

# 中小跨径全装配式梁桥一体化架设方法及装备

田飞<sup>1,2,3</sup>, 夏昊<sup>1,2,3</sup>, 王敏<sup>1,2,3</sup>, 郑和晖<sup>1,2,3</sup>

(1. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430013; 2. 长大桥梁建设施工技术交通行业重点实验室, 湖北 武汉 430014;  
3. 交通运输行业交通基础设施智能制造技术研发中心, 湖北 武汉 430013)

**摘要:**以正在建设的某高速公路连续梁桥为背景,从提高结构装配化率和安装工效的角度,对该类型桥梁进行建造方案优化研究。首先对比分析不同装配式下部结构方案的适应性,重点分析预制下部结构构件间的连接形式,其次结合装配工艺论证了一体化施工工艺的合理性,最后提出了适用于中小跨径全预制装配式桥梁的高效一体化建造方案。研究结果表明:与背景工程相比,采用优化方案后,安装工期延长了23%,但设备费与临时措施费降低了50%,且优化方案沿线无需设置栈桥,大幅降低了对工区周边环境的影响。

**关键词:**全预制装配; 桩柱式桥墩; 一体化架桥机; 高效连接

**中图分类号:** U446.1

**文献标志码:** A

随着中国社会经济的发展,传统现浇混凝土桥梁在施工效率、节能环保、耐久性能等方面已很难满足日益提高的社会需求,且现浇工艺存在的诸多缺陷与建设“美丽中国”的发展理念相悖。同时,随着中国人口老龄化问题的加剧,劳动力短缺将成为制约传统施工方式继续发展的重要因素。为此,桥梁产业的升级改造势在必行。2016年9月30日,国务院办公厅发文部署《关于大力发展装配式建筑的指导意见》中明确了产业升级改造的方向:坚持标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化安装、信息化管理、智能化应用,提高技术水平和工程质量,促进建筑产业转型升级。

中国目前公路与市政中小跨径梁桥建设中,上部结构的装配化技术已经较为成熟,装配式梁桥结构类型主要包括:钢筋混凝土或预应力混凝土空心板、T梁、小箱梁、节段预制拼装箱梁以及装配式组合梁等,多类型的结构形式基本满足中国的桥梁建设需求。下部结构的预制装配化在中国起步较晚,但近年也迅速发展,在跨海大桥如:港珠澳大桥、东海大桥、洪塘大桥等,以及市政桥梁如:上海S26高架、嘉闵高架、长沙湘府路高架等项目中都大规模实现了桥墩及盖梁的装配化。装配式桥梁基础的主要形式为预应力混凝土管桩,其标准化设计、离心预制、成桩工艺成套技术在中国也十分成熟,应用广泛。

现有装配式桥梁结构及安装工艺也存在以下问

题:①由于承台体量较大,难以实现预制装配化,导致基础结构现浇量仍然较大;②桥墩及盖梁主要采用履带吊安装,安装过程中占地面积大,对既有交通干扰大;③预制构件的运输对便道、栈桥等临时结构要求较高,造成临时措施费偏高,进一步降低了装配式桥梁的经济性。

为充分发挥装配式结构的优势,国内外对全预制装配式桥梁的一体化安装进行了探索。如莱淡布隆大桥项目,采用一种移动方便的轻型钢平台安装全预制装配式桥梁,实现了对保护区的零干扰,但该工艺仅适用跨径较小的桥梁;哥伦比亚卡塔赫纳沿海高架桥以及美国华盛顿高架桥在穿越浅滩时,均采用了意大利DEAL公司研发的一体化架桥机进行施工,将预制墩柱、盖梁及主梁的安装变为流水线,但该装备自重重大,安装工效较低。

