

# 单位扬程有功功率法泵站流量关系定线

钱睿智, 丁昌言, 王亚宾, 王永东

(江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225002)

**摘要:** 基于水力学方法推导出单位扬程有功功率法, 根据在南水北调东线全线试通水和南四湖生态应急调水的实测流量成果中的应用, 表明该方法是一种使用简便、精度较好的泵站流量关系定线新方法, 适用于泵站流量关系定线。

**关键词:** 单位扬程; 功率; 泵站; 流量关系

**中图分类号:** TV675      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839 (2016) 03-0026-05

## Unit lift active power method for discharge relationship alignment of pump station

QIAN Ruizhi, DING Changyan, WANG Yabin, WANG Yongdong

(Yangzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225002, Jiangsu)

**Abstract:** The unit lift active power method is derived by hydraulics method. According to the application on trial operation of the whole east route of the south to north water diversion, and measured results of Nansi Lake ecological emergency water diversion, the method is proved to be a convenient and accurate way, which is suitable for discharge relationship alignment of pump station.

**Key words:** unit lift; power; pump station; discharge relationship

### 1 理论基础

已知泵站流量, 进水池水位、流速, 出水池水位、流速, 在考虑能量损失的情况下, 根据能量守恒原理、水力学定律可以得出式(1), 泵站及其水力学指标示意图见图1。

$$\begin{aligned} & 0.5\alpha_u V_u^2 / g + Z_u \\ & = 0.5\alpha_1 V_1^2 / g + Z_1 + \eta P / (Qg) \end{aligned} \quad (1)$$

式中:

$V_u$ —出水池流速, m/s;

$Z_u$ —出水池水位, m;

$V_1$ —进水池流速, m/s;

$Z_1$ —进水池水位, m;

$P$ —有功功率, kW;

$Q$ —流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H$ —效率或效率函数;

$g$ —重力加速度, 一般取  $9.80 \text{ m/s}^2$ ;

$P / (Qg)$ —水泵产生无损失水头;

$\alpha_1, \alpha_u$ —进、出水池的  $0.95 \sim 1.05$ , 反映进、出水池对水流约束的无量纲系数。

为了使得问题的研究变得简单, 采用不考虑流速水头的办法对式(1)进行简化, 相当于泵站进水池、出水池断面尺寸相同, 进水池、出水池水深相同, 并且  $\alpha_u = \alpha_1$ , 可以得出:

$$Z_u = Z_1 + \eta P / (Qg) \quad (2)$$

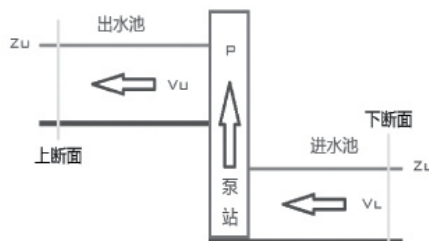


图1 泵站及其水力学指标示意图

收稿日期: 2015-8-29

作者简介: 钱睿智(1987-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水文分析计算和水文情报预报工作。

进行简单变换后得到:

$$Q = \eta P (Z_u - Z_l)^{-1} g^{-1} \quad (3)$$

$Z_u - Z_l$  为扬程  $H(\text{m})$ , 显然  $P(Z_u - Z_l)^{-1}$  即为单位扬程有功功率。令  $P_s = P(Z_u - Z_l)^{-1}$ , 可将式 (3) 写为:

$$Q = \eta P_s g^{-1} \quad (4)$$

因此, 在考虑流速水头时, 式 (4) 可近似写成:

$$Q = \eta P_s g^{-1} + \delta \quad (5)$$

显然,  $\delta$  是一个小的、能够反映流速水头差的函数,  $\delta \propto \alpha_1 V_1^2 / g - \alpha_u V_u^2 / g$ ;  $\delta$  与  $\eta P_s g^{-1}$  比值很小, 数据分析结果一般小于  $\pm 2\%$ , 因其数值较小, 由于流速水头差引起的流量变化实际上已被流量、水位测验误差等所掩盖。

## 2 实例分析

### 2.1 泵站简介

南水北调宝应抽水站 (地理坐标:  $119.41^\circ \text{ E}$ ,  $33.05^\circ \text{ N}$ ) 位于江苏省扬州市宝应县范水镇, 作为南水北调东线一期工程的水源工程, 其主要作用是与江都抽水站共同组成第一级抽水站, 以满足南水北调规划确定的东线一期工程抽引江水  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  北送的要求, 并可以抽排里下河地区涝水。宝应抽水站一期工程设计流量为  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , 工程由泵站、下游清污机桥、扬淮公路桥、灌溉涵洞及室内变电所和相应的管理设施组成。

