

# 火电机组炉外高温高压管道附件 失效分析及防治措施

邹县电厂 魏玉忠

二〇一四·杭州

# 火电机组炉外高温高压管道附件失效分析及防治措施

魏五屯  
2014/3/15

## 内容简介

简要介绍了炉外高温高压管道附件的种类、造成失效的原因，通过案例分析缺陷产生的原因及防范措施，通过加强金属监督和过程控制防止炉外高温高压管道附件早期失效。

## 目 录

- 一、引言
- 二、炉外高温高压管道种类
- 三、常见失效原因
- 四、失效案例及防范措施
- 五、结束语

### 一、引言

近期，火电机组炉外高温高压管道附件焊缝开裂泄漏有多发趋势。炉外高温高压管道有其布置在设备密集区、人员流动区的特殊性，一旦泄漏会带来设备损坏、人员伤亡等灾难性事故。所以，加强炉外高温高压管道及附件全过程金属监督，认真分析产生管道附件开裂的真正原因并加以整改显得非常重要。

### 一、引言

失效的客观原因：

- 1、结构不连续性，应力集中度高，受力复杂
- 2、设计、制造、安装、检修重视程度不够
- 3、监督检验缺失、改造更换不及时
- 4、检验检测困难

### 二、高温高压管道附件种类

- 1. 测量装置：压力、温度、流量、取样汽水
- 2. 连接管：疏放水、排空气、充氮、旁路、连通管
- 3. 结构件：吊耳 护板 内置构件、固定件
- 4. 其它：手孔 探伤孔、备用接口、支吊架

三、高温高压附件失效种类

1、设计、制造不合理：结构 焊接



结构设计不合理



制造质量差

三、高温高压附件失效种类

1、设计、制造不合理：结构 焊接



管件设计、加工缺陷



结构不合理，焊接质量差

三、高温高压附件失效种类

2、管道安装、检修换管处理不当：膨胀受阻 安装质量

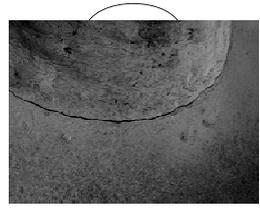


三、高温高压附件失效种类

2、管道安装、检修换管处理不当：膨胀受阻 安装质量

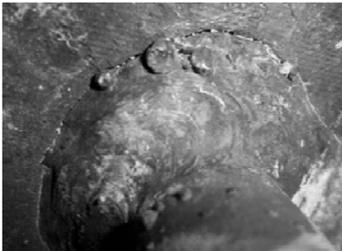


集箱与手孔壁厚差别大，热处理不到位，硬度高



三、高温高压附件失效种类

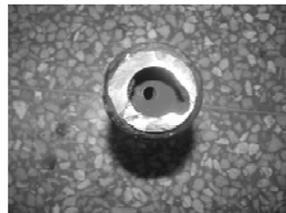
2、管道安装、检修换管处理不当：膨胀受阻 安装质量



压力表管座焊接质量差

三、高温高压附件失效种类

3、长周期运行损伤：冲刷减薄、疲劳、材质劣化、腐蚀



节流孔下游管段吹损



三、高温高压附件失效种类

3、长周期运行损伤：冲刷减薄、疲劳、材质劣化、腐蚀



不锈钢管采用碳钢管夹固定接触产生化学腐蚀

三、高温高压附件失效种类

3、长周期运行损伤：冲刷减薄、材质劣化、腐蚀



材质劣化 蠕变损伤

三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

A/B-CIII类异种钢接头,由于这两类钢材的化学成分、金相组织和力学性能方面相差都很多,在焊接时会产生一些列特殊困难,为保证焊接质量和接头使用性能,必须考虑下列问题:焊缝金属的稀释、碳迁移形成扩散层、焊接残余应力。

异种钢焊接接头具有焊接性能差的局限性,通过合理设计接头形式和焊接工艺、严格控制焊接施工规范,可有效保证接头的使用性能。

三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

案例1:某电厂600MW亚临界机组2007年9月投产,主蒸汽管道规格ID342.9×35.5mm、材质SA335-P91,温度套管规格φ38mm、材质0Cr18Ni12Mo2Ti奥氏体不锈钢。运行中因焊缝开裂脱落。



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

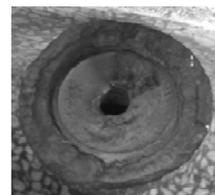
案例2:某电厂300MW亚临界机组于1999年10月份投产,温度套管材质为奥氏体不锈钢,主蒸汽管道材质P22合金耐热钢。2012年2月,机组运行中温度套管脱落。



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

案例3:某电厂1000MW超超临界机组2007年投产,主蒸汽管道材质为P92,蒸汽取样管座材质为0Cr18Ni9Ti奥氏体不锈钢。2012年10月,机组运行中管座脱落。



