离心泵全特性曲线预测模型研究°

朱满林, 张晓宏, 张言禾, 王 涛
(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

[摘 要] 以比转数(n_s)、相对流动角(arctan(α/υ))和水泵零流量全特性参数为自变量, 对离心泵全特性曲线进行了描述, 并提出了离心泵全特性曲线预测线性回归模型。对比检验结果表明, 该离心泵全特性预测模型是可靠的。

[关键词] 离心泵; 全特性曲线; 预测模型
[中图分类号] TH311.02 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2006)04-0143-04

水泵全特性曲线是进行泵供水系统水力过渡过程分析、安全防护措施研究和泵供水系统优化设计的重要技术数据。水泵全特性曲线试验条件十分复杂, 获取难度大, 现有资料非常有限[1-6]。在工程实际中, 一般多采用相近比转数水泵的全特性曲线代替系统中泵的全特性曲线, 这无疑会带来误差。利用现有的水泵全特性曲线资源, 通过分析获得需要水泵的全特性曲线无疑具有重大的实际意义。

有关水泵全特性曲线的预测方法较多, 如三次多项式拟合[3]、矩形域正交多项式最小二乘曲面拟合[7]及神经网络法[8-9]等, 但预测模型选择的自变量均是水泵的比转数n_s和相对流动角arctan(υ/α)。目前的水泵全特性资料主要来自国外, 由于国内外在水泵设计、制造等方面存在差异, 比转数n_s相同的水泵性能也存在一定差异, 因此仅以水泵的比转数n_s和相对流动角arctan(υ/α)进行水泵全特性预测并不十分合理。本文以n_s, arctan(α/υ)和水泵零流量全特性参数为自变量描述离心泵全特性曲线, 提出了一种新的水泵全特性曲线预测方法, 旨在利用现有的水泵全特性资源, 提高离心泵全特性曲线的预测精度, 减小离心泵供水系统的非恒定流分析误差。

1 离心泵全特性分析

图1是4台比转数分别为77, 90, 110和260的离心式水泵的全特性曲线, 横坐标为θ= arctan(α/υ), 纵坐标分别为$WH(\theta)=h(\alpha^2+\upsilon^2)$和$WM(\theta)=m/(\alpha^2+\upsilon^2)$。$h=H/H_R$, $m=M/M_R$, $\upsilon=Q/Q_R$, $\alpha=n/n_R$; 其中, Q, H, n和M分别为水泵的流量、扬程、转速和转矩; Q_R, H_R, n_R, M_R分别为水泵的额定流量、额定扬程、额定转速和额定转矩。

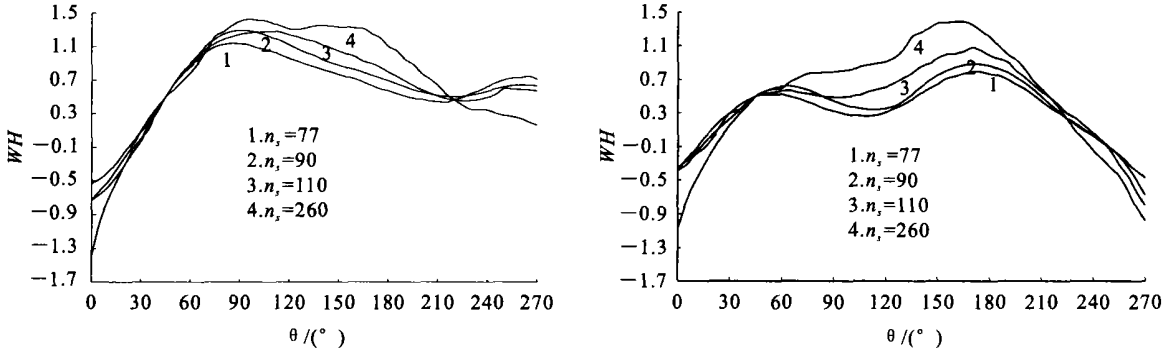

图1 4台不同比转数离心泵的WH和WM曲线

Fig. 1 WH and WM curves of 4 centrifugal pumps with different n_s

根据叶片泵相似定律, 对于一组相似的泵(几何相似、雷诺数差距不大), 其比转数n_s(n_s= 3.65n_R×

° [收稿日期] 2006-01-10
[基金项目] 陕西省教育厅省级重点实验室重点科研计划项目(05JS35)
[作者简介] 朱满林(1960-), 男, 陕西户县人, 教授, 硕士, 主要从事供水工程理论与技术研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\sqrt{Q_R}/H_R^{3/4}$)相同,且特性曲线存在相似关系。比转数相同是叶片泵相似的必要条件,而不是充分条件,即比转数相同的叶片式水泵不一定相似,其特性曲线也不一定存在相似关系。因此,图1是4台不同比转数离心泵通过试验得到的全特性曲线,而不是4种不同比转数水泵的全特性曲线。

