the adjustment of operation personnel.

Key words urban rail transit; crew plan; operational shift; staffing

First-author's address State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, 610031, Chengdu, China

乘务计划是指合理分配与运用电客车司机(以下简称“司机”),也是司机值乘具体乘务工作的计

划。乘务计划的编制影响着交通运输能力、企业成本支出及员工身心健康等诸多企业基本利益因素。

近年来城市轨道交通行业得到了极大发展,司机缺口巨大。这是行业面临的通性问题。司机紧缺问题的背后则是电客车司机培训周期长、流动性大等诸多困难。此外,随着城市轨道交通网络化运营的发展,乘务管理精细化提升,如何科学合理地编制乘务计划,提高司机的工作效率,安全平稳地保障地铁运营是乘务管理工作的重中之重。

1 乘务计划影响因素

1.1 运输目标

城市轨道交通客流量决定其运输目标。针对预测客流量明确的运输目标,编制上线列车的车辆计划,并结合运营时间段、行车间隔、备用车数量及折返时间等行车要素编制运营时刻计划。车辆计划与运营时刻计划是编制乘务计划的输入条件,满足运输目标是乘务计划的最终目标。

1.2 司机工作时长

城市轨道交通具有发车频率高、运营密度大和运营持续时间长的特性。司机在工作时间段内,需要执行高密度、高强度的驾驶任务。在繁重工作条件下,司机的工作时长会影响其疲劳程度。当司机超劳工作时,驾驶质量和运营安全均受到影响。因此,乘务计划编制需高度重视司机的工作时长。

1.3 司机人数

城市轨道交通中的司机与列车存在着标准比例配置。当司机配置比例出现偏差时,需通过变更乘务计划来调整单个司机的工作量,进而满足运输计划的需求。

1.4 客流量的波动变化

客流量的波动变化决定了该时间段内的运输目标变化,相应的车辆计划与运营时刻等运营组织

也将进行变更,乘务计划也随着动态调整。

客流量的波动变化存在周期性:在每日的客运表现上存在“潮汐”特性,既早、晚高峰期;在每周的客运表现上存在工作日与休息日的特性。

客流量的变化存在特殊性:遇恶劣天气时,由于城市轨道交通出行具有稳定性,故其目标人群增加、客流量增加;当遇节假日或旅游旺季时,短周期内的乘客群体增多,出行频率也增加;遇地铁沿线大活动等特殊情况影响,会在短期内有部分区段的客流量发生突变。

1.5 企业用工成本

在满足生产运输目标情况下,各运营公司均会考虑节约用工成本。司机的用工成本主要为司机劳动报酬。劳动报酬包含基本薪资与加班薪资。乘务计划的编制影响着司机人数、单体司机的工作工时和加班薪酬。合理的乘务计划能够高效地控制企业成本支出。

2 乘务计划的工作时制研究

2.1 班组划分

我国地铁人员工作组织方式有轮乘制和包乘制。本文以青岛地铁为例,对普遍采用的轮乘制进行研究,而对包乘制不再赘述。

城市轨道交通乘务工作时间一般为 4:00—24:00,算上车辆段收发列车的时间,每日乘务工作时间共约 20.5 h,驾驶时间较长。出于对运营安全与司机身心健康的考虑,结合《中华人民共和国劳动法》中对单日工作时长不超过 8 h 的要求,单日运行时间段的工作应至少由 3 班组人员完成。结合日常作息规律和早晚高峰期的重要性,3 班组乘务人员的工作时间为:早班 4:00—8:00,白班 8:00—16:00,夜班 16:00—24:00。

2.2 轮班工作的安排

城市轨道交通乘务工作至少需要 3 个班组。通过调研发现,我国城市轨道交通乘务轮班工作主要分为三班两运转、四班三运转及五班三运转^[1]。具体的轮班情况如表 1 所示。

