

· 技术开发 ·

电除尘器高压供电提效节能潜力探讨

Approach on the efficiency enhancing and energy saving potential
of high voltage power supply of EP

高维英¹, 傅启文², 卢泽锋²
GAO Wei-ying¹, FU Qi-wen², LU Ze-feng²

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211100)

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Guodian Nanjing
Automation Corporation Limited, Nanjing 211100, China)

摘要:电除尘器高压供电设备在适应运行工况要求和提高电除尘器整体性能方面起着极其重要的作用。分析了国内几种高压电源的特点及性能, 详细介绍了国内研发的提效节能型电除尘器高压供电控制设备, 该设备具有有效克服反电晕危害, 提效减排的同时可大幅降低能耗等特点。最后指出, 我国多年来一直采用的大功率、高能耗的火花自动跟踪供电方式应尽快转移到高峰电压、低平均电压、小电流的提效节能供电方式上来。

关键词:电除尘器; 高压电源; 反电晕; 提效节能; 脉冲供电; 除尘效率

中图分类号:TK 223.27 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2008)06-0032-04

Abstract: The high voltage power supply device of EP plays a significant role in adaptation of EP to operation condition and raising global function of EP. The features and functions of several domestic high voltage power sources were analyzed. A new high voltage power source control device of EP developed at home was introduced in detail. This device has advantages of effectively eliminating the damage of discorona, increasing the dust removal efficiency and lowering electrical energy consumption at large amplitude. It is pointed in the end of this paper that the high voltage power supply mode of spark automatic following, which has been used in our country widely for many years, is of great power and high energy consumption, and it should be replaced by efficiency-enhancing, energy-saving high voltage power supply mode, which has higher peak voltage, lower average voltage and smaller current, as soon as possible.

Key words: electric precipitator (EP); high voltage power source; discorona; efficiency-enhancing and energy-saving; impulse-type power supply; dust removal efficiency

0 引言

电除尘器(EP)具有除尘效率高、处理烟气量大、运行费用低等优点^[1], 被广泛应用于电力、冶金、建材等工业领域的烟尘治理。在我国电力行业, 无论新建、改扩建燃煤电厂还是老电厂, 绝大部分采用了电除尘器进行烟气净化, EP已经成为燃煤电厂电力安全生产和环境保护必不可少的重要设备。影响EP性能的三大因素为本体结构、供电控制与运行工况^[2]。运行工况主要包括烟气与粉尘性质, 其

中粉尘比电阻与烟气流速影响较为突出。EP运行时, 反电晕危害与二次扬尘影响比较严重。EP供电控制设备在适应运行工况的要求和提高EP整体性能方面起着极其重要的作用。

节能减排是我国建设资源节约型、环境友好型社会的一项战略目标。在这种新形势下, EP作为环保行业烟尘治理的主力设备, 如何实现提效与节能(节能减排)2项指标, 是摆在我们面前的艰巨任务和重要课题。以提效为主, 节能与减排并重将成为我国电除尘技术长期发展战略。

目前, 我国EP高压供电控制设备有火花自动跟踪、高频开关电源、三相高压电源、提效节能型高

压电源等类型,均在不断进行改进。

1 火花自动跟踪高压电源

1.1 基本工作原理与理论依据

数十年来,我国燃煤电厂及其他行业的 EP 高压供电电源,几乎均采用火花自动跟踪(火花整定)单相高压电源。其基本工作原理为:单相 380 V/50 Hz 工频交流电源,经主回路上反并联可控硅移相调压、高压变压器升压、高压整流器整流,形成 100 Hz 脉动直流负高压,向 EP 收尘电场的阴阳极供电。电压自动调整器依反馈信号自动调整反并联可控硅的导通角,阴阳极间产生一定的火花频率,依烟气及粉尘等工况性质的变化,使输出电压始终跟踪在略低于火花闪络电压下运行,输出平均电压尽量高,输出平均电流尽量大。该技术已相当成熟,在世界范围内得到普遍应用。理论依据主要是怀特关于电晕功率与 EP 除尘效率成正比的理论公式,该公式表明,二次电晕功率越大,除尘效率越高。

1.2 优点

- (1) 技术成熟,操作简单方便。
- (2) 采用 $V-I$ 曲线拐点最佳工作点控制,有节能效果。
- (3) 对于无反电晕或轻微反电晕工况,除尘效率较高。
- (4) 价格较低,维修较容易。