由图1可以看出,水泵全特性曲线与n_s和θ有关,但就此认为水泵的全特性曲线仅是n_s和θ的函数是不全面的。由于国内外在水泵设计、制造等方面存在差异,比转数n_s相同的水泵在性能上存在一定差异[5]。为了更准确地预测水泵全特性曲线,应从现有水泵全特性曲线中提取更多信息,以n_s,θ和水泵工况零流量全特性参数为自变量描述水泵全特性。水泵工况零流量全特性参数WH(θ=90°)和WM(θ=90°)相对容易获得。另从水泵产品样本可以查到水泵的零流量扬程H_0和轴功率N_0,计算得到WH(θ=90°)=H_0/H,WM(θ=90°)=$30N_0/n\pi$。

根据以上分析,水泵全特性可表示为:$WH=F[n_s,\theta,WH(\theta=90°)]$,$WM=G[n_s,\theta,WM(\theta=90°)]$。对于某一θ,水泵全特性曲线可用下列数学模型表示:

$$WH=F[n_s,WH(\theta=90°)] \quad (1)$$

$$WM=G[n_s,WM(\theta=90°)] \quad (2)$$

2 离心泵全特性曲线预测模型

对于某一θ,以n_s和WH(θ=90°)、WM(θ=90°)为自变量,用最小二乘法建立离心泵全特性曲线二元线性回归预测模型,回归方程为:

$$WH=A\times n_s/100+B\times WH(\theta=90°)+C \quad (3)$$

$$WM=D\times n_s/100+E\times WM(\theta=90°)+F \quad (4)$$

用4台n_s分别为77,90,110和260的水泵全特性曲线参数及回归分析的离心泵全特性曲线,拟合系数A,B,C,D,E和F值,结果见表1。表中r_h,r_m分别为离心泵全特性曲线WH,WM的拟合复相关系数;r_a,r_b分别为WH曲线自变量n_s和WH(θ=90°)的标准回归系数的绝对值;r_d,r_e分别为WM曲线自变量n_s和WM(θ=90°)标准回归系数的绝对值。

