

基于预应力锚栓技术的悬挂式单轨钢柱脚设计

陈敏刚

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:随着中国城市化进程的深化,全国轨道交通建设形势如火如荼。悬挂式单轨交通桥墩采用预制拼装钢立柱,施工速度快,占地少,可有效减少轨道交通建设对现状交通的影响。现以宁波杭州湾新区城市全域旅游配套基础设施工程为背景,对钢立柱柱脚常见构造形式进行回顾和比较,提出了一种基于预应力锚栓的节点连接形式。该节点连接形式施工方便,整体性好,节点刚度大,抗疲劳性能优越。

关键词:悬挂式单轨结构;钢柱脚;预应力锚栓;预制拼装

中图分类号:U239.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)07-0095-02

0 引言

随着中国城市化进程的深化,越来越多的城市加入到轨道交通建设的队伍之中。轨道交通对于改善出行环境、拓展城市空间、提升城市形象有着不可替代的重要意义。

但传统的轨道交通桥梁存在着施工过程中占地范围大、施工周期长等问题,使得本就拥堵的城市现状交通雪上加霜。

近年来随着预制拼装技术在我国市政建设领域的逐步成熟,为城市轨道交通建设带来了新的思路。

悬挂式单轨交通系统通常采用钢立柱+钢制轨道槽形梁的结构形式,并采用工厂预制现场拼装的施工工艺,拥有施工便捷快速、质量稳定可靠、对交通影响小等特点。因而,悬挂式单轨交通系统的推广,能有效地缓解城市轨道交通建设过程中的阵痛,并且可以实现现场施工对周围环境的零污染和零排放,绿色环保。

1 悬挂式单轨结构特点与发展历程

悬挂式单轨交通系统的车辆悬挂在轨道梁的下方,通过车辆上部的走行轮沿着开口轨道梁内的轨道进行移动。由于走行系统位于箱体内部,噪音比常规轻轨小。同时轨道梁的墩柱可利用现有地面道路中央分隔带,占地面积小,对城市地面交通系统运行空间影响小。

悬挂式单轨交通系统,最早起源于德国。1893

年德国人 Eugen Langen 发明了单轨交通系统。1901年世界上第一条悬挂式单轨交通线路在德国伍珀塔尔市落成。伍珀塔尔线全长13.3km,全线共有车站20座,至今仍在运行使用。

二战结束以后,日本开始着手研究悬挂式单轨交通系统。日本在德国技术的基础上,发展出了适合自己国家特点的悬轨制式。目前日本已建成有上野动物园线、湘南线、千叶线等线路,成为世界上拥有悬轨线路最长的国家。

我国悬挂式单轨起步较晚,最近10年才逐步开始研究并建设,但发展速度很快。2016年9月由西南交通大学、中唐空铁等国内多家单位联合研制的国内首条悬挂式单轨试验线在四川成都落成。由于车辆外观形似熊猫,又被称为“熊猫空铁”。同年11月,陕西韩城悬挂式单轨项目也正式启动。韩城悬挂式单轨项目由中车青岛四方机车公司提供技术支持。

目前,全国范围内还有武汉、开封、宁波杭州湾新区等地正在同时积极开展悬挂式单轨的规划建设。

鉴于钢结构施工快速、节省空间、安装方便等优点,目前国内外新建的悬挂式单轨交通项目全部采用钢立柱的结构形式。

2 钢柱脚设计的现状

钢柱脚按照柱脚构造形式可分为外露式、外包式、埋入式和插入式四种^[1];钢柱脚按受力情况可分为铰接和刚接柱脚两种形式。外包式、埋入式和插入式柱脚均为刚接柱脚,而外露式柱脚可做成铰接式也可做成刚接式。各种钢柱脚形式中,以外包式与外露式最为常见,如图1所示。

