

超超临界二次再热电站锅炉蒸汽吹管泄漏原因分析

彭学文¹,胡智浩¹,王 坤¹,赵玉林²

(1.江西江投能源技术研究有限公司,江西 南昌 330096;2.江西赣能股份有限公司丰城发电厂,江西 丰城 331100)

摘 要:针对某 1000 MW 超超临界二次再热电站锅炉采用将过热器、再热器串联的一段降压蒸汽吹管方案,在吹管过程中陆续发生两处焊缝开裂现象。通过检查支吊架和失效部位,对临吹管道进行强度计算,分析了两次开裂的原因。结果表明,两处焊缝开裂均与多次循环冲管有关,其中管道角焊缝开裂与开孔未补强直接相关,主焊缝附近开裂是临时管道支架安装不符合要求、不等厚焊接对口处理和焊缝布置不规范等多重因素导致的。

关键词:超超临界;电站锅炉;蒸汽吹管;疲劳;应力;开裂

中图分类号:TK 224.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)05-0063-05

0 引言

锅炉机组部件在制造、运输、保管及安装过程中,受热面管排、集箱和管道内部易残留铁屑、锈垢、砂石、焊渣、氧化物等杂物,不仅会影响蒸汽品质,也容易造成受热面管子堵塞而发生爆管^[1-3]。此外,细小氧化物颗粒进入汽轮机还会对其造成冲蚀^[4-5]。因此,对锅炉及管道进行蒸汽吹管是新建电站锅炉机组整套启动试运前的重要环节^[6-7],以保证机组投运后的蒸汽品质,同时,防止受热面爆管和汽轮机通流部件的损伤,确保机组设备安全和经济运行。

按电力行业相关标准^[8]要求,吹管一般有一段吹管、两段吹管、稳压吹管和降压吹管等方式^[9-11]。二次再热机组因增加了一级再热器,延长了汽水流程,增加了介质流动阻力,蒸汽流通变得更为复杂,给吹扫工作增加了困难。华能安源电厂“上大压小”工程是国内首台 660 MW 超超临界二次再热机组,锅炉为 π 型,采用了三段降压吹管方式^[12-13];国能泰州电厂二期工程是国内首台(也是国际首台)1000 MW 超超临界二次再热机组,锅炉为塔式炉,采用了两段降压吹管方式^[14-15]。随着工程经验的积累,也有技术人员提出对二次再热机组采用两段吹管改进方案和一段吹管方案^[16-17]。李贵鹏在二次再热机组中采用两阶段蓄热降压吹管方式取得了不错

的效果^[18];张晓东等通过分析二次再热机组不同吹管方式的优缺点后,提出采用两段法进行吹扫^[19]。

某电站锅炉为 1000 MW 超超临界二次再热塔式炉,采用将过热器、再热器串联的一段降压吹管方案,整个过程分为三个阶段进行,在第一阶段吹管时,临冲门旁路管角焊缝断裂,第二阶段吹管时,临冲门前主焊缝附近泄漏。通过分析该机组吹管方案、临吹管道布置方案,检查临时管道支吊架和开裂失效部位,得出失效原因,为发电机组的调试、运行提供一些参考经验。

1 吹管方案

锅炉主要设计参数见表 1。

表 1 锅炉主要设计参数

项 目	BMCR
过热蒸汽流量/(t/h)	2765
过热蒸汽压力/Mpa	33.37
过热蒸汽温度/℃	605.0
一次再热蒸汽流量/(t/h)	2 430.18
一次再热器进口压力/Mpa	10.611
一次再热器出口压力/Mpa	10.311
一次再热器进口温度/℃	416.2
一次再热器出口温度/℃	623.0
二次再热蒸汽流量/(t/h)	2 093.96
二次再热器进口压力/Mpa	3.525
二次再热器出口压力/Mpa	3.275
二次再热器进口温度/℃	450.9
二次再热器出口温度/℃	623.0
给水压力/Mpa	37.37
给水温度/℃	325.0

