

# 双层高架共建段轨道区间梁比选研究及施工

李 坚<sup>[1]</sup> 王旭光<sup>[2]</sup> 陈 庭<sup>[2]</sup>

(1. 宁波市城市基础设施建设发展中心, 浙江 宁波 315121;  
2. 宁波市北仑区路港交通投资有限公司, 浙江 宁波 315000)

**摘 要** 市政高架桥与轨道交通共线建设方案为解决城市用地难题, 充分利用道路空间资源提供了解决思路; 同时高架中层为轨道交通, 如何选择轨道交通梁结构也是一个难点; 本文对中层轨道交通区间梁的结构形式进行了比选, 结合建筑空间限制、降噪减震环保、降低结构高度、景观效果等, 推荐采用 U 形轨道梁结构形式, 并结合施工管理, 总结了施工控制要点。

**关键词** U 形梁 现浇箱梁 预制小箱梁 T 梁 比选

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)12-0037-03

2001 年上海市共和新路高架在我国开创了把地面道路、市政高架桥梁和城市轨道交通三者汇于一体的综合交通工程, 为高效、充分利用道路空间进行了有效科学实践; 2011 年宁波北环快速路工程是全国第二条双层轨道交通、市政高架共建工程, 宁波市机场路南延工程则是宁波市第二条双层综合交通高架工程; 近年来全国不少地方在探索着、研究着, 不断在追求技术创新、技术进步; 桥梁技术不断发展, 传统的现浇箱梁、预制小箱梁、预制 T 梁等占据着十分重要的地位, 而随着 U 形梁新结构的出现, 也为共建段区间梁提供了一种新的挑战与机遇, 研究哪种桥梁结构更适合共建段区间梁也成为必不可少的课题; 同时, U 形梁作为一种新结构单独使用较多, 在双层高架内使用又有其特殊性, 也有必要对其预制、架设进行研究。

## 1 工程概况

宁波机场快速路为宁波市“四横五纵”快速路网中的重要快速射线, 是构建鄞南片、机场物流园区、奉化等沿线组团与宁波市中心城区、组团之间联系的快速通道; 项目采用“主线高架+地面辅道”, 明州大道~中山东路段(约 11.83km)与轨道宁奉城际线共建。

宁奉城际与机场快速路共建段按“高架快速路+轨道交通+地面辅道”布置, 主线采用双向 6 车道桥梁结构, 桥梁标准宽度 25.5m; 地面辅道双向 6 快 2 慢, 中央分隔带 12.0m, 位置满足高架桥立墩需求。快速路高架桥与轨道交通高架桥共用下部桥墩和基础, Y 型立柱桥梁结构, 轨道梁采用 U 梁。

## 2 共建段区间轨道梁比选研究

### 2.1 梁型选择

轨道交通桥梁常规结构形式主要有整体现浇箱梁、预制小箱梁、U 形梁、预制 T 梁等, 轨道交通梁型选

择首先要满足使用功能, 力求经济、施工便捷、与周边协调、美观。

坚持局部与整体相协调的原则, 从长远角度衡量梁的方案是否合适, 协调整体和局部的联系, 充分考虑施工技术、工艺、机械设备、资金等, 对各备选方案进行详细对比, 寻求出最佳轨道梁方案。

### 2.2 整体现浇箱梁

现浇箱梁特点是结构抗扭刚度大, 动力性能好、外形流畅、造型美观、设计及施工经验均成熟, 是应用最广泛的一种梁型; 且其适用性强, 在区间直线、曲线、折返段及渡线段均可采用。既适用于简支梁体系也适用于连续梁体系。

现浇箱梁的经济跨度为 25m~35m, 特殊情况下跨度可以达到 75m, 比如宁波市环城南路西延启动段工程, 在跨越跃进河时, 采用 (45.5+75+43=163.5)m 三跨一联预应力混凝土变截面连续箱梁, 是华东地区跨度第二的现浇箱梁。

