

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.023

基于黑箱法的泵装置水力特性换算

葛 强¹ 周君亮² 李 龙²

(1.扬州大学能源与动力工程学院 江苏 扬州 225009 ; 2.河海大学水利水电工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 : 针对低扬程泵站水力损失占总装置扬程比例较大、低扬程大型泵站原模型效率用传统换算方法会引起较大误差的问题 , 通过对泵装置中各种水力损失及影响低扬程水泵装置效率的主要因素进行理论分析 , 研究了根据泵段及泵装置模型试验所得到的水力特性 , 由泵段模型水力特性换算得原型泵段性能曲线 , 提出了用黑箱法求出原型泵装置水力特性的新方法 . 实测数据验证表明 , 采用黑箱法进行原模型泵装置效率换算 , 可提高换算精度 , 满足工程要求 .

关键词 : 黑箱法 ; 水泵 ; 泵装置 ; 水力特性 ; 换算

中图分类号 : TV136⁺.2 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-1980(2009)06-0727-04

大型泵站水泵装置效率是衡量整体能量转换特性优劣的重要指标 . 大型水泵装置效率准确数值不可能通过设计计算确定 , 也无现成精确计算理论 , 更难以通过现场测试获得 . 目前国内外通行的方法是在试验室中通过泵及泵装置模型试验 , 将试验结果用换算公式换算为原型泵及泵装置性能参数^[1-3] , 但如何换算是一个值得研究的课题^[4] , 文献 [5-9] 曾对此进行了相关的研究 , 但换算关系涉及众多参系数 , 换算关系较为复杂 . 本文通过对泵装置中各种水力损失及影响低扬程水泵装置效率的主要因素等进行理论分析 , 提出了采用泵段及泵装置水力模型试验所得到的综合水力特性 , 由泵段模型水力特性换算得原型泵段性能曲线 , 再用黑箱法求原型泵装置水力特性的新方法 . 通过某泵站实测数据验证表明 , 采用黑箱法进行原模型泵装置效率换算 , 可提高换算精度 , 满足工程要求 .

1 黑箱法水力特性换算理论分析

1.1 水泵内水力损失

水泵内水力损失由 3 部分组成 : 过流部分的沿程水力损失 , 水体经装置内弯曲段、扩散或收缩段等产生的局部水力损失 , 在非 0° 叶片角及非最优工况时叶轮进口水流撞击损失 . 水力损失计算公式为^[10-11]

$$h_l = h_f + h_j + h_z = k_{fj} Q^2 + k_z (Q - Q_0)^2 \tag{1}$$

式中 : h_l ——泵水力损失 ; h_f ——水泵过流部分沿程水力损失 ; h_j ——水泵过流部分局部水力损失 ; h_z ——水泵进口水流撞击损失 ; k_{fj} ——水泵水力损失系数 ; k_z ——水泵进口水流撞击损失常数 ; Q_0 ——没有水流撞击损失的水泵流量 .

模型泵段试验 $H_m \sim Q_m$ 水力特性曲线上某一点 i 流量 Q_{mi} 的水力损失 Δh_{mi} 可表达为

$$\Delta h_{mi} = k_{fj} Q_{mi}^2 + k_z (Q_{mi} - Q_{n0})^2 \tag{2}$$

其中 Q_{n0} 为模型泵叶轮进口水流撞击损失为零的流量 .

1.2 水泵装置水力损失

与水泵内水力损失相比 , 水泵装置水力损失增加了导叶、进出水流道、拦污栅等沿程损失与局部损失造成的水力损失 , 如果原模型泵装置相似 , 相应水力损失系数相等 . 通过模型泵装置试验得 $H_{msy} \sim Q_{msy}$ 曲线 , 在曲线上流量为 Q_{msyi} 的水力损失计算公式为^[11]

$$\Delta h_{msyi} = (k_{fj} + k_{syfj}') Q_{msyi}^2 + k_z (Q_{msyi} - Q_{n0})^2 \tag{3}$$

收稿日期 : 2009-07-31
基金项目 : 国家自然科学基金(50279045) ; 水利部科技创新项目(SCX2003-12) ; 扬州大学创新培育基金(2007CXJ011)
作者简介 : 葛强(1965 —) 男 , 江苏南通人 , 副教授 , 博士 , 主要从事水泵及泵站工程研究 .

