

七桥瓮引补水泵站水泵运行性能现场测试

周春峰¹, 张敬波¹, 汤 雷², 成 立^{1*}, 蒋红樱³

(1. 江苏省南京市水务设施管理中心, 江苏 南京 210015; 2. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225000;
3. 江苏省水利科技咨询股份有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要:为获得七桥瓮泵站水泵机组的实际运行工况,便于对水泵机组进行合理优化调度,提高效率,节约能源,实现泵站的优化、经济和稳定运行。采用超声波流量计、Y系列压力表、超声波水位计等测试仪器对水泵机组进行现场流量和扬程测试,获得了水泵实际运行的性能曲线,并与水泵样本曲线进行对比。测试结果表明:现场测试的水泵性能曲线与水泵样本曲线存在较大差异,规划设计扬程下的现场测试流量,仅为设计流量的64%,未能达到规划设计要求。实际性能曲线不能以水泵选型时为依据,而应根据实际运行工况为准。

关键词:现场测试; 超声波流量计; 扬程; 性能曲线; 不确定度

中图分类号:TV698.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2020)09-0041-05

Field test of pump operation performance of Qiqiaoweng Pumping Station

ZHOU Chunfeng¹, ZHANG Jingbo¹, TANG Lei², CHENG Li^{2*}, JIANG Hongying³

(1. Nanjing Water Facilities Management Center, Nanjing 210015, China;
2. College of Water Conservancy Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China;
3. Jiangsu Province Water Engineering Sci-tech Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to obtain the actual operating conditions of the pump units of Qiqiaoweng Pumping Station, facilitate reasonable and optimal scheduling of the pump units, improve efficiency, save energy, and achieve optimized, economical and stable operation, ultrasonic flow meter, Y series pressure gauge, ultrasonic water level meter and other testing instruments were used to test the flow rate and head of the pump set, and the performance curve of the pump in actual operation was obtained and compared with the sample curve of the pump. The test results showed that there was a big difference between the performance curve of the pump tested in the field and the sample curve of the pump, and the field test flow under the planning and design head was only 64% of the designed flow, which failed to meet the planning and design requirements. The actual performance curve should be based on actual operating conditions rather than pump selection.

Key words: field test; ultrasonic flow meter; head; performance curve; uncertainty

城市引补水泵站的建设是保证居民用水需求的一项重要措施,其性能优劣直接影响城市供水需求。掌握城市供水泵站的实际性能,能够了解泵站

流量、扬程和效率等参数是否达到设计要求,测试结果为水泵机组和泵站的设计和运行提供依据,有利于提高主机组泵系统的设计水平,节省工程建设

收稿日期:2020-05-13

基金项目:国家自然科学基金(51779214);南京市水务科研项目(201803);江苏水利科技项目(2018035)。

作者简介:周春峰(1972—),男,高级工程师,本科,主要从事给排水规划和运行管理工作。E-mail:zcf_1972@qq.com

通信作者:成立(1975—),男,博士,教授,主要从事泵站工程研究工作。E-mail:chengli@yzu.edu.cn

和运行费用^[1-5]。

无论是对新的水泵做原型验收鉴定,还是对水泵进行运行监测、优化调节以及泵站更新改造等,都必须掌握准确的性能参数。目前,国内学者对泵站现场测试进行了广泛研究。孙振华^[6]和戴元将等^[7]阐述了超声波流量计的测试原理并对泵站进行现场流量测试;陈开金等^[8]和许实付^[9]等采用无线电阻应变仪对泵站的轴功率进行现场测试;吴俊川^[10]介绍了流量测量的通用方法,结合虹吸式泵站现场测试,阐述了比较精确、可靠、方便的流量测试方法;严登丰^[11]主要从流量、扬程和功率 3 个方面对泵站进行现场测试;刘曼等^[12]利用流速仪法对良田泵站进行现场测试,并配合其他设备进行机组装置效率测试;成立等^[13]采用五孔球形探针现场测流技术对某双向灌排泵站机组进行了流量测试并提出相应改造思路。城市供水泵站由水泵抽水直接与供水管道联接,对此型式布置的流量和扬程等参数现场测试研究较少^[15-17]。因此,本文以工程实际为背景,对七桥瓮引补水泵站流量和扬程等参数进行实测研究,研究成果为泵站日常运行管理提供可靠的基础依据和科学依据。

1 工程概况

七桥瓮引补水泵站位于南京市境内,该泵站采用 3 台机组并联模式运行,设计流量 $3 \text{ m}^3/\text{s}$,向城区 2 个方向供水。其中,一侧供水方向配套 2 台 700QH-40 型混流泵,设计流量 $2 \text{ m}^3/\text{s}$,设计扬程 13 m,电机功率 185 kW,2 台水泵出水接 DN1400 干管,管道主要为玻璃钢夹砂管;另一侧供水方向配套建设 1 台 700HQ-40 型混流泵,设计流量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$,设计扬程 18 m,电机功率 250 kW,现状补水管为 DN1000~DN500 管道,全长约 6 000 m,管道主材料为球墨铸铁管;每台机组经水泵抽水均与城市供水管道直接联接。

