

团 体 标 准

T/ACEF XXX-XXXX

电站煤粉锅炉高碱煤掺烧技术导则

Technical guidelines for high-alkali coal blending combustion in
pulverized coal-fired boiler of power plant

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 高碱煤掺烧原则	3
5 高碱煤掺烧准备工作	4
6 大比例掺烧高碱煤的煤质参数计算方法及关键参数推荐控制值	5
7 大比例掺烧高碱煤掺烧方式的选取	7
8 高碱煤掺烧比例的制定	8
9 大比例掺烧高碱煤运行方式	8
附录 A（规范性）电站煤粉锅炉高碱煤掺烧燃烧优化试验	11
参考文献	13

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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：

电站煤粉锅炉高碱煤掺烧技术导则

1 范围

本文件规定了现役电站煤粉锅炉大比例长周期掺烧高碱煤时的掺烧方式、掺烧比例的确定，以及锅炉掺烧高碱煤时的运行措施。

本文件适用于现役电站煤粉锅炉大比例长周期掺烧高碱煤方案的制定和实施。

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 3715	煤质及煤分析有关术语
GB/T 5751	中国煤炭分类
GB/T 7562	商品煤质量 发电煤粉锅炉用煤
GB/T 10184	电站锅炉性能试验规程
DL/T 1106	煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法
DL/T 1445	电站煤粉锅炉燃煤掺烧技术导则
DL/T 5145	火力发电厂制粉系统设计计算技术规定

3 术语和定义

GB/T 3715 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高碱煤 high alkali coal

煤灰成分中碱金属（氧化钠+0.66*氧化钾）含量大于 3%的煤种。

3.2

高碱煤掺烧 burning blended of high alkali coal

现役电站煤粉锅炉在常规燃用煤种的基础上掺烧高碱煤。

3.3

高碱煤掺烧比例 blending ratio of high alkali coal

高碱煤占全部入炉煤的质量分数。

3.4

煤质特性 coal properties

煤的燃烧、磨损、结焦等理化性质的总称。通常包括煤的元素分析、工业分析、发热量、可磨性、煤灰成分、灰熔点、结渣与沾污特性、着火与燃尽特性等。

3.5

煤灰成分 composition of coal ash

煤完全燃烧后的固态残留物的化学组成表征指标,一般采用氧化物的百分含量表示,主要包括 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、Na₂O、K₂O、TiO₂、MnO₂、P₂O₅、SO₃等。

