

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.02.021

市郊铁路公文化改造多制式运营 车站通过能力设计与分析

程雯

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

摘要:北京市郊铁路东北环线改造将实现公文化运营,部分线路与地铁19号线共轨运营,同时需保留铁路枢纽的干线连通职能,系统最大通过能力要求达到20对/h。既有铁路昌平站是东北环线折返站、车辆段接轨站,车站规模大,作业复杂,成为系统通过能力的瓶颈。车站改造成为系统最大通过能力实现的关键。东北环线采用CTCS-2级列控系统+ATO+自动折返,为提高昌平站通过能力,满足系统要求,对既有昌平站站场、信号进行改造,优化调整昌平站站线、两端咽喉区以及与正线连接形式,结合信号方案的优化调整,通过牵引计算和多场景运行图铺画,最终使昌平站通过能力实现23对/h,不但满足系统通过能力的要求,而且留有15%的余量。通过对昌平站通过能力的计算分析,车站到发线数量、车站咽喉区长度、信号布置、运行速度等是影响车站通过能力的主要限制因素,并提出提升车站通过能力的解决方案,为市郊铁路相关设计提供参考。

关键词:市郊铁路;通过能力;CTCS-2列控系统;信号;牵引计算;运行图;到发线;运行速度

中图分类号:U231

文献标志码:A

文章编号:1672-6073(2025)02-0147-10

Design and Analysis of Capacity for Multi-mode Operation Stations in Suburban Railway Bus Conversion

CHENG Wen

(Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: The Beijing Northeastern Ring suburban railway renovation project aims to transform the line into a public transit-style operation, with portions of the route co-operating on shared tracks with Subway Line 19. While enhancing passenger service, the line must preserve its critical function as a connector within the main railway network. The system design requires a maximum throughput of 20 train pairs per hour. The existing Changping Station, which serves as both a turnback station for the Northeastern Ring Line and a connection point to the vehicle depot, is characterized by its large scale and operational complexity, making it the bottleneck for system capacity. This station becomes the critical factor in determining whether the system's maximum capacity requirements can be achieved. The Northeastern Ring Line adopts the CTCS-2 train control system with ATO and automatic turnaround capabilities. To enhance Changping Station's capacity and meet system requirements, modifications were implemented to the existing station layout and signaling system. The station tracks, throat areas at both ends, and connections to the main line were optimized. Combined with signaling improvements and verified through traction calculations and multi-scenario timetabling, Changping Station ultimately achieved a throughput capacity of 23 train pairs per hour, not only satisfying system requirements but also providing a 15% capacity margin. Through comprehensive analysis of Changping Station's capacity, the study identified that the number of arrival and departure tracks, length of station throat areas, signal configuration, and operating speeds are the primary factors limiting station capacity. The paper proposes solutions for improving station throughput capacity, providing

收稿日期: 2024-07-05 修回日期: 2024-11-14

作者简介: 程雯, 女, 硕士, 高级工程师, 从事轨道交通行车组织、运营管理、车辆段设计研究工作, 775703321@qq.com

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(226Z0802G); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(K2021T009)

引用格式: 程雯. 市郊铁路公文化改造多制式运营车站通过能力设计与分析[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(2): 147-156.

CHENG Wen. Design and analysis of capacity for multi-mode operation stations in suburban railway bus conversion[J].

Urban rapid rail transit, 2025, 38(2): 147-156.

valuable reference for future suburban railway design projects.

Keywords: suburban railway; passing capacity; CTCS-2 train control system; signal; traction calculation; train diagram; arrival and departure tracks; running speed

市郊铁路是连接中心城区和周边组团，为通勤客流提供快速、大运力、公交化服务的轨道交通线路，例如北京市郊铁路 S2、S1 线，以及温州轨道交通 S1 线、重庆市郊铁路江跳线等。市郊铁路公交化运营发车间隔较小，例如重庆市郊铁路江跳线高峰小时发车间隔为 10 min。北京市郊铁路东北环线规划改造为一条快速通勤铁路，连接了昌平新城、未来科学城、回天地区、望京、酒仙桥、国贸 CBD 地区等城市重要功能区域，地铁 19 号线列车进入东北环线实现跨线共轨运营，东北环线系统通过能力要求不低于 20 对/h。既有铁路昌平站目前办理京张高铁停车、通过作业，S2/S5 市郊车通过作业，京通线货物列车始发终到作业。市郊铁路东北环线改造后，昌平站新增东北环线的车站，办理东北环线列车停站、通过、折返、收发车作业，以及地铁 19 号线跨线列车停站、折返、收发车作业。市郊铁路东北环线昌平站站线复杂，实际通过能力能否达到 20 对/h 与车站站线布置、信号机设置、列车运行速度、运行间隔等直接相关，通过对昌平站设计方案的优化，实现昌平站市域列车和地铁列车通过能力满足系统要求。通过对昌平站通过能力的研究，提出影响市郊铁路车站通过能力的限制因素，并提出解决方案。

1 昌平站概况

1.1 市郊铁路东北环线区位条件

既有铁路东北环线是北京枢纽的一部分，位于北京铁路环网的东北部，连接京包铁路沙河站和丰双铁路百子湾站，穿过北京的北部、东北部和东部地区，现状为单线，线路长 32.1 km，设 5 座车站，其中百子湾经百东线可到达北京东站，经丰双线可到达双桥站。东北环线连接国铁京哈、京包干线铁路，缓解了穿城货运压力。

新建东北环线北起南口，有京包铁路自南口站单线进入昌平站货运站场，终到沙河站，区间与东北环线共用线路；在昌平站-沙河站区段与京张高铁正线平行敷设，京张高铁北起张家口经昌平站向南至终点北京北站，东北环线生命谷站以南设联络线与京张高铁疏解线连接，京张高铁列车经联络线通过东北环线到达北京朝阳站。京张高铁采用 CTCS-3 列控系统，可向下兼容 CTCS-2。京通铁路起点自昌平站，终到通辽。

东北环线东南北京朝阳站-酒仙桥站区段与京沈高铁平行敷设，京沈高铁起自北京朝阳站，终到沈阳站。东北环线与相邻铁路的关系如图 1 所示。



图 1 东北环线区位示意

Figure 1 Schematic diagram of the Northeast Ring Line and its adjacent lines

1.2 市郊铁路东北环线

新建市郊铁路东北环线(以下简称东北环线)自京包铁路南口站至朝阳 CBD 光华路站，沿线途径昌平区、海淀区和朝阳区，线路全长约 58.9 km，其中北京朝阳站至昌平站区段在既有铁路老东北环线单线基础上新建复线^[1]，并进行电气化改造，该段线路长 43.6 km。昌平站以北至南口站区段为既有单线铁路，东北环线该段仍采用单线铁路，并进行电气化改造，满足东北环线运营要求，该段线路长 8.3 km。北京朝阳站(不含)以南至光华路站区段为新建双线地下线路，该段线路长 7 km。东北环线建成后开行市郊列车，采用公交化运营模式，同时保留与铁路的联络线功能。如图 2 所示。



