

变频调速供水改造及节电效果分析

庞庆平, 张春仁, 陈巧芝
(平高集团有限公司, 河南 平顶山 467001)

摘 要: 对我国变频调速供水技术的发展进行了系统分析, 对变频调速节能的原理进行了深入探讨。以平高集团供水系统改造为例, 重点介绍了变频调速供水系统的构成及工作原理。变频调速供水系统改造以 STD 总线工控机为中心, 以变频器为核心部件, 根据企业用水需求, 自动控制水泵投入的台数和电机转速, 自动跟踪管网与给定压力的偏差变化, 自动调节压力, 实现闭环自动恒压供水, 在保持恒压下, 达到控制流量的目的。系统具有压力稳定, 结构简单, 投资小, 节能效果明显, 工作可靠等优点。

关键词: 变频器; 变频调速; 恒压供水

中图分类号: TM921.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6540(2009)08-0054-05

Analysis of Variable Frequency Speed Regulation Control Water Supply System Revamping and Power-Saving Effects

PANG Qing-ping, ZHANG Chun-ren, CHEN Qiao-zhi
(Pinggao Group Co., Ltd., Pingdingshan 467001, China)

Abstract: The history and power-saving principle of frequency control water system are discussed. Take Pinggao Group's water system revamping as example, the composition and operating principle of the system are introduced. STD bus controller is the core of water system, and frequency converter is the main component. The system controls the sum of working pumps and motor speed according to water demand, tracks pipe network and adjusts pressure automatically to reach the goal of loop-locked constant pressure water-supply with flow under control. The system has merits of constant pressure, simple structure, low investment, sharp power-saving effect and high reliability.

Key words: inverter; variable frequency speed regulation; constant pressure water-supply

0 引 言

由于平高集团有限公司建厂初期市政供水能力不足, 经过水行政主管部门批准并核发《取水许可证》, 该公司实行自备井供水。水源井见表 1。

表 1 水源井基本情况一览表

项目	井深 /m	设计出水 /(t·h ⁻¹)	实际出水 /(t·h ⁻¹)	电机容量 /kW	平均耗电 /(kW·h·t ⁻¹)
1 [#] 井	99	80	70	40	0.37
2 [#] 井	90	230	160	75	0.33
3 [#] 井	100	126	180	75	0.60

原供水系统基本构成如下: 地下管网全长 10 000 m, 建有一座 200 m³ 储水塔。最初, 供水系统采用水泵先将地下水抽到储水塔, 再从储水

塔向用水单位供水, 三台泵由人工控制, 并利用电接点压力表辅助控制水泵供水压力及水泵的起运和停止。这些都导致原供水系统存在以下问题。

(1) 供水压力波动大, 无法满足该公司生产生活需求。整个供水系统由三个水泵站组成, 由三个值班工分别根据 1[#]、2[#]、3[#] 泵出口压力, 自行决定大井开停, 水压易受值班人员的影响, 无法达到最佳开停匹配, 从而无法满足压力需求。

(2) 电能浪费大, 管网承压大, 易造成管网泄漏损坏。整个供水系统需要 24 h 不间断供水, 用水量及对供水压力的要求随季节、生产周期、每天的工作时段等的不同而变化很大。用人工调节, 即使是值班人员责任心很强, 也很难及时有效地调节。造成高峰时压力不足, 低谷时压力过高, 电机空转。

(3) 通过水塔供水,水塔容积只有 200 m^3 , 供水量及供水压力受水塔本身限制;同时,水塔建在公司生产区正中央,影响公司整体规划。

(4) 生产区和生活区用水采取一个供水系统,尤其是生活区平房、多层楼房、高层住宅交叉分布,用水需求情况不同,供水压力无法在经济区域运行。

(5) 居民生活用水由企业供应,不利于节水意识的培养,多年来居民用水回收率仅为 50% 左右,浪费严重,增加了企业供水系统的成本。

1 变频调速技术的发展及节电原理

1.1 变频调速供水技术的发展

变频调速恒压供水技术是 20 世纪 80 年代后期发展起来的^[1],随着电力技术的发展,变频调速技术日臻完善,以变频调速为核心的智能供水控制系统取代了以往高位水箱和压力罐等供水设备,起动平稳,起动电流可限制在额定电流以内,从而避免了起动时对电网的冲击;由于泵的平均转速降低了,从而可延长泵和阀门等的使用寿命;可以消除起动和停机时的水锤效应。其稳定安全的运行性能、简单方便的操作方式、齐全周到的功能,将使供水实现节水、节电、节省人力,最终达到高效率运行的目的^[2]。