表 1 不同轮班制度的轮班情况

方式	轮班制度	轮班情况
A1	三班两运转	白班、夜班、早班
A2	三班两运转	白班、白班、夜班、早班+夜班、早班、休息
A3	四班三运转	白班、夜班、早班、休息
A4	四班三运转	夜班、白班、早班、休息
A5	五班三运转	白班、夜班、早班、休息、休息

2.2.1 轮班工作制对司机疲劳的影响

工作人员在单位时间内工作量的大小决定其疲劳程度。以国家对工作人员的法定工作量为标准工作量,将司机的作业量与标准工作量对比,可得到司机疲劳系数。该系数反映了司机的疲劳程度。

$$f = \frac{\frac{t_1}{T} \times M_1}{t_2 \times M_2} \tag{1}$$

式中:

f ——司机疲劳系数, $f_{A1} \sim f_{A5}$ 分别为 A1~A5 方式对应的司机疲劳系数;

t_1 ——1 个乘务轮班周期内的司机平均工时;

t_2 ——自然年内法定工作天数;

T ——乘务轮班周期;

M_1 ——自然年内天数,一般取 365 d;

M_2 ——法定的日工作时长。

结合《中华人民共和国劳动法》中对工作时长 的要求和《国务院关于修改(国务院关于职工工作时间的规定)的决定》(国务院令 第 174 号)对法定节假日休息的要求, $M_2=8\text{ h}$,自然年内 $t_2=250\text{ d}$ 。

结合乘务生产实际情况,司机工作量还应包括因故障车调试、节日客流突变或恶劣天气而导致的调试、加开班次、保障性运输,以及培训及加班等非计划内工作量。通过对南京地铁 3 号线,以及青岛地铁 2、3、11 号线的司机 6 个月内实际工作量进行分析发现:司机在标准工作时长外,存在约 7% 的非计划内工作量。因此,本文建议司机的标准疲劳系数 f 应取 0.93,以使司机的工作强度更为合理。

当采用 A1 方式时: $f_{A1}=1.25$,远大于 0.93;司机常年处于工作状态,严重疲惫,身心健康受到严重影响;易发生安全事件或事故;

采用 A2 方式时: $f_{A2}=1.25$,远大于 0.93;司机严重疲惫;当司机需出乘早班+夜班时,无法确保人员精神状态能满足出乘的必要条件,易发生安全事件、事故。

采用 A3 方式时: $f_{A3}=0.94$,基本符合系数要求;司机休息时间基本得以保证;但司机连续两天出乘夜班和早班时会较疲累。

采用 A4 方式时: $f_{A4}=0.94$,基本符合系数要求;但周期较紧凑,人员班前休息不足。

采用 A5 方式时: $f_{A5}=0.75$,疲劳系数小于 0.93,司机休息时间得以保证,司机生产运作相对轻松。

2.2.2 企业用工成本的影响

城市轨道交通企业乘务运营组织工作的主要支出为司机的岗位薪资和加班薪资:

$$M = S + ZRB \quad (2)$$

式中:

M ——司机薪资

Z ——单个的司机岗位工资;

R ——每个班组司机人数;

B ——班组数;

S ——加班费。

$$S = \begin{cases} (f_0 - 1)JRB; & f_0 \geq 1 \\ 0; & f_0 < 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中

J ——法定加班工资倍数,一般取 1.5;

f_0 ——司机实际劳动疲劳系数;考虑到司机存在 7% 的非固定计划工作量, $f_0 = f \times 1.07$ 。

采用 A1 和 A2 方式时: $M_{A1} = M_{A2} = 4.52 \times Z \times R$;

采用 A3 和 A4 方式时: $M_{A3} = M_{A4} = 4 \times Z \times R$;

采用 A5 方式时: $M_{A5} = 5 \times Z \times R$;

通过对不同轮班方式的成本支出可以发现:

$$M_{A5} > M_{A1} = M_{A2} > M_{A3} = M_{A4}。$$

2.3 乘务班制分析总结

综上所述, $f_{A1} = f_{A2} > f_{A3} = f_{A4} > f_{A5}$; 五种班制企业支出成本 $M_{A5} > M_{A1} = M_{A2} > M_{A3} = M_{A4}$ 。

