

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2025.01.041

矿井主通风机运行频率与效率关系研究*

申 凯

(山西三元煤业股份有限公司, 山西 长治 046000)

摘要: 针对矿井主通风机运行频率与效率之间的关系进行了分析探讨。通过分析通风机整体结构设计、变频调速原理以及运行频率特性, 采用实验实测数据拟合的方法, 研究了变频风机在不同叶片角度和频率下的风量-效率曲线。结果表明, 同一叶片角度、不同频率下的效率曲线具有相似性, 并且随着运行频率的增大, 效率最高点呈现增大趋势。在夏店煤矿的应用案例中, 通过变频调节, 使风机效率从 69.45% 提升至 70.72%, 验证了变频技术在提高矿井通风系统效率中的有效性。

关键词: 矿用通风机; 运行效率; 效率关系

中图分类号: TD441

文献标识码: A

文章编号: 1007-4414(2025)01-0157-03

Research on the Relationship between Operating Frequency and Efficiency of Mine Main Ventilators

SHEN Kai

(Shanxi Sanyuan Coal Industry Co., Ltd, Changzhi 046000, Shanxi, China)

Abstract: This paper explores the relationship between the operating frequency and efficiency of mine main ventilation fans. By analyzing the overall structural design of the ventilation fan, the principle of variable frequency speed regulation, and the operating frequency characteristics, the air volume efficiency curve of the variable frequency fan at different blade angles and frequencies is studied by using the experimental data fitting method. The results indicate that the efficiency curves of the same blade angle at different frequencies have similarity, and the highest efficiency point shows an increasing trend with the increase of operating frequency. In the application case of Xiadian Coal Mine, through frequency conversion regulation, the efficiency of the fan increased from 69.45% to 70.72%, verifying the effectiveness of frequency conversion technology in improving the efficiency of the mine ventilation system.

Key words: mining ventilation fan; operational efficiency; efficiency relationship

0 引言

矿井主通风机作为确保矿井内部空气质量和安全的关键环节, 其运行效率直接关系到能源消耗及通风性能的优劣。随着节能减排政策的推行以及矿产资源开采深度的增加, 提高通风机效率、降低能耗成为矿井设计与运营中的重要课题^[1]。当前的相关研究多聚焦于通风机的结构优化和材料改进, 而针对其运行调控方式, 尤其是频率调整对效率的影响研究尚不充分^[2]。近年来, 随着变频技术的迅速发展及普及, 其在矿井通风系统中的应用展现出可观的节能潜力^[3]。然而, 运行频率具体如何影响通风机运行效率, 以及如何在保证矿井通风需求的前提下最优调配频率与叶片角度等操作参数, 目前尚未形成系统的研究成果和明确的指导原则。因此, 笔者重点对运行频率对矿井主通风机效率的具体影响机制展开分析, 通过不同运行条件下的最佳频率设计分析, 验证了所设计的矿井通风机运行的高效性, 这对提高通风系统的效率有重要的科学和实践意义。

1 矿用通风机整体结构设计

1.1 通风机整体设计

轴流式通风机的整体结构设计如图 1 所示。其中, 集风器的独特曲面形设计以及断面收缩的特点, 能够有效地促使风流集中, 进而大幅提升风机的进风效率。前主体筒呈流线型设计, 可动轮毂被弯曲圆锥形的外壳所覆盖, 此外集风器与前流线体一同构筑起环形入风口, 使得气流加速更为迅猛, 且损失极小, 有力地保障了空气在进入叶轮入口时的稳定性能^[4]。

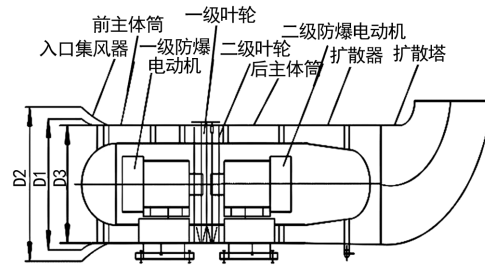


图 1 整体结构设计

扩散器是轴流式风机中一个关键的组成部分, 其

* 收稿日期: 2024-10-11

作者简介: 申 凯(1981-), 男, 山西高平人, 工程师, 研究方向: 煤矿机电。

主要功能在于减缓风机出口处的空气流速,从而降低风机的压力损失并提高其静压效率。扩散器通常由扩散筒和整流体构成,通过不同扩散筒与整流体的结合,可以形成多种类型的扩散器,以满足不同的应用需求。在轴流风机运行过程中,轴向高速流动的气流会产生动压,这会导致风机的压力损失并降低其工作效率。为了解决这一问题,在安装轴流风机时,应在风机出口处安装扩散器。扩散器的主要作用是通过扩大气流的流通面积,使气流速度减慢,从而将动压转化为静压,进而提高静压及静压效率^[5]。

