

3P-42

水泵电动机的调速运行

荆绍莹

74 824.5

(中国市政工程西南设计院)

在给水排水工程中水泵的耗能量最大,特别是在给水工程中,一般占总耗电量的 70% 以上。如何使水泵在最优状态下运行以提高其工作效率,对节能来说具有很大意义,而水泵机组调速运行就是最有效的节能方法。它以可调的转速来适应供水量和扬程的变化,使水泵在各种情况下都运行在效率较高的区域。

一、水泵运行的控制方式

实际运行中水泵流量根据外界用水情况在随时变化,扬程也因流量和水位的变化而变化,因此水泵不能总保持在一个固定的工作点,需要根据实际情况进行控制。通常有台数控制、阀门开度控制和转速控制等三种,实际上往往是两种控制同时使用。

阀门开度控制效率最差,大量的能量被消耗在阀门的水头损失上。台数控制不能实现流量和压力的连续控制,仍需要阀门开度控制来配合。而转速控制则以水泵的可调转速来适应流量和压力的变化,不仅可以实现流量和压力的连续控制,而且使水泵在各种情况下都运行在较高效率的区域;虽然控制复杂,设备价格高,但节能效果是显著的。

实际设计中往往按最不利因素考虑。如管道损失按最坏情况计算,考虑的富裕水头较大,而最后在选泵时还考虑一定的裕量,当采用水泵调速运行时就可以把这些裕量压至最小,从而节约能耗,使水泵运行更为合理。

1. 水泵的调速范围

水泵的调速范围(调速比)由下式决定:

$$K_T = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad (1)$$

式中: H_1 ——对于取水泵 H_1 是最大取水量且河床水位最低时要求的取水泵压力;对于配水泵和加压泵 H_1 则是最大供水量时所需之出厂压力。

H_2 ——对于取水泵 H_2 是最小取水量且河床水位最高时要求的取水泵压力;对于配水泵和加压泵 H_2 则是最小供水量时所需之出厂压力。

2. 水泵调速的控制原则

取水泵机组应尽可能实现流量恒定均匀取水,调节水量尽可能储存于清水池和厂外调节池,以利于工艺处理过程。所以,取水泵宜采用恒流量调速的运行方式,按河床水位的变化调整水泵的转速以改变其扬程,并使取水量基本恒定;而以效率作为控制的约束条件,使取水泵始终运行在高效区。

当供水量变化较大而调节容量不足时,可按供水预测曲线划分几个时间段,在高峰时间段提高给定取水量,在低峰时间段降低给定取水量,在每段时间内仍按恒定流量调速运行。

配水泵机组应按保持管网末端压力恒定来进行调速控制,以效率作为控制的约束条件。当管网由一个水源供水时,如能测得泵站出口至

管网末端的水头损失系数 K 值, 则可按泵站出口总流量 Q 来变速调节配水泵的出口压力 H , 以保证管网末端的压力 P 恒定。这时,

$$H = KQ^2 + P \quad (2)$$

当管网由几个泵站供水时, 设 i 泵站水泵额定转速为 n_i 时的出口总流量为 Q_i , 压力为 H_i , 若水泵转速调节为 $\bar{n}_i$ 时, 则有:

$$P = \left(\frac{\bar{n}_i}{n_i}\right)^2 H_i - K_i Q_i^2 = \lambda_i^2 H_i - K_i Q_i^2 \quad (3)$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{\lambda_i^2 H_i - P}{K_i}} \quad (4)$$

式中: $\lambda_i = \frac{\bar{n}_i}{n_i}$, 为 i 泵站的调速比。

二、交流电动机的调速方式

设交流电动机的同步转速为 n_s ; f 为供电电源频率; p 为电动机的极对数。则交流异步电动机的转速为:

$$n = n_s (1-s) = \frac{60f}{p} (1-s) \quad (5)$$

式中: $S = 1 - \frac{n}{n_s}$ 称为电动机的转差率。

由(5)式可知变极对数、变转差率及变频率, 均能改变电动机的转速。变转差率调速可分为转差功率不回收和转差功率回收两种。属于前者的有转子串电阻调速、电磁离合器和液力偶合器; 属于后者的有晶闸管串级调速和电机串级调速。