变频调速恒压供水技术能实现水泵的软起动,减小水泵起动时的冲击电流,使水泵的使用寿命延长,在调节水泵流量时,可以节约可观的能量。因此,其具有节能、安全、供水品质高等优点,是先进、合理的节能型供水系统,在供水行业得到了广泛应用。变频调速恒压供水系统实现水泵电动机无级调速,根据用水需求,自动调节系统的运行参数,在用水量发生变化时,保持水压恒定,以满足用水要求。

与过去的水塔或高位水箱及气压供水方式相比,无论是在设备投资,运行经济性,还是在系统稳定性、可靠性及自动化程度等方面,变频调速恒压供水都占据绝对的优势,而且具有显著的节能效果,已引起企业的广泛关注及普遍采用。

变频调速恒压供水技术,在短短几年内,经历了一个逐步完善的发展过程,早期的单泵调速恒压系统逐渐为多泵系统所代替。目前,变频调速恒压供水系统正向着高可靠性、全数字化微机控

制、多品种的方向发展^[4]。

1.2 变频调速节电理论分析

1.2.1 变频调速电机节电分析

变频调速器将电网中的三相交流整流成直流电后,通过逆变器再将直流电逆变为电压可调、频率可调的三相交流电驱动异步电动机,实现调速和节电。

三相异步电机转速为^[4]:

$$n_2 = n_1 (1 - s) = 60 f_1 (1 - s) / p \quad (1)$$

式中: n_2 ——转子转速, r/min ;

n_1 ——同步转速;

p ——极对数;

f_1 ——电源频率, Hz ;

s ——转差率。

由式(1)可知:转速可以通过改变电源频率、绕组的极对数或转差率等进行改变,一般 p, s 不变,即: $n_2 \propto f_1$ 。

水泵的转速又称转数,根据每分钟旋转多少转来计算,用字母 n 表示(单位为 r/min),铭牌中规定的转速是最大的转数,不能任意提高,降低转速不宜低于 50%,水泵转速改变时,它和轴功率的变化关系是: $n_1 / n_2 = N_1 / N_2$,即:变速后轴功率 = 原轴功率 $\times$ (后转速 / 原转速)。一般原功率、原转速一定,设 f_1 降为 $a\%$,则: n_2 下降 $a\%$,由此得:

$$N_2 = N_1 (1 - a\%) n_2$$

$$N_2 = (1 - a\%) n_2 (1 - a\%) f_1$$

例如,若 f_1 降 30% 时,消耗功率为额定功率的 34.3%,节电率为 65.7%。

1.2.2 变频调速供水系统节电分析

变频调速供水系统的节电原理见图 1^[1],水泵额定运行时的工况点 D 是泵的特性曲线 N_n 与管路阻力曲线 R_1 的交点。

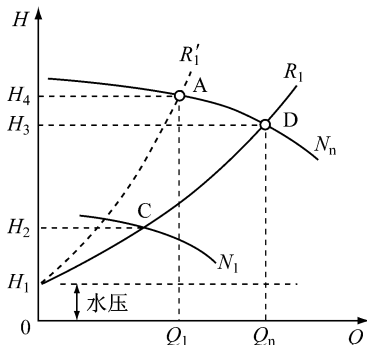


图 1 供水向量变化时的 $H-Q$ 曲线

传统供水系统利用阀门控制水泵,如需减小用水,即流量从 Q_n 减小到 Q_1 ,需要关小阀门,使阀门的摩擦阻力变大。即:阻力曲线从 R_1 转移到 R_1' ,扬程则从 H_3 升到 H_4 ,运行工况点从 D 点转移到 A 点。

