

# 预制U梁在郑州城市轨道交通高架桥中的应用

朱君卿\*

北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037

**摘要:** 预制U梁作为一种下承式预应力混凝土开口薄壁构件, 目前正逐渐成为轨道交通高架桥一种重要的结构形式。通过研究轨道交通预制U梁在郑州轨道交通高架桥中的应用实践, 并归纳其环境适应性、设计施工要点及结构受力特点, 表明预制U梁的设计施工技术并使其更好地应用到轨道交通高架桥中具有重要的意义, 也为其他工程的设计及施工起到一定的借鉴作用。

**关键词:** 轨道交通高架桥; 预制U梁; 开口薄壁构件

## Application of prefabricated U-beam in Zhengzhou Urban Rail Transit Viaduct

Jun-Qing Zhu\*

Beijing Urban Construction & Development Group Co., Limited., Beijing 100037, China

**Abstract:** As a kind of through pre-stressed concrete open thin-walled component, prefabricated U-beam is gradually becoming an important structural form of rail transit viaduct. By studying the application practice of prefabricated U-beam in Zhengzhou rail transit viaduct and summarizing its environmental adaptability, design and construction points, and structural stress characteristics, it shows that the design and construction technology of prefabricated U-beam. The better application of prefabricated U-beam to the rail transit viaduct is of great significance and also plays a certain reference role for the design and construction of other projects.

**Keywords:** Rail transit viaduct; prefabricated U-beam; open thin-walled component

### 一、前言

随着城市轨道交通的发展, 轨道交通高架桥的结构形式也日益丰富。随着U型梁在国内外的设计实践, 目前正逐渐成为城市轨道交通高架桥的一种重要梁型。U型梁作为一种下承式预应力混凝土空间开口薄壁结构, 与传统的上承式结构有不同的特点, 其中在使用功能、建筑景观、降噪等方面与其他梁型相比具有较大的优势, 目前在国内外正逐渐得到推广和应用, 本文以预制U梁在郑州市南四环至郑州南站城郊铁路工程中的应用情况进行分析, 表明研究U型梁的设计、施工技术并使其更好地应用到轨道交通高架桥中具有重要的意义, 同时也为发展环境友好型高架桥积累一些设计施工经验。

### 二、U梁国内外应用概况

国外最早的预应力混凝土槽形梁是1952年英国建造的罗什尔汗桥, 此后日本、西德、澳大利亚相继在铁路桥梁中应用<sup>[1]</sup>。1980年后我国铁路在北京等地成功采用20至40 m跨不等的简支和连续槽型梁和50 m跨的刚性斜拉索槽型梁<sup>[2]</sup>。根据城市轨道交通环境景观要求、荷载特点, 薄壁开口构件的理论研究及应用<sup>[3]</sup>, U型梁在槽型梁的基础上进一步优化, 截面尺寸更小, 经过大量的设计、实践和试验研究, 逐渐形成了具有城市轨道交通特色的U型梁结构<sup>[4]</sup>。

#### (一) 国外应用概况

国外轨道交通U型梁系统应用实例很多, 如智利的圣地亚哥地铁、荷兰鹿特丹地铁延伸线、印度新德里3号线和迪拜轨道交通系统<sup>[5]</sup>采用了U型梁。

#### (二) 国内应用概况

\*通讯作者: 朱君卿, 1983年3月, 男, 汉族, 山西阳泉人, 就职于北京城建设计发展集团股份有限公司, 高级工程师, 硕士研究生。研究方向: 桥梁设计。

国内的轨道交通U型梁近年来也不断发展,目前已运营和在建的轨道交通项目有上海八号线、南京地铁二号线东延线和东延线延伸段、上海十一号线、重庆轨道交通一号线(沙大段)、上海十七号线、南京机场线、青岛-海阳城际(蓝色硅谷段)轨道交通工程、郑州市南四环至郑州南站城郊铁路工程、长春北湖线等设计均采用了U梁,据目前统计采用U梁的线路长度约达147公里。

### 三、预制U梁环境适应性分析

郑州市南四环至郑州南站城郊铁路工程,线路全长41.15 km,其中高架线长约16 km,其余为地下线和过渡段,全线共设车站18座,其中高架车站7座。本工程高架线沿107国道、泰山路和华南城大道敷设,是郑州市轨道交通第一条采用高架敷设方式的线路。该高架线路穿越了龙湖组团、华南城组团,龙湖镇重在文化教育、居住和旅游休闲度假,华南城重在商贸物流,是该区域重要的人文和商业连廊。通过以下对本工程高架线路敷设方式的研究,并结合郑州的人文、历史、城市规划,以及本工程的周边环境等因素,推荐采用城市轨道交通高架U型梁系统,能很好的实现安全、耐久、节能、环保、环境友好型工程。

