

电除尘器阴极收尘潜力的研究

胡满银, 高维英, 白振光, 高香林

(华北电力大学 环境工程系, 河北 保定 071003)

摘 要: 对电除尘器阴极除了电晕放电与建立高场强以外的功能如阴极收尘, 减小阴极二次扬尘损失, 减弱与克服反电晕危害, 防止低电压高电流不良运行等问题进行了初步分析和试验研究。提出通过改进阴极结构, 可以减少阴极二次扬尘损失、增强阴极收尘效果、抑制反电晕, 同时还可以使电除尘器在高电压较低电流下稳定运行, 从而达到提高除尘效率的目的。这些问题的解决, 为电除尘器的改造、设计和运行提供了借鉴。

关 键 词: 电除尘器; 阴极收尘; 阴极二次扬尘; 反电晕

中图分类号: X701 文献标识码: A

1 引 言

电除尘 (EP) 技术在保护环境和治理粉尘污染方面发挥了极其重要的作用, 尤其在燃煤电厂, EP 已成为安全发电和环境保护必不可少的设备。

工业发达国家 EP 应用较早, 对理论与技术问题都进行了较深入的研究, 但并不是所有的问题都得到了圆满的解决, 如 EP 运行中遇到了二次扬尘与反电晕两大技术难题^[1]。我国的电除尘技术目前也遇到了类似的难题。为了适应环境对电除尘技术的高标准要求, 认真分析研究电除尘

发展道路上所遇到的问题, 电除尘器阴极收尘潜力的研究课题亦是本体系统尤其是从阴极系统上对一些问题进行了研究与探讨。

2 阴极收尘

众所周知, EP 本体的核心部分是阳极和阴极两大系统。阳极也称为集尘极和收尘极, 主要是捕集荷负电荷的粉尘, 起收尘作用。阴极亦称为电晕极或放电极, 主要起电晕放电作用, 使粉尘荷电。阴极振打清灰只是为了使电晕线清洁, 以保护良好的放电性能^[2]。但是, EP 在实际运行过程中, 电晕线上会不断的积灰, 这些积灰被振打后, 绝大部分又飞散到收尘空间成为二次扬尘, 大量正离子及荷正电荷的粉尘散发到收尘空间, 从而破坏了负电荷的正常收尘环境。根据 EP 多年运行经验, 阴极不能只是起电晕放电和与阳极建立高电场的作用, 也应当起收尘作用或称第二收尘极, 用来捕集荷正电荷的粉尘。

电晕放电 (电离) 和阴阳极间的高电场强度是电除尘的两个必要的前提条件。电晕放电产生大量正、负离子 (含自由电子), 产生

的正负电荷的数量是相等的。从理论上讲, 在理想情况下, 在电场力作用下, 负离子存在于电晕外区广大空间, 而正离子主要集中在电晕区很小的空间内, 所以荷正电荷的尘粒比荷负电荷的尘粒少得多, 也就使得电晕线上的积灰比阳极板上的积灰少得多。但是在实际运行中的电除尘器, 由于收尘空间存在着大量的非理想因素, 如二次扬尘、电风、反电晕等, 使得收尘空间不仅仅存在大量负离子, 同时也存在数量可观的正离子。所以在重视阳极收尘的同时, 也要重视阴极的收尘, 要发挥阴极的收尘作用, 将荷正电荷的粉尘尽可能多的捕集到阴极。阴极的良好收尘一方面发挥了正离子在电场力作用下的收尘作用, 另一方面会减轻电晕线尖端上的积灰程度, 有利于正常的电晕放电, 同时为阳极收尘, 即荷负电荷粉尘的收集提供了一个较好的环境。这样, 在外加电压作用下, 阴阳极空间的同一电场中, 荷负电荷的粉尘被收尘极板捕集, 荷正电荷的粉尘被阴极捕集, 并使阴阳极所捕集的粉尘尽可能多的落入下部灰斗, 这样就可以进一步提高有效驱进速度和除尘效率, 同时也节约了能源。