现浇箱梁优点明显, 变截面现浇箱梁结构能够适应多种地形, 可根据地形条件不同调整跨度和跨数; 变截面设计使预应力现浇箱梁结构较为轻盈, 并且具有高度小、跨越能力大的优点<sup>[1]</sup>; 多跨连续梁结构桥梁整体受力合理, 能充分发挥混凝土的抗压强度和钢材抗拉强度的各自优势; 变截面现浇箱梁桥单位体积混凝土用量少、结构整体稳定性好、上部结构箱梁直接落在墩柱上, 减小桥梁自重, 便于桥梁下部构造轻型化。因此, 在需要跨越河道、道路, 以及桥面宽度变化时应用较多。

现浇箱梁缺点是室外作业量大, 长时间作业工人易疲劳, 易发生质量缺陷; 工艺复杂, 工序多, 对地基承载力要求高; 承重支架设计、施工、管理难度大,

一旦发生事故易造成群死群伤,安全风险大;现场控制点多,施工强度高,作业人员数量多,控制不好易出现质量问题。

现浇箱梁施工方法可采用支架现浇、预制箱室横(纵)向拼装等工艺。本工程范围内轨道交通均为双线布置,桥梁宽度约 10m,无预制横向拼接需求;同时,轨道桥梁位于双层高架下层,受上层高架限制,桥面以上净空有限,这对预制节段纵向拼装带来一定难度,需要针对净空专门定制设备;因此,就本工程而言,对应整体大箱梁比较适宜的施工方式为满堂支架、型钢支架现浇,但这对地面交通影响特别是路口交通较大,且工期相对较长;在交通组织可以优化、调整,对交通影响较小时,在跨越路口、河道等大跨度时可以考虑。

### 2.3 预制小箱梁

预制小箱梁重要的特点是工厂化预制,能有效减轻现场作业强度,提高现场施工效率及安全标准化水平。

预制预应力混凝土小箱梁结构经济跨径为 25m~30m,最大跨径一般不超过 40m,单片梁重约 80t~170t,广泛应用于中小跨径桥梁工程中,如中桥、小桥、城市高架桥、立交桥和独立大桥及特大桥中的引桥等。

预制预应力混凝土小箱梁优势主要包括梁高小、抗弯强度高、剪应力小、抗扭刚度大、横向荷载分配均匀、稳定性好等良好的受力性能。此外,预制预应力砼小箱梁结构简洁,设计施工难度低,经验成熟,易实现机械化、工厂化施工;施工工期短,对交通和周边环境的影响较小。梁体外观弧线设计,桥下视觉简洁;预制小箱梁梁高相对较小,在梁高受限、桥梁景观要求较高的城市桥梁,具有一定的优势;预制小箱梁负弯矩束锚头位于箱内,结构暴露面少,耐久性好;主梁箱型结构刚度较大,在运行期间变形小、行车较舒适。总体而言,小箱梁建筑高度小,外形美观;横向抗弯、抗扭惯性矩大、稳定性好<sup>[2]</sup>、经济性好,便于标准化、机械化、工厂化施工,能有效控制施工质量,提高结构的安全耐久性等优点。

预制小箱梁缺点是施工工序多,工艺要求高,对管理与施工要求高,当控制不到位时,易出现纵向裂缝;箱内操作空间较小,混凝土一次浇注对内模制作要求高,拆除相对麻烦,箱内质量检验不便;相对同等跨径的空心板、T 梁而言,吊装重量大,对吊装设备要求高;小箱梁支点不易调平,易造成支座脱空;同时在运营期小箱梁翼缘板与腹板交界处易出现裂缝。

预制小箱梁施工方法为预制吊装,待吊装就位后,在现浇桥面板湿接头和横隔板以形成整体。轨道交通

采用此类结构时,一线一梁,湿接头可以较好地解决由线间距变化而引起的桥面宽度的变化。为了保证小箱梁结构的整体性,通常在两片小箱梁间增设横隔板,如果施工不好会影响景观效果。