1.3 不足

- (1) 功率消耗大,电能浪费严重。
- (2) 不能克服反电晕危害。
- (3) 运行效果欠佳,工况适应性较差。
- (4) 电能转换效率低,一次、二次电能转换效率约为 67%。
- (5) 供电不平衡。输出功率越大,供电不平衡就越严重,无法保障供电电网的功率因数指标。

2 高频开关电源

2.1 基本工作原理

高频开关电源(简称高频电源)的主电路形式是三相交流→直流→高频逆变→升压→整流→输出。先将三相 380 V/50 Hz 交流电源整流为直流电源,采用 IGBT 逆变为 20~50 kHz 高频交流电压,经高频高压变压器升压,并经高频高压整流器整流,产生高频脉动直流负高压输出。收尘电场发生火花闪络放电时,瞬间关断逆变开关管 IGBT。高频开关电源的关键技术集中在逆变开关和高频高压整流变压

器。大电流时,为了保护逆变开关管安全瞬态关断,在变压器输入端串联 1 个与负载相适应的谐振电容,以满足开关管零导通和零关断。高频开关电源受高频开关器件保护和高频变压器制造工艺的影响,其控制技术和制造工艺要求均很高。为保证逆变开关器件的可靠性,采用软开关技术,不同规格的电源,设计不同谐振匹配参数,功率越大,开发的技术难度越大。为保证高频特性,高频铁心多采用封闭式环形铁心,高压绕线和绝缘处理难度较大。我国使用的高频开关电源,目前均在试验试用阶段。

2.2 特点

- (1) 体积小,质量小。直接置于 EP 顶部,无需占用地面建筑。
- (2) 电能转换效率较高。由于采用三相交流供电,一次、二次电能转换率约为 90%。
- (3) 供电平衡,对电网无污染。
- (4) 二次输出的峰值电压与平均电压很接近,直流电压脉动系数约 3%,接近纯直流电压加至 EP 收尘电场,适合于中低比电阻粉尘。对电流小的首级电场,可增大二次功率,提高除尘效率。
- (5) 波形宽度及占空比可自由调节。针对高比电阻粉尘,便于设置任意占空比的间歇供电方式。
- (6) 控制技术和制造工艺的难度较大,且功率越大,技术难度亦越大。
- (7) 价格高,维修较困难。

3 三相高压电源

3.1 基本工作原理

三相高压电源是在火花自动跟踪单相高压电源基础上研发出的一种 EP 高压电源。该种电源是三相 380 V/50 Hz 输入,主回路由 3 组反并联可控硅即 6 只可控硅构成三相移相调压电路。高压硅整流变压器也是三相输入、三相升压、三相整流,产生脉动频率为 3×100 Hz 的直流负高压向 EP 电场阴、阳极供电。

3.2 特点

- (1) 电能转换效率高,具有一定节能效果。因为采用三相输入,三相调压、升压与整流,电能转换效率约为 95%,三相电源比单相电源的固有能耗约节约 28%。
- (2) 输出平均电压高、平均电流大、二次电能消耗大。三相电源的峰值电压与平均电压比较接近,几乎接近纯直流。在相同工况下,可输出较高的平均电压和较大的二次电流,在某些场合可获得较高

的除尘效率,但二次电能消耗较大。

(3)三相供电完全平衡。三相电源的各相电压、电流、磁通的大小相等,相位依次相差 120° ,任何时候电网都是平衡的,对电网无污染,无缺相损耗。

(4)闪络冲击较大。如果 A 相正半波产生火花闪络放电,B 相的可控硅已经导通,等到 A 相正半波过零换相时输出封锁信号,可以关断 A,C 相的负半波,却无法及时封锁 B 相的已经导通半波,一直要持续到 B 相的过零点,才得以完全封锁输出。B 相在 A 相对介质击穿的状态下继续导通,大大加强了击穿强度,所产生的火花闪络瞬间冲击电流有可能是瞬态导通电流的 3~5 倍,会给系统带来强烈干扰。

(5)设备体积较大。

4 提效节能型 EP 高压电源

4.1 基本工作原理

提效节能型 EP 高压电源系国电南自研发的具有提效节能智能优化控制功能的新一代 EP 高压电源^[3]。这种高压电源的主回路与火花自动跟踪高压电源类似,而控制理念与技术不同。单相 380 V/50 Hz 工频交流电源经主回路上反并联可控硅移相调压、高压变压器升压、高压整流器整流,产生脉动频率为 100 Hz 的直流负高压,向 EP 本体电晕线与收尘极板构成的收尘电场供电。智能控制依据反馈信号和控制理念,产生占空比与幅比可调的以脉冲供电为主的电压信号,输出电压大小、频率与形状始终与烟气及粉尘性质变化相适应,能有效克服反电晕危害,具有提效与大幅节能的良好效果。