该锅炉机组采用一段降压吹管方案,分三个阶段进

收稿日期:2025-03-21

作者简介:彭学文(1985),男,硕士,高级工程师,主要从事电站金属材料检验检测工作。

表4 临时管道强度计算表

临时管道名称	管道规格	计算壁厚	结论
主汽临时管道支管	Φ450×26	20.33	满足要求
主汽临时管道母管	Φ680×28	20.73	满足要求
高旁阀吹扫管道	Φ406×25	18.34	满足要求
临冲门旁路管	Φ60×6	2.71	满足要求

4.2 临冲门旁路开孔补强计算

主蒸汽临冲门旁路管采用Φ60×6规格管道,临冲门采用Φ450×26规格管道,管接头为安放式。依据火力发电厂汽水管道设计规范,应对开孔进行补强。临冲门旁路开孔部位未在主管上贴补补强,也未采用加强型管接头,因此,只计算主、支管壁厚余量下的补强面积。主管开孔孔径为48 mm,各补强面积计算结果(均不考虑附加厚度)见表5。

表5 开孔补强计算结果

各补强面积	计算值
主管开孔需补强的面积A	975.84
主管补强面积A1	362.88
支管补强面积A2	98.7
角焊缝面积A3	144

依据火力发电厂汽水管道设计规范,主、支管补强面积及角焊缝面积之和应不小于主管开孔需补强的面积。由表5数据可知, $A1+A2+A3 < A$,因此,仅靠管道壁厚余量补强不满足开孔补强要求。

4.3 现场检查

4.3.1 临冲门旁路管角焊缝断裂检查

在第一阶段吹管过程中,A侧主蒸汽临冲门旁路管发生断裂,断裂位置为角焊缝边缘,断口形貌如图2所示。由图2可知,两侧断口左下方(图中椭圆位置)均出现了疲劳辉纹,且疲劳源位于管子内壁。



a) 临冲门前侧 b) 临冲门后侧

图2 临冲门旁路两侧角焊缝断口形貌

4.3.2 临冲门前主焊缝开裂检查

在第二阶段吹管过程中,A侧主蒸汽临冲门前主焊缝附近发生了蒸汽泄漏,停机检查发现此处有两条焊缝,靠阀门侧焊缝是用于调整阀门内径时焊接短节时产生的,该焊缝与阀门连接处有直台阶,开裂部位于此焊缝靠台阶处熔合线位置。切管检查发现在该位置对应

内壁也出现了裂纹,内、外壁开裂部位均位于焊缝右侧半圈。此外,靠阀门侧焊缝对口处内、外壁均有直台阶,如图3所示。内外壁裂纹局部形貌如图4、图5所示。



a) 外壁 b) 内壁

图3 临冲门前侧台阶处开裂位置



图4 外壁裂纹局部形貌



图5 内壁裂纹局部形貌

4.3.3 临时管道支吊架检查

A侧主蒸汽临冲门前主焊缝边缘发生开裂,停机更换该临冲门,并对临时管道支吊架进行检查。

管道布置于汽机17.0 m层操作平台,采用支架支撑,支架脚撑与膨胀螺钉焊接固定在地面。检查发现870号限位支架-X方向与管道紧贴,而表3中该支架X方向热位移为-52 mm,即安装时应在-X方向预留52 mm间隙,但实际安装未预留间隙,从而阻碍管道往-X方向热膨胀,管道支架如图6所示。



图6 临时管道870号支架

故障分析 FAULT ANALYSIS

B侧临冲门后侧多安装了一个支架,该支架的作用是在安装过程中临时支撑管道对口,该支架-Y方向也与管道紧贴,阻碍了管道往-Y方向热膨胀,如图7所示。



图7 右侧临冲门前支架

4.4 开裂原因分析

4.4.1 临冲门旁路管角焊缝断裂原因分析

通过图2可以看出,管子发生了疲劳开裂,且疲劳辉纹的圆心朝向管子内壁,即疲劳裂纹是从管子内壁向外壁扩展。发生疲劳开裂主要是由于采用了降压吹管方案,导致临冲门频繁地开启和关闭,进而在角焊缝处产生了交变应力;此外,主管上的开孔没有进行必要的补强处理,这也是导致管子强度不足,进而发生开裂的另一个重要原因。

