

合肥地铁6号线设计规模和速度目标值的选择

任军辉

(陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院),710043,西安//教授级高级工程师)

摘要 以合肥市东西向快速运输走廊地铁6号线为例,通过对车辆选型、车辆定员、列车编组方案、系统运输能力等因素的分析,明确合肥地铁6号线的系统设计规模;从工程投资、车辆购置、运营效果等方面分析,确定其速度目标值。
关键词 合肥地铁6号线;运输能力;系统设计规模;速度目标值
中图分类号 U292;U231
DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.011

Design Scale and Speed Target Selection of Metro Line 6 in Hefei City

REN Junhui

Abstract Taking the metro Line 6 as an example, which forms the East-West express corridor of Hefei City, through analyzing the vehicle selection, vehicle appointment, train classification and the system transportation capacity, the system design scale of Hefei metro Line 6 is made clear. On this basis, factors like engineering investment, vehicle purchase and operational effects are analyzed to determine the speed target value.
Key words Hefei metro Line 6; traffic capacity; system design scale; speed target
Author's address Shaanxi Provincial Key Laboratory of Railway and Underground Traffic Engineering (FSDI), 710043, Xi'an, China

城市轨道交通的系统设计规模与速度目标值是决定项目运输能力和时效服务性的重要指标参数^[1-2]。其中,系统设计规模与车辆车型、车辆定员指标、列车编组方案、系统运输能力等因素相关;速度目标值与工程投资优化、车辆购置比选、运营效果相关。本文以合肥市东西向快速运输走廊地铁6号线为例,阐述其系统设计规模和速度目标值的选择因素、过程及结论。

1 合肥地铁6号线概况

根据《合肥市城市轨道交通建设规划(2018—

2023)》,6号线西起小庙,东至肥东瑶岗路,连接西部小庙地区、中心城区与肥东县,串联小庙、高新区、老城中心、瑶海区、肥东南部新市镇,衔接六安市域线与巢湖市域线,为城市东西向快速客运走廊。为避免高新区局部线路过于密集,化解4号线支线运营可能出现的远景年能力不足的风险,6号线拆分原4号线望江西路段。4号线、6号线拆分方案及衔接关系示意图如图1所示。6号线一期线路西起鸡鸣山路站,东至东风大道站,全长36.3 km,设站21座,平均站间距1 720 m。

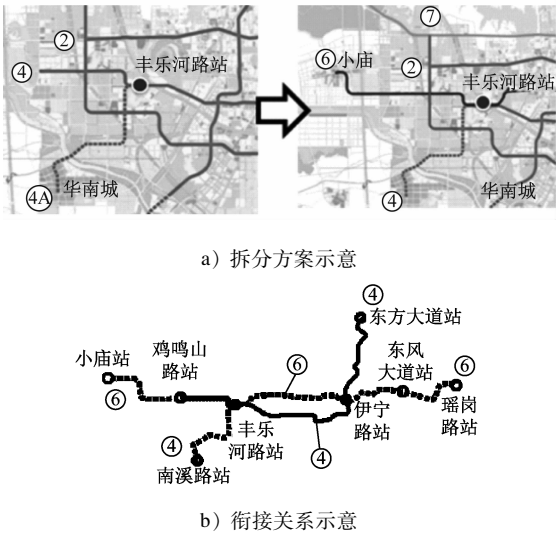


图1 合肥地铁4号线、6号线拆分方案及衔接关系示意图

2 系统设计规模及运输能力

2.1 车辆选型分析

在城市轨道交通系统中,车辆是直接为乘客服务的核心设备。车辆类型的选择直接影响建设规模和工程投资。

根据《合肥地铁6号线客流预测报告》,6号线设计年度客流预测结果见表1。

本线预测远期高峰小时最大断面客流量为3.05万人次/h,属于大运量等级,从满足运输需求

表 1 合肥地铁 6 号线客流预测汇总表							
设计年度	项目名称	线路长度/km	客流量/万人次	周转量/(km·万人次)	平均运距/km	客流强度/(万人面客流量/次·km)	高峰小时断面客流量/(万人次/h)
初期	一期工程	34.4	31.4	254.3	8.09	0.90	1.46
近期	全线	50.1	52.3	585.9	11.19	1.02	2.24
	一期工程	34.4	44.5	440.9	9.90	1.27	2.24
远期	全线	50.1	64.7	719.6	11.12	1.26	3.05
	一期工程	34.4	54.9	537.1	9.78	1.56	3.05

的角度分析,适应的车型有 B、C 型车和 Lb 型车。B 型车辆为 4 轴车型,应用广泛,目前国内采用 B 型车的有沈阳、长春、大连、天津、北京、广州、武汉、西安、成都、重庆等城市。根据《合肥市城市轨道交通近期建设规划(2018—2023 年)》的批复,合肥地铁 1~5 号线工程全部采用国家标准的地铁 B 型车系统。

