

# 苏州轨道交通无柱车站结构选型与受力分析

殷建<sup>1</sup> 黄治龙<sup>1</sup> 陈祥达<sup>2</sup> 沈何杰<sup>2</sup>

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 215004, 苏州; 2. 北京城建设计发展集团股份有限公司上海分公司, 200233, 上海)

**摘要** [目的]城市轨道交通车站所处场地狭小或净高富余时,为了创造大空间视觉效果,通常采用无柱结构形式。为了达到安全可靠、经济合理的目标,需对该无柱车站进行结构选型和受力分析。[方法]以苏州轨道交通8号线时家桥站工程为依托,采用有限元计算方法,详细分析了车站顶、中、底板采用不同结构形式时的受力特性,并提出该车站的整体结构方案。[结果及结论]无柱车站采用全拱形顶板时的受力和经济性最好;通过在车站站台层设一排柱,既改善中板受力,又利于楼梯孔洞的开设;底板从受力和经济性考虑采用全拱形最好,考虑施工的便利性和变形控制要求,也可采用平底拱形式。本站采用无柱拱形顶板+梁柱形式中板+平底拱形底板的结构形式,充分发挥拱形结构的受力特性,在工程造价变化不大的前提下,利用车站的富余净空,提升了站内公共区的大空间视觉效果。

**关键词** 城市轨道交通;无柱车站;结构选型;受力

**中图分类号** U231.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.08.021

## Structural Selection and Stress Analysis of Suzhou Rail Transit Column-free Stations

YIN Jian<sup>1</sup>, HUANG Zhilong<sup>1</sup>, CHEN Xiangda<sup>2</sup>, SHEN Hejie<sup>2</sup>

(1. Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215004, Suzhou, China; 2. Shanghai Branch, Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., 200233, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] In urban rail transit stations, a column-free structure is often adopted to create a spacious visual effect when the site is narrow or there is excess height. To achieve the goal of safety, reliability, and economic feasibility, it is necessary to conduct structural selection and stress analysis for such column-free stations. [Method] Based on the Shijiaqiao Station project of Suzhou Rail Transit Line 8, finite element calculation method is employed to thoroughly examine the stress characteristics of the station top, middle, and bottom slabs when different structural forms are used. An overall structural scheme for the station is proposed accordingly. [Result & Conclusion] A fully arched top slab offers the best stress performance and economic efficiency for column-free stations. Setting up a row of columns on station platform level

improves the stress distribution on the middle slab and facilitates the installation of stairway openings. The fully arched form is also optimal for the bottom slab considering stress and economic efficiency. However, for construction convenience and deformation control requirements, a flat-bottom arch form can also be used. This station employs a structure form of column-free arched top slab + beam-column middle slab + flat-bottom arched bottom slab. This design fully leverages the stress characteristics of arched structures, enhances the spacious visual effect of station interior public area by utilizing the excess height while maintaining a reasonable construction cost.

**Key words** urban rail transit; column-free station; structural selection; stress

常规的城市轨道交通车站一般为箱形框架结构,根据车站宽度的不同采用不同的跨数,如站台宽度为10~11 m时采用单柱双跨,站台宽度为12~14 m时采用双柱三跨。箱形框架结构具有结构形式简单、受力明确及施工便捷的优点,但设置在车站中部的一排或两排立柱会影响整个地下车站的空间视觉效果,特别是在一些如场地狭小的特殊情况下,受站台宽度限制难以布置柱子,或车站净高富余,有创造大空间视觉效果的条件,在此条件下无柱车站结构便有了它的用武之地<sup>[1]</sup>。本文以苏州市首座无柱轨道交通车站——苏州轨道交通8号线(以下简称“8号线”)时家桥站为依托,对其进行结构选型及受力分析,以期得到安全可靠、经济合理的无柱车站结构布置形式。

## 1 无柱车站结构形式

无柱车站的结构形式如下:

1) 厚板方案:如上海轨道交通7号线上海大学站<sup>[2]</sup>,采用宽度为7.90 m的无柱岛式站台。车站结构净宽为15.60 m,顶板厚度为1.30 m,底板厚度为1.30 m,中板厚度为0.65 m,内衬墙厚度为0.50 m。上海大学站结构横断面图如图1所示。

