

文章编号: 1674—8247(2018)03—0087—07

## 都市区轨道交通运输组织相关问题研究

胡晓丹 刘永欣 张金阁

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**都市区的发展对轨道交通站点设置、运营组织、管理模式提出了新的要求,亟需进行研究。本文在分析都市区轨道交通特征的基础上,从列车运行效率的角度,对主城区及市郊区域的合理站间距进行了研究。根据都市区轨道交通运营组织特点,运用层次分析法建立列车开行方案效果评价指标体系,对设计方案进行评判优化。结合都市区轨道交通运营管理特点,对一体化、网运分离、专业化分工管理模式进行了分析研究,为类似项目提供借鉴。最后结合厦漳泉都市区轨道交通 R3 线的研究案例,探讨其可行性及实施效果。

**关键词:**都市区轨道交通; 运输组织; 层次分析法

**中图分类号:**U291.1<sup>+</sup>3 **文献标志码:**A

## Study on Operation Organization Modes of Rail Transit in Metropolitan Areas

HU Xiaodan LIU Yongxin ZHANG Jing

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With the development of metropolitan areas, some new requirements have been put forward for the location, operation organization and management mode of rail transit stations. Based on the analysis of the characteristics of urban rail transit, from the perspective of train operation efficiency, this paper has studied the reasonable distance between main urban area and suburban area. According to the features of the urban rail transit systems, the AHP method is applied to establish the assessment index system for the efficiency of the train operation plan for evaluation and optimization of the design scheme. Combined with the characteristics of urban rail transit operation and management, the integrated operation mode, network transport separation management mode and specialized division mode have been analyzed, the effectiveness and feasibility has been discussed to provide the reference for the similar projects. Based on the case study of Line R3 of Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou Rail Transit.

**Key words:** rail transit in metropolitan area; operation organization; AHP

都市区(圈)是现代大城市空间组织的新形态,是在特定地域范围内,空间上相互接近、行政上相互独立,通过城市土地利用的整合和城市基础设施共建共享,形成城市间统一完整的地域空间组织形式,反映了

城市区域化、同城化的发展趋势<sup>[1]</sup>。目前以上海、北京、广州、厦门等城市为核心的若干较为明显的都市区已经形成,都市区的发展对轨道交通站点设置、运营组织、管理模式提出了新的要求,亟需进行研究。

收稿日期:2018-03-01

作者简介:胡晓丹(1986-),女,工程师。

引文格式:胡晓丹,刘永欣,张金阁. 都市区轨道交通运输组织相关问题研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(3):87-93.

HU Xiaodan, LIU Yongxin, ZHANG Jing. Study on Operation Organization Modes of Rail Transit in Metropolitan Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 87-93.

1 都市区轨道交通的特征

都市区轨道交通主要承担都市区内城市(镇)各中心区间的联系,或用于满足城镇连绵发展且密集地区区间中短途客流需求,其与城际铁路和城市轨道交通相比,有其自身特征:

(1)客流特点呈现差异性:该类轨道交通线路与城市轨道交通相比,线路较长,服务范围广,全线客流特征存在较大差异。在市郊间,客流以通勤为主,乘客出行距离长,高峰时段相对集中,平峰时段客流规模较小;当线路深入城区内,中心城区段客流体现与城市轨道交通相近的特征,这使得都市区轨道交通在不同区段、时段、站点客流特征呈现较大差异。

(2)功能定位呈现多目标性:在功能和服务水平上,都市区轨道交通与城际铁路、城市轨道交通既有重叠又有区分。既具有为中心城区间、中心城区和市郊城镇间中短途距离的客流出行提供快捷高效服务的城际铁路特征;又有为中心城区内客流密集出行提供市区轨道交通服务的特征。由于其功能定位呈现多目标性的特点,使得车站分布、速度目标值选择、运输组织模式、列车开行方案在一定程度上减少了对特定市场和特定乘客需求的专注性,表现为在城区内线路各要素选择上更趋同于城市轨道交通特征,在城区间线路各要素选择着重体现城际铁路快速性要求。