3.6

煤灰酸碱比 $R_{B/A}$ coal ash base - acid ratio

煤灰成分中碱性氧化物 Na₂O、CaO、K₂O、Fe₂O₃、MgO 质量含量之和与酸性氧化物 SiO₂、Al₂O₃、TiO₂ 质量含量之和的比值。

3.7 硅铝比 $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$

煤灰成分中酸性氧化物 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的比值。

3.8

结渣 slagging

锅炉水冷壁、屏式过热器等其他高低温受热面因粘性煤灰触壁概率较高原因导致的灰颗粒聚集形成渣层的现象或过程。

3.9

沾污 ash deposition

锅炉水冷壁或其他受热面因飞灰颗粒沉积粘结,形成附着层的现象或过程,一般具有区域性受热面普遍发生的特性。

3.10

混煤煤质参数 blended coal properties

大比例掺烧高碱煤后,计算(或实测)出的入炉混煤的煤质参数(水分、灰分、挥发分、发热量等)。

3.11

高碱煤掺烧方式 blending mode of high alkali coal

不同煤种进入炉膛燃烧的方式。主要分为间断掺烧、预混(共磨)掺烧和分磨掺烧。

3.12

间断掺烧 coal blended discontinued

锅炉在一定时间内掺烧高碱煤后,再掺烧另外一种煤种(不易结焦)一定时间,如此循环燃烧的方式,称为间断掺烧。

3.13

预混（共磨）掺烧 coal blended outside boiler before burning

通过皮带或者煤场预混的方式，将高碱煤和其它煤种进行掺混，进入同一台磨煤机，再送入锅炉燃烧的方式。

3.14

分磨掺烧 coal blended with separated mills

不同煤种如高碱煤或者其他煤种通过皮带进入不同磨煤机，并由相对应的燃烧器燃用该煤种，在炉内进行燃烧的掺烧方式。

4 高碱煤掺烧原则

4.1 电站煤粉锅炉燃煤类别按 GB/T 5751 的规定划分。

4.2 高碱煤掺配煤种宜为煤灰中 Al_2O_3 成分不小于 20% 的燃煤。

4.3 高碱煤掺配方式宜遵循取旧存新、取热存冷的原则，选择间断掺烧和预混（共磨）掺烧，试烧期间也可采用分磨掺烧。

4.4 现役锅炉掺烧高碱煤应进行掺烧试验（燃烧调整试验内容详见附录 A），综合考虑燃用煤质指标、结渣沾污性能与锅炉参数匹配，以确保锅炉的安全、稳定、环保运行。

4.5 电站煤粉锅炉掺烧高碱煤，应按照本文件及 DL/T 1445 规定制定具体掺烧方案，保障锅炉获得适宜的稳燃、燃尽、氮氧化物排放等燃烧性能。

4.6 当入炉煤煤灰成分碱酸比 $RB/A \geq 0.2$ 时，需依据本文件特别制定专门的锅炉结渣沾污防控技术方案，并按照本文件组织实施高碱煤掺烧技术条件和过程。根据煤灰成分计算指标划分高碱煤结渣沾污风险，煤炭结渣沾污风险等级分类见表 1。

表 1 煤炭结渣沾污风险等级划分

煤灰成分指标等级	结渣沾污风险等级	固体排渣煤粉锅炉可燃用性
$RB/A < 0.2$	低	受热面结渣沾污轻
$0.2 \leq RB/A < 0.3$	中	较易防控受热面结渣沾污
$0.3 \leq RB/A < 0.5$	高	采用先进技术可持续燃用
$0.5 \leq RB/A < 0.8$	极高 I	按先进技术设计可持续燃用
$0.8 \leq RB/A < 1.5$	极高 II	按先进技术设计可间断燃用
$RB/A > 1.5$	极高 III	现有技术无法单独燃用

备注：若 $w(Na_2O)_{zs} \geq 7.0\%$ 或 $w(Fe_2O_3) \geq 18.0\%$ ，风险等级下移 1 档，最多移至极高 III 级；若 $w(Na_2O)_{zs} \geq 10.0\%$ 或 $w(Fe_2O_3) \geq 30.0\%$ ，风险等级下移 2 档，最多移至极高 III 级。

5 高碱煤掺烧准备工作

5.1 制粉系统

5.1.1 应根据机组设计参数、设备状况及负荷预测需求等情况，确定合理的掺配比例。切莫因盲目掺烧引起制粉系统干燥出力下降、结焦沾污严重等问题，导致锅炉负荷受限。

5.1.2 对于计划大比例掺烧高碱煤机组，应开展制粉系统热力计算，确定掺烧高碱煤对制粉系统干燥出力的影响，确定现有制粉系统掺烧比例上限，若要提高掺烧比例，应结合掺烧试验情况，开展制粉干燥出力提升改造。

5.2 锅炉运行安全性

5.2.1 高碱煤中碱金属含量高，易在高温受热面区域结渣、结焦，需重点关注入厂煤灰成分。灰成分化验用样应采用可有效抑制碱金属成分挥发逃逸的方法制备，主要推荐低温灰化法。灰成分检测采用 DL/T 1037 所列方法。

5.2.2 掺烧高碱煤过程中，要重点关注煤灰中 Na_2O 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、 CaO 等指标。优先控制 Na_2O 、 K_2O 指标，其次要考虑控制煤灰中 Fe_2O_3 、 CaO 含量，且保证煤灰中的 Fe_2O_3 和 CaO 不能同时达到高值（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 20\%$ 、 $\text{CaO} \leq 30\%$ ）。

5.2.3 高碱煤着火及燃尽特性较好，燃烧器区热负荷集中，容易引发燃烧器区喷口、水冷壁结渣、流焦等现象，严重时将影响水冷壁吸热。大比例掺烧高碱煤机组应关注燃烧器喷口煤粉气流着火距离，通过调整一次风压等参数推迟着火，运行建议及指导见本文件第九部分。

