

全装配式桥梁在国内的发展与建设经验^{*}

王晟^{1,2}, 桂晓明¹, 宁平华¹, 乐小刚¹, 钟洲¹, 罗永乐¹

(1.广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060; 2.华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510641)

摘要: 装配式桥梁通过构件工厂预制、现场装配进行施工,可大大提高机械化操作水平,在提高质量的同时加快施工进度,减小对既有交通的干扰,且有利于环境保护,涵盖下部结构的全装配式桥梁已成为当今桥梁建设的发展趋势。文中梳理了全装配式桥梁在中国的发展,总结了建设经验,并结合发展现状提出了建议。

关键词: 桥梁; 装配式; 发展趋势; 建设经验; 灌浆套筒

中图分类号: U448.21

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)03-0151-04

随着城市化进程的加快,中国各省市的交通、市政基础设施建设逐渐进入高潮,涌现出一大批工程量大、建设周期长的项目。对于市政桥梁项目,由于多数跨越市区,传统的现浇施工极易导致施工区域通行能力骤降,影响道路的交通畅通与安全,甚至时常出现交通中断,给居民工作和生活带来极大影响。此外,传统现浇现场作业量大、建造效率低、整体能耗高,且扰民严重。装配式桥梁通过构件工业化制造、装配化施工,可显著加快施工进度,减小对既有交通的干扰,且有利于环境保护。在中国,全装配式桥梁起源于跨海大桥,如今在行业政策的支持下,全装配式桥梁在众多城市市政建设中得以快速发展。

1 中国装配式城市桥梁的发展历程

从 20 世纪 60 年代开始,中国就尝试在桥梁上部结构中采用装配式建造工艺,发展了预制 T 梁、预制空心板及节段拼装箱梁等装配式桥梁建造技术,并进行了极为丰富的工程应用。该阶段经济、技术发展缓慢,交通欠发达,桥梁建设规模较小且形式单一,以使用功能为主,景观要求不高,装配式上部结构成为桥梁首选形式。

对于装配式桥梁下部结构,预制桩基发展较早且应用较广泛。铁道部丰台桥梁工厂于 20 世纪 60 年代末生产了国内首根先张法预应力砼管桩,主要用于铁路桥梁的基础。预制墩柱由于其抗震性能未取得共识,早期仅在工期紧、运输条件优良的跨海大桥采用,且大部分采用现浇湿接缝连接,如东海大桥与上海长江大桥墩柱均采用预制场制作、海上吊装、

湿接缝连接工艺,港珠澳大桥采用预应力粗钢筋配合剪力键(槽)的干接缝施工工艺。随着新材料、新技术的引入和研发,加上传统建造模式弊端的日益突显及国家和地区倡导发展绿色建筑,2012 年预制墩柱在城市桥梁中首次应用。

如今装配式桥梁得以全面发展,研发了涵盖桩基、墩柱、盖梁、桥台、挡土墙、主梁、防撞护栏的全装配式城市桥梁结构,并逐渐成为城市桥梁建设的主流,在上海、长沙、成都等地已有全装配式城市桥梁项目建成,广州首座全装配式城市桥梁也在施工中,预制装配式建设思想在桥梁结构等领域得到越来越多的应用,并取得了显著经济效益和社会效益。

2 代表性地区全装配式桥梁的发展

2.1 上海市全装配式桥梁的发展

地方政府的高度重视和企业的积极参与,使上海成为国内全装配式桥梁发展最早、最快的地区,并积极探索装配式下部结构的构件预制与连接技术,促进了装配式下部结构在中国的发展。

2005 年建成的东海大桥就应用了预制墩柱,但由于当时技术的约束,预制墩柱与承台采用湿接缝连接,需在湿接缝砼强度达标后释放临时支撑。2012 年建成的上海 S6 沪翔高速公路新建工程进行了预制墩柱、预制盖梁设计,墩柱与承台、盖梁均采用灌浆套筒连接(见图 1),这是灌浆套筒在中国桥梁工程中的首次应用,也是中国装配式下部结构迈出的关键一步。

