灌排泵站变频调速适用性及经济性分析

马太玲,袁保惠
(内蒙古农业大学)

摘 要:文中通过对灌排泵站采用变频调速的适用性及经济性进行分析研究,提出目前灌排泵站采用变频调速并非具有广泛适用性,该调节方式仅在一定适用范围内具有经济合理性。此观点对灌排泵站选择调节方式具有一定借鉴意义。

关键词:泵站,变频调速,适用性,经济性
文献标识码:A 文章编号:1005-6254(2001)02-0019-03

1 前言

水泵变速调节是改变水泵工作状况,从而满足用水需求并达到经济运行目的的有效方法之一。目前,中小型泵站大多采用异步电动机,此种电动机的调速方式主要是变极调速和变频调速。而变频调速因其调速范围大、调速的平滑性好及机械特性硬等优点,是异步电动机最有发展前途的一种调速方式。随着人们能源意识的日益增强,变频调速产品的日益增多和日趋成熟,变频调速系统已在城市供水泵站得到越来越广泛的应用,近年来在农业灌排泵站也逐渐受到青睐。然而目前,变频调速产品仍然较为昂贵。因此,我们对灌排泵站采用变频调速系统的适用性及经济合理性应当有一个清楚的认识。

2 变速调节目的及调速方式

2.1 变速调节目的

对于灌排泵站,采用变速调节的主要目的有二:其一,当泵站净扬程变化时,水泵的工作点也将发生相应的变化,泵站效率可能有所下降,供水流量将偏离需水要求。此时,通过改变水泵转速,调整流量到所需值,提高泵站效率,达到节能目的。其二,当所需流量变化时,通过变速运行,调整流量到所需值,并使泵站效率维持在较高值。

总之,变速的目的是调节流量使之满足灌排需求,同时维持或提高泵站效率,节约运行费用。

2.2 调速方式

变速运行有升速运行及降速运行两种。《泵站技术规范》(GB/T 50265—9)(以下简称"规范")指出:水泵一般不宜采用升速运行,因为转速过高将引起泵的磨损、汽蚀、水力振动或导致泵体因强度不足而破坏的现象发生。水泵的降速运行也应有一定限度。若水泵转速下降过多,则水泵效率明显下降。规范规定:降速范围一般以0~30%为宜,最大不超过50%。因此以下变速运行仅考虑降速运行。

3 变速调节的适用性分析

3.1 变速节能原理

水泵装置由水泵、动力机、传动装置及管道所组成,因而装置效率由各组成部分的效率所决定。装置效率的计算公式为:

$$\eta_{sy} = \eta_p \cdot \eta_{mot} \cdot \eta_{pi} \cdot \eta_{int} \qquad (3\text{-}1)$$

式中,η_{sy}、η_p、η_{mot}、η_{pi} 及 η_{int} 分别为装置效率、水泵效率、动力机效率、管路效率及传动效率。对于电动机组,$\eta_{int} = 100\%$;当电动机负荷率大于70%时,可以认为 η_{mot} 基本不变。因此,装置效率 η_{sy} 主要随水泵效率 η_p 及管路效率 η_{pi} 的变化而变化。

变速节能原理如图1,如果在多年平均净扬程下,水泵在最高效率点 A_0(或该点以右)工作,当净扬程下降时,水泵工作点变为 A_0',水泵效率及管道效率均下降,则泵装置效率一定下降。此时,如果水泵降速运行,工作点变为 A_1(或 A_2),水泵效率及管道效率均提高,则装置效率一定提高,运行费用也随之下降。

万方数据

第一作者简介:马太玲(1957.9—),女,内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院 副教授;内蒙古自治区呼和浩特市(邮编:010018)。