(3)运输组织呈现多样性:针对不同层次的客流特征,其运输组织较为灵活,可采用大站停或站站停运行模式,也可采用快慢车越行模式<sup>[2]</sup>。列车运行交路可采用单一交路或大小交路套跑形式。

(4)运营管理呈现复杂性:从线网角度,运营管理不同于城际铁路,也不同于城市轨道交通。城际铁路线路一般由合资铁路公司负责资金筹措与建设管理,建成后并入国铁网,委托属地铁路局进行运营管理;城市轨道交通线网有其独立性,由地方政府主导建设,轨道交通公司负责运营管理。而都市区轨道交通各线建设进度不一,财务效益相差较大,涉及多个市级地方政府,如何协调各市间的利益关系,是运营管理模式研究的难点;线网建成后是否独立运营或与国铁网互联互通是运营管理模式研究的重点。

2 站点设置

都市区轨道交通站点设置除考虑经济据点分布、客流需求水平外,还受其功能定位的多目标性影响。

站间距设置与城市轨道交通和城际铁路不同,应充分体现分区段、分功能的设计理念。主城区内以承担部分城市轨道交通功能为主,速度目标值宜为100~120 km/h,在市郊间,车站分布重点考虑列车性能的发挥、突出与地面交通的时间竞争优势,速度目标值宜在120~160 km/h之间。针对不同区段的速度目标值,本文从发挥列车运行速度性能的角度经牵引计算模拟,测算在列车技术速度达到最高速度70%情况下,不同速度目标值对应的站间距,如表1所示。

表1 不同速度目标值下加减速距离及站间距表

速度目标值	100 km/h				
坡度/‰	-12	-6	0	6	12
加减速距离/km	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2
站间距/km	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2
速度目标值	120 km/h				
坡度/‰	-12	-6	0	6	12
加减速距离/km	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3
站间距/km	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3
速度目标值	160 km/h				
坡度/‰	-12	-6	0	6	12
加减速距离/km	7.1	6.6	6.6	7.1	8.5
站间距/km	10.7	10.7	10.7	11	12

合理的站点设置应综合考虑经济据点分布、客流需求水平以及列车运行效率等方面,从列车运行效率的角度,车站合理站间距主城区内宜为2.5~5 km,市郊区域宜为5~15 km。

3 运营组织

都市区轨道交通列车开行方案是旅客运输组织的基础,列车开行方案包括列车运行交路、快慢车运力分配、列车编组辆数、高峰及全日开行对数、列车停站方案等方面。运营组织方案的好坏涉及到众多因素,需要建立一个综合评价体系进行评判和优化。

3.1 评价指标体系的建立

建立列车开行方案的评价体系,对开行方案的经济和服务效果进行评价,不仅可以用来评价列车开行方案的优劣,而且可以作为优化开行方案的依据<sup>[3]</sup>。参考其他学者的研究成果<sup>[4-6]</sup>,综合考虑开行方案的经济、社会和市场效益,结合都市区轨道交通运输组织的特点,建立评价指标体系,如图1所示。图中能力、速度、车底运用、经济效益指标着重站在运输企业角度,反映列车开行方案的企业属性;列车服务、旅客经济和服务指标站在旅客的角度,充分反映开行方案对旅客服务的影响。

