

# 多跨连续钢管系杆拱桥施工工法

(TGJGF-03·04-09)

中铁十三局集团有限公司

## 一、前言

大连 30 万吨级原油码头钢栈桥为五跨连续布置的钢管拱桥,设计新颖,为大连市重点工程。施工采用陆上加工制造分级组对,整孔合拢,海上整孔吊装行走就位架设方案,克服了工期短、质量要求高、航道狭窄、水流急、涌浪大等施工难点,仅用 9 个月完成了五跨栈桥的组装任务。经总结形成本工法。

## 二、工法特点

1. 采用电脑、人工放样相结合,保证钢管拱肋线形符合设计要求。
2. 采用钢拱肋平面拼装、分三段进行横撑及 K 撑安装、三段整体直接合拢,减少了高空作业,提高了施工的安全性。
3. 陆上采用平行流水作业,海上用大型浮吊整孔吊装行走就位,能确保工期。

## 三、适用范围

本工法适用于多跨钢管系杆拱桥陆地上整体组装、水上短距离直接架设施工。

## 四、施工工艺

### (一) 工艺流程(见图 1)

### (二) 施工要点

#### 1. 陆上整体组装

##### (1) 施工准备

设置围挡,规划场地,合理安排拱肋拼装平台、分段组立胎架、整体合拢胎架。

铺设拱肋拼装平台,以电脑放样为参考,在平台上 1:1 放大样。

制作钢拱肋三段组装胎架和整体合拢胎架。三段拱肋是在桥面系上整体合拢的,整体合拢胎架(见图 2)位于 6~7 号吊索处,为便于栈桥滑移,做成可拆装型。桥面系杆各节点处设置临时支墩,支墩按要求起拱,两端支点设大支墩。滑移轨道梁以栈桥两端支点为中心,延伸至码头前沿。

