

# 复杂环境下的桥梁预制结构吊装施工技术

张文贵

(上海市政建设有限公司, 上海市 200126)

**摘要:** 以上海 S3 公路 1 标段六灶港北区桥梁预制构件吊装施工为例, 针对其紧邻既有结构物、多层次桥梁结构、多种类桥梁预制构件以及吊装场地狭小的特点, 通过优选吊装施工技术方案、借助 BIM 三维仿真模拟技术, 科学合理统筹规划预制构件总体安装顺序、优化门墩区域的不利吊装工况等, 解决了紧邻既有结构物复杂环境下的预制构件安装的难题, 可为类似项目的施工提供借鉴。

**关键词:** 复杂环境; 桥梁预制结构; 吊装; 施工技术

**中图分类号:** U443.3

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)05-0142-05

## 1 工程概况

上海 S3 公路 1 标段(以下简称“本标段”)起于周邓公路, 终至下盐公路, 全程 5.15 km。项目主要分为上下层两个部分: 上层为全预制拼装高架桥梁, 下层为新建城市地面道路。本标段路线南北走向, 在规划七级航道六灶港处设置上下两层桥梁跨河。

### 1.1 六灶港北区预制构件设计概况

上层桥梁为预应力混凝土小箱梁、简支变连续结构, 跨径布置为  $3 \times 28 + 2 \times 29$  m, 5 跨 142 m。桥梁立柱、盖梁和主梁均在后场预制、运输至前场后使用大型设备进行吊装安装。桥梁整幅布置、位于曲线变宽段, 桥梁宽度由 31.2 m 渐变至 25.5 m, 前两跨桥墩为四柱门墩(如图 1), 中间两跨桥墩为三柱门墩(如图 2), 后两跨桥墩为双柱墩, 门墩下布置六灶港地面两幅机动车桥, 机动车桥边缘布置地面两幅人行天桥。预制立柱平面尺寸  $1.8 \times 1.8$  m (1.5 m), 预制最大高度 13.462 m, 预制立柱最大重量 109 t; 单个预制盖梁最大外形尺寸为  $24.489 \times 2.15 \times 2.6$  m (高度), 预制最大重量约 240 t; 预制小箱梁最大预制重量 158.6 t (含防撞墙)。

下层桥梁为部分预制拼装桥梁, 下部结构为现浇钢筋混凝土结构, 上部结构形式与上层桥梁一致, 桥梁等宽、分四幅设置, 跨径布置为  $3 \times 24(25) + 3 \times 25$  m, 共 6 跨 150 m; 预制小箱梁最大预制重量 111.7 t。

另外在六灶港地面桥起点附近设置一座钢结构人行天桥, 竖向位于地面桥和高架桥之间, 下部结构

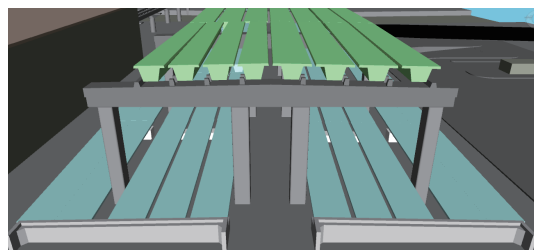


图 1 四柱门墩断面三维效果图

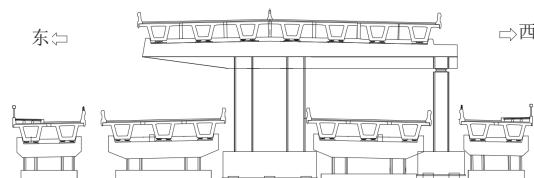


图 2 三柱门墩桥梁横断面图

现浇, 上部结构为预制钢梁; 上部结构分为东西侧人行钢扶梯 + 主桥, 主桥两跨、钢结构重量 166.8 t, 人行钢扶梯总重量 70 t。六灶港北区桥梁三维效果图见图 3。

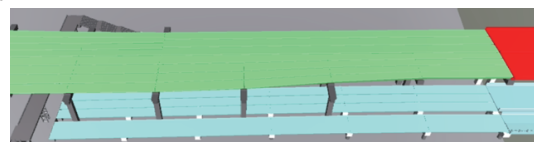


图 3 六灶港北区桥梁三维效果图

### 1.2 六灶港北区现场及周边环境概况

桥梁东侧紧邻轨道交通 16 号线和周浦东站, 西侧紧邻新建周浦东交通枢纽, 南侧邻河, 北侧临近已安装的高架桥梁, 桥梁紧邻既有结构物和河流, 桥梁多层重叠布置, 吊装施工环境复杂。六灶港北区现场及周边环境分布可见图 4。

