

# 变频调速技术在水厂电气控制系统中的节能应用

黄 坤

安吉国源水务集团有限公司 浙江 湖州 313300

**【摘要】**：变频调速技术由于其良好的调速性能、可靠性和节能效果，在现代水厂中得到广泛应用。本文根据水厂中泵、风机等主要设备的工作情况，阐述变频调速技术的节能原理以及优点，从水泵恒压供水、风机调速控制、PLC 闭环控制几方面进行探讨并结合国源水务黄坤团队的技术创新与节能经验给出优化建议及维护管理方法。结果显示，采用该技术能明显减少单位耗电量，提高供水可靠性，有助于推动水厂的发展向更加智能、环保的方向转变。

**【关键词】**：变频调速技术；水厂；电气控制系统；节能应用；恒压供水；智慧水务

DOI:10.12417/3083-5526.25.07.011

## 引言

伴随着城镇化快速发展，城市用水量日益增加，水厂高能耗设备一直处于超负荷运转状态造成能耗较高、运营费用高昂。传统的阀门节流方法能耗大、冲击严重、易损坏设备，不符合国家节能减排、发展可持续的要求。变频调速可以根据实际用水量实时改变电动机速度从而达到按需供水、节约能源的目的。基于黄坤老师在国源水务自动化建设和节能工作中所取得的成绩，对变频调速技术在水厂电气系统中的应用进行研究，以期为行业的节能减排及智能化发展起到借鉴作用。

## 1 水厂电气控制系统能耗现状与节能需求

目前城市水厂电气系统主要为水泵、风机、加药装置等高耗电设备，消耗电能占全部费用较大比例，有较大节能空间。传统供水一般使用工频恒速运转方式，用改变阀门开度或挡板角度来调节水量及压力，存在较大节流损耗。另外，启动力矩大，机械冲击大，容易引起管网压力变化，设备损坏严重，增加维修费用以及风险。

随着“双碳”目标推进以及智慧水务发展，水厂对高效、稳定、智能化电气控制系统的需求越来越强烈<sup>[1]</sup>。国源水务黄坤团队在实际应用中也发现，常规方式不能满足日夜、季节不同用水量的需求，造成很大的浪费，而且人工巡检工作量大，反应迟钝。因此采用变频调速的方法，配合 PLC 自动化进行闭环控制是水厂降低能耗、提高服务质量、实现现代化的有效途径。

变频调速可以根据实际用水情况逐步改变电机速度，在保证设备处于最优状态下工作的基础上，减少不必要的能量消耗，降低水锤对管道以及水泵的影响，起到节能和安全的作用。结合电价政策、自动化程序优化、精细化管理等手段，可以得到更大的节能效果，“技术+管理+政策”的综合节能模式。

## 2 变频调速技术的节能原理与核心优势

变频调速是利用改变电源频率的方法实现对交流电动机无级调速的一种方法，在风机、水泵等负载上应用广泛，因为这些负载具有平方转矩特性，也就是它的轴功率大致与转速成

正比关系，降低转速后，电机所消耗功率明显减少，节电效果十分明显，相比于传统的阀门调节方式，变频调速可以消除节流带来的能量损耗，使得更多的电能转化为有用的压力和流量，提高系统的效率。

从运行控制角度考虑，变频器具有软起动、软停机的功能，在起动时电流逐渐增加，而不像工频那样瞬间加到最大值，这样就减少了对电网以及电动机、机械设备的冲击，延长其使用寿命并节省维修的成本<sup>[2]</sup>。此外，变频装置还可以进行恒压、恒流或者恒温的闭环控制，结合压力传感器、流量计、PLC 进行控制，根据实际用水量的变化来改变频率从而保证水压恒定，提高供水质量。

以国源水务节能为例，黄坤团队利用变频技术及 PLC 编程重新编写水泵控制程序，建立恒流量供水回路，使得设备工作状态完全符合实际需要，杜绝大马拉小车情况发生，在与原有运行方式比较中，变频调速系统在低负载时节能效果更为明显，可以实现每吨水节省电耗 10%以上，经济性和推广性良好。

## 3 变频调速技术在水厂电气控制系统中的具体应用

### 3.1 在取水泵站与送水泵站恒压供水中的应用

送水泵站是水厂能耗最大的部分，以往工频运行通过改变出水量来控制压力，造成大量能源损失。使用变频调速恒压给水方式，用压力传感器监测管道内压力并将此信息传送到 PLC 控制器中，在与预设的压力进行对比之后给出相应指令给到变频器改变其输出频率从而改变水泵运转速度达到恒压变化的目的。

该软件可以维持管网的压力稳定，防止水压过高造成浪费电力以及漏水问题，水压过低导致水质差<sup>[3]</sup>。在夜晚或者凌晨人们较少使用自来水的情况下，该系统会自动减慢转动速度，大大节约电能，在人们大量用水的时候，该系统又会加快转动速度，保证供水量足够。国源水务由黄坤负责，在公司部署供水泵站自动化系统并且安装变频器，可以监控及调节，节省大量人力资源，提高泵站的工作效率和安全性。

多泵并联运行情况下，也可以采取“变频+工频”的方式，

由 PLC 自动控制投入泵的数量以及运行方式,使得每台水泵都在高效区域工作,整个系统效率最大。这种模式已经在很多水厂应用中得到应用,节能效果一般在 20%-40%,是水厂进行节能改造最常用的方法。

