

市域铁路地下车站到发线有效长度研究

刘 洋

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海 // 高级工程师)

摘 要 通过对市域铁路车站到发线有效长度组成分析,从安全防护距离设置的原理着手,提出了两套能够缩短或转移安全防护距离的方案,进而缩短车站到发线的有效长度。对降低市域铁路地下车站的工程投资,减少市区内拆迁工程量,缩短施工工期等方面具有较强的实用价值。

关键词 市域铁路; 地下车站; 到发线; 有效长度

中图分类号 F570.73

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.04.014

Effective Length of Arrival and Departure Lines of Urban Railway Underground Stations

LIU Yang

Abstract Based on the analysis of the effective length composition of arrival and departure lines of urban railway stations, from the principle of setting the security protection distance, two sets of schemes to shorten or yield the security protection distance are put forward, which will reduce effective length of arrival and departure lines, providing practical value in reducing the project investment of urban railway underground stations and the amount of the demolition work in urban area, as well as in shortening the construction period.

Key words urban railway; underground station; arrival and departure lines; effective length

Author's address China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

市域铁路为实现中心城区与市郊区域客流快速输送的轨道交通线路,在中心城区运行时具有行车密度大、站间距离短等城市轨道交通的特点,在市郊运行时具有行车速度高、站间距较长等一般铁路(以下称为“国铁”)的特点。市域铁路能够实现与国铁的互联互通,其运行方式与国铁基本类似,须考虑快慢车交替运行以及越站运行等行车组织的需要。因此,具有越行功能的市域铁路中间车站需设置到发线,以满足快慢车交替运行和越站运行的要求。

市域铁路在中心城区受空间限制,往往和地铁

一样采用地下运行方式。具有越行功能的地下车站,地下空间跨度大,土建结构复杂,一般采用明挖法施工,故其车站到发线的有效长度会直接影响车站选址和拆迁范围,对工程投资的影响亦较为明显。车站到发线有效长度除需满足列车长度要求外,还需考虑信号系统的安全防护距离和由应答器等设备产生的附加余量,以确保列车的安全运行。

本文以上海市域铁路为研究对象。上海市域铁路列车为 CRH6 型列车,列车运行控制(以下简称“列控”)系统采用 CTCS-2+ATO 系统(2 级中国铁路列车控制系统+列车自动运行系统),列车设计运行速度为 160 km/h,并采用综合调度集中的行车调度方式,其与国铁互联互通运营方式。这些特点均决定了市域铁路建设需遵循城际铁路设计规范体系。因此,市域铁路到发线有效长度除受车辆长度直接影响外,还主要受安全防护距离及安全防护处理方式的影响。

本文基于对安全防护距离的深入研究,结合市域铁路的特点,在保证行车安全和兼顾行车效率的前提下,提出了一套行之有效的安全防护方案。该方案能尽量缩短地下车站到发线有效长度,对减小市域铁路地下车站土建规模、提高车站结构安全性、节省工程投资具有很强的实用价值。

1 常规的到发线有效长度计算

1.1 安全防护距离

安全防护距离包含列车测速测距误差、司机确认停车点距离及动车组过走防护距离。列车在走行过程中,通过应答器信息不断地更新和矫正线路里程数据,故测速、测距误差相对于安全防护距离较小。司机确认停车点距离为站台端部至应答器组之间预留的余量,一般为 10 m;此余量也可避免列车运行控制监控曲线接近零速时影响司机驾驶,从而提高行车效率。动车组过走防护距离是一个相对比较复杂的距离值,要综合考虑车站线路的曲

线及坡度等特征、列车运行速度(道岔号)、控车方式及列车的制动性能等因素,且通过牵引计算后才能得出。此外,过走防护距离还指当列车失去 ATP(列车自动防护)系统的防护时,收到出站信号机处应答器紧急停车报文后,列车由目视行车模式或调车模式的最高限速(40 km/h)紧急制动至停车的距离。

TB 10623—2014《城际铁路设计规范》规定:①出站应答器组有源应答器至警冲标距离应符合列控车载设备在目视行车、调车模式下收到出站应答器组紧急停车报文实施紧急制动的需要,且不得小于 65 m;②受土建工程限制,不满足上述规定时,应答器组布置应采取特殊安全控制措施。