## 2 六灶港北区桥梁工程特点与难点

(1) 设计方面: 桥梁为两层和三层结构, 上层桥梁变宽下层桥梁等宽, 平面上高架桥位于地面桥范围

收稿日期: 2021-09-24

作者简介: 张文贵(1965—), 男, 本科, 高级工程师, 从事市政工程技术管理工作。

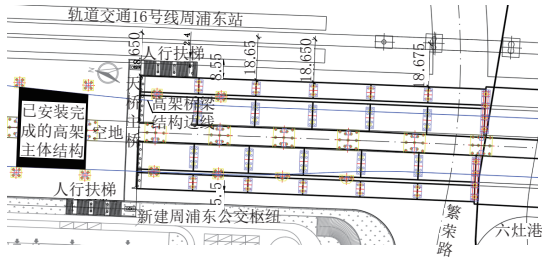


图4 六灶港北区现场及周边环境分布平面图

内;上下层桥梁跨径布置明显不同,造成桥墩错位严重;桥梁结构形式类似,桥墩生产工艺不相同,一个为预制拼装结构,一个为现浇结构;周浦东人行天桥横向布置,紧邻地面和高架桥梁,竖向位于上下层桥梁之间。

(2)施工方面:桥梁预制构件吊装大量共用作业面,上下层桥梁桥墩错位严重和施工工艺的截然不同(地面桥下部结构需预先施工),造成吊装施工场地受到很大限制,加之桥梁紧邻既有结构物和河流,且西侧新建周浦东公交枢纽无法借地,进一步压缩了可用吊装场地,吊装场地非常狭小,三层次的桥梁和预制构件长、大、重,预制构件的安装环境复杂,吊装施工难度大,预制构件的安装顺序至关重要。

### 3 施工方案比选和优化

六灶港北区桥梁预制构件吊装环境复杂,吊装难度大,为有针对性地解决吊装施工难点,结合本标段桥梁设计特点和现场实际情况,对吊装施工方案进行比选和优化。

#### 3.1 施工方案比选

(1)施工方案一:采用汽车吊吊装。汽车吊吊装时不能带载移动、生产效率低,大半径吊装性能相对较小,结合工程设计情况和现场吊装环境,仅能满足小部分构件的吊装需要,方案不可行。

(2)施工方案二:采用履带吊吊装。履带吊起吊能力大,适应性强,可带载行走作业,对地基承载力要求较低,生产效率高,而且能够满足本区域吊装需要,方案总体可行,但由于西侧第四幅地面桥小箱梁吊装时,局部吊装场地不足,无法采用履带吊安装,需结合其他设备施工。

(3)施工方案三:高架桥和周浦东人行天桥先用履带吊完成安装,地面桥小箱梁采用架桥机施工。由于架桥机行走时,其横梁会受到高架桥立柱的阻碍,在高架桥下吊装,空间严重受限,且地面桥为四幅桥梁,架桥机需反复拆装、成本较高,方案不可行。

(4)施工方案四:高架桥梁和周浦东人行天桥先

用履带吊完成安装,地面桥小箱梁采用顶推法施工。顶推法由于需采用大量的施工临时措施,施工成本高,且受限于在高架桥跨间作业,上梁非常困难,高架桥关门区域小箱梁安装困难,顶推法可行性不高。

经比选分析:六灶港北区预制构件吊装,总体选定采用履带吊,根据设计和场地情况,局部采用汽车吊。

#### 3.2 六灶港北区预制构件吊装施工方案优化

考虑到六灶港北区桥梁预制构件吊装工况复杂、吊装难度大,结合设计、现场环境和吊装设备情况等,对吊装进行优化,确保施工方案的可操作性和安全性,提高施工效率。

(1)吊装顺序的优化。结合设备性能,统筹考虑高架桥和地面桥预制构件吊装的先后顺序,运用BIM技术,反复模拟和核对构件的前后安装顺序,确保安装顺序正确,吊装工况可行,尽可能地在同一吊装区安排更多的构件吊装,避免设备频繁的纵向移动,提高工效。