5.2.4 大比例掺烧高碱煤机组应关注运行氧量和炉膛出口温度，通过燃烧优化调整来抑制锅炉结焦，运行建议及指导见本文件第九部分。

5.2.5 锅炉宜在水冷壁出口、过热器、再热器装设足够的壁温测点，满足对所有受热面监视的要求，运行操作人员通过监视壁温变化趋势，分析锅炉受热面结渣、沾污变化。

5.2.6 大比例掺烧高碱煤各级受热面结焦趋于严重，吹灰频次大幅提高，吹灰器区域受热面吹损严重，爆管风险增大，检修工作量增大。吹灰系统应根据试验结果，按照合理的方式及频率投运，避免过吹和欠吹。停炉检修期间，检修维护人员应加强吹灰器区域防磨瓦片的检查和加固，并对受热面吹损进行检测和评估。

5.2.7 大比例掺烧高碱煤后，锅炉降负荷或吹灰后灰渣掉落量较大，灰渣集中脱落导致捞渣机超负荷运行，容易跳闸且设备故障率高。运行人员需关注捞渣机系统油压的变化，选择合理的方式及频率投运吹灰器，避免焦块的集中掉落。监视冷灰斗及渣井内灰渣堆积体积超过 5m^3 ，且无法通过扰动或人工清焦处理时，应申请停机处置，防范堆渣量过大，水冷壁管拉裂造成次生事故。

5.2.8 及时开展燃料特性分析和高碱煤比例提升掺烧试验，确定大比例掺烧高碱煤对机组锅炉运行安全性的影响，结合实际制定最佳的掺烧比例及方案，并开展燃烧及控制优化调整试验。

5.2.9 吹灰不及时或吹灰面积有限、吹灰效果不佳时，受热面会形成烟气走廊，造成受热面磨损和烟气系统阻力增大。应增加吹灰器与受热面对应位置标注，避免无效吹灰和过吹，选择合理的方式及频率投运。同时，需要严格控制吹灰器调节阀后蒸汽压力，确保实际吹灰蒸汽压力处于正常范围。

5.3 锅炉运行经济性

5.3.1 高碱煤含水率高，大比例掺烧会使大量水分直接进入炉膛，造成锅炉局部烟气温度低，影响辐射换热和锅炉效率。

5.3.2 大比例掺烧高碱煤后，由于炉内受热面沾污和结渣，受热面吸热量较少，炉膛出口烟温升高，导致部分锅炉的排烟温度有所升高，锅炉效率下降。

5.3.3 大比例掺烧高碱煤后，水平烟道受热面沾污还会引起烟气走廊，造成受热面的磨损，严重时出现管子之间“搭桥”，减温水量大增，运行经济性和安全性下降。

5.3.4 掺烧高碱煤后应开展燃料特性分析和高碱煤比例提升掺烧试验，确定大比例掺烧高碱煤对锅炉运行经济性的影响，结合实际制定最佳的掺烧比例及方案，并开展燃烧及控制优化调整试验，优化运行控制参数。

5.4 锅炉运行环保性

5.4.1 大比例掺烧高碱煤后，炉膛出口 NO_x 、 SO_2 、粉尘浓度呈现略微降低的趋势，烟气经脱硝脱硫系统处理后，排烟中 NO_x 、 SO_2 、粉尘浓度等均需满足环保排放要求。

5.4.2 大比例掺烧高碱煤后，应利用检修积灰对催化剂活性进行检测，避免出现催化剂发生“碱中毒”失去活性，降低脱硝系统的运行安全性和经济性。

5.4.3 大比例掺烧高碱煤，应严格控制高碱煤中 Cl^- 的浓度，（一般不高于 0.5%），以防脱硫系统石膏中氯离子含量增加，影响石膏的脱水性能，降低石膏品质。

5.5 锅炉低负荷稳燃能力

5.5.1 高碱煤着火及燃尽特性较好，低负荷下煤粉气流的燃烧稳定性提高。

5.5.2 低负荷下重点监测磨煤机差压及出口风速，防止因一次风热风温度低，制粉系统干燥出力不足引起磨煤机堵磨或者粉管堵塞等问题。

6 大比例掺烧高碱煤的煤质参数计算方法及关键参数推荐控制值

6.1 入炉煤煤质参数计算

入炉煤煤质参数的目标是调控入炉煤的灰成分及结渣沾污性，使之与锅炉的结渣沾污综合防控能力相适应。应基于入厂煤煤质参数计算并通过输煤和制粉系统调控入炉煤结构及比例。

6.1.1 大比例掺烧高碱煤后，入炉煤煤质参数可按照 DL/T 1445 计算，计算公式见式（1）。

$$MZ = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times C_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

