

「电动机」

电动机磨齿事故的案例分析

文/上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 上海水业设计工程有限公司 王 伟

抽吸增压泵运行一段时间后，出现磨齿现象。经过现场对水泵、电动机拆盖检查，发现磨齿现象与变频器选型及参数设置有极大关系。通过转矩提升电流的合理设置，可以避免磨齿现象发生。对抽吸增压泵等恒转矩负载有一定借鉴作用。

某水厂内设置膜处理车间一座，设计规模为10万m³/d，膜车间管廊内设10台抽吸增压泵（凸轮转子泵），能够正、反转运行。正转时用于超滤膜的抽吸出水，反转时用于膜池药洗进水。配套笼型三相异步电动机，电动机功率为37 kW，额定电流为67.3 A，转速为1 470 r/min。根据工艺工况需求，需采用变频运行。

从膜车间开始进水调试运行的近一个多月时间里，膜车间内的多台抽吸增压泵不同程度的出现了运行噪声过大的情况。

水泵是水厂内主要用电设备，是保证生产水质、保证出厂水量的关键。大面积的出现电动机故障现象，对水厂安全运行带来极大隐患，一旦水厂减产乃至停产，会造成极恶劣的社会影响。

水泵厂家认为是转子泵的联轴器弹性垫损坏造成了水泵运行异常而产生较大的噪声，需要更换受损坏的弹性垫。同时水泵厂家提出造成弹性垫损坏的原因是转子泵进出口的管道都是刚性连接，管道上存在的应力作用在泵进出口上造成泵与电动机之间有位移，认为应该在泵进口管道上安装橡胶接头以消除应力。

现场情况勘查

水泵厂家到现场更换了受损的弹性垫，并对联轴器进行了重新校准，但发现其中1#膜池和2#

膜池的2台泵运行噪声还是很大，经拆盖检查后，发现这2台水泵的电动机减速机内的齿轮有严重磨损。随后，又对剩余的8台水泵进行了一一拆盖检查，又发现4#膜池和9#膜池对应的2台泵的减速机齿轮有磨损现象，即现场共发现4台泵的减速机齿轮有问题。



图1 电动机磨齿现象

水泵厂家及水泵配套电动机厂家将电动机磨齿原因集中到变频器，造成减速机齿轮磨损的原因有以下三点：

其一：造成转子泵电动机减速机齿轮磨损的原因是转子泵的变频器选型有误，应该选比现有型号大一档的变频器。

其二：变频器使转子泵从静止开始到额定频率加速过快。

其三：现场发现有四台泵（1#、2#、4#和6#膜池抽吸泵）在正转起动时，当频率从零上升至17 Hz、18 Hz左右时，偶尔会有一个突然的停滞，然后再起动加速，但时而又没有，这个现象也有可能是导致减速机齿轮磨损的原因。

故障分析

1. 恒转矩负荷特性

恒转矩负载是指负载转矩的大小, 仅仅取决于负荷的轻重, 而和转速大小无关的负载。这里所说的转矩大小是否变化是相对于转速变化而定的。比如带式输送机, 当传输带上的物品较多时, 不论转速有多大, 负载转矩都较大; 而当传输带上的物品较少时, 也不论转速有多大, 负载转矩都较小。

本案例中变频器根据水泵工况要求配用恒转矩功能变频器, 按一般应用场合, 选用额定功率 $P_N = 37 \text{ kW}$, 额定电流 $I_N = 72 \text{ A}$ 的恒转矩变频器。

变频器根据负载需求, 提供相应的能量给负载, 保持能量平衡。从进水调试到发现噪声过大, 变频器均运行正常, 未出现过载现象。说明变频器的容量是可以满足负载运行的, 选型是合理。

2. 变频调速低频阶段机械特性

齿轮的磨损主要是由于受力过大或突然失力, 达到极限而造成的。主要发生在起动阶段, 即 $0 \sim 20 \text{ Hz}$ 。

交流电动机的转速公式为

$$n = 60f(1 - S)/p$$

由转速公式可知, 当电动机转差率 S 不变时, 改变频率可以改变电动机的转速, 但电动机的转差率与频率有关。电动机调速时, 重要的原则是保持气隙磁通量 Φ_m 为额定值不变。

三相异步电动机定子每相电动势有效值为

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 K_m \Phi_m$$

由上式可知, 只要控制 E_1 、 f_1 就可以控制磁通 Φ_m 。

当 f_1 由额定频率 f_{1N} 下调时, 要保持 Φ_m 不变, 必须同时降低 E_1 , 即只要保持 E_1/f_1 不变, Φ_m 就可保持不变。但由于异步电动机定子阻抗的存在, 直接控制电动势 E_1 较为困难, 当电动机采用变频调速时, 可通过控制电动机端电压 U_1 来间接控制感应电动势。

高频时, U_1 、 E_1 较大, 定子阻抗压降可忽略。因此, 可认为 $U_1 = E_1$, 则有 $U_1/f_1 = \text{常量}$ 。

低频时, U_1 、 E_1 较小, 定子阻抗压降不能忽略。所以, 需人为地将 U_1 升高, 以补偿定子压降。

因此在低频运行时, 需控制电动机端电压来间接控制感应电动势。一般在控制回路中加入一个函数发生器控制环节, 以补偿低频时定子电阻所引起的电压降, 使电动机在低频时仍能近似保持恒磁通。

