

轴流泵站经济运行方案的确定

刘家春^{1,2}, 张子贤², 张慕飞³, 陈平龙³, 王志辉³

(1. 江苏省建筑节能工程技术研究开发中心, 江苏 徐州 221008; 2. 徐州建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221008; 3. 徐州市水利局, 江苏 徐州 221008)

摘要:轴流泵站建成后,灌排区域内作物组成、水文、气象等因素将发生变化,引起泵站进出水池水位、泵站扬程和流量发生变化,致使泵站运行效率低,能源消耗高。为保证泵站在原有设备的条件下经济合理地运行,达到提高泵站效率,降低能源消耗,减少运行费用的目的,提供了根据泵站的提水流量、进出水池水位和泵站扬程的变化,通过调节轴流泵的叶片安装角度,来提高泵站效率和降低能源消耗的技术措施,给出了用系统分析的方法确定轴流泵经济运行方案的数学模型、约束条件和求解方法。通过多座泵站的应用,并经泵站测试,泵站效率已得到提高,取得了良好的效果。为泵站的经济运行提供了依据。

关键词:轴流泵站;经济运行;数学模型;计算软件

中图分类号:TH312 文献标识码:A 文章编号:1005-6254(2006)06-0020-04

Determination of economical operation program at draining pump station

LIU Jia-chun^{1,2}, ZHANG Zi-xian², ZHANG Mu-fei³, CHEN Ping-long³, WANG Zhi-hui³

(1. Jiangsu Research and Development Centre of Architectural Energy-Saving Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. Xuzhou Architectural Technical Collage, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 3. Water Conservancy Bureau of City of Xuzhou, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: After an axial-flow pump station is completed, the water levels of inlet and outlet sumps, head of pump station and capacity of pump station will all change with changes in the irrigation and drainage area, cropping pattern, hydrological and meteorology effects, resulting in low efficiency and high energy consumption. The keep the pump station running at economic condition a mathematical model and restraining condition based on system analysis and the solving methods are given for determining the economical operation alternative. By applying the model to reality, the efficiency of pump station is improved.

Key words: axial-flow pump station; economical operation; mathematic model; calculate software

目前我国已建成各类农业灌溉和排水泵站 50 余万座,其中大中型泵站 5 500 多座,泵站总装机容量 7.0196×10^7 kW,占农用总动力的 18.2%,提水能力达 3×10^5 m³/s,年平均提水量为 1.5×10^{11} m³,灌溉和排水总面积达 3.4×10^7 hm²,承担了我国

55% 的农田灌溉面积和 36% 的农田排涝面积的供水和排水任务。这些泵站工程在农业生产及城乡供水中占有非常重要的地位。为抗御旱涝灾害,发展农业生产,建设社会主义新农村,为城乡供水提供了可靠的保障。

收稿日期:2006-07-06

基金项目:江苏省教育厅泵站节能技术研究与推广项目(JHZD04-041);江苏省建筑节能工程技术研究开发中心资助项目(ZX05-02)

作者简介:刘家春(1960-),男,河北大城人,教授,主要从事水泵与水泵站的研究。

张子贤(1958-),女,河北丰南人,教授,主要从事水资源与取水工程的研究。

这些泵站的运行要消耗大量的能源,据统计,泵站年耗电量占全国总用电量的5%,占农业用电量的44%,排灌机械能耗高,浪费的能源占能源投入量的25%。据此推算,目前我国机电排灌节电的潜力是非常大的,年节电潜力为 $(24 \sim 30) \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

为提高泵站运行的效率,减少能源消耗,人们已采取了许多节能的方法和措施,但每一种节能的方法和措施均有其相应的优缺点和适用场合^[1]。我国已建泵站中,在平原低洼易涝、易旱地区及南方圩区建有大量中、低扬程的泵站,这些泵站中安装轴流泵的泵站数量巨大。因此,研究轴流泵节能的经济运行方案对泵站节能至关重要。轴流泵根据其叶片是否可调可分为固定式、半调节式和全调节式3种类型,实际使用中多采用半调节式和全调节式两种。实际运行中可根据运行的具体情况调节叶片的安装角度,使泵站达到经济运行的目的,即根据泵站的提水量、进、出水池的水位变化等调节叶片安装角度。

1 轴流泵经济运行方案

轴流泵在进行农田灌溉和排水时,主要的经济运行方案有如下几种^[2]。

1.1 泵站效率最高的经济运行方案

泵站效率最高的经济运行方案是指在泵站运行时,根据水泵、电动机的型号及功率、水泵的性能曲线、进、出水池水位、管路情况及进出水建筑物等情况,调节轴流泵的叶片安装角度,使泵站运行时的效率最高。

