

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2024.01.008

地铁既有线区间增设车站及其配线纵向坡度设计研究

李明

(北京市轨道交通设计研究院有限公司; 北京市轨道交通工程技术研究中心, 北京 100068)

摘要: 针对既有线改造工程中的区间增设车站的纵向坡度可选取范围进行初步探讨, 从列车停止平稳性、列车启动和制动、车站纵向排水、车站建筑及无障碍设计、车站站台门安装、车站设置配线等几个角度对纵向坡度的要求进行初步分析, 并得出以下结论: 1) 必须对地铁列车的停放制动以及列车的启动和制动的技术性能进行必要及足够的校验、验证, 这是决定在既有线区间增设车站的纵向坡度是否可适度放大的关键所在; 2) 综合考虑地铁列车的停放制动以及列车启动和制动等技术性能, 车站纵向坡度应该允许适度放大, 但考虑车站建筑的设计以及乘客使用便利, 这个幅度也不宜过大; 3) 从道岔的养护和维修角度, 建议允许设置道岔的纵向坡度不宜超过现有规范 10‰的规定。

关键词: 地铁; 既有线改造; 增设车站; 坡度

中图分类号: U218

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)01-0049-05

Discussion on Design of Longitudinal Gradient of Additional Stations and Wiring in Metro Existing Line Sections

LI Ming

(Beijing Rail and Transit Design & Research Institute Co., Ltd.;
Beijing Engineering Research Center of Rail and Transit, Beijing 100068)

Abstract: This paper preliminarily explores the selection range of longitudinal slope for adding stations in existing line renovation project, analyzing the requirements for longitudinal slope from several perspectives, including train stopping smoothness, train starting and braking, station longitudinal drainage, station building and accessibility design, station platform door installation, and station wiring. Some conclusions are presented: (1) Verifying the technical performance of parking braking, starting, and braking of subway trains is the key to determining whether the longitudinal slope of adding stations to existing line sections can be moderately increased; (2) Considering the parking and braking performance of subway trains, as well as the technical performance of train starting and braking, the longitudinal slope of the station should be allowed to be moderately increased. However, considering the design of the station building and the convenience of passenger use, the increase should not be too large; (3) From the perspective of maintenance and repair of switches, it is recommended to ensure that the longitudinal slope of switches does not exceed the existing regulation of 10‰.

Keywords: metro; existing line renovation; additional stations; gradient

1 问题的提出

我国地铁经过 50 余年的发展, 形成了一部应用广

泛的地铁设计国家标准《地铁设计规范》, 该规范自颁布以来已经修订了两次, 目前正在施行的版本是 2013 年版。该规范的施行, 对于我国地铁工程的设计工作

收稿日期: 2023-06-10 修回日期: 2023-09-19

作者简介: 李明, 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事城市轨道交通规划、工程咨询及相关政策研究工作, 05121183@bjtu.edu.cn

引用格式: 李明. 地铁既有线区间增设车站及其配线纵向坡度设计研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(1): 49-53.

LI Ming. Discussion on design of longitudinal gradient of additional stations and wiring in metro existing line sections[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(1): 49-53.

起到了很好的指导作用,极大地规范了我国各城市的地铁设计工作,保证了地铁设计的综合质量。值得注意的是,该规范在具体使用的过程中也面临着一些问题,亟须进行一些修订完善工作。例如该规范适用于地铁新建工程的设计,而对于既有线增设车站的情况,该规范条文就并未涉及。

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)要求“……区间隧道的线路最小坡度宜采用3‰;困难条件下可采用2‰;区间地面线和高架线,当具有有效排水措施时,可采用平坡。……车站站台范围内的线路应设在一个坡道上,坡度宜采用2‰。当具有有效排水措施或与相邻建筑物合建时,可采用平坡……”^[1]。单看地下线的设计要求,区间的最小坡度为3‰,而车站范围内的坡度宜为2‰,如果当初在新建某地铁隧道工程时,区间隧道纵坡没有采用困难值(2‰),则该区间隧道肯定不能满足未来增设车站的纵坡要求。