(2)三柱门墩区域吊装工况优化。三柱门墩区域吊装,支撑高架桥预制分段盖梁的临时支架落地,地面桥小箱梁临时叠放在同跨已安装的小箱梁上,腾出临时支架的安装位置,待三柱门墩盖梁预应力施工完成后拆除临时支架、将叠放的小箱梁归位,避免在地面桥小箱梁上设置临时支架。

(3)门墩下地面桥小箱梁吊装不利工况优化。结合设备性能和构件安装引起的场地吊装环境变化,考虑到预制盖梁明显重于地面桥小箱梁,先安装预制盖梁再安装地面桥小箱梁。小箱梁采用双机抬吊,高架桥盖梁安装完成后,会阻碍地面桥小箱梁的安装,为此将最初的小箱梁运梁车停放于盖梁下、调整为在西侧便道取梁、吊装过程中临时搁置在地面上,一侧吊车换钩、采用低空兜底吊、另外一台吊车配合的方法,将小箱梁吊点缓慢移动至盖梁结构外,带露出吊点后搁地,再次进行换钩将小箱梁安装就位,最后优化为增加一组吊点,避免兜底吊,同时减小吊点距梁端的纵向距离,增加小箱梁临时叠放工况以利于后续小箱梁安装,避免换钩前待安装的小箱梁碰撞到已安装的小箱梁,导致无法换钩。

(4)临近新建周浦东公交枢纽地面人非桥小箱梁吊装优化。受制于施工场地狭小原因,该处小箱梁结构边与新建公交枢纽的距离最近为5.5m,且无法借用新建周浦东公交枢纽场地作为吊装场地,部分桥跨小箱梁受制于场地原因,吊装十分困难,常规方法

无法安装,原计划采用竖向顶升+水平横向平移的方法,优化为使用履带吊和汽车吊完成安装,较难安装的第1-3跨,采取双机跨外倒退吊装的方式完成:北侧汽车吊位于跨外地面上,南侧跨外汽车吊从南侧空载行使上桥、设置临时钢筋混凝土支墩支撑南侧汽车吊支腿,将吊装时汽车吊所受的荷载通过钢筋混凝土支墩传递至地面上(如图5、图6)。

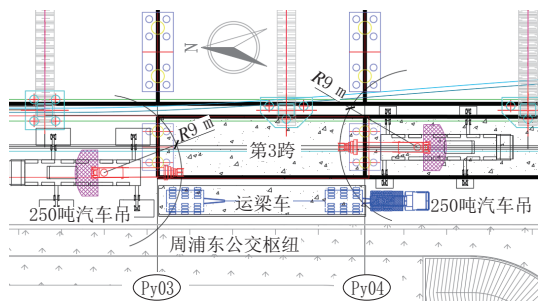


图5 双机跨外吊装第3跨小箱梁平面图

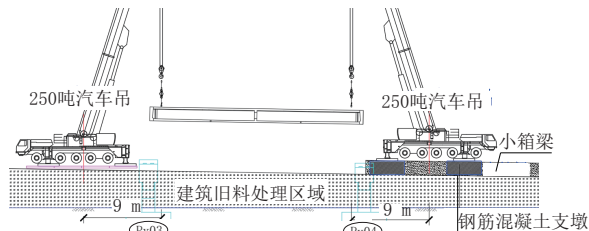


图6 双机跨外吊装第3跨小箱梁立面图

## 4 六灶港北区吊装方案实施部署

### 4.1 施工区划分

将六灶港北区根据吊装总体阶段细化分成4个吊装区(如图7)。

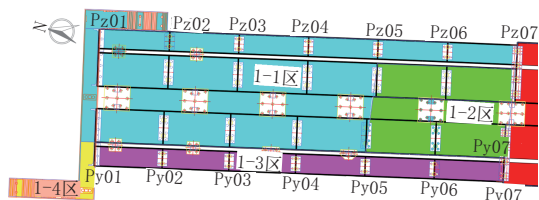


图7 吊装施工区划分平面图

### 4.2 总体施工方法

1-1区和1-2区采用1台350t和1台320t履带吊安装,1-3区域采用2台250t汽车吊和2台履带吊安装,1-4区采用汽车吊安装。预制立柱和小盖梁采用单台履带吊吊装,较大盖梁采用两台履带吊吊装,小箱梁采用双机抬吊。

