

变扬程条件下轴流泵以电折水方法研究

赵德芳¹, 张春越², 杨丽虎³, 刘恩民^{3*}

(1.德州市陵城区水利局, 山东 德州 253500; 2.临邑县水利局, 山东 临邑 251500

3.中国科学院 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘 要:【目的】探究变扬程条件下轴流泵适宜以电折水方法。【方法】在定性分析轴流泵的以电折水系数(T_c)随扬程 H 变化的基础上, 结合抽水试验结果, 分析扬程变化对水电转换系数的影响。【结果】①扬程变化直接影响以电折水系数 T_c , 用固定的 T_c 值进行以电折水的转换必然导致很大的误差(超 50%), 用扬程对 T_c 进行订正, 可大幅提高精度; ②参考水泵特性曲线推导出的 $H-T_c$ 曲线的斜率, 用单点扬程的实测 T_c 值对 T_c 进行修正的方法, 可简化实测 T_c 的工作量; ③从能量转化效率分析, 轴流泵的水泵系统将电能转换为势能的效率比较稳定, 不随扬程变化, 【结论】依据能量平衡原理提出电量-效率-扬程模型, 是一种新的探索, 计算水量的误差有望控制在 15%以内。

关键词: 电量; 以电折水系数; 轴流泵; 扬程; 水量; 能量守恒

中图分类号: S274.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023108

赵德芳, 张春越, 杨丽虎, 等. 变扬程条件下轴流泵以电折水方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 129-134.
ZHAO Defang, ZHANG Chunyue, YANG Lihu, et al. Estimating Water Consumption from Electricity Consumption for Axial Flow Pumps under Variable Head Conditions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 129-134.

0 引言

【研究意义】农业用水监测难度较大, 全部采用水表方式进行计量存在投资大、后期管理维修费用高和可靠性差等问题, 简化计量方法和提高可靠性对于我国农业水资源的管理意义重大。在平原河网灌区, 普遍采用低扬程轴流泵的小型扬水站, 可因地制宜解决局部灌溉区域的引水困难问题。此类扬水站共有 2 种形式: 一种是在引水渠渠首配合引水闸修建扬水站, 当上游水位低于引水渠内水位, 利用扬水站引水; 另外一种情况是针对局部地势较高的区域, 需利用扬水站抬高水位后送入引水渠。采用这种扬水站的目的是提高引水保证率, 其特点是扬程在 3 m 以内、采用轴流泵、装机功率较低。由于扬水站的作用只是抬高水位引水, 轴流泵出水管段一般很短, 往往难以找出合适的流量计安装位置, 导致流量计探头不能正常工作或误差严重^[1-2]。计量受限条件下“以电折水”成为一种计算抽水量的替代方法, 此种方法避开了流量计安装限制的问题, 减少了计量设备投资且提高了计量的可靠性; 相比流量的计量, 电量的计量要简单、可

靠的多, 维护成本更低, 实用性强。

【研究进展】“以电折水”在我国北方地区应用较多, 主要用于灌溉机井的用水计量, 研究发现由于水泵装置的系统差异、机井水位和给水条件的不同, 以电折水系数(T_c)的差异很大, 多个机井灌溉系统的 T_c 值有很大的离散性, 几乎没有规律^[3-6]。对此, 河北推广以电折水要求实地量测, 结合县域实际情况, 选定各乡镇深层水和浅层水的 T_c 值^[7]。理论上以电折水适于各种类型的水泵, 樊红梅等^[4]以轴流泵和混流泵为例研究了以电折水系数的预测方法, 指出地下水埋深、泵龄、灌溉方式与“以电折水”系数相关性较好。尹世洋等^[5]指出农业灌溉开采期, 由于地下水位不断降低, 水电折算系数也随之变小, 最大降幅在 14%左右, 并建议开展 1 个完整年的水电折算系数监测工作, 得出不同时段的水电折算系数。黄喜明等^[6]在清丰县实测了水电转化系数并给出了实施建议。王剑永^[8]指出用综合平均系数来代替每眼井的系数, 误差高达 66%, 提出实测修正和根据地下水位、降水进行修正, 但主要是以实测数据为依据进行修正。陈卫国^[9]根据能量守恒定律, 提出理论以电折水系数和额定以电折水系数, 机井泵站的实际以电折水系数与地下水位变化密切相关, 根据实际情况对额定以电折水系数进行折减, 是比较接近机理的方法。