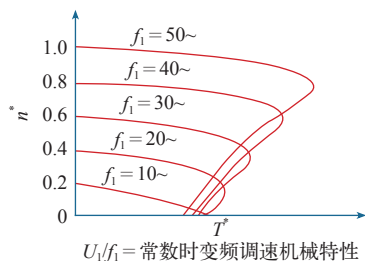
3. 本案例变频器低频补偿

翻阅本案例变频器参数设置样本, 低频时, 变频器为保持恒转矩输出, 需附加一个转矩提升电流 (即人为控制电动机端电压), 以保证恒转矩功能, 但转矩提升电流仅在起动阶段存在, 在 20 Hz 时或转矩提升电流给定值与实际值相等时会退出。转矩提升电流可在 $15\% \sim 300\%$ 额定电流之间调节。而现场变频器转矩提升电流值设置为 30% 。因此可以认定是转矩提升电流值设置过低, 电动机端电压升高值过低, 造成转矩值过低, 出现了磨齿现象。

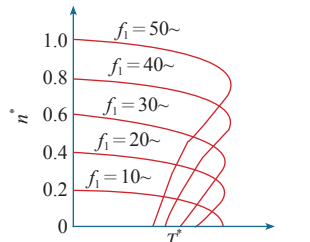
处理方式

根据理论分析和实际故障情况, 故障的原因主要集中在转矩提升电流, 通过调整转矩提升电流, 从 30% 调整至 100% , 并将变频器加速时间 (从 $0 \sim 50 \text{ Hz}$) 调整为 2 min 。进行带载运行, 变频器、水泵运行情况稳定, 未出现噪声过大现象, 也未出现磨齿现象和骤停现象, 运行平稳。

从图3中可以看出, 抽吸增压泵最大运行电流在 63 A 左右 (即转矩提升电流为 100% 设定值时), 最大转矩为 96% 左右。同时从图3中看出, 在 $0 \sim 20 \text{ Hz}$ 区间, 运行电流是基本恒定的, 转矩也是基本恒定的, 当 20 Hz 后转矩提升电流撤出后, 随着频率的增加, 运行电流、转矩与频率基



$U_1/f_1 = \text{常数}$ 时变频调速机械特性



补偿后的 T_m 变频调速的机械特性

图2 变频调速机械特性
($U_1/f_1 = \text{常数}$ 、补偿后的恒 T_m)

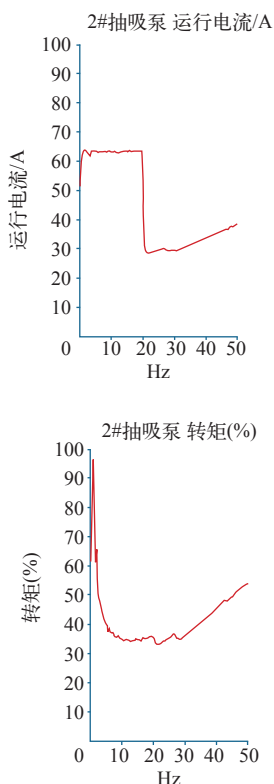


图3 实测电流及转矩(2#抽吸泵)

本成线性关系。

由于担心电动机再次磨齿,无法实际测量30%转矩提升电流时的运行曲线,只能进行假定推测。转矩假想图如下。

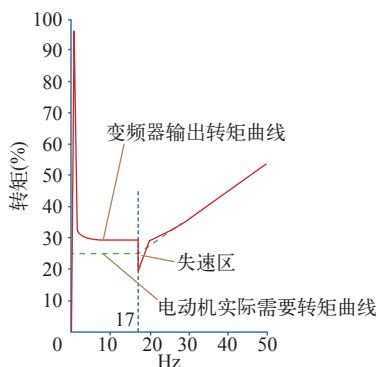


图4 17 Hz时电动机骤停假想图

随着频率上升,输出转矩提升,在转矩提升电流附加时,可以保证恒转矩运行,当转矩提升

电流给定值(30%)与电流实际值相等时(17 Hz左右时),转矩提升电流撤出,转矩突降,达不到负载所需的转矩,造成电动机突然停运,巨大的撞击力造成磨齿现象。此后,频率还在上升,当频率上升到一定值时,输出转矩大于负载转矩,电动机又重新运行。由于实际电流值存在变动,因此会发生17 Hz时有时突停,有时正常运行的情况。

体会

首先,水泵及电动机是多专业融合的设备,既有工艺给排水的内容,又有电气、自控、机械等方面的相关知识,需各专业融合。确定水泵及电动机技术规格一定要各专业参与。发生电动机磨齿现象不能仅关注机械问题,也需寻找电力拖动等其他方面的原因。

其次,设计联络一定要落实到位,包括设计、安装、设备等多专业。对水泵电动机的运行工况、变频器参数设置等一定要落实。

最后,出现故障时要认真调查,理性分析,不能偏听偏信厂家说法。厂家要求提高一级变频器,只是人为的提高额定电流值及低频时的转矩,如果转矩提升电流设置值为30%或者更低,还是会发生磨齿现象的。

结束语

用于膜处理车间抽吸增压泵等类似恒转矩负载的设备,需认真考虑低频时的转矩输出,研究低频时电压补偿函数发生器的参数设置。本案例中的变频器是通过转矩提升电流、起动时间的设置,就可安全运行。

转矩提升电流需合理设置,设置过低,会造成起动转矩不够,设置过高,会造成电动机运行过热。建议合理的设置范围为80%~120%。

本文所述的抽吸增压泵经变频器参数设置调整后,已安全运行三年,再未出现过类似磨齿故障。EA

(收稿日期:2017.08.30)

(编辑:白文亭)