

国际大城市轨道交通夜间运营经验及对广州的启示^{*}

李磊 金安 陈先龙

(广州市交通规划研究院, 510030, 广州//第一作者, 助理工程师)

摘要 从社会经济、人口密度以及公共交通出行特征等方面总结了提供城市轨道交通夜间运营服务的国际大城市基本特点。重点归纳总结了夜间运营模式、夜间运行线路特点和发车间隔等特征。提出了提供城市轨道交通夜间运营服务的基本适用条件。以广州市为例, 提出了提供夜间运营服务的线路方案和相关保障措施建议。

关键词 轨道交通; 夜间运营; 运营模式; 城市特征

中图分类号 F530.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.05.037

Experiences of Urban Rail Transit Night Operation in International Metropolises and the Enlightenment to Guangzhou City

LI Lei, JIN An, CHEN Xianlong

Abstract The basic characteristics of international metropolises with night rail transit operation service are summarized from aspects of social economy, population density and public transportation characteristics. The characteristics of rail transit night operation modes, night operation lines and departure intervals are comprehensively analyzed, the basic entry criteria of rail transit night operation are proposed. Taking Guangzhou as an example, the recommended night operation rail transit lines and relevant safeguard measures are put forward.

Key words rail transit; night operation; operation mode; urban characteristics

Author's address Guangzhou Transport Planning Research Institute, 510030, Guangzhou, China

为提高乘客夜间出行便捷性, 国际大城市的城市轨道交通系统提供夜间运营服务。国内一线城市也存在城市轨道交通夜间运营的需求。本文在分析国际大城市轨道交通夜间运营情况的基础上, 分析城市和运营线网特征, 总结基本适用条件, 并以广州市为例, 提出相应的开行线路方案和保障措施建议。

1 国际大城市的城市轨道交通夜间运营情况

1.1 纽约

纽约地铁的轨道线路与运营线路分离, 不同运营线路可以共用同一条轨道线路^[1-4]。日间运营线路有 25 条, 夜间仅 3 条线路停止运营, 运营轨道交通网络基本与日间一致。在夜间运营时, 同一轨道区段内只保留 1 条运营线路; 运营的线路大多采取短交路运行, 并在客流不足的站点实行跳站运营。纽约地铁每日夜间均运营, 线路发车间隔多为 20 min。

1.2 芝加哥

芝加哥地铁(the L System)有运营线路 8 条, 其中仅红线和蓝线开通了夜间运营服务^[5]。红线是 the L System 中客运量最大的线路, 蓝线连接芝加哥奥黑尔机场。红线和蓝线每日夜间运营, 其发车间隔分别为 15 min 和 30 min。

1.3 哥本哈根

哥本哈根仅有 2 条地铁线路^[6], 均采用无人驾驶系统。地铁 1 号线斜贯城市中心区; 地铁 2 号线连接哥本哈根机场和市中心。地铁每日夜间都运营, 周日至周四夜间发车间隔为 20 min, 周五和周六的发车间隔分别为 7~8 min 和 15 min。

1.4 悉尼

悉尼轨道交通包括城市铁路(Sydney Metro)和轻轨, 城市铁路的占比最高。只有 1 条轻轨线路提供夜间运营服务。该线路连接内西郊区与达令港和中央商务区。悉尼轻轨每日提供夜间运营服务, 发车间隔为 30 min, 只在市中心的 Central 站与 John Street Square 站之间运行, 为市中心乘客出行提供便利。

^{*} 广州市科技计划项目(201707010477)

1.5 伦敦

伦敦地铁共有 11 条运营线路。2016 年有 5 条地铁线路开通了夜间运营,称为 The Night Tube^[7]。其中,Victoria line 连接重点铁路站,Jubilee line 穿越城市重要商业娱乐区,Northern line 只保留一个分支,Piccadilly line 连接希斯罗机场且沿线有许多旅游景点,Central line 是客流最密集线路。The Night Tube 在周五和周六夜间运营,发车间隔为 8~20 min。

