

# 电站锅炉受热面除灰新技术开发与应用

## Development and Application of A New Technology for Cleaning Fouled heating Surfaces in Utility Boilers

余立新<sup>1</sup>, 孙文超<sup>1</sup>, 吴承康<sup>1</sup>, 朱颖<sup>2</sup>, 刘培树<sup>2</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 深圳能源集团妈湾发电总厂, 广东 深圳 518052)

**摘要:** 中国科学院力学研究所开发成功的燃气脉冲除灰技术, 采用一种高能量、脉冲式、干法除灰的新思路, 从根本上克服了蒸汽和压缩空气吹灰的弱点。通过对可燃气体非稳态燃烧机制的研究, 分析管道结构对火焰速度和冲击波压力的影响。本技术在深圳妈湾发电总厂的运行结果表明, 与蒸汽吹灰相比, 可使锅炉排烟温度下降 10~15 °C, 空气预热器烟气流阻力下降 700~800 Pa, 引风机电流平均降低 20 A, 提高了机组运行热效率、安全性和运行稳定性。

**关键词:** 燃气脉冲; 电站锅炉; 空气预热器; 除灰

**Abstract:** The combustion gas-pulse ash-cleaning technology developed by the Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, is a new type device for cleaning fouled heating surfaces in utility boilers, featuring high energy pulse and dry-cleaning. It overcomes the fundamental weakness of the steam jet and compressed air ash-cleaning. In the paper, the unsteady combustion mechanism of combustible gas is discussed, and dependence of impact wave overpressure and flame speed on configuration of tube is analyzed. The operation results of the technology in Shenzhen Mawan General Power Plant indicate that, compared with steam jet ash-cleaning, it can reduce boiler flue (exhaust) gas temperature by 10~15 °C, cut down gas flow resistance by 700~800 Pa in air preheater, and reduce the electric current of induced draft fan by 20 A on the average. The application of this technology in power plants to date has enhanced the efficiency, safety and stability of generating sets operation, and produced remarkable social and economical benefits.

**Key words:** combustion gas-pulse; utility boiler; air preheater; ash-cleaning

中图分类号: TK227.3

文献标识码: B

文章编号: 1004-9649(2001)10-0015-04

我国电站锅炉燃用大量高灰、高硫煤, 致使尾部受热面出现严重积灰, 影响传热和烟气流通, 尤其是通道截面较小的对流受热面, 甚至会堵塞烟气通道, 以致锅炉出力降低, 甚至被迫停炉。国内外最常用的蒸汽吹灰方法往往会使烟气湿度增加, 更容易造成锅炉尾部受热面积灰、腐蚀和堵塞。此外, 也有采用化学和机械清洗及压缩空气吹灰等方法, 但这些技术存在辅助设备庞大、操作复杂、故障率高, 除灰效果欠佳等缺点。因此, 电站锅炉除灰技术的更新换代已势在必行。

中国科学院力学研究所开发的燃气脉冲除灰技术, 多年来通过实验室研究及电厂试验和工业实践, 解决了锅炉受热面除灰的关键技术问题: (1) 常规条件下可燃气体快速燃烧, 以产生所需压力脉冲的技

术; (2) 高性能快速燃烧装置特殊结构的设计; (3) 安全运行技术及通用性问题。实践证明, 采用本技术在已积灰的空气预热器上使用, 可清除积灰和一些硬质灰垢, 从而使排烟温度降低、空气预热器烟阻下降, 提高机组带高负荷时的稳定性。

### 1 燃气脉冲除灰原理

燃气脉冲除灰技术是利用可燃气体快速燃烧产生一定强度的压力脉冲波, 反复作用于积灰表面上, 从而将积灰或灰垢击落 (见图 1)。

由图 1 可见, 该原理可概括为 3 个过程: (1) 可燃预混气体在特殊设计的燃烧室中快速燃烧, 产生所要求的峰值压力; (2) 在此压力驱动下, 从输出管

收稿日期: 2001-01-04; 修回日期: 2001-06-26

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999022305)

