

离心式风机调节性能曲线数学模化及模型评估

王松岭 安连锁 吴智泉 丁千玲 李春曦

(华北电力大学动力系 保定 071003)

摘要 基于现场风机在线监测的需要,提出了对试验数据回归分析建立输入—输出关系数学模型的思路,并改进了基本数学模型.以4-73风机为例对模型的性态进行了评估.进一步介绍了在线监测的实现方法.

关键词 风机 调节性能 模型评估

中图分类号 TH43 O212.1

离心式通风机是一种高效的送、引风设备,广泛应用于国民经济生产.现场调查表明,提高离心风机实际运行的经济性大有可为.这就要求对风机实施在线监测,准确获取其运行状态、合理指导运行方式以保证运行于高效区.同时,生产中往往需要较为准确地获取风流量,而风流量的测取是麻烦的.一种解决上述问题的方法就是根据风机实际运行数据建立回归分析数学模型,进而建立风机的连续的动态的数学模型从而实现对相关量的监测.而且模型的建立对提高数据在线监测的可靠性及风机实时仿真和现场运行评估也是必要的.本文提出建立回归分析模型的思路,对4-73风机的实测数据进行模化、评估,并对后期工作提供了思路.

1 调节性能曲线及数学模型优化

1.1 调节性能曲线

图1所示为G4-73NO.8离心式风机无因次调节性能曲线(实测性能),即无因次压力系数(\bar{P})和无因次流量系数(\bar{Q})之间的关系.实际运行中,为了提高离心风机变负荷时的运行经济性,在其入口加装了不同型式的调节器,调节器的开度(β)影响着风机相关性能参数.可见,风机调节性能曲线的模型涉及 \bar{P} , \bar{Q} , β 三个变量,建立其数学模型可视为对数据进行曲面拟合^[1].

1.2 基本数学模型

对于多元函数的曲面拟合,最有效基函数为多元多项

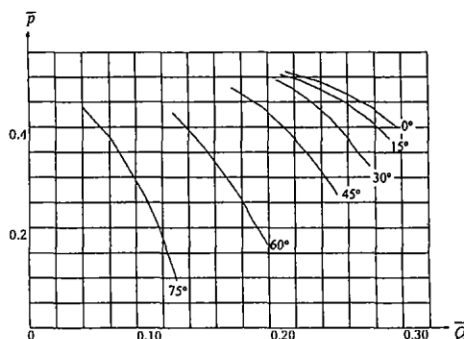


图1 离心风机调节性能曲线

式,可设数学模型为下列的乘积形式:

$$\bar{P} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} \beta^i \bar{Q}^j \quad (1)$$

式中 \bar{P} ——风机的无因次全压系数; \bar{Q} ——风机的无因次流量系数; β ——调节器的叶片角度,度; α_{ij} ——拟合系数向量; m, n ——拟合阶数; $i, j = 1, 2, 3 \cdots$

研究^[1]表明,模型(1)对一般的二元函数的拟合特别是矩形域上的函数收敛性较好,而对离心风机调节性能曲线,由于数据的离散性,模型(1)的拟合效果不佳.

1.3 数学模型的优化

解决基本数学模型问题的方案很多,其中较好的一种是将模型变型如下:

$$\bar{P}^* = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} (\beta^*)^x (\bar{Q}^*)^y \quad (2)$$

式中, \bar{P}^*, \bar{Q}^* 为归一化处理后的压力和流量系数;

$\beta^* = C + m(\beta)$ 为处理后的角度参数, $m(\beta)$ 为角度的归一化处理;

$x = \frac{i}{E}$ 当 $i = 0, 1, 2, \cdots, n$ 时, 以 $\alpha_0, \alpha_1, \cdots, \alpha_n$ 记

$y = \frac{j}{E}$ 当 $j = 0, 1, 2, \cdots, m$ 时, 以 $\beta_0, \beta_1, \cdots, \beta_m$ 记

C, E 均为调节系数, 其它字母意义同前.

2 模型分析求解

2.1 模型分析

对模型(2)及 $l+1$ 组实验数据 $(\beta, \bar{Q}, \bar{P})_0, (\beta, \bar{Q}, \bar{P})_1, \cdots, (\beta, \bar{Q}, \bar{P})_l$, 并有 $(l+1) \gg (n+1) \times (m+1)$, 有

$$\bar{P}_k^* = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} (\beta^*)^x_k (\bar{Q}^*)^y_k \quad k = 0, 1, 2, \cdots, l$$

用矩阵表示为:

$$\bar{P} = X\beta \quad (3)$$

由模型(3)可知, 经优化的数学模型形如一元线性回归模型, 进一步有:

$$\bar{P} = X\beta + \mu \quad (4)$$

式中: X —数据处理后形成的矩阵; μ — $k \times 1$ 阶扰动列向量.

2.2 求解拟合

对模型(3)由回归分析理论可知采用最小二乘法对参数 β 进行无偏估计. 理论及分析参见[2]. 由此, 求解步骤为:

- (1) 合理选取 C, E 的值, 依据实验数据形成 X, \bar{P} ;
- (2) 采用 LS 法求出 β ;
- (3) 分析 μ 的情况, 调整 C, E 的求值, 控制误差.

