

城市轨道交通新线开通 对既有线网运营的影响

汪波^{1,2} 战明辉¹ 鲁放²

(1. 北京市轨道交通指挥中心 北京 100101; 2. 北京交通大学交通运输学院 北京 100044)

摘要 结合城市轨道交通新线及既有线网的实际运营条件,分析新线客流预测、新线与既有线网的衔接关系及线网客流分布特征;从运力运量、设备设施能力匹配的角度,研究新线开通后对既有线网运营的影响。以2011年底新开通的北京轨道交通15号线一期东段为实例,利用仿真的手段,研究该线开通可能对北京轨道交通既有线网运营带来的影响,提出应对措施与建议。

关键词 城市轨道交通;新线;既有线网;运营影响

中图分类号 U298 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2012)06-0060-05

根据北京城市轨道交通(以下简称“轨道交通”)发展规划,从2010年到2015年,每年都有多条轨道交通新线陆续开通^[1],新线对既有线网的运营影响将是一个长期问题^[2]。因此,在新线开通前,结合新线的运营条件和既有线网运营现状,评估新线接入后既有线网在设备设施配置、行车组织、客运组织和工程建设等方面受到的影响,提出针对性的整改建议,对保障新线的顺利开通、线网的安全稳定运营具有积极的意义。

1 研究方法

新线开通对既有线网运营影响的研究遵循如下方法:结合新线实际开通条件,修正新线设计时的客流预测,根据既有线网客流分布特征、运力运量匹配、换乘站设备设施现状,从运输能力和设备能力两方面分析新线开通后对既有线网运营的影响。

收稿日期:2011-12-15 修回日期:2012-03-27

作者简介:汪波,男,博士后,高级工程师,从事轨道交通运营管理工作,bowang@bjtu.edu.cn

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011JBM337)

1.1 新线客流预测及修订方法

1.1.1 提取“工可研”情况

《工程可行性研究报告》(简称“工可研”)中的预测客流是研究新线对既有线网运营影响的基础,但由于目前新线开通试运营实际条件与“工可研”预测时有所偏差^[3],因此首先要对“工可研”预测客流进行修订,以保证预测值更贴近开通后的实际客流量,使研究更具科学性。

“工可研”提取研究所需的内容主要有:1)客流预测数据,包含年客运量、日均客运量(平日客运量和双休日客运量)、全日及分时进出站量、全日及高峰小时换乘比例及换乘量、全日及高峰小时断面客流量;2)影响客流预测的相关因素,包含社会经济发展、沿线土地利用及利用性质、线路开通时间、线路开通里程、票制票价水平等,判断这些因素与新线实际开通年试运营条件是否一致,确定存在偏差的因素。

1.1.2 对“工可研”预测客流修订

根据新线开通试运营时的实际条件,并对新线沿线进行现场踏勘和出行调查,在“工可研”预测客流的基础上,计算得到新线各区间断面客流量的修正值和全日客运量修正值。

1) 确定新线实际开通条件,包括开通时间、开通里程、开通车站、票制票价政策等,为修订客运量奠定基础。

2) 对新线沿线土地利用、社会经济发展、出行特征进行现场调查,对轨道交通高峰断面客流量进行修订,具体步骤为:

第一步,调查新线早高峰期间(7:00—9:00)高峰断面的道路交通情况,包括小汽车流量及其平均载客人数,公交车数量、车型及其满载率,其他交通方式及其数量。

第二步,调查新线周边土地利用性质及情况,包括全线 1 km 范围内住宅区的数量、规模及入住情况,大型工厂、商业及娱乐场所的客流吸引情况,交通枢纽等情况。

第三步,估算断面交通流总量。依据上述调查统计结果可估算新线开通初期、沿线高峰期间最大断面交通流总量。

第四步,计算交通分担率。根据交通工具的运输产品效用值,计算不同交通方式的分担率^[4],交通方式效用值计算公式如下:

$$X^\theta = \frac{\text{最低运价率}}{\text{运价率}^\theta} + \frac{v_{\text{旅}}^\theta}{v_{\text{旅}}^{\max}} + \text{舒适度}^\theta \quad (1)$$

