

# 电厂变频调速技术在风机、水泵运行中的应用及节能效果评估

董赫伦

阜新发电有限责任公司, 辽宁 阜新 123000

DOI:10.61369/EPTSM.2025050001

**摘 要 :** 在电力工业迅速发展的同时, 电厂的能源消耗也越来越严重, 其中, 风机和水泵是电厂的重要耗能装置, 对其进行节能改造具有重要的意义。本文对电厂风机、水泵采用变频调速技术进行较深入的研究, 分析其节能效果, 首先介绍变频调速的工作原理和特性, 分析目前电厂的风机、水泵运行状况, 指出其存在的问题; 然后对变频技术在风机、水泵上的应用场景、改造流程和控制策略进行了详细的论述, 建立一套科学的评价指标和方法, 并以实例为基础定量地分析了该项目所产生的其它效益; 最后针对实际应用中出现的一些问题进行分析, 并给出了相应的解决方法。调查显示, 采用变频技术对电厂风机和水泵进行节能改造, 取得了较好的效果, 其作为一种值得推广的技术, 对于促进我国电厂的绿色、低碳发展有着十分重要的作用。

**关 键 词 :** 电厂; 变频调速技术; 风机; 水泵; 节能效果; 应用

## Application and Energy-Saving Effect Evaluation of Variable Frequency Speed Regulation Technology in the Operation of Fans and Pumps in Power Plants

Dong Helun

Fuxin Power Generation Co., Ltd., Fuxin, Liaoning 123000

**Abstract :** With the rapid development of the power industry, energy consumption in power plants has become increasingly severe. Among them, fans and pumps are important energy consuming devices in power plants, and energy-saving transformation of them is of great significance. This article conducts a more in-depth study on the use of variable frequency speed regulation technology in power plant fans and pumps, analyzes its energy-saving effect, first introduces the working principle and characteristics of variable frequency speed regulation, analyzes the current operating status of fans and pumps in power plants, and points out their existing problems; Then, a detailed discussion was made on the application scenarios, transformation processes, and control strategies of frequency conversion technology in fans and pumps. A set of scientific evaluation indicators and methods were established, and other benefits generated by the project were quantitatively analyzed based on examples; Finally, some problems that arise in practical applications are analyzed and corresponding solutions are provided. According to the survey, the use of frequency conversion technology for energy-saving renovation of power plant fans and pumps has achieved good results. As a technology worth promoting, it plays a very important role in promoting the green and low-carbon development of power plants in China.

**Keywords :** power plant; variable frequency speed regulation technology; fan; water pump; energy saving effect; application

## 引言

随着我国能源需求的不断增加和“双碳”战略的实施, 作为能耗和碳排放量最大的行业, 电力部门的节能减排工作已成为当务之急。在电厂中, 风机、水泵是用电的重要装置, 在电力消耗总量中, 其耗电量约占电厂30~50%。而传统的风机、水泵运行模式多为恒速或节流方式, 存在着能源消耗大、设备损耗大以及效率低等问题, 已很难满足电站复杂变化的运行要求。变频技术可以按照实际的负载需要来准确地调整电机的速度, 从而达到节能和提高效率的目的, 在电厂风机、水泵节能改造中展现出巨大潜力。开展电厂风机水泵变频运行及其节能效应的研究, 对减少电厂运行成本、提高能源利用率, 以及减少环境污染, 有着十分重要的实际意义。本文采用理论分析和案例研究相结合的方式, 对电厂风机水泵节能改造的实践和节能效应进行较为系统的论述, 以期为我国电厂节能技术的推广和应用提供借鉴。

## 一、变频调速技术原理与特点

### （一）变频调速技术基本原理

变频技术的核心就是利用供电频率的变化实现对电动机速度的控制，按照感应电机的转速计算公式： $n=[60f(1-s)]/p$ ，其中  $n$  是电机的速度、 $f$  是电源频率、 $s$  是转差率、 $P$  是电机的极对数。当电机的对极数  $P$  和转差率  $s$  基本上保持恒定时，电机的旋转速度  $n$  与供电频率  $f$  成比例。变频调速系统是利用整流电路把工频交流电变成直流电，然后通过逆变电路把直流电变成频率、电压可调的交变电流，给电动机提供动力，以达到准确调整电动机速度的目的。