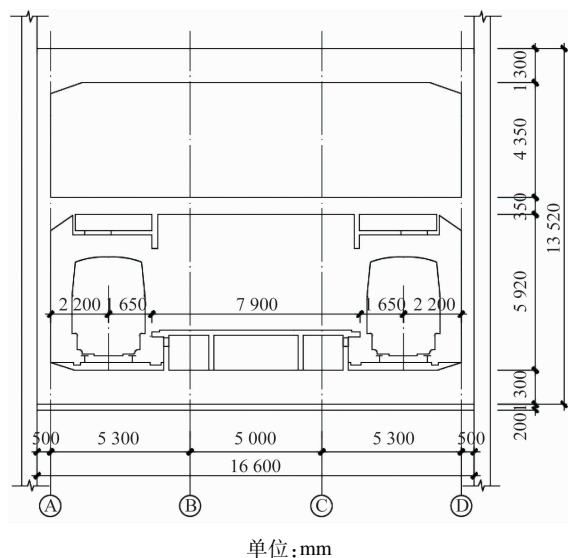


图1 上海大学站结构横断面图

Fig. 1 Cross-section diagram of Shanghai University Station structure

2) 折板方案:如南京地铁3号线白鹭洲站(现更名为武定门站),采用宽度为8 m的无柱岛式站台。车站结构净宽为15.7 m;顶板采用折板形式,跨中厚度为1.2 m,支座根部厚度为3.0 m。白鹭洲站结构横断面图如图2所示。

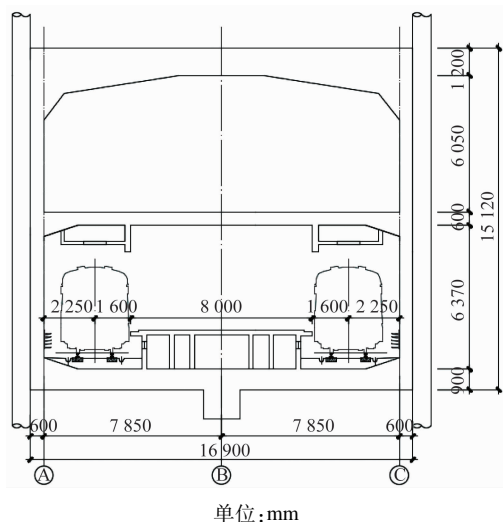


图2 白鹭洲站结构横断面图

Fig. 2 Cross-section diagram of Bailuzhou Station structure

3) 密肋梁方案:如广州地铁2号线的16座轨道交通车站中,有5座车站采用了这种结构形式<sup>[3]</sup>,其中鹭江站、中大站、市二宫站及纪念堂站均采用宽度为8 m的岛式站台。车站结构净宽为15.7 m,顶板密肋梁尺寸为1.0 m×1.4 m,密肋梁间距通常约为2.0 m,顶板厚度一般为0.7 m。

4) 拱形方案:如青岛地铁3号线保儿站<sup>[4]</sup>,为无柱拱形明挖车站,采用宽度为9 m的无柱岛式站台。车站结构净宽为16.4 m,顶底板和侧墙厚度均为0.8 m。

以上四种明挖无柱车站结构形式中:密肋梁方案本身较大程度压缩了车站净高,同时因其施工复杂,导致施工速度慢,推广意义不大;厚板方案纯粹靠加大结构的板厚来提高抗弯承载能力,对于大跨度结构而言,能够实现的跨度有限,且经济性、受力合理性不佳;折板方案相对于厚板方案,改善了受力性能,并且施工相对简单,是应用较多的一种无柱车站结构形式;拱形方案受力最为合理,且空间效果美观,是近年来越来越热门的一种地下车站结构形式。

## 2 时家桥站结构选型及受力对比分析

### 2.1 工程概况

受8号线时家桥站—长江路站区间下穿京杭大运河的影响,根据该线路沿线文物保护方案对京杭大运河的保护要求,该区间与运河底部均须满足2倍洞径覆土的要求,这导致该车站轨面埋深达18.5 m。车站埋深范围内土层以黏土和粉质黏土为主,压缩性中等,底板坐落于⑤1粉质黏土层,竖向基床系数为12 MPa/m,地下水稳定埋深约1 m。