MZ ——入炉煤煤质参数，如水分、灰分、挥发分、发热量、氮、硫等；

P_i ——各单煤 i 的质量分数；

C_i ——各单煤 i 的煤质参数。

6.1.2 大比例掺烧高碱煤后，入炉煤灰中的主要成份可按照 DL/T 1445 计算，计算公式见式（2）。

$$MH = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times A_i \times Z_i}{\sum_{i=1}^n P_i \times A_i} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

MH ——入炉煤灰中的主要成份，重点关注 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 等；

P_i ——各单煤 i 的质量分数；

A_i ——各单煤 i 的灰分质量分数；

Z_i ——各单煤 i 的灰分中某组分的含量质量分数。

6.2 关键参数推荐控制值

大比例掺烧高碱煤对锅炉的影响详见第 5 部分，应重点关注掺烧高碱煤后的沾污、结渣特性，关键参数推荐控制值如下：

收到基水分 M_{ar} ，主要影响机组的制粉系统干燥出力，可参考 DL/T 1445 建议值，高碱煤含水率在 22%-30%之间，建议按照锅炉原设计煤种煤的 $\pm 10\%$ 控制，磨煤机出口风粉混合温度按照不低于 $60^\circ C$ 控制。

干燥无灰基挥发分 V_{daf} ，主要影响机组的着火性能、低负荷稳燃能力以及制粉系统的防爆等，可参考 DL/T 1445 建议值，高碱煤挥发分在 30%-49%之间，建议按照锅炉原设计煤种煤的 $\pm 8\%$ 控制。

收到基发热量 $Q_{net,ar}$ ，主要影响机组的带负荷能力等，可参考 DL/T 1445 建议值，建议按照锅炉原设计煤种煤的 $\pm 8\%$ 控制，不应影响机组的带负荷能力。

全硫 S_t ，主要影响机组的受热面、尾部烟道腐蚀以及环保指标等，可参考 DL/T 1445 建议值，建议根据机组脱硫设备的能力确定，确保环保参数满足超低排放要求，建议混煤掺混后硫分 $S_t \leq 1.8\%$ 。

收到基灰分 A_{ar} ，主要影响机组的运行安全性和除尘系统等，高碱煤灰分在 5%左右，大比例掺烧高碱煤对除尘系统基本无影响。考虑到高碱煤灰分较低，碱金属含量较高，建议混煤掺混后收到基灰分 A_{ar} 不低于 12%。

灰成分（ Al_2O_3 、 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 等），主要影响机组的结焦、沾污特性，影响机组的运行安全性。定义 $A_{(高碱)}$ 为高碱煤空干基灰分（单位%）， $W_{(高碱)}$ 为高碱煤煤灰中 Na_2O 和 K_2O 质量分数含量之和（单位%）， $A_{(其它)}$ 为其它煤空干基灰分（单位%）， $W_{(其它)}$ 为掺配煤煤灰中 Al_2O_3 和 SiO_2 含量之和（单位%）。 $P_{(高碱)}$

为高碱煤掺配比例（单位%）， $P_{(其它)}$ 为其它煤掺配比例（单位%），建议混煤后煤灰中的 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 等组分按照如下公式（3）进行控制。

$$0.03 \leq P_{(高碱)} \cdot A_{(高碱)} \cdot W_{(高碱)} / (P_{(其它)} \cdot A_{(其它)} \cdot W_{(其它)}) \leq 0.05 \dots \dots \dots (3)$$

另外也可参考高碱煤掺烧后将煤灰中 Na_2O 含量降低到3%以下，碱酸比不高于0.3，硅铝比为1.5~3.0之间。

$$R_{B/A} = (Na_2O + CaO + K_2O + Fe_2O_3 + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2) \leq 0.3 \dots \dots \dots (4)$$

$$1.5 \leq \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \leq 3.0 \dots \dots \dots (5)$$