城市的发展存在一定变数,在规划某地铁线路时,该处没有设置车站的必要,但不排除随着时间的推移,城市规划有了新的安排,城市建设用地进行了局部调整,原本未规划设置地铁站的位置有了增设车站的需求,而地铁既有线已经建成,如何在地铁既有线区间增设车站,以及确定区间纵向坡度的可选项范围,是值得研究的新课题。

经查询,国内外还没有相关文献针对地铁既有线增设车站的坡度问题进行研究,《城市道路公共交通站、场、厂工程设计规范》^[2](CJJ/T 15—2011)只是对公交首末站的夜间停车坪的坡度提了要求,“远离停车场、保养场或有较大早班客运需求的首末站应建供夜间停车的停车坪,……停车坪的坡度宜为0.3%~0.5%”,主要是为了便于雨水排放,不造成积水,保障停车安全。考虑城市公交为胶轮系统,其走行部的摩擦系数与钢轮钢轨系统差异很大,并不具备参考性。因此本文将针对地铁既有线增设车站及配线纵向坡度问题进行探讨。

2 影响地铁车站纵向坡度要求的因素

本文主要从列车停止平稳性、列车启动和制动、车站纵向排水、车站建筑及无障碍设计、车站站台门安装、车站设置配线等几个方面分析对车站纵向坡度的要求。

2.1 列车停止平稳性对坡度的要求

为了保证车辆停止状态下的平稳性,车站的坡度应该做到尽量平缓,这样可以最大限度地防止车辆溜

逸,也就是说车站坡度最好采用平坡。但是设置成平坡有时候是做不到的,因此有必要分析一下车辆不溜逸前提下的最大车站坡度。

1) 未采取制动措施时。从理论上分析,车辆单位坡道阻力*i*(相当于下坡方向的单位分力)小于车辆开始溜逸时的单位启动阻力 ω ,车辆才不至于溜逸。 ω 可能随着很多因素而变化,例如车辆质量、气候条件等都有很大关系,根据规范条文说明^[3],单位启动阻力 ω 、单位坡度阻力*i*和平面曲线半径*R*之间存在以下大致关系

$$\omega = 2 + 0.3 \left(\frac{630}{R} + i \right) \quad (1)$$

假设列车停在直线上,而且假设坡度值为零,那么可以得到 $\omega=2‰$ 。因此,当停车线的坡度 $i \leq \omega$ 时,车辆就不会溜逸。

以上分析可以看作是地铁车辆停止平稳性要求的理论计算。由于地下线较少受到外界环境的干扰,因此可以认为地下线车站的坡度 $i \leq 2‰$ 时,车辆就不会溜逸;但是当车辆停在地面或高架车站时,可能会受到较多的外界影响,例如风力、振动等,因此需要再额外考虑一定的安全系数,根据北京地铁的运营经验,当位于高架桥上的停车线坡度 $i \leq 1.5‰$ 时,没有发现溜逸现象,因此可以认为高架或地面车站的坡度 $i \leq 1.5‰$ 时,车辆不会溜逸。

2) 采取制动措施时。根据我国相关规范的要求,没有特殊规定的情况下,正线的最大坡度不宜大于30‰,困难地段可采用35‰,联络线、出入线的最大坡度不宜大于40‰,这个最大坡度其实与列车的动拖比有直接关系,动车配置越多,列车的动力就越强劲,爬坡能力就越大,规范中规定的坡度值只是一个在常规动拖比配置下的坡度要求。同时,规范^[4]也对列车的停放制动做出了规定,要求地铁列车都应设有停放制动装置,保证在线路最大坡度、最大载荷的情况下施加停放制动的列车不会发生溜逸,且它的制动力应仅通过机械方式产生并传递。

根据以上两种工况的分析,如果未采取制动措施,为了保证列车停止时不溜逸,地下区段的纵向坡度不宜大于2‰,高架和地面区段的纵向坡度不宜大于1.5‰,但如果采取了相应的制动措施,根据相关规范的要求,地铁列车应具备在最大坡度(正线为30‰,困难情况下35‰)情况下依然不会溜逸的能力,可以看出这两种工况下的纵向坡度跨度非常大,这与我