图 2 市郊铁路东北环线线路示意

Figure 2 Schematic diagram of Northeast Ring Line of Beijing Suburban Railway

1.3 既有昌平站概况

既有昌平站共设 8 条到发线(含正线 4 条)、2 座站台。车站北端有 5 条正线引出,南端有 3 条正线引出;在车站西侧货场内设有两条货物线、2 条牵出线、1 座货物站台;车站东侧和西侧衔接多条专用线。既有昌平站总长度约 2 137 m,最宽处约 265 m。

昌平站运营现状为车站到发线 1、2 股道为京张高铁

正线,其中 2 股道办理 S5 市郊车上行方向通过作业;3 股道为老东北环和京通正线,还办理 S5 市郊车下行方向通过作业;4 股道办理京张高铁停站作业;7 股道为京包正线,办理 S2 市郊车通过作业;6、8、9 股道为货物列车到发线;11 股道为货物装卸线;10 股道为调车走行线。昌平站 7~9 股道之间空地宽度约 38.5 m,可利用该空地新建东北环线市郊场。既有昌平站平面如图 3 所示。

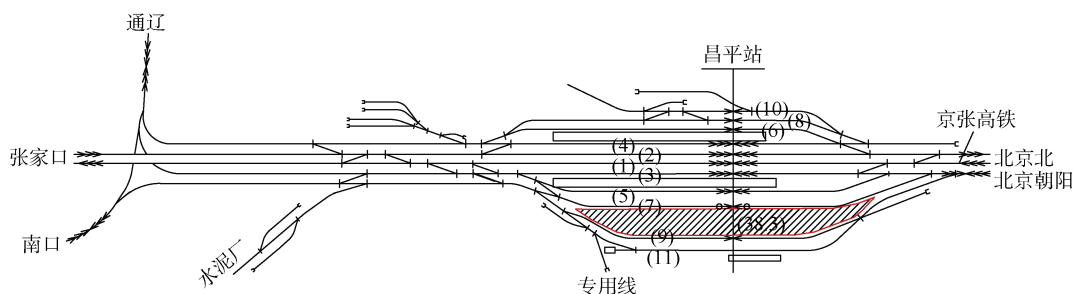


图 3 既有铁路昌平站平面示意

Figure 3 Current Changping Station layout

2 昌平站改建方案分析

2.1 昌平站平面布置方案

昌平站汇集了京张高铁、京包铁路、京通铁路、东北环线。在昌平站办理作业的列车有高铁列车、货车、超限车、市郊列车和地铁列车,其中在市郊场办理作业的是市郊列车和地铁 19 号线列车。东北环线昌平站满足市郊铁路列车折返、停站通过、往昌平车辆段收发车的运营要求。地铁 19 号线列车跨线进入东北环线运营,因此昌平站还需满足 19 号线列车折返、往昌平车辆段收发车的要求。昌平站通过改建 5 股道、7 股道,利用 7~9 道间空地新建市郊车场,设 2 台 4 线,市域车和地铁 19 号线上下行方向各设一条到发线,两座岛站台中间的 7、9 股道是地铁 19 号线列车到发线,岛站台外侧 5、11 股道是东北环线列车到发线,到发

线有效长度 350 m,Z1、Z2 股道是折返线,折返线有效长 252 m。到发线与折返线之间采用三组 12 号交叉渡线连接。列车侧向过岔限速 45 km/h。改建昌平站两端咽喉区,满足东北环线运营要求。昌平站北端咽喉与昌平车辆段出入段线接轨,昌平车辆段负责市域 D 型车和地铁 19 号线 A 型车的停放和检修。昌平车辆段出段线设道岔 1 与东北环正线接轨,在正线南侧新建一股道与入段线通过道岔 2 连接。昌平站至南口站利用既有京包线(单线)并进行电气化改造,满足东北环线市郊列车运行的要求,远期根据客流需求适时修建复线。昌平站改建后平面如图 4 所示。

既有铁路昌平站经过改建,新增东北环线车站。东北环线市郊列车平峰时段运行间隔较大时允许高铁列车通过,货车则利用夜间时段通行。S2/S5 市郊车发车站将调整至南口站,不进入东北环线运行。

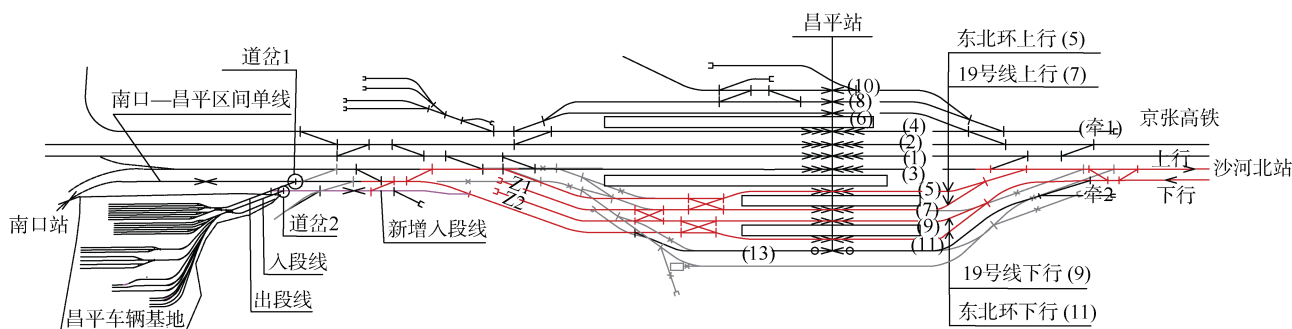


图 4 市郊铁路昌平站改建平面示意

Figure 4 Proposed Layout of Changping Suburban Railway Station

根据昌平站市郊场线路布置，市域车下行直向进站、侧向出站，上行列车侧向进、出站，19 号线下行和上行列车均为侧向进、出站。昌平车辆段列车发车进路与昌平站下行列车出站进路中有一段线路是共用的，因此两条进路需互相避让，这对昌平站收发车能力和通过能力均有明显影响。昌平站东北环线和地铁 19 号线列车运行进路如图 5 所示。

2.2 信号布置方案

根据昌平站站场布置方案，设置进、出站及进路信号，进站信号位于车站最外方道岔外侧并满足 50 m 的安全距离，出站信号位于第一组逆向道岔尖轨外方

或者警冲标内侧^[2]。折返线设置接发车进路信号。昌平车辆段进段信号位于车辆段第一组交叉渡线外侧。昌平车辆段收发车采用列车模式，出段信号位于警冲标内侧。昌平站信号布置如图 6 所示。

