

静电除尘用高压供电电源特性浅析

朝泽云, 徐至新, 钟和清, 康 勇

(华中科技大学电气与电子工程学院, 武汉 430074)

摘 要: 为提高除尘效率, 针对静电除尘器对供电电源的特殊要求, 对其高压供电技术综合分析并讨论了多种高压供电方式、电源运行方式和控制方式的基本原理及对除尘效果的影响, 指出脉冲供电方式和微机控制技术是当今静电除尘高压供电技术的主要发展方向和研究热点。

关键词: 静电除尘器; 高压电源; 除尘效率; 微机控制

中图分类号: TM910.1

文献标识码: A

文章编号: 1003-6520(2006)02-0081-03

Characteristic Analysis of High Voltage Power Supply for Electrostatic Precipitation

CHAO Zeyun, XU Zhixin, ZHONG Heqing, KANG Yong

(School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To select the effective power supply mode and advanced control strategy which is based on the precondition of safely running, a high voltage power supply technique used in ESP is generally analyzed according to the special demand. The fundamental principle and dedusting effects of different kinds of power supply, operation modes and controlling modes are discussed. The developing trends of high voltage power supply and digital control technology for ESP are pointed out.

Key words: electrostatic precipitation; high voltage power supply; collection efficiency; microcomputer control

0 引 言

治理工业粉尘污染的高压静电除尘器(EPS)因除尘效率高、能耗低、维修管理方便等,越来越受到人们的重视。静电除尘的机理是使空间电场发生电晕放电,产生大量的自由电子和负离子,它们与污染空气中的粉尘碰撞形成的带负电粒子受到空间电场静电吸引而被呈正极性的集尘极捕集,再由清灰装置定时清理,从而净化空气^[1]。

目前,在安全可靠运行的前提下如何提高除尘效率是静电除尘器的研究热点。高压供电电源是静电除尘器的核心部分,其供电方式、运行方式及其控制方式的不同,对静电除尘器的除尘效率和运行稳定性具有重要的影响^[2-6]。

1 静电除尘电源的供电方式

1.1 晶闸管相控直流供电

采用晶闸管相控交流调压式供电装置结构简单、容量大、投资少(原理图见图 1),是目前国内外传统静电除尘供电方式^[7],不足为:晶闸管是半控型器件,火花放电或短路时不能立即调整输出电压,动态响应速度慢。电源的输入、输出端都含有大量难以滤除的低次谐波污染。变压器工频工作频率使供电装置笨重。

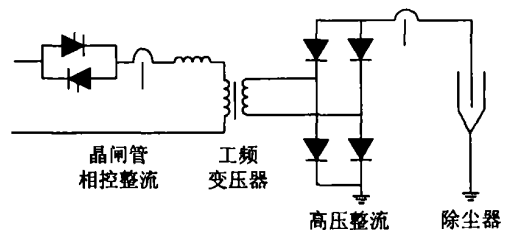


图 1 晶闸管相控交流调压式供电电路原理图

Fig 1 Principle of thyristor phase-controlled alternating voltage-adjusting power supply circuit

1.2 间歇供电

常规全波整流波形间歇供电波形见图 2。电源调控原有全波整流输出,周期性的阻断某些供电波。较之常规直流供电,间歇供电可降低极间平均电压,增强了振打的清灰效果,减小极板平均积灰厚度,从而提高了电极放电性能,有效抑制反电晕的产生,故适于高比电阻粉尘和易产生反电晕的静电除尘器。间歇供电所消耗的平均功率远低于常规工频整流,具有节能效果,但要求变压器的容量和瞬间输出功率提高且在低比电阻时,降低电场平均电压反而可能增大二次扬尘,故其应用有一定的局限性。