2 测试方法

2.1 流量测试方法

此次测试采用超声波流量计对水泵机组进行流量测试。根据泵站现场条件限制,采用超声波法对该供水泵站 3 台机组中的 1 台 700HQ-40 型混流泵机组进行单机流量测试,测试流程按照规范^[14]要求进行。

本次流量测试采用 KRCFLO 手持式单通道超声波液体流(热)量计对混流泵机组流量进行测量。

其基本原理是利用超声波在液体中的传播特性。超声波在流动水体中传播速度与在静止水体中传播速度是不同的,其变化与水流速度有关。在顺流和逆流介质中,其超声波的速度不同而形成时间差。

在现场测试时,若安装的超声波发射器和接收器相对距离为 L 时,则对于顺流和逆流的传播时间有:

$$t_1 = L/(c+v) \quad (\text{顺流}) \quad (1)$$

$$t_2 = L/(c-v) \quad (\text{逆流}) \quad (2)$$

式中: c 为超声波在静止水体内的传播速度, m/s ; v 为被测流体的速度, m/s ; t_1 、 t_2 分别为顺流和逆流传播所需要的时间, s ; L 为换能器之间的相对距离, m 。

则时间差为

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2Lv}{(c^2 - v^2)} \quad (3)$$

由式(3)可知,当声速 c 一定时,只要测出时差 Δt 就可以求得流体流速 v ,再通过式(4)计算管道内的流量,这就是时差法超声波流量计的测量原理。

$$Q = Av \quad (4)$$

式中: Q 为流量, m^3/s ; A 为管道内的内截面积, m^2 。

根据七桥瓮泵站现场测试条件,采用“Z”法安装夹装式流量传感器,如图 1 所示,此安装方法特点是超声波在管道中直接传输,无反射(称为单声程),信号衰减损耗小,测试精度高,可测管径范围为 100~6 000 mm。

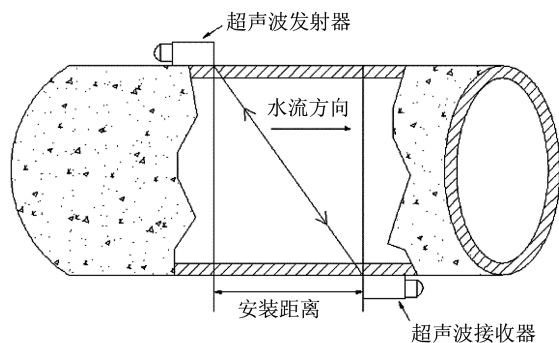


图 1 超声波流量计“Z”法安装示意图

为保证测试精度,需要人工打磨去除出水管外壁表面杂物,使管道表面光亮整洁。实际超声波流量计换能器的安装位置应避免焊缝、接头和易受管道内滞留气体影响的部位,保证管道内部是满管流状态,并在安装前在传感器的接触面涂抹一定量的黄油。

2.2 扬程测试方法

在出水管侧边中心线位置安装 Y 系列压力

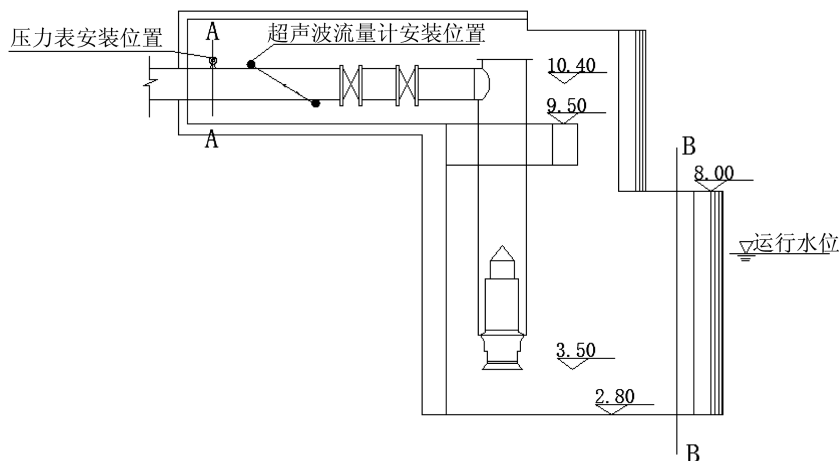


图2 扬程测试断面示意图(单位:m)