昌平站正线下行、上行方向进、出站信号间距分别为 962、1 552 m，间距较大，影响车站通过能力。昌平车辆段出段线进站信号 SB、XB 间距 283 m，入段线进站信号 XA、SA 间距 212 m，区间长度太短无法设置区间通过信号，SB/SA 距离昌平站中心 1 378 m，XB、XA 距离昌平站中心分别为 1 662 m、1 572 m，距离较长影响车辆段收发车能力。

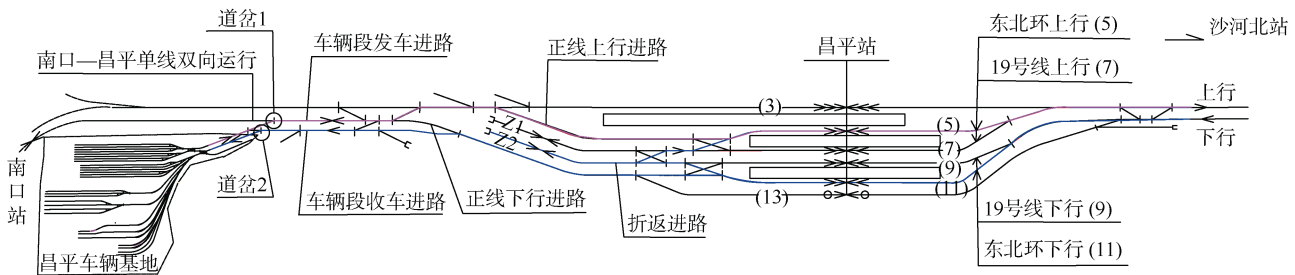


图 5 列车运行进路示意
Figure 5 Train Routing Diagram

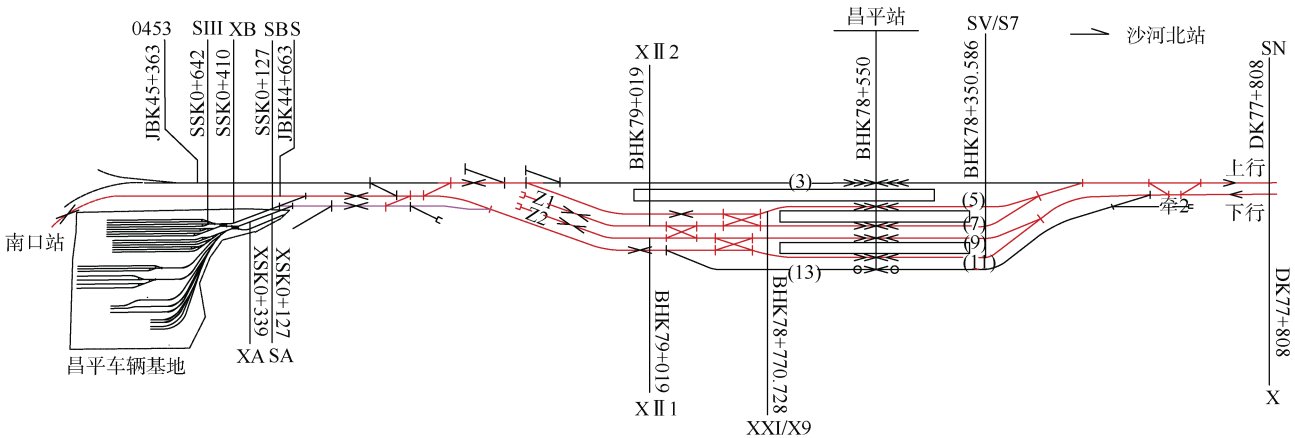


图 6 昌平站信号布置示意
Figure 6 Proposed signal layout of Changping Station

2.3 CTCS-2 列控系统计算方法与参数

东北环线系统最大通过能力不低于 20 对/h，正线采用 CTCS-2 级列控系统+ATO+自动折返。CTCS-2 级列控系统^[3]是基于轨道电路和点式应答器传输列车运行许可信息，并采用目标-距离模式监控列车安全运行，以车载信号作为行车凭证。

CTCS-2 级列控系统采用的是准移动闭塞方式，闭塞分区划分满足任意 7 个连续闭塞分区长度之和不小于动车组以 CTCS-2 级控车模式运行的要求，满足未

装备列车车载设备的列车按四显示自动闭塞行车的要求，满足长大坡段不限速的要求。

2.3.1 列车追踪间隔计算方法

列车运行以车站、线路所划分的区间及自动闭塞区间通过信号机或区间信号标志牌所划分的闭塞分区作为间隔。列车追踪间隔是计算列车追踪能力的依据，列车追踪能力主要分为区间、车站和场段收发车能力，区间追踪能力根据列车在区间追踪间隔计算，车站追踪能力根据车站出发追踪间隔、车站到达追踪间隔、

车站通过追踪间隔计算,场段收发车能力根据到达间隔、发车间隔计算。

1) 准移动闭塞区间追踪间隔计算原理。以前行列车所在闭塞分区入口附加一定的安全防护距离为追踪目标点,在满足目标制动距离条件下,后行列车正常运行而必须间隔的最短距离范围内的走行时间,区间追踪间隔计算式为

$$I_{\text{区}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{区}}}{V_{\text{运}}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{列}} + L_{\text{分区}} + L_{\text{防}} + L_{\text{制}}}{V_{\text{运}}} + t_{\text{附}} \quad (1)$$

$V_{\text{运}}$ 为列车运行速度, km/h; $L_{\text{列}}$ 为列车长度, m; $L_{\text{分区}}$ 为分区信号至列车车尾之间的距离, m; $L_{\text{防}}$ 为安全防护距离, m; $L_{\text{制}}$ 为列车制动距离, m; $t_{\text{附}}$ 为列车追踪运行附加时间, s。

2) 准移动闭塞车站到达间隔计算原理。自前行列车到达车站时起,至同方向后行列车到达该站时止的最小间隔时间,包括办理后行列车到达作业时间和后行列车由正常运行速度降至规定速度完全进入站内股道的时间。车站到达间隔计算式为

$$I_{\text{到}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{到}}}{V_{\text{运}}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{列}} + L_{\text{岔区1}} + L_{\text{防}} + L_{\text{制}}}{V_{\text{运}}} + t_{\text{到作}} \quad (2)$$

$L_{\text{岔区1}}$ 为进站信号至列车停车车尾距离, m; $t_{\text{到作}}$ 为列车到达车站办理作业时间, s。

3) 准移动闭塞车站出发间隔计算原理。自前行列车由车站发出时起,至由该站同方向再发出另一列车时止的最小间隔时间,包括前行列车从车站出发至出清一离去时间和办理后行列车出发作业时间。车站出发间隔计算式为

$$I_{\text{发}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{发}}}{V_{\text{运}}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{防}} + L_{\text{岔区2}} + L_{\text{离去}} + L_{\text{列}}}{V_{\text{运}}} + t_{\text{发作}} \quad (3)$$