2013 年开工的嘉闵高架路(G2—S6)工程大范

^{*} 基金项目: 广州市政总院研究课题(KY-2017-023)



图1 上海S6公路四标段试验段预制桥墩



图2 上海国定路下匝道墩柱插槽式连接

围推广装配式桥梁施工,该桥预制构件包含除承台以外的所有上、下部结构及防撞墙,并研发了盖梁横向分段预制,构件间采用灌浆套筒连接,预制装配率达到30%。

2016年建成的国定路下匝道工程在国内首次应用灌浆金属波纹管连接技术,灌浆金属波纹管预埋于承台(见图2)。

2017年的S7公路新建工程采用预制桥台及盖梁悬臂拼装技术,预制桥台与基础采用插槽式连接,盖梁拼接采用牛腿式垂直拼缝技术(见图3)。其施工效果良好,是新技术的一次大胆尝试。

上海市有代表性的全装配式桥梁见表1。



(a) 预制桥台插槽式连接



(b) 预制盖梁牛腿式拼接

图3 上海S7公路新建工程预制构件

表1 上海市有代表性的全装配式桥梁

项目名称	建设年份	装配内容	主要技术
S6公路四标段试验段	2012 建成	墩柱,小盖梁,防撞护栏	墩柱与承台采用灌浆套筒连接,小盖梁整体预制
嘉闵高架路(G2—S6)	2016 建成	墩柱,盖梁,小箱梁,防撞护栏	墩柱与承台、盖梁采用灌浆套筒连接,盖梁采用湿接缝连接
国定路下匝道	2016 建成	墩柱,盖梁,小箱梁,钢箱梁	灌浆金属波纹管连接,波纹管位于承台
S3公路先期段	2017 建成	墩柱,盖梁,小箱梁,防撞护栏	墩柱与承台、盖梁采用灌浆套筒连接,盖梁整体预制
S26公路入城段(G15公路—嘉闵高架)	2018 建成	墩柱,盖梁,小箱梁,钢箱梁,防撞护栏	墩柱与承台、盖梁采用灌浆套筒连接,盖梁分3段预制,预应力配合剪力键(槽)
S7公路新建工程	在建	桥台,墩柱,盖梁,小箱梁,钢箱梁	桥台插槽式连接,墩柱与承台、盖梁采用灌浆套筒连接,盖梁牛腿式垂直拼缝

2.2 长沙市全装配式桥梁的发展

长沙市装配式桥梁建设起步晚,起点高,发展速度快。2015年施工的万家丽高架桥是长沙市区第一座城市高架桥,采用整体现浇箱梁结构,施工占地多,施工期间交通拥堵严重。时隔1年,在湘府路快速化改造中彻底摒弃现浇施工,吸收上海在装配式桥梁领域的先进技术与管理经验,采用全装配式技术,预制构件包含墩柱、盖梁、钢梁、砼桥面板,墩柱与承台、盖梁均采用灌浆套筒连接,大盖梁间采用湿接缝连接;砼桥面板为分层预制结构,于预制厂和钢

梁形成整体后一同运至施工现场,预制部分吊重控制在160t以内;整体结构架设完毕后浇筑上层现浇砼,减少了现场工作量,缩短了工期(见图4)。

积极探索新材料的应用是长沙全装配式桥梁建设的另一特点。2016年建成的北辰虹桥全长70.8m,跨径布置为(27.6+36.8+6.4)m,设计荷载为城—B汽车荷载、4kN/m²人群荷载,主梁强度为150MPa、顶宽6.5m、底宽3m、中心高1.35m。采用节段预制拼装施工,2个高5.4m的主桥桥墩均采用100MPa超高性能砼整体预制(见图5)。该桥是

