

矿用通风机性能曲线图的函数化再现

贾腾,王海桥,陈世强,赵杰,崔海蛟

(湖南科技大学 能源与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:以 FBCZ - No9/18.5kW 风机为例,对矿用通风机性能测定的特性曲线数据进行拟合;应用最小二乘法拟合风机在不同角度下风压与风量之间的关系式;利用 1stOpt 中的公式自动搜索拟合得到风机风量、风压及叶片安装角度之间的关系式;通过 MATLAB 中的多元线性回归分析拟合风量、风压、角度和效率的线性关系式. 通过上述研究可以获取不同叶片角度下近似的风机风压特性曲线,为矿井通风机性能测定提供基础数据支持.

关键词: MATLAB; 矿用通风机; 性能曲线; 多项式拟合

中图分类号: TD724 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2014)02-0070-05

A functional representation of the mine ventilator's performance chart

JIA Teng, WANG Haiqiao, CHEN Shiqiang, ZHAO Jie, CUI Haijiao

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science of Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Taking the FBCZ - No9/18.5kW fan as an example, this paper attempts to fit the curve data determined by the mine ventilator's performance. It uses the least squares to fit the relation between the fan's air pressure and the air volume at different angles. It also uses formulas of 1stOpt to automatically search the fit and get the relation between the fan's air volume, air pressure and blade installation angle. Through multiple linear regression analysis in MATLAB, it analyzes the linear equation of fitted air volume, air pressure, angle and efficiency. Through the above researches, we can obtain approximate wind pressure characteristic curves of the fan under different blade angles, which can provide basic data support for the mine ventilator performance measurement.

Key words: MATLAB; mine ventilator; performance curve; polynomial fitting

《煤矿安全规程》第 121 条规定:“新安装的主要通风机投入使用前,必须规定 1 次通风机性能测定和试运转工作,以后每 5 年至少进行 1 次性能测定”. 矿用通风机性能曲线一般采取图像化的形式表示,实际上,在风机选型^[1]、稳定性分析^[2]及各种通风网络分析^[3,4]中常需要知道其函数表达式,调取数据更为方便. 因此,常需要软件求解拟合函数^[5]. 对于这种有测定原始数据的情况,函数的拟合常用的是最小二乘拟合,其中多项式的选择比较重要. 文献[6]用 MATLAB 软件 Toolboxes 中 Curve fitting

Tool 对矿用风机数据进行拟合,得出风压特性曲线为二次多项式拟合效果最佳;文献[7]根据最小二乘法原理对矿井主扇性能测定的实际特性曲线数据进行逐次拟合,得出采用 5 次多项式拟合效果最佳;文献[8]采用最小二乘法、三次样条插值法和延拓逼近法分别拟合风机性能曲线,得出延拓逼近法具体有更高的拟合精度. 国内外文献一般研究的是矿用通风机风量与其它性能参数之间的关系,对 3 个参数以上的关系研究比较少. 本文针对生产厂家所提供的矿用 FBCZ - No9/18.5kW 性能曲线图进行拟

合分析,通过选定的数据点,函数化再现不同叶片角度下风机风量 Q ,风压 H ,角度 θ 和效率 η 之间的关系式;在风量与风压关系式的基础上,给出了风机风量与风压、角度和效率的函数表达式.

1 矿井风机风压性能曲线的拟合方法

目前曲线拟合主要有样条插值法、最小二乘拟合法、正交最小二乘拟合法等^[6].最小二乘法通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配,可以简便求出未知的数据,并使所得数据与实际数据之间误差的平方和最小^[9].在 MATLAB 中不需要太多的编程过程,对于最小二乘曲线拟合,2 个变量为建立两者之间某种关系,需要以数组的形式输入样本值^[10].

1.1 风压特性曲线拟合模型

风量 Q ,风压 H ,功率 P 和效率 η 是工况点的 4 个主要参数,分析 $H=f(Q)$, $P=f(Q)$, $\eta=f(Q)$ 三者的关系是研究矿用通风机性能的主要内容,本文主要以矿井通风机风压特性曲线($H-Q$)为例,研究不同叶片角度下风机风压特性曲线的表达式.根据矿井通风理论知识:风压与风量的平方成正比,因此可以采用一元二次方程拟合风压与风量特性曲线^[11].一般认为,拟合值的最大相对误差小于 5% 时目标函数阶数就是合理的^[12].矿用通风机出厂阶段的参数只有风机曲线图,可以在风机风压特性曲线上选取一定样本点,应用最小二乘法得出风机性能曲线方程^[5].