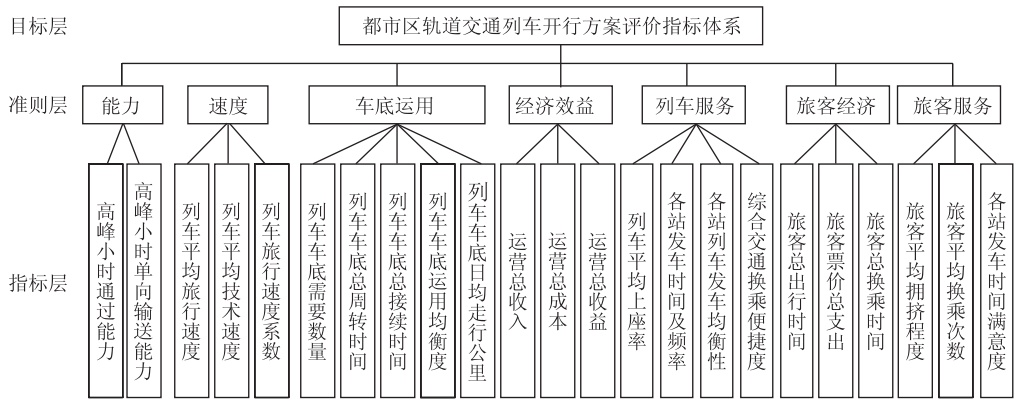


图 1 列车开行方案评价指标体系

在建立列车开行方案的评价体系中,考虑都市区轨道交通线路有明显的客流高峰,当高峰小时通过能力满足需求时,其他时段均能满足,因此,能力指标仅对高峰小时进行计算,包括通过能力、单向输送能力、车站折返能力。其次,根据都市区轨道交通运输组织特点,开行快慢车能使乘坐快车的乘客在途时间缩短,但使乘坐慢车的乘客因候车时间的延长而增加总出行时间,因此,乘客出行时间指标需考察全日列车上所有乘客的乘车时间。另外,开行快慢车影响各站的服务频率,各类列车在各站的发到均衡度影响服务质量和水平,在列车服务指标中,需考虑各站发车时间及频率和各站列车发车均衡性指标。

3.2 综合评价方法的选取

旅客列车开行方案的评价体系是一个多指标的评价体系,需要采用一定的量化手段,进行综合判定,本

文采用层次分析法(AHP法)进行评价,基本步骤如下:

- (1)根据图 1 所示的旅客列车开行方案评价指标体系,建立层次结构模型。
- (2)采用 1-9 比例标度,构造方案权重比较矩阵、指标权重比较矩阵,用方根法计算判断矩阵的特征向量 $\omega$ 和最大特征根,并检验判断矩阵的一致性。
- (3)对各方案进行排序,选出较优方案。

4 运营管理模式

从都市区轨道交通线网角度,运营管理模式主要包括一体化模式、网运分离管理模式和专业化分工管理模式。由于轨道交通网涉及多个地方政府,网运分离模式下,又可分为统一经营、分区经营、分线经营 3 种模式。各模式的优缺点如表 2 所示。

表 2 都市区轨道交通运营管理模式优缺点比较表

模式		概述	优点	缺点
模式 1: 一体化管理模式		①该模式是将轨道交通工程的投融资、建设、经营进行统一运作的模式 ②该模式是成立都市区轨道交通网公司,下设前期工作部、建设管理部、技术管理部、物资管理部、运输管理部、人事部、计划财务部、合同管理部、安全稽查部等相应职能部门	①整个轨道交通网管理成本低,有利于资产保值增值 ②可充分发挥地方政府经营管理的经验优势,有利于促进综合交通一体化发展	①需要协调的利益主体较多,难度较大。包括各地方政府利益协调、不同线路间的盈亏平衡 ②运营前期,新设运营管理部门将遇到一定的技术瓶颈且前期投入大
模式 2: 网运分离管理模式	模式 2-1: 统一经营	该模式将轨道交通的线路固定设施与线上客运经营相分离 成立都市区轨道交通线网公司,负责整个线网资产及经营管理	①整个轨道交通线网管理成本低,有利于资产保值增值 ②从线网公司角度,有利于减小整个线网的经营负担	同模式 1,协调利益主体多、且难度大
	模式 2-2: 分区经营	该方案不设运输管理部,运营考虑委托专业机构代管 各市分别成立轨道交通公司负责资产及经营管理	各个地方政府投入产出明确,管理界面清楚,公司内部各条线间的盈亏也相对容易协调	管理机构臃肿,整个轨道交通网管理成本高,增大了整个线网的经营负担
	模式 2-3: 分线经营	各线分别成立轨道交通公司负责资产及经营管理	各条线间投入产出明确,管理界面清楚,各线盈利及亏损一目了然	①同模式 2-2,管理机构臃肿 ②线路经过多个地方政府,需协调不同股东之间的利益关系
模式 3: 专业化分工管理模式		该模式是在模式 1 的基础上,运输管理部将自己运营管理事务中的部分管理职能,如动车三、四、五级修委托专业公司进行管理,受托方对委托方负责,其日常的工作质量接受委托方的管理和监督	充分发挥专业运营机构的资源和管理优势,减少初期投资,实现资源上的共享	专业运营机构从个体利益出发,存在与地方政府各级各部门的磨合问题

