

# 防止锅炉受热面结焦技术措施

詹冀安

国能（泉州）热电有限公司，福建泉州 362800

DOI:10.61369/ME.2025050023

**摘要：**根据目前机组设计参数，机组改造情况，以及多年运行经验，参考 DLT 611-2016《300MW ~ 600M 级机组煤粉锅炉运行导则》、NB/T 10127-2018《大型煤粉锅炉炉膛及燃烧器性能设计规范》、DLT 831-2015《大容量煤粉燃 烧锅炉炉膛选型导则》设计规范，为了有效控制和防止锅炉发生大面积结渣、结焦，采取以下锅炉防结焦控制措 施<sup>[1-3]</sup>。

**关键词：**结焦；氧量；灰熔点；配风

## Technical Measures to Prevent Coking on the Heating Surfaces of Boilers

Zhan Ji'an

Guoneng (Quanzhou) Thermal Power Co., LTD, Quanzhou, Fujian 362800

**Abstract :** Based on the current design parameters of the unit, the progress of its renovation, and years of operational experience, Refer to the design specifications DLT 611-2016 "Operation Guidelines for Pulverized Coal Boilers of 300MW ~ 600M Class Units", NB/T 10127-2018 "Design Specifications for Furnace and Burner Performance of Large Pulverized Coal Boilers", and DLT 831-2015 "Selection Guidelines for Furnace of Large Capacity Pulverized Coal Combustion Boilers". To effectively control and prevent large-scale slagging and coking in boilers, the following anti-coking control measures for boilers are adopted .

**Keywords :** coking; oxygen content; ash melting point; air distribution

## 一、锅炉结焦成因

### (一) 煤种原因

1. 易结焦煤种判定：

(1) 灰熔点判定（判定准确率83%）：ST灰熔点小于1190℃；

(2) 结渣指数判定（判定准确率90%）：Rz大于2.5；

(3) 酸碱比指数判定（判定准确率69%）：B/A大于0.4。

2. 不同煤种结焦特性：

(1) 印尼煤：结焦特性：易结焦，多为低灰熔点煤种，灰熔点多分布在1100 ~ 1200℃；焦块特性：燃烧器喷口形成多为流动性熔融焦，焦块硬而脆，在水冷壁易形成板状焦块，在炉膛出口分隔屏、屏过、末过等易挂焦，掉落冷渣斗易破碎。

(2) 神华煤：结焦特性：石炭3、神混等煤种，煤种混杂，属于多煤种混煤，容易结焦，灰熔点多分布在1200 ~ 1260℃。焦块特性：燃烧器喷口、结焦量略小于印尼煤，在炉膛出口分隔屏、屏过、末过等易挂焦，掉落冷渣斗较印尼煤难以破碎。水冷壁挂焦特性较强，易形成板状焦块。

(3) 内蒙煤：结焦特性：灰熔点在1050 ~ 1200℃，部分煤种难磨、灰分大，燃烬率偏低。结焦倾向严重。焦块特性：容易结焦，焦块硬度高于以上两种煤，结焦危害性也大于以上煤种。

### (二) 氧量原因

1. 整体氧量偏低 整体炉膛氧量偏低，一是还原性气氛降低煤灰灰熔点。炉膛处于还原性气氛，煤粉结渣、结焦温度也随之降

低100 ~ 200℃。二是氧量偏低，燃烧不完全，粘附在水平烟道或炉膛出口水冷壁上，出现二次燃烧，形成粘结性强的焦渣，难以清除。

2. 局部氧量偏低 局部氧量偏低，主要体现在燃烧器区域，燃烧区域氧量不充分，燃烧不完全，强还原性气氛，导致燃烧器喷口结焦<sup>[4]</sup>。

### (三) 煤粉细度原因

1. 煤粉细度过粗 煤粉细度过粗，一方面，在煤粉重力作用下，煤粉掉落到冷渣斗，沉积在冷渣斗，当遇到高温源后再次燃烧，煤粉在冷渣斗二次燃烧，烧结形成焦渣，粘附力极强，将形成焦渣，并将炉膛掉下来的灰渣拦截在冷渣斗，聚集后将可能堵住冷渣斗。另一方面，煤粉细度过粗，随着烟气从炉膛出口出去，燃烧的粗颗粒煤粉遇到管壁，粘附在管壁，再次燃烧，形成结焦<sup>[5]</sup>。

