

声波吹灰器在 300MW 机组上应用和经济分析

赵 华

（上海华电电力发展有限公司望亭发电厂，江苏 苏州 215155）

摘 要：积灰结渣是各种锅炉普遍存在的问题，解决锅炉受热面的积灰问题，以提高锅炉的整体运行水平。

关键词：吹灰器；机组；经济

0 引言

对于锅炉运行的经济性、安全性影响很大。锅炉积灰结渣所带来的最直接问题是导致锅炉的换热效率下降。由于锅炉受热面上的积灰和灰渣层的导热系数比金属管壁低近 1000 倍，所以积灰会严重影响锅炉受热面内的热量传导，使得锅炉负荷能力下降，最终导致停炉清洗维修，造成严重的经济损失。因此，要实现锅炉装置“安、稳、长、满、优”运行的目标，就必须解决锅炉受热面的积灰问题，以提高锅炉的整体运行水平。

现代的声波吹灰技术的提出和发展始于20世纪70年代的欧洲，1978年进入美国市场，90年代引入我国，并开始电站和石化锅炉上试验性地使用，逐步得到推广应用。声波吹灰是指利用声场能量的作用，清除锅炉换热器等表面积灰和结焦的方法。声波吹灰技术包括声波发声器和控制器的设计、生产、安装与使用等一整套的软硬件技术。目前国内市场有十余家从事声波吹灰技术研制和推广应用的研究机构、生产企业、公司或代理，生产或销售多种形式的声波吹灰器。声波吹灰器将逐渐得到更广泛的应用。

1 设备概况

望亭发电厂14号锅炉为上海锅炉厂引进美国燃烧工程公司技术设计制造的SG-1025/16.86-M856亚临界压力一次再热控制循环锅炉，单炉膛倒U型半露天布置，四角对冲正反切向燃烧，后烟井双烟道，再热蒸汽烟气挡板调温，固态排渣，平衡通风，全钢架悬吊结构。2001年投产运行。

望亭发电厂14号锅炉，在锅炉水冷壁布置IR-3D型短伸缩式吹灰器48台，在延伸墙及竖井烟道内布置CC-I型长伸缩式吹灰器26台，在两台预热

器烟气出口和进口处，各装有一套燃气脉冲吹灰装置。吹灰器参数见表1。

表1 吹灰器参数

名称	烟道吹灰器	水冷壁吹灰器
型号	CC—I	IR-3D
行程/mm	6500	267
吹灰介质	前屏出口蒸汽	
蒸汽温度	≤350℃	
蒸汽压力/MPa	1-1.5	1.2-1.5
吹灰管转速/(r/min)	10	2.5
每次工作时间/s	400	247
吹灰管移动速度/(mm/s)	32.7	290
有效吹灰半径/ m	2.5	1.5-2
喷嘴只数/只	2	1
蒸汽消耗量/(kg/s)	1.5	0.22
整组运行时间/ min		176.16
制造厂	上海电站辅机厂 湖北戴蒙德机械有限公司	

2 加装声波吹灰器必要性

此锅炉是上海锅炉厂生产，1989年投产的亚临界直流锅炉，在2000年改造成亚临界汽包循环锅炉，锅炉尾部烟道的低温再热器、低温过热器、省煤器部位在2000年没有进行改造，在历年的机组检修中在蒸汽吹灰器吹扫区域安装过防磨瓦，但在低温再热器、低温过热器、省煤器部位管子第二排以下也有明显吹灰器吹损现象，为了防止低温再热器、低温过热器、省煤器部位管子被过度吹损，我厂对蒸汽吹灰器蒸汽压力进行调整，将其蒸汽压力适当降低，这对减轻管壁吹损减薄效果比较明显，但由于吹灰器蒸汽压力在长期中易发生偏移，所以仅通过调整吹灰器蒸汽压力难以做到有效防止受热面管壁吹损，另外，对发现没有加装防磨瓦而被吹损低温再热器、低温过热器、省煤器管子加装了防磨瓦，因施工条件等因素限制，低温再热器、低温过热器、省煤器管排第三、第四层都无法加装防磨瓦。由于吹灰蒸汽射流角度的原因，防磨瓦也不能完全掩盖