变频调速供水利用变频器控制水泵,阀门没有开关变化,因此阻力曲线 R_1 不变。为使流量改变,需要改变水泵的转速。如果把速度从 n_n 降到 n_1 ,特性曲线也从 N_n 转移到 N_1 。此时,运行工况点从 D 点转移到 C 点,扬程从 H_3 下降到 H_2 ,流量从 Q_n 减小到 Q_1 。则: A 点水泵的功耗为 $P_A = kH_4 Q_1 \eta$, C 点水泵的功耗为 $P_C = kH_2 Q_1 \eta$,两者的差值为 $\Delta P = P_A - P_C = k(H_4 - H_2) Q_1 \eta$ 。即:用阀门控制水泵流量时,有 ΔP 的功率被浪费掉了,并且这个损耗随着阀门的关小而增加。

2 供水改造方案及可行性分析

2.1 整体供水改造方案

(1) 生产区保留自备井供水,取消水塔,取消人员值班,全部采用变频调速技术对三台大井进行恒压供水智能控制系统改造;

(2) 生活区居民生活用水改造结合平顶山市实施的自来水“一户一表、水表出户”改造工程进行,改造后居民供水管理、抄表收费即管道维修工作由平顶山市自来水公司负责,对由于市政供水压力较低,无法直接供水的局部高层住宅,加装变频恒压供水设施。

2.2 可行性分析

(1) 采取自备井供水符合当地政府有关水资源管理政策。由于当地政府供水能力不足,允许企业在获得取水许可手续后,继续采用自备水源并自行供水。

(2) 自备水源井供水有利于降低企业生产成本。自备水源井供水成本主要包括:向市政府缴纳的污水处理费和水资源费,用电成本、设备折旧、设备维修、运行管理及漏失损耗等费用。平顶山市规定的污水处理费收费标准,按取水量的 40% 计算,每吨收费标准为 0.8 元;平顶山市规定的地下水资源收费标准为每吨 0.65 元;平均每吨水用电 0.52 kWh,电价按 0.7 元/kWh 计算,平均每吨水电费为 0.364 元;值班人员 13 人,工资支出 26 万元,平均每吨水运行费用为 0.132 65 元;

设备折旧及维修费用每年平均为 5 万元,平均每吨水费用为 0.025 5 元;管网漏失率为 10%。综合以上因素计算的企业自备水源井供水综合成本为 1.64 元/吨。

市政工业用水价格为每吨 2.6 元,主要包括:基本水价、公用事业附加费、污水处理费、水资源费等费用。市政居民生活用水价格为每吨 1.85 元,主要包括:基本水价、公用事业附加费、污水处理费、水资源费等费用。

(3) 居民区采用市政直接供水,符合国家有关居民用水社会化管理及自来水“一户一表、水表出户”改造的政策,有利于加强管理,减小企业负担,支持企业发展。

该公司自备水源井供水综合成本为 1.64 元/吨,如考虑回收低及管理、抄表、维修等费用,企业居民自供水成本约 3.5 元/吨。而由市自来水公司直接管理,居民生活用水价格每吨仅为 1.85 元,不需要企业再承担其他费用。同时,改造后基本不增加居民负担。

3 变频调速供水改造实施

3.1 生产区供水系统变频调速技术改造实施

该公司恒压供水智能控制系统以 STD 总线工控机为中心,利用变频器对主要水泵的压头进行连续调节,辅以对其他水泵的开关控制来实现恒压供水。同时,具备对各种数据进行处理、报警保护、故障处理等功能。具体见图 2。

