

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^[1-3]。

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%）：R_z大于2.5；
 - （3）碱酸比指数判定（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，燃尽率偏低。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炭灰熔点。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^[4]。

（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^[5]。
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^[6]。

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℃（前墙1400~1500℃，后墙1300~1400℃），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℃左右，上层到燃烬风层温度1300~1400℃。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℃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℃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^[7]。

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℃，结焦综合判定指 数 $R_z < 2.0$ （> 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），NO_x 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^[8]。

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 NO_x 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	脱硝入口 NO _x 控制在190mg/Nm ³ （折后）以内，防止逃逸率高
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%)
1. 该区域辅助风均投入自动，此对应开度 煤 量 为 28t/h。 2. 热一次风母管压力始终保 持 在 6.7KPa ~ 7.0KPa 之间运行。 3. 风门挡板偏差值 ±10%，控制。 4. 原则上将火焰中心往下调整，降低炉膛出口烟温			
注意事项： 1.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。 2.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,粉管取样时要把粉管分为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^[9]。

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)锅炉掉大焦如切实做好记录,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℃、减温水量上涨>10t/h、空预器入口烟温上涨≥5℃,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^[10]。

(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].应用能源技术,2022,(05):20-22.
[6] 胡杰.锅炉受热面爆管原因分析及防范措施 [J].通讯世界,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.