

十字接头焊缝在桥梁焊接生产上的应用

中铁山桥集团有限公司 (河北秦皇岛 066205) 孙 泽

【摘要】 本文通过对湛江海湾大桥锚拉板处十字接头力学性能试验的研究,介绍了十字接头焊缝的受力状况、对接头力学性能的影响及在桥梁钢结构制造中的应用。

一、工程简介

2004年10月,我公司中标了湛江海湾大桥钢结构制造工程,主桥钢箱梁长716.4m,大桥结构见图1。箱梁顶面宽28.5m,底部为半径72.5m的圆弧,桥梁中线处高3.0m,钢箱梁横断面见图2。

本桥钢箱梁制造方面有两大特点:一是在两外腹板上设置了两道内腹板,间距9.8m,除内力较大的区段及分段连接处为实腹板,其余为空腹式结构。内腹板的设置可以增强箱梁的刚度,减小剪力滞后现象,并保证钢梁制造时横断面的几何形状和钢梁节段安装时能准确

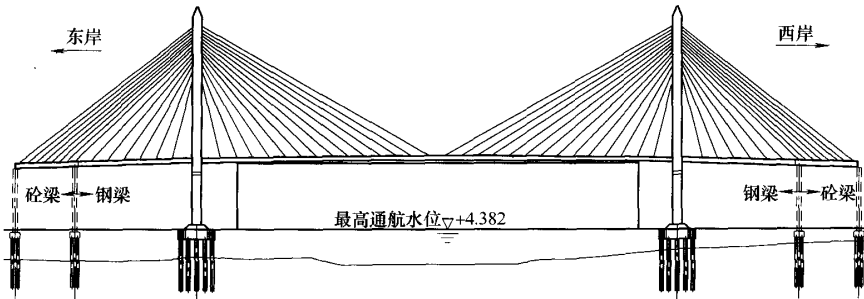


图1 湛江海湾大桥结构

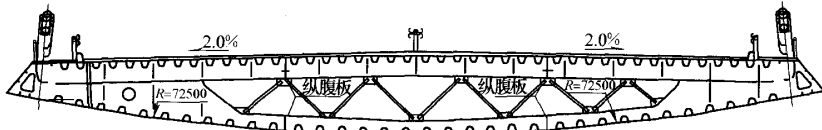


图2 钢箱梁横断面

定位;二是斜拉索在钢梁上的锚固首次采用了锚拉板结构形式(见图3)。锚拉板焊接于主梁外腹板之上的箱梁顶面,分上、中、下三部分。锚管嵌于锚拉板上部的中间,两侧用焊缝与锚拉板连接,下部直接焊在桥面板上,中部除开孔安装锚具外,尚需连接上下两部分。为了补偿开孔部分对锚拉板截面的削弱,以及增强其横向的刚度,在板的两侧焊接了加强板并和桥面板连接,这种锚固方式传力途径明确,构造简单,工地施工作业方便,而且桥面板上下角焊缝构成了典型的十字接头焊缝,直接传递拉应力。

这种接头形式,十字焊缝与桥面板急剧过渡,接头

在外力作用下力线扭曲很大,造成极不均匀的应力分布,焊缝处载荷应力和焊接残余应力集中程度较大,当焊缝根部或过渡处存在缺陷时,经长时间的疲劳应力影响会产生疲劳断裂。而根据设计,本处焊缝采用熔透角焊缝,锚拉板在轴向拉力作用下焊缝中的应力以正应力为主,可以大大提高接头强度。作用在锚拉板上的轴向力直接从坡口焊缝传递到桥面板上,因此,对桥面板的材质及钢板厚板方向的力学性能有很高的要求;且十字接头焊缝在桥梁钢结构锚拉板熔透焊缝上是首次采用,为我公司钢桥梁的焊接生产带来了一定的难度。为此,我们对此十字接头焊缝进行了一系列的焊接工艺评定试