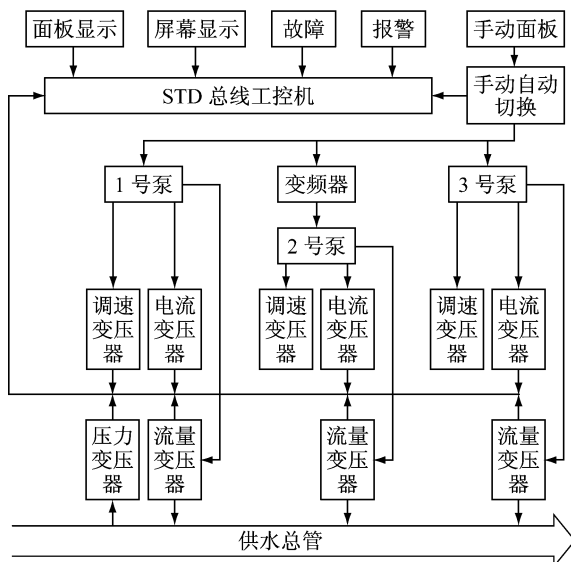


图 2 平高集团恒压供水系统示意图

该系统通过 2[#]泵的变频连续调节,及 1[#]泵、3[#]泵的开关控制,保证系统供水总管的压力稳定。该系统主要功能有:(1) 实时检测、控制供水总管的压力(压力值可以设定);(2) 实时检测流量及累计总供水量;(3) 实时检测电机工作电流及温度;(4) 各种参数的瞬时值、变化曲线可由显示屏显示、打印机定时或强制打印出来;(5) 该系统具有断电后资料保护不少于 8 h 的功能,来电后能保持所有数据不丢失,且能继续累计;(6) 系统包括独立的自动控制部分和手动控制部分,具有方便的手/自动切换功能,可进行远距离控制和现场控制;(7) 系统具有完善的自检和保护功能,能对水压超限、电机故障等进行声、光报警,并能自动进行故障处理。

3 2 生活区居民供水改造实施

该公司有 4 个居民区 3 000 户居民,月平均用水 10 万吨,全部改为市政直接供水。宿舍区有两处因原供水系统水压不足,已采取无塔供水措施。改为市政供水后,通过运行测试,一处靠近市政主管道的 8 层住宅,由于市政水压较高,可实现市政直接供水,因此取消原无塔供水设施。一处 200 户的 7 层居民住宅 4 楼以下可实现市政直接供水,5 层及以上供水压力不足。为不影响整体改造移交,保证居民用水,同时减少用电消耗,公司结合供水改造工程对原无塔供水系统进行改造。

变频调速恒压供水设备由变频器、泵组电机、供水管网、储水箱、智能 PD 调节器、压力变送器、PLC 控制单元等组成,控制系统原理见图 3。

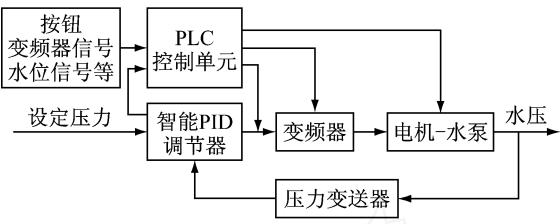


图 3 变频调速恒压供水系统控制原理框图

4 运行及效果分析

4 1 运行分析

该公司整个供水系统改造于 2005 年 12 月 31 日全部完成,投入运行,通过 3 年的运行统计分析,达到了预期目的和设计要求。系统运行可靠,供水压力稳定,能够满足生产生活用水要求。

改造后,正常生产条件下,典型工作日 24 h 生产供水压力、取水及用电单耗检测统计结果见表 2。

从表 2 可以看出,该公司最小用水量为每小时 18.5 t,出现在 3 点到 5 点之间;最大用水量为每小时 326 t,最高供水量是最低供水量的 17.6 倍。在供水量出现周期性巨大波动的情况下,平均供水压力始终稳定在 0.271 3 MPa 左右,有效

表 2 典型工作日 24 h 供水压力、取水及用电单耗检测统计表

时间	1 [#] 井				2 [#] 井				3 [#] 井				合计				管网 压力 /MPa	
	取水 /t	耗电 /kW·h	单位 时间 取水 单耗	取水 单耗	频率 /Hz	取水 /t	耗电 /kW·h	单位 时间 取水 单耗	取水 单耗	取水 /t	耗电 /kW·h	单位 时间 取水 单耗	取水 单耗	取水 /t	耗电 /kW·h	单位 时间 取水 单耗		取水 单耗
11:00	170	40	85	0.24	37	99	30	49.5	0.30	249	104	124.5	0.42	518	174	259	0.34	0.265
13:00	170	52	85	0.31	40	110	35	55.0	0.32	372	116	186.0	0.31	652	203	326	0.31	0.277
15:00	170	51	85	0.30	39	91	28	45.5	0.31	365	111	182.5	0.30	626	190	313	0.30	0.272
17:00	167	44	83.5	0.26	44	99	29	49.5	0.29	382	114	191.0	0.30	648	187	324	0.29	0.277
19:00	170	50	85	0.29	42	125	35	62.5	0.28	329	101	164.5	0.31	624	186	312	0.30	0.263
21:00	165	52	82.5	0.32	41	93	28	46.5	0.30	367	108	183.5	0.29	625	188	312.5	0.30	0.261
23:00	0				41	92	27	46.0	0.29	0				92	27	46	0.29	0.277
1:00	0				37	91	32	45.5	0.35	0				91	32	45.5	0.35	0.275
3:00	0				36	44	15	22.0	0.34	0				44	15	22	0.34	0.275
5:00	0				36	37	16	18.5	0.43	0				37	16	18.5	0.43	0.27
7:00	0				47	101	33	50.5	0.33	0				101	33	50.5	0.33	0.272
9:00	0				50	100	35	50.0	0.35	0				100	35	50	0.35	0.272
合计	1012	289	506	0.29	40.8	1 082	343	541.0	0.32	2 064	654	1 032.0	0.32	4 158	1 286	2 079	0.31	0.271 3

