

上海轨道交通 21 号线运行方案研究*

胡康琼

(上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海//工程师)

摘要 从上海城市轨道交通线网不断迅速发展的背景出发,通过借鉴国内外运营模式的丰富成功经验,以上海新一轮建设规划线路中的 21 号线为例,进行运营组织模式的研究,从线路概况及功能定位、客流特征及站间距等方面,分析线路快慢组合、站站停及灵活编组方式的需求,并从线路的越站选取、节省时间、越行方案系统分析,提出针对性的运营组织方案,有利于决策者权衡利弊,做出合理的选择,对新一轮规划 21 号线线路设计与建设具有重要的指导作用。

关键词 城市轨道交通; 运行组织; 方案比选

中图分类号 U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.08.018

Research on the Operation Scheme of Shanghai Rail Transit Line 21

HU Kangqiong

Abstract In the context of Shanghai urban rail transit network continuous and rapid development, taking the operation mode of successful experience at home and abroad for reference, the Line 21 of Shanghai new line construction plan is adopted as an example for studying the operation organization pattern. From aspects such as general situation and function positioning, passenger flow characteristics and station spacing, the requirements of line speed combination, conducting stop and flexible marshalling are analyzed. By systematically discussing overtaking station selection of the line, time to be saved, overtaking scheme, specific operation organization scheme is put forward, helping decision-makers to weigh the pros and cons and to make reasonable choices, contributing significantly in guiding the design and construction of Line 21 in the new round of planning.

Key words urban rail transit; operation organization; scheme comparison and selection

Author's address Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

运行模式,难以适应时空分布多样性需求。由文献[1-7]的研究成果可见:①不同的运营模式适应不同的客流需求,需结合线路客流特征和功能定位分析来确定合适的运营模式;②应根据线路不同时期及不同时段的客流特征,选择符合客流的灵活编组模式,其中车站设置对运营方案有重要影响;③对于长大线路,跳站和快慢车组合运营模式比传统站站停模式,在提高列车旅行速度方面有较大优势。对此,本文以上海轨道交通 21 号线为例,重点研究运行模式,提出针对性运行组织方案,以供决策者权衡利弊,做出合理选择,指导后期设计建设工作。

1 研究思路

本文从线路的功能定位、客流特征、运行模式等方面,进行综合分析,从理论上提出线路针对性的运行组织方案。

1) 在城市总体规划背景下,从线路概况和功能定位出发,分析线路对快线运行、快慢车组合运行、站站停运行等不同模式的需求。

2) 通过对线路客流特征、站间距和灵活编组的需求等方面分析,提出不同的运行组织模式。

3) 对不同运行模式的越站选取、节省时间、越行方案等方面进行综合分析,提出相应的方案。

2 项目概况及特征

2.1 线路概况及功能定位

上海轨道交通 21 号线起于浦东机场站,终于吴淞站,全长约 61.7 km,均为地下敷设,共设车站 33 座,平均站间距 1.85 km。将同上海轨道交通 2 号线、6 号线等多条地铁线路,以及机场联络线换乘。线路走向见图 1。

21 号线主要具有支撑地区发展、完善网络以及交通配套等功能,贯穿国际旅游度假区、张江创新

国内外城市轨道交通普遍采用单一的站站停

* 上海市科委项目(20dz1202902)

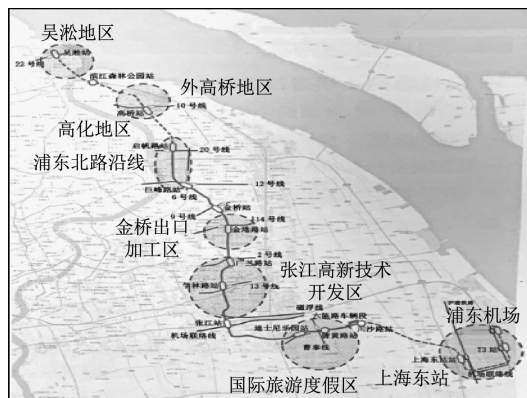


图1 21号线线路走向示意图

示范区、金桥加工区等浦东三大功能区,能有力促进和支撑区域发展;其与8条线路换乘,具有汇集、转换以及均衡网络客流功能;21号线连接迪士尼和国际旅游度假区,并为高行镇及金桥镇等居住区提供服务。

