

锅炉防磨喷涂水冷壁管泄漏原因分析

陈培生

【摘要】 表面进行防磨喷涂的锅炉水冷壁管，经过焊接（或补焊）后投入运行一段时间后，焊缝处因发生泄漏而引起停炉事故。通过对泄漏管子取样进行研究分析，发现经过防磨喷涂过的管子表面的喷涂层未清除干净，管子进行焊接（或补焊）后会产生热裂纹并引起泄漏。

关键词： 防磨喷涂；锅炉；水冷壁管；焊接；补焊；喷涂层；焊缝；热裂纹；泄漏

1. 概况

2011年4月26日，11号炉本体1号角（标高26.6m处）水冷壁管发生泄漏，泄漏点位于1#切角炉前第1、第2根，并且吹损前墙第1、第2根导致这两根管子减薄泄漏，然后泄漏的管子将前墙多根管子吹损减薄。为分析泄漏原因，割取两根原始泄漏点的管段进行试验分析。

11号炉为上海锅炉厂于1997年生产的1000t/h亚临界强制循环燃煤汽包炉，水冷壁管子材质为20G，规格为 $\phi 45\text{mm} \times 6\text{mm}$ 。泄漏处周围管子表面在2010年4月大修时进行过喷涂处理，2011年3月小修检查发现该部位管子表面有明显吹损减薄现象，测厚检查发现许多管子壁厚在3.5mm左右，故采用常规的局部补焊的工艺进行处理，焊材为J507焊条，补焊前将喷涂层打磨部分去除，发现原始泄漏处

均为表面补焊位置。补焊主要工艺参数：焊条直径2.5mm，烘烤温度350℃左右，焊接电流68~75A，直流反接；焊前不预热，焊后不热处理；补焊层数1~2层，厚度1~3mm；补焊长度100~300mm，宽度20~30mm，补焊后未打磨、未探伤。

水冷壁管子表面防磨喷涂层用QG800强耐磨类粉芯丝，采用电弧喷涂工艺均匀喷涂在管子表面，厚度约0.5mm。芯粉主要

成分为硼化物、氮化物等金属复合陶瓷，具有很高的硬度和耐磨性，是水冷壁高温防磨的新型材料，主要化学成分如表1所示。

2. 试验结果与分析

（1）外观检查 1#管及2#管表面均有大面积补焊，两根管上分别有一处点状泄漏，如图1所示；1#管点状泄漏旁有较多的表面龟裂，较长的裂纹几乎与管子轴向垂直，如图2所示。从表面龟裂的形貌看（较多、较长），

表1 QG800强耐磨类粉芯丝的主要化学成分（质量分数）（%）

Fe	Cr	Ni	B	Al	RE	其他
余量	16.0	12.0	12.0	3.0	0.5	1.5



图1 两个原始泄漏点

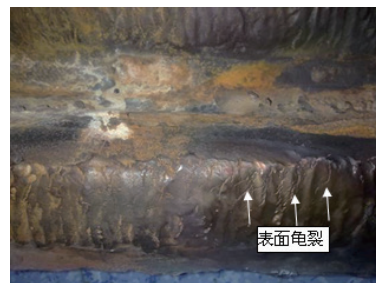


图2 1#管表面的龟裂

具有焊接热裂纹特征。热裂纹是液相与固相共存的温度下，由于冷却收缩的作用，在拉应力的作用下沿一次结晶晶界开裂的裂纹。由于晶界偏析，在树枝晶或柱状晶间有低熔点共晶并沿一次结晶晶界分布，结晶裂纹就产生在收缩晶界时的弱面上。由于沿先共析铁素体析出于原奥氏体晶界，而体心立方点阵结构对硫、磷、硅、硼等杂质元素具有更高的溶解度，因此沿先共析铁素体形成的裂纹也是结晶裂纹。

(2) 化学成分分析 对管子表面补焊层取样进行成分分析，由于喷涂厂家不能提供喷涂材料的具体合金元素，故选取某些可能的喷涂元素进行分析，结果如表2所示。由表2发现微量的Cr、Ni等合金元素，补焊层中有明显的喷涂残留元素硼（B），且S、P、B等元素在晶界上聚集。