抽水站选用 3500HDQ-7.6 型立式导叶式液压全调节混流泵, 配 TL-3400/48 立式同步电动机 4 台套 (3 主 1 备), 水泵叶轮球面直径  $3500 \text{ mm}$ , 设计扬程  $7.6 \text{ m}$ , 单泵设计流量  $33.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , 配套电机功率  $3400 \text{ kW}$ , 总装机容量  $13600 \text{ kW}$ 。宝应抽水站站房剖面图见图 2。

### 2.2 资料分析

表 1 是宝应抽水站 2014 年南水北调东线全线试通水 (13 次流量测验) 和南四湖生态应急调水 (22 次流量测验) 期间的实测流量成果表, 其中 8 月 13 日后为抽排里下河涝水。测验位置位于进水池东侧水流稳定处, 测验方法是动船法 ADCP 测流, 执行现行有效标准《河流流量测验规范》(GB50179-93) 和《声学多普勒流量测验规范》(SL337-2006)。测验次数为 35 次, 符合《水文资料整编规范》(SL247-2012) 中关于流量关系定线的测点数要求。根据实测点绘出宝应抽水站单位扬程有功功率~流量关系图, 定出流量关系线见图 3。

可见, 在宝应抽水站流量关系线上, 单位扬程有功功率、流量两参数呈直线相关, 且相关系数极高。

### 2.3 流量关系检验

仅相关系数极高并不能说明定线一定合理,

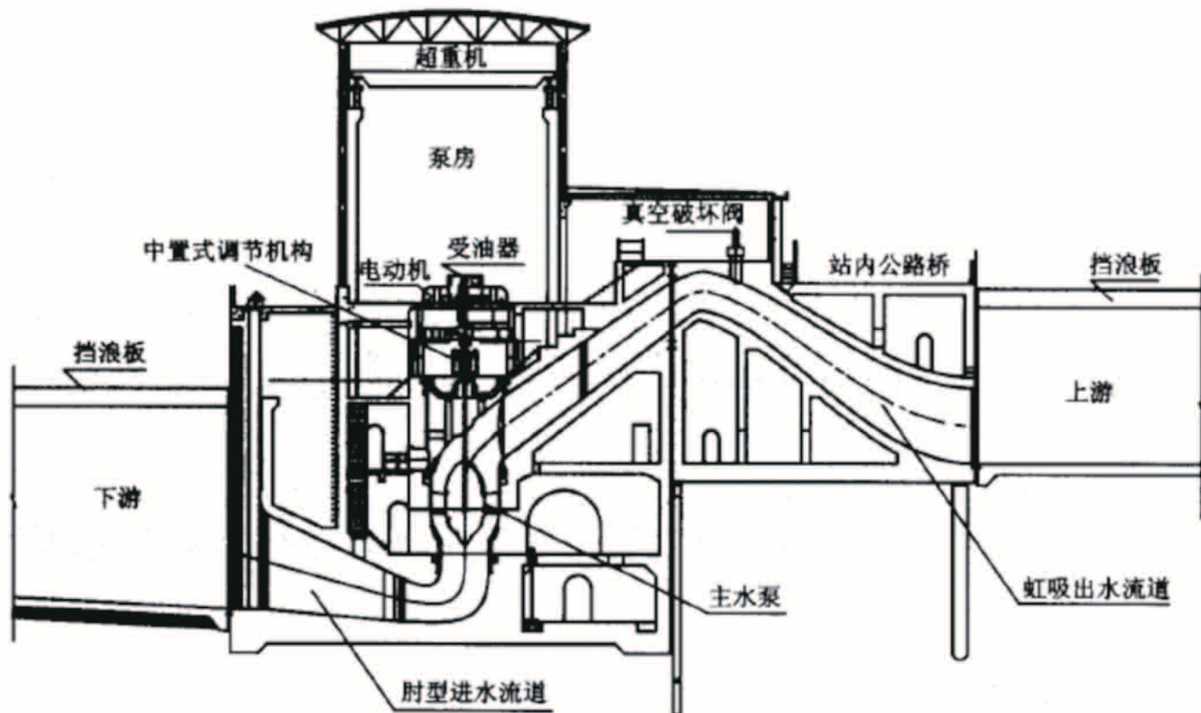


图2 宝应抽水泵站站房剖面图

表 1 宝应抽水站实测流量成果表

序号	日期 时间	Z ( m )		P ( kW )	P <sub>s</sub> ( kW )	Q ( m <sup>3</sup> /s )	η ( % )
		进水池	出水池				
1	2015/5/7 9:34	1.08	6.32	2580	492	38.40	76.40
2	2015/5/8 7:22	1.03	6.26	2480	474	34.50	71.30
3	2015/5/8 9:43	0.91	6.28	4910	914	67.40	72.20
4	2015/5/9 7:35	0.81	6.32	4990	906	66.00	71.40
5	2015/5/10 7:37	0.83	6.39	5090	915	67.20	71.90
6	2015/5/11 7:48	0.94	6.55	5090	907	67.20	72.60
7	2015/5/12 7:46	0.97	6.64	5180	914	66.40	71.20
8	2015/5/13 7:45	0.94	6.54	5190	927	66.00	69.80
9	2015/5/14 7:51	0.92	6.47	5210	939	66.00	68.90
10	2015/5/15 7:32	0.92	6.45	5310	960	66.50	67.90
11	2015/5/16 7:31	0.88	6.32	5080	934	70.30	73.80
