

## 变频器在选煤厂应用的优点及 网侧谐波电流计算

聂志强<sup>1</sup>, 葛志红<sup>1</sup>, 李发明<sup>1</sup>, 陈震东<sup>1</sup>, 张阳<sup>2</sup>

(1. 唐山国华科技有限公司; 2. 河北宏扬房地产有限公司, 河北唐山 063020)

**摘要:** 介绍了变频器的工作原理及其在选煤厂电动机调速中应用的优点, 但变频器的应用也带来了网侧谐波问题, 实例分析了谐波电流计算方法和抑制谐波的措施。

**关键词:** 选煤厂; 电动机; 变频器; 网侧谐波; 电流

**中图分类号:** TK01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8397(2010)06-0018-04

变频器是把工频电源 (50 Hz 或 60 Hz) 转换成各种频率的交流电源, 以实现电机变速运行的设备。利用变频器和异步电动机相结合, 对生产机械进行调速传动控制, 这在选煤厂已得到较为广泛的应用。

### 1 变频器在选煤厂应用的优点

#### 1.1 提高电网质量

当异步电动机为直接启动时, 启动电流为额定电流的 5~7 倍, 即:

$$I_q = (5 \sim 7)I_e \quad (1)$$

式中:  $I_q$ ——电机启动电流, A;

$I_e$ ——电机额定电流, A。

如果 1 台三相异步电动机的额定功率 110 kW,  $I_e = 213$  A, 那么它的启动电流为 1 065 ~ 1 491 A。这么大的启动电流, 会对设备和电网造成严重的冲击, 所以对电网容量提出了很高的要求。采用变频器后, 电机的启动电流一般为额定电流的 0~1.5 倍。减轻了对电网的冲击, 提高了电网质量。

#### 1.2 延长设备使用寿命

强大的冲击电流对电机、电缆、配电开关、变压器均有不同程度的损害; 使用变频器, 可以实现零电流平滑启动, 延长设备的正常工作周期

和使用寿命。

#### 1.3 提高电网功率因数

无功功率增加了线路的损耗, 并使设备发热, 使用率下降。使用变频设备后, 不但减少了电网线路上的损耗, 同时可以提高电网的功率因数。

#### 1.4 简化操作和控制系统

变频调速只需要改变变频器参数设置, 即可实现输出换相, 因此很容易实现电动机的正、反转, 也不存在因换相不当而烧毁电动机的问题。变频调速系统启动大都是从低速区开始, 频率较低。加、减速时间可以任意设定, 故加、减速过程比较平缓, 启动电流较小, 可以进行较高频率的启停。变频调速系统制动时, 变频器可以利用内部的制动回路, 将机械负载的能量消耗在制动电阻上, 也可回馈给供电电网, 除此之外, 变频器还具有直流制动功能, 需要制动时, 变频器给电动机加上一个直流电压, 进行制动, 而无需另加制动控制电路。

#### 1.5 调速作用

在选煤实际生产过程中, 由于工艺的要求, 需要平滑地调速, 此时, 变频器的应用必不可少。异步电机的同步转速:

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (2)$$

式中:  $f$ ——电源的频率;

$p$ ——电机磁极对数;

$n_M$ ——电机转子转速。

收稿日期: 2010-09-250

作者简介: 聂志强(1980—), 男, 河北平山人, 2005年毕业于河北理工大学自动化专业, 工学学士, 唐山国华科技有限公司助理工程师。

转差:  $\Delta n = n_0 - n_M$

转差率:  $s = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{n_0 - n_M}{n_0}$

$\Delta n = sn_0$

$n_M = n_0 - \Delta n = n_0 - sn_0 =$

$n_0(1 - s) = 60 \frac{f}{p}(1 - s)$

由上式可知,改变异步电动机供电电源的频率,可以改变其同步转速,即可改变异步电动机的转子转速(轴转速)。假设电机极对数  $p = 2$ ,转差率  $s = 0.04$ ,则:  $f_x = 0 \sim 50$  Hz,  $n_0 = 0 \sim 1\ 500$  r/min,  $n_M = 0 \sim 1\ 440$  r/min。

