

文章编号: 1674—8247(2021)03—0084—07
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.03.015

铁路枢纽中环线与射线交叉节点的设置形式探讨

陈 梓 麻丁一 冯 浩

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:环线 + 射线模式是常见的轨道交通网结构,目前大型平原城市铁路枢纽也逐渐形成了环线 + 射线格局的铁路路网结构。其中环线线路作为枢纽中的切向连接部分,其功能的优劣决定了枢纽效率的高低。而环线与射线之间交叉点的设置方式决定了客流交通的质量和效率,对环线功能具有决定性的作用。铁路受其站场形式、运营特征、建设代价等的影响,线路交叉点设置形式相比其他轨道交通更为复杂多样。本文以规划的成都外环铁路为例,探讨铁路枢纽内环线 - 射线交叉点的设置形式。

关键词:铁路枢纽; 环线; 射线; 交叉点; 设置形式

中图分类号:U291.7⁺4 文献标志码:A

On Settings of Intersections Between Loop and Radial Route

Within a Railway Terminal

CHEN Zi MA Dingyi FENG Hao

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

Abstract: The "loop + radial route" mode is a common rail transit network structure. At present, the railway network structure with the "loop + radial route" pattern has been gradually formed for railway terminals in large plain cities. The loop route is the tangential connection part of a terminal, and its function determines the efficiency of the terminal. The setting of the intersection between the loop and the radial route determines the quality and efficiency of passenger traffic, and plays a decisive role in the function of the loop. Compared with other rail transit systems, the intersection between two railway lines sees more complicated because of the various types of station yards, complex operating systems, and high costs of construction. Taking the planned outer loop railway in Chengdu for example, this paper discusses the settings of the intersection between loop and radial route within railway terminals.

Key words: railway terminal; loop; radial route; intersection; settings

我国现有铁路枢纽 52 个,其中 23 个枢纽已形成或规划了环线(客运线路成环的有 16 个)。成都枢纽已形成内环线,并规划成都外环城际铁路,为具有环线线路的典型铁路枢纽^[1]。

如何处理环线与径向射线之间的交叉关系,是环线 + 射线路网布局中的研究重点,决定了环线乃至整

个枢纽的功能优劣。成都外环铁路位于成都第三圈层,全长约 480 km,经过成都平原城市群的成都、眉山、资阳、德阳,空间上与进出成都枢纽的多条全国铁路网大通道、城际铁路、市域轨道交叉。本文将以成都外环铁路为例,探讨环线铁路与射线线路交叉点设置形式。

收稿日期:2021-03-10

作者简介:陈梓(1990-),男,助理工程师。

引文格式:陈梓,麻丁一,冯浩. 铁路枢纽中环线与射线交叉节点的设置形式探讨[J]. 高速铁路技术,2021,12(3): 84-90.

CHEN Zi, MA Dingyi, FENG Hao. On Settings of Intersections Between Loop and Radial Route Within a Railway Terminal[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(3): 84-90.

1 环状线路的功能特点

路网中环线的主要功能为周向联系和截流换向。周向联系功能加强了环线周边城市中心区与边缘地区间的通达程度^[2]。截流换向功能使得外部客流不必经过城市核心便可抵达任意方向上的目的地。环线径路截流功能示意如图1所示。

