

金属监督和防磨防爆管理 典型问题探析及防治、解决措施

华电国际电力股份有限公司
刘天佐

一、受热面改造质量控制

- 1、方案制定
- 2、原管材取样检验
- 3、资料审查
- 4、新管备品入厂检验
- 5、现场施工特种作业人员资质审查
- 6、施工过程质量监督

1、方案制定

- 改造方案的制定在考虑消除受热面安全隐患的基础上，需根据原设计图纸，结合现场实地测绘制定具体方案，且考虑现场施工条件，异种钢焊口需在厂家焊接组装，工地焊口的位置需考虑现场施工方便

2、原管材取样检验

- 对于改造所使用的各种材质管子安排取样进行金相组织及机械性能等检验，供货方采购的新管材到达制造厂以后，供需双方技术人员到达现场共同取样，每种材质、每种规格各取样一根。取样管送至由供需双方认可的第三方具有资质的单位进行检验并出具报告，有关指标应符合国家及行业有关标准

3、资料审查

- 设计和制造技术资料应满足DL612—1996要求及合同规定的技术条件，供货方加工图纸设计完成后必须联系需方进行审核后方可开始加工，需提交的技术资料一般包括：

- 3.1 受热面改造新设计图纸（包括总图及各管段等详细的零件图纸）
- 3.2 管子材质检验报告
- 3.3 热处理报告
- 3.4 产品合格证书（包括原管材）
- 3.5 水压试验合格报告

4、新管备品入厂检验

- 受热面改造，需提前制定入厂检验计划，一般包括以下内容：

4.1 宏观检查

- (1) 同材质焊缝射线探伤抽查，抽查数量5/1000，且不少于10只，应全部合格
- (2) 异种钢焊缝表面、射线探伤抽查，抽查数量5/1000，且不少于10只，应全部合格

4.2 直管弯头测量

- (1) 各种直管段管子壁厚测量，不同材质和不同规格的管子各抽测10根，每根2点，应符合图纸尺寸要求，壁厚负公差在允许范围内
- (2) 弯头不圆度和背弧厚度测量，不同规格、不同弯曲半径的弯管各抽测10根，弯管的不圆度和背弧壁厚应符合制造技术条件和强度要求

4.3 管子、焊缝光谱、硬度检查

- (1) 管子端部接头（与现场管子连接部位）100%光谱复核，材质与设计要求的相符
- (2) 焊缝光谱复核抽查10%，材质与设计要求的相符，若发现材质不符，则应对该项目焊缝进行100%光谱分析复查
- (3) 管子、焊缝硬度抽查，抽查合金钢管及其焊缝硬度，不同规格、材质的管子各抽查10根，每根管子的焊缝、热影响区、母材各抽查1组，应符合有关规程要求

4.4 焊缝质量

- (1) 同材质焊缝射线探伤抽查，抽查数量5/1000，且不少于10只，应全部合格
- (2) 异种钢焊缝表面、射线探伤抽查，抽查数量5/1000，且不少于10只，应全部合格

4.5 新管化学监督检查

通知化学监督人员进行新管检验，内壁应光滑、干净，符合化学监督有关要求

4.6 割管检查

新管排制作完毕后在新管排上进行破坏性取样，每种材质各取样一根，取样管送至由供需双方认可的第三方具有资质的单位进行检验并出具报告，组织、硬度、机械性能满足GB5310要求

5、现场施工特种作业人员资质审查

- 锅炉受热面管口及（鳍片管）鳍片焊接必须由具备相应资质且经审查合格的高压焊工担任。负责施工过程焊接管理、金属监督、金属试验和高压受监焊口焊接的人员按规范要求和电力行业的管理制度应持证上岗

6、施工过程质量监督

- 受热面改造施工前，应编制施工、焊接安全技术措施，明确施工工艺标准及验收程序，并进行修前技术交底。新管安装过程关键点及质量要求有关内容如下：

- 6.1 割管前联箱及管排固定，防止旧管切割后管排变形或联箱移位
- 6.2 因工作需要临时割除部分受热面管（如：管排吊装需开设检修孔等），必须经厂方技术人员批准后方可切割，且对割管位置详细统计，管口规范封堵，对于水冷壁（包墙管）下管口，必须加装槽钢封盖，防止封堵措施失效。检修孔恢复时，对于锅炉鳍片管焊接前，原始管鳍片割除部位表面探伤合格后才能进行管子及鳍片的焊接，鳍片恢复焊接完成后进行鳍片焊缝表面探伤
- 6.3 旧管切割前划线，需结合新管到厂后实际测量的尺寸，并留出切割及坡口制作余量
- 6.4 所有受热面管切割必须使用机械切割（切割机、管排锯），禁止使用气割割除。切割过程中，需对周围管子做好防护措施，防止切伤周围管子
- 6.5 穿顶棚部位管段改造切割时，必须注意不得伤及顶棚管
- 6.6 旧管切割过程中，需随时做好管口封堵措施，管口内及时塞入水溶纸，再用金属盖封堵，并做好防止金属盖脱落、损坏的措施。对于管口的封堵情况，厂方应派专人做好巡查，确保管口封堵及时，封堵措施有效。如施工过程中不慎有异物掉入管口内部，不得隐瞒，需立即汇报有关技术人员，按照厂方确定的方案将异物取出
- 6.7 所有旧管切割完毕后，需对切割区域周围管子进行全面排查，对于切伤部位进行详细记录，按照厂方确定的方案处理并验收合格
- 6.8 坡口打磨时，需做好防止坡口屑及其它异物进入管口的措施，坡口打磨后如不立即对口焊接，需重新封堵该管口