3 算例及结果分析

以模型(2)为基础, 利用上述求解步骤, 对 G4-73NO.8 实验风机的实验数据进行求解拟合, 图2给出其有效拟合的区间性图示.

图中,“—”为实测得到的风机调节性能曲线,“o”为拟合值.拟合的最大相对误差不超过 $\pm 1.8\%$.

4 模型评估

基于模型(2)对风机的调节性能曲线进行了拟合,性能良好.以 4-73 风机为例,对模型的拟合优度作一较为全面的评价^[3].

4.1 精度评定

模型的精度可以由残差平方和(RSS)和平均剩余平方和($\hat{\sigma}^2$)来反映.其中, $RSS = \sum_{i=0}^l (P_i - \hat{P}_i)^2$ 反映实验

值与回归方程间的偏离, $\hat{\sigma}^2 = \frac{RSS}{s - t - 1}$ 越小拟合精度越高.式中, P_i 为实验值, \hat{P}_i 为拟合值, s, t 分别为拟合点和自变量数.

对依据 G4-73NO.8 风机实验数据建立的回归模型而言, $RSS = 2.099 \times 10^{-4}$, $s = l + 1 = 42$, $t = 2$, $\hat{\sigma}^2 = 5.38 \times 10^{-6} \rightarrow 0$, 表明拟合的精度是较高的.

4.2 决定系数 R^2

根据回归分析理论,总的偏差平方和(TSS)为回归平方和(ESS)与残差平方和(RSS)的总和.它说明,观测值的总的偏差平方和可以分解为两部分:一部分归于方程存在的原因,另一部分则是随机因素所致.故而,决定系数也叫复相关系数(R^2) = $\frac{ESS}{TSS}$. 当 $R^2 = 1$ 时表示存在着完美的拟合.

本模型中, $TSS = \sum_{i=0}^l (P_i - \bar{P})^2 = 0.4387$, (\bar{P} 为实验数据的平均值), $ESS = \sum_{i=0}^l (\hat{P}_i - \bar{P})^2 = 0.4385$, 则 $R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 0.9995$. 说明在考虑到舍入误差的影响下,模型的拟合优度是完美的.

4.3 残差统计图

图 3 给出了残差统计图,从图上可以看出残差的总体分布性态是好的,但其形态更似 F 分布,说明还可以通过对 u 的分析进一步控制误差.这一点也可通过误差直棒图论证,在此不再赘述.

5 结束语

(1) 本文对处理风机经济运行在线监测及其运行经济性评估提出了一种由数学建模入手的新的思路.

(2) 提供了回归分析建立离心风机输入、输出关系的方法,对基本数学模型进行了改进,应用于 4-73 风机,建立了精度高、优度良好的静态数学模型.

(3) 利用本模型及风机有关关系式,可以建立流量、调节器角度和风机静压的动态关系(监测函数),据此可以方便地实现风机在线无节流监测.本方案应用于 4-73 实验风机,性能良好.

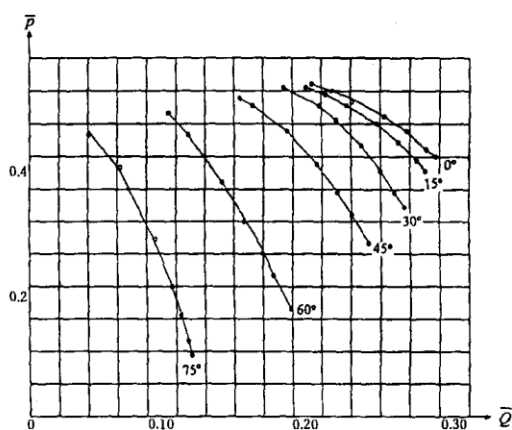


图 2 4-73 风机调节性能曲线有效拟合区间性图示

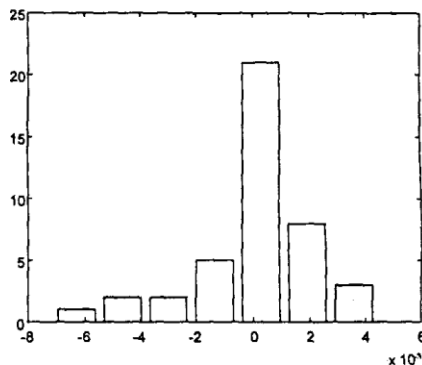


图 3 残差统计图

参 考 文 献

- 1 安连锁,王松岭. 曲面拟合理论在离心风机上的应用. 华北电力学院学报,1995,(1):27
- 2 周纪芾. 实用回归分析方法. 上海:上海科技出版社,1990. 3
- 3 任若思,王惠文. 多元统计数据分折. 北京:国防工业出版社,1997. 18

Mathematical Model of a Centrifugal Fan Regulating Characteristic Curves and Evalulation

Wang Songling An Liansuo Wu Zhiquan Ding Qianling Li Chunxi
(North China Electric Power University, Baoding, Hebei 071003, P. R. China)

Abstract Based on the need of the field, the thought of establishing in-out mathematical model that on the regression analysis of the test data is improved. The model of G4-73 is evaluated as an example. Further more, the method of on-line monitoring is introduced.

Key words fan regulating characteristic model evaluation