

# 钢箱拱桥施工的过程控制

张金龙

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610066)

**摘要:**本文介绍了沔水河生态综合整治工程沔水六桥桥梁工程采用的系杆拱-预应力混凝土箱梁结构。阐述了如何根据施工技术要求,从拱脚预埋段安装、临时支撑安装、钢箱拱节段吊装、拱肋环口焊接、拱肋涂装、卸载并拆除拱圈临时支架、吊杆安装、桥梁整体面漆涂装等环节进行的施工过程控制,进而保证了钢箱拱桥的施工质量。

**关键词:**钢箱拱节段吊装;拱肋环口焊接;拱肋涂装;过程控制;钢箱拱桥;沔水六桥

**中图分类号:**[TU997];TU7;TU5

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)02-0050-05

## Construction Process Control of Steel Box Arch Bridge

ZHANG Jinlong

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** The tied arch—prestressed concrete box girder structure is adopted in the Xishui Sixth Bridge of Xishui River Ecological Comprehensive Treatment Project. This paper introduces how to control the construction process according to the technical requirements of construction to ensure the construction quality of the steel box arch bridge, including the installation of the embedded section of the arch foot, the installation of the temporary support, the hoisting of the steel box arch, the welding of the arch rib ring, the coating of the arch rib, the unloading and removal of the temporary support of the arch ring, the installation of the boom, and the overall paint coating of the bridge, etc.

**Key words:** hoisting of the steel box arch; welding of arch rib ring; coating of the arch rib; process control; steel box arch bridge; Xishui Sixth Bridge

## 1 概述

沔水六桥桥梁工程位于湖北省黄冈市浠水县,该跨河桥梁长 255.96 m,按双向 4 车道设计,桥面宽度为 27.5 m。主桥采用系杆拱-预应力混凝土箱梁结构,跨径组成为 37.5 m+40 m+95 m+40 m+37.5 m,共计 250 m。

该桥拱肋采用单肋双肢钢箱拱肋,设置于桥梁中央,上肢拱拱背线、下肢拱拱腹线均采用二次抛物线,上肢拱拱背线净跨径为 116.45 m,下肢拱拱腹线净跨径为 73.528 m;上肢拱拱背线矢跨比为 3/5.3,下肢拱拱腹线矢跨比为 1/3.4。下拱肋宽 2 m,高 1.8 m,顶底板厚 30 mm,腹板厚 20 mm;上肢拱肋宽 2 m,高 1.7 m,顶底板厚 30 mm,腹板厚 20 mm;拱肋从约  $L/4$  至  $3L/4$  段均采用上下两个钢箱叠合在一起的箱形截面,顶底板厚 30 mm,腹板厚 20 mm。钢箱内侧设置纵向

加劲肋和横隔板,纵向加劲肋沿拱肋管壁均布,规格为 180 mm(高)×16 mm(厚);吊杆处横隔板的厚度为 20 mm。

拱箱横隔板共分两类:第一类为垂直于拱轴线的普通横隔板,采用厚度为 16 mm 的钢板;第二类横隔板对应于吊杆处铅垂设置,每根吊杆上设 1 片横隔板,板厚 20 mm;所有横隔板均在中心处设置 620 mm×800 mm 椭圆人孔。沔水六桥桥型布置情况见图 1。鉴于该钢箱拱桥施工技术要求高,因此,必须重视对其施工过程的控制。阐述了对该钢箱拱桥施工采取的过程控制措施。