验, 接头内部质量和力学性能均可满足设计要求, 可以用来指导本桥钢箱梁锚拉板熔透角焊缝的焊接生产。

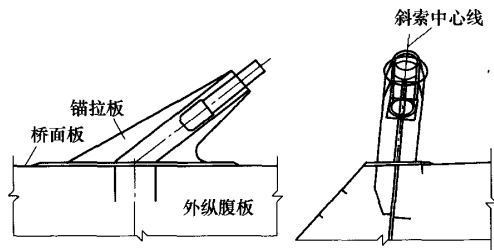


图3 锚拉板结构简图

二、焊接试板及焊接材料的选用

1. 焊接试板的选用

本桥锚拉板处接头形式采用十字接头焊缝, 在这种承力接头中, 由于在焊缝向基体金属过渡处具有明显的截面变化, 其应力集中系数要比对接接头的应力集中系数高, 当焊缝传递工作应力时, 其疲劳断裂一般会在焊趾处, 而不是在焊缝处。焊缝不承受工作应力的十字接头的疲劳强度主要取决于焊缝与主要受力板交界处的应力集中。而本桥结构设计中, 钢板的受力主要集中于桥面板, 因为轧制的板材常有夹层缺陷, 尤其厚板更易产生层状撕裂, 所以, 对桥面板不仅要求沿宽度方向和长度方向有较好的力学性能, 而且要求厚度方向有良好的抗层状撕裂性能。为此, 本桥桥面板采用了具有优

异Z向性能的钢板, 依据设计要求, 我们采用的是24mm厚的Q345qE-Z35钢。

2. 焊接材料的选用

按设计要求的规定, 焊接材料依据焊缝等强度、高韧性、低S、P的原则, 选用了具有良好工艺性及高韧性的韩国现代 Supercored71H 焊丝 ($\phi 1.2\text{mm}$)。

三、十字接头焊缝焊接工艺评定试验

湛江海湾大桥钢箱梁锚拉板的主要材质为Q345qC钢, 锚拉板下部的桥面板加强板为Q345qE-Z35钢。共进行了两组十字接头焊接工艺评定试验, 锚拉板厚度分别为40mm和24mm, 桥面板加强板厚为24mm, 锚拉板接头形式及坡口尺寸见图4。

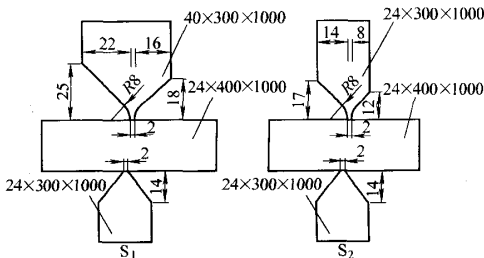


图4 锚拉板接头形式及坡口尺寸

(1) 试验母材 Q345qC + Q345qE-Z35 + Q345qC钢, 其化学成分及力学性能见表1和表2。

表1 母材化学成分 (质量分数) (%)

材质	板厚/mm	批号	C	Si	Mn	P	S	Nb	Al	Ceq	备注
Q45qC	—	—	≤0.20	≤0.60	1.00~1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.045	—	≤0.43	标准值
	24	05-10006	0.15	0.30	1.38	0.013	0.008	—	—	0.39	质保书
			0.14	0.24	1.39	0.020	0.009	0.022	—	0.39	复验值
	40	05-10032	0.16	0.29	1.41	0.015	0.003	—	—	0.41	质保书
			0.16	0.28	1.40	0.016	0.003	0.024	—	0.42	复验值
Q345qE	—	—	≤0.17	≤0.50	1.20~1.60	≤0.02	≤0.015	≤0.045	≥0.015	≤0.43	标准值
	24	05-135-6	0.17	0.27	1.48	0.010	0.004	—	—	0.42	质保书
			0.16	0.26	1.46	0.010	0.004	0.031	0.034	0.42	复验值

表2 母材力学性能

材质	板厚/mm	批号	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 (%)	弯曲 180°	A_{KV} /J	备注
Q345qC	>16~35	—	≥325	≥490	≥20	d=3a 完好	0℃ ≥34	标准值
			365	515	26	d=3a 完好	184, 182, 162	质保书
			335	505	27	d=3a 完好	186, 180, 208	复验值
	>35~50	—	≥315	≥470	≥20	d=3a 完好	0℃ ≥34	标准值
			340	530	27	d=3a 完好	90, 84, 76	质保书
			370	540	31	d=3a 完好	246, 254, 262	复验值
—	>16~35	—	≥325	≥490	≥20	d=3a 完好	40℃ ≥34	标准值
			390	525	29	d=3a 完好	230, 224, 220	质保书
			370	530	31	d=3a 完好	189, 213, 175	复验值

