

文章编号: 1674—8247(2022)03—0081—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.016

浅析新建市域(郊)铁路系统设计关键技术

宋元胜

(中铁二院(成都)工程咨询有限公司, 成都 610031)

摘 要:本文从市域(郊)铁路内涵和外延分析出发,在市域(郊)铁路功能和系统设计目标研究基础上,提出了新建市域(郊)铁路系统设计需要实现系统能力和服务水平最大化的目标,并分别从系统设计目标、工程建设内容角度,探索了市域(郊)铁路系统设计的关键技术,提出了新建市域(郊)铁路系统设计关键技术为越行站站间距离,得出了实现新建市域(郊)铁路系统设计功能和目标的关键技术为越行站等时距车站分布的结论,对新建市域(郊)铁路设计和运营具有一定指导意义。

关键词:市域(郊)铁路;系统设计;等时距;车站分布

中图分类号:U291.1+4 **文献标志码:**A

A Brief Analysis of the Key Technology for the Design of a New Suburban Railway System

SONG Yuansheng

(CREEC (Chengdu) Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Based on the analysis of the connotation and denotation of the suburban railway and the research on the function and system design objectives of suburban railway, this paper puts forward the objective of maximizing the system capacity and service level in the design of new suburban railway system, and probes into the key technology for the design of suburban railway system from the perspective of system design objectives and engineering construction contents. The paper puts forward that the key technology for the design of the new suburban railway system is the overtaking station spacing, and draws a conclusion that the key technology to realize the design function and objective of the new suburban railway system is the distribution of overtaking stations with equal headway, which has certain guiding significance for the design and operation of the new suburban railway.

Key words: suburban railway; system design; equal headway; station distribution

1 市域(郊)铁路现状

市域(郊)铁路是连接都市圈中心城市城区和周边城镇组团,为通勤客流提供快速度、大运量、公交化运输服务的轨道交通系统,单程通行时间宜不超过 1 h,设计速度宜为 100 ~ 160 km/h^[1]。其服务功能介

于城市轨道交通与城际铁路之间,服务特性更接近于城市轨道交通。根据市域(郊)铁路概念和特点,不难看出速度目标值 100 ~ 160 km/h、公交化两个关键性问题,那么在目前速度 100 ~ 160 km/h 客货共线铁路、120 ~ 200 km/h 城际铁路、城市轨道交通 120 ~ 140 km/h 快线设计技术都成熟的情况下,市域(郊)铁

收稿日期:2021-06-28

作者简介:宋元胜(1966-),男,教授级高级工程师。

引文格式:宋元胜. 浅析新建市域(郊)铁路系统设计关键技术[J]. 高速铁路技术,2022,13(3):81-84.

SONG Yuansheng. A Brief Analysis of the Key Technology for the Design of a New Suburban Railway System[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3):81-84.

路系统设计还有没有关键技术,什么是关键技术?为此,笔者提出了新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术研究,本文从系统整体功能角度,而不是从特定项目或单体工程角度来研究关键技术,同时本文的关键技术不是指市域(郊)铁路某一路段、某个单项(体)工程的关键技术,也不是指特定市域(郊)铁路项目的关键技术,而是泛指所有新建市域(郊)铁路设计具有的共同的、影响系统功能实现的技术。

国内外市域(郊)铁路研究文献较少,国内可查文献主要集中在市域(郊)铁路发展启示、发展模式、区域适应性、运营管理和桥梁工程应用技术等方面,未见市域(郊)铁路设计及关键技术的相关研究文献。本文引用文献主要集中在公交化、列车运行图结构及稳定性方面,对新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术研究有辅助作用。