$L_{\text{岔区2}}$ 为出站信号与逆向进站信号之间距离, m; $L_{\text{离去}}$ 为逆向进站信号与区间信号机之间距离, m; $t_{\text{发作}}$ 为列车出发办理作业时间, s。

4) 准移动闭塞车站通通间隔计算原理。自前行列车通过车站时起,至同方向后行列车再通过该站时止的最小间隔时间,包括前行列车出清一离去后办理后行列车通过作业时间、后行列车以正常运行速度通过进站停车制动距离和一离去范围的时间。车站通通间隔计算式为

$$I_{\text{通过}} = 3.6 \cdot \frac{L_{\text{制}} + L_{\text{防}} + L_{\text{车站}} + L_{\text{岔区2}} + L_{\text{离去}} + L_{\text{列}}}{V_{\text{通过}}} + t_{\text{通过作}} \quad (4)$$

$L_{\text{车站}}$ 为进站信号与出站信号之间距离, m; $L_{\text{离去}}$ 为逆向进站信号与区间信号机之间距离, m; $t_{\text{通过作}}$ 为办理

后行列车通过作业时间, s。

2.3.2 采用的参数

1) 列车追踪间隔计算参数。根据《高速铁路列车间隔时间查定办法》(Q/CR 471—2015),列车追踪间隔计算相关参数^[4]见表1。

表1 列车追踪间隔参数

Table 1 Train following headway parameters

参数	取值	参数含义
$t_{\text{附}}/s$	12	列车区间追踪运行附加时间
$t_{\text{发作}}/s$	47	列车出发作业时间
$t_{\text{到作}}/s$	36	列车到达作业时间
$t_{\text{通过作}}/s$	21	前后列车均通过车站时办理后行列车通过作业时间
$L_{\text{防}}/m$	110/60	区间/站内常用制动安全距离
$L_{\text{制}}$		根据牵引计算确定

2) 车辆参数。东北环线车辆拟采用市域D型车,初期运营采用4辆编组、3动1拖,近期增加6辆编组、4动2拖,最高运行速度均为160 km/h。市域D型车按照6辆编组计算追踪间隔和通过能力。地铁19号线跨线列车为双流制A型车,8辆编组、6动2拖,最高运行速度120 km/h。车辆参数见表2。

表2 车辆参数

Table 2 Rolling stock parameters

车型	参数	取值
市域D型车 6辆编组	列车长/m	140.8
	车宽/m	3.3
	总质量/t	355.2
	牵引总重/t	116.4
	最大牵引力/kN	410
地铁A	列车长/m	186

2.4 昌平站牵引计算结果

根据东北环线、站场、车辆、信号等资料,利用计算软件《列车牵引计算与闭塞分区设计系统》V1.2进行计算。

2.4.1 车站到发追踪间隔

东北环市域列车在昌平站停站,然后发往南口站。市域列车在昌平站追踪间隔根据列车到达间隔、停站时间、出站距离计算,侧线发车按照岔区有码进行计算,以前行列车车尾出清出站信号为准,即可办理后行列车接车进路^[5]。光华路站—昌平站区间为双线,昌平站—南口站区间为单线。昌平站市域列车追踪间隔计算结果见表3。

表 3 昌平站列车追踪间隔

Table 3 Train headways at Changping Station

方向	车站 到达/s	停站 时间/s	列车出站 时间/s	追踪能力/ (对/h)
左线-下行	143.1	40	31	17
右线-上行	183.8	40	30	14

从计算结果可以看出, 市域列车在昌平站下行和上行追踪间隔分别为 214.1、253.8 s, 通过能力为 17、14 对/h, 不满足系统 20 对/h 通过能力要求。昌平站前后区间的牵引计算如图 7 所示。

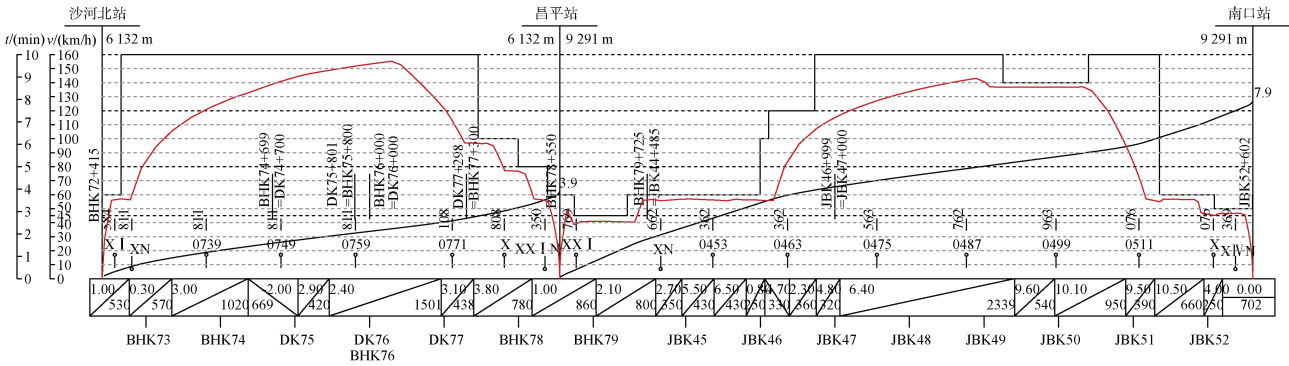


图 7 沙河北—昌平—南口正线列车牵引计算

Figure 7 Train traction calculation diagram of Shahebei-Changping-Nankou main line

表 4 昌平站列车折返追踪间隔(市域 D 型车/地铁 A 型车)

Table 4 Train turnaround headways at Changping station (Type D suburban/Type A metro trains)

信号机名称	车站 到达/s	停站 时间/s	列车出清 时间/s	追踪能力/ (对/h)
昌平站下行站台	144.2/141.3	40	31/33	17/17
折返线	81.5/83.3	20	66/66	21/21
昌平站上行站台	127.1/129	40	30/30	18/18

昌平站列车折返牵引计算如图 8 所示。市域 D 型车和地铁 19 号线 A 型车在昌平站上、下行各设一条到发线, 两种列车共用两条折返线^[7], 从计算结果可以看出, 市域 D 型车折返追踪间隔 167.5 s, 地铁 19 号线 A 型车折返追踪间隔 169.3 s, 折返能力均为 21 对/h, 满足系统 20 对/h 通过能力要求。而昌平站下行到发线的通过能力为 17 对/h, 上行 18 对/h, 因此昌平站折返能力受到发线能力的限制仍不满足 20 对/h。