## 2 施工流程及操作要点

钢箱拱施工的工艺流程:拱脚预埋段安装→临时支撑安装→钢箱拱节段吊装→拱肋环口焊接→拱肋涂装→卸载并拆除拱圈临时支架→吊杆安装→桥梁整体面漆涂装。分述于后。

### 2.1 拱脚预埋段安装

收稿日期:2022-12-12

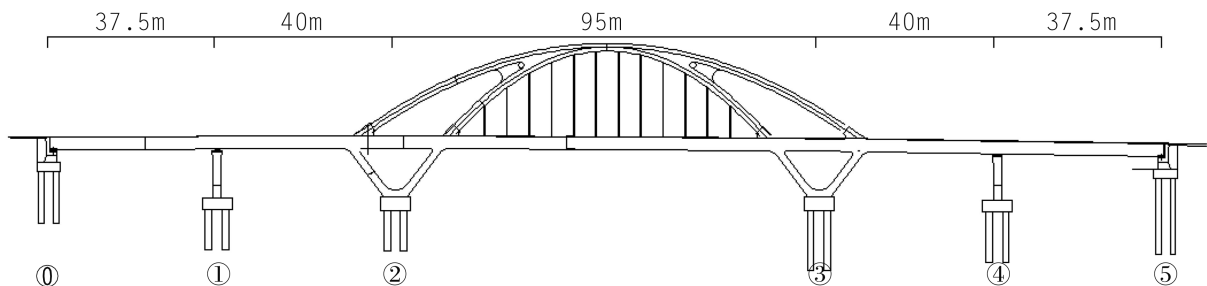


图1 浣水六桥桥型布置图

根据设计图纸及工程实际情况,需要在拱脚位置设置预埋结构为拱脚结构提供临时支撑。同时,在模板上设置尺寸为 $2.3\text{ m}\times 1.5\text{ m}\times 20\text{ mm}$ 的钢垫板使荷载均布,避免对混凝土箱梁底模、架体、钢筋等造成损坏。为保证拱脚构件预埋位置准确,在拱脚顶端中心位置粘贴测量反射片进行监测并用于调整。在将拱脚安装平面位置偏差控制在 $3\text{ mm}$ 以内后,采用双面焊将拱脚临时支撑焊接在钢垫板上。

## 2.2 临时支撑的安装

临时支撑在工厂内按照相关要求制作成标准节样式,由厂内生产并运输到现场拼装使用。厂内生产加工的临时支撑标准节以每 $4\text{ m}$ 和 $2\text{ m}$ 为一标准节,采用单片组合,外型基本组合尺寸为 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$ (可扩展为以 $2\text{ m}$ 为模数的任意组合)。由A、B、C三个组件构成,可在施工过程中根据需

要随意组合,任意扩展。临时支撑的材料采用力学性能适中的Q235B钢。

临时支撑标准节立杆采用法兰系统对接,组件B与组件A、C之间采用 $M12\times 100\text{ mm}$ 螺栓连接。临时支撑之间使用(宽度) $488\text{ mm}\times$ (高度) $300\text{ mm}\times$ (腰板厚度) $11\text{ mm}\times$ (翼缘厚度) $18\text{ mm}$ 工字钢作为分配梁(根据现场情况可对分配梁截面进行替换),在钢箱梁节段腹板位置设置(宽度) $200\text{ mm}\times$ (高度) $200\text{ mm}\times$ (腰板厚度) $8\text{ mm}\times$ (翼缘厚度) $12\text{ mm}$ 工字钢作为支撑调节段。

临时支撑架采用缀条格构柱结构。主要材料为 $\Phi 273\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ 钢管,连接系采用12A号槽钢。分配梁采用 $480\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ H型钢,支架采用法兰与螺栓连接。钢箱拱临时支架情况见图2。

