

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

电站煤粉锅炉二次风系统优化技术规范

Optimization technical specification for secondary air system of power station boilers

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

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 基本要求 2

5 系统设计优化 2

 5.1 二次风箱设计优化 2

 5.2 风道设计优化 2

 5.3 喷口设计优化 3

6 运行参数优化 3

 6.1 风量分配优化 3

 6.2 风速优化 3

 6.3 风温优化 3

 6.4 旋流强度优化 3

 6.5 高温腐蚀与结焦二次风调整 4

7 控制策略优化 4

 7.1 基本控制要求 4

 7.2 负荷自适应控制 5

 7.3 煤质自适应控制 5

 7.4 智能优化控制 5

8 性能验收与评价 5

 8.1 验收条件 5

 8.2 验收项目 5

 8.3 评价方法 6

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

电站煤粉锅炉二次风系统优化技术规范

1 范围

本文件规定了电站煤粉锅炉二次风系统优化的术语和定义、基本要求、系统设计优化、运行参数优化、控制策略优化、性能验收与评价。

本文件适用于（300MW及以上）电站煤粉锅炉二次风系统的优化设计、改造和运行调整，其他等级电站煤粉锅炉可参照执行。

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 13223 火电厂大气污染物排放标准
- GB 50660 大中型火力发电厂设计规范
- GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉
- GB/T 10184 电站锅炉性能试验规程
- GB/T 34912 工业锅炉系统节能设计指南
- DL/T 435 电站锅炉炉膛防爆规程
- DL/T 611 300MW～600MW级机组煤粉锅炉运行导则
- DL/T 748.5 火力发电厂锅炉机组检修导则 第5部分：烟风系统检修
- DL/T 1083 火力发电厂分散控制系统技术条件
- DL/T 2660 煤粉锅炉燃烧调整试验技术导则
- DL/T 5203 火力发电厂煤和制粉系统防爆设计技术规程
- DL/T 5791 火力发电建设工程机组热控调试导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

二次风 secondary air

随一次风后参加燃料燃烧的那部分空气。燃料燃烧时进入炉膛的总空气量中扣除一次风、三次风(乏气风)和炉膛漏风以外的部分。

[来源：GB/T 2900.48，4.3.39]

3.2

二次风系统 secondary air system

从送风机入口到锅炉燃烧用二次风喷口的所有设备及风道组成的系统，包括送风机、暖风器、空气预热器、二次风箱、风道、风门及执行机构等。

3.3

二次风系统优化 secondary air system optimization

通过对二次风系统的结构设计、运行参数和控制策略进行调整和改进，实现炉内气流分布均匀、燃料与空气充分混合、燃烧效率提高、污染物排放降低的过程。

3.4

燃尽风 overfire air

从主燃烧器区域上方喷入炉膛的二次风，在主燃区形成缺氧燃烧以抑制 NO_x （增加其他污染物）生成，并在燃尽区补充氧气，保证燃料完全燃烧。

3.5

周界风 perimeter air

围绕一次风喷口布置的二次风，用于冷却燃烧器喷口、防止火焰贴壁和增强气流刚性。

4 基本要求

4.1 二次风系统优化应遵循“安全第一、环保达标、效率优先”的原则，在保证锅炉安全稳定运行的前提下，提高燃烧效率，降低污染物排放。

4.2 二次风系统优化应综合考虑锅炉类型、煤质特性、机组负荷特性和环保要求，制定针对性的优化方案。

4.3 二次风系统优化宜采用数值模拟与现场试验相结合的方法，确保优化方案的科学性和可行性。数值模拟宜采用通用的计算流体力学软件，网格数量应满足计算精度的要求，并开展网格无关性验证。

4.4 二次风系统优化前后，应进行性能验收试验，验证优化前后效果。

5 系统设计优化

5.1 二次风箱设计优化

5.1.1 二次风箱应采用分区设计，分区之间应设置隔板，防止气流相互干扰。

5.1.2 二次风箱内应设置导流板和气流分配器。

5.2 风道设计优化

5.2.1 通用布置要求

二次风风道应尽量减少弯头和变径，弯头的曲率半径不应小于风道当量直径的1.5倍；必要时应在弯头内加装导流叶片。

5.2.2 流速与压降控制

二次风风道设计流速宜按锅炉额定负荷下选取，推荐范围为15m/s~25m/s。对于W火焰锅炉或燃用无烟煤的锅炉，可适当提高至不超过28m/s。各负荷工况下实际流速不应低于10m/s，且不应超过设计值的XXX%。

