

电除尘器高压供电节能公式的分析研究

卢泽锋¹ 高香林² 傅启文¹ 高维英²

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

摘要 提效减排与节能降耗是电除尘技术的发展方向,亦是电除尘器二大重要技术指标。依据大量试验和工程应用,从理论上分析研究出了反映电除尘器高压供电提效节能智能优化控制特性的规律及公式。这些规律与公式表明优化调整占空比与幅比的重要性,亦表明优良的电除尘器本体结构及其良好的运行状况是电除尘器提效与节能优化的基础与保障。

关键词 电除尘器 高压供电 脉冲供电 占空比 节能 减排

0 引言

提高电除尘器(EP)除尘效率,降低烟尘排放浓度,是EP始终追求的一项重要指标,甚至几乎成为EP诞生百年来唯一追求目标。我国不同时期均制定了日趋严格的烟尘排放标准。党的十七大提出科学发展观和可持续发展战略,我国要建设资源节约型、环境友好型社会,节能减排做为我国的战略目标。在这种新形势下,作为环保行业烟尘治理的主力设备——EP如何实现提效与节能两项指标,是摆在我们面前的艰巨任务和重要课题。随着科学技术的发展,国电南自等单位,研究开发出了具有提效节能智能优化控制功能的新一代常规(50HZ)EP高压供电设备^[1]。为了总结该设备的控制特性,探讨提效节能的规律,并为提效节能功能的调试和运行以及EP高压供电设备的研究与开发提供参考与依据,迫切需要分析研究与探讨提效节能型EP高压供电能耗公式与节能率公式的表达形式与规律。

1 提效为主 节能与减排并重

EP本来以除尘效率高、消耗电能小作为

它的二个重要特征,但是EP实际运行时,往往见不到能耗小的特性。通过认真细致、科学地分析研究发现,EP运行时的电能消耗应分为四类:有效、反效、无效与转换能耗^[2]。其中有效能耗所占比例很小,其他三类能耗所占比例很大,这是导致EP多年来消耗电能过大的根本原因。应通过科技手段,提高有效电能比例,大幅降低其他三类电能比例。

我国研究开发出提效节能型高压供电设备,能有效克服反电晕危害,其突出特点有三项:①以脉冲供电为主——占空比与幅比可调;②动态智能优化控制;③降功率及停电振打优化。在这三项功能支持下EP始终运行在与烟气及粉尘工况以及EP本体等所适应的最佳二次电压电流波形的状态。在此状态下,除尘效率最高,而电能消耗大幅降低。经过大量工程实践证明,这种设备能够使EP在原有基础上,进一步提高除尘效率,而降低烟尘排放浓度10~50%以上,同时节能70~90%以上,甚至可高达95%以上。反电晕越强烈,提效节能效果越显著。在当前新的形势下,提效减排,节能降耗将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。

2 η_{CP} —占空比曲线

图2-1为某一反电晕工况下除尘效率 η 、烟尘排放浓度C及二次电晕功率 P_2 与占空比(某一幅比)关系曲线示意图。图中曲线表明,随占空比拉大(空值增加),二次电晕功率 P_2 开始迅速减小后又缓慢减小;除尘效率 η 开始时逐渐升高,后又逐渐下降,出现

一个峰值;EP出口烟尘排放浓度C开始逐渐下降,后又逐渐升高,出现一个谷值。提效节能智能优化控制的目的是自动寻找最佳工作点D。此工作点为优化状况下的某一占空比和幅比。在此工作点下除尘效率最高,烟尘排放浓度最低,而二次电晕功率大幅降低,实现提效减排与节能的有机统一。