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

现状分析：1、接头形式和开裂区域相同。三次泄漏焊缝接头同为异种钢接头（B-II、B-III与C-III连接。参考DL/T752-2011，下同），焊接材料选用镍基焊材（ENiCrFe-3），开裂部位在非奥氏体钢侧焊缝熔合区。两次主蒸汽管道温度套管焊缝接头形式为插入式局部焊透接头，蒸汽取样管座焊缝接头形式为角接接头，两类接头同为高应力集中的接头形式。

2、接头部件服役时间不长。案例一和案例三服役不到5万小时，案例二服役时间不到8万小时。泄漏造成的危害大，两次主蒸汽管道温度套管泄漏都发生在汽机房内，并对其它设备造成不同程度损坏，如遇到现场有人员操作，后果不堪设想。

三、典型案例原因分析及防范措施

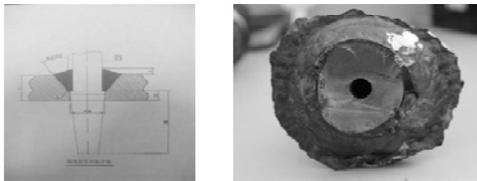
1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

现状分析：3、接头开裂形貌相近。案例1和案例3接头开裂形貌相同，焊缝根部存在大量的夹杂物，且存在明显的未焊透现象，断面可见明显的焊接波纹，焊缝与主蒸汽管道熔合较差。从焊缝形貌可以判断：焊接时采用大规范手工电弧焊操作，单道熔敷金属厚度、宽度超标，焊缝热影响区扩大，焊缝金属熔合、成型不良，明显不符合B-C类异种钢接头焊接工艺要求。

三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

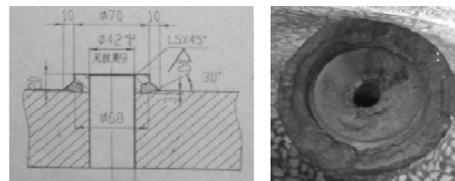
原因分析：1、坡口角度小，实际焊缝尺寸不符合设计要求。



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

原因分析：2、焊接规范控制不当，造成过渡层、扩散层扩大



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

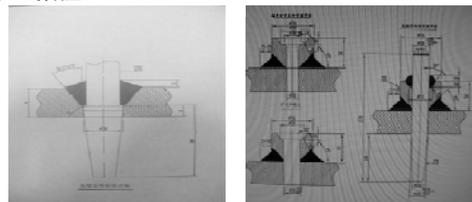
原因分析：3、主蒸汽温度套管焊缝坡口形式设计欠合理（插入式被安座式替代）

主蒸汽管道温度套管焊缝坡口形式设计欠合理、坡口角度小，不能保证根部完全熔合，造成根部产生夹渣和未焊透，应力集中度高；异种钢焊接接头本身有其焊接性能差的局限性，采用大规范、大直径焊条焊接，造成焊缝靠近母材侧过渡层、扩散层扩大，加剧了异种钢接头焊缝金属稀释、碳迁移和应力集中。接头长期服役并在介质温度变化产生的交变应力作用下，首先在根部应力集中最高部位产生裂纹，随着运行时间增加，裂纹沿着焊缝最薄弱的熔合线扩展，最终开裂。

三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

防范措施：1、合理选择管座结构形式、材质成分，尽量减少异种钢焊缝（插入式选同种材质、用安座式替代插入式管座）



三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

防范措施：2、合理制定焊接工艺、严格控制焊接施工规范。

- 1) 选用熔合比小、稀释率低的焊接方法，如手工电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊。
- 2) 提倡选用镍基焊接材料，根据使用温度不同选用合适的焊材（压力管道和耐腐蚀部件异种材料焊接时宜选用镍基ERNiCrCoMo-1等焊丝及匹配焊材）。
- 3) 严格控制焊接工艺规范。为了减少融合比，可适当扩大坡口角度；选用小规范焊接，使用小直径焊条、焊丝（焊条直径不超过3.2mm），采用小电流、快速焊接方法；严格控制单道熔敷金属厚度和宽度（厚度不超过焊丝、焊条直径，宽度不超过焊丝、焊条直径的三倍）；适当进行预热和热处理。

三、典型案例原因分析及防范措施

1、奥氏体与其它钢异种钢接头失效

防范措施：3、按照监督规程要求进行探伤检测。对存在类似的插入式异种钢接头建议更换为同材质管座，没有更换的全面检查。10万小时后彻底更换。

三、典型失效原因分析及防范措施

2、疏放水管道吹损、汽蚀减薄

机组运行期间，由于疏放水管道隔离门内漏等导致隔离门前后压差增大，蒸汽携带疏水的混合介质长期对管子内壁冲刷，引起管子内壁厚度减薄的现象叫做疏水冲刷。宏观特征：管子无胀粗、变色、组织无异常，泄漏口较小，但管子内壁冲刷面积大，呈深沟状；厚度测量由大到小呈阶梯型分布；冲刷位置位于管子的某一固定区域。

