

深度调峰锅炉受热面管蒸汽侧氧化皮 防治技术规程

2024 - 05 - 29 发布

2024 - 08 - 28 实施

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用要求	2
5 运行过程防治技术措施	2
5.1 启动阶段	2
5.2 运行阶段	3
5.3 停机阶段	4
6 氧化皮检测与堆积评定措施	5
6.1 氧化皮检测措施	5
6.2 氧化皮堆积评定措施	5
7 深度调峰锅炉受热面管升级改造措施	6
7.1 深度调峰锅炉受热面管材推荐用钢	6
7.2 深度调峰锅炉受热面管材升级措施	7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山西省市场监督管理局提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省特种设备安全标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：国家能源集团科学技术研究院有限公司太原分公司、山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）、湖南安卓特种设备科技有限公司。

本文件主要起草人：刘爱军、张亚凯、王兴、马喜成、侯建平、曹凌燕、石红晖、毕虎才、张骞、张钰、姚力、吴肖羽、董晋阳、李海兵。

深度调峰锅炉受热面管蒸汽侧氧化皮防治技术规程

1 范围

本文件规定了参与深度调峰电站锅炉在运行、检验以及管材更换和升级改造中受热面管蒸汽侧氧化皮防治的技术。

本文件适用于火力发电厂参与深度调峰的亚临界锅炉、超（超）临界锅炉对于高温过热器管和再热器管氧化皮的防范治理工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2900.48 电工名词术语锅炉
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 奥氏体及珠光体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 12145 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 33207 无损检测 在役金属管内氧化皮堆积的磁性检测方法
- DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 561 火力发电厂水汽化学监督导则
- DL/T 612 电力行业锅炉压力容器安全监督规程
- DL/T 715 火力发电厂金属材料选用导则
- DL/T 805.1 火电厂汽水化学导则 第1部分：锅炉给水加氧处理导则
- DL/T 882 火力发电厂金属名词专业术语
- DL/T 1324 锅炉奥氏体不锈钢管内壁氧化物堆积磁性检测技术导则
- DL/T 1603 奥氏体不锈钢锅炉管内壁喷丸层质量检验及验收技术条件
- ASME SA-213 锅炉、过热器和换热器用无缝珠光体和奥氏体合金钢管子

3 术语和定义

GB/T 2900.48、DL/T 438、DL/T 882界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深度调峰

深度调峰是指受电网负荷峰谷差调节影响，导致机组出力低于基本调节范围进行调峰的一种运行方式。

3.2

蒸汽侧氧化皮

在高温蒸汽环境下，受热面管内壁生成的金属氧化物。

3.3

氧化物堆积

受热面管内壁氧化皮剥落物沉积在下弯头部位形成的聚集现象。

3.4

氧化皮堆积堵塞比

受热面管内氧化皮堆积最大厚度（h）和受热面管内径（ d_0 ）的比值。

4 通用要求

4.1 防治锅炉受热面管蒸汽侧氧化，必须坚持全过程监督管理，对锅炉受热面管的设计选型、管材选用、制造安装、调试运行、检验治理等各个环节做好质量管控。

4.2 防治锅炉受热面管蒸汽侧氧化，必须坚持“预防为主、综合治理”的方针，实施“提前谋划、多措并举、逢停必查”的原则，采取“减缓生成、控制剥落、精准检查、分类处理、优化升级”的方法精细化管理。

4.3 火力发电厂应设防治锅炉受热面管氧化防治的管理专职负责人，并成立锅炉受热面管蒸汽侧氧化皮防治小组。锅炉受热面管氧化皮防治小组由设备管理、设备检修、锅炉运行相关部门，锅炉监督、金属监督、化学监督、热工监督、锅炉检修和运行管理的相关人员组成。锅炉受热面管氧化皮防治小组的职责包括：