国的车辆停放制动技术性能很高有很大的关系，它赋予了列车在某种极端情况下依然不会溜逸的能力。在地铁既有线的区间增设车站本身就是一种非常规的情况，不必规定停车时不能采取制动措施，因此不必以 1.5‰或 2‰的坡度来对列车停止的平稳性做出要求，但是纵向坡度的上限不该放大到正线的允许最大纵坡，因为纵向坡度越大，停止制动装置失效的可能性就越高，在实际运营过程中如果发生列车停止状态下溜逸的最大风险是乘客上下列车时被挤压而发生人员伤亡事故，这是必须进行防范的，这是地铁建设单位、设计单位以及运营单位都应重点考虑的问题。

2.2 列车启动和制动对坡度的要求

我国相关规范同样也对列车的故障运行及救援的能力做出了强制规定，要求在超员载荷工况下，当列车丧失 1/4 动力时，依然能够维持运行到终点车站；要求在超员载荷工况下，当列车丧失 1/2 动力时，依然应该具有在正线最大坡道上(30‰，困难情况下 35‰)启动和运行到最近车站的能力；同时也要求一列空载列车应具有在正线最大坡道上(30‰，困难情况下 35‰)推送(拖拽)一列相同编组无动力的超员载荷工况的列车启动并运行至最近车站的能力^[1,5]。从上述规定可以看出，我国对于地铁列车在极端状况下的故障运行及救援能力要求很高，我国的地铁车辆装备供应商在列车出厂时必须满足国家对其故障运行及救援的能力要求，否则它就不能出厂。基于这个前提条件，只要线路区间没有超过正线最大坡度，地铁列车在增设的车站进行启动和制动的能力应该是有保障的，因此车站纵向坡度实际上对列车的启动和制动并不制约，但是从列车启动和制动本身的难易程度而言，纵向坡度越小越有利。

2.3 车站纵向排水对坡度的要求

从理论上来说，车站纵向坡度越大，车站的纵向排水就会越顺畅。我国铁路建设的经验显示由于站场的石渣碎屑物较多，且车站的工作人员行走也比较频繁，因此排水设施内容易掉入泥沙或其他杂物，为避免排水设施的淤塞，一般情况下水流的平均速度不应小于 0.5 m/s，为了满足这个要求，排水设施的纵向坡度不应小于 2‰，而且最好是能达到 3‰~5‰。如果因为采用 2‰的纵向坡度将引起大量的工程时，纵向排水设施的坡度也可以减少到 1‰。因此《铁路车站及枢纽设计规范》(TB10099—2017)要求站场范围内纵

向排水设施的坡度不应小于 2‰，困难条件下也不应小于 1‰^[6]。我国地铁正线的轨道一般采用整体道床的形式，少有用碎石道床的，因此排水设施不易掉入泥沙或其他杂物，但我国的地铁相关设计规范也对车站范围的纵向排水提出了要求，且无一例外地要求地下车站站台范围内坡度宜采用 2‰，具有有效排水措施时可采用平坡，对于高架或地面车站规范要求站台范围内的纵向坡度宜采用平坡^[1,7,8]。通过以上的分析可以看出，与列车停止平稳性以及列车启动和制动都要求车站的纵向坡度尽量小不同，过小的坡度不利于车站的纵向排水，考虑本文主要探讨的是在地铁既有区间增设车站的问题，地下既有区间间的纵向坡度一般都不会小于 3‰，排水是没有问题的，即便是高架或地面既有区间可能采用了平坡，但也都都会设置好相应的有效纵向排水设施，因此地铁既有区间间的纵向坡度不是构成车站纵向排水的关键问题。

