

文章编号:1006-2106(2014)12-0057-05

车站轨道梁站台梁一体结构设计研究^{*}

彭华春^{**} 赵志军 杜振华 张 路

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:目前国内城市轨道交通高架车站的轨道梁和站台梁都是按分开的两个结构设计的,这种结构占用的空间较大,造成车站规模变大,不利于节省工程造价,也不利于景观设计;同时地震时,由于轨道梁和站台梁之间没有连接,极易发生碰撞作用,导致轨道梁和站台梁发生破坏甚至倒塌。为了解决这些问题,本文提出一种新型的轨道梁站台梁一体结构,在满足车站使用功能的前提下,对结构的外观和受力进行优化。

研究结论:(1)计算结果表明,该结构的各项指标均满足规范要求,结构安全可靠;(2)可以对预应力钢束进行优化,开孔范围内边主梁和中主梁采用不同的预应力钢束规格,使得二者的应力和变形基本相同;(3)开孔范围内边梁为 T 梁,截面抗扭刚度较小,可进一步优化截面,改善边主梁的受力;(4)道床板的厚度不宜过小,以免局部变形或局部的振动对轨道结构的平顺性产生影响,进而影响行车安全和舒适度;(5)本研究成果可广泛应用于城市轨道交通高架车站。

关键词:城市轨道交通;高架车站;轨道梁站台梁一体结构

中图分类号:U231.4 文献标识码:A

Design and Study of the Station Rail Beam and Platform Beam Integrated Structure

PENG Hua - chun, ZHAO Zhi - jun, DU Zhen - hua, ZHANG Lu

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: Currently the rail beam and the platform beam of the urban rail transit elevated station are designed as two separate structure. This structure occupies larger space and causes the station scale larger. It is not conducive to save project cost and to the landscape design. At the same time when there is an earthquake, because there is no connection between the rail beam and the platform beam, it is prone to collide, resulting in a rail beam and a platform beam damaging or even collapsing. In order to solve these problems, this paper proposes a new kind of rail beam and platform beam integrated structure, on the premise of meeting the station using function, the appearance and stress of the structure is optimized.

Research conclusions: (1) The results show that, all the indexes of the structure can meet the specification requirements. It is a safe and reliable structure. (2) The prestressed steel can be optimized, and opening range side girder and middle girder can adopt different specifications, making the two stress and deformation basically the same. (3) Opening range side beam is T beam that the torsional rigidity of cross section is small. The side girder stress can be improved by further optimization of section. (4) The slab thickness should not be too small, so as to avoid local deformation or local vibration impact on smooth of track structure, thereby affecting driving safety and comfort. (5) The research results can be widely used in elevated rail transit station.

Key words: urban rail transit; elevated station; rail beam and platform beam integrated structure

^{*} 收稿日期:2014-07-24

^{**} 作者简介:彭华春,1966 年出生,男,教授级高级工程师,现任中铁第四勘察设计院集团有限公司桥梁处副总工程师。

1 引言

近年来,随着我国各城市经济实力的增长以及人口城镇化的推进,城市轨道交通项目得到了迅猛的发展。作为一种高效环保的交通方式,城市轨道交通得到越来越多的人肯定。但是,轨道交通高架车站占用城市土地资源及城市空间,这就要求设计者在保证结构安全的前提下研究如何使高架车站的空间布置更加合理,如何使高架车站这一庞大建筑融入城市景观。本文提出一种新型的结构,兼有轨道梁和站台梁的功能,同时可以优化车站的布局。

2 车站轨道梁站台梁发展现状

高架车站的结构设计出现了很多新颖的形式。但是,目前的轨道梁和站台梁要么是按分开设计的(图1),要么就是将站厅层顶板直接用作轨道梁(图2)。轨道梁承受列车活载作用,采用铁路桥梁规范进行设计;站台梁承受人群荷载作用,采用建筑结构规范进行设计^[1-2]。

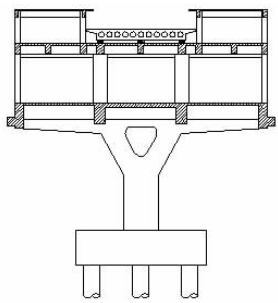


图1 建桥组合结构

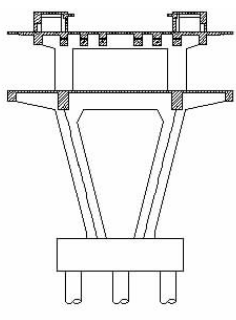


图2 建桥合一结构

将两种结构分开平行布置的方式存在一些弊端。首先,该结构形式占用的空间较大,造成车站规模变大,不利于节省工程造价;其次,在地震时,由于轨道梁和站台梁之间没有连接,极易发生碰撞作用,导致轨道梁和站台梁发生破坏甚至倒塌;再次,该结构形式增加了整个高架车站的体量,使得位于地表的高架车站显