(3) 1#管龟裂处金相检查 在1#管龟裂处取1只金相试样，经镶嵌、磨制、抛光后在50倍下观察，开裂形貌如图3所示，腐蚀后在200倍下观察，各区域金相组织如图4~图6所示。表面龟裂处开裂底部圆滑，未深入扩展，但表层也有沿着柱状晶形成的沿晶裂纹（见图6），具有热裂纹特征；另外表层向下区域出现魏氏组织，内壁母材为未受热影响的带状珠光体+铁素体组织。

(4) 1#管泄漏处金相检查 在1#管泄漏处取1只金相试样，经镶嵌、磨制、抛光后在50倍下观察，发现大量裂纹，裂纹形貌如图7所示，腐蚀后在200倍下观察，各区域金相组织如图8~图

表2 来样管段合金成分（质量分数） (%)

合金元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	B
1#管补焊层	0.145	0.27	0.59	0.02	0.01	≤0.01	0.015
1#管基体	0.165	0.27	0.72	0.03	0.02	≤0.01	0.011
2#管补焊层	0.125	0.24	0.54	0.03	0.02	≤0.01	0.005
2#管基体	0.15	0.27	0.57	0.03	0.02	≤0.01	0.006

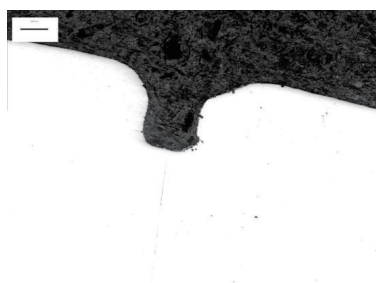


图3 表面龟裂形貌（50倍）

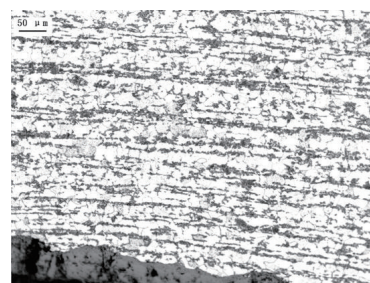


图4 表面龟裂处内壁组织

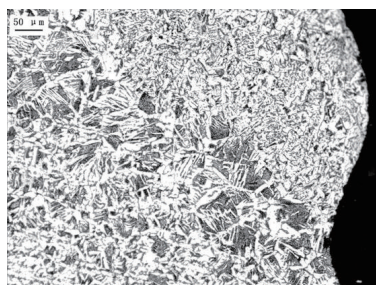


图5 表面开裂旁的魏氏组织

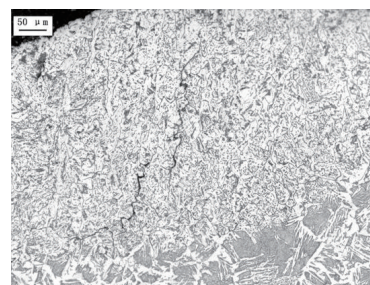


图6 表层沿晶裂纹

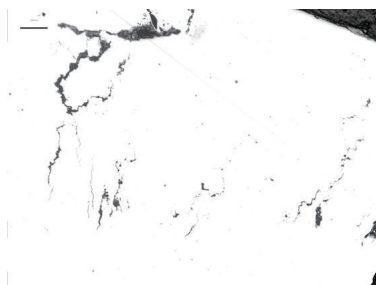


图7 1#管泄漏处表层裂纹

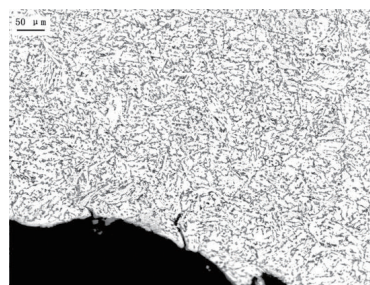


图8 内壁处基体显微组织

10所示。表层补焊组织为无碳贝氏体及魏氏组织（见图9），中间壁厚位置为贝氏体组织，有焊缝柱状晶形貌（见图10），内壁基体受到焊接热影响生成贝氏体组织。内部裂纹出现在表层及中间壁厚位置，为沿晶裂纹，中间壁厚位置裂纹沿着柱状晶生长，图10放大后可见部分裂纹中间有灰色夹杂物（见图11），为氧化物或低熔点共晶体。

(5) 2#管泄漏处金相检查 在2#管泄漏处取1只金相试样，经镶嵌、磨制、抛光后在50倍下观察，发现较多裂纹，裂纹形貌如图12所示，腐蚀后在200倍下观察，各区域金相组织如图13~图14所示。发现该处整个壁厚组织均为过热的焊缝组织，沿晶界分布着网状的、轻微的魏氏组织，内部裂纹形貌如图14所示。由图可见有长条状的柱状晶裂纹

