

无锡地铁 5 号线车辆编组方案

鲁洁¹ 樊勇² 冯力源²

(1. 无锡地铁集团有限公司, 214125, 无锡; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉)

摘要 [目的]为一定程度解决中等线网规模的城市轨道交通运营满载率偏低、运营成本高、过分依赖政府财政补贴的问题,以无锡地铁 5 号线为例,开展基于运营线路实际客流研究新线车辆的编组方案。[方法]通过从既有线采用 6 辆编组的实际客流情况出发,结合景区突发大客流的潜在影响,首先对无锡地铁 5 号线远期编组方案进行研究,确定土建规模,其次再通过对初近期采用 4 辆编组和“3+3”联挂方案进行比选,分析 25 年的运营成本和购置费。[结果及结论]研究表明:在基于实际客流和突发大客流的考量下,明确土建按 6 辆编组实施,初、近期采用 3 辆、4 辆小编组以提高服务水平,初、近期“3+3”联挂方案运行效率和灵活性更高,但目前实际应用案例较少,技术成熟度有待进一步考量,最终推荐采用初期 4 辆编组,在提高服务水平的同时可提升满载率和客运量。

关键词 城市轨道交通; 列车编组; 方案研究

中图分类号 U292.31

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.07.061

Vehicle Formation Scheme for Wuxi Metro Line 5

LU Jie¹, FAN Yong², FENG Liyuan²

(1. Wuxi Metro Group Co., Ltd., 214125, Wuxi, China; 2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China)

Abstract [Objective] To somewhat address the issues of low passenger load factor, high operating cost, and excessive reliance on government subsidies in medium-sized urban rail transit network, taking Wuxi Metro Line 5 as example, a formation scheme of new line vehicles is developed based on the actual passenger flow on operating lines. [Method] Starting from the actual passenger flow of the existing lines using 6-car formation and considering the potential impact of sudden large passenger flow in the scenic spot, the long-term formation scheme for Wuxi Metro Line 5 is first investigated to determine the civil engineering scale, and then the 25-year operating cost and purchase cost are analyzed by comparing the initial and recent adoption of a 4-car formation and the '3+3' coupled formation schemes. [Result & Conclusion] Research results indicate that, based on the consideration of actual passenger flow

and sudden large passenger flow, it is recommended to implement civil engineering according to a 6-car formation. In initial and short terms, the 3-car and 4-car formations shall be adopted to enhance service level, and the '3+3' coupled formation scheme can offer higher operating efficiency and flexibility, but its practical application cases are limited and the technological maturity needs further estimation. Therefore, it is ultimately recommended to adopt a 4-car formation for the initial term, which can improve service level while increasing passenger load factor and passenger volume.

Key words urban rail transit; train formation; scheme investigation

1 项目概况

无锡地铁 5 号线是完善老城核心与唐城、鼋头渚景区、蠡湖未来城、高新区之间直接联系的骨架线路,有利于加密老城核心区轨道线网密度,提升清名桥历史街区轨道出行条件,促进老城区向绿色交通方向转变。

无锡地铁 5 号线线路全长 29.5 km,设站 24 座,其中换乘站 9 座,平均站间距 1.26 km,速度目标值 80 km/h;采用集中供电,DC 1 500 V 接触轨授电,新建 2 座主变电所;1 座车辆段,预留停车场,接入新建的第二控制中心。

2 客流预测

1) 客流总体指标(工作日)。5 号线高峰小时最大断面初、近、远期分别为 1.18 万人/h、2.06 万人/h、3.02 万人/h,全日客运量分别为 25.6 万人次/d、48.10 万人次/d、65.80 万人次/d。

2) 景区客流特征(节假日)。5 号线西端串联国家 5A 级景区鼋头渚,经对近 3 年游客量进行调研,基本集中在每年 3、4、5 月份的节假日,最高日客流为 10.2 万人、最高在园人数约 4 万人。景区交通的高峰时段为上午 09:00—10:00,约有 37.5% 游客通过公交到达景区。经对本线初期节假日早

09:00—10:00 客流进行预测,全线单向最大客流断面仍然位于南长街—南禅寺区间,高峰小时最大断面流量达到 9 373 人次/h。鼋头渚车站初期在景区高峰时段的客流集散量为 5 858 人次/h,是工作日晚高峰客运量的 7 倍,也超过了远期的工作日车站高峰客运量。景区高峰时段车站以到达客流为主。

3) 无锡既有有线客流情况。根据表 1,无锡市既

有地铁线客流量普遍低于预测客流量,具体到本线,将来小客流风险比较大。

综上,将来本线存在小客流风险,但旅游旺季景区突发客流也不容忽视,鼋头渚站将来突发客流量较大,应加强车站疏散方面的设计并建立专项乘客组织预案,但不是列车编组选择的决定性因素。

表 1 无锡市既有有线预测客流与实际客流对比

Tab.1 Comparison of the predicted and actual passenger flow on existing lines in Wuxi

