

南水北调东线源头江都第四抽水站 流量关系曲线分析

王江, 王骏秋, 王成, 李江艳

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要: 江都第四抽水站采用合并效率法定线, 用站上下水位差和效率建立水位流量关系曲线。为方便直观计算流量, 先用效率线的节点的横坐标除以 9.8 h 建立站上下水位差和单位功率流量的工作曲线, 然后再用 EXCEL 拟合推流公式。目前, 该公式较好地应用于抽水站的工程自动化监控、水情报汛和资料整编工作中, 为南水北调水量监测和防汛抗旱工作提供了可靠的依据。

关键词: 抽水站; 定线; 流量; 关系曲线

中图分类号: TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 12-0025-03

Analysis of stage-discharge relation curve about Jiangdu fourth pumping station of East Route of South to North Water Diversion Project

WANG Jiang, WANG JunQiu, WANG Cheng, LI JiangYan

(Jiangdu Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, Jiangsu)

Abstract: Jiangdu Fourth Pumping Station set out alignment by adopting the combined efficiency method. The stage-discharge relation curve is built by using the water level difference and efficiency. In order to calculate the discharge visually, the first step is to use the abscissa efficiency line node divided by 9.8h to establish the working curve of water level difference and the unit power flow, and then use excel to fit the formula. At present, the formula works well in pumping station engineering automation monitoring, flood forecast and data reorganization. And it serves well in providing a reliable basis for flow monitoring of South to North Water Diversion as well as in flood control and drought relief.

Key words: pumping station; alignment; discharge; relation curve

1 概述

江苏省江都水利枢纽工程位于江苏省扬州市江都区境内, 地处京杭大运河、新通扬运河和淮河入江尾闾芒稻河的交汇处。该工程以 4 座大型电力抽水站为核心, 配套有 5 座大型水闸、7 座中型水闸、3 座船闸、2 个涵洞、2 条鱼道以及输变

电工程、引排河道等, 是一个具有灌溉、排涝、泄洪、通航、发电等综合效益的大型水利枢纽工程。

江都四站于 1973 年 11 月开始兴建, 1977 年 12 月竣工, 是 4 座抽水站中抽水能力最大的一座。该站于 2008 年 9 月至 2010 年 6 月进行了更新改造。改造后, 江都四站安装了 7 台 ZLQ30-7.8 型液压全调节立式轴流泵, 叶轮直径 2.9 m, 单机流量

收稿日期: 2016-06-26

作者简介: 王江(1986-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水文测量、资料整编等工作。

30 m³/s, 设计扬程 7.8 m, 配套为 TL3400-40 型 3400 kW 立式同步电动机, 总抽水能力 210 m³/s。工程加固改造后机组效率提高了, 为准确监测南水北调水量, 确保工程的安全运行, 需要加强对该站运行时流量公式的率定。

2 流量公式的率定

根据中华人民共和国行业标准《水文资料整编规范》(SL247-2012) 规定, 有高中扬程抽水站的效率法及低扬程 0 ~ 6 m 抽水站的指数函数法两种。江都四站运行扬程在 3 ~ 7.5 m 之间, 因此采用效率法定线。

高、中扬程抽水站的流量计算公式为:

$$Q = \eta' N_s / 9.8 h \tag{1}$$

式中:

Q —流量, m³/s;

η' —装机效率, %;

N_s —总电功率, kW;

h —抽水站净扬程或站上下水位差, m。

当出水射入空气时, 以出水管口中心高与站上下水位之差为净扬程, 增加水头损失 Δh 后, 为实扬程 $H_{实}$ 。

根据式(1)用实测率定的抽水站效率 η' 与净扬程或站上下水位差 h 和总功率 N_s 建立相关关系, 据此推流。

江都四站测流断面在站上 273 m 处, 河道顺直, 测流采用 1200 Hz 走航式 ADCP 测流。水尺断面

设在水流平稳处, 水位采用了遥测水位, 有功功率和开机台数为变电所自动化监控系统中抄录的数据, 流量测验严格按照《声学多普勒流量测验规范》(SL337-2006) 的规定。2012 ~ 2015 年南水北调和里下河排涝期间共测 56 个测点, 站上下水位差变幅在 3.38 ~ 7.20 m, 实测流量变幅在 127 ~ 258 m³/s, 测点在曲线两侧分布均匀, 满足了泵站设计调水与排涝定线的要求, 符合了《水文资料整编规范》(SL247-2012) 中关于定线的要求。

根据 2012 ~ 2015 年实测率定的 56 次资料, 点绘 $h \sim \eta'$ 关系图, 并定出单一的水位流量关系曲线, 如图 1 所示。

由于在工作中使用站上下水位差和效率关系计算流量没有很好的拟合公式, 所以可以将式(1)推导为 $Q/N_s = 1/9.8 h$, 用横坐标除以 9.8 h 转化为 $h \sim Q/N_s$ 的工作曲线(图 2), 然后再在 EXCEL 中做拟合曲线, 经过试用选择对数函数拟合比较合适, 公式为:

$$h = -6.7955 \ln(Q/N_s) + 22.678 \tag{2}$$

式(2)是 h 的关系式, 计算流量需要用到的是流量 Q 的关系式, 所以对式(2)求导得:

$$Q = N_s e^{(22.678-h)/6.7955} = N_s e^{3.3372-0.1472 h} \tag{3}$$

从式(3)可以看出, 流量只跟站上下水位差和机组的总有功功率有关系, 所以只要采集这两项参数就可以推求该站所有机组的总流量了。目前, 该站作为全省水文测报方式改革泵站功率采集试点站, 功率和水位都实现了 5 min 自动采集和入库,