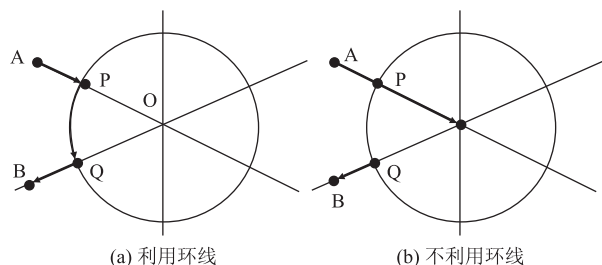


图1 环线径路截流功能示意图

环线的周向联系和截流换向功能在几何特征上具有重叠性,在需求适应方面又具有互斥性。二者存在矛盾统一性。

(1) 重叠性

周向联系功能是截流换向功能的基础。环线在截流径向交通的同时也必然实现周向联系。如图1中环线完成A-P-Q-B截流的同时,在P-Q段完成周向联系。

(2) 互斥性

距离城市中心越近的环线,因经济更活跃,周向交流也更频繁。但环线距城市几何中心越近,截流换向所需经过的路程更长。

截流换向功能的优劣主要受制于环线-射线的形态和功能。其设置形式亦决定了整个环线功能的优劣。

2 客运铁路的交叉点设置方式

客运铁路交叉时产生各类形态的客流交流方式,不能完全以各条线路独立、仅依靠人员下车换乘的方式设计交叉点。铁路线路交叉处的处理方式主要有以下3类^[3-4]:

(1) 跨越不设车站

当两线之间跨线客流少,且交叉点又位于地区和枢纽之外时,常采用该处理方式。两条铁路交叉处不设车站,独立运行。

(2) 共用车站,不互联互通

采用此交叉点处理方式时,乘客可在同一车站办理换乘,在客流层面上形成不连续的交流互通。国内大多以并站分场方式处置(如德阳站、峨眉山高速铁

路等),也有少数修建类似地铁或轻轨的十字交叉方式^[5]。

(3) 互联互通

两条铁路交叉且两线之间根据运量预测需开行跨线车时,一般采用引入同一车站实现互联互通。在交叉点远离人口聚集区,距离前后车站又较近,确实没有专门设置车站必要的情况下,也常采用区间引出联络线搭接的方式,并设置线路所保障道岔、信号等设备运行可靠。

铁路线路交叉点的设置形式相比其他轨道交通更为多样和复杂。在铁路枢纽建设环线铁路时,环线与径向线路也具有多样拓扑学关系的可能性,应根据实际需要综合考虑。

3 成都外环铁路环-径向线路交叉点处理措施

成都外环线径路联通沿线区、县、市之间的交通、经济据点至旅游景区之间的旅游客流,承担重要的周向联系功能。而作为国家中心城市、重要铁路枢纽及全省核心城市,成都又需接发大量长途通道交通和省内城际交通,因此射线向交通将构成枢纽内铁路交通量的重要组成部分。拟建、在建或既有射线切割成都外环铁路进出成都铁路枢纽的铁路通道共10条(含支线)。

(1) 西安—成都:既有西成高速铁路设计速度250 km/h,未来规划西成第二通道铁路,与外环线相交于德阳。

(2) 成都—遂宁:既有遂成铁路为设计速度200 km/h的国铁I级铁路,与外环线相交于金堂。

(3) 成都—重庆:既有成渝高速铁路设计速度350 km/h,与外环线相交于资阳。未来规划修建成渝中线高铁。

(4) 成都—自贡:在建成自铁路为设计速度350 km/h的客运专线铁路,与外环线相交于资阳。为《中长期铁路网规划》中京昆通道的组成部分。

(5) 成都—南充—达州—万州:拟建成南达万高速铁路设计速度350 km/h,与外环线相交于资阳,为《中长期铁路网规划》中沿江通道的组成部分。

(6) 成都—宜宾—贵阳:既有成贵高速铁路设计速度250 km/h,与外环铁路相交于眉山。

(7) 成都—蒲江—雅安:为设计速度200 km/h的客货共线铁路,与外环铁路在大邑—邛崃—蒲江段径路重合。

(8) 成都—都江堰:成灌铁路为区间最高设计速度200 km/h的城际铁路,与外环铁路在都江堰市相交

和重合。

(9) 成都—彭州:成灌铁路彭州支线为设计速度160 km/h 的城际铁路,与外环铁路相交于彭州。

(10) 成都—阿坝州—兰州(西宁):成兰铁路为设计速度200 km/h 的客货共线铁路,与外环线相交于德阳什邡。目前尚未全线通车。

10 条径向铁路若都与外环铁路互联互通,工程量大,还将不可避免地影响部分大通道的线路功能,代价过高,且从外环铁路线型角度看,因环线—射线相对位置关系整体趋于垂直,引入同一车站会造成外环铁路线位的扭转、绕长。但若均不互联互通,又无法开行必要的跨线列车。