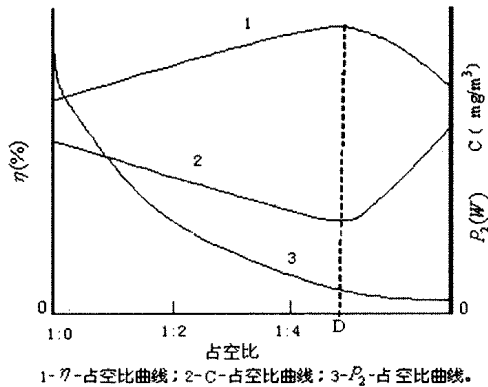


图1 η CP-占空比关系曲线示意图

3 二次电晕功率公式分析研究

3.1 火花跟踪工作方式

火花跟踪工作方式的特点是由工频50Hz全波整流成为脉动频率为100Hz的直流负高压。EP运行时,二次电晕功率为

$$P_h = I_h \cdot V_h \quad (1)$$

式中, P_h ——火花跟踪工作方式下临界火花时的二次电晕功率(W);

I_h ——火花跟踪工作方式下临界火花时的二次电流平均值(A);

V_h ——火花跟踪工作方式下临界火花时的二次电压平均值(V)。

3.2 提效节能工作方式

(1) 提效节能工作方式特点

提效节能工作方式的特点是以脉冲供电为主的供电方式,包括火花跟踪、简易脉冲、间谐供电等供电方式。其中简易脉冲供电为占空比与幅比可调。图3-1为简易脉冲供电方式二次电压 V_2 和二次电流 I_2 波形示意图。占空比中的“占”为提供脉冲的半波数,占有单脉冲“1”和双脉冲“2”两种。其中

“空”为提供的脉冲幅度为可调的半波数。占空比共同构成简易脉冲一个完整周期。空为0则为火花跟踪工作方式。例如,占空比可为1:0,1:2,1:4,1:6,1:8...,也可为2:0,2:2,2:4,2:6,2:8……。幅比系指“空”时电压脉冲为“占”时电压脉冲之比例,如8:1,8:2,8:3,8:4……。幅比的两个极限:8:0,即为间谐供电,8:8,则为火花跟踪工作方式。占空比与幅比的调整是依据收尘电场烟气及粉尘性质以及EP本体状况,由EP高压供电设备的智能优化控制环节自动调节。提效节能工作方式下的二次电晕功率表达式为

$$P_T = I_T \cdot V_T \quad (2)$$

式中, P_T ——提效节能工作方式下二次电晕功率(W);

I_T ——提效节能工作方式下二次电流平均值(A);

V_T ——提效节能工作方式下二次电压平均值(V)。

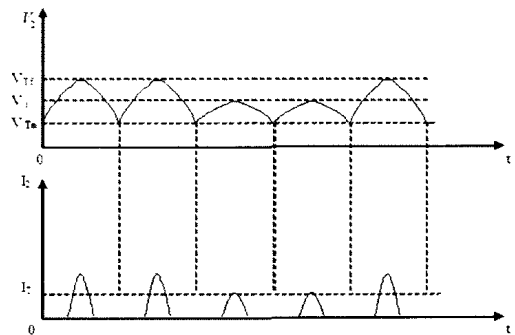


图2 简易脉冲供电方式 V_2 和 I_2 波形示意图

(2) 二次电流表达式

在提效节能工作方式下,依二次电流实时波形曲线可知:

占空比为“空”时, I_2 与幅比成正比。幅比可从0~1改变:幅比为1时, $I_2 = I_h$;幅比为0时, $I_2 \approx 0$ 。

占空比为“占”时, $I_2 = I_h$,“占+空”周期内

$$I_T = I_h \cdot \frac{Z}{Z+X} \cdot N_I \quad (3)$$

式中 Z、X 分别表示占空比之“占”与“空”数值, $\frac{Z}{Z+X}$ 称为充电比。拉大占空

比,即增加 X 值,亦即增加 $(Z + X)$ 之数值,而充电比 $\frac{Z}{Z + X}$ 值减小。

N_I —电流系数,无量纲。其值与幅比、工况及本体结构与运行状况等因素有关,由现场运行参数确定,通常 $N_I = 0.6 \sim 1.2$ 。

上式表明,提效节能工作方式下,优化工作点的二次电流与“占空比”成反比,与 I_h 、 N_I 成正比。拉大占空比可大幅度减小二次电流值。

(3) 二次电压表达式

依二次电压实时波形曲线可知:

占空比为“空”时, $V_T = V_{Tm}$, V_{Tm} 为提效节能工作方式下二次电压最小值。

占空比为“占”时, $V_T = V_h$,“占+空”周期中

$$V_T = \left[V_{Tm} + (V_h - V_{Tm}) \left(\frac{Z}{Z + X} \right) \right] \cdot N_V \quad (4)$$

式中 N_V ——电压系数,无量纲。其值与幅比、工况及本体结构与运行状况等因素有关。该系数由现场运行参数确定。通常 $N_V = 0.8 \sim 1.6$ 。

上式表明,优化工作点的二次电压与“占空比”成反比,与 V_{Tm} 、 V_h 及 N_V 成正比。即拉大占空比,可使二次电压有所下降。由于收尘空间的电晕线与收尘极板构成一个较大的等效电容,EP 高压供电的负载呈现电阻与电容并联特性。二次侧存在一个受供电电压、电流大小影响而波动的直流电位,所以拉大占空比不会使二次电压大幅下降,而是小幅波动。

(4) 二次电晕功率

将(3-3)(3-4)式代入(3-2)式,得到提效节能工作方式下二次电晕功率表达式

$$\begin{aligned} P_T &= \left[I_h \cdot V_{Tm} + (P_h - I_h \cdot V_{Tm}) \cdot \left(\frac{Z}{Z + X} \right) \right] \\ &\quad \left(\frac{Z}{Z + X} \right) \cdot N_I \cdot N_V \\ &= \left[V_{Tm} + (V_h - V_{Tm}) \cdot \left(\frac{Z}{Z + X} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\left(\frac{Z}{Z + X} \right) \cdot I_h \cdot N_I \cdot N_V \quad (5)$$

由上式可见,提效节能工作方式优化工作点的二次电晕功率与占空比成反比,与 I_h 、 V_h 、 N_I 、 N_V 成正比,拉大占空比,减小幅比,可使二次电晕功率减小。

4 节能率公式及其规律

提效节能工作方式优化工作点的二次电晕功率与火花跟踪工作方式比较可得到节能率表达式

$$e = \frac{P_h - P_T}{P_h} = 1 - \frac{P_T}{P_h} =$$

$$1 - \left[\frac{V_{Tm}}{V_h} + \left(1 - \frac{V_{Tm}}{V_h} \right) \right]$$

$$\left(\frac{Z}{Z + X} \right) \left(\frac{Z}{Z + X} \right) \cdot N_I \cdot N_V \% \quad (6)$$

上式实际上为单电场节能率公式,进而可得一台 EP 或一台发电机组 EP 的节能率公式:

$$e = \frac{\sum e_i}{N} \quad (7)$$

式中 N 为该台 EP 或一台发电机组 EP 的电场数。亦可从各电场火花跟踪和提效节能二种工作方式下的二次电晕功率直接得到节能率:

$$e = 1 - \frac{\sum P_{Ti}}{\sum P_{hi}} \quad (8)$$

从式(4-1)(4-2)(4-3)以及大量工程实践可以得出如下规律:①节能率与火花跟踪工作方式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。②节能率与提效节能优化下的占空比成正比,与 N_I 、 N_V 成正比。优化时,拉大占空比,减小幅比会使节能率提高。③节能率与火花跟踪二次平均电压成正比。火花跟踪工作方式下二次电压越高,节能率越高。这表明二次闪络电压高,二次电流大,二次电晕功率大,亦表明 EP 本体结构及其运行状况良好,则节能率亦越高。④反电晕越严重,节能率越高。