综合“以电折水”的研究, 主要依靠积累的电量-流量数据进行分析或依靠跟踪实测, 在实际工作过

收稿日期: 2023-03-19 修回日期: 2023-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(42377064)

作者简介: 赵德芳(1980-), 男, 山东禹城人。高级工程师, 主要从事农业节水工程建设与管理、用水计量与水权制度研究。

E-mail: ccts99@126.com

通信作者: 刘恩民(1974-), 男, 山东宁津人。高级工程师, 主要从事作物耗水规律和农田水分管理研究。E-mail: liuem@igsnr.ac.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

程中要求提供泵站的计量资料并不现实,尤其是对新建泵站,新型水泵往往没有同类型参考数据,而跟踪实测显得过于繁琐,需配合多个工作环节,可操作性低,工作和管理难度大,容易出现问題而导致计算精度下降。基于机理性的方法,比较明显地揭示了扬程是影响以电折水系数的关键因子,而其他因子的影响是相对稳定的。对轴流泵扬水站来讲,电量计量是可靠的,在不便实施流量计安装条件下,监测泵前水位来修正水电转换系数,是一个很好的策略,相对于流量计,地下水位监测设备具有投资少、可靠性高的优势。【切入点】当前以电折水系数的方法研究,对影响以电折水系数影响因素的机理分析不足,针对轴流泵的扬程变化对以电折水系数的影响,缺乏机理分析与试验研究。【拟解决的关键问题】因此,有必要通过研究轴流泵的流量-耗电量关系以及扬程变化对该关系的影响,探索无流量计条件下的水量计量方法,为轴流泵扬水站的计量提供依据。

1 材料与方法

试验装置由蓄水池、轴流泵、出水管、三角量水堰、数据采集系统构成(图1)。蓄水池面积 20 m^2 ,深 2.6 m ,出水口流出的水最终返回蓄水池,可保证实验过程中泵前水位恒定。轴流泵型号为 100ZLB-2.2,转速 2900 r/min ,配套 0.75 kW 三相交流电机,额定扬程 1.5 m ,额定流量 $40 \text{ m}^3/\text{h}$;出水管为 DN100,中间连接 2 m 长同直径软管,调整出水口的高度可模拟扬程的变化;出水管末端接入三角量水堰,三角量水堰按照《堰槽测流规范》(SL24-91)设计,用 3 mm 厚钢板制成,堰口顶面宽度为 1 mm ,堰宽 500 mm ,最大水头(h) 220 mm ,总高度 320 mm ,静止水深 110 mm ,总长度 860 mm ,实验过程中完全自由流出;数据采集系统可自动采集、记录三角堰的水头、水泵的开关机时间、耗电量、供电电压,其中堰上水头由磁致伸缩位移传感器采集,精度为 0.1 mm ,实时采集,电度表型号 DTSD1352-C,实时电量由 RS485 信号输出给采集器;人工量取水堰固定点至水池水面的距离加上三角量水堰的水头得出实际扬程(H)。

测定不同扬程下的水量、电量,计算以电折水系数(T_c)。试验按扬程 $0.8\sim 2.2 \text{ m}$ 从低到高间隔 20 cm 左右逐次调节,每个扬程运行时间约 30 min ,选择稳定后的水位和电量读数作为该扬程的试验结果,由堰上水头计算流量,得到 1 组扬程、流量、电量数据,计算得出不同扬程下的 T_c 值。

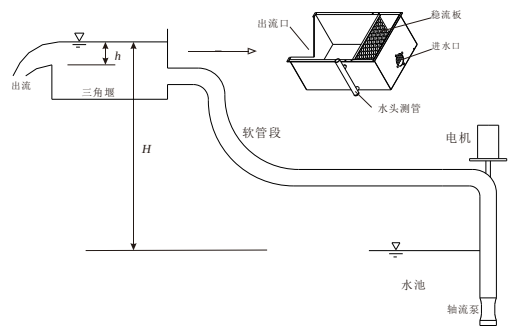


图1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment

2 结果与分析

2.1 轴流泵扬程与 T_c 值的定性分析

轴流泵的特性曲线^[10-12]包含 $Q-H$ (流量-扬程)、 $Q-\eta_0$ (流量-效率)、 $Q-N$ (流量-功率) 曲线(图2)。对于已安装好轴流泵水泵机组,除非电网供电的波动,可以认为水泵出水量与扬程完全相关,随着扬程的升高,出水量会降低。