式中: θ ——交通方式;
 X ——效用值;
 $v_{\text{旅}}$ ——旅行速度。

由此可以计算轨道交通通车后,不同交通方式的分担率和断面客流量,计算公式分别如下:

$$\rho^\theta = \frac{e^{X^\theta}}{\sum e^{X^\theta}} \quad (2)$$

$$u_{\text{高峰断面}}^\theta = \rho^\theta n_{\text{高峰断面}} \quad (3)$$

式中: ρ^θ ——不同交通方式的分担率;
 $u_{\text{高峰断面}}^\theta$ ——高峰断面客流量估计值;
 $n_{\text{高峰断面}}$ ——高峰断面交通流总量。

3) 根据“工可研”全日客运量预测值、开通时间和开通里程等条件,结合沿线现场调查结果,对新线全日客流信息进行线性修订。

1.2 新线客流在线网的分配

结合既有有线网进站客流时空分布情况,对新线换入既有有线网的客流时空分布规律进行分析,将新线客流按此规律分配到线网各区间断面,以便分析既有有线网的运力运量匹配情况。本文仅研究高峰期间新线客流对既有有线网的影响。具体步骤如下:

第一步,确定新线客流在线网的分配比例。依据历史客流分布特征,确定高峰期间既有有线网中,新线换乘站进站客流在线网各区间的分配情况,得到新线对既有有线网影响的客流分配比例,计算公式如下:

$$\rho_{\text{区间}} = \frac{n_{\text{区间}}^{\text{统计}}}{n_{\text{统计}}^{\text{汇入}}} \quad (4)$$

式中: $\rho_{\text{区间}}$ ——高峰期间新线客流在既有有线网各区间的客流分配比例;
 $n_{\text{区间}}^{\text{统计}}$ ——高峰期间既有有线网换乘车站进站量在各区间的分配量;

$n_{\text{统计}}^{\text{汇入}}$ ——高峰期间换乘车站的进站量。

第二步,确定新线换入既有有线网的客流。根据与新线线路走向、客流吸引范围相似的既有线的客流特征,得到新线衔接的换乘站高峰期间换乘量占全日客运量的比例,计算新线换入既有有线网的换乘量 $n_{\text{换乘量}}^{\text{新线}}$ 。

第三步,将新线客流与既有有线网客流叠加,确定新线接入既有有线网后各区间的断面客流量,计算公式如下:

$$u_{\text{高峰断面}}^{\text{新线开通后}} = u_{\text{高峰断面}}^{\text{新线开通前}} + n_{\text{换乘量}}^{\text{新线}} \cdot \rho_{\text{区间}} \quad (5)$$

式中: $u_{\text{高峰断面}}^{\text{新线开通后}}$ ——新线开通后既有有线网区间高峰断面客流量;
 $u_{\text{高峰断面}}^{\text{新线开通前}}$ ——新线开通前既有有线网区间高峰断面客流量。

1.3 新线开通后对线网运力运量匹配的影响

新线开通后对线网运力运量匹配的影响可用高峰小时满载率的变化来表示。根据新线接入后既有有线网各区间的客流量和运力,计算新线开通后各区间的高峰小时满载率,计算公式如下:

$$\eta = \frac{u_{\text{高峰断面}}^{\text{新线开通后}}}{N_{\text{运力}}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: η ——区间高峰满载率;
 $N_{\text{运力}}$ ——既有有线运力。

依据设定的满载率阈值(高峰期间一般取 120%),找出运力运量矛盾的区间及持续时间。

1.4 新线开通后对线网设备设施的影响

新线开通后,对既有有线网的进站、出站和换乘都有较大影响,其中,换乘带来的影响最大,对设备设施的要求也较高。可以利用车站客流仿真平台,开展新线接入既有有线网后换乘站换乘客流与设施能力匹配的影响分析。

