

文章编号: 1005-0523(2008)03-0045-05

大跨度海上钢管系杆拱桥施工技术

闫丹丹

(中铁十三局集团第一工程有限公司 辽宁 大连 116113)

摘要: 大连 30 万吨级原油码头钢栈桥工程为大跨度、长距离的海上栈桥,也是目前国内最大的海上钢管拱桥。结合工程实践,阐述了拱肋合拢、可拆装支架设计、吊具设计、浮吊架设等施工技术,对今后类似工程的修建有一定的指导意义。

关键词: 钢管混凝土系杆拱桥; 栈桥整体合拢; 可拆装支架; 吊具; 整体吊装

中图分类号: TU745.2

文献标识码: A

1 工程概况

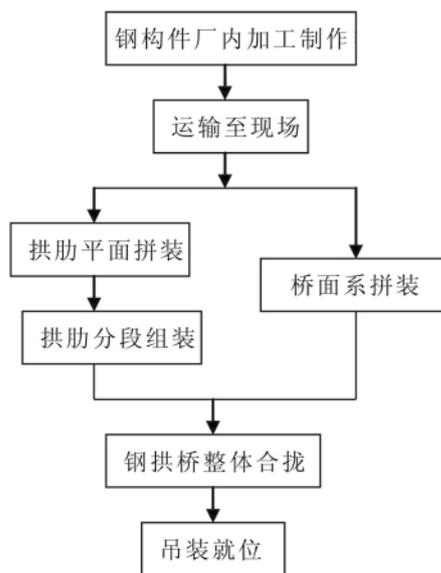
大连 30 万吨原油码头工程为大连市重点工程,位于大连市大孤山沙坨子以南水域。其中的钢栈桥为五跨钢管拱桥连续布置,单孔跨径 108 m,宽 10.6 m,矢高 18 m,自重 440 t。主拱弦管、腹杆和横撑 K 撑分别采用 $\phi 800 \times 12$ mm 和 $\phi 245 \times 10$ mm 钢管,桥面由纵向系杆、纵横梁、X 连接系组成,系杆和端横梁为 1.1 m 和 1.6 m 的箱形梁。工程所用钢材均为 Q345D。拉索采用 37 $\phi 7$ 高强度钢丝热挤双层 PE 护套防护。

施工作业现场位于大连新港码头,该地区属季风地带,年平均气温 10.5 $^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 558.6 mm,平均相对湿度为 67%。港池水域底标高为 -7.9 m,有良好的供电、通信、道路等外部协作条件。施工场地平整,未经人工夯实的回填土,已自然沉降 20 年,承载力为 2 t/m²。大连海区的潮型为不规则半日潮,平均海平面 2.23 m,潮流基本为旋转往复流。

2 施工方案设计

根据现场条件和工期要求,采用陆域整体拼装,

集中海上吊装的施工方法。即系杆、拱肋等同时在厂内加工预制运至现场拼装,拱肋平面拼装后分三段进行横撑组装再与桥面系整体合拢,用 900 t 浮吊吊装就位的施工方案,可减少高空作业,提高施工速度和安全系数。施工工艺流程图如下:



2.1 主拱肋形成

1) 拱肋段拼装

精确放样与下料,然后在 1:1 放样平台上组拼拱肋,然后做固定性点固焊接,拱肋初步形成后,对

收稿日期: 2008-03-11

作者简介: 闫丹丹(1976-),女,吉林长春人,工程师,研究方向为大跨度钢管拱桥的施工。

几何尺寸作详细检查,发现问题,及时调校,使拼装精度达到要求.焊接是钢管拱桥施工最重要的一环,焊工必须持证上岗,施焊工艺必须符合设计要求,并按要求进行检测(检测项目包括外观、超声波及X射线)^[2].

2) 拱肋分段组装

拱肋分段组装在分段组装胎架上进行,两边段在原设计基础上向下旋转37度后进行横撑组装,这样横撑及K撑的组装可在地面1~3m高度内完成,既减少了高空作业、大大缩短工期,更有效地保证了工程质量和施工安全.

钢拱肋分段组装胎架基础采用混凝土预埋钢板的形式,用军用墩做下部支撑,上部采用工20工字钢作为靠架,并在与主拱肋接触点处用 $\delta 12$ 钢板压成圆弧做靠托.用经纬仪、全站仪进行精度及位置控制,确保胎架准确可靠(如图1).用两台25t汽车吊将分段的单片拱肋吊至组装胎架上,用导链固定,用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,再用导链固定,进行横撑、K撑的安装.