反电晕越严重,火花跟踪工作方式下二次电流越大,功率消耗越高,提效节能智能优化控制工作方式时占空比拉得越大,其节能率亦越高。⑤向效率要节能:a 保效节能。在采用提效节能功能基础上,若排放浓度有一定裕量。可再适当拉大占空比,或减小幅比,使节能率更高,而烟尘排放仍能达标。b 提效节能。通过 EP 本体与电气系统的检修与技术改造,千方百计提高 EP 除尘效率,使烟尘排放浓度具有较大裕量。在采用高压供电的提效节能功能基础上,再适当拉大占空比或减小幅比,使节能率进一步提高,同时烟尘能达标排放。

大量工程实践表明,某些发电机组采用提效节能型高压电源供电时的节能与减排实际效果为,在减排率 10~50% 或以上时,同时节能达 70~95%。

5 结论

(1) 提效节能智能优化控制的目的是自动寻找最佳工作点,此工作点为优化状况下的某一占空比与幅比。在此工作点,除尘效率最高,烟尘排放浓度最低,而二次电晕功率较小,实现了提效减排与节能的有机统一。这一最佳工作点与烟气、粉尘性质以及 EP 本体结构与运行状况等因素有关。

(2) 通过大量试验分析研究出了 EP 高压供电设备提效节能工作方式下的二次电晕功率表达式,以及节能率表达式,这些公式将为 EP 调试、运行以及 EP 提效节能高压供电

设备研究开发提供参考和依据。

(3) 简易脉冲供电和智能优化控制是 EP 提效节能的一种较好工作方式,它能在提高或保障除尘效率的同时,大幅降低电能消耗,即同时达到节能与减排。在某些工况下,在除尘效率提高烟尘排放浓度降低 10~50% 以上,同时,节能可达 70~90% 以上,有的可高达 95% 以上。

(4) EP 的节能效果虽然表现的均是电气参数,但 EP 本体结构及运行状况是否良好,则是节能与减排的基础和保障。EP 本体与电气两大主体设备和系统,只有相互配合,协调工作,各自发挥各自优势与特长,才能达到 EP 节能与高效的良好效果,实现使 EP 成为达标节能型绿色环保设备。

(5) 我国燃煤电厂 EP 约有 90% 以上运行在不同程度的反电晕状况,EP 高压供电的运行,应由大电流高能耗的火花跟踪工作方式尽快转移到高峰值电压小电流低能耗的提效节能工作方式的科学轨道上来。

参 考 文 献

- [1] 卢泽锋,傅启文,夏庆,高军阳。节能提效型电除尘器供电控制装置的研制。中国杭州:第十一届国际电除尘学术会议,浙江大学出版社,2008. 10.
- [2] 雷应奇,胡满银,高香林等。电除尘器高压供电设备提效节能的分析研究。中国杭州:第十一届国际电除尘学术会议,浙江大学出版社,2008. 10.

The Analysis of Energy Saving Formula of Electric Precipitator in High Voltage Power Supply

Luzefeng¹ Gaoxianglin² Fuqiwen¹ Gaoweiying²

(1 Guodian Nanjing Automation Co. , Ltd. Nanjing, Jiangsu, 211100;

2 North China Electric Power University Baoding, Hebei, 071003)

Abstract: Electric precipitator is designed and directed to improve efficiency and reduce emission, to save energy and lower consumption. The two parts have been set as standards for electric precipitator in terms of technology. According to numerous experiment and application to engineering practice, theoretical study has revealed the rule and formula of intelligent biasing characteristic. The rule and formula show the importance of adjusting dutyfactor and amplitude ratio. They also indicate that the fine structure and operational state of electric precipitator itself is essential to improve efficiency and energy conservation.

Key words: Electric Precipitator High Voltage Power Supply HCMP Dutyfactor Energy Conservation Emission Reduction