其中 k'_{syfj} 为泵装置比泵段增加的水力损失系数。

在模型泵段试验 $H_m \sim Q_m$ 曲线和模型泵装置试验 $H_{\text{msy}} \sim Q_{\text{msy}}$ 曲线中,在某一相同流量点的水力损失分别为 Δh_{mi} 和 $\Delta h_{\text{msy}i}$,它们差即为泵装置比泵段增加的水力损失:

$$\Delta h_{\text{msy}i} - \Delta h_{mi} = [(k_{\text{fj}} + k'_{\text{syfj}})Q_{\text{msy}i}^2 + k_{\text{BEf}}(Q_{\text{msy}i} - Q_{\text{mBEP}})^2] - [k_{\text{fj}}Q_{mi}^2 + k_{\text{BEf}}(Q_{mi} - Q_{\text{mBEP}})^2] \quad (4)$$

当该点流量 $Q_{mi} = Q_{\text{msy}i}$ 时,式(4)即简化为

$$\Delta h_{\text{msy}i} - \Delta h_{mi} = k'_{\text{syfj}} Q_{\text{msy}i}^2 \quad (5)$$

通过泵段的模型水力特性换算得原型泵段 $H_n \sim Q_n$ 曲线.由式(5)将泵装置水力损失系数 k'_{syfj} 乘以原型泵流量即可求得原型泵装置在同一流量时比原型泵段增加的水力损失值.将原型泵 $H_n \sim Q_n$ 曲线减去此差值,即可得原型泵装置 $H_{\text{nsy}} \sim Q_{\text{nsy}}$ 曲线.由于在计算过程中未涉及泵体内各分部效率及其他附加损失的单项指标值,因此称该种换算方法为黑箱法。

2 黑箱法水力特性换算工程实例

2.1 模型泵段、泵装置性能试验

江都一站、二站为我国最早兴建的大型电力排灌站,经长期运行机组设备已老化.1994年江苏机电排灌工程研究所对江都一站水泵改造分别进行了泵装置和泵段的模型试验研究.模型泵的叶轮直径为300 mm,转速为1400 r/min.叶片角0°时模型泵段和泵装置试验性能曲线见图1。

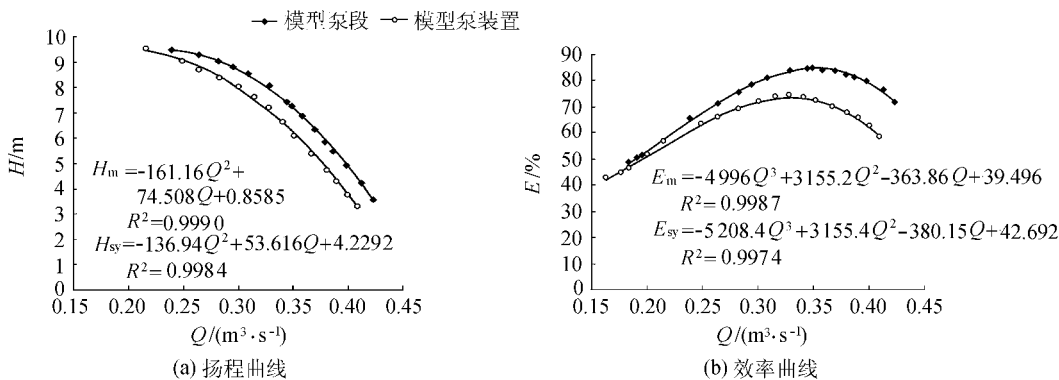


图1 模型泵段和泵装置试验性能曲线

Fig. 1 H - Q , E - Q test curves for model pump and pump set

1996年更新改造结束后,用5孔探针测流装置进行了现场测试,测试结果见表[12]。

用黑箱法进行原模型水力特性换算基于相似理论及水力损失计算,应用条件为模型泵段及模型泵装置的水力特性曲线已知.为减小试验及计算误差,本算例模型泵段和泵装置的水力特性试验曲线为在同一高精度试验台上进行。