2.2 客流特征分析

21号线的远期高峰小时断面客流量预测见图2。由图2得出:全线断面客流量分布向中心逐步增大,呈纺锤形;潮汐现象较突出;早高峰的下行方向客流量高于上行方向客流量。晚高峰则反之。

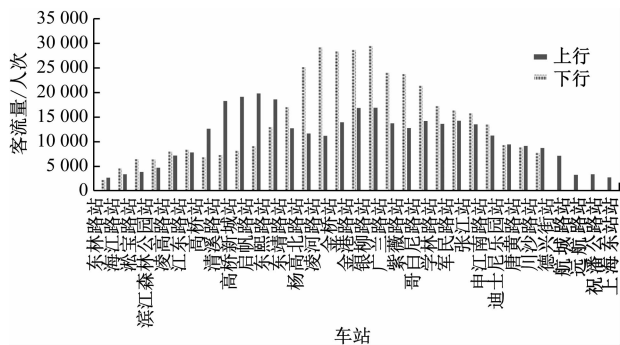


图2 远期2051年早高峰断面客流分布图

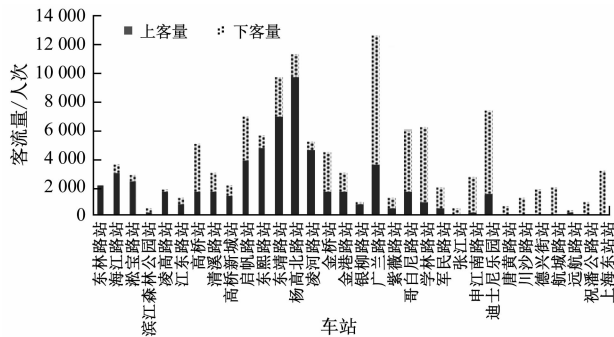
从客流特征来看,断面客流分布不均衡,向心性明显,中段较大,两端较小,较适合大小交路运行的方案。从线路功能来看,21号线南北径向穿越市区,线路较长,沿线各站上下客流量差别较大(见图3),且连接上海火车站与浦东机场等重要枢纽,服务于中部、北部及东部地区。综合考虑线路功能定位与客流特征,本文将对21号线的快线运行方案、快慢车组合运行方案及站站停运行方案进行对比分析。

3 运行方案

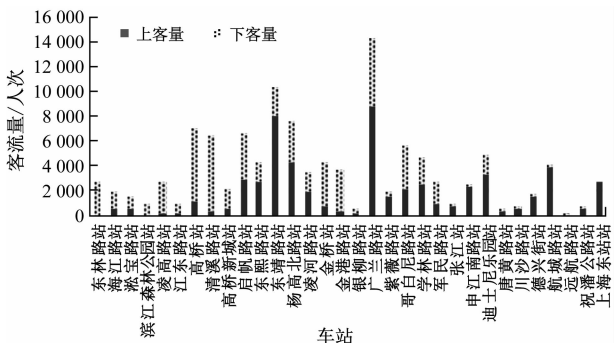
3.1 快线运行方案

3.1.1 设站方案优化

21号线原规划设站33座,其平均站间距为



a) 下行方向



b) 上行方向

图3 21号线远期早高峰小时车站上下客流量

1.85 km,难以满足南北向市域(郊)铁路平均站间距要求(中心城区平均站间距不宜小于2 km,其他路段平均站间距不宜小于4 km)。对此,在保留换乘站及重要站点的基础上,对原站点进行合并精简。精简后的21号线保留了16座车站(含13座换乘站),其全长仍约为61.7 km,平均站间距延长至4.1 km(见图4)。



图4 精简后的21号线快线运行方案线路示意图

3.1.2 列车速度目标值

从节能角度考虑,列车的目标速度与站间距应合理匹配。如图 5 所示,列车目标速度为 120 km/h 时,合理站间距应不低于 3 km;列车目标速度为 140 km/h 时,合理站间距应不低于 4 km;列车目标速度为 160 km/h 时,合理站间距应不低于 6 km。

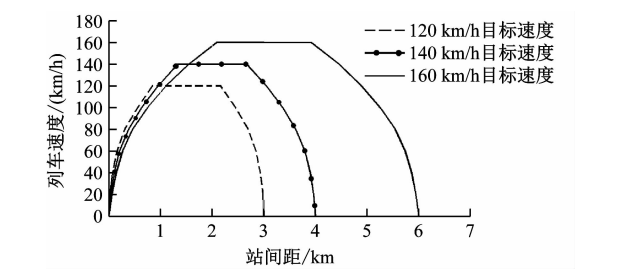


图 5 列车目标速度与站间距的合理匹配曲线图

线站位调整后,平均站间距为 4.1 km。为充分考虑市域(郊)铁路,需对不同速度目标值的站站停方案和快慢车组合运行方案对比。本文选用全线、广兰路站—浦东机场站及金港路站—浦东机场站等 3 个范围来对比,见图 6。