目前,TB 10624-2020《市域(郊)铁路设计规范》已颁布,其在总体设计下单列3.4系统设计,但其条文内容除“3.4.1 市域(郊)铁路应系统设计、总体功能最优。各子系统间、固定和移动设施间、项目主体与外部环境间的标准与接口设计应匹配协调。”^[2]涉及笔者提出的市域(郊)铁路系统设计关键技术之外,其它条文均为市域(郊)铁路单项(体)工程的系统设计技术。同时,条文3.4.1强调的是标准与接口设计,无条文说明内容,可见市域(郊)铁路设计规范也未明确和深入研究新建市域(郊)铁路系统设计的系统性关键技术。笔者结合多年科研和项目管理经验,探索性提出新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术研究。

2 新建市域(郊)铁路功能和系统设计目标

2.1 新建市域(郊)铁路功能

(1)从概念角度分析市域(郊)铁路功能

市域(郊)铁路主要布局在经济发达、人口聚集的都市圈内的中心城市,联通城区与郊区及周边城镇组团,采取灵活编组、高密度、公交化的运输组织方式,重点满足1 h通勤圈快速通达出行需求。可见市域(郊)铁路功能的内涵是满足旅客通勤出行需求。因此,从时间分布上,要求市域(郊)铁路主要为早晚高峰小时旅客出行服务;从运输组织实施上,要求市域(郊)铁路运输组织提供公交化运输;从旅客出行效率上,要求运输组织不同需求的快慢列车以满足旅客出行,显然其外涵为满足不同需求的公交化运输需求,提供公交化的运输服务。因此,新建市域(郊)铁路系统功能是提供早晚高峰1 h通勤圈公交化运输服务。

(2)从功能性比较角度分析市域(郊)铁路功能

市域(郊)铁路服务功能介于城市轨道交通与城际铁路之间,因此将市域(郊)铁路、城市轨道交通和城际铁路的功能属性进行对比分析,更好明晰市域(郊)铁路功能,结果如表1所示。

表1 市域(郊)铁路、城市轨道交通和城际铁路的功能属性对比分析表

功能属性	城市轨道交通	市域(郊)铁路	城际铁路
重点服务客流	通勤客流	通勤客流	城际间客流
服务范围	都市圈城市核心区域	都市圈城市核心外围区域	都市圈内城市、城镇之间区域
运输组织模式	组织站站停列车	组织大站停+站站停列车	组织大站停+站站停列车
快车开行特点	无越行列车	大站车越行、数量少	大站车越行、数量较多
公交化服务水平	相对最高	相对次之	相对最差
公交化服务时段	早晚高峰及邻近时段	早晚高峰小时及邻近时段	早晚高峰小时

从表1可看出,由于组织站站停列车开行,城市快速轨道交通不能满足时间价值较高的旅客出行需求。城际铁路服务范围较广,时间价值较高旅客相对较多,大站停列车开行数量较多,由于大站停列车挤压站站停列车运行线,其公交化服务水平相对较差。我国城际铁路运营主要照顾了时间价值较高的旅客出行,公交化的站站停列车开行数量较少,沿线车站服务水平较低。市域(郊)铁路主要位于都市圈内人口比较密集区域,组织满足时间价值较高的旅客出行需求较少,组织满足通勤要求的站站停列车较多,因此市域(郊)铁路既能照顾时间价值较高旅客,开行大站越行列车,又能较好地实现公交化服务,为都市圈提供早晚高峰通勤圈公交化运输服务。

2.2 新建市域(郊)铁路的系统设计目标

市域(郊)铁路系统设计应以实现系统功能优化为目的^[3],要提供早晚高峰1 h通勤圈公交化运输服务,市域(郊)铁路通过能力、运输服务水平要满足高峰1 h公交化运输需求。通过能力反映是指在一定的机车车辆类型、信号设备和行车组织方法条件下,铁路区段内各种基础设施和固定设备在单位时间内所能通过或接发的列车对数^[4]。可见,设计通过能力为运输服务水平的基础,只有最大化提高设计通过能力才能尽可能多开列车,提高市域(郊)铁路服务水平。服务水平反映的是运输组织和管理能力,是满足运输需求和指导固定设备配置的关键,服务水平的要求反过来通过大站停列车的多少制约市域(郊)铁路的通过能力,因此规划设计通过能力时需要考虑服务水平的可