- a) 负责贯彻执行国家、行业及上级有关防治锅炉受热面管蒸汽侧氧化的标准、规程、条例和制度，督促氧化皮防治工作的实施；
- b) 组织制定本单位的氧化皮防治工作的规章制度和实施细则，负责编写氧化皮防治工作计划和工作总结；
- c) 负责锅炉每次 A、B、C 级检修和临修锅炉受热面管氧化皮防治工作的策划制定、组织实施、质量监督和工作总结；
- d) 参与在氧化皮防治过程中受热面管出现问题的处理；
- e) 及时编写、呈报氧化皮监督报表、检修中氧化皮防治工作总结、事故分析报告；
- f) 组织建立健全受热面管氧化皮防治管理档案。

5 运行过程防治技术措施

5.1 启动阶段

5.1.1 应尽可能减少锅炉启停次数，尤其应避免短时间内多次启停。

5.1.2 锅炉整套启动前，应对热力系统进行冷态水冲洗和热态水冲洗。

5.1.3 锅炉启动阶段应严格执行 GB/T 12145、DL/T 561 的规定，加强汽、水品质监督，确保进入锅炉的水质和锅炉运行中汽水品质合格；优化锅炉启停参数，合理控制锅炉启动升温、升压和停炉降温、降压速率；严禁偏离运行曲线。

5.1.4 超（超）临界锅炉应加强启动过程的运行调整，严格按照规程规定的负荷点进行干、湿态转换操作。

5.1.5 锅炉启动阶段应对受热面管内氧化皮进行蒸汽吹扫，要求如下：

- a) 蒸汽吹扫应在冲转前进行，吹扫前应充分暖管；
- b) 应尽早投用旁路系统。启动初期维持较大旁路开度，缩短受热面换热管内“U”型弯内积水的蒸干时间；

- c) 蒸汽吹扫前对水质进行化验，蒸汽吹扫时每半小时化验凝结水、给水、炉水 pH 值和含铁量，并通过排污或整炉换水的方式控制给水、炉水含铁量；
- d) 当凝结水澄清，铁含量 $<1000\text{g/L}$ 时，投运精处理设备；
- e) 凝结水质合格，且受热面管壁温度偏差正常时，吹扫工作结束。亚临界锅炉吹扫次数一般为 5~6 次，超（超）临界锅炉一般为 7~8 次；
- f) 凝结水质合格，但受热面管壁温度偏差较大时，应继续进行吹扫。经进一步吹扫过热器受热面管壁温度偏差大仍不能消除时，应综合分析确定是否停机检查；
- g) 50%额定负荷，应采用低参数振荡负荷运行方式保持一段时间；65%~75%额定负荷时，应采用大流量、低参数运行方式保持一段时间，以增加蒸汽通流扰动。

5.1.6 对已生成较大面积氧化皮的管理要求：

- a) 启动期间应优化配置燃烧与给水量，严密监视水冷壁金属壁温，防止超温，特别是超临界锅炉干、湿态的转换阶段；第一次投粉时，控制磨煤机初始给煤量及给煤速率，减缓机组升负荷速率；
- b) 启动过程中应按升温曲线控制锅炉升温速率，瞬时蒸汽温升不得大于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，10 分钟内温度突变不得超过 30°C ；
- c) 启动期间尽量避免使用减温水，尤其是二级减温水；严格控制减温水量，必要时开展减温水小流量旁路改造，启动阶段采用小流量旁路控制减温水量，防止汽温变化速率超出规程要求；减温水应平稳操作，避免突开、突关减温水门，防止金属壁急速降温和升温；禁止违规投用减温水，防止形成水塞；
- d) 超临界锅炉启动过程控制受热面管壁温变化速率不超过 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
- e) 并网时，控制机组升负荷速度以及主蒸汽温度升温速率，防止主蒸汽升温过快。

5.2 运行阶段

5.2.1 参加电网深度调峰的锅炉其调峰负荷的下限应结合水动力计算、水动力试验及燃烧稳定性试验确定。

5.2.2 严禁锅炉超温运行；加强对锅炉主蒸汽、再热蒸汽汽温及锅炉各受热面壁温的控制及调整，尽量减少主蒸汽、再热蒸汽温度及锅炉各受热面壁温大幅度波动，机组负荷升、降及正常运行调整过程中，控制主蒸汽、再热蒸汽汽温变化速率不超过 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