- 6.9 新管通球试验，需制作专用通球试验签证单，由施工单位、厂方共同见证，现场签字。新管通球试验需在坡口打磨完成后进行，首先用压缩空气吹扫，然后进行通球，通球试验合格后按照“6.6”项工艺要求进行管口封堵。并做好防止吊装过程封堵盖脱落的措施
- 6.10 受热面改造现场点多面广，需事先详细分类、编号，尤其是现场散管焊接，以防错用管材
- 6.11 对口前联箱、管口内必须进行异物检查，确认无异常后方可对口焊接。对于人员能进入的联箱，可以采取人员进入内部检查清理的方式进行。如人员无法进入，则用内窥镜进行检查，异物清理人员无法触及的部位可采用吸尘器吸附。对于受热面开口向上管口可采用内窥镜进行检查，切割碎屑可用吸尘器吸出，对于采用常规方法无法取出的异物，需采用割管的方法将异物取出
- 6.12 管子对口前，必须确认新旧管对接部位已光谱确认完毕，对口间隙、管排平整度符合要求
- 6.13 焊接施工前，需对施工所用的各材质焊条及焊丝进行光谱复核，具体方法在钢板上进行堆焊，打磨后进行光谱检验，并出具报告
- 6.14 对于金属监督，需设立关键工序质量控制点，如焊前预热、焊接工艺控制、焊后热处理、探伤等，需抽调部分焊接技术过硬、熟悉金属监督知识的人员组成针对受热面改造的专项监督小组，明确职责与分工，从业务技术上为监督提供保障。由金属监督网成员参与质量见证或抽查，严格按照工艺措施要求进行监督控制
- 6.15 焊接过程中，须做好防止电焊打伤管子的措施。新管及附件焊接完成后，应分区域进行排查，对于电焊打伤管子的情况详细统计，按照厂方确定的方案处理并验收合格
- 6.16 受热面管口焊接完成后，必须按规定要求进行热处理、现场安装焊缝光谱复核
- 6.17 现场安装工作结束后，通过锅炉水压试验检查确认各承压部件无渗漏及残余变形，过热器、再热器系统压降符合要求
- 6.18 施工过程中有关验收资料、探伤报告、热处理报告需随时整理，工程完工时验收资料整理完成提交厂方审查归档

二、加强引发锅炉泄漏的各种缺陷的防治

- 1、 裂纹（焊接、应力）
- 2、 材质过热老化
- 3、 异物堵塞
- 4、 氧化皮
- 5、 机械磨损、打击损伤
- 6、 吹灰器吹损
- 7、 高温腐蚀
- 8、 飞灰冲刷、风粉冲刷
- 9、 原材料缺陷
- 10、 垢下腐蚀（氢脆）

1、 裂纹（焊接、应力）

1.1 原因分析

- (1) 结构不合理，金属部件之间没有足够的膨胀空间。
- (2) 制造或安装工艺质量差，各部件连接尺寸有，对每一部件及组件的相对位置未严格按照图纸要求进行检查和调整。
- (3) 锅炉启、停时不按规程操作、停炉后强制冷却，导致承压部件膨胀不均、受阻及热应力过大拉裂管子。
- (4) 受热面管鳍片及连接附件焊接工艺不良，焊接质量差，焊缝尺寸不符合要求。
- (5) 承压部件支吊架受力不均或失效，导致承压部件焊缝承受额外的应力

1.2 检查方法和手段

(1) 新安装锅炉和锅炉受热面改造时，对以下重点部位加强检查：

- 水冷壁前后墙和左右侧墙的结合区域。
- 冷灰斗处水冷壁，尤其是结构突变区域。
- 水冷壁与侧包墙过热器交界处；侧包墙过热器与后竖井包墙管连接处，受热面管子之间的固定件及连接件。
- 受热面穿顶棚管的密封位置交叉焊缝。
- 鳍片末端焊缝未圆滑过渡的位置及焊接弧坑。水冷壁、包墙管与鳍片连接末端应采用圆滑过渡，鳍片焊接严格执行工艺要求，保证焊缝尺寸满足要求。
- 管排组对焊接时，严禁强力对口，严格执行焊接工艺纪律。

(2) 锅炉检修时，除上述所列部位外，还需重点检查以下部位：

- 炉膛开孔部位鳍片焊缝（如吹灰孔、火焰电视孔、火检孔等）。
- 管排固定块（滑动块）焊缝，管排原始安装的附件焊缝。
- 受热面进出口联箱焊缝，管排变形区域鳍片焊缝，燃烧器喷口区域水冷壁管鳍片焊缝。
- 四大管道、联箱部位的疏放水、放空气管座，压力、温度等热工测点管座。

(3) 检查方法主要以宏观检查（结合放大镜）为主，检查前必须对检查区域彻底清灰，对宏观检查有怀疑的可行磁记忆及表面探伤

(4) 水压试验时对以上重点区域重点检查有无渗漏水现象

- (5) 严格按照规程要求，控制好启停阶段的升温升压速度，增减负荷不超限。锅炉启停时做好膨胀记录，判断膨胀是否正常。
- (6) 锅炉运行中做好吹灰器的内漏治理，防止内漏冷凝水滴至水冷壁（包墙管）及鳍片上部，导致裂纹。



应力集中产生的裂纹

包墙过热器鳍片根部存在应力集中引起的裂纹



← 后屏过热器穿墙管定位块处裂纹泄漏

后屏过热器穿墙管部位定位块与管子连接接头位置，因未进行圆滑过渡造成应力集中，运行中在应力作用下，基体发生疲劳开裂。

分隔屏过热器疲劳裂纹泄漏 →

分隔屏过热器管托热疲劳应力与蠕变应力的共同作用，导致该区域韧性下降，在焊接接头最薄弱环节，先出现裂纹，逐渐扩展，最终导致失效。



2、材质过热老化

- 超温监督、金属监督（对重点部位不能仅仅满足于按金属监督规程的最低要求取样）
 - 2.1 加强锅炉受热面超温监督，制定防止锅炉超温措施和有关奖惩制度，严禁超参数运行。按照参数控制情况将奖惩落实到人，并通过对超温情况进行统计分析，不断优化燃烧调整方式。
 - 2.2 应注意对测温装置的校验及壁温测点安装工艺控制，确保测量数据准确、可靠。
 - 2.3 对于进行低氮燃烧器改造后的机组，需考虑火焰中心上移对炉内高温区受热面材质老化速率的影响。
 - 2.4 结合各机组的运行时间，根据金属监督规程要求，做好受热面管的取样检验。根据实际运行情况及管材老化速率，可缩短管材取样检验的周期。根据受热面管老化跟踪检验的结果及时完善本单位受热面管材台帐。



