

# 发电厂锅炉结焦问题优化

于锐铭

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

**摘要：**本文深入探讨发电厂锅炉结焦问题。结焦由锅炉结渣与积灰形成，原因涵盖灰分特性、炉膛结构、燃烧组织及炉膛热负荷等方面。防治措施包括做好燃煤管理，从采购、入场管理到合理掺烧；合理调整燃烧，如组织空气动力场试验及热态运行调整；确定适宜煤粉细度；降低炉膛热负荷，如调整运行负荷、优化燃烧方式及增加受热面积等。通过这些措施，可有效减少结焦，提升锅炉运行效率与安全性。

**关键词：**发电厂；锅炉结焦形成；结焦原因；防治措施

## 引言

在发电厂运行中，锅炉作为关键设备，其稳定高效运行至关重要。然而，锅炉结焦问题普遍存在且危害严重。结焦不仅影响锅炉的传热效率，导致能源浪费，还可能引发受热面损坏、炉内气流不畅等一系列问题，严重时甚至威胁到锅炉的安全运行，迫使停机检修，造成巨大经济损失。因此，深入研究锅炉结焦问题并寻求有效的优化策略，对保障发电厂稳定生产、提高经济效益具有迫切的现实意义。

## 1 结焦的形成

### 1.1 锅炉结渣

在发电厂锅炉运行过程中，锅炉结渣是结焦形成的重要表现形式之一。当燃料在炉膛内燃烧时，会产生一系列复杂的物理化学变化。燃料中的灰分在高温环境下会经历软化、熔融等状态转变。若此时炉膛内的温度场分布不均，部分区域温度过高，使得灰分的软化温度达到甚至超过其熔点，灰分就会呈现出液态或半液态状态。这些处于液态或半液态的灰分颗粒在随烟气流动过程中，一旦接触到温度相对较低的受热面或炉壁等部位，就会迅速黏附在上面，进而逐渐积聚、烧结，最终形成较为坚硬的结渣。随着运行时间的增加，结渣会不断增厚，严重影响锅炉的正常运行。

### 1.2 锅炉积灰

锅炉积灰也是结焦形成过程中的一个关键环节。在燃料燃烧产生的烟气中，除了含有高温的气态成分外，还裹挟着大量微小的固体颗粒，其中包括未完全燃烧的炭粒以及各种矿物质形成的灰分颗粒。这些颗粒在随烟气流动通过锅炉的各个受热面时，由于烟气的流场特性以及受热面的表面特性等因素影响，部分颗粒会在受热面表面发生沉积。开始时，这些沉积的颗粒只是松散地附着在受热面上，形成一层薄薄的积灰层。随着时间推

移，积灰层会不断吸附更多的颗粒，厚度逐渐增加。积灰层的存在不仅会影响受热面的传热效率，而且在一定条件下，积灰中的某些成分可能会与周围环境发生化学反应，进一步促进结焦的形成。

## 2 结焦的原因

### 2.1 灰分特性

燃料中的灰分特性对锅炉结焦有着至关重要的影响。灰分的化学成分复杂多样，不同的化学成分会导致灰分具有不同的物理化学性质。其中，灰分的熔点是一个关键参数。当灰分中含有较多的碱性氧化物，如氧化钠（ $\text{Na}_2\text{O}$ ）、氧化钾（ $\text{K}_2\text{O}$ ）等时，会降低灰分的熔点。相反，若灰分中酸性氧化物，如二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）、三氧化二铝（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）等含量较高，则会提高灰分的熔点。在实际运行中，若使用的燃料灰分熔点较低，在炉膛内的燃烧温度下，灰分更容易达到软化或熔融状态，进而增加了结焦的可能性。此外，灰分的颗粒大小和形状也会对结焦产生影响。较小且形状不规则的灰分颗粒在烟气中更容易发生碰撞、团聚，并且在接触到受热面时，相较于较大且规则的颗粒，它们更容易黏附在上面，从而促进结焦的形成。