实施性,与公交化运输方案对应的服务水平设计时需要考虑通过能力条件是否具备,在通过能力能够满足的条件下,尽可能实现最高的服务水平,故市域(郊)铁路系统设计需要协调通过能力和服务水平才能实现其功能目标,新建市域(郊)铁路系统设计需要实现系统通过能力和服务水平最大化的设计目标。

3 系统设计的关键技术

根据国办函[2020]116号,新建市域(郊)铁路应根据客流需求等设置越行条件,尽可能满足快慢线运输组织要求,推行“站站停”与“大站停”相结合的灵活运输组织模式,提供多样化、便捷化出行服务。因组织站站停列车的市域(郊)铁路在系统设计上已实现系统设计能力和服务水平的最大化,本文在列车越行条件下研究市域(郊)铁路系统设计的关键技术。

3.1 从功能和系统设计目标分析

市域(郊)铁路设计规范对于系统设计能力计算方法没有描述,仅在5.2.2条规定“系统设计能力应满足设计年度客流需求,快慢车组合运行时不宜大于24对/h……”。在越行条件下,新建市域(郊)铁路系统能力可参照TB 10621-2014《高速铁路设计规范》条文说明中的能力计算办法进行类推,平行图区间通过能力可描述为^[5]:

$$N = \frac{1\,440 - T_w}{I} - \frac{60S}{vI} \quad (1)$$

式中: N ——平行运行图通过能力(对或列);

T_w ——综合维修天窗时间(min);

I ——列车追踪间隔(min);

S ——客运区段长度(km);

v ——列车运行速度(km/h)。

市域(郊)铁路为公交化铁路,越行条件下其平行运行图区间通过能力可根据(1)式类推,可粗略描述为:

$$N = \frac{1\,440 - T_w}{I_{\text{站}}} - \frac{60S_{\text{越}}}{vI_{\text{越}}} \quad (2)$$

式中: $I_{\text{站}}$ 、 $I_{\text{直}}$ ——站站停、大站车追踪间隔(min);

$S_{\text{越}}$ ——越行区段长度(km)。

无论式(2)是否能准确计算市域(郊)铁路的平行运行图通过能力,都可以看出,市域(郊)铁路通过能力由大站车、站站停列车追踪间隔和大站车越行站间距离决定。

市域(郊)铁路的服务水平是指站站停列车服务车站的水平,集中体现在站站停列车的追踪间隔。从

式(2)也可以看出,当 $S_{\text{越}}=0$ 时,该式代表了无越行条件下线路的最大通过能力和最大服务水平,服务水平由站站停列车的追踪间隔决定。

因此,新建市域(郊)铁路系统能力和服务水平两个指标的决定因素均可归集到列车追踪间隔,系统能力由大站车、站站停列车追踪间隔决定,服务水平主要由公交化运输的站站停列车追踪间隔决定。因此,在越行条件下,站站停列车受大站停列车越行影响,直接影响系统能力,而要实现系统能力和服务水平最大化,关键影响因素就是越行站的站间距离。理论上,越行站的站间距离越小,开行的的大站和站站列车对数越多,站站车开行对数越多,服务水平就越高。

不同越行站间距离对列车对数影响如图1所示,从式(2)和图1均可得出以上结论。因此,从功能和系统设计目标分析,越行站站间距离设计就是市域(郊)铁路系统设计的关键技术。