1.6 斯德哥尔摩

斯德哥尔摩地铁与纽约地铁一样,轨道线路与运营线路分离。其轨道线路分为红、绿和蓝三色,

同种颜色之间的线路才能够做到运营互通^[8]。

斯德哥尔摩地铁有 7 条运营线路在周五和周六晚上开通了地铁夜间通宵运营,发车间隔为 30 min。

1.7 柏林

柏林的地铁线路(U-Bahn)基本位于城市中心区。在 10 条地铁线路中,有 8 条线路在周五和周六开通夜间运营服务,发车间隔为 30 min^[9]。

2 国际大城市轨道交通夜间运营特点

2.1 城市轨道交通夜间运营的城市特征

上述国际城市的人口、社会经济及公共交通特征等背景资料如表 1 所示。

表 1 城市社会经济背景及公共交通数据

城市	行政区(一般为中心区)			夜间运营线路规模/km	总运营线路规模/km	其他交通出行特征
	人口/万人	面积/km ²	GDP/(亿美元)			
纽约	862	784	9 007	约 315.0	394.0	曼哈顿区公共交通出行比例占到 59.62%(全方式)
芝加哥	272	606	6 705	约 80.0	357.0	中心区公共交通出行比例最高,为 55.3%(全方式)
哥本哈根	77	607	631	20.4	20.4	45%的通勤和上学利用自行车出行(2014 年)
悉尼	513	12 368	3 375	约 6.0	12.8	
伦敦	883	1 572	5 535	约 180.0	402.0	全市范围内公共交通占比 37%、私人机动化占比 36%(2017 年数据,全方式);伦敦中心区公共交通出行占总出行比例达到了 72% ^[10] 。
斯德哥尔摩	95	188	1 670	105.7	105.7	
柏林	371	891.7	2 689	约 386.0	483.0	全方式比例:私人机动化 30%、公共交通 27%(2013 年数据)。

这些城市具有以下特征:

1) 城市经济发达。要开通城市轨道交通夜间运营服务,城市应有较好的经济基础。已开通该服务的城市 GDP 大多为 2 000 亿美元以上。

2) 夜间运营线路规模与城市人口密度成正比。除夜间经济最为发达的柏林以外,其余城市的人口密度与夜间运营线路规模呈线性关系(见图 1)。

他城市,芝加哥等城市的中心区公共交通出行比例也相对较高。良好的公共交通出行氛围是城市轨道交通夜间运营的基础,可增强城市轨道交通夜间运营的吸引力。

2.2 夜间运营模式

有关城市的轨道交通夜间运营规模和运营日,如表 2 所示。

表 2 有关城市的轨道交通夜间运营规模和运营日

城市	夜间运营规模		夜间运营日	
	大规模	少数线路	每日运营	仅周五周六运营
纽约	√		√	
芝加哥		√	√	
哥本哈根		√	√	
悉尼		√	√	
伦敦		√		√
柏林	√			√
斯德哥尔摩	√			√

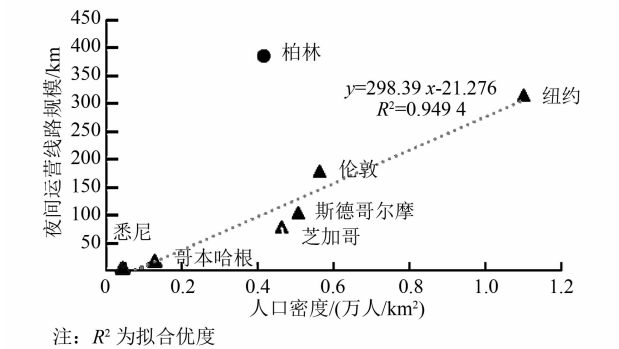


图 1 人口密度与夜间运营线路规模散点图

3) 公共交通出行比例高。开通城市轨道交通夜间运营服务的城市(如伦敦、哥本哈根及斯德哥尔摩等)大多是著名的公交都市。相对于同地区其

每日提供大规模城市轨道交通夜间运营的城市仅有纽约。这种运营模式经济效益有待论证。

有少数城市轨道交通线路夜间运营,且每日提供夜间运营服务的城市有芝加哥、哥本哈根和悉

尼,这些城市中心区规模相对较小,人口密度较低。夜间运营的线路为连接重要交通枢纽且客流规模大的线路。

有大规模城市轨道交通网络夜间运营、且在周五及周六提供夜间运营服务的城市包括斯德哥尔摩和柏林。其夜间会取消长度较短线路和同客流走廊内部分线路。

伦敦夜间运营地铁(The Night Tube)只有 5 条,且在周五和周六夜间运营,基本连接了城市重要铁路枢纽和机场,且基本都穿越城市中心区。

2.3 夜间运营线路特点

各城市夜间运营线路的特点如表 3 所示。夜间运营线路主要特点为:

表 3 轨道交通夜间运营线路特点

城市	连接机场线路	线路敷设方式	区间轨道数量	其他特点
纽约	接驳地铁 A、E、J 线均运营	地下为主	三轨/四轨	
芝加哥	Blue Line 运营	地面高架为主	双轨为主	
哥本哈根	M2 线运营	地下为主	双轨为主	全自动无人驾驶
悉尼	无(本身无连接机场线路)	地面	双轨为主	
伦敦	Piccadilly line 运营	地下为主	双轨为主	周末日间经常停运维修
斯德哥尔摩	无(本身无连接机场线路)	地下为主	双轨为主	
柏林	无(本身无连接机场线路)	地下为主	双轨为主	

2.4 夜间运营发车间隔

从国外城市夜间运营时的列车发车间隔来看:①发车间隔最大为 30 min,如芝加哥的 Blue Line、悉尼轻轨、斯德哥尔摩地铁和柏林 U-Bahn;②纽约地铁、芝加哥 Red Line、哥本哈根地铁(周日一周四)及伦敦地铁大部分线路,夜间发车间隔为 15~20 min;③哥本哈根(周五一周六)及伦敦地铁 Northern Line 的发车间隔仅为 7~8 min。可见,夜间运营发车间隔一般为 7~30 min,过短则发车过密形成浪费,过长则乘客候车过久。

2.5 运营效果

纽约和伦敦的地铁夜间运营模式是两个典型模式,常被当做参考范例。

纽约地铁每日都有大规模网络提供夜间运营服务,但其夜间运营效益一般。据文献[11],纽约地铁工作日的夜间客流量只占全天客流量的 1.5%。

伦敦在开行 The Night Tube 前,论证了夜间运营服务的影响。根据文献[12],The Night Tube 平均可使乘客夜间行程减少 20 min,还能支持近 2 000 个就业岗位。The Night Tube 开通后,其夜间客流量增长率是日间客流量的两倍。周五和周六的 The Night Tube 平均客流量分别为 8.4 万人次和 9.4 万

人次。1) 城市对外枢纽站(如机场、铁路车站等)是城市的门户。在表 3 所列的城市里,连通各大主要枢纽站的线路都做到夜间运营。

2) 国外城市轨道交通线路的敷设方式和区间轨道数量有利于夜间运营,可在一定程度上降低对维修检修工作的影响。其中。哥本哈根地铁为全自动无人驾驶,伦敦地铁在周末日间进行不定期停运维修。这些措施都能降低夜间运营对运维检修的影响。

3) 夜间运营线路多为中心区线路或中心区穿越线路。在夜间运营时,可适当缩短夜间列车运行区间或长短交路结合。夜间列车的运行交路和停站方案很灵活。

人次。

3 城市轨道交通夜间运营适用条件

经总结,城市轨道交通开通夜间运营有如下适用条件:

1) 在城市特征方面,应当满足城市经济发达、中心城区人口密度高、中心城区公共交通出行比例高等条件。建议城市轨道交通夜间运营基本条件为:城市 GDP 达到 2 000 亿美元,中心城区人口密度在 1.0 万人/km²以上,中心城区内公共交通出行占机动化出行比例大于 60%。

2) 在运营模式方面,需要结合城市自身特点进行研究。大部分城市只提供部分城市轨道交通线路夜间运行服务,甚至有些城市只在周五和周六提供夜间运行。国内超大城市的城市轨道交通网络巨大,不宜采用全网提供夜间运行服务的模式。建议国内城市能结合线路的客流特点,选择部分线路提供夜间运行服务。

3) 在运营线路条件方面,选择夜间运营线路应作如下考虑:①对外枢纽是城市门户,连通城市对外枢纽的线路应首先考虑开通;②中心区线路的沿

线商业娱乐休闲场所和旅游景点较多,为夜间主要客流的吸引点,应优先考虑;③穿越中心区线路在城市市区中心区的部分,一般也是主要客流走廊,其在夜间运营时不必采用日间交路,可适当缩短交路或采用长短交路运营的模式;④同走廊内存在数条平行线路时,可保留主要客流线路,还可根据站点客流情况,灵活采用快慢车运营模式和跳站运营模式提高旅行速度。