被保护而不被蒸汽吹扫，同时过多使用防磨瓦会使锅炉排烟温度提高。

在历年机组检修过程中为了防止锅炉“四管”泄漏，加大力和物力投入，对重点区域进行重点检查和制定相关措施。这种防爆防磨检查只能最大限度的减少蒸汽吹灰器吹损爆管可能，但难以从根本上消除爆管事件。

3 加装声波吹灰器可行性

3.1 声波吹灰器工作原理

声波吹灰器主要由压缩气源、电子控制器和声波发生器组成。其工作原理是：将空气经过过滤器净化后，通过声波发生器并在电磁阀的控制下将压缩空气的能量由声波发生器转变为声能，调制成声波，以声波的方式向外传递，声波通过声波导管经辐射喇叭的规整放大后以一定的频率、工作程序和周期传入容器内；声波在弹性介质里传播，声波以直射、渗透、反射和绕射等形式叠加形成一个不留死角的强大谐振声场，循环往复地作用在容器表面的积灰上，周而复始的对积灰施以拉、压高速循环的变动载荷，对灰粒之间及灰粒和容器壁之间的结合力起到减弱和破坏的作用；从微观上看，积灰是由于大量微小灰粒子的表面张力、粒子之间及其管壁之间的粘滞力、分子附着力、静电吸引力以及化学亲和力和多方面的作用在容器表面上的积聚，而声波的作用就是加速空气分子的振动作用，使空气分子密布在整个空间里，形成在积灰粒子的周围密布着亿万个空气分子，当这些分子都以共同的强度和频率往复振动时，它的作用力就不容轻视；声波持续工作，灰粒与容器壁之间的结合力减弱到一定程度后，最终会导致疲劳破坏而疏松，使积灰松散脱离，或被气流冲刷带走，达到吹灰的目的。

声波在容器内呈球面辐射，波速较高，声波衰减小且反射性强，其作用是充满空间，没有死角，反复均匀地作用于容器表面。钢铁的声阻(介质的密度 ρ 和声波在该介质中的速率 v 的乘积 ρv)远大于空气介质的声阻，一般情况下可以认为声波在空气和钢铁的界面发生了完全反射。波的传播过程就是振动的传播过程，也就是能量的传递过程。介质中的能量密度 e ，即单位体积中介质的机械能，为单位体积中介质的动能 e_k 与弹性势能 e_p 的和对于简谐振动，单位体积中介质的机械能为：

$e=e_k+e_p=\rho A^2\omega^2\sin^2\omega(t-r/v)$ 其中： ρ 为介质密度， A 为振动振幅， ω 为角频率($\omega=2\pi f$ ， f 为振动频率)， t 为时间， r 为距离， v 为波的传播速度。由此可见，介质中的能量密度和振幅的平方、频率的平方、介质的密度都成正比。平均能量密度为 $e=\rho A^2\omega^2$ 。波源是能量的来源，能量沿着波速的方向传播。声波吹灰是非接触性吹灰，是以交变的、快速的、急剧的、反复的波动形式传递能量。在介质密度一定的情况下，介质中的能量密度取决于两个关键因素，即声波振幅和声波频率。这两个因素也是声波能够吹灰的关键。

声波振幅可以简单地看作是声波的力量，而频率表示空气粒子单位时间内来回振动的次数。声波振幅越高，振动频率越大，声波的作用就越强。但声波的振幅也有一定的限度，振幅太高，声波将泄露，会对环境产生噪声污染。声波频率也是如此，声波频率太高，则声波波长变短，声波的绕射能力就差，声波衰减就快。但是如果频率小于 60Hz，声波将可能破坏固体结构以及机械连接装置。所以，声波振幅和声波频率是衡量声波吹灰效力的两大要素，在一定范围里，声波强度和声波频率的值越高，则声波吹灰的效力越强。

3.2 几种类型声波吹灰器特点

声波吹灰器是一种防止灰尘在工业设备上集灰、板结的低频、高能喇叭。其是通过利用声波使粉尘颗粒产生振动从设备表面脱落的原理来清灰。一般情况下，声波吹灰器根据发声机理可以分为旋笛式声波吹灰器、膜片式声波吹灰器和高效能大功率宽频带免维护声波吹灰器。