该文依托某高速公路连续梁桥,提出全预制结构桥梁的构造形式及配套的施工工艺与施工装备,进一步优化装配式桥梁一体化安装工艺及装备,以便为同类型桥梁施工提供参考。

## 1 全预制拼装结构体系

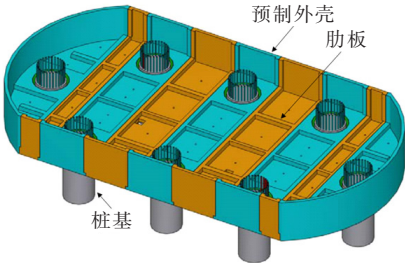
由于上部结构装配化比较成熟,该文不再赘述,选用经济性好、预制简单、安装方便的标准化预应力混凝

土 T 梁作为全预制拼装体系上部结构。该文重点针对基础的装配化进行探讨。

1.1 装配式基础

承台的装配化是实现全预制桥梁的难点,但也有些工程开展了承台装配化的尝试。

美国 Sarah Mildred Long 桥,其承台采用了分块预制外壳结合填芯混凝土的部分预制结构形式(图 1)。预制外壳上通过布置肋板来增大刚度,避免薄壁预制构件在运输、安装过程中出现过大大变形而破坏。分块安装时,先安装桩基顶面外壳,再安装桩顶外壳间的承台节段。节段之间通过环氧胶结合预应力钢束的形式进行连接。该半预制承台结构省去了模板安装工序,具有一定的经济、工效优势,但结构主体仍然以现浇工艺为主,现场施工效率提升有限。



(a) 预制承台外壳构造



(b) 预制承台外壳现场安装

图 1 部分预制承台

为进一步提升装配化率,以港珠澳大桥为代表的项目采用了全预制承台(图 2)。承台整体在预制场预制,整体承台上设有预留槽孔,现场安装完成后桩基顶部穿过槽孔,再在槽孔内后浇混凝土形成承台—桩基连接。全预制承台的现浇量极少,大幅提升了承台的施工效率及质量。但由于预制构件自重较大,全预制承台仅适用于运输、吊装条件较好的深水域桥梁。

桩柱一体式桥墩具有占地面积小、土方处理量少的优势,在公路桥梁中应用广泛。由于桩柱一体式桥墩无需设置承台,可在实现结构的全预制装配化的同时保持结构的轻量化。文莱淡布隆大桥下部结构采用桩柱式桥墩,并实现了全桥的预制装配化。直径 800

mm 的 PHC 管桩既作为桩基施沉,同时地面段也作为桥墩与盖梁相连(图 3)。由于不设置承台,且 PHC 管桩运输、安装方便,该项目施工工效达到了 3 d/跨。



图 2 全预制承台



图 3 预制桩柱式桥墩

由于目前承台装配化技术 in 应用过程中,受运输、安装限制条件较多。相较之下,预制桩柱式桥墩具有预制构件种类少、运输简单、分段轻量化方便等优势,为此,确立以预制桩柱式桥墩、整体预制盖梁为下部结构、横向装配式混凝土 T 梁为上部结构的全预制装配式桥梁体系。

1.2 下部结构预制构件连接形式

预制构件间的连接形式是装配式桥梁的关键构造,直接影响安装工效及结构受力性能。全预制桥梁下部结构主要包括预制桩柱节段间的连接与墩柱—盖梁连接(图 4)。预制桩柱式桥墩采用 PHC 管桩,PHC 管桩节段通常采用预埋钢端板、节段间焊接的干连接方式,具有施工速度快、受力性能好的优点。