作者简介: 余立新 (1968-), 男, 江西上饶人, 助理研究员, 从事煤粉燃烧与锅炉受热面除灰技术的研究。

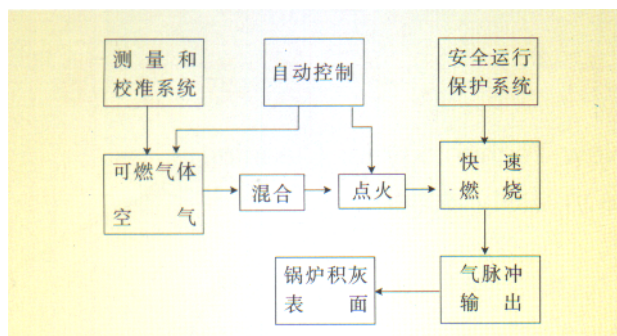


图1 气脉冲除灰系统原理框图

喷嘴向积灰表面发射冲击波和高速气流；(3) 高能、高加速度、脉冲式运行的燃气射流及冲击波反复作用在积灰表面，即使是较硬质的灰垢，也能使其“振松”并脱落。

## 2 系统研究

燃气脉冲除灰系统主要包括：气体流量测控系统、点火及运行控制系统、安全保护及快速燃烧系统、脉冲波输出管。

### 2.1 可燃气体的非稳态燃烧机制

预混火焰在布置有障碍物的管道中传播时，障碍物产生的扰动引起湍流强度增加，导致火焰不断加速，火焰加速又引起更大强度的扰动，这是一种正反馈机制；火焰加速达到一临界速度时，火焰传播状态将由爆燃转变为爆轰，在管道中和出口处产生压力很高的爆轰波，可能会对设备造成破坏。为保证除灰系统安全可靠运行，必须了解可燃气体的非稳态燃烧规律。

#### 2.1.1 可燃气体浓度对火焰速度的影响

通过对不同燃气包括危险性较大的氢气和乙炔气等的火焰传播规律进行系统的实验研究和理论分析，其燃气火焰速度随浓度的变化规律见图2。从图2中可看出，可燃气体浓度太低时，火焰不能向前传播，无法产生冲击波，但浓度过高时，又会产生爆轰，可能影响设备正常运行。

#### 2.1.2 冲击波压力随火焰速度的变化

图3显示了在上述条件下冲击波压力随火焰速

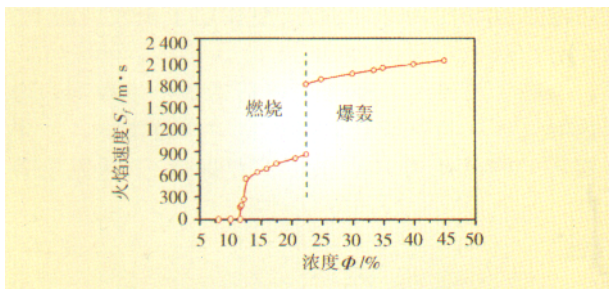


图2 火焰速度随浓度的变化

度的变化曲线，表明随着火焰速度上升，冲击波压力随之增大。图2、3表明，在燃气脉冲除灰系统应用中，必须谨慎选择可燃气体的浓度范围，这样既能保证有效地除灰，同时又不危害电厂设备安全。

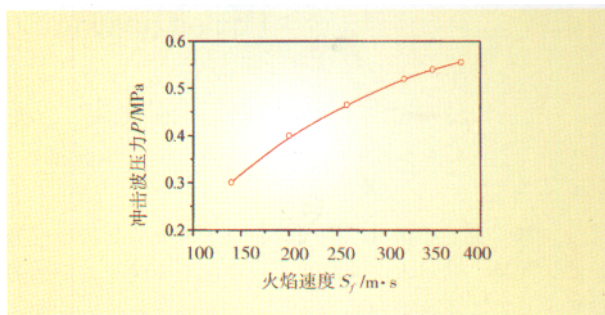


图3 冲击波压力随火焰速度的变化

### 2.2 管道结构对火焰速度的影响

大量实验表明，火焰速度不仅和可燃气体浓度有关，同时也取决于火焰管道传播结构（见图4）。由图4可明显看出，管内布置有障碍物时，火焰在传播过程中迅速加速，最后达到最大火焰速度；而在无障碍物光管中，火焰几乎没有加速现象。有障碍物时的火焰速度为光管相应值的4倍多，火焰传播管道的结构极大地影响火焰速度。