3.2.1 旋笛式吹灰器

旋笛式吹灰器的工作原理是利用电动机带动一个旋转的阀门，反复开通和关断气流的喷口，使喷出的气流断续而成为声波，但压缩空气中因带有水份，易引起喷口腐蚀和卡涩。

3.2.2 膜片式吹灰器

对于常用的膜片式吹灰器，膜片声波发生器中的膜片发声头能产生特定频率的能声波(一般为 75Hz，147dB)破坏粉尘原有结构，使用 0.48MPa~0.62MPa 压缩空气使内部的高强度膜片产生振动，从而形成高能声波。膜片声波吹灰器的结构相对简单，其控制也较简单，只需要控制一个 3/4 两位两通膜片式电磁阀的开闭就可以控制声波吹灰器的发声

/关闭。声波吹灰器经全面调试后，只要发声正常、供气正常，就能安全可靠运行。但膜片易经常损坏更换增加生产成本。

3.2.3 高效能大功率宽频带免维护吹波吹灰器

高效能大功率宽频带免维护吹波吹灰器发声效率高，声频范围为 30 Hz~2100Hz，声波频带为 30 Hz~2100 Hz 的双主峰宽频带。声源声压级大于 155db，声源声功率 3150 声瓦，声波方向性为前方半椭圆形，声波吹灰器有效空间为前小后大的半个椭圆形体：在炉墙附近的球体径向直径为 6m~8m，前方轴向长度为 10m~16m，声波吹灰器耐热温度达到 1100℃，选用材质是耐热、耐磨、无需冷却的合金钢，清灰效果好、清灰无死角、动力消耗小；它无机械运动构件，无磨损、耐腐蚀、搞老化、使用寿命长，基本免维护；安装方便，占用空间小，不影响其他检修作业；避开了锅炉构件的本征频率，避免诱发管束等振动，对设备无害；本产品采用声波程序控制器控制，可自成独立控制系统，也可接入 DSC 系统，实现全自动化。

为了彻底解决我厂多年来锅炉尾部受热面区域因吹灰蒸汽吹损减薄受热面管子的生产难题，对各类声波吹灰器进行充分调研、考察、论证。最后决定加装 40 台高效能大功率宽频带免维护吹波吹灰器。

4 应用效果经济分析

14 号机组锅炉尾部烟道增设 40 台声波吹灰器，14 号机组的压缩空气系统，配备 2 台 4L-20/8-I 型、2 台 GA132SW-8.5 型、4 台 GA132-8.5 型气泵，10 台 6m 的储气筒。一般情况下，电除尘一、二、三电场及省煤器的仓泵需由三台气泵供气，另外五台

气泵中，一台供杂用气，其它作备用。

4.1 蒸汽节省量

本次在锅炉尾部烟道停用蒸汽吹灰器 26 台，每台烟道吹灰器蒸汽消耗量 1.5kg/s，吹灰器以对吹形式进行吹灰，以每天为一个吹灰周期，每年运行 7500h。年耗气量 4875t，按 150 元/吨计算，费用约 73 万元。

4.2 气泵的耗电量

加装声波吹灰器 40 台，单台声波吹灰器流量为每分钟 2.4m³，动力气源为压缩空气，压力为 0.6MPa；每台声波吹灰器工作 4 分钟，相邻的两个声波吹灰器之间停歇间隔 1 分钟。锅炉运行期间始终连续投运、间歇式巡回吹灰。

每台气泵压力为 0.6MPa，曲轴转速 485r/min，排气温度≤160℃，进气温度≤40℃，每年声波吹灰器投运气泵多增加耗电 83907kWh。按 0.3 元/kWh 计算，费用约增加 2.5 万元。

年净收益 73-2.5=70.5 万元。

5 结论

从安全性及经济性考虑，我厂锅炉尾部烟道加装声波吹灰器是可行的，可达到有效清灰的目的。声波吹灰器发声效率高、功率大、清灰效果好、清灰无死角、动力消耗小，无磨损，耐腐蚀，使用寿命长，基本免维护，安装方便等功效，将为解决锅炉“四管”泄漏的弊端，提供了一种有效的、安全的、经济的可推广的技术措施。

作者简介：

赵 华（1969-），江苏苏州人，工程师，主要从事火电厂锅炉技术管理工作，E-mail:jfy_2009@163.com。