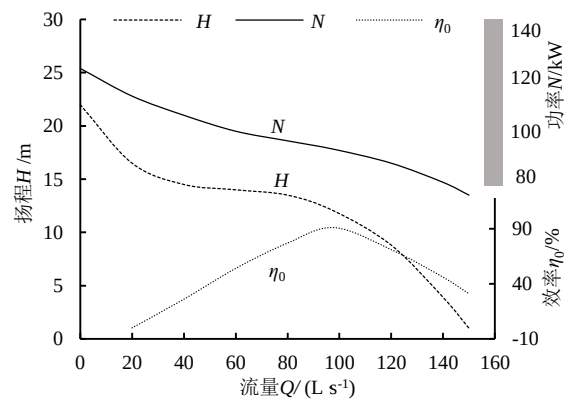


图2 轴流泵的特性曲线

Fig.2 Characteristic curve of axial flow pump

以电折水方法是建立水泵抽水量与耗电量的转换关系,从而实现以耗电量计算抽水量的计量方法^[3,13],抽水量与电量关系式为:

$$W = E \times T_c, \quad (1)$$

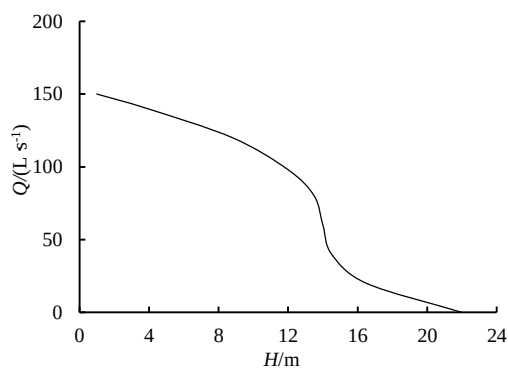
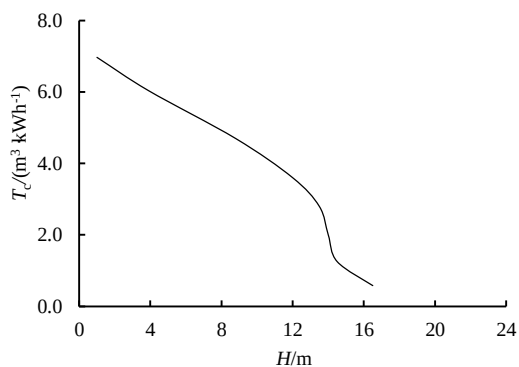
式中: W 为水泵的抽水量 (m^3); E 为抽水过程中电能消耗量 (kWh); T_c 为以电折水系数 (m^3/kWh)。

表1是根据文献[10-12]中轴流泵特性曲线图得出的流量、扬程、功率关系数据,对于无流量计扬水站的流量计量,在已知扬程(H)和耗电量(E)条件下,按式(1)计算不同扬程 T_c 值,来定性分析扬程(H)与 T_c 值的关系。图3、图4为轴流泵出水量、以电折水系数随扬程的变化。由图3、图4可知,随着扬程的增加,流量明显降低,以电折水系数也明显降低。流量为 $60\sim 140 \text{ L/s}$ 时,水泵基本处于高效区(图2),对应的扬程是 $4\sim 14 \text{ m}$;水泵运行在高效区时,流量、以电折水系数与扬程的关系均接近直线。

表 1 轴流泵的以电折水系数

Table 1 The conversion coefficient of water yield from electric charge for axial flow pump

轴流泵特性曲线测量数据				计算以电折水系数 T_c		
$Q/$ ($L \cdot s^{-1}$)	H/m	$N/$ kW	$\eta/\%$	电量 $E/$ ($kWh \cdot h^{-1}$)	抽水量 $W/$ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	$T_c/$ ($m^3 \cdot kWh^{-1}$)
0	22.0	137		137.0	0	
20	16.5	124	0	124.0	72	0.58
40	14.5	115	26	115.0	144	1.25
60	14.0	108	54	108.0	216	2.00
80	13.5	103	77	103.0	288	2.80
98	12.0	98	91	98.0	353	3.60
120	8.8	92	71	92.0	432	4.70
140	3.9	83.5	46	83.5	504	6.04
150	1.0	77.5	31	77.5	540	6.97