### 1.6 变频调速的节能效果

采用变频调速后,风机、泵类负载的节能效果最明显,节电率可达到20%~60%,这是因为风机、水泵的功率与转速的三次方成正比,当用户需要的平均流量较小时,风机、水泵的转速较低,其节能效果十分可观。

选煤厂生产过程中,通常靠人工调节风机或泵类的阀门来控制供风量、压力、流量等技术指标,而这种调节的实质是靠增加管道的局部阻力损失来降低流体的流量,所以电动机的耗用功率变化不大。而采用变频器后,可以根据流量、压力的变化改变电机的转速,从而达到对压力、流量的工艺要求,这时电动机的耗用功率大幅降低,实现节能。对于一些在低速运行的恒转矩负载,如带式输送机等也可用变频调速来实现节能的目的。

由于具备上述诸多优点,所以变频器在选煤厂得到了越来越广泛的普及和应用,而随之带来的网侧谐波问题也越来越受到各变频器用户和供电部门的关注。

## 2 谐波

### 2.1 谐波的产生与危害

在电力系统中谐波是由于非线性负载所致。当电流流经负载时,与所加的电压呈非线性关系,就形成非正弦电流,即电路中产生谐波。

谐波使电能的生产、传输和利用效率降低,使电气设备过热、产生振动和噪声,并使绝缘老化,使用寿命缩短,甚至发生故障或烧毁。谐波可引起电力系统局部并联谐振或串联谐振,使谐

波含量放大,造成电容器等设备烧毁。谐波还会引起继电保护和自动装置误动作,使电能计量出现混乱。对于电力系统外部,谐波对通信设备和电子设备会产生严重干扰。

### 2.2 谐波治理的方法

(1)安装电抗器。在变频器的输入端与输出端串接合适的电抗器,或安装谐波滤波器,滤波器的组成为LC型,吸收谐波,并增大电源或负载阻抗,达到抑制谐波的目的。

(2)增加变频器供电电源内阻抗。通常电源设备的内阻抗可以缓冲变频器直流滤波电容的无功功率,内阻抗越大,谐波含量越小,这种内阻抗就是变压器的短路阻抗。因此选择变频器供电电源时,最好选择短路阻抗大的变压器。

(3)变频器的隔离、屏蔽、接地。实际应用中,以安装电抗器的方法来治理谐波较为方便、易行,而且效果显著。

## 3 谐波电流计算方法

### 3.1 相关国家标准

根据法国数学家傅立叶(M. Fourier)分析原理证明,任何重复的波形都可以分解为含有基波频率和一系列为基波倍数的谐波的正弦波分量。谐波是正弦波,每个谐波都具有不同的频率、幅度与相角。谐波可以区分为偶次与奇次性,第3、5、7次编号的为奇次谐波,而2、4、6、8等为偶次谐波,谐波频率是基波频率的整数倍,如基波为50 Hz时,2次谐波为100 Hz,3次谐波则是150 Hz。一般,奇次谐波引起的危害比偶次谐波更多、更大。在平衡的三相系统中,由于对称关系,偶次谐波已经被消除了,只有奇次谐波存在。对于三相整流负载,出现的谐波电流是  $6n \pm 1$  次谐波,例如5、7、11、13、17、19等,变频器主要产生5、7、11、13次谐波。下面主要以分析输入电流中的5、7、11、13次谐波电流为例。根据国家标准《GB/T14549-93 电能质量 公用电网谐波》,在基准短路容量下各次谐波电流允许值见表1。

### 3.2 不同系统配置(串交、直流电抗器)时的谐波含量

根据三菱电机自动化(上海)有限公司提供的数据,使用二极管三相桥整流变频器时,不同配

置下的谐波电流含量见表2。

表1 基准短路容量下各次谐波电流允许值 IGB (A)

电压/kV	谐波次数					
	5	7	11	13	17	19
	谐波电流允许值/A					
0.38	62	44	28	24	18	16
6	34	24	16	13	10	9.0
10	20	15	9.3	7.9	6.0	5.4

注:基准短路容量( $S_j$ )和电压的关系为0.38 kV时,取10 MVA;6 kV、10 kV时,取100 MVA。

表2 谐波电流含量

类型	谐波次数					
	5	7	11	13	17	19
	谐波电流含量/%					
无电抗器	65	41	8.5	7.7	4.3	3.1
ACL	38	14.5	7.4	3.4	3.2	1.9
DCL	30	13	8.4	5.0	4.7	3.2
ACL + DCL	28	9.1	7.2	4.1	3.2	2.4