都市区轨道交通线网的运营管理模式应综合考虑各线建设进度、财务效益、各市利益协调难度等方面。在确定线网运营管理模式基础上,结合各线建设进度、线网形成的规模及运营公司经验,对各线运营管理模式进行选择。

5 案例分析

5.1 概况

厦漳泉都市区轨道交通 R3 线(以下简称“厦漳 R3 线”)为厦漳泉都市区轨道交通网重要组成部分,

线路起于靖城站止于厦门站,线路走向示意如图 2 所示。其中,榜山至浮宫段利用在建的港尾铁路并增建二线,线路运营里程为 88 km。全线主要承担漳州与厦门间的城际轨道交通功能,同时兼顾漳州市内、漳州开发区、厦门市内的部分轨道交通功能,即以城际轨道交通为主,城市轨道交通为辅。全线运营组织以运行城际列车为主,利用城际非运营时段集中开行少量货物列车,在城际列车非高峰运营时段开行少量跨线长途动车。靖城至漳州北城际、榜山至港尾段速度目标值为 160 km/h,其余地段速度目标值为 120 km/h<sup>[7]</sup>。

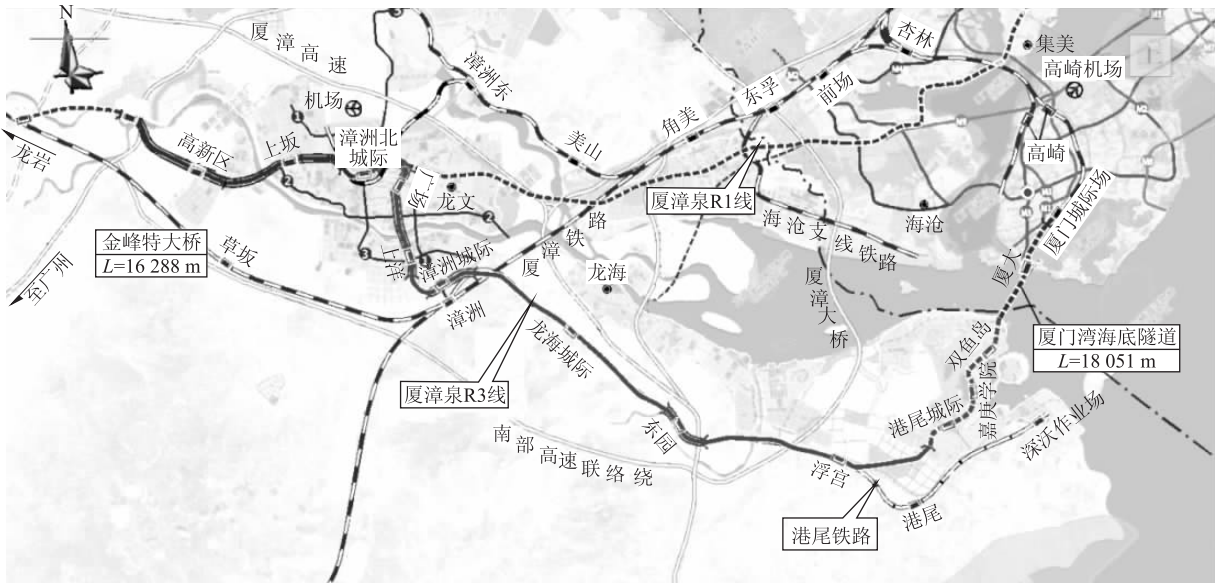


图2 厦漳 R3 线线路走向示意图

5.2 车站分布

根据合理站间距研究,结合地形地质条件及客流集聚点分布,全线共设置 15 座车站,平均站间距离为 5.86 km,漳州城区、漳州开发区及厦门城区内平均站间距为 4.6 km,漳州城区与漳州开发区间(利用港尾铁路段)平均站间距为 7 km。经牵引计算模拟,对各列车交路不同运输组织模式下,列车旅行时间进行测算,并将铁路与公路的旅行时间进行比较,如表 3 所示。

