

风机设备的变频技术及应用

Frequency Conversion Technique and Application of Fan Equipment

王廷才 王本轶 / 河南工业职业技术学院

【摘要】从变频器的容量选择、运行控制方式选择、参数预置及电路原理图等4个方面介绍了风机变频调速系统的设计;举例计算了节能效果。

关键词:通风机 变频调速 节能

Abstract: Design of fan frequency conversion governor is introduced from four respects of converter capacity selection, running control method selection, parameter presetting and circuit block diagram. Efficiency of energy-saving is calculated by example.

Key words: Fan Frequency conversion governor
Energy saving

一、引言

统计资料显示,在工业生产中,风机的风门、挡板相关设备的节流损失以及维护、维修费用占生产成本的7%~25%。这不仅造成大量的能源浪费和设备损耗,而且控制精度也受到限制,直接影响了产品质量和生产效率。

变频调速是80年代初发展起来的新技术,具有易操作、免维护、控制精度高等优点。普通电动机采用变频调速后,在其驱动负载无需任何改动的情况下,即可以按照生产工艺要求调整转速输出。因此风机设备完全可以用变频器驱动的方案取代风门、挡板控制方案,从而降低电机功耗,达到系统高效运行的目的。

二、风机变频调速系统设计

1. 变频器的容量选择

风机在某一转速下运行时,其阻转矩一般不会发生变化,只要转速不超过额定值,电动机也不会过载,一般变频器在出厂标注的额定容量都具有一定的余量安全系数,所以选择变频器容量与所驱动的电动机容量相同即可。若考虑更大的余量,也可以选择比电动机容量大一个级别的变频器,但价格要高出不少。

2. 变频器的运行控制方式选择

风机采用变频调速控制后,操作人员可以通过调节安装在工作台上的按钮或电位器调节风机的转速,操作十分简易方便。

变频器的运行控制方式选择,可依据风机在低速运行时,阻转矩很小,不存在低频时带不动负载的问题,故采用V/F控制方式即可。并且,从节能的角度考虑,V/F线可选最低的。现在许多生产厂家都生产有廉价的风机专用变频器,可以择用。

为什么V/F线可选最低的?现说明如下:如图1所示,曲线0是风机二次方律机械特性曲线,曲线1为电动机在V/F控制方式下转矩补偿为0时的有效负载线。当转速为 n_x 时,对应于曲线0的负载转矩为 T_{Lx} ,对应于曲线1的有效转矩为 T_{Mx} 。因此,在低频运行时,电动机的转矩与负载转矩相比,具有较大的余量。为了节能,变频器设置了若干低减V/F线,其有效转矩线如图1中的曲线2和曲线3所示。

