

姜海西 — 编著

城市桥梁

预制装配成套技术 研究与应用



上海科学技术出版社

城市桥梁预制装配 成套技术研究与应用

姜海西 等 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了城市桥梁全预制装配设计施工关键技术研究的主要过程和核心成果,包括桥墩预制装配快速链接构造,预制装配快速链接构造试验研究,成套预制技术,成套装配技术,异性段节段拼装及防撞墙预制装配技术,BIM、二维码等信息化管理技术在预制装配项目中的应用,以及新型技术体系在上海嘉闵高架、S3公路等工程中的应用情况等,是对上海地区近十年来在桥梁全预制装配技术领域研究与实践的系统总结。

本书将对从事桥梁全预制装配设计和施工的研究人员和工程师有积极的参考意义,有助于建筑工业化发展,提升上海乃至全国其他地区的桥梁装配式建造水平。

图书在版编目(CIP)数据

城市桥梁预制装配成套技术研究与应用 / 姜海西等
编著. — 上海: 上海科学技术出版社, 2021.9
ISBN 978-7-5478-5458-7

I. ①城… II. ①姜… III. ①城市桥—预制结构—装配式构件—成套技术—研究 IV. ①U448.15

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第160572号

城市桥梁预制装配成套技术研究与应用

姜海西 等 编著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路71号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 16.25

字数 375千字

2021年9月第1版 2021年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-5458-7/U·114

定价: 120.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,请向工厂联系调换

编写委员会

查义强	黄国斌	冀振龙	王志强	张玉富
吴建兵	范 雷	沙丽新	周 良	陈 明
卢永成	刘经熠	李国平	黄嘉伦	陈 坚
李逸之	卫张震	干华铭	李申杰	郑宴华
任红梅	吴斌暄	邱俊男	熊子正	王文东
莫 超	韩 林	贾尚华	刘博诗	郑学东
毕常芸	陆元春	严化勤	闫兴非	吴 勇
王冠男	高玉权			

序

随着我国城市化进程持续推进,城市高架桥梁在内的各类交通基础设施建设迅速发展。与此同时,人口红利逐渐消失,适龄及高素质劳动力短缺,社会公众对现浇施工引发的环境和交通影响日益敏感,加之国家层面越来越高的环保要求,均使城市高架桥梁建造方式亟须变革,传统的现浇模式显然已难以满足城市高质量发展的需求。所幸经济社会发展带来新的机遇,一是装备制造业的进步,使大型机械设备保有量大幅提升;二是材料科学发展,间接引发了土木工程材料的革新;三是整个社会的信息化应用逐渐普及,相关专业人才供应充足。这些都为建筑业向工业化、标准化、信息化方向转型发展奠定了坚实基础。城市桥梁全预制装配技术便是当下建筑业转型发展的历史趋势中具有代表性的先进技术体系之一。

本书以上海嘉闵高架(G2-S6)、S3公路高架桥梁建造为工程背景,介绍了桥梁预制装配设计施工关键技术研究的主要过程和核心技术成果,包括多种快速装配接头的设计,专利接头产品的研发,大比例尺静、动力模型试验验证,现代化的构件预制工厂和流水生产线设计,现场快速装配装置的开发,BIM、二维码等信息化管理手段,以及大型构件预制和现场装配的新型技术管理生产体系,是对上海地区近十年来在桥梁全预制装配技术领域研究与实践的系统总结。

本书兼具理论研究和实际操作的指导作用,对从事桥梁全预制装配设计和施工的研究人员和工程师将有积极的参考意义,有助于提升上海乃至全国的桥梁装配式建造水平。

钱彦泉

2020年10月

前言

随着城市的快速发展,交通压力日益严重,同时为了节约有限的土地资源,国内各大城市都开始建造大量的桥梁工程。但按照传统的现浇施工工艺,城市内桥梁工程建造过程本身会对已是建成区的城市造成巨大的伤害,主要带来了以下一系列问题:

(1) 现场需搭设大量支架和模板,施工过程安全风险大,监管工作量大、难度高、效率低(见图1)。

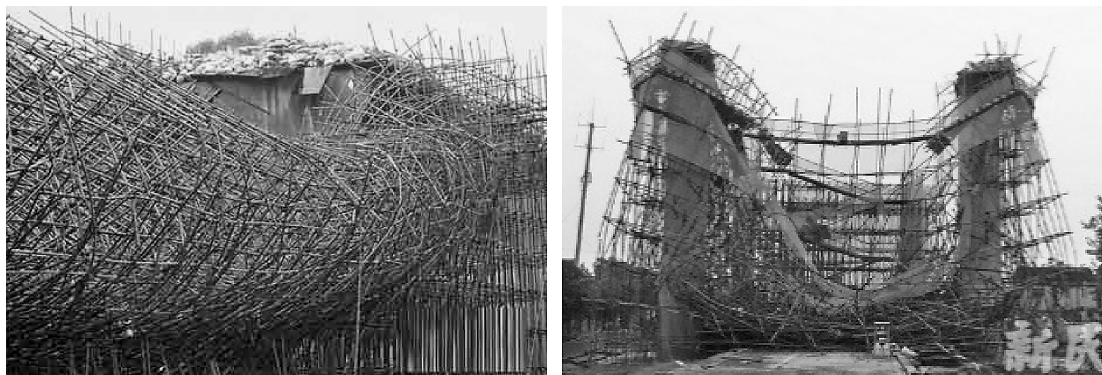


图1 传统支架施工方式容易造成坍塌事故

(2) 支架对空间的占用造成本来就很拥堵的交通雪上加霜,社会舆论反响强烈(见图2)。



图2 桥梁传统建造模式对城市既有交通影响非常大

(3) 大量的现浇工作造成施工效率低下、建造工期过长。

(4) 现场大规模作业模式产生了大量的声、光、尘、泥浆等污染,严重影响了城市自然环

境和居民生活环境。

(5) 粗放型的施工模式导致行业整体能耗高,浪费严重。

同时,随着国民经济的发展,社会背景也发生了巨大的变化,如劳动力工资不断上涨、技术型劳动力储备严重不足、社会公众对改善环境和交通诉求日益高涨、国家越来越重视节能环保战略等。因此,城市高架桥梁的传统现浇施工工艺已不能满足社会发展的需求,必须寻求一种工厂化、快速化、集约化的城市高架桥梁桥墩建造施工工艺。

参考飞机、汽车等机械行业,以及装配式住宅的构件化生产、集成组装的现代化生产模式,城市高架桥梁桥墩也可以采用工厂预制、现场装配的建造模式,这种工艺已经被世界各国高度重视并进行深入研究。预制装配技术工艺相对于传统技术工艺主要有如下特点:

(1) 缩短工期。预制装配施工技术是将现场需要立模、绑扎钢筋及浇筑混凝土等的工作转到预制工厂,即立柱、盖梁等在基础工程完成之前就可以预制施工,把传统顺序施工过程变成并行的工序,通过合理安排预制、装配工序来加快施工进度,缩短施工工期。

(2) 降低施工对现有交通的干扰。立柱、盖梁构件工厂预制,由专用设备进行现场装配,可显著降低对施工场地周围城市正常交通的影响,减轻对周围环境的影响。

(3) 降低工程风险。减少大量的现场人工和人数,减少现场支架、钢筋、模板搭设和拆除工序,降低工人长时间高空作业,便于现场管理,减少施工危险。

(4) 提高工程质量。由于预制装配结构主要在工厂完成,质量稳定且有保证。同时预制装配对精度要求高的特性决定施工质量比传统施工质量要高,工厂化生产质量稳定,也利于质量和精度的控制。