表1 离心泵全特性曲线拟合系数

Table 1 Fitting coefficients of centrifugal pump's complete curves

θ/(°)	WH曲线拟合系数 Fitting coefficients of WH curve			WM曲线拟合系数 Fitting coefficients of WM curve			复相关系数 Multiple correlation coefficients		标准回归系数绝对值 Absolute value of standard regression coefficients			
	A	B	C	D	E	F	r_h	r_m	r_a	r_b	r_d	r_e
0	-0.614 4	1.780 1	-2.272 5	-0.688 1	1.235 1	-0.250 7	1.00	1.00	1.41	0.54	1.68	0.71
5	-0.363 2	1.149 9	-1.651 5	-0.312 4	0.145 2	-0.051 9	0.99	1.00	1.45	0.60	1.12	0.12
10	-0.242 4	0.895 9	-1.358 0	-0.202 9	-0.025 7	0.024 2	0.95	1.00	1.48	0.72	0.97	0.03
15	-0.157 0	0.582 7	-0.933 7	-0.024 8	-0.595 6	0.209 4	0.88	1.00	1.37	0.66	0.15	0.85
20	-0.110 4	0.482 7	-0.710 4	0.032 6	-0.661 6	0.292 1	0.72	1.00	1.21	0.69	0.26	1.25
25	-0.086 9	0.284 9	-0.343 1	0.022 8	-0.521 0	0.359 3	0.90	0.99	1.33	0.57	0.22	1.21
30	-0.047 1	-0.041 4	0.150 0	-0.021 6	-0.197 7	0.370 0	0.82	0.88	0.75	0.09	0.28	0.61
35	0.023 6	-0.344 7	0.591 2	0.080 2	-0.538 3	0.492 8	0.45	0.99	0.38	0.73	1.54	2.43
40	-0.002 9	-0.196 5	0.603 2	0.031 3	-0.273 1	0.508 2	0.99	0.97	0.10	0.91	0.88	1.81
45	0.000 0	0.000 0	0.500 0	0.000 0	0.000 0	0.500 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	-0.043 6	0.019 8	0.671 4	-0.030 8	0.189 7	0.478 5	0.99	0.75	1.05	0.06	1.45	2.10
55	-0.045 1	-0.089 6	0.932 6	-0.088 1	0.473 4	0.437 3	1.00	0.82	0.81	0.21	2.28	2.89
60	-0.070 4	0.132 9	0.786 2	-0.139 9	0.687 8	0.408 8	0.99	0.83	1.23	0.30	2.94	3.41
65	-0.085 1	0.457 0	0.497 4	-0.136 2	0.893 2	0.314 6	0.99	0.94	1.80	1.27	1.54	2.39
70	-0.070 3	0.546 8	0.471 8	-0.089 8	0.894 5	0.246 7	1.00	0.95	1.79	1.82	0.68	1.61
75	-0.015 1	0.588 8	0.434 5	-0.072 7	1.002 1	0.160 0	0.98	0.98	0.23	1.17	0.43	1.39
80	-0.031 0	0.791 7	0.245 2	-0.035 7	0.944 8	0.117 7	0.99	0.99	0.39	1.30	0.19	1.17
85	-0.013 1	0.896 6	0.126 7	-0.027 5	1.026 3	0.039 1	0.99	1.00	0.12	1.10	0.13	1.12
90	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
95	0.011 6	1.040 8	-0.060 5	0.008 0	1.057 0	-0.053 7	1.00	1.00	0.08	0.93	0.03	0.97
100	0.004 1	1.160 0	-0.214 4	0.014 5	1.101 7	-0.088 4	0.98	0.99	0.03	0.96	0.05	0.94
105	0.016 3	1.103 8	-0.172 6	0.039 2	1.107 9	-0.122 7	0.96	0.99	0.10	0.88	0.13	0.86
110	0.018 4	1.054 0	-0.136 0	0.011 7	1.273 2	-0.156 7	0.92	0.97	0.11	0.82	0.04	0.94
115	0.013 4	1.111 9	-0.236 5	0.026 8	1.232 6	-0.142 6	0.89	0.97	0.08	0.82	0.08	0.89
120	0.023 9	1.044 7	-0.202 5	0.055 6	1.085 7	-0.084 1	0.87	0.96	0.13	0.76	0.17	0.79
125	0.052 9	0.937 0	-0.132 0	0.079 1	1.003 7	-0.030 2	0.87	0.95	0.27	0.63	0.24	0.71
130	0.095 5	0.858 5	-0.112 7	0.089 6	1.064 1	-0.010 6	0.90	0.96	0.43	0.51	0.25	0.71
135	0.130 8	0.824 5	-0.132 7	0.137 3	1.092 5	0.001 0	0.92	0.98	0.52	0.43	0.34	0.64
140	0.172 0	0.687 3	-0.042 3	0.089 5	1.219 6	0.069 3	0.94	0.98	0.64	0.33	0.23	0.75