得更加突兀,不利于景观设计。

对于将站厅层顶板直接用作轨道梁的情况,虽然解决了分开设计的一些弊端,但是由于该结构不设支座,列车通过时车站振动很大,不利于车站的商业开发。基于以上原因,本文研究将轨道梁与站台梁设计成为一个整体结构,采用槽形梁的结构形式。槽形梁的两个主梁之间的部分作为轨道梁,在两个主梁上方悬出一个平台作为站台梁,轨道梁的边主梁既是轨道梁的主梁又是站台梁的腹板,在横向上压缩了轨道梁和站台梁的总宽度,使得轨道梁和站台梁横向连接在一起;在竖向上,由于采用槽形梁的形式,降低了轨面标高,相当于降低了整个车站的标高,减少了车站的工程造价及后期的运营费用。同时,这种整体结构可有效避免轨道梁和站台梁之间的地震碰撞反应,从而提高高架车站的抗震安全性。该结构在站台梁上开孔设置楼扶梯,避免了楼扶梯外挂,有利于整个车站的景观设计及建筑布局^[3-5]。

通过对铁路和城市轨道交通高架车站的调研发现,铁路高架车站多采用“桥-建分离”的结构形式,城市轨道交通的高架车站多采用“桥-建组合”的结构形式,部分采用“桥-建合一”的结构形式。不管采用哪种结构形式,目前都没有将轨道梁与站台梁设计成一个整体构件的做法,有必要对其进行深入研究,探讨轨道梁站台梁一体结构的优点及工程可行性。

3 轨道梁站台梁一体结构设计

3.1 设计方案

3.1.1 轨道梁站台梁一体结构优点

将轨道梁和站台梁设计成一个整体结构,各个部分分别承担轨道梁和站台梁的功能,与传统的分离式轨道梁和站台梁相比,该结构具有以下优点:

一是,该结构形式占用的空间较小,节省了车站规模,有利于节省工程造价。

二是,轨道梁和站台梁连接成一个整体,地震时彼此之间不会发生碰撞作用,提高了结构的抗震安全性。

三是,该结构形式减小了整个高架车站的体量,有利于景观设计。

四是,该结构降低了车站的轨面标高,进而降低了全线的高架段的轨面标高。

五是,该结构在站台梁上开孔设置楼扶梯,避免了楼扶梯外挂,有利于整个车站的景观设计及建筑布局。

3.1.2 方案比选

将轨道梁和站台梁做成一个整体结构,中间部分作为轨行区,两侧作为站台梁,并在站台梁上开孔安装

楼扶梯。根据线间距及限界要求,中间底板跨度为 8 m,有轨行区中间加一道主梁和不加主梁两种方案,如图 3、图 4 所示。中间加主梁,底板的跨度变小,结构受力性能得到改善,计算更容易通过,并且也能满足限界要求。