经综合分析,从资源共享、车辆运用情况、合肥市建设规划资源共享及匹配 4 号线车辆类型等方面统筹考虑,6 号线车辆选型推荐采用 B 型车。

2.2 列车编组方案

列车编组辆数与高峰小时最大断面客流量、车辆载客标准等有关。列车编组辆数将直接关系到系统输送能力和服务水平,并影响车站规模,故应综合考虑多方面因素研究确定^[3]。

2.2.1 车辆定员标准确定

车辆定员是列车编组、运输能力和车底配置的计算依据。车辆定员与车厢面积、座位数、车厢内可站立面积等因素均有密切的关系。

GB 50157—2013《地铁设计规范》实施之后,大部分城市趋向于采用 5 人/m² 的站立标准,部分轨道交通线网规模较大的城市颁布了地方城市轨道交通建设标准。如:北京市地方标准 DB11-995—2013《城市轨道交通工程设计规范》^[4]1.0.10 条中规定“车厢内有效空余地板面站立乘客标准宜按 4.5~5.0 人/m² 设计”;广州市地方标准《广州市轨道交通新线工程设计技术标准》1.0.8 条中规定“车厢空余面积定员数宜按每平方米站立 4~5 名乘客计算”;上海市地方标准《上海市轨道交通工程技术标准》4.1.5 条中规定“一般市区线路最大站立密度不宜高于 5 人/m²”;重庆市地方标准《重庆市地铁设计规范》1.1.16 条中规定“车厢内有效空余地板面积站立人数宜按每平方米 5 名乘客计算”。

合肥地铁 6 号线为中心城快线,客流舒适度要求高,经综合分析,推荐 6 号线采用 5 人/m² 设计。

2.2.2 列车编组方案研究

根据高峰小时单向最大断面客流量,合肥地铁 6 号线各设计年度采用不同编组方案的相关指标见表 2。

表 2 合肥地铁 6 号线列车编组方案						
设计年度	高峰小时断面客流量/(万人次/h)	车辆编组数/辆	每列定员/人	高峰小时列车最小开行对数	高峰小时发车间隔/min	输送能力/(万人次/h)
初期	1.46	4	826	19	3.2	1.57
		5	1 042	15	4.0	1.56
		6	1 258	13	4.6	1.64
近期	2.24	4	826	31	1.9	2.56
		5	1 042	26	2.3	2.71
		6	1 258	22	2.7	2.77
远期	3.05	4	826	38	1.6	3.14
		5	1 042	32	1.9	3.33
		6	1 258	28	2.1	3.52

初期:6 号线高峰小时预测客流量较小,采用 4 辆、5 辆和 6 辆编组均能满足客流需要。4 辆和 5 辆编组方案相对 6 辆编组方案都有乘客等待时间短、服务水平高、线路满载率高等优点。

近期:满足设计能力需求的编组有 5 辆和 6 辆两种。前者高峰小时列车开行对数为 26 对,后者高峰小时列车开行对数为 22 对,均可满足运营需要。

远期:远期采用 6 辆编组可满足预测客流需要。系统运能按 28 对/h 计算为 3.52 万人/h,运能余量为 13.4%。故推荐远期列车编组方案采用 6 辆。

初、近期采用 5 辆编组方案,远期采用 6 辆编组。该方案初期购车数少,初、近期高峰小时开行列车对数较多,行车间隔小,乘客等待时间短,服务水平及列车满载率均较高,但远期需考虑能否合理处置 5 辆编组列车,以避免资源浪费。

初、近、远期均采用 6 辆编组方案。该方案列车适应性较强,服务水平较高,列车无需扩编,运营、管理及检修均方便,车辆段及停车场规模容易控制。根据《合肥市城市轨道交通建设规划(2018—2023)》,设计年度合肥地铁其他各线车辆选型及列车编组见表 3。

表 3 设计年度合肥地铁各线车辆选型及列车编组方案				
状态	线别	远期高峰小时最大断面客流量/(万人次/h)	车型	列车编组方案
既有	1 号线	3.68	B 型车	6,6,6
既有	2 号线	3.71	B 型车	6,6,6
在建	3 号线	3.66	B 型车	6,6,6
在建	4 号线	3.25	B 型车	6,6,6
规划	7 号线	3.43	B 型车	6,6,6
规划	8 号线	3.14	B 型车	6,6,6

从客流需求、服务水平、运营管理、资源共享等方面综合考虑,合肥地铁 6 号线初、近、远期列车均推荐采用 6 辆编组方案。

2.3 6 号线输送能力分析

线路输送能力以预测的各年度高峰小时单向最大断面客流量、列车编组数、车辆定员及行车最小间隔时间为依据,根据推荐的 6 辆编组方案进行测算,6 号线各设计年度输送能力见表 4。

