

基于合并效率法对江都第三抽水站 正反出流分析

王骏秋, 万 泉, 王 江

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要: 江都第三抽水站是南水北调东线源头4座大型泵站中唯一装有可逆式机组的水工建筑物, 针对本站多种工况下的出流特性, 根据工程更新改造后多年水文实测资料, 采用合并效率法, 计算推求出10台机组正转、反转下的效率系数, 在数据精确度得到验证后, 对多种工程运行状态下合并效率曲线加以对比和分析, 总结出水工建筑物的出流规律, 力求为水利建设和地方经济的发展带来更大的工程效益。

关键词: 泵站; 效率; 流量; 工况

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2017)01-0027-05

Analysis of positive and negative flow out Jiangdu No.3 pumping station based on combined efficiency method

WANG JunQiu, WAN Quan, WANG Jiang

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

Abstract: Jiangdu No.3 pumping station is the only hydraulic structures with reversible pump turbine between the four large pumping stations in the East Route of the South to North Water Diversion Project. According to the flow characteristics under various working conditions and hydrologic data after the renovation project, the combined efficiency method is used to calculate the efficiency coefficient of 10 units under forward and reverse rotation. After data accuracy is verified, the combined efficiency curve are compared and analyzed under various conditions. The flow law of the hydraulic structures is summarized to strive for the development of water conservancy construction and local economy.

Key words: pumping station; efficiency; discharge; working condition

1 工程介绍

江都三站位于江苏省扬州市江都区, 位于京杭运河、新通扬运河和淮河入江尾闾芒稻河的交汇处, 属于南水北调东线工程起点站。本站始建于1966年12月, 1969年10月建成完工, 抽水站装有

10台液压全调节立式轴流泵, 并配套立式同步可逆式电动机组, 总装机容量16000 kW, 设计扬程7.8 m, 单机流量 $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 总抽水能力 $135 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

本站主要功能为: 一是当苏北地区缺水时, 开机抽引长江水, 通过高水河、里运河向北送水抗旱; 二是当里下河地区遇涝而里运河需水时, 可将

收稿日期: 2016-06-26

作者简介: 王骏秋(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水文测验、水情传输、遥测管理等工作。

抽排的涝水北送至里运河;三是在淮河丰水年份、有余水下泄时,开启可逆式机组反转发电,尾水流向里下河或长江。

江都三站经过40余年的运行,使用年限远远超过国家规定,设备严重老化,在运行中出现了很多毛病,机组的效益已不能正常发挥,因此本站在2006年底对机组以及辅助设备进行了更新改造,于2009年中期顺利完工。

2 合并效率法原理

江都三站作为大型电力抽水站是依据能量转换原理进行设计和建造的,影响运行效益的主要因素是电功率数值、扬程高度和流量大小。从水文测验的角度看,我们把利用扬程、电功率与流量三者关系推算抽水站过水流量的测验称之为电力抽水站测流。《水文资料整编规范》中介绍,电力抽水站的推流方式有合并效率法、水力因素法、直接相关法或指数函数法等。江都三站在进行抽水时,将电能转换成动能,属于电力抽水站;而利用余水发电时,是将势能转换成电能,则发挥了水力发电站的功能。鉴于这个特性,我们选择了既适合抽水站也适合水电站流量率定的合并效率法来推求过水流量。与此同时,江都三站开机运行期间,扬程和电功率变化幅度较大,在几种推流方式中只有合并效率法可以满足高、中、低扬程的推流精度要求。另外,从节

约人力、物力的角度来看,采用合并效率法推流时,可避免叶片开启角度因素的介入,大大减少了率定流量所耗用的时间和精力(机组叶片角度有6种运转模式,所以在6种模式下都需要单独定线推流)。

在使用合并效率法进行定线推流时,实际上就是基于公式 $Q=N_s/9.8\eta h$ (其中: Q 为实测流量, N_s 为总电功率, η 为效率系数, h 为抽水静扬程),在一定扬程下,采用人工实测流量和时段内所耗用的总电功率,通过计算率定出合并效率系数 η ,并以 h 与 η 绘制关系曲线,当曲线检验合理后,在水工建筑物运行期间则可以通过关系曲线查阅效率系数来推求过水流量。

3 对引水、排涝、发电的出流定线的分析

3.1 引、排水测点定线

江都三站更新改造后,在开机抽水运行时,采用走航式ADCP实测流量共84次(2009~2015),以 h 和 η 建立关系,将关系点点绘在二维坐标图上(见图1)。

测点呈带状分布,点距较为密集,最大、最小扬程分别是8.24 m(2009年)、3.71 m(2012年),实测变幅达到7年中推流变幅的93.6%(实测变幅4.53 m,推流变幅为4.84 m)。通过点群中心初定一条趋势曲线,根据《水文资料整编规范》要求,对此曲线进行检验:

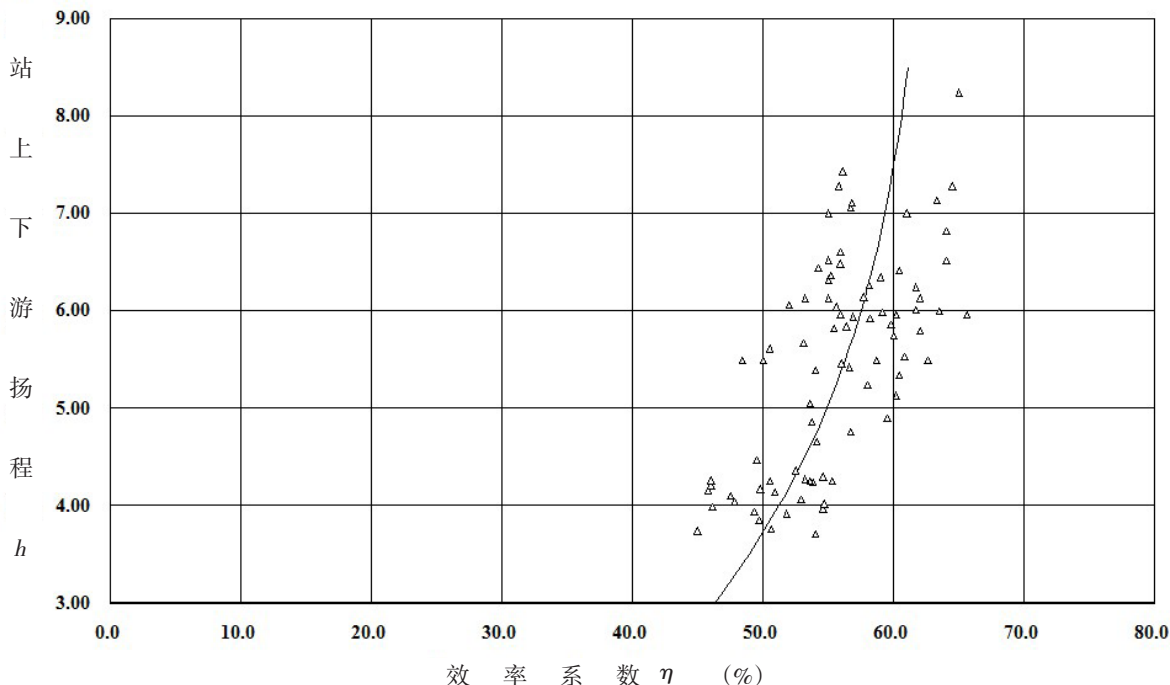


图1 水位扬程与效率系数关系曲线

一是符号检验,检验所定流量系数关系线两侧测点数目分配的合理性。在84个测次中,有43个测点偏正、41个测点偏负,故确定 $k=41$ 。经过计算,当 α 采用0.25时满足 $\mu=0 < \mu_{1-\alpha/2}=1.15$ 的合理判定条件,判定此关系曲线合理,成功通过了符号检验(其中, k 为正号或负号个数, α 为显著性水平, μ 为统计量, $\mu_{1-\alpha/2}$ 为临界值)。

二是适线检验,按水力因素递增次序,检验实测点偏离曲线正负符号的排列情况,借以检查定线有无明显系统偏差。在适线检验中,将江都三站扬程按从低到高的顺序排列,从第二点开始统计偏移正负符号变换(变换符号记为1,否则记为0),统计出其变换符号次数为39, α 采用0.10时满足 $\mu=0.44 < \mu_{1-\alpha}=1.28$ 的合理判定条件,即适线检验通过。

三是偏离数值检验,检验测点偏离关系线的平均偏离值(即平均相对误差)的合理性。在进行偏离数值检验中,利用公式分别计算出 sp 值、 t 值,当 α 采用0.20时 $|t|=1.22 < t_{1-\alpha/2}=1.28$,认为新定线合理,表示偏离数值检验通过($sp-p$ 为标准差, t 为统计量, $t_{1-\alpha/2}$ 为临界值)。

稳定的推流曲线,均应计算关系点对关系线的标准差和随机不确定度,根据公式计算出江都三站的测点 $Se=6.2\%$ 、 $P=1.3\%$ 、 $X'q=12.4\%$ (Se 为标准差, P 为系统误差, $X'q$ 为随机不确定数)。