鉴于支撑架安装于混凝土桥面上,故需在混

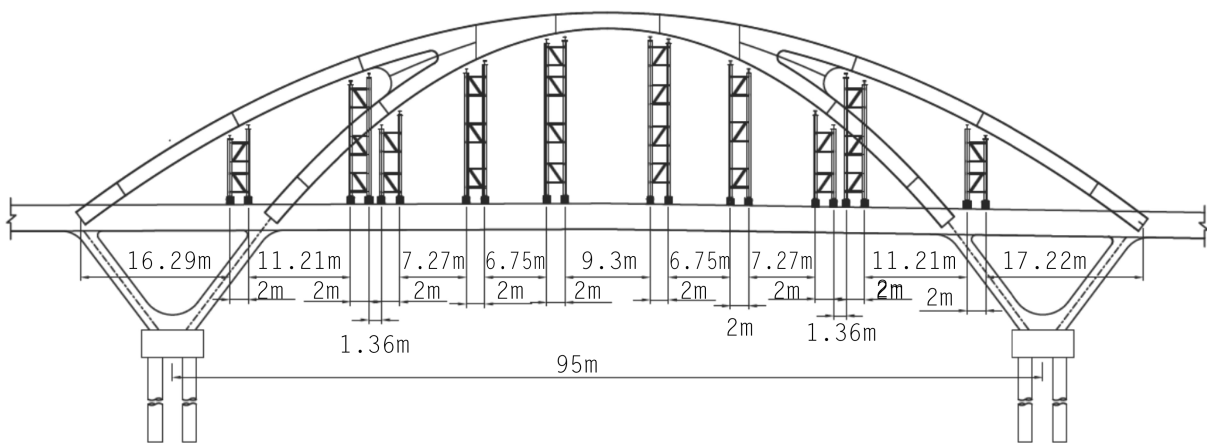


图2 钢箱拱临时支架示意图

凝土桥面上设置预埋件,支架与混凝土桥面通过预埋件的方式进行连接,预埋件的规格为 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}\times 16\text{ mm}$ ,材质为Q235B钢,数量共计36件。

在支撑架顶部分配梁上设置临时支墩,临时

支墩采用厚度为 $20\text{ mm}$ 的钢板制作,钢板竖向焊接形成H型结构,下部与支架分配梁焊接,上部根据拱肋倾斜角度进行斜切处理以确保拱肋就位后支墩与拱肋底板密贴。

## 2.3 钢箱拱节段的吊装

全桥共设 4 个拱脚分段、15 个吊装节段。吊装时先吊装拱脚分段。拱脚浇筑混凝土后,从两侧拱脚向拱顶吊装主、副拱分段,合拢段设置在跨

中位置。钢箱拱拱肋各节段的结构尺寸、重量数据见图 3。

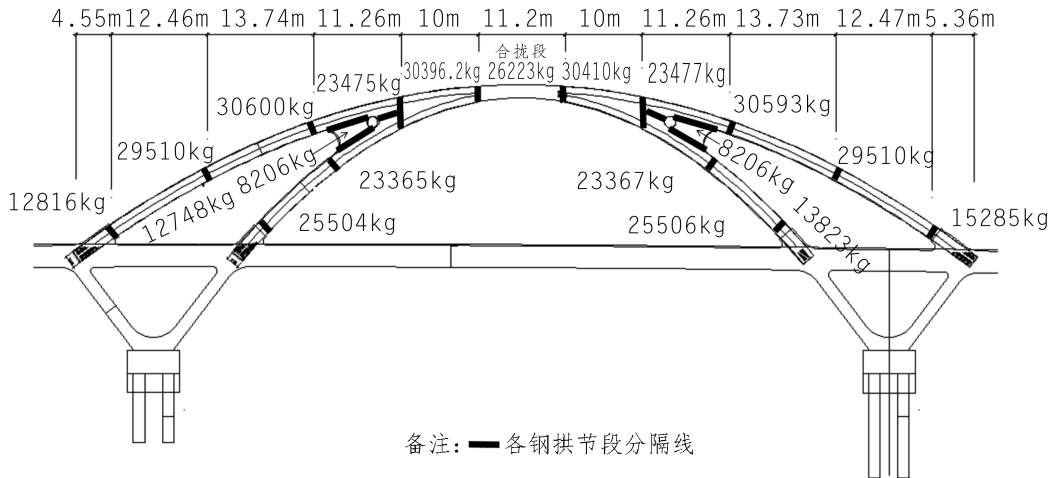


图 3 钢箱拱拱肋分段图

地测量勘察、分析吊车的作业能力和各种不良因素影响,项目部最终决定选用徐工 QY160 t 汽车吊。

根据钢箱拱节段吊装重量、吊机及运输车辆站位条件,吊装具有两种类型吊装工况。

工况一:预埋拱脚施工。四个预埋拱脚的重量分别为 12.7 t、12.8 t、13.8 t 和 15.3 t。包含焊缝重量、吊具重量,可按 17 t 考虑。汽车吊自重 55 t,全配重 45 t,荷载总重 117 t。选用 20 m 作业半径,可以满足施工需要。

2 号 V 型墩拱脚施工时,吊车布置在施工便道位置进行吊装。施工过程中选用 20 m 作业半径,43 m 主臂,额定起重量为 16.4 t。2 号 V 型墩位置拱脚重量分别为 12.7 t 和 12.8 t,可以满足施工需要。经放样,吊车主臂与箱梁架体有约 1.5 m 的间距,能够满足施工需要。