1.1.1 数学模型^[3]

$$\eta_{st} = \eta_{mot} \cdot \eta_{pump} \cdot \eta_{int} \cdot \eta_{pi} \cdot \eta_{po} \quad (1)$$

式中 η_{st} 、 η_{mot} 、 η_{pump} 、 η_{int} 、 η_{pi} 、 η_{po} 分别为泵站效率、电动机效率、水泵效率、传动装置效率、管路效率、进出水池效率, %。

水泵和电动机一般采用直接传动,可近似认为传动装置效率为 $\eta_{int} = 100\%$ 。因此,泵站效率最高的目标函数为

$$\max \eta_{st} = \eta_{mot} \cdot \eta_{pump} \cdot \eta_{pi} \cdot \eta_{po} \quad (2)$$

计算泵站的最高效率,需确定出目标函数的具体形式。

(1) 电动机效率

根据电动机的负荷率与电动机效率的关系,可得出电动机效率与负荷率的关系式

$$\eta_{mot} = a\beta^3 - b\beta^2 + c\beta + d \quad (3)$$

式中 β 为电动机的负荷系数,即电动机在该工况下

的有效功率(水泵的轴功率) N 与电动机额定功率 N_m 的比值; a 、 b 、 c 、 d 为系数, $a = 0.3733$ 、 $b = 0.88$ 、 $c = 0.6967$ 、 $d = 0.74$ 。

这样式(3)可写成:

$$\eta_{mot} = a \frac{N^3}{N_m^3} - b \frac{N^2}{N_m^2} + c \frac{N}{N_m} + d \quad (4)$$

(2) 水泵的效率^[4,5]

水泵的流量-扬程曲线和流量-轴功率曲线可分别拟合为:

$$H = A_H Q^2 + B_H Q + C_H \quad (5)$$

$$N = A_N Q^2 + B_N Q + C_N \quad (6)$$

式中 Q 、 H 、 N 分别为水泵的流量、扬程、轴功率,其单位分别为 m^3/s 、 m 、 kW ; A_H 、 B_H 、 C_H 、 A_N 、 B_N 、 C_N 分别为系数。

水泵装置的总扬程为装置扬程与管路水头损失之和,其方程式为

$$H_{\text{总}} = H_{sy} + S Q^2 \quad (7)$$

式中 $H_{\text{总}}$ 为水泵装置的总扬程, m ; H_{sy} 为水泵的装置扬程, m ; S 为管路阻力系数, s^2/m^5 。

水泵装置的工况点是水泵的流量-扬程曲线与水泵装置的总扬程曲线的交点。令水泵的扬程等于水泵装置的总扬程,联解式(5)和式(7),经整理得

$$Q = \frac{-B_H \pm \sqrt{B_H^2 - 4(A_H - S)(C_H - H_{sy})}}{2(A_H - S)} \quad (8)$$

则水泵的效率为

$$\eta_{pump} = (\gamma Q H / N) \times 100\% \quad (9)$$

式中 γ 为水的重度, $9.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。

(3) 管路效率

管路效率是水泵的装置扬程与水泵扬程之比的百分数,由下式计算

$$\eta_{pi} = (H_{sy} / H) \times 100\% \quad (10)$$

(4) 进出水池效率

泵站进、出水池的效率为泵站扬程与装置扬程之比的百分数,由下式计算:

$$\eta_{po} = (H_{st} / H_{sy}) \times 100\% \quad (11)$$

式中 H_{st} 为泵站扬程, m 。

(5) 目标函数

将式(4)、(9)、(10)、(11)代入式(2),经整理得经济运行目标函数的具体形式为

$$\max \eta_{st} = \frac{\rho g Q H_{st}}{N N_m^3} (a N^3 - b N^2 N_m + c N N_m^2 + d N_m^3) \quad (12)$$

式(12)为泵站效率最高经济运行方案的表达式。将泵站运行时的泵站扬程、水泵的出水量、运行时水泵的轴功率、电动机额定功率等有关参数代入式(12)即可求得泵站运行时的泵站最高效率。

1.1.2 约束条件

只要电动机运行时不超载,就能满足水泵装置安全运行的要求,同时水泵的出水量满足要求的抽水流量 Q_m 。因此,该经济运行的约束条件为:

$$\left. \begin{array}{l} N \leq N_m \\ Q \geq Q_m \end{array} \right\} \quad (13)$$

1.2 泵站流量最大的运行方式

1.2.1 目标函数

由式(8)知,只要解得 Q 为最大值,即为泵站流量最大。对于轴流泵来说是叶片安装角度最大时的 $Q-H$ 曲线与 $Q-H_{\text{总}}$ 曲线的交点。因此,该经济运行的目标函数为:

$$\max Q = \frac{-B_H \pm \sqrt{B_H^2 - 4(A_H - S)(C_H - H_{sy})}}{2(A_H - S)} \quad (14)$$