2.4.3 昌平车辆段出入线追踪间隔

东北环线昌平车辆段负责市域列车和地铁 19 号线列车的停放、检修任务, 昌平车辆段设双出入线采用 12 号道岔与昌平站北端咽喉连接, 列车限速 45 km/h, 车辆段内采用 9 号道岔, 列车限速 35 km/h。车辆段发车和收车追踪间隔计算结果见表 5。

2.4.2 车站折返追踪间隔

东北环线市域列车和地铁 19 号线跨线列车在昌平站折返^[6], 19 号线跨线列车为双流制双车载列车, 进入东北环线按照 CTCS-2 级控车模式运行。昌平站折返线采用三组 12 号交叉渡线与到发线连接, 列车折返限速 45 km/h, 列车进、出折返线的距离 573 m, 时间 1.1 min。东北环线采用 ATO+自动折返, 列车在折返线自动转换时间按照 20 s 计算。昌平站市域 D 型车、地铁 19 号线 A 型车折返追踪间隔见表 4。

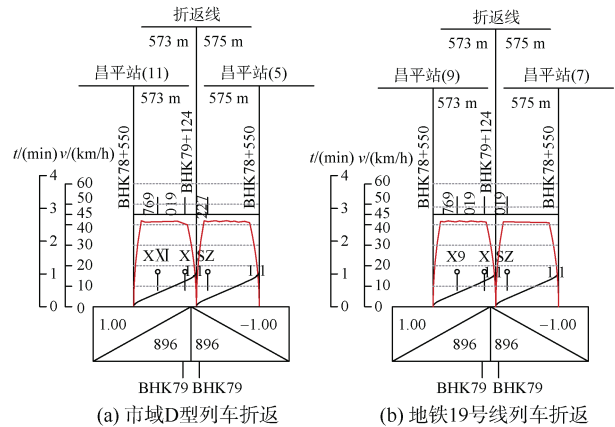


图 8 昌平站列车折返牵引计算

Figure 8 Train turnaround performance diagram at Changping station

表 5 昌平车辆段出入线追踪间隔(市域 D 车/地铁 A 车)

Table 5 Train headways on Changping depot access tracks (Type D suburban/Type A metro trains)

	信号机 名称	车站 出发/s	车站 到达/s	停站 时间/ s	列车 出清 时间/s	追踪 能力/ (对/h)
出	昌平车辆段	132.3/133.6	—	—	—	27/27
	昌平站	132.5/140.5	195.2/196.2	40	30	14/13
入	昌平站	203.1/207.8	144.2/142.5	40	31	17/17
	昌平车辆段	—	126.1/130	—	—	29/28

昌平车辆段出入段线牵引计算如图 9 所示。从计算结果可以看出,昌平车辆段内市域 D 型车和地铁 19 号线 A 型车的发车和收车能力分别为 27/27 对/h、29/28 对/h,而从车辆段发出的列车在昌平站的通过能力为 14/13 对/h,昌平站往车辆段收车的通过能力为 17/17 对/h,因此昌平车辆段收发车能力受昌平站到发线能力的限制仍不满足 20 对/h。

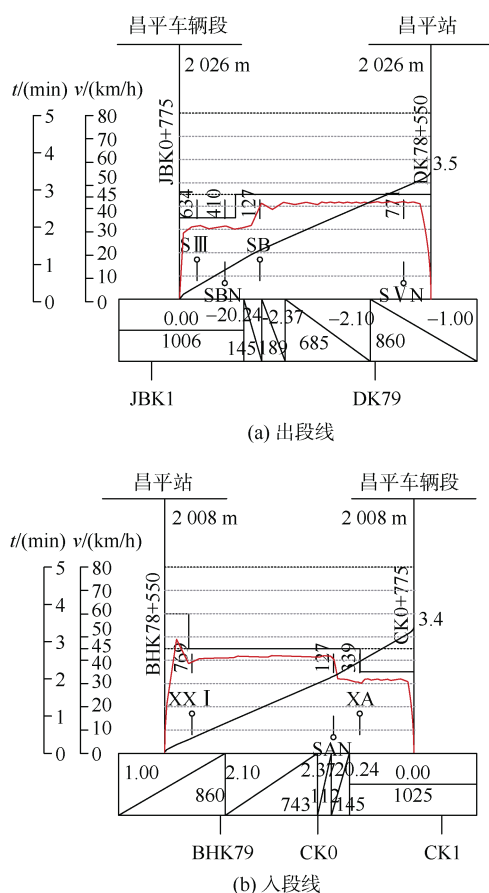


图 9 昌平车辆段出入段线列车牵引计算

Figure 9 Traction calculation of Changping depot access tracks

2.5 昌平站运营场景计算

根据以上 3 种运营场景的追踪间隔,结合列车区间运行时间、停站时间,通过铺画运行图,计算昌平站最大通过能力。运行图范围包括沙河北站、昌平站、南口站、昌平车辆段,计算场景为市域车和地铁 19 号线列车在昌平站折返,市域列车和地铁 19 号线列车往昌平车辆段收车和发车,市域列车上下行正线列车到发,如图 10 所示。

根据昌平站运营场景运行图计算结果,昌平站市域车通过能力 16 对/h,地铁 19 号线车 16 对/h,市域车与地铁 19 号线车交替运行通过能力 20 对/h。由于

昌平车辆段列车发车进路与昌平站下行列车出站进路中有一段线路是共用的,两条进路需互相避让,影响昌平站上行通过能力,因此上行方向市域车与地铁 19 号线车交替运行通过能力 19 对/h。昌平站站场平面较复杂,它是市域车和地铁 19 号线跨线列车的折返站,昌平车辆段的接轨站,是东北环线重要的车站之一,通过优化昌平站设计方案,进一步提高通过能力,实现东北环线系统运营要求,对东北环线运营非常重要。

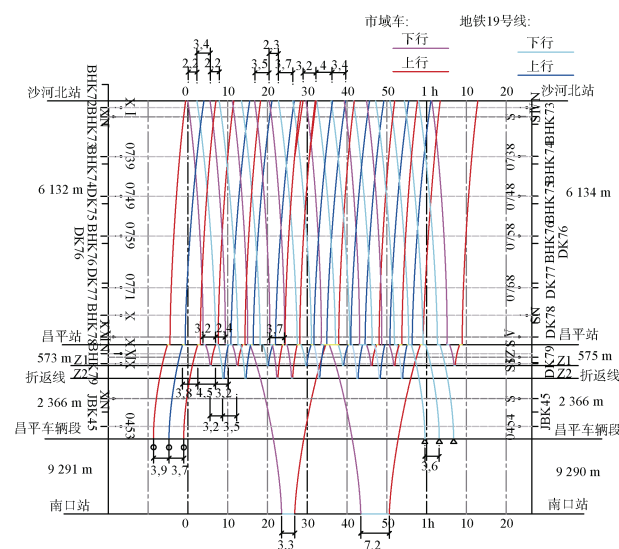


图 10 昌平站运营场景运行图

Figure 10 Train service at Changping station

3 昌平站方案优化

3.1 昌平站平面布置优化方案

为了提高昌平站追踪能力,实现东北环线系统运营要求,对昌平站站场、信号方案进行优化。

1) 对昌平车辆段出入段线进行优化。增设一条入段线,与原单出入线平行并位于其西侧。出入段线车站端取消两组单渡线,改设一组 12 号交叉渡线与车站站线连接,并设一组单渡线与区间正线连接。出入段线在车辆段内已有两组交叉渡线连接,因此取消原出入段线靠近车辆段的一组道岔和一组单渡线。