考虑到苏州市标准车站结构形式一般为箱形框架结构,采用单柱双跨或双柱三跨。本站根据外部环境因素,两端设备区覆土只需考虑车站抗浮设计需求,按2.5 m考虑,则轨面到顶板顶高度为16 m,可采用标准地下三层形式,按单柱双跨布置。而车站公共区由于跨十字路口,为预留市政管线穿越条件,顶板覆土需按不小于3.5 m厚度设计,则轨面到顶板顶高度为15 m,如仍按地下三层设置,则站厅层的结构净高不足4 m,不满足装修要求;如采用地下二层,则站厅层最大净高可达8.2 m,具有很大的富余量。因此,为了优化车站公共区空间布局及乘客舒适度,公共区按地下二层考虑,并结合站厅层的层高特点进行无柱化设计。

根据客流分析数据,时家桥站站台宽度取11.0 m,则结构净宽为18.3 m。对车站公共区无柱结构形式进行比选分析。

### 2.2 顶板结构形式比选

根据本文所述,时家桥站公共区顶板上方覆土



远低于厚板和折板方案,可见拱形板方案是最合理的受力形式。结构板只需 0.8 m 的厚度即可满足受力要求,就工程量而言也最小,经济上也最合理。

通过上述对比分析可知,对于大跨度无柱结构而言,厚板方案经济性和安全性均不高,因此不适宜采用。而折板方案可以大大改善结构的受力和空间效果,但工程量并不比厚板方案节约。相较于折板方案,拱形方案受力更好,用料更少,空间效果更佳,但施工难度较折板方案大。

折板方案和拱形方案都可以选用车站无柱结构形式,折板方案施工相对简单,且需要的结构净高较小,适用于车站净空富余量较小的情况。对于本站而言,受京杭大运河影响,车站埋深较大,站厅层有 8.2 m 的结构净高,拱形方案从受力和空间效果上都是最优的,因此本站顶板采用拱形板方案。

### 2.3 中板结构形式比选

1) 单跨板方案:站台层也按无柱处理。单跨板方案下时家桥站中板结构截面图及弯矩图见图 9 和图 10。

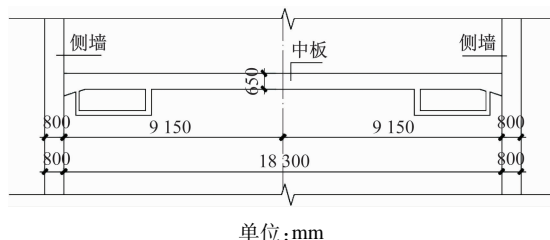


图 9 单跨板方案下时家桥站中板结构截面图

Fig. 9 Section diagram of Shijiaqiao Station middle slab structure in single-span slab scheme

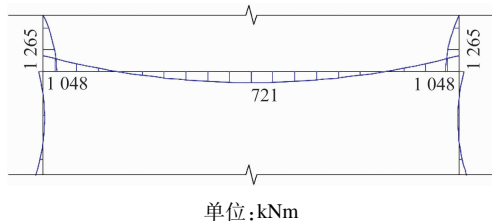


图 10 单跨板方案下时家桥站中板结构弯矩图

Fig. 10 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station middle slab structure in single-span slab scheme

根据图 9 和图 10 可知:采用单跨板方案时,中板的支座、跨中弯矩均较大,分别为 1 265 kNm、721 kNm;且中板厚度需达到 0.65 m 方可满足受力要求,比常规轨道交通车站中板厚度 0.40 m 加厚了 0.25 m,但就结构形式而言,尚能接受。

2) 双跨板方案:即在站台层设置 1 排小柱子用于改善中板受力。双跨板方案下时家桥站中板结构截面图及弯矩图见图 11 和图 12。

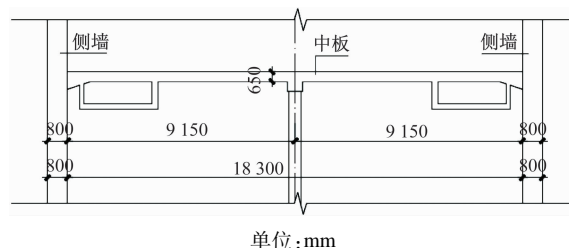


图 11 双跨板方案下时家桥站中板结构截面图

Fig. 11 Section diagram of Shijiaqiao Station middle slab structure in double-span slab scheme

