

无磨损磁密封泄灰阀的试验研究

原永涛¹, 齐立强¹, 纪元勋², 杨 倩¹

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 河北省电力勘测设计研究院, 河北 石家庄 050031)

摘 要: 电除尘器灰斗下电动锁气器的密封所采用的端部压板和密封条容易磨损、使用寿命短, 且密封性能较差。一种新型磁密封泄灰阀利用粉煤灰中含有 Fe_3O_4 等磁性介质的情况, 在锁气器叶片顶部加装永磁体, 以吸附粉煤灰中的磁性介质来实现密封。采用自行设计的试验装置, 选取了 3 种不同磁通量的永磁体和 4 种不同磁性物质含量的粉料分别进行密封性能试验, 结果表明, 磁密封卸灰阀具有良好的密封性能, 无磨损, 不需要频繁更换零件。

关 键 词: 磁密封; 泄灰阀; 粉体

中图分类号: TK284.4 文献标识码: A

引 言

叶轮式泄灰阀是一种广泛应用于工业领域的排料装置。虽然粉料具有较好的松散性和流动性, 但在许多场合下泄灰阀的进料端与出料端存在气压差和灰压差, 造成漏灰和漏气现象, 从而影响输送系统的正常工作。在以往泄灰阀设计中通常采用以下几种密封措施: (1) 在旋转叶片端部安装耐磨橡胶、毛毡或聚四氟乙烯等密封垫。由于这种方法不适合长时间连续运行, 现已不多用; (2) 安装刚性金属刮片。该方法对刮片和阀体的磨损都很严重。因此也极少采用; (3) 控制加工间隙。将旋转叶轮与阀体之间的加工间隙控制在最小程度 (通常为 2~3 mm), 不安装任何密封垫和密封片, 叶轮与阀体之间不发生接触, 从而避免磨损。这种方法仅适合于对密封要求不高的场合。

本研究的磁密封技术是一种与上述各种方法完全不同的新方法。其最大特点是无须安装、充填任何密封元件或介质, 阀体不受磨损, 结构简单, 密封效果好^[1]。

1 粉煤灰的磁化特性

1.1 飞灰中铁元素的含量及形态

我国燃煤飞灰中氧化铁的含量大约在 1.5%~15.4% 之间, 主要以铁的矿物形态存在。飞灰中的矿物种类主要是由玻璃微珠、石英屑、碳屑和磁铁矿珠组成, 这四项之和超过 90%, 构成了飞灰的主体。其中, 磁铁矿珠含量达 7%, 其它矿物如磁铁矿屑、陨硫铁、针铁矿及金属铁、部分赤铁矿也都具有顺磁性。我国部分电厂粉煤灰中铁含量如表 1 所示。

表 1 国内部分电厂粉煤灰中铁含量

飞灰采集源	煤种	粉煤灰中铁含量/%
辽宁电厂	平庄煤	10.0~14.0
大同电厂	大同煤	8.81~16.5
乌拉山电厂	乌达煤	19.04
金竹山电厂	无烟煤	20.04
鸡西电厂	鸡西煤	15.00
济宁电厂	枣庄煤	20.40
保定热电厂	西山煤	5.19
唐山电厂	开滦煤	7.82
呼市电厂	准格尔煤	5.12

煤粉经过锅炉燃烧, 在大约 1400 °C 高温燃烧气氛中在有碳和一氧化碳存在的情况下, 铁元素被碳和一氧化碳还原, 一部分形成粒铁, 另一部分非磁性矿物被还原成为磁性铁。富铁的玻璃珠颜色较深, 比重较大, 具有顺磁性, 能通过磁选把它们与密实玻璃珠分开, 称为磁珠。磁珠的存在为采用磁场力对粉料进行密封提供了条件。

