

# 城市轨道交通乘务灵活排班特点及适用性分析\*

徐天捷

(上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海)

**摘要** [目的] 针对国外地铁常用的乘务灵活排班方法在我国鲜有应用的问题, 研究分析了灵活排班在我国地铁的适用性和面临的主要难点。[方法] 介绍了地铁乘务灵活排班的主要特点; 针对上海轨道交通某线路, 试算了适用于该线路的灵活排班方案, 并对比了任务数量等参数指标; 分析归纳了灵活排班方案的技术难点和管理难点。[结果及结论] 灵活排班的主要特点包括淡化固定班组概念、分散时间和地点实行出退勤制、晚班司机可不住车场、不固定轮转模式等。利用专用软件对上海地铁某线路的灵活排班方案试算结果表明, 理论上最多能节省 19.7% 的所需司机总数, 并可将月度驾驶里程数的标准差由 350.50 km 降低至 43.02 km。我国目前采用灵活排班方案面临的主要技术难点为: 方案编制难度大且需依靠专用软件、调度调整频繁需实时调整对应的乘务计划。灵活排班方案的管理难点为: 管理模式需配套改革、司机不过夜易引发漏乘风险、司机认可程度不高等。现阶段我国地铁直接应用灵活排班较为困难, 应逐步探索适合国情的灵活排班管理模式和优化策略。

**关键词** 地铁; 乘务管理; 灵活排班

**中图分类号** F530.7

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.02.013

## Characteristics and Applicability Analysis of Flexible Scheduling for Urban Rail Transit Crews

XU Tianjie

(Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] In view of the situation that the flexible crew scheduling method commonly used in foreign metro systems is barely applied in China, the applicability of flexible scheduling in Chinese metro system and the main challenges it faces are investigated and analyzed. [Method] The primary characteristics of metro flexible crew scheduling are introduced. For a specific line of Shanghai rail transit, a flexible crew scheduling scheme applicable to the line is calculated. Parameters such as the number of tasks are compared. The technical and managerial challengers of flexible crew scheduling

scheme are analyzed and summarized. [Result & Conclusion] The main characteristics of flexible crew scheduling include the de-emphasis on fixed workgroups, the implementation of check-in and check-out at dispersed times and locations, the option for late-shift drivers to not stay at the depot overnight, and a non-fixed rotation mode. Utilizing specialized software to calculate the results of a flexible crew scheduling scheme for the Shanghai Metro line reveals theoretical savings of up to 19.7% of the total required number of drivers. Additionally, the standard deviation of monthly driving mileages can be reduced from 350.50 km to 43.02 km. The main technical challenges of applying flexible crew scheduling in China include the difficulty in formulating schemes and the reliance on specialized software, as well as real-time update of crew plans in response to frequent scheduling adjustments. Managerial challenges of the scheme include the need for complementary reforms to the management mode, the risk of missed shifts due to drivers not staying overnight, and a lack of driver acceptance. Directly implementing flexible crew scheduling in Chinese metro systems is currently challenging, which calls for a gradual exploration of flexible crew scheduling management modes and optimization strategies that suit the national context. **Key words** metro; crew management; flexible scheduling

乘务排班计划是决定乘务生产效率的决定性因素。目前, 我国已有城市开始探索各类乘务排班优化方案, 如通过设置独立轮转的高峰班组、特殊混合班组等, 能够有效减降低所配置的司机人数。但据不完全统计, 我国的地铁司机生产率指标总体上仍低于 CoMET(国际地铁联盟)组织所有成员的均值水平。

乘务灵活排班已应用于国外部分地铁, 是一种非常高效的乘务排班方案, 在理论上可以大幅提升乘务生产效率, 但因其编制难度大、对配置管理体制要求高等特点, 目前在我国鲜有应用。本文针对乘务灵活排班在国内地铁的适用性问题, 开展了方

\* 上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(2021008)