(5) 当工程规模大时,可摊销降低工程成本。因为预制装配主要的投入是建造预制加工厂和购买相关的生产、吊装设备,通过大工程的实施,施工机械成本和预制生产成本均可以得到充分的摊销。

本书总结了上海地区自 2011 年以来桥梁全预制装配技术,特别是预制装配桥墩研究与应用的系列成果,包括了各类拼接接头的可靠性、结构体系的力学行为、现代化预制工厂、快速装配工艺及 BIM 在相关项目中的应用等一系列设计施工关键技术。主要内容如下:

(1) 依据桥梁预制构件特点、施工条件和所处工程环境等因素,研发了多种预制装配构件之间的连接构造和连接装置,如连接套筒、金属波纹管、高强无收缩压浆料、Pocket、Member socket 等。

(2) 开展了预制装配桥墩接缝力学行为、抗震设计和分析计算方法研究,包括预制装配构件在正常使用条件下预制构件裂缝控制、强度、刚度和耐久性等的设计理论和方法研究;预制桥墩抗震延性变形、破坏机理、倒塌模式、抗震设计和分析计算方法研究。

(3) 预制混凝土桥梁构件制备技术,主要内容为现代化的预制构件厂工装和流水线的集成预制工艺研发、信息化组织管控技术研究和相关配套机械化设备(如预制墩身、盖梁专用模板、吊具等)的集成研发,并进行了工程应用。

(4) 进行了预制混凝土桥梁吊装、运输和现场装配等施工工艺研究,主要包括大型的运输设备、现场装配吊装设备、压浆设备、构件间装配对准技术、施工监控和施工组织管理等。研究内容包括信息化施工模拟分析与技术革新研究;配合吊装研发自动调整系统等相关产品,建立适应桥梁预制节段快速对准和装配的工法;高强度无收缩砂浆搅拌和压浆设备研发,并进行了工程实际应用。

(5) 对城市高架异形段节段拼装及预制防撞护栏技术进行了初步研究。

本书的面世将有助于城市高架桥梁设计与施工向文明、耐久、美观、配置集约化、能源节约、人力资源合理配置的方向发展,并推动新型绿色产业链的形成,培育全预制装配桥梁技术相关设计单位、现代化预制梁厂、新型连接装置加工企业,扩大社会就业范围,促进上海市桥梁结构产业化发展,并引领全国预制桥梁结构的产业化发展。

作 者

目 录

第一章 桥梁全预制装配技术研究进展 / 1

1.1	国外桥梁全预制装配技术	3
1.1.1	有黏结后张预应力筋连接构造	3
1.1.2	灌浆套筒连接构造	5
1.1.3	灌浆金属波纹管连接构造	7
1.1.4	承插式连接构造	8
1.1.5	插槽式连接构造	9
1.1.6	钢筋焊接或搭接并采用湿接缝构造	9
1.1.7	其他构造	10
1.2	国内桥梁全预制装配技术	10
1.3	国内全预制装配桥梁典型案例	12
1.3.1	嘉闵高架北段二期工程	12
1.3.2	中环国定东路下匝道工程	13
1.3.3	S7 公路新建工程	14

第二章 桥墩预制装配快速连接构造 / 17

2.1	灌浆套筒连接构造	19
2.1.1	套筒构造	19
2.1.2	高强无收缩水泥灌浆料	20
2.1.3	高强灌浆料—套筒组合体系控制指标	21
2.1.4	高强灌浆料—套筒组合体系配件	22
2.2	灌浆金属波纹管连接构造	22
2.3	承插式连接构造	23
2.4	插槽式连接构造	24