5.2.3 加强锅炉运行监视、调整，优化调整锅炉燃烧，防止受热面金属壁温超温。

5.2.4 严密监视锅炉蒸汽参数、蒸发量、水位及燃煤量，防止超温、超压、满水、缺水事故发生。

5.2.5 超（超）临界锅炉参与深度调峰运行，应重新核算省煤器入口流量低保护值。湿态运行时应严密监视分离器水位，干态运行时应严密监视微过热点（中间点）温度，防止蒸汽带水或金属壁温超温。锅炉进入湿态运行时，对于设计有启动循环泵的锅炉，可启动循环泵，保证水冷壁最小流量，对于无启动循环泵的锅炉，可适当提高中间点温度，但要加强对各受热面的壁温监控，防止金属壁温超温，必要时须采用 361 阀放水保持水冷壁流量高于最小流量保护值。

5.2.6 加强对受热面管壁温度的监测，建立受热面管壁温度超温台帐，记录超温幅度、时间，并进行分析；建立超温考核制度，严格执行。

5.2.7 超温后如燃烧调整无效，必须降参数甚至降负荷运行，将壁温控制在允许报警温度以下。

5.2.8 超（超）临界锅炉主蒸汽汽温通过煤水比调整，控制减温水量恒定，分级小量投入，保持减温器前、后温差在 50°C 以下。再热蒸汽汽温采用烟气挡板和火焰中心控制，尽量避免投入减温水。

5.2.9 优化配风，合理分配磨煤机出力，保证高温受热面不出现局部超温现象。

5.2.10 针对深度调峰工况因金属壁温局部超温限制主蒸汽、再热蒸汽汽温提高，应适当增加金属壁温测点，核实壁温限值合理性和壁温测点代表性，结合运行压力重新核算低负荷壁温限值，避免通过大量

使用减温水或降低蒸汽参数的方法维持长期运行。

- 5.2.11 严格控制升降负荷速率，控制管壁温度升降速率，加强汽温控制防止蒸汽温度大幅波动或超温运行。
- 5.2.12 机组运行过程中，加强对受热面热偏差的监测和调整。
- 5.2.13 按照 DL/T 438 的规定，加强锅炉受热面管壁温度的监视，特别注意监视亚临界工况和 75% 负荷以下时具有辐射吸热特性的高温受热面金属管壁温度。
- 5.2.14 对超温情况统计、记录，对氧化皮变化情况记录跟踪。
- 5.2.15 深度调峰工况，加强制粉系统优化及燃烧优化调整工作，对磨煤机煤粉细度以及每台磨煤机各粉管风速、含粉率进行测量和标定，保证每台磨煤机出口不同粉管间风速偏差小于 5%，煤粉浓度偏差小于 10%。
- 5.2.16 对于四角切圆燃烧锅炉，通过炉内各级二次风送风比例调整和分离燃尽风（SOFA）喷口水平摆动角度调整，尽量降低高温受热面屏间热偏差，避免单侧投用减温水。
- 5.2.17 机组检修后或者煤质变化较大等情况下，要及时进行锅炉燃烧分析、评估和调整。
- 5.2.18 运行期间对锅炉水汽进行监督：
 - a) 加强在线化学仪表的维护和在线检验，确保在线化学仪表的准确。严格控制凝结水、给水品质和炉水品质。加强凝汽器管泄漏检测，发现凝结水 Na^+ 和氢电导率明显增加时要及时采取措施进行控制，控制措施无效要及时停机，避免锅炉受热面结垢；
 - b) 定期测定汽轮机凝汽器热井内金属氧化物含量，发现偏离设计值较大应及时查明原因，并进行处理；
 - c) 确保锅炉汽水品质合格，防止汽水品质不合格导致受热面大面积腐蚀泄漏；
 - d) 宜对蒸汽含氢量进行测定并定期记录，以监测受热面蒸汽氧化速度；
 - e) 可采用锅炉给水加氧技术在高温受热面内壁形成均匀致密的保护膜。应按 DL/T 561、DL/T 805.1 规定控制好加氧量和 PH 值，并综合评估对奥氏体不锈钢管内壁氧化皮发生和集中剥落的影响。