### 2.2 锅炉炉膛结构影响

锅炉炉膛结构是影响结焦的重要因素之一。炉膛的尺寸、形状以及内部受热面的布置方式等都会对炉内的气流流动和温度分布产生显著影响<sup>[1]</sup>。如果炉膛的高度不足，燃料在炉膛内的燃烧时间相对较短，可能导致燃烧不完全，使得未燃尽的炭粒和高温的灰分颗粒过早地接触到炉膛出口附近的受热面，增加了结焦的风险。另外，炉膛的横截面积过大或过小也会影响气流的速度和分布。横截面积过大，气流速度较低，灰分颗粒在炉膛内的停留时间延长，更容易发生沉降和黏附；横截面积过小，则气流速度过高，可能会加剧灰分颗粒对受热面

的冲刷磨损,同时也可能导致局部区域的温度过高,引发结焦。此外,炉膛内部受热面的布置方式不合理,如受热面之间的间距过小,会使得烟气在通过受热面时流速不均匀,容易形成局部的气流死角,灰分颗粒容易在此处积聚,进而形成结焦。

### 2.3 炉内燃烧组织状况

炉内燃烧组织状况对锅炉结焦有着直接的影响。首先,燃烧器的布置和运行方式至关重要。如果燃烧器的安装角度不准确,或者各燃烧器之间的出力不均衡,会导致炉内火焰偏斜,使得炉膛内局部区域温度过高,而其他区域温度相对较低。在高温区域,灰分更容易达到软化或熔融状态,从而增加了结焦的可能性。其次,炉内的空气量分配也十分关键。当空气量不足时,燃料无法充分燃烧,会产生大量的还原性气体,如一氧化碳(CO)等。这些还原性气体在高温环境下会与灰分中的某些成分发生化学反应,降低灰分的熔点,促使结焦的形成。相反,若空气量过多,会导致炉膛内的温度降低,燃烧效率下降,同时也可能会使气流速度增加,加剧灰分颗粒对受热面的冲刷,影响结焦的形成过程。此外,燃烧过程中的火焰稳定性也会影响结焦情况。如果火焰不稳定,频繁地出现摆动或熄灭、复燃等现象,会导致炉内温度场的剧烈波动,使得灰分颗粒的运动状态变得复杂,增加了其与受热面接触并黏附的机会,从而促进结焦的发生。

### 2.4 炉膛热负荷

炉膛热负荷是指单位时间内单位炉膛容积所释放的热量。炉膛热负荷过高是导致锅炉结焦的一个重要原因。当炉膛热负荷过高时,炉膛内的温度会显著升高,使得燃料中的灰分更容易达到软化或熔融状态。在高温环境下,灰分颗粒的流动性增强,它们在随烟气流动过程中,更容易与受热面发生碰撞并黏附在上面,进而形成结焦。此外,炉膛热负荷过高还会导致炉内的气流速度增加,使得灰分颗粒在炉膛内的停留时间缩短,来不及完全燃烧就被带出炉膛,这些未燃尽的灰分颗粒在接触到受热面时,也会增加结焦的可能性。同时,过高的炉膛热负荷还会对炉膛内的耐火材料造成损害,使其表面的完整性受到破坏,为灰分的黏附提供了更多的机会,进一步加剧了结焦问题。

## 3 结焦的防治措施

### 3.1 做好燃煤管理

#### 3.1.1 燃煤采购

在燃煤采购环节,应充分考虑锅炉的设计要求以及实际运行情况,选择合适的煤种。首先,要对煤的灰分

特性进行详细分析,优先选择灰分熔点较高的煤种。通过对煤质化验单的仔细研究,了解煤中各种化学成分的含量,尤其是对灰分熔点有显著影响的碱性氧化物和酸性氧化物的比例。尽量避免采购灰分中碱性氧化物含量过高、熔点过低的煤种,以降低结焦的潜在风险。此外,还要关注煤的挥发分、发热量等指标。挥发分适中的煤种有利于在炉膛内实现稳定、充分的燃烧,减少不完全燃烧产物的产生,从而间接降低结焦的可能性。同时,发热量较高的煤种可以在满足锅炉出力需求的前提下,减少燃煤的使用量,降低灰分的产生量,对防治结焦也有一定的积极作用。