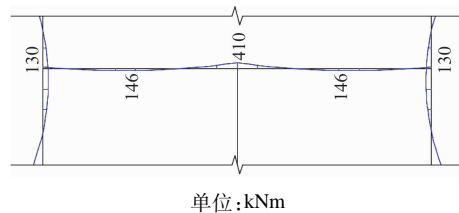


图 12 双跨板方案下时家桥站中板结构弯矩图

Fig. 12 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station middle slab structure in double-span slab scheme

根据图 11 和图 12 可知:增加 1 排梁柱体系后,中板的支座、跨中弯矩分别减小至 410 kNm、146 kNm,受力大为改善,且只需厚度为 0.40 m 的板就能完全满足受力要求。

由上可见,单从受力角度而言,厚度为 0.40 m 的双跨板要优于厚度为 0.65 m 的单跨板,但就结构厚度而言,两种方案均是可行的。单跨板的优点是站台层无须设柱,能增加站台层的有效空间;但单跨板的最大问题在于楼扶梯孔的布置,需设置大跨度、大截面的孔边梁,这给站台层的管线排布及轨顶风道布置等均带来很大不利,此时需采取复杂的结构形式如型钢梁,或采取空间受力体系来替代大截面明梁体系,这都对车站结构设计和施工带来一定的难度。而双跨板方案由于中纵梁的存在,可以很好地解决楼扶梯开孔的问题。

此外,通过视线分析及仿真流线模拟可知,站厅层采用无柱拱形对人的视觉冲击及空间感受较为明显,因此站厅层设置为无柱结构意义较大。考虑到本站有效站台宽度为 11.0 m,站厅层至站台层单侧设置 1 部宽度为 1.8 m 的自动扶梯及 1 部宽度为 2.0 m 的楼梯,中部增设 1 排结构立柱后,侧站台宽度仍可达 3.0 m,高于标准车站的设置标准,因此



本站站台按无柱设置对公共区的空间改善较为有限。

综上所述,本站采用站厅无柱、站台设柱的设计方案,中板按单柱双跨方案考虑。

## 2.4 底板结构形式比选

1) 厚板方案:考虑采用单跨厚板方案。厚板方案下时家桥站底板结构截面图和弯矩图见图 13 和图 14。

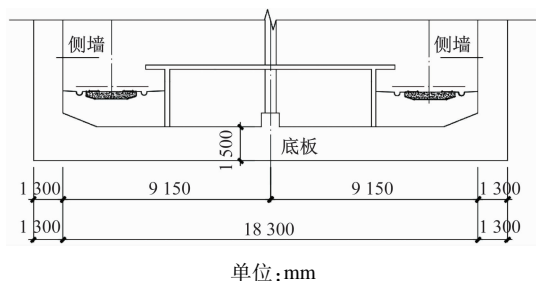


图 13 厚板方案下时家桥站底板结构截面图

Fig. 13 Section diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in thick slab scheme

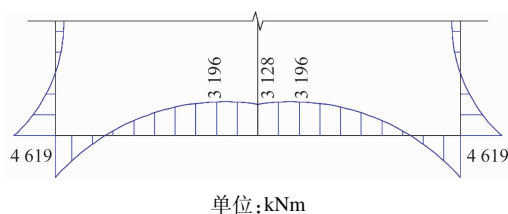


图 14 厚板方案下时家桥站底板结构弯矩图

Fig. 14 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in thick slab scheme

根据图 13 和图 14 可知:由于底板受力比顶板更大,如采用厚板方案,底板的支座、跨中弯矩分别达到 4 619 kNm、3 196 kNm,其厚度需达到 1.5 m 方能满足受力要求,既不经济,结构受力也不好,因此不建议采用。