1.2 通风机变频调速原理

变频调速技术作为电力电子技术和计算机控制技术发展的重要产物,它可以通过调整交流电机的电源频率来改变电机转速,从而实现对通风机的有效控制,这不仅可以优化通风机的运行状态,还能节能降耗。随着工业自动化水平的不断提高,通风机的控制方式也正在发生转变。过去,通风机的控制主要依赖于简单的风量调节,而如今则逐渐向集中控制方向发展。在这种背景下,将变频技术和组态技术结合并用于监控和调节矿井通风机的运行状态成为了一种理想的解决方案。通过应用这些先进的技术手段,可以实现对通风系统的智能化管理,提高矿井工作环境的安全性和生产效率。

在这种模式下,电动机转动原理揭示了电动机转速 n 与频率 f 之间的关系,即:

$$n = \frac{60 f (1 - s)}{p} \quad (1)$$

在交流电机调速领域,异步电动机的调速机制涉及对几个关键参数的调整:交流电源频率 f 、电动机定子磁场极对数 p 以及转差率 s 。通常情况下,交流电源的频率设定为 50 Hz。在额定负载下,异步电动机的转差率 s 通常介于 0.01 ~ 0.06 之间。为了实现异步电动机的速度调节,可以采取以下三种策略。

(1) 变磁极对数的方法适用于多速电动机。这种方法通过改变电动机的绕组连接方式来改变磁极对数,从而实现速度的非连续调节。例如,将星形连接改为三角形连接或者反之都可以改变电动机的转速。然而,这种方法提供的调速范围是有限的,并且不能实现平滑调速。

(2) 通过调整转差率来调速主要适用于滑差电机和绕线转子异步电动机。改变滑差电机的电阻或绕线转子异步电动机中的附加电阻可以调节滑差率,从而改变电动机的转速。滑差电机和绕线转子异步电动机在特定负载下才能发挥最佳效果,且不适合所有类型的工业过程。

(3) 变动电源频率是一种先进而灵活的调速方

法。通过变频器改变电源的频率,可以非常精确地控制电动机的转速,并实现广泛的调速范围。无论是加速还是减速,都可以得到很好的动态响应。由于其优越的调速性能,变频调速广泛应用于高精度和高动态响应的场合,如电梯、机床和输送系统等。

2 通风机运行频率特性分析

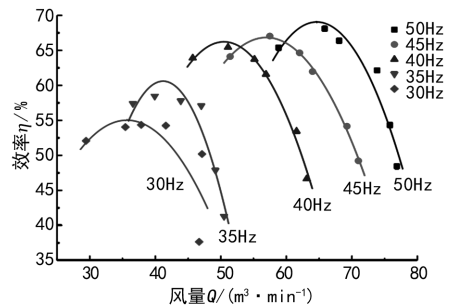
在研究矿井主通风机运行频率与效率关系的过程中,确保实验模型与原型之间达到几何相似、运动相似和动力相似是至关重要的。首先,几何相似性要求模型的尺寸按照某一比例进行缩小,并保持所有对应边长比例相同且对应角度相等。例如,若原型与模型的比例常数为 C_1 ,则需满足:

$$\begin{cases} x_p/x_m = y_p/y_m = z_p/z_m = C_1 \\ \theta_p = \theta_m \end{cases}$$

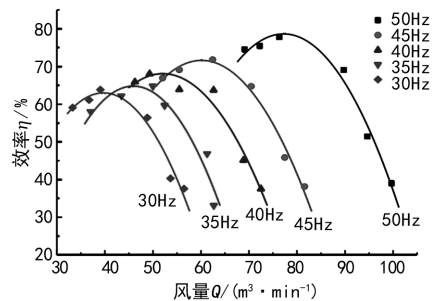
式中: x_p, y_p, z_p 表示原型的特征长度,而 x_m, y_m, z_m 代表模型对应的特征长度; θ_p 和 θ_m 分别表示原型和模型中的夹角。在研究中,选取了轴流式风机作为模型,并以 8:1 的比例进行简化设计,内直径设定为 200 mm。尽管因机器尺寸和生产厂家的不同而无法实现完全的几何相似,但基本保证了结构上的相似性。

动力相似性即保证原型与模型各对应点上的作用力成比例关系。由于实际中难以完全实现所有力的相似,通常会选择对流动起决定性作用的条件去满足。在研究中,考虑到矿井巷道原型内的风流属于强迫流动,因此粘滞力为主要影响因素而重力的影响较小。

通过应用最小二乘法拟合,绘制 -3° 及 $+3^\circ$ 叶片角度在不同频率下的风量 Q 与效率 η 的关系曲线,如图 2 所示。



(a) -3° 叶片角度各频率下风量 Q -效率 η 曲线



(b) $+3^\circ$ 叶片角度各频率下风量 Q -效率 η 曲线

图 2 不同叶片角度不同频率下风量 Q 与效率 η 曲线

从图2中可以观察到,同一叶片角度下不同频率的风量 Q 与效率 η 曲线具有一致的变化趋势。具体而言,随着风量 Q 的增加,效率 η 先上升后下降,且不同频率下效率最高点的位置各不相同;此外,随着运行频率的增加,效率最高点也呈现上升趋势。