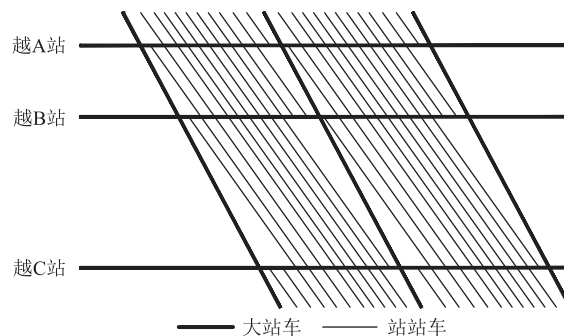


图1 不同越行站间距离对列车对数影响示意图

3.2 从工程建设内容分析

市域(郊)铁路设计规范3.4系统设计内容,简单归纳起来,在固定设备方面主要对路基、桥梁、隧道和轨道等线下基础设施进行了规定,要求设计应采用与设计速度匹配的技术标准,工程类别的选择应结合工程技术、地形地质、社会环境以及土地利用等因素比选确定,同时对车站站台、房屋配置、车辆基地及固定设施的养护维修等进行了规范。在移动设备方面主要对车辆站立标准进行规范,其余主要是对市域(郊)铁路设计外部环境影响、工程安全、信息安全、接口设计等进行了规范,同时规定市域(郊)铁路设计应充分考虑施工条件和养护维修条件,设备设施及部件的选择应遵循匹配合理、标准化、通用化的原则。从上述内容看,市域(郊)铁路设计规范并未提出其设计关键技术,且从其内容上也难以分析出系统性的关键技术。

新建市域(郊)铁路工程建设内容总体上可分为站前和站后专业内容两大系列。站前专业的线路、轨

道、地质、路基、桥梁、隧道专业内容是新建市域(郊)铁路线下工程设计的组成部分,其专业技术是影响各专业内部系统设计、单项或单体工程设计的关键技术,如线路选线无论采用何种技术、何种线路走向,线路的设计通过能力不会因此提高,仅可能减少工程投资和风险;桥梁设计无论采用何种梁式、跨度、结构技术和施工方法,建成的都是一座桥梁,其为市域(郊)铁路提供的线路通过能力是一致的,并不因为不同桥梁采用关键技术的影响而线路通过能力。站场专业设计成果为车站站场,为实现运输专业设计输出的新建市域(郊)铁路服务水平和通过能力的载体。因此站前专业中,线下设计专业技术均为专业内部设计技术或单项设计技术,并非市域(郊)铁路影响系统功能的关键技术;站后专业技术均为成熟应用技术和多途径可实现技术,信号系统控制列车运行间隔和安全,具有影响市域(郊)铁路系统性服务功能和通过能力的特性,其它专业内容虽属于市域(郊)铁路组成部分,自身也形成有效系统,但基本都是局限于本专业、本单项或单体工程的内容和技术,其专业技术不足以整体提高市域(郊)铁路系统能力和服务水平。由此可见,能够影响系统能力和服务水平专业技术为运输、站场和信号专业技术。

运输与信号专业的技术交集在于列车追踪间隔,是系统能力和服务水平实现的决定因素,运输专业设计的技术成果决定了站场专业设计空间位置,站场专业为满足运输专业设计行车量、列车越行条件而进行车站平面布置设计。因此,列车追踪间隔、车站分布、行车量设计是决定新建市域(郊)铁路通过能力和服务水平的关键因素,而由于市域(郊)铁路越行列车的存在,在既定行车量下,车站分布直接决定了列车间隔和通过能力的均衡性,越行站间距离决定了站站停列车服务水平和线路设计能力是否实现最大化。

综上所述,越行站站间距离是新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术。

4 越行站等时距车站分布

市域(郊)铁路系统设计功能最终体现在列车运行图上付诸实施,基于公交化理念的运行图方便旅客出行,有利于吸引客流,列车运行交路较为简单^[6]。考虑列车运行图中密铺运行线几何结构的敏感性,可通过优化运行图结构来提升区间通过能力,建立运行图结构与通过能力间的数量表达方法,并以此为基础,

优化运行图结构,以提升通过能力^[7]。新建市域(郊)铁路运行图可直观反映越行站站间距离及大站列车节拍化、站站停列车公交化运行情况,因此本文通过列车运行图结构研究越行站间距离。设大站车、站站车在甲乙、乙丙区间列车运行时间差为 Δ_t 、 Δ'_t ,如图2(仅以每小时开行1对大站快车为例)所示。