1.2.2 约束条件

只要电动机运行中不超载就能满足水泵装置安全运行的要求。因此,该经济运行的约束条件为:

$$N \leq N_m \quad (15)$$

1.3 泵站多年平均效率最高的方式运行^[6]

对于排水的轴流泵站降雨量的不同排水的流量不同,对于灌排两用的轴流泵站,进行灌溉和排水时的流量也是不同的,有时相差很大。由于流量的不同,使得扬程也不相同。另外,泵站建成一段时间后,灌区或排水区的作物种植情况、水文、气象等因素逐年变化,致使灌溉和排水流量不同,扬程也不相同。

中小型轴流泵绝大多数为半调节式,一般需在停机、拆卸叶轮之后才能进行调节。而泵站运行时的扬程具有一定的随机性,频繁改变水泵叶片安装角度有许多不便。为了使泵站全年或多年运行效率高、能耗少,同时满足排水和灌溉流量的要求,可将水泵叶片安装角调到最优状态,使泵站的多年平均效率达到最高,从而达到经济合理的运行。

对于灌排两用的泵站,灌溉和排水时的扬程不同,这时可根据扬程的情况,采用不同的叶片安装角度。如汛期排水时,进水侧水位较高,往往泵站运行时的扬程较低,这时根据扬程将水泵叶片安装角调大,不但使水泵多抽水,而且电动机满载运行,提高

了电动机的效率和功率因数。在灌溉季节,进水侧水位较低,往往泵的扬程较高,这时可将水泵叶片安装角调小,在保持水泵较高运行效率的情况下,适当减少出水量,防止电动机出现超载。

2 经济运行模型的求解

根据上述目标函数及约束条件,即可利用计算机计算出经济运行参数。为便于用户使用,将计算软件编成通用型,以Windows xp为平台,用VB语言编程,用户使用非常方便。计算框图如图1所示。

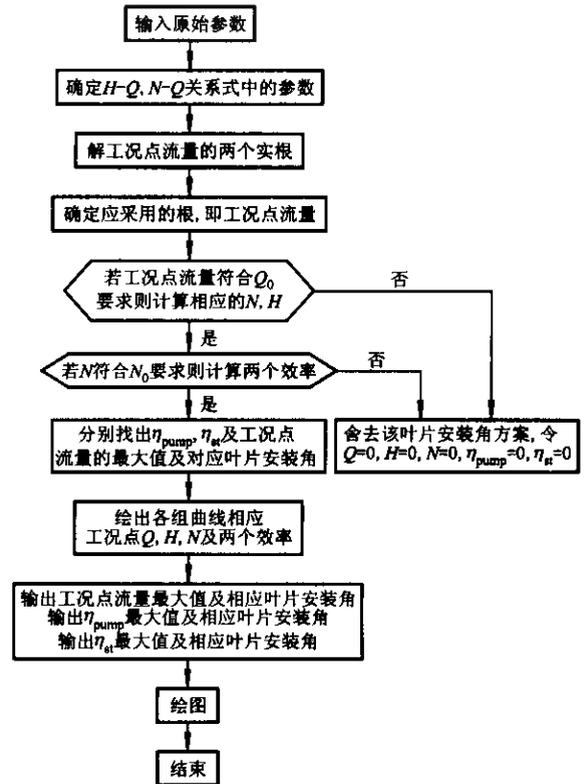


图1 程序框图

使用时将轴流泵不同叶片安装角时的流量、扬程、轴功率及计算管路阻力的粗糙度、管长、管径、局部水头损失系数之和输入计算机软件。然后,根据泵站运行的装置扬程、泵站扬程即可计算出满足流量要求、并保证电动机不超载的最高泵站效率、最高水泵效率、水泵的最大流量。

3 算例

某泵站装有36ZLB-70型轴流泵,配套电动机型号为JRL₁₂₋₁₀,电动机功率为165 kW。原运行时叶

片安装角为 -2° ,经测试^[7] ,泵站效率只有 33% ,根据该泵站的实际情况 ,选择泵站运行方式. 当泵站在较低扬程下运行时 ,即装置扬程 $H_{sy} = 2.3 \text{ m}$,泵站扬程 $H_{st} = 2.07 \text{ m}$,计算结果如表 1 ;当水泵在较高扬程下运行时 ,即装置扬程 $H_{sy} = 3.2 \text{ m}$,泵站扬程 $H_{st} = 2.87 \text{ m}$,计算结果如表 2.