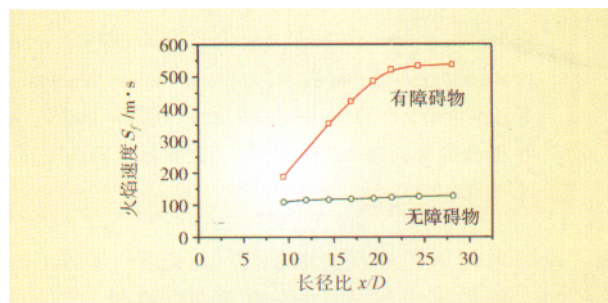


图4 管道结构对火焰速度的影响

### 2.3 通用型燃气脉冲除灰系统的研制

通过大量实验室研究和工业试验，研制成功通用型燃气脉冲除灰系统。其特点是既适用于电厂燃煤锅炉，也适用于燃油锅炉，同时也适用于其它动力锅炉。在烟气中含有氟化氢等腐蚀介质时也可使用。该系统可使用包括氢气、乙炔气在内的各种常用气体燃料。本系统设计基础是我国电厂现有装备，可使用电厂常规低压气源（厂用燃烧风）作为本技术的燃烧空气源，从而降低成本，扩大应用范围。

### 2.4 综合比较

目前，国内外大中型电站锅炉尾部受热面除灰主要有以下几种：(1) 蒸汽吹灰。优点：蒸汽来源比较充足，初投资较低；缺点：增加了水处理设备费用及排烟中水蒸气含量，使空气预热器冷端堵灰现象更

趋严重,维护费用较大。(2)压缩空气吹灰。优点:不加空气预热器冷端堵灰,改善环境卫生;缺点:除灰效果不理想,尤其是对高粘结性灰,设备初投资大。(3)化学和机械清洗。优点:清洗效果好;缺点:耗时费力成本高,有效运行周期太短。(4)声波清灰。优点:投资低,对松散型积灰除灰效果好,清灰区段广泛;缺点:能量较低,不适合在结构紧密、易于堵灰的空气预热器上使用。

本项燃气脉冲除灰技术采用高能量、脉冲式、干法除灰的新思想,在原理、经济和除灰效果等方面均明显优于上述国内外现有吹灰技术。图 5 是 2 种除灰方法效果对比的空气预热器波形板照片,其中 (a) 为使用蒸汽吹灰和化学清洗 4 个月后锅炉受热面通道严重堵塞的情况,而 (b) 显示使用燃气脉冲技术 11 个月后受热面通道依然清晰可辨,除灰效果好,保证了锅炉安全可靠地运行。

### 3 应用情况

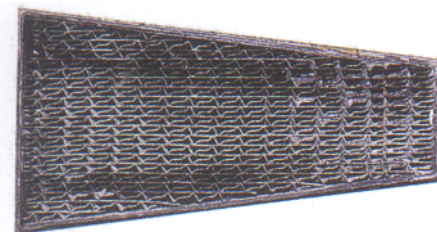
#### 3.1 应用背景

深圳能源集团妈湾发电总厂 4 台 300 MW 机组,锅炉均为哈尔滨锅炉厂引进美国燃烧工程公司(CE)技术生产的 HG-1025/18.2-YM6 型亚临界压力、一次中间再热控制循环汽包炉。炉后布置 2 台 29-V (I)T-1780 型三分仓受热面回转式空气预热器,转子名义直径  $D10318\text{ mm}$ ,受热面总高度 1780 mm。

回转式空气预热器设计十分紧凑,运行中受热面堵灰较严重。原设计选用的 2 台 H4-1 型蒸汽吹



(a) 蒸汽吹灰和化学清洗 4 个月后



(b) 燃气脉冲除灰技术 11 个月后

图 5 2 种除灰方法的效果对比

灰器导致烟气湿度增加,在空气预热器冷端造成严重积灰和堵塞,从而使烟气阻力增大,排烟温度升高。此外,由于空气预热器堵灰严重还多次引起引风机在高负荷下失速,极大地影响锅炉安全、经济运行。为此,从 1998 年底,利用大小修机会,4 台锅炉陆续改装了燃气脉冲除灰系统。

