

# 厂锅炉化学清洗工艺研究

杨超 汶虎云

西安协力动力科技有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 本文深入分析了电厂锅炉污垢的类型、形成原因及其对锅炉运行的负面影响,并详细阐述了化学清洗的原理、流程、影响因素及药剂选择与应用。同时,探讨了化学清洗工艺的优化方法,包括循环清洗、超声波辅助及在线监测等手段,并提出了清洗质量控制与验收标准,为锅炉的长期稳定运行提供了有力保障。

**关键词:** 电厂锅炉; 化学清洗; 工艺研究

引言: 电厂锅炉作为能源转换的关键设备,其运行效率与安全性直接关系到电力生产的稳定性和经济性。然而,锅炉内部积累的污垢却成为制约其性能发挥的重要因素。污垢不仅降低锅炉热效率,增加能耗,还可能引发金属腐蚀,影响安全运行。因此,深入研究锅炉污垢的类型、形成原因及其对锅炉运行的负面影响,探索高效、安全的化学清洗工艺,对于保障锅炉长期稳定运行具有重要意义。本文将围绕这一主题,系统阐述电厂锅炉污垢分析及化学清洗技术的相关理论与实践。

## 1 电厂锅炉污垢分析

### 1.1 污垢类型及形成原因

1.1.1 钙镁水垢: 类型, 钙镁水垢是锅炉中最常见的污垢类型之一, 主要由水中的钙、镁离子在高温下结晶形成。形成原因, 当进入锅炉的给水中的残留硬度超过标准, 随着水温的升高, 多数钙镁的难溶化合物在水中的溶解度下降, 或者在水加热、蒸发的过程中, 某些易溶性的钙镁化合物转变成难溶化合物, 从而在锅炉受热面上形成水垢。

1.1.2 硅酸盐水垢: 类型, 硅酸盐水垢主要出现在锅炉的高热负荷区域, 如水冷壁管。形成原因, 硅酸盐水垢的形成与炉水中的硅酸盐浓度、热负荷及水质处理方式密切相关。在热负荷高的受热面上, 硅酸钠和氧化铁能相互作用, 形成复杂的硅酸盐化合物。此外, 某些复杂的硅酸盐还可从高度浓缩的炉水中直接结晶析出, 并进一步被蒸发浓缩, 形成坚硬的硅酸盐水垢。

1.1.3 氧化铁垢: 类型, 氧化铁垢是锅炉水冷壁管中最常见的水垢类型, 一般呈贝壳状或鳞片状凸起物。形成原因, 氧化铁垢的形成主要与锅炉基体在高温高压汽水作用下、在其表面生产的铁氧化物。金属表面的铁氧化物会不断积累, 形成氧化铁垢。(1) 化学清洗 **chemical cleaning**: 采用化学药剂除去锅炉水汽系统中垢和氧化皮, 清洁金属表面、形成耐蚀防腐保护膜的清洗

方法。可包括碱洗(或碱煮)、酸洗、漂洗及钝化等。

(2) 污垢: 锅炉水汽系统内表面金属基体以外的腐蚀产物和沉积物。(3) 氧化皮氧化皮氧化皮: 锅炉蒸汽系统中的金属在运行条件下内表面生成的氧化物。(4) 富铬层 **Cr-rich layer**: 靠近金属基体的氧化皮中铬含量高于金属基体, 这部分氧化皮称为“富铬层”。

### 1.2 污垢对锅炉运行的负面影响

(1) 降低热效率: 污垢的导热系数远低于金属, 因此污垢的存在会大大降低锅炉的热效率。当锅炉受热面上覆盖有污垢时, 热量的传递会受到阻碍, 导致锅炉出口蒸汽温度下降, 燃料消耗量增加。(2) 增加能耗: 为了维持锅炉的出口蒸汽温度, 必须增加燃料的供应量, 从而增加了能耗。此外, 污垢还会增加锅炉的水阻, 使水泵的耗电量增加。(3) 引发腐蚀: 污垢的存在还会加剧锅炉的金属腐蚀。污垢下往往存在腐蚀介质, 如溶解氧、氯离子等, 这些介质会加速金属的腐蚀过程。同时, 污垢本身也可能成为腐蚀的催化剂, 进一步加剧腐蚀的发生。(4) 影响安全运行: 污垢的积累还可能导致锅炉的局部过热、变形甚至爆管等安全事故。因此, 污垢对锅炉的安全运行构成了严重威胁<sup>[1]</sup>。