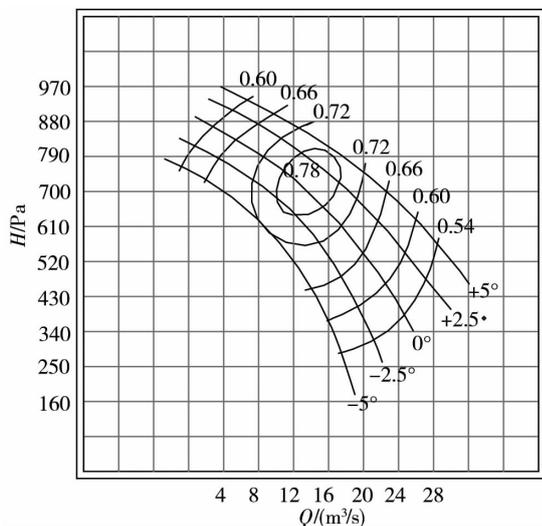


图1 FBCZ-No9 性能曲线

图1为 FBCZ-No9 的风机性能曲线.由图1,可以看出,不同角度的风压特性曲线形状基本相

同,且随着风量的增大发生位置上的平移.因此,均可采用一元二次方程来进行风压特性曲线的拟合.设风压特性曲线方程为

$$H = aQ^2 + bQ + c. \quad (1)$$

式中, a, b, c :风压特性系数.

1.2 最小二乘法拟合风压-风量曲线

图1中共有5条 $H-Q$ 曲线,其中每条曲线对应一个角度,首先可以用 MATLAB 来拟合 $\theta = -5.0^\circ$ 时的风机 $H-Q$ 曲线.通过图1直接取点,能得到 $\theta = -5.0^\circ$ 的一组数据:

$$H = 250, 286, 340, 370, 430, 453, 520, 580, 610, 620, 700, 730, 750;$$

$$Q = 18.0, 17.5, 16.5, 16.0, 14.5, 14.0, 12.0, 9.5, 8.5, 8.0, 4.0, 2.0, 0.0.$$

在 MATLAB 中输入上面的数据,调用 lsqcurvefit 函数,经过简单的编程后,可以得到各个自变量的值: $a = -1.0095$, $b = -7.5141$, $c = 748.1419$.其中 MATLAB 中的最小二乘法一般是用 resnorm(残差的平方和)和 residual(残差)来判定拟合的好坏程度,残差的平方和越小,拟合精度越高.经过残差结果的检验,最后选取 11 个点作为最佳拟合点数,如表1所示. $\theta = -5.0^\circ$ 拟合的性能曲线函数为

$$H = -1.0095Q^2 - 7.5141Q + 748.1419. \quad (2)$$

曲线的最大相对误差:

$$(9.3242/349.3242) \times 100\% = 2.67\% < 5\%. \quad (3)$$

可见拟合曲线是可靠的.利用建立的性能曲线函数绘制的曲线如图2所示.

表1 通风机性能数据和回归值($\theta = -5^\circ$)

选取点	风量 $/(m^3/s)$	风压/Pa		
		拟合前	拟合后	残差
1	16.5	340	349.324 2	+9.324 2
2	16.0	370	369.485 5	-0.514 5
3	14.5	430	426.941 1	-3.058 9
4	14.0	453	445.083 5	-7.916 5
5	12.0	520	512.605 5	-7.394 5
6	9.5	580	585.651 1	+5.651 1
7	8.5	610	611.336 1	+1.336 1
8	8.0	620	623.421 5	+3.421 5
9	4.0	700	701.933 7	+1.933 7
10	2.0	730	729.075 8	-0.924 2
11	0	750	748.141 9	-1.858 1

同理,直接在图1上取另外几个角度的数据点,分别得到 $\theta = -2.5^\circ, 0.0^\circ, 2.5^\circ, 5.0^\circ$ 时拟合的性能曲线函数:

$$H = -0.9993Q^2 - 1.5173Q + 804.5162; \quad (4)$$

$$H = -0.6003Q^2 - 4.9358Q + 879.9635; \quad (5)$$

$$H = -0.4011Q^2 - 6.4939Q + 952.3444; \quad (6)$$

$$H = -0.3466Q^2 - 4.6751Q + 980.8102. \quad (7)$$

曲线的最大相对误差分别如下:

$$(13.4669/353.4669) \times 100\% = 3.8\% < 5\%; \quad (8)$$

$$(7.7483/415.7483) \times 100\% = 1.86\% < 5\%; \quad (9)$$

$$(9.5921/484.5921) \times 100\% = 2\% < 5\%; \quad (10)$$

$$(13.8485/578.1515) \times 100\% = 2.4\% < 5\%. \quad (11)$$

从式(8)~式(11)可以看出各个角度下的函数拟合最大相对误差均小于5%,说明得到的函数关系式是合理的.其中,图3~图5分别为 $-2.5^\circ, 2.5^\circ, 5.0^\circ$ 时的拟合曲线.