1.3 脉冲供电

图 3 为脉冲供电电路结构图,晶闸管相控交流调压电源提供基础直流电,辅助电源通过控制开关 S 的通断,使脉冲发生电路产生谐振,从而在基础

直流电上迭加微秒级脉宽的脉冲电压。脉冲供电提高了峰值电压,同时减小了平均电压,通过改变脉冲频率,可以使电晕电流在很宽的范围内调节,因此,有利于捕集易产生反电晕的高电阻率粉尘。但这种电源需附加高压脉冲产生装置和控制系统,增加了控制系统的复杂性和电源的总造价^[8]。

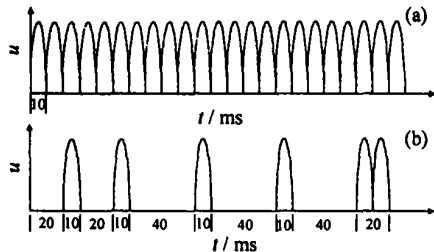


图2 全波整流及间歇供电波形
Fig. 2 Waveforms of wave rectification and intermittent power supply

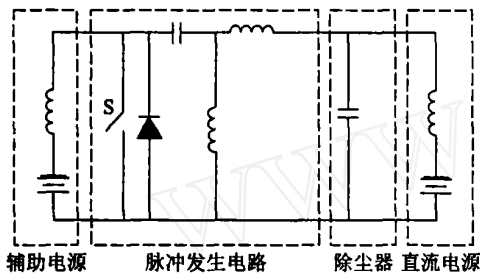


图3 脉冲供电电路原理图
Fig. 3 Circuit principle of pulse power supply

1.4 PWM 控制开关电源供电

图4为高频开关电源供电原理图,三相不控整流电路将交流电变换为直流电,通过IGBT构成的全桥高频逆变电路将直流电逆变为高频双极性PWM波,经高频升压变压器和高频高压整流器后,输出高压直流电供给ESP^[9]。由于逆变电路工作在高频,可有效减小升压变压器的体积,且IGBT为全控器件,开关速度较快,可在除尘器火花放电或短路时快速关断IGBT,封锁电源输出,使电源具有快速动态响应特性。通过控制IGBT还能使电源输入功率因数接近1,减小电源消耗的能量。

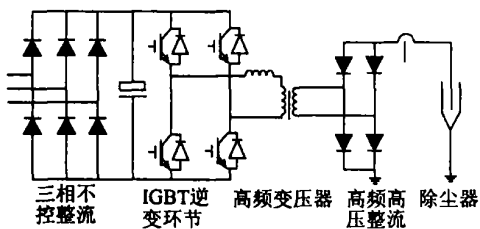


图4 高频开关电源供电电路原理图
Fig. 4 Circuit principle of high-frequency switch power supply

1.5 移相 PWM 控制串并联谐振电源供电

由于常规 PWM 控制时开关管工作在硬开关状态下损耗大、电磁干扰严重、器件损坏几率大,限制

了开关频率的提高,影响除尘器工作的可靠性和除尘效率。而软开关技术克服了上述各种弊端^[10]。

串并联谐振电路同时具有串联谐振和并联谐振的优点,适应空载和短路工作状态,因此非常适用于静电除尘。图5为移相 PWM 控制串并联谐振电源供电原理图,将谐振变换技术与移相 PWM 控制技术相结合,通过恒频控制实现零压零流软开关,减小了开关损耗和噪声,克服了单纯谐振变换器调频控制的缺点。调节两桥臂之间的移相角,就可调节输出电压的大小。

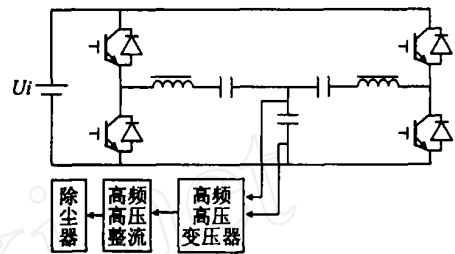


图5 移相 PWM 控制串并联谐振电源供电原理图
Fig. 5 Circuit principle of shift-phase PWM controlled series-parallel resonant power supply