从表 3 可以看出:城际铁路较公路更凸现时间优势,大站停列车的旅行时间小于小汽车,站停车的旅行时间小于公交。车站分布较合理,符合功能定位且满足地方政府的要求。

5.3 列车开行方案研究及效果分析

5.3.1 运量预测及分析

(1) 远期客流指标及高峰小时客流断面量图

根据预测运量,研究年度客流规律一致,远期高峰小时客流断面量如图 3 所示,远期客流指标如表 4 所

表3 厦漳 R3 线铁路及公路旅行时间对比表

交路	厦漳 R3 线				公路	
	运输组织模式	运行时间 /min	停站时间 + 高峰小时越行产生的时间/min	旅行时间 /h	小汽车旅行时间 /h	公交旅行时间 /h
靖城至厦门城际段	大站停	51.2	10	1.02	1.38	3.4
	站站停	60.6	18.0 + 16	1.58		
漳州北城际至厦门城际段	大站停	41.8	10	0.86	1.28	2.9
	站站停	48.3	14.0 + 16	1.31		

注:①根据远期高峰小时列车运行图铺画结果,按快车越行慢车 2 次考虑,每越行 1 次增加 8 min。  
②列车停站时间根据远期上下车人数及列车对数、列车编组和车门数、列车开关门时间、旅客上下车时间进行测算,不足 1 min 按 1 min 计算。



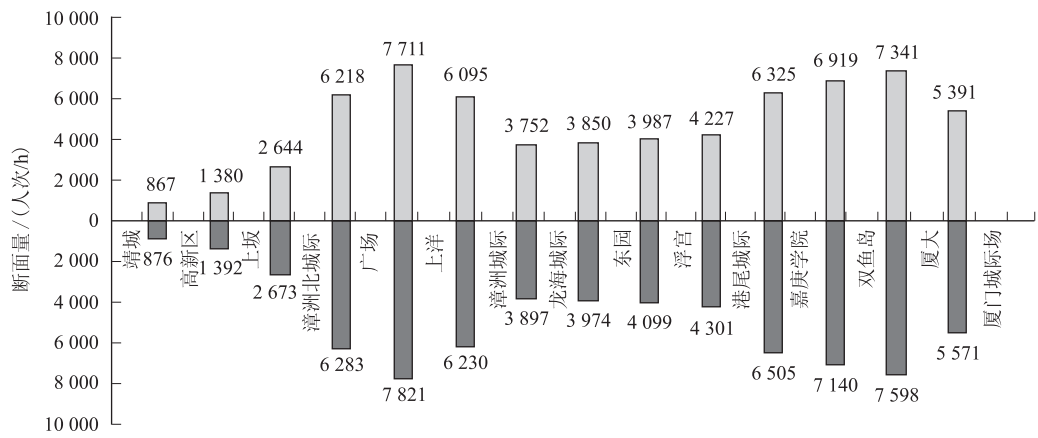


图3 高峰小时客流断面量示意图

表4 厦漳R3线远期客流指标

全日			高峰小时		平均乘距/km
客运量/(万人次/d)	客运周转量/(万人·km/d)	最大单向断面流量/(人次/d)	客运量/(人次/h)	最大单向断面流量/(人次/h)	
28.8	663.5	64 703	34 733	7 821	23.04

示。由图3可知,高峰小时最大断面量上下行客流分布比较均衡,最大单向断面量位于上洋至广场间。全线客流分布不均衡,从靖城—漳州城区—港尾利用段—漳州开发区至厦门段,客流整体呈现“低高低高型”,全日断面客流不均衡系数大于1.5。

(2) 高峰时段各组团间客流交流比例

远期高峰时段各组团间客流交流比例如图4所示。将非相邻跨组团的客流作为快车主要服务对象,通过计算长距离出行OD在各组团断面的叠加,取最大断面叠加值作为快车开行比例确定依据<sup>[8]</sup>。从图4可以看出,靖城至高新区组团至非相邻组团间最大断面叠加值为5%,表明远期开行快车比例小,漳州主城区至非相邻组团间最大断面叠加值为32%,表明远期快车开行比例约占运力的32%。