2.2 模型装置性能向原型装置性能换算

相似定律是泵性能换算的依据,目前国内水泵厂家样本中的泵性能均是根据相似律从模型泵段(轴流泵含60°弯头)性能换算获得的.事实上,相似律推求是针对泵的叶轮而言的,甚至并不包括导叶体,更不包括弯头等其他构件中的水力损失,因而生产上的这种换算是一种近似的泵性能换算.泵装置包括进出水流道,其性能也沿用相似律进行换算,其相似性如何认定,值得探讨.作为封闭管道的进出水流道其水力损失通常表示为

$$h_1 = \sum \zeta v_1^2 / 2g = \sum (\zeta / 2gA_1^2) Q^2 = sQ^2 \quad (6)$$

其中 $s = \sum (\zeta / 2gA_1^2)$ 为管道损失特性系数。

表1 江都一站泵参数现场测试结果

Table 1 In situ test results of performance of Jiangdu

No. 1 Pump Station						
机组号	叶片角/(°)	平均扬程/m	电机输入功率/kW	流量/(m³·s⁻¹)	机组效率/%	泵装置效率/%
3	+2	4.445	742.0	12.01	70.50	74.22
6	0	5.440	720.5	10.34	76.50	80.54
7	+2	3.684	682.8	12.51	66.14	69.62
8	0	3.978	671.5	11.79	68.45	72.05
8	+2	4.155	732.0	12.58	69.98	73.66

根据管道水力损失的量纲分析,水力损失 $h_1 \propto v^2$,而 $v \propto nD$,则

$$h_1 \propto (nD)^2 \tag{7}$$

式(7)与扬程相似关系 $H \propto (nD)^2$ 一致.将黑箱法换算结果分别同 Moody 法、Hutton 法、Eyrone Jackson 法水力参数换算结果对比,见表 2.

表 2 4 种换算方法所得原型泵装置效率

Table 2 Efficiencies of prototypes pump set with 4 kinds conversion methods

$Q_n/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_m/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	H/m	$E_m/\%$	$E_n/\%$			
				Moody 法	Hutton 法	Eyrone Jackson 法	黑箱法
10.30	0.3448	7.449	84.41	88.90	87.55	88.22	84.61
10.42	0.3487	7.291	84.80	89.18	87.86	88.51	83.67
10.70	0.3580	6.850	84.27	88.80	87.44	88.11	81.55
11.04	0.3693	6.360	83.76	88.44	87.03	87.73	79.15
11.34	0.3793	5.834	82.22	87.34	85.80	86.57	77.16
11.56	0.3869	5.474	81.45	86.79	85.19	85.98	75.69
11.90	0.3982	4.930	79.61	85.48	83.72	84.59	73.55
12.34	0.4128	4.208	76.11	82.99	80.93	81.95	70.73
12.66	0.4235	3.576	71.55	79.74	77.29	78.50	68.51

由表 1 知,叶片角为 0°时,6 号、8 号机组平均扬程分别为 5.440 m 和 3.978 m,现场测得泵装置流量分别为 10.34 m³/s 和 11.79 m³/s,对应模型泵装置扬程分别为 5.34 m 和 3.75 m,流量为 10.97 m³/s 和 11.98 m³/s,根据原模型泵装置水力损失关系用黑箱法求得在该流量下的效率分别为 81.55% 和 73.55%,黑箱法换算的效率与现场实测效率 80.54% 和 72.05% 基本吻合.表 3 为 0°叶片角流量相同时原模型装置效率换算值及实测值.

表 3 0°叶片角流量相同时原模型泵装置效率换算值及实测值比较

Table 3 Comparison between observed and conversion efficiencies of original model pump set at an angle of 0° under constant discharge

模型泵段换算			模型泵装置换算			黑箱法效率/%	实测效率/%
流量/(m³·s⁻¹)	扬程/m	效率/%	流量/(m³·s⁻¹)	扬程/m	效率/%		
11.20	6.85	84.27	10.97	5.34	70.08	81.55	80.54
11.90	4.93	79.61	11.98	3.75	62.38	73.55	72.05

3 结 论

用黑箱法进行泵装置原模型水力效率换算的前提必须具有完整的泵段模型及泵装置模型的能量性能曲线,在我国目前水力机械科研生产条件下,这一要求容易满足.为提高换算精度及利用计算机进行数值计算,各性能曲线需用最小二乘法进行统计回归.模型泵段及泵装置性能曲线最好采用同台试验数据.在用黑箱法进行原模型泵装置效率换算时,由于装置损失系数的确定排除了泵体内各单项损失的变化对总效率换算结果的影响,且损失系数 k'_{syfj} 计算采用每一工况点的比例常系数,再进行逐点换算,只要严格满足原模型几何相似、动力相似,采用黑箱法换算原模型效率,可提高换算精度.