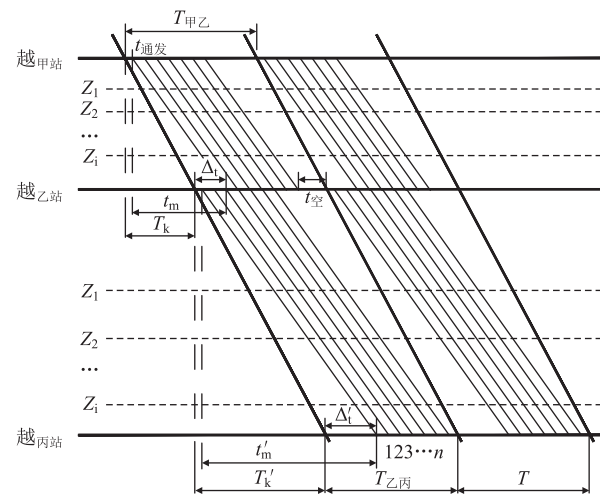


图2 不同越行站间距离下列车运行示意图

依据运行图则有:

$$\Delta_t = t_m - t_k + t_{\text{通发}} \quad (3)$$

$$\Delta'_t = t'_m - t'_k + t_{\text{通发}} \quad (4)$$

$$T_{\text{甲乙}} = \Delta_t + (n-1)I_{\text{站}} + t_{\text{到通}} + t_{\text{空费}} \quad (5)$$

$$T_{\text{乙丙}} = \Delta'_t + (n-1)I_{\text{站}} + t_{\text{到通}} \quad (6)$$

式中: t_k, t'_k ——表示大站快车在越行区间甲乙、乙丙旅行时间(min);

t_m, t'_m ——表示站站车在越行区间甲乙、乙丙旅行时间(min);

$t_{\text{通发}}, t_{\text{到通}}$ ——分别表示大站快车通过与站站车发车、到达的间隔时间(min);

$T_{\text{甲乙}}, T_{\text{乙丙}}$ ——分别表示大站快车在甲乙、乙丙区间运行间隔时间(min);

z_1, z_2, \dots, z_j ——表示越行站之间站站车停车的无配线车站($j \in N$)。

由于越行大站车列车间隔相同且优先于站站停列车铺画,故有 $T_{\text{甲乙}} = T_{\text{乙丙}} = T$,由式(5)、式(6)有 $\Delta_t + t_{\text{空费}} = \Delta'_t$ 。 $t_{\text{空费}}$ 为列车运行图不能利用时间,因此为提高公交化站站停运行效率和线路利用率,宜 $t_{\text{空费}} \rightarrow 0$ 。当 $t_{\text{空费}} = 0$ 时,线路运行效率最高,此时 $\Delta_t = \Delta'_t$ 。由式(3)、式(4)有 $t_m - t_k = t'_m - t'_k$,故有 $t_m = t'_m$,且 $t_k = t'_k$ 。 t_k, t'_k, t_m, t'_m 分别为甲乙、乙丙区间大站停、站站

(下转第99页)

WU Peipei. Numerical Analysis on the Long-Term Upheaval Deformation of High-speed Railway Deep Cutting Based on Rheology [J]. Subgrade Engineering, 2019(1): 135 – 139.

[6] 敬洪武. 川中红层水理特性及对无砟轨道变形影响机制分析 [J]. 地质灾害与环境保护, 2019, 30(2): 35 – 40.

JING Hongwu. Water-Physical Property of Sichuan Central Redbeds and It's Influence on the Deformation Mechanism Analysis Ballastless Track [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2019, 30(2): 35 – 40.

[7] 杨吉新, 马旭超, 刘前瑞. 关于成渝高铁路基上拱问题的探讨 [J]. 铁道建筑, 2016, 56(8): 112 – 115.

YANG Jixin, MA Xuchao, LIU Qianrui. Exploring on Subgrade Swelling of Chengdu-Chongqing High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2016, 56(8): 112 – 115.