#### 3.2 系统改进及布置方案

燃气脉冲除灰设备在现场的布置见图 6。其中脉冲波输出管安装在空气预热器正下方,脉冲波直接作用在波形板上,可燃气体源站在 0 m 平台,运行控制系统布置在 2 台空气预热器之间的平台上。妈湾电厂位于南方沿海,气候潮湿,设备腐蚀情况较严重,为保证燃气脉冲除灰系统正常运行,采取了相应防腐措施,同时在可燃气体源站加装了 1 套回火保护系统。

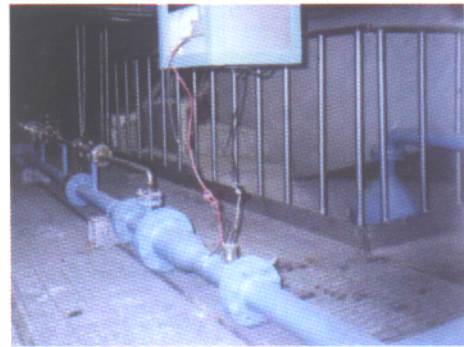


图 6 燃气脉冲除灰设备现场布置图

#### 3.3 运行参数的制定

根据蒸汽吹灰时空气预热器积灰程度和腐蚀状况确定了适合于本厂的系统运行参数,并根据锅炉大小修时的波形板通道检查情况随时调整、优化,保证以较低的运行成本获得良好的除灰效果。

#### 3.4 效果分析

用蒸汽吹灰时,空气预热器烟阻约 1500 Pa;采用燃气脉冲除灰设备后,烟阻大幅度降低,4 台机组锅炉烟阻为 622~798 Pa,并长期维持在大小修后空气预热器的洁净水平上,锅炉排烟温度平均下降 10~15℃,引风机电流平均下降 20 A,机组带负荷时的稳定性大大提高。同时有效地解决了在夏季中因出现空气预热器堵塞影响锅炉出力的问题。

以 3 号炉为例,长期以来,由于蒸汽吹灰效果不佳,造成空气预热器波形板带水积灰,锅炉运行一段时间后即发生空气预热器堵塞腐蚀,导致引风机出力不足,炉膛正压,机组被迫减负荷运行。由于 1997 年锅炉排烟温度太高,影响了机组的经济效益。1998 年年初小修时就对空气预热器进行了较彻底冲洗,但不到半年排烟温度急剧升高。1999 年初改装燃气脉冲除灰装置后,排烟温度下降,引风机电流降低。2 种清灰方式效果对比见表 1、2 和图 7、8。

表1 3号炉平均负荷和排烟温度

时间	平均负荷/MW	排烟温度/℃	清灰方式
1998-10	206.9	143.4	蒸汽吹灰
1999-11	207.1	121.5	燃气脉冲除灰
1998全年	201.9	138.1	蒸汽吹灰
1999全年	220.9	125.6	燃气脉冲除灰

表2 3号炉高负荷下排烟温度和引风机电流

时间	负荷/MW	A引风机电流/A	B引风机电流/A	A排烟温度/℃	B排烟温度/℃
1998-11	280	134	124	144	140
2000-04	284	92	94	124	128