5.3 停机阶段

- 5.3.1 正常停炉时，应合理控制蒸汽温度和减温水用量，汽温不应大幅波动。
- 5.3.2 应采用焖炉处理，锅炉高温状态下不得快速通风冷却。
- 5.3.3 严格执行机组运行规程，合理控制锅炉停炉降温、降压速率，不应偏离运行曲线。
- 5.3.4 减负荷速率一般应控制在每分钟 1.5%BMCR 以内，主蒸汽、再热蒸汽温度下降速率应控制在 $1^\circ\text{C}/\text{min}\sim 1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 左右。
- 5.3.5 超（超）临界锅炉停炉过程中煤水比要适中，控制分离器出口焓值，逐步降低过热度。
- 5.3.6 停炉过程中主要是以降低燃料为主要手段，减温水的使用要适当，避免在低负荷投用减温水，在整个滑停过程中减温水使用量不得超过蒸汽流量的 10%。
- 5.3.7 超（超）临界锅炉降至 30%~35% 额定蒸汽负荷时，锅炉将转入湿态运行，有启动循环泵时宜投入循环泵运行，此时应加强对给水流量的监视和调整。
- 5.3.8 超（超）临界锅炉在减负荷过程中，应加强对风量、中间点温度、主蒸汽温度的监视，若自动投入达不到要求，应及时通过手动进行风量、煤水比及减温水的调整，同时监视分离器水位。
- 5.3.9 停炉过程中，应通过打开高、低压旁路的方式，在降低机组电负荷的同时，保持锅炉蒸汽流量在 30%BMCR 以上、主蒸汽和再热蒸汽温度在 500°C 以上，当机组电负荷降至电网允许值时，机组解列停炉。
- 5.3.10 锅炉熄火后，维持炉膛风量在 30% 左右，对炉膛进行吹扫，吹扫完毕，停用鼓、引风机，锅炉进行密闭冷却。

5.3.11 停炉后无特殊情况，禁止采用强制上水冷却和通风冷却方式，停炉强制冷却时间严格控制在焖炉 72 小时后。应打开烟道联络挡板，尽量保持水平烟道左右两侧通风量一致，保持最小通风量运行。

5.3.12 在停炉过程中，若发现汽温变化幅度较大时，直接手动 MFT 停炉。停炉后炉膛吹扫结束即进行炉膛密闭自然冷却，汽水侧全部封闭自然降压。

5.3.13 紧急停炉（事故停炉）时，应控制锅炉蒸汽温降速率，维持正常的焖炉时间，不得过早进行通风冷却，具体措施如下：

- a) 炉膛通风 10 分钟后立即停止鼓、引风机运行并关闭鼓风机出口和引风机进、出口挡板进行焖炉，维持正常的焖炉时间，防止受热面快速冷却；
- b) 紧急停炉后若需要对锅炉进行冷却，需要控制高温过热器、屏式过热器、高温再热器出口蒸汽温度和上述受热面金属温度降温速率不超过 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，通风冷却时根据环境温度控制风机出力，调整冷段过热器和冷段再热器入口烟气温度降低速率不高于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
- c) 锅炉停炉后，破坏真空前投入高、低压旁路系统，控制主汽压力下降速度不超过 $0.1\text{MPa}/\text{min}$ 。

