

火电厂水力输灰系统阻垢防垢研究

(浙江大学热能工程研究所) 陈亚非 高翔 方梦祥 骆仲泱 倪明江 岑可法

【摘要】 讨论了灰水输送系统的防垢措施及阻垢剂阻垢机理,并对电厂灰中氧化钙含量丰富的神府东胜煤进行了阻垢防垢试验研究,分别讨论了不同阻垢剂配方下的阻垢特性、阻垢率以及采用钢橡复合管、灰水预沉淀池的阻垢防垢效果。并对几种方法作了比较分析。

关键词: 水力输灰; 结垢; 防垢

中图分类号: TK227.3

1 引言

在火电厂湿式除尘和部分干式除尘系统中,水力输灰被广泛采用。但由于输灰水水量大、回收率低的特点,很难对其进行预处理,大量未处理水用于冲灰导致结垢。能源部“八五”电力环保计划目标是在此期间有40%的电厂建有灰水闭式循环系统,但在采用闭式循环系统的同时,更加重了冲灰系统结垢的可能性。这种状况对于碱性氧化物含量丰富的电厂灰尤其严重,因此研究灰渣水力输送特别是碱性氧化物含量丰富的灰渣水力输送过程中的阻垢防垢问题具有重要意义。对此,我们结合电厂工业应用的需要,开展了氧化钙含量达20%以上的神府东胜煤煤灰在水力输送过程中的阻垢防垢的研究工作。

2 灰水输送系统现有防垢措施

防垢方法可分为化学法和物理法两种。化学法阻垢的研究较早,应用也较广泛,理论和技术也较成熟,主要有:

(1)利用炉烟中酸性气体^[1]中和呈碱性的输灰水的炉烟处理法是电厂冲灰管道防垢中应用最多的方法,防垢效果较好,主要问题为抽吸烟气温度较低,易引起引风机腐蚀。

(2)控制pH值,促使CaCO₃在管前沉淀,也不失为防垢处理的好方法。

(3)阻垢剂、分散剂阻垢方法设备简单,操作方便,维护工作量小,是目前回水管防垢技术中较为成熟的一种。但总的来讲维护费用较高,限制了它的广泛应用。

物理法远不如化学法应用广泛,主要有静电法、磁法、超声波法及电解法等,其中电解法孔蚀危险大,超声波法还未显示良好应用价值,仅静电法和磁法表现出一定优越性。磁化法所需设备比较容易获得,且既不需要维护和保养,也不影响对管路设备的检修,因此随着试验研究的发展,磁化法将会在我国得到应用;静电法的应用不受水质限制,稳定性好,操作方便,运行费用低,耗电量极少,应用于冲灰系统的防垢有一定的前景。

无论哪一种防垢方法,其阻垢防垢思路不外乎以下三种:

(1)加速管前CaCO₃的生成速率,使其成垢于管前,因而结垢所必需的CO₃²⁻、Ca²⁺浓度能在管内保持较低值,从而有效地抑制了管内结垢的发生;

(2)不试图去降低管内的CO₃²⁻、Ca²⁺浓度,而把力量用在防止或破坏CaCO₃晶体的生成方面,阻止CaCO₃晶体自由、正常地生长;

(3)不回避管内结垢,但通过改变管壁材料等一系列措施,降低结垢晶体在壁面上的附着能力,从而使之易与灰水一起流出管外,例如采用钢橡复合管等。

针对我国电厂目前的实际情况,我们选择在输灰管道前加预沉淀池^[2,3]、在输灰水中添加阻垢剂以及使用钢橡复合管作为输灰水管道等几种方案对阻垢现象进行研究。

3 阻垢剂阻垢防垢机理

冲灰水系统结垢主要为CaCO₃垢,结垢过程即

收稿日期: 1998-06-23 收修改稿: 1998-08-26

作者简介: 陈亚非(1973-),男,河南高丘市人,工程师,主要从事烟气脱硫及灰水结垢等方面的研究及应用工作。通讯处: 310012 杭州市学院

路102号杭州机械设计研究所 Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

CaCO₃ 在水中的结晶析出过程主要经历生成 CaCO₃ 饱和溶液、CaCO₃ 过饱和溶液、结晶核及无定形物几个阶段, 最后以 CaCO₃ 结晶体析出。形成过程示意图如图 1 示。无论是物理防垢还是化学防垢方法, 都是从控制其中的一个或几个步骤出发, 来达到阻垢目的。

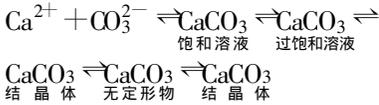


图 1 输灰管道钙垢组形成的链式过程示意图

阻垢剂、分散剂能与水中的硬度离子形成可溶螯合物, 使更多的硬度离子稳定于水中, 相当于增加了微溶盐的溶解度, 从而减小了生成过饱和溶液的可能性。通过进一步研究发现, 阻垢剂主要通过低剂量效应、晶格畸变作用和分散作用来控制沉积。