收稿日期:2020-12-14

作者简介:陈敏刚(1988—),男,硕士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

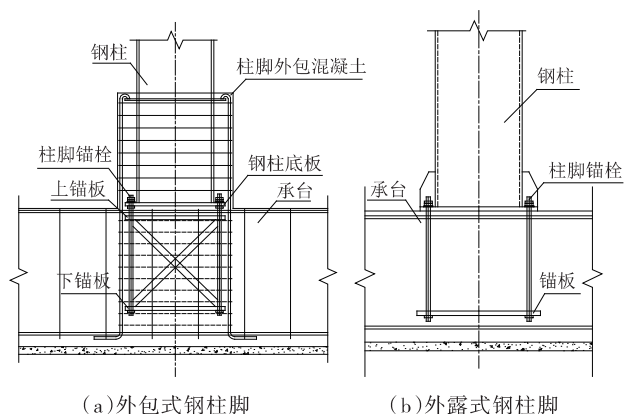


图1 常见钢柱脚形式图

外包式钢柱脚在钢立柱安装完成后,需要搭设模板并绑扎柱脚外包脚钢筋,最终浇筑混凝土完成整个安装过程。外包式钢柱脚由外包混凝土保护,耐久性优于外露式钢柱脚。同时,钢立柱与外包混凝土可形成组合截面,提高了柱脚的整体刚度,属于比较理想的刚接柱脚。

在外包式钢柱脚安装过程中,需要绑扎钢筋、浇筑混凝土等工序,施工速度较慢,而悬挂式单轨交通系统线路长、立柱数量多,采用外包式钢柱脚将消耗大量工期。同时,外包式钢柱脚尺寸是四种柱脚形式中尺寸最大的,对城市道路断面的空间需求也是最大。因此,目前国内悬挂式单轨项目多数采用外露式钢柱脚。

3 悬挂式单轨钢立柱设计的改进

常规外露式钢柱脚应用于悬挂式单轨交通系统有三个缺点。

缺点一,悬挂式单轨桥梁上部结构通常采用钢结构,自重较轻,但列车荷载占总体荷载比重大,活载产生的应力幅大,且车辆活荷载作用时间短,具有明显的冲击效应。而普通锚栓在拧紧时处于拉、扭复杂应力状态,长期承受较大动力荷载,容易产生疲劳断裂。

缺点二,列车双线交替运行时,钢柱脚将交替承受正负弯矩的作用,而柱脚螺栓将交替承受拉力与压力,容易导致螺栓螺母松动,为车辆安全运行带来风险。

缺点三,悬挂式单轨交通系统的正常运行对轨道梁的变形有较高的要求。目前,国内规范(《悬挂式单轨交通设计标准》DBJ51/T 099—2018)对轨道梁在桥墩顶横桥向水平位移差引起的轨道梁梁端水平折角限制为4‰。而下部立柱刚度,对在横桥向水平

力作用下轨道梁水平折角影响较大。而常规外露式钢柱脚,在弯矩作用下,钢柱脚底板受拉锚栓一侧将在一定程度上与混凝土脱离接触,实际外露式钢柱脚并非完全刚接,而是存在一定的转动刚度,而柱脚微小的转动变形传递到上部轨道梁就会有可观的变形。

基于以上三点,现提出采用预应力锚栓的钢柱脚形式来解决常规外露式钢柱脚应用于轨道交通结构的弊端。

首先,预应力锚栓一般采用直接张拉法进行施工,可以解决常规锚栓复杂受力的问题,大大提高锚栓抗疲劳性能^[2]。

其次,预应力锚栓采用专用设备张拉,初始张拉力远大于常规地脚螺栓,锚栓螺母松动脱落的可能性将大大降低^[3]。

最后,对锚栓施加足够的预拉力以后,可以保证柱脚底板始终与混凝土表面密贴,混凝土表面始终处于受压状态,从而保证柱脚从受力模式上接近于理想刚接,有效提高了钢立柱整体刚度。

4 预应力锚栓钢柱脚的计算

为保证预应力锚栓钢柱脚底板混凝土始终处于受压状态而不脱空,即保证柱脚刚接,则需满足以下条件:

$$\frac{0.8nP}{A} \geq \frac{M}{W} - \frac{N}{A} \quad (1)$$

式中: n 为预应力锚栓总数量; P 为单个预应力锚栓张拉力设计值; A 为柱脚底板面积; W 为柱脚底板抗弯模量; N 、 M 分别为柱脚承受的轴力设计值与弯矩设计值。