3 号 V 型墩附近设有钢便桥,160 t 汽车吊需在栈桥上完成吊装施工。经放样确认,选用 35 m 主臂,20 m 作业半径,额定起重量为 19.7 t,构件最重为 15.2 t,可以满足相关要求。

工况二:箱型拱结构施工。桥面后装的拱肋共计 15 段,构件最重为 30.4 t。根据土建施工方案,待混凝土强度满足要求后,汽车吊可上桥进行安装。

选用 31 m 主臂,10 m 作业半径,额定起重量为 41.5 t,构件最重为 30.6 t,可以满足吊装需

(1) 吊车的选择。通过核算节段数据、现场场

要。同时,需要注意的是:吊车支腿应处于箱型混凝土腹板正上方。

在各种工况下,吊车的负载率均在 80% 以内,能够安全完成全部吊装任务。

(2) 吊耳设备的选择。临时吊耳设置在箱梁顶板上,吊耳的布置位置对应横隔板及加劲肋交点处,每个吊装节段设置四个临时吊耳。

每个拱肋分段上设置四个吊耳,按最大吨位 30.6 t 计算,按 3 吊耳受力进行验算,单个吊耳的承受力为 10.1 t。考虑不均匀受力,加放 1.4 倍的安全系数,最终单个吊耳的承受力为 14.4 t。吊耳选用的依据为《中华人民共和国行业标准设备吊耳》HG/T21574-94,最终选用的是 10~20 t 吊耳,厚度为 20 mm。

### 2.3.1 拱肋调整方案

分配梁调节墩必须严格控制其顶面高程,确保将拱肋高程偏差值控制在 2 cm 以内,在分配梁上设置千斤顶用于调整拱肋高程,在分配梁上临时固定手拉葫芦用于调整拱肋的水平位置偏差。

### 2.3.2 合龙温度的确定

鉴于该桥梁钢结构制造、施工过程中的环境温度对钢材的应变影响较大,故应在制造及现场安装过程中的合龙阶段选定基本一致的环境温度。该合龙温度控制点包括:加工厂制造阶段的预拼装温度记录;现场安装阶段各区域钢箱梁的吊装温度记录;桥梁监测单位提供的监测数据。

结合施工进度计划和泮水县的历史气候情况,最终将现场钢箱梁整体合龙温度设定为 $16^{\circ}\text{C}$ ,工厂余量配切等均在温度时进行,现场完成合龙并完成焊接后将临时支撑卸载、拆除,同时打开支座限位器,完成体系受力转换。

### 2.3.3 拱肋的线型控制

拱肋的线型控制分为两个阶段:第一阶段为厂内制造时将加工尺寸偏差控制在 $+0.5\sim-1\text{mm}$ 之间,第二阶段为现场安装。厂内制造加工前,应先确认拱轴线型及预拱度,精确放样后进行钢管加工,通过钢管接长地样线控制拱肋制造线型。必须注意控制拱肋焊接变形对线型的影响。

拱肋安装时,里程和高程通过预先在支墩上设置的控制点和线与拱肋上设置的点和线相对应进行控制,同时用测量仪器同步进行监控,待拱肋标高调整后,才能进行每段接头处的焊接,以保证拱肋线型的流畅。

## 2.4 拱肋环口的焊接

### 2.4.1 拱肋环口的焊接作业内容

拱肋节段制作完成后,运送至吊装地点,进行拱肋节段的吊装定位,之后进行拱肋焊接施工作业,其主要内容包括:

- (1)拱肋接口的连接、接口错边量的调整;
- (2)拱肋接口环缝的焊接;
- (3)缀板嵌补段的量配、制作、拼装与焊接;
- (4)拱肋工地焊缝及损伤部位的除锈和补喷涂装,全桥最终整体进行外表面漆的涂装。

### 2.4.2 环缝施工工艺流程

节段吊装到位→节段精匹配→环缝除锈→环缝的固定与焊接→焊缝探伤→环缝补涂装→面漆涂装。

### 2.4.3 焊接采用的施工工艺

拱肋节段运输至桥位后进行吊装作业。精确定位后,按要求进行环缝马平,马平时宜先马平箱口刚性较大的边侧拐角部位,然后固定其余部位,采用定位板和 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 火焰矫正相结合的方法进行局部调整<sup>[1]</sup>,以保证对接缝板面的错边不大于 $1\text{mm}$ 。