冲灰管道中不加阻垢剂形成的垢厚而坚硬, 加入阻垢剂后垢层薄而疏松, 易于脱落。

4 阻垢剂阻垢特性的研究

根据工业应用要求, 试验水质的条件为: pH = 12.0 ~ 12.4, [Ca²⁺] = 550 ~ 750mg/kg, 并据此进行了阻垢剂的选择、复配及动态试验, 以确定合适的阻垢剂配方、加药量和加药效果。试验用水模拟台运行灰水, 添加一定量的阻垢剂后边搅拌边测定 Ca²⁺ 含量, 直至稳定。阻垢效果用阻垢率 η 表示:

$$\eta = \frac{[Ca]_{zu} - [Ca]_{we}}{[Ca]_0 - [Ca]_{we}}$$

式中 [Ca]_{zu} 为加阻垢剂后灰水中 Ca²⁺ 平衡浓度 (mg/kg);

[Ca]_{we} 为未加阻垢剂时灰水中 Ca²⁺ 平衡浓度 (mg/kg);

[Ca]₀ 为灰水中 Ca²⁺ 初始浓度 (mg/kg);

试验所采用的主要阻垢剂由表 1 列出。

表 1 试验研究的阻垢剂

类别	名称
无机阻垢剂	磷酸钠、二聚磷酸钠、六偏酸钠
有机阻垢剂	Gm-406
聚合电解质	聚乙烯醇、聚甲基丙烯酸、聚丙烯酸、聚乙二醇、聚马来酸酐

为了反应不同阻垢剂之间的协同效应, 我们进行了多轮优化试验, 分 36 组进行阻垢剂种类的配合和剂量配比试验。试验发现, 阻垢率大于 80% 的配

方共有六种, 即 4、9、19、33、34 和 35 号, 因而进一步对这六种阻垢剂进行实际运行阻垢效果研究。为模拟封闭管道灰输送过程中的结垢现象, 本试验利用带塞子的磨口三角瓶替代密封管道, 用磁力搅拌器对瓶内灰水进行匀速搅拌。采用称重法计量三角瓶内 1 小时的结垢量。图 2 示出了六种阻垢剂在不同加药量下的阻垢效果。

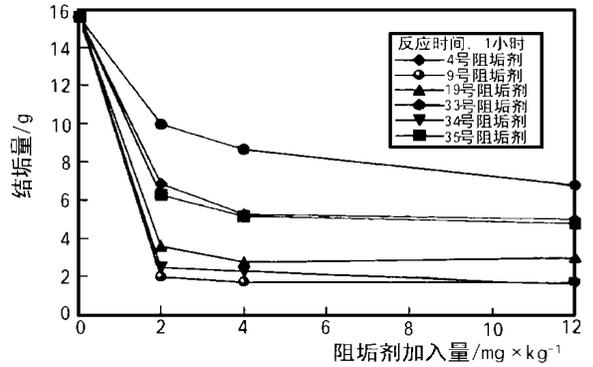


图 2 不同阻垢剂阻垢特性研究

由图 2 可见, 在灰水中加入阻垢剂后能使结垢明显缓解。其中以第 9 号阻垢剂配方阻垢效果最为显著, 结垢量降低 90% 左右。为进一步研究阻垢剂在防止管道结垢方面的作用, 在灰水动态结垢模拟试验台中进一步对 9 号阻垢剂配方进行了试验研究。灰水动态结垢模拟试验台如图 3 示。表 2 示出了使用阻垢剂前后灰水输送管道的结垢速率。