2) 平板加抗拔桩方案:仍采用单跨平板形式,但为了改善底板受力,在底板下设置两排抗拔桩。平板加抗拔桩方案下时家桥站底板结构截面图和弯矩图见图 15 和图 16。

根据图 15 和图 16 可知:增加 2 排抗拔桩后,底板受力明显改善,跨中最大弯矩减小至 1 595 kNm,结合底板抗冲切计算,底板厚度设置为 1.0 m 即可。该方案受力形式较为合理,但需纵向间隔 6 m 布置两排直径 1 m、长 30 m 的抗拔桩,大大增加了工程造价,也增加了桩基施工、桩基接头处理等工序,并且过多的桩基接头也对底板的防水效果造成影响。

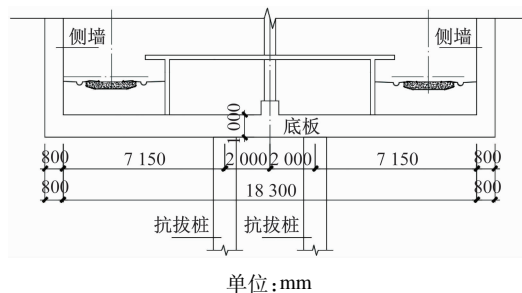


图 15 平板加抗拔桩方案下时家桥站底板结构截面图

Fig. 15 Section diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in slab + anti-pulling pile scheme

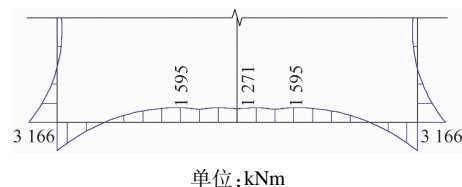


图 16 平板加抗拔桩方案下时家桥站底板结构弯矩图

Fig. 16 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in slab + anti-pulling pile scheme

3) 全拱形板方案。全拱形板方案下时家桥站底板结构截面图和弯矩图见图 17 和图 18。

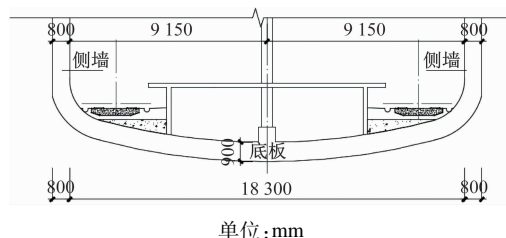


图 17 全拱形板方案下时家桥站底板结构截面图

Fig. 17 Section diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in fully arched slab scheme

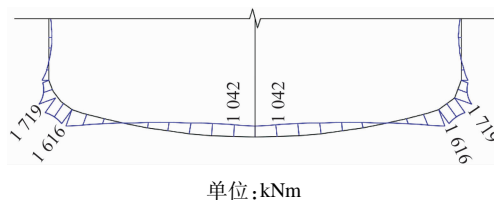


图 18 全拱形板方案下时家桥站底板结构弯矩图

Fig. 18 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in fully arched slab scheme

根据图 17 和图 18 可知:采用拱形板方案时,底板跨中最大弯矩只有 1 042 kNm,结构受力性能最好,底板只需均匀的 0.8 m 厚度即可满足受力要求。青岛地铁 3 号线保儿站即采用此种结构形式。

就受力及经济的合理性而言,本站底板采用全

拱形板方案较为合理,这也是本站设计初期选用的结构形式,但受制于本站施工便利性等因素,拱形板方案最终未能实施。

4) 平底拱方案:考虑现场施工便利,底板外侧(底边)采用平直形式,内侧为改善受力采用拱形。平底拱方案下时家桥站底板结构截面图和弯矩图见图 19 和图 20。

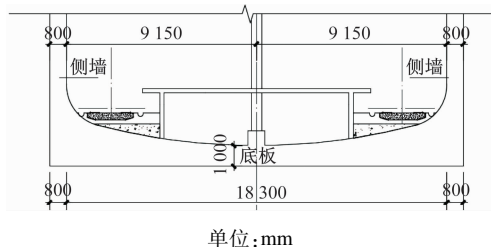


图 19 平底拱方案下时家桥站底板结构截面图

Fig. 19 Section diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in flat bottom arch scheme