以风机为例，在需要风量的情况下用变频器将供电频率调低，从而使风机的风量和风压降低；相反，在需要空气流量的情况下，增大供电频率，电动机的速度就会增大，从而达到空气流量的要求。该速度调节方法可根据现场工作情况，对设备的操作参数进行动态调节，从而克服常规恒速运转所带来的能量浪费<sup>[1]</sup>。

### （二）变频调速技术特点

采用变频调速技术可依据实际负载变化情况实时调整电动机速度，实现设备在高效率区域内工作，有效地解决传统节流方式中由于阀门开度降低而造成的能耗损失问题。通过实例分析表明，使用变频技术后，风机和水泵的节油率在20%~50%左右。同时，采用变频调速技术，可以对电动机进行无级调速，具有较宽的调速范围和较高的精度，可以对系统的负载进行迅速地反应，从而使得设备的工作更稳定，以适应电厂中各种复杂的工作环境。

此外，它还具有较高的控制精度，与 PLC、DCS 等控制系统组合后，可以达到自动控制的目的。其还具有过电流保护、过电压保护、欠压保护、过热保护等各种保护功能，可以有效地防止电动机出现故障而导致的损坏，从而提高设备的使用寿命，减少设备的维修费用。

## 二、电厂风机、水泵运行现状与问题分析

### （一）电厂风机、水泵运行特点

电厂的风机、水泵工作状态是复杂多变的，其用电需求受机组运行状态、生产工艺要求、环境条件等诸多因素的影响。比如，在电站锅炉的工作中，为了使炉内的负压保持平稳，必须对机组的负荷进行调整；鼓风机应按需要供给适当的风量；循环泵在电厂中也得到广泛的使用，它是按照机组的负荷、水温来进行流量调整，而给水泵则是按照锅炉水位、蒸汽流量来保证给水量和压力的恒定<sup>[2]</sup>。

这些装置在使用时，经常出现负荷波动大、启停频繁的情况，在机组启停和变负载运行过程中，风机和水泵的工作参数需进行频繁地调节，常规的恒速工作模式很难适应这一多变的工作环境，降低设备的工作效率。

### （二）传统运行方式存在的问题

第一，传统的风机和水泵多采用恒速运转，即通过调整阀的

开度实现对流体的流量和压力的控制。这样的调整方式会导致气门的能耗增加，特别是在低压工况下，气门开度变小，损失更加明显，从而导致巨大的电能浪费。

第二，在恒速运转下，装备在高速高负荷下长时间工作，机械零件的磨损会越来越严重，这不仅会提高设备的故障率，还会缩短检修周期，从而使设备的维修费用和停工期变得更长，影响到电站的正常运转<sup>[3]</sup>。

第三，传统的操作模式因不能随负荷变化而实时调整操作参数，当负载剧烈波动时，会导致系统压力不稳定以及流量不均匀，从而降低机组的生产效率和机组的产量。

第四，电动机直接启动时，起动电流高达5~7倍，对电网产生巨大的冲击，不仅会引起电网电压的剧烈波动，还会对其它电器设备的正常工作产生不利影响，加快电动机绕组的绝缘老化，缩短电动机的使用寿命。

## 三、变频调速技术在电厂风机、水泵中的应用

### （一）应用场景与选型

#### 1. 应用场景

电厂的引风机、送风机、一次风机和脱硫增压风机都可以使用变频技术。如采用变频技术，可使引风机随锅炉的燃烧状况而调整风量，从而保持炉膛负压的稳定；变频调速技术能够提供一种可按燃油燃烧要求对供气量进行准确控制的方法，从而提高燃烧效率。

水泵的使用场合主要有循环泵、给水泵、凝结泵等，这些都是电站水泵的主要使用对象。其中循环泵采用变频技术，可按机组负载、水温等参数进行流量调整，达到经济高效运转的目的；给水泵按锅炉水位、蒸汽流量等参数进行调节，以确保锅炉的安全、稳定运行。