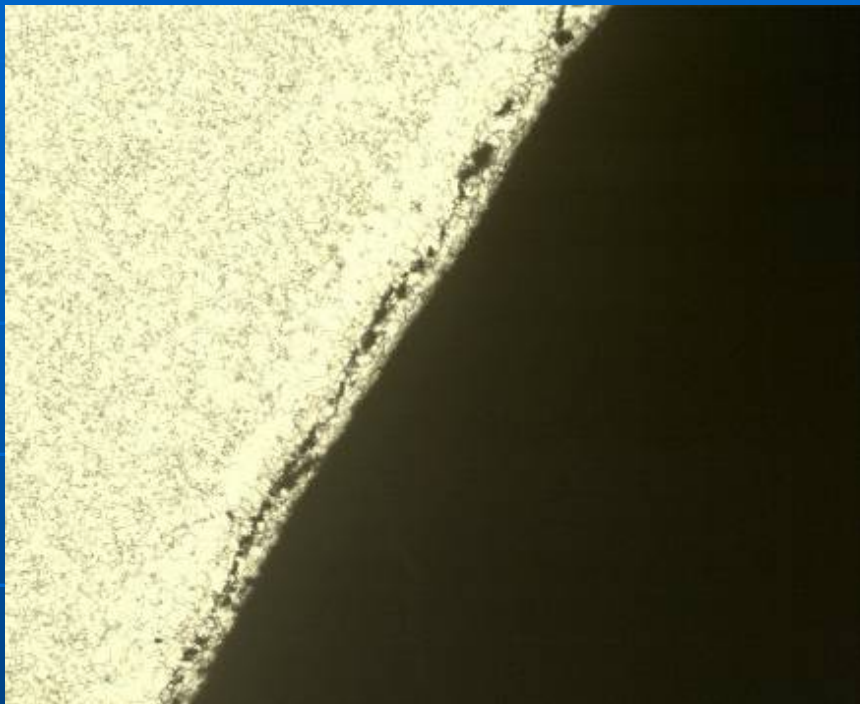
屏过管长期过热爆管

屏过入口联箱有异物堵塞，
屏过管蒸汽流量不足，造成
屏过长期过热泄漏。



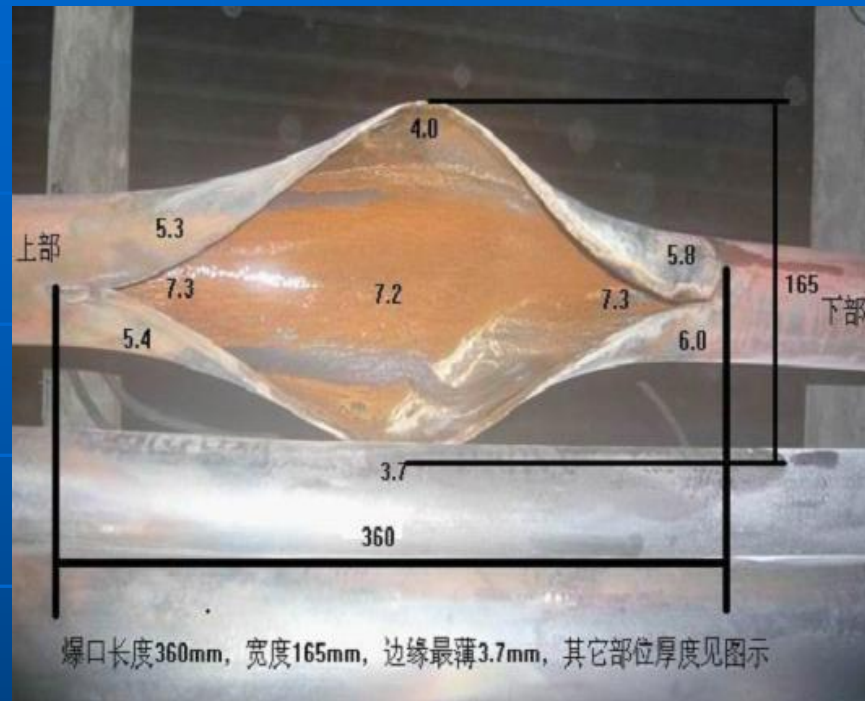
末级过热器 (T91) 爆管宏观形貌

超临界锅炉末级过热器 (T91) 爆管，
属于烟气和蒸汽温度高，材质偏低引
起的过热爆管。



爆口部位显微裂纹500×

末级过热器（钢102）爆管显微裂纹，
属于材质老化。



省煤器器悬吊管短期过热泄漏

锅炉省煤器器悬吊管上游管段因吹灰
器吹损泄漏，造成上游管段管子内工
质流量减少，冷却不足超温，性能急
剧下降，承载能力降低爆管。

3、异物堵塞

- 3.1 机组检修过程中，汽水系统、受热面检修工作，结合每次检修的具体情况，制定切实可行的异物控制措施，并做到闭环管理
- 3.2 受热面大批量换管时，在做好异物过程控制的基础上，机组正式启动前，需进行锅炉吹管
- 3.3 认真做好受热面管内部氧化皮的检测监督工作，充分利用机组检修机会进行检查，根据检查结果安排进行相应的处理。