5.3.14 锅炉熄火后，检查所有减温水隔绝门是否关闭，避免减温水进入过热器系统发生“热骤冷”现象导致氧化皮脱落。

6 氧化皮检测与堆积评定措施

6.1 氧化皮检测措施

6.1.1 新投运的深度调峰机组，首次检查性大修应对高温受热面进行蒸汽侧氧化情况的监督检查，尤其是发生过因氧化皮脱落导致爆管的锅炉，应做到“逢停必检”。

6.1.2 参与深度调峰机组，除缩短检验周期和增加检验频次外，还应对易产生氧化皮的受热面管进行金相组织检测，评判其老化级别。

6.1.3 对运行中管壁温度异常的管屏应进行重点检查。

6.1.4 对珠光体和马氏体耐热钢受热面管利用高频超声检测方法对其内壁氧化皮厚度进行检查。内壁氧化皮厚度超过 0.4mm 时，利用射线检测方法重点检查对应下弯头处氧化皮堆积情况。

6.1.5 对奥氏体耐热钢受热面管利用磁性检测方法对其下弯头处氧化皮堆积情况进行检查，检测方法应依照 GB/T 33207、DL/T 1324 中规定执行。检查结果按照 6.2.1 中所述评定规则，对奥氏体钢内壁氧化皮磁性当量值进行初步判断。并根据处理建议，利用射线检测方法检查其下弯头处氧化皮堆积情况。

6.1.6 对高温过热器、再热器管排进行检测时，管子外壁应光洁，若存在结焦弯头，应对管子外壁进行打磨至光洁，防止结焦位置有铁屑影响检测结果。

6.1.7 对氧化皮堆积严重的受热面管弯头处进行金相组织检验，根据金相组织老化情况判断是否进行更换处理，其组织评定依据 DL/T 438 中受热面管监督检验规定执行。

6.2 氧化皮堆积评定措施

6.2.1 利用磁性检测法对奥氏体钢受热面管内壁氧化皮堆积情况进行初步评判，评判依据及处置方法见表 1 和表 2。

表 1 奥氏体钢过热器受热面管下弯头氧化皮堆积评定及处置方法

过热器高温段受热面管	
仪器测量值磁性当量 (Φ)	处置建议
<1600	无须处理
$1600 \leq \Phi < 2400$	监督运行, 下次检验周期重点检查
≥ 2400	扩大检验范围至直管段, 并进行射线检测, 观察氧化皮堆积情况
注: 测量数值为弯头和直管中分面的测量值, 过热器管壁厚范围 6.0mm~9.5mm。	

表 2 奥氏体钢再热器受热面管下弯头氧化皮堆积评定及处置方法

再热器高温段受热面管	
仪器测量值磁性当量 (Φ)	处置建议
<2300	无须处理
$2300 \leq \Phi < 3300$	监督运行, 下次检验周期重点检查
≥ 3300	扩大检验范围至直管段, 并进行射线检测, 观察氧化皮堆积情况
注: 测量数值为弯头和直管中分面的测量值, 再热器管壁厚范围 3.5mm~5.0mm。	

6.2.2 利用射线检测方法对被检珠光体钢、马氏体钢及奥氏体钢受热面管内壁氧化皮堆积情况进行风险等级评定, 评定依据及处置建议见表 3。

表 3 受热面管下弯头氧化皮堆积风险判断及处置方法

氧化皮堆积堵塞比 (ϕ)	风险等级	处置建议
$<20\%$	I 级	无须处理
$20\% \leq \phi < 50\%$	II 级	监督运行, 必要时割管清理
$\geq 50\%$	III 级	割管清理
注: 氧化皮堆积堵塞比 (ϕ) 为射线底片中受热面管内氧化皮最大厚度 (h) 和受热面管内径 (d_0) 的比。		

7 深度调峰锅炉受热面管升级改造措施

7.1 深度调峰锅炉受热面管材推荐用钢

7.1.1 材料选用应按 DL/T 715 的规定执行, 并符合 TSG 11 和 DL/T 612 的要求。

7.1.2 参与深度调峰的锅炉受热面管选材时, 不仅要考虑材料的热强性, 还必须考虑材料的抗高温氧化性能, 选择与工作温度相适应的钢材。

7.1.3 深度调峰锅炉不同区域受热面材料应根据其承受温度、应力及工况变化, 预留足够的安全裕度, 一般温度裕度不应小于 15℃。

7.1.4 深度调峰机组锅炉高温受热面管管材选择要点如下:

- a) 同根受热面宜采用两种以下管材, 不宜采用多种材料;

- b) 对于参与深度调峰的亚临界锅炉受热面管不宜选用 T23, G102 (12Cr2MoWVTiB)；对在役使用 T23, G102 (12Cr2MoWVTiB) 材料的锅炉受热面管，其使用区域的管壁温度不应超过 560℃；
- c) 对于参与深度调峰的超（超）临界锅炉受热面管不宜选用 T91 材料，对在役使用 T91 材料的锅炉受热面管，其使用区域的管壁温度不应超过 595℃；
- d) 对于参与深度调峰的超（超）临界锅炉受热面管不宜选用 TP304H、TP347H 等粗晶粒奥氏体以及同类材料；对在役使用粗晶粒奥氏体不锈钢 TP304H、TP347H 以及同类材料时，管材内壁应进行喷丸处理，以提高其抗氧化性，喷丸层的质量状况应符合 DL/T 1603 的要求；
- e) 参与深度调峰的超（超）临界锅炉受热面管宜选用 TP347HFG、S30432 (Super304H) 或 TP310HCbN (HR3C)。

7.2 深度调峰锅炉受热面管材升级措施

7.2.1 当深度调峰机组受热面发现下列情况之一时，建议升级管材：

- a) 当发生受热面氧化皮大面积集中脱落导致频繁爆管情况时；
- b) 对在役使用 T23、G102 (12Cr2MoWVTiB) 等珠光体耐热钢的受热面管，其氧化皮堆积堵塞比超过 50%时，可根据壁温和材质劣化程度考虑材料升级，可升级为经过喷丸处理的奥氏体耐热钢；
- c) 对在役使用粗晶粒奥氏体耐热钢的锅炉受热面管，其内部氧化皮堆积堵塞比超过 50%时，可根据壁温和材质劣化程度考虑材料升级，可升级为细晶的 S30432 (Super304H) 或 TP310HCbN (HR3C)。

7.2.2 受热面管升级改造时，应根据锅炉不同区域受热面金属材料的温度场、烟气流场的实际情况进行严格的校核计算与比较选材。

7.2.3 受热面管设计时，管内径尽量选用一致；尽可能选择较大的内圈管子弯曲半径，以减轻下弯头的堵塞状况并有利于冲散沉积的氧化皮，内圈管下弯头弯曲半径不得小于 3 倍管径。

7.2.4 锅炉受热面管子的制造应满足 TSG 11、GB/T 16507.5、GB/T 5310 的要求。

7.2.5 升级改造时，严格控制更换管材质量，确保原材料性能符合要求。

7.2.6 奥氏体不锈钢管应单独存放，严禁与碳钢或其他合金钢管混放接触，避免遭受盐、酸及其他化学物质的腐蚀，避免雨淋。

7.2.7 参与深度调峰的锅炉用奥氏体不锈钢管应进行专项检查，检查内容包括：

- a) 奥氏体不锈钢管的晶粒度级别应满足 ASME SA-213 中 8 级-10 级的规定；
- b) 对每批次奥氏体不锈钢管取样，按照 GB/T 4334 要求对受热面管进行晶间腐蚀试验，并符合要求；
- c) 对固溶处理的奥氏体不锈钢管应进行固溶状态检查并符合 GB/T 14976 要求。

7.2.8 受热面管在组合和安装前必须分别进行通球试验，通球后应做好封闭措施。

7.2.9 升级的管材时应严格按照焊接工艺和热处理工艺执行，防止焊接质量不良和热处理不当，降低管材性能。

7.2.10 受热面管子更换数量达到 TSG 11 中的要求，需要在当地监察机构办理告知手续，同时向检验机构办理监督检验手续。

参 考 文 献

- [1] TSG 11 锅炉安全技术规程
-