对接焊缝采用单面焊双面成形工艺,单面坡口背面(内部)缝宽为 $6\text{mm}$ ,坡口的角度为 $40^{\circ}$ 。采用钢衬垫药芯丝二氧化碳气体保护自动焊接<sup>[2]</sup>。

节段间对接焊缝焊接的先后顺序:①焊接拱肋腹板对接焊缝;②焊接拱肋底板对接焊缝;③焊接拱肋顶板对接焊缝;④焊接顶、底、腹板加劲肋嵌补段角焊缝及对接焊缝。

### 2.4.4 现场焊接的一般要求

(1)对于焊缝两侧,先进行除锈,再进行焊接,若除锈超过 $24\text{h}$ 未进行焊接时应再次进行除锈、清理后方可焊接。

(2)在贴陶质衬垫前,应将接缝周围 $30\text{mm}$ 以内区域的车间底漆、油、锈、水等清除干净,衬垫成型槽中心线应对准间隙中心,将衬垫贴紧粘牢。衬垫贴好后,应及时焊接打底焊道。为防止缩孔,熄弧时应回焊 $20\sim 30\text{mm}$ 并将弧坑引出焊道。接头速度要快,当出现缩孔等缺陷时,应及时清除后再施焊。

(3)当相对湿度大于 $80\%$ 时,焊前应用火焰烘烤缝区去湿;当环境温度低于 $5^{\circ}\text{C}$ 时,应采用火焰预热的方法对焊缝两侧进行烘烤,使接头部位的温度不低于 $20^{\circ}\text{C}$ 时方可施焊<sup>[3]</sup>;

(4)对于箱外焊缝,严禁在雨、雪天气进行焊接作业;而平时的焊接应注意防风;

(5)多层焊时,层间温度的上限应不超过 $200^{\circ}\text{C}$ ,下限不得低于预热温度的下限值。待层间熔渣清除干净后方可进行后面焊道的焊接,焊后将飞溅物清除干净。

(6)二氧化碳气体保护焊施焊时,要及时清除喷嘴上的飞溅物,且干燥器始终处于良好的工作状态。

## 2.5 拱肋涂装

### 2.5.1 工地涂装的一般要求

(1)用于工地涂装的所有涂料应有产品合格证和出厂日期,应按规定进行取样并对产品质量进行检验。

(2)涂装前,应清理构件表面的污尘、积水、霜、雪、雨、露及油脂物等。

(3)拱肋涂装时不允许在恶劣气候条件下施工。

(4)在运输拱肋过程中,若发现工厂涂的油漆被碰坏、风化变质或有锈斑情况,应彻底清除其表面的风化层,打磨清理灰粉,将生锈部位清理至显出金属光泽后再按修补工艺补涂。若锈蚀严重或小面积破损,可用刮刀、钢丝刷、破布清除铁锈,再

用软毛刷或压缩空气吹净后补漆。发现其它严重缺陷时,应由工厂负责处理。

(5)在拱肋涂装过程中,对可能积水的缝隙应在进行填封后方可继续涂装。对于缝宽在 0.3 mm 以下时必须填涂底层涂料;缝宽在 0.3 mm 以上时,应先用油性腻子将缝隙填塞平整,待腻子表面干燥后方可继续涂装。

(6)油漆喷涂应由上至下,由内到外,先难后易。

(7)喷漆时可以横喷或竖喷,但要喷涂均匀,每次压叠一半。对于不易喷到的地方必要时需采用刷涂补足。喷涂时不得出现缺漏、皱纹、流淌等现象。

### 2.5.2 油漆破损区域的补涂

(1)对于未损伤至基材的区域:首先清除其表面污渍,打磨去除全部受损涂层并将周围的漆膜做拉毛处理,然后根据其面积大小采用刷涂或喷涂的方式补涂相应的涂层。

(2)对于损伤至基材的部位及焊缝补涂区域:首先采用机械打磨的方式除锈至 St 3.0 级,应适当扩大打磨受损区域并将其周围涂层打磨成平滑过渡的斜坡,然后按照该位置涂装体系要求逐层进行油漆补涂<sup>[4]</sup>。