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表1　Continued Table 1

θ/(°)	WH 曲线拟合系数 Fitting coefficients of WH curve			WM 曲线拟合系数 Fitting coefficients of WM curve			复相关系数 Multiple correlation coefficients		标准回归系数绝对值 Absolute value of standard regression coefficients			
	A	B	C	D	E	F	r_h	r_m	r_a	r_b	r_d	r_e
145	0.197 6	0.594 9	0.014 8	0.080 1	1.246 0	0.125 5	0.95	0.99	0.70	0.28	0.21	0.78
150	0.212 5	0.566 5	0.001 8	0.044 2	1.395 5	0.157 5	0.96	0.99	0.73	0.26	0.12	0.87
155	0.231 9	0.540 7	-0.015 6	0.050 4	1.241 9	0.270 8	0.97	0.98	0.76	0.23	0.14	0.84
160	0.244 1	0.520 4	-0.030 0	0.047 6	1.200 9	0.318 3	0.97	0.99	0.78	0.22	0.14	0.85
165	0.256 1	0.571 5	-0.145 1	0.025 6	1.225 4	0.356 4	0.98	0.99	0.78	0.23	0.08	0.91
170	0.234 7	0.631 4	-0.232 0	-0.040 0	1.357 9	0.390 2	0.98	0.97	0.75	0.26	0.14	1.11
175	0.222 5	0.681 0	-0.320 9	-0.064 6	1.301 5	0.422 3	0.98	0.97	0.72	0.29	0.26	1.22
180	0.187 0	0.648 2	-0.284 3	-0.065 2	1.211 4	0.427 8	0.98	0.98	0.70	0.32	0.29	1.26
185	0.180 2	0.636 1	-0.301 1	-0.090 8	1.126 4	0.451 7	0.99	0.97	0.70	0.32	0.50	1.45
190	0.146 1	0.615 8	-0.284 9	-0.144 7	1.216 1	0.421 5	0.99	0.95	0.66	0.36	0.93	1.84
195	0.137 1	0.528 2	-0.206 0	-0.105 6	1.055 7	0.382 0	0.99	0.98	0.68	0.34	0.70	1.66
200	0.095 0	0.479 0	-0.139 9	-0.102 5	0.915 0	0.371 6	1.00	0.98	0.62	0.41	0.86	1.80
205	0.072 1	0.481 5	-0.149 8	-0.126 7	0.846 2	0.339 3	1.00	0.98	0.55	0.48	1.54	2.42
210	0.045 0	0.405 0	-0.051 6	-0.105 9	0.720 1	0.291 3	1.00	0.95	0.48	0.56	1.43	2.30
215	-0.015 4	0.451 9	-0.067 9	-0.122 8	0.734 4	0.218 6	1.00	0.86	0.33	1.26	1.79	2.52
220	-0.037 1	0.249 4	0.205 1	-0.090 4	0.492 1	0.210 8	0.87	0.68	1.64	1.44	1.81	2.33
225	-0.067 4	0.111 6	0.410 4	-0.089 5	0.344 6	0.189 3	0.94	0.54	1.15	0.25	2.43	2.21
230	-0.089 4	-0.064 3	0.667 4	-0.156 2	0.425 1	0.150 8	0.96	0.82	0.89	0.08	2.07	1.33
235	-0.093 7	-0.152 0	0.800 6	-0.163 2	0.388 6	0.096 9	0.96	0.90	0.81	0.17	1.93	1.09
240	-0.102 4	-0.310 1	1.036 9	-0.174 8	0.289 5	0.077 6	0.97	0.96	0.72	0.28	1.55	0.60
245	-0.141 6	-0.363 3	1.171 3	-0.165 0	0.192 2	0.029 4	0.99	0.99	0.76	0.26	1.35	0.37
250	-0.173 2	-0.406 9	1.294 6	-0.167 0	0.164 4	-0.045 9	1.00	1.00	0.79	0.24	1.29	0.30
255	-0.187 8	-0.427 9	1.346 9	-0.027 3	-0.432 1	-0.041 4	1.00	0.96	0.79	0.24	0.20	0.76
260	-0.204 6	-0.410 4	1.343 2	0.002 6	-0.719 3	-0.067 8	1.00	0.98	0.81	0.21	0.01	0.99
265	-0.219 7	-0.512 9	1.485 5	0.122 6	-1.400 7	-0.033 5	1.00	0.97	0.79	0.24	0.56	1.51
270	-0.250 2	-0.313 5	1.251 9	0.331 6	-2.385 8	0.031 6	1.00	0.99	0.87	0.14	1.31	2.23

由表2可见, 两条全特性曲线的拟合复相关系数均比较大, 说明建立的数学模型是合理的。对于有2个自变量的回归方程, 可用标准回归系数绝对值的大小判断哪一个是主要因素, 绝对值大的是主要因素, 小的是次要因素。对于WH曲线, r_a和r_b的平均值分别为0.73和0.56, 说明比转数是水泵全特性曲线WH的主要影响因数, 但两者的差值并不大; 对于WM曲线, r_d和r_e的平均值分别为0.78和1.29, 表明水泵工况零流量全特性参数是水泵全特性曲线WM的主要影响因数。从相关性分析看, 对于某一值, 选择比转数n_s和水泵零流量全特性参数作为自变量进行离心泵全特性曲线预测是合理的。