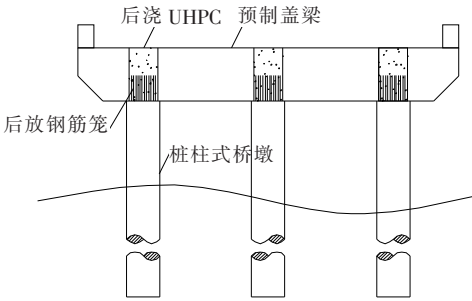


图 4 预制桩柱—盖梁连接构造

目前,桥墩与盖梁的连接方式主要有灌浆套筒连

接、灌浆波纹管连接、现浇湿接缝连接等。其中灌浆套筒应用最为广泛,但目前灌浆套筒价格较高,单个接头造价增加约2万元,大规模应用经济性较低;灌浆波纹管连接工艺简单、经济性好,但存在灌浆密实度无法检测的问题;现浇接头整体性好,但后浇等强时间长,难以体现快速装配化的优势。为此,提出采用超高性能混凝土(UHPC)为后浇材料的现浇连接(图4),UHPC具有超早强性能,其1d强度即可达50MPa以上,连接接头具有功效高、整体性好、耐久性等诸多优势。

## 2 一体化架设装备及工艺

### 2.1 工程概况

某高速公路桥梁采用预制桩柱式桥墩+预制盖梁+横向装配式T梁的全预制拼装体系(图5),标准跨径16m,全长5.43km,共343跨。各结构尺寸及重量如下:①预制桩柱尺寸为 $\phi 800$ mm,壁厚110mm,长度15m/节,最大吊重为9.6t;②预制盖梁尺寸为1m $\times$ 1.6m $\times$ 18.95m,最大吊重为70t;③预制T梁梁高0.9m,单根最大吊重17.7t。

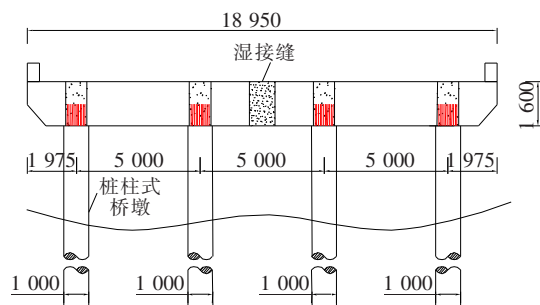


图5 依托工程下部结构构造图(单位:mm)

### 2.2 常规工艺

#### 2.2.1 打桩锤+履带吊

桩柱式桥墩可采用履带吊配合打桩锤进行沉桩施工,预制盖梁及T梁均可采用履带吊进行安装,如图6所示。其特点如下:①履带吊对场地条件要求高,工艺对场地适应性较差;②构件运输需设置便道,沿线占地面积多,对周边环境、交通干扰较大;③工作面零散,需大量人工辅助,施工组织较困难。

#### 2.2.2 打桩锤+履带吊+架桥机

履带吊+打桩锤沉设预制管桩、履带吊安装预制墩柱及盖梁、架桥机安装预制主梁的工艺也是目前的常规做法(图6)。特点:①上下部预制构件安装,可形成独立的工作面,施工组织安排方便;②预制T梁可

在已成梁上运输,可减轻预制构件运输压力;③由于履带吊安装沿线下部结构,仍存在便道占地面积大、履带吊站位处场地需处理的问题。



(a) 打桩锤沉桩



(b) 履带吊安装盖梁



(c) 架桥机安装T梁

图6 常规预制构件安装工艺

### 2.3 一体化架设装备及工艺

#### 2.3.1 一体化架桥机

一体化架桥机分为3跨,可作为3个独立工作面同时工作;首跨为悬臂跨,在本跨配置了可移动、可旋转的打桩机(图7),因此悬臂跨可用作施沉桩柱式桥墩的工作面,同时可配合主天车进行预制盖梁的安装;中跨可用于装配式主梁的安装;尾跨为提梁跨,满足预制构件在已成梁上运输、起吊的需求。为降低设备总体造价,在架桥机上设置索塔及拉索来降低架桥机主梁工作时的应力水平,从而减少设备主梁用钢量。

架桥机前支腿锚固于已安装盖梁上,前中支腿及后中支腿支承于已成梁段上。架桥机上搭载的打桩机可在架桥机主梁上纵向移动,也可以进行旋转:预制桩柱式桥墩从尾部运输至前端时,打桩机处于水平状态,此时,构件与导向架进行固定;随后,打桩机连同构件一起旋转竖直,转换为打桩状态。当悬臂跨架设预制