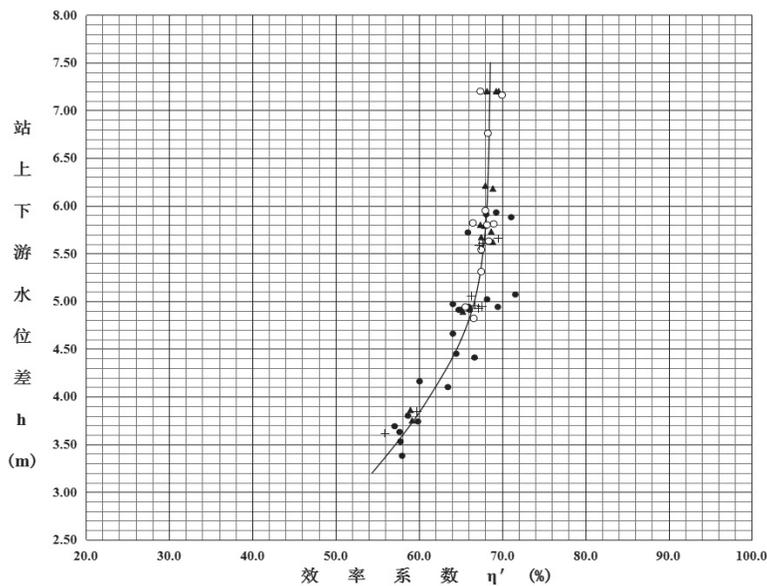


图 1 2015 年江都四站水位流量关系曲线

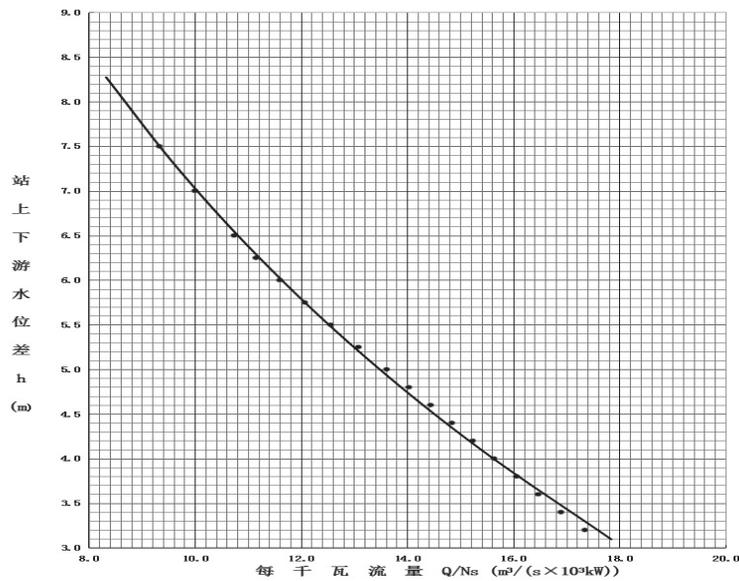


图 2 2015 年江都四站推流工作曲线

并且可以通过 WEB 网页实时查询到流量, 为下一步实现流量自动报汛打下了很好的基础。

3 关系曲线检验

根据《水文测验整编规范》(SL247-2012), 对关系曲线为单一线使用较长的临时曲线以及经单值化处理的单一线, 进行符号检验、适线检验和偏离检验。

(1) 符号检验

$$u = \frac{|k - np| - 0.5}{\sqrt{npq}} = \frac{|k - 0.5n| - 0.5}{0.5\sqrt{n}}$$

$$= \frac{|25 - 0.5 \times 56| - 0.5}{0.5 \times \sqrt{56}} = 0.67$$

$\mu < \mu_{1-\alpha/2} = 1.15 (\alpha = 0.25)$, 合理。

(2) 适线检验

$K > 0.5 \times (n-1)$ 免检, 合理。

(3) 偏离数值检验

$$|t| = |P| \times \sqrt{\frac{n \times (n-1)}{\sum (P_i - \bar{P})}}$$

$$= 0.06 \times \sqrt{\frac{56 \times 55}{259.61}} = 0.21$$

$t < t_{1-\alpha/2} = 1.30 (\alpha = 0.20)$, 合理。

(4) 标准差计算

$$Se = \sqrt{\frac{\sum P_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{259.78}{54}} = 2.2\%$$

根据水文规范的要求, 江都四站水位流量关系曲线三项检验及标准差都符合定线标准, 相对误差小于 5% 的测点占总测点总数的 98.2%, 系统误差为 0.1, 标准差为 2.2%, 随机不确定为 4.4%。

4 结语

笔者通过南水北调江都第四抽水站在南水北调和里下河排涝两种工况下适用的流量公式的研究, 来解决繁重的流量测验任务。通过对定线进行三种检验和分析的结果来看, 该方法具有较高的精度。但在以后的工作中还应注意以下几点:

(1) 由于该公式是在实测变幅范围内率定的, 所以本公式在 3.2 ~ 7.5 m 范围内适用, 超过此范围精度无法保证, 需谨慎使用。如果出现超出范围内的工况, 就需要重新率定曲线。

(2) 抽水站推流定线误差包括: 站上下水位观测误差、电功率表误差和流量测验误差等。尤其在开机一段时间后, 受水草和杂物的影响, 导致机组效率降低, 对定线和推流有很大影响。

(3) 由于采用 ADCP 测流, 所以测流过程中为提高测流的精度, 尽量在河道顺直、无紊流的河段, 并且选择一日内负荷比较稳定, 避免正在调峰时施测。另外, 还要抓住有利时机测量特殊工况下的测点, 以保证水情测报和资料整编的准确性。

(下转第 31 页)