7 大比例掺烧高碱煤掺烧方式的选取

燃料的掺烧方式主要有间断掺烧、预混（共磨）掺烧、分磨掺烧三种。高碱煤水分高、结焦特性强，建议采用间断掺烧或预混掺烧，对于一些结焦倾向不强的也可采用分磨掺烧。

7.1 间断掺烧

高碱煤呈现强结焦、沾污特性，对于高碱煤外送能力有限，高碱煤来源不稳定的地区火电机组，建议采取间断掺烧的方式。即一段时间大比例掺烧高碱煤，一段时间后改为其他不易结渣煤种。

为避免煤种切换对锅炉运行的扰动，建议间断掺烧方式下高碱煤掺烧比例不高于40%，且高碱煤放在下层磨进行掺烧，延长高碱煤在炉内的停留时间。煤种切换过程中应采取措施，防止煤质参数变化引起灰焦的塌方、掉落或结渣加重。

7.2 预混（共磨）掺烧

7.2.1 皮带掺混。大比例掺烧高碱煤优先建议采用皮带掺混的方式进行掺烧，按照计算好的掺烧比例调整斗轮机、叶轮给煤机、给料机等设备的上料量，将高碱煤与其它煤按照一定的比例在皮带上进行掺混，皮带掺混的掺配效果较好，但要求有较大的煤场以及相对应的上料设备。

7.2.2 煤场存储掺混。将入厂煤常规煤种摊开，然后在其上面按比例覆盖高碱煤，上煤时由横断面取煤，达到掺烧的目的，属静态混煤，主要有分堆组合堆放、对称分层堆放、不对称分层堆放等，可参考DL/T 1445。

7.2.3 多磨掺混策略。为了实现大比例长周期燃烧高碱煤，一般采用预混（共磨）掺烧的方式。考虑到不同标高煤粉气流燃尽距离之间的差异，建议采用“阶梯型”共磨掺配策略，在维持总的掺配比例不变的基础上，将不同标高的磨煤机分为上中下三组，同组高碱煤掺配比例一致，不同组磨煤机采取不同的高碱掺配比例，多磨掺混策略及约束如下：

$$\text{上组磨： } P_{(高碱煤)-上组磨} \leq 40\%;$$

$$\text{中组磨： } P_{(高碱煤)-中组磨} \leq 60\%。$$

8 高碱煤掺烧比例的制定

- 8.1 制定常规煤质参数的约束条件，包括最低入炉燃料热值 $Q_{\text{net,ar}}$ 、最大收到基水分 M_{ar} ，最大干燥无灰基挥发分 V_{daf} ，最大全硫 S_{t} 、最低收到基灰分 A_{ar} ，采用式(1)、式(2)的计算方法计算高碱煤与煤掺混后的煤质参数。
- 8.2 制定混煤煤灰组分的约束条件，包括 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 等，采用式(2)的计算方法计算高碱煤与煤掺混后煤灰的灰组分参数，高碱煤与煤掺混后煤灰的灰组分满足式(3)的约束条件。
- 8.3 根据上述约束条件，综合考虑高碱煤和其它掺配煤的燃料特性、锅炉设计参数、煤场掺混条件等确定高碱煤的初步掺烧比例。
- 8.4 开展大比例高碱煤掺烧试验并评定锅炉最大掺烧比例，一般安排在机组设备消缺、改造或运行优化后，在确保锅炉基本正常运行条件下，合理增大高碱煤掺烧比例，观察锅炉运行参数和现场实际状况，判别锅炉是否可长期适应入炉煤结构比例；每一个比例观察检验时间不少于 72h，或在连续 90% 以上锅炉额定负荷运行不少于 24h；当入炉煤 $R_{\text{B/A}} \geq 0.3$ 后，每一个比例观察检验时间不少于 168h，或在连续 90% 以上锅炉额定负荷运行不少于 48h。

9 大比例掺烧高碱煤运行方式

9.1 输煤系统运行

- 9.1.1 大比例掺烧高碱煤应该加强煤场管理，不同风险等级的高碱煤应分开堆储，设置明确的堆储界限，避免不同燃用风险等级的燃料混堆，保障煤场不同燃料的合理堆放与燃料调配。
- 9.1.2 大比例掺烧高碱煤优先建议采用皮带掺混的方式进行掺烧，按照计算好的掺烧比例调整斗轮机、叶轮给料机、给料机等设备的上料量，将高碱煤与其它煤按照一定的比例在皮带上进行掺混，建议完善上料系统，实现高碱煤的精准掺配。
- 9.1.3 煤场喷淋装置应正投运常，发现超温时应采取降温措施，发现自燃时应及时清理压实，不宜采用大量喷水方式灭火，不得将带有火种的煤送入输煤皮带。当煤堆温度超过 60°C 时，应及时投入煤场喷淋装置，并尽快取用配烧。定期对煤场储存疆煤进行倒垛翻烧，做到清场彻底，周期一般不超过半个月。