通过牵引计算,CRH6 型动车组在不同坡度下从 40 km/h 降速至停车(以下称为“40 km/h→0”)的紧急制动距离见表 1。表 1 为列车经过有源应答器到触发紧急制动的时

间(含空走时间 1.5 s)。可见,《城际铁路设计规范》要求应答器距警冲标的距离不得小于 65 m 是合适的,考虑到测速或现场测量等误差,一般要求应答器组距信号机不得小于 65 m,且信号机距警冲标为 5 m。对于存在下坡道的到发线,需通过牵引计算来重新确定应答器组距信

号机的距离,从而影响车站到发线的有效长度。

表 1 CRH6 型动车组在不同坡度下 40 km/h→0 的紧急制动距离表	
坡度/‰	距离/m
-30	77.20
-25	74.44
-20	71.89
-15	69.55
-10	67.41
-5	65.43
0	63.61

市域铁路与城际铁路采用同样的 CRH6 型动车组和 CTCS2+ATO 列控系统,故均按上述规定要求执行。对于市域铁路地下车站,由于其受土建工程限制,须研究可缩短安全防护距离(应答器组距信号机距离)的方案或控制措施,以满足工程需要。

1.2 到发线有效长度的计算

根据设计规范对警冲标距信号机、应答器组距信号机、组间应答器间距、站台端头距应答器组及站台长度等距离的规定,市域铁路常规车站到发线有效长度示意图如图 1 所示。

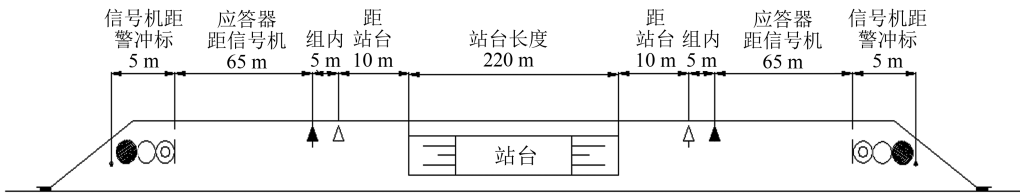


图 1 市域铁路到发线有效长度示意图

市域铁路常用的 8 节编组动车组全长 199.5 m。考虑到与国家铁路线路互联互通的要求,应参照最长动车组(CRH1 型 214 m)长度,故站台长度一般按 220 m 设计。计算可得,在常规站场布置条件下,市域铁路的到发线有效长度为 390 m,取整为 400 m。

2 缩短到发线有效长度的方案

由上述分析,影响到发线有效长度计算的最大可变因素就是安全防护距离。在保证行车安全和兼顾行车效率的前提下,经过分析、研究、筛选后,本文提出两个通过缩短安全防护距离来缩短车站到发线有效长度的方案。

2.1 增设限速应答器组方案

除按设计规范规定在出站信号机处设置应答

器组外,在到发线中间适当位置增设应答器组。由于对于无办理侧向通过进路需要的到发线,可默认列车进侧线停车,因此可仅设置无源限速应答器组。此时,鉴于 CTCS2+ATO 系统在股道中间已设置了用于精确停车的应答器组,可考虑将应答器组的限速信息与精确停车应答器组合并使用。到发线增设限速应答器组示意图如图 2 所示。

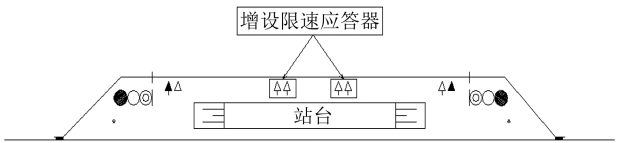


图 2 到发线增设应答器组示意图

到发线增设限速应答器组的工作原理为:在不影响列车进入站内到发线入口速度的情况下,在到

发线适当位置增设限速应答器组,可将列车的速度进一步降低;如将速度限制在 20 km/h,则列车运行至出站应答器组时的速度已降至 20 km/h,安全防护距离则可按由 20 km/h 减速至停车的紧急制动距离设置。限速应答器组内限速值的设置要结合应答器组距离出站信号机的距离和动车组最大常用制动的速度值来共同确定。当二者接近或相等时,行车效率最高。因此,可考虑将限速值设置为制动曲线中的 20→15 km/h 区间,使安全防护距离缩短 30~40 m,进而使到发线有效长度缩短 60~80 m。