与所有环线线路一样,成都外环铁路的路网功能也主要体现在两个方面:

- (1) 截流换向
- 环线外侧两条不同方向的射线向铁路经由外环铁路开行跨线车;
- (2) 周向联系
- 环线沿线的客流经由环线交流,以及环线内部径向线路开行沿环线的“L”形或“内部射线—环线—内部射线”跨线车,满足中心城区客流前往环线沿线任意目的地的需要。

结合路网构成,成都外环铁路将主要承担德阳、绵阳、广元至川南地区,德阳、绵阳至重庆,雅安、乐山、眉山至川东北地区 and 雅安、眉山至重庆的客运交流。结合地区经济、交通发展趋势,采用弹性系数法及相关因素法等方法,预测研究年度4 个方向全社会通道客流密度,如表1 所示。

表1 成都外环铁路承担跨线方向通道全社会客运量表					
起点	讫点	2019 年	2030 年	2035 年	2045 年
		出行量(万人/a)			
德阳、绵阳、广元	川南地区	148	305	381	442
德阳、绵阳	重庆	162	351	447	532
雅安、乐山、眉山	川东北地区	39	88	114	147
雅安、眉山	重庆	20	44	57	72

经运输径路旅行时间和费用比较分析,成都外环铁路承担的跨线客流密度初、近、远期分别为239 万人、304 万人、371 万人,如表2 所示。

表2 成都外环铁路跨线客流表					
起点	讫点	径路	2030 年	2035 年	2045 年
			客流密度(万人/a)		
绵阳	自贡	西成、本线、成自	83	103	120
绵阳	重庆	西成、本线、遂成	50	64	76
雅安	南充	成雅、川藏、本线、成达万	75	98	125
雅安	重庆	雅眉乐自渝、成贵、成渝	31	40	51
合计			239	304	371

运量分析提示,成都外环铁路环外方面主要承担德阳、绵阳、广元至川南地区,德阳、绵阳至重庆和雅安、乐山、眉山至川东北地区3 个方向的跨线客流。

环内方面,开行“成都—彭州—德阳—成都”、“成都—崇州—都江堰—成都”两个环内跨线交路。此外,外环线应保障东南方向城市人口可快速前往成都天府机场,强化成都的航空枢纽作用,因此还需开行雅安—眉山—天府机场和德阳—东部新区—新机场的跨线列车。因此,重点研究对象为德阳、淮州、资阳、蒲江、崇州、都江堰、彭州的交叉点设置。

3.1 德阳

依据经济运量分析,该交点需实现如图2 所示的互通关系,才能满足前文所述交路开行的要求。

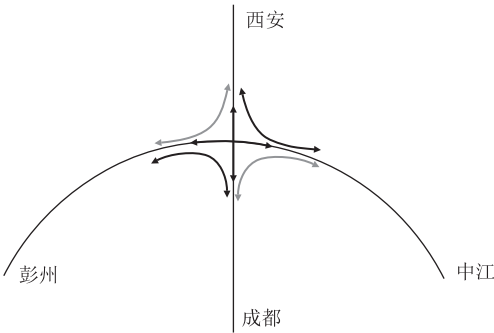


图2 德阳地区外环线与径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

德阳境内与外环铁路相交且可开行跨线列车的既有射线向铁路为西成高速铁路。境内现有主要客运站为德阳站。利用既有线路开行跨线车的最理想方案为外环铁路接入既有德阳站高速场,实现站内互通。德阳站南侧建筑密集,若以路基或桥梁形式建设,将对城区造成分割,且拆迁量大;若采用地下线方式通过,则投资巨大。此外,目前德阳高速场未预留进一步引入其他线路的条件,引入新建线需改扩建既有车站、拆除既有站房或普速车场,损害现有德阳站功能。因此,在既有德阳站通过车站改造实现京昆(西安—成都)通道和外环线的四向交流困难极大。综合分析后,将四向交流交叉节点设置于规划西安—成都第二通道德阳地区车站处,在建设和城市规划时提前预留引入条件。德阳地区外环铁路与径向通道交叉衔接方式如图3 所示。