4.2 主要特点

(1)以脉冲供电为主的多种供电方式。该种脉冲供电亦称简易脉冲供电,具有单脉冲与双脉冲 2 种供电类型,占空比与幅比可调。幅比调整的上、下极限即为火花自动跟踪与间歇供电 2 种工作方式。这种脉冲供电涵盖了从火花自动跟踪到单双脉冲的简易脉冲供电,再到间歇供电的诸多工作方式。这些工作方式可以产生多种脉动频率及大小与形状不同的电压电流波形,完全能够适应各种工况各种性质的烟气及粉尘对电气性能的需要。

(2)智能优化控制。如何调整供电方式与电气参数用以克服反电晕危害,并满足运行工况及 EP 本体需要,以达到最佳除尘效果,是 EP 供电控制技术的关键,亦是多年来影响 EP 高压供电更好发挥作用的瓶颈。该提效节能智能优化控制技术是动态的、实时的,能够自动适应并跟踪工况变化,克服反

电晕危害。该技术依据运行信息与数学模型,对 EP 高压供电进行控制,达到既提高除尘效率降低烟尘排放浓度又降低电能消耗的目的。

(3)降功率振打优化。极板板线的振打清灰效果直接影响 EP 的除尘性能,该设备采用高低压合一,高低压控制回路在同一控制柜内,容易实现高压供电与低压振打的联动优化,既提高了振打清灰效果,又可以节能。

(4)单电场动态粉尘比电阻实时测试技术。该技术具有测试工况真实,误差较小,不需要单独采集灰样,以及测试省时、省力、快速、准确等特点,能测定各单电场运行工况下粉尘比电阻,并将该粉尘比电阻纳入提效节能智能优化控制参数之一。该技术为粉尘比电阻的测定开创了一条新的途径,是完全具有自主知识产权的新技术。

(5)提效节能效果显著。依据工况需要,一般运行在高峰值电压、较低二次平均电压、较小二次电流和少火花或无火花状况,能提高除尘效率降低烟尘排放浓度,有的降低幅度可高达 50% 以上。同时,可大幅降低能耗 70%~80%,甚至高达 90% 以上。反电晕越严重,EP 本体结构越优良,提效节能效果越显著。

(6)能有效克服反电晕危害。具有精确分析判断反电晕严重程度和克服反电晕危害的技术措施。

(7)操作简单方便,维修容易。

(8)运行稳定可靠,价格较低。

(9)单相输入,固有能耗较高。由于是单相 380 V/50 Hz 电源输入,转换效率较低(约为 67%)。

(10)单相输入,供电不平衡,但是由于二次电流较小,供电不平衡的弊端远比火花自动跟踪供电要轻。

4.3 主要理论依据

(1)怀特电除尘理论及 EP 高压供电理论。

1)电除尘理论能耗很小。

2)脉冲供电具有较好除尘效果以及节能效果。

(2)提效节能型 EP 除尘效率公式的研究。提效节能型 EP 除尘效率公式研究的创新理论指出,EP 除尘效率与二次电压的峰值及最小值成正比,与提效节能型及火花自动跟踪 2 种高压供电方式下二次峰值电压之比及二次最小电压之比成正比。反电晕越严重,效率提高越显著。

(3)提效节能型 EP 高压供电节能公式研究。提效节能型 EP 高压供电节能效率公式研究的创新理论指出,节能效率与火花自动跟踪工作方式下二

次电晕功率成正比,与提效节能工作方式下二次电晕功率成反比;节能效率与占空比成正比;反电晕越严重,节能效率越高。

(4) EP 高压供电能耗分类。EP 高压供电的电能消耗应分为 4 类^[4]:

1) 用于粉尘的荷电与捕集的电能,称为“有效”电能,如粉尘的荷电与捕集等;

2) 对粉尘的荷电与捕集起破坏作用的电能,称“反效”电能,如反电晕,二次扬尘等;

3) 介于上述 2 者之间,即无利也无害的电能,称为“无效”电能或“浪费”电能,如电晕放电用于粉尘的荷电与捕集而多余的电能;