5.3.2 列车开行方案分析

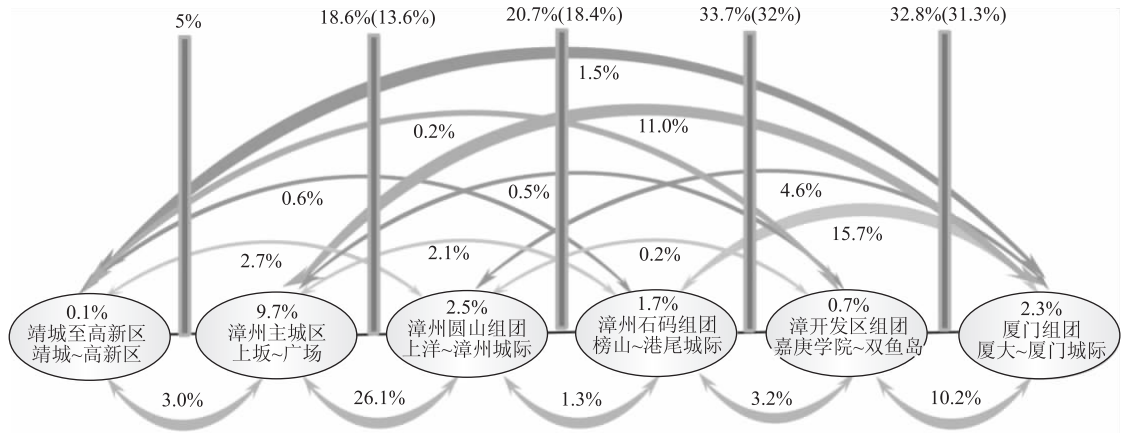
根据预测运量,提出以下4种可行的列车开行方案,并根据列车运行图铺画结果,测算平均旅行速度、运用车数、乘客平均乘车时间、区间通过能力等指标,为效果评价提供参考,如表5所示。

5.3.3 列车开行方案的AHP评价

(1) 建立层次结构模型

根据3.1评价指标体系,构造目标层、指标层、方案层。其中,目标层为寻找最优的列车开行方案,指标层为指标体系中提及的7类指标,包括能力(C1)、速度(C2)、车底运用(C3)、经济效益(C4)、列车服务(C5)、旅客经济(C6)、旅客服务(C7);方案层包括表5中的4个方案。

(2) 构造成对比较矩阵



注:\*(\*) :非相邻组团间最大断面叠加值(漳州主城区至非相邻组团间最大断面叠加值)

图4 远期高峰小时各组团客流交流及运力分配示意图

表5 厦漳 R3 线列车开行方案运营效果比较表

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
列车运行 交路	单一交路: 靖城 ~ 厦门城际场		大小交路嵌套: 大交路:靖城 ~ 厦门城际场; 小交路:漳州北城际 ~ 厦门城际场	
运输组织 模式	仅开行站 站停列车	开行 快慢车	小交路开行快慢车; 大交路仅开行站站停列车	
列车编组	CRH6 - 8 辆编组			
列车布置 及定员	站停车采 用坐席 + 4 人/m <sup>2</sup> 站席	快慢车均采 用坐席 + 4 人/m <sup>2</sup> 站席	快慢车均采 用:坐席 + 4 人/m <sup>2</sup> 站席	快车采用:全 坐席; 慢车采用:坐 席 + 4 人/m <sup>2</sup> 站席
高峰小时 列车对数 /(对/h)	6	快车 1 + 慢车 5	大交路: 慢车 2 小交路:快 车 1 + 慢车 3	大交路:慢车 2 小交路:快车 2 + 慢车 4
全日列车对 数/(对/d)	65	65	65	79
运用车数(组)	22	21	19	快车:6;慢车:22
日车走行公里 /(km/d)	520	545	526	快车:496 慢车:410
平均旅行 速度/(km/h)	47.7	快车:67.3 慢车:46.5	快车:65.6 慢车:47.8	快车:65.6 慢车:45.5
乘客平均乘 车时间/h	1.51	1.7	大交路:1.56 小交路:1.26	大交路:1.8 小交路:1.20
区间通过能 力(对/h)	15	13	13	12
列车停站 方案	全停	快车停站:靖城、漳州北城际、广场、漳州城际、 港尾城际、双鱼岛、厦大、厦门城际场 慢车:全部停站		
越行站设置	—	上坂、漳州北城际、上洋、榜山、东园、浮宫、嘉庚 学院为越行站,平均越行站间距离为 11 km		

