

高铁线路钢结构焊接裂纹的预防

殷荣幸 王旭 李东升

1. 概述

在西北某高铁线路上的钢结构构件中发现了焊接裂纹（见附图），我们从生产企业反馈的信息了解到，该裂纹是产品焊接结束后一段时间，到安装现场以后产生的。从产生时间来看，具有典型的焊接冷裂纹中延迟裂纹的特点。从产生部位来看，裂纹产生在焊缝与母材交界的焊脚位置，实际上是熔合区与过热区的位置，也是焊接接头中最薄弱的部位。

该钢结构件在高铁线路上用来悬挂高压电缆，如果在使用过程中产生开裂，造成高压电缆下垂，对300km/h行驶的列车会造成难以想象的后果。因此，对于这种关键产品，在生产时绝对要

保证产品的质量和使用安全。

2. 焊接性能分析

西北戈壁滩冬天一般都低于-20~-30℃，对于铁路线上钢结构采用的母材就要求具有较好的低温韧性，特别是焊接热影响区的韧性要求。这类钢结构一般采用厚度6~20mm的Q345C热轧板焊接而成，选择Q345C就是考虑到这类材料低温韧性较好。其化学成分及力学性能分别如表1、表2所示。

从表1、表2可以看出，不同等级的Q345热轧钢在化学成分上的差别主要是S、P成分的差异，等级越高，S、P的含量就越低，钢的韧塑性就越好。

3. 钢结构裂纹产生原因

焊接冷裂纹形成三要素有：

焊缝中的含氢量（扩散氢）、焊接接头中的淬硬组织和较大的焊接应力。

（1）材料冷裂纹敏感性 Q345C的冷裂纹敏感性指数为0.247，冷裂敏感性不高。这说明，冷裂纹的产生与材料本身关系不同。

（2）焊接方法对裂纹的影响 这家企业焊接的钢结构采用的是CO₂气体保护焊，该方法具有明弧、生产效率高、成本低和冷裂纹不敏感等特性。由于CO₂在高温时具有很强的氧化性，所以由CO₂焊方法引起焊接冷裂纹的可能性不是很大。

（3）焊接工艺对裂纹的影响 该企业采用的是时代公司NBC—400 CO₂气体保护焊机，焊丝采用ER50—G，



焊接裂纹

表1 Q345热轧板的化学成分

牌号	等级	化学成分（质量分数，%）									
		C	Mn	Si	P	S	V	Nb	Ti	Al	Cr
Q345	A		1.00		≤0.045	≤0.045	0.02	0.015	0.02	—	—
	B	≤0.20	~	≤0.55	≤0.040	≤0.040	~	~	~	—	—
	C		1.60		≤0.035	≤0.035	0.15	0.060	0.20	≥0.015	—

表2 Q345热轧板的力学性能

等级	热处理	σ _s /MPa	σ _b /MPa	σ _s /σ _b	δ(%)
A	热轧	441	549	0.80	28
B		421	529	0.80	27
C		333	539	0.63	36

φ 1.2 mm 或 φ 1.6 mm 的实芯焊丝，保护气体采用 80%Ar+20%CO₂。

焊工在生产过程中基本能严格遵守焊接工艺规程，生产秩序较好。但通过仔细观察也发现如下一些问题。

第一，焊接电流普遍较大。由于企业焊工的工资是计件制，所以焊工为了追求焊件数量，就把焊接电流调节的比较大。特别是老焊工，他能控制焊缝成形，电流虽大，但焊缝成形却还不错，造成焊接接头的热影响区和组织晶粒比较大，使焊接热影响区的韧性差，特别是熔合区和过热区易出现问题。

第二， $t_{8/5}$ 的影响。由于焊工焊接时采用较大的焊接电流，热输入就比较大，则 $t_{8/5}$ 长，所以影响到 HAZ 粗晶区的组织和性能（见表 3、表 4）。