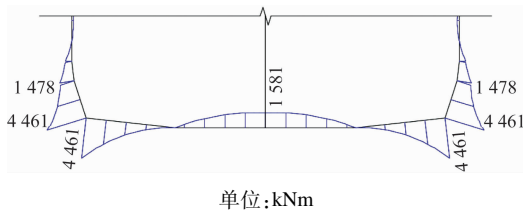


图 20 平底拱方案下时家桥站底板结构弯矩图

Fig. 20 Bending moment diagram of Shijiaqiao Station bottom slab structure in flat bottom arch scheme

根据图 19 和图 20 可知:采用平底拱方案时,底板跨中最大弯矩为 1 581 kNm,采用厚度为 1.0 m 的底板即可满足受力要求;底板支座弯矩较大,达到 4 461 kNm,但由于其板边厚度较大,受力也能满足要求。

通过上述分析可知,全拱形板断面的受力性能及经济性最为合理,但鉴于全拱形板浇筑前需先将基底修成拱形,施工较为不便,且弧形的基底垫层对基坑变形控制也较不利,因此本站底板选择施工更为便利的平底拱形式。

### 3 时家桥站整体方案分析

经上述综合比选,时家桥站确定采用站厅层无柱、站台层单柱的结构形式,其中顶板采用厚 0.8 m 的全拱形结构,中板采用厚 0.4 m 的双跨板,底板采用跨中厚 1.0 m 的平底拱,侧墙采用厚 0.8 m 的直墙。时家桥站标准横断面图如图 21 所示。

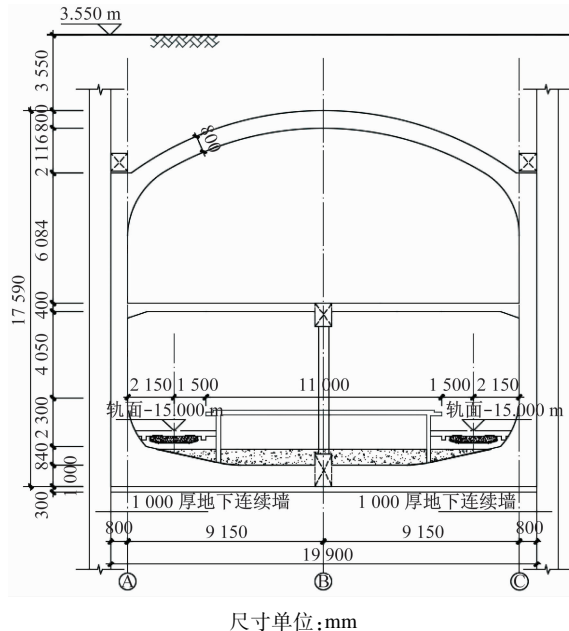


图 21 时家桥站标准横断面图

Fig. 21 Diagram of Shijiaqiao Station standard cross-section

结合时家桥站轨面埋深较大的条件,相较于一般的箱形框架结构,本站因地制宜地采用了顶板无柱拱形的结构形式,中板保留了立柱,而底板则结合施工条件选择了平底拱的结构形式,达到在兼顾施工便利的前提下,既改善车站的受力性能,又创造站厅层大空间的视觉效果。

### 4 结语

本文通过对 8 号线时家桥站不同无柱方案下的构造以及受力分析可知,本站采用无柱拱形顶板 + 梁柱形式中板 + 平底拱形式底板的结构形式,达到了站厅无柱的目的,避免了中板由于楼梯开孔带来的结构受力难题,而采用平底拱形式的底板在改善结构受力的基础上也方便了施工,加快了施工速度,且有利于整个基坑的变形控制。因而本站公共区结构选型较为合理,在工程造价变化较小的前提下,利用结构的富余净空,提升了站内公共区的空间。在后续轨道交通工程建设中,为实现站厅更大的使用空间或底板更好的受力条件,亦可结合具体条件进一步开展无柱中板或全拱形底板方案的研究。

### 参考文献

- [1] 杨成蛟,王晶,张喜桥. 11 m 宽岛式站台明挖无柱拱形地铁车站的设计[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(6): 56.