当采用 A1 和 A2 方式时,司机疲劳系数较高,危险系数相对较高;当采用 A3 和 A4 方式时,司机疲劳系数正常,安全风险可控,企业成本支出最低;当采用 A5 方式时,司机工作安排相对宽松,但用人成本支出偏高。

由此可见,在理想状态下,四班三运转的轮班方式不仅能基本满足司机的身心健康需求、安全风险度可控,而且企业成本也能得到较好的控制,是最为理想的工作制。

3 乘务计划的司机配置

按照轮乘制和四班三运转方式对乘务计划中司机的标准配置进行研究,且考虑单司机值乘为分析比较样本。

3.1 通过上线列车数对司机标准配置的研究

终点站需配置换乘人员,平峰期以 3 人为宜^[2];车厂内需放置配合调试调车司机 1 人。考虑到年休假、病假及公休假等人员休息,以及用餐时段的专人顶替以保证用餐时间,需配置各班人员 2 人。

假设,则驾驶员配备人数 S 为:

$$S = (N + 3P + 3)B \quad (4)$$

式中:

N ——列车运用数;

P ——折返站数;当线路不存在小交路时, $P = 2$,当仅存在 1 种小交路时, $P = 3$; $S = 4N + 39$;本文暂不研究多种小交路路运营的情况。

A3 及 A4 方式下, $B = 4$ 。

3.2 基于实际工作时长的司机配置标准计算

以单列列车的工作量为基础,参照正常作息工作方式的工作量为司机工作标准量,则线路年度工作时长除以正常作息年度工作时长可得出^[3]:

人车配比 =

$$\frac{\text{自然年天数} \times \text{日运营总时长}}{\text{法定年度标准工作时长} \times \text{人均有效工时率}} \quad (5)$$

以日运营时长为 20.5 h 计算;自然年天数为 365;法定年度标准工作时长为 1 960 h (法定工作日为 250 d,其中年假为 5 d,日法定工作时长为 8.0 h);比照政府事业单位午休 2 h 的情况可得,人均有效工时率为 0.75。故有人车配比 = 5.1。

4 乘务计划的优化与实践

4.1 单线司机使用效率分析

单位时间段内,线路司机的使用率可定义为“开车率”:

$$K = \frac{C}{R} \quad (6)$$

式中:

K ——开车率; K 越大,则司机使用效率越高;

C ——上线列车数,为实时变量;

R ——每个班组司机人数。

青岛地铁 3 号线(以下简为“3 号线”)在工作日与周末执行不同的运行时刻表。其上线列车数如图 1 所示。

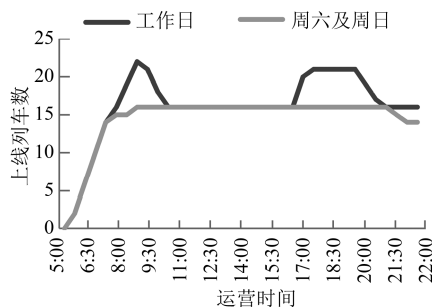


图 1 青岛地铁 3 号线上线列车数分布图

结合 3 号线司机班组的生产实际需求,以最小班组司机人数(29 人)代入式(7),可得出正常运营工况下的开车率,如图 2 所示。分析图 2 可见,3 号线开车率最高为 0.76,最低为 0.55,相差较大。故工作日司机的使用效率存在明显不均匀的情况。

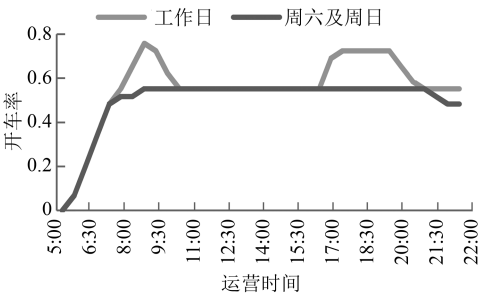


图 2 青岛地铁 3 号线正常运营工况下的开车率

4.2 单线司机使用效率的优化与实践

4.2.1 优化思路

由于上线列车数由客流量决定,而且客流量为有规律的动态变化,因此,为完成乘客运输的城市轨道交通运营工作目标,上线列车数的变化规律也相对固定。提高开车率也只能从司机人数方面着手。