[8] 钟志彬, 李安洪, 邓荣贵, 等. 川中红层泥岩时效膨胀变形特性试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(1): 76 – 86.

ZHONG Zhibin, LI Anhong, DENG Ronggui, et al. Experimental Study on the Time-Dependent Swelling Characteristics of Red-Bed Mudstone in Central Sichuan [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(1): 76 – 86.

[9] 周波, 张良, 付正道. 高速铁路无砟轨道软岩路堑基床换填厚度研究 [J]. 高速铁路技术, 2019, 10(3): 73 – 77.

ZHOU Bo, ZHANG Liang, FU Zhengdao. Research on Replacement Thickness of Soft Rock Cutting Subgrade Bed of High-speed Railway with Ballastless Track [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 73 – 77.

(上接第 84 页)

停列车旅行时间,说明越行站宜等时距布局,以最大限度减少运行空费,提高线路利用率和运行效率,如此每个越行区间等时距分布,系统通过能力和服务水平实现最大化。同时为保障系统通过能力和服务水平实现最大化,需要列车运行图的稳定,列车运行图的稳定性是列车在日常运输生产中能否保障按图行车、提高运营可靠性的关键,列车运行图稳定性的研究一直是铁路运输生产计划部门和调度部门关注的重点^[8]。每个越行区间等时距分布有效解决了列车运行图的稳定性,最大限度提高了市域(郊)铁路的系统设计能力和服务水平。

5 结束语

本文探索性地研究了市域(郊)铁路系统设计的关键技术,得出以下主要结论:

(1)新建市域(郊)铁路系统功能为提供早晚高峰 1 h 通勤圈公交化运输服务;系统设计需要实现系统通过能力和服务水平最大化的设计目标。

(2)从功能、系统设计目标和工程建设的角度分析,列车越行条件下新建市域(郊)铁路系统设计的关键技术为越行站站间距离。

(3)实现新建市域(郊)铁路系统设计功能和目标的关键技术为越行站等时距车站分布。

本文结论对新建市域(郊)铁路设计和运营具有指导意义,对越行条件下的城市轨道交通快线也具有一定借鉴作用。

参考文献:

[1] 国务院办公厅. 关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见 [Z]. 北京:国务院办公厅,2020.

The General Office of the State Council. Opinions on Accelerating the Development of Metropolitan Suburban Railways [Z]. Beijing: The General Office of the State Council, 2020.

[2] TB 10624 – 2020 市域(郊)铁路设计规范 [S].

TB 10624 – 2020 Standard Code for Design of Municipal (Suburban) Railway [S].

[3] T/CRS C0101 – 2017 中国铁道学会标准市域铁路设计规范 [S].

T/CRS C0101 – 2017 Standard Code for Design of Municipal Railway of China Railway Society [S].

[4] 闫海峰, 鲁工圆, 薛锋. 铁路通过能力计算方法 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2019.

YAN Haifeng, LU Gongyuan, XUE Feng. Calculation Method of Railway Carrying Capacity [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2019.

[5] TB 10621 – 2014 高速铁路设计规范 [S].

TB 10621 – 2014 Code for Design of High Speed Railway [S].

[6] 马保仁. 我国高速铁路列车运行图现状分析及展望 [J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 8 – 11.

MA Baoren. Analysis on Current Situation and Prospect of Train Diagram of High-speed Railway in China [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 8 – 11.

[7] 于汝滨, 任冲, 闫海峰. 繁忙高速铁路列车运行图结构优化研究 [J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(12): 1 – 8.

YU Rubin, REN Chong, YAN Haifeng. Optimization of Train Working Diagram Structure for Busy High-speed Railway Lines [J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(12): 1 – 8.

[8] 王凯. 高速铁路列车运行图稳定性研究 [J]. 铁道经济研究, 2019(4): 36 – 39.

WANG Kai. Research on the Stability of High-speed Railway Train Diagram [J]. Railway Economics Research, 2019(4): 36 – 39.