9.2 制粉系统运行

- 9.2.1 掺烧高碱煤，重点关注磨煤机的出力、电流以及出口风粉温度，防止堵磨，建议磨煤机出口风粉温度不低于 60°C 。
- 9.2.2 掺烧高碱煤，应根据磨煤机对应煤粉喷口的标高及燃尽距离来调整不同磨煤机的高碱煤掺配比例，原则上上层磨高碱煤比例高。为降低燃烧器区域的热负荷，防止火焰过于集中，高负荷可采用中间某台磨煤机做备用磨煤机的运行方式，尽量降低火焰峰值温度。
- 9.2.3 掺烧高碱煤，建议综合掺配煤种根据混煤特性按 DL/T 5145 推荐值选取。

9.2.4 掺烧高碱煤，同台磨煤机对应各风管的一次风速偏差控制在±5%以内，一次风煤粉浓度偏差控制在±10%以内。磨煤机一次风管缩孔或一次风喷口检修或更换后，要重新做一次风调平。

9.2.5 掺烧高碱煤，燃烧器出口一次风喷口风速（热态）建议控制在24~30m/s之间。

9.3 燃烧系统运行

9.3.1 掺烧高碱煤，应重点关注总风量和运行氧量，锅炉满负荷出力下运行氧量建议值 $\geq 2.8\%$ ，必要时开展燃烧优化调整。

9.3.2 掺烧高碱煤应在水冷壁加装贴壁气氛测试孔，重点关注主燃烧器水冷壁区域的贴壁气氛，锅炉满负荷出力下贴壁 H_2S 建议值 $\leq 200ppm$ 、 CO 建议值 $\leq 30000ppm$ ，必要时开展燃烧优化调整，优化配风策略，减少局部区域还原性气氛。

9.3.3 掺烧高碱煤，应重点关注屏过区域、高温过热器、高温再热器区域烟气温度，必要时增加烟气温度的测点。不同的机组该区域烟温不能高于设计值，必要时开展燃烧优化调整，优化配风策略，在保证锅炉炉膛出口氮氧化物不超标的情况下，降低炉膛火焰中心，控制燃烧区域及高温受热屏底温度，减轻对锅炉受热面的结渣、沾污。

9.3.4 掺烧高碱煤，应提高机组的自动化控制水平，并组织有关运行人员培训高碱煤燃烧调整理念等知识点，掌握高碱煤结焦特性。

9.3.5 掺烧高碱煤后，针对运行中发现的问题，应及时组织专业技术人员沟通、反馈和交流，优化高碱煤掺烧方案和燃烧控制措施。

9.3.6 对于冲旋流燃烧锅炉掺烧高碱煤，应重点防控燃烧器喷口烧损与结渣及抑制炉膛前后墙燃烧偏差，一般建议弱化二次风旋流强度，合理控制一次风速，保证燃烧器区域侧墙无流渣或冷灰斗浇注料处无大渣堆积现象。

9.3.7 对于四角切圆燃烧锅炉掺烧高碱煤，应重点防控燃烧器喷口结渣和背火侧严重结渣，主要关注燃烧器喷口安装角度和假想切圆直径，建议采用较小的燃烧器喷口假想切圆直径。

9.4 吹灰系统运行

9.4.1 掺烧高碱煤后，应适当增加吹灰频次，适当增大吹灰压力，通过吹灰试验确定易结渣区域，在保证基本吹灰频率的基础上，对易结渣区域加强吹灰，必要时可增加吹灰器数量。

9.4.2 严格控制吹灰器调节阀后蒸汽压力，确保实际吹灰蒸汽压力处于正常范围，一般炉膛短吹灰器吹灰压力为1.2~1.5MPa，对流受热面长吹灰器吹灰压力为1.8~2.2MPa。