12	2015/5/17 7:43	0.93	6.23	4390	828	59.00	69.80
13	2015/5/18 7:38	0.85	6.18	5300	994	67.10	66.10
14	2015/8/4 18:00	1.43	7.18	2640	459	33.40	71.30
15	2015/8/5 7:36	1.45	7.24	2590	447	32.70	71.60
16	2015/8/5 16:00	1.31	7.31	5000	833	62.90	74.00
17	2015/8/5 19:00	1.16	7.36	7550	1218	91.50	73.60
18	2015/8/6 7:38	1.08	7.46	8120	1273	96.00	73.90
19	2015/8/6 12:20	1.08	7.52	8030	1247	94.30	74.10
20	2015/8/7 7:31	1.03	7.53	8170	1257	93.40	72.80
21	2015/8/8 7:59	1.42	7.65	7940	1274	94.20	72.40
22	2015/8/9 7:36	1.56	7.76	8020	1294	95.90	72.70
23	2015/8/10 7:37	1.63	7.77	8050	1311	97.20	72.70
24	2015/8/11 12:07	1.52	7.50	7520	1258	96.00	74.80
25	2015/8/12 7:39	1.53	7.61	7820	1286	93.90	71.50
26	2015/8/13 7:31	1.66	7.69	7820	1297	96.40	72.80
27	2015/8/14 7:51	2.29	7.75	7620	1396	103.00	72.30
28	2015/8/15 7:49	2.41	7.32	7130	1452	107.00	72.20
29	2015/8/16 7:37	2.27	7.18	6950	1415	104.00	72.00
30	2015/8/17 7:38	2.15	7.11	7030	1417	105.00	72.60
31	2015/8/18 7:31	1.94	7.08	7130	1387	101.00	71.40
32	2015/8/19 7:33	1.77	7.25	7320	1336	98.40	72.20
33	2015/8/20 7:33	1.60	7.44	7720	1322	97.70	72.40
34	2015/8/20 11:20	1.69	7.45	5190	901	66.10	71.90
35	2015/8/21 7:39	1.70	7.72	5260	874	61.30	68.80

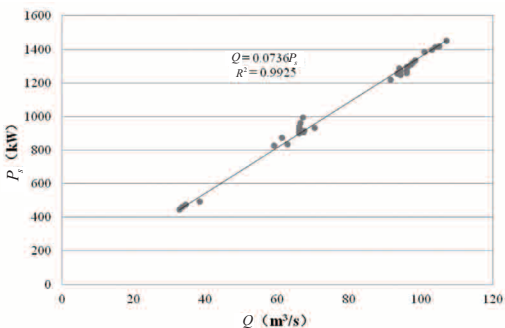


图 3 宝应抽水站单位扬程有功率 (P<sub>s</sub>) ~流量 (Q) 关系图

还应该对流量关系进行统计检验。

采用南方片水文资料整编系统 SHDP2.0 对图 3 所定流量关系线进行检验, 结果见表 2, 可见所定流量关系线精度达到《水文资料整编规范》中一类精度水文站的要求。