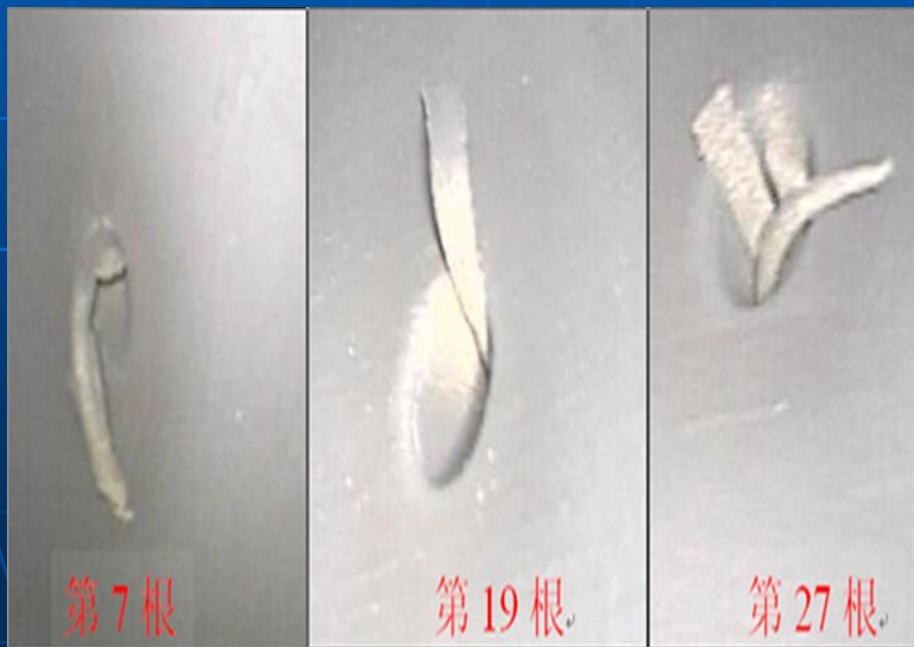
对应高温再热器入口联箱内遗留钢管堵塞管口



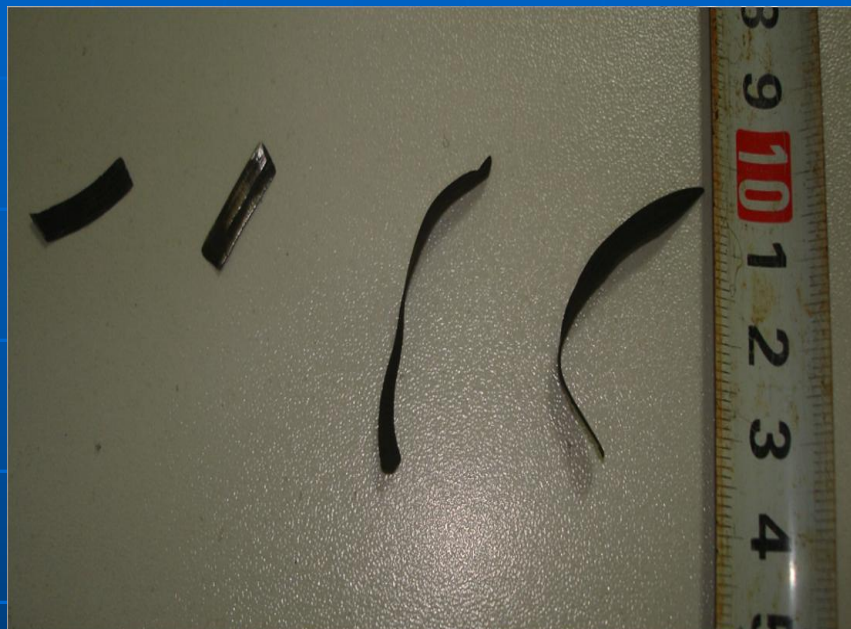
异物堵塞屏式过热器管孔



屏式过热器联箱内取出的异物



分隔屏过热器节流孔处用内窥镜观察到的异物



分隔屏过热器节流孔处取出的异物

4、氧化皮

4.1 关于控制氧化皮的生成方面，除对管材等级确实达不到相应要求的受热面进行改造外，当前主要应从以下几方面采取措施：

- (1) 加强锅炉受热面运行参数监督，制定并落实防锅炉超温、超压措施，严禁超温超压运行。建立壁温监测台帐，对运行中出现的超温、超压情况做好详细记录，包括超温温度、超压压力、运行时间等，并加强统计分析。
- (2) 加强受热面的热偏差监视和燃烧调整，改善烟道温度场的分布及受热面管子的吸热均匀性，有效降低受热面管子的壁温偏差和汽温偏差，严格控制锅炉炉膛出口烟温偏差，两侧烟温偏差最大不得超过50℃防止受热面局部超温运行。

- (3) 锅炉大包内的壁温测点所测壁温实际是单根管内的汽温，壁温测点所显示数值实际上低于炉内受热面管子的实际运行壁温。要注意研究、核实锅炉受热面壁温报警值是否合理，通过摸索氧化皮的生成速率、咨询锅炉厂家等方式，确定合理的壁温报警值；必须将炉管壁温报警值作为锅炉主汽温、再热汽温运行参数调整的限制条件，若炉管壁温超限时，必须降参数运行。对于在役锅炉选材偏低的，在改造之前应按金属材料的最新使用规定温度降温运行。
- (4) 加强炉膛吹灰，定期清洁炉膛，改善受热面热传导性能。
- (5) 选择合理的热炉放水时间，防止锅炉停运期间积水。

4.2 采取措施减缓炉管内壁氧化皮的剥落

- (1) 氧化皮在启停过程中易剥落，锅炉启、停及升、降负荷过程中，要严格控制升温升压或降温降压速率，避免参数波动过大。
- (2) 较短时间的机组停运，不具备内部检查条件的，锅炉停止运行后，应尽量减缓炉内温度下降速度。停炉后考虑采取闷炉（不少于24小时）措施，除非有其他安全考虑，否则严禁强制冷却。
- (3) 锅炉启、停过程中，对存在氧化皮隐患的锅炉受热面，尽量避免投用减温水。
- (4) 已安装等离子点火装置的锅炉启动时，在点火初期宜投用少量油枪按规程要求提升炉膛温度。
- (5) 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。
- (6) 对于已生成较大面积氧化皮的锅炉，由于管内氧化皮的传热能力较差，宜适当降温运行，降温幅度以管壁温度不超过限值为基准。

- 4.3 按照“逢停必查”的原则，经常性或定期对存在氧化皮的受热面进行外观宏观检查、取样检查和氧化皮定量检查，及时清除炉管内剥落、沉积的氧化皮
- (1) 除按照现行《火力发电厂金属技术监督规程》要求的检查、取样外，对末过、末再等高温受热面的计算壁温安全裕量偏小的管材，在机组小修或临修时应增加取样检验项目，对管子的金相、组织性能、氧化皮生成情况进行检验，以便及早发现问题并及时采取针对性措施。
 - (2) 对已知存在氧化皮隐患的炉管，只要有停机机会且时间上允许，必须进行外观检查。对于运行中管壁温度异常的管件应进行重点检查，并采取可行措施。
 - (3) 对存在氧化皮隐患的炉管，每年必须全部、毫无遗漏地进行一遍氧化皮定量检查，及时清除炉管内剥落、沉积的氧化皮，若通过每年一次的氧化皮定量检查仍然发现氧化皮沉积较多，则应缩短定量检查的周期，确保人工检查、清理的速度大于氧化皮生成、剥落、沉积的速度。

- (4) 机组停运或利用大小修机会，采用氧化皮磁性测量仪（针对奥氏体钢）、射线拍片（针对非奥氏体钢）技术或金果Kiwi-001管道（铁素体及奥氏体）氧化物堆积实时数字检测仪检查是否有氧化皮沉积；检测前，必须用木棒敲打炉管，尽量使炉管内壁的氧化皮脱落下来，检测发现有氧化皮沉积时必须割管清除；割管后，采取措施（如利用长的钢丝刷摩擦、木棒敲击等）将炉管竖管内的已经开裂、翘起的氧化皮尽量清理干净；在恢复割管时，焊接封堵使用水溶纸要规范，用纸量尽量地少，防止锅炉启动后形成堵塞，导致新的爆管发生。
- (5) 新建机组在检查性大修中宜对高温过热器及高温再热器管开展氧化皮检测与风险评估。必要时可通过检测，判断锅炉管内壁氧化皮形成及剥落情况，同时进行割管验证和金相检验，科学评估金属材料的老化程度，据此确定相应的改进方案。
- (6) 对于已发生大面积氧化皮脱落的锅炉，应通过对氧化皮的检测、分析，确定该部位受热面管是否存在长期超温及超温程度，以供锅炉燃烧调整时参考。