9.4.3 吹灰系统应根据试验结果，按照合理的方式及频率投运，避免过吹和欠吹。停炉检修期间，检修维护人员应加强吹灰器区域防磨瓦片的检查和加固，并对受热面吹损进行检测和评估。

9.4.4 蒸汽吹灰系统的汽源可选择引自过热蒸汽系统或再热蒸汽系统，管路和减压系统的配置应满足50%至100%额定负荷段可正常投运至少2只屏过区域长程吹灰器。

9.4.5 水力吹灰器要对吹扫轨迹调整，投运前后吹扫区域壁温温差不大于 5℃。

9.5 结渣沾污治理

9.5.1 锅炉出现严重结渣沾污后，首先应采取降负荷运行、降低高碱煤掺烧比例及提高结焦区域吹灰器频次等措施缓解结渣沾污程度、降低锅炉运行风险，然后开展燃烧调整及配煤掺烧试验、煤炉适应性评估及其他提升高碱煤掺烧比例的技术改造可行性研究。其次试验结果或可行性技术报告开展机组设备消缺及优化改造，最后在设备和运行良好的情况下开展高碱煤掺烧相关的冷热态技术试验，获得机组运行优化方式。

9.5.2 缓解结渣沾污程度、降低锅炉运行风险一般通过降低入炉混煤 RB/A、增加关键位置吹灰器运行频次、调整燃烧系统参数、降低机组运行负荷等扭转结渣沾污持续恶化的形势，尽可能实现锅炉安全稳定运行，避免发生更严重事故。

9.5.3 燃烧调整及配煤掺烧试验、煤炉适应性评估及技术改造可行性研究一般通过试验室煤质混烧特性诊断、锅炉冷态动力场试验、高碱煤燃烧优化试验及其他理论计算与分析，优化当前设备运行状态，并诊断、评估锅炉通过消缺与技术改造适应目标燃料结构比例的潜力，进而选择制定可行的技术方案和实施方案。

附录 A

(规范性)

电站煤粉锅炉高碱煤掺烧燃烧优化试验

电站煤粉锅炉大比例掺烧高碱煤存在结渣、沾污等潜在的风险，应组织专业技术团队开展大比例掺烧高碱煤燃烧优化试验，保障机组的运行安全性和经济性，具体试验项目如下。

一、基础摸底试验

开展冷态动力场试验，对机组设备状况进行检查。保证锅炉所有风门、烟道挡板启闭灵活，挡板实际位置与就地开关位置、DCS 表计指示一致且同步。直流燃烧器切圆角度、旋流燃烧器旋流扩角检查无偏离设计值，检查同一基准燃烧器各风门的开度偏差应控制在 $\pm 5\%$ 以内。对于可摆动燃烧器各喷嘴在同一摆角下，实际摆角间的偏差应控制在 $\pm 1.5^\circ$ 范围内。

对变负荷过程进行观察，尤其是燃料、总风量、氧量的变化，记录时间，比如负荷变化后，在多少时间内，总风量或者二次风量才有动作，氧量的变化时间等等；类似的，记录一次风母管压力、炉膛风箱差压、磨煤机运行参数随负荷变化的响应幅度、速度等。

在热态条件下，对各台磨煤机进行所有一次风管风速进行测量，测量方法采用靠背管测量动压计算而得，原则上磨煤机出口到燃烧器最远的粉管其缩孔全开，在此基础上进行调节，然后计算每台磨煤机的流量偏差，对流量偏差大于 $\pm 5\%$ 进行一次风调平试验。

二、制粉系统试验

制粉系统试验是燃烧调整优化试验的重要基础，通过制粉系统的试验掌握该型号的磨煤机在不同运行方式下的煤粉细度、均匀性指数、制粉单耗等特性，为锅炉的优化燃烧组织运行提供数据参考与支持。

(1) 煤粉细度测量和调整试验

磨煤机制粉特性试验严格按照行标 DL/T 467 试验规程进行，试验测试磨煤机的出力、煤粉细度、煤粉均匀性指数、煤粉水分、管间煤粉相对浓度偏差等指标。试验测试工况为：

(a) 动态分离器转速试验

固定磨煤机出力不变，确定不同动态分离器转速下对煤粉细度、均匀性指数、制粉单耗的影响。

(b) 磨煤机变加载力试验

调整磨煤机出力，保持反向加载力及风量、分离器频率不变，只改变正向加载力的大小，磨煤机风量按照给定风煤比曲线设置，进行磨煤机变磨辊加载力试验，以确定磨辊最佳加载力曲线。