## 2.6 吊杆的安装

### 2.6.1 吊杆安装工艺

吊杆索的安装方法采用展索盘放索、25 t 吊机起吊安装的方法,吊机将拱肋端吊起后,施工人员将上锚头直接与拱肋端的锚固端进行连接,再进行梁端锚头的安装。

(1)将进场后的成圈索堆放在指定的堆放场地内。

(2)根据设计要求将成圈索按编号用吊车运抵安装位置。

(3)在吊杆拱肋端安装索夹,作为吊机与吊杆索体的连接点。

(4)将吊机吊钩下放至吊杆位置,通过钢丝绳与安装索夹连接。

(5)用吊机将吊杆索提升并展开。

(6)吊杆提升至拱肋安装位置附近时,施工人员通过手拉葫芦配合将吊杆耳板与拱肋端的耳板对齐,安装销轴连接固定。

(7)对于吊杆下锚固端的安装,在安装下锚头

时利用手拉葫芦牵引吊杆索下锚头拉入索道管,待锚头露出锚垫板时旋好螺母至设计位置。

(8)如果拱上锚固有难度时,可以采用 20 t 千斤顶与螺杆牵拉的方法,使拱上张拉端能够达到锚固位置。

### 2.6.2 吊杆索的张拉工艺

吊杆索张拉人员在梁内使用 150 t 张拉千斤顶、拉杆、夹具等配套设备,依据设计的“施工流程”要求对吊杆的初次张拉和二期载荷后的索力调整制定吊杆索的张拉方案。

(1)吊杆索的张拉必须按监控指令顺序进行施工。

(2)该项目为双吊杆,张拉的方式采用两端对称同时进行张拉,现场设置四个施工点,每个点配置 1 套 150 t 千斤顶(共 4 套)。

(3)如果吊杆的初次张拉力很小时(对拱的影响很小),一般可以在吊杆安装完成后进行。

(4)二期恒载后,同样按第一次张拉的方法、顺序对吊杆索进行张拉。张拉力必须达到设计要求。

(5)测量桥面各设计点的标高,确定索力调整的方法。

(6)调整各索号的索力值,使各个索号的索力或桥面各控制点的标高达到设计要求。

## 3 质量控制要点

### 3.1 现场吊装质量控制措施

(1)施工前,项目部组织各方项目人员熟悉图纸,研讨方案并进行详细的技术交底。

(2)钢箱拱运输时应按规定设置支撑点。起吊时,为保护构件,应在其底部设置护角。

(3)钢箱拱吊装过程中,应按规定不能随意改动吊点,以免发生意外。

(4)钢箱拱吊装过程中,只有待钢箱拱构件稳定后,吊机方可进行旋转和移动操作。

(5)钢箱拱吊装过程中,严禁与其他构配件碰撞,避免造成自身损坏。

(6)钢箱拱使用的所有机械机具应提前检查其机械性能,确保其符合相关要求。

(7)钢箱拱起吊后应呈水平。

(8)钢箱拱移动时应小心移动,速度应缓慢,以免损坏构件。

(下转第 67 页)

预留的锚固孔将挂篮侧模固定。

底模的拆除:利用悬挂在前横梁及挂篮吊架两侧的四台 10 t 手拉葫芦起吊底模平台;同时,各吊点附挂一根直径为 18.5 mm 的钢丝绳做保险装置;由专人指挥 4 台手拉葫芦同时起落;待手拉葫芦完成设定下落行程后收紧保险钢丝绳,底模改由四根钢丝绳临时吊挂;松开手拉葫芦,重新设置新行程并连接牢固;松开保险钢丝绳、利用手拉葫芦继续下落底模平台,重复上述过程,直至底模平稳地落在地面上。