表 4 合肥地铁 6 号线设计年度输送能力				
指标	区段或交路	初期	近期	远期
高峰小时单向	小庙站—鸡鸣山路站		10 513	13 858
预测最高断面客流/(人次/h)	鸡鸣山路站—东风大道站	14 604	22 378	30 488
	东风大道站—和平路站		5 089	6 460
列车编组/(辆/列)		6	6	6
列车定员/(人/列)		1 258	1 258	1 258
高峰小时列车对数/(对/h)	大交路		11	14
	小交路	14	11	14
高峰小时行车间隔/min	大交路		5.5	4.3
	小交路	4.3	5.5	4.3
运用车数/列	大交路		29	37
	小交路	26	20	26
高峰小时单向设计输送能力/(人次/h)	小庙站—鸡鸣山路站		13 838	17 612
	鸡鸣山路站—东风大道站	17 612	27 676	35 224
	东风大道站—和平路站		13 838	17 612
设计输送能力富余量/%	小庙站—鸡鸣山路站		24.0	21.3
	鸡鸣山路站—东风大道站	17.1	19.1	13.4
	东风大道站—和平路站		63.2	63.3

从表 4 看出,6 号线设计运输能力均大于预测的高峰小时断面客流量,而且有一定运能富余,可以应对突发客流对本线的影响。

2.4 小结

根据合肥地铁 6 号线预测的最高断面客流量,6 号线采用 B 型车 6 辆编组,远期高峰小时开行列车 28 对可以满足预测客流量需求,且有一定的富余量。考虑客流预测的不确定性,为应对客流不确定性风险,提高系统能力的适应性,以及增加运营的灵活性和提高运行图调整余量,6 号线最大行车规模按 30 对/h 控制,最小行车间隔按 120 s 控制。

3 速度目标值

目前,我国地铁的最高运营速度大多为 80 ~ 120 km/h^[5],合肥地铁 6 号线的速度目标值研究了 80 km/h 及 100 km/h、120 km/h 三个方案。

3.1 工程投资比较

(1) 对牵引供电系统的影响分析。城市轨道交通

通列车速度目标值的选取和牵引耗电量密切相关,速度越高,耗电量越大,牵引电流随之增大^[6]。由于牵引网电压和钢轨电位的限制,适应三种速度目标值的牵引供电系统规模有所不同。对于 80 km/h 及 100 km/h 速度目标值,全线需设置 10 座牵引变电所;对于 120 km/h 速度目标值,则需设置 11 座牵引变电所,但需提高整流机组容量,对钢轨电位超标区段需采取治理措施,对接触网弓网关系需做调整。

(2) 对车辆段及综合维修基地的影响分析。根据 6 号线车辆基地的功能定位分析,全线设置 1 段 2 场。定修由科学城车辆段承担,大架修由线网中 3 号线的磨店车辆基地承担。全线车辆配属及检修列位计算结果见表 5 及表 6。可见,三种速度方案下,全线检修工作量相同,不同速度目标值对全线车辆检修没有影响。

表 5 6 号线配属车辆数量					
设计年度	速度目标值/(km/h)	运用车/列	检修车/列	备用车/列	配属车/列
初期	80	27	3	3	33
	100	26	3	3	32
	120	25	3	3	31
近期	80	52	7	5	64
	100	49	7	5	61
	120	48	7	5	60
远期	80	66	9	4	79
	100	63	9	4	76
	120	61	9	4	74

表 6 6 号线检修列位计算				列位
项目	近期	远期	设计能力	
大修	0.86	1.05	由磨店车辆基地考虑	
架修	0.49	0.60	由磨店车辆基地考虑	
定修	1.04	1.26	2	
月检	1.72	2.10	月检、双周检共为 6	
双周检	2.69	3.28		

(3) 对车辆基地的影响分析。列车运营速度为 80 km/h 及 100 km/h 时车体差别甚微,120 km/h 时车体需增加检修工装。不同的速度目标值,运用车的数量有所不同,使得运用库的停车列检列位不同^[7]。根据计算,远期 80 km/h 的车需 70 列位,100 km/h 的车需 67 列位,120 km/h 的车需 65 列位,对总投资影响不大。

(4) 对建筑限界的影响分析。80 km/h 速度目标值时可采用现有地铁设计限界标准;100 km/h 速度目标值时车辆限界有较小变化,建筑限界维持地铁设计限界标准;120 km/h 速度目标值时则需根据