2. 煤粉均匀性差 煤粉均匀性差，粗颗粒煤粉将导致煤粉形成粘附性二次燃烧，导致结焦，同时煤粉均匀性差，不利于合理配风，低灰熔点灰在二次燃烧中，被包裹烧成熔融灰渣，粘附形成结焦。

### (四) 配风原因

1. 局部配风不足 局部形成还原性气氛，形成局部结焦，如在燃用高硫煤情况下，同时可能形成高温腐蚀。

2. 一次风速过低 (1) 一次风速过低，煤粉气流刚度不足，一方面，煤粉集聚在燃烧器附近，燃烧器口造成集中燃烧，导致喷口温度升高，另一方面，由于煤粉过度集中，氧量补充不及时，

形成缺氧燃烧，导致燃烧器喷口结焦，燃烧器喷口烧损。

(2) 切圆燃烧锅炉，可能导致火焰中心偏移，贴壁燃烧。

### 3. 二次风速过低

(1) 二次风速过低，燃烧器氧量补充不及时，形成局部缺氧，局部富氧燃烧的情况。

(2) 切圆燃烧锅炉，可能导致火焰中心，贴壁燃烧。

(3) 旋流燃烧器，可能导致外层旋流二次风强度不够，煤粉包裹、卷吸能力下降，煤粉可能发现沉降。

(4) 二次风速过低出现贴壁燃烧，烧损燃烧器以及燃烧器喷口结焦。

### (五) 磨煤机组合方式原因

1. 对冲炉底层磨未运行 对冲炉底层燃烧器未运行，煤粉沉积到冷渣斗，可能导致冷渣斗煤粉二次燃烧，形成结焦<sup>[1]</sup>。

2. 顶层磨运行 顶层磨运行，煤粉停留在炉膛燃烧时间短，煤粉细度过粗，燃烧火焰加长，炉膛出口温度升高，水平烟道烟温水平上升，导致水平烟道结焦、结渣。

3. 前后墙高低热值煤种分配 前墙火焰强度强于后墙，整体炉膛温度分布，前墙高于后墙100~200°C（前墙1400~1500°C，后墙1300~1400°C），前墙结焦倾向明显高于后墙，因此前墙高灰融点煤种，后墙低灰熔点煤种，有利于减小结焦。

4. 上下层高低热值煤种分配 炉膛温度场分布，四角切圆底层温度1100°C左右，上层到燃烬风层温度1300~1400°C。因此，上层燃烧器水冷壁温度高，结焦倾向比较明显。

### (六) 设备原因

1. 燃烧器喷口烧损

2. 磨煤机出力下降：磨辊磨损、风环磨损、叶轮磨损、折向挡板磨损、分离器转速下降。

3. 吹灰器故障：吹灰压力不足、枪头破裂、提升阀开不到位，疏水不充分。

## 二、锅炉结焦程度判定

1. 轻度结焦 转向室温度、空预器入口排烟温度在对应锅炉负荷设计值范围内，捞渣机捞出焦块<30cm大小的焦块，焦块量<1%。

2. 一般结焦 转向室温度、空预器入口排烟温度在对应锅炉负荷设计值范围内，捞渣机捞出焦块在30~50cm大小，焦块量<5%。

3. 中度结焦 转向室温度、空预器入口排烟温度较对应锅炉负荷设计值温度高10°C以内，捞渣机捞出焦块在50~100cm大小，焦块量5~8%。

4. 严重结焦 转向室温度、空预器入口排烟温度较对应锅炉负荷设计值温度高10°C以上，两侧温度出现偏差，并通过燃烧调整无法调平，捞渣机捞出焦块在50~100cm大小或以上，焦块量>8%。

## 三、锅炉结焦控制措施

### (一) 控制原则

锅炉结焦的形成，与燃用煤种和运行控制有密切关系，对于易结焦煤种的燃用，运行控制措施得当，对结焦的控制有极大的抑制作用，即使无法根治，也可以从最大限度控制结焦生成，或结焦生成后及时清理，防止结焦大面积形成，威胁机组安全<sup>[7]</sup>。