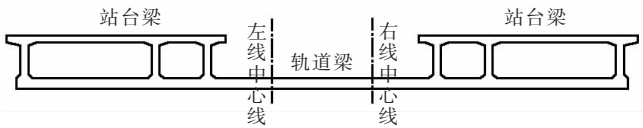


图 3 轨道梁站台梁一体结构方案一



图 4 轨道梁站台梁一体结构方案二

若不考虑楼扶梯开孔,将楼扶梯外挂,结构的横向宽度可以减小,计算也很容易通过,如图 5 所示。但是,这种结构将楼扶梯单独考虑,不利用整个车站的建筑造型。



图 5 轨道梁站台梁一体结构方案三

方案一涵盖了方案二和方案三的全部功能,并且方案一的结构计算难度更大,为了让一体结构更具有代表性,选择方案一进行设计计算。结构的三维空间如图 6 所示。

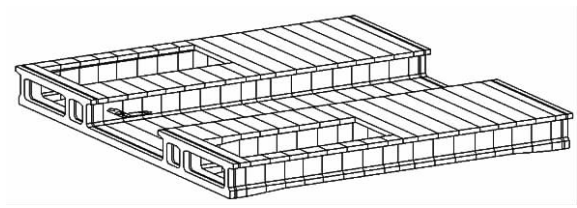


图 6 轨道梁站台梁一体结构三维图

3.2 设计计算

3.2.1 技术标准

- 线路等级:城市轨道交通。
- 正线数目:双线,线间距 3.9 m。
- 轨道结构形式:无砟轨道。
- 设计活载:B 型车,轴重 140 kN;人群活载 5 kN/m²。
- 设计速度:80 km/h。
- 风荷载强度:基本风压强度 $W_0 = 600 \text{ Pa}$ 。
- 地震动峰值加速度: $A_g \leq 0.15g$ 。

3.2.2 结构设计

本文以一全长 19.96 m 跨度梁为研究对象,构造形式为纵梁+整板体系,计算跨度 19.36 m,跨中截面特征点处梁高为 1.89 m,顶板厚度 25 cm,底板厚度 38 cm,梁高在距支座中心线 3 m 处开始加高,支点截面处梁高增至 2 m,顶、底板及腹板在该范围内同时开始加厚,顶板由 25 cm 渐变至端部的 40 cm,腹板由 27 cm 渐变至 40 cm,底板由 38 cm 渐变至端部的 49 cm。全桥采用等宽桥面,直腹板箱形截面主梁,桥面横向全宽 22.20 m,其中站台梁部分宽度 15.4 m,轨道梁部分桥面宽度 6.8 m。梁底面横向全宽 21.5 m。边支点处端隔梁厚 1.0 m。为便于检查,横隔梁处均设进人洞。雨棚柱作用在外侧的边梁上,每孔梁每侧设置 2 根雨棚柱,具体尺寸如图 7、图 8 所示。

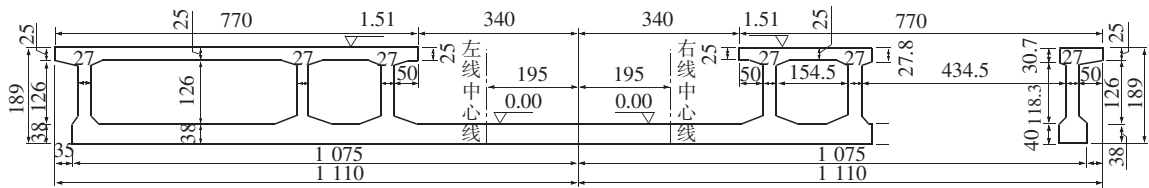


图 7 1/2 中跨跨中截面(不开孔及开孔)(单位:长度为 cm,标高为 m)

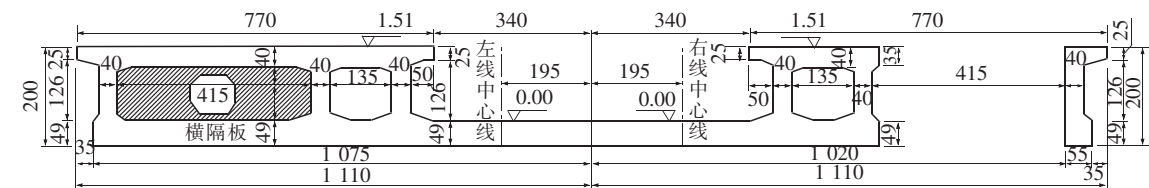


图 8 1/2 支点截面(不开孔及开孔)(单位:长度为 cm,标高为 m)

3.2.3 计算结果分析

3.2.3.1 作用荷载

二期恒载包括线路设备重、隔声屏障、管线及其支承设备、栏杆、桥面防水层和保护层等重量,不开孔的位置按 105 kN/m 计算,开孔的位置按 120 kN/m

计算。

楼扶梯荷载:恒载竖向力 $N=2\,036\text{ kN}$,弯矩 $M=5\,418\text{ kN}\cdot\text{m}$;活载竖向力 $N=700\text{ kN}$,弯矩 $M=842\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

雨棚柱荷载按表 1 计算。

表 1 雨棚柱荷载

荷载	恒载	活载	风压 1	风压 2	风吸	升温	降温
FZ/kN	173.56	126.55	17.67	53.54	-188.51	-5.93	5.93
$MX/(\text{kN}\cdot\text{m})$	2.34	2.04	-2.79	0.79	-2.77	284.11	-284.11