- (7) 建立管束档案，记录过热器、再热器管束材质、设计温度、运行情况、失效情况及历次内壁氧化皮检查、测量、处理情况，并组织分析。



高温过热器 T23材料氧化皮脱落爆管宏观图



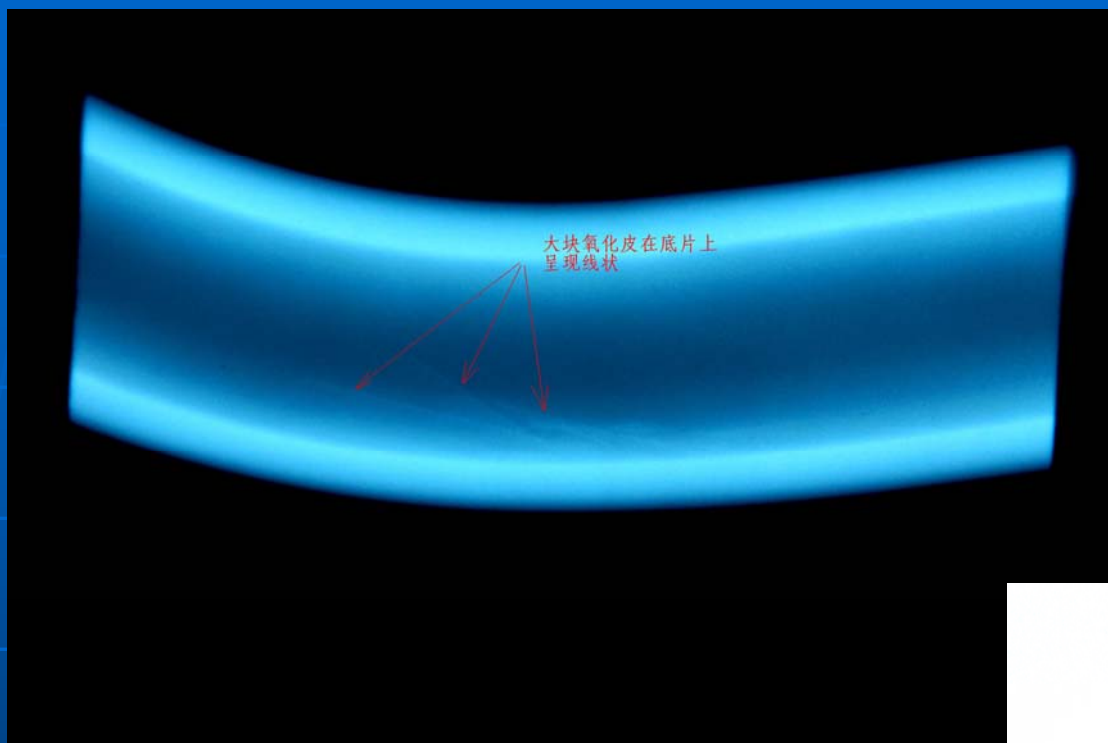
高温过热器T23管内壁氧化皮大量脱落



高温过热器T91材料氧化皮脱落爆管宏观图



T91割管管内的氧化皮



大块氧化皮在底片上
呈现线状

射线检验T91管弯头，氧化皮堵塞情况



大块的氧化皮



TP347H材料氧化皮脱落，并在出口弯头处堆积



TP347H材料氧化皮脱落在出口弯头处堆积



钢研102材料氧化皮脱落爆管



钢研102材料管子内氧化皮脱落

5、机械磨损、打击损伤

- 锅炉防磨防爆检查及受热面改造时，对以下重点部位加强检查：

5.1 容易造成机械磨损、管壁减薄的情况

- (1) 由于管卡、支吊架松动，定位块脱落，管排出列，在运行过程中与管子相互碰撞摩擦，就容易出现管子磨损。
- (2) 尾部烟道的内置联箱与包墙、中间隔墙的部位间距小，也有可能碰撞磨损。
- (3) 水平烟道高温区管排运行中晃动，下部弯头部位可能产生管排间机械碰磨。
- (4) 受热面管排加装的防磨装置松动时可能会产生机械碰磨，运行中管排夹、防磨瓦脱落，如卡在管排中间，也会与受热面管产生机械碰磨。
- (5) 检修平台使用期间（包括钢丝绳）对相邻近管子可能会直接接触产生磨损。

5.2 容易造成打击损伤的情况

- (1) 燃烧器喷嘴的大块钝体脱落会撞击水冷壁出现损伤。进行检验，以便及早发现问题并及时采取针对性措施。
- (2) 大焦块高处突然掉落。
- (3) 长伸缩吹灰器枪头脱落。
- (4) 炉内脚手架作业，铁质架材可能损伤管子等。
- (5) 安装施工或者检修时铁质工器具无意撞击、打击或者掉落对管子造成硬伤。
- (6) 检修期间，炉墙及顶棚密封浇筑料破除时容易损伤受热面管。

