

# 改变刹车程序使风机 在电网掉电情况下执行“安全停机”

德国柏林大学 Gerrit Schmit 著 王相明 译

风机紧急刹车时,齿轮箱上承受很高的载荷。为了说明这一点,让我们比较以下 JACOBS 500/600kW 风机不同的刹车方式的过程:

正常刹车:

- ①叶尖释放;
- ②在 0kW/同步转速时,发电机脱网;
- ③当电机转速  $n=0.5n_{\text{额定}}$  时,一个机械刹车制动;
- ④当转速  $n=0\text{r/min}$  时,另一个机械刹车制动。

安全刹车:

- ①叶尖释放和一个机械刹车制动同时进行;
- ②在 0kW/同步转速时,发电机脱网;
- ③然后另一个机械刹车制动。

紧急刹车:

以下动作同时发生:

- 叶尖释放
- 发电机脱网
- 两个机械刹车同时动作

由于刹车同时动作,紧急刹车情况下齿轮箱所承受的载荷是正常刹车下的两倍以上。应该尽量避免如此高的载荷使齿轮箱很快损坏。

在一些电网不太可靠的地方,会经常发生电网掉电。为此,应将电网掉电时的刹车程序由“紧急刹车”改变为“安全刹车”。通过加装 UPS 系统,在电网停电后为控制系统暂时

供电可以实现上述目的。

## 1 国产控制系统和 DanControl 控制系统的不同

Jacobs 风机所采用的 DanControl 控制系统,控制发电机脱网的参数为“输出功率为 0kW”。在电网掉电的情况下,输出功率为 0kW,这样风机立即执行紧急“停机程序”,不管是否设定了停机方式。详见上面所列不同的停机过程。简单地在控制系统中增加 UPS 系统不会对停机过程产生作用,必须更换 EPROM。

不同的是,国产化控制系统利用“同步转速”作为发电机切除的参数。因此,当电网掉电时,若控制系统仍能发挥作用,风机可以按照不同的刹车方式进行停机。

这样,可以首先在国产控制系统中试验 UPS 系统。国产化控制系统应用工控机,只需修改其软件即可。如果改进后风机运行良好,可以建议 DanControl 公司(注:进口控制器生产商)。否则,以后国产化控制系统将有更大的市场。

## 2 改变刹车过程的安全性考虑

如果发电机脱网,风机处于无负载状态,转速将急剧升高。如果风机不能及时停下来,主要部件将受到严重损坏。特别在高风速时这种风险更大。即使刹车程序启动很快,也滞后于电网掉电。下面的粗略计算显示了发电机转速上升了多少转。假定叶尖弹出  $40^\circ$ 后,

电机转速才可可靠地下降。

(1) 滞后时间:

- 控制系统检测电网电压的延时时间: 0.10s(假设)
- 控制系统开始刹车程序的延时时间: 0.00s(假设)

- 机械刹车动作的延时时间: 0.25s
- 叶尖动作时间: 0.20s
- 转过 80°所需时间: 1.50s
- 转过 40°所需时间: 0.80s(假设)
- 机械刹车延时的总时间: 0.35s
- 叶尖转过 40°所需总时间: 1.10s
- 叶尖刹车延时时间: 0.75s

(2) 计算数据

- 发电机转速:  $n_1 = 1515 \text{ r/min}$
- 总延时(叶尖转过 40°)  $\Delta t_1 = 1.10 \text{ s}$
- 总延时(机械刹车制动)  $\Delta t_2 = 0.35 \text{ s}$
- 叶尖刹车延时  $\Delta t_3 = 1.10 \text{ s}$
- 600kW/1515r/min 时电机转矩:

$$T_{ROT} = 3782 \text{ Nm (资料 # 4, P4-5)}$$

- 转动惯量:

$$I_{TOTAL} = 193.7 \text{ kgm}^2 \text{ (资料 # 4, P4-5)}$$

- 转动频率:

$$\omega = \frac{P}{T} = \frac{600 \times 10^3 \text{ Nm/s}}{3782 \text{ Nm}} = 158.646 \text{ s}^{-1}$$

- 转动加速度:

$$\alpha = \frac{T_R}{I_{TOTAL}} = \frac{3782 \text{ Nm}}{193.7 \text{ kgm}^2} = 19.525 \text{ s}^{-2}$$

- 每个刹车卡钳的刹车力矩:(资料 # 4,

P4-117)

$$\begin{aligned} T_B &= F_{SPRING} \cdot r \cdot 2 \cdot \mu \\ &= 30500 \text{ Nm} \times 0.2925 \text{ m} \times 2 \times 0.205 \\ &= 3657.713 \text{ Nm} \end{aligned}$$