线路初期 年份	初期预测值(可行性研究报告)				现状实际值(2021 年)		
	日客运量/ (万人次/d)	高峰小时单向 最大断面流量/ (万人次/h)	客流强度/ (万人次/ (km·d))	平均运距/ km	日客运量/ (万人次/d)	高峰小时单向 最大断面流量/ (万人次/h)	客流强度/ (万人次/ (km·d))
1 号线 2017 年	26.25	1.18	0.86	8.57	20.20	0.58	0.58
2 号线 2018 年	29.41	1.25	1.11	7.13	14.30	0.41	0.54
3 号线 2021 年	28.42	1.33	0.98	7.37	8.70	0.26	0.31

3 车辆选型及列车定员

1) 车辆选型。本线远期高峰小时单向最大断面客运量为 3.02 万人次/h,根据《城市轨道交通工程建设标准》,本线属大运量(单向运能 2.5 ~ 5.0 万人次/h)的城市轨道交通项目,可选用 B 型或 Lb 型车。从满足客流运输需求、便于线网车辆设备资源共享、车辆制造技术和应用范围等方面综合考虑,5 号线推荐沿用已运营线路的车辆选型方案,采用 B 型车、接触轨直流供电的地铁系统。

2) 列车定员。结合城市轨道交通线路运营需

求,站席人数标准按 5 人/m² 核算车辆定员,坐席按纵向布置,列车各编组方案定员如表 2 所示。

表 2 B 型车列车定员

Tab.2 B-type vehicle capacity

列车编组方案	3 辆编组	4 辆编组	5 辆编组	6 辆编组	3+3 联挂
列车定员/(人/列)	612	828	1 044	1 260	1 224

4 车辆编组方案

1) 远期车辆编组方案。经表 3 分析,B 型车 4 辆编组方案无法满足远期预测客流;5 辆编组方案

表 3 远期车辆编组方案适应性分析

Tab.3 Adaptability analysis of long-term vehicle formation scheme

客流类别	分析项目	4 辆编组	5 辆编组	6 辆编组
远期预测客流	高峰小时最大断面客流/(人次/h)	30 199	30 199	30 199
	设计列车对数/(对/h)	30	30	30
	输送能力/(人次/h)	24 840	31 320	37 800
	运能余量/%		3.58	20.11
	高峰小时需要开行对数/(对/h)		30	27
预测客流波动上限值	高峰小时单向最大断面流量/(人次/h)	31 600	31 600	31 600
	高峰小时列车对数/(对/h)	30	30	30
	高峰小时单向输送能力/(人次/h)	24 840	31 320	37 800
	运能余量/%	-27.20	-0.90	16.40
	高峰小时单向最大断面流量/(人次/h)	25 600	25 600	25 600
预测客流波动下限值	高峰小时列车对数/(对/h)	30	30	30
	高峰小时单向输送能力/(人次/h)	24 840	31 320	37 800
	运能余量/%	-3.10	18.30	32.30

运能余量偏低(仅 3.58%),6 辆编组方案对本线远期客流适应性较好,具有一定的抗客流风险的能力。从预测运量来看,推荐远期采用 6 辆编组方案。

2) 初、近期车辆编组方案。本线初、近期采用各编组方案对客流适应情况如表 4 所示。由表 4 可

知,初期采用 3、4、6 辆编组均可满足需求,但近期采用单一 3 辆、4 辆小编组发车频率偏高,接近线路设计能力,近期至远期 15 年之间发车频率提升空间不大,列车购置较多,增加远期列车处理难度,建议采用混编或 6 辆编组。

表 4 初、近期车辆编组方案适应性分析

Tab.4 Adaptability analysis of initial and near-term vehicle formation scheme

分析项目	初期			近期		
	3 辆编组	4 辆编组	6 辆编组	3 辆编组	4 辆编组	6 辆编组
高峰小时断面客流量/(万人次/h)	1.18	1.18	1.18	2.06	2.06	2.06
列车定员/(人/列)	612	828	1 260	612	828	1 260
列车开行对数/(对/h)	22	16	12	30	28	18
发车间隔/min	2.7	3.8	5.0	2.0	2.1	3.3
运能余量/%	12.4	10.9	22.0	-12.2	11.1	9.2

综上,主要有如下三个初期、近期、远期比选方案:方案一为 4 辆编组、4 辆编组/6 辆编组混跑、6 辆编组方案;方案二为 3 辆编组、3 辆编组/(3+3) 辆编组混跑、6 辆编组方案;方案三为 6 辆编组、6 辆