3　模型检验

图2给出了1台n_s= 130的离心泵的实测全特性曲线与用上述数学模型预测的全特性曲线。

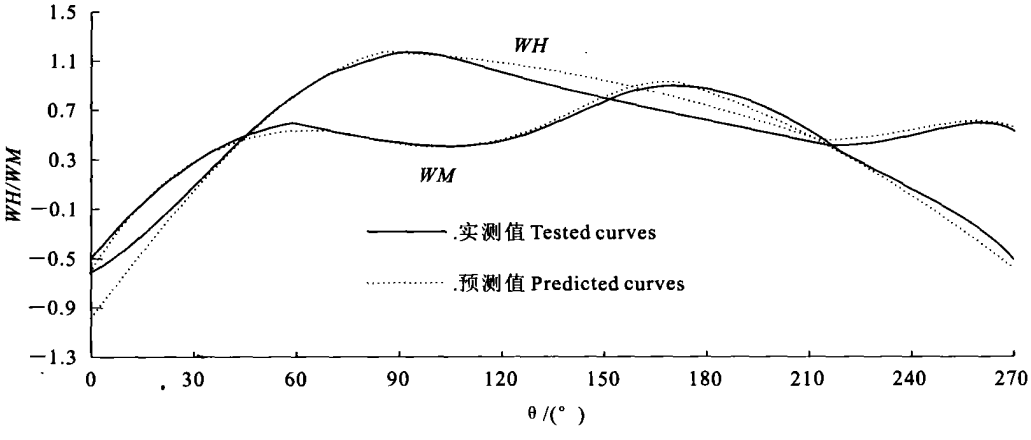

图2　数学模型预测与实测的水泵全特性曲线比较

Fig. 2　A pump's complete characteristic curves by test and prediction

由图2可以看出, 实测曲线与预测曲线吻合很好。当θ= 30～270时, WH和WM预测值与实测值

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的最大绝对误差分别为0.15和0.11,说明本文提出的离心泵全特性预测模型是可靠的。

4 结 语

作者分析了现有水泵全特性曲线预测模型存在自变量少的不足,提出了以n_s, arctan(α/υ)和水泵零流量全特性参数为自变量的离心泵全特性曲线预测线性回归模型。相关性分析表明,提出的预测模型是合理的。对1台n_s= 130的离心泵,用本文提出的模型进行预测,其结果与实测值吻合很好,说明提出的预测模型是可靠的。水泵全特性曲线试验条件十分复杂,获取难度大,利用目前非常有限的水泵全特性曲线资源,提出精度更高的预测模型将是今后的研究方向。

[参考文献]

[1] 怀利 E B,斯特里特 V L. 瞬变流[M]. 清华大学流体传动与控制教研室,译. 北京:水利电力出版社,1983.
[2] 乔德里 M H. 实用水力过渡过程[M]. 陈家远,孙诗杰,张治滨,译. 成都:四川水力发电工程学会,1985.
[3] 刘竹溪,刘光临. 泵站水锤及其防护[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
[4] 金 锥,姜乃昌,汪兴华,等. 停泵水锤及其防护[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
[5] 龚时宏,刘光临. 水泵全特性曲线有关问题研究[J]. 农业机械学报,1994(4):38-43.
[6] 把多铎,马太玲. 水泵及水泵站[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[7] 刘光临,郭满华. 水泵全特性曲线的计算机仿真[J]. 水利学报,1998(8):1-6.
[8] 陈达卫. 水泵全特性曲线的神经网络预测模型的研究[J]. 炼油技术与工程,2004(12):24-27.
[9] 卢 伟,李良庚. 基于BP神经网络的水泵全特性曲线拟合[J]. 工业控制计算机,2001(12):18-20.

Study on prediction model of complete characteristic curves of centrifugal pumps

ZHU Man-lin, ZHANG Xiao-hong, ZHANG Yan-he, WANG Tao

(*College of Water Resources and Hydraulic Power Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi* 710048, *China*)

Abstract: By using specific speed (n_s), relative flowing angle (arctan(α/υ)) and complete characteristic parameters of zero flow rate as independent variables, complete characteristic curves of centrifugal pumps are described and a linear regression prediction model of the complete characteristic curves of centrifugal pumps is put forward. Comparison between prediction values and test results of a centrifugal pump indicates that the prediction model is reliable.

Key words: centrifugal pump; complete characteristic curve; prediction model

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net