考虑 10% 的刹车片磨损, 刹车力矩:

$$T_B = 3291.941 \text{ Nm}$$

(3) 正常刹车程序

在叶尖打开前(转过 40°), 转速上升:

$$\Delta n = \frac{\Delta \omega}{2\pi} \quad \Delta \omega = \Delta t \cdot \alpha$$

$$\Delta n = \frac{\Delta t \cdot \alpha}{2\pi} = \frac{1.10 \text{ s} \times 19.5 \text{ s}^{-2}}{2\pi}$$

$$= 3.41 \text{ s}^{-1} = 204.8 \text{ r/min}$$

$$n_2 = n_1 + \Delta n = 1515 + 205$$

$$= 1720 \text{ (r/min)}$$

此时将出现“电机超速”故障, 当电机转速超过允许的最大限定值  $1650 \text{ min}^{-1}$  时, 叶尖必须打开降低转速。此时风机将因“电机超速”故障执行“紧急停机”。也就是说, 在电网掉电情况下, 风机不能按“正常停机”程序执行。

(4) 正常刹车程序

在一个机械闸作用前, 转速升高:

$$\Delta n = \frac{\Delta \omega}{2\pi} \quad \Delta \omega = \Delta t \cdot \alpha$$

$$\Delta n = \frac{\Delta t \cdot \alpha}{2\pi} = \frac{0.35 \text{ s} \times 19.5 \text{ s}^{-2}}{2\pi}$$

$$= 1.09 \text{ s}^{-1} = 65.2 \text{ r/min}$$

$$n_2 = n_1 + \Delta n = 1515 + 65$$

$$= 1580 \text{ (r/min)}$$

扭矩计算:

$$T_{RESULT} = T_{ROT} - T_B$$

$$= 3782 \text{ Nm} - 3292 \text{ Nm} = 490 \text{ Nm}$$

在叶尖打开前(转过 40°), 转速仍然上

升:

$$\alpha_{RESULT} = \frac{T_{RESULT}}{I} = \frac{490 \text{ Nm}}{193.7 \text{ kgm}^2} = 2.5 \text{ s}^{-2}$$

$$\Delta n_2 = \frac{\Delta t_3 \cdot \alpha_{RESULT}}{2\pi} = \frac{0.75 \text{ s} \times 2.5 \text{ s}^{-2}}{2\pi}$$

$$= 0.30 \text{ s}^{-1} = 17.9 \text{ r/min}$$

$$n_3 = n_2 + \Delta n_2 = 1580 + 18$$

$$= 1598 \text{ (r/min)}$$

这种情况下, 没有超过发电机的极限转速, 不会发生“电机超速”故障。本计算是很粗略的, 实际的转速上升值可能有别于计算值。

计算是按最大风速和出力以及摩擦片出现磨损(10%)情况考虑的。在较低风速和摩擦片良好的情况下,电机的转速上升将更低。

### 3 UPS 的安装

在电网掉电时,使风机刹车执行“安全停机”程序,必须向以下部件供电:

- TAC 和 TOI 计算机
- 叶尖和刹车闸的电磁阀

应急电源应连接在低压侧相应的变压器上:

• TR13,690/230V 供 TAC/TOI

• TR4,400/24V 供电磁阀

TR9,400/24/18V 供 K12,安全链

功率消耗计算:

• TAC/TOI

保险 F8,  $I_{max}=6A$

$$P_{max}=UI_{max}=230V \times 6A=1380W$$

• 电磁阀,型号:

WH3 N-G24,24V/34.5W,5 个

$$P_{RATED}=5 \times 34.5W=172.5W$$

• TR9:  $P=160W$ (推测)

• 总消耗功率:

$$S_{max}=2000VA$$

UPS 的容量:

• 供电时间:  $t=60s$

• 供电电压:  $U=230V$

• 功耗:  $S=2000VA$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{2000VA}{230V} = 8.7A$$

$$C = 8.7A \frac{60}{3600}h = 145mAh$$

需增加两个变压器为 TR4 和 TR9 供电:一个为 230/24V,175VA,另一个为 230/19V,200VA。

### 4 控制系统的改变

必须持续检测电网电压。电网掉电情况下,控制系统须执行“安全停机”。要做到这一点,可能要更改国产控制系统的控制程序。另外,主控制柜中须增加两个变压器。