飞灰中的磁珠主要是由磁铁矿、陨铁矿及针铁矿组成。其中, 磁铁矿 Fe_3O_4 属于亚铁磁性矿物。而赤铁矿 Fe_2O_3 在粉煤灰中有两种存在形态, 一种是不具有磁性的 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 一种是具有磁性的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 它们的含量由锅炉的燃烧温度决定^[2]。 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 为不完整的反铁磁性矿物, 而 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 属于亚铁磁性矿物。不同电厂飞灰所含铁质矿物种类与

含量的差异是因其火焰温度的差异而致。随着温度的升高, Fe_3O_4 一般先氧化为 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 或 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 与 Fe_3O_4 共熔体, 而后再转变为 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 但当温度超过 $1400\text{ }^\circ\text{C}$ 时, Fe_2O_3 又转化为 Fe_3O_4 。

表2列出了我国部分火力发电厂锅炉飞灰中磁珠的相关物理性质。从表中数据可以看出, 磁珠的真密度及堆积密度要大于粉煤灰的真密度和堆积密度, 这与磁珠富铁质矿物有关。其中粒度小于 $75\text{ }\mu\text{m}$ 的含量要大于 50% , 这说明磁铁矿的粒径比较小^[3], 具有密实的特点, 粒度较小的磁珠中富含磁性物质, 含量都大于 95% , 比磁化率很高, 约在 $59.70\sim 72.30\text{ cm}^3/\text{g}$ 之间, 接近磁铁矿的比磁化率。从这些物理性质我们可以看出, 磁珠粒度小、密实度高、磁化率高和耐磨等这些性质都有利于采用磁场对其进行密封。

表2 我国部分电厂磁珠的物理性质

	真密度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	堆积密度 $/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	磁性物 含量/ $\%$	比磁化率 $/\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$	小于 $75\text{ }\mu\text{m}$ 含量/ $\%$
鸡西电厂	3.50	1.80	97.2	5.40×10^{-2}	59.70
抚顺电厂	3.70	1.86	97.5	7.85×10^{-2}	60.04
邹县电厂	3.62	1.77	97.0	6.30×10^{-2}	70.21
十里泉电厂	3.45	1.70	96.0	6.44×10^{-2}	66.40
唐山电厂	3.64	1.83	95.3	5.60×10^{-2}	72.30
株洲电厂	4.02	1.86	96.7	6.50×10^{-2}	63.50
保定热电厂	3.60	1.75	96.6	7.00×10^{-2}	70.05

为了进一步查清铁元素在飞灰各粒度级别中的含量, 用水筛把飞灰分成不同粒径范围, 结果发现, 随粒度的减小, 其铁含量增高^[4], 也就是说, 磁性物质主要在粒度较小的磁珠中存在, 而粗颗粒中则富集了其它元素的化合物。对于磁密封来讲, 密封层的粉料粒度越小越有利于密封层的致密。粒度较小的磁珠在磁场力的作用下所形成的树形结构间隙较小, 更易捕集粒度更小的粉料, 从而使整个密封层的空隙率减小, 有利于密封。

1.2 磁性颗粒的磁畴分析

物质的磁性来源于原子的磁性。物质内部的相邻原子的电子之间有一种来源于静电的交换作用, 即物质的自发磁化, 迫使各原子的磁矩平行或反平行排列。在铁磁性物质内部, 这种作用的效果就像有一很强的磁场作用在各个原子磁矩一样, 使各个原子磁矩在每个小区域内按同一方向平行排列, 达到磁饱和的程度, 该“小区域”就是铁磁性物质的磁畴, 这就是铁磁性物质产生铁磁性的根本原因。磁

铁矿属立方晶系, 为反尖晶石结构, 有固有磁矩, 具有亚铁磁性的特征。试验数据表明, 锅炉飞灰中的磁珠和其它形式的亚铁磁性矿物颗粒, 具有较大的矫顽力及剩磁, 这为实现泄灰阀的粉料磁化密封提供了必要条件。