由于最大上线列车数较固定,故司机人数也为固定人数。影响开车率的主要因素为高峰期上线列车,解决上线列车对司机的影响为根本原因。这段话有点歧义,现按我的个人理解修改,恐有不当之处,麻烦您再看看。

4.2.2 优化措施

成立专业的高峰时段的列车驾驶小组;该小组人员不纳入日常班组人员,仅长期负责工作日高峰时段的上线列车驾驶,每日随高峰车的上下线而上下班。本文称该小组的司机为“高峰司机”。故有:

$$K=\frac{C_1+C_2t}{R_1+R_2t} \tag{7}$$

式中:

- C_1 ——非高峰时段的上线列车数;
- C_2 ——高峰时段需额外上线的列车数;
- t ——高峰系数;高峰时段 $t=1$,非高峰时段 $t=0$;
- R_1 ——正常班组人员数;
- R_2 ——高峰司机人数。

4.2.3 优化措施的实践

3 号线在实际生产中使用了配置高峰司机的优化措施。6 列高峰列车,共配置了 8 名高峰司机,并

将分为 A、B、C、D 等 4 组。轮休周期为 4 个工作日,具体实施方案见表 2。

表 2 3 号线高峰司机的轮班方案

轮班	第一天	第二天	第三天	第四天
1、2 号高峰列车	A 组	B 组	C 组	D 组
3、4 号高峰列车	B 组	C 组	D 组	A 组
5、6 号高峰列车	C 组	D 组	A 组	B 组
休息	D 组	A 组	B 组	C 组

采用优化措施后的 K 如图 3 所示。 K 为 0.696,较原开车率提高了 14.6 个百分点。该方案的最小司机数为 100 人。相比 3 号线定编配备的 124 人编制,该方案少了 24 位司机,人员节省 19.4 个百分点。该方案实施的难点在于:高峰时段的列车驾驶压力大、司机必须具有较高业务水平。

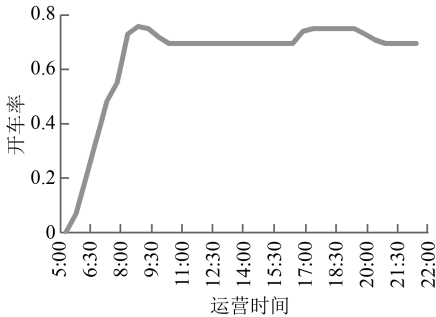


图 3 高峰司机方案的开车率

4.3 线网司机分配的优化

城市轨道交通线网运营后,乘务计划的深层次优化需从单线计划的高效、合理,拓展至线网计划的高效、合理。由于各线路运营压力不同,司机配置也存在差异。目前,新入职司机和新线司机的分配均按照各线路司机编制和新线运营需求进行。作为管理者,需要合理设置评价指标,不断评估和优化线网司机的配置标准。

以司机人均驾驶时长 L 为评价指标,可优化线网级乘务计划,以评估司机分配的科学性、合理性:

$$L=\frac{L_1}{R} \tag{8}$$

式中:

- L ——司机正线人均驾驶时长;
 - L_1 ——正线司机驾驶总时长。
- 其中,线路司机包含正在培训中,未单独驾驶的司机。

本文以青岛地铁 2、3、11 号线为例,对各线路人员配置需求进行分析。各线路司机人均驾驶时长数据如表 3 所示。

(下转第 100 页)

承担配属列车的临修、均衡修、列检、停放和洗刷清扫等日常维护和保养任务,设置了 1 列位临修线、1 列位均衡修线、5 列位停车列检线及 1 列位洗车线。总平面布置采用尽端式设计方案。