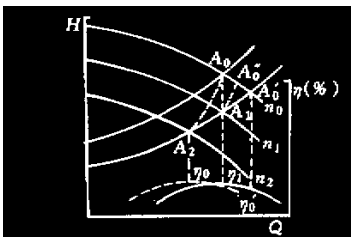


图 1

3.2　调速方案的确定

调速方案的确定能否成立，所依据的原则，一是调速后装置效率是否比调速前高；二是能否满足灌排要求。

3.2.1　调速方案一

如果仅仅考虑原则一，根据下式确定水泵调速后转速 n_2，可使水泵在最高效率点 A_2 点工作：

$$n_2 = n_0\sqrt{\frac{H_{st}'}{H_0 - SQ_0^2}} \tag{3-2}$$

式中，Q_0、H_0 为水泵转速为额定转速 n_0 时最高效率点的流量和扬程，S 为管路阻力参数，H_{st}' 为降低后的净扬程。

根据比例律，调速后的流量为：

$$Q_2 = Q_0\sqrt{\frac{H_{st}'}{H_0 - SQ_0^2}} \tag{3-3}$$

此种调速方案，调速后水泵效率最高，管路效率也较高，因而装置效率较高，但此种方案未能考虑灌排需求。

3.2.2　调速方案二

如果同时考虑上述两项原则，使调速后

$$Q_1 = Q_0,\quad H_1 = H_{st}' + SQ_0^2,$$

即使调速后的水泵工作点位于 A_1 点（如图 1），过 A_1 点做相似工况抛物线，交 n_0 时的 $Q \sim H$ 曲线于 A_0''，则调速后转速为：

$$n_1 = n_0\frac{Q_0}{Q_0''} \tag{3-4}$$

由此确定的调速方案，调速后流量保持设计净扬程下的流量值不变，即 $Q_1 = Q_0$，水泵效率提高，管路效率提高，装置效率随之提高。

3.2.3　两种调速方案的比较

调速方案一对应的泵效率及管路效率均高于调速方案二，故方案一的装置效率高于方案二，但调速后 $Q_2 < Q_0$，不能满足灌排设计要求。方案二虽装置效率较低，但调速后 $Q_1 = Q_0$，满足灌排设计要求。如果调速后装置效率达到规范要求，则调速方案二更为合理。

万方数据

3.3　变速调节的适用范围

当泵站净扬程增大时，转速不变，水泵流量随之减小，若水泵降速运行，则流量进一步减小，难以满足灌排要求；若水泵增速运行，则流量可增大，但水泵一般不宜增速运行。故当净扬程增大时，不宜采用变速调节。

当泵站净扬程减小时，转速不变，水泵流量随之增大，如果原来水泵在最高效率点（或该点以后）工作，则 η_{sy} 随之下降，若降速运行，则可提高装置效率。

当泵站净扬程一定，所需流量增大时，只有增大转速方可满足要求，但水泵一般不宜增速运行，故此时不宜采用变速调节。

当泵站净扬程一定，所需流量减小时，只有降低转速方可满足要求。若调速前水泵在最高效率点以右运行，调速后水泵效率提高，则装置效率一定提高；若调速前水泵在最高效率（或该点以左）运行，调速后水泵效率下降，则调速后装置效率不一定提高。

总之，只有当泵站净扬程下降或净扬程一定、所需流量减小时，方可采用变速运行且只宜采用降速运行。

4　变频调节的经济性分析

节约能源、降低运行费用是变速调节的主要目的之一。而变频调节所采用的变频装置价格较高，例如购置一台 45 kW 变频装置需数万元。因此应将购置变频装置所需费用与变频调节所节约的运行费进行比较，以判断变频调节的经济性。

采用变速调节所节约的运行费计算公式为：

$$\Delta P = \gamma H_{st} bt\left(\frac{Q_1}{\eta_{st1}} - \frac{Q_2}{\eta_{st2}}\right) \tag{4-1}$$

式中，下标 1、2 分别表示调速前及调速后，γ 为液体容重（kgf/m³），H_{st} 为泵站净扬程，b 为单位电价，t、Q、η_{st} 分别为该 H_{st} 下的年运行时数、水泵流量及泵站效率，$\eta_{st} = \eta_{sy} \cdot \eta_{p0}$，$\eta_{p0}$ 为进出水池效率，此处忽略进出水池水头损失，则 $\eta_{st} \approx \eta_{sy}$

以下举例进行分析，其中例 1 为特低扬程泵站，例 2 为较高扬程泵站。

例 1：某泵站净扬程为 2.2～4.0 m，安装 500ZLD-3.8(0°) 型水泵，泵轴额定转速为 980 r/min，配套电机功率 37 kW，管路阻力参数 0.75 s²/m⁵。当泵站净扬程从设计值 3 m 下降至 2.2 m 时，采用降速运行。

例2:某泵站安装8BA-12型水泵,泵轴额定转速为1 450 r/min,配套电机功率40 kW,管路阻力参数为749.41 s^2/m^5。当泵站净扬程从23 m下降至20 m时,采用降速运行。[2]