##### (2) 杆件制作

对钢栈桥各杆件合理分段,与钢材生产厂家订购双定尺料,号料、下料要严格按技术交底书进行,用半自动切割机下料,分类堆放。

拱肋钢管用卷板机卷制,椭圆度偏差控制在 1mm 以内,焊接选用双面自动焊

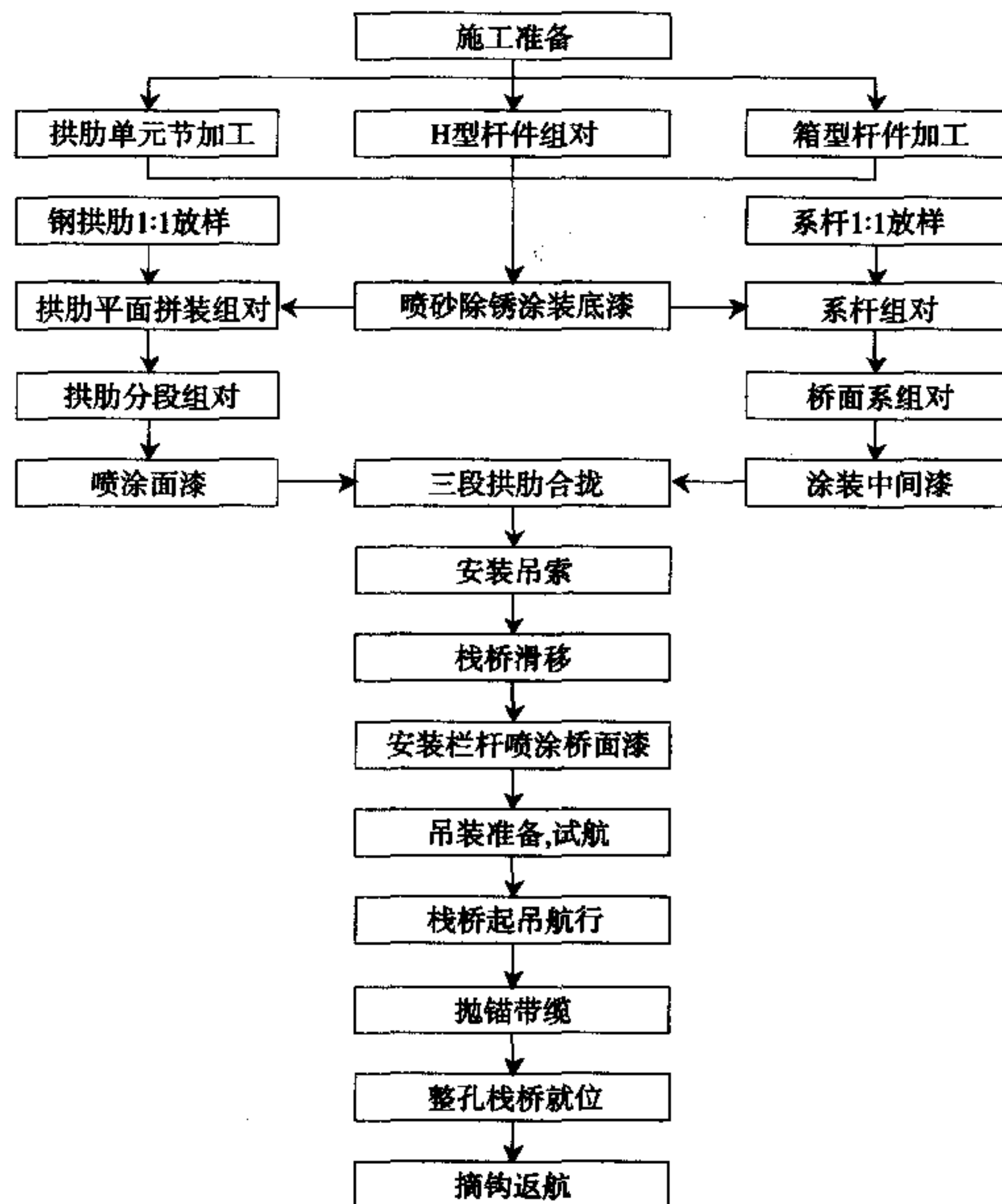


图 1 工艺流程

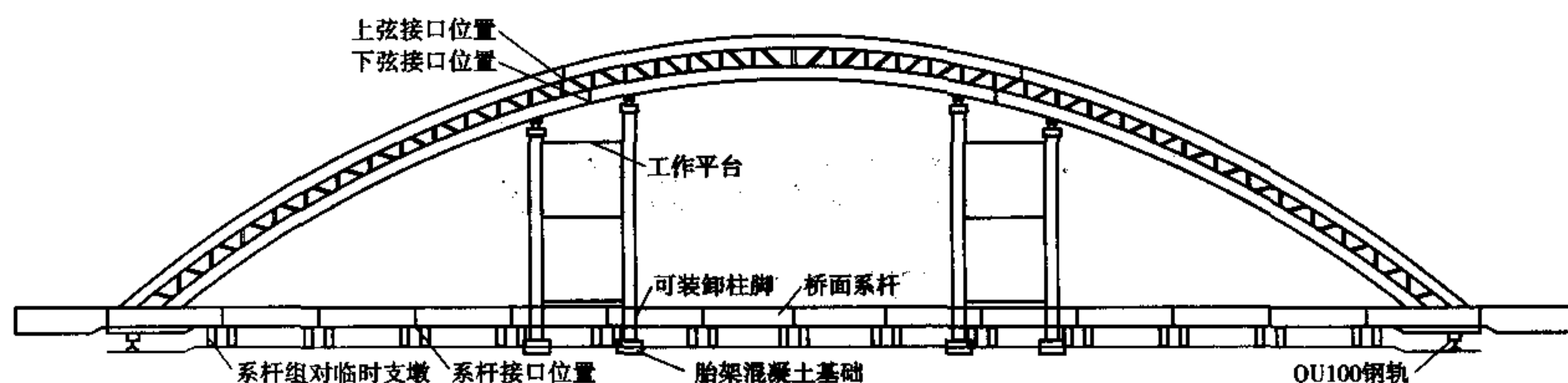


图2 整体合拢胎架

接,单节制成后,按照平面大样将每4~5节拼接成单元,对焊环缝在转胎上进行,尽量采用平焊,保证焊接质量。对接焊缝质量要求为一级并100%做超声波探伤和10%做X射线探伤,角焊缝要求二级并100%做超声波探伤。