案试算、调研和可行性分析。本文研究可为我国地铁开展乘务灵活排班方案试算和应用探索提供经验和借鉴。

1 乘务灵活排班方案特点

为控制人员成本,国内外的地铁运营企业采用了多种方式来提高司机生产效率,包括司机岗位外包、改善出退勤流程、合理配置后备司机数量和工作内容、优化乘务班制及轮转模式等。乘务灵活排班方案不同于上述这些方法,其实质是一种排班方案,通过减少人员集中、地点集中、时间集中的工作安排,压缩无效的人员工时,形成管理灵活、出退勤地点及时间灵活、人员轮转灵活的乘务计划,从而提升乘务效率,减少所需司机人数。

乘务灵活排班方案的特点有:

1) 淡化早班、白班、晚班等固定班组或其他特殊班组、高峰班组的概念,以司机个体为单位指派任务。高峰班组排班方案与灵活排班方案工作安排示意图如图 1 所示。利用设置高峰班组实现省人计划是常见的排班优化方法,根据上线列车数的高平峰差异情况,将司机划分为多种类型的高峰班组。图 1 a) 为典型的“四班二运转”+“独立早峰班”+“独立早晚峰班”结合的高峰班组排班方案,但由于其余早班、白班、晚班任务依然以班组形式组织出退勤,故出退勤时间仍较为集中。灵活排班方案结合了线路实际情况,将当天需出勤的司机分为上午组和下午组。其中:上午组包含了出库任务,早出库的司机可在早峰后回库,而晚出库的司机受连续驾驶时间约束,最长可驾驶至午后;下午组接上午组司机的列车,较早接车的司机驾驶至晚峰回库,较晚接车的司机则驾驶至运营结束回库。

2) 不再规定统一出退勤时间限制,司机可在一天内的任何时间出勤。司机不再受到固定出勤时段的约束,可根据每个任务不同的出勤时间,分散前往出勤点即可。

3) 不再规定夜早班必须相连。通过对两次出勤间隔的休息时间设立约束条件,司机晚班结束后可不住车场,释放了司机轮转的灵活性。结合各班相同的最长驾驶时间约束,能够改善原早班工时利用率较低的问题。

4) 司机工时和驾驶里程更均衡。通过运筹学模型算法,提高司机每次驾驶任务的时间均衡性和阶段工作量(驾驶里程)均衡性,提升司机工作量的

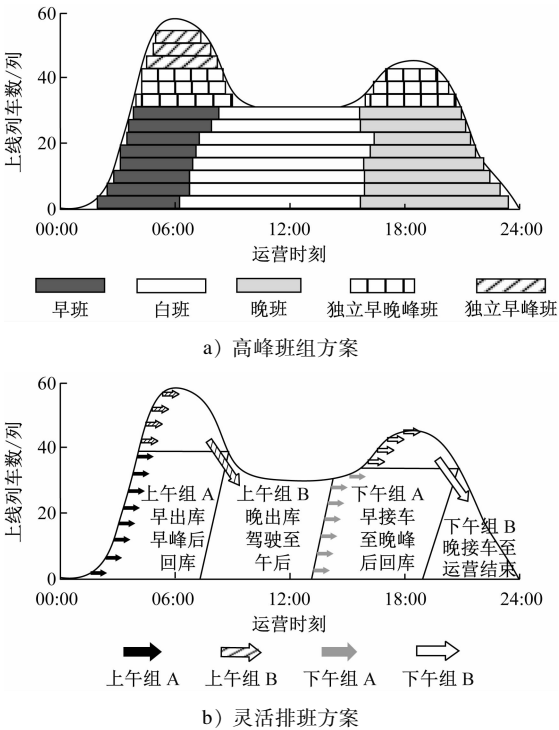


图 1 高峰班组排班方案与灵活排班方案工作安排示意图  
Fig. 1 Diagram of work arrangement for peak shift scheduling and flexible scheduling

