离心泵多参数对效率影响的大小和排序

何希杰[1]，黄毓文[1]，赵艳霄[1]，李淑红[1]，张爱习[2]
（1. 石家庄杂质泵研究所 2. 国家半干旱农业工程技术研究中心）

摘　要： 研究了离心泵在转速相同的条件下性能参数和叶轮几何参数对效率综合影响及其排列顺序，并提出了用这些参数估算效率的一种方法，通过11个水力模型参数的计算表明，计算结果与实测值之间的平均相对误差为4%，这对离心泵的设计和研究具有重要的实用价值。

关键词：离心泵，参数，效率，影响，顺序
文献标识码：A　　文章编号：1005-6254(2002)04-0009-02
TH31

1 前言

离心泵的效率，一般用容积效率、机械效率和水力效率来估算。

提高离心泵的效率，一直是设计人员在设计过程中考虑的主要问题之一，也是设计工作追求的目标之一。设计人员从理论分析和实验验证两个方面进行了大量的研究工作，提出了泵的效率估算公式和图表。但是，在离心泵多个参数对效率的影响大小及其顺序方面，尚未见到报道和有关资料。

所以，采用数学方法，深入地研究离心泵在设计工况和转速相同的条件下，性能参数（如Q，H）和叶轮参数（b_2，β_2，Z，φ，D_2和D_0）等8个参数对效率的影响，并得出这8个参数中哪个参数对效率影响大，哪个影响小，即它们对效率的影响大小顺序，突破单个因素对泵效率影响的传统研究模式，对离心泵的设计和研究，具有非常重要的实用价值。

2 数学模型

我们研究泵性能参数流量Q、扬程H和叶轮参数如叶轮直径D_2，出口安放角β_2，出口宽度b_2，叶片数Z，叶片包角φ和进口直径D_0对效率的影响，这属于多元回归问题[1]。

我们考虑自变量X_1（b_2），X_2（β_2），X_3（Z），X_4（φ），X_5（D_2），X_6（H），X_7（Q），X_8（D_0），因变量Y（η），共作n次试验。