两例的变速运行计算见表1,设:在最低净扬程下运行1 000小时,电价0.32元/kW·h。

表1 变速运行计算表

泵站类型	泵站扬程 H_{st} (m)	泵轴转速 n (r/min)	流量 Q (m^3/s)	扬程 H (m)	泵轴功率 P_a (kW)	水泵效率 η_p (%)	电机效率 η_{mot} (%)	输入功率 P_{gr} (kW)	泵站效率 η_{st} (%)	年运行费 P (元)	节约运行费 ΔP (元)
泵站一	3	980	0.73	3.40	29.06	83.8	90.0	32.29	66.43		
	2.2	980	0.78	2.66	24.67	82.5	89.0	27.44	61.28	8 780.8	
		932	0.73	2.60	22.43	83.0	88.5	25.49	61.75	8 156.8	624
		839	0.625	2.49	18.20	83.8	88.0	20.68	65.16	6 617.6	2 163
泵站二	23	1 450	0.08	28.0	27.13	81.0	90.0	30.14	50.89		
	20	1 450	0.09	26.0	28.69	80.0	90.0	31.88	55.39	10 201.6	
		1 371	0.08	24.8	24.18	80.5	89.8	26.93	58.28	8 617.6	1 584
		1 352	0.075	24.17	21.84	81.0	89.0	24.54	59.64	7 852.8	2 349

表1中变速后的参数有两种,其中上面一行是根据调速方案二变速后的参数,亦即满足灌排流量要求,使变速后的流量与设计净扬程下的流量值相等,又使变速后的泵站效率比变速前高。两泵站变速后每台机组每年节约运行费分别为624元和1 584元。若各泵站均安装有4台机组,则各泵站每年节约运行费分别为2 496元和6 336元。与购置变频器所需费用相比,其数目是很微小的,尤其对泵站一,不宜采用变速调节。而下面一行是根据调速方案一变速后的参数,亦即不考虑流量要求,调速后泵站效率较高。调速后各泵站每年节约的运行费分别为8 652元和9 396元。较之按调速方案二变速,节约的运行费较多,可以考虑采用变频调节。

由式(4-1)可见,H_{st}越高、$\Delta\frac{Q}{\eta_{st}}$越大$\left(=\frac{Q_1}{\eta_{st1}}-\frac{Q_2}{\eta_{st2}}\right)$,则$\Delta P$越大,节能效果越明显;反之,则$\Delta P$越小,节能效果越差。这说明:当泵站净扬程较低,调速前后流量变化不大时(如按方案二调速),η_{st}变化也不大,$\Delta\frac{Q}{\eta_{st}}$较小,因而调速后节约的运行费较少,不宜采用变频调节;当泵站净扬程较高,且调速前后流量变化也较大时(如按方案一调速),η_{st}变化较大,$\Delta\frac{Q}{\eta_{st}}$较大,且调速后节约的运行费较多,宜采用变频调节。

上述结果表明:按调速方案一调速时,高扬程泵站适宜采用变频调速;按调速方案二调速时,低扬程泵站不宜采用变频调速。当净扬程较低、流量变化较大或净扬程较高、流量变化较小时,需进行计算,将节约的运行费与购置变频器所需费用比较后方可确定是否采用变频调节。

5 结语

农业灌排泵站采用变频调速,仅在一定的适用范围内有其经济合理性。一般只有当泵站净扬程降低或泵站净扬程一定、流量减小时,方可采用变速调节,且只适宜降速运行。按调速方案一来变频调速时,对高扬程泵站经济可行;按调速方案二来变频调速时,对低扬程泵站经济性较差,其它情况需进行计算将节约的运行费与购置变频器所需费用比较后方可确定可否采用变频调节。

参 考 文 献

1 马太玲,袁保惠. 走出泵站节能技术改造的误区. 内蒙古水利,2000(3):47—49

2 丘传忻. 泵站节能技术. 北京:水利电力出版社,1985:17

The Variable Frequency Speed Analysis of Applicability and Economic Advisability in Irrigation and Drainage Pumping Station

MA Tai-ling, YUAN Bao-hui

Abstract: The authors that the Variable Frequency Speed is applicable and economic only in some range to the irrigation and drainage pumping station at the present time. This view has some reference value to the adjusting method of the irrigation and drainage pumping station.

万方数据

Key words: Pumping station, Variable frequency speed, Applicability, Economic advisability