在仿真平台中,将换乘站的换乘量与新线接入后的新增换乘量叠加,并与换乘站的换乘能力进行比较,当换乘量大于换乘能力时,势必会出现乘客在部分换乘通道拥挤、站台滞留等情况,说明此时安全运营有较大隐患,应考虑采取相应客运组织措施或者对换乘设备设施进行升级改造。

1.5 新线开通对既有有线网运营影响的对策

新线开通后对既有有线网可能产生的影响主要表现在运力运量矛盾、设备设施能力不足等方面,因此可以从 4 个方面提出相应的对策:1) 提升既有有线网运输能力,缓解运力运量矛盾;2) 对设备设施进行技术改造,

提升换乘站等设备设施能力;3)加强客运组织工作,减缓大客流对轨道交通系统的冲击;4)优化轨道交通线网结构和开通时序,合理引导客流的分配,保证线网高效、均衡运输。

2 北京轨道交通 15 号线一期东段案例

北京市轨道交通 15 号线是一条城市东北部衔接顺义区与城市中心轨道交通线网的重要干线,计划 2013 年开通,开通里程 38.3 km。15 号线一期中段工程(望京西站—后沙峪站)已于 2010 年底开通,15 号线一期东段(后沙峪站—俸伯站)是其东延长线(见图 1),计划于 2011 年底开通,在望京西与既有线网的 13 号线换乘。一期东段开通后,因可吸引顺义新城的居民,仍有较大客流增长空间,并可带动沿线土地的开发利用,提高远郊线路的辐射范围,客流聚集效应明显。



图 1 北京轨道交通 15 号线一期线路

2.1 客流预测及在线网的分配

15 号线一期工可研中的数据显,其全日客运量为 43.6 万人次,高峰断面客流量为 1.78 万人次/h,发生在早高峰下行望京—望京西区间^[5]。通过对 15 号线一期东段的现场调查,15 号线一期东段沿线居民主要选择公交、轨道交通(15 号线一期中段)、自驾车等方式出行,调查及计算结果如表 1 所示。

表 1 15 号线(一期东段)沿线断面客流调查表

交通工具	运价率/(元/km)	旅行速度/(km/h)	舒适度	效用值	分担率	客流量/(人次/h)
小汽车	15	20	1	0.4	0.27	1 620
轨道交通	0.2	40	0.5	0.9	0.47	2 820
公交车	0.28	10	0.1	0.4	0.26	1 560

考虑到 15 号线一期东段吸引大量顺义城区的客流,且大部分乘客早高峰期间会去往城区方向,因此推算早高峰期间,15 号线一期最大断面仍然发生在望京→望京西区间,修正后 15 号线一期的全日客运量为

12.0 万人次,高峰断面客流量为 1.20 万人次/h。

根据 15 号线一期东段的客流构成并参考 15 号线一期中段进站客流分布特征,15 号线一期经望京西站换入既有线网的客流分布情况,如图 2 所示。通过计算得到,高峰期间 15 号线一期下行换入 13 号线的客流为 1.1 万人/h,其中 8 000 人将去往 13 号线下行方向,3 000 人将去往 13 号线上行方向,分流至 10 号线和 2 号线的乘客约分别为 1 700 人和 4 800 人。

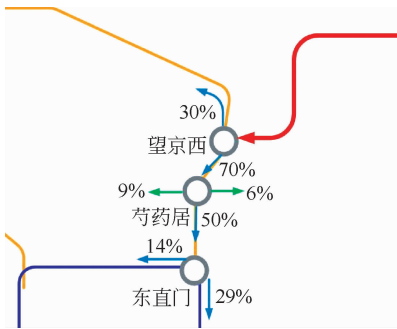


图 2 望京西站平日早高峰换乘客流去向

2.2 运力运量匹配影响分析

15 号线一期全线开通后,客流的增长将导致 13 号线下行望京西至东直门 4 个区间的满载率增长较快,增幅均超过 30%,10 号线、2 号线等其他线路满载率虽然有所增长,但增幅均未超过 6%。由于目前 13 号线下行高峰期间下行列车满载率均未超过 100%,因此除望京西—芍药居,列车满载率将增至 111%,其他各区间满载率均未达到 100%。