世界上首座全预制拼装预应力超高性能砼(UHPC)连续梁桥。



(a) 预制墩柱



(b) 预制盖梁

图 4 长沙湘府路高架桥预制构件



图 5 长沙北辰彩虹桥

2.3 成都市全装配式桥梁的发展

与长沙市相似,成都市装配式市政桥梁建设同样起步晚,起点高,发展速度快。2017 年开工建设的羊犀立交改造工程主要包括增建羊犀立交节点 SE、EN、NW、NE、WS、ES、JS 7 条匝道及对辅道出入口进行改造和优化,其 111 根墩柱均采用预制,且创新地采用花瓶墩,墩柱与承台采用灌浆套筒连接,同时取消盖梁,结构更美观(见图 6)。其总工期仅 345d。这是中国西南高地震烈度地区全装配式



(a) 预制墩柱



(b) 上部结构钢梁

图 6 成都羊犀立交预制构件

技术的首次应用,实现了灌浆套筒连接技术在西南地震烈度较高地区的应用。

3 全装配式桥梁的建设经验

构件工业化制造是全装配式桥梁建设的基础,合理确定构件形状与尺寸并选用适宜的连接方式是全装配式桥梁的关键。预制构件的最大尺寸和重量应结合起重和运输工具的能力、道路状况、建筑限界等要求确定,并尽可能简化构件类型、减少连接节点数量,遵循少规格、多组合、便于施工的原则;预制构件的连接方式需根据结构形式、抗震设防烈度、施工、运输、拼装等因素确定,主要连接方式见表 2。

表 2 预制构件间的主要连接方式

连接方式	适用范围	抗震设防烈度
灌浆套筒	桥台各构件竖向连接, 桥墩各构件竖向连接	≤ 7
灌浆金属 波纹管	墩柱、台身与承台、 盖梁连接	≤ 7
承插式	墩柱与承台连接, 桩基与承台连接	≤ 6
插槽式	桩基与承台、桥台 连接	≤ 7
后张预应力筋	墩柱与承台、盖梁连接, 盖梁、墩柱节段连接	≤ 7
湿接缝	盖梁间、墩柱与 承台连接	≤ 8

在中国全装配式桥梁中,灌浆套筒连接使用范围最广。其属于钢筋连接范畴,通常是将灌浆套筒设置于上方预制构件中,其构造特点是施工精度要求高,套筒定位误差要求控制在 2 mm 以内(见图 7)。套筒

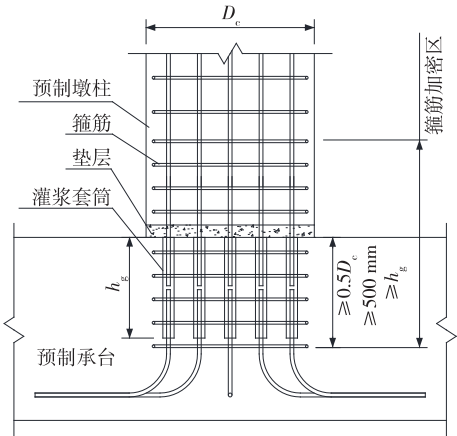


图 7 预制墩柱与承台的灌浆套筒连接(单位:mm)

腔体内部灌浆密实是灌浆套筒连接有效的先决条件。国内外试验室内的灌浆套筒连接是十分有效的,但施工现场往往难以保证腔体密实。其正常使用条件下的力学性能与传统现浇砼类似,且施工速度快,具有较大优势。该技术在低抗震设防烈度地区已广泛应用,高地震危险区域的应用仍在研究中。

灌浆金属波纹管连接属于锚固连接范畴,其定位误差一般控制在 5 mm 以内。其力学性能与传统现浇砼类似。但由于该技术对钢筋的插入深度有严格要求,造成外露钢筋较长,增大了运输成本和钢筋损坏风险。其在国内应用较少。