3.1	试件设计	27
3.1.1	试件描述	27
3.1.2	试件尺寸设计	31
3.1.3	试件配筋设计	32
3.2	试件制作	34
3.3	试件加载方案	36
3.3.1	试验装置	36
3.3.2	竖向荷载模拟	37
3.3.3	水平荷载模拟	38
3.4	量测内容	42
3.5	试验现象	42
3.5.1	1# 试件(新)	42
3.5.2	1# 试件(旧)	44
3.5.3	2# 试件	46
3.5.4	3# 试件	47
3.5.5	4# 试件	49
3.5.6	5# 试件	51
3.5.7	6# 试件	52
3.5.8	7# 试件	54
3.5.9	8# 试件	60
3.5.10	9# 试件	67
3.5.11	10# 试件	72
3.5.12	11# 试件	77
3.5.13	12# 试件	79
3.5.14	13# 试件	80
3.6	试验结果分析	82
3.6.1	单向加载	82
3.6.2	滞回性能	84
3.6.3	恢复力特性	86
3.6.4	延性性能	88
3.6.5	耗能面积	89

3.7 主要试验结论	90
------------------	----

第四章 预制装配施工工艺研究——成套预制技术 / 93

4.1 现代化预制工厂	95
4.1.1 现代化预制工厂设计原则	95
4.1.2 现代化预制工厂设计案例	95
4.2 立柱预制	99
4.2.1 立柱预制原则	99
4.2.2 立柱预制施工工艺及案例	101
4.3 盖梁预制	129
4.3.1 盖梁预制原则	129
4.3.2 盖梁预制施工工艺及案例	131
4.4 信息化技术在构件预制中的应用	150
4.4.1 二维码技术及应用研究路线	150
4.4.2 二维码技术在预制装配桥梁工艺中的应用研究	152
4.4.3 二维码标准格式及专用软件开发	154
4.4.4 二维码打印技术研究	158

第五章 预制装配施工工艺研究——成套装配技术 / 161

5.1 构件吊装运输	163
5.1.1 构件吊装运输原则	163
5.1.2 立柱工厂内起吊运输	163
5.1.3 盖梁工厂内起吊运输	166
5.2 立柱装配	168
5.2.1 立柱装配原则	168
5.2.2 立柱装配案例	170
5.3 盖梁装配	181
5.3.1 盖梁装配原则	181
5.3.2 盖梁装配案例	182

第六章 城市高架异形段节段拼装及防撞墙预制装配技术 / 191

6.1 高架异形段节段拼装技术	193
-----------------------	-----

6.1.1	混凝土梁节段预制装配技术发展	193
6.1.2	异形段节段拼装方案研究	194
6.1.3	高架异形段节段拼装设计实例	198
6.2	防撞墙预制装配技术	201
6.2.1	预制防撞墙设计方案	201
6.2.2	预制防撞墙静力试验	205

第七章 BIM 在预制装配项目中的应用 / 227

7.1	基于 BIM 的城市高架桥梁预制工厂信息化管理技术	229
7.1.1	基于 BIM 的混凝土预制构件深化设计	229
7.1.2	基于 BIM 的 PC 构件数字化加工技术	234
7.1.3	基于 BIM 和物联网技术的城市高架预制工厂信息化管理系统	234
7.2	基于 BIM 的城市高架智慧建造技术	239
7.2.1	施工方案模拟	239
7.2.2	基于 BIM 的智慧建造管理平台	241

参考文献 / 245

CHAPTER 1

第一章

桥梁全预制装配技术研究进展

▶ 1.1 国外桥梁全预制装配技术

1945—1948年,法国学者 E. Freyssinet 首次采用预制节段施工法进行预应力混凝土主梁施工。1952年,E. Freyssinet 的公司在一座单跨桥梁中第一次采用了节段密接匹配预制法,采用后张预应力将节段组合在一起^[1,2]。1962年,Jean Muller 改进了节段剪力键构造、密接匹配预制及装配工艺,并从法国推广到了美国。由 Jean Muller 设计的美国 Long Key 桥,于 1980 年竣工,是美国第一座采用预制节段逐跨装配施工的体外预应力混凝土桥梁,也是新一代的体外预应力混凝土桥梁。此后,结合体外预应力技术和先进架桥设备的标准化预制节段装配施工方法在全世界得到了发展^[3,4]。20 世纪 70 年代,桥梁下部结构的预制节段装配施工技术在荷兰、美国等一些国家开始应用。美国的 Linn Cove 高架桥(见图 1.1)于 1978 年开始建造。该桥下部桥墩预制节段采用有黏结后张预应力筋连接,并采用环氧接缝构造增强耐久性。该桥通过采用预制装配技术顺利解决了环境制约与工程进度等问题,成为预制装配技术应用的一个典型工程范例^[5]。