2) 对昌平站南端咽喉区进行优化。取消八字渡线,调整 7、9 股道为东北环线市域 D 型车到发线,使得市域 D 型车可以直向进站,提高通过能力,5、11 股道为地铁 19 号线列车到发线,列车侧向进站。7、9 股道与区间正线通过一个 600 m 半径曲线连接,取消原方案的反向曲线。

3) 对昌平站信号进行优化。根据昌平站南端咽喉区和北端出入线的优化,上、下行方向均设置进路信

号和总出站信号，可以缩短列车进、出站的追踪间隔。昌平车辆段距离昌平站较近，出入段线长度较短，出

入线区间不设信号。昌平站站场、信号方案优化如图 11 所示。

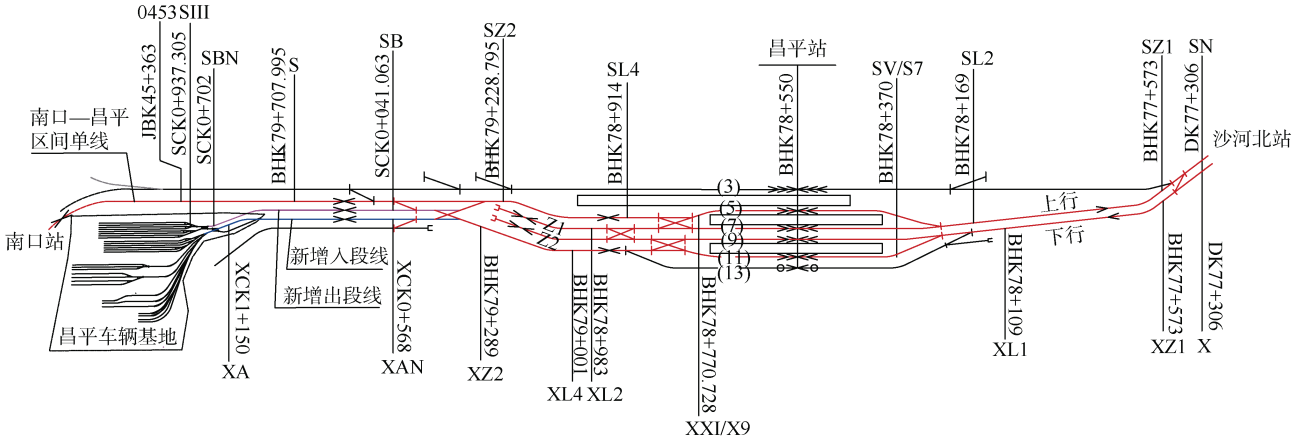


图 11 昌平站站场、信号优化方案示意

Figure 11 Changping Station station yard and its signaling optimization scheme

3.2 优化后牵引计算结果

昌平站和昌平车辆段出入线方案优化后，市域列车和地铁 19 号线跨线列车追踪间隔计算结果见表 6~表 8。

表 6 优化方案昌平站市域车追踪间隔

Table 6 Headways of suburban trains at Changping station after optimization

方向	车站到达/s	停站时间/s	列车出站时间/s	追踪能力/(对/h)
左线-下行	109.7	40	31	20
右线-上行	109.3	40	26	20

表 7 优化方案昌平站折返追踪间隔(市域 D 车/地铁 A 车)

Table 7 Turnaround headways at Changping station after optimization (Type D suburban/Type A metro trains)

信号机名称	车站到达/s	停站时间/s	列车出清时间/s	追踪能力/(对/h)
昌平站下行站台	109.7/127.2	40	31/33	20/18
折返线	83.2/84.8	20	54/60	23/22
昌平站上行站台	118.2/125.5	40	24/31	20/18

表 8 昌平车辆段出入线优化方案追踪间隔(市域 D 车/地铁 A 车)

Table 8 Headways on depot access tracks at Changping depot after optimization (Type D suburban/Type A metro trains)

	信号机名称	车站出发/s	车站到达/s	停站时间/s	列车出清时间/s	追踪能力/(对/h)
出段	昌平车辆段	165.4/165.4	—	—	—	22/22
	昌平站	86.1/93.1	104.6/104.6	40	32	20/20
入段	昌平站	98.8/100.7	109.6/127.2	40	33	20/18
	昌平车辆段	—	130.6/132.6	—	—	28/27

优化后追踪能力方案对比见表 9、表 10。根据计算结果，方案优化后，市域车在昌平站正线到发追踪间隔、折返追踪间隔、昌平车辆段收车和发车间隔均达到 20 对/h，优于原方案。地铁 19 号线列车往昌平车辆段发车追踪能力达到 20 对/h，昌平站折返追踪能力、入段能力为 18 对/h，优于原方案，但仍不满足系统 20 对/h 能力要求。

表 9 市域 D 车优化方案与原方案追踪能力对比

Table 9 Comparison of headway performance between optimized and original schemes for Type D suburban trains

方案	原方案	优化方案
昌平站正线到发/(对/h)	下行 17/上行 14	上、下行 20
昌平站折返/(对/h)	下行 17/上行 18	上、下行 20
昌平车辆段出段/(对/h)	14	20

表 10 地铁 A 车优化方案与原方案追踪能力对比

Table 10 Comparison of headway performance between optimized and original schemes for Type A metro trains

方案	原方案	优化方案
昌平站折返/(对/h)	下行 17/上行 18	上、下行 18
昌平车辆段出段/(对/h)	13	20
昌平车辆段入段/(对/h)	17	18

3.3 昌平站优化方案运营场景计算

昌平站站场、出入段线及信号方案优化后，根据正线列车追踪间隔、车辆段出入线追踪间隔、昌平站折返追踪间隔对 3 种运营场景进行计算，如图 12 所示。根据运行图计算结果，综合 3 种运营场景情况下，昌平

站市域车最大通过能力 20 对/h, 地铁 19 号线车 18 对/h, 市域车与地铁 19 号线车交替运行通过能力 23 对/h。方案优化后昌平车辆段列车发车进路与昌平站下行列车出站进路共用段长度缩短, 避让时间减少, 昌平站上行通过能力提高, 满足 23 对/h。昌平站方案优化后通过能力比原方案提高较多, 市域车通过能力从 16 对/h 提高至 20 对/h, 地铁 19 号线车通过能力从 16 对/h 提高至 18 对/h, 两种车交替运行通过能力从 20 对/h 提高至 23 对/h, 满足系统通过能力要求, 而且留有 15% 的余量, 可以实现 3 min 运行间隔。