3.2 淮州

外环铁路与成遂渝铁路相交于淮州。成遂渝铁路为成渝之间三条快速铁路通道之一,因其位于三条通道中的最北侧,因此以该通道开行川北方向至重庆的

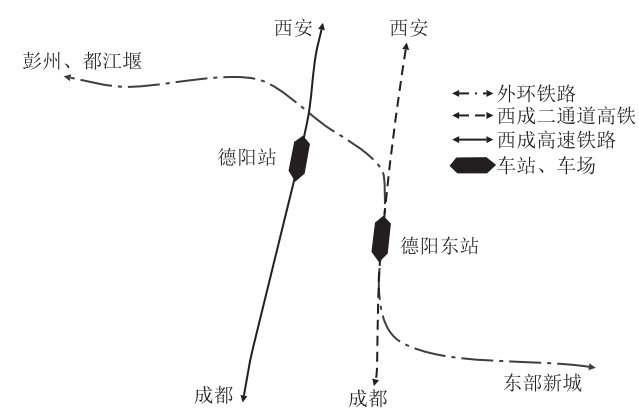


图 3 德阳地区外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

跨线车,通过修建外环铁路往遂成铁路遂宁方向的联络线实现互通。淮州外环铁路与径向通道交叉衔接方式如图 4 所示。

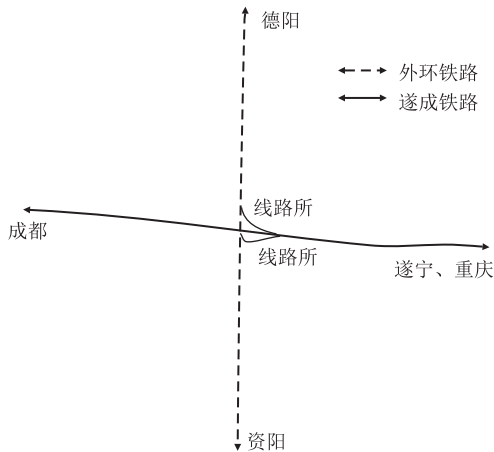


图 4 淮州外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

3.3 资阳、东部新区

资阳、东部新区环线与成自射线交点需实现如图 5 所示的互通关系才能满足前文所述交路开行要求。与成都—南充—达州—万州射线径路则需以如图 6 所示的方式互联互通。

据目前最新批复,成达万高速铁路、成自高速铁路于资阳西站处合设成自场。成都—自贡径向铁路方面,外环铁路也考虑与上述两条射线向铁路并站于资阳西站。但在互联互通方向上需要取舍。

根据最新《国家综合立体交通网规划纲要》,2035 年发展目标包括“市地级行政中心 45 分钟上高速铁路、60 分钟到机场”。因此从功能上需优先满足眉山、雅安、德阳等地级市快速前往天府机场的需要,在互联互通方向上亦优先满足相关径路的互通。