从以上计算结果得出,所率定的江都三站抽水

效率推流曲线已符合水文规范要求,但是不难看出,在偏离数值检验中,统计量接近临界值,以至于检验标准差数值偏大,精度指标只能达到二类精度水文站的标准,而江都三站作为全国重要水文站及国家级水情报讯站,若采用此关系曲线推流,精度指标略微偏低。

3.2 引、排水测点分开定线

为了研究这个问题,我们对抽水运行状况进行细分:在江都东西闸工程调控下,江都三站开机运行工况有抽引江水和抽排涝水两种,根据实测情况,将84个测点细分为引水测点47个和排涝测点37个,将测点点绘在坐标图上,分别绘制出引水和排涝期间的两条效率曲线(见图2)。

图2中的测点均呈细条状均匀分布在曲线的两侧,两个系列测点边界条件、上下趋势性非常明显,点线吻合度好于图1。

3.3 发电测点定线

江都三站反向发电运行期间(2009~2015年),共实测流量26次,作为水力发电站,依然可以采用合并效率法。将发电期间的实测点点绘在引、排效率关系图上,根据测点的走势,再次绘制出关系曲线(见图3)。

依次对图3中3条效率曲线做3种检验和标准差计算,得出以下结果(见表1)。

检验结果表明:

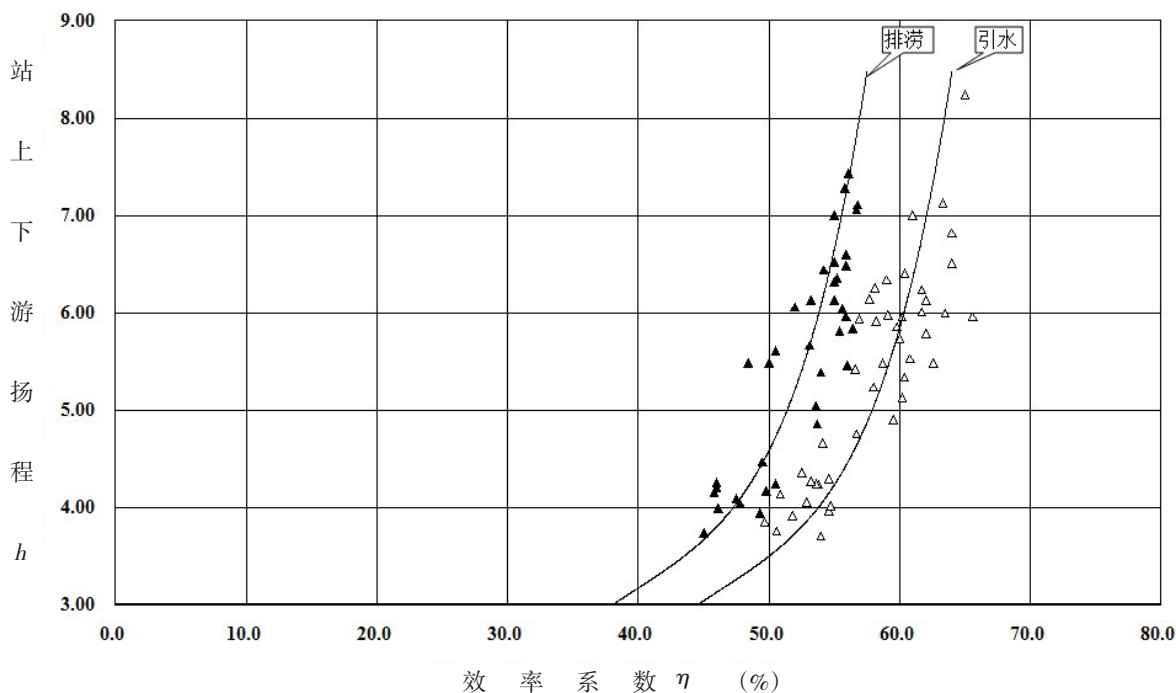


图2 引水与排涝效率曲线

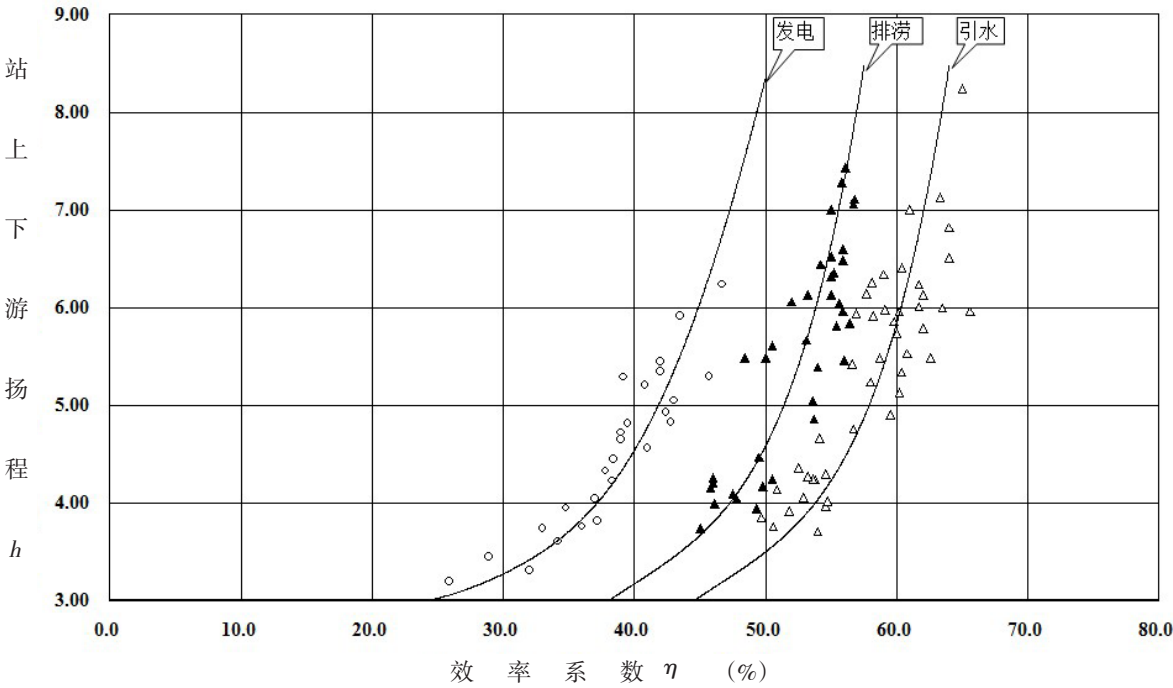


图 3 发电、排涝、引水效率曲线

表 1 检验成果表

符号检验	测点总数	正号或负号个数	统计量	临界值	结论 ($\alpha=0.25$)
	n	k	μ	$\mu_{1-\alpha/2}$	$\mu < \mu_{1-\alpha/2}$
正向引水	47	20	0.88	1.15	合理
正向排涝	37	16	0.66	1.15	合理
反向发电	26	11	0.59	1.15	合理