### 2.4 预制 T 梁

T 梁是由配筋混凝土的上翼缘和梁肋结合而成,因其截面形状与英文字母 T 相似而得名。T 梁是根据受力特性,将矩形梁中受拉区混凝土挖去后形成的,挖去部分对抗拉强度不起作用,不影响结构抗弯强度,却可以节约混凝土,减轻构件自重,提高结构跨越能力。预制 T 梁的特点与小箱梁相似,便于工厂化施工组织,现场作业速度快。

预制 T 梁经济跨径是 20m~40m,最大跨径可以达到 55m 左右。

预制 T 梁优点是其设计和施工经验成熟,结构跨越能力较强,主梁为预制构件,可在工厂或施工现场预制,待主梁吊装完毕后,浇筑横隔板、桥面后连成整体,同时 T 梁造价低,没有内模,施工工艺简单,对施工设备没有特殊要求。

预制 T 梁的缺点是建筑高度相对高一些,抗扭强度小,且主梁、横梁数量多,仰视梁底,纵、横梁密布,比较凌乱,景观效果较差。

总体而言,预制 T 梁与预制小箱梁各有优缺点,公路、铁路多选用 T 梁,而城市道路多选用小箱梁。

### 2.5 U 形梁

U 形梁是下承式开口薄壁结构,梁体由底板、侧面腹板和顶部的翼缘板连成 U 字形横截面的桥梁结构。U 形梁经济跨度为 25m、30m 和 35m。

U 形梁优点包括,具有建筑高度相对较低,有利于控制桥下净空,对城市景观影响较小;U 形梁的两侧腹板可同时兼作声屏障使用,腹板的上翼缘还可作为疏散平台。目前应用较多的为一线一梁的单线小 U 形梁。

同时,U 形梁在运营期间车辆噪声较少,对环境的影响有限,相对于箱型梁,U 梁无箱体共鸣噪声<sup>[3]</sup>;同时 U 形梁是无空腔底板,U 型腹板,腹板挑檐以及隔声调整块的组合体,可有效控制车辆轮轨噪声,形成对车辆轮轨噪声的天然屏障<sup>[4]</sup>。除此之外,栏板、疏散平台、牵引网立柱基础等可以充分利用 U 形梁腹板,统筹桥上附属结构与主体梁结构,二期恒载减少约 30%,梁体自重减少约 15%,使造价更低<sup>[5]</sup>,行车安全性更高。

U 形梁的缺点是作为薄壁结构,抗扭性能差,吊装重量大,对运输设备、吊装设备要求高,吊装速度慢。

总体而言,U 形梁是一种下承式结构梁,与传统

的箱型梁相比,这种梁型不仅外型更美观,而且降噪效果好,断面利用率高,造价也更低。U形梁在上海、南京等城市轨道交通中已大规模使用。

## 2.6 结构比选

本项目总体设计为轨道交通、市政高架共建结构,轨道交通位于中层,建筑空间受限,因此轨道区间梁结构选择时结构高度是重点考虑的因素之一;同时考虑到了宁波市机场快速路南延是奉化区融入宁波主城区的重要基础设施,机场路高架周边城市化进程必然加速,高架桥势必成为城市的一道亮丽风景线,对结构景观因素也将是一个重要因素。

同时,根据常用结构形式的优缺点,结合本项目实际情况,从经济跨径、结构受力和建筑外观三方面进行比选,以选择合适的轨道梁结构形式。

综合考虑以上因素,U形梁能高效解决下层高架建筑空间限制、降噪减震环保、降低结构高度、景观效果等问题;该梁型的综合性能相对普通箱梁、T梁等具有明显优势,具有建断面空间利用率高、降噪效果好、筑高度减低、行车安全、外型美观、视觉效果好等优势;同时施工工艺先进、新颖;因此标准段推荐采用U形轨道梁结构形式。