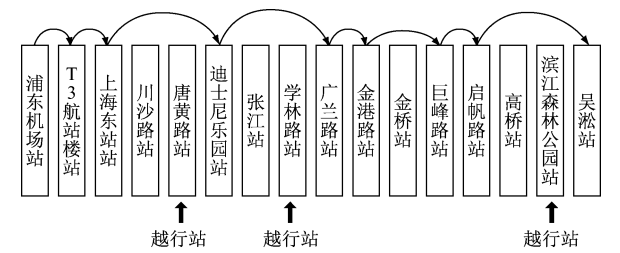


图 6 快线运行方案的越行站设置

表 1 不同速度列车时分及旅行速度统计结果

列车目标速度/(km/h)	运行方案	停站时长/min			运行时长/min			旅行速度/(km/h)		
		全线	广兰路站—浦东机场站	金港路站—浦东机场站	全线	广兰路站—浦东机场站	金港路站—浦东机场站	全线	广兰路站—浦东机场站	金港路站—浦东机场站
120	站站停	11.0	6.0	7.0	55.5	31.1	35.3	68.6	72.5	69.8
	大站车	5.0	3.2	3.8	46.6	26.9	30.3	81.8	83.9	81.3
140	站站停	11.0	6.0	7.0	53.6	29.7	33.8	71.0	76.0	72.9
	大站车	5.0	3.2	3.8	38.9	22.7	25.6	97.8	99.4	96.2
160	站站停	11.0	6.0	7.0	50.1	28.9	33.1	76.0	78.1	74.4
	大站车	5.0	3.2	3.8	36.6	21.4	24.1	104.2	105.4	102.2

表 2 不同列车速度计算结果对比

项目	运行方案	全线		广兰路站—浦东机场站		金港路站—浦东机场站	
		节省旅行时间/min	旅行速度提高百分比/%	节省旅行时间/min	旅行速度提高百分比/%	节省旅行时间/min	旅行速度提高百分比/%
140 km/h 对比 120 km/h	站站停	1.9	3.6	1.4	4.8	1.5	4.4
	大站车	7.6	19.6	4.2	18.5	4.7	18.5
160 km/h 对比 140 km/h	站站停	3.5	7.1	0.8	3.7	0.7	2.1
	大站车	2.3	6.5	1.3	3.8	1.5	6.2

从不同列车速度旅行时间和旅行速度对比(见表 1 及表 2)可得,目标速度为 140 km/h 时的旅行速度相比目标速度为 120 km/h 和 160 km/h 时的旅行速度提升明显,故若该线采用快线运行方案,则推荐速度目标值为 140 km/h。

3.1.3 快线运行方案的效果

采用快线运行方案后,途径 21 号线的浦东北部,由崇明前往浦东国际机场及上海东站站的客流出行效率具有较大提升。此外,由主要换乘站至浦东国际机场的出行时间,如表 3 所示。

表 3 主要换乘站至浦东国际机场的出行时间		
主要换乘站	终点站	时间/min
吴淞站	浦东机场站	38.9
启帆路站	T3 航站楼站	28.8
金港路站	T3 航站楼站	25.6
广兰路站	T3 航站楼站	22.7

3.2 快慢车组合运行方案

综合考虑区域服务和客流效益等因素,在快线运行方案精简后的 16 座车站基础上,新增施新路

站、银柳路站及凌高路站,作为 21 号线快慢车组合运行方案的设站方案。此外,参考快线运行方案,快慢车组合运行方案选择 140 km/h 作为列车目标运行速度。

快慢车组合运行方案主要从越行站选取、越行节省时间及越行方案等方面分析。

3.2.1 越行站的选择

越行站设置及慢车停靠原则:①车站设置越行线时应考虑工程条件;②为保证一定的服务水平,换乘车站一般不设置为越行站;③上下车客流量较大的车站,一般不设置为越行站;④应合理设置快慢车开行比例,应保证一定的快车对数。

