



柳州白沙大桥钢箱梁总拼技术的探讨

罗政军 马春江 潘子剑

【摘要】 根据柳州白沙大桥主桥钢箱梁的结构特点，结合钢箱梁总拼工作的实际情况，探讨各种焊接质量的控制措施，最终保证了钢箱梁的制作质量。

关键词： 钢箱梁；整体拼装；焊接质量控制；疲劳裂纹；焊接收缩量

1. 工程概况

柳州白沙大桥位于广西省柳州市柳北区，是连接柳江两岸市政交通干道的重要桥梁。桥型为单塔双索面钢箱梁斜拉桥，如图1所示。桥面全宽38m，桥跨总长400m，结构总重13 673t，其中钢箱梁总重9 138t，钢塔总重4 535t。钢塔、钢箱梁主体采用Q345qD钢材，钢箱梁顶面与斜拉索锚板焊连的桥面板采用抗层状撕裂钢材，性能等级Z35。

白沙大桥主桥采用正交异性桥面板流线型扁平钢箱梁，桥梁中心线处梁高4m，桥面全宽（包括风嘴）38m，设有双向1.5%的横坡。钢箱梁由顶板、底板、横隔板、内腹板、外腹板、锚拉板和风嘴导风板等组成，构造如图2所示。根据制造及施工的需要，全桥钢箱梁划分为A、B、C、D、E、F、G等7种类型，共36个梁段。塔与梁之间通过塔梁结合段进行连接。

2. 工程难点分析

根据钢箱梁的施工特点，并充分考虑钢板的供货规格及板单元水陆运输等影响因素，本桥

采用厂内生产板单元，桥址总拼和预拼装，桥位环缝焊接的制造工艺。在此过程中，一方面，桥址总拼和桥位环缝焊接作业属于



图1 大桥效果图

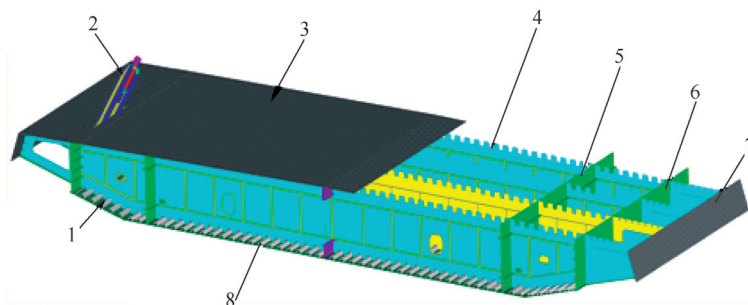


图2 钢箱梁构造

1.斜底板 2.锚拉板 3.顶板 4.横隔板 5.内腹板 6.外腹板 7.风嘴导风板 8.底板

露天野外作业，焊接质量容易受风吹、雨淋等不利自然因素的影响；另一方面，钢箱梁结构复杂，板厚规格多样，焊接接头种类及数量繁多。因此，如何克服各种不利因素保证钢箱梁的结构尺寸的精度和焊接质量，是本桥施工中的重点和难点。

3. 焊接工艺措施

焊接应力和焊接变形严重影响钢箱梁的整体质量和性能，在组装焊接过程中，针对可能出现的焊接变形，如焊缝纵向收缩变形、横向收缩变形和焊缝回转变形等，采用多种控制措施来减小焊接应力和焊接变形，最终确保钢箱梁的整体质量满足相关要求。

(1) 坡口形式 满足设计要求的前提下，尽量选用焊缝熔敷金属填充量小的坡口；对于厚板焊接优先选用沿厚度对称的双面坡口，坡口形式及尺寸如表1~表4所示。

(2) 焊接方法 CO₂气体保护焊具有能量集中和热输入小的特点，本桥大部分焊缝的焊接作业采用了此种焊接方法，以减小焊接应力和焊接变形。

(3) 焊接参数 焊接过程中严格控制焊接参数，在满足相关要求的前提下，尽量减小焊接热输入，部分焊接参数如表5所示。

(4) 焊接顺序 结合钢箱梁的构造特点和现场实际情况，把钢箱梁的某一部分先组装焊接成整体，再参与到钢箱梁梁段的总拼，如风嘴单元的组装焊接。采用这种方式，不仅可以使焊缝处于最佳焊接位置，也可以提高生