编组、6 辆编组方案。

1) 高峰时段客流适应性分析。从表 5 分析可知,远期均为 6 辆编组,发车频率基本一致,初、近期高峰小时采用小编组发车频率更高。

表 5 高峰时段客流适应性分析

Tab.5 Adaptability analysis of passenger flow during peak hours

分析项目	方案一			方案二			方案三		
	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期	远期
列车编组辆数/辆	4	4(6)	6	3	3(3+3)	3+3	6	6	6
列车定员/(人/列)	828	828(1 260)	1 260	612	612(1 224)	1 224	1 260	1 260	1 260
高峰小时单向最大断面客流/(万人次/h)	1.18	2.06(2.06)	3.02	1.18	2.06(2.06)	3.02	1.18	2.06	3.02
高峰小时开行列车对数/(对/h)	大交路	16	16(0)	18	11	8(8)	18	12	14
	小交路	0	0(8)	9	11	0(8)	9	0	6
	合计	16	24	27	22	24	27	12	18
高峰行车间隔/min	3.8	2.5(2.5)	2.2	2.7	2.5(2.5)	2.2	5.0	3.3	2.1
设计运能/(人次/h)	13 248	13 248(10 080)	34 020	13 464	4 896(19 584)	33 048	15 120	22 680	35 280
设计运能余量/%	10.90	11.70(11.70)	11.20	12.40	15.85(15.85)	8.62	22.00	9.20	14.40
高峰小时满载率/%	37.50	39.80(39.80)	34.10	36.90	37.80(37.80)	35.10	32.80	40.50	33.40

2) 平峰时段客流适应性分析。从表 6 分析可

知:平峰时段采用 3+3 灵活编组全日满载率最高,

表 6 平峰时段客流适应性分析

Tab.6 Adaptability analysis of passenger flow during off-peak hours

分析项目	方案一			方案二			方案三		
	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期	远期
列车编组辆数/辆	4	4(6)	6	3	3(3+3)	3+3	6	6	6
平峰行车间隔/min	7.5	6.0(6.0)	5.0	6.0	5.0(5.0)	4.4	10.0	6.7	5.0
全日满载率/%	25.70	29.00(29.00)	25.10	29.30	33.20(33.20)	33.40	21.80	23.80	24.90

其次是 4 辆编组;3、4 辆编组方案初期发车间隔相差不大,但较 6 辆编组服务水平可分别提升约 25% ~ 40%。

3) 运营经济性分析。从表 7 运营经济性分析

可知,初期 3、4 辆小编组设备购置费较省,但 3、4 辆编组本身相差不大,总购置费 6 辆编组最省。总运营成本 3 辆编组最省。

表 7 运营经济性分析
Tab. 7 Operational economy analysis

分析项目	方案一			方案二			方案三		
	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期(混跑)	远期	初期	近期	远期
列车编组辆数/辆	4	4(6)	6	3	3(3+3)	3+3	6	6	6
动拖比	3M1T	3M1T(4M2T)	4M2T	2M1T	2M1T(4M2T)	4M2T	4M2T	4M2T	4M2T
运用车/列	31	31(13)	47	40	15(28)	47	23	32	47
配属列车数/列	39	37(15)	56	50	18(33)	56	29	38	56
配属车辆数/辆	156	148(90)	336	150	54(198)	336	174	228	336
车辆购置费/亿元	12.79	6.37	7.05	12.15	8.26	6.81	13.57	4.21	8.43
车载信号设备/亿元	1.33	0.44	0.13	1.70	1.16	0.95	0.99	0.30	0.61
购置费合计/亿元	14.12	6.81	7.18	13.85	9.42	7.76	14.56	4.51	9.04
购置费总计/亿元		24.7			24.9			22.5	
运营费总计/亿元		8.78			7.74			9.89	

注:M 为动车,T 为拖车;3 辆、4 辆、6 辆编组列车购置单价分别按 810、820、780 万元/辆;车载信号设备购置费暂按 340 万元/列;其中过渡期考虑将 4 辆编组改造为 6 辆编组,改造费用暂不计列。

4) 综合分析。从客流适应性和运营经济性角度考虑,初近期采用 3 辆、4 辆小编组较有优势,对应客流风险、提高服务水平、降低运营成本均有利。但 3 辆编组和 4 辆编组各有优势,仍需做进一步研究。

3 辆编组和 4 辆编组均可满足运营需求,相比 4、6 辆编组混跑方案,3 辆编组可采用“3+3”在线联挂解编的方式,对灵活应对突发客流有优势。

5 结语

合理的车辆编组不仅能节省工程投资,而且还可以为旅客的出行提供更加便捷舒适的乘车环境。本文针对无锡地铁 5 号线的旅游线路属性,对客流进行研究,得到旅游客流对列车编组方案不构成制约因素的结论。

从客流适应性、运营经济性、小客流风险等方面,认为初近期采用 3 辆、4 辆小编组是必要的。但采用 4 辆编组还是 3+3 联挂方案,经过分析,各自都有优势,并且 3+3 联挂方案应用前景更好,但此

技术成熟案例较少,经专家论证,推荐 4 辆编组方案。

目前,我国市域(郊)铁路发展迅速,但主城区与城市郊区的客流差距较大,尤其在非高峰时段更加明显。在线联挂解编,甚至虚拟编组是将来的发展方向。

参考文献

[1] 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, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

· 收稿日期:2023-06-30 修回日期:2023-08-09 出版日期:2024-07-10
Received:2023-06-30 Revised:2023-08-09 Published:2024-07-10
· 通信作者:鲁洁,高级工程师,284212850@qq.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