5.3 应采取的措施

加强在锅炉停备用或检修时对上述部位的检查，检修施工做好重点防护检查。



高再管屏管卡对管子造成磨损

高再管排外圈不锈钢管膨胀量较大，而管卡与管子间隙较小，造成磨损。



水平低温过热器弯头磨损爆口



冷灰斗处水冷壁减薄严重

6、吹灰器吹损

6.1 吹灰器吹损的主要原因

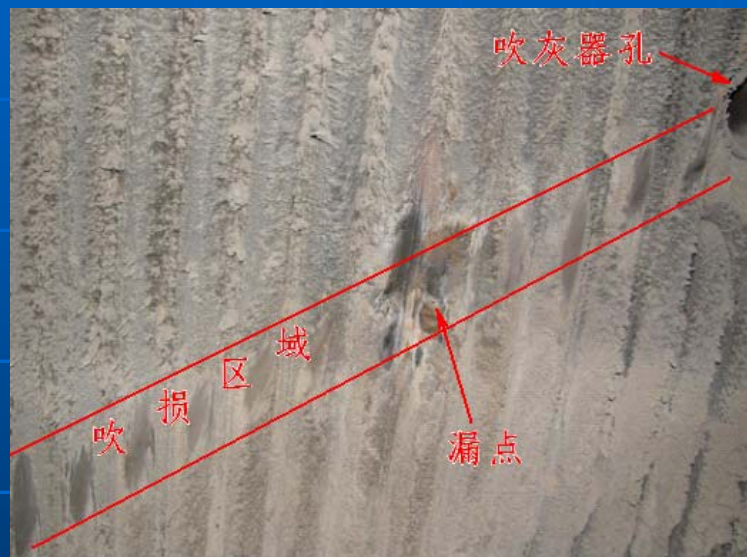
吹灰器对受热面的吹损主要是由吹灰器内漏、吹灰器卡涩定点吹损（包括热控限位不准造成的过吹）、吹灰器吹灰时带水、吹灰器吹灰蒸汽压力过高、起吹点距离炉墙太近、枪头裂纹（发现或更换均不及时）导致蒸汽变方向无约束、吹灰器枪管与受热面不垂直等常见的七方面原因造成。

6.2 采取的措施

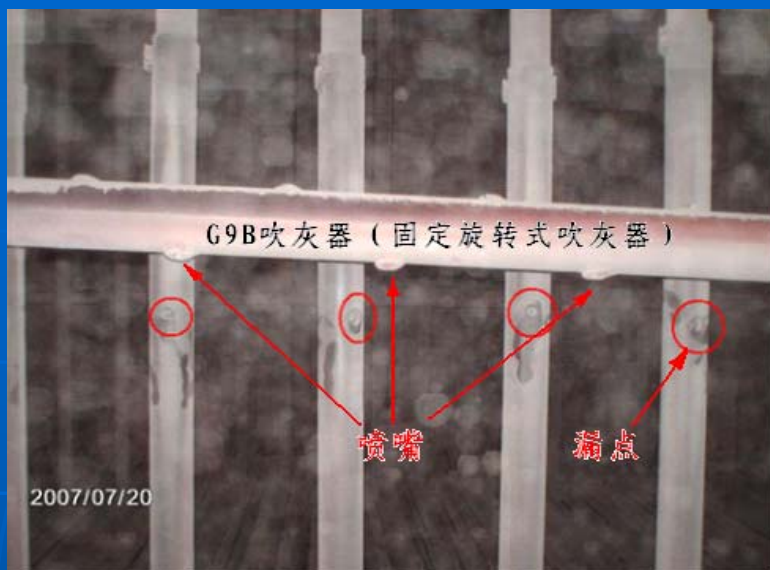
- (1) 检修后质量验收。应对吹灰器进行冷态调试，调整好吹灰器起吹点和停吹点、吹灰器枪管与受热面的垂直度、喷嘴的喷射角度、旋转角度等。
- (2) 机组检修后对吹灰器进行热态调试，调整各吹灰器的压力至规定范围。

- (3) 运行中，应加强对吹灰器的检查和维护，当遇到吹灰器在炉内卡涩时，维护人员必须在最短时间内手动将吹灰器摇退到全退完位置，如不能及时退出，需及时关闭吹灰器进汽门，加装堵板，切断吹灰器电源，并就地拆除电机电源线。
- (4) 在吹灰过程中要及时调整好锅炉燃烧工况，掌握好吹灰时机。
- (5) 加强对吹灰器疏水调阀的检修维护，保证吹灰时能够正常开启进行疏水。疏水时间的长短要进行实际校验，确保疏水效果真实有效；同时疏水时间应当根据季节的变化而适时作出调整。
- (6) 吹灰频次根据实际情况控制，在保证安全，满足经济运行基础上，尽可能减少吹灰次数。
- (7) 正常吹损一般在刚开始投入和即将退出时，如吹灰孔周围炉墙局部小范围吹损问题突出，可以每隔一段时间定期将吹枪喷嘴角度旋转90°。
- (8) 为确保吹灰蒸汽母管压力稳定，需保证减压站调节阀具有良好的调节特性。

- (9) 确保吹灰器正常运行的关键是做好日常维护保养，通过定期的吹灰跟踪，及时发现并消除存在的问题，防止吹灰器投运过程中卡涩。



吹灰器枪管卡住水冷壁管吹损



鹅颈阀内漏吹灰器省煤器悬吊管、喷嘴正对管子



再热器吹灰器区域管排没有加装防磨瓦吹损



再热器吹灰器区域管排防磨瓦脱落管子吹损



过热器管排弯管处吹损形貌

7、高温腐蚀

- 锅炉的高温腐蚀主要发生在燃用高硫煤的锅炉水冷壁管和过热器管束上。锅炉运行时在烟温大于700℃的区域内，在高温条件下受热面与含有高硫的腐蚀性燃料和高温烟气接触，极易发生高温腐蚀。水冷壁管如果产生结渣，在周围处于还原性气氛和一定温度条件下，会产生较为严重的水冷壁管外壁腐蚀，腐蚀部位多在热负荷较高、管壁温度较高的区域（如燃烧器附近）。

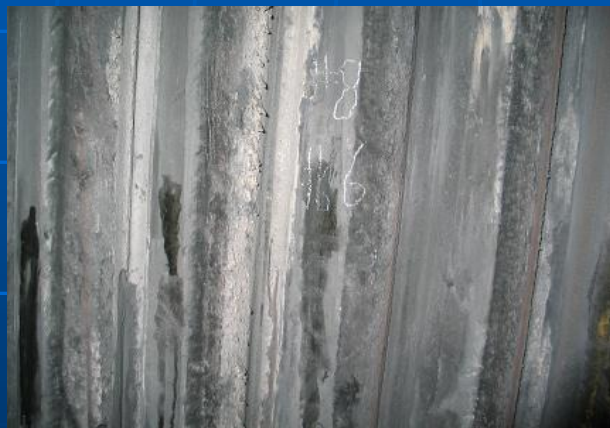
7.1 高温腐蚀的主要原因

- (1) 目前多数机组采用了低氮燃烧技术，采取了分级燃烧，局部区域还原性气氛强，易导致高温腐蚀，在燃烧不良时将加剧高温腐蚀。
- (2) 锅炉燃煤硫分含量高于原设计值时，将会加剧高温腐蚀。
- (3) 吹灰器孔周围水冷壁管容易被蒸汽吹损，运行中吹损与腐蚀交替发生，形成腐蚀循环，因而腐蚀程度可能比其他区域严重。