2.3 换乘站换乘能力影响分析

15 号线一期与既有线网唯一的衔接点是与 13 号线换乘的望京西站。15 号线一期客流进入 13 号线后,还会影响 13 号线与 10 号线的换乘站芍药居站。因此,下面重点对望京西和芍药居进行仿真分析。

2.3.1 望京西换乘站

望京西站是衔接 15 号线一期和 13 号线的唯一换乘站。根据预测,15 号线一期东段开通后,在早高峰期间乘坐 15 号线一期到达望京西站的乘客中,每小时有 1.1 万人换入 13 号线。仿真实验显示,虽然换乘通道较长,瞬时较大的客流压力使换乘通道内的楼梯和扶梯的负荷度较高(图 3 中 5、6、8、9),但均不足 0.8,尤其是上行扶梯处出现乘客排队较长的现象。

2.3.2 芍药居换乘站

芍药居站是衔接 13 号线一期和 10 号线的换乘站,平日早高峰期间,13 号线在芍药居站换乘 10 号线

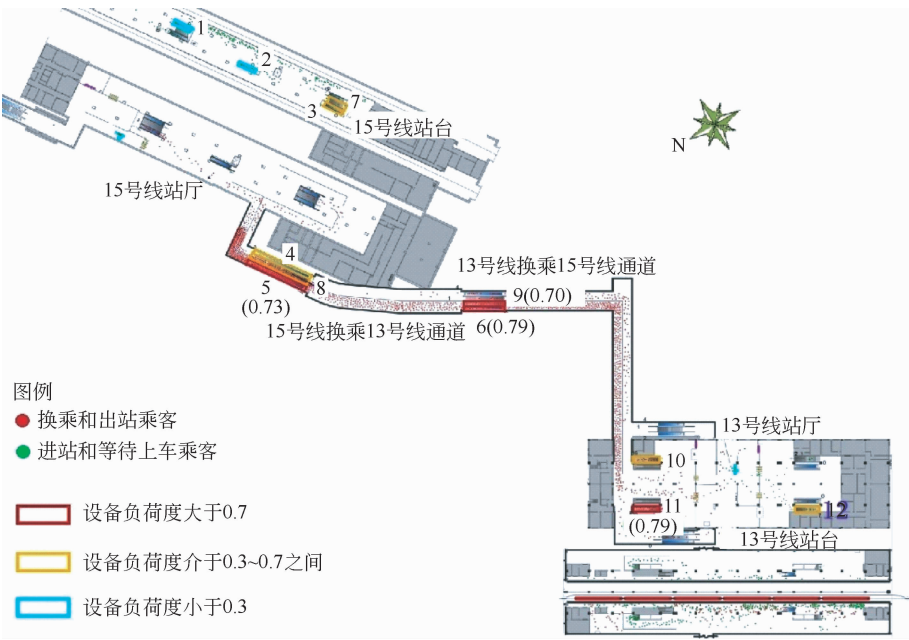


图3 望京西站平日早高峰换乘仿真结果

的乘客较多,换乘能力的瓶颈位于13号线换乘10号线的通道(见图4中9)。15号线一期东段开通后,平日早高峰期间,13号线换乘10号线的乘客将近每小时1.2万人。仿真实验显示(见图4),换乘通道极易出现乘客堵塞现象,乘客行走速度缓慢,最大负荷度将达到1.15,换乘设备设施能力明显不足;另外,由于换乘10号线下行乘客较多且10号线下行列车满载率已超过120%,将导致10号线芍药居站站台在早高峰期间