1-1区是纵向由北向南安装,横向自东向西安装,总体上先地面后高架,地面桥分幅安装,先安装地面桥东幅小箱梁,再安装高架桥梁下部结构和一半的小箱梁,随后安装西幅地面桥机动车桥小箱梁,最后安装另外剩余高架小箱梁,人行天桥钢结构根据位置关系穿插安装。

1-2区是在跨河跨构件完成后进行安装,由北向南、自东向西安装,两跨小箱梁采用交叉穿插安装。1-3区的安装顺序为第4跨→第5跨→第6跨→第3跨→第2跨→第1跨,自东向西安装。1-4区是先安装西侧主梁再安装西侧人行扶梯。

### 4.3 吊装施工阶段

第一阶段:首先地面东幅人非桥箱梁由北向南依次安装,同时安装对应跨高架桥立柱,安装遵循自东向西的原则;该阶段完成Pz03-05跨机动车道小箱梁安装,其中2#小箱梁临时叠放在3#箱梁上,2#梁设计位置内安装1.8×1.8m临时钢支架,用于支撑Pm120-121三门墩分段预制盖梁(如图8)。

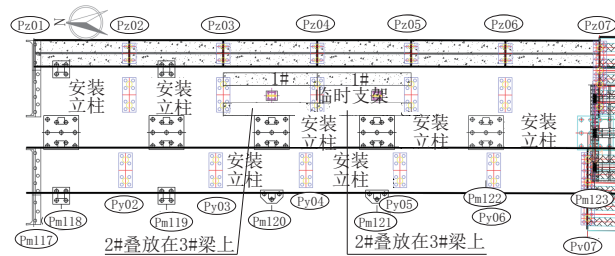


图8 第一阶段安装平面图

第二阶段:安装Pm118-119左侧分段盖梁、Pm120-121分段盖梁,安装遵循自东向西和由北向南的原则,紧接着施工Pm120-121三门墩盖梁现浇段(如图9)。

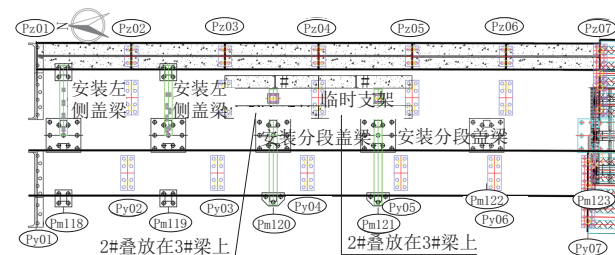


图9 第二阶段安装平面图

第三阶段:安装东侧人行扶梯钢结构,然后按照下图数字大小顺序统筹安装,吊装时由低到高,先地面后高架,自东向西,高架桥小箱梁先吊装东半幅,地面桥吊装两跨后再安装对应高架桥小箱梁(如图10、图11)。

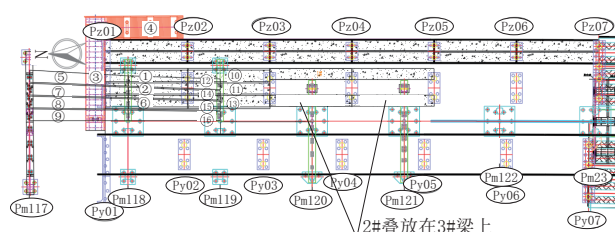


图10 第三阶段安装顺序平面图

第四阶段:由于Pm120-121盖梁此时未完成施工,先安装Pm118-119右幅立柱和盖梁,然后安装

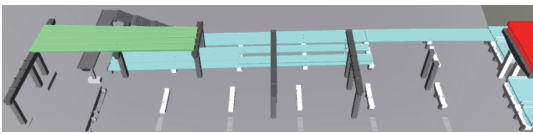


图 11 第三阶段完成后三维效果图

地面桥西幅机动车桥小箱梁和人行天桥主桥钢结构,最后安装高架桥西半幅小箱梁,完成高架桥 Pm117-118 跨小箱梁的安装,具体顺序按照下图数字大小顺序进行统筹吊装(如图 12、图 13)。