从国外城市轨道交通的敷设方式和区间轨道数量来看,部分城市仍以地下线和双轨区间为主,因而地下双轨线路并非城市轨道交通夜间运营的障碍。

4) 发车间隔。国外城市轨道交通夜间发车间隔为7~30 min。我国夜间运营线路在初期开通时,可采用10~20 min作为发车间隔,后续可根据客流情况优化。此外,还应协同线路间时刻表来减少乘客的换乘等待时间。

4 广州轨道交通的夜间运营

4.1 城市特征及运营建议

广州市2018年的GDP约为3 300亿美元;主城区范围内人口超过1 000万,人口密度为1.0万人/km²;中心城区的公共交通机动化分担率为61.1%,为“国家公交都市建设示范城市”。从城市特征来看,广州满足了城市轨道交通夜间运营的三个城市条件。

广州轨道交通夜间(23:00—06:00)客流量一周变化情况如图2所示。由图2可见,周五、周六及周日的夜间客流量处于同一水平,故可考虑少数线路在周五—周日开通夜间运营。

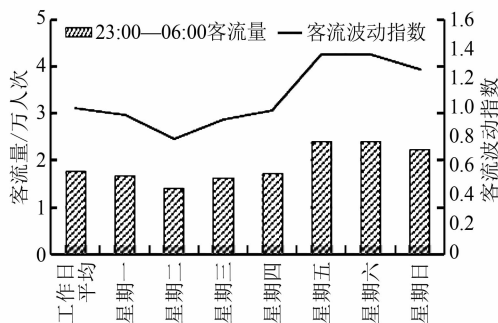


图2 广州市轨道交通夜间客流一周变化情况

1) 线路选取。连接广州南站的2号线和连接白云机场的3号线为连接城市对外枢纽的线路,应首先考虑,且可通过快慢车开行方案来提高旅行速

度。1号线和5号线作为中心区线路,其沿线商业娱乐场所和旅游景点较多,应优先考虑。6号线为穿越中心区线路,其在中心区部分的沿线客流较多,故该线路可考虑开通;该线路开通夜间运营时应只采用短交路或者长短交路结合的形式。此外,现阶段广州市并不存在同客流走廊内多条轨道交通线路的情况。

2) 发车间隔。广州市轨道交通在夜间运营初期可采用10~20 min的发车间隔。为满足夜间轨道维护工作的需要,在夜间客流量低峰时段可适当延长发车间隔,采用“开天窗”维修模式。

4.2 城市轨道交通夜间运营保障

城市轨道交通线路夜间运营可能会与既有的轨道交通线路检修制度冲突。对此问题,国外轨道交通系统一般采用的措施为:①区间有多条轨道线路时,错开时间进行检修;②整条线路停运检修;③利用先进检测设备(如智能检测车等)来加快检修速度,缩短检修时间。

目前,国内线路为双轨,且停运检修影响很大,故措施③较优。根据最新研究进展,国内已研制出首台小型化轨道交通智能检测车,其速度快、精度高,可替代人工检修。因此,可推广智能检测设备的应用,在线路夜间运营时留出较短的“天窗”时间,以进行快速检测,保障线路运营安全。

5 结语

城市轨道交通夜间运营对于拉动城市夜间经济、服务居民夜间出行有着重要作用,但国内普遍认为城市轨道交通线路在夜间需要检修,不宜提供夜间运营服务。

本文分析了国外提供城市轨道交通夜间运营服务线路的条件,发现多数提供夜间运营服务的城市轨道交通线路多为双线,由此可见双线线路不是不能开行夜间运行的充分条件。通过对国际城市既有夜间运行线路的特点分析,总结了城市轨道交通提供夜间运营服务的适用条件,并结合广州城市特征和轨道交通客流特点,提出了夜间运营线路开行方案和相关保障措施建议。

参考文献

- [1] 张琳卿,韩宝明,李得伟.快慢车开行且昼夜运营的纽约地铁[J].都市快轨交通,2013,26(4):119.