箱形梁是由上下盖板、隔板,两侧腹板组成的焊接结构,以上盖板为基准,分别放出腹板、隔板组装线。先定位隔板,后定位腹板,将隔板施焊后再组装盖板,组装焊接时注意施焊先后顺序,防止结构变形,若变形超标,可采用机械和火焰矫形。

### (3) 钢管拱肋平面拼装

在拼装平台上将拱肋单元组拼成三节段拱肋单片。拼装前要将各个接口放样,做相贯线样板,经防腐处理后的钢管按样板进行接口切割,然后在大样平台上由中间同时向两端组对。主拱肋拼装焊接完后开吊索孔,安装吊索护管和腹杆。

### (4) 桥面系整体组对

桥面系杆件整体组对与钢管拱肋整体拼装同时进行,在系杆大样支墩上由中心向两侧组拼,同时安装横梁、端横梁,检查系杆及吊索孔处相对尺寸。

### (5) 主拱肋的分段组对

用两台250kN汽车吊将分段的单片拱肋吊至组装胎架靠在胎模上,用倒链拉住,用经纬仪、水准仪等按照预先设置的基准点进行调整,使两片拱肋的相对位置及标高符合要求,用倒链固定,安装横撑、K撑。横撑、K撑安装前需先在小平台上按1:1放样,切割接口相贯线,平面拼装,长度方向预留30mm左右安装研口。每段组装施焊后涂饰中间漆及桔红高光面漆。将吊索穿到吊索孔中,以待整体合拢。

### (6) 钢拱桥整体合拢

采用两台1350kN汽车吊将主拱肋中间段起升至组装胎架中间,测量对正后,吊装其中一边段,先在工作平台上调整边段与中间段接口,点焊固定,再调节拱脚尺寸并施焊。用同样方法吊装另一边段。最后在四个工作平台四周搭设安全网围护,进行钢拱肋对接口焊接及吊点处加固板安装。因胎架需反复利用,将支架底脚处做成可拆卸型,在桥面上铺设钢轨,安装四氟滑板,使支架落在钢轨上,栈桥滑移时支架底脚处与钢轨相对滑移使支架在无支撑状态时保持稳定,待栈桥滑移出整体组装胎架范围后,再安装支架底脚,调整支架,进行下一跨栈桥整体合拢。

### (7) 钢栈桥整体滑移

钢栈桥合拢后拆掉工作平台上脚手架及安全网,并将脚手架固定在平台上,在栈桥两端系杆支点处用4台2000kN液压千斤顶将栈桥顶升超过轨道梁基础20cm后,焊接端横梁底部焊缝,铺设轨道。安装栈桥滑移滑靴,滑靴与钢轨间加垫四氟板,将栈桥落到滑靴上。栈桥两端卷扬机同时启动将栈桥拖拉至存放场地支墩上。

## 2. 海上吊装架设

### (1) 吊装准备

制作吊具。吊具包括吊装横梁及吊索。吊装采用四点吊。吊装横梁主梁总长37.1m,宽10.12m,采用钢箱及钢管框架联合结构。横梁上对应吊点处设小平衡梁,吊点处做吊装托梁,托梁内安装胶垫。主吊索为 $\phi 95$ 接头绳索,小吊索为 $\phi 56$ 浇注索具,安全系数均为6以上。横梁通过主吊索挂在浮吊主钩上,栈