公平性。

5) 不再固定白夜早休的轮转模式,改为更为紧凑高效的灵活轮转机制。固定班制通常采用固定的轮转模式,如四班二运转、五班三运转等排班方式。而灵活排班是一种不固定工作天数、休息天数和两者间的间隔,根据运营需求灵活配置的轮转排班方式。灵活排班方案下,司机阶段工作安排示例如表 1 所示。由表 1 可知:该司机一周连续工作 3 ~ 5 d 不固定,休息天数 1 ~ 3 d 不固定,但通过这样灵活的轮转方式,可使司机在周末陪伴家人的休息时

表 1 灵活排班方案下司机阶段工作安排示例

Tab. 1 Example of driver's staged work arrangement under flexible crew scheduling

| 周次    | 工作安排 |    |    |    |    |    |    |
|-------|------|----|----|----|----|----|----|
|       | 周一   | 周二 | 周三 | 周四 | 周五 | 周六 | 周日 |
| 第 1 周 | 班    | 班  | 班  | 班  | 班  | 休  | 休  |
| 第 2 周 | 休    | 班  | 班  | 班  | 班  | 班  | 休  |
| 第 3 周 | 班    | 班  | 班  | 班  | 休  | 休  | 班  |
| 第 4 周 | 班    | 班  | 休  | 休  | 班  | 班  | 班  |
| 第 5 周 | 班    | 休  | 班  | 班  | 班  | 班  | 休  |

注:周一至周五的工作时间比例为 80%;周六的工作时间比例为 60%;周日的工作时间比例为 40%。

间更多(安排周末工作的比例更低),也能在保证月度休息天数不变的情况下,安排三天小长假,因而可能更受司机的欢迎。

## 2 灵活排班案例试算结果

在对上海轨道交通多条线路的乘务管理现状进行调研的基础上,结合国外地铁灵活排班方案及经验,针对上海轨道交通某线路,利用专业排班软件进行乘务计划的优化编制,计算出适用于该线路的灵活排班方案。

通过对案例线路进行试算后发现,相较于高峰班组排班方案,灵活排班方案大幅减少了单日的任务数量,就理论而言,其最多能节省 19.7% 的司机总人数。此外,灵活排班方案还提高了司机阶段工作量的均衡性。灵活排班方案与高峰班组方案参数对比如表 2 所示。由表 2 可知:司机月度驾驶里程数的标准差由 350.50 km 降低至 43.02 km。

| 表 2 灵活排班方案与高峰班组方案参数对比  |         |          |          |              |
|--|---------|----------|----------|--------------|
| Tab.2 Comparison of parameters between flexible scheduling and peak shift scheduling |         |          |          |              |
| 方案   | 所需司机数/位 | 工作日任务数/个 | 节假日任务数/个 | 月度驾驶里程标准差/km |
| 高峰班组方案   | 290     | 210      | 192      | 350.50       |
| 灵活排班方案   | 232     | 169      | 153      | 43.02        |

注:月度驾驶里程标准差指排班计划规定的所有司机整月驾驶里程数所组成的数据集的标准差。

## 3 采用灵活排班方案的技术难点分析

从上述案例的试算结果来看,灵活排班方案在理论上确实能大幅提高司机的生产效率,但该方案中采用的许多理想化假设并未充分考虑其在实际应用中的可实施性,这与目前我国的城市轨道交通发展现状可能是不相符合的,导致所提灵活排班方案在现阶段较难实现。

通过现场走访及调研,本文分析并归纳了以下两项技术难点:

1) 灵活排班计划编制难度大,排班计划需依靠软件。灵活排班方案取消了集中出退勤,改变了司机固定轮转方式,导致乘务驻点数量可能会有所增加,乘务计划编制中需考虑的变量也相应增加。尤其对于交路复杂、折返点较多的部分线路而言,必