#### 3.1.2 入场煤管理

加强入场煤的管理是确保燃煤质量稳定的重要环节。在煤场储存过程中,要采取合理的堆放方式,避免不同煤种的混杂。对于不同批次、不同产地的煤,应进行分区堆放,并设置明显的标识牌,注明煤的品种、产地、主要质量指标等信息。同时,要注意煤场的排水和通风,防止煤因受潮而发生自燃或变质,影响其燃烧性能。在取煤过程中,要按照一定的顺序和比例从不同区域取煤,确保进入锅炉的煤质相对稳定。此外,还应定期对入场煤进行质量检测,采用科学的采样和分析方法,及时掌握煤质的变化情况。一旦发现煤质不符合要求,应及时采取相应的措施,如调整燃烧参数或进行掺烧等,以保证锅炉的安全稳定运行。

#### 3.1.3 合理掺烧

合理掺烧是一种有效的防治结焦手段。通过将不同特性的煤种按照一定的比例进行混合,可以改善燃煤的综合性能,降低结焦的风险。在进行掺烧时,首先要对参与掺烧的各种煤种进行全面的煤质分析,了解它们的灰分特性、挥发分、发热量等指标。然后,根据锅炉的实际运行情况和结焦状况,制定科学合理的掺烧方案<sup>[2]</sup>。在掺烧过程中,要确保混合均匀,可以采用专门的混煤设备或在输煤过程中进行充分的搅拌,以保证进入锅炉的煤质均匀一致。同时,要密切关注掺烧后的锅炉运行情况,根据实际效果及时调整掺烧比例和相关运行参数,确保锅炉的安全稳定运行。

### 3.2 合理调整燃烧

#### 3.2.1 组织炉内空气动力场试验

炉内空气动力场试验是优化燃烧调整的重要基础。通过该试验,可以深入了解炉内气流的流动特性、火焰的形状和位置以及温度场的分布情况。在进行试验时,首先要选择合适的测试仪器和方法,如使用热球风速仪测量气流速度,利用热电偶测量温度等。在炉膛内布置

多个测点,全面测量不同位置的气流参数和温度参数。根据试验结果,分析炉内气流是否存在偏斜、短路等异常情况,以及火焰是否充满炉膛、温度分布是否均匀等。针对发现的问题,对燃烧器的安装角度、二次风的配风方式等进行调整。如果发现炉内气流偏斜,可以通过调整燃烧器的角度来纠正;若温度分布不均匀,可以优化二次风的配风比例,使炉内气流和温度分布更加合理,从而改善燃烧状况,减少结焦的可能性。

### 3.2.2 做好热态运行的燃烧调整

在锅炉热态运行过程中,要根据实际情况及时进行燃烧调整。首先,要密切关注炉膛出口的氧量,通过调整送风量,使炉膛出口氧量保持在合适的范围内。一般来说,对于不同类型的锅炉和煤种,炉膛出口氧量有一个最佳的控制区间,在此区间内,燃料能够实现充分燃烧,同时又能避免因空气量过多或过少而导致的结焦问题。其次,要合理调整燃烧器的负荷分配。根据锅炉的负荷需求,均匀地调整各燃烧器的出力,避免个别燃烧器负荷过高或过低。同时,要注意观察火焰的颜色和形状,正常情况下,火焰应呈明亮的金黄色,且充满炉膛,无明显的偏斜和闪烁。如果发现火焰颜色异常或出现偏斜等情况,应及时调整燃烧器的运行参数,如一次风、二次风的风速和风量等,以确保燃烧的稳定和充分。此外,还要根据煤质的变化及时调整燃烧参数。当煤的挥发分、灰分等特性发生变化时,要相应地调整一次风、二次风的配比以及煤粉的细度等,以适应煤质的变化,保证锅炉的高效稳定运行,减少结焦的发生。