#### (一) 107国道和泰山路段

高架线路沿龙湖镇内的老107国道路东侧、泰山路路中走向,根据新郑市总体规划,龙湖镇的发展方向为文化教育、休闲度假和高科技工业。将生态观念融入规划,充分考虑生态环境,考虑人、建筑、环境的协调发展,实现规划后的龙湖镇东部为农业生产区,中部镇区为综合经济区,西部为工矿建材、林果区。

#### (二) 华南城高架段

经华南城西站后,高架线路沿华南城大道路中走向,规划实现后的华南城将成为集商贸交易、物流集散、展示推广、信息交流、创新促进、产业培育、特色旅游、城市化综合配套等八大功能于一体的超大规模现代综合商贸物流城,是一座现代化的新城。

总之,本工程高架线经过107国道、泰山路和华南城大道,是典型的城市道路高架线,工程的整体景观要求高,本工程推荐采用城市轨道交通高架U型梁系统。U型梁利用外腹板折线造型反射光线,减小了梁体的视觉体量,形成桥梁整体纤细挺拔的视觉效果;同时U型梁的外腹板结构可阻隔轮轨噪音,大大减少声屏障的用量,能较好的与城市周边环境相适应,并融于优美的现代城市和生态环境当中。

### 四、预制U梁功能特点分析

本工程为郑州市轨道交通第一条具有高架敷设方式的线,高架段的桥梁应该在总结和借鉴以往高架桥梁工程的基础上,为充分体现高架桥的优势,选择什么样的高架结构形式对实现环境友好型工程意义重大,推荐采用U型梁系统主要优势体现在以下几个方面:

#### (一) 建筑高度低

作为下承式结构相比上承式结构,有利于上跨、下穿城市道路桥梁,优化线路纵断面和车辆运行条件,降低运营成本<sup>[6]</sup>。

#### (二) 降噪效果好

对比常规结构,U梁腹板结构具有阻隔轮轨噪音的作用;U梁没有列车震动引起的箱梁体内的混响噪音;本工程利用腹板内侧贴吸声材料,可以进一步提高降噪效果<sup>[3]</sup>。

#### (三) 景观效果好

U梁不但本身梁体外型优美,而且主梁上翼缘和腹板遮挡了外观较差的桥面系及车辆走行系统,只露出整洁、美观的上部车体。

#### (四) 经济性好

U梁对比同样跨度的箱梁截面尺寸小,混凝土用量少,自重及二期荷载轻,可节约土建造价;U型梁大幅度降低了高架线环保工程造价和全寿命周期运营成本,减少城市污染,降低噪声、改善景观,直接或间接经济效益明显。

#### (五) 功能性好

U梁结构受力架构本身就是行车和设备的功能架,结构受力需要的主梁上翼缘可兼做检修及旅客紧急疏散通道,下部空间可布置管线,使得U梁综合功能性提高。

#### (六) 行车安全

两侧腹板可防止脱轨车辆倾覆下落，给行车安全提供了可靠的保证，且舒适性、平稳性和安全性均满足规范要求。

(七) 工法多样性

采用梁场预制，运架一体施工，与现浇工法相比具有造价低、有效降低对道路交通及环境影响，减小后期运营养护费用，节省全寿命造价等优点。

五、预制 U 梁设计系统研究

轨道交通高架桥作为城市地面的永久性建筑，其结构造型、桥面设备布置方案是否能与城市环境融为一体，使其成为适应城市景观的建筑，实现安全、耐久、节能、环保、环境友好型工程，是本工程U梁系统设计方案研究的关键，也是要达到设计目标。

(一) 外型研究

全线高架桥梁结构形式应尽量统一，协调高架结构上、下部各部尺寸，高架线形流畅、匀称、协调，强调水平向的延伸感，墩柱规则、有序，形成韵律感、节奏感和雄伟的气势，整体外形方案如图1所示。

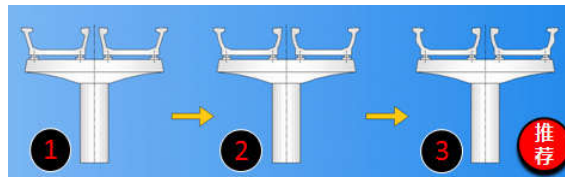


图1 外型方案

在方案1和2优点的基础上进行优化，方案3对外腹板进行富有规律的变化，U梁外侧突起升高，增加立面阴影面积，视觉上降低U梁视觉高度，层次分明，腹板厚度增大，受力更合理，见图1所示。方案3整体外型犹如一条腾飞的巨龙，融于蓬勃发展的城市及自然之中，是现代化城市的一道空中连廊，体现了“和谐、现代、环保”的城市文化，其下部桥墩采用中华传统的圆柱，体现了郑州作为多朝古都的“博大，和谐”精神；盖梁采用了飘逸的悬臂造型，使得上下部呼应，用展翅欲飞的体型，寓意航空港区的特质，体现了郑州引领中部崛起的“开放、创新”的精神。