(c) 磨煤机出力、通风量试验

固定动态分离器转速、不同磨出力、一次风量的变化试验，得出磨出力和煤粉细度等特性。

(d) 分离器出口温度试验

固定的分离器转速、加载力和出力和风煤比，改变分离器出口温度，确定不同动态分离器出口温度

下对煤粉细度、均匀性指数、制粉单耗的影响。

三、静/动态燃烧优化调整试验

(1) 变氧量试验

变氧量试验的目的是研究运行氧量对锅炉运行的影响。在典型运行负荷下，维持其它运行参数不变的条件下，仅改变空气预热器入口氧量，测量锅炉的主要运行参数，观察炉内燃烧结焦、汽温等变化情况。

(2) 变一次风速试验

变一次风速试验的目的是一次风速变化对锅炉运行的影响。在典型运行负荷下，维持其它运行参数不变的条件下，改变一次风量，测量锅炉的主要运行参数，观察炉内燃烧结焦、汽温等变化情况。

(3) 变二次风配风方式试验

在典型运行负荷下，在其它运行参数不变的条件下，通过改变各层二次风的比例方式，研究二次风配风方式对锅炉运行的影响。

(4) 变煤粉细度试验

在典型运行负荷下，在其它运行参数不变的条件下，通过调节磨煤机分离器挡板开度改变煤粉细度，研究煤粉细度对炉内燃烧状况、燃烧经济性的影响。

(5) 变辅助风和周界风比例试验

改变辅助风和周界风的比例，对煤粉的燃烧过程和炉内空气动力场将产生一定影响。在典型运行负荷下，保持锅炉的运行氧量稳定，观察辅助风和周界风的比例变化对燃烧工况的影响。

(6) 变燃烧器负荷分配试验

调整不同层燃烧器的负荷分配，可以改变火焰中心高度，从而对炉膛出口烟气温度产生影响。本项试验拟在典型运行负荷下，测量多种燃烧器负荷分配方式对炉内燃烧、以及炉膛出口烟温的影响。

(7) 变燃烧器角度摆动试验

改变燃烧器的摆角，可以改变炉膛火焰中心高度，对炉膛出口烟气温度和汽温产生影响。在典型运行负荷下，保持锅炉的运行参数稳定，改变燃烧器摆角，观察燃烧器摆角变化对锅炉燃烧、汽温特性的影响。

(8) 变 OFA 风量试验

在保持锅炉其它运行参数不变，仅改变 OFA 的挡板开度，观察 OFA 风对炉内燃烧和炉膛温度的影响，确定锅炉最佳的 OFA 风开度。

(9) 变旋流燃烧器旋流强度试验

在典型运行负荷下，维持其它运行参数的稳定，分别改变内、外二次风挡板开度，测量多种内外二次风配合方式对炉内燃烧、以及炉膛出口烟温的影响。

(10) 吹灰器吹灰效果试验

在典型运行负荷下，维持其它运行参数的稳定，分别投运不同烟道部分的吹灰器，观察空预器进口烟温、排烟温度的变化情况，从而间接了解对流受热面沾污状况，从而得出最佳吹灰器投运方式。

参考文献

- [1] GB/T 3715 煤质及煤分析有关术语
- [2] GB/T 5751 中国煤炭分类
- [3] GB/T 7562 商品煤质量 发电煤粉锅炉用煤
- [4] GB/T 10184 电站锅炉性能试验规程
- [5] GB 25960 动力配煤规范
- [6] DL/T 467 电站磨煤机及制粉系统性能试验
- [7] DL/T 611 300MW~600MW 级机组煤粉锅炉运行导则
- [8] DL/T 831 大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则
- [9] DL/T 1106 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法
- [10] DL/T 1429 电站煤粉锅炉技术条件
- [11] DL/T 1445 电站煤粉锅炉燃煤掺烧技术导则
- [12] DL/T 1668 火电厂燃煤管理技术导则
- [13] DL/T 5145 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定
- [14] T/CEC 154 电站煤粉锅炉入炉燃料的分类与选择
- [15] 国能发安全〔2023〕22号《防止电力生产事故的二十五项重点要求(2023版)》