增设限速应答器组方案的优点是:在不影响列车进出车站侧线到发线入口速度的前提下,能大幅缩短到发线有效长度。缺点是:该方案目前仅限于理论研究,尚未在任何工程中应用,需与列控系统的厂商进一步研究,进而判断对列控系统的影响,深入评估方案的安全性和可实施性。对于存在通过作业需求的到发线,可在到发线中间增设有限速应答器。其目的是为实时采集出站信号的状态,并结合出站信号的状态通过有源应答器向列车提供相应的速度可变信息。

2.2 防护进路方案

设置列车过走防护距离的目的是为防止列车因冒进而与前方列车追尾或与正线列车发生侧冲。因此,可以在列车运行方向的进路外方设置保护区段,即防护进路方案。当办理到发线的接车(调车)进路时,自动锁闭对面咽喉区的发车进路区段,并将发车进路区段用作过走防护的保护区段。待车站联锁系统收到列车停稳信号后,自动解锁对面咽喉区的保护区段,使车站对方咽喉区恢复正常的运输作业。当到发线末端存在机待线或牵出线时,将防护进路设置到机待线或牵出线,从而不影响对方咽喉区的正常运输作业。接车进路设置防护进路方案示意图如图 3 及图 4 所示。

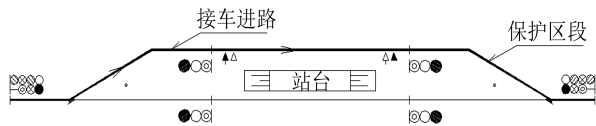


图 3 接车进路设置防护进路方案示意图(对方咽喉)

在防护进路方案中,过走防护距离充分利用了咽喉区道岔区段和正线区段,故可最大限度地缩短到发线有效长度。该方案中,信号机距警冲标 5 m,有源应答器距信号机 5 m,应答器组间距为 5 m,站

台有效长度为 220 m。计算可得,到发线有效长度为 250 m,较原 400 m 的到发线有效长度缩短了 150 m。可见,防护进路方案最大限度地缩短了到发线长度,进而减小整个地下车站的土建规模,减少了工程投资。经初步估算,采用防护进路方案后,1 个标准 3 层车站的直接工程投资可节约 2~3 亿元,工程拆迁量亦大幅减少。

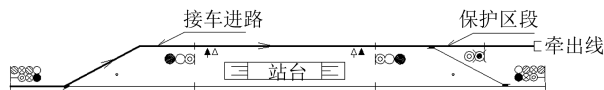


图 4 接车进路设置防护进路方案示意图(牵出线)

在地铁 CBTC 信号系统中,采用防护进路保护区段的方式已有成熟的应用经验。国铁虽未采用过防护进路方式,但国铁信号系统在进站外方制动距离内有坡度大于 6‰下坡道时,采用的延续进路处理方式与该方案基本相似。延续进路需在办理接车进路时同时办理。此外,延续进路采用列车轮对压入到发线 180 s 后方能自动解锁的方式。如加上列车在进路所在的咽喉区运行时间,则延续进路锁闭时间大于 200 s。究其原因,国铁车站联锁系统无法获取到列车进站停稳的时间,只能简单采用最大时间包容方式处理,以时间换空间,牺牲行车效率换行车安全。由于国铁车站进站外方制动距离内有大于 6‰下坡道的车站相对较少,故该延续进路处理方式对整个铁路线路运输效率影响相对较小。从理论上分析,延续进路采用延时解锁方式仍不符合列控系统安全控制要求的闭环理论,存在安全隐患,既不符合市域铁路的高密度公交化运营,也不符合列控系统安全控制原则。因此,市域铁路的防护进路不能采取延时解锁方式。

为避免延续进路办理程序繁琐及解锁延时过大,防护进路方案在进路办理时要简化操作。信号系统根据进路排列情况,自动将进路外方的保护区段进行锁闭。为保证市域铁路的行车效率,防护进路的解锁时间需尽量缩短。由于市域铁路采用 CTCS2+ATO 系统,其车站站台设置有站台门,且站台门的开启时机须接收到列车停稳信号,因此当车站联锁系统采集到了列车停稳信号后,即可将进路外方咽喉区的保护区段解锁。这样不仅缩短了锁闭对方咽喉区的时间,而且由于车站到发线有效长度的缩短,列车在接车过程中走行距离和时间均明显减少。经测算,整个接车进路列车由进站至停稳