图 3 轴流泵的 $H-Q$ 关系曲线Fig.3 The $H-Q$ curve of axial flow pump图 4 轴流泵的 $H-T_c$ 关系曲线Fig.4 The $H-T_c$ curve of axial flow pump

2.2 试验数据分析

表 2 是设定不同扬程的轴流泵抽水试验数据, 其中流量是根据三角堰的水头计算得出, 根据《堰槽测流规范》得到流量计算式为:

$$Q=1.343h^{2.47}, \quad (2)$$

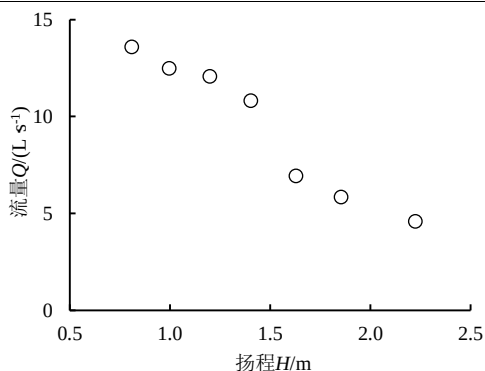
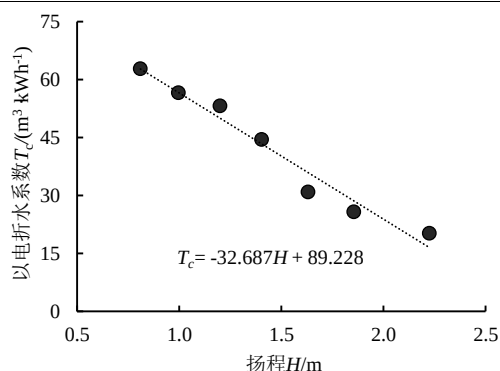
式中: h 为三角量水堰的堰上水头 (m); Q 为流量 (m^3/s)。

以时段抽水量除以同时段的电量得到以电折水系数, 结果见表 2。图 5、图 6 为扬程-流量关系曲线和扬程-以电折水系数关系曲线。由图 5、图 6 可知, 水泵流量及以电折水系数随扬程的增加而降低, 扬程 H 与 T_c 值基本趋势为直线负相关, 在大于额定扬程的位置稍有弯曲, 这与定性分析结果 (图 3、图 4) 基本一致。

表 2 轴流泵变扬程抽水试验结果

Table 2 Test results of the pumping with variable head for axial flow pump

扬程 H/m	运行时间 R/h	三角堰 水头 h/mm	流量 $Q/(L \cdot s^{-1})$	实测电量 E/kWh	抽水量 W/m^3	以电折水 系数 $T_c/(m^3 \cdot kWh^{-1})$	实际 做功 E_p/kJ	水泵系统 效率 $\eta/\%$
0.81	0.500 8	155.7	13.58	0.39	24.48	62.78	194.36	13.84
1.00	0.503 9	150.4	12.47	0.40	22.62	56.55	220.79	15.33
1.20	0.501 9	148.4	12.06	0.41	21.80	53.17	256.54	17.38
1.40	0.502 5	142.0	10.81	0.44	19.56	44.46	269.31	17.00
1.63	0.496 1	118.5	6.92	0.40	12.36	30.90	197.57	13.72
1.86	0.502 2	110.6	5.84	0.41	10.56	25.76	192.15	13.02
2.23	0.502 5	100.2	4.58	0.41	8.28	20.19	180.67	12.24

图 5 扬程 H 与流量 Q 关系Fig.5 The relationship between the head (H) and the water yield (Q)图 6 扬程 H 与以电折水系数 T_c 关系Fig.6 The relationship between the head (H) and conversion coefficient (T_c)

2.3 轴流泵的能量转换效率分析

从能量守恒的角度,水泵抽水就是水泵消耗电能将其转换为水的势能和动能以及部分热能。在将电能传递给水的过程中,会有能量损失,最终获得水的势能和动能与消耗能量之比,是水泵装置系统的效率,如忽略热量变化,可表示为:

$$\eta = \frac{E_k + E_p}{E \times 3.6 \times 10^6}, \quad (3)$$

式中: η 为水泵系统装置效率,包含了电机效率、水泵效率以及输水管路的能量损失等综合影响,从能力平衡角度,它反映了水泵将电能传递给水势能和动能的效率; E_k 为抽出水的动能(J); E_p 为抽出水的势能(J); E 为耗电量(kWh),按 $1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 转换为相同的能量单位(J)。