4) 从 380 V/50 Hz 动力电源转换为脉动直流负高压输出所消耗的电能,称为固有电能。

电除尘过程中,上述 4 种电能消耗是交织在一起的。实际上,在总的电能消耗中,有效电能很少,反效、无效和固有能耗占绝大部分。应通过先进的技术措施,提高有效电能比例,降低反效、无效与固有能耗比例。关于电能分类的这一创新理论,为 EP 的提效与节能提供了依据。

4.4 应用效果

提效节能型 EP 高压供电控制设备在众多现场推广应用均取得了显著效果。

(1) 节能幅度大。采用提效节能供电方式后,EP 高压供电运行能耗大幅下降,与火花自动跟踪供电方式相比,电能消耗降幅在 70% ~ 80% 以上,有的降幅甚至高达 90% 以上。

(2) 提效减排。与火花自动跟踪供电方式相比,由于 EP 除尘效率的提高,EP 出口烟尘排放浓度下降幅度最高可达 50% 以上。

(3) EP 本体结构影响较大。EP 提效节能效果与 EP 本体结构是否合理、本体运行性能是否优良有直接关系。EP 本体系统是 EP 提效节能的基础与保障,其重要性是 EP 电气系统不能替代的。如果在火花自动跟踪供电方式下,由于本体结构性能欠佳,使得二次电晕功率较小(非工况原因),则提效节能效果不佳。只有具有优良性能的电气系统与本体系统,以及 2 系统之间的密切配合,才能取得 EP 提效节能的最佳效果。

(4) 反电晕越严重,提效节能效果越显著。我国燃煤电厂及其他行业的 EP 运行中,80% 以上均产生不同程度的反电晕,克服反电晕危害是世界范围内的一大技术难题。火花自动跟踪高压供电,不能克服反电晕危害,运行在高电压大电流的高能耗状况时,大量电能白白浪费,除尘效率往往欠佳。提

效节能型高压供电,能有效克服反电晕危害。

提效节能型 EP 高压供电设备的优良性质,提高了 EP 的整体性能,提升了 EP 与袋式除尘器及电袋结合等高效除尘器的竞争力,因此,提效节能型 EP 高压供电设备的推广,具有重要的现实意义。

5 结论

(1) 各种类型的 EP 高压供电控制设备均具有各自的优势与不足,需进一步努力提高其性能。

(2) 提效节能型 EP 高压供电控制设备能有效克服反电晕危害,具有提效并大幅度节能的优良特性,它的成功研发是电除尘技术一大进步。

(3) 我国运行的 EP 约有 80% 以上产生不同程度的反电晕危害。多年来,我国 EP 的高压供电控制设备几乎均运行在高电压、大电流、高能耗的火花自动跟踪供电方式下,电能浪费严重,运行性能欠佳,应尽快转移到高峰电压、低平均电压、小电流的提效节能供电方式的科学轨道上来。

(4) EP 的提效节能除与 EP 高压供电控制设备的性能直接有关外,还与 EP 本体结构是否合理、本体运行性能是否优良有直接关系,本体系统是提效节能的基础与保障。加强 EP 的运行维护、检修与管理至关重要,尤其对 EP 本体系统需格外关注。

(5) 提效节能是电除尘技术的发展方向,以提效为主,节能与减排并重,将成为我国电除尘技术长期发展战略。

参考文献:

- [1] (美) S 小奥格尔斯比, G B 尼克尔斯. 电除尘器[M]. 谭天佑, 王励前, 译. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [2] (美) H J 怀特. 工业电收尘[M]. 王成汉, 译. 北京: 冶金工业出版社, 1984.
- [3] 卢泽锋, 傅启文, 夏庆, 等. 节能提效型电除尘器供电控制装置的研究[C] // 第十二届全国电除尘学术会议论文集. 武汉: 中国环保产业协会电除尘委员会, 2007.
- [4] 雷应奇, 胡满银, 高香林. 电除尘器提效与节能供电技术的分析研究[C] // 第十二届中国电除尘学术会议论文集. 武汉: 中国环保产业协会电除尘委员会, 2007.

(编辑: 刘芳)

作者简介:

高维英(1968—), 女, 河北顺平人, 华北电力大学工程师, 工学硕士, 从事自动控制研究开发及图文信息管理方面的工作。

傅启文(1958—), 男, 江苏洪泽人, 国网南京自动化股份有限公司工程师, 从事电除尘系统技术开发、设计及研究工作。

卢泽锋(1976—), 男, 黑龙江鸡西人, 国网南京自动化股份有限公司工程师, 从事电除尘控制系统技术开发、设计及研究工作。