图1给出了有关磁铁矿物颗粒粒度与矫顽力之间的典型特性曲线关系。

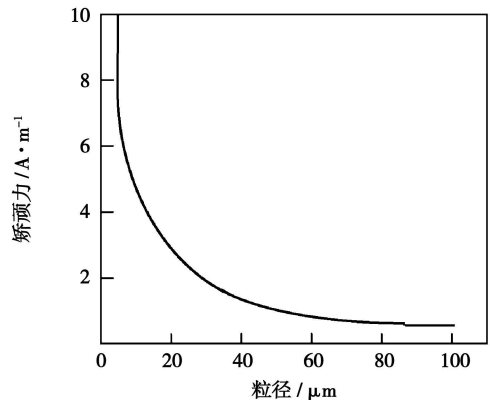


图1 磁铁矿矫顽力与粒度的关系

图1曲线表明, 磁铁矿的剩磁矫顽力随粒度变小而逐渐升高。尤其在 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下的细颗粒段, 矫顽力随粒度的变小急剧增加。这是由于具有亚铁磁性的磁铁矿内部具有磁畴结构, 磁化时磁畴壁的移动占据主要地位, 但粒度变小后, 磁化时磁畴的转动逐步增大, 加上磁畴转动所需的能量要高于磁畴壁移动, 因而矫顽力随粒度减小而增加, 甚至急剧增加。

由于粒度较小的磁珠的矫顽力比较大, 在磁场中所受到的磁场力也比较大, 在磁密封装置中能形成较密实的树型结构, 该树型结构能够吸附更小颗粒的粉尘, 因此可使密封间隙中形成一个密实的壁垒, 可以有效地起到密封作用。

2 磁密封泄灰阀的设计原理

许多工业粉料(如燃煤飞灰、水泥、煤粉)中包含一定量的磁性矿物质, 在磁场中易于磁化^[5]。磁密封叶轮式泄灰阀的设计原理是:

在泄灰阀旋转叶轮每个叶片端部安装有一条永久磁铁, 磁铁在狭缝区建立磁场, 当干灰流经狭缝时, 灰中的 Fe_3O_4 等磁性粉料颗粒在受磁场作用而磁化。实验表明, 只需少量的磁性颗粒就可以将大量的非磁性颗粒裹挟成大粉料团, 将狭缝堵塞, 从而

达到气密效果。运转时虽有部分磁性颗粒随灰流带出泄灰阀,但同时有磁性颗粒补充进来,使泄灰阀保持气密状态。

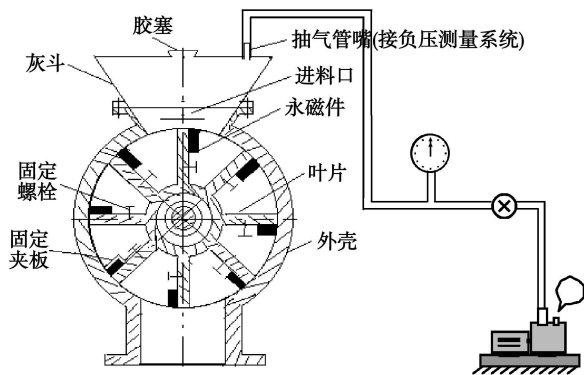


图 2 粉料磁密封装置设计图

这种借助干灰中固有磁性颗粒进行密封的方法,既达到了密封目的,又不必安装密封器件,对设备本身不会产生任何磨损,密封材料来自于灰,用之于灰,密封效果具有自修复功能,可真正实现设备密封性能的“免维护”。

实测表明,在大部分矿物粉料(如粉煤灰、水泥、煤粉)中,都不同程度地含有 Fe_3O_4 等磁性成分,其中粉煤灰中的磁铁矿的分布率为 0.4% ~ 13.8%。除这些磁性矿物成分外,还含有不少易被磁化的其它铁矿成分。这些磁性和易磁化颗粒足以保证泄灰阀磁密封的需要。

3 磁密封泄灰阀的性能实验

3.1 实验装置和试样

3.1.1 实验装置

实验装置如图 2 所示。叶轮端部安装有永磁件,与阀体内壁最大可调间隙为 5 mm。粉料通过胶塞孔装入。实验时可通过胶塞进行密封,以防止漏气。排气管可接正压或负压气力设备,通过压力表的读数来验证密封效果。