桥通过吊装托梁及  $\phi 56\text{mm}$  浇注索具挂到小平衡梁上。

选用浮吊。栈桥自重 440t, 吊装横梁重 110t, 吊装总重 560t, 吊点竖向力一侧为 1052kN, 另一侧为 1082kN。栈桥矢高 18m, 吊装横梁高 7m, 吊装总高 25m。选用海洋石油工程股份有限公司的 9000kN BH108 浮吊, 它总长 102.35m, 宽 35m, 主钩高 78m, 总重 8364t, 可自航, 旋转塔可通过变幅使物体就位, 完全满足海上吊装栈桥行走需要。

栈桥吊点下方系杆上, 靠浮吊侧焊两个带缆环, 吊运时固定栈桥。在拱肋吊点处搭设  $4\text{m} \times 4\text{m} \times 13\text{m}$  摘、挂钩作业平台。平台上距吊点下方 1m 处铺设跳板, 四周搭设围栏。备齐吊装用材料及工具。

栈桥就位墩前 20m 处设带缆鼓, 便于浮吊定位。清理工作船码头港池及航道, 保证港池及 300m 航道无障碍物, 设施工标志鼓, 第一跨桥就位时, 在靠引堤侧设置 2~3 个界标, 防止 BH108 浮吊搁浅。

对五跨钢栈桥吊装做工程保险。向气象预报部门咨询天气情况, BH108 船作业条件应限制在风速  $8\text{m}/\text{min}$  以下, 无雾视线良好, 涌浪在 0.5m 以下。办理浮吊入港、引航手续。与轮驳公司协调 2600 马力以上的全回转港作拖轮备用。

用 160kN 汽车吊安装  $\phi 95$  主索具、 $\phi 56$  浇注索具及托梁等。将第一跨栈桥滑移至码头边以待吊装。栈桥中心距岸边不大于 9m。

## (2) 整体吊装

BH108 浮吊及配合吊装的引航船、工作船、拖轮等沿吊装行走航道试航, 内容包括: 驱赶渔船、适应航道、拖轮顶推拖拉、浮吊就位带缆演习等, 详细记录各工作时间。

选择适合的天气, 结合潮汐情况, 当工作船码头港池绝对水深为 5m 时, BH108 船尾对准栈桥就位, 用 80kN 汽车吊将主索具吊起, 通过浮吊上拖拉绞车拉到主吊钩上, 主钩起钩。调整吊装横梁位置, 使小托梁由外侧缓慢靠近吊点, 挂钩后起吊。

浮吊航行时航道封航, 前方有一条引航船, 负责驱赶其它船只, 全回转港作拖轮受船长直接领导准备随时顶推或拖拉。

BH108 船到达现场快到 5<sup>#</sup>墩时开始旋转横推, 又因此处水流太大, 只有靠 2 台全回转拖轮协助顶推, 等到达引堤与 13 号墩(第一跨)时抛 200m 后锚, 船尾缓缓靠近就位位置, 2 条工作船及 4 条小船分两班进行带缆, 使浮吊就位。

浮吊一边落主钩, 一边通过旋转塔和变幅调整栈桥位置, 使栈桥一端先靠紧引堤墩上事先准备好的 20cm 木方及木板, 然后慢慢落钩, 当距地面只有 4~5cm 时, 两端同时用滑子反复调整栈桥, 使其准确就位, 偏差控制在 10mm 以内, 落主钩, 放下栈桥。

栈桥就位后主钩慢慢落下, 当小托梁脱离吊点时摘钩, 使托梁与拱肋安全分开, 当确认吊装横梁确实脱离栈桥时, BH108 浮吊开始起主钩, 把拖拉绞车的拖拉绳挂到吊装横梁上并拉紧, 防止吊装横梁左右摇摆, 浮吊返航, 吊装第二跨栈桥。