3.2.3.2 应力及强度

主梁采用 C50 混凝土,按全预应力构件考虑。根据计算,主力作用下跨中最大弯矩为 $34\,092\text{ kN}\cdot\text{m}$,

主+附加力作用下跨中最大弯矩为 $38\,368\text{ kN}\cdot\text{m}$,纵向采用 24 根 $12\phi_{15.2}$ 预应力钢束。

结构的应力及强度等计算值如表 2 所示。

表 2 应力及强度

项目	上缘最大应力/MPa	上缘最小应力/MPa	下缘最大应力/MPa	下缘最小应力/MPa	最大剪应力/MPa	抗裂安全系数最小值	最大主应力/MPa	最小主应力/MPa	强度安全系数
主力	10.81	3.19	2.34	0.55	0.89	2.07	10.20	-0.53	2.64
主+附	11.14	2.69	2.49	0.29	0.90	2.03	10.31	-0.84	2.63

3.2.3.3 工后挠度

《地铁设计规范》规定:预应力混凝土梁的后期徐变拱度或挠度应严格限制。线路铺设后,徐变拱度或挠度不宜大于 15 mm。上二期恒载后位移为 4.1 mm,运营阶段位移为 7.3 mm,工后挠度为 3.2 mm,满足规范要求。

位移为 0.885 mm,发生在中跨跨中开口截面附近,小于容许值 $19\,360/2\,000=9.68\text{ mm}$;梁端竖向转角 0.156‰ ,小于 3‰ 。梁体刚度满足规范要求。

3.2.3.5 横向计算

采用桥梁博士 V3.03 平面软件计算,横向采用 $5\phi_{15.2}$ 预应力钢束,间距 50 cm。计算结果如图 9、图 10 所示。

3.2.3.4 活载位移

在 B 型车列车荷载作用下,主梁跨中最大竖向

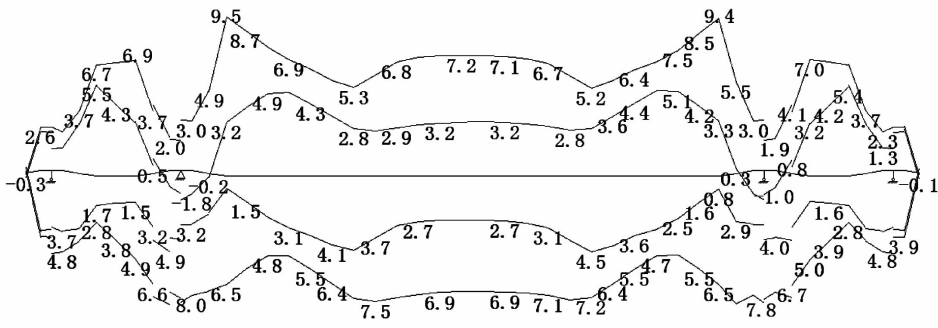


图 9 主力作用下道床板上下缘应力包络图(单位:MPa)

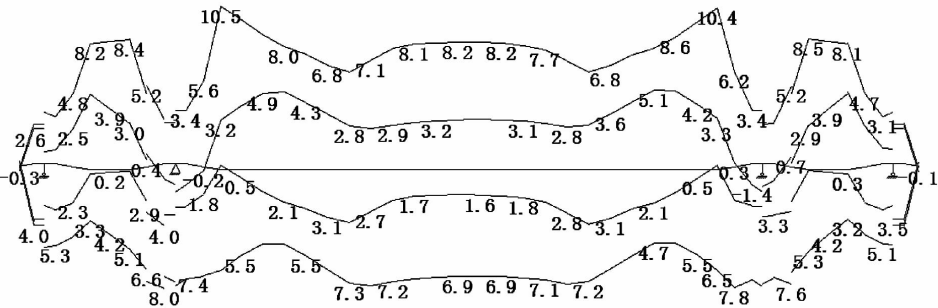


图 10 主+附作用下道床板上下缘应力包络图(单位:MPa)

主力组合下上缘最大应力 9.51 MPa, 最小应力 -1.77 MPa, 下缘最大应力 8.01 MPa, 最小应力 -0.348 MPa, 主压应力最大值 9.51 MPa, 主拉应力最大值 -1.77 MPa。

主+附组合下上缘最大应力 10.5 MPa, 最小应力 -1.77 MPa, 下缘最大应力 8.01 MPa, 最小应力 -0.348 MPa, 主压应力最大值 10.5 MPa, 主拉应力最大值 -1.77 MPa。