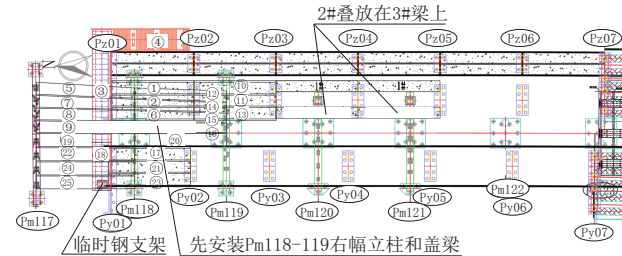


图 12 第四阶段安装顺序平面图

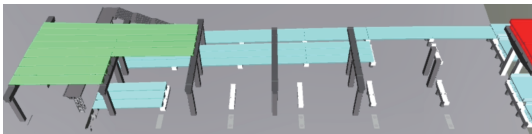


图 13 第四阶段完成后三维效果图

第五阶段:待 Pm120-121 盖梁完成预应力施工后首先拆除临时支架,将叠放在 3# 梁上的 2# 梁归位,然后自东向西安装地面桥和高架桥小箱梁,先地面后高架,安装时地面桥分幅施工,高架桥按半幅安装,地面桥安装完成两跨后安装对应跨高架桥小箱梁,具体顺序按照下图数字大小顺序进行统筹吊装(图 14、图 15),至此完成 1-1 区安装。

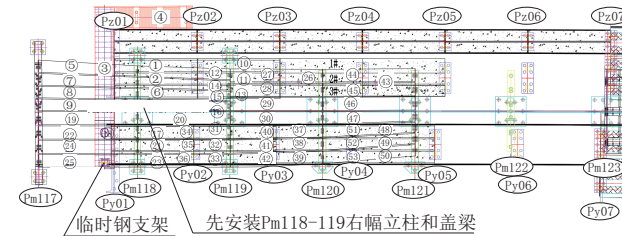


图 14 第五阶段安装顺序平面图

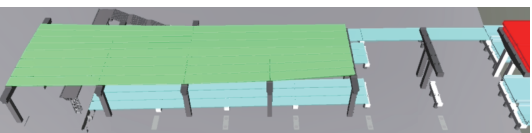


图 15 第五阶段完成后三维效果图

第六阶段:Pz05-07 和 Py05-07 跨机动车桥小箱梁和 Pm121-123 跨高架桥小箱梁交叉吊装,先地面后高架,自东向西安装地面桥和高架桥小箱梁,具体顺序按照下图数字大小顺序进行统筹吊装(如图 16、图 17),至此完成 1-2 区施工。

第七阶段:安装 1-3 区,前期由于吊装场地狭小,1-3 区地面桥桥墩不施工,作为吊装施工场地,

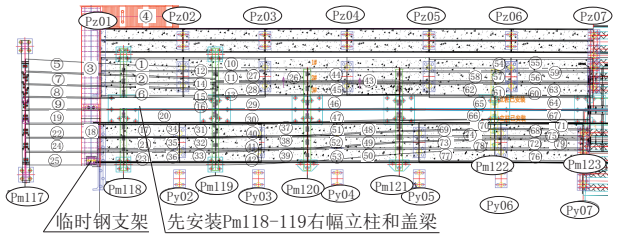


图 16 第六阶段安装顺序平面图

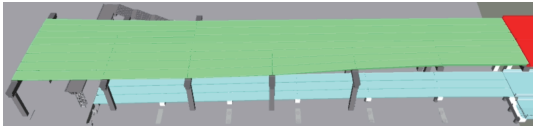


图 17 第六阶段完成后三维效果图

待 1-1 区和 1-2 区预制构件安装完成后再施工。小箱梁吊装顺序为第 4 跨→第 5 跨→第 6 跨→第 3 跨→第 2 跨→第 1 跨,自东向西安装,至此完成六灶港北区地面标小箱梁安装(图 18)。

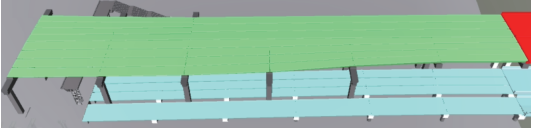


图 18 第七阶段完成后三维效果图

第八阶段:采用单台汽车吊安装周浦东人行天桥西侧剩余钢结构,至此完成六灶港北区桥梁预制构件安装。

4.4 门墩下地面桥机动车桥小箱梁吊装

选取不利的 Pz01-Pz02 跨机动车桥小箱梁吊装进行阐述,其他门墩下小箱梁吊装技术与此相同。采用 1 台 320 t 和 1 台 350 t 履带吊双机抬吊,1 台跨内 1 台跨外布置,吊装允许最大工作半径 18 m。首先完成高架桥 Pm118-119 左侧立柱和盖梁安装,再安装地面桥小箱梁。