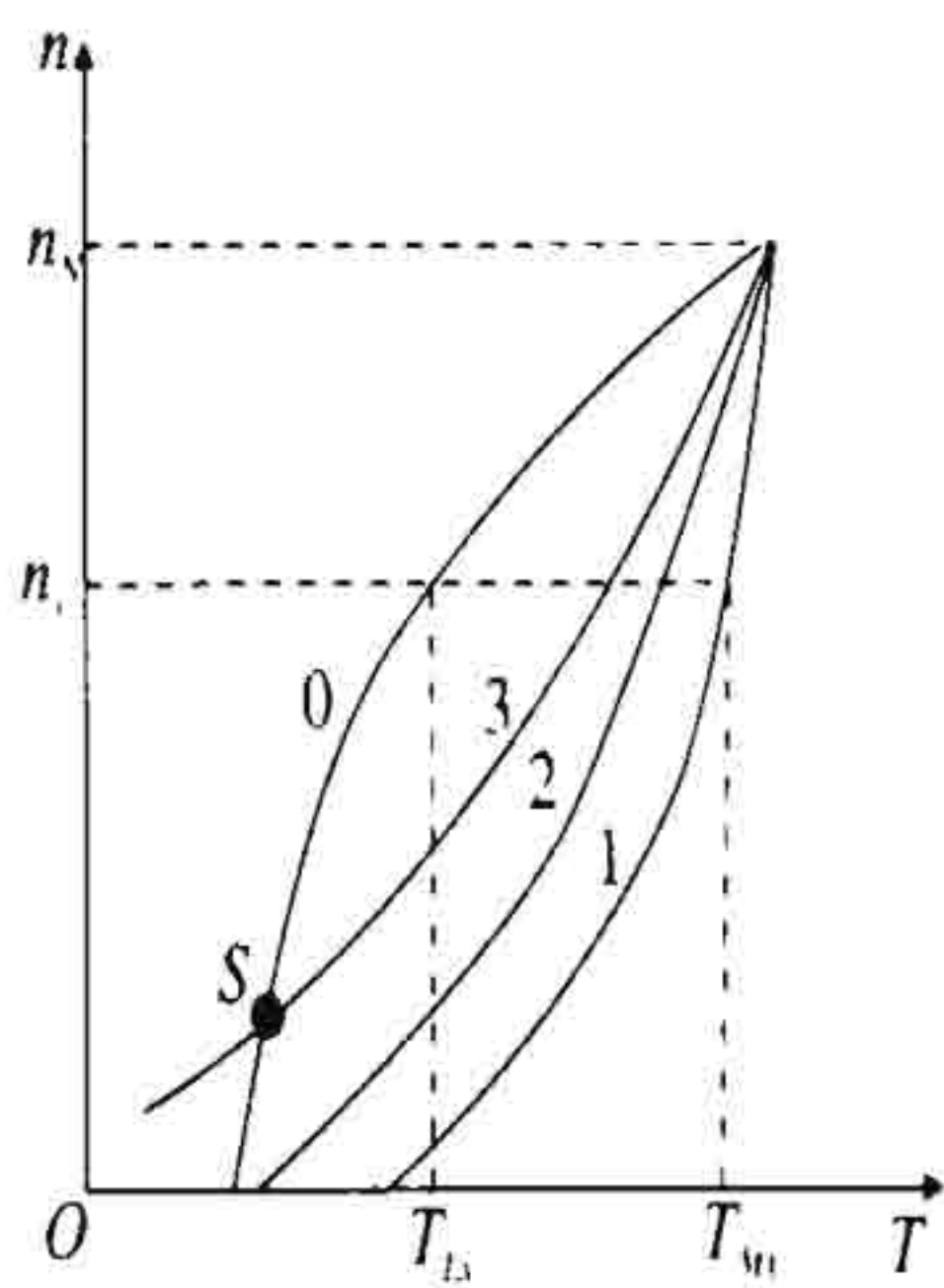


图 1 风机的机械特性和有效负载线

在选择低减 V/F 线时,有时会发生难以启动的问题,如图 1 中的曲线 0 和曲线 3 相交于 S 点。显然,在 S 点以下,电动机是难以启动的。为此,可采取以下措施:

- (1)选择另一低减 V/F 线,例如曲线 2;
- (2)适当加大启动频率。

在设置变频器的参数时,一定要看清变频器说明书上注明的 V/F 曲线在出厂时默认的补偿量,一般变频器出厂时设置为转矩补偿 V/F 曲线,即频率 $f_x=0$ 时,补偿电压 U_x 为一定值,以适应低速时需要较大转矩的负载。但这种设置不适合风机负载,因为风机低速时阻转矩很小,即使不补偿,电动机输出的电磁转矩也都足以带动负载,为了节能,风机应采用负补偿的 V/F 曲线,这种曲线是在低速时减少电压 U_x ,因此,也叫低减 V/F 曲线。如果用户对变频器出厂时设置的转矩补偿 V/F 曲线不加改变,就直接接上风机运行,节能效果就比较差,甚至在个别情况下,还可能出现低频运行时因励磁电流过大而跳闸的现象。当然若变频器具有“自动节能”的功能设置,直接选取即可。

3. 变频器的参数预置

(1)上限频率

因为风机的机械特性具有二次方律特性,所以,当转速超过额定转速时,阻转矩将增大很多,容易使电动机和变频器处于过载状态,因此,上限频率 f_H 不应超过额定频率 f_N 。

(2)下限频率

从特性或工况来说,风机对下限频率 f_L 没有要求,但转速太低时风量太小,在多数情况下无实际意义。一般可预置为 $f_L \geq 20\text{Hz}$ 。

(3)加、减速时间

风机惯性很大,加速时间过短容易产生过电流;减速时间短容易引起过电压。一般风机

启动和停止的次数很少,启动时间和停止时间都不会影响正常生产。所以加减速时间可以设置长些,具体时间可根据风机的容量大小而定。通常是风机容量越大,加、减速时间设置越长。

(4)加、减速方式

风机在低速时阻转矩很小,随着转速的增高,阻转矩增大得很快;反之,在停机开始时,由于惯性的原因,转速下降较慢。所以,加、减速方式以半 S 方式比较适宜。

(5)回避频率

风机在较高转速运行时,由于阻转矩较大,容易在某一转速下发生机械谐振。遇到机械谐振时,极易造成机械事故或设备损坏。因此必须考虑设置回避频率。可采用试验的方法进行预置,即反复缓慢地在设定的频率范围内进行调节,观察产生谐振的频率范围,然后进行回避频率设置。