乘客的舒适度标准、车辆密封性指标、区间隧道断面阻塞比、空气动力学要求等校核隧道断面净空面积,并需增加断面尺寸。

综上分析,工程投资方面,100 km/h 速度目标值方案和 80 km/h 方案相差不大,100 km/h 较 80 km/h 工程投资增加约 3%;120 km/h 速度目标值方案较 100 km/h 方案工程投资增加较多,约增加 15%。

3.2 运营效果影响分析

6 号线运营长度 50.1 km,一期工程鸡鸣山路站至东风大道站运营长度 34.4 km。经列车牵引模拟计算,采用 4M2T(4 动 2 拖)不同速度目标值方案时的旅行时间见表 7。

表 7 6 号线不同速度目标值时的运营时间比较						
速度/ (km/h)	运行时间/min		旅行时间/min		旅行速度/(km/h)	
	全线	一期工程	全线	一期工程	全线	一期工程
80	51.8	36.3	66.8	47.7	44.5	43.3
100	48.3	33.8	63.4	45.2	46.9	45.7
120	46.3	32.7	61.4	44.1	48.4	46.9

由表 7 可见:100 km/h 方案较 80 km/h 方案运行时间约省 3.5 min;120 km/h 方案较 100 km/h 方案运行时间约省 2.0 min。120 km/h 方案较 100 km/h 方案运行时间节省有限,效果不明显。

速度目标值越高,列车牵引能耗越大,但旅行速度越高^[8]。经列车牵引模拟计算,6 号线采用 B 型车 4M2T 编组时,不同速度目标值方案各项运营技术指标见表 8。

表 8 6 号线运营技术指标分析				
速度/ (km/h)	每列车单方向 能耗/(kW·h)		每列车单方向 能耗差值/(kW·h)	
	全线	一期工程	全线	一期工程
80	1 051.4	753.8	-184.9	-137.4
100	1 236.3	891.2		
120	1 463.7	1 045.6	227.4	154.4

由表 8 可见:100 km/h 速度方案较 80 km/h 速度方案全线单向能耗增加 184.9 kW·h(即 14.9%),旅行时间节省 3.5 min;120 km/h 速度方案较 100 km/h 速度方案能耗增加 227.4 kW·h(即 15.5%),旅行时间节省 2.0 min。

3.3 车辆购置影响分析

针对不同速度目标值测算运用车数、车辆保有量及车辆购置费并进行比较,见表 9。

由表 9 可见,近期的 100 km/h 方案较 80 km/

表 9 6 号线在不同速度目标值时的车辆运用数及购置费比较					
近期车辆运用数/列			近期车辆购置费/万元		
80 km/h 时	100 km/h 时	120 km/h 时	80 km/h 时	100 km/h 时	120 km/h 时
64	61	60	249 600	256 200	270 000

h 方案减少车辆运用 3 列,较 120 km/h 方案增加车辆运用 1 列,车辆购置费则相应增加 6 600 万元和减少 13 800 万元。总体来说,100 km/h 速度目标方案车辆购置费适中。

3.4 小结

合肥地铁 6 号线运营里程与平均站间距离相对较长,从工程投资、车辆购置、运营效果等方面综合分析,6 号线速度目标值推荐采用 100 km/h。

4 结语

合肥地铁 6 号线串联西部小庙地区、中心城区与肥东县,衔接六安市域线与巢湖市域线,是合肥市东西向快速客运线。本文通过对车辆选型、列车编组方案、运输能力等因素的分析,明确合肥地铁 6 号线的系统设计规模;从工程投资、车辆购置、运营效果等方面分析,明确合肥地铁 6 号线的速度目标值。其可为城市轨道交通系统设计规模的确定和速度目标值的选择提供参考。

参考文献

[1] 张雄. 地铁车辆段设计规模的探讨[J]. 铁道工程学报,1998(1):102.

[2] 史海欧,孙元广. 地铁系统能力和服务水平的若干设计标准探讨[J]. 城市轨道交通研究,2012(6):23.

[3] 戎亚萍,张星臣,柏赞,等. 城市轨道交通多编组列车开行方案优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2016,16(5):117.

[4] 北京城建设计总院有限公司. 城市轨道交通工程设计规范:DB 11-995—2013[S]. 北京:北京市质量技术监督局,2013.

[5] 陈喜红,李敏玲,柳晓峰. 地铁列车运行时间仿真分析[J]. 电力机车与城轨车辆,2003(4):17.

[6] 安珂. 兰州市轨道交通 4 号线速度目标值研究[J]. 都市快轨交通,2016,29(1):18.

[7] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国发展和改革委员会. 城市轨道交通工程项目建设标准:建标 104-2008[S]. 北京:中国计划出版社,2008:18-22.

[8] 丁超,森和俊. 地铁列车节能运营速度的探讨[J]. 铁道机车车辆,2009,29(3):48.

(收稿日期:2018-12-05)