安装于每只叶片端部的条状永磁件(磁条)不宜整体加工,应由若干相互独立且外形尺寸相同的小矩形磁块排列而成,排列应遵循极性交错方式,如图 3、图 4 所示。试验表明,这种排列方式可以获得均匀的磁场,有利于磁性粉料均匀分布于狭缝间。每个小永磁块的外形尺寸 a (长)、 b (宽)、 c (厚)的比例约为 4:2:1。其中, $a \approx 10$ mm, b 和 c 可根据相对比例和泄灰阀的规格设定。

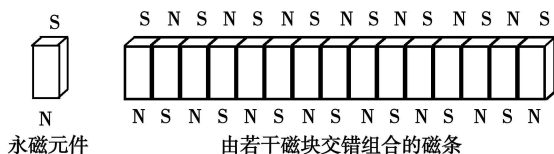


图 3 永磁元件的交替排列

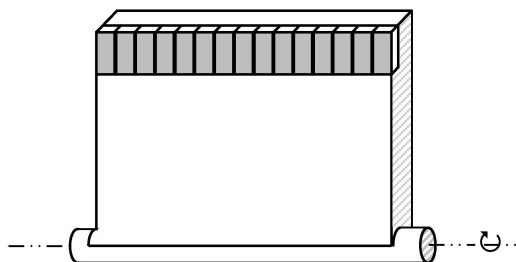


图 4 镶嵌磁条的泄灰阀叶片示意图

3.1.2 实验粉料

实验用粉料为国内某电厂粉煤灰,其物化特性为:

堆积密度: 0.75 g/cm^3

真密度: 2.0 g/cm^3

磁珠含量: 7%

磁化率: $7.00 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$

实验所采用的 3 种钕铁硼永磁件的参数为:

永磁件 1: $13 \times 9 \times 7$ (mm) 表面磁通量: 4 650 Gs

永磁件 2: $5 \times 4 \times 13$ (mm) 表面磁通量: 3 000 Gs

永磁件 3: $8 \times 8 \times 16$ (mm) 表面磁通量: 2 700 Gs

表 3 试验用电厂粉煤灰化学成分 (%)

C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
6.5	53.85	29.44	5.19	2.24	1.05

采用上述灰样和永磁件,分别进行不同密封间隙、不同灰位高度下的密封实验。

3.2 不同密封间隙和灰料厚度的密封试验

在未安装永磁件后,虽然叶片上部加有一定的粉料,但于由粉料的流态化,气流将从机壳边缘或粉料内部气泡穿过密封层,密封层被破坏,压力表检测不到压力。安装永磁件后,形成的密封层起到密封作用,压力表的计数随粉料层的厚度增加而增大,此压力的产生有两个形成因素:

(1) 永磁件所形成的密封层起到了密封作用,可以承受一定的压力;

(2) 灰层厚度对密封压力也起到一定的作用,灰层高度越高,所能承受的密封压力越大,且呈线性关系。

当灰斗上部存在一定厚度的粉尘层时,在气流的作用下,一部分磁性较弱的粉料脱落,而磁性较强的粉料在磁场力的作用下被吸附到永磁件的磁极上,密封层的自我修复能力增强,永磁件发挥了全部的作用。而灰层高度为零时,由于密封层未能完全形成,故所测得的密封压力值较小,而理论计算值与灰层高度约5 cm时所测的压力值相近。虽然一定的灰高可以产生一定的压差,但灰高不是产生密封压力的主要原因,由于粉料具有流态化,而且存在内部流化现象,所能承受的压差是很小的。从不安装永磁件的实验中可以验证。所以具有一定的灰层高度只是能使密封层的修复能力增强,对密封起主导作用的是永磁件对粉料所产生的磁场力。