三、典型失效原因分析及防范措施

2、疏放水管道吹损、汽蚀减薄

案例：某机组倒暖至A汽泵中间抽头节流孔后管道运行中减薄泄漏，管子材质12Cr1MoV,规格：76×12.5mm。节流冲刷是导致管壁减薄的直接原因。根据系统分析，导致节流冲刷的压差是倒暖至A汽泵逆止门存在内漏，汽泵出口部分给水经过该节流孔后进入芯包中间抽头段。

三、典型失效原因分析及防范措施

2、疏放水管道吹损、汽蚀减薄



三、典型失效原因分析及防范措施

2、疏放水管道吹损、汽蚀减薄

原因分析：  
 机组运行过程中，疏放水管道二次门内漏，汽、水介质对阀门后的管子长期冲刷，导致管子厚度减薄，直至泄漏。  
 疏放水管道设计不合理，阀门、节流装置安装错误、节流孔变形等，导致管道内形成紊流，造成管道吹损。  
 疏放水管道内介质直接冲刷连接集箱内壁，造成集箱对应位置减（集汽小集箱）

三、典型失效原因分析及防范措施

2、疏放水管道吹损、汽蚀减薄

防范措施:

- 1、严格按照运行规程开、关操作阀门，确保开关到位。
- 2、发现阀门内漏，利用停机或消缺机会及时更换，并检查吹损情况。
- 3、机组大小修期间根据阀门检修滚动计划做好阀门检修。
- 4、机组检修测厚检查。重点检查部位：一二次门下游管段，节流装置下游管段，管道三通、弯头部位，疏放水小集箱冲刷部位，汽水两相流管道。

三、典型失效原因分析及防范措施

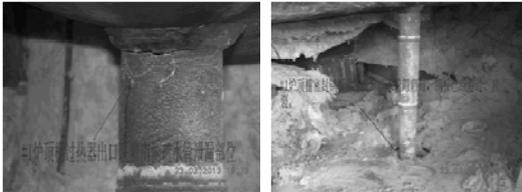
3、管系膨胀受阻导致焊缝拉裂

机组安装、检修改造中，对冷热态管系膨胀考虑不周，造成管系热态膨胀受阻，在管系薄弱部位（管座焊缝、第一道对接焊缝）产生加大附加应力，在机组多次启停和升降负荷温度变化的情况下，附加应力反复作用，最终导致焊口逐渐开裂而泄漏。宏观现象：泄漏部位一般发生在管座焊缝靠近支管侧热影响区或第一道焊缝热影响区。环形开裂，裂纹中心处于附加应力最大点，焊缝存在一定的焊接缺陷（咬边、成型不良）

三、典型失效原因分析及防范措施

3、管系膨胀不畅导致焊缝开裂

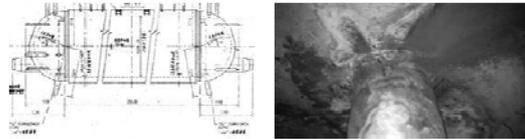
案例1：某电厂顶棚过热器出口联箱疏水管座焊缝熔合线裂纹造成泄漏



三、典型失效原因分析及防范措施

3、管系膨胀不畅导致焊缝拉裂

案例2：某电厂锅炉炉汽包B侧下降接管管座焊缝泄漏



三、典型失效原因分析及防范措施

3、管系膨胀不畅导致焊缝拉裂

原因分析:

- 管系设计、安装不当，膨胀受阻。
- 管座与支管连接焊缝结构形式不合理
- 管系结构应力大，且不能得到释放
- 焊缝存在质量缺陷，最薄弱部位开裂
- 监督检查不到位，没有提前发现缺陷

三、典型失效原因分析及防范措施

3、管系膨胀不畅导致焊缝拉裂

防范措施:

- 从管系设计、安装入手，消除膨胀受阻；管系改造、热优化充分考虑管系结构变化
- 管系结构应力大管道，增设膨胀弯，有效消除结构应力
- 严格焊接质量控制，消除应力集中点
- 按照监督规程要求，制定滚动计划，定期进行检测
- 运行中检查管系受力状况，及时消除管系振动、膨胀受阻

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

金属在一定的温度和应力作用下，随着时间的增加，缓慢地发生塑性变形现象，称为蠕变。  
 碳钢当温度超过350℃，低合金钢当温度超过350-400℃，在应力的长期作用下都有蠕变现象；温度越高、应力越大，蠕变的速度也就越快。  
 蠕变变形量累积到一定程度导致的断裂，称为蠕变断裂现象；长周期服役、组织老化、应力集中部位开裂