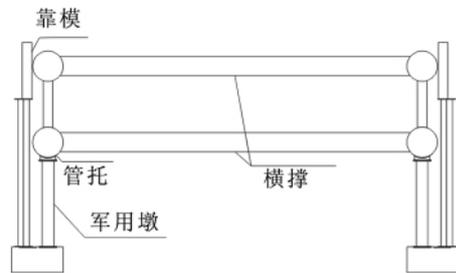


图1 分段拼装胎架示意图

2.2 桥面系形成

桥面系杆件整体组对与钢管拱肋整体拼装是同时进行的,在系杆大样支墩上(如图2)由中心向两侧组拼,系杆接口下料时预先在系杆上放好尺寸线,预留焊接收缩量再进行切割作业,确保切口平整.组对系杆时采用挂环、倒链等调整焊口间隙,间隙应控制在9mm左右.焊接采用衬板焊,为减少焊接变形先进行两侧腹板对称焊接完成后进行上、下翼缘板焊接.组装系杆的同时安装端横梁、横梁及纵梁,同时检查并保证系杆及吊索孔相对尺寸在规范允许偏差范围内.

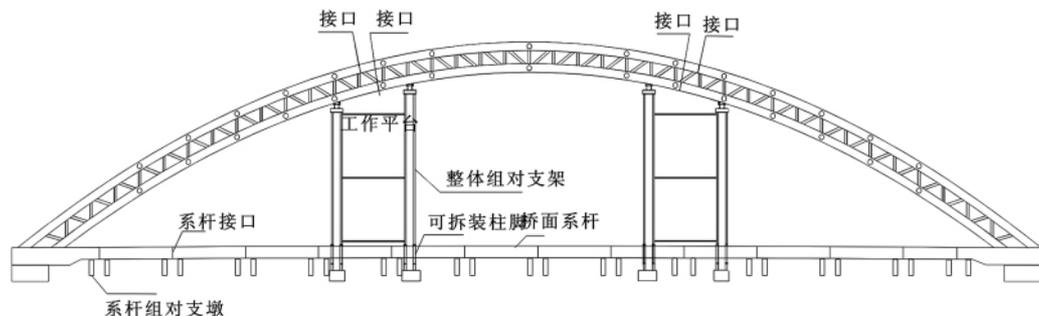


图2 整体合拢胎架示意

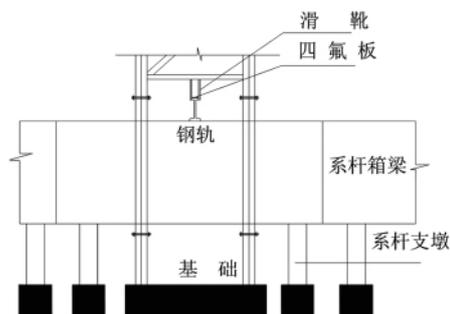


图3 可拆装支架柱脚示意图

2.3 可拆装胎架的设计

因五跨桥连续施工,如反复安、卸整体组装胎架,会带来人力、物力的大量消耗.所以将支架柱脚处做成可拆装型,即将支架分为三段制作,与基础预埋件连接处安装一短截,高度不超过系杆的下底板,再安装一高度略高于系杆箱梁的中间立柱,与上、下

结构用螺栓连接,栈桥滑移时,在桥面上铺设钢轨,支架与钢轨之间安装一简易滑靴,滑靴内安放四氟滑板,减小栈桥滑移阻力.栈桥划过支架下部时,可先拆除中间段的两个立柱,利用桥面、钢轨和滑靴支撑上部支架的重量.栈桥滑移出支架范围后,立即安装中间立柱,恢复支架的完整性.这样,每跨桥可节省工期6天.