表,仪表采用弹簧管作为灵敏元件,通过加压引起弹簧管变形,由机芯将变形进行转换、放大,由指针在表盘指示出来,其规格为0.25 MPa,满足量程要求,后将压力表读数与扬程进行换算。

如图3所示,水泵扬程 H 等于泵装置进出口两测压断面的总能头差,其值等于两断面的静压差与动压差的代数和:

$$H = \left(\frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1 \right) + \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \quad (5)$$

式中: p_2 为A-A断面的总压,MPa; p_1 为B-B断面的总压,MPa; Z_2 为A-A断面的高程,m; Z_1 为B-B断面的高程,m; u_2 为A-A断面的流速,m/s; u_1 为B-B断面的流速,m/s; ρ 为液体密度,取 1000 kg/m^3 ; g 为当地加速度,取 9.81 m/s^2 。

3 测试结果与分析

3.1 现场测试数据分析

本次现场测试通过调节出水管道上的阀门来控制出水管道中的流量,且根据进水池水位及压力表读数来推算水泵扬程,选取9个阀门开度对管道流量、进水池水位和功率等进行分析,如表1所示。当阀门开度逐渐变小时,进水池水位基本不变,而水泵的流量逐渐减小,扬程逐渐增大,且水泵效率大致呈开口向下的抛物线分布,存在最高效率点,符合混流泵性能曲线分布规律。图3为水泵现场测试性能曲线图。

3.2 与水泵样本曲线对比

该机组水泵型号为700HQ-40型混流泵,查得水泵样本曲线,并与现场测试结果对比分析,水泵性能曲线对比如图4所示,水泵机组实测的流量-

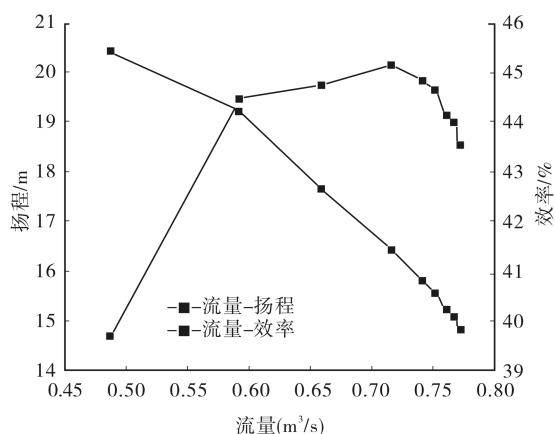


图3 水泵性能曲线图

扬程曲线与水泵样本曲线偏差较大,水泵样本曲线整体在实测流量-扬程曲线的右侧,且在小流量时偏差较小,随着流量增加,两者之间偏差逐渐变大。这表明建成后的水泵机组运行性能不能以水泵选

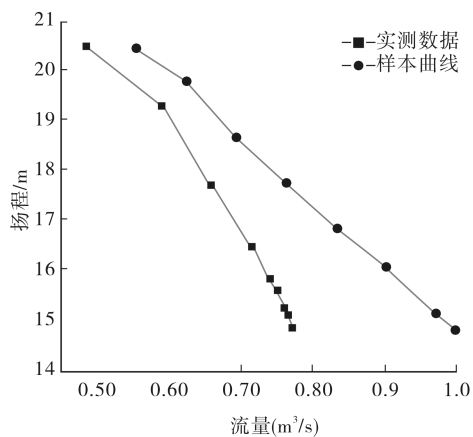


图4 水泵性能曲线对比图

型时样本曲线为依据,而应根据实际测试运行性能为准。因此,对建成后的水泵机组进行现场测试显得十分必要。

表 1 现场测试结果

工况	开度/%	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	扬程/m	功率/kW	效率/%	进水池水位/m
工况 1	100	0.7718	14.82	258.0	43.50	6.87
工况 2	70	0.7667	15.08	257.9	43.97	6.85
工况 3	55	0.7605	15.22	257.4	44.11	6.85
工况 4	45	0.7515	15.56	257.0	44.64	6.84
工况 5	35	0.7413	15.81	256.6	44.82	6.86
工况 6	30	0.7160	16.44	255.8	45.14	6.86
工况 7	25	0.6590	17.65	255.0	44.74	6.86
工况 8	20	0.5915	19.23	251.0	44.46	6.87
工况 9	15	0.4866	20.41	245.8	39.65	6.87

4 流量测量不确定度分析

4.1 随机不确定度计算

随机不确定度服从统计规律并具有抵偿性。通常用概率统计方法处理,根据实际流量测量进行不确定度估计,其计算公式如下:

$$(E_Q)_r = \pm \frac{t_{0.95(N-1)} \times S_{\bar{Q}}}{\bar{Q}} \times 100\% \quad (6)$$

$$S_{\bar{Q}} = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})^2}{N(N-1)}} \quad (7)$$