(6)启动前的直流制动

为保证电动机在零速状态下启动,许多变频器具有“启动前的直流制动”功能设置。这是因为风机在停机后,其风叶常常因自然风处于反转状态,这时让风机启动,则电动机处于反接制动状态,会产生很大的冲击电流。为避免此类情况出现,要进行“启动前的直流制动”功能设置。

4. 风机变频调速系统的电路原理图

一般情况下,风机采用正转控制,所以线路比较简单。但考虑到一旦变频器发生故障,也不应让风机停止工作,应具有将风机由变频运行切换为工频运行的控制。

图 2 为风机变频调速系统的电路原理图。

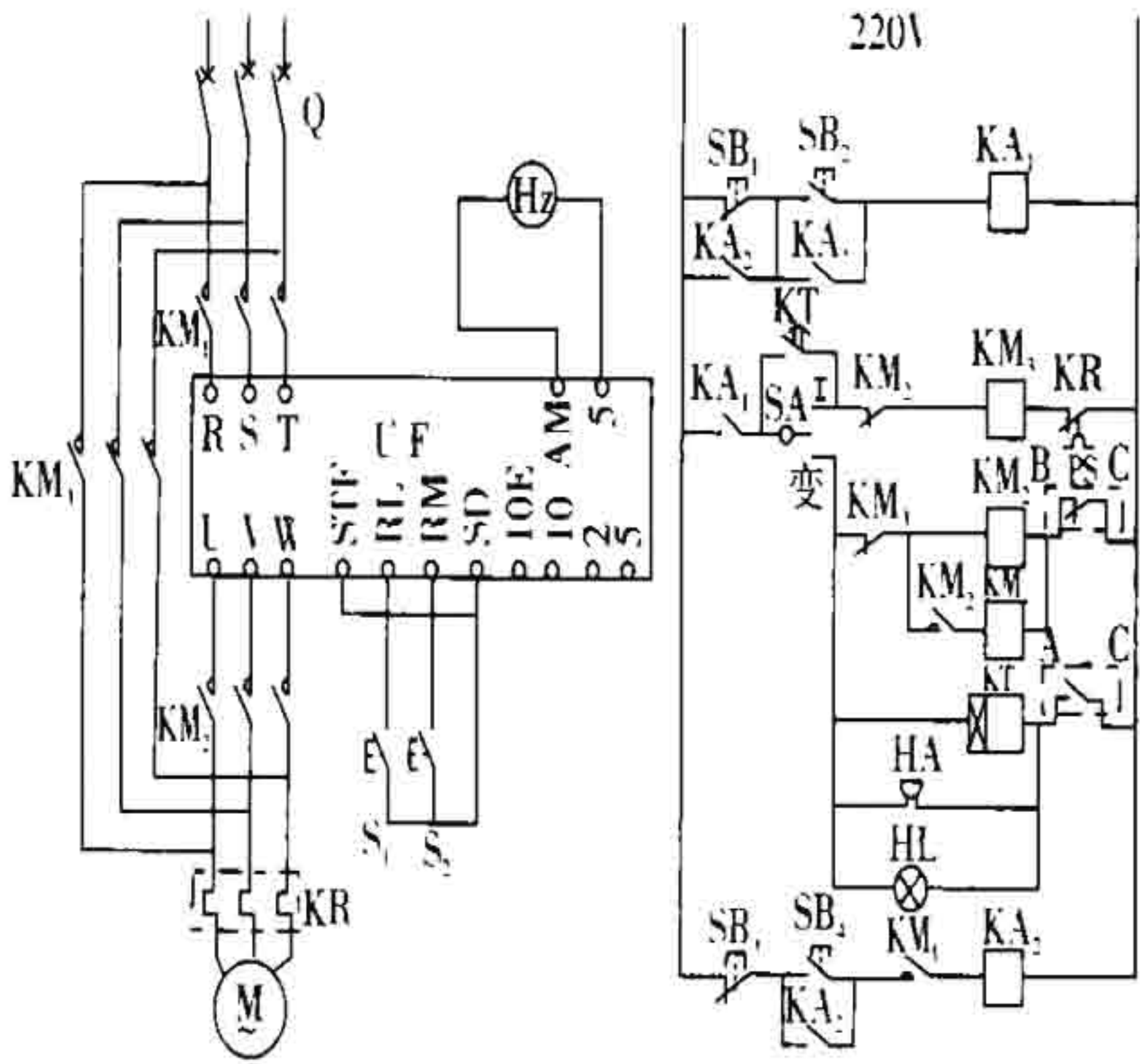


图 2 风机变频调速系统的电路原理图

(1)变频器的接线与功能代码

图中所用变频器为三菱 FR - A540 系列,

输入端 R、S、T 通过控制电器接至电源,输出端 U、V、W 通过电器接至电动机,使用时绝对不允许接反。控制端子 STF 为正转启动端,为保证电动机单向正转运行,将 STF 与公共端 SD 相接。端子 RH 和 RM 为变频器的升降速控制端,控制其与公共端 SD 的通断,可以实现升降速。