试验前我们对 Q345qE-Z35 钢板按《金属拉伸试验法》(GB228—1987)及《厚度方向性能钢板》(GB5313—1985)进行了 Z 向性能检验,钢板硫含量及 Z 向断面收缩率见表 3。

表 3 Q345qE-Z35 钢板硫含量及 Z 向拉伸试验结果

板厚/mm	批号	S (质量分数,%)	Z 向断面收缩率 ψ_z (%)
24	05-135-6	0.004	67, 66, 68 (67)

由表 3 的试验结果可看出, 24mm 厚度钢板的含 S 量和 Z 向拉伸断面收缩率满足 GB5313—1985 的 Z35 级要求, Z 向拉伸断面收缩率高达 67%, 表明钢板的 Z 向性能优异, 可以满足本桥在设计上对于桥面板加强板的力学性能要求。

(2) 焊接材料 选用 Supercored71H ($\phi 1.2\text{mm}$) 焊丝, 焊丝的化学成分及力学性能见表 4。

表 4 焊丝化学成分及力学性能

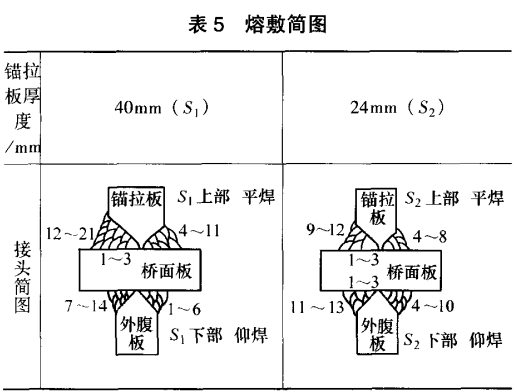
品名	牌号	批号	化学成分 (质量分数, %)					力学性能				数据来源
			C	Si	Mn	P	S	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J	
焊丝	Supercored71H ($\phi 1.2\text{mm}$)	MF4320 H70	≤ 0.18	≤ 0.90	≤ 1.75	≤ 0.03	≤ 0.03	≥ 400	≥ 480	≥ 22	$-20^\circ\text{C} \geq 27$	标准值
			0.04	0.46	1.40	0.015	0.013	557	602	25.8	136, 146, 142	质保书
			0.07	0.42	1.43	0.011	0.007	535	600	24	134, 142, 157	复验值

(3) 焊接设备 KR500II 型 CO_2 气体保护焊机, 采用反极性接法。

(2) 十字接头弯曲按 T 形接头试验标准 (GB7032—1986) 试验。

四、熔敷简图及规范参数

(1) 熔敷简图见表 5。



(2) 焊接规范参数见表 6。

表 6 焊接规范参数

焊缝部位	电流 /A	电压 /V	CO_2 气流量 $/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$
平焊	280 ~ 300	30 ~ 32	15 ~ 20
仰焊	240 ~ 260	26 ~ 28	15 ~ 20