试验装置中,轴流泵出口为三角量水堰的水池,以水池的水面计算扬程,水池的流速 $< 0.02 \text{ m/s}$,可忽略水的动能项,能量平衡计算式为:

$$\eta E \times 3.6 \times 10^6 = E_p, \quad (4)$$

$$E_p = W \rho g H, \quad (5)$$

式中: ρ 为水的密度 (1000 kg/m^3); g 为重力加速度 (9.807 m/s^2)。

以式(5)计算抽水量的势能,作为最终获得的“净势能”,并用式(4)计算 η 作为轴流泵系统装置效率,此时的 η 实际反映了水泵系统将电能转换为势能的效率,结果见表2。

图7为不同扬程的水泵系统装置效率 η , 靠近额定扬程时 η 值最高,离开额定扬程会有一定程度下降,但下降程度不大,最高值为 17.38%,平均值为 14.65%,平均值出现在极端扬程与额定扬程之间而靠近额定扬程。水泵系统装置效率 η 随扬程变化而产生的波动并不大,这点不同于以电折水系数 T_c 和流量 Q 与扬程 H 呈负相关的情况(图5、图6)。

程 H 呈负相关的情况(图5、图6)。

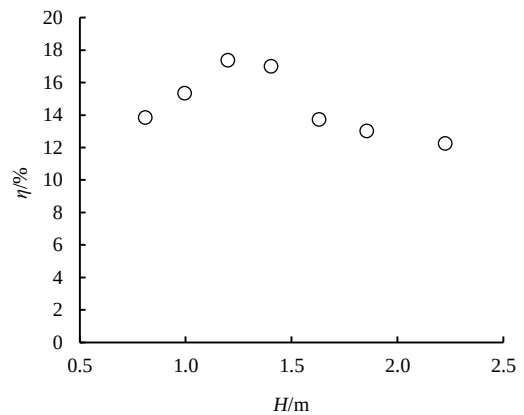


图7 不同扬程 H 下的水泵系统装置效率 η

Fig.7 Efficiency (η) of water pump under different heads (H)

2.4 电量-效率-扬程模型及验证

鉴于水泵的能量转化效率的相对稳定性,尝试设定一个水泵系统装置效率,将耗电量与该效率值的乘积作为最终净势能,再以此势能除去扬程(即高度)因子得到抽水量,简称为“电量-效率-扬程模型”。可简单地理解为水泵将一定的水量升高而做功,而做功所需能量为消耗电量后转换而来。

根据式(4)、式(5)可得出:

$$W = \frac{\eta E \times 3.6 \times 10^6}{\rho g H}, \quad (6)$$

按式(6), η 取本次试验的平均值 14.65%,根据耗电量分别计算不同扬程的抽水量,与实测抽水量对比进行检验。同时,按扬程 1.4 m 的实测以电折水系数,用各扬程的耗电量计算抽水量。结果见表3、图7。由表3、图7可知,单一以电折水系数的计算结果误差很大,而电量-效率-扬程模型的计算结果有很大改善,误差 $< 20\%$,考虑一般水泵不会运行于极端扬程,误差有望控制在 15%以内。

表3 电量-效率-扬程模型验证及单一以电折水系数算法的对比

Table 3 Verification of the Electricity-Efficiency-Head model and its comparison with the single method of the conversion coefficient of water yield from electric charge

扬程 H/m	运行时间 R_t/h	实测流量 $Q/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$	电量按效率转换为势能		扬程-效率-电量模型		单一以电折水系数	
			耗电量 E/kWh	有效势能 E_p/kJ	计算流量 $Q/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$	误差/%	T_c 计算流量 $Q/(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$	误差/%
0.81	0.501	48.89	0.39	205.686	51.70	5.8	34.62	-29.2
1.00	0.504	44.89	0.40	210.960	42.86	-4.5	35.30	-21.4
1.20	0.502	43.43	0.41	216.234	36.61	-15.7	36.32	-16.4
1.40	0.503	38.93	0.44	232.056	33.55	-13.8	38.93	0.0
1.63	0.496	24.91	0.40	210.960	26.60	6.8	35.85	43.9
1.86	0.502	21.03	0.41	216.234	23.67	12.5	36.30	72.6
2.23	0.503	16.48	0.41	216.234	19.72	19.7	36.28	120.2