## 2 化学清洗原理及流程

### 2.1 化学清洗原理

化学清洗是锅炉维护中一项关键的技术手段, 它通过利用化学反应原理, 将锅炉内部积累的污垢有效溶解、剥离并去除, 从而恢复锅炉的运行效率和安全性。化学清洗主要依赖于酸碱中和反应、络合反应以及氧化还原反应等化学过程。(1) 酸碱中和反应是化学清洗中最为常见的反应类型。当锅炉内部存在以碳酸钙、碳酸镁等为主要成分的水垢时, 采用盐酸等强酸进行清洗, 这些酸可以与水垢中的碳酸盐成分发生中和反应, 生成可溶性的盐类、水和气体(如二氧化碳)。这一过程中, 原本附着在金属表面的坚硬垢层被逐渐溶解, 从而

达到清洗的效果。盐酸清洗水垢的过程就是一个典型的酸碱中和反应实例，它不仅能够有效去除水垢，还能通过生成的二氧化碳气体的冲刷作用，进一步促进垢层的剥离。（2）络合反应则是利用某些特定的化学剂（称为络合剂）与金属离子形成稳定的络合物，从而将金属离子从污垢中置换出来。这种反应在处理锅炉内的氧化铁垢等含金属离子的污垢时尤为有效。络合剂能够选择性地与金属离子结合，形成易溶于水的络合物，进而将污垢从金属表面剥离。（3）氧化还原反应在化学清洗中主要用于处理含有金属硫化物、氧化物等成分的污垢。通过加入氧化剂或还原剂，可以将污垢中的金属元素从一种价态转变为另一种更易溶解的价态，从而使其从金属表面脱落。这一过程通常需要精确控制反应条件，以避免对锅炉金属造成不必要的腐蚀。

## 2.2 化学清洗流程

化学清洗的一般流程包括清洗前的准备工作、水冲洗、碱洗、酸洗、漂洗和钝化等步骤，每一步都至关重要。（1）清洗前的准备工作是确保清洗成功的关键。这一阶段需要全面检查锅炉设备，确保所有阀门、管道等处于正确状态；同时，准备好所需的清洗药剂、安全防护措施以及必要的监测设备。（2）水冲洗是清洗流程的第一步，旨在去除锅炉表面松散的杂质和污物，为后续步骤提供清洁的工作环境。冲洗过程中，应注意控制水流速度和冲洗时间，以确保冲洗效果。（3）碱洗主要用于去除锅炉内的油污、油脂等有机物。通过加入碱性清洗剂，利用其与油污的皂化反应，将油污转化为可溶于水的物质，再通过冲洗去除。碱洗过程中，应严格控制清洗剂的浓度和温度，以避免对锅炉金属造成腐蚀。（4）酸洗是化学清洗的核心步骤，主要用于去除锅炉内的无机污垢，如水垢、硅酸盐垢等。酸洗过程中，需根据污垢的类型和锅炉材质选择合适的酸洗药剂，并严格控制酸洗温度、时间和浓度。酸洗结束后，应及时进行冲洗，以去除残留的酸液和溶解的污垢。（5）漂洗紧随酸洗之后，旨在去除残留的酸液和溶解的污垢，确保锅炉内部干净无残留。漂洗过程中，应使用清洁的、与锅炉材质相容的漂洗液，并控制适当的冲洗时间和流速。（6）钝化是清洗流程的收尾工作，旨在防止锅炉金属在清洗后受到再次腐蚀。通过向锅炉内注入钝化剂，在金属表面形成一层致密的保护膜，从而隔绝腐蚀介质与金属的直接接触。钝化过程中，应严格控制钝化剂的浓度、温度和时间，以确保钝化效果。