3 通风机应用变频调节分析

在夏店煤矿的通风系统中,东风井风机原本以 $+3^\circ$ 叶片角度和45 Hz的运行频率工作。在这种状态下,总排风量为 $5\,016.6\text{ m}^3/\text{min}$,通风阻力为 $2\,796\text{ Pa}$ 。当矿井需风量增加到 $5\,500\text{ m}^3/\text{min}$ 时,根据变频风机的比例定律可知,理论上只需将运行频率调整至49.5 Hz即可满足需求。

通过最小二乘法对实测数据进行拟合处理,得到的东风井风机的特性曲线如图3所示。当风机运行频率为45 Hz时(A点),风量为 $5\,016.6\text{ m}^3/\text{min}$,阻力为 $2\,796\text{ Pa}$;而当运行频率提升至50 Hz时(B点),风量增加至 $5\,601\text{ m}^3/\text{min}$,阻力上升至 $3\,485\text{ Pa}$ 。这表明在提升频率后,风机的排风量能够满足生产所需的风量要求。

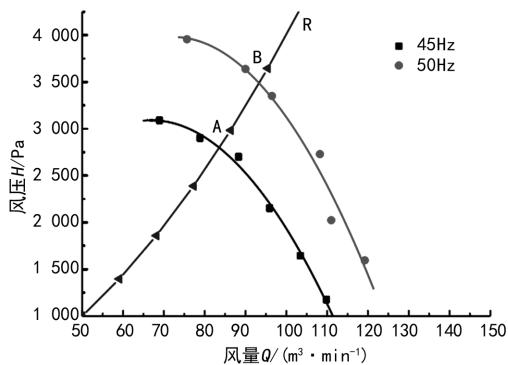


图3 东风井风机的特性曲线

东风井风机变频前后风量 Q 与效率 η 曲线如图4所示。由图4可以看出,变频运行的最佳工况范围有所扩大,且风机效率在变频前后有所提高。通过对比实测数据计算出的效率值发现,风机在变频前的效率为69.45%,而在变频后提升至70.72%。通过科学的分析和精确的计算,可以得出东风井风机在变频运行下的最优工况点,从而确保矿井通风系统的高效稳定运行。

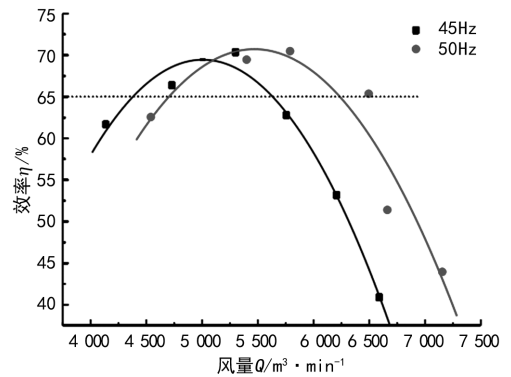


图4 东风井风机变频前后风量 Q 与效率 η 曲线

在实际操作过程中,为了确保通风系统的可靠性和经济性,需要综合考虑多种因素。例如,通过合理选择叶片角度和转速,可以在满足矿井需风量的同时最大限度地降低能耗。此外,定期维护和检修风机设备,使其保持良好的工作状态也是保障通风系统高效运行的关键。

4 结语

此研究通过理论分析与实验验证的方式,深入探讨了矿井主通风机的运行频率对其效率的影响。研究表明,适当调整通风机的运行频率可以有效提升其运行效率,这一发现为矿井通风系统的节能优化提供了新的视角和方法。此外,通过对变频技术的应用分析得出:在保证矿井通风需求的前提下,科学合理地调节运行频率是提高通风机效率、降低能耗的有效途径。未来的研究将聚焦于不同类型和规格的通风机,以进一步细化运行频率与效率的关系模型,探索更为精准的调控策略。

参考文献:

- [1] 杨 诚. 矿井主通风机智能监控方案及系统设计[J]. 机械管理开发, 2023, 38(1): 218-219+224.
- [2] 孙云龙. 矿井主通风机自动化控制系统设计分析[J]. 电子技术与软件工程, 2022(14): 127-130.
- [3] 黄威康. 矿井主通风机在线监控与故障诊断系统的设计与研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2021.
- [4] 赵晓坤. 矿井高效率通风机站结构及其通风性能的研究[D]. 内蒙古: 内蒙古科技大学, 2021.
- [5] 杜雪峰. 矿井主通风机监测和健康状态评估方法与系统研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2021.