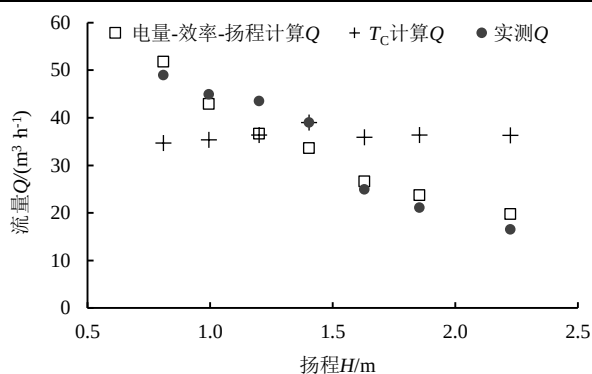


图8 扬程变化条件下抽水量不同计算方法与实测结果比较

Fig.8 Comparison of different methods for water extraction and measured results under head variations

3 讨论

以电折水计算抽水量的方法具有简单易行、可靠性高的优势，鉴于灌溉用电量计量的普及性，它很容易得到推广和普及，是解决农业灌溉用水计量的有效途径。以电折水系数与水泵特性、动力匹配、地下水埋深、机组年龄、灌溉方式、输水管路长度与布局、机井含水层的富水性等因素有关^[2-7]，其中，地下水埋深和灌溉方式、输水距离可总结为扬程，其他因素相对稳定或固定。本研究表明，扬程是影响以电折水系数的因变量，扬程或地下水埋深是影响以电折水系数的关键因素^[4,5,9,14-15]。

用固定的 T_c 值依靠电量推算抽水量的结果误差很大（超过 50%），接近 2 倍额定扬程时，误差可达到 70%~100%，王剑永^[8]指出用综合平均系数来代替每眼井的系数，误差高达 66%，尽管可依水文地质分区和水泵型号等因素分类选取 T_c 值^[5,9]，但显然只有对每个泵站进行实测 T_c 才能确保计量精度。跟踪测定不同扬程的 T_c 值在实际应用中时间和工作量付出太大，以标准的水泵特性曲线得出理论的 $H-T_c$ 关系为基础，结合实测 T_c 是可行的。故这属于扬程-以电折水系数-电量模式，即依据扬程 H 选 T_c 值，再乘以电量得到抽水量。

电量-效率-扬程模型可以看作是以电折水的另外一种途径。以能量守恒为基础，水泵自身特性、动力匹配、输水管路等因素在完成系统安装后基本固定，其影响可用水泵系统装置效率 η 来表示， η 可视为水泵将电能传递给水的势能和动能的转化效率，能量转化效率随扬程变化波动不明显，势能、抽水量、扬程的关系遵从能量守恒规律，按能量平衡理论建立的电量-效率-扬程模型，可用于计算轴流泵抽水量。陈卫国^[9]研究表明，理想状态下扬程 1 m，消耗电量 1 kWh，抽水量为 367.65 m³，是假设没有任何能量损失，且忽略了出口流速所含的动能；根据水泵额定出

水量和功率得出额定以电折水系数，额定以电折水系数与理论以电折水系数的比值作为水泵装置的效率，综合反应了包括水泵、电机、管路和传动系统的效率，根据测试实际成果，对额定以电折水系数进行折减^[9]。

与 $H-T_c$ 关系不同，扬程变化引起 η 的波动很小，选择在靠近设计扬程处测定 1 次水泵系统装置 η 作为平均值，用此 η 值即可根据电量计算抽水量，误差可控制在 15% 以内。电量-效率-扬程模型揭示了以电折水系数随扬程的变化机理，水泵消耗电能后转化成水的势能一定，扬程高则抽水量小，扬程低则抽水量大。

4 结论

1) 扬程 H 与以电折水系数 T_c 呈线性负相关，扬程增加则以电折水系数减小；扬程变化是影响以电折水系数 T_c 值的关键因子，实际应用中应依据扬程 H 对 T_c 值进行修正。