在越行站及慢车停靠原则基础上,综合考虑车站形式、工程条件、换乘站及上下客流量等因素,以及首末站情况,分析得出 21 号线适宜作为越行车站的有:T3 航站楼站、上海东站站、施新路站、川沙路站、银柳路站、凌高路站及滨江森林公园站。考虑到 T3 航站楼站和上海东站站为城市重要交通枢纽,最终选择施新路站、川沙路站、银柳路站、凌高路站及滨江森林公园站作为越行车站。

3.2.2 列车越行节省的时间

对于越行站不停靠的列车,在不限速经过车站的条件下,各区间的快慢车运行时间如表 4 所示。列车越行节省的时间包括制动进站时间、启动出站时间和停站时间。

表 4 快慢列车运行时长表

快车运行区间	快车运行时长/s	对应的慢车运行区间	慢车运行时长/s
上海东站站—唐黄路站	378	上海东站站—施新路站	166
		施新路站—川沙路站	196
		川沙路站—唐黄路站	116
广兰路站—金港路站	140	广兰路站—银柳路站	71
		银柳路站—金港路站	115
高桥站—吴淞站	285	高桥站—凌高路站	123
		凌高路站—滨江森林公园站	119
		滨江森林公园站—吴淞站	139

由表 5 可知:如不考虑慢车的停站时间,则快车平均每越行 1 座车站就可节省约 48.4 s;如考虑慢车的停站时间,则快车平均每越行 1 座车站就可节省约 83.0 s。

3.2.3 快慢车开行比例

常用的快慢车开行比例为 1:1、1:2 或 2:1。

根据规划,21 号线远期高峰小时最大断面客流量为 2.95 万人次/h,快慢车共开行 20 对/h 即可满足需求。为留出一定裕量、提高服务水平,远期高峰时段列车开行计划应按 24 对/h 设计。因此,本文在高峰时段开行列车 24 对/h、最小追踪间隔为 90 s 的情况下,分别按 1:1、1:2、2:1 的快慢车开行比例进行研究。

1) 1:1 的快慢车开行比例。根据现场工况、运营图铺画、行车密度等因素考虑,施新路站和银柳路站需设越行线,见图 7。经计算:若乘客乘坐快车,则全程越行 5 站,可节省 6.9 min,与乘坐慢车相比可节省 14.5% 的时间;若乘客由非越行站出发或到达非越行站,则等候慢车用时平均为 1.3 min;若乘客乘坐慢车在越行站被快车越行,则乘客在慢车上等候快车越行的时间平均为 3.9 min。总体来看,乘客节省的出行时间较明显。

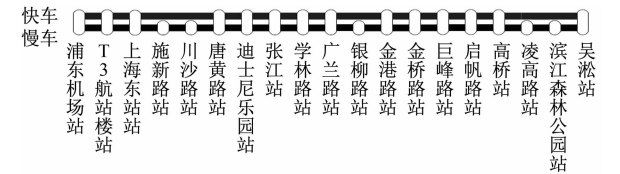


图 7 停站示意图

2) 1:2 的快慢车开行比例。根据现场工况、运营图铺画、行车密度等因素考虑,需在施新路站设置越行线。经计算,若乘客乘坐快车,则全程越行 5 站,可节省 6.9 min,与乘坐慢车相比可节省 14.5% 的时间;若乘客由非越行站出发或到达非越行站,则等候慢车平均用时为 0.8 min;若乘客乘坐慢车在越行站被快车越行,则乘客在慢车上等候快车越行的时间平均为 3.0 min。总体来看,乘客节省的出行时间较明显。

3) 2:1 的快慢车开行比例。经综合考虑,施新路站、银柳路站需设置越行线。经计算:若乘客乘坐快车,则全程越行 5 站可节省 6.9 min,与乘坐慢车相比可节省 14.5% 的时间;若乘客由非越行站出发或到达非越行站,则等候慢车用时平均为 2.5 min;若乘客乘坐慢车在越行站被快车越行,则乘客在慢车上等候快车越行的时间平均为 5.9 min。总体来看,乘客节省的出行时间不明显。

经综合分析,若采用快慢组合运行方案,推荐快慢车开行比例为 1:1 及 1:2。

3.3 站站停运行方案

21 号线为长大线路,从运行经济性角度出发,宜考虑大小交路运行。根据远期规划,早高峰下行方向断面客流量较高,上下行方向客流高峰点错落分布。其中,符合 1/2 断面范围(高峰高段面客流量的 1/2)的为高桥站—迪士尼站区段,长约 31.3 km;符合 2/3 断面范围(高峰高段面客流量的 2/3)的为杨高北路站—学林路站区段,长约 11.4 km。