* 注: 锚拉板机加工坡口、外腹板火焰切坡口。

五、试验项目和试样取样图

(1) 焊缝金属拉伸: 接头拉伸、冲击、侧弯、面弯均按对接接头标准试验。

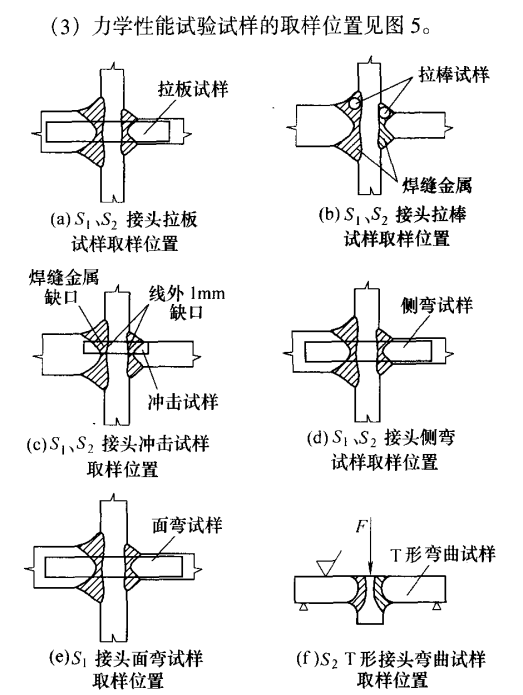


图 5 力学性能试验试样的取样位置简图

六、焊接接头检验及结果

(1) 无损检验结果 焊后焊缝全长经超声波探伤检验、磁粉检验, 焊缝熔合完好, 无气孔、裂纹和夹渣缺陷, 也无其他焊接缺陷。

(2) 熔敷金属化学成分及力学性能检验见表 7。

表 7 熔敷金属力学性能及化学成分

试验项目			试验结果					
性能指标			σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 (%)	断裂位置	评定标准	
拉伸试验	接头拉伸	S_1	345	505	—	断基材	$\sigma_s \geq 315\text{MPa}$ $\sigma_b \geq 470\text{MPa}$ $\delta_5 \geq 20\%$	
		S_2	350	505	—	断基材		
	焊缝拉伸	S_1	平位	585	640	26		—
			仰位	615	665	20		—
		S_2	平位	650	700	24		—
			仰位	500	590	27		—
0℃ A_{KV}							0℃ A_{KV} $\geq 34\text{J}$	
冲击试验	焊 缝 金 属			热影响区 (线外 1mm)				
				平位侧	仰位侧			
	S_1	97, 108, 117 (107)	189, 186, 198 (191)	187, 176, 184 (182)				
S_2	111, 115, 77 (101)	199, 154, 147 (166)	172, 189, 171 (177)					
弯曲试验	S_1	侧弯	$d = 3a$ $a = 180^\circ$ 完好			接头完好		
		面弯	$d = 3a$ $a = 180^\circ$ 完好					
	S_2	侧弯	$d = 3a$ $a = 180^\circ$ 完好					
		T弯	$d = 4a$ $a = 120^\circ$ 完好					
S_1	平位	212	215 ~ 216	183 ~ 206	179	216		
	仰位	221	238 ~ 276	182 ~ 245	165 ~ 169	276		
S_2	平位	225	221 ~ 264	191 ~ 224	170 ~ 180	264		
	仰位	206	224 ~ 235	193 ~ 215	160 ~ 166	235		
焊缝金属化学成分 (质量分数,%)								
	C	Si	Mn	P	S			
S_1	0.05	0.42	1.40	0.010	0.009			
S_2	0.04	0.42	1.40	0.012	0.010			

(3) 宏观断面及接头组织检验 焊缝熔合良好, 没有焊接缺陷, 焊缝组织为柱状铁素体 + 珠光体, 过热区有少量魏氏体组织。接头实物及金相照片分别见图 6、图 7。

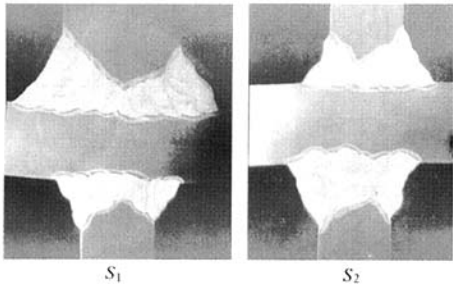


图 6 1:1 接头实物照片

七、结语

在十字接头焊缝中, 由于接头形式、焊缝形状、焊接缺陷等因素致使焊接接头应力集中, 容易导致焊缝疲

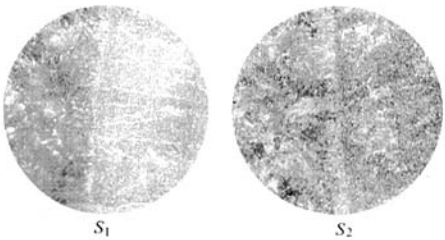


图 7 金相照片 100×

劳开裂和母材的疲劳强度下降。本桥焊接生产过程中, 在保证桥面板(Z向板)性能的前提下, 应注意焊脚厚不要过高且要保持均顺, 尤其要注意的是在焊趾处要防止产生咬边现象, 不然将直接导致 T 形角焊缝的疲劳断裂。因此, 采用合理的焊接工艺及焊接方法, 改善焊接接头疲劳强度, 预防接头的疲劳断裂, 对钢结构生产制造具有极其重要的意义。 (20061126)