表1 厚板对接坡口形式及尺寸

坡口示意	板厚/mm	$B_{-1.0}^{+1.0}$ /mm	$P_{-0.5}^{+0.5}$ /mm
	28	9	2
	30, 32	10	2
	40	12	2

注：不等厚对接焊缝，厚板侧加工斜坡，然后再按照薄板加工坡口，斜坡侧张口B应比给定值增加1~2mm。

表2 锚拉板与桥面板间熔透角焊缝坡口形式及尺寸

坡口示意	板厚/mm	α (°)	P /mm	K /mm
	28	45	2	10
	32			
	36			
	40			

注：1、熔透角焊缝，背面清根。2、坡口焊满后，盖板侧匀顺焊接焊脚尺寸K。

表3 锚拉板上加劲肋与锚拉板间熔透角焊缝坡口形式及尺寸

坡口示意	板厚/mm	$B_{-1.0}^{+1.0}$ /mm	$P_{-2.0}^{+1.0}$ /mm	K /mm
	28	13	2	10
	32	15	2	10
	36	17	2	12
	40	19	2	12

注：1.熔透角焊缝，背面清根。2.坡口焊满后，盖板侧匀顺焊接焊脚尺寸K。

表4 横隔板间对接焊缝坡口形式和尺寸（也包括塔梁固结处）

坡口示意	板厚/mm	$B_{-1.0}^{+1.0}$ /mm	$b_{-1.0}^{+0.0}$ /mm
	40	8	5

表5 部分焊接参数

熔敷示意	焊接位置	焊接材料	焊道	焊接电流/A	电弧电压/V	CO ₂ 流量/L·min ⁻¹
	仰位	E501T—1 (ϕ 1.2mm)	1	180±20	26±2	15~20
			其他	200±20	28±2	15~20

注：1.熔透角焊缝背面焊接前气刨清根，其他相同类型仰位坡口/熔透角焊缝也适用此参数。
2.坡口填满后，盖板侧匀顺焊接焊脚补强，具体焊脚尺寸见相应施工图。

产效率，减少误差的积累，最终实现减小焊接应力和焊接变形的目的。

(5) 焊前焊后热处理 塔梁结合段的结构大多采用厚板，厚板之间高约束焊缝在焊接过程中，焊接时间长，热输入总量大，温度分布不均匀，为了减小焊接应力和焊接变形，避免出现冷裂纹和热裂纹，采用焊前预热和焊后保温的工艺措施，热处理工艺参数如表6所示。

4. 装配工艺措施

(1) 预留焊接收缩量 本桥钢箱梁板单元厚度多样，为了保证相邻板单元之间焊后纵向距离的准确，需要对板单元之间的纵向对接焊缝精确预留焊接收缩量。由于焊接收缩量受施工状况的影响很大，根据施工经验不能准确估算焊接收缩量，需要在现场根据实际情况确定。因此在充分考虑焊接变形产生机理的前提下，在顶底板对接焊缝两侧打取样冲点，样冲点位置如图3所示。

对焊前焊后数据进行记录，并进行对比统计分析，测量数据如表7所示（仅列出两种典型

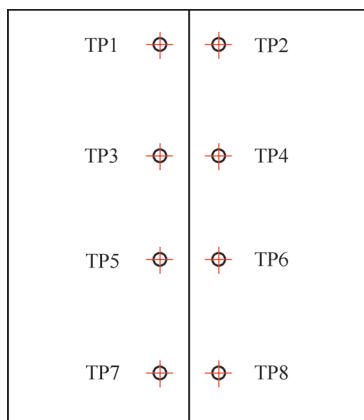


图3 钢箱梁样冲点位置

板厚各一条对接焊缝的测量数据)。

表7的数据表明：板厚为16mm的对接焊缝的焊接收缩量平均值约为2mm，板厚为32mm的对接焊缝的焊接收缩量平均值约为3mm。按此规律对全桥钢箱梁的纵向对接焊缝预留焊接收缩量。