7.2 采取的措施

- (1) 控制燃料中的硫含量，做好掺配掺烧工作，确保入炉煤硫分不超标。
- (2) 锅炉正常运行中，严格控制氧量在规定范围内，严禁锅炉采用低氧燃烧方式，并控制煤粉细度。
- (3) 改善燃烧区的还原气氛。锅炉运行过程中，炉膛各人孔门、观察孔应关闭严密，发现炉膛及尾部烟道漏风，及时联系检修封堵，防止因锅炉漏风，影响燃烧器区域的氧量水平。
- (4) 做好受热面壁温监控调整，避免出现受热面壁温局部过高。
- (5) 对易发生高温腐蚀区域水冷壁管进行防腐喷涂，并利用机组检修机会，对防腐喷涂效果做好跟踪检查。

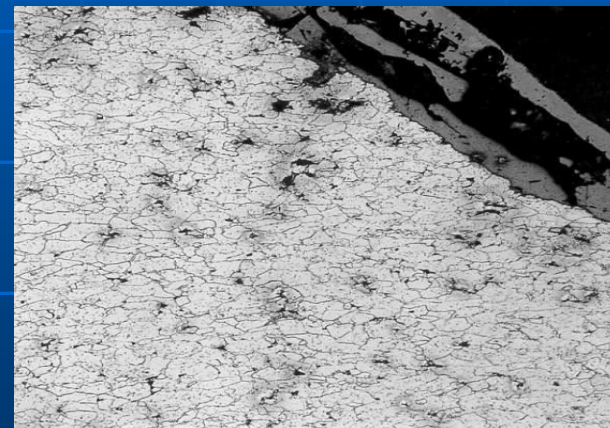
近期机组检修中，还发现了炉顶大包内受热面管腐蚀，一是大包内省煤器管，二是大包炉后区域侧包墙过热器管及附近顶棚管。这部分管段正常运行中覆盖在顶棚密封内部，管道外部有不均匀减薄，管壁上发现有较多的腐蚀产物，呈黑色，夹杂少许棕色，分析成分氧化铁占94%，硫酸根占0.6%，经分析主要是长期腐蚀积累，而非高温腐蚀。



水冷壁高温腐蚀



锅炉过热器管子高温腐蚀
外观形貌-腐蚀坑



锅炉过热器管子高温腐蚀
微观形貌

8、飞灰冲刷、风粉冲刷

- 飞灰冲刷主要出现在对流受热面，尾部烟道造成的冲刷最为严重，该区域烟温低、灰颗粒硬度大，烟气转向后对靠近后侧的管子冲刷较重。另外设计原因、运行中管排晃动、局部区域积灰多等，会出现“烟气走廊”，更容易加快磨损。

8.1 风粉气流冲刷磨损的主要区域

- (1) 水平烟道、尾部烟道烟气走廊区域。
- (2) 喷燃器区域的水冷壁管，原因主要是燃烧器区域的泄漏二次风中含有灰尘多、风速高，燃烧器角度如未调整好或者喷口制作偏差大，喷出的煤粉气流会贴壁冲刷，长期运行会导致管壁减薄。燃烧器磨穿后，一次风粉气流也会吹损水冷壁管。
- (3) 炉墙局部区域密封不好漏风大，如：渣斗上部水冷壁斜坡部位鳍片漏风吹损水冷壁管，燃烧器周围耐火材料脱落、鳍片焊接不严密，二次风通过此部位短路进入炉膛，飞灰冲刷水冷壁

管。

- (4) 尾部烟道中隔墙存在漏风孔洞，尾部烟道后半部分受热面在孔洞部位易受飞灰吹损。
- (5) 积灰长期流动冲刷受热面管，如水平烟道折焰角部位水冷壁拉稀管根部，渣斗上部水冷壁管弯头等部位，容易减薄。

8.2 采取的措施

- (1) 在防磨防爆检查中加强对以上部位的重点检查，尤其是防止烟气走廊出现，如管排间距要均衡，管子与墙壁间隙要尽量用护板阻断。
- (2) 在易磨损部位采用防磨装置。如加装防磨罩、防磨板及其他防磨措施（如刷涂、喷涂防磨材料等）。
- (3) 加强喷燃器区域检查，更换时角度调整好，必要时加装防磨装置、喷涂防磨材料。

- (4) 加强堵漏风工作，减少漏风以降低烟气速度。
- (5) 加强运行燃烧工况控制。如煤粉细度控制好，减小飞灰颗粒；燃烧充分以降低飞灰含碳量；燃烧风量不宜过大降低烟速。



包覆过热器侧墙管冲刷减薄严重

9、原材料缺陷

- 9.1 从受热面管原材料采购方面，要求原材料国内生产厂家必须是国有大型钢厂的合格产品（如上海宝钢）。对于尚未国产化的进口备品，需采购原厂家备品。
- 9.2 管材到货后原材料验收根据受热面管入厂检验计划进行，在使用前必须经检验合格。



焊缝砂眼缺陷



省煤器管原始砂眼泄漏

省煤器鳍片焊接击穿管壁 →



← 过热器弯管内弯裂纹

10、垢下腐蚀（氢脆）

10.1 现象描述

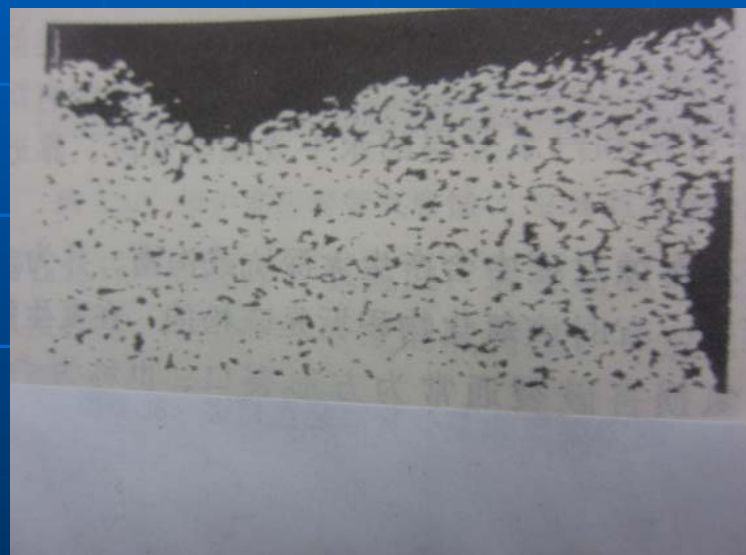
氢脆(HE) 又称氢致开裂或氢损伤，是一种由于金属材料中氢引起的材料塑性下降、开裂或损伤的现象。氢损害在腐蚀过程中会产生大深坑或沟槽，并为多层致密的氧化物所覆盖，有时该氧化物积垢后是疏松的，在发生破裂时随气流吹走了。氢损害破裂通常为方形裂口，也称为“窗形裂口”，裂口边缘粗钝且厚度不减薄，呈脆性断口，沿断口边缘可以看到许多细微裂纹，断口附近金属有脱碳现象，脱碳层从管内壁向外逐渐减轻。

