



云南龙江特大桥钢箱梁焊接工艺研究

裴雪峰 田征 薛长利

【摘要】 本文通过对高湿度环境下钢箱梁的焊接工艺进行的试验研究，提出了高湿度环境下的焊接质量控制措施。实践表明，采取一定的技术辅助措施，创造局部施焊环境，钢箱梁焊接接头性能完全能满足使用要求。

关键词： 钢箱梁制造；湿度；焊接；质量控制

1. 工程概况

保腾高速公路是云南省干线公路骨架网中由保山通往缅甸的重要通道之一。龙江大桥是保腾高速公路控制性工程，桥梁采用主跨跨径为1196m的双塔单跨钢箱梁悬索桥，主缆跨径组合(320+1196+320)m。矢跨比为1/10.5，主缆横桥向中心距为25.5m。建成后，将是亚洲山区最大跨径的钢箱梁悬索桥。主桥概貌如图1所示。



图1 龙江大桥主桥概貌

2. 钢箱梁结构

云南龙江特大桥主桥钢梁采用箱形截面，桥面宽33.5m，顶面设双向2%横坡，桥梁中心线处梁高3.0m。梁段接口之间全部采用焊接连接，钢箱梁通过焊于其上的锚箱耳板与主索拉杆连接。全桥钢箱梁共分为3种类型97个节段，主要钢材采用Q345C钢。标准节段钢箱梁断面如图2所示。

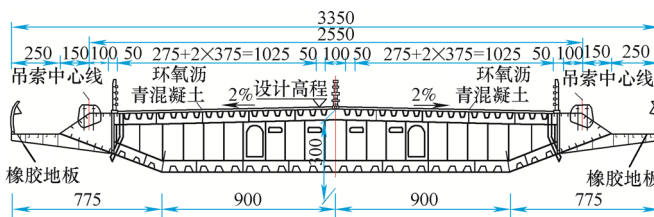


图2 龙江大桥钢箱梁标准节段截面示意

冲县和龙陵县交界处的龙川江峡谷，属于亚热带季风气候，气象资料显示，全年平均温度15℃，雨季持续时间长（每年5~10月为雨季），年平均相对湿度维持在80%以上。钢箱梁施工跨越整个雨季，在高湿度环境下焊接，是大桥钢箱梁施工的最大难题。空

气湿度对焊接质量的影响，是因为水分是氢元素的主要来源，而氢元素直接参与焊接过程的冶金化学反应，氢元素的溶解度和扩散速度随着焊缝金属的结晶、组织转变不断发生变化。氢元素的含量和分布直接影响焊接接头脆性转变和延迟裂纹的发生发展，

3. 施工难点

云南龙江特大桥桥址位于腾

对焊接质量危害很大。

4. 工艺试验研究

为了考查高湿环境对焊接质量的影响，以及如何制定合理的焊接施工方案，提高施工效率，保证钢箱梁焊接质量，拟对高湿度环境下的焊接进行尝试性试验研究，本次试验分两部分进行。

选用的焊接接头形式、焊接方法、代表接头及拟定的工艺参数如表1所示。

(1) 试验过程 首先，模拟工地湿度环境进行工艺试验：试验在公司（宝鸡）焊接试验室进行，试验过程中采取了以下措施：①用彩钢板搭建专门的焊接操作室，面积约6m²。②在操作室里采用人为方式进行加湿，湿度达到85%以上。③在高湿环境中进行焊接作业，焊前对近缝区进行火焰烘烤去湿处理，焊接过程中持续加湿。试验过程如图3所示。

其次，在保山板单元基地的焊接工艺评定试验：为了对第一个阶段试验进行实地验证，对选择出的焊接接头，在保山市重新进行了焊接工艺评定试验。试验所采用的焊接方法和工艺参数与第一阶段试验完全相同。保山市9月的环境相对湿度为85%左右，更接近于桥址位置大气相对湿度。针对此情况，试件组装好之后，焊前对近缝区两侧进行了去湿处理。

