水泵单泵运行流量检测系统的研制

王龙,岳斌,韩庆祥,周培祥,巩建国
(山东建筑工程学院,山东 济南 250014)

摘 要:对水泵的$Q-H$曲线进行高精度的数学拟合,形成其数学方程,结合运行中水泵的进、出口压力值、转速等有关数据,通过数据转换、单片机程序运算,连续显示单泵装置运行流量,在非常规流量计状态下,实现了水泵单泵流量的在线检测。并采取一系列有效的技术措施,达到了较高的检测精度。

关键词:单泵;运行流量;非常规流量计状态;在线检测
中图分类号:TM93　　文献标识码:A　　文章编号:1005-6254(2005)01-0013-03

0 引言

实现对单台水泵机组运行流量进行在线检测,是泵站进一步优化运行的重要措施。应用常规流量计通常有安装条件,即在流量计安装位置的上、下游要求有一定距离的直管段,在直管段范围不得装有阀门、三通、弯头等管件。上、下游的直管段距离,一般为10~15倍的DN和5~10倍的DN,甚至更高,否则将影响流量测定的准确度。一般城市供水一、二级泵站因安装技术条件的制约,使得应用常规流量计实现单泵运行流量在线检测难以实现。

研制的水泵单泵运行流量检测系统,其原理是:对水泵的$Q-H$曲线进行高精度的数学拟合,利用传感器检测运行中水泵进、出口压力、转速等有关数据,通过数据转换、单片机程序计算,实现在非常规流量计状态下,水泵单泵运行流量的在线检测。该系统具有准确度高、实施简便、运行稳定、投资省、无需直管段要求等特点。

1 理论分析

对在泵站工程中大量应用的离心泵的$Q-H$性能曲线进行高精度的数学拟合,形成其数解方程,与运行中的水泵装置进、出口压力数据及其它参数所构成的扬程计算公式,联立求解(寻求)水泵运行流量,实现在非常规流量计状态下进行单泵运行流量在线检测。

1.1 离心泵$Q-H$曲线数学拟合方程

使用数学求解检测水泵流量等参数,解出的流量值的准确程度影响因素较多,应力求在每一环节上减少、消除误差,以提高检测准确度。$Q-H$曲线的方程是保证检测准确度的关键环节之一,应选取与原曲线高精度吻合的方程形式。此处,使用最小二乘法拟合方式,此方法求解过程虽较繁琐,但与曲线吻合好,具有较高的精度,方程形式为

$$H=H_0+A_1Q+A_2Q^2+A_3Q^3 \qquad (1)$$

式中,H为水泵扬程,m;Q为水泵流量,l/s;H_0为当$Q=0$时的水泵扬程,m,此值或已知,或需求解;A_1、A_2、A_3为系数,可通过解正则方程组求解。

水泵运行中,因外电网电压的波动,将引起水泵机组转速的变化,由此,对应水泵额定转速的$Q-H$曲线也将有波动,须对公式(1)引入转速变化因素进行变形处理,对应用变速调节的水泵装置,也须此处理。

根据水泵比例律前二式换算整理,水泵变速后(1)式变形通式为

$$H=(\frac{n_2}{n_1})^2H_0+\frac{n_2}{n_1}A_1Q+A_2Q^2+\frac{n_1}{n_2}A_3Q^3 \qquad (2)$$

式中,n_1为对应(1)式的水泵转速,r/min;n_2为变速后的水泵转速,r/min;Q为变速后水泵流量,l/s;H为变速后水泵扬程,m;H_0、A_1、A_2、A_3为(1)式中原值。

基金项目:山东省教育厅科技计划项目(J00B54)
作者简介:王龙(1952-),男,山东济南人,教授,主要从事系统优化与节能、水处理技术研究。

万方数据

1.2 水泵装置运行扬程

水泵运行时的扬程计算公式：

$$H=\frac{P_2}{rg}-\frac{P_1}{rg}+Z+\frac{V_2^2}{2g}-\frac{V_1^2}{2g} \tag{3}$$

式中，H 为运行中水泵扬程，m；$P_2/\rho g$、$P_1/\rho g$ 为泵出、进口处压力值，m；Z 为两表安装位置高差，m，应根据装表形式，正确取用 Z 值；V_2、V_1 为泵出、进口处(装表处)流速，m/s；g 为重力加速度，m/s²。