(下转第 128 页)

极配合,在满足功能需求的前提下灵活调整车站方案,将高风亭调整为低风亭,将双活塞调整为单活塞,这不仅确保了工程顺利实施,而且也将周边环境和交通巧妙地融合在一起。

### 3.3 设计关键点

平安里换乘站在设计过程中需注意以下关键点:

1) 城市规划。平安里站周边远期规划客流主要分布在平安西大街北侧,该车站作为一个四线换乘车站,在设计初期对线路穿越区域用地及道路规划条件进行了全面分析,根据规划需求确定了合理的车站站位、站型,以及出入口数量与位置。这就要求设计方注意:在设计初期,首先应对线路穿越区域用地以及道路规划条件进行全面分析,根据规划需求确定合理的车站站位及站型;车站出入口数量及位置需考虑与预留客流流向匹配;车站外部及交通组织应与城市规划相协调,做好衔接,均衡分流。

2) 车站特征。19 号线平安里站上跨 6 号线区间,此方案导致车站顶板覆土极小,结构专业采用新技术——平顶暗挖工法,不仅可以避让道路下方管线保证方案的可行性,而且可以压缩结构尺寸及空间净高,使得车站规模得以控制。结合 6 号线平安里站的设计方案,19 号线平安里站采用换乘通道形式与 6 号线实现了双向换乘。针对以上车站特征,设计方在方案设计中应注意:车站站位很大程度上决定了车站站型、规模等,优先考虑地下或高

架形式,再确定车站站型及施工工法;结合换乘需求、建设时序及工程实施条件,选择合理的换乘形式。

3) 工程条件。平安里站周边不仅涉及多处管线及文物保护区域,而且在施工过程中地面房屋拆迁困难,以及新增地下改移管线等问题亦不断出现,使得整个设计工程曲折复杂。因此,设计方在设计过程中还应注意:地面房屋拆迁及加固处理应控制在合理工程投资预算范围内;车站周边存在文物保护建筑或古树等环境敏感点时,应对方案做好把控,对其进行避让。

### 参考文献

- [1] 曹宗豪. 北京轨道交通车站的过去、现在和未来[J]. 世界建筑, 2008(8): 74.  
CAO Zonghao. Beijing metro station's past, present and future [J]. World Architecture, 2008(8): 74.
- [2] 金路, 田丹丹. 北京旧城中的地铁站点空间设计探讨[J]. 都市快轨交通, 2014, 27(4): 43.  
JIN Lu, TIAN Dandan. Space design of subway stations in the old city of Beijing[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(4): 43.
- 收稿日期:2022-03-18 修回日期:2022-05-24 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-03-18 Revised:2022-05-24 Published:2024-08-10  
· 第一作者:高楠,高级工程师,gaonan@bjucd.com  
通信作者:刘霞,工程师,liuxia202403@163.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- and Design, 2004(4): 89.
- [4] 张亚辉, 宋玉香, 郭唯伟. 大跨度拱形无柱地铁车站抗震性能分析[J]. 国防交通工程与技术, 2014, 12(6): 53.  
ZHANG Yahui, SONG Yuxiang, GUO Weiwei. An analysis of the anti-seismic performance of a large-spanned arch metro station with no column structure[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2014, 12(6): 53.
- 收稿日期:2022-06-22 修回日期:2022-09-28 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-06-22 Revised:2022-09-28 Published:2024-08-10  
· 第一作者:殷建,高级工程师,312748062@qq.com  
通信作者:沈何杰,高级工程师,530622943@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- (上接第 124 页)
- YANG Chengjiao, WANG Jing, ZHANG Xiqiao. Design of open-cut non-column arch metro station with 11 m wide island platform [J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(6): 56.
- [2] 王益群,徐正良,温玉君,等. 上海市轨道交通 7 号线工程综合技术[C]//2010 城市轨道交通关键技术论坛论文集. 北京:中国土木工程学会,2010.  
WANG Yiqun, XU Zhengliang, WEN Yujun, et al. Comprehensive technology of Shanghai Rail Transit Line 7 project [C]// Proceedings of 2010 Urban Rail Transit Key Technology Forum. Beijing: China Civil Engineering Society, 2010.
- [3] 林作忠. 大跨度无柱地铁车站的建筑特点及结构选型[J]. 铁道勘测与设计, 2004(4): 89.  
LIN Zuozhong. Architectural characteristics and structural selection of long-span column-free subway stations[J]. Railway Survey