变频器的功能预置:

Pr. 79=1 使变频器处于外部运行模式。

Pr. 59=1 使“遥控方式”有效。即用控制端子的通断实现变频器的升降速。

Pr. 182=2 使 RH 端具有升速功能。

Pr. 181=1 使 RM 端具有降速功能。

RH 与公共端 SD 接通时,频率上升;RH 与公共端 SD 断开时,频率保持。

RM 与公共端 SD 接通时,频率下降;RM 与公共端 SD 断开时,频率保持。

这里使用 S_1 和 S_2 两个按钮分别与 RH 和 RM 相接,按下按钮 S_1 使 RH 与公共端 SD 接通,控制频率上升;松开按钮 S_1 ,RH 与公共端 SD 断开,频率保持。

同样,按下按钮 S_2 使 RM 与公共端 SD 接通,控制频率下降;松开按钮 S_2 ,RM 与公共端 SD 断开,频率保持。

AM 为模拟信号输出端,可在 AM 和模拟信号公共端两端之间跨接频率表,用于监视变频器的运行频率。

相应的变频器功能代码预置:

Pr. 158=1 使 AM 端子输出频率信号。

Pr. 55=50 使频率表的量程为 0~50Hz。

(2) 主电路

三相工频电源通过断路器 Q 接入,接触器 KM_1 用于将电源接至变频器输入端 R、S、T,接触器 KM_2 用于将变频器的输出端 U、V、W 接至电动机, KM_3 用于将工频电源直接接至电动机。注意,接触器 KM_2 和 KM_3 绝对不允许同时接通,否则会损坏变频器,因此, KM_2 和 KM_3 之间必须有可靠的互锁。热继电器 KR 用于工频运行时的过载保护。

(3) 控制电路

便于对风机进行“变频运行”和“工频运行”的切换,控制电路采用三位开关 SA 进行选择。

当 SA 合至“工频运行”方式时,按下启动按钮 SB_2 ,中间继电器 KA_1 动作并自锁,进而使接触器 KM_3 动作,电动机进入工频运行状态。按下停止按钮 SB_1 ,中间继电器 KA_1 和接触器 KM_3 均断电,电动机则停止运行。

当 SA 合至“变频运行”方式时,按下启动按钮 SB_2 ,中间继电器 KA_1 动作并自锁,进而使接触器 KM_2 动作,将电动机接至变频器的输出端。 KM_2 动作后使 KM_1 也动作,将工频电源接至变频器的输入端,并允许电动机启动。同时使连接到接触器 KM_3 线圈控制电路中的 KM_2 的常闭触点断开,确保 KM_3 不能接通。

按下按钮 SB_4 ,中间继电器 KA_2 动作,电动机开始加速,进入“变频运行”状态。 KA_2 动作后,停止按钮 SB_1 失去作用,以防止直接通过切断变频器电源使电动机停机。

在变频运行中,如果变频器因故障而跳闸,则变频器的“B-C”保护触点断开,接触器 KM_1 和 KM_2 线圈均断电,其主触点切断了变频器与电源之间,以及变频器与电源之间的连接。同时“C-A”触点闭合,接通报警扬声器 HA 和报警灯 HL 进行声光报警。同时,时间继电器 KT 得电,其触点延时一段时间后闭合,使 KM_3 动作,电动机进入工频运行状态。

操作人员发现报警后,应及时将选择开关 SA 旋至“工频运行”位,这时,声光报警停止,并使时间继电器断电。

三、节能计算

对于风机设备采用变频调速后的节能效果,可根据已知风机在不同控制方式下的流量与负载关系曲线及现场运行的负荷变化情况进行计算。

以一台工业锅炉使用的 30kW 鼓风机为例。运行工况以 24 小时连续运行,其中每天 10 小时运行在 90% 负荷(频率按 46Hz 计算,挡板调节时电机功耗按 98% 计算),14 小时运行在 50% 负荷(频率按 20Hz 计算,挡板调节时电机功耗按 70% 计算);全年运行时间在 300 天为计算依据。则变频调速时每年的节电量为

$$\begin{aligned} W_1 &= 30 \times 10 \times [1 - (46/50)^3] \times 300 \\ &= 19918 \text{ kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