### 3.3 计算步骤

变频器的谐波电流很难直接通过解析公式计算。下面推荐一种计算方法,供大家参考。

(1)步骤1:根据国家标准和实际变压器的短路容量计算所允许的各次谐波电流,计算式为:

$$I_h = I_{GB}(S_r/S_j) \quad (3)$$

式中: $I_h$ ——各次谐波电流允许限值,A;

$I_{GB}$ ——基准短路容量下各次谐波电流限值,A;

$S_r$ ——实际短路容量,MVA;

$S_j$ ——基准短路容量,MVA。

如果简单地用谐波电流算术和的方法进行计算,结果往往过于保守,会造成资源的浪费。推荐使用伪平方求和法,即

$$I_{hi} = I_h(S_i/S_j)^{1/a} \quad (4)$$

式中: $S_i$ ——用户的用电协议容量或最大负荷容量,MVA;

$S_j$ ——公共连接点供电设备容量,MVA;

$I_{hi}$ ——折算后的各次谐波电流允许值,A;

$a$ ——相位叠加系数,按表3所示进行取值。

(2)步骤2:额定电流折算(折算到高压侧)

$$I'_e = I_e(0.38/\text{标准电压}) \quad (5)$$

式中: $I'_e$ ——折算后的额定电流,A;

$I_e$ ——变频器的额定电流(查手册)。

表3 各次谐波的相位叠加系数

谐波次数	3	5	7	11	13	>13
a	1.1	1.2	1.4	1.8	1.9	2

(3)步骤3:根据表2以及变频器的电路形式来确定各次谐波电流的大小,并与步骤1的结果对比,判断是否符合国标。计算式如下:

$$I_h = I'_e \times \text{谐波含量}(\%) \times \text{负载率} \quad (6)$$

如果不符合国标,则应采用其他的对策,如使用电抗器、添加谐波补偿设备等。

### 4 实例分析

以某选煤厂为例,供电系统10 kV。设计选用变压器1台,容量为1.6 MVA,变压器负荷率85%,高压电机功率为0.315 MW。短路容量为20 MVA,用户协议容量 $S_i = 1.6 \times 0.85 = 1.36$  MVA,公共连接点供电设备容量 $S_j = 1.6 + 0.315/0.85 = 1.97$  MVA。根据工艺要求,一次浮选入料泵(37 kW)、斜管浓缩机底流泵(37 kW)、小循环水泵(30 kW)、二次浮选入料泵(18.5 kW)和精煤卧式离心脱水机入料泵(11 kW)共5台设备需要调量,配置5台三菱变频器,型号为FR-A740系列,功率相应为37 kW、37 kW、30 kW、18.5 kW和11 kW,负载率为80%,分析其谐波电流是否满足国家标准。

根据上述计算式可以计算出最大允许谐波电流和各次谐波电流,见表4~7。表中:ACL为交流电抗器,DCL为直流电抗器。

表4 5次谐波无电抗器和串电抗器后谐波电流对比

变频器功率/kW	30	18.5	11	2×37	叠加后 电流/A
无电抗器 $I'_h/A$	1.13	0.75	0.45	2.81	5.14
串 ACL $I'_h/A$	0.66	0.44	0.27	1.64	3.00
串 DCL $I'_h/A$	0.52	0.35	0.21	1.30	2.37
串 DCL + ACL $I'_h/A$	0.49	0.32	0.20	1.21	2.21

注: $S_r$ : 20 MVA;  $S_i$ : 1.36 MVA;  $I_h$ : 4.00 A;  $I_{hi}$ : 2.94 A。

对比表4~7可知,该厂在不使用电抗器时,5次和7次谐波超标。如果串联直流电抗器,5次谐波可以满足谐波标准;如果串联交流电抗器,7次谐波可以满足谐波标准。采取了谐波治

# 金鸡岩选煤厂提高煤泥回收效率的研究

王佳雁, 余志福

(重庆能源投资集团松藻煤电公司 金鸡岩选煤厂, 重庆 401446)