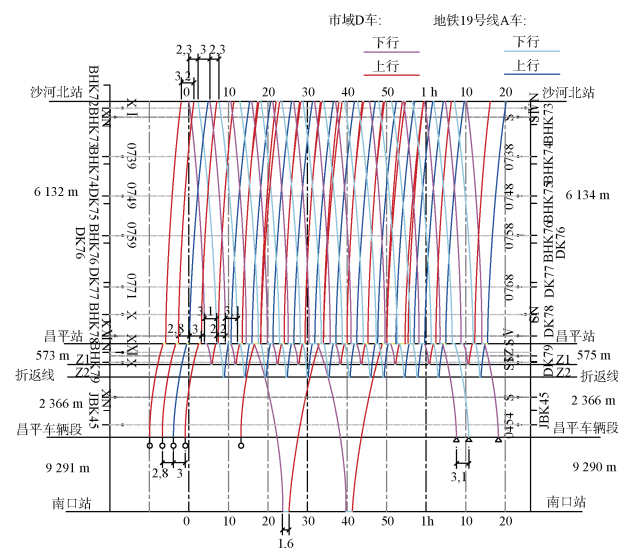


图 12 昌平站优化方案运营场景运行图

Figure 12 Train service diagram at Changping station after optimization

3.4 方案比较

东北环线昌平站优化方案与原方案的对比见表 11。昌平站方案优化后, 线路长度共增加 319.7 m, 但是未增加用地面积和拆迁量。单开道岔减少 8 个, 12 号交叉渡线增加一组, 增加信号机 6 个。

表 11 东北环线昌平站优化方案与原方案对比

Table 11 Comparison between optimized and original schemes at Changping station on Northeast Ring Line

项目		原方案	优化方案
站场	线路/m	5 815.4	6 012.9
	道岔/个	单开道岔 10 12 号交叉渡线 3	单开道岔 7 12 号交叉渡线 4
昌平车辆段出入线	线路/m	1 387.9	1 508.3
	道岔/个	5	0
信号 (上下行)	进站信号/个	4	4
	进路信号/个	—	4
	总出站信号/个	—	2

4 市域郊铁路车站通过能力影响因素分析

东北环线采用 CTCS-2 列控系统^[8], 列车追踪为准移动自动闭塞方式, 列车在车站的追踪能力主要受到发线数量、到达追踪间隔、发车追踪间隔、停站时间、列车限速等因素的影响^[9]。

4.1 列车到达追踪间隔

列车进站追踪间隔是指前列车到达站台开始到后续列车到站时止所间隔的时间。进站追踪间隔受进站信号、列车进站速度、到发线数量等因素的影响。

4.1.1 到发线数量

昌平站对于市域 D 型车和地铁 A 型车上下行方向各设置一条到发线, 因此前后列车追踪到达间隔需考虑停站时间和列车出清站台时间, 如果两种列车交替运行则不考虑停站时间和出清站台时间, 可以缩短列车到达追踪间隔, 提高追踪能力。但是增加到发线会增加土建规模, 同时列车侧向进站需要限速, 增加进站时间。从昌平站优化方案来看, 单股道到发线通过能力为 20 对/h, 双到发线通过能力达到 23 对/h, 增加一条到发线通过能力可以提高 3 对/h。

4.1.2 进站信号

昌平站原方案下行进站信号距离站台 742 m, 上行 1 352.8 m, 方案优化后, 在站内设置进路信号, 下行和上行进路信号距离站台分别为 441、364 m, 比原方案减少了 301、988.8 m, 到达追踪间隔下行减少了 34.4 s, 上行减少了 66 s, 追踪能力下行提高了 3 对/h, 提升 17.6%, 上行提高了 6 对/h, 提升 42.8%, 追踪能力提升较大。进站信号优化对比见表 12。

表 12 昌平站进站信号优化方案与原方案对比

Table 12 Comparison between optimized and original entry signal schemes at Changping station

项目		原方案	优化方案	优化方案-原方案
进站信号与 站台距离/m	下行	742	441	-301
	上行	1352.8	364	-988.8
列车到达间隔/s	下行	144.1	109.7	-34.4
	上行	184.2	118.2	-66
追踪能力/(对/h)	下行	17	20	3
	上行	14	20	6

4.1.3 进站速度

列车从区间运行至车站站台需要限速, 昌平站股道中心线距离 D 型车站台边界 1.75 m, 距离 A 型车站台边界 1.6 m, 根据规范要求, 列车在有效站台范围内

限速 60 km/h^[10]。由于 A 型车到发线为侧向, 列车侧向过岔限速 45 km/h, 进站时间 47 s, 而 D 型车到发线为直向, 列车不限速, 进站时间 39 s, 比侧向进站减少 8 s, 减少 17%。因此, 提高列车进站速度有利于提高列车通过能力。

4.2 列车发车追踪间隔

列车发车追踪间隔是指从前行列车出发离开站台时开始至后续列车出发离开站台时止所间隔的时间。列车发车追踪间隔以前行列车离开区间第一架信号机后开通后续列车发车进路。发车间隔受区间第一架信号、出站速度等因素的影响。

1) 区间第一架信号

区间第一架信号机距离逆向进站信号机不小于 700 m, 并满足列车监控距离的要求。昌平站原方案下行出站区间第一架信号机距离站台 2 053 m, 上行 1 442 m, 方案优化后, 在站内设置出站进路信号以及总出站信号, 下行和上行出站进路信号距离站台分别为 451、381 m, 比原方案减少了 1 602 m、1 061 m, 发车追踪间隔下行减少了 115.4 s, 上行减少了 46.4 s, 追踪能力下行提高了 20 对/h, 提升了 125%, 上行提高了 14 对/h, 提升 51.8%, 追踪能力提升显著。出站信号优化对比见表 13。

表 13 昌平站出站信号优化方案与原方案对比

Table 13 Comparison between optimized and original exit signal schemes at Changping station

项目		原方案	优化方案	优化方案-原方案
区间第一架信号 与站台距离/m	下行	2 053	451	-1 602
	上行	1 442	381	-1 061
列车发车间隔/s	下行	213.5	98.1	-115.4
	上行	132.5	86.1	-46.4
追踪能力/(对/h)	下行	16	36	20
	上行	27	41	14

2) 出站速度

昌平站 A 型车到发线为侧向, 列车出站侧向过岔限速 45 km/h, 昌平站优化方案列车离开区间第一架信号时间 40 s, 而 D 型车到发线为直向, 列车不限速, 列车离开区间第一架信号时间 32 s, 比侧向出站减少 8 s, 减少 20%。因此, 提高列车出站速度有利于提高列车通过能力。