的时间由原来的约 70 s 缩短至约 50 s,而且锁闭进路外方咽喉区段亦仅影响后续越行列车的进路排列时间,对于后续站站停列车的追踪并未产生任何影响,既能确保行车安全,又能最大限度地保证行车效率。

利用防护进路保护区段作为安全防护距离的方案,在接车的同时,将车站另外一端的咽喉区段进行防护锁闭,会对车站的发车造成一定的影响。但市域铁路采用公交化运营模式,其中间车站(特别是地下站)设置的到发线主要为了满足快慢车间的越行要求,基本不存在侧线股道接车和其他股道同时发车的情况。而且由于防护进路区段采取列车停稳即防护进路解锁的方式,咽喉区段的锁闭时间较短,故即使偶尔存在侧线股道接车和其他股道同时发车的情况,对行车效率影响也极为有限。除此之外,该方案大幅度缩短了地下车站的到发线,在土建施工难度、工程投资、运营维护以及节能环保方面的优势非常明显。

3 结语

市域铁路既要求实现不同制式线路之间的互

联互通跨线运行,又要求满足城市轨道交通特征的公交化运行需求,是工况复杂、投资巨大的系统工程。

在工程设计阶段应加强综合设计和系统设计的理念,深入分析影响车站到发线有效长度的因素。本文在遵循故障-安全原则的前提下,综合考虑行车安全、运输效率和工程投资,提出市域铁路车站到发线有效长度优化方案,以期提升市域铁路建设的可持续发展能力。

参考文献

- [1] 周波. 城际铁路到发线有效长研究[J]. 铁道标准设计, 2013(2): 34.
- [2] 邹少文, 陈真. 客运专线到发线有效长研究[J]. 铁道工程学报, 2007(12): 1.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 城际铁路设计规范: TB 10623—2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [4] 何文卿. 6502 电气集中电路[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [5] 宿秀元. 城市轨道交通 CBTC 系统中保护进路相关功能的研究[J]. 铁道通信信号, 2015(4): 84.

(收稿日期: 2020-12-16)

(上接第 57 页)

4 结语

本文提出了一种基于 Stacking 策略的集成学习模型算法。通过基础模型算法评估阶段和基础模型算法集成阶段, 成功选出 K 个基础模型, 并基于模型集成策略完成了模型的集成工作, 最终得到了基于 Stacking 策略的集成预测模型。基于实际案例, 使用该集成模型对列车停车误差进行预测, 并对预测结果进行验证。验证结果显示, 基于 Stacking 策略的集成学习算法模型的训练效率高、预测精度高, 与其他传统模型相比具有较强优势。

参考文献

- [1] WANG Z, LI X, CHEN F. Impact evaluation of a mass transit fare change on demand and revenue utilizing smart card data[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015, 77: 213.
- [2] DEVILLAINE F, MUNIZAGA M, TRÉPANIER M. Detection of activities of public transport users by analyzing smart card data[J]. Transportation Research Record, 2012, 2276(1): 48.

- [3] HUANG D, LIU Z, LIU P, et al. Optimal transit fare and service frequency of a nonlinear origin-destination based fare structure[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 96: 1.
- [4] BÖRJESSON M. Forecasting demand for high speed rail[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 70: 81.
- [5] LIU Z, YAN Y, QU X, et al. Bus stop-skipping scheme with random travel time[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 35: 46.
- [6] YAN Y, LIU Z, MENG Q, et al. Robust optimization model of bus transit network design with stochastic travel time[J]. Journal of Transportation Engineering, 2013, 139(6): 625.
- [7] YAN Y, LIU Z, BIE Y. Performance evaluation of bus routes using automatic vehicle location data[J]. Journal of Transportation Engineering, 2016, 142(8): 04016029.
- [8] QU X, ZHANG J, WANG S. On the stochastic fundamental diagram for freeway traffic: model development, analytical properties, validation, and extensive applications[J]. Transportation research part B: methodological, 2017, 104: 256.

(收稿日期: 2021-01-19)