5.2.3 阻力平衡要求

对于大容量锅炉，二次风风道应采用对称布置，确保左右两侧风道的阻力平衡，两侧总阻力偏差不应大于5%。

5.2.4 分炉型风道设计

风道设计应匹配燃烧方式，保证气流均匀性：

- a) 切圆燃烧锅炉：四角风道采用等阻力设计，弯头数量、管道长度保持一致，确保四角风量均匀；
- b) 对冲燃烧锅炉：前后墙风道对称布置，同层燃烧器风道入口设置均流孔板，保证同层流量分布合理；
- c) W火焰锅炉：下炉膛二次风风道应采用多级均压设计或变截面风道，前后墙风道入口设置整流装置，避免气流偏斜。

5.3 喷口设计优化

5.3.1 二次风喷口宜采用多层布置和可调节角度设计，分为上下可调和左右可调，调节范围不应小于 $\pm 15^\circ$ 。

5.3.2 燃尽风喷口应采用多层布置，每层喷口应能独立调节风量和上下可调角度。

5.3.3 周界风喷口的面积占燃烧器总二次风面积的比例应根据煤种挥发分确定，具体范围如下：

- a) 高挥发分烟煤、褐煤 ($V_{daf} > 30\%$)：10%~12%；
- b) 中挥发分烟煤 ($20\% < V_{daf} \leq 30\%$)：12%~14%；
- c) 贫煤 ($10\% < V_{daf} \leq 20\%$)：14%~16%；
- d) 无烟煤 ($V_{daf} \leq 10\%$) 及 W 火焰锅炉：15%~18%。

6 运行参数优化

6.1 风量分配优化

6.1.1 二次风总风量应根据锅炉负荷和煤质特性进行调整，炉膛出口过量空气系数应控制在 1.05~1.15 之间。烟煤、褐煤取低值，贫煤和无烟煤取高值。

6.1.2 切圆燃烧锅炉二次风配风方式

切圆燃烧锅炉二次风配风方式可分为：（以实际操作去调整修改）

- a) 以超低 NO_x 排放为主要目标：宜采用“倒宝塔型”配风方式，强化空气分级燃烧；
- b) 以最高燃烧效率为主要目标：宜采用“正宝塔型”配风方式，强化下部燃烧；
- c) 以防止炉膛结焦为主要目标：宜采用“均等型”配风方式，避免局部高温；
- d) 以低负荷稳燃为主要目标：宜采用“集中下配风”方式。

6.1.3 对冲燃烧锅炉同层各燃烧器的二次风流量应采用非均匀设计分布，且每个燃烧器的实际运行流量与各自的设计流量偏差不应大于 $\pm 5\%$ 。

6.1.4 燃尽风比例应根据 NO_x 排放要求进行调整，一般控制在 15%~30% 之间。主燃区过量空气系数应控制在 0.85~0.95 之间，并满足 GB 13223 的排放要求。

6.1.5 炉底漏风治理

当炉底漏风率超过2%时，应及时修复密封结构，避免无组织漏风导致锅炉二次风刚性不足，导致锅炉结焦：

- a) 采用水封式渣斗的锅炉，应保持水封水位稳定，定期检查水封槽完整性；
- b) 干排渣锅炉应保证渣井密封风压力正常，密封风量充足；
- c) 当炉底漏风率超过 2% 时，应及时修复密封结构。

6.2 风速优化

6.2.1 当锅炉负荷低于 50% 额定负荷时，二次风喷口风速应适当降低，但不应低于 25m/s，以保证火焰刚性和燃烧稳定性。风道内流速应符合本文件 5.2.2 条的规定。

6.2.2 周界风风速应比一次风风速高 10m/s~15m/s，以形成有效的风膜，防止火焰贴壁。

6.3 风温优化

6.3.1 二次风系统应优先采用空气预热器加热后的热风作为燃烧用风。额定负荷、设计煤质条件下，电站煤粉锅炉二次风温通用范围为 300℃~380℃，且空气预热器出口二次风温不应低于锅炉设计值的 95%。