参考文献:

[1] SL140—97,水泵模型验收试验规程[S].

[2] ISO/DIS5198,离心泵、混流泵和轴流泵验收试验规范:A 级[S].

[3] JIS B 8327 2002,Test methods for performance of pump using model pump[S].

[4] 葛强,周君亮,李龙,等.低扬程水泵装置水力参数特性换算研究综述[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):165-170.(GE Qiang,ZHOU Jun-liang,LI Long,et al.Advances in study of hydraulic characteristic parameter conversion for low-lift pumping devices[J].Journal of Hohai University(Natural Sciences,2006,34(2):165-170.(in Chinese))

[5] 陈松山,葛强,周正富,等.泵装置模型试验模拟方法分析[J].水力发电学报,2006,25(5):135-140.(CHEN Song-shan,GE Qiang,ZHOU Zheng-fu,et al.Analysis of the simulation methods of pump set model test[J].Journal of Hydroelectric Engineering,2006,25(5):135-140.(in Chinese))

[6] 陈松山,严登丰,葛强,等.泵及泵装置效率换算方法[J].农业机械学报,2006,37(11):51-55.(CHEN Song-shan,YAN Deng-

- feng GE Qiang ,et al. Research on conversion method of pump and pump set efficiency between hydraulic model and prototype[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 2006 37(11) :51-55.(in Chinese))
- [7] 严登丰,叶健,陈茂满,等.泵及泵装置效率表达与换算[J].排灌机械,2007,25(1):1-8.(YAN Deng-feng ,YE Jian ,CHEN Mao-man et al. Pump efficiency and conversion methods for efficiency[J]. Drainage and Irrigation Machinery ,2007 ,25(1):1-8.(in Chinese))
- [8] 李彦军,黄良勇,袁寿其,等.大型泵与泵装置效率特性预测理论分析[J].农业机械学报,2009,40(1):44-49.(LI Yan-jun ,HUANG Liang-yong ,YUAN Shou-qi et al. Theoretical analysis of efficiency characteristic prediction on large pump and pump installation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 2009 40(1) :44-49.(in Chinese))
- [9] 陈立,张仁田,张平易.双向泵站装置效率换算方法的探讨[J].排灌机械,1996(3):23-27.(CHEN Li ,ZHANG Ren-tian ,ZHANG Ping-yi. Conversion method of system efficiency of dual-dirveion pumping stations[J]. Drainage and Irrigation Machinery ,1996 (3) 23-27.(in Chinese))
- [10] 周君亮.原型及模型泵水力装置参数换算[J].排灌机械,2009,27(5):273-280.(ZHOU Jun-liang. Study of conversion for performance of model pump to actual pump[J]. Drainage and Irrigation Machinery 2009 27(5) :273-280.(in Chinese))
- [11] 周君亮.泵站原、模型水力特性换算研究[J].江苏水利,2004(6):8-12.(ZHOU Jun-liang. Research on conversion methods of hydraulic characteristics between prototype and model pumps and pumping stations[J]. Jiangsu Water Resources ,2004(6):8-12.(in Chinese))自译.
- [12] 刘超,汤方平,周济人,等.江都一站主泵改型模型试验报告[R].扬州:江苏机电排灌工程研究所,1993.

Conversion of hydraulic characteristics of pump sets based on black box method

GE Qiang¹, ZHOU Jun-liang², LI Long²

(1. College of Energy and Power Engineering , Yangzhou University , Yangzhou 225009 , China ;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : With regard to the problems concerning hydraulic losses of pump stations with low head accounting for a large percentage of the total device and large errors in the efficiency of low lift pumps between the prototype and the model using the traditional conversion methods , every kind of hydraulic loss in the pump sets and factors of the pumping station in the hydraulic efficiency of the low lift were theoretically analyzed. The hydraulic characteristics obtained by hydraulic model tests on the pumps and the pumping sets were studied. The pump performance curve for the prototype was determined using the conversion of its hydraulic characteristics. A new method of solving for the hydraulic characteristics of the prototype pump devices was proposed by means of the black box method. The observed data indicate that the proposed method of converting the efficiency of the prototype model using the black box method can improve the conversion precision and meet the engineering requirements.

Key words : black box method ; pump ; pump set ; hydraulic characteristic ; conversion