对于客流量较大的市区线小交路设置应对主城区大客流站及换乘站等重要节点给予充分覆盖。当线路分期建设延伸段时,小交路折返点应考虑分期建设的节点因素。根据远期规划断面客流量分布规律,考虑经济性,21 号线宜按照 1/2 断面范围,按开行比例 1:1 来设置大小交路。按规划,川沙路站为近期的延伸建设节点,滨江森林公园站为远期的延伸建设节点。这 2 站均可作为小交路固定折返站。此外,由于唐黄路站为六陈路车辆段接轨站,为降低列车空走距离,故建议将小交路折返点由川沙路站移至唐黄路站。

综上分析,若 21 号线采用站站停运行方案,则推荐远期采用开行比例为 1:1 的大小交路方案(见图 8),其折返站为滨江森林公园站与唐黄路站。

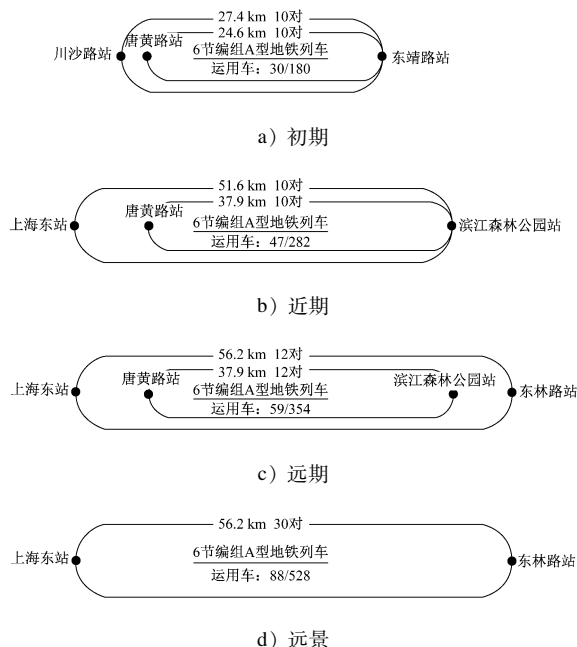


图 8 列车交路图

4 结论与建议

4.1 结论

1) 从地区发展与功能定位等因素考虑,21 号线采用快线模式旅行速度提升效果明显。由浦东北部及崇明前往浦东国际机场和上海东站的客流出行效率得到较大提升。

2) 根据客流预测及线路功能定位等,分别对快慢车组合运行方案及站站停方案进行对比。推荐快慢车按 1:1 和 1:2 比例开行,且远期列车开行计划为 24 对/h,综合节省时间效果较明显。

3) 对于站站停方案的研究,通过客流预测和运行经济性等方面考虑,推荐开行比例为 1:1 的大小交路方案。小交路折返站为滨江森林公园站与唐黄路站。

4.2 建议

1) 目前本线尚处于研究阶段,线路方案尚未完全确定,规划定位、制式车型、线路方案的变化对运行组织模式等有重大影响。若方案有重大调整,应分析相应适合的运行组织模式。

2) 快慢车组合运行除了对前期设计及土建施工有所要求外,对行车组织和客运组织也有一定的要求。目前,上海轨道交通 16 号线已采用了快慢车组合运行方案。新线决策应进一步总结和借鉴国内外成功案例系统考虑,分析优缺点和适用性。

参考文献

- [1] 郑翔. 城市轨道交通快、慢车运营组织模式研究综述[J]. 交通工程, 2018(4): 38.
- [2] 史瑞洁. 城市轨道交通运营组织优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [3] 程雯, 韩宝明. 北京地铁 6 号线快慢线运营模式设计[J]. 都市快轨交通, 2015(5): 71.
- [4] 雷晓瑜, 杨国飞, 易晨阳, 等. 轨道交通灵活编组及其组合运输组织特点的探讨[J]. 铁道运输与经济, 2015(9): 64.
- [5] 周建军, 顾保南. 国外市域轨道交通共线运营方式的发展和启示[J]. 城市轨道交通研究, 2004(6): 75.
- [6] 刘丽波, 叶霞飞, 顾保南. 东京私铁快慢车组合运营模式对上海市域轨道交通线的启示[J]. 中国铁道科学, 2004(4): 34.
- [7] 戎亚萍. 城市轨道交通列车多编组运输组织技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.

(收稿日期: 2019-08-02)