收稿日期: 2003-09-23

作者简介: 胡满银 (1952-), 男, 山西阳泉人, 华北电力大学教授。

3 减少阴极二次扬尘

EP 在运行过程中,二次扬尘损失是很大的,有资料称二次扬尘损失高达 40%~50%。为了减少收尘极板的二次扬尘损失,尤其是阳极振打清灰时的二次扬尘,有关专家做了大量的研究工作,如收尘极板采用带防风沟的屏蔽型收尘极板,采用振打周期可以调节的程序振打等。通常,阴极的振打清灰只是为了使电晕线保持清洁,以利于保持电晕线良好的放电性能。以往,人们只重视和关心减少阳极造成的二次扬尘损失,而忽略或极少关心阴极的二次扬尘损失,这是一个误区。既然将阴极作为第二收尘极,在起收尘作用的同时,应尽量减少阴极尤其是在阴极振打清灰时的二次扬尘损失,那就可以借鉴阳极收尘的经验,将阴极(或电晕线)亦作成防风型(见图 1),并采用程序振打等,使阴极捕集的荷正电荷的粉尘在振打力作用下,尽量成大块或大片状落入下部灰斗,以便减少阴极尤其是减少阴极振打清灰时的二次扬尘损失。当然,阴极产生的二次扬尘损失与阳极产生的二次扬尘损失各占多大份额,还需要进一步深入研究,但是阴极的二次扬尘损

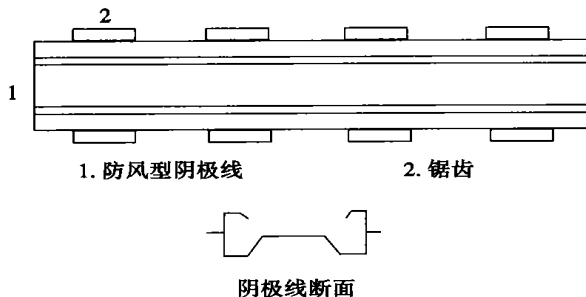


图 1 防风型阴极线结构示意图

失决不会小到可以忽略不计的程度。

4 削弱与克服反电晕危害

EP 运行时,如果电气参数呈现低电压高电流的状况,除尘效率往往会较低。二次电压 V_2 与二次电流 I_2 是表征 EP 运行性能的两个重要技术参数。 V_2 主要决定收尘空间电场强度的大小,即向荷电粉尘提供作用力—静电力的大小; I_2 为电晕电流,它是粉尘荷电所必须的。通常, I_2 随着 V_2 的升高而增大。 V_2 的最大值为火花闪络电压, I_2 则由 V_2 和阴阳极之间的动态阻抗所决定。 V_2 和 I_2 这两个参数既有联系又有区别。若想进一步提高除尘效率, V_2 越高越好,而所需的电流 I_2 大小与实际工况有关,不一定是 I_2 越大越好。在某些情况下, I_2 越大除尘效率反而会降低。为了获得较高的除尘效率,电压 V_2 应当在高区域运行和适当的运行电流 I_2 ,或称为“高压低流”运行。

EP 运行时,一旦出现严重的反电晕现象,往往呈现出较低的运行电压和较高的运行电流,并且 $V-I$ 特性曲线出现拐点,这时除尘效率大大除低。反电晕是电除尘技术发展一个难点,它使 EP 的应用受到了一定的限制。当前,

燃煤电厂为了减少 SO_2 污染,除了采用脱硫技术治理外,大多燃用低硫煤。而燃用低硫煤锅炉产生的飞灰比电阻较高,采用 EP 治理烟气时易产生反电晕。多年来,电除尘技术有关专家对如

何削弱与克服反电晕危害进行了大量的研究工作^[3],如从电气技术,本体极配型式^[4]以及烟气调质等诸多方面进行了大量的研究与探讨,但在反电晕面前还是感到棘手。众所周知,反电晕产生的条件为:

$$E_d = j \cdot \rho \geq E_{ds}$$

式中: E_d —收尘极板上粉尘层的场强;

E_{ds} —粉尘层空气隙临界击穿场强;

j —收尘极板的板电流密度;

ρ —粉尘比电阻。

为了减弱或克服反电晕,在 ρ 、 E_{ds} 不变的情况下,可以减小 j ,即减小二次电流 I_2 ,但为了减小 I_2 ,往往需要降低二次电压 V_2 , V_2 的降低必然会导致空间场强和除尘效率的下降。能否采取一定的措施,只减小 I_2 ,而不降低 V_2 ,近年来,我们从 EP 本体的极配型式上进行了大量的研究与探讨。