2.4 钢拱桥整体合拢

钢拱桥整体合拢是在整体组装胎架上进行(如图2),采用两台135t汽车吊先将主拱肋中间段起升到20m高的组装胎架中间,经纬仪从两侧同时控制中心对正后摘钩,再吊装其中一边段,先在18m高工作平台上调整边段与中间段接口,并点焊固定,再调节拱脚尺寸并施焊.同样方法吊装另一边段.然后在四个工作平台四周分别搭设安全网围护,焊工

进行钢拱肋对接口焊接,铆工进行吊点处加固板安装,合拢后滑移至码头等待吊装。

2.5 吊具设计

该栈桥重心偏移 68 mm,且吊点处只能受竖向力,吊具的设计应考虑到重量轻、能有效平衡重心偏移、吊扣装卸方便等几个问题,以满足在吊装过程中

栈桥、浮吊的稳定、安全。

为减小吊具重量,吊具主梁采用管件和箱型梁焊接而成的桁架结构。为保证吊点处承受竖向力,吊具尺寸选定为长 37.1 m,宽 9.8 m,吊具上放置四个平衡梁用于平衡栈桥的重心偏移,四个吊点处各放置一个托梁,防止拱肋表面受损伤。(如图 4)

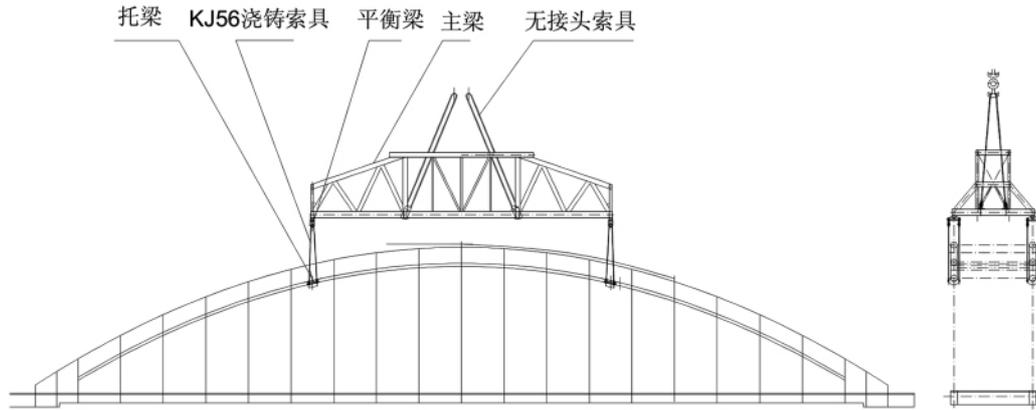


图 4 吊具示意图

在设计中需对吊具系统的主要构件主梁、平衡梁、托梁等进行有限元计算,在这仅对主梁有限元计算做一个简单介绍,计算软件采用 I—DEAS。在建立有限元模型时各构件的空间位置以其轴线位置确定,明确主梁结构及构成、材质,另外,吊载时各构件不仅承受轴向力而且还承受弯矩,因此在建立有限元模型时所有单元均采用梁单元。划分单元共得到节点数 1 302 个,单元总数为 1 395 个。

1) 主梁计算工况

栈桥整体吊装选择在无风条件,起吊平稳。吊装采用四点吊装,主梁钢丝绳与垂直方向主视图看成 22.26° 夹角,侧视图看成 4.98°。

计算载荷

(1) 栈桥重量载荷: 4 414 500 N (440 t);

(2) 吊具系统总载荷: 951 570 N (97 t);

因此,栈桥和吊具系统总重 5 367 970 N (537 t),但考虑到吊装时栈桥上有一些辅助装置等,并且这里在计算吊具时给予一定的安全系数,所以取总重为 550 t。

(3) 根据规范 API (American Petroleum Institute) [3] 取动载系数 $\varphi_2 = 1.35$,考虑动载荷系数计算竖向起吊力为: $F = \Sigma F_1 Z = 550 \times 1.35 \times 9 810 = 7 283 925$ N。

由于钢丝绳和垂直方向(Z方向)均有夹角,所以钢丝绳在吊点处的拉力等于三个方向的合力,具体载荷情况见表 1,其中 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 为主索具穿

过主梁下横梁位置各点的合力。

表 1 吊点合力分析

载荷名称	X 方向(N)	Y 方向(N)	Z 方向(N)
F_1	158 675	-745 354	1.82 098e+006
F_2	-158 675	-745 354	1.82 098e+006
F_3	-158 675	745 354	1.82 098e+006
F_4	158 675	745 354	1.82 098e+006
垂直方向的合力 $\Sigma F_1 Z$			7 283 920