(2) 工艺加劲板的使用 主桥钢箱梁G梁段位于塔梁结合部位，板厚较大，部分横隔板与外腹板之间连接采用双面坡口角焊缝的形式，填充量大，热输入亦大，如果不采取有效措施，外腹板将会产生严重的“波浪状”变形。为此，一方面采用

多道小焊接热输入的焊接工艺；另一方面在横隔板位置的外腹板外侧加装工艺加劲板，使相应位置产生强制约束，避免或者减小焊接变形量。工艺加劲板的使用如图4所示。

5. 环境影响控制措施

柳州地区3~6月雨水天气较多，为了减少不利的环境因素对焊接质量的影响，需要对现场环境进行监测，当湿度超过80%时，对焊缝附近的区域进行烘烤处理去除水汽，遇到大雨天气停止焊接作业。钢箱梁内部焊接作业时，由于空间相对密闭，烟尘大、温度高，作业环境极其恶劣，焊接作业人员体力消耗极

表6 热处理参数

序号	焊缝	板厚组合/mm+mm	焊后保温方式
1	锚拉板及其上加劲板与桥面板间熔透角焊缝	32/36/40+24	250~300℃ 保温2h
2	锚拉板上加劲板嵌补段对接焊缝	32+32、36+36、 40+40	
3	G梁段横隔板间对接焊缝	40+40	

表7 钢箱梁总拼对接焊缝收缩量统计

序号	测量位置		板厚	焊接前	焊接后	收缩量	平均
			组合/mm+mm	距离 S_1 /mm	距离 S_2 /mm	/mm	收缩量/mm
1	顶板	样冲点1	16+16	300	297.5	-2.5	≈2
		样冲点2	16+16	300	298.5	-1.5	
		样冲点3	16+16	300	298	-2	
		样冲点4	16+16	300	297.5	-2.5	
2	顶板	样冲点1	32+32	300	296.5	-3.5	≈3
		样冲点2	32+32	300	298	-2	
		样冲点3	32+32	300	297	-3	
		样冲点4	32+32	300	296.5	-3.5	

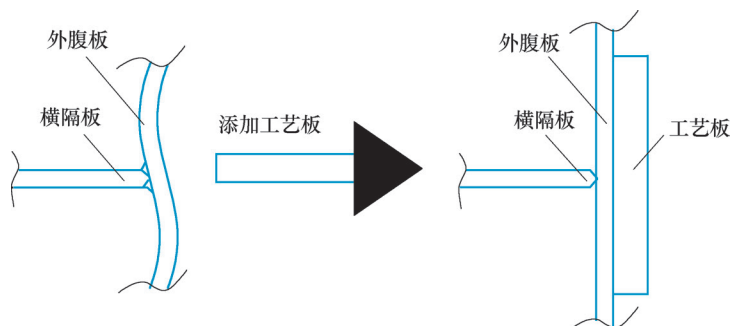


图4 工艺加劲板的焊接变形控制

大,一定程度上也影响着焊接质量。为此,在适当位置开设临时人孔,使用大功率轴流风机排烟通风,改善工作环境。

6. 疲劳裂纹的控制措施

本桥采用正交异性桥面板流线型扁平钢箱梁的结构形式,此种结构形式具有自重轻,传力性能好,承载能力大,施工速度快,结构美观的优点。但由于早期钢结构桥梁的制造经验不足,国内外多座大桥的钢箱梁出现了较为严重的疲劳裂纹现象。为了提高对此种结构形式钢箱梁的整体认知水平,避免出现国内外既有钢箱梁曾经出现的疲劳裂纹等病害,保证本桥的安全性和耐久性,有必要对常见病害进行分析研究,为本桥钢箱梁的整体总拼工作提供参考和指导。