(1)两台履带吊停放到位,在西侧便道上以 12 m 和 14 m 工作半径取梁,其中北侧吊车吊钩吊装位置为增加一组吊点位置,增加一组吊点位置位于梁端部 4 m。

(2)两台履带吊分别以 12 m 和 14 m 工作半径进行回转和带载作业,行走到位后,两台吊车配合移梁,使北侧端部吊点移动至高架盖梁结构外,将小箱梁临时搁置在地面上,北侧吊车准备换钩(如图 19)。

(3)两台履带吊分别以 12 m 和 14 m 工作半径进行回转和带载作业,行走到位后,两台吊车配合,吊钩缓慢下降,将小箱梁临时搁置在地面上,小箱梁北侧端部吊点需位于高架盖梁结构外(图 20),北侧吊车准备换钩。

(4)北侧吊车换钩,换至梁最端部吊点,然后采

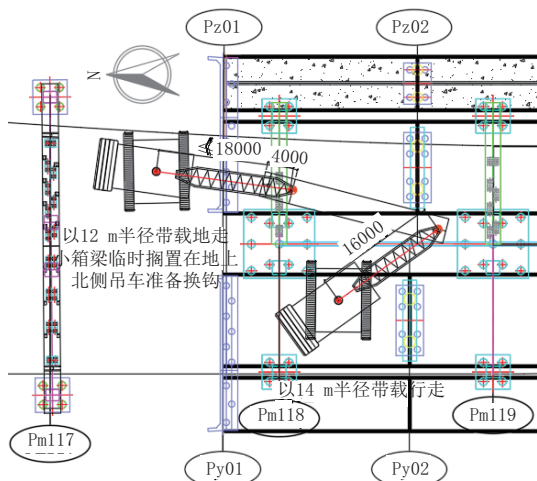


图 19 双机抬吊换钩前工况平面图

用双机抬吊、行走,精确调整位置后完成小箱梁就位。

(5)采用相同方法将该跨第3片小箱梁临时叠放在第1片上后,完成第2片梁安装,完成后再将叠放的小箱梁就位,完成门墩下地面机动车桥小箱梁的安装。

## 5 结 语

本标段六灶港北区预制构件吊装正顺利实施,

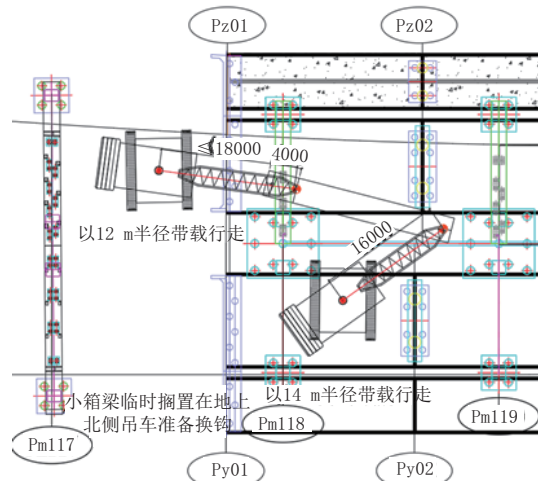


图 20 双机抬吊带载行走工况平面图

已进入尾声。实践表明:采取的吊装施工技术达到了预期目标,吊装方案合理可靠、具有很强的可操作性,吊装设备选用合理,吊装顺序安排合理,实际吊装进度比预期提前约15d,吊装施工成本较低。本文以六灶港北区桥梁预制构件吊装施工为例,论述了复杂环境下的桥梁预制构件吊装施工技术,可为今后类似项目的吊装提供参考和借鉴。

(上接第137页)

### 参考文献:

- [1] 林耿雄,姜海波.桥梁顶升技术的探讨[J].广东建材,2008(10):65-68.
- [2] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准[S].

- [3] GB/T 51256—2017,桥梁顶升移位改造技术规范[S].

- [4] CJJ 2—2008,城市桥梁工程施工与质量验收规范[S].

- [5] 李蕊,郑小素.浅谈整体同步高效顶升技术在桥梁加固施工中的应用[J].建筑规划与设计,2013(1):138-141.