## 2.3 化学清洗工艺的影响因素

化学清洗的效果受多种因素影响，包括清洗药剂的

种类和浓度、清洗温度、清洗时间以及清洗液的流速等。（1）清洗药剂的选择应根据锅炉污垢的类型和锅炉材质而定。不同的污垢成分和锅炉材质对清洗药剂的敏感性不同，因此，在选择清洗药剂时，应充分考虑其腐蚀性、溶解性以及与锅炉材质的相容性。（2）清洗温度对化学反应速率有显著影响。适当提高清洗温度可以加速化学反应，提高清洗效率。然而，过高的温度也可能加剧金属腐蚀，因此，在选择清洗温度时，应权衡清洗效率和金属腐蚀风险。（3）清洗时间的把控同样关键。过短的清洗时间可能无法彻底去除污垢，而过长的清洗时间则可能导致金属腐蚀或药剂浪费。因此，在确定清洗时间时，应充分考虑污垢的类型、厚度以及清洗药剂的溶解能力。（4）清洗液的流速影响污垢的冲刷作用和化学反应的均匀性。适当的流速可以促进污垢的剥离和溶解产物的带走，但过快的流速也可能对锅炉金属造成冲刷损伤。因此，在选择清洗液流速时，应综合考虑污垢的性质、锅炉的结构以及清洗设备的能力<sup>[2]</sup>。

## 3 化学清洗药剂的选择与应用

### 3.1 常用清洗药剂

化学清洗药剂的选择是确保清洗效果和设备安全的关键。常见的化学清洗药剂主要分为酸性清洗剂、碱性清洗剂以及还原剂、缓蚀剂等辅助药剂。（1）酸性清洗剂主要包括盐酸、硝酸以及有机酸等。盐酸因其强烈的溶解能力，特别适用于去除碳酸盐垢，如碳酸钙和碳酸镁，这些垢层常见于锅炉的冷却系统和给水管道中。硝酸因其氧化性强，能有效去除金属表面的氧化层，同时对金属的腐蚀性相对较小，适用于不锈钢和铝等材质的设备。氢氟酸则对硅酸盐垢有较好的清洗效果，这是因为硅酸盐垢中的硅元素能与氢氟酸反应生成可溶性的四氟化硅。有机酸具有腐蚀性小，反应温和，运输安全等特点。（2）碱性清洗剂如氢氧化钠和碳酸钠，主要用于去除油脂、油脂和其他有机物。氢氧化钠因其强碱性，能有效皂化油脂，使其转化为可溶于水的物质。碳酸钠则因其温和性，适用于一些对强碱敏感的材质。（3）还原剂和缓蚀剂是化学清洗中不可或缺的辅助药剂。还原剂能与金属降低体系中三价铁的含量，从而防止清洗过程中与金属基体发生电化学反应增加腐蚀。缓蚀剂则能在金属表面形成一层保护膜，抑制金属在清洗过程中的腐蚀，保护锅炉设备的安全。

### 3.2 缓蚀剂的作用与选择

缓蚀剂在化学清洗中扮演着至关重要的角色。在清洗过程中，金属表面往往会受到清洗药剂的侵蚀，导致腐蚀现象的发生。缓蚀剂的作用机理主要包括在金属表

面形成一层保护膜,阻碍清洗药剂与金属的直接接触,从而降低金属的腐蚀速率。(1)选择合适的缓蚀剂需要综合考虑清洗药剂的种类、锅炉的材质以及清洗条件。例如,当使用强酸如盐酸或硫酸进行清洗时,应选择具有强抑制作用的缓蚀剂,如某些含氮有机化合物,它们能在金属表面形成一层致密的保护膜,有效防止金属的腐蚀。对于不锈钢和铝等材质的设备,应选择对这类材质具有较好保护效果的缓蚀剂,避免清洗过程中发生点蚀或晶间腐蚀。(2)缓蚀剂的选择还需考虑其使用浓度、温度以及与其他清洗药剂的相容性。浓度过高可能导致缓蚀剂在金属表面形成过厚的保护膜,影响清洗效果;浓度过低则可能无法提供足够的保护。温度对缓蚀剂的效果也有显著影响,过高的温度可能破坏缓蚀剂形成的保护膜,降低其保护效果。

