斜拉桥钢横梁变形控制研究

刘胜魁　杨永强　刘志雄

1. 工程概述

摩洛哥布里格里格河谷斜拉桥位于摩洛哥王国境内拉巴特绕城高速公路上，离首都拉巴特市区30km。大桥全长951.66m，主桥采用（183+376+183）m钢混结合梁斜拉桥，桥塔和主梁在塔、梁交接处固结。斜拉桥主梁采用边主梁结构，混凝土边主梁之间通过钢横梁连接，钢横梁上安装预制混凝土桥面板，桥面宽29.82m。全桥效果如图1所示。

钢横梁共计171根，总质量达2 400t。根据安装位置的不同，横梁分为三种类型，结构均为工型结构，标准横梁长度为25.9m，中心高度1.88m，材质为S355N/NL。为了保证横梁刚度的控制，横梁腹板两侧设有肋板。针对本桥杆件细长、肋板少，变形不易控制的结构特点，我们制定了详细的制造工艺方案。在横梁制作过程中要重点控制下料、组装、焊接等工序，以确保成品尺寸验收要求。单根标准梁组成如图2所示。

图1　全桥效果

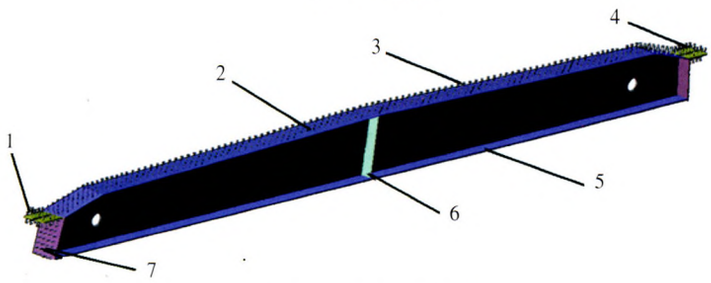

图2　单根标准梁组成

1、4. 两端耳板　2. 上翼缘板　3. 剪力钉　5. 下翼缘板　6. 肋板　7. 侧翼缘板

2. 下料

钢材经过预处理线完成预处理后下料。由于钢板在抛丸除锈前先赶平，能消除钢板的残余变形（尤其是局部硬弯）和减少轧制内应力，从而减少制造过程中的变形，因此这是保证板件平面度的必要工序。在预处理时采用磁力吊上下料，避免虎头卡吊装使钢板产生局部塑性变形。下料前预处理如图3所示。

上、下翼缘板及腹板在下料前先将钢板接荒料，以满足下料长度，上、下翼缘板与腹板的接料位置按规定错开。腹板采用数控水下等离子切割下料，腹板上孔一并切出，两端头留二次切头量，下料时预设合理的上拱度防止焊接下挠。水下等离子切割下料如图4所示。

上翼缘板两端头留二次切头量，以中心线为基准划线煨弯，下翼缘板下料时两端头留二次切头量。肋板采用数控切割机下料，控制好高度、边头垂直度。下料后的板件必须经过矫正合格后方可进入下一工序。

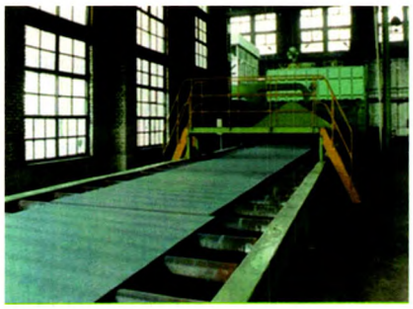

图3　下料前预处理

图4　水下等离子切割下料

3. 组焊横梁

（1）焊接工艺　第一，焊接人员要求：①从事本桥焊接的焊工应持有EN287—1或EN1418焊工资格证书。②焊工必须持证上岗，从事其证书规定范围内的焊接操作。

第二，焊接操作要求：①焊接前应检查所用焊接设备及仪表运行情况，确认准确无误后方可开工作业。焊工在施焊过程中如果发现异常现象，应停止焊接，及时汇报情况。②焊接环境温度≥5℃，环境湿度≤80%。当环境温度<5℃，环境湿度>80%时，应采取必要的工艺措施后再进行焊接。③组装前应检查焊缝坡口尺寸，并将待焊接区域及两侧20～30mm范围内的铁锈、油污、氧化皮和油漆等有害物打磨干净，露出金属光泽。④主要杆件应在组装后24h内焊接，如果超过24h，应根据不同情况，对待焊接区域进行清理或去湿处理后方可施焊。⑤多层多道焊时，应将前道焊缝的熔渣清除干净，并检查无裂纹等焊接缺陷后再继续施焊。⑥为防止气体保护焊的焊缝缺陷，应随时清除喷嘴上的飞溅物，始终保持气体流量计指示准确，并在加热状态。⑦焊接质检人员应对施焊部位所采用的焊丝牌号和批号进行记录。⑧焊缝端部的包角焊缝必须在焊缝探伤检测前与正式焊缝一起完成。⑨经外观检查合格的焊缝方能进行无损检测，无损检测应在焊接24h后进行。板厚>50mm钢板的无损检测应在焊接48h后进行。⑩埋弧焊过程中不应断弧，如有断弧必须将停弧处刨成1:5斜坡，搭接50mm再引弧施焊，焊后将搭接处修磨匀顺。埋弧焊回收焊剂距离应≥1m，焊后待焊缝稍冷却后再敲击熔渣。

第三，本项目用到的焊接设备、焊接材料、焊接方法如表1~表3所示。

第四，预热温度、道间温度和焊后保温。①严格执行工艺中预热和道间温度控制要求，对预热温度应进行检查测量。②开始焊接后，应一次连续焊完，不得中断焊接。焊接预热温度、预热范围、道间温度按照表4执行。