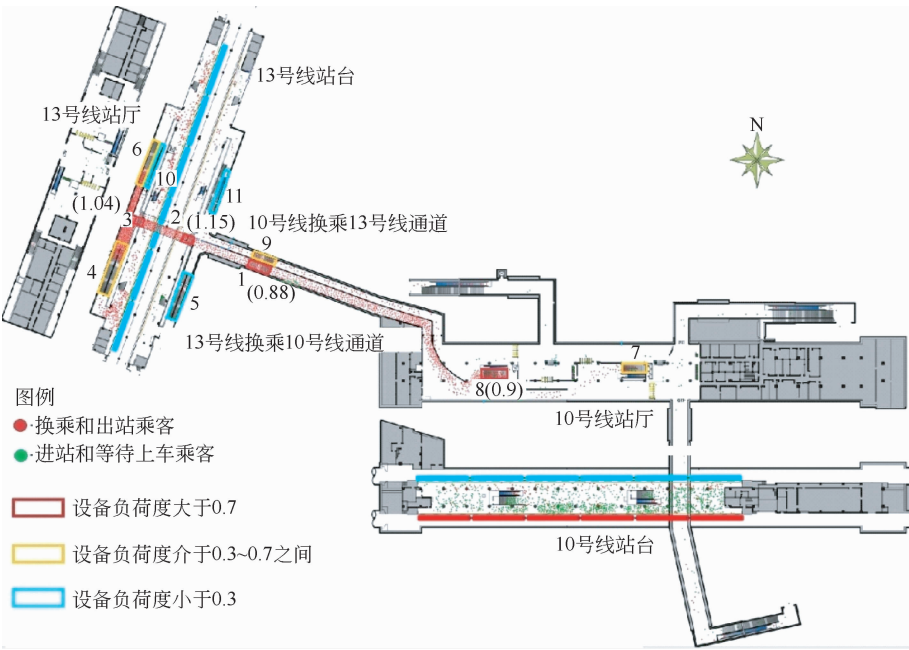


图4 芍药居站平日早高峰换乘仿真结果

出现严重的乘客滞留情况,有较大的安全隐患。

2.4 新线客流对13号线运营影响的应对措施

15号线一期开通后,将大量的远郊客流汇集到城区的主干线路上,为应对其对既有有线网带来的运营影响,根据影响的程度和解决的难度,提出如下应对措施:

1) 尽量提升10号线运输能力。为缓解15号线一期的新增客流对10号线产生的压力,需将10号线的最小行车间隔由目前的3 min 缩短到2.5 min,并新增10号线列车和提高车辆段存车能力。

2) 加快车站设备设施升级改造。芍药居站目前换乘客流密度较大,因受到换乘设施布局、站台狭窄等限制,15号线一期东段通车后,增加的换乘客流将会使换乘通道存在安全隐患。高峰期间,由于10号线芍药居站站台滞留乘客较多,且持续时间较长,换乘通道内客流较拥挤,需抓紧时间研究提升芍药居换乘通道能力的设施改造方案。

3) 加强换乘站客运组织。15号线一期东段开通后,如不增加10号线高峰期间运力,必要时应增加10号线芍药居站站台的客运疏导人员,以保证运营安全、有序。

2.5 新线开通后实际客流与预测客流对比

15号线一期开通后,截至2012年3月,实际客流与预测客流的对比情况如表2所示。

从表2结果看,15号线一期实际客流低于预测客流,考虑到新线刚刚开通3个月,且从历年客流规律看,通常年初客流处于偏低水平,预计2012年下半年客流将达到预测水平。

表 2 15 号线一期实际客流与预测客流对比

时间	内容	实际情况	预测情况	对比
全日	日均客运量 / 万人次	10.8	12.0	-10%
高峰小时	最大断面客流量 (万人次/h)	0.9	1.2	-25%
	最大断面发生区间	望京→望京西	望京→望京西	—
	15 号线下行接入 13 号线客流/万人次	0.7	1.1	-36%