(二) 桥面系研究

城市轨道交通高架U型梁桥，在国内桥面系中，是一种全新的型式。U梁桥面系布置不仅影响桥梁宽度、桥梁的整体景观、相关专业管线和设备的布置，还影响桥梁的耐久性和养护维修工作。合理的桥面布置是保证轨道交通系统安全高效运营、控制土建投资的重要环节。

整合优化桥面布置，是保证轨道交通系统安全高效运营、控制土建投资、保证桥梁景观的重要环节。通过采用中间接触网桥面布置方案，充分考虑利用U型梁的内部空间，将桥上通信、信号、电力电缆等设备管线放置于U梁腹板内侧，不再单独设置护栏板。同时，利用U型梁上翼缘做检修及旅客紧急疏散通道，将接触网设置于中间位置，可提升高架线的整体景观，景观效果好且桥宽最窄，见图2所示。



图2 桥面系布置图

六、预制 U 梁施工工法研究

施工方法的选用应因地制宜，视高架桥梁总长，桥梁结构的跨度、孔数、截面形式和尺寸，地形、气候、运输条件，设备能力、设备的周转使用，车站、结点桥的位置与数量等综合条件来选择。目前国内外轨道交通标准梁施工方法主要有整孔预制汽车吊吊装、整孔预制架桥机运架梁、节段拼装、现场浇筑等工法。

结合全线线路情况、规划道路现状,从减小交通干扰、保护周边环境、降低施工难度和工程造价的角度出发,统筹考虑工程投资、工程进度的需要,针对本工程线路长、站间距大、市政道路交叉多的特点,推荐全线U梁采用整孔预制U梁,架桥机架设方案。

### 七、结构受力特点分析

预制U梁作为下承式开口薄壁构件,由两边的腹板、中间的底板及端横梁组成,其传力体系为:荷载→桥面板→主梁→横梁→支座<sup>[7]</sup>。

#### (一) 腹板承受下拉力和剪力

竖向偏载还会引起主梁扭转,产生弯剪扭效应<sup>[8]</sup>。

#### (二) 底板在竖向荷载作用下

应力分布不太均匀,空间作用特性明显,底板的应力表现出明显的剪力滞现象,应进行空间实体和平面梁单元模型对比分析<sup>[9]</sup>。

#### (三) 跨中上翼缘受压区混凝土面积比较小

预应力效应利用率偏低,因此在满足限界的情况下,应尽量加大或加厚上翼缘尺寸,避免受压区高度不足,减小上缘压应力,提高预应力效率,也有助于增大结构抗扭刚度、腹板的稳定性以及减小纵梁的侧倾位移<sup>[10]</sup>。

总之,预制U梁的抗扭刚度和腹板稳定性不如箱梁好,具有复杂的空间受力特点,弯剪扭效应明显<sup>[9]</sup>。

### 八、结语

通过研究预制U梁在国内外应用情况分析、在郑州轨道交通高架桥中的环境适应性分析、设计施工要点分析、结构受力特点分析等研究表明,预制U梁结构既能满足功能的需求,又可成为环境友好型工程,具有较大的推广价值,在轨道交通建设中具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1]王彬力.城市轨道交通U型梁系统结构受力行为研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [2]胡匡璋,等.槽型梁[M].北京:中国铁道出版社,1987.
- [3]郭敏.广州市地铁高架U型梁结构设计[J].广州土木与建筑,2004(5):12-14.
- [4]方昌福,胡京涛,陈馨超.城市轨道交通高架线的设计研究[J].铁道工程学报,2006,95(5):91-96.
- [5]朱琛.迪拜地铁线轻轨高架桥设计[J].世界桥梁,2011(2):1-4.
- [6]王凤元,陆元春.U型梁在上海轨道交通8号线中的应用[J].上海建设科技,2009(5):13-15.
- [7]欧阳辉来,等.槽型梁设计、研究与体会[J].桥梁建设,2006(2):56-60.
- [8]卢岩.预应力混凝土槽形梁力学性能研究[D].北京:北京交通大学,2008.
- [9]刘红绪.青岛蓝色硅谷城际轨道交通U形梁的设计[J].铁道建筑,2016(2):23-25.
- [10]贺恩怀.槽形梁在城市轨道交通工程中的应用形式[J].铁道工程学报,2003,78(2):13-16.