1.3 运行中单泵流量数解

整理(3)式如下：

$$H=\frac{P_2}{rg}-\frac{P_1}{rg}+Z+\frac{V_2^2-V_1^2}{2g}=\frac{P_2}{rg}-\frac{P_1}{rg}+$$

$$Z+\frac{V_2^2-V_1^2}{(p/4\times1000)^2 2g}(\frac{1}{D_2^4}-\frac{1}{D_1^4})Q^2$$

式中，Q 为水泵流量，l/s；D_2 为水泵出口处(装表处)直径，m；D_1 为水泵进口处直径，m。

令 $F=\frac{1}{(p/4\times1000)^2 2g}(\frac{1}{D_2^4}-\frac{1}{D_1^4})$

通常离心泵装置 $D_2<D_1$，$F>0$，则

$$H=\frac{P_2}{rg}-\frac{P_1}{rg}+Z+FQ^2 \tag{4}$$

与(2)式联立，可求解计算出单泵运行流量 Q 值，其解法可用数值解法或化为一元三次方程式求解，其根的性质分析如下：

借助水泵工况分析图解法，(2)式即为水泵 $Q-H$ 曲线，(4)式可描绘为截距为 $P_2/\rho g-P_1/\rho g+Z$ 的一条上升($F>0$)曲线，其交点的流量对应值，即为所求 Q 值。

在水泵装置正常运行的条件下，所解求的 Q 值在 $Q>0$ 的范围内有唯一的正实根，在此工程分析的基础上，使(2)式、(4)式的联立求解定值提供了方便的条件。

根据以上分析，采用逐次逼近算法，编制运算处理程序，固化后装入单片机系统。

2　实验方法及结果分析

2.1 实验装置

采用华南工学院化机厂生产的离心泵性能测定实验装置做适当改造配套。水泵为单级单吸式离心清水泵，吸上式安装，配有吸水箱，吸、压水管线及有关配件，压水管出口设置多向活动出口，出水可进入容积法测定流量的专用水箱，装置流量变化的控制由变换水泵出口阀门开启度完成。装置出、进口压力表和电机轴处安装压力传感器及转速传感器，连接至专用单片机，构成非常规流量计状态下的单泵运行流量检测系统的实验装置。

2.2 实验方法

输入水泵装置基本数据：水泵 $Q-H$ 曲线数学拟合方程参数；水泵进口直径 D_1；水泵出口直径 D_2；Z 值；水泵机组额定转速 n_1。

输入运行中的在线数据：水泵进、出口处压力数据由压力传感器输出并转换为水柱高度输入；实际转速 n_2 由转速传感器输入。

系统采用4位LED显示器显示系统运行时的检测数据、计算结果等信息。显示方式有固定显示和循环轮流显示两种，在固定显示方式下，通过设置系统面板上的乒乓开关的位置，可设定水泵出、进口压力值、转速、运行流量等数据。

2.3 实验结果及误差分析

2.3.1 实验结果

表1为在实验装置上进行的在线检测流量与容积法测定流量的数据，也就是通过设定某一流量，待系统稳定显示后，采用容积测定法进行比照验证，即变换压水管出口水流方向，进入容积法测定流量的专用水箱，以秒表计时，测定流量后与系统显示的流量数据进行比照验证。

表1　比照验证数据

序号	1	2	3	4	5	6	7
Q_1(l/s)	2.51	2.81	3.12	3.43	3.64	3.94	4.13
T(s)	37.29	32.03	28.53	26.69	24.74	23.17	22.00
Q_2(l/s)	2.44	2.84	3.19	3.41	3.68	3.93	4.14

注：Q_1 为系统检测显示流量数据；T 为比照验证容积法中水流注满专用水箱所用时间；Q_2 为比照验证容积法中计出流量值(专用水箱 V=91L)。

2.3.2 误差分析

1)参照流量计准确度以仪表允许误差(满量程误差)的大小来表示：

满量程误差=示值最大绝对误差/仪表量程　(5)