保证了生产生活供水。

生活区供水情况正常,没有出现供水不足或压力过大现象。

4 2 实际节电效果分析

通过实际抄表统计分析,生产区供水系统用电、节电情况见表 3,生活区供水系统用电、节电

情况见表 4。

通过以上统计分析,平高集团变频调速供水改造项目实施后,每年节电约 69.14 万 kWh,折合人民币 48.398 万元。

4 3 投资效益分析

该公司变频调速供水系统改造投资见表 5。

表 3 生产区供水系统用电抄表统计表

项 目	计量单位	改造前 (2004 年)	改造后 (2006 年)	备 注
取水量	万吨/年	196	127	取水量减少的主要原因是居民区改为市政供水以及管网泄漏和浪费减少。
耗电量	万 kWh/年	102	35	
取水单耗	kWh/t	0.52	0.28	按取水单耗计算。
节电率	%	0	28.23	
节电量	万 kWh/年	0	67	节电量为取水减少而减少的电量及单位取水耗电降低而减少的电量之和。
节电价值	万元/年	0	46.9	

表 4 生活区供水系统用电节电情况统计表

项 目	计量单位	改造前	改造后	备 注
已取消的无塔供水设备减少的电量	kWh/年	17 500	0	改造后取消了一处无塔供水,电机容量为 3 kW。
采用变频恒压供水设备的无塔供水耗电量	kWh/年	18 000	14 100	电机容量仍为 3 kW。
节电量	kWh/年	0	21 400	
节电价值	元/年	26	14 980	

表 5 变频调速供水系统改造投资汇总表

项目名称	投资费用	投资内容
生产区改造投资	300 000 元	变频调速控制系统。
变频调速恒压供水设备	50 000 元	电机容量仍为 3 kW。
居民区改造投资	950 000 元	改造后全部交市自来水公司管理
一户一表水表出户改造费	1 000 000 元	
小计	1 300 000 元	
投资合计	1 300 000 元	

投资效益分析如下。

(1) 改造后,年节约电费 48.398 万元。

(2) 原自备水源并有 13 人值班,改造后实行无人值班。按人均年工资 2 万元计算,则年节约运行成本 26 万元。

(3) 企业居民用水改为市自来水公司直接供水后,减少管理、抄表、收费及维修人员 4 名。按人均年工资 2 万元计算,则年节约管理成本 8 万元。

(4) 企业居民用水改为市自来水公司直接供水后,减少了漏失。改造前,漏失及计量抄表不准,回收率低造成无法收费的水量为 [(改造前企业用水 - 改造后企业用水) × 漏失率]。按原企业供水时居民用水漏失率 50%、企业自备水源井供水成本 1.64 元/吨计算,年节水价值为 56.58

万元。

以上节约价值合计为 138.978 万元。

投资回收期为: (改造总投资/改造后总收益) × 12,约 11 个月即可收回投资。

5 结 语

通过该公司变频调速供水改造及运行统计分析可以看出,采取变频调速供水改造,投资小,见效快,技术成熟,在解决企业供水压力不稳及降低运行成本的基础上,取得了很好的节电效果。

【参 考 文 献】

[1] 张锦荣. 水泵变频调速恒压供水的应用实例 [J]. 世界仪表与自动化, 2008 (2): 47-48

收稿日期: 2009-03-04