须借助专业软件进行排班计划的编制。但目前,我国自主研发的类似软件极少,而国外同类软件的采购和维护成本非常高,实现难度较大。

2) 调度调整频繁,需动态调整乘务计划。由于我国注重地铁准点率指标,一旦列车运营发生延误,就会采用变更或取消车次号、加车等方法对当日运营计划进行调度调整。而一旦车次和司机执行的任务号改变,司机的下班地点及时间、驾驶时长都会发生相应改变,进而影响司机的接车关系,最终导致交接班无法按照原有乘务计划进行。因此,乘务计划必须实时根据行车调度进行相应的调整才能避免以上情况的发生。由于灵活排班方案较为复杂,无法通过人工编制调整计划,需实时获取列车与司机位置等信息,通过软件实时计算更新司机的驾驶任务。此外,灵活排班方案对于软件的计算效率要求极高,实现难度较大。

针对以上这些问题,建议现阶段的乘务排班方案应继续保留现行方案中采用的固定间隔轮乘模式。该模式能够有效应对常见的故障回库车次互换的调整情况,仅需在途经的折返站、轮乘站修改前后两车的司机轮乘规则,即可将回库车与回库驾驶员重新匹配。

## 4 采用灵活排班的管理难点分析

### 4.1 配套改革现有乘务管理模式

目前,我国乘务班组管理大多采用集业务与行政管理于一体的垂直管理模式。该模式的优点是管理人员与司机形成长期固定团队,经过磨合后双方更加了解彼此,更便于管理,也有利于团队建设与组织培训活动等。

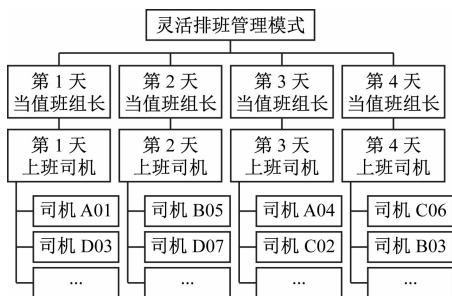
灵活排班方案下的乘务管理模式示意图如图 2 所示。由于灵活排班采用了非固定的轮转模式,每天上班的司机群体不固定,因此需采用类似于走班制的方式,将行政管理与业务管理分离,即当值管理员仅负责出退勤事务等当班的业务管理,而行政管理交由行政职能的班组长负责。

该管理模式会带来许多新的问题,如从管理实际考虑,当值班组长为了更好地管理司机,理论上需要了解全部司机的技能水平、脾气秉性等情况,这对于用车数较多、司机总数较大的线路来说较为困难。而灵活排班方案的乘务管理模式,对于以班组为单位统一组织开展培训、演练等任务带来了较大的阻碍,需要配套一系列新的管理办法来适应。此外,灵



活排班方案的乘务管理模式将部分管理职能下放到司机个体,而目前我国地铁乘务信息化程度及整体管理水平无法支撑该管理模式稳定有效的运作,可能无法满足地铁运营安全和可靠性的要求。

由于灵活排班方案的乘务管理模式带来的变革较大,建议在充分论证可行性后再逐步试点推行该模式。



注:司机 A01 指属于行政班组 A 的 01 号司机;余类同。

图 2 灵活排班方案下的乘务管理模式示意图

Fig. 2 Diagram of crew management mode under flexible scheduling plan

#### 4.2 司机不在车库过夜产生的通勤问题

灵活排班方案中,早班司机需要从居住地赶往车库出勤。国外的地铁公司一般通过设置接驳车,以及使住址相近的司机相互成组、互相监督出勤等方式解决该问题,但接驳点的数量和位置直接影响到地铁线路所需增加的运营成本。此外,一旦接驳车发生故障,会有多人同时迟到漏乘的风险。另一种解决方案是给司机发放交通补贴,让司机自行前往车库出勤。该解决方案虽然分散了司机迟到漏乘的风险,但更为依赖司机的自觉性,缺少实际的监督。考虑到现有司机在招聘时未有明确个人住址的要求,灵活排班方案较难推行。