10.2 案例图片

某300MW亚临界机组，锅炉型号DG1025/18.2—II4，设计压18.2MPa，设计温度541℃，2002年投产、累计运行7万小时。锅炉水冷壁管子因氢脆发生爆管事故，水冷壁管规格 $\Phi 45 \times 6.5\text{mm}$ ，材质20G。



锅炉水冷壁管子氢脆爆口



爆口边缘靠近管子外壁微观组织图



爆口边缘靠近管子内壁微观组织图



锅炉水冷壁管子原始微观组织图（20G）

10.3 原因分析

由于锅炉化学辅助控制系统工作失灵，造成锅炉水品质不合格。在长期的运行状态下，不合格的水介质使金属管壁发生酸性垢下腐蚀，酸性介质对金属管壁腐蚀过程中产生原子态氢无法扩散到汽水混合物中去，使金属管壁与腐蚀垢物间积累了大量的氢，氢原子向金属基体扩散，进入金属晶界处与碳发生反应生成甲烷，甲烷在晶界之间不断聚集而形成巨大的压力，形成断续裂纹的内部网状组织，由于晶间裂纹的存在，使金属强度、韧性、塑性等性能急剧降低，最终造成金属贯穿发生脆性断裂。

10.4 检查方法和手段

- 采用水冷壁管氢损伤检测技术（高频超声波检测仪）对锅炉水冷壁管子进行无损检测，在超声纵波沿管壁垂直传播到金属基体/晶间微裂界面将会产生超声波的反射和透射现象，通常由于晶间微裂纹的方向是随机的，这种反射称之为散射，检测仪器就可检测并分辨金属基体/晶间微裂纹界面和管壁内表面的回波，即可检测内壁很薄的氢损伤层。

- 对锅炉水冷壁管子割管取样，检查管子内壁积垢及腐蚀情况；将取样管进行机械切割，切割成一个个环，在台钳上挤压，未遭受氢损害的管子具有弹性，而遭受氢损害的管子则变脆，发生裂纹或断开。
- 将锅炉水冷壁取样管沿轴向割开，做成试片，将试片放入50%的热盐酸溶液中做宏观侵蚀试验，被氢损害的管子断面很快被侵蚀，明显变黑，并呈多孔状。

10.5 采取的措施

- 若发现锅炉水冷壁管子存在氢损害情况，必须将受到氢损害的管子进行更换。
- 严格控制锅炉炉水的品质，消除炉水的低PH值环境，包括防止凝汽器泄漏；尽量减少炉水的局部浓缩，消除导致氢脆的因素。

三、燃烧器改造

- 1、高度重视燃烧器改造方案的确定，杜绝以包代管，方案必须经认真研究确定，并报上级部门审查、备案
- 2、燃烧器改造涉及局部水冷壁结构变动时，要高度重视厂家配套提供的水冷壁入厂质量检验，并按照受热面改造的质量监督程序抓好安装质量管理

- 3、 燃烧器入厂验收（材质、尺寸等符合协议要求）、燃烧器本体、 风室、隔板等各部位完整、定位准确，安装中严格按图纸施工
- 4、 对于燃烧器风箱与水冷壁连接部位及刚性梁与水冷壁连接部位的改动，必须保证水冷壁及风箱各支吊装置受力均匀，无膨胀受阻现象，与水冷壁直接焊接的部位必须提前出具焊接质量计划，并由具备资质的高压焊工进行，焊后焊缝探伤合格
- 5、 燃烧器喷口部件材质多为耐高温耐磨损材质，焊接性能差，有关部件的现场焊接，必须提前出具焊接质量计划，并由具备资质的焊工施焊，确保焊接质量，防止局部脱落砸伤水冷壁管

- 6、 燃烧器切圆调整常用方法为拉线法、激光测量法。两种方法可以互为校核。切圆测量需厂方技术人员现场测量见证，验收合格后，现场及时采取固定措施
- 7、 燃烧器摆动机构安装及调试均要设置质检点，现场测量喷口安装角度，见证喷口摆动试验过程，各喷口内外角度一致，各角喷口摆动一致
- 8、 燃烧器二次风门调试，需达到调节灵活到位、内外角度一致的要求，便于热态燃烧调整
- 9、 规范燃烧器改造后调试工作。首先确保锅炉安全运行，兼顾锅炉环保、经济运行的要求

四、动力场试验

- 1、适用范围：大修后或燃烧器经过改造四角切圆锅炉投运前冷态动力场试验；存在高温腐蚀、受热面大面积结焦等问题的四角切圆锅炉燃烧调整试验
- 2、动力场试验的主要目的：
 - 一是，调平一次风速，校验在线一次风速测点是否准确；二是，检验锅炉燃烧器假想切圆的大小、切圆偏斜情况，让运行人员掌握炉内空气动力情况，为锅炉运行人员提供锅炉燃烧调整的依据；三是，空气动力场试验是锅炉大修质量的冷态检验，是对锅炉辅助设备的检查，如风烟系统是否漏风，风机的运行质量能否达到优良等，同时也是检验大修前锅炉燃烧及制粉系统运行方面存在的相关问题是否得到了解决。

■ 3、试验项目及测量方法

3.1 冷态空气动力场常规试验主要包含下列试验项目：

(1) 炉外试验项目：

一次风（含三次风）调平及风量测量装置标定。

(2) 炉内试验项目：

1) 单层一次风射流是否偏离燃烧器的几何中心线。

2) 四角射流所形成的切圆（强风环）大小及所处的位

置。

3) 炉内气流对炉膛的充满程度。

4) 炉内气流是否冲刷炉壁，气流在炉膛断面上分布是否偏斜。

3.2 冷态空气动力场常规试验主要包含下列测量方法：

(1) 风速测量法。

(2) 纸屑或飘带示踪法。

■ 4、试验前电厂应按动力场试验相关要求，会同试验单位为试验做好充分的准备。

谢谢大家！