3.3 不同磁珠含量灰料的密封试验

粉料磁密封技术的前提条件是密封介质中含有一定量的磁性粉料。不同的粉料中磁性物质含量不同,粉料中磁珠的含量对密封有一定影响。分别采用不同磁珠含量的粉料对永磁件1、2、3进行密封实验。粉料采用保定热电厂粉煤灰填加磁种(四铁化三铁纯剂)制成,得到磁珠含量为7%、9%、12%和15% 4种不同的粉料,密封间隙采用1 mm,密封采用灰层高度为5 cm。所实验数据如表4所示。

表4 不同磁珠含量粉料密封实验 (MPa)

试验件	磁珠含量/ %			
	7	9	12	15
永磁件1	0.020	0.025	0.028	0.030
永磁件2	0.008	0.012	0.015	0.017
永磁件3	0.010	0.015	0.018	0.020

分析实验数据及密封压力趋势可以看出,随着粉料中磁性物质含量的增加,所能检测到的密封压力也增大,但是当粉料中磁性物质含量达到一定值时,增加的趋势开始减缓。这是因为,在一定的磁场强度下,当粉料中的磁性粉料含量达到一定值时,密封层开始达到饱和状态,磁珠含量的增加开始对密封性能的影响变小,曲线的最终趋势应平缓。永磁件的磁场强度过大,则吸附的粉尘层较厚,增加了设备运行阻力,同时永磁件的成本也增加,可能给设备带来负面影响。所以对不同的粉料应分析其磁性物质含量及磁化率后,通过理论分析与实验确定所采用永磁件的各项参数,在满足密封的要求下应尽量

减小设备的成本,使整个装置的经济性更好。

粉料磁密封技术作为一种新型的粉料密封技术,有着其它密封手段无法比拟的优点。除了用于燃煤飞灰的密封以外,在其它工业粉料输送上也可以有广泛的应用,如水泥、化工等行业。这些工业粉料在不同程度上含有磁性物质,如粉煤灰、水泥中都含有一定量的磁珠,这些磁珠粒度小,且具有一定的磁化强度,因此,采用磁密封手段对其进行密封,使磁性粉料在磁场力的作用下填充叶片与机壳之间的间隙,来解决整个设备的密封问题。

4 结 论

实验证明,在磁场力的作用下,对于燃煤飞灰等含有磁性物质的粉料,其颗粒细小,颗粒之间的间隙也很小,含有磁性物质的颗粒形成骨架,构成一种树形结构,使更为细小的粉料粘附在上面,起到类似滤料的作用,因此具有很好的气密性。磁性粉料团具有很强的自动修复能力,在设备运行中,即使由于摩擦等原因使一部分粉料团脱落,但永磁件也能继续从粉煤灰中吸引磁性颗粒来补充粉料团,以保证装置的气密性;如果粉料团过大,则阻力增大,在摩擦阻力的作用下,一部分粉料将脱落,使其刚好充满密封间隙,减小了运行阻力而不影响设备的正常运行。因此,电动锁气器叶片端部安装永磁件,吸附粉料中的磁珠,利用磁珠形成密封层主体,同时吸附细小的颗粒,使密封层与机壳接触,起到密封作用。

参考文献:

- [1] YUAN YONGTAO, QI LIQIANG, YANG QIAN, et al. Study on magnetic seal technology of ash unloading device with impeller of ESP // 9th International Conference on Electrostatic Precipitation [C]. The Republic of South Africa, 2004; D04
- [2] 刘小伟,徐明厚,于敦喜,等. 燃煤过程中元素 Na 和 Fe 在可吸入颗粒物中的形态与分布 [J]. 动力工程, 2005, 25 (5): 719-723.
- [3] 王泉海,邱建荣,李凡,等. 煤粉燃烧过程中铁矿物质迁移特性的研究进展 [J]. 燃烧科学与技术, 2002, 8(6): 566-569.
- [4] 齐立强,原永涛,纪元勋. 燃煤飞灰化学成分随粒度分布规律的试验研究 [J]. 煤炭转化, 2003, 26(2): 87-90.
- [5] 鲁端峰,赵长遂,吴新,等. 燃煤可吸入颗粒物在高梯度磁场中的捕集试验研究 [J]. 动力工程, 2007, 27(1): 113-116, 121.