2) 实际应用中，可实测一个扬程的 T_c 值，依靠特性曲线推算 $H-T_c$ 曲线的斜率，用于 T_c 值的修正；缺乏水泵特性曲线时，只能靠实测 T_c ，至少测定高、低 2 个扬程点，扬程的差异尽量大，然后得出 $H-T_c$ 关系；该方法具有实际可操作性。

3) 电量-效率-扬程模型揭示了以电折水系数随扬程的变化机理，水泵消耗电能后转化成水的势能效率一定，用一次实测 T_c 的数据可以计算 η 值，同等效率下，扬程高则抽水量小，扬程低则抽水量大。 η 不随扬程变化这个结论有实际应用价值，可选择在靠近设计扬程处测定一次轴流泵的水泵系统装置效率 η 作为水平值，用此 η 值即可根据电量-效率-扬程模型计算抽水量，误差有望控制在 15% 以内。

（作者声明本文无实际或潜在利益冲突）

参考文献：

- [1] 万青松, 张金玉, 万书云. 金湖县“以电折水”计量探索[J]. 水利发展研究, 2020, 20(6): 48-51.
- [2] 钦亚洲, 崔延松, 钱晖. 农用灌溉泵站水电转换系数测定及预测研究[J]. 南通大学学报(自然科学版), 2022, 21(2): 88-94.
- [3] 李飞, 陶鹏, 齐永青, 等. 河北平原农业灌溉以电折水系数影响因素研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(12): 1993-2001.
- [4] 樊红梅, 刘晓民, 王文娟, 等. 基于多种方法的“以电折水”系数研究[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(11): 98-105.
- [5] 尹世洋, 吴文勇, 刘洪禄, 等. 北京市平原区农用机井水电折算系数试验研究[J]. 排灌机械学报, 2014, 32(11): 998-1004.
- [6] 黄喜明, 丁伟强, 张磊. 清丰县以电折水度量方法实验探讨[J]. 水资源开发与管理, 2021, 19(11): 15-18, 74.
- [7] 吴美, 兰凤, 谢磊. 河北省农业地下水水量核定“以电折水”系数测量方法分析[J]. 河北水利, 2019(8): 30-31.
- [8] 王剑永. “以电折水”方法研究与应用[J]. 中国水利, 2017(11): 34-35, 28.

- [9] 陈卫国. 水泵装置效率与以电折水系数关系变化规律分析研究[J]. 海河水利, 2021(1): 123-126.
- [10] 姜乃昌. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [11] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [12] 王艳丽. 轴流泵运行特性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [13] 岳士茹. 农用机井以电折水方法及其应用[D]. 保定: 河北农业大学, 2019.
- [14] 梁雪丽, 吕旺, 兰凤. 以电折水系数影响因素探析: 以不同灌溉方式为例[J]. 海河水利, 2020(1): 68-70.
- [15] 王庆明, 张越, 赵勇, 等. 河北省井灌区灌溉用水与耗能变化规律研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 154-159.

Estimating Water Consumption from Electricity Consumption for Axial Flow Pumps under Variable Head Conditions

ZHAO Defang¹, ZHANG Chunyue², YANG Lihu³, LIU Enmin^{3*}

(1. Water Resources Bureau of Lingcheng District, Dezhou City, Dezhou 253500, China; 2. Water Resources Bureau of Linyi County, Linyi 251500, China; 3. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: **【Objective】** To study the suitable method of electric water diversion for axial flow pump under variable head. **【Method】** Based on a qualitative analysis of the variation of the electric water conversion factor (T_c) of axial flow pumps with head H , combined with the results of pumping experiments, the impact of head variation on the water-electric conversion factor was analyzed. **【Result】** ①Head variation directly affected the electric water conversion factor T_c , and that using a fixed value of T_c for electric water conversion inevitably leads to a large error (over 50%), while using head to revise T_c , the accuracy could be greatly improved. ②Referring to the slope of the $H-T_c$ curve deduced from the pump characteristic curve, the method of correcting T_c with the measured value of the single point head can simplify the workload of the actual T_c measurement; ③From the analysis of the energy conversion efficiency, the efficiency of the pump system converting electrical energy into potential energy was relatively stable and did not change with the head. **【Conclusion】** Based on the energy balance principle to propose the power-efficiency-head model, which is a new exploration, the error of calculating the water volume can be reduced less than 15%.

Key words: electricity; converting electricity to water; axial pumps; delivery head; water amount; energy conservation

责任编辑: 白芳芳