3 结论

- 1) 本文提出的方法适用于研究不穿越市中心的放射型新线开通对既有线网产生的影响,能取得较为实用的研究结果。
- 2) 本文理论研究的核心,是以既有线网局部区域进(出)站在线网的时空分布为参考对象,对新线预测客流在线网的时空分布进行了分析。
- 3) 掌握客流是开展新线开通对既有线网运营影响分析的重要基础,由于“工可研”的预测条件和时期与新线开通当年的实际情况有一定偏差,为了提高客流预测值的准确性,必须通过实地调查和量化分析相结合,对“工可研”数据进行修正。
- 4) 本文通过定量与定性分析相结合的方法,系统地提出了在新线开通前,对新线接入既有线网后产生的运营影响分析方法,以及从客运组织、行车组织、设备设施改造等方面提出具体对策的思路。因此,下一步研究可将结论性的理论和方法做成专家评估系统,为今后开展新线接入既有线网的运营评估工作提供系统化、科学化、规范化的决策依据。

参考文献

[1] 汪波. 北京城市轨道交通线网末班车调整研究[J]. 现代城市轨道交通,2010(1):41-44.

[2] 汪波. 北京城市轨道交通网络化运营初探[J]. 现代城市轨道交通,2011(4):14-7.

[3] 北京市轨道交通指挥中心. 北京轨道交通 2010 年新开通线路对既有线运营影响分析报告[R]. 北京,2010.

[4] 马波涛,张于心,赵翠霞. 运用 Logit 模型对高速客流分担率的估计[J]. 北方交通大学学报:自然科学版,2003,27(2):66-69.

[5] 北京市基础设施投资有限公司,北京市城建设计总院. 北京市轨道交通 15 号线工程可行性研究报告[R]. 北京,2010.

(编辑:曹雪明)

Influence of New Line's Opening on Existing Metro Network

Wang Bo^{1,2} Zhan Minghui¹ Lu Fang²

(1. Beijing Rail Transit Command Center, Beijing 100101;
2. School of Traffic and Transportation Engineering
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: After the opening of new urban rail transit lines, the passenger flow of the new lines will be linked to the existing metro network which should be considered and the operational weakness of the network should be identified in order to ensure a successful start of the new line and the safe and stable operation of the whole network. Considering the present operational conditions of the new line and existing metro network, this paper analyzes the new line's passenger flow prediction, new line's connection with the existing network and the features of passenger flow distribution, and studies the new line's influence on the existing network in terms of transport ability and volume, and the matching of equipment and facilities. Citing the eastern section of Beijing metro Line 15 phase 1 project which opened at the end of 2011 as an example, this paper explores its possible effect on the existing network's operation and puts forward solutions and suggestions.

Key words: urban rail transit; new lines; existing metro network; operational effect

《都市轨道交通》杂志社
当选中国高校技术类期刊专委会副主任委员单位

2012 年 11 月 21 日,中国高校科技期刊研究会技术类期刊专业委员会成立大会在济南举行,来自全国高校 40 余家技术类期刊的 50 余名代表参加了大会,选举产生了主任委员 1 名、副主任委员 4 名、秘书长 1 名。《都市轨道交通》杂志社社长韩宝明教授当选为副主任委员,《都市轨道交通》杂志社当选为专业委员会的副主任委员单位。

中国高校科技期刊研究会技术类期刊专业委员会简称为“中国高校技术类期刊专委会”,是国家一级组织“中国高校科技期刊研究会”的二级单位,其成立的主要目的是更好地为中国高校科技期刊中的数百种技术类期刊提供服务,解决新形势下高校技术类期刊的改革发展等问题,促进我国高校主办的技术类期刊的科学发展。



(鲁放供稿)