6.3.2 当煤质变差（水分升高、挥发分降低）时，应该根据环境温度确定是否开启二次风暖风器，将二次风温提高至 320℃~350℃。

6.3.3 同层各燃烧器入口二次风温之间的最大相对偏差不应大于 $\pm 20^\circ\text{C}$ ，左右两侧总二次风道出口风温偏差不应大于 $\pm 15^\circ\text{C}$ 。

6.4 旋流强度优化

- 6.4.1 对于旋流燃烧器，二次风旋流强度应根据煤质特性进行调整。
- 6.4.2 当燃用低挥发分煤时，宜适当提高二次风旋流强度，以增强回流区，改善着火条件。
- 6.4.3 当燃用高挥发分煤时，宜适当降低二次风旋流强度，以防止火焰中心上移和结焦。

6.5 高温腐蚀与结焦二次风调整

6.5.1 防止水冷壁高温腐蚀的二次风调整

水冷壁高温腐蚀应通过二次风调整在水冷壁附近形成氧化性气氛保护层：

- a) 提高周界风比例：
 - 1) 切圆燃烧锅炉：周界风比例在原有基础上提高 2%~4%，总占比不超过 18%；
 - 2) 对冲燃烧锅炉：燃烧器外层二次风比例提高 3%~5%，形成贴壁风膜；
 - 3) W 火焰锅炉：下炉膛侧墙二次风开度增加 10%~15%，防止火焰冲刷水冷壁。
- b) 优化燃尽风布置：
 - 1) 燃尽风喷口向下倾斜 5° ~ 10° ，延长主燃区停留时间，避免未燃尽煤粉冲刷水冷壁；
 - 2) 适当降低燃尽风比例 2%~3%，提高主燃区过量空气系数至 0.90~0.95，减少还原性气氛。
- c) 切圆燃烧锅炉特殊调整：
 - 1) 适当减小二次风切圆直径，将假想切圆直径从炉膛宽度的 $1/8$ ~ $1/6$ 调整为 $1/10$ ~ $1/8$ ；
 - 2) 开启燃烧器偏置二次风，使气流向炉膛中心偏转 5° ~ 8° ，避免火焰贴壁。
- d) 对冲燃烧锅炉特殊调整：
 - 1) 提高前后墙最外侧燃烧器的二次风比例 5%~8%，形成侧墙保护风；
 - 2) 减小中间燃烧器的旋流强度 0.1~0.2，避免火焰过长冲刷侧墙。

6.5.2 防止炉膛结焦的二次风调整

炉膛结焦应通过二次风调整均匀炉内温度场，避免局部热负荷过高：

- a) 采用均等型配风方式：
 - 1) 将“缩腰型”配风调整为“均等型”配风，各层二次风占比控制在 30%~35%之间；
 - 2) 避免下层二次风比例过高导致火焰中心上移，或上层二次风比例过高导致主燃区缺氧。
- b) 提高二次风风速：
 - 1) 二次风喷口风速在原有基础上提高 5m/s~8m/s，增强气流刚性，防止火焰发散；
 - 2) 周界风风速提高 10m/s~15m/s，形成有效的风膜，防止熔融灰粒粘附在喷口和水冷壁上。
- c) 优化燃尽风比例：
 - 1) 适当提高燃尽风比例 3%~5%，降低主燃区温度，避免灰粒熔融；
 - 2) 燃尽风采用多层、多角度布置，使烟气混合均匀，降低炉膛出口烟温。
- d) 不同炉型特殊调整：
 - 1) 切圆燃烧锅炉：减小切圆直径，避免火焰冲刷水冷壁；提高四角二次风的均匀性，防止偏斜结焦；
 - 2) 对冲燃烧锅炉：减小中间燃烧器的二次风比例 5%~8%，降低炉膛中部热负荷；提高两侧燃烧器的二次风比例，增强烟气扰动；
 - 3) W 火焰锅炉：提高前后墙二次风的对称性，避免火焰偏斜；增加下炉膛二次风比例，防止冷灰斗结焦。
- e) 结焦后的应急调整：
 - 1) 当发现炉膛局部结焦时，应立即提高该区域的二次风开度 10%~15%，降低局部温度；
 - 2) 适当降低锅炉负荷 5%~10%，同时增加炉膛出口过量空气系数 0.05~0.10；
 - 3) 缩短吹灰间隔，及时清除已形成的焦块。