2)表1中序号1~7所涉及的流量基本控制在该实验装置用泵的高效范围及附近；

3)根据实验装置的情况，量程确定为1.5~4.5 l/s；

4)根据表1中数据与公式(5)测算，系统所显示的流量数据可达到准确度2.5级，满足供水行业等对流量检测等级要求。

(下转第18页)

万方数据

道产生较大负压,水锤防护以负压防护为主;

2)由于管线较长,且水锤波速较小,水锤波相长为27s,时间较长,故取泵后缓闭逆止阀总关闭时间为27s;

3)因出水管出口水处理的螺旋混合器水头损失较大,故计算中对出口边界条件不是简单地采用出水池边界条件,而是根据其工作特点给出相应的流量—压力边界条件,处理较为合理;

4)根据工程特点,采取补水方案进行水锤防护。考虑到造价、布置、施工、水锤保护范围等因素,拟定在0+025 m,1+300 m,4+610 m等三处设置单向调压塔进行防护。计算表明设置单向调压塔后最不利工况下,管线中最高压力为66.30 m,为正常工作压力;最低压力-6.96 m,高于水的汽化压力,不致发生水柱分离,满足设计规范要求。

参考文献:

[1] 刘竹溪,刘光临. 泵站水锤及其防护[M]. 北京:水利电力出版社,1988.

[2] [美]E.B.怀利,V.L斯特里特. 瞬变流[M]. 清华大学流体传动与控制教研组译. 北京:水利电力出版社,1983.

[3] 泵站设计规范GB/T50265-97.1977.

[4] [日]日本农业土木事业协会. 泵站工程技术手册[M]. 丘传忻,林中卉等译. 北京:中国农业出版社,1988.

Calculation and Prevention for Water Hammer in Water Intake Project of Huizhou Shennengyuan Fengda Electric Power Plant

JIANG Gui-lin[1], *ZHOU Long-cai*[2], *FENG Jun*[1], *LI Kang-bo*[1]

(1. Huayu Water Resources and Hydropower Surveying and Design CO. LTD, Huizhou, 516001, Guangzhou Province, China
2. Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan, 430072, China)

Abstract: The water hammer in water intake project of Fengda electric power plant is calculated by the method of characteristic line. As the GRP sand inclusion steel pipes with low elastic modulus are adopted, and the water treatment mixing screw set at the end of pipeline wears down a part of water hammer energy, so get low positive water hammer pressure in the water supply system. But high negative pressure is likely to happen at the both ends of the pipeline in case of a serious pump-stopping water hammer. The results show that it is effective to prevent the negative water hammer pressure by setting three one-way surge tanks in pipeline.

Key words: Pumping station; Water hammer; One-way surge tank; Negative pressure prevention

(上接第14页)

3 结论

1)采用水泵Q-H曲线数学拟合方程与泵站运行中有关参数结合,数值求解,应用单片机技术实现在线检测水泵流量,达到了较高的检测准确度。

2)系统适应面广,对于大量应用的离心泵装置,只需配套相关传感器和专用单片机,输入该泵装置自身有关参数,即可进行单泵运行流量在线检测。对于工程条件不同或其他泵型,也只需对输入泵装置自身有关参数方面做简单调整,即可使用,例如深井泵取水装置等。

3)为保证系统流量检测的准确度,对水泵Q-H曲线的精度要求较高,水泵应是符合国家产品标准及有关质量标准合格产品。对于已有叶轮磨损等缺陷的水泵,由于其实际性能已与其原Q-H曲线误差较大,应对其Q-H曲线进行重新测定后方可应用本系统进行流量检测。另外,系统中采用的压力传感器,转速传感器等器件也要求有较高的精度和抗不良条件能力。

4)可进一步拓展研究范围和在线检测内容,如同步进行单泵运行中流量、扬程、轴功率、效率的在线检测等。

参考文献:

[1] 汪光焘,等. 城市供水行业2000年技术进步发展规划[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.

[2] 王 龙. 单泵流量的非常规流量计检测及效率评价[J]. 山东:山东建筑工程学院学报,1991.

[3] 姜万昌,秦成生,李鸿禧. 输配水系统技术经济计算及其电算应用[M]. 长沙:湖南大学出版社,1986.

万方数据