根据经济运行计算结果 ,将叶片安装角定为 0° ,在较高扬程和较低扬程时泵站效率最高 ,水泵效率也最高 ;在排水时 ,为缩短排水时间可将叶片的安装角调至 $+4^\circ$,这时水泵流量最大 ,将缩短排水时间.

表 1 较低扬程运行时的计算结果

序号	叶片安装角度	流量/ (m^3/s)	扬程/ m	轴功率/ kW	水泵效率/%	泵站效率/%
1	-4°	-	-	-	-	-
2	-2°	2.131 9	3.762 5	107.140 0	73.35	33.31
3	0°	2.220 3	3.886 0	102.058 1	82.85	36.55
4	$+2^\circ$	2.415 8	4.177 9	117.715 5	84.03	34.12
5	$+4^\circ$	2.559 3	4.408 1	130.751 4	84.56	32.56

表 2 较高扬程运行时的计算结果

序号	叶片安装角度	流量/ (m^3/s)	扬程/ m	轴功率/ kW	水泵效率/%	泵站效率/%
1	-4°	-	-	-	-	-
2	-2°	2.008 2	4.497 4	112.185 7	78.90	41.40
3	0°	2.117 0	4.641 9	113.712 3	84.69	43.02
4	$+2^\circ$	2.306 6	4.912 3	131.878 0	84.20	40.37
5	$+4^\circ$	2.443 0	5.120 5	144.258 0	84.97	39.93

注:表中“-”线表示该角度流量不满足设计要求.

4 结 论

用系统分析的方法 ,利用计算机确定运行方案 ,保证了泵站在原有设施的条件下经济合理地运行 ,在满足流量要求的前提下 ,达到能耗少 ,运行费用低的目的.

对原配电动机功率较大的泵站按最大符合(最大流量)的方式运行 ,不但充分发挥了现有泵站设施的潜能 ,而且是泵站出水量增加 ,缩短了灌溉和排水时间 ,这种运行方式对电动机超配的泵站具有非常好的经济效益和社会效益.

参考文献(References)

- [1] 曾庆祝. 农村机电泵站存在问题及对策[J]. 排灌机械 2006 24(1) :46 - 49.
- [2] 刘家春. 泵站经济运行方案的确定[J]. 水泵技术 , 1998(2) :42 - 43.
- [3] 袁丹青 ,黄良通 ,丛小青 ,等. 防洪排涝泵站最优调度模型的研究[J]. 排灌机械 2002 20(6) :16 - 17.
- [4] 刘家春. 水泵与水泵站[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1998 :44 - 45.
- [5] 姜乃昌. 水泵及水泵站[M]. 第三版. 北京 :中国建筑工业出版社 ,1996 :93.
- [6] 马太玲 ,袁保惠. 灌排泵站变频调速实用性及经济性分析[J]. 排灌机械 2001 19(2) :19 - 20.
- [7] 姚志青 ,马新华. 中小型泵站运行参数测量方法[J]. 排灌机械 2005 23(1) :25 - 27.

(责任编辑 张文涛)

山东名流集团企业简介

山东名流实业集团有限公司坐落于最适合人类居住的城市——威海市羊亭工业区 ,是威海市工业明星企业 ,山东省优秀民营企业 ,连续多年被评为“重合同、守信用”企业.

集团公司注册资本 6 800 万元 ,总资产 1.5 亿元 ,职工 600 余人(其中工程技术人员 80 余人) ,占地面积 $9 \times 10^4 \text{ m}^2$,公司具有精良的加工设备和国际先进的生产流水线装备 ,是技术力量雄厚、检测手段先进的现代化企业.

集团公司具有 30 年生产水泵的历史 ,以泵业为龙头下辖 威海名流金井泵业有限公司(中韩合资)、威海名流数控机床有限公司、威海名流铸造有限公司、威海名流机械刀片有限公司、威海名流房地产开发有限公司等 5 个子分公司. 主要生产经营各种潜水泵、污水泵、工业泵、电机、数控机床、铸件、机械刀片等系列产品.

集团公司还与江苏大学合作成立了流体研究所威海分所 ,引进清华大学水利设计软件及电机设计软件 ,具有自行开发各类较高技术含量水泵的能力. 此外 ,公司还引入 ERP 管理系统 ,使整个生产实行动态软件化管理 ,从而建立了一流的质量管理体系 ,并于 2001 年通过 ISO 9001—2000 质量管理体系认证.

公司生产的各类产品性能稳定 ,质量可靠 ,各系列产品均获得国家质检总局颁发的工业产品生产许可证和进出口产品许可证 ,畅销全国各地 ,远销欧洲、非洲、韩国和东南亚等国家或地区 ,并以周到的服务、良好的信誉、一流的品质 ,赢得了国内外用户的一致好评.

公司热诚欢迎各界人士光临指导 ,并期待各种形式的业务合作.