(见图14a)，也有沿晶分布的微裂纹(见图14b)，其中部分裂纹沿着先共析铁素体分布。

3. 综合分析

(1) 表面龟裂分析 1#管表面龟裂为热裂纹，20G为低碳钢，不易形成淬硬组织，一般来说不会出现冷裂纹。因此在焊接规范合理的前提下，出现热裂纹说明母材表面有一些少量的引起热裂纹敏感性的合金元素；另外焊接时喷涂层打磨不净，加上焊接(或补焊)时拘束应力较大，极易形成热裂纹。

(2) 管子金相组织分析 在补焊层表面龟裂处及两个管样泄漏处经组织观察均发现有不同程度的魏氏组织，特别是2#管泄漏处整个壁厚均为魏氏组织，基体正常的母材组织已经不存在，说明该处补焊时热输入量较大，且喷涂层的一些合金元素对产生魏氏组织有直接的影响，造成焊缝在冷却过程中存在较大的拉应力。

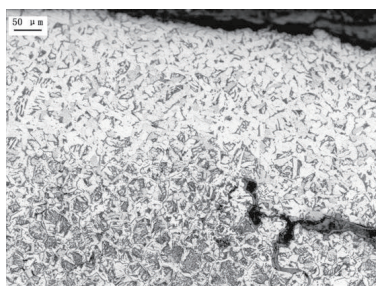


图9 1#管表层沿晶裂纹及魏氏组织(含无碳贝氏体组织)

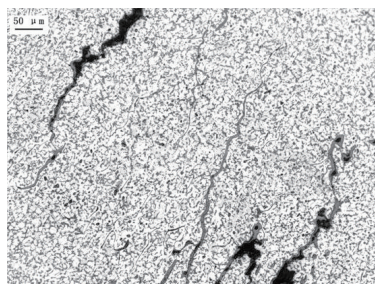


图10 中间壁厚处热影响区的裂纹

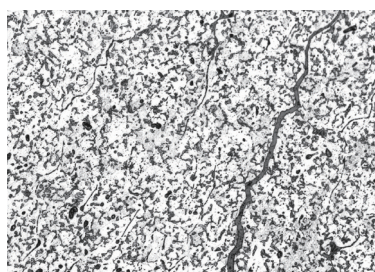


图11 裂纹中间的灰色夹杂物(氧化物或低熔点共晶体)



图12 2#管泄漏处内部裂纹形貌

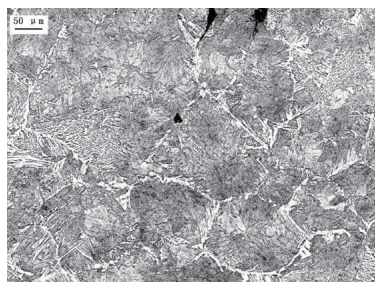
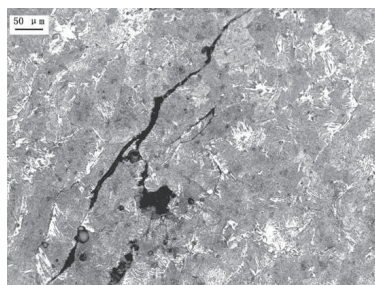


图13 2#管泄漏处焊态组织



(a)



(b)

图14 内部裂纹形貌

1#管泄漏处外壁为魏氏组织，中间及内壁均为贝氏体组织，可见基体组织已发生转变，对于低碳钢来说，这是不正常的。因为贝氏体一般为低合金钢出现的组织，说明该处母材表面也可能有残留的喷涂元素存在，致使淬硬倾向增加，加上焊接后冷却速度过快形成了贝氏体组织，使焊缝在凝固冷却过程中内应力增大。

(3) 内部裂纹分析 补焊层内部裂纹均为沿晶裂纹，有的沿焊缝柱状晶分布，有的沿先共析铁素体(魏氏组织)分布，且部分裂纹内部有高温氧化物或低熔点共晶体的灰色夹杂物，因此该裂纹应该是焊接过程中产生的热裂纹，只是开始热裂纹较短，在运行过程中热裂纹扩展最后导致内外壁裂通泄漏。