1. 在防止结焦生成方面：合理配煤、配风、优化煤粉细度，减弱还原性气氛。

2. 在结焦清除方面：每班通过吹灰，清除即时生成的焦、渣，防止进一步扩大，定期通过启停制粉系统、升降负荷、炉膛负压扰动等方式来清除炉膛内吹灰无法吹到区域的焦渣。

### (二) 控制结焦措施

#### 1. 原煤管理

(1) 来煤灰熔点ST高于设计值1190°C，结焦综合判定指数Rz<2.0(>2.5位严重结焦)，硅酸比<1.87。

(2) 热值相近、同结焦性煤种同堆堆放，易结焦性煤种务必单独堆放，单独堆取。

#### 2. 掺烧管理

(1) 试烧管理：新到煤船，逐仓试烧，试烧新煤种，务必跨班检验结焦性能，试烧正常后，方可增加试烧比例。试烧时现场检查结焦情况，冷灰斗挂焦情况，底渣情况，锅炉偏烧情况，磨煤机出力情况，石子煤量情况，制粉系统粘堵情况，电除尘、湿除收尘情况（出力影响等），NOx变化情况等。试烧到一仓，观察4~8小时正常后，方可继续加第二仓，以此类推。

(2) 正常掺配：当燃煤试烧正常后，印尼和国燃煤进行混配掺烧，当特殊需要单独掺烧国燃煤时，务必确保国燃煤试烧正常，方可单独全烧。

(3) 新到煤船确定堆放位置、覆盖区域和煤种，试烧方案，取煤、堆煤方式和部位。总结上条船试烧情况，接卸情况。

(4) 各台炉掺烧低灰熔点煤种量不超过40%，且低灰熔点煤种放下层制粉系统掺配，高灰熔点煤种放上层制粉系统<sup>[8]</sup>。

#### 3. 配风管理

##### (1) 一次风

风煤比控制在1.8~2.0，但风量、风煤比是参考，最终以取样化验出的最佳煤粉细度靠近目标煤粉细度、燃烧组织调整最佳为调整原则。需认真做好制粉系统参数监控，关注煤粉细度化验情况。若发现煤粉细度偏离正常值立即安排调整风量及分离器转速，煤粉细度偏粗的降低风煤比、提高分离器转速；煤粉细度偏细的降低分离器转速、适当提高风煤比。

##### (2) 二次风

1) 易结焦煤种，在保证NOx合格前提下，适当提高氧量0.2%。

2) 一二期二次风配风，按照运行中总结，以及电科院试验综合总结的配风卡。

#### 试验配风卡：

二次风配风卡		
SOFA(燃尽风)风门开度		
SOFA4 层	%	10
SOFA 3 层	%	10 ~ 30
SOFA 2 层	%	50 ~ 60
SOFA1 层	%	80 ~ 100

主燃烧器各风门开度				
OFAG 层 (二次 + 贴壁风)	%	80		
F 层周界风	%	75—28		
EF 层(油二次风)	%	35—50		
E 层周界风	%	75—28t/h	(磨煤机停运时关至 15%)	
DE 层(二次 + 贴壁风)	%	35—50		
D 层周界风	%	75—28t/h	(磨煤机停运时关至 15%)	
CD 层(油二次风)	%	35—50		
C 层周界风		75—28t/h	(磨煤机停运时关至 15%)	
BC 层(二次 + 贴壁风)	%	35—50	(A、B 磨煤机均停时开至 80%)	
B 层周界风(等离子)	%	75—28t/h	(磨煤机停运时关至 15%,)	
AB 层(油二次风)	%	45—65	(A 磨煤机停运时或 A、B 磨煤机均停时开至 80%)	
A 层周界风	%	75—28t/h	(磨煤机停运时关至 15%)	
AA 层二次风	%	100	(A 磨煤机停运时关至 15%)	

注意事项：

- 加强捞渣机检查，是否存在大焦卡塞链条、链条偏斜、捞渣机液压油压过高或不加载等情况。
- 结焦情况检查，按照检查卡执行。

#### 4. 煤粉细度管控

(1) 煤粉细度取样周期：每台炉每周一次，确保煤粉细度取样的规范性，由于煤粉在管内分布不均，确保煤粉取样氧量控制标准，负荷 (MW) 氧量 (%) (纯 印尼煤) 氧量 (防结焦、国燃和 印尼煤混配) (%) 300 3.0 3.0 250 3.0 3.1 200 3.2 3.5 150 3.7 3.9 时整根粉管都能采到样，除了按《煤粉取样操作卡》进行取样外，粉管取样时要将粉管分为5等分，分别在等分点停留取样1分钟，从取样口开始算分别在伸入长度约30cm、40cm、50cm、60cm 点停留 (如下图)。