#### 4.3 司机的认可和接受程度

灵活排班方案是从管理者的角度出发进行乘务计划安排的,但其能否获得司机群体的认可和接受也是非常重要的。对于灵活排班方案,通过与部分司机进行沟通获得的司机认可的方面包括:① 在家睡觉,休息得更好,陪伴家人的时间更长;② 提高生产效率后,司机的时薪水平也有所提高,月度驾驶里程的提高使得其收入也会有所增长;③ 驾驶任务间的差异更小,不同任务的工作强度和时长更为均衡,保证了公平性。司机不认可的方面包括:① 住址与车库的距离各不相同,不住车库后通勤时间较长,需要更早起床;② 单班驾驶时间延长,司机的

劳动强度有所增加;③ 不固定的翻班模式打破了司机的作息规律,若不能快速适应,则会造成休息不好等问题,存在一定的安全风险。

## 5 结语

灵活排班是一种理论上非常高效的排班方式,能大幅提高司机的生产效率,但若要在我国实施灵活排班方案,仍有大量技术和管理方面的问题需要解决,有待进一步的研究、试点与验证。目前,我国的地铁乘务管理依然存在一定的优化空间,近阶段可先采用其他可行性更高、效果同样显著的优化方法,如优化后备司机数量、简化出退勤流程等。对于高峰上线列车数差异较大的地铁线路,可通过合理配置早晚高峰班组及其他特殊班组来获得较为显著的增效省人效果。而对于采用全自动运行技术的地铁线路,可以采用自动折返、“自动出库+正线接车”等方式,充分释放乘务计划的灵活性。

若想进一步提升司机的生产效率,则应充分考虑我国地铁在线路长度、交路数量及形式、管理需求与作业要求等方面的特征,在试算仿真及充分论证的基础上,结合各线路自身条件挖掘可行方案,从而逐步探索适应我国地铁的灵活排班方案及乘务管理模式。

## 参考文献

- [1] 田益锋. 网络化运营条件下的地铁乘务计划优化方法[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(5): 112.  
TIAN Yifeng. Optimization of crew scheduling based on rail transit network operation[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(5): 112.
- [2] 潘寒川, 刘志钢, 吴强, 等. 考虑用餐约束的城市轨道交通乘务计划编制优化研究[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(1): 121.  
PAN Hanchuan, LIU Zhigang, WU Qiang, et al. A study on the optimization of crew scheduling in urban rail transit with the meal constraint[J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(1): 121.
- [3] 潘寒川, 刘志钢, 吴强, 等. 考虑峰值系数的城市轨道交通乘务轮转计划优化研究[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(12): 118.  
PAN Hanchuan, LIU Zhigang, WU Qiang, et al. A study on optimization of crew rostering plan of urban rail transit with peak factor[J]. Railway Transport and Economy, 2019, 41(12): 118.
- [4] 石俊刚, 周峰, 徐瑞华. 城轨交通乘务任务配对的集合分割模型及算法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(2): 232.

(下转第 77 页)

出现侧磨后进行润滑涂敷,在侧磨量为 5 ~ 10 mm 阶段进行重点涂敷,以减缓外轨磨耗。

2) 润滑需要根据钢轨磨耗,以及轨道伤损变化与发展情况而定,涂敷周期是决定钢轨生命周期的重要因素。由于地铁线路的特点各不相同,轮轨润滑策略需要因地制宜、不断更新,以保证润滑效果满足实际需求。

3) 涂敷周期及其与线路曲线半径大小、轨道几何形位、列车类型、列车通过速度及通过列车质量之间的量化关系还有待进一步研究和探索。

### 参考文献

[1] 王学彦,肖起鹏,杜茂金,等. 润滑时机对地铁试验段曲线钢轨剥离掉块与磨耗影响研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(9): 53.