5 结论

东北环线昌平站要实现 20 对/h 的通过能力, 需从

站场线路方案、信号设置、列车运行速度等方面综合优化。

1) 尽量缩短车站两端咽喉区长度, 减少列车进、出站距离。东北环线昌平站由于站内作业种类较多, 功能复杂, 导致车站两端道岔较多, 咽喉区较长, 因此考虑在车站两端设置进路信号, 减小列车追踪间隔, 下行和上行方向的通过能力分别提高了 3、6 对/h, 实现了 3min 的追踪间隔。

2) 昌平站下行和上行方向市域 D 车和地铁 A 车各只设置一股道到发线, 经过计算单股道到发线通过能力比双股道到发线能力减少 3 对/h, 因此增加到发线数量可以提高车站的通过能力, 设计时需结合工程投资综合比选。

3) 列车运行速度。列车进站和出站速度受曲线、侧向过岔、站台限界等因素的影响, 昌平站侧股采用 12 号道岔连接, 侧向限速 45 km/h, 直向进、出站比侧向进、出站运行时间各减少 8 s, 约占总进、出站运行时间的 17%、20%, 要提高进出站速度可采用 18 号道岔连接, 列车侧向速度可以达到 80 km/h, 站台限界满足 80 km/h 速度进站, 但需考虑工程投资是否合理。

昌平站汇集了 3 条铁路线和 1 条市郊铁路(含地铁)线, 场站规模较大, 市郊场开行市郊列车和地铁列车, 采用公交化运营, 通过能力要求达到 20p/h。东北环线昌平站通过方案优化, 列车追踪能力从下行 17 对/h、上行 14 对/h 均提高至 20 对/h, 昌平站追踪能力满足系统最大通过能力要求, 实现了系统运营的目标。昌平站多种运营场景下最大通过能力从 20 对/h 提高至 23 对/h, 留有 15% 的余量, 提高了运营的灵活性。市郊铁路公交化改造实现多制式互联互通, 希望能为同行提供借鉴。

参考文献

- [1] 中国铁路设计集团有限公司. 北京市郊铁路东北环线(南口至光华路)工程初步设计[R]. 天津: 中国铁路设计集团有限公司, 2023.
- [2] 铁路技术管理规程(高速铁路部分)[S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.
- [3] 李凯. 高速铁路列车运行控制技术——CTCS-2 级列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017-02-06. LI Kai. Train operation control technology of high-speed railway: CTCS-2 train operation control system[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017-02-06.

(下转第 177 页)

- use policy, 2020, 99: 105081.
- [18] BELAY T F. 城市更新对职住空间关系和居民通勤影响研究[D]. 北京交通大学, 2020.
- [19] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 公共交通与私家车出行的通勤效率差异及影响因素: 以北京都市区为例[J]. 地理研究, 2017, 36(2): 253-266.
HAN Huiran, YANG Chengfeng, SONG Jinping. Impact factors and differences in commuting efficiency between public transit and private automobile travel: a case study on the Beijing metropolitan area[J]. Geographical research, 2017, 36(2): 253-266.
- [20] BAI Xueyin, ZHAI Wei, STEINER R L, et al. Exploring extreme commuting and its relationship to land use and socioeconomics in the central Puget Sound[J]. Transportation research part D: transport and environment, 2020, 88: 102574.
- [21] YANG Jiawen, SHEN Qing, SHEN Jinzhen, et al. Transport impacts of clustered development in Beijing: compact development versus overconcentration[J]. Urban studies, 2012, 49(6): 1315-1331.
- [22] VINCENT-GESLIN S, RAVALET E. Determinants of extreme commuting. evidence from Brussels, Geneva and Lyon[J]. Journal of transport geography, 2016, 54: 240-247.
- [23] DEYAS G T, WOLDEAMANUEL M G. Social and economic impacts of public transportation on adjacent communities: The case of the Addis Ababa light rail transit[J]. Research in transportation economics, 2020, 84: 100970.
- [24] KHABAZI M, NILSSON I. Connecting people with jobs: Light rail's impact on commuting patterns[J]. Travel behaviour and society, 2021, 24: 132-142.
- [25] World Bank. Addis Ababa urban and metropolitan transport and land use linkages strategy review[R/OL]. (2014-04-26) [2022-11-16]. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26080>.
- [26] QIAO Wenyi, HUANG Xianjin. Change in urban land use efficiency in China: does the high-speed rail make a difference?[J]. International journal of environmental research and public health, 2021, 18(19): 10043.
- [27] FRANK L, KAVAGE S, LITMAN T. Promoting public health through smart growth: building healthier communities through transportation and land use policies and practices[J]. Growth lakeland, 2006, 1-43.

(编辑: 傅依萱)

(上接第 156 页)

- [4] Q/CR 471-2015 高速铁路列车间隔时间查定办法[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.12.
- [5] 张友兵. 支持多网融合的市域铁路列车控制系统研究[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(5): 61-66.
ZHANG Youbing. Research on urban railway train control system supporting multi-network integration[J]. Journal of railway engineering society, 2024, 41(5): 61-66.
- [6] 兰亚京, 张研, 杨志刚. 北京市郊铁路与城市融合发展规划建议[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(4): 13-17.
LAN Yajing, ZHANG Yan, YANG Zhigang. Planning and development suggestions for integrated development of Beijing suburban railway and the city[J]. Urban rapid transit, 2023, 36(4): 13-17.
- [7] 刘江沙, 郭智清, 王璐. 市域铁路信号系统制式融合研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 76-81.
LIU Jiangsha, GUO Zhiqing, WANG Lu. Study on integration of signal system standards of urban rail transit[J]. High speed railway technology, 2024, 15(2): 76-81.
- [8] 张敏慧, 张伟, 刘长波, 等. CTCS-2+ATO 列控系统对短站坪长度需求适应性研究[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(2): 74-79.
ZHANG Minhui, ZHANG Wei, LIU Changbo, et al. Adaptability research to shorter station site length of the CTCS-2+ATO system[J]. Journal of railway engineering society, 2024, 41(2): 74-79.
- [9] 王涛. 关于利用既有铁路开行市域(郊)列车的探讨[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1): 41-46.
WANG Tao. Discussion on utilizing existing railway infrastructure for the operation of suburban trains[J]. High speed railway technology, 2024, 15(1): 41-46.
- [10] 许敬辉. 城际铁路与市域铁路互联互通限界适应性分析[J/OL]. 铁道标准设计, 2024: 1-7. (2024-04-11). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=TDBS20240408003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
XU Jinghui. Adaptability analysis of inter-city railway and city railway interconnection and clearance[J/OL]. China industrial economics, 2024: 1-7. (2024-04-11). <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=TDBS20240408003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.

(编辑: 傅依萱)