(2) 试样检验及结果 试件经外观检查 and 无损检测合格后，进行力学性能测试。测试结果如表2所示。

(3) 宝鸡和保山试验结果对比分析 宝鸡焊接操作室模拟



(a) 焊接作业室



(b) 加湿装置



(c) 温湿度监测



(d) 焊前除锈打磨



(e) 焊前除湿



(f) 试件焊接

图3 模拟工地湿度试验过程

环境中的相对湿度控制在85%以上，保山相对湿度为80%~90%；两地焊接环境温度大致相同，均为15~25℃。

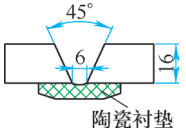
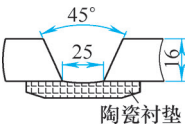
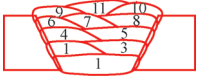
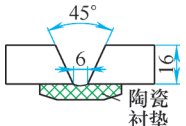
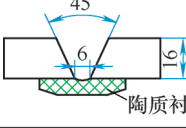
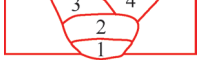
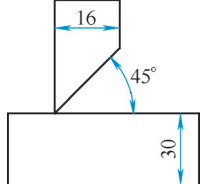
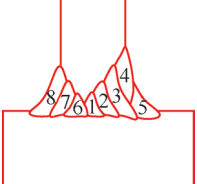
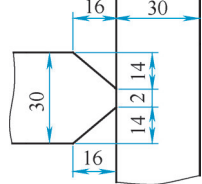
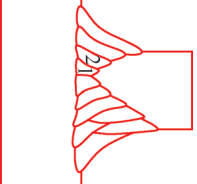
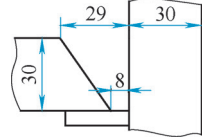
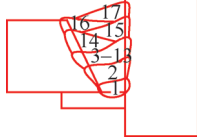
宝鸡和保山两地试件焊接前均对接缝区域采取了火焰烘烤去湿措施。

从接头外观和内部测试结果看，两地焊接的接头力学性能试验结果相近；两地各焊接接头经外观检测、无损检测，质量均合格。

《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)中规定

“焊接环境的相对湿度应小于80%”，鉴于龙江桥桥址气候环境，在湿度较大的环境中施工是无法避免的。施焊过程中，设置相对密闭的空间（如搭建防风防雨棚等），提供局部施焊环境，当观测到密闭空间中的相对湿度超过80%时，采取加热烘干等必要的措施，将焊缝附近区域的相对湿度降到80%下。其本质也是满足规范中“焊接环境的相对湿度应小于80%”的施焊条件，只不过此处的“焊接环境”指的是经过处置的相对密闭的“局部施

表1 试验项目焊缝接头坡口形式、焊接方法、代表接头及工艺参数

编号	接头名称 (材 质) /mm	坡口尺寸	焊接 位置 方法	代表接头	焊接 材料 /mm	熔敷简图	焊接参数及施焊环境			
							焊道	道间 温度 /℃	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V
1	16+16 (Q345C) 对接		平位 GMAW +SAW	底板、顶 板总拼纵向 对接	ER50-6 ($\phi 1.2$) CO ₂ H10Mn2 ($\phi 5$) SJ101q		1、2	< 200	220~260	24-28
							3~5	< 200	650~680	30
2	16+16 (Q345C) 对接		平位 GMAW +SAW	工地顶板 (大间隙) 横向对接	ER50-6 ($\phi 1.2$) CO ₂ H10Mn2 ($\phi 5$) SJ101q		1~5	< 200	220~260	24-28
							6~11	< 200	650~680	30
3	16+16 (Q345C) 对接		平位 GMAW	斜底板对 接、检修道 面板对接； 底板横向对 接	ER50-6 ($\phi 1.2$) CO ₂		1	15	220	24
							2~5	< 200	240~260	26-28
4	16+16 (Q345C) 对接		立位 GMAW	横隔板立 位对接	ER50-6 ($\phi 1.2$) CO ₂		1	15	130	20
							2~4	< 200	130	20
5	16+30 (Q345C) 熔透角接		横位 FCAW	直腹板与 斜底板之间 熔透角焊缝	E501T-1 ($\phi 1.2$) CO ₂		1	15	260	30
							其余	< 200	260~300	28~32
6	30+30 (Q345C) 熔透角接		立位 FCAW	吊索锚固 位置熔透角 焊缝	E501T-1 ($\phi 1.2$) CO ₂		1	15	160	22
							其余	< 200	150~180	20~24
7	30+30 (Q345C) 熔透角接		平位 FCAW	竖向支座 位置熔透角 焊缝； 抗风支座 位置熔透角 焊缝	E501T-1 ($\phi 1.2$) CO ₂		1	15	24	28
							其余	< 200	260~300	28~32