## 3 共建段区间轨道U形梁施工要点

U形梁重量大,抗扭性能差,安装过程需要跨越上盖梁,因此在后期的吊装安装中需要统筹考虑,合理安排,才能保证项目顺利实施。

1. 宁波机场快速路项目投资规模大,单位工程造价高,需要分多标段进行施工招标,在招标时建议把轨道交通U形梁预制、安装单独作为一个标段进行招标,以便统筹规划预制场地,避免浪费;同时通过规模效应,提升施工标准化管理水平,保障U形梁施工质量。

2. 结合各施工标段建设条件,充分考虑跨河、跨路现浇施工计划,合理安排提梁站,为后续U形梁安装提供便利条件,避免预制场内积压或者施工现场具备了架设条件但因提梁站设置不能安装。

3. 施工中优先安排跨河、跨路等节点现浇梁施工,为后续U形梁吊装提供运输通道。

4. 本项目预制U形梁位于双层高架道路的中层,U形梁吊装过程中受上方高架盖梁阻挡,同时受净空限制,常用架桥机无法正常使用,需要选择合适的通过上方盖梁的吊装工艺、设备;尤其安装架设工作沿线场地狭小,采用因地制宜的吊装方法和施工工艺是关键所在<sup>[6]</sup>。

5. 预制U形梁顶部有高架预制小箱梁,两者的吊装顺序要明确,保证梁板均能正常吊装到位<sup>[7]</sup>。

6. 预制场的选择,要充分考虑U形梁运输线路、运输重量,确保沿线道路桥梁不收损伤;同时须在现场选择合适的提梁点,平衡好U形梁梁上运输距离与提梁站建设成本。

7. 整体架梁顺序,要根据项目实际情况,依据上层小箱梁、中层U形梁梁预制进度、存梁能力优化架梁顺序;充分考虑U形梁厂产能与小箱梁预制场产能不匹配,为保证吊装顺利实施,小箱梁需要适当提前安排施工<sup>[8]</sup>。

8. U形梁为空间薄壁结构,预应力筋的布置、张拉顺序都会对结构受力产生较大影响,在施工中一定要准确确定钢束位置、张拉顺序。

9. 在张拉端锚垫板附近应力较集中,常常会出现微裂缝,采取及时有效的预防方案是确保U形梁预制成功的关键。

10. U形梁为开口薄壁结构,抗扭性能较弱,对U形梁的存储、运输、吊装技术要求高,是影响工程最终质量的关键环节。

## 4 结语

本项目共建段U形梁较好地解决了双层高架的空间限制,实现了减震降噪与美观的统一,并把造价控制在合理的范围内,为类似工程,特别是市政快速路与轨道交通共建高架工程,提供了完美的解决思路,提供了可借鉴案例。

## 参考文献:

- [1] 李文静. 公路桥梁施工中现浇箱梁施工技术探析[J]. 中国高新技术企业, 2015(13):102-103.
- [2] 孙鹏. 普通公路桥梁T梁与小箱梁适应性比较分析[J]. 北方交通, 2016(05):43-46,50.
- [3] 赵建军, 李伟. 上海城市轨道交通高架区间U形梁设计与施工[J]. 城市道桥与防洪, 2009(06):113-116.
- [4] 王奕然. 城市轨道交通高架线U形梁降噪理论与测试[J]. 都市快轨交通, 2013(03):41-44.
- [5] 杨秀仁. 城市轨道交通U形梁高架系统关键技术研究及创新[J]. 都市快轨交通, 2015(05):27-30,66.
- [6] 秦琦, 周泓. 轨道交通U形梁架设技术的应用[J]. 智能城市, 2017(04):132-133.
- [7] 叶经店. 双层高架中预制U形梁吊装施工技术[C]//第二十六届华东六省一市土木建筑工程技术交流论文集, 2020:718-720.
- [8] 周筱留, 李锦锦, 潘丹丹. 双层高架桥预制梁安装关键技术[J]. 四川水泥, 2021(06):140-142.