2.4 方法的推广应用

表 3 为 2014 年 8 月南四湖( 下级湖) 生态应急调水期间参与调水的部分泵站的综合流量关系线, 包括验收、江苏东线试通水、东线全线试通水、

表 2 大运河宝应抽水站  $P_s \sim Q$  关系曲线检验计算表

序号	施测号数	$P_s$ (kW)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_c$ (m <sup>3</sup> /s)	偏差 $P$ (%)	$P_{(i)} - P_{(\overline{P})}$	$[P_{(i)} - P_{(\overline{P})}]^2$
1	15	447	32.70	32.90	-0.61	-0.34	0.12
2	14	459	33.40	33.80	-1.18	-0.91	0.83
3	2	474	34.50	34.90	-1.15	-0.88	0.77
4	1	492	38.40	36.20	6.08	6.35	40.32
5	12	828	59.00	61.00	-3.28	-3.01	9.06
6	16	833	62.90	61.30	2.61	2.88	8.29
7	35	874	61.30	64.30	-4.67	-4.40	19.36
8	34	901	66.10	66.30	-0.30	-0.03	0.00
9	4	906	66.00	66.70	-1.05	-0.78	0.61
10	6	907	67.20	66.80	0.60	0.87	0.76
11	3	914	67.40	67.30	0.15	0.42	0.18
12	7	914	66.40	67.20	-1.19	-0.92	0.85
13	5	915	67.20	67.40	-0.30	-0.03	0.00
14	8	927	66.00	68.20	-3.23	-2.96	8.76
15	11	934	70.30	68.70	2.33	2.60	6.76
16	9	939	66.00	69.10	-4.49	-4.22	17.81
17	10	960	66.50	70.70	-5.94	-5.67	32.15
18	13	994	67.10	73.20	-8.33	-8.06	64.96
19	17	1218	91.50	89.60	2.12	2.39	5.71
20	19	1247	94.30	91.80	2.72	2.99	8.94
21	20	1257	93.40	92.50	0.97	1.24	1.54
22	24	1258	96.00	92.60	3.67	3.94	15.52
23	18	1273	96.00	93.70	2.45	2.72	7.40
24	21	1274	94.20	93.80	0.43	0.70	0.49
25	25	1286	93.90	94.70	-0.84	-0.57	0.32
26	22	1294	95.90	95.20	0.74	1.01	1.02
27	26	1297	96.40	95.40	1.05	1.32	1.74
28	23	1311	97.20	96.50	0.73	1.00	1.00
29	33	1322	97.70	97.30	0.41	0.68	0.46
30	32	1336	98.40	98.30	0.10	0.37	0.14
31	31	1387	101.00	102.00	-0.98	-0.71	0.50
32	27	1396	103.00	103.00	0.00	0.27	0.07
33	29	1415	104.00	104.00	0.00	0.27	0.07
34	30	1417	105.00	104.00	0.96	1.23	1.51
35	28	1452	107.00	107.00	0.00	0.27	0.07
样本容量			N=35		正号个数: 18.5		符号交换次数: 16
符号检验			u=0.17		允许: 1.15 (显著性水平 $\alpha=0.25$ )		合格
适线检验			U=0.17		允许: 1.64 (显著性水平 $\alpha=0.05$ )		合格
偏离数值检验			t =0.57		允许: 1.67 (显著性水平 $\alpha=0.10$ )		合格
标准差			Se (%) = 2.8		随机不确定度 (%) : 5.6		系统误差 (%) : -0.3

表 3 南水北调东线江苏段一期工程部分泵站流量关系表

泵站名	流量关系		精度评定	备注
宝应抽水站	$Q = 0.0748P_s + 0.2360$	$R^2 = 0.9933$	优	一级梯级抽水站
淮安四站	$Q = 0.0653P_s + 0.7598$	$R^2 = 0.9896$	良	二级梯级抽水站
淮阴三站	$Q = 0.0645P_s - 1.4473$	$R^2 = 0.9582$	中	三级梯级抽水站
泗阳一站	$Q = 0.0728P_s - 0.1135$	$R^2 = 0.9925$	优	四级梯级抽水站
刘老涧二站	$Q = 0.0673P_s - 0.3612$	$R^2 = 0.9901$	优	五级梯级抽水站
皂河二站	$Q = 0.0722P_s + 0.6164$	$R^2 = 0.9926$	优	六级梯级抽水站
刘山站	$Q = 0.0643P_s + 0.7404$	$R^2 = 0.9890$	良	七级梯级抽水站
解台站	$Q = 0.0650P_s + 5.4175$	$R^2 = 0.9755$	中	八级梯级抽水站
蔺家坝站	$Q = 0.0500P_s - 1.1167$	$R^2 = 0.9539$	中	九级梯级抽水站

说明: 1. 综合考虑点据分布、相关系数、截距进行精度评定。  
2. 系数越大, 泵站效能越好; 截距越小, 关系越好; 相关系数越大, 关系越好。

生态应急调水测点, 时间跨度较大, 可见单位扬程有功功率法定线总体情况好, 方法可用性较强。

淮阴三站、解台站、蔺家坝站精度稍差的原因是流量测验受附近船闸通航影响较大, 其解决办法是选择合适的流量测验断面, 抓好测量时机, 合理选用进、出水池水位。

3 结语

单位扬程有功功率法是在南水北调东线调水生产实践中提出的, 并在实践中得到广泛应用, 该

方法具有坚实的理论基础, 符合能量守恒定律和水力学理论, 计算简便, 流量关系为小截距直线关系, 并且该方法丰富了泵站流量定线方法, 扩展了现有资料整编规范内容, 适用于类似的大型泵站的流量定线。

工作中, 如果泵站的工作扬程在设计扬程附近, 或者相差不大, 就能保证其效能稳定, 该方法能得到更高的精度。此外, 由于水力发电站与泵站工作原理相近, 该法还能应用于水力发电站流量定线。

(责任编辑: 徐丽娜)