2.4 车站建筑及无障碍设计对坡度的要求

目前我国地铁列车的编组以 6B、6A 或 8B、8A 为主流，列车长度从 120~185 m 不等，通常在车站设计时会将车站的站务用房及设备系统用房设置在车站的两端，因此一个地铁车站的整体长度大概在 200~300 m。通常我国地铁设计规范要求的是在车站站台范围内的线路应设在一个坡道上，坡度一般取 2‰^[1]，因此正常情况下的有效站台范围内站台一端与另一端本身就存在一个高度差，如果是 120 m 长的站台，高度差为 $120 \times 2‰ = 0.24$ m，如果是 185 m 长的站台，高度差为 $185 \times 2‰ = 0.37$ m，这种车站站台范围内不到 0.5 m 的高度差不足以对车站的建筑设计以及乘客的使用造成较大的影响。假设车站站台范围内的纵向坡度达到了 10‰，120~185 m 长的站台一端与另一端的高度差将会达到 1.2~1.85 m，这是一个不小的高差，地铁车站的设置与设计应聚焦于便民使用上，应能较好地平衡高度差与便民设施之间的关系，充分考虑常规的通勤乘客、携带大件行李的乘客、出行不便的残障人士等不同类型乘客的出行需求，加强站内无障碍设施的设计。《无障碍设计规范》(GB 50763—2012)^[9]考虑轮椅的通行便利，对轮椅坡道的最大高度和水平长度做了规定，可以看出轮椅坡道的坡度从 1:20~1:8 不等，即 50‰~125‰，10‰左右的坡度并不会给轮椅的通行带来不便(见表 1)。

表1 轮椅坡道的最大高度和水平长度

Table 1 The maximum height and horizontal length of wheelchair ramps

坡度	1:20	1:16	1:12	1:10	1:8
最大高度	1.20	0.90	0.75	0.60	0.30
水平长度	24.00	14.40	9.00	6.00	2.40

注：其他坡度可用插入法进行计算。

2.5 车站站台门安装对坡度的要求

国内外目前尚未对地铁车站站台门安装纵向坡度要求进行研究,其中《地铁设计规范》(GB 50157—2013)要求“对于呈坡度的站台,站台门应同坡度垂直于站台面设置。安装站台门的地面在站台全长上的平整度误差不应大于 15 mm”^[1],《城市轨道交通工程设计规范》(DB11/995—2013)要求“以站台同坡度垂直于站台面平整安装,安装站台门的地面在站台全长上的平整度误差不宜大于 10 mm”^[7]。可以看出无论国标还是北京地标,均要求站台门与站台同坡度安装,而非铅垂安装,同时都对站台全长的平整度提出了要求,但并未对车站站台的纵向坡度给出要求。据了解目前国内地铁站台门安装的最大坡度达到 3‰,未见在更大纵坡上的安装实例,且没有开展相关试验工作,从理论上来说通过加大站台门的门机功率,站台门的安装纵坡是能够提高的,后续应开展相关方面的试验,以论证站台坡度提高的限值。

2.6 车站设置配线对坡度的要求

为了便于对道岔进行养护和维修,道岔应该铺设在尽可能缓的坡道上。根据我国铁路方面的相关规定,高速铁路及城际铁路车站咽喉区的正线坡度在困难条件下始发站不宜大于 2.5‰,中间站不宜大于 6‰;而对于客货共线铁路以及重载铁路,车站咽喉区的正线坡度在特殊困难条件下区段站、客运站不应大于 2.5‰,中间站、会让站、越行站不应大于 10‰,咽喉区外的个别道岔和渡线的坡度不应大于限制坡度^[10]。道岔设置在坡道上的最大问题是尖轨可能发生爬行,进而会影响使用安全,而且根据相关资料当道岔设置在线路纵向坡度大于 10‰的区段时,更容易出现这样的问题。因此在我国的地铁设计规范中,普遍都要求道岔设置在不大于 5‰的坡道上,困难情况下,当采用无砟道床,尖轨后端为固定接头的道岔时,道岔是可以设置在不大于 10‰的坡道上的^[1,7,8]。随着我国道岔技术的不断提高,当前正线道岔基本上都采用了曲线尖轨和固定接头,而且道床形式也基本上都采用无

砟道床,基本上消除了上述可能存在的缺陷,因此将道岔设置在 10‰的坡道上问题不大。那么,对应到本文探讨的需要在地铁既有线增设车站后,有必要在车站一端设置道岔时,从未来对道岔进行养护和维修更加有利的角度来看,10‰的纵向坡度上限是不宜突破的。