第五，焊缝修磨及返修。①焊缝焊接后，端部的引板必须用气割切掉，根部留1～2mm用砂轮磨平切口并100%进行磁粉探伤，不得损伤母材。②焊脚尺寸或余高等超出规定上限值的焊缝且超差的咬边必须修磨匀顺。③焊缝咬边超过限值或焊脚尺寸不足时，可采用焊条电弧焊或CO_2气体保护焊进行返修焊。④最小

表1　焊接设备

序号	焊接设备	数量/台	制造时间	新旧程度(%)	功率/能力
1	埋弧焊机DC—1000 美国林肯	16	2003/11	90	1000A
2	ZX7—500焊机 北京时代	91	2000/11	90	400A
3	气体保护焊机YM—500KR 唐山松下	130	2003/6	90	500A
4	CO_2自动焊车CS—2 韩国青松	24	2003/3	90	500A
5	悬臂焊接中心ESADCAB460	1	2003/11	90	460V
6	螺柱焊机RZN—2500B	2	2005	90	—
7	烘干箱YCH—200 江苏中意	15	2004/2	90	200kg

返修长度应为100mm。返修时杆件应预热，预热宽度应不低于2倍板厚且≥150mm。返修焊的预热温度比正常焊缝要高50℃。⑤焊接裂纹的清除范围除应包括裂纹全长外，还应由裂纹端外延50mm，裂纹清除后应对裂纹端外延100mm内进行磁粉探伤。修补部位磁粉在返修焊前应打磨，返修焊后对焊缝进行100%外观检测及按照要求的无损检测。⑥同一部位的返修焊不得超过两次。⑦所有焊缝表面的修磨均应沿主要受力方向进行，使磨痕平行于主要受力方向。

（2）上、下翼缘板与腹板组焊成工型　在工型组焊胎上组对，上、下翼缘板纵横向划十字分中线，腹板划中心线，对线组对。保证高度组装公差，控制上、下翼缘板与腹板垂直度。

下翼缘板、腹板、上翼缘板组成工型后，采用埋弧焊船位焊接腹板与上、下翼缘板间主角焊缝；采用CO_2气体保护焊焊接腹板与上翼缘板间主角焊缝；主角焊缝进行无损探伤检测；采用火焰矫形保证翼缘板与腹板的垂直度、平面度、拱度及旁弯，以满足规范公差要求。

（3）组焊肋板及侧翼缘板　侧翼缘板上剪力钉组装前焊接完毕，采用CO_2气体保护焊焊接腹板与竖向加劲肋，以及上、下翼缘板间角焊缝，竖向加劲肋与腹板间角焊缝从下翼缘板侧向上翼缘板侧焊接。以腹板中心线为基准划线二次切头，保证横梁长度公差，火焰切割两端上、下翼缘及腹板。然后将侧翼缘板对中组焊。

（4）焊剪力钉及两端耳板　剪力钉焊接前应进行焊接工艺评定试验，评定试验报告经监理工程师审查通过后，根据试验结果制定剪力钉焊接工艺规程并严格按其进行焊接。剪力钉焊接后进行焊缝外观检查及锤击30°弯曲检验，对焊接不合格的剪力钉制定相应的修补及处理工艺，待监理工程师审核后，才能执行。

（5）检查、验收　我公司吸取之前的成功经验，针对本桥钢横梁制定了成品验收公差。经检查，梁高、肋板间距、拱度及旁弯等数值均在公差允许范围内。

表2　焊接材料

焊接方法	焊材类型	牌号	规格ϕ/mm	生产厂家
埋弧焊	埋弧焊丝	OK Autrod 12.32	4.0	伊萨
	焊剂	OK Flux10.62	—	
	埋弧焊丝	H—14	4.8	现代
	焊剂	S—737	—	
气体保护焊	药芯焊丝	Supercored 71H	1.2	现代
	实芯焊丝	ER50—6	1.2	天津金桥

表3　焊接方法

焊缝位置	焊接位置	焊接方法	焊接材料
定位焊缝，返修焊	平角位PB 船位PA	CO_2气体保护焊（135）	ER50—6
	立位PF		Supercored 71H
对接接料焊缝	平位PA	CO_2气体保护焊打底（136）	ER50—6
	焊剂	埋弧焊填充、盖面(135)	H—14+ S—737或 OK Autrod 12.32+ OK Flux10.62
横梁腹板与翼缘板间主角焊缝	船位PA	埋弧焊(121)	H—14+ OK Flux10.62或 OK Autrod 12.32+ OK Flux10.62
加劲肋板与腹板角焊缝横梁侧翼缘板对接坡口焊缝	平角位PB 平位PA	CO_2气体保护焊（136）	ER50—6
横梁侧翼缘板与腹板角焊缝/其他焊缝	立位PF		Supercored 71H
圆柱头焊钉	平位PA	专用焊机焊接（783）	—

表　4

材质	板厚/mm	预热温度/℃ 气体保护焊（包括定位焊）、埋弧焊	预热范围/mm	道间温度
S355NL S355N	≤30	≥10	—	最高道间温度按照有关焊接工艺规定执行
	>30～90	80～120	≥80	

注：1. 预热方法：采用火焰预热或电加热器。

2. 测温点距离焊缝中心75mm。

3. 10℃是待焊钢板表面的温度。

4. 板厚指接头组合中的厚板厚度。

5. 结语

在本桥的制造过程中，针对杆件细长，变形不易控制，钢板材质新颖的特点，我们制定控制变形的各项具体措施，取得了良好的效果，使钢横梁的制造达到了相关规范要求，对今后的制造实践具有一定借鉴和指导意义。

作者简介：刘胜魁等，中铁山桥集团有限公司工程师。

MW 20140210