一般 $t_{8/5}$ 的时间不能过长，热输入适当小一些，这样可以改善焊缝的组织及焊缝的性能，特别是韧性值。

4. 预防钢结构冷裂纹的措施

(1) 焊前清理 把焊接坡口及两侧 20mm 范围内的铁锈、油污及氧化皮清理干净。如焊丝表面有油，也应可能进行清理。

表3 Q345C钢板的 $t_{8/5}$ 与HAZ粗晶区韧脆转变温度之间的关系

$t_{8/5}/s$	$T_{115}/^{\circ}C$	$T_{\alpha}/^{\circ}C$	$T_{0.38}/^{\circ}C$
5	- 64	- 30	- 60
8.5	- 57	- 34	- 55
12.5	- 57	- 27	- 55
22.0	- 55	- 23	- 53

注：1. T_{115} 是以冲击吸收能量 20J 为判据。

2. T_{α} 是以 50% 纤维断面为判据。

3. $T_{0.38}$ 是以冲击断面侧向膨胀值 0.38mm 为判据。

(2) 焊前预热 Q345C 钢的焊接性良好，推荐的焊前预热温度如表 5 所示。

(3) 焊接参数的控制 第一，焊接电流。生产时要求焊工必须严格执行焊接工艺规程，焊接电流必须在规定的范围之内，焊工无权对焊接电流进行调整，有问题可咨询现场技术人员。焊接电流推荐如表 6 所示。

第二，焊接热输入。焊接

时热输入一般控制在 25kJ/cm 以下，保证 $t_{8/5}$ 不会过大，避免影响焊接热影响区的组织和性能。

第三，层间温度。多层焊时注意控制层间温度，一般层间温度与预热温度相当；焊前不预热时，一般冷却到手可触碰的情况即可开始下一层（道）的焊接。

第四，焊后热处理。Q345C 钢一般焊后不进行热处理，重要的钢结构件焊后立即进行消

表4 Q345C钢板的 $t_{8/5}$ 与HAZ粗晶区组织之间的关系

序号	$t_{8/5}/s$	盖面焊组织特征	盖面焊层下再加热焊缝金属组织
1	5	基体为板条马氏体，另有约 5% 的上贝氏体	盖面焊层下再加热焊缝金属组织大体相似，可分为三大类型：①粗大晶界铁素体和索氏体，随 $t_{8/5}$ 的增加明显粗化，所占比例增大。②短小针状铁素体，部分具有等轴铁素体和索氏体的混合组织，在不同 $t_{8/5}$ 的条件下，所占比例都不大。③再加热焊缝金属的回火组织，主要存在于 $t_{8/5}$ 为 5s 时
2	8.5	板条马氏体基体上约 85% 的针状铁素体，13.6% 的上贝氏体，晶界上有少量粒状贝氏体	
3	12.5	板条马氏体基体上有约 75% 的针状铁素体，约 17.2% 的粒状贝氏体，其余为少量上贝氏体及晶界铁素体	
4	22.0	板条马氏体基体上有约 65% 的针状铁素体，约 29.3% 的粒状贝氏体，其余为少量上贝氏体及晶界铁素体	

表5 Q345C钢推荐的焊前预热温度

板厚/mm	不同环境温度下的焊前预热温度
<16	- 10℃ 以上不预热，- 10℃ 以下预热 100~150℃
16~24	- 5℃ 以上不预热，- 5℃ 以下预热 100~150℃

表6 焊接电流推荐

焊脚尺寸/mm	层数	气体流量 /L·min ⁻¹		焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹
		CO ₂	Ar				
6	1	20	80	1.2	280~320	36~38	80~85
9	2	20	80	1.2	280~320	36~38	70~80 100~120
12	3	20	80	1.2	280~320	36~38	50~60 70~80 100~120

氢处理（加热到 250℃，保温 2~6h）。

5. 结语

通过采取上述几种具体的措施，特别是加强焊接电流的监控，企业也适当调整了焊工工资的考核机制，并加强焊接产品的检测，从源头上解决了焊接冷裂

纹的问题。最近半年多来，未在现场发现焊接裂纹的问题。

作者简介：殷荣幸，常州机电职业技术学院模具系教师；

王旭，李东升，中铁建电气化局集团轨道交通器材有限公司工程师。

MW 20140218