适线检验	测点总数	变换符号次数	统计量	临界值	结论 ($\alpha=0.10$)
	n	k	μ	$\mu_{1-\alpha/2}$	$\mu < \mu_{1-\alpha/2}$
正向引水	47	20	0.74	1.28	合理
正向排涝	37	19	$k > 0.5(n-1)$		免检
反向发电	26	15	$k > 0.5(n-1)$		免检
偏离数值检验	\bar{P} 的标准差	平均相对偏离值	统计量	临界值	结论 ($\alpha=0.20$)
	$S\bar{P}$	\bar{P}	$ t $	$t_{1-\alpha/2}$	$ t < t_{1-\alpha/2}$
正向引水	0.28	0.13	0.46	1.32	合理
正向排涝	0.32	0.32	0.15	0.47	合理
反向发电	0.24	0.08	0.33	1.32	合理
定线精度		标准差 (%)	随机不确定度 (%)		系统误差 (%)
正向引水	Se	2.40	X'_{η}	4.80	0.03
正向排涝	Se	2.20	X'_{η}	4.40	0.15
反向发电	Se	1.40	X'_{η}	2.80	0.08

(1) 江都三站引水、排涝和发电的三条推流关系线均能通过三种检验, 而且定线标准差已经达到了一类精度水文站标准。

(2) 引水、排涝分开定线均超过合并定线的精度。

4 合并效率系数验证

抽水站以及水电站的效率系数 η' 由管道 $\eta_{\text{管}}$ 、水泵 $\eta_{\text{泵}}$ 、电动机 $\eta_{\text{动}}$ 、传动装置 $\eta_{\text{传}}$ 等几项效率因子组成, 它们都与水头损失、额定功率有关, 除了管道效率 $\eta_{\text{管}}$ 由 $h/(h+sq^2)$ 公式计算外, 其他效率因