主梁的约束条件为

A 点处限制 X、Y、Z 方向的位置, B 点处限制 Y、Z 方向的位移, C 点处限制 Y 方向的位移, D 点处限制 X、Z 方向的位移。A、B、C、D 是为主梁吊点处,分别位于左后、左前、右前、右后位置。X 为垂直主梁向视者方向, Y 为平行主梁左向, Z 为竖直向上。

经主梁静力分析有限元计算,主梁应力分布图略、变形结果显示图略。最大应力为 200 Mpa (VON Mises 应力评价推测) 最大综合位移 45.3 mm,其所受的最大应力仍在需用应力范围内。

2) 主梁的屈曲分析

对于桁架结构中的杆件来说,在承受轴向压缩力的时候会经常在尾达到杆件强度极限时候就发生了失稳,因此,在校核主梁的静应力满足强度后,主梁校核屈曲临界载荷是否安全极为重要。这里计算了模态下前三阶段可能发生扭曲变形的弯曲变形系数(弯曲变形系数就是指发生屈曲变形的载荷与目前施加在有限元模型上的载荷的比值。当屈曲变形

系数大于1时就认为结构是会在当前载荷作用下发生扭曲变形),以及初始状态下首先可能发生变形的形状。

经计算,屈曲变形系数分别为19.6,19.9,26.4,计算出的屈曲变形系数数值已知均大于1.因此桁架结构的稳定性是安全的。

3) 吊索选择

每个吊点垂直载荷为 $P_1 = 550/4 = 137.5 \text{ t}$,垂直载荷与吊索的空间夹角为 22.5° ,吊索为 $P = P_1 / \cos(22.5) = 148.8 \text{ t}$.选用 $\varphi 95$ 无接头绳索,其破断力为 960 t ,安全系数 $N = 960/148.8 = 6.45 > 4$,满足要求。

4) 小吊索选择

吊索吊点处为4根,则每根吊索拉索为 $P_2 = 137.5/4 = 35 \text{ t}$,选用 KJ56 吊索,许用工作强度为 $36 \text{ t} > 35 \text{ t}$,满足要求。

2.6 吊装就位

栈桥矢高 18 m ,吊装横梁高 7 m ,总高度为 25 m .经过专家多次论证最终选用 900 t BH108 号浮吊,浮吊总长 102.35 m ,宽 35 m ,主钩高 78 m ,总重 8364 t ,可自航,旋转塔可通过变幅使物体就位,能够保证海上吊装栈桥行走的安全.吊装作业前进行详细的安全、技术交底,并做应急预案,做到分工明确,程序清楚。

1) 试航

吊装前浮吊及与其配合吊装的引航船、工作船、拖轮等沿航道进行演习,并详细记录各工作时间,作为编制正式吊装方案的参考依据。

2) 挂钩

用 8 t 汽车吊及浮吊上的拖拉绞车将4根无接头主索具挂到主钩上,然后主钩起吊.浮吊通过变幅边落钩边调整吊装横梁位置,使托梁慢慢靠近吊点后,组织人员挂钩。

3) 就位

当浮吊行驶至距离栈桥就位轴线 400 m 左右抛后锚,然后船尾前行慢慢靠近,通过绞拉缆绳以调整就位位置.浮吊通过旋转塔和变幅调整栈桥位置,使栈桥慢慢落下,在桥墩一端先放置一 200 mm (伸缩缝处) 厚的木方,使栈桥一端先靠紧木方,另一端也用木方及木板调整栈桥位置,对准中心后落钩,偏差应控制在 10 mm 以内^[1]。

3 施工过程监控

拱肋施工前用电脑进行平面放样,在避免焊缝

交叉的情况下,每节钢管的长度控制在 2 m 以内,保证拱肋线形美观流畅,且内弧偏离设计轴线能够全部满足规范要求.钢管的焊接方法选用双面自动焊接,按照平台大样将每4-5节制成单元,环缝转胎上进行,经100%的超声波探伤检测和10%的X射线检测,一次探伤合格率达99%以上,箱型梁和工字梁的组对在组对胎具上进行,采用 CO_2 气体保护焊和埋弧自动焊焊接.施工前进行焊件的制备,经性能试验合格后编写焊接工艺,并简化焊接方法,这些措施的采用,均有效地保证了焊接质量。