表 2 9 号阻垢剂阻垢试验结果

工况	用药量 (mg/L)	平均结垢速率 (g/m ² h)
使用阻垢剂	2	4.01
未使用阻垢剂	0	35.75

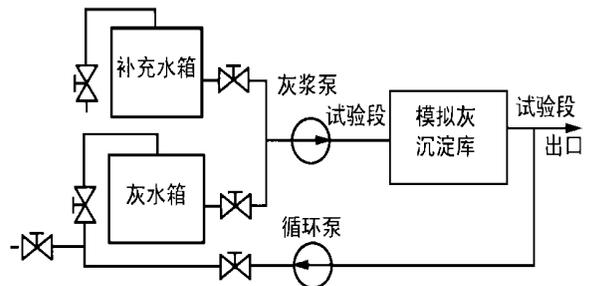


图 3 灰水动态结垢模拟试验台示意图

5 钢橡复合管及预沉淀池阻垢效果研究

试验在灰水动态结垢模拟试验台上进行。试验用灰取自神府东胜煤灰。试验用水按实际运行冲灰

水质配制以模拟电厂灰水系统的实际运行状况。为考虑试验方便,选择推荐范围内的水灰比为 15:1。

由图 4 可见,管道的材料对管道内的结垢速率会产生明显影响。在运行的第 15 个小时,结垢速率以普通钢管最高,达 35.75g/(h·m²),不锈钢管次之为 31.38 g/(h·m²),而橡胶管的结垢速率明显低于金属管 3.73 g/(h·m²),仅为金属材料的 10%左右。可见碳酸钙硬垢在橡胶表面的附着能力较弱。这说明在输灰管道中采用新型钢橡复合管,可起到减轻管道结垢的作用,并且新型钢橡复合管的应用还将有利于钙垢的清洗,减少清洗液对金属管道的腐蚀。

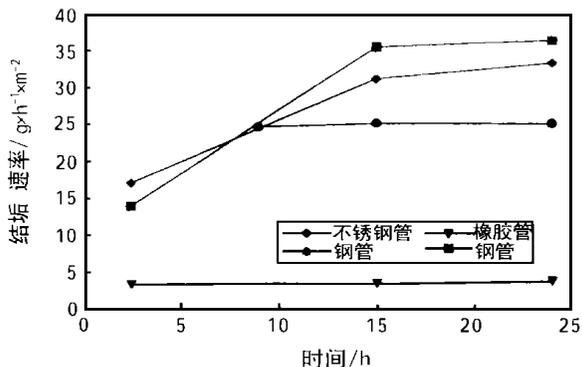


图 4 管道材质对结垢速率的影响

由图 5 可见^[4],灰沉淀库停留时间由 0 增至 30 min 时,结垢速率下降到原来的 1/34 左右。这是因为在灰沉淀库中较长的停留时间使补充水中的大部分 HCO₃⁻ 离子在碱性条件下与 Ca²⁺ 离子反应生成 CaCO₃ 沉淀,因而大量消耗。因此经灰水沉淀后的灰水在以后管道中生成 CaCO₃ 垢的量也就大大降低。

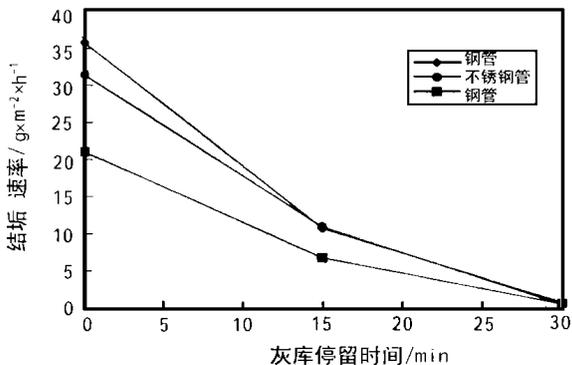


图 5 灰沉淀库停留时间对结垢速率的影响

6 神府东胜煤灰水力输送方案防垢效果分析

试验结果表明,采用第 9 号阻垢剂配方可使结垢速率降到原来的 10%;采用钢橡复合管也可使结

垢速率降至原来的 10%左右;采用灰水预沉淀池法处理,如能使灰水在沉淀池中停留时间大于 30 分钟,结垢速率也将下降到原来的 1/34 左右。该法灰水流程如图 6 示^[2]:

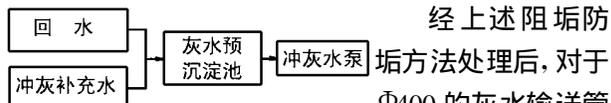


图 6 采用预沉淀池的灰水流程示意图

经上述阻垢防垢方法处理后,对于 Φ400 的灰水输送管道年结垢情况由表 3 所示。由表 3 可看出,神府东胜煤灰水力输送造成的管道结垢问题较为严重,采用钢橡复合管和加阻垢剂方案使管道结垢情况可大为缓解,年结垢仅为 23~25 mm,但钢橡复合管的成本较高;预沉淀池防垢效果最好,但需要建立较大的灰水沉淀库,这在技术上是可行的,但在具体实施时可能存在一定困难。电厂应根据自己的实际情况选择适合自己的阻垢防垢方案。

表 3 Φ400 灰水输送管道年结垢情况估算

措施	年结垢情况(运行 7000 小时)
不采用防垢措施	140 天管道全被垢堵塞
采用钢橡复合管	管道结垢 23mm 厚
采用阻垢剂	管道结垢 25mm 厚
采用预沉淀池	管道结垢 7mm 厚
采用钢橡复合管结合阻垢剂	管道结垢 15mm 厚