(4) 喷涂层的影响 管子表面吹损具有一定的方向性，在管子表面整个半圆周上必定有部分

喷涂层没有被吹损；另外在对吹损处补焊时，未能将表面喷涂层打磨干净，因此补焊时会微量喷涂元素溶进焊缝，致使淬硬性增加，焊缝内杂质增多，加上管子表面补焊时冷却速度较快，导致产生热裂纹。

综合分析结果如下：

第一，补焊层内发现较多热裂纹，这是管子泄漏的直接原因。

第二，补焊层的热裂纹（表面龟裂及内部结晶裂纹）在正常焊接规范时均不易产生，分析其原因，是因为残留的微量喷涂元素被溶入焊缝，导致杂质增多（产生结晶裂纹）、淬硬性增加

（产生贝氏体组织）。

第三，对于表面喷涂管如果需要焊接或补焊，在焊接前必须将管子表面的防磨喷涂层彻底打磨并去除干净，然后再进行焊接，这样能有效防止热裂纹的产生。

4. 结语

2011年11号炉水冷壁表面防磨喷涂管子焊接和补焊后，在运行中焊缝接连发生两次泄漏。经过研究分析，发现这两次泄漏是由于经过表面防磨喷涂的管子在焊接前未将涂层去除干净，焊接冷却过程中在焊缝中会产生微小热裂纹，并经过一段时间运

行后，这些微小热裂纹在工作应力和温度的共同作用下，裂纹不断扩展、相连，最后贯穿整个管壁，导致泄漏停炉事故。在随后的检修焊接过程中，重视了喷涂层残留元素对水冷壁管子焊接质量的不良影响，在焊接前彻底将管子表面的喷涂层打磨清除干净，再进行焊接，至今运行6年多来，虽然焊接过100多个焊口，但无一因产生热裂纹而发生泄漏事故，经济效益巨大。

作者简介：陈培生，中国华电集团公司望亭发电厂。

MW 20171115

（上接第25页）

在翻转工装上，顶紧两侧液压缸6，从而将箱型梁牢固的安装在翻转工装上，采用龙门自动焊机，先进行箱型梁下部内外焊缝的焊接作业，由于翻转工装装夹固定而导致部分长度无法完成的外焊缝，可以通过吊装工件在翻转架上纵向移动或是焊接完成后将工件吊下补焊的方式解决。

箱型梁上部内外焊缝全部焊接完成后，吊装另一块盖板，按照图样规定的尺寸在已焊接完成后U型槽上定位并采用负重压紧、手工点焊的方式进行点固

后，启动电动机，通过内啮合齿轮系带动固定在翻转架上的工件呈顺时针和逆时针不同方向回转，达到合适的焊缝角度后进行剩余外焊缝的焊接作业。由于采用内啮合大齿圈齿轮传动机构，翻转过程中不会出现齿轮与齿轮之间、工件与滚轮之间滑动，因而齿轮扭矩传递均匀，翻转过程平稳可靠。另外，配合两侧液压缸夹紧机构，使得整个翻转过程快速安全，两侧各翻转90°，大约需要1min。该翻转工装的使用，极大地减少翻转时间，提高了箱型梁焊接效率，消除翻转过

程带来的不安全因素。

4. 效果

该翻转工装有效解决了大型长条形状箱型梁的焊接变位难题，且结构简单、使用方便、可靠性高、操作容易。由于采用了齿轮内啮合齿的传动方式，使维护保养非常容易，故障率低，取得了令人满意的使用效果。

作者简介：安存胜，河南林业职业学院；聂福全，河南卫华重型机械股份有限公司。

MW 20171115

《金属加工（热加工）》2017年第23-24期广告目次

库卡机器人（上海）有限公司	8168	封面A	神基科技股份有限公司	2062	前彩3
金属加工杂志社	8000	封二A	十堰天舒机电科技有限公司	1947	前彩4
法国液化空气焊接公司上海代表处	1404	封面B	盐城高周波热炼有限公司	5326	前彩5
伊达新技术电源（昆山）有限公司	1925	封二B	因德特伦精密机械（太仓）有限公司	1904	前彩6
泰佰亿（山东）工业有限公司	5032	封三	金属加工杂志社	8000	I
昆山京群焊材科技有限公司	5123	封底	北京金威焊材有限公司	1161	III
江苏丰东热技术股份有限公司	5098	前彩1	2018慕尼黑上海光博会	8039	P7
天津天高感应加热有限公司	1943	前彩2			