式中: $(E_Q)_r$ 为随机不确定度; $t_{0.95(N-1)}$ 对应于 0.95 置信率和 $(N-1)$ 个自由度的 t 分布值; $S_{\bar{Q}}$ 为流量平

均值的标准偏差; \bar{Q} 为流量平均值; N 为测量次数; Q_i 为第 i 次流量测量值。

在现场流量测试中,当进水池水位不变时,选取工况 1(阀门开度 100%)时的运行工况,重复采集 10 组流量测试数据进行随机不确定度分析,10 组数据见表 2。

根据表 2 的流量实测数据,计算结果为

$\bar{Q} = 0.77184 \text{ m}^3/\text{s}$; $S_{\bar{Q}} = 0.00004269$;

$(E_Q)_r = \pm 0.0125\%$

4.2 流量综合不确定度

流量综合不确定度为各单项系统不确定度的方和根,其中,KRCFLO手持式单通道超声波液体流

表 2 流量测量数据

序号	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	序号	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0.7718	6	0.7716
2	0.7720	7	0.7720
3	0.7717	8	0.7720
4	0.7719	9	0.7718
5	0.7718	10	0.7718

(热)量计的流量测试系统的不确定度 $(E_Q)_s$ 为0.5%,随机不确定度 $(E_Q)_r = \pm 0.0125\%$ 。

因此, $E_Q = \sqrt{(E_Q)_r^2 + (E_Q)_s^2} = \pm 0.5\% < 3.5\%$,符合规范要求的流量最大综合不确定度值。

5 结 论

(1)现场测试水泵机组的流量-扬程曲线与水泵选型的样本性能曲线不一致,存在较大误差,因此,建成后的水泵机组实际性能曲线并不能以水泵选型时为依据,而应根据实际运行工况为准;

(2)设计扬程为18 m时,现场测定流量达到 $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$,是规划设计要求流量的64%,未能达到设计要求,需要增加开机时间,合理优化调度;或进行泵站更新改造,重新选型设计;

(3)本次泵站现场测试测试真实可靠,其结果可为机组优化运行和技术改造提供理论依据。

参考文献:

- [1] 仇宝云,冯晓莉,朱庆元,等.大型泵站能量特性现场测试研究[J].排灌机械工程学报,2011,29(4):322-327.
- [2] 仇宝云,黄季艳,袁寿其,等.轴流泵出水管内部流动水力特性研究[J].农业机械学报,2005(12):47-50.
- [3] 周济人,杨华,成立,等.超声波流量计测试大型低扬程泵站流量的模型试验[J].排灌机械,2009,27(1):51-54.
- [4] 燕浩,柴立平,李跃,等.大型排水泵装置空化区间的数值计算[J].排灌机械工程学报,2016,34(8):679-685.
- [5] 朱晓明,张东培,周斌,等.大型立式轴流泵进水流道两点压差式测流法研究[J].江苏水利,2019(10):23-28,33.
- [6] 孙振华.超声波流量计在大型泵站流量测试中的应用[J].中国农村水利水电,2010(3):130-131,135.
- [7] 戴元将,陈世杰,杨帆,等.某泵站现场流量测试及分析[J].浙江水利科技,2018,46(3):55-57,66.
- [8] 陈开金,陆伟刚,高琛,等.大型低扬程泵站轴功率现场测试方法研究[J].人民长江,2016,47(S2):119-122.
- [9] 许实付.大型低扬程泵站轴功率现场测试技术研究与应用[J].江淮水利科技,2016(5):34-36.
- [10] 吴俊川.虹吸式泵站现场测试中的流量测量[J].科技创新导报,2011(22):131.
- [11] 严登丰.刘山泵站现场测试方法与应用分析[C]//全国大型泵站更新改造研讨暨新技术、新产品交流大会论文集.北京:中国水利学会,2009:5.
- [12] 刘曼,胡毓麟.某泵站的现场测试及结果分析[J].排灌机械,2004(4):31-34.
- [13] 成立,汤方平,仇宝云,等.某双向灌排泵站的现场测试及改造思路[J].扬州大学学报(自然科学版),2005(3):67-69.
- [14] SL548—2012,泵站现场测试与安全监测规程[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [15] KINZLI K D, OAD R M, MATTHEW, et al. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(6):801-810.
- [16] LIU Y, CHEN Y X. Fat mass and obesity associated gene polymorphism and the risk of polycystic ovary syndrome: a meta-analysis. [J]. Iranian Journal of Public Health, 2017(1):4-11.
- [17] COLLETTI P M. Using intragastric meal distribution and antral contractility for enhanced gastric emptying analysis. [J]. Journal of Nuclear Medicine Technology, 2019(2):137.