第一跨桥靠近引堤, 水浅, 因此要赶高潮时安装。根据天气及潮汐表, 第一跨栈桥吊装过程要做详细安排, 如何时起吊、何时起航、何时就位等。

## 五、机具设备(见表 1)

## 六、劳动组织

施工过程控制由生产调度全面负责, 技术、质检、测量人员跟班作业。劳动组织见表 2。

## 七、质量控制

### (一) 执行标准

严格执行《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)、《钢结构工程质量检验评定标准》(GB50221—95)、《对接焊缝超声波探伤》(TB1558—84)、《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205—2001)、《建筑钢结构焊接规程》(JGJ81—91) 等标准及其它有关规定。拱肋安装质量检验按表 3 执行; 桥面系安装质量按表 4 执行; 焊接质量检验按表 5 执行; 安装后允许偏差顺桥向 20mm, 轴向 10mm。

### (二) 质量控制及保证措施

表 1 机具设备

序号	机械名称	规格型号	单位	数量	序号	机械名称	规格型号	单位	数量
1	埋弧自动焊机	MZ-100	台	3	14	吊车	160kN	辆	1
2	二氧化碳气体保护焊机	WS-500	台	6	15	吊车	250kN	辆	2
3	直流焊机	ZXG-400L	台	21	16	吊车	1350kN	辆	2
4	气刨两用机	YM-500P	台	3	17	超声探伤仪	CTS-26	台	2
5	半自动切割机	CG1-30	台	6	18	X射线发生器	XXH-2505	台	1
6	四柱压力机	YA32-315	台	1	19	经纬仪	J2	台	1
7	卷板机	20~1000	台	1	20	水准仪	S3	台	1
8	空气压缩机	L-11/7	台	2	21	倒链	50kN	个	8
9	烘干箱	ZYH-60	台	2	22	千斤顶	2000kN	台	4
10	卷扬机	50kN	台	2	23	浮吊	9000kN	台	1
11	扭矩扳手	150~600	个	2	24	引航船	800 马力	艘	1
12	叉车	50~60kN	辆	3	25	工作船		条	4
13	吊车	80kN	辆	1	26	对讲机	BF-308	个	6

表 2 劳动组织

序号	分 工	人数	备 注
1	杆件制作	42	调度 1 名, 技术负责人 1 名, 7 个工班设工班长
2	钢拱肋拼装	16	4 个工班, 设工班长
3	钢拱肋分段组立	10	2 个工班, 设工班长
4	系杆及横梁拼装	10	3 个工班, 设工班长
5	纵梁及 X 连接系	12	3 个工班, 设工班长
6	整体合拢	20	4 个工班, 设工班长
7	栈桥顶升	6	1 个工班, 设工班长
8	栈桥滑移	12	2 个工班, 设工班长
9	焊接	26	1 个工班, 跟班作业, 设一个工班长
10	吊装总指挥	1	吊装过程总协调
11	吊装副指挥	4	4 个分项工作指挥
12	安全员	4	分别负责 4 部分安全工作
13	协调工作人员	4	过程中后勤服务、声像制作、应急状态处理等
14	栈桥滑移	10	2 个班组
15	浮吊带缆、解缆	10	2 个班组
16	海吊摘、挂钩	12	4 个班组

表 3 钢拱肋制作与安装质量检验

项 目	规定值或允许偏差	项 目	规定值或允许偏差
焊缝质量	符合设计要求	轴线横向偏位	$L/6000$
内弧偏离设计弧线	8mm	拱肋接缝错台	0.2 壁厚
每段拱肋内弧长	0, -10mm	拱圈高程	符合设计要求
钢管直径	$D/500$ 及 5mm		

注:  $D$  为钢管内径。

1. 控制外形尺寸、外观质量符合设计要求。

2. 对焊接人员进行培训, 持证上岗; 有针对性选择焊材, 严格控制焊材质量; 保证焊接设备完好; 确保对接焊缝 100% 做超声波探伤, 10% 做 X 射线探伤检测。