注：气体流量为15~25L/min。

焊环境”。

5. 高湿环境下的焊接质量控制措施

根据试验结果，并结合现场

制造中其他影响因素的分析，对高湿环境（指空气相对湿度≥85%）下钢箱梁的焊接质量控制做了如下指导性的规定。通过

在实践中的总结和完善，在实际施工中取得了良好的效果。

（1）焊接设备应装箱保护，防止潮气侵入，焊前让焊机

表2 试验项目焊接接头力学性能及硬度测试结果

编号	接头拉伸		焊缝金属拉伸			弯曲	低温冲击吸收能量 (0℃) /J		接头三区最高硬度 HV
	R_m /MPa	断裂位置	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A (%)		焊缝	热影响区	
1	513	焊缝	369	511	34.0	完好	146,134,174	92,82,98	209
1-1	482	焊缝	395	510	32.0	完好	194,182,210	99,111,128	222
2	478	焊缝	369	497	33.0	完好	110,30,60	174,158,178	183
2-1	471	焊缝	369	478	31.4	完好	90,170,172	95,100,90	206
3	492	母材	422	559	30.0	完好	84,68,78	178,172,168	247
3-1	540	母材	433	669	29.0	完好	125,132,115	182,177,189	242
4	550	母材	409	559	30.5	完好	108,72,86	104,108,100	232
4-1	521	母材	382	529	30.0	完好	122,114,97	173,186,186	215
5	—	—	593	645	21.5	—	110,108,112	78,86,82	237
5-1	—	—	584	637	22.0	—	99,113,119	91,86,97	231
6	—	—	597	668	23.5	—	68,54,68	144,142,144	232
6-1	—	—	578	655	24.5	—	79,77,62	137,109,111	222
7	—	—	542	625	29.5	—	136,138,136	110,110,100	274
7-1	—	—	541	617	24.5	—	147,141,126	113,119,134	260

注：表中编号“X-1”的试件是在保山焊接。

空载运行几分钟后方可使用。对焊接设备进行定期的维护保养。

(2) 施工现场悬挂温湿度计，并做好记录。杆件的制造宜在厂房中进行，以降低环境湿度对杆件焊接质量的影响。桥位焊接施工应搭建防风防雨棚，将施焊环境和外部有效隔离。

(3) 存放焊材的货架离墙约300mm，离地100~150mm，焊材库应保持通风、干燥和室内

清洁，库房内应配置温度计和湿度计。必要时，可在焊材库安装空调设备，以提高除湿效果。

(4) 适当延长焊接材料的烘干时间，出烘箱2h后要重新进行烘干，做到随用随取。药芯焊丝启封后应立即使用，尽快用完，当班未用完的药芯焊丝，应用原包装袋重新包装后存放于干燥防潮的地方。

(5) 杆件组装前应将接缝

周围30mm区域内的锈蚀、污垢、车间底漆等清除干净，防止焊接区域污染。组装后的杆件应在4~6h之内进行焊接。

(6) 焊前对焊缝区域利用烤把中性焰进行烘烤去湿，烘烤宽度为焊缝两侧各70~100mm，温度为50~80℃。

(7) 根据环境观测数据合理安排施焊时间，尽量避开高湿度时段下的焊接作业。

长焊缝安排多人连续施焊，尽量一次焊接完成，焊接过程中应严格控制焊缝层（道）间温度，确保焊缝性能。

(8) 焊后用石棉布覆盖焊缝表面，保温缓冷。

6. 结语

目前，云南龙江特大桥已经建成通车。实践证明，钢箱梁制造中采用的焊接工艺及焊接质量控制措施行之有效，在高湿度环境中施焊，通过采取一定的技术辅助措施，创造局部施焊环境，焊接接头性能完全能够满足使用要求。

参考文献：

- [1]张文钺. 焊接冶金学[M].北京：机械工业出版社，1981.
- [2]中国机械工程学会焊接分会. 焊接手册[M]. 2卷.北京：机械工业出版社，2001.

作者简介： 裴雪峰等，中铁宝桥集团有限公司。

MW 20161025