**摘要:** 介绍了金鸡岩选煤厂煤泥水处理系统存在的入洗原煤煤质逐年恶化、煤泥水中的细粒含量增多、处理困难等问题, 选用新型有机高分子凝聚剂(8103P)与聚丙烯酰胺(PAM)对煤泥水进行絮凝沉降试验, 使煤泥水中的煤泥颗粒絮凝成较大的絮团而快速沉降, 达到节能降耗、创效增收的目的。

**关键词:** 选煤厂; 煤泥水; 高分子凝聚剂

中图分类号: TD946.2 文献标识码: A

文章编号: 1005-8397(2010)06-0021-04

金鸡岩选煤厂是1座设计能力120万t/a的动力煤选煤厂, 主要入洗打通一、二矿煤。近年来, 随着打通一矿采掘机械化程度不断提高和开拓部署的延伸, 毛煤含矸率越来越大。W2604煤

层的开采影响尤为突出, 其煤层最厚处不足1m, 致使毛煤中次生矿物含量大增, 其中大部分是铝土页岩, 遇水极易泥化。煤泥水中细粒级泥化物较难沉降, 在煤泥水系统中循环聚集, 影响了跳汰机的正常工作, 使压滤时间延长, 降低了煤泥回收效率。

收稿日期: 2010-10-12

作者简介: 王佳雁(1978—), 男, 甘肃张掖人, 2004年毕业于湖南科技大学化工学院化学工程与工艺专业, 工学学士, 重庆能源投资集团松藻煤电公司金鸡岩选煤厂生产部主管, 煤化学工程师, 电话: 023-48733250。

## 1 煤泥水处理系统存在的问题

### 1.1 入选原煤煤质不稳定

的使用寿命, 降低了对外部通信设备和电子设备的干扰。

表5 7次谐波无电抗器和串电抗器后谐波电流对比

变频器功率/kW	30	18.5	11	2×37	叠加后 电流/A
无电抗器 $I'_h/A$	0.71	0.47	0.29	1.77	3.24
串 ACL $I'_h/A$	0.25	0.17	0.10	0.63	1.15
串 DCL $I'_h/A$	0.23	0.15	0.09	0.56	1.03
串 DCL + ACL $I'_h/A$	0.16	0.11	0.06	0.39	0.72

注:  $S_7$ : 20 MVA;  $S_5$ : 1.36 MVA;  $I_h$ : 3.00 A;  $I_{hi}$ : 2.30 A。

表7 13次谐波无电抗器和串电抗器后谐波电流对比

变频器功率/kW	30	18.5	11	2×37	叠加后 电流/A
无电抗器 $I'_h/A$	0.13	0.09	0.05	0.33	0.61
串 ACL $I'_h/A$	0.06	0.04	0.02	0.15	0.27
串 DCL $I'_h/A$	0.09	0.06	0.03	0.22	0.40
串 DCL + ACL $I'_h/A$	0.07	0.05	0.03	0.18	0.32

注:  $S_7$ : 20 MVA;  $S_5$ : 1.36 MVA;  $I_h$ : 1.58 A;  $I_{hi}$ : 1.30 A。

表6 11次谐波无电抗器和串电抗器后谐波电流对比

变频器功率/kW	30	18.5	11	2×37	叠加后 电流/A
无电抗器 $I'_h/A$	0.15	0.10	0.06	0.37	0.67
串 ACL $I'_h/A$	0.13	0.09	0.05	0.32	0.58
串 DCL $I'_h/A$	0.15	0.10	0.06	0.36	0.66
串 DCL + ACL $I'_h/A$	0.12	0.08	0.05	0.31	0.57

注:  $S_7$ : 20 MVA;  $S_5$ : 1.36 MVA;  $I_h$ : 1.86 A;  $I_{hi}$ : 1.51 A。

## 5 结束语

综上所述, 使用变频器后, 可以通过计算网侧谐波, 来判断是否需要采取谐波抑制措施。随着变频器生产成本的降低和一些技术难题的解决, 在未来几年内, 变频器网侧谐波治理这一难题将有望得到解决, 使电能质量进一步提高, 变频器也将成为名符其实的“绿色电源”。

理措施(即串联交流电抗器、直流电抗器)后的谐波电流值更小, 使电网更干净, 延长了电气设备