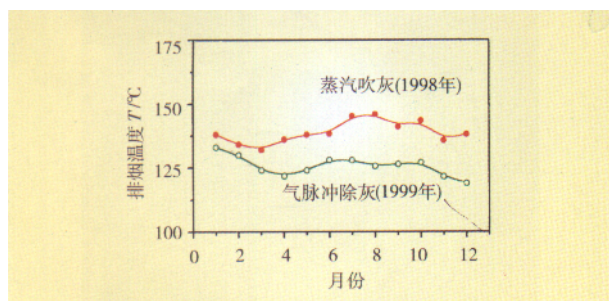


图7 3号炉燃气脉冲设备安装前后的排烟温度

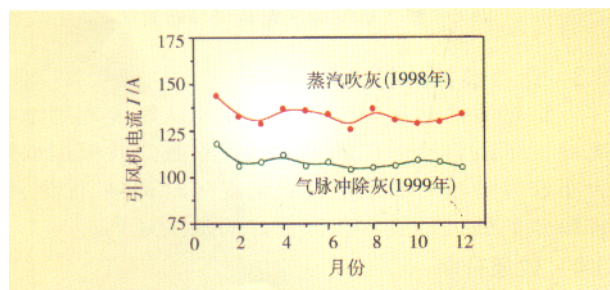


图8 3号炉燃气脉冲设备安装前后的引风机电流

从表1、2和图7、8可看出,由燃气脉冲除灰取代蒸汽吹灰后,3号炉全年运行负荷上升近10%,锅炉排烟温度全年平均下降12.5℃,在相同负荷条件下,排烟温度下降幅度最高达21.9℃;引风机电流全年平均下降24.5A,下降最高幅度为42A(在高负荷下)。

#### 4 结束语

燃气脉冲除灰技术采用高能量、脉冲式、干法除灰的新思想,从根本上克服了蒸汽和压缩空气吹灰所固有的弱点,同时解决了用化学和机械清洗有效时间短的问题;在原理、安全、经济和除灰效果等方面均明显优于国内外现有吹灰技术。燃气脉冲除灰

技术的成功应用表明它是电力工业中一项节能降耗的有效新技术,促进了电站锅炉除灰技术的优化升级。本技术既可用于燃煤机组,也可用于燃油机组。用这项技术对电厂锅炉实施技术改造,取代现有的蒸汽和压缩空气吹灰技术,提高了机组运行的安全性和可靠性,增强了机组带高负荷时的稳定性。

深圳妈湾发电总厂的工业应用表明,与蒸汽吹灰相比,本技术可使锅炉排烟温度下降10~15℃,空气预热器烟阻下降700~800Pa,引风机电流平均降低20A。本技术性能先进、运行可靠、操作维护方便,很适用于结构紧密、易于堵灰的回转式空气预热器;且运行成本低,除灰效果好,投资回收期短,经济效益十分显著。

#### 参考文献:

- [1] 岑可法,樊建人,池作和,等. 锅炉和热交换器的积灰、结渣、磨损和腐蚀的防止原理与计算[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

(责任编辑 孙家振)

#### 国内科技信息

▲ **香港科大成功开发出最细的纳米超导导线** 香港科技大学日前宣布成功开发出全球最细的纳米超导导线。这是该校成功制备0.4 nm单壁纳米碳管后,又一重大突破。研究人员发现,直径只有0.4 nm的单壁纳米碳管,在超导温度十五度以下出现特殊的维超导特性。当物质冷却到绝对零度以下的时候,电阻会消失,成为超导体。但这次发现于纯碳上,则是以前从未被发现的,而研究人员更把纳米导管的尺寸推向了极限。科技大学物理博士汤子康指出,这是前人未涉及过的理想超导体,有许多性质尚待开发。超导是指物质冷却到某一程度时,会拥有导电和无电阻的特质,视为超导体。这种物质可用于高速磁浮火车及磁共振显像仪等。而纳米是一种长度的单位,1 nm=10<sup>-9</sup> m。纳米科技被视为本世纪最具影响力的3大技术之一,有助于电子、资讯和生物等高级科技领域的开拓。

▲ **高温燃料电池在沪通过专家组认证** 以通过电化学反应连续把燃料中的能量直接转化成电能发电方式工作的1.0~1.5 kW熔融碳酸盐燃料电池系统(MCFC)2001年3月在上海交通大学问世,并于日前通过专家组认证。上海交通大学燃料所集中6大学科的研究人员,花了3a时间取得的这项成果,为我国燃料电池研究及应用打下了坚实基础。此次面世的燃料电池发电方式与通过燃料化石燃烧取得热能再转化成机械能最终获得电能的传统方式不同,是通过电反应连续把燃料中的能量直接转化成电能,具有发电效率高、污染小、可用作分散电源、不需要大量冷却水等优点。上海交大研制出的MCFC燃料电池是高温燃料电池,完全采用国内易购原材料,电池组连续工作可超过300h,最大输出功率达到1060W以上。