成自高速铁路目前为在建铁路,在区域内设有空港、天府机场、资阳西 3 个车站。成达万高速铁路为拟

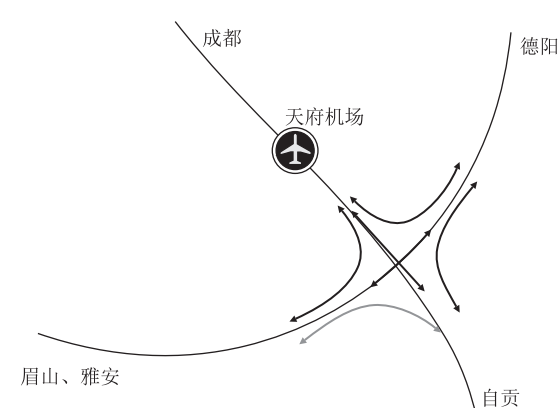


图 5 资阳地区外环线与成都—自贡径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

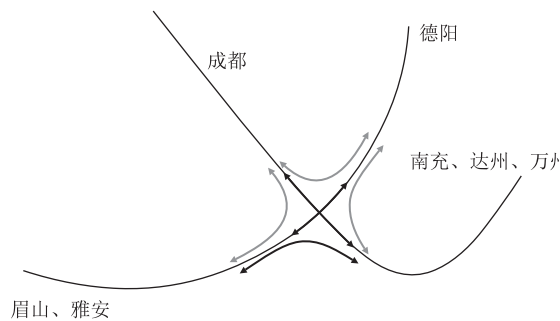


图 6 资阳地区外环线与成都—南充—达州—万州径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

建铁路,在区域内与资阳西站共站合场,利用成自高速铁路进入成都。外环铁路于空港和资阳西站两处与成自高速铁路(成达万高速铁路)并站。因此,交叉节点上也考虑在上述两车站处实现互通,且优先保障向机场方向的互通。东部新区、资阳境内相关射线与外环线衔接关系如图 7 所示。

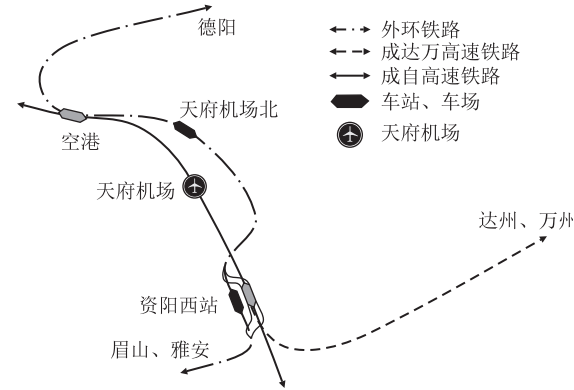


图 7 资阳外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

外环铁路于空港站与成自高速铁路合场设置,德阳方向的客流可直接于空港站处上线成自高速铁路前

往机场。资阳西站成达万高速铁路和成自高速铁路合设成自场,外环铁路引入会造成车场能力紧张。因此,在成自场南侧新设城际场,并搭建联络线接通成自场。

按本方案设置后,除雅安/眉山—川东北方向外,其他径路均可实现不折角跨线运输。若未来确有需要,可考虑新设外环铁路—成达万高速铁路联络线。

3.4 蒲江

成蒲铁路蒲江至大邑段约 50 km 线路通道与外环铁路径路重合,且线路能力有富余。从资源集约的角度考虑,宜利用成蒲铁路蒲江至大邑段作为外环铁路的一部分。依据经济运量分析,蒲江处环线与射线交点需实现如图 8 所示的互通,才能满足前文所述交路开行要求。

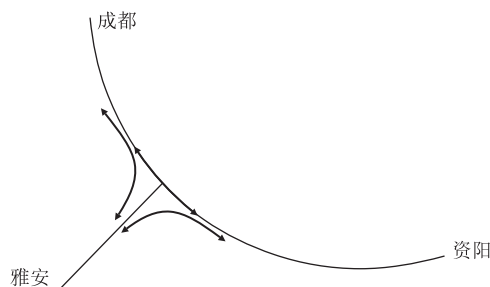


图 8 蒲江地区外环线与径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

该交点设置的难点在于成蒲铁路崇州至朝阳湖段为无砟轨道,且蒲江站在修建时,两侧均未预留接轨条件。因此若要接入车站并利用既有线,必须中断既有铁路的运营。

考虑到将新建成都至朝阳湖段铁路,在成蒲铁路停运施工期间,成都至蒲江的客流可由该线路承担,因此接轨工程实施不会影响成都至雅安的铁路运输。本次线路于蒲江站西端接入成蒲铁路,实现外环铁路与成蒲铁路的互通。蒲江外环铁路与径向通道交叉衔接方式如图 9 所示。