### 3.3 清洗剂的复配

清洗剂复配是将不同的清洗剂和助剂进行合理搭配,以提高清洗效果、降低成本的一种有效方法。通过复配,可以充分利用各种清洗剂的优点,形成互补效应,从而实现对污垢的全面清洗。例如,针对复杂的水垢,可以将盐酸与特定的络合剂进行复配。盐酸能够溶解碳酸盐垢和一部分硅酸盐垢,而络合剂则能与金属离子形成稳定的络合物,防止金属离子在清洗过程中重新沉积。这种复配方案不仅能提高清洗效果,还能减少清洗剂的用量,降低成本。此外,对于含有油脂和有机物的污垢,可以将碱性清洗剂与表面活性剂进行复配。碱性清洗剂能够皂化油脂,使其转化为可溶于水的物质,而表面活性剂则能降低水的表面张力,增强清洗剂的渗透能力和去污能力。清洗剂复配时,还需注意各种清洗剂之间的相容性和稳定性。不相容的清洗剂混合在一起可能会产生沉淀、分层或气体释放等现象,影响清洗效果。因此,在复配前应进行充分的试验和评估,确保复配后的清洗剂具有良好的稳定性和清洗效果<sup>[1]</sup>。

## 4 化学清洗工艺的优化与实践

### 4.1 工艺优化方法

优化化学清洗工艺是提高清洗效率和质量的关键。采用循环清洗与浸泡清洗相结合的方式,可以充分利用清洗药剂的溶解和剥离能力,提高清洗效率。循环清洗通过不断循环清洗液,使药剂与污垢充分接触,加速垢

层的溶解和剥离;而浸泡清洗则能让药剂在金属表面停留更长时间,深入渗透并溶解顽固污垢。利用超声波等辅助手段,可以进一步强化清洗效果。超声波的空化效应和微射流作用能够破坏垢层结构,加速垢层的剥离和溶解,提高清洗速度和质量。通过在线监测技术,实时掌握清洗过程中的参数变化,如清洗液的温度、pH值、电导率等,可以及时调整工艺,确保清洗过程在安全、高效的范围内进行。

### 4.2 清洗质量控制与验收标准

为确保化学清洗工作达到预期效果,应制定严格的质量控制措施和验收标准。对清洗药剂进行质量检测,确保其符合使用要求;在清洗过程中,实时监测各项参数,确保清洗过程在安全、可控的范围内进行;清洗后,对设备进行全面检查,评估清洗效果,如锅炉受热面的清洁度、金属腐蚀速率等指标,确保清洗质量符合验收标准。通过这些措施,可以确保化学清洗工作的高效、安全进行,为锅炉的长期稳定运行提供有力保障<sup>[4]</sup>。

### 结束语

综上所述,电厂锅炉污垢的有效分析与化学清洗工艺的优化实践对于确保锅炉的安全运行与高效性能至关重要。通过深入了解污垢类型及其形成机制,结合化学清洗的原理与流程,我们能够精准选择适宜的清洗药剂与工艺,实现对污垢的高效去除。同时,通过工艺优化、辅助手段的引入以及严格的质量控制措施,我们进一步提升了清洗效率与质量,降低了成本,确保了锅炉设备的长期稳定运行。未来,随着技术的不断进步与创新,化学清洗工艺将持续优化,为电厂锅炉的维护与安全运行提供更加可靠的技术支撑。

### 参考文献

- [1]李国华.火电厂化学水处理技术的特点及发展趋势[J].能源与环保,2022,44(6):56-59.
- [2]王强明.火电厂反渗透膜系统化学清洗研究[J].工业水处理,2021,41(9):34-37.
- [3]张文伟.电厂化学水处理工艺探讨[J].化学工程与装备,2020(6):216-217.
- [4]赵丽明.电厂化学水处理技术发展与应用探究[J].化工管理,2021(23):129-130.