(编辑 单丽华)

Nanjing Xiaguan Power Plant, Nanjing, China, Post Code: 210011)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 481 ~ 485

In the light of the deficiencies in the control of current ball mill systems, proposed was a self-adaptive fuzzy decoupling control algorithm for ball mill systems based on operating mode identification. Firstly, the authors have analyzed the dynamic characteristics of a ball mill system and in combination with a test performed in a power plant, obtained a mathematical model for the ball mill systems. Secondly, the authors have used the least square supportive vector machine (LS-SVM) algorithm to identify and classify the operating state of the ball mill system. For normal operating conditions, a self-adaptive decoupling fuzzy controller was designed for the coupling loop to control the ball mill. For abnormal operating conditions, corresponding control tactics were given. Finally, a simulation study was performed of the algorithm in question at normal operating conditions. The simulation results show that the algorithm can effectively realize the identification of the ball mill system operating mode and the decoupling control of the coupling loops. The control system exhibit relatively good dynamic properties and robustness. **Key words:** ball mill system, mode identification, least square supportive vector machine, adaptive fuzzy control, decoupling control

无磨损磁密封泄灰阀的试验研究 = **Experimental Study of an Abrasion-free Magnetic Sealed Ash Unloading Valve** [刊, 汉] / YUAN Yong-tao, QI Li-qiang, YANG Qian (North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003), JI Yuan-xun (Hebei Provincial Electric Power Survey and Design Institute, Shijiazhuang, China, Post Code: 050031)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 486 ~ 489

The end platen and sealing strip currently used on the seal of an electrically-operated clapper valve under the ash hopper of a static precipitator are easily worn out, have a short service life and a relatively inferior sealing performance. A novel magnetic sealed ash-unloading valve has made use of the presence of Fe_3O_4 and other magnetic media in pulverized-coal-fired ash to additionally install a permanent magnet on the top of the clapper blade to adsorb the magnetic media in the ash to realize a seal. The authors have employed a self designed test rig and chosen three kinds of permanent magnetic iron with different magnetic flux and four kinds of powder with a variety of content of magnetic substances to conduct respectively seal performance tests. The test results show that the magnetic sealed ash-unloading valve has a good seal performance, no abrasion and no need to frequently replace the parts. **Key words:** magnetic seal, ash unloading valve, powder

干法/半干法脱硫中脱硫剂利用率及脱硫灰利用研究 = **Study of the Utilization Rate of Desulfurization Agents and Utilization of Desulfurized Ash During Desulfurization by Dry-method/Semi-dry-method** [刊, 汉] / WANG Wen-long, DONG Yong, REN Li, et al (Research Center of Engineering for Environment Thermodynamic Process under the Ministry of Education, College of Energy Source and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(4). — 490 ~ 493

From an innovative view point, i. e. the chemical and mineral constituents of desulfurized ash, an analytical study was made. It has been further verified that the dry-method and semi-dry-method flue gas desulfurization process represented by the circulating fluidized bed technologies features an excessively low utilization rate of desulfurization agents. The technology by using desulfurized ash as a raw material to produce sulfoaluminate cement can realize a highly effective utilization of dry-method-semi-dry method desulfurization products. On the one hand, to intensify the desulfurization reaction can enhance the utilization rate of desulfurization agents. On the other hand, the realization of an effective comprehensive utilization of desulfurization products can also remedy the defect of a low utilization rate of the desulfurization agents. The method under discussion can promote the resource development of desulfurization technologies, representing an approach full of latent potentialities. **Key words:** desulfurization, calcium utilization rate, desulfurized ash, sulfoaluminate cement

烟气主要成分对基于高活性吸收剂的烟气脱硫脱硝过程影响 = **Influence of the Main Constituents of Flue Gas**