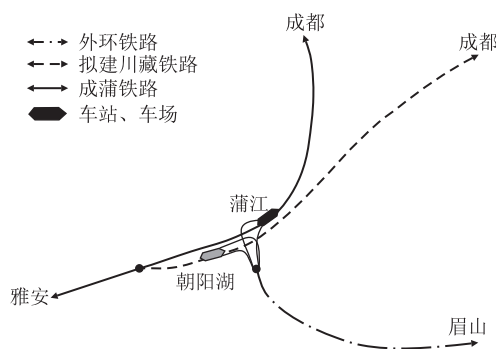


图 9 蒲江外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

3.5 崇州

崇州环线与射线线路(成蒲铁路)需实现如图 10 所示的互通关系方能满足前文所述交路开行要求。

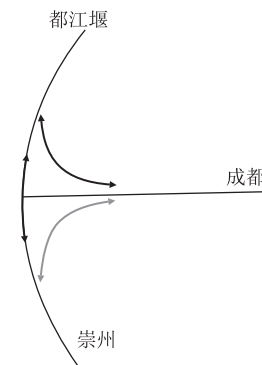


图 10 崇州外环线与径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

成蒲铁路崇州站为高架式车站,在西端预留有接轨条件。因此,采用从成蒲铁路西端引出联络线衔接外环铁路的方式处理交点,实现两个方向上的车流贯通。崇州外环铁路与径向通道交叉衔接方式如图 11 所示。

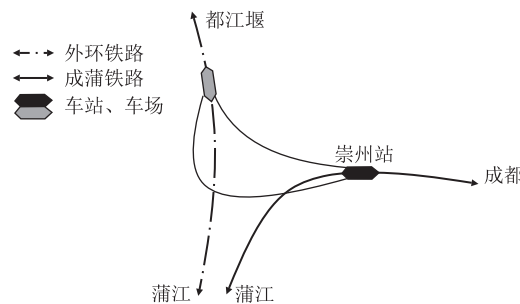


图 11 崇州外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

3.6 都江堰

成灌铁路都江堰至青城山段约 8 km 线路通道与外环铁路重合,且线路能力有富余,可利用成灌铁路青城山至都江堰段作为外环铁路的一部分。青城山站为尽头式车站,接轨条件较好。都江堰环线与径向线路交点需实现如图 12 所示的互通,才能满足前文所述交路开行要求。

该交叉点的重难点在于如何将外环铁路接入成灌铁路。成灌铁路都江堰站为高架车站,且成都端未预留接轨条件,接轨难度极大。成灌铁路具有离堆支线和彭州支线两条支线,开行成都—都江堰—青城山及成都—离堆公园两个交路。离堆公园—都江堰站之间修建有联络线,但该方向上未开行客运列车。因此外环铁路接轨于这两条联络线,引入都江堰站。以该方式接入既有成灌铁路后,可实现对成灌铁路都江堰—

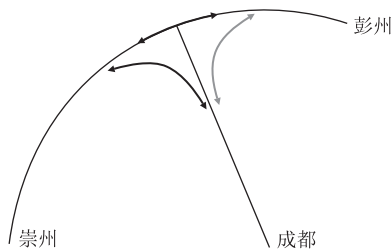


图 12 都江堰外环线与径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

青城山段的利用,并完成外环线和成灌铁路的双向联通。崇州外环铁路与径向通道交叉衔接方式如图 13 所示。

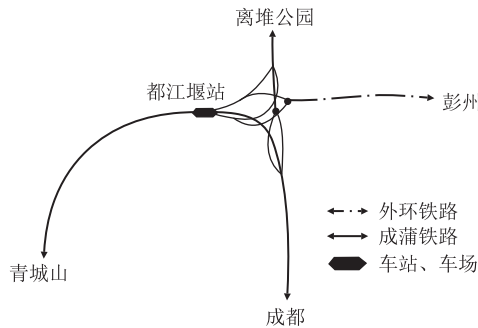


图 13 崇州外环铁路与径向通道交叉衔接方式示意图

3.7 彭州

彭州环线与射线线路(成灌铁路)需实现如图 14 所示的互通关系,方能满足前文所述交路开行要求。

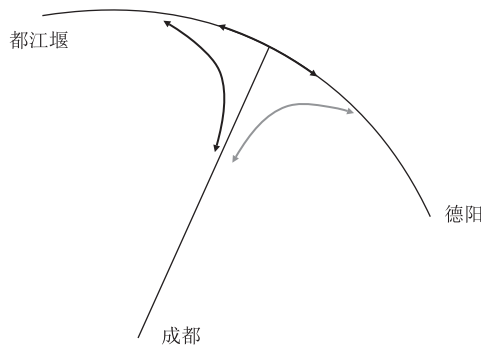


图 14 彭州外环线与径向通道需互联互通的方向(深色箭头)