图 1.1 Linn Cove 高架桥(预应力筋连接构造)

此后,国外的研究人员和工程设计人员依据桥型特点、施工条件和所处工程环境等因素,对预制装配桥墩连接构造提出很多类型,主要可归结为采用有黏结后张预应力筋钢绞线(精轧螺纹钢)、灌浆套筒连接、波纹管连接方式、插槽式、承插式、钢筋焊接、搭接并采用湿接缝及混合方式实现连接等构造,实现预制桥墩之间、预制墩身与盖梁、预制墩身与承台的连接^[6-9]。

1.1.1 有黏结后张预应力筋连接构造

在美国一些地震危险性低的地区,预制装配桥墩技术的应用逐渐增多,节段之间的装配连接技术为有黏结预应力筋环氧接缝连接方式。有黏结后张预应力筋连接构造往往配合砂浆垫层或环氧胶接缝构造实现节段预制桥墩的建造,方案中的预应力筋可采用钢绞线或精轧螺纹钢等高强度钢筋,如图 1.2 所示。考虑到施工的便利性,通常采用预应力筋底部锚固在现浇承台中,在墩顶部张拉的方式;墩身节段间采用环氧树脂接缝,可以改善桥墩的耐久性。该构造的优点是预应力筋通过接缝,其强度、刚度等力学特性可靠,设计理论、计算分析及施

工技术经验成熟,实际工程应用较多;不足是墩身在配有预应力筋的同时,还需要布置一定数量的构造配筋,墩身造价比传统现浇混凝土桥墩要高许多,施工工艺复杂,且施工时间较长,通常一个工序需要 1~3 d 时间。

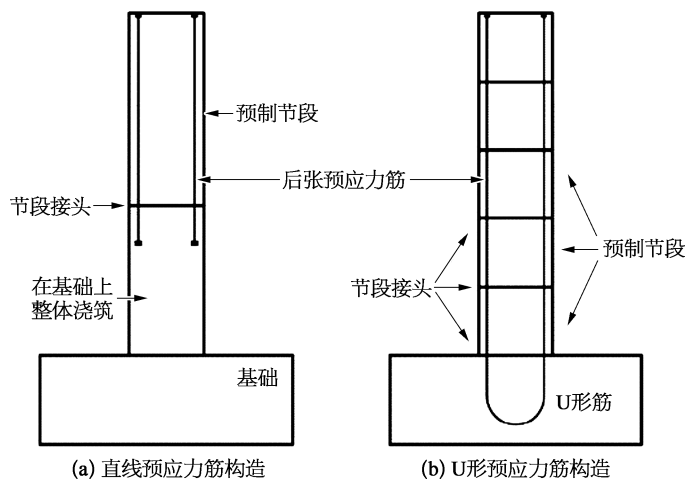


图 1.2 预制墩柱预应力筋装配连接构造示意图

具体实桥应用有如 Long key 桥(佛罗里达州,1980)、The Seven Mile 桥(1982)、Dauphin island 桥(亚拉巴马州,1982)、Sunshine skyway 引桥(1987)、Wando river 桥(南卡罗来纳州,1988)、James river 桥(弗吉尼亚州,1989)、Chesapeake and Delaware Canal 桥(1995)、183 号公路桥(得克萨斯州奥斯汀,1996)、Vail Pass 桥(科罗拉多州,1999)、Victory 桥(新泽西州,2005)等。