(2) 煤粉细度要求：R90在规定值 (加仓方式上为准) 以内， $R90=0.5nVdaf$  ( $n$  取 1.1)。

(3) 化验班按规定周期定期取样化验煤粉细度，并及时将化验报告发给各值和专业，以便于运行调整。

(4) 当班值及时分析煤粉偏差原因，如磨煤机出力不足，及时填写缺陷，设备进行检查处理。

(5) 底层磨煤机停运时，最靠下运行制粉系统煤粉细度控制较正常更加严格，R90较正常低5%。

(6) 磨煤机分离器转速控制不低于50rpm，折向挡板放在10格。

5. 吹灰控制吹灰管理，严格按照《吹灰管理规定》执行，并严格控转向室温度和空预器入口温度<sup>[9]</sup>。

#### 6. 运行控制

(1) 低负荷运行，煤粉细度控制在正常范围，R90控制在规

定值的 ±5%。

(2) 禁止通过降低分离器转速，牺牲煤粉细度方式长时间顶负荷，特殊工况事故处置期间，原则不超过2小时。

(3) 锅炉动态扰动：通过制粉系统倒换、升降负荷等方式，清除炉膛结焦。

(4) 锅炉长期高负荷的静态扰动：预锅炉有掉焦情况时，每班两次炉膛负压扰动 (-500Pa~0Pa)、每天的晚班安排制粉系统煤种的切换 (高热切低热，低热切高热)，一二次风速配比的扰动。

(5) 锅炉掉大焦如实做好记录，并记录掉焦时的现象及相关操作，受热面温度及烟温的变化情况，现场结焦检查情况，特别是冷灰斗积焦及捞渣机运行情况，初步判断掉焦的位置。

(6) 运行每个班做好锅炉看焦定期工作，除观火孔看焦外，每个班对比水冷壁壁温、过热器 / 再热器减温水量变化趋势、炉膛烟温，同负荷下，当出现以下各异常时，如壁温变化 ≥ 5°C、减温水量上涨 > 10t/h、空预器入口烟温上涨 ≥ 5°C，各监视段烟温超过防结焦控制值，判断结焦大致区域，增加该区域吹灰及进行负压扰动，若未有明显好转，向调度申请降负荷进行扰动，确保锅炉安全运行<sup>[10]</sup>。

(7) 做好锅炉吹灰工作，吹灰过程发现炉膛负压、捞渣机电流和油压异常变化立即安排人员现场检查。若发现掉落 焦块尺寸大于30cm，立即组织进行清焦。

## 参考文献

- [1] DL/T 611-2016, 300MW ~ 600MW 级机组煤粉锅炉运行导则 [S].北京 : 中国电力出版社 , 2016.
- [2] NB/T 10127-2018, 大型煤粉锅炉炉膛及燃烧器性能设计规范 [S].北京 : 中国电力出版社 , 2018.
- [3] DL/T 831-2015, 大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则 [S].北京 : 中国电力出版社 , 2015.
- [4] 邓策. 防止锅炉受热面产生沉积物和锅炉爆管的措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量 , 2024, 44(15):85-87.
- [5] 范志刚. 浅析如何防止锅炉受热面受损 [J]. 应用能效技术 , 2022, (05):20-22.
- [6] 胡杰. 锅炉受热面爆管原因分析及防范措施 [J]. 通识世界 , 2019, 26(03):285-286.
- [7] 罗大勇. 锅炉受热面喷涂黑体材料防结焦性能试验研究 [D]. 哈尔滨工业大学 , 2017.
- [8] 林钊. 浅谈电厂锅炉受热面超温爆管原因及预防措施 [J]. 中国高新区 , 2017, (12):100-101.
- [9] 邓策. 防止锅炉受热面产生沉积物和锅炉爆管的措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量 , 2024, 44(15):85-87.
- [10] 李彦辉, 王亮亮. DG2025/25.4- II 6型锅炉高温再热器区域结焦问题分析及建议 [J]. 山西电力 , 2024, (02):56-59.