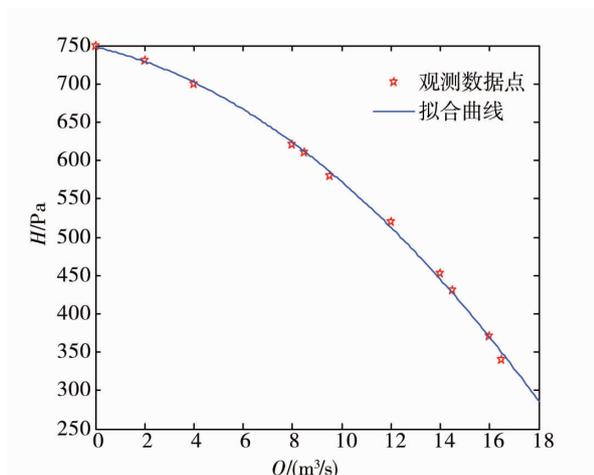


图2 风机性能曲线($\theta = -5.0^\circ$)

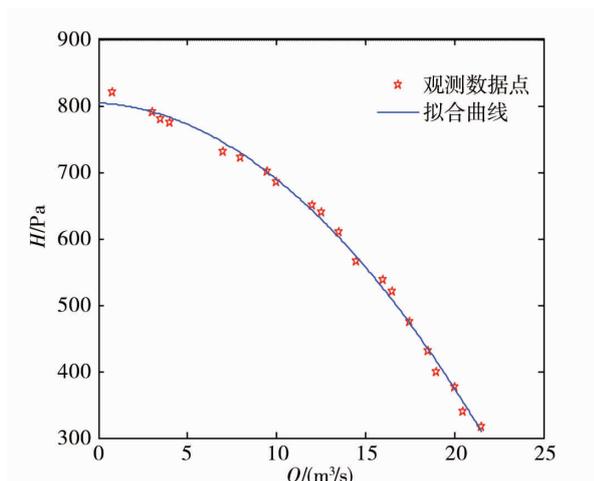


图3 风机性能曲线($\theta = -2.5^\circ$)

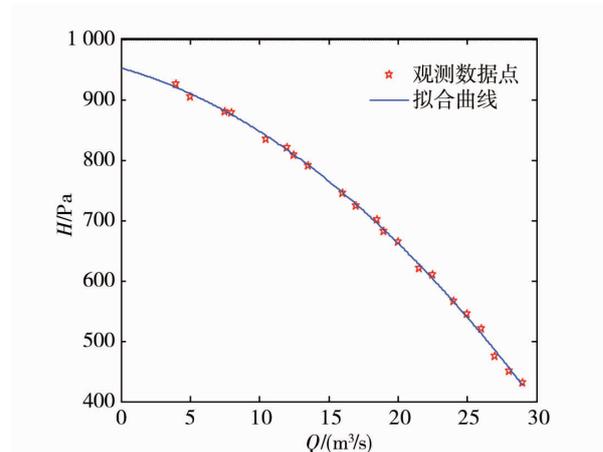


图4 风机性能曲线($\theta = 2.5^\circ$)

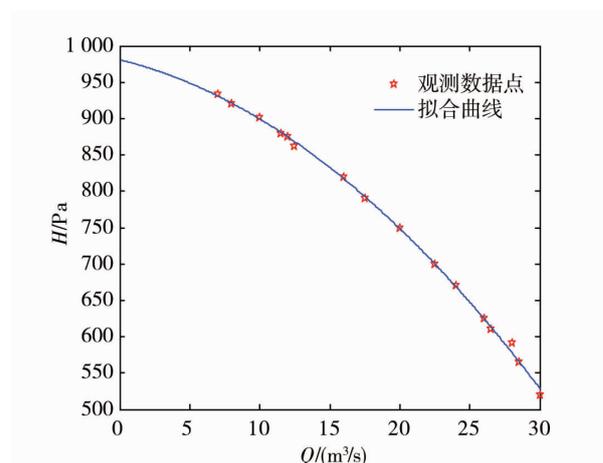


图5 风机性能曲线($\theta = 5.0^\circ$)

最后将不同角度的 $Q-H$ 曲线绘制在同一坐标系下,如图6所示.对比图1和图6中的性能曲线,拟合前和拟合后的风机 $Q-H$ 曲线趋势大致相同,说明拟合二阶函数关系式是可行的.