7 结论

- (1)第 9 号阻垢剂配方阻垢效果最显著,可使结垢速率降低 90%左右;
- (2)采用钢橡复合管也可使结垢速率降低 90%左右;
- (3)采用预沉淀池阻垢效果最好,可使结垢速率降低 97%左右;
- (4)对于 Φ400 的灰水输送管道,不采用防垢措施 140 天管道会被垢全部堵塞;采用钢橡复合管,年运行 7000 小时,管道结垢 23 mm 厚;采用第 9 号阻垢剂,管道结垢 25 mm 厚;采用预沉淀池,管道结垢 7 mm 厚;采用钢橡复合管结合阻垢剂,管道结垢 15 mm 厚。

参考文献

- [1] 靳兴玉. 燃煤电厂冲灰系统中灰-水-CO₂ 体系变化规律的研究. 热力发电, 1995, (4): 26~29, 44.
- [2] 朱志平, 刘明, 陈云清. 燃煤电厂灰水闭路循环系统防垢新技术. 热力发电, 1994, (6): 47~49.
- [3] 于萍, 崔兆钧, 靳兴玉. 防止冲灰水回水系统结垢的对策. 华北电力技术, 1995 (3): 35~37.
- [4] 齐连惠等. 火力发电厂水力冲灰系统管道结垢影响因素试验研究. 化学清洗, 1995(4): 1~6.

(复 编)

observed when the blade spacing ratio has a variation interval of 2.5 ~ 3.0. **Key words:** pulverized coal concentrator, mound body, louver, resistance characteristics

火电厂水力输灰系统阻垢防垢研究 = **A Study of Scale Inhibition and Prevention for a Thermal Power Plant Wet-ash Transportation System** [刊, 中] / Chen Yafei, Gao Xiang, Fang Mengxiang, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

Discussed in this paper are the scale prevention measures for an ash water transportation system and the scale inhibition mechanism of scale inhibiting agents. An experimental study of scale inhibition and prevention was conducted of a kind of utility boiler-fired coal with ash rich in CaO, addressing such a variety of topics as the scale characteristics and scale inhibition rate when scale inhibitors of various formulas are adopted, and the scale inhibition and prevention effectiveness when steel/rubber combination pipes and ash water precipitation tank are employed. A comparison analysis has also been performed with respect to different kinds of methods used. **Key words:** wet ash transportation, scale, scale inhibition and prevention

各向异性散射介质的辐射传热分析 = **An Analysis of Radiation Heat Transfer in Isotropically and Anisotropically Scattering Media** [刊, 中] / Xing Huawei, Ruan Jian, Zheng Chuguan (Central China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

With the use of a combined Monte-Carlo and Zone method of numerical calculation (called MCZ method for short) an analysis was conducted of the radiation heat transfer in isotropically and anisotropically scattering media. For convenience of comparison an one-dimensional slab system is employed. With the help of specially prepared programs calculated respectively are the hemispherical reflectivity and transmissivity of isotropically scattering absorbing media and linear phase-function anisotropically pure scattering media as well as the radiation heat transfer in flat slabs of linear phase-function anisotropically scattering absorbing media. Fairly satisfactory conclusions were obtained. **Key words:** hemispherical reflectivity, hemispherical transmissivity, MCZ method, isotropical scattering, anisotropical scattering, phase function

用 PIV 测量法研究燃气轮机叶轮与导叶叶轮间的速度场 = **A Study of the Velocity Field Between a Gas Turbine Runner and Guide Vane Wheel with the Use of PIV Measurement Method** [刊, 中] / Zhao Yabin (Jiangsu Petrochemical Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

A test rig for the experimental research of fluid flow condition inside the cavity ahead of a gas turbine first stage blade wheel is described along with the test method and results. Particle imaging technology was employed to measure the velocity field inside the disk cavity. Analyzed is the effect of the magnitude of seal gas flow rate on the flow field at various locations. Also studied is the relationship between the critical parameters of main flow into the cavity and the flow field. **Key words:** gas turbine, experiment, PIV system

分配联箱气液两相流流型对垂直并联管分配特性的影响 = **The Effect of Gas/Liquid Two-phase Flow Pattern in a Distribution Header on the Distribution Characteristics of Vertical U-Junction Pipe System** [刊, 中] / Cheng Zhuoming, Zhou Yunlong (Northeast Power Engineering Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

A theoretical and experimental study was conducted of the flow distribution characteristics of low-mass flow in a vertical U-junction parallel-connected pipe system. Obtained were the distribution characteristics of gas phase and gas/liquid two-phase mass flow rate as well as the flow pattern record of various branch pipes. Also analyzed is the effect of flow pattern in distribution headers on the flow distribution and the flow pattern in various branch pipes. **Key words:** gas/liquid two-phase flow, parallel pipes, flow distribution

双调风燃烧器锅炉燃烧参数优化的试验研究 = **An Experimental Study on the Optimization of Combustion Parameters of a Dual Air-Register Burner Boiler** [刊, 中] / Hu Jianguo, Huang Yuming, et al (Zhejiang Provincial