#### 2. 选型原则与方法

在选择变频调速系统时，应从电机功率、调速范围、负载特点，以及工作环境等方面进行考虑。首先，为了保证变频调速系统能正常工作，变频调速系统必须具有比电动机更大的额定功率；其次，要依据电动机的速度调节范围及负荷特点，选择适当的变频器型式，如风机、水泵等扭矩为平方的，可以选择一般的变频器；另外，为了满足电站的复杂工况，还需要对其保护级别和散热方式进行合理的设计。

### （二）系统改造与实施

在方案设计方面，在对风机和水泵变频调速系统进行改造之前，必须对原系统进行综合评价，并结合设备运行参数、负荷特点及节能指标等因素，制定出合理的改造方案。该方案包含变频器的选型、安装地点、电气接线方式，以及控制策略等方面的内容，由此保证改造后的变频器能与原设备及控制系统无缝连接。

在设备的安装方面，要按照有关的技术标准选择通风、干燥、无腐蚀性气体的地方进行安装。为了降低线损并且降低EMI，在安装时，应注意变频器与电动机间的线缆长度不宜过长。同时为保证整个系统的安全可靠，还需要加装断路器、熔断

器和反应炉等必要的保护设备。

另外，对于系统的调试，首先要做的是系统的安装调试，需要结合变频器的参数设置、空载试车、负荷试车，在设定参数时，应针对电动机及负荷的具体状况适当地调节变频调速范围、加速时间、减速时间及转矩补偿等参数；空车试车，主要检查电动机的转向、速度是否正常，有无不正常的噪声及震动；负荷试车是对系统在真实工作条件下的工作特性进行检测，并对其进行调整，以保证系统的稳定运行。

（三）运行控制策略

在给水泵等要求维持压力平稳的情况下，可以使用恒定压强控制策略。该装置利用压力传感器对系统内的压力进行实时监测，并向变频器提供压力信息，由变频器根据设定的压力与真实压力之间的差值来调整电机的速度，从而保证系统内的压力稳定在一个给定的范围内。同时，在风机和循环水泵等场合，也经常使用可变流量的控制方式，根据需要的空气量或流量，由流量传感器对实际流量进行检测，并且由变频器按流量变化调整电机速度，以适应各种工作条件的要求。在此基础上，建立该装置的操作模型，并对其在各工作状态下的能量特征进行分析，制定最优的运行参数组合，使设备在满足生产需求的前提下，实现能耗最小化。例如根据机组负荷、环境温度等因素，动态调整风机、水泵的运行台数和转速，提高系统整体运行效率。

四、变频调速技术节能效果评估

（一）评估指标与方法

| 1. 评估指标 |                                         |
|---------|-----------------------------------------|
| 评估指标    | 计算公式                                    |
| 节电量     | 节电量 = 改造前用电量 - 改造后用电量                   |
| 节能率     | 节能率 = (改造前用电量 - 改造后用电量) ÷ 改造前用电量 × 100% |
| 投资回收期   | 投资回收期 = 设备投资总额 ÷ 年节约费用                  |

2. 评估方法

一方面，使用理论计算法，依据电动机的工作参数、负荷特性及变频器的工作原理，利用理论公式，推算出电动机的节能潜力及节能效果。比如按照风扇的相似原理，在风扇速度改变时，轴功和转速的三次方是成比例的，可以用来估计不同速度下的能量消耗。

另一方面，使用实测比较方法，在变频器改造前和改造后现场实测装置的工作参数（电流、电压、功率、流量、压力等），并与实测结果进行比较分析，评价其节能效果。该方法准确可靠，能更好地反映出装置的实际工作状态。

（二）案例分析

以某电厂300MW机组的循环水泵变频调速改造项目为例。改造前，循环水泵采用定速运行，通过调节出口阀门开度控制流量，运行过程中能耗较高。改造后，安装了两台额定功率为