注:CRH6-8 辆编组,坐席+4 人/m<sup>2</sup>站席,定员1502 人/列;全坐席,定员  
512 人/列。

采用1-9 比例标度,以及表5 分析结果和专家咨  
询,构造方案权重比较矩阵(见表6)、指标权重比较矩  
阵(见表7)。

表6 列车开行方案的效果评价权重比较矩阵表

B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
方案1	0.47	0.08	0.19	0.39	0.11	0.08	0.12
方案2	0.24	0.34	0.28	0.20	0.19	0.34	0.19
方案3	0.17	0.32	0.44	0.27	0.29	0.32	0.27
方案4	0.12	0.25	0.10	0.14	0.41	0.25	0.42

表7 指标权重比较矩阵表

B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.0	0.3	1.0	0.2	0.3	0.3	0.3
C2	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3
C3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3
C4	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3
C5	3.0	1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	1.0
C6	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	1.0	3.0
C7	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	0.3	1.0

用和积法计算其最大特征向量为  $w = (0.06,$   
 $0.11,0.08,0.13,0.14,0.28,0.21)^T$ ,经检验满足一致  
性要求。

(3) 计算总排序选出较优方案

经测算,4 个方案的向量指标为(0.163,0.260,  
0.301,0.276),则方案3 相对较优,本次列车开行方案  
推荐方案3。

5.4 厦漳 R3 线运营管理分析

(1)厦漳 R3 线与港尾线的关系

本线在榜山至浮宫段利用港尾铁路并增建二线,  
则涉及两线的投资经营管理主体不同:厦漳 R3 线由  
厦门市、漳州市、招商局漳州开发区按照属地原则出资  
成立厦漳 R3 线股份有限公司(以下简称“厦漳 R3 线  
公司”),对本线进行建设及资产管理。而港尾铁路由  
南昌铁路局会同福建省铁路投资有限责任公司、招商  
局漳州开发局管委会出资代表共同组建项目公司,负  
责本项目的建设和资产管理。两线利益相关方较多,  
为了明晰利益方的权责利,利于两线运营管理,需理清  
两线间的运营管理关系。故研究提出以下3 种方案,  
各方案优缺点比较如表8 所示。

根据表8 分析,采用何种经营管理模式,需要各利  
益相关方进行充分的协商并达成一致意见。本研究暂  
建议采用方案1,港尾铁路以全部资产入股,两公司合  
二为一,由厦漳 R3 线公司负责管理两条线的资产。

(2)运营管理模式分析

从线网角度,考虑到厦漳泉线网中各线建设进度  
不一,财务效益相差较大,为加快项目推进,简化利益  
协调过程,参考珠三角城际铁路网运营经验,暂推荐厦  
漳泉都市区轨道交通线网采用网运分离、分线经营模  
式,即每条线路成立一家公司进行经营管理,各投资方  
派代表组成董事会,在福建省统一领导下,经营并协调  
各自利益关系。

表8 厦漳 R3 线与港尾铁路的关系

方案	方案1 港尾铁路资 产入股方式	方案2 厦漳 R3 线公司 购买方式	方案3 两线均保留 独立产权
方案 概述	港尾铁路以全部资 产入股,两公司合二 为一,由厦漳 R3 线 公司负责管理两条 线的资产	厦漳 R3 线公司购买 港尾铁路榜山至浮 宫区段的资产,港尾 铁路列车经过厦漳 R3 线该区段时缴纳 过轨费用	厦漳 R3 线公司 不购买港尾铁路 资产,港尾铁路 仍保留独立产 权,两线列车经 过榜山至浮宫段 时向对方公司缴 纳过轨费用
优点	产权明晰,运营简 单,权责利分明,有 利于盘活港尾铁路 资产	产权较为清晰,运营 相对简单,权责利分 明;港尾铁路建设代 价减轻,还本付息压 力减小;厦漳 R3 线 建设及运营过程简 单明了	厦漳 R3 线公司 前期投入较少
缺点	未来两个项目盈亏 情况不同,原有资产 如何作价入股,需要 双方多次协商,详细 论证	厦漳 R3 线公司前期 投入资金增加,港尾 铁路列车受厦漳 R3 线运营影响较大	产权界限较为模 糊,两家公司需 要建立良好的沟 通协调机制,协 调工作量较大