7 控制策略优化

7.1 基本控制要求

- 7.1.1 二次风系统应采用分层、分燃烧器独立控制方式，每个风门应能独立调节开度。
- 7.1.2 二次风控制系统应具有良好的动态响应特性，风门开度调节的响应时间不应大于 5s。

7.1.3 二次风控制系统应设置必要的保护逻辑，当锅炉发生 MFT、风机跳闸等故障时，应自动关闭所有二次风门。

7.1.4 风门特性死区要求

二次风风门执行器的死区应控制在全行程的0.5%~1.0%之间，风门全行程响应时间不应大于30s，风门开度与二次风流量的线性度偏差不应大于±5%。

7.2 负荷自适应控制

7.2.1 二次风控制系统应根据锅炉负荷自动调整各层二次风门的开度，形成与负荷相匹配的配风曲线。

7.2.2 当锅炉负荷变化率大于 3%/min 且持续时间超过 30s 时，二次风控制系统应提前动作，以保证燃烧稳定性。

7.3 煤质自适应控制

7.3.1 二次风控制系统直接接入煤质在线监测系统，根据煤质的发热量、挥发分、水分等参数自动调整配风策略。

7.3.2 当入炉煤挥发分较设计值降低并超过对应煤种阈值且持续 30min 以上时，应自动提高二次风温分为两档调节，并增加下层二次风的比例。不同煤种的挥发分波动触发阈值：

- a) 烟煤、褐煤：挥发分较设计值降低 5% 以上；
- b) 贫煤：挥发分较设计值降低 3% 以上；
- c) 无烟煤：挥发分较设计值降低 2% 以上。

二次风温自动提高方法：

- a) 优先调节二次风暖风器：逐步开大加热蒸汽调节阀开度，每次调整幅度不超过 5℃，间隔时间不少于 15min，直至达到目标值；
- b) 辅助调节空气预热器：暖风器能力不足时，适当降低空预器吹灰频率，增加蓄热能力；
- c) 保护逻辑：二次风温超过 360℃时自动停止升温，防止设备损坏。

7.3.3 当入炉煤灰分较设计值增加并超过对应煤种阈值且持续 30min 以上时，应自动提高二次风风速 5m/s~10m/s，增强气流扰动，促进煤粉燃尽。不同煤种的灰分波动触发阈值：

- a) 烟煤、褐煤：灰分较设计值增加 10% 以上；
- b) 贫煤、无烟煤：灰分较设计值增加 8% 以上。

7.4 智能优化控制

7.4.1 宜采用基于人工智能和大数据技术的二次风智能优化控制系统，实现燃烧效率和环保性能的协同优化。

7.4.2 智能优化控制系统应接入炉内燃烧场参数在线监测系统，实时获取炉内温度、CO、CO₂和 NO 浓度等参数。

7.4.3 智能优化控制系统应具有自学习功能，能够根据运行数据不断优化控制模型，提高控制精度。

8 性能验收与评价

8.1 验收条件

8.1.1 二次风系统优化改造前及完成后，应在锅炉额定负荷、设计煤质条件下或供需双方协商进行性能验收试验。

8.1.2 验收试验前，锅炉应连续稳定运行 72h 以上，所有设备均处于正常工作状态，且按照 DL/T 748.5 要求完成烟风系统的检修和调试。

8.1.3 验收试验的环境条件应符合 GB/T 10184 的相关要求。当环境条件超出允许范围时，应在试验报告中予以注明，并按标准规定进行修正计算。

8.2 验收项目

8.2.1 验收项目应包括：

- a) 锅炉效率;
- b) NO_x排放浓度。

8.2.2 蒸汽参数

优化后主蒸汽温度和再热蒸汽温度应达到设计值，偏差不应大于±5℃。

8.3 评价方法

- 8.3.1 二次风系统优化效果应采用对比评价法，即对比优化前后锅炉的各项性能指标。
 - 8.3.2 性能验收试验应按照 GB/T 10184 和 DL/T 2660 的规定进行。
 - 8.3.3 对于智能优化控制系统，还应评价其控制精度、响应速度和稳定性，评价方法应符合 DL/T 5791 的相关规定。
-