1. 绕线型异步电动机转子串电阻调速

设定子的输入功率为 P_1 , 扣除定子损耗即为电磁功率 P_e , 经气隙传给转子, 其中一部分转化为机械功率 P_m , 另一部分消耗于转子电阻 r_2 及附加电阻 R_f 中的功率为 P_r , 因为 P_r 与转差率 S 成比例, 故称为转差功率。

$$P_r = (1-s) P_e \quad (6)$$

$$P_r = 3I_2^2(r_2 + R_f) = SP_e \quad (7)$$

如不考虑电动机内部损耗, 调速时的效率为:

$$\eta = \frac{P_m}{P_1 + P_r} = 1-s = \frac{n}{n_s} \quad (8)$$

可见调速系统的效率与转速成正比, 低速时效率也低, 但对水泵仍有一定的节能效果。液力偶合器、电磁离合器与串电阻调速情况基本相同, 缺点是不能使电动机全速运行, 而转子串

液体变阻器调速, 结构简单、成本低廉、维护容易、而且可以短接转子使其在额定转速下运行, 是一种可供选择的调速方法。

2. 晶闸管串级调速

如图1所示, 异步电动机转子电势经整流逆变后回馈给电网, 逆变功率 $P_g = U_g I_g$ 就是转差功率。当改变逆变角 β 时, 逆变电势 E_g 、转差功率 $P_g \approx P_r$ 、转差率 s 都将随之改变, 从而达到了调速的目的。

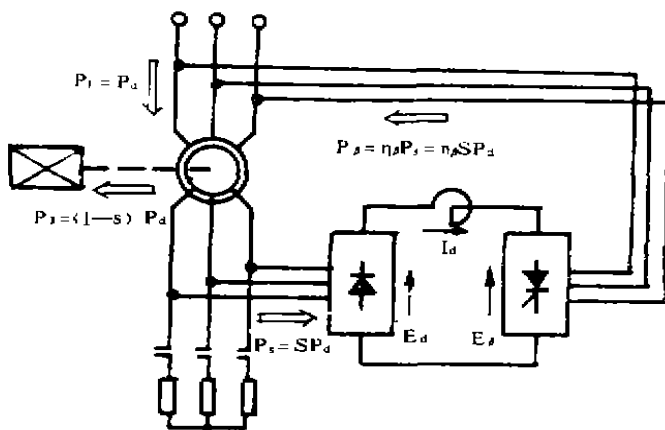


图1 晶闸管串级调速系统

水泵电动机一般采用低同步串级调速, 变流装置容量与调速范围成正比。水泵的调速范围一般在10:7左右, 变流装置的容量约为电动机的30%左右, 设备比较简单经济, 维护比较方便。

串级调速系统的原理图和能量流程图如图2和图3所示, 电网向整个串调系统提供有功功率 P_u , 定子输入有功功率 P_1 , 等于 P_u 。再加上由晶闸管逆变器反馈到电网的功率 P_g 。从 P_1 减去定子损耗 ΔP_1 即得经气隙传送到转子的电磁功率 P_e , P_e 的一部分变为转差功率 P_r , 另一部分变成机械功率 P_m 供给负载。转差功率 P_r 减去转子损耗 ΔP_2 和变流装置损耗 ΔP_3 , 即为回馈功率 P_g , P_g 减去机械损耗 ΔP_4 , 即为电动机轴上的输出功率 P_2 , 晶闸管串调系统的总效率为:

$$\eta_{\text{总}} = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \\ = \frac{P(1-s) - \Delta P_4}{P_1(1-s) + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3} \cdot 100\% \quad (9)$$