根据表 7 计算可得,6 模块编组时,磨碟沙停车场最小用地面积为 1.13 hm²,一般用地面积为 1.41~1.96 hm²。而其实际用地面积为 1.68 hm²。可以看出,磨碟沙停车场实际设计已按远期规划的 6 模块编组规模预留了库房长度。而且磨碟沙停车场用地面积小于一般用地面积的上限值,属于合理范围。

5 结语

综上所述,本文通过通过作图法分析对不同布局形式、不同模块编组、不同功能定位有轨电车车辆基地用地面积指标进行了统计分析研究。环岛试验段的磨碟沙停车场计算结果验证了用地面积指标的适用性和精确度。相关用地指标控制结论可用于有轨电车线网、建设规划车辆基地选址及用地面积的框定。

参考文献

[1] 梁广深. 建设节约型地铁车辆段初探[J]. 都市快轨交通,2009

(6): 14.
[2] 尚漾波,叶霞飞. 国内外城市轨道交通车辆段规模比较分析[J]. 都市快轨交通,2009(3): 16.
[3] CORNET N,李依庆,杨洁. 现代有轨电车系统在中国城市的发展前景[J]. 现代城市轨道交通,2008(6): 60.
[4] 杨晓. 浅谈现代有轨电车车辆段的布置[J]. 交通企业管理,2014(2): 74.
[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
[6] 石谨瑞,冯长久,何健. 浅谈地铁车辆段与综合基地的设计[J]. 科技信息,2012(30): 160.
[7] 张雄. 地铁车辆段总平面设计特点及优化[J]. 铁道标准设计,1999(11): 14.
[8] 姚幸. 有轨电车与地铁的车辆段比较[J]. 城市轨道交通研究,2015(7): 113.
[9] 索建国,邓谊柏,杨颖,等. 储能式现代有轨电车概述[J]. 电力机车与城轨车辆,2015(4): 1.
[10] 朱一迪. 首列超级电容储能式 100%低地板有轨电车广州开通试乘[J]. 机车电传动,2015(1): 94.
[11] 罗美清,袁立祥. 广州海珠线储能式现代有轨电车维保工艺探讨[J]. 电力机车与城轨车辆,2015(4): 88.
[12] 龚辉波,周再玲,刘增华,等. 智能轨道快运、有轨电车与地铁的车辆基地总平面布置及占地指标对比分析[J]. 城市轨道交通研究,2018(9): 67.

(收稿日期:2018-07-22)

(上接第 95 页)

表 3 青岛地铁线网司机工作指标

线路	日工作时长/h	R/人	L/h
3 号线	277.4	123	2.56
2 号线	249.3	129	1.93
11 号线	265.7	121	2.20

由表 2 可见,在青岛地铁线网中,2 号线司机 L 最短,人员需求的急迫性在现网中最低。故可对线网中的司机进行跨线调整。以各线路司机正线 L 相同为目标,则 3 号线需调入 8 名司机,2 号线需调出 12 名司机,11 号线需调入 4 名司机。

5 结语

本文对乘务计划的影响因素进行研究,通过司机疲劳系数、企业支出成本的角度对乘务组织的班制进行了研究。研究结果表明:四班三运转制的企业支出成本最低,疲劳系数的控制较理想,为乘务计划中的最佳工作时段。

对单线乘务计划,提高司机开车率,可通过设置高峰司机和高峰时段专用列车,来降低城市高峰运营对班组人员配置的影响,从而提高乘务计划的效率。

对线网乘务计划优化时,通过计算、对比各线路司机的人均驾驶长,进行各线路人员紧缺状况分析,以均衡各线路人均驾驶时长为基准,采取司机跨线调整的方法进行线网级乘务计划的优化调整。

参考文献

[1] 徐静. 城市轨道交通乘务排班计划优化研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2017.
[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(7): 31.
[3] 何霖. 城市轨道交通运营筹备与组织[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2009(7): 31.

(收稿日期:2018-10-22)