承插式连接的公差要求低,20 世纪 90 年代初,北京积水潭桥中的 5 座桥梁均采用承插式预制砼桥墩。GB 50007《建筑地基基础设计规范》对承插式柱与杯口的构造作了规定,但由于该连接方式抗震性能较差,近几年基本没有应用案例。

插槽式连接对水平公差要求较低,外露钢筋对孔洞所在构件的钢筋干扰小,连接的锚固性能、延性良好。但现场需浇筑一定数量的砼。国内主要用于桩基与承台、盖梁的连接。

后张预应力筋连接主要用于墩柱与承台、盖梁及盖梁、墩柱节段的连接,它往往配合剪力键(槽)与环氧树脂胶接缝实现节段拼装,由于设计理论与施工经验较成熟,国内应用较多。

湿接缝连接多用于预制墩柱与承台、预制盖梁间的连接,其力学性能接近现浇砼。但会显著增加现场钢筋搭接、砼浇筑作业量。

4 结语

全装配式桥梁是时代发展到一定程度后的产物,这不仅需要关键技术的突破,更需要配套流程、工艺及管理措施。为促进其发展,建议从以下方面进行研究或制定政策:

(1) 支持相关协会与企业参与标准制定,逐步建立并完善覆盖设计、生产、施工、验收和使用维护全过程的全装配式桥梁技术标准体系,完善全装配式桥梁建设工程造价计价办法。

(2) 提高从业人员技能,加强高地震烈度地区装配式桥梁建造研究。

(3) 提高信息化与工业化水平,促进绿色发展。

参考文献:

- [1] 项贻强,郭树海,陈政阳,等.快速施工桥梁技术及其研究[J].中国市政工程,2015(4).
- [2] 张本良.城市快速路桥梁预制拼装施工期间的地面道路通行效益分析[J].中国市政工程,2016(4).
- [3] 黄少文.东海大桥海上非通航孔墩身施工技术[J].世界桥梁,2014(增刊).
- [4] 闫明吉,殷天军,卞蜀陵,等.上海长江大桥工程墩柱分节预制安装施工技术[J].中国港湾建设,2010(3).
- [5] 孙业发,刘长义,王海波,等.港澳大桥墩柱干接缝结构匹配预制技术[J].中国港湾建设,2015(8).
- [6] 陈家勇.预制装配桥墩的构造设计及抗震性能研究[D].南京:东南大学,2014.
- [7] 周翔宇.全预制装配桥梁工程实施要点简析[J].中国市政工程,2017(3).
- [8] 郑清林,王霓,陶里,等.套筒灌浆缺陷对装配式混凝土柱抗震性能影响的试验研究[J].土木工程学报,2018,51(5).
- [9] 高润东,李向民,王卓琳,等.基于预埋钢丝拉拔法的套筒灌浆饱满度检测技术研究[J].施工技术,2017,46(17).
- [10] 陈文龙,李俊华,严蔚,等.基于压电阻抗效应的套筒灌浆密实度识别试验研究[J].建筑结构,2018,48(23).
- [11] 郭辉,徐福泉,代伟明,等.便携式 X 射线检测钢筋套筒灌浆连接密实度试验研究[J].施工技术,2018,47(22).
- [12] 葛继平,王志强,李建中,等.装配式预应力混凝土双柱桥墩抗震性能研究进展[J].地震工程与工程振动,2013,33(3).
- [13] GB 50007,建筑地基基础设计规范[S].
- [14] 胡伟强,陈晓磊,姜波,等.配置 600 MPa 钢筋预制混凝土柱连接区抗震性能试验研究[J].土木建筑与环境工程,2018,40(6).

收稿日期:2019-01-23

(上接第 150 页)

- [8] 李闯.既有铁路扩大基础桥梁病害检测评估与整治方法研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2012.
- [9] 蔚三艳.浅析公路桥梁检测新技术[J].中华民居,2012(3).

- [10] JTG/T J21-2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].
- [11] JTG D62-2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

收稿日期:2018-05-31