(下转第 48 页)

此管路既含有 50.8mm 部分,也含有 76.2mm 部分。喷水后,在 50.8mm 部分流速为 1.6m/s,在 76.2mm 部分流速为 0.7m/s,两部分的沿程损失共计 0.145MPa,而 EV302 出口压力为 0.283MPa。

按前面对 50.8mm 管路的计算结果,流速已经很大,沿程损失也已经很大,已经不符合管路设计要求。因此,加粗 EV302 出口管,将其 50.8mm 部分均改为 76.2mm,则沿程损失可降到 0.038MPa,这样管路的流量裕度可与原系统相当,能够满足裕度要求。

(3) 现场运行状况

现场运行状况, EV-302 排水管路是连续排放, 现实运行阀门开度经常为 100%, 注水后冷凝水流量增加 $6400/5261 \approx 120\%$, 现有调节阀更加满足不了实际运行要求。

(4) 结论

根据以上计算结果, 可得出结论: 对于整个分离系统, EV303 和 EV304 的能力均有相当大的裕度, 能够充分满足喷水改造后对流量的要求; EV302 因为是烃、水分别流出不同的管路, 其烃类系统的管路流量能力因烃的总量变化很小, 不需考虑, 而水系统的流量已经接近上限, 基本上没有裕量, 这在设计上不允许的, 因此, 对 EV302 到 EV202 的出水管路要进行改造, 以满足喷水对流量的要求。

(5) 改造方案

为满足喷水后的分离要求, 对 EV302 到 EV202 的管路进行改造, 将其中 50.8mm 的管

路部分全部更换为 76.2mm 管, 所用管线及阀门等参照原系统中 76.2mm 部分, 原系统中 76.2mm 部分不进行改造。对 EV302 的出口, 建议将其扩为 76.2mm, 按压力容器开孔补强要求, 罐体部分无需另外补强。

6. 控制方案

① 正常启动

当压缩机转速达到 4900r/min 的时候, 打开气动调节阀。

② 调节喷水流量在 $(6.4 \pm 0.2)t/h$ 。

③ 监测压力(供水总管后):

<3.0MPa 报警;

<2.2MPa 停止喷水(关闭气动调节阀)。

④ 机组正常停机:

转速下降到 4900r/min 时, 关闭气动调节阀。

⑤ 紧急停机:

机组停, 气动调节阀关闭。

7. 改造后的运行考核

经过 6 个月的准备工作, 于 2002 年 5 月, 乙烯装置大检修进行实施、开工后的考核, 其结果, 压缩机 1~3 段裂解气出口温度平均下降 85°C , 与设计时相符, 而且还有一定的操作余量。

八、小结

依靠国内技术力量, 对进口大型压缩机组, 实施技术改造, 降低能耗, 提高效率, 降低生产成本是可行的。

(上接第 43 页)

$$W_2 = 30 \times 14 \times [1 - (20/50)^3] \times 300 \\ = 117936 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_b = W_1 + W_2 = 19918 + 117936 \\ = 137854 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

挡板开度时的节电量为

$$W_1 = 30 \times (1 - 98\%) \times 10 \times 300 \\ = 1800 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_2 = 30 \times (1 - 70\%) \times 14 \times 300 \\ = 37800 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$W_b = W_1 + W_2 = 1800 + 37800 \\ = 39600 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

相比较节电量为

$$W = W_b - W_d = 137854 - 39600 \\ = 98254 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

每 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 电按 0.6 元计算, 则采用变频调

速每年可节约电费 58952 元。一般来说, 变频调速技术用于风机设备改造的投资, 通常可以在一年左右时间全部收回。

四、结束语

风机设备采用变频调速技术是一种理想的调速控制方式, 不仅具有显著的节电效果, 而且方便了操作, 提高了设备效率, 减少了设备维护、维修费用, 较好地满足了生产工艺要求, 经济效益十分明显。因此, 《中华人民共和国节约能源法》第 39 条已把它列为重点技术推广项目。

参 考 文 献

- [1] 王廷才. 电力电子技术[M]. 机械工业出版社, 2000.
- [2] 石秋洁. 变频器应用基础[M]. 机械工业出版社, 2003.
- [3] 冯焱生等. 变频器的应用与维修[M]. 华南理工大学出版社, 2001.