盖梁时,打桩机可以水平姿态纵向移动至中跨,为盖梁的安装让出空间。

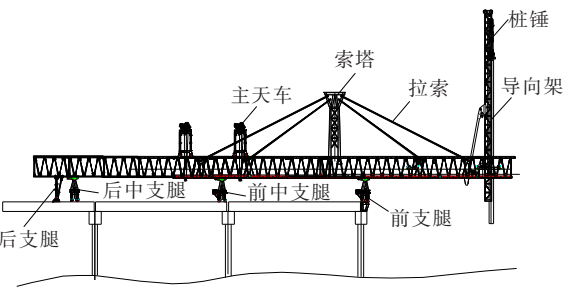


图 7 一体化架桥机

2.3.2 一体化架设工艺

一体化架桥机安装全预制装配式梁桥步骤如下:

(1) 线路的始发跨可采用龙门吊或履带吊进行安装,一体化架桥机散件在始发跨拼装成形,并开始预制构件的安装;打桩机初始状态为水平,与架桥机主梁平行。

(2) 预制桩柱从始发跨由运梁车运输至架桥机提梁区,由起重天车抬吊起升,前移至打桩机处并缓慢下放,将桩柱与导向架进行固定;随后打桩机旋转为竖直状态,对沉桩平面位置进行复核后开始打桩作业;通过架桥机横移并重复上述步骤,完成单幅桥同一里程的所有预制桩柱施工。

(3) 打桩机旋转为水平状态并向后移动至架桥机中跨位置,下放桩顶钢筋笼;盖梁由运梁车从始发跨运输至架桥机提梁区,并由前主天车起吊、运输至桩位,盖梁在水平平面旋转 90°并下放,盖梁下放至设计高程后,与桩柱临时固定。

(4) 主梁同样采用运梁车梁上运输,在提升跨通过两起重天车抬吊,前移至桥位处,平面位置复核完成

后即可下放;同一跨横向其余主梁通过架桥机横移完成架设。

(5) 浇筑盖梁预留槽孔,完成盖梁与桩柱的连接;同时安装主梁湿接缝模板,浇筑主梁纵向湿接缝并养护。

(6) 架桥机准备过跨,后中支腿由起重天车倒运至前支腿旁,并锚固于已成梁段上,随后将前支腿倒运至后浇材料养护完成的盖梁上并锚固;架桥机主梁由中支腿驱动前移,后支腿在轨道上滑移,架桥机到达设计里程后,过跨完成。

根据上述安装步骤,一体化架桥机完成一跨构件的安装工期为 5 d(表 1)。

表 1 一体化安装工效

步骤	工序	持续时间/d	备注
1	悬臂跨预制桩柱安装	1	
2	桩顶钢筋笼安装		与 1 同步
3	悬臂跨盖梁精确定位、安装	0.5	
4	中跨主梁定位及安装	1	
5	盖梁槽孔浇筑、养护等强	1	后浇材料采用 UHPC
6	主梁湿接缝浇筑、养护等强	1	与 5 同步
7	架桥机过跨	0.5	
合计		5	

3 工效及经济性对比分析

由于线路较长,为缩短工期,线路两端同时开始施工。分别采用打桩锤+履带吊、打桩锤+履带吊+架桥机、一体化架桥机 3 种方案进行安装,其安装工效、主要设备投入、主要临时措施费用对比如表 2 所示。