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

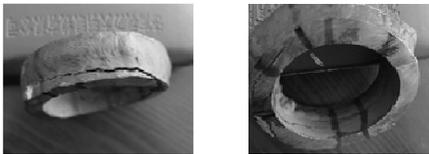
案例1：某电厂主汽至汽缸夹层管道管座与弯头焊缝开裂（弯头材质20CrMoV121，管座材质12Cr1MoV，焊材：R407.参数：温度550℃，压力16.8MPa,运行17万小时）。



三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

原因分析：焊缝开裂处位于对接焊缝12Cr1MoV侧热影响区，沿管子周向开裂。在壁厚方向裂纹走向由外壁向内壁扩展，内壁焊缝熔合线和热影响区均可见许多沿周向分布的树枝状裂纹。管子内外表面存在较厚的氧化皮。



三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

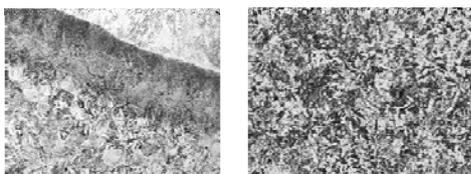
原因分析：焊缝的宏观质量存在问题，可见内凹、未焊透，焊瘤过大，最大焊瘤高度为6.5mm，最大直径为12mm。



三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

原因分析：纵截面F12侧熔合线和母材组织为回火索氏体，组织正常。



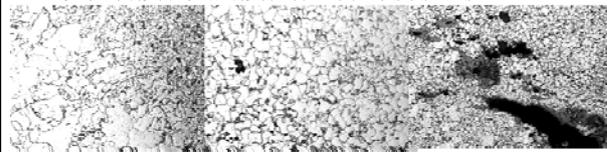
F12侧熔合线200×

F12母材500×

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

原因分析：纵截面12Cr1MoV侧熔合线处金相组织为铁素体、珠光体和碳化物，碳化物沿晶界分布，其热影响区细晶区组织为铁素体和碳化物，碳化物沿晶界聚集长大，可观察到蠕变裂纹和蠕变孔洞，球化评级为4-5级，



12Cr1MoV侧熔合线500×

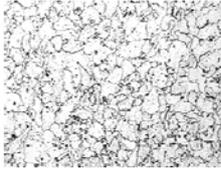
热影响区细晶区500×

纵截面裂纹前端200

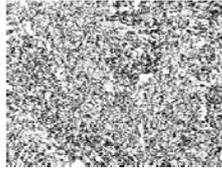
三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

原因分析：12Cr1MoV侧母材组织为铁素体体和碳化物，碳化物沿晶界聚集长大,珠光体区域消失；焊缝组织为贝氏体。依据DL/T773-2001《火电厂用12Cr1MoV钢球化评级标准》，12Cr1MoV侧母材球化评级为4-5级



12Cr1MoV母材金属500×



焊缝金属500×

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

原因分析：由金相分析可见，对接焊缝12Cr1MoV侧热影响区细晶区金相组织中存在蠕变孔洞和蠕变裂纹，结合宏观检验结果，可以认为主汽—汽缸抽汽管座与管道的对接焊缝主汽至汽缸夹层管道管座与弯头焊缝开裂的原因是由于对接焊缝两侧材质在运行温度下的蠕变强度不同，产生应力差，造成蠕变强度低的钢12Cr1MoV侧材料蠕变加速，产生蠕变孔洞和蠕变裂纹，在介质压力作用下裂纹不断扩展，最终发生断裂。焊缝存在焊接缺陷，促进了了裂纹形成和扩展

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

防范措施：

1、严格按照监督规程要求进行检测（如：首次检查对与联箱相联的疏水管、测温管、压力表管、空气管、安全阀、排气阀、充氮、取样、压力信号等小口径管等管座按20%（至少抽取3个）进行抽查，检查内容包括角焊缝外观质量、表面探伤；重点检查其与母管连接的开孔的内孔周围是否有裂纹，若有裂纹，应进行挖补或更换；后次抽查部位为前次未检部位，至10万h完成100%检查；此后的A级检修检查重点检查缺陷相对严重的管座焊缝，检查数量不少于50%。机组运行10万h后，宜结合检修全部更换）。炉外高温高压管道参照执行。

三、典型失效原因分析及防范措施

4、材质劣化导致焊缝开裂

防范措施：

- 2、重点关注长周期运行的异种钢接头、异径三通和弯头焊缝监督检查。
- 3、管道更换要彻底，不要留有短板。

结束语

关口前移，严把设计、制造、安装、改造质量关，注重过程控制，加大检修监督检测力度，可有效防止炉外高温高压管道附件早期失效。

谢谢！