1.6 恒流供电

图6为恒流供电方式原理图,由电感L和电容C组成的变换器将电压源转换成电流源,通过由升压变压器和整流桥组成的直流高压发生器后,输出恒流给除尘器供电。电流源供电可以轻而易举地实现输出电压自动跟踪尘流变化,不需任何反馈控制电路。高比电阻尘粒时,输出电压增大,输出功率增加;火花率升高时,尘粒的等效阻抗降低,则输出电压下降,输出功率降低,因此火花击穿的临界电压可以得到明显的提高。适用于燃烧状态欠佳、粉尘浓度变化较大的场合。

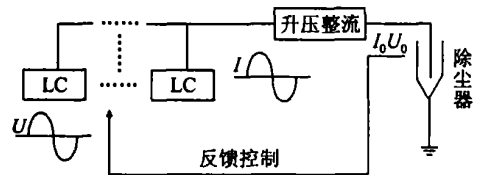


图6 恒流供电原理结构图

Fig. 6 Circuit principle of constant current power supply

2 静电除尘电源的控制技术

为使静电除尘器在除尘工况变动时始终保持高效率运行,运行中供电电源需不断控制输出电压和电流。常用控制方法主要有以下几种^[11-13]:

1) 火花率控制 利用除尘器的火花网络信号作为反馈调节火花率,使除尘器在各种工况下都能保持最佳火花率、恒定火花率或少火花率,是广泛应用的控制方式。调节输出电压下降的幅值(即电压上升的起始值)和电压上升的速度即可控制火花率。

2) 最高平均电压控制 以电极两端的平均电压值为反馈信号调节电源输出电压:将后一单位时间内采样的电压平均值与前一单位时间的值比较,如电压增量为负,则说明电源电压过高使火花率增大,粉尘等效电阻降低,导致电源内阻上的压降增大,电极两端压降减小。如电压增量为正值,则可继续加大供电电压。由于对应最高平均电压的火花率即最佳火花率,故这种控制方式可自动跟踪最佳火花率^[14-15]。

高压静电除尘机理复杂,建立最佳收尘效率下工作的精确数学模型非常困难。采用常规控制的控制效果欠佳。而微机模糊控制技术^[16]不需控制对象的精确数学模型即可取得很好的控制效果。运用模糊控制的推理机制组成专家控制系统的推理机能在线预测诊断电除尘器的运行状态,同时在线优化处理电除尘器控制系统的各项参数。

3 结束语

高压静电除尘器研制和开发的主攻方向是进一步提高除尘效率,节能、降耗,特别是解决高比电阻粉尘的反电晕和一些高温、高压烟尘的捕捉和收集问题。从供电控制角度采取措施是最经济、最方便、最直接和最重要的手段,而脉冲供电方式和只需要改变软件就能实现不同运行、控制方式的微机控制技术正是当今静电除尘供电技术的主要发展方向和研究热点。

参 考 文 献

- [1] 陈宇渊. 电除尘(雾)器的高压供电技术[J]. 硫酸工业, 1998, (6): 21-24.
[2] 沈建勇. 静电除尘器供电控制方式探讨[J]. 电站辅机, 2003, (9): 31-32.

(上接第59页)