由于 ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 与 P_1 比较相对较小, 且与

交流调速拖动系统的比较

表1

	转子串电阻调速	串级调速	电流型变频调速	电压型变频调速
1. 拖动电机	绕线型异步电动机	绕线型异步电动机	鼠笼型异步电动机	鼠笼型异步电动机
2. 调速范围	低于同步转速,因低速时特性刚度差,调速范围不能太大。	高于和低于同步转速,为节省变频装置费用,调速范围受限制。	调速范围宽,可低到零速以下。	中到高速,典型调速比为10:1
3. 反馈制动	不能反馈制动。	可实现反馈制动,但不能反转。	很方便地实现四象限运行。	可以能耗制动,反馈制动需另加一套变流器。
4. 谐波	无高次谐波。	电流为六阶梯波,低速时谐波发热严重。	电机和电源电流均为六阶梯波,谐波发热严重。	逆变器电压和电源电流均为六阶梯波,低速时发热较严重。
5. 转矩脉动	无	较小	存在转矩脉动,在低速下可能成为问题。	存在转矩脉动,在低速下可能成为问题。
6. 功率因数	高。	最低,低速时更低。	较低。	较低。
7. 成本	变阻器成本低,电动机成本高。	变频装置成本较低,电动机成本高。	变频装置成本高。	变频装置成本高。
8. 效率	较低。	高。	较高。	中等。
9. 应用	调速范围不大的中小型水泵和风机。	调速范围不大的大型水泵和风机。	中等和大型工业拖动。多电机拖动有困难。	一般中小容量拖动,可用于多电机拖动。
10. 总评价	控制简单,虽效率较低,仍有一定的节能效果。	控制较复杂,需要另设起电电阻。	控制简单,换流较容易。不宜工作于开环,存在电压冲击问题。	控制较简单,可采用开环控制。但在低速时可能发生稳定问题。

在设计时必须采取措施使输出接近正弦波,使注入电网的高次谐波电流限制在允许值内。同时采取有效措施改善功率因数,并从电动机的结构入手提高其对高次谐波的适应能力。

2. 电动机转矩的脉动

电动机还会因高次谐波产生转矩脉动,其脉动频率为 $6kf$,它是由 $6k \pm 1$ 次谐波电流产生的。当转矩脉动频率较低并接近机械固有频率时,容易产生机械共振现象。为此调速装置必须注意避免在共振点以下运行。

3. 瞬时停电措施

供电系统因雷击或其它原因发生接地故障时,变频系统的工作将产生紊乱,因此应设有瞬时停电保护措施。首先应能快速切断事故回路,使晶闸管等电气元件不受损坏。其次对瞬时停电要能快速检测出来,一方面保证吸收回路及时吸收瞬态能量;另一方面使变频系统仍能维持运行,并在恢复供电时能按正常顺序运转。

四、结论

1. 水泵电动机调速运行节能效果显著。对于河床水位落差大的取水泵,宜采用恒流量

调速,以效率作为控制的约束条件。对于配水泵,宜采用管网末端压力恒定的调速方式,也以效率作为控制的约束条件。

2. 串级调速系统总效率较高,其变流装置容量与调速范围成正比,水泵调速范围一般为70~100%,变流装置只有电动机容量的三分之一左右,成本较低。

3. 变频调速系统的总效率取决于变流装置本身的效率,它比串调系统略低。变频装置容量要大于电动机容量,因而成本较高。但它可用于鼠笼型电动机调速,控制也较简单,应用场合不受限制,特别适用于旧泵站的改造。

4. 绕线型电动机转子串液体变阻器调速,虽然效率较低,但结构简单,成本低廉,且能切换至全速运行,较液力偶合器为佳。

5. 采用交流调速系统必须限制高次谐波对电网的污染,采取措施改善功率因数,并设置瞬时停电保护措施。

6. 水泵采用调速运行的同时,应考虑设有脱开变流装置,直接由电网电源供电全速运行的切换装置。