WANG Xueyan, XIAO Qipeng, DU Maojin, et al. Study on influence of rail lubricant timing on spalling defects and wear of metro test section curve[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(9): 53.

[2] 温邦,陶功权,温泽峰,等. 地铁车辆轮缘润滑对车轮磨耗的影响[J]. 机车电传动, 2017(6): 101.

WEN Bang, TAO Gongquan, WEN Zefeng, et al. Effects of metro wheel flange lubrication on wheel wear[J]. Electric Drive for Locomotives, 2017(6): 101.

[3] 张念. 高速铁路小半径曲线钢轨的磨损及润滑[J]. 合成润滑材料, 2021, 48(1): 20.

ZHANG Nian. Wear and lubrication of small radius curved rails on high-speed railway[J]. Synthetic Lubricants, 2021, 48(1): 20.

[4] 罗国伟,李伟. 重载铁路钢轨润滑及摩擦控制研究[J]. 铁道建筑, 2011, 51(4): 114.

LUO Guowei, LI Wei. Study on rail lubrication and friction control of heavy-haul railway [J]. Railway Engineering, 2011, 51(4): 114.

[5] 梁旭,刘兴平,周韶博,等. 高速铁路小半径曲线轮轨减磨技术研究[J]. 中国铁路, 2021(1): 39.

LIANG Xu, LIU Xingping, ZHOU Shaobo, et al. Study on wheel-rail wear reduction technology for small radius curve in high speed railway[J]. China Railway, 2021(1): 39.

[6] 李建平,许自强. 动车组小曲线通过轮缘减磨措施深化研究[J]. 铁道机车车辆, 2021, 41(4): 1.

LI Jianping, XU Ziqiang. Further research on small curve wheel flange wear reduction control measurements of EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2021, 41(4): 1.

[7] 侯茂锐,王卫东,常崇义,等. 动车所小半径曲线钢轨磨耗及减磨措施研究[J]. 铁道学报, 2018, 40(3): 45.

HOU Maorui, WANG Weidong, CHANG Chongyi, et al. A study of rail wear on sharp curves in EMU maintenance depot[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(3): 45.

[8] 谢晨希,陶功权,陆文教,等. 地铁小半径曲线轨侧润滑对钢轨的减磨效果研究[J]. 润滑与密封, 2019, 44(6): 60.

XIE Chenxi, TAO Gongquan, LU Wenjiao, et al. Effect of lubrication on high rail side wear of metro sharp curves[J]. Lubrication Engineering, 2019, 44(6): 60.

[9] 李星,吴少培,王相平,等. 小半径曲线钢轨侧磨减缓措施及其对滚动接触疲劳影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(5): 1155.

LI Xing, WU Shaopei, WANG Xiangping, et al. Side wear and rolling contact fatigue of rails on small radius curves[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(5): 1155.

· 收稿日期:2021-07-11 修回日期:2021-11-24 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-07-11 Revised:2021-11-24 Published:2024-02-10

· 第一作者:罗信伟,正高级工程师,luoxinwei@ dtsjy. com  
通信作者:张斌,副教授,zhangbin010@126. com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

### (上接第 72 页)

SHI Jungang, ZHOU Feng, XU Ruihua. Set partition model and algorithm for crew pairing problem in urban rail transit[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43(2): 232.

[5] 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, 36(5): 1.

SHI Jungang, SHI Hongjie, XU Ruihua. Modeling and solving urban rail transit crew pairing problems[J]. Journal of the China

Railway Society, 2014, 36(5): 1.

· 收稿日期:2021-08-03 修回日期:2021-08-30 出版日期:2024-02-10  
Received:2021-08-03 Revised:2021-08-30 Published:2024-02-10

· 通信作者:徐天捷,工程师,tjxu02@163. com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》  
服务热线 021—56830728 转 821