在施工过程中,采用新技术、新工艺,钢栈桥的整体合拢采用整体组装支架,其设计按照拱肋荷载选用可装拆型柱脚,避免了胎架的反复安拆,人工即可操作,方便快捷,每跨桥可缩短工期6天,并利用全站仪、经纬仪等精密仪器进行支架的安装,采用混凝土基础,支架与支架之间用风撑等连接形成稳定结构,保证支架无变形、沉降等现象,成桥后,对栈桥跨度、全长、相对高差、轴线横向偏位、拱圈高程等技术指标进行检查后,结果显示完全能够符合施工规范要求。

4 结束语

在国内,五跨大跨度钢管拱桥连续施工整体海上架设还属首例,在工期短,质量要求高,施工难度大的情况下,采用将拱肋分三段在桥面系上整体吊装合拢、 900 t 浮吊直接吊栈桥航行 2.5 mile 后架设、多级泵送钢管混凝土的方案顺利完成了栈桥工程施工.在施工过程中,严格按照国家标准,严密执行设计要求,多次进行专家论证,认真组织施工,成功地完成了建设任务,对类似的工程建设有很大的参考意义。

参考文献:

- [1] JTJ041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [2] 陆仁达,田克平等.公路施工手册桥涵下册[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [3] API620-2002 美国石油学会标准[S].

Construction technology of Large Span Steel Tubular Tied Arch Bridge

YAN Dan - dan

(China Railway Thirteenth Bureau Group No.1 Engineering Co., Ltd., Dalian, 116113, China)

Abstract: Dalian 300000-ton Crude Oil Terminals Steel Trestle, a large span and long distance steel trestle on sea, is the biggest steel tubular tied arch bridge at present. Combining with practice, it introduces such manufacturing process as arch rib connecting, dismantling bracket designing, lifting tool designing and integral lifting. The whole technology may offer a helpful reference to similar projects in the future.

Key words: steel tubular tied arch bridge; trestle integral folding; dismantling bracket; lifting tool; integral lifting

简讯 1

华东交通大学科学技术协会成立暨第一届会员大会在我校胜利召开

在省科协、学校党委、行政的亲切关怀和大力支持下,华东交通大学科学技术协会(简称华东交大科协)胜利成立,并于5月23日下午在我校综合楼108报告厅召开了成立暨第一届会员大会。全校共129名科协会员参加了大会。

会议由科研处处长陈梦成主持,校党委副书记徐朝亮致开幕词,省科协学会工作部部长梁纯平宣读了省科协“关于同意召开华东交通大学科学技术协会成立大会的批复”,接着江西省铁道学会秘书长刘小平、南昌大学科协办公室主任万群宣读了贺信。

会上省科协副主席李雪南向大会作了重要讲话。讲话充分肯定了全校广大科技工作者在过去所取得的成绩,对我校广大科技工作者如何开展科协活动提出了明确要求,寄予了殷切希望,为我们进一步做好新时期的科协工作指明了方向。

科研处副处长黄志超作了华东交通大学科协章程起草说明及常委候选人产生办法、选举办法说明,大会通过了《华东交通大学科学技术协会章程》。

最后,雷晓燕校长向大会致闭幕词,他首先强调了科协的职能与桥梁、纽带作用。在讲话中他还希望华东交通大学科学技术协会成立后,可以借助江西省科协这个大平台,从三个方面开展工作,一是组织科技工作者依法参与管理国家和社会事务、代表和维护科技工作者利益、为科技工作者服务;二是更好地开展学术交流,推动科技创新;普及科学知识,传播科学思想和方法,提高公众科学文化素质;开展科学论证、国际民间科技交流与合作、决策咨询;三是更好地为江西经济建设和社会发展服务,为学校的教学、科研和学科建设服务。

雷晓燕校长最后要求全校广大科技工作者要认真做好新时期的科协工作。要充分利用华东交大科协这个平台与时俱进创造性地开展工作,找准服务于江西地方社会和铁路行业经济发展的切入点和着力点;发挥科协的桥梁纽带作用,打造更具活力、更具凝聚力的科技工作者之家;当好科普主力军,更加贴近实际、贴近基层、贴近群众开展科普活动;利用科协组织人才荟萃的人力资源优势,主动参与并积极服务于社会与经济发展,提升学校的贡献率。

全体会员大会结束后,举行了华东交大科协第一届常委会。大会选举产生了由27人组成的华东交大科协第一届常委会。校长雷晓燕教授当选为华东交大科协主席,陈梦成、杨辉当选为副主席,黄志超当选为秘书长。

(科研处 高丹卡)