彭州支线彭州站为高架式尽头站,在北端预留有接轨条件。因此可考虑直接通过彭州站北侧引出联络线衔接外环线的方式处理交点,实现两个方向上的车流贯通。

3.8 其它节点

在交叉节点实现互联互通往往涉及既有线路和车站改造,工程代价较大,所以原则上在无需开行跨线交路的节点上不再要求互联互通。在可能的条件下采用

并站而不修建联络线的方式交叉,在影响线位顺直性的情况下,也可采用直接十字交叉的方式。如成贵高速铁路于现有眉山东站南侧新设十字交叉站台换乘,成渝中线高速铁路于规划东部新区站同站换乘等。

铁路枢纽环线与射线交叉节点的设置情况复杂、多样,需结合经济运量、既有设施、行车交路、路网规划、线路功能等因素综合考虑,使环线在完成周向联系功能之外,还能在不产生难以承担的社会经济和工程代价的情况下,通过与射线铁路之间开行跨线车,实现相比换乘更为有效的铁路截流换向功能。

4 结论

环线铁路需实现铁路枢纽中的周向联系和截流换向功能。环线铁路与射线通道交叉点的处理方式决定了环线铁路功能的优劣。成都外环铁路与 10 条射线铁路通道交叉,本文以此为例,总结铁路环-射交叉节点的处理方式如下:

- (1) 无需开行跨线车的交叉点,可不互联互通,以乘客换乘为主。
- (2) 对区域内规划预留有第二通道的,在既有铁路因运营、设施现状、城市规划等原因难以完成环线与既有铁路互联互通的,宜利用规划铁路预留条件实现。
- (3) 经环跨线列车存在多个通道时,优先选用运行距离短,运营条件好的通道。
- (4) 互通节点设计应充分考虑地区内在建、拟建、规划铁路的状况,利用其“搭桥”联络互通。
- (5) 当多个方向均有跨线车开行需要,但完成所有方向互联互通的工程实施代价较高时,需从国家战略、上位规划、运量预测等角度充分分析比选。
- (6) 当射线铁路有区段走向与环线重合时,宜结合线路能力和运量预测充分分析共用线路的可行性。
- (7) 在在建、拟建、规划线路可承担既有有线运输任务的情况下,可探究车站和线路断道施工接轨的可行性。
- (8) 接轨条件困难的车站,应分析有无暂不承担运输作用的线路,利用其实现接轨。

与短途公共客运轨道交通相比,铁路建设规模大、投资高、站场设计复杂、功能定位多样,因此在设计枢纽内环线铁路与射线铁路的交叉点前,需进行科学充分的运量分析和行车交路研究,判断每个交叉节点需实现互联互通的方向,再结合城市规划、既有设施状况、路网规划布局、规划铁路建设时序等,方能选定既满足客运和行车需要,又不产生过高代价的方案。

参考文献:

[1] 吴朝荣 杨健 张家发. 铁路进出站线疏解方式及接轨站布置探讨[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(6):4-14.
WU,Chaorong YANG Jian, ZHANG Jiafa. Discussion on Untwining Mode of Access Line and Layout of Junction Station [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(6):4-14.

[2] 任冲. 成都铁路枢纽环线承担城市交通功能的探讨[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(5):30-33.
REN Chong. Discussion on Urban Transport Function of Chengdu Railway Ring Line [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(5):30-33.

[3] 房新智, 杜文. 成都铁路环线开行公交化列车的探讨[J]. 中国铁路, 2008(10):48-51.
FANG Xinzhi, DU Wen. Discussion on the Operation of Shuttle Train on Chengdu Loop Railway Line[J]. Chinese Railways, 2008(10):48-51.