根据厦漳 R3 线具体情况,可能的运营管理模式主要有自管自营、委托运营、部分委托运营三种模式。厦漳 R3 线作为厦漳泉都市区轨道交通网的首条建设运营项目,有一定示范作用,为确保运营安全,暂建议委托路局进行运营管理。

6 结论及建议

(1)在功能和服务水平上,都市区轨道交通与城际铁路、城市轨道交通既有重叠又有区分,车站分布应灵活考虑,使得在城区内车站设置趋于城市轨道交通特征,在城区外车站布置体现城际铁路快速性特征。基于列车运行效率的角度,建议都市区轨道交通车站合理站间距主城区内宜为 2.5 ~ 5 km,市郊区域宜为 5 ~ 15 km。

(2)建立了都市区轨道交通列车开行方案的评价体系,对开行方案的经济和服务效果进行评价,利用层次分析法确定各指标权重值,并对各因素进行量化计算,后进行综合评价,为该类项目列车开行方案比选提供参考。

(3)对大都市区轨道交通运营管理 3 种模式(一体化模式、网运分离管理模式、专业化分工管理模式)优缺点进行了梳理,为该类项目运营管理模式提供参考与借鉴。

(4)从提高车底运用效率及满足各站服务频率的角度,需进一步研究都市区轨道交通运行图列车均衡性问题,包括高峰与平峰时段列车对数合理性过渡问题等。

参考文献:

[1] 洪世键,黄晓芬.大都市区概念及其界定问题探讨[J]. 国际城市规划, 2007, 22(5):50-57.  
HONG Shijian, HUANG Xiaofen. Study on the Concept and Definition

of Metropolitan Areas [J]. Urban Planning International, 2007, 22(5):50-57.

[2] TB 10623-2014 城际铁路设计规范[S].  
TB 10623-2014 Code for Design of Intercity Railway [S].

[3] 邓连波,史峰.旅客列车开行方案评价指标体系[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(3):106-110.  
DENG Lianbo, SHI Feng. Evaluation Index System of Passenger Train Operation Plan [J]. China Railway Science, 2006, 27(3):106-110.

[4] 张萧萧.高速铁路旅客列车开行方案评价方法及系统开发[D]. 北京:北京交通大学, 2011.  
ZHANG Xiaoxiao. Evaluation of High-Speed Railway Passenger Train Service Plan and System Development[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.

[5] 张玉召,张红伟.旅客列车开行方案的 DEA 分析与评价[J]. 兰州交通大学学报, 2008, 27(6):83-85.  
ZHANG Yuzhao, ZHANG Hongwei. DEA Method for Analyzing and Evaluating Railway Passenger Train Plan [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2008, 27(6):83-85.

[6] 张伦.京沪高速铁路北京南至济南西段区间通过能力探讨[J]. 高速铁路技术, 2012, 3(6):27-29.  
ZHANG Lun. Study on Section Carrying Capacity from Beijing to Jinan on Beijing-Shanghai High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2012, 3(6):27-29.

[7] 中铁二院工程集团有限责任公司.新建铁路厦漳城际铁路环线可行性研究报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Feasibility Study of New Xiamen-Zhangzhou Intercity Ring Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.

[8] 徐吉庆,陈福贵,汤珏.城市轨道交通越行方案行车组织设计[J]. 四川建筑, 2012, 32(1):75-77.  
XU Jiqing, CHEN Fugui, TANG Jue. Design of Train Organization in the Overtaking Scheme of Urban Rail Transit [J]. Sichuan Architecture, 2012, 32(1):75-77.

(编辑:车晓娟 张红英)