在交变应力与主管强度不足的综合作用下,管子内壁首先产生疲劳裂纹,随着交变应力的持续作用,裂纹向外壁逐渐扩展,并沿扩展方向产生疲劳辉纹,当管子剩余工作截面不足以承受负荷时,疲劳处发生瞬时断裂,出现裂口。此后,管子从裂口两端沿圆周方向发生撕裂,直至整个管子断裂。图2箭头方向为疲劳部位裂穿后的进一步撕裂方向。

4.4.2 临冲门前主焊缝边缘开裂原因分析

临冲门前主焊缝边缘开裂主要有两方面因素。一方面是焊接不规范,依据《火力发电厂焊接技术规程》(DL/T 869—2021)要求^[22],内外壁尺寸均不相等时,应进行加工处理,使内外壁齐平,具体要求如图8所示。在临冲门前焊缝对口处,阀门一侧内外壁都存在台阶的情况下,该处管道对口未按标准要求进行加工处理,使管道对口内外壁直台阶处存在严重应力集中。另外,此处两条焊缝相距过近,也不符合焊接技术规程要求,焊缝过近会造成其热影响区相互交叉,易导致焊接结构变形或产生裂缝;两条焊缝靠得太近,也会导致焊缝应力集中更加严重,容易引起疲劳开裂。

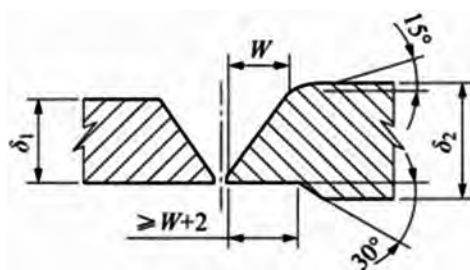


图8 内外壁尺寸不相等处理方法

另一方面是支架安装问题,870号限位支架在-X方向未按设计要求预留膨胀间隙,热态下管道膨胀受阻会受到支吊架的反向推力F1;同理,B侧临冲门后多余的管道支架对管道增加了一个反向推力F2;F1、F2形成了一个合力F,受力示意图如图9所示。在热态下,合力F对A侧临冲门前的直台阶形成+Y方向的拉应力;临冲门在关闭时,存在一个瞬时反向力F',该力对A侧临冲门前直台阶形成-Y方向的拉应力,临冲门的多次开闭使得内外壁的直台阶受到交变载荷。最终,在应力集中与交变载荷的双重作用下,管道对口台阶处发生了泄漏。

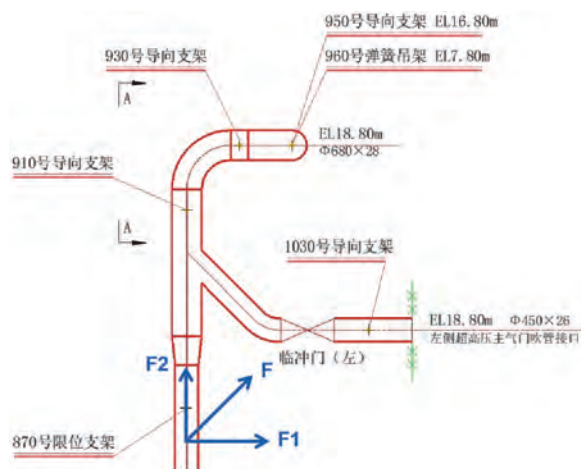


图9 管道受力示意图

5 结语

1) 临冲门旁路管座断裂失效与主管开孔未进行补强直接相关,蒸汽吹扫采用降压吹扫方式,频繁开启和关闭阀门对管座造成了冲击疲劳,加速了管座失效断裂。

2) 高压主汽阀出口处临时管道安装时,未按照设计要求安装支吊架,导致其无法往预定方向膨胀,造成了管道受+Y方向和+X方向的合力;临冲门前侧不等厚

焊接对口处理不符合规范,存在应力集中区;采用降压吹管方式频繁开启、关闭阀门。在以上条件共同作用下,临冲门前侧主焊缝附近应力集中区开裂泄漏。

3) 建议安装蒸汽吹管临时管道时,支吊架应严格按照设计文件进行安装,带间隙值的支吊架应加强控制,保证安装精度满足要求。不同厚度焊件组对时,厚度差应按焊接技术规范进行处理,焊缝布置应符合技术规程要求。

参考文献:

- [1] 柯浩,孙涛,阎光宗,等.超临界机组调试阶段水冷壁爆管原因分析及对策[J].锅炉技术,2012,43(06):47-51,64.
- [2] 周奎应.超临界机组从基建到投产锅炉“四管”安全防护[J].中国特种设备安全,2010,26(06):68-71.
- [3] Zhang Y,Zhao Z,Zhang Q F,et al. Temporary Pipeline System Arrangement and Process Control for 600MW Transformation Unit Steam Blowing[J]. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, 2017.
- [4] 刘志江.超临界机组汽轮机固体颗粒侵蚀的综合研究[J].电力设备,2004(06):34-39.
- [5] 刘爽.汽轮机固体颗粒冲蚀特性及防治研究进展[J].装备制造技术,2023(07):210-212.
- [6] 段宝.350 MW 超临界 CFB 锅炉吹管技术探讨[J].中国特种设备安全,2022,38(08):21-24.
- [7] 王子非,魏翔,马野.锅炉吹管方式及参数的选择[J].电站系统工程,2022,38(02):39-40.
- [8] 国家能源局.火力发电建设工程机组蒸汽吹管导则:DL/T

1269—2013[S].北京:中国电力出版社,2013.

- [9] 刘华生,毛忠军.1000 MW 塔式锅炉机组蒸汽吹管方法实践应用[J].电力设备管理,2021(02):62-63.
- [10] 刘东,崔晓光,叶罗.1000 MW 超超临界二次再热机组锅炉蒸汽冲管[J].电力科技与环保,2019,35(01):43-45.
- [11] 李学军,刘发圣.超临界机组吹管技术浅析[J].江西电力,2014,38(01):87-89.
- [12] 陈有福,陶谦,管诗骅,等.1000 MW 二次再热示范机组降压冲管研究[J].中国电力,2016,49(11):112-118.
- [13] 唐敏.1000 MW 超超临界二次再热锅炉蒸汽吹管技术分析[J].机电信息,2016(09):80-81,83.
- [14] 高景辉,王林,杨博,等.国内首台二次再热机组锅炉混合吹管实践及优化[J].热力发电,2017,46(08):107-112.
- [15] 王林,刘辉,刘超,等.二次再热机组锅炉三段吹管技术研究[J].中国电力,2017,50(07):69-73,78.
- [16] 张幼林,刘嘉.二次再热机组二段吹管方法的选择[J].锅炉制造,2022(01):22-23.
- [17] 部俊锋,齐达立.二次再热机组降压吹管优化方案[J].热力发电,2019,48(08):131-134.
- [18] 李贵鹏.1000 MW 二次再热塔式锅炉吹管技术研究[J].山东电力技术,2021,48(11):77-80.
- [19] 张晓东,薛宏涛.超超临界二次再热机组锅炉吹管工艺探讨[J].电力勘测设计,2024(03):41-45.
- [20] 国家能源局.火力发电厂汽水管道路设计规范:DL/T 5054—2016[S].北京:中国电力出版社,2016.
- [21] 杨保林.600 MW 火电机组锅炉吹管临时管道强度计算及选择[J].城市建设理论研究(电子版),2018(14):3.
- [22] 国家能源局.火力发电厂焊接技术规程:DL/T 869—2021[S].北京:中国电力出版社,2021.

(上接第 60 页)

参考文献:

- [1] 董方.输电线路工程全过程机械化施工探究[J].电力设备管理,2021(08):129-131.
- [2] 国家电网有限公司.国家电网有限公司电力建设安全工作规程 第 1 部分:变电:Q/GDW 11957.1—2020[S].北京:中国电力出版社,2021.

- [3] 邵冬亮,王龙,李志,等.输电线路全过程机械化施工评价分析及工程应用[J].山东电力技术,2018,45(11):32-36.
- [4] 杨学军.输电线路全过程机械化施工应用与设计研究[J].通讯世界,2018(08):158-159.
- [5] 汤程,崔明杰,尹林.输电线路机械化施工在江西电网建设中的深化应用研究[J].江西电力,2018,42(05):34-36.
- [6] 张爱虎,苏小青,李峰.110 kV 输电线路机械化施工方案的深化应用[J].江西电力,2018,42(02):29-32.