对于芒刺电晕线(或非芒刺电晕线),在距芒刺尖端一定距离处若放置一金属圆管,则此圆管会对电晕线的放电性能产生影响,使电晕线的放电强度减弱,可称该圆管为屏蔽管。改变屏蔽管边缘至芒刺尖端的距离 A 的大小,电晕放电强弱可在较大的范围内变化,即电晕放电可从较大值(不受屏蔽管影响)降到很小值,甚至可以降到接近于零,而外加电压 V_2 基本保持不变,以 RS 管状芒刺线为例,见图 2。同时,使用电晕屏蔽管以后,也可以使板电流密度的均匀性得到一定的改善。选取电压为 45 kV 时不同电晕线除去支撑部分的板电流密度进行比较,结果见表 1。另外,

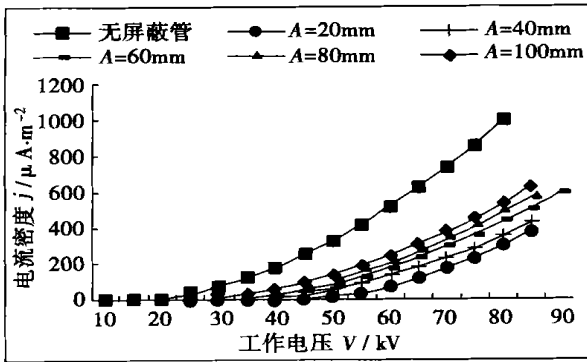


图 2 电晕屏蔽管在不同位置时的伏安特性曲线

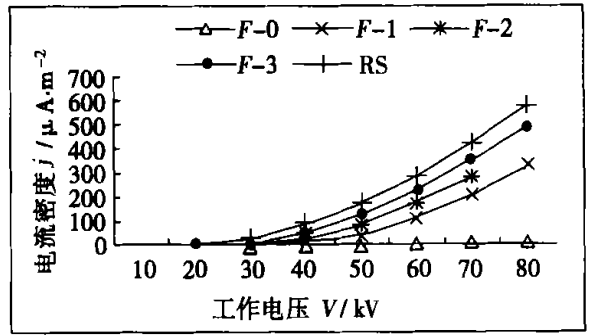


图 3 不同线型的伏安特性曲线

表 1 不同电晕线板电流密度均匀性比较

评判方法	均方根值 σ	最大相对误差 $\Delta_{max}/\%$
RS 管状芒刺线	0.892	194.1
防风型 $L=20\text{mm}$	1.134	286.1
电晕线 $L=30\text{mm}$	0.881	176.4

注: L 为锯齿同度。

芒刺高度变化亦会使电量放电强弱发生变化。根据以上原理, 依据不同运行工况的要求, 就可以探讨采用电晕放电强弱不同的电晕线组, 尤其是有反电晕时, 可采用电晕放电较弱的电晕线组。这样, 就可以减弱或克服反电晕危害, 适应了工况的需要, 同时运行电压 $V/2$ 还可以保持在较高的水平, 达到高电压低电流的良好运行状态, 从而避免了低电压高电流的不良运行。对于非高比电阻粉尘, 运行在高电压和适当二次电流的状况也是适宜的, 这样就达到了高效节能的效果。

图 3 为四种防风型电晕线线型与 RS 管状芒刺线的冷态空载伏安特性曲线, 其中板间距 $2b=40\text{mm}$, 线间距 $2c=500\text{mm}$ 。从图中可以看出, 不同的电晕线线型, 其伏安特性曲线有较大区别,

即在同一电压下, 电晕电流大小不一样。这样, 就可以根据实际工况的需要选择不同的电晕线, 达到适应不

同工况和不同电场的高压低流的高效运行效果。

EP 的阴阳极系统尤其是其阴极系统担负着极其重要的任务, 既起电晕放电和建立高电场强的作用, 又起收尘的作用。为了达到良好的收尘状态, 如何减少阴极二次扬尘损失, 是需要急需解决的一个大问题。同时, 为了减弱与克服反电晕危害, 减弱与克服反电晕危害, 减弱与克服反电晕危害的不良运行等, 还需要做大量的研究与探讨。这些问题的解决, 将使电除尘技术提高到一个新的水平, 对目前运行的不符合排放标准的 EP 的技术改造, 以及新建 EP 的设计将起到重要的推动作用。

5 结 论

(1) 充分挖掘与发挥阴极收

尘功能, 对进一步提高 EP 除尘效率具有重要意义。

(2) 减小与防止阴极二次扬尘损失, 对阴极收尘和提高除尘效率至关重要。

(3) 阴极的结构改进可以减弱与克服反电晕危害。

(4) 应力求使 EP 运行在高电压低电流(或适当电流)状况, 既可获得高的除尘效率, 又能节约能源。

(5) 发挥好阴极的电晕放电, 建立高场强、收尘、防止二次扬尘, 防止反电晕等的功能, 并处理好它们之间的关系是 EP 极配型式需要解决的重要课题。

参考文献:

- [1] 奥格尔斯比 S, 尼科尔斯 G B. 电除尘器[M]. 谭天佑译. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [2] 怀特 H J. 工业电收尘[M]. 王成汉译. 北京: 冶金工业出版社, 1984.
- [3] 高香林. 电除尘器电晕电场空间比电阻与反电晕的研究[A]. 第二届国际静电技术交流会论文集[C]. 北京, 1993.
- [4] 胡满银. 电除尘器电晕电场特性和极配型式的研究[J]. 发电设备, 1996(11): 34—38.

近期多相流过程层析成像技术的发展 = **Recent Developments in Process Tomography for Multi-phase Flows** [刊, 汉] / ZHANG Xiu-gang, WANG Dong, LIN Zong-hu (College of Energy & Power Engineering under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 221 ~ 226

Process tomography for multi-phase flows plays a major role in the exhaustive exposition of multi-phase flow basic laws, promoting the development of multi-phase flow theories and their engineering applications. The authors give a brief account of the use and development of several types of tomographic techniques as represented by X and γ rays, ultrasonic waves, electric resistance, capacitance and mesh electrodes in the detection and measurement of multi-phase flow parameters. An analysis is given of a variety of key issues, such as image reconstruction, the design and selection of sensors, real-time character, etc. In conclusion, application prospects and development trends of the process tomography are forecast. **Key words:** process tomography, two-phase flow, multi-phase flow, image reconstruction, on-line measurement

电除尘器阴极收尘潜力的研究 = **A Study of the Dust Removal Potential by the Cathode of an Electrostatic Precipitator** [刊, 汉] / HU Man-yin, GAO Wei-ying, BAI Zheng-guang, et al (Department of Environmental Engineering, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 227 ~ 229

A preliminary analysis and an experimental study were performed of the various functions of the cathode of an electrostatic precipitator. They include: corona discharge, the establishment of a high field intensity, dust collection, the reduction of secondary dust-emission loss, the weakening and elimination of counter-corona harmful effects as well as the prevention of low voltage and high current-related unfavorable operations. It is suggested that cathode structure improvement can lead to a reduction of the cathode secondary dust-emission loss and the enhancement of the cathode dust-collection effectiveness as well as to a suppression of counter-corona. Meanwhile, it is also conducive to a stable operation of the electrostatic precipitator under the condition of a high voltage and relatively low current, thus achieving the aim of high dust-removal efficiency. The resolution of the above-mentioned issues can provide helpful reference data for the design, modification and operation of electrostatic precipitators. **Key words:** electrostatic precipitator, dust removal by a cathode, cathode secondary dust-emission

一种新的湿法脱硫强制氧化技术 = **New Technology of Forced Oxidation for a Wet Flue-gas Desulfurization System** [刊, 汉] / TIAN Feng-guo, ZHANG Ming-chuan (College of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240), MA Chun-yuan (College of Energy & Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061), WU Jiang (Materials Characterization Center under the Western Kentucky University, KY 42101, USA) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 230 ~ 233

Forced oxidation plays a key role in the prevention of agglomeration and blockage in a wet flue-gas desulfurization (WFGD) system and the reduction of secondary pollution caused by desulfurization waste dregs. A jet-flow aeration technique is proposed for use in the forced oxidation process of limestone/gypsum WFGD system. Moreover, a theoretical analysis is conducted of the gas/liquid interphase mass-transfer features of the jet-flow aeration forced-oxidation process by the use of a dual film theory. The results of the analysis indicate that a jet-flow aerator as a kind of mixing device for the chemical reaction mass-transfer of gas/liquid two-phase media can give full play to its intensive mixing action, thus enhancing energy comprehensive utilization rate. The calculation results of the energy consumption of a WFGD project show that the adoption of the jet-flow aeration mode has resulted in energy-savings of more than 20%. The reduction of desulfurization cost is conducive to promoting the domestic manufacture of key desulfurization equipment. **Key words:** wet flue-gas desulfurization, forced-oxidation process, jet-flow aeration

微型鼓泡床中石灰石溶解特性的实验研究 = **Experimental Investigation of Limestone Dissolution Characteristics in a Micro-sized Bubbling Bed** [刊, 汉] / SHI Zheng-hai, ZHAO Cai-hong, ZHOU Qu-lan, et al (College of En-