### 3.3 确定煤粉细度

煤粉细度对锅炉的燃烧和结焦情况有着重要影响。合适的煤粉细度可以使煤粉在炉膛内迅速、充分地燃烧,减少不完全燃烧产物的产生,从而降低结焦的风险。确定煤粉细度时,需要综合考虑多个因素。首先,要考虑煤种的特性。不同煤种的挥发分、灰分等含量不同,其燃烧特性也有所差异。对于挥发分较高的煤种,煤粉可以适当粗一些,因为挥发分容易析出和燃烧,较粗的煤粉也能在炉膛内充分燃烧。而对于挥发分较低、灰分较高的煤种,则需要将煤粉磨得更细一些,以增加煤粉与空气的接触面积,提高燃烧效率。其次,要考虑锅炉的运行工况。在锅炉高负荷运行时,为了保证足够的燃烧强度,可以适当提高煤粉细度;而在低负荷运行时,为了防止燃烧不稳定,可以适当降低煤粉细度。此

外,还可以通过试验的方法来确定最佳的煤粉细度。在不同的煤粉细度下,对锅炉的燃烧效率、结焦情况进行监测和分析,根据试验结果确定出在当前煤种和运行工况下,既能保证锅炉高效燃烧,又能有效减少结焦的煤粉细度。

### 3.4 降低炉膛热负荷

降低炉膛热负荷是防治锅炉结焦的重要措施之一。首先,可以通过调整锅炉的运行负荷来实现。在满足生产需求的前提下,尽量避免锅炉长时间在高负荷下运行。当锅炉负荷过高时,炉膛内的热释放量过大,容易导致炉膛温度过高,增加结焦的风险。因此,可以根据实际用汽或用电需求,合理调整锅炉的负荷,使炉膛热负荷保持在一个相对较低且稳定的水平。其次,可以通过优化燃烧方式来降低炉膛热负荷。例如,采用分层燃烧技术,将不同粒径的煤粉在炉膛内分层送入,使燃料在炉膛内实现更加均匀、充分的燃烧,提高燃烧效率,减少炉膛内的热量集中释放。此外,还可以通过增加炉膛的受热面积来降低炉膛热负荷。在不影响锅炉整体结构和运行安全的前提下,合理增加炉膛内受热面的布置,如增设屏式过热器、再热器等,使炉膛内的热量能够更有效地被吸收,从而降低炉膛内的温度,减少结焦的可能性<sup>[3]</sup>。同时,要注意对受热面进行定期的清洁和维护,保证其传热效率,充分发挥降低炉膛热负荷的作用。

### 结束语

综上所述,发电厂锅炉结焦问题是一个复杂的综合性问题,涉及到燃料特性、炉膛结构、燃烧组织以及运行管理等多个方面。通过深入分析结焦的形成原因,采取针对性的防治措施,如做好燃煤管理、合理调整燃烧、确定合适的煤粉细度以及降低炉膛热负荷等,可以有效地减少锅炉结焦现象的发生,提高锅炉的运行效率和安全性,为发电厂的稳定生产提供有力保障。

### 参考文献

- [1]张华东,胡罡,丁光辉,等.燃烧器对冲布置电站锅炉侧墙水冷壁结焦及高温腐蚀问题解决研究[J].工业加热,2024,53(6):19-23,30.
- [2]杨军岐.浅谈火力发电厂锅炉结焦原因分析及防范措施[J].百科论坛电子杂志,2018(5):370.
- [3]李晨.电厂循环流化床锅炉结焦原因及其预防[J].能源与节能,2021(9):146-147.