子可以根据水轮机、发电机、水泵等装置出厂时的效率指标或者效率曲线查出,通过合并效率系数公式 $\eta' = \eta_{\text{动}} \times \eta_{\text{泵}} \times \eta_{\text{传}} \times \eta_{\text{管}}$ (s 为水力损失因数, q 为单机流量) 进行计算。

为了验证江都三站通过实测流量率定的合并效率系数的准确性,将施测 110 个测点 ($X=\eta$, $Y=\eta'$) 点绘在二维坐标图上 (见图 4)。

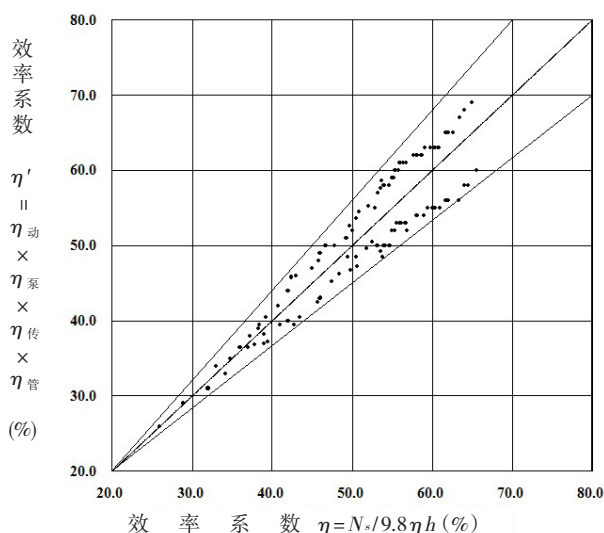


图4 效率对比图

由图4可见,相关点呈离散型分布在 $X=Y$ 直线的两侧, η 与 η' 基本一致,相关点正、负偏数目大致相同。经过计算,偏离误差在 $\pm 3\%$ 以内的占 75%,在 $\pm 5\%$ 以内的占 92%,系统误差为 0.7%,已满足《规范》规定的精度要求。

5 对引水、排涝、发电的效率对比的分析

从图3可见,江都三站开机运行时,相同扬程下,效率系数 $\eta_{\text{引水}} > \eta_{\text{排涝}} > \eta_{\text{发电}}$ 。针对这一情况进行分析并发现:

(1) 机组在抽排涝水时,里下河地区大量农作物秸秆、杂草、塑料、树枝等集中漂流到江都三站站口进水池拦污栅前,堵塞了过水空隙,形成栅前栅后水位差,造成机组水泵效率降低,故同级扬程的效率系数比抽引江水时的效率系数低。

(2) 江都三站主要是以抽水为主,为了保证电机

抽水效率,同时又保留发电状态下的发电功能和效率,改造时,主电机采用不变极电机,发电采用专门的变频发电机组,实行降速变频发电,水泵机组在 3kV、25Hz 状态下半速运行,推动变频发电机组电动机,再由变频发电机组发电机发出电力送入电网,因此发电效率小于抽水效率。

6 结语

江都三站是南水北调东线源头的控制口门之一,也是区域供水、排水的主要控制工程,准确可靠的引水、排涝、发电流量数据为防汛抗旱、水资源合理开发和工程运行管理提供了有力的技术依据,采用合并效率法推求过水流量的合理性在本文中得到了验证。目前,江都三站正转运行效率系数稳定数值基本在 0.45 ~ 0.65 之间,反转运行效率系数稳定数值基本在 0.25 ~ 0.50 之间。但是随着运行年份的增加,水工建筑物机组的运行效益会在设备耗损加大的情况下逐渐降低,所以适时开展水文测验工作是今后掌握效率系数变化幅度的基本前提。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部水文司. 水工建筑物测流 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [2] 水利部水文司. 水文资料整编规范 [M]. 水利水电出版社, 1999.
- [3] 徐仁冠. 电力抽水站流量定线方法探讨 [J]. 水文, 2000 (20): 55-57.
- [4] 许广东, 姚建栋. 淮阴闸工程加固后淹没式孔流定线推流过程浅析 [J]. 治淮, 2010 (4): 28-30.
- [5] 魏强林, 阚永庚, 仇宝云, 贺淑全. 江都第三抽水站反向发电方式比较与效益分析 [J]. 排灌机电工程学报, 2012 (3): 330-334.
- [6] 江都水利工程管理处编委会. 江都水利工程枢纽志 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2013.
- [7] 周灿华. 江苏江都三站更新改造技术探讨 [J]. 人民长江, 2013 (3): 44-47.

(责任编辑: 徐丽娜)