[4] 刘丽波, 陈立群. 世界典型城市轨道交通环线的运营方式分析[J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(3):52-54.

LIU Libo, CHEN Liqun. On Operation Methods of World Urban Rail Rings[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(3):52-54.

[5] 孙青梅. 铁路旅客换乘相关问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
SUN Qingmei. Research on the Interrelated Problems of Railway Passenger Transfer [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.

[6] 王晓荣, 荣朝和, 盛来芳. 环状铁路在大都市交通中的重要作用: 以东京山手线铁路为例[J]. 经济地理, 2013, 33(1):54-60.
WANG Xiaorong, RONG Chaohe, SHENG Laifang. Enlightenment of Yamanote Loop Line in Tokyo: an Important Role of Rail Loop Line in Metropolitan Transportation [J]. Economic Geography, 2013, 33(1):54-60.

[7] 周侃. 高铁客运枢纽换乘行为分析与设施配置方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
ZHOU Kan. Analysis of Transfer Behaviour and Research on Transfer Facility Configuration in High-speed Railway Passenger Transport Hub [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.

(上接第78页)

经验证,采用式(23)、式(24)计算结果与表13各组合加宽值差值在0.019 mm~ -0.000 2 mm之间。

5.2.4 运动附加超高

曲线内侧加宽还应考虑超高影响,在超高顺坡段起点,除线路超高外,还存在着运动附加超高。其影响变量为车辆定距S、缓和曲线长l及超高值h。

结合参考文献[2],利用MATLAB软件辅助,对既有资料进行整理,得出设缓和曲线时各点的计算超高(已包含运动附加超高)值计算式为:

$$h_{js} = \frac{h}{l} \left(\frac{1}{4S} x^2 + \frac{1}{2} x + \frac{S}{4} \right) \quad [-S \leq x \leq S] \tag{25}$$

$$h_{js} = \frac{hx}{l} \quad [S \leq x \leq l] \tag{26}$$

6 结束语

本次研究利用计算机程序生成的不同计算条件建筑限界加宽值图解法数据,绘制了不同车辆尺寸、不同线路平面参数的直-圆、直-缓-圆过渡段建筑限界曲线内外侧加宽值示意图,分析明确了各加宽值示意图的特征,提出了各特征点计算方法。在研究借鉴参考文献的基础上,完善、提出了建筑限界曲线加宽通用计算式,并与图解法数据对照,验证了通用计算式的正确性。本次研究针对铁道行业底层性、基础性的技术问题,研究成果可以推广至不同轨距铁路、地铁、市域

铁路等轨道交通领域。

参考文献:

[1] 周兵和. 铁路曲线限界加宽研究[J]. 铁道标准设计, 2013, 57(4):20-26.
ZHOU Binghe. Study on Widening of Clearance Limit of Railway Curve[J]. Railway Standard Design, 2013, 57(4):20-26.

[2] 赵振刚. 铁路建筑限界缓和曲线地段加宽研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(5):16-22.
ZHAO Zhengang. Study on Widening of Railway Structure Clearance on Transition Curve[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(5):16-22.

[3] 李长淮. 铁路曲线平面加宽通用计算理论研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(S2):36-46.
LI Changhuai. Research on Universal Calculation Theory of Railway Curve Plane Widening[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(S2):36-46.

[4] 李明炜. 对铁路站场到发线曲线地段建筑限界加宽方法的探讨[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(2):10-13.
LI Mingwei. Study on Method of Widening Structure Gauge at Curve Section of Railway Arrival-Departure Line [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(2):10-13.

[5] 张徐. 利用MATLAB计算地铁线路曲线地段限界的加宽范围及加宽量[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(6):78-84.
ZHANG Xu. Using MATLAB to Calculate the Widening of Gauge of Curve Section of Metro Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(6):78-84.

[6] 温双义. 铁路客运站台建筑限界曲线和过渡段的加宽研究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(4):24-29.
WEN Shuangyi. Study on Widening of Railway Passenger Platform Construction Clearance Curve and Transition Section[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(4):24-29.