3. 电脑放样与人工放样双控保证放样精度; 用钢拱肋分段组立胎架和整体合拢胎架精度保证分段拱肋及合拢拱肋精度。

用桥面系预拱度支墩精度保证桥面系安装质量。

掌握气象潮汐信息, 选好吊装时机, 保证栈桥吊装质量。

就位前放出栈桥中心线及边线, 复核基础标高, 保证安装位置的准确。就位时先让栈桥一端靠紧木方, 防止栈桥上下颠簸撞坏支座。



表4 桥面系安装质量检验

项 目	允许偏差	检查方法
梁高 $h$ $h \leq 2\text{m}$ $h > 2\text{m}$	$\pm 2\text{mm}$ $\pm 4\text{mm}$	测量两端腹板处高度
跨度	$\pm 8\text{mm}$	测量两支座中心距离
全长	$\pm 15\text{mm}$	测量全桥长度
纵梁长度	$+0.5, -1.5\text{mm}$	测量两端角钢背与背之间的距离
横梁长度	$\pm 1.5\text{mm}$	
纵梁高度	$\pm 1.0\text{mm}$	测量两端处腹板处高度
横梁高度	$\pm 1.5\text{mm}$	
纵、横梁旁弯	$3\text{mm}$	梁立置时在腹板一侧距主焊缝 $100\text{mm}$ 处拉线测量
主梁拱度 $f$	$+3, 0$ (不设拱度) $+10, -3$ (设拱度)	梁卧置时在下盖板外侧拉线测量
两片主梁拱度差	$4\text{mm}$	分别测量两片主梁拱度, 求差值
主梁腹板平面度	$< h/350$ 且 $\leq 8\text{mm}$	用平尺测量 ( $h$ 为梁高或纵向加劲肋至下盖板间的距离)
纵、横梁腹板平面度	$< h/500$ 且 $\leq 5\text{mm}$	
主梁、纵横梁盖板对腹板底垂直度	有孔部位 其余部位	用直角尺测量
	$0.5\text{mm}$ $1.5\text{mm}$	

表5 焊接质量检验

焊缝类型	检验项目	检查数量	检 查 方 法
对接焊缝	外观检查	100%	检查焊缝表面质量及宽度和余高
	超声波检查	100%	有超标缺陷返修后再进行探伤
	X 射线检查	10%	着重检查丁字口部位, 有超标缺陷时加透
角焊缝	外观检查	100%	检查焊缝表面质量和余高
	超声波检查	100%	有超标缺陷返修后再进行探伤

4. 提高检验人员自身素质和责任心。

#### 八、安全措施与环境保护措施

1. 执行国家颁发的《建筑施工安全技术规范》及《大连市环境保护条例》。
2. 确定项目安全、环保指标, 并制定相应制度及应急措施。
3. 设 1 名专职安全员及 2 名兼职安全员, 持证上岗。
4. 加强“三级”安全教育, 对安全、环保进行技术交底。
5. 施工人员戴安全帽, 系安全带, 整体合拢时搭设工作平台及安全网围护。
6. 栈桥吊装成立安全领导小组, 项目经理任组长, 兼职安全员任副组长和组员。收听早、中、晚气象预报, 注意防雾、防风、防火。
7. 施工船舶在规定的作业区域内做到有序施工, 引航船驾驶员要加强瞭望, 谨慎操作, 驱赶外来船只。必要时采用显示信号、旗号、声号等形式确保航行安全。

#### 九、效益分析

1. 应用本工法施作多跨连续钢管系杆拱桥, 材料利用率高, 各工序平行施工、流水作业, 施工进度快, 成本低, 经济效益显著。
2. 采用大型全回转可自航海吊进行海上整孔吊装, 顺利完成五孔栈桥架设, 积累了海上作业经验。

#### 十、工程实例

大连 30 万吨级原油码头钢栈桥工程位于大连新港, 采用分段组对、整体合拢,  $9000\text{kN}$  海吊整体架设的施工方法, 是国内首次大件吊装行走就位的工程实例。拱肋拼装、分段组装与桥面系施工平行作业。钢拱肋的合理分段及过程中的质量控制, 保证了整体合拢的接口精度, 吊装横梁的使用, 避免栈桥在吊装过程可能发生的变形。海吊可自航, 缩短了吊装作业时间。

执笔: 战丽娜 闫丹丹 姚广臣