其中,The Seven Mile 桥上部结构和下部结构均采用预制装配技术施工,下部桥墩为匹配法预制的箱形墩,通过后张竖向预应力筋连成整体,18.3 m 高的桥墩一天可以建成,一周可以完成三跨 123 m 主梁的建造,是当时世界上最长的桥梁(见图 1.3)。美国得克萨斯州奥斯汀的 183 号公路桥建于 1996 年,主梁采用逐跨拼装施工方法,下部桥墩采用后张有黏结预应力筋连接的节段拼装施工方法(见图 1.4)。位于科罗拉多州的 Vail Pass 桥梁(见图 1.5),桥墩预应力筋布置为环向,顶部张拉。



图 1.3 Seven Mile 桥



图 1.4 美国得克萨斯州奥斯汀 183 号公路桥

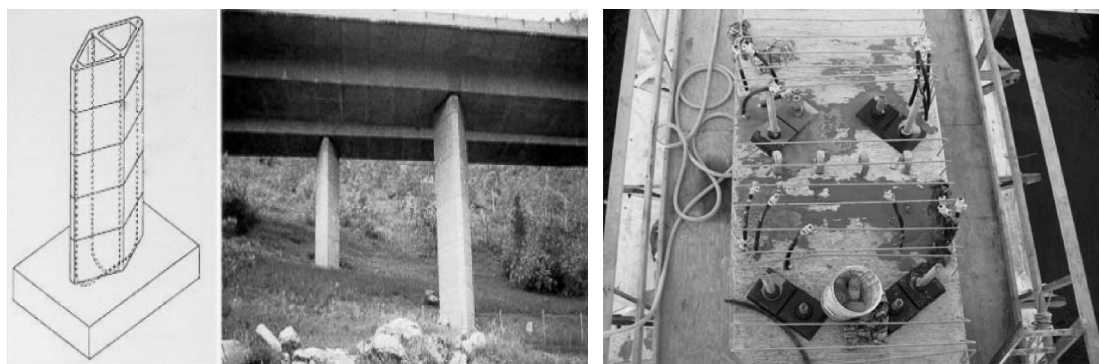
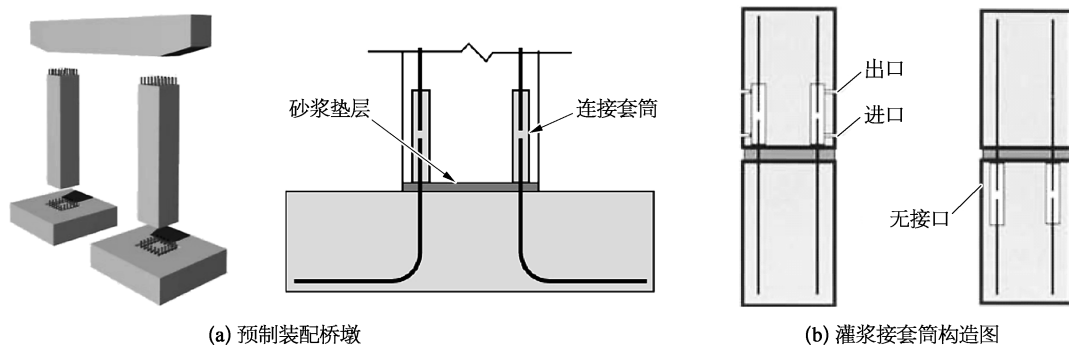


图 1.5 Vail Pass 桥

1.1.2 灌浆套筒连接构造

灌浆套筒连接构造是预制墩身节段通过灌浆连接套筒连接伸出的钢筋，在墩身与盖梁或承台之间的接触面往往采用砂浆垫层，墩身节段之间采用环氧胶接缝构造，如图 1.6 所



(a) 预制装配桥墩

(b) 灌浆接套筒构造图

图 1.6 预制装配桥墩和灌浆连接套筒连接构造图