(1) 钢箱梁疲劳裂纹的主要存在形式 通过查阅相关文献资料,钢箱梁疲劳裂纹作为一种常见病害主要出现在以下部位:①纵肋与桥面板的连接处。②纵肋与横隔板的连接处(见图5)。常见形式有三种:一是沿横隔板水平方向开裂的裂纹;二是沿横隔板倾斜方向开裂的裂纹;三沿U形肋与横隔板焊缝开裂的裂纹。③纵肋对接处。④桥面板对接处,主要出现在钢箱梁

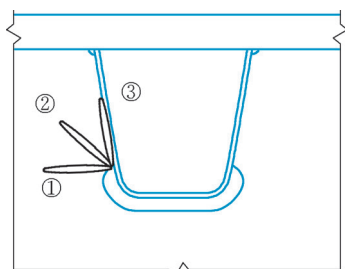


图5 纵肋与横隔板连接处疲劳裂纹分布

节段桥位环缝焊接处。⑤桥面板与横隔板连接处。

(2) 钢箱梁疲劳裂纹的控制措施 钢箱梁整体总拼阶段的疲劳裂纹预防控制措施:①纵肋(U形肋和板肋)与横隔板焊接时,在距离包角部位一定距离进行起弧和熄弧,并对包角部位进行焊接和打磨匀顺,避免在包角部位出现焊接缺陷。②板件组装焊接时,减少对中偏差,避免因对中偏差而产生的过度应力集中。③焊接完成后对容易出现疲劳裂纹的关键焊缝进行无损检测,避免出现潜在的疲劳裂纹源。④技术交底的过程中,对钢箱梁常见病害进行介绍,提高现场作业人员的质量控制意识。

7. 质量控制效果

通过采取以上质量控制措施,避免了露天野外施工对焊接质量的影响,保证了钢箱梁整体总拼的外形尺寸精度和焊缝内外质量。首轮总拼的7节钢箱梁几何尺寸精度、焊缝内在质量均能满足制造验收规则和相关标准规范的要求,主要项点的检查结果如表8所示。

8. 结语

柳州白沙大桥主桥钢箱梁的整体总拼工作还在进行中,根据目前的制造情况来看,所采取的各项工艺保证措施是可行的,可为同类钢箱梁整体总拼工作提供一定的借鉴和参考。

表8 梁段制造检查结果

主要控制项点	允许偏差/mm	实测值/mm	
		最小值	最大值
高度 H	± 4	-3	2
两锚拉板纵向错位	± 2	-1	1
锚拉板纵向位置	± 3	-1	3
横隔板间距	± 3	-2	3
腹板位置偏差	± 2	-1	2
顶、底板宽	± 8	-4	5
对角线差	≤ 6	2	5
旁弯	≤ 5	3	5
中心顶、底板单元定位偏差	≤ 1	0	1
锚拉板与外腹板中心线错位	≤ 2	0	2

参考文献:

- [1]卢刚. 广州珠江黄埔大桥钢箱梁制作技术的探讨[J]. 山西建筑, 2014 (08): 192-193.
- [2]周刚. 城市道路桥梁钢梁施工优化研究[J]. 价值工程, 2011 (18): 106.
- [3]杨洪兰, 于彬, 闫秀侠. 厚板焊接结构质量控制研究[J]. 新技术新工艺, 2015 (06): 143-144.

- [4]李小东. 焊接常见问题分析及焊接返修工艺研究[J]. 科技与企业, 2015 (09): 209.
- [5]张允士, 等. 正交异性钢桥面板疲劳裂纹成因分析及控制[J]. 公路交通科技, 2013 (8): 75-80.

作者简介: 罗政军等, 中铁山桥集团有限公司。

MW 20170724