表 2 不同安装工艺对比分析

施工方案	主要设备	工效	施工便道	费用合计/万元
打桩锤+履带吊	2 台 30 t 液压打桩锤(20 万元/月)			
	2 台 100 t 履带吊配合打桩锤(50 万元/月)	单跨工期 4 d	7.5 m 宽施工便道	
	2 台 100 t 履带吊安装盖梁(50 万元/月)	总工期 21 个月	(50 元/m <sup>2</sup> )	3 127
	2 台 50 t 履带吊安装 T 梁(20 万元/月)			
打桩锤+履带吊+架桥机	2 台 30 t 龙门吊(200 万元)			
	2 台 30 t 液压打桩锤(20 万元/月)			
	2 台 100 t 履带吊配合打桩锤(50 万元/月)	单跨工期 4 d	7.5 m 宽施工便道	
	2 台 100 t 履带吊安装盖梁(50 万元/月)	总工期 21 个月	(50 元/m <sup>2</sup> )	3 207
	2 台 50 t 架桥机(200 万元)			
	2 台 50 t 运梁车(100 万元)			

续表 2

施工方案	主要设备	工效	施工便道	费用合计/万元
一体化架桥机	2台100 t一体化架桥机(800万元)	单跨工期5 d 总工期26个月	构件均从梁上运输, 无需设置便道	1 600
	2台100 t运梁车(200万元)			
	2台100 t龙门吊(600万元)			

对比分析表 2 可见:① 一体化架桥机相较于常规方案,总工期增加 23.8%,但设备费及临时措施费节省约 50%,成本优势明显;② 对于滩涂、浅海等场地处理难度大,设置临时便道或栈桥造价高的环境下,一体化架桥机优势更为显著;③ 一体化架桥机将设备集成于一体,工序衔接紧密,组织管理更为高效。

4 结论

- (1) 带承台的桥梁结构目前较难实现全预制装配化,预制外壳承台结构仅节省了现场承台模板的安装时间,对总体工效提升较小。
- (2) 预制桩柱式桥墩+预制盖梁+预制 T 梁的全预制装配式桥梁结构体系避免了大型承台,轻便的预制构件在预制、运输及安装上更为有利。
- (3) 集成了打桩设备的一体化架桥机实现了全预制桥梁的一体化安装,实现了安装过程中对周边环境、交通的零干扰。
- (4) 相较于传统的施工工艺,一体化架桥机在施工工效相差不大的情况下,装备费及临时措施费投入节省约 50%,经济优势明显。
- (5) 对于环保要求高、安装场地条件差的自然生态区、滩涂、浅海等长线桥梁项目,设置栈桥或便道措

施费用较高,一体化架桥机的优势更为显著。

参考文献:

[1] 李娟燕,易汉斌,俞博. 横向联结系对改善装配式 T 梁受力性能的研究[J]. 中外公路,2017,37(6):162—166.

[2] 欧智菁,薛文浩,谢铭勤,等. 装配式混凝土桥墩施工技术综述[J]. 中外公路,2020,40(1):96—101.

[3] 杨秀礼,徐杰,夏昊. 中小跨径预制装配化桥梁专用架设方法与智能安装技术研究[J]. 公路,2018,63(12):126—129.

[4] 余学良,罗赞荣. 沿海浅滩桥梁下部结构流水化装配式施工技术[J]. 中国港湾建设,2012(4):88—91.

[5] 张鸿,张永涛,王敏,等. 装配式组合梁桥一体化架设方法及装备[J]. 中外公路,2018,38(6):140—143.

[6] 金辉,徐岳,郑求才,等. 型钢—混凝土组合加固技术在空心板桥中的应用[J]. 桥梁建设,2017,47(1):114—118.

[7] 何远义,彭浪. 装配式盖梁施工技术在桥梁工程中的应用[J]. 工程建设与设计,2020(5):198—200.

[8] 杨文武,蔡俊懿,柳欣荣,等. 预制装配化桥梁技术发展及应用[J]. 广东公路交通,2019,45(5):67—73.

[9] 邵旭东,邱明红. 基于 UHPC 材料的高性能装配式桥梁结构研发[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2019,51(2):160—167.

[10] 刘波,陈浩,陈雁云. 某城市桥梁预制墩柱与承台拼装施工技术[J]. 施工技术,2018,47(24):73—76.