通过对结构的纵向和横向计算可见, 结构的各项指标均满足规范要求, 该结构安全可靠。

4 轨道梁站台梁一体结构施工

轨道梁站台梁一体结构由箱梁和槽形梁组成。箱梁可以采用现浇法、预制架设法、节段拼装法等工法, 与槽形梁的施工方法基本一致^[6]。但是, 把两个结构组成一个整体应用于车站, 采用预制架设法显然不大合适, 结构的横向过于庞大, 吊装比较困难, 采用节段拼装法也存在同样的问题。采用现浇法施工显然是可以满足车站的空间要求和施工技术条件的。除了现浇法之外, 还可以考虑预制架设和现浇施工的组合工法, 将结构左右两个箱梁预制后, 运到车站吊装施工, 就位后再现浇中间的轨道板。

5 结论

根据计算得出了如下几点结论:

(1) 轨道梁站台梁一体结构的纵向和横向计算结果表明, 该结构的各项指标均满足规范要求, 结构安全可靠。

(2) 因开孔尺寸较大, 对截面的削弱明显, 使得有开孔范围内被开孔分割成的两片边主梁不能很好地分担道床板上作用的荷载等, 道床板范围内的荷载主要由与道床板直接相连的箱梁承受。最外侧的两片主梁以承受直接作用在其上的雨棚柱荷载为主。因此, 可以对预应力钢束进行优化, 开孔范围内边主梁和与道床板直接相连的箱梁采用不同的预应力钢束规格, 使得二者的应力和变形基本相同。两边主梁可根据其分配的活载内力及直接作用在其上的雨棚柱荷载等按两端弹性支承在整体箱梁上的单梁计算。

(3) 因开孔范围内边梁为 T 梁, 截面抗扭刚度较小, 可进一步优化截面, 尽量减小截面形心与雨棚柱柱脚的偏心, 以改善边主梁的受力。

(4) 道床板作为槽形梁的底板, 横向支承在两侧

的箱梁上, 既作为主梁的一部分参与纵向受力, 又在直接作用其上的荷载作用下产生横向的局部变形。因此, 道床板的厚度不宜过小, 以免局部变形或局部的振动对轨道结构的平顺性产生影响, 进而影响行车安全和舒适度。

参考文献:

- [1] 毛学锋, 许智焰, 周永礼. 深圳地铁 3 号线高架车站结构设计研究[J]. 铁道工程学报, 2011(12): 82-88.
Mao Xuefeng, Xu Zhiyan, Zhou Yongli. Research on Structure Design of Elevated Station of Line 3 of Shenzhen Metro [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(12): 82-88.
- [2] 邱剑, 叶志雄, 温四清, 等. 承轨结构设计采用铁路规范与建筑规范的比较[J]. 铁道工程学报, 2012(11): 78-93.
Qiu Jian, Ye Zhixiong, Wen Siqing, etc. Comparison between Railway Codes and Building Codes in Design of Support Rail Structure [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(11): 78-93.
- [3] 史娣. 武汉站桥建合建结构桥梁设计的关键技术研究[J]. 桥梁建设, 2008(6): 34-36.
Shi Di. Research of Key Techniques for Bridge Design in Integrated Bridge and Building Structure of Wuhan Railway Station [J]. Bridge Construction, 2008(6): 34-36.
- [4] 褚松涛, 曹少卫, 高夕良. 成都东客站承轨层桥建合一结构设计施工综合技术[J]. 建筑施工, 2010(6): 520-524.
Chu Songtao, Cao Shaowei, Gao Xiliang. Comprehensive Technology of Structure Design and Construction for Bridge and Building Combined Rail Bearing Floor of Chengdu East Railway Station [J]. Building Construction, 2010(6): 520-524.
- [5] 卢俊林. 高架站建桥合一模型结构设计浅议[J]. 山西建筑, 2011(29): 49-50.
Lu Junlin. Analysis on Bridge in one Model Structure Design of Elevated Station [J]. Shanxi Architecture, 2011(29): 49-50.
- [6] 施曙东. 轻轨工程槽型梁主要施工方法比较及分析[J]. 城市轨道交通研究, 2011(9): 89-93.
Shi Shudong. Comparison and Anylysis of Channel Girders' Constrution Method [J]. Urban Mass Transit, 2011(9): 89-93.

(编辑 梅志山)