- [3] 孙 敏, 王 燕, 卢 明, 等. 介质中气泡电场的计算分析[J]. 高电压技术, 1999, 25(1): 68-70.
[4] 叶齐政, 顾温国, 齐 军. 运动水滴在尖-板式直流电场中的放电研究[J]. 高电压技术, 1999, 25(4): 7-10.
[5] Danti M, Di Marco P, Grassi W, et al. Effect of an external electric field on bubble dynamics: Preliminary study[C]. Proc UIT National Conference. Cernobbio, 28-30 June, 2000: 715-728.
[6] 顾温国, 叶齐政, 齐 军, 等. 稳态线板电场中水滴放电现象的研究[J]. 高电压技术, 2000, 26(2): 22-23.
[7] 齐 军, 叶齐政, 顾温国等. 运动水滴在球-球直流电场中的放电研究[J]. 高压电器, 2000, 36(2): 12-14.
[8] 叶齐政, 齐 军, 顾温国等. 气液混合体直流放电的初步研究[J]. 高电压技术, 2001, 27(2): 26-29.
[9] 左公宁. 水中脉冲电晕放电的某些特性[J]. 高电压技术, 2003, 29(8): 37-38.
[10] Marco P Di, Grassi W, Memoli G, et al. Influence of electric field on single gas-bubble growth and detachment in microgravity[J]. Int J Multiphase Flow, 2003, 29: 559-578.

- [3] 贝子洪. 电除尘器存在的问题及对策[J]. 湖北电力, 2003, (10): 39-40.
[4] 张于周. 燃气轮机进气静电除尘系统[J]. 国际电力, 2004, (1): 38.
[5] 何立波. 影响静电除尘器效率的控制因素[J]. 中国电力, 2004, (1): 74-76.
[6] 闫 博. 静电除尘高压供电设备控制器的开发[J]. 北京工业大学学报, 2005, (1): 25-28.
[7] Grass N. Application of different types of high-voltage supplies on industrial electrostatic precipitators[J]. Industry Applications, IEEE, 2004: 1513-1520.
[8] Perevodchikov V. Pulse power supply units based on electron-beam valves for cleaning industrial effluents from oxides and dust[C]. 12th IEEE International Pulsed Power Conference. Digest of Technical Paper, 1999, 2: 1317-1321.
[9] Edwarde. The effect of high-voltage waveforms on ESP current density distributions[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 1990, 26(3): 515-522.
[10] Czarkowski D. Phase-controlled series-parallel resonant converter[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 1993, 8(3): 309-319.
[11] John C. Novel prototype design for a transformer for high voltage, high frequency, high power use[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(1): 89-98.
[12] Masuda S. Control of NO_x by positive and negative pulsed corona discharges[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 1990, 26: 374-383.
[13] Arao Y. Image evaluation of atmospheric corona discharge applied for road tunnel high-velocity electrostatic precipitator[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, 33(2): 312-313.
[14] Zheng Sanbao. Modeling and control of voltage-fed phase-controlled resonant converters[J]. Dissertation Abstracts International, 2003, 64(2): 0892.
[15] Norbert Grass. Fuzzy-logic-based power control system for multifield electrostatic precipitators[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2002, 38(5): 1190-1195.
[16] Zheng S. High-voltage high-power resonant converter for electrostatic precipitator[C]. Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003, 38: 1100-1104.

朝泽云 1978—, 博士生, 研究方向为电力电子与电力传动。电话: (027) 87543658-085; E-mail: zeyun_chao@163.com

收稿日期 2005-03-22 编辑 曹昭君

- [11] 董 伟, 李瑞阳, 郝鸿凌. 气液两相流中气泡周围电场特性研究[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(3): 197-201.
[12] 王晓明, 赵 莹. 等离子体反应器多相介质电场畸变分析[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 41-46.
[13] 鲁 非, 叶齐政, 李 劲等. 球-球电极气液两相体直流击穿现象的研究[J]. 高压电器, 2005, 41(4): 268-269.
[14] 陈 凤, 宋耀祖, 陈 民. 电场作用下的气泡受力分析[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(增刊): 146-148.



王晓明

王晓明 1948—, 博士, 教授, 主要从事放电等离子体及应用、脉冲功率技术、测控技术方面的研究。E-mail: xmw2002@hit.edu.cn

黄旭艳 1981—, 硕士生, 从事放电等离子体产生过程和特性的研究。电话: (0451) 86417765

收稿日期 2005-02-01 编辑 蔡爱媛