3 既有线区间增设车站的纵向坡度设计要求建议

通过以上对影响地铁车站纵向坡度的多方面因素进行分析,本文对地铁既有线增设车站及其配线纵向坡度选取提出一些建议。

1) 地铁列车停放制动以及列车启动和制动的技术性能是否可靠,是决定在既有线区间增设车站的纵向坡度是否可适度放大的关键,因此必须对其技术性能进行必要和足够的校验,才能支持纵向坡度可适度放大的结论。

2) 对于既有地下线来说,从车站纵向排水的角度考虑,车站的纵向坡度越大,排水越顺畅,但这与列车停止平稳性以及列车的启动和制动的要求是相悖的,从列车停止平稳性及列车启动和制动角度来看,车站的纵向坡度越小越有利,但采用 2‰的坡度势必会引起既有线巨大的改造工程量,而且这种改造可行性较低,因此不必苛求车站站台范围内的纵向坡度必须采用 2‰,而应该适当地放大,从车站建筑设计的角度考虑,建议车站的纵向坡度不宜超过 10‰,对于乘客的使用、便民设施的设置更为有利,且 10‰的坡度对于轮椅通行来说是可接受的。

3) 对于高架以及地面线来说,纵向排水相对地下线而言更为简单方便,排水本身问题不大,从列车停止平稳性以及列车启动和制动的角度进行分析,由于工程位于地上,线路也会更易受到风力或振动等外界因素的影响,站台范围内尽可能采用平坡会更加有利,虽然既有地铁高架线或地面线采用平坡的概率相对较大,但是依然不排除在需要增设车站的区段纵向坡度不是平坡,因此不必要求在既有高架及地面线区间增设车站的纵向坡度必须是平坡,应该适当地给予放大,综合考虑外界环境的影响,建议车站的纵向坡度值相较于地下线的 10‰宜略小一些。

4) 站台门的安装也是车站纵向坡度的一个限制因素,但限于目前对更大坡度的站台门安装及开闭的研究以及试验都不够充分,建议国内站台门的生产安

装及检修厂家开展相关的试验,为纵坡值的确定提供建议。

5) 对于有设置配线需求的车站,建议允许设置道岔的纵向坡度不宜超过现有规范 10‰的规定,这样对于道岔的养护和维修较为有利。

综合来看,本文根据以上分析建议地铁既有区间增设车站及配线纵向坡度上限值取 10‰,可以在某些有需求的既有线改造工程中进行试验,待运营经验成熟后再形成相关的规范条文,供行业使用。

4 结语

本文对于在地铁既有区间增设车站及其配线的纵向坡度设计问题进行了探讨,从几个角度对纵向坡度的要求进行了初步分析,并提出了一些建议,供同行参考。但这种初步的分析并不足以作为实际工程设计中的依据,对于本文所探讨的类似问题,还需要行业主管部门、社会团体组织、同业相关单位等多方努力,总结更多实践经验,经充分试验以后形成相关规范条文,才能有效地解决实际工作中遇到的问题。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通站、场、厂工程设计规范: CJJ/T 15—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of urban road public transportation stop, terminus and depot engineering: CJJ/T 15—2011[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局、中华人民共和国建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. 地铁车辆通用技术条件: GB/T 7928—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. General technical specification for metro vehicles: GB/T 7928—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通工程项目规范: GB 55033—2022[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Project code for engineering of urban rail transit: GB 55033—2022[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.
- [6] 国家铁路局. 铁路车站及枢纽设计规范: TB 10099—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
Code for Design of Railway Station and Terminal: TB 10099—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.
- [7] 城市轨道交通工程设计规范: DB11/995—2013[S]. 北京: 北京市城乡规划标准化办公室, 2013.
Code for design of urban rail transit: DB11/995—2013[S]. Beijing: Beijing Urban and Rural Planning Standardization Office, 2013.
- [8] 上海市工程建设规范-城市轨道交通设计规范: DG/TJ08—109—2017[S]. 上海: 同济大学出版社, 2017.
Urban rail transit design standard: DG/TJ08—109—2017[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2017.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 无障碍设计规范: GB 50763—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Codes for accessibility design: GB 50763—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [10] 国家铁路局. 铁路线路设计规范: TB 10098—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
Code for Design of Railway Line: TB 10098—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

(编辑: 王艳菊)