侧模的拆除:用吊车吊住侧模,确保其稳定后拆除侧模固定吊具,将外滑梁落在侧模骨架上并进行临时锁定,然后依次将两侧侧模吊至地面。

主桁架的拆除:先用钢丝绳将每榀主桁拉紧,防止其倾倒,然后拆除门架横联以及两侧吊架,最后将主桁按照安装时的相反顺序进行分解,然后将拆除后的构配件吊装至地面上。

#### 4 结 语

详细介绍了迎宾大道第十五联连续刚构桥施工准备阶段提前规划,严格按照设计、规范要求控制挂篮自重的过程。在挂篮悬浇施工过程中,加

强了不同工况下实时监测数据的采集与反馈,经过有限元建模计算,为施工过程提供依据,通过采用同步前移、对称浇筑、对称张拉等精细化施工工艺,有效控制了桥梁施工变形值,防止了梁段过度下挠,保证了大幅宽桥梁悬臂浇筑的安全与顺利实施,所取得的经验已为后续悬浇施工大幅宽桥梁工程提供了指导。该施工工艺已获得省级工法《宽幅预应力钢筋混凝土箱梁挂篮悬浇施工工法》(YGGFT058-2021)。

#### 参考文献:

- [1] 魏贤华. 菱形挂篮设计与施工[J]. 桥梁建设, 2005, 35(1): 42-45.
- [2] 桥梁悬臂浇筑施工标准, CJJT 281-2018[S].
- [3] 杨伟涛. 挂篮悬臂浇筑连续刚构桥施工监测监控技术[J]. 交通世界(建养机械), 2012, 19(2): 228-229.
- [4] 刘召辉, 马伟志. 悬臂浇筑施工立模标高的确定与控制[J]. 黑龙江科技信息, 2009, 13(19): 220.
- [5] 柴金玲, 王永. 悬臂施工菱形挂篮行走安全分析研究[J]. 公路工程, 2014, 40(4): 215-217.

#### 作者简介:

郭文滨(1989-),男,陕西宝鸡人,项目部室主任,工程师,从事市政道路与桥梁建设施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 54 页)

#### 3.2 焊缝质量控制

焊缝冷却后需全部进行外观质量检查,不得出现裂纹、焊瘤、漏焊、夹渣、未熔合及未填满弧坑等缺陷。焊缝外观质量应符合相关规范要求。

焊缝焊接完成 24 h 并经外观检查合格后,方可进行焊缝无损检测。焊缝无损检验的质量分级、检验方法、检验部位和等级应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTGT+3650-2020) 焊缝无损检验质量等级及探伤范围的规定。

#### 3.3 涂装质量控制

焊缝检测合格后进行涂装,干膜厚度必须达到规定膜厚,使用磁性测厚仪进行检测。附着力要求 $\geq 5$  MPa,使用便携式附着力试验仪进行检测。漆膜必须连续、平整、颜色与色卡一致,漆膜不得有流挂、针孔、气泡、裂纹等表面缺陷<sup>[5]</sup>。

#### 4 结 语

在浣水河生态综合整治工程浣水六桥钢箱拱施工过程中,通过对施工工序进行严格控制,明确了各施工阶段的质量控制要点,在顺利完成施工

任务的同时,也满足了施工质量、施工工期及文明施工等方面的要求。结合该桥梁施工内容,项目部组织编写了《市政桥梁钢箱拱快速安装施工工法》,该工法目前已获得企业工法,正在申报电建工法。项目部将对施工过程中钢箱拱施工技术 & 施工工艺继续进行分析研究,总结并提炼其关联技术及施工经验,为后续类似工程提供指导意见。

#### 参考文献:

- [1] 芦永和,陈金刚. 火焰矫正变形的方法及应用[J]. 包钢科技, 2008, 34(6): 21-23, 31.
- [2] 安东风. 谈钢结构施工安装过程中的焊接技术[J]. 山西建筑, 2014, 40(35): 111-112.
- [3] 樊清禄. 钢结构桥梁焊接施工技术[J]. 山西建筑, 2019, 45(2): 82-84.
- [4] 张晓东. 钢结构涂装施工工艺及质量控制研究[J]. 科技创新与应用, 2012, 2(4): 174-175.
- [5] 习旺. 钢结构桥梁防腐涂装的质量控制对策[J]. 交通世界, 2021, 28(4): 128-129.

#### 作者简介:

张金龙(1995-),男,四川巴中人,项目总承包部生产管理部副主任,助理工程师,从事市政工程施工技术及质量管理工作。

(责任编辑:李燕辉)