同时,为保证柱脚下法兰板与承台混凝土的接触面不发生局部破坏,应满足下列条件:

$$1.35 \left(\frac{M}{W} + \frac{N}{A} \right) \leq \frac{nP}{A} \leq f_c \quad (2)$$

式中: f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值。

对于预应力锚栓的计算^[4],应满足下列条件:

$$N_{\max}^b \leq 0.8P \quad (3)$$

式中: $N_{\max}^b$ 为锚栓所受最大拉力。

5 结语与展望

根据悬挂式单轨结构桥梁的结构特点,采用更为合理的预应力锚栓柱脚形式,与常规外露式柱脚锚栓连接形式相比,不但能加大柱脚节点的刚度、加

3.2 文化元素设计

元素在设计中起着画龙点睛的作用,既需要有所体现,又不能过于突兀、过于具化,应结合周边环境进行选用(见图7、图8)。



图7 龙凤元素



图8 古典周边场景

3.3 堤岸衔接设计

结合河道堤岸和沿线景观,在做好挡墙与结构的衔接的同时,还应做好沿河步道与桥下空间的衔接,在装饰风格上寻求统一,打造居民亲水沿河走廊。

3.4 夜景照明设计

除了满足夜间功能照明,还应与河道夜景照明紧密结合、统一风格,做好桥梁和桥下空间的亮化设计。

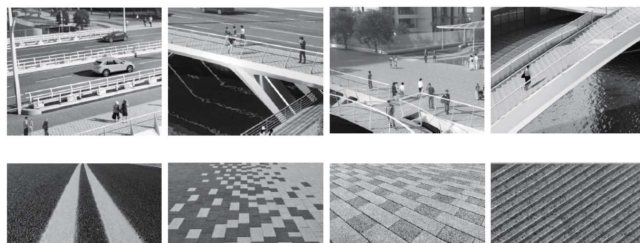
3.5 桥梁附属设施设计

桥梁栏杆作为桥梁附属设施的重要组成部分,

在各个视角均占有一席之地。栏杆应与桥型进行匹配,在保证安全的同时,做到细节上的“一桥一景”和主题上的传承。

桥面铺装应做好与周边步道的衔接,在功能上要保证连续,在材质上要保证统一(见图9)。

车行桥-机动车道 车行桥-人行道 人行桥-非机动车道 人行桥-特色步道



沥青路面 地砖 延续特色街巷铺设 防滑石材

图9 铺装材质

3.6 活动策划设计

根据区域路网功能策划大型的漫步环湖活动,结合河道开发水上环游路线,体验别具一格的视角(见图10)。

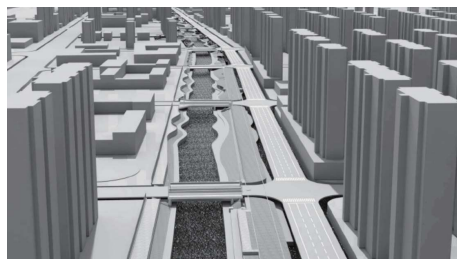


图10 总体设计成果场景图

4 结 语

近年来,区域路网建设规模化,内河上的桥梁不仅仅承载着功能需求,与周边环境和城市设计的融合也越来越被关注和重视。本文意在通过策略分析为区域景观桥梁协同策划提供思路和解决对策。

(上接第96页)

强基础的整体性,还能提高柱脚在列车往复荷载作用下的抗疲劳性能,提高钢柱脚的耐久性。同时,预应力锚栓钢柱脚与埋入式或插入式钢柱脚相比,又能大大缩短施工周期,减少项目施工对城市交通的运行压力。

综上,预应力锚栓钢柱脚充分结合了外露式柱脚与埋入式柱脚的优点,必将在未来的城市轨道交通建设中大放异彩。

参考文献:

- [1] 但泽义.钢结构设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [2] 马人乐,邹智兵,孙永良.预应力锚栓柱脚设计及应用[J].钢结构,2010,25(4):13-16.
- [3] 王恒,魏成权,张全民.高强预应力锚栓预埋、先张法张拉及后灌浆技术[J].建筑钢结构进展,2005,7(3):52-54.
- [4] 童树根,吴光美.钢柱脚锚栓的设计方法[J].建筑钢结构进展,2005,7(1):27-36.