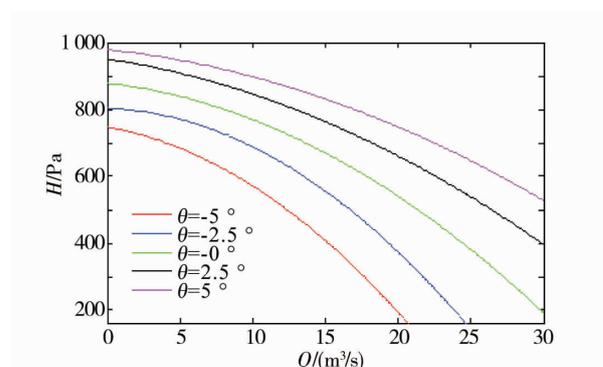


图6 不同角度下的风机特性曲线

2 矿用风机风量、风压及叶片安装角度拟合

在MATLAB中,3个量之间的关系式可以用多

$x_3(\eta) = 0.54, 0.60, 0.66, 0.72, 0.72, 0.66,$
 $0.54, 0.60, 0.66, 0.72, 0.78, 0.78, 0.72, 0.66,$
 $0.60, 0.54, 0.60, 0.66, 0.72, 0.78, 0.78, 0.72,$
 $0.66, 0.60, 0.54, 0.60, 0.66, 0.72, 0.78, 0.78,$
 $0.72, 0.66, 0.60, 0.54, 0.60, 0.66, 0.72, 0.72,$
 $0.66, 0.60;$

$y(H) = 286, 370, 453, 580, 620, 730, 317, 400,$
 $475, 565, 640, 685, 730, 780, 820, 385, 470, 544,$
 $610, 668, 750, 790, 835, 860, 475, 545, 620, 682,$
 $723, 808, 835, 878, 905, 565, 625, 700, 750, 862,$
 $902, 934.$

作二元线性回归分析和残差分析得到:

$b(\text{方程系数}) = 765.1867, -18.7398,$
 $34.5318, 245.9252.$

$\text{stats} = 1.0e+003 *$

$0.0010, 1.2257, 0.0000, 0.1362$

相关系数 $R^2 = 1$, 回归方程显著; $p < 0.05$, 回归模型成立.

线性回归方程为

$$H = 765.1867 - 18.7398Q + 34.5318\theta + 245.9252\eta. \quad (14)$$

4 结论

1) 利用 MATLAB 工具, 研究矿用通风机性能参数之间的关系, 可以得到了矿用通风机风压、风量、角度、效率之间的函数关系式.

2) 风机风量、风压、安装角度三者间的关系式以及风量、风压、角度和效率四者间的关系式拟合精度很高, 可以为今后拟合矿用通风机风压、风量、角度、效率中 3 个量以上的函数关系提供借鉴.

3) 通过研究矿用风机主要性能参数之间的关系, 为煤矿风机的动态风网耦合研究提供理论支

持, 同时也为风机工频或变频特性的实验研究打下基础.

参考文献:

- [1] 谭国运. 矿井通风网络分析及电算方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [2] 姬长发, 常心坦. 机械扰动下风流非稳定流动的数学模型[J]. 西安矿业学院学报, 1997, 17(3): 97-99.
- [3] 陈开岩. 矿井通风系统优化理论及应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [4] 姬长发, 徐炳坤, 赵建会, 等. 多井口多风机矿井反风的非稳定流动模拟[J]. 西安科技大学学报, 2003, 2(3): 241-244.
- [5] 吴奉亮. 矿井主要通风机性能曲线的最优多项式拟合[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(1): 14-18.
- [6] 司俊鸿, 陈开岩, 蒋中承, 等. 矿用通风机性能曲线的插值方法研究[J]. 煤炭技术, 2011, 30(3): 14-16.
- [7] 贾进章, 周西华, 刘剑. 风机特性曲线数据拟合最佳次数的确定[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2000, 19(5): 479-480.
- [8] 钟山, 卢雪燕. 通风机性能曲线的拟合算法[J]. 工程图学学报, 2009(4): 141-145.
- [9] 陈建功, 赵晓波. 用正交函数拟合风机特性曲线[J]. 辽宁工学院学报, 1995(3): 61-64.
- [10] 张德丰. MATLAB 实用数值分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [11] 周向志, 刘文斯, 林育华, 等. 基于 Matlab 处理矿井主通风机性能实测参数[J]. 矿业工程研究, 2010, 25(2): 40-43.
- [12] 邹德蕴, 谢兴华, 薛庆军, 等. 矿井主通风机性能曲线建模回归分析方法[J]. 矿业研究与开发, 1999, 19(3): 16-19.