(下转第166页)

m/s,效能损失过大。

比较工况 2 与工况 5 可知:两工况下的送风风机设置一致,工况 2 开启的 2 台排风风机在 HD 站靠近列车车头位置的车站风井内,工况 5 开启的 2 台排风风机分别设置在 HD 车站的两端车站风井内,但两工况下联络通道内的流速场差别却很大。

比较工况 2 与工况 6 可知,两工况下的风机布置数量跟位置均不同,但起火侧隧道及联络通道 L1 流速差别不大。

4 结论

1) 烟气流动方向主要跟开启 TVF 的位置及转向相关,与 TVF 开启的数量无关。故开启起火隧道列车车头前的 TVF 正转排风和车尾后的 TVF 反转送风,可保障乘客安全疏散的路径不受烟气污染。

2) 开启未起火侧隧道的 TVF 进行反转辅助送风,能有效减少起火侧隧道的风流通过联络通道而损失,进而提高效能。

3) 工况 2、工况 3 及工况 6 的流速场均满足要求。考虑不同工况下启动的风机数量,依次推荐工况 2、工况 6 及工况 3。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2017 年度统计和分析报告[R/OL].(2018-04-19)[2018-08-10].<http://www.cameo.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=18&id=13532>.
- [2] 史聪灵,钟茂华,汪良旗,等.地铁车站及隧道全尺寸火灾实验

研究(2)——区间隧道火灾[J].中国安全生产科学技术,2012,8(8):28.

- [3] 史聪灵,钟茂华,涂旭炜,等.深埋地铁岛式站点火灾模型实验研究(2)-列车火灾[J].中国安全生产科学技术,2006,2(2):14.
- [4] 钟茂华,史聪灵,邓云峰.地铁浅埋岛式站台列车火灾烟气蔓延的数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2005,15(11):10.
- [5] 李建.地铁长大区间隧道火灾风机启动方案数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2017,13(9):139.
- [6] JAIN S,SHASHI K S.Numerical studies on evaluation of smoke control system of underground metro rail transport system in India having jet injection system: A case study[J].Building Simulation,2011,4(3):205.
- [7] KARAASLAN S,DINLER N,YUCEL N.Numerical fire simulation in subway station tunnel by using different combustion models[J].Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,2011,26(3):533.
- [8] 朱祝龙,田峰,陈洋,等.地铁长大过海区间隧道通风排烟方案[J].都市轨道交通,2017(1):94.
- [9] 赵红莉.公路隧道通风排烟网络分析及计算方法研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [10] 吴奉亮.复杂公路隧道火灾风网稳态求解模型及应用[J].长安大学学报(自然科学版),2011,31(5):57.
- [11] 王明年,杨其新,曾艳华,等.秦岭终南山特长公路隧道网络通风研究[J].公路交通科技,2002,19(4):65.
- [12] 中国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,2014.
- [13] 伍彬彬.一种基于 GIS 的地下洞室群风网解算可视化研究[J].中国安全科学学报,2014,10(4):48

(收稿日期:2018-08-14)

(上接第 162 页)

- [2] 江捷,宋家骅,邵源.大都市圈轨道快线布局比较及其启示[J].城市轨道交通研究,2017(1):6.
- [3] 江永,叶霞飞.国外典型城市轨道交通配线方法和经验[J].城市轨道交通研究,2007(12):35.
- [4] 张向荣,蒲琪,杨超.国外主要大城市轨道交通客运服务特色的启示[J].城市轨道交通研究,2008(10):12.
- [5] 陈雪明.芝加哥城市交通系统简介[J].国际城市规划,2013,28(2):123.
- [6] 徐艳文.哥本哈根的城市公交[J].城市公共交通,2018(9):81.
- [7] 章希.通宵地铁拉动城市“午夜经济”[J].交通与港航,2017,4(2):71.

- [8] 马祖琦.斯德哥尔摩城市轨道交通系统[J].都市轨道交通,2010,23(6):107.
- [9] 杜磊,季令,陈岩.世界八大城市的轨道运输[J].城市轨道交通研究,2001(2):75.
- [10] 凌小静.关于公共交通出行分担率指标的探讨[C]//中国城市规划学会.2013 年中国城市交通规划年会暨第 27 次学术研讨会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2014:9.
- [11] Regional Plan Association.The Fourth Regional Plan[R].New York:Regional Plan Association,2013.
- [12] Volterra Partners.Impact of the Night Tube on London's Night-Time Economy[R].London:Volterra Partners,2014.

(收稿日期:2019-06-03)