X_{ik}表示自变量X_i在k次试验时的取值。Y_k表示因变量Y在第k次试验的结果。

如果Y和X_i之间有线性关系，回归方程为

$$\bar{y}=a+b_1X_1+b_2X_2+\cdots+b_mX_m \tag{1}$$

回归系数b_1，b_2，$\cdots b_m$由下列方程组求出

$$\sum_{i=1}^{m}l_{ij}b_i=l_{io} \qquad j=1,2,\cdots,m \tag{2}$$

$$a=\bar{y}-\sum b_i\bar{X}_i \tag{3}$$

回归平方和S_h和剩余平方和S_y为

$$S_h=\sum l_{io}b_i \tag{4}$$

$$S_y=l_{oo}-S_h \tag{5}$$

全相关系数R为

$$R=\sqrt{\frac{S_h}{l_{oo}}} \tag{6}$$

剩余标准离差s为

$$s=\sqrt{\frac{S_y}{n-m-1}} \tag{7}$$

标准回归系数b_i'为

$$b'=b_i\sqrt{\frac{l_{ii}}{l_{oo}}} \tag{8}$$

采用R衡量回归的效果，用s估算回归方程的精度，用b_i'比较因素的重要性。

3 估算公式和计算

根据文献[2]中的资料，将叶轮参数b_2，β_2，Z，φ，D_2，D_0，和性能参数H，Q与效率η的11组数据列于表1中。

第一作者简介：何希杰（1936-），男，石家庄杂质泵研究所　教授级高级工程师，博导；河北省石家庄市（邮编：050011）。

万方数据

表1 性能参数和叶轮参数

序号	X_1 $b_2/10$	X_2 $\beta_2/10$	X_3 Z	X_4 $\varphi/100$	X_5 $D_2/100$	X_6 $H/10$	X_7 $Q/100$	X_8 $D_0/100$	Y η
1	0.40	2.60	4	1.550	2.42	8.080	0.125	0.52	0.423
2	0.60	3.80	5	1.200	2.00	5.034	0.125	0.48	0.511
3	0.56	4.20	5	1.210	1.60	3.125	0.125	0.44	0.563
4	0.65	3.90	5	1.350	2.52	8.096	0.500	0.80	0.690
5	0.95	3.70	5	1.200	1.60	3.013	0.250	0.62	0.965
6	0.95	2.70	6	1.000	1.30	2.014	0.250	0.65	0.726
7	1.30	2.90	6	1.230	1.68	3.294	0.500	0.76	0.755
8	1.60	2.60	6	1.335	2.10	5.650	1.000	0.90	0.812
9	1.40	3.00	6	1.045	1.37	2.054	0.500	0.76	0.791
10	2.00	2.90	5	1.120	1.73	3.398	1.000	0.90	0.815
11	2.70	2.35	6	0.950	1.40	1.878	1.000	0.89	0.825
Σ	13.11	34.65	59	13.19	19.72	45.63	5.375	7.72	7.604
a	1.192	3.15	5.364	1.200	1.973	4.149	0.488	0.702	0.691

求出各个系数计算结果，根据计算结果，可以列出8个未知量的线性方程组为

$$\sum_{j=1}^{8} l_{ij} b_j = C_{iy} \qquad i=1, 2, \cdots, 8 \qquad (9)$$

线性方程组，可以采用克莱姆定理，矩阵，逐个迭代法，主元素消去法来求解，我们采用主元素消去法[3]来求解上述8个未知量的线性方程组，其结果（回归系数）为

b_1=0.0379, b_2=0.0535, b_3=0.0272, b_4=-0.0551

b_5=0.0612, b_6=-0.0157, b_7=-0.3029, b_8=1.2064

求标准回归系数分别为

b_1'=0.1961, b_2'=0.2487, b_3'=0.1352, b_4'=-0.0700

b_5'=0.1874, b_6'=-0.2626, b_7'=-0.8161, b_8'=1.5148

用标准回归系数的绝对值来比较因素（参数）的重要性。根据上述计算结果，叶轮进口直径D_0对效率的影响最大，包角φ影响最小。如果将包角的标准回归系数的绝对值作为1，其余参数的绝对值分别为

φ=1, Z=1.93, D_2=2.67, b_2=2.80, b_2=3.55, H=3.75, Q=11.66, D_0=21.46。

根据这个结果，可以得到离心泵各个参数对效率的影响大小及其顺序为

$$\eta: D_0 \rightarrow Q \rightarrow H \rightarrow \beta_2 \rightarrow b_2 \rightarrow D_2 \rightarrow Z \rightarrow \varphi \qquad (10)$$

式中"→"表示参数的重要程度，如$D_0 \rightarrow Q$表示D_0对效率的影响比Q大，即D_0比Q相对重要。

求出回归平方和S_h及剩余平方和S_y分别为

S_h=0.16172, S_y=0.01721

全相关系数R为 R=0.952182

剩余标准离差s为0.09275

用得到的回归方程来预测泵的效率，95.3%的误差不会超过2s。

$$a=-0.3457$$

效率的回归方程为

$$\eta = 1.21(\frac{D_0}{100}) + 0.04(\frac{b_2}{10}) + 0.05(\frac{\beta_2}{10}) - 0.06(\frac{\varphi}{100}) + 0.03Z + 0.06(\frac{D_2}{100}) - 0.02(\frac{H}{10}) - 0.30(\frac{Q}{100}) - 0.35$$

通过对11组数据的计算结果表明，计算值和实际值之间的平均相对误差为4.0%。

4 结束语

本文采用多元回归方法研究了离心泵在转速相同和设计工况下性能参数和叶轮几何参数对效率的影响，可以得到下列几点结论：

1）在离心泵性能参数和叶轮几何参数中，叶轮进口直径D_0对效率的影响最大，叶片包角φ影响最小，它们影响大小的顺序为

$$\eta: D_0 \rightarrow Q \rightarrow H \rightarrow \beta_2 \rightarrow b_2 \rightarrow D_2 \rightarrow Z \rightarrow \varphi$$

2）在转速n=常数的情况下，用上述八个参数估算效率，其公式精度（平均相对误差）为4%。本文在离心泵性能参数和叶轮几何参数对效率综合影响及其排序方面，进行了开创性的研究工作，突破了传统的单个因素对泵效率影响的研究模式，这对离心泵的设计和研究具有重要实用价值。

参考文献

1 何希杰，劳学苏. 离心泵系数法设计中新的统计曲线和公式. 水泵技术，1997(5)：31～32

2 水力模型汇编. 沈阳水泵研究所，1997年

3 线性代数. 武汉大学数学系数学专业. 北京：人民教育出版社，1980

万方数据