800kW的变频器，对循环水泵进行变频调速控制。

改造前后运行数据对比显示，改造前循环水泵平均运行电流为180A，电压为6kV，功率因数为0.85，平均日电量为28800kWh；改造后，在相同工况下，平均运行电流降至120A，电压不变，功率因数提高至0.92，平均日电量为19200kWh。经计算，该循环水泵变频调速改造项目的日节电量为9600kWh，节能率约为33.3%。设备投资总额为200万元，年节约电费约为150万元（按电价0.6元/kWh计算），投资回收期约为1.33年。

（三）综合效益分析

采用变频技术，使风机、水泵的能耗大幅度降低，降低用电、发电费用，增加经济效益。因为它可以对电动机进行软启动和软停，防止装置在启动过程中产生的大电流冲击，还可以减小机械零件的损耗，从而使设备的使用寿命得到延长，同时还可以减少设备的维修次数和维修费用。因此采用变频技术，可以根据负载的变化，对设备的操作参数进行适时的调节，保证系统的平稳运转，降低由于设备工作不稳定而造成的生产事故和停工期，从而提高电厂的生产率和可靠性。

五、应用中存在的问题与解决措施

（一）应用中存在的问题

1. 谐波干扰问题

变频调速系统在工作时会产生大量的高次谐波，这种谐波将引起电网电压和电流波形的畸变，对电网的供电品质造成很大的影响，严重时还会引起电网事故。

2. 电磁兼容性问题

变频调速系统所引起的电磁干扰，除了对电网造成影响外，还可能对周边电子设备和控制系统造成干扰，造成设备误动作并且降低控制精度。

3. 初期投资成本高

由于变频器的价格比较高，在进行系统改造时还需要进行安装和调试，这就导致了该工程的前期投入很大，一些电站由于受资金的制约，难以对其进行改造。

4. 技术人员操作维护难度大

变频调速是电力电子和自动控制的交叉领域，需要有很高的专业素养。当前，一些电厂的技术人员还不能很好地理解变频调速的工作原理，也不能很好地保证机组的正常运转与维修。

（二）解决措施

1. 抑制谐波干扰

将交流电抗器、直流电抗器、滤波器等滤波器应用于变频调速系统的输入、输出端，可以有效地抑制谐波的生成与传播。同时通过对12脉波和18脉波的整流，可以减少电网中的谐波，改善电能品质。

2. 提高电磁兼容性

对变频调速系统的接线进行合理的设计，使电源、控制两条线路分别敷设，以减少对电网的干扰，通过加装屏蔽罩、采用屏蔽电缆等措施，对变频调速系统及敏感设备进行屏蔽，以降低其

电磁辐射，并且采用隔离变压器和光电耦合器等方法，对控制系统进行抗干扰处理。

3. 降低初期投资成本

国家可以制定相应的政策，如对电站的节能改造项目进行财政和税务上的补助，并鼓励电站采用变频技术进行技术改造，电厂可以通过与设备供应商进行协商，以获得更好的价格、更好的服务。同时也可以采取合同能源管理的方式，即由节能服务商承担项目的投资、建设和运营，而发电企业则通过节约能源收益来承担相应的投资风险。

4. 加强人员培训

电厂要定期举办有关变频调速的培训班，并邀请有关专家讲

授，以增强其业务素质 and 业务能力，通过组织技术人员之间的相互交流、相互学习，不断积累实际经验，提高其维修与管理水平。

六、结语

采用变频技术对电厂风机水泵进行控制是提高机组效率的一种有效途径。通过变频调速，准确调整装备的工作参数，可以大幅度地减少能源消耗，提升设备的工作效率与稳定性，具有很好的经济与社会意义。但是在实际工程中，由于谐波干扰较大、初期投资较高，以及技术人员也较难操作和维修。

参考文献

[1] 苗雨. 变频调速技术在热电厂凝结水泵中的应用及其节能效果评估 [D]. 陕西省：西安理工大学, 2016.  
[2] 相玲. 变频调速技术在风机、水泵节能改造中的应用 [D]. 北京市：华北电力大学, 2012.  
[3] 张亮. 变频调速技术在风机节能运行中的应用及节能效果分析 [J]. 农家科技, 2011, (S3): 50-50.