### 3.2 在水厂鼓风机与排水风机调速控制中的应用

水厂曝气、反冲洗、通风系统中的鼓风机、风机也具有很大的节能潜力。传统的风机使用挡板调节流量,阻力大、耗能高、噪音大,在使用变频调速技术之后,可以根据实际情况对风机进行转速控制以满足不同工况下的要求。

在生物滤池、曝气池工艺中,变频风机根据溶解氧浓度自动调节供风量,既能满足生产需要又可防止过度曝气而浪费电能。在滤池反冲洗过程中,使用变频器可以实现风机软启动以及分段变速运行,减少对系统的冲击以及噪音污染,有利于提高反冲洗效果及稳定性并延长滤料以及设备使用寿命。

黄坤团队在节能工作中,将变频调速以及自动程序相结合,统一水泵、风机控制方式,实现协同工作,从而提高系统节能效果,降低整体能耗。

### 3.3 基于 PLC 与变频技术的闭环控制系统构建

现代化水厂变频节能不是简单的单个设备改造,而是一种基于 PLC+变频+传感器的一体化电控系统解决方案。该系统以 PLC 为主控单元,采集压力、流量、液位、电流、电压、能耗等信息,利用闭环控制原理调节变频器转速,达到自动、精确、稳定的控制效果。

黄坤在国源水务采用 PLC 编程对原有水泵控制系统进行改进,建立恒流量进水回路,保证进水量恒定的同时节约电能。此系统可以保存其工作情况,形成耗电量走势图以及各种报告,可以实现远程监视、历史查看、故障警报等功能,对于精细化管理具有重要意义<sup>[4]</sup>。此方案也可应用于其他污水处理厂或泵站等场所,应用广泛、安装快捷、投资回报率高。

同时,系统可接入智慧水务平台,在一个平台上对多个站点进行集中监控、统筹管理以及智能化控制,根据分时电价制定相应方案从而节省电费开支。国源水务采用“技术节能+政策赋能”的方式一年可节省上百万元成本,在行业内起到示范作用。

### 3.4 在加药系统及辅助设备中的节能拓展应用

除了水泵和风机以外,变频调速还可以应用到计量泵、搅拌机、加药系统等辅助设备上,达到精确控制以及节电目的。通过改变计量泵频率变化从而根据水况、水量的变化自动改变加入药品的数量提高工作效率节约药品消耗同时也节省用电量。搅拌机使用变频可以按需改变其速度避免长时间高频率工作造成电能及设备损耗。

## 4 变频调速系统的安装调试与运维管理要点

### 4.1 规范电气设计与安装,夯实节能运行基础

变频调速系统的节能效果能否正常发挥,首先必须做好科学合理的电气设计以及规范化的安装施工工作,在设计时应根据水厂水泵、风机等负载实际情况进行合理选择变频器大小及型号,考虑电动机额定值、负载性质、起动转矩、过载能力和现场环境等因素,防止出现“小马拉大车”而造成过载跳闸或者“大马拉小车”的现象导致设备浪费、效率低下问题;其次对于变频器在工作中容易产生的谐波影响,在系统前端加装输入电抗器、输出电抗器以及谐波滤波器来减少谐波对厂区内电网、计量器具、PLC 控制系统以及传感器信号的影响,使电气系统正常运转,仪表正确计量,自动控制系统可靠。而在安装上要合理安排变频器的位置及接线方式,以利于散热,强弱电分开走线,做好接地屏蔽等措施,从而减少故障的发生几率,使变频系统能够长期稳定高效节电运行。

### 4.2 精细化系统调试,确保控制精准与节能最优

系统调试是保证变频调速系统正常运转及节电效果发挥的重要步骤,需要按部就班地分步进行,一步一步加以完善。调试一般分为空载调试、模拟调试、带载调试以及闭环参数调整四个部分,首先是给定变频器的基本参数并让其空载运行检查有无问题,然后连接上模拟量用来调试变频器的动作是否正确,在此基础上再连接上现场的电动机及负载做带载调试<sup>[5]</sup>。在此期间要对接入的压力、流量、液位、电流等传感器标定,使获取的数据准确可信;还要不断调整 PID 参数,使系统的响应快、精度高、稳定性好,不能出现压力不稳定、流量起伏不定、超调太大的情况。做好这些工作才能使恒压供水、恒流供水等各项功能实现,使水泵和风机一直处在最经济的状态,节约不必要的能量消耗,在保证生产需求的基础上取得最大的节能效果。

### 4.3 强化专业运维与团队建设,提升系统保障能力

完善的运维体系以及一支优秀的运维队伍是变频系统的正常运转的基础保障。国源水务黄坤团队非常重视运维能力培养,组建了一支专业的自控队伍,并进行了十几期自动化培训,在提升运维人员对于变频系统、PLC 控制、仪表传感器等操作、维修和故障排除方面起到了积极作用。建立了定期巡检制度,关注变频器工作温度、负载电流、母线电压、冷却情况以及报警信息,定期清扫灰尘,检查风扇和风道,预防可能出现的问题。并且实行“发现问题—解决问题—总结”的信息化闭环管理模式,利用能效管理系统监控设备运行情况,发现能耗异常或者控制有误时立即进行处理并记录成册不断改进。这不仅改变了以往的救火式维护方式,也提高了管理水平从凭经验到依靠数据分析,极大地提高设备可用率,有利于变频节电工作的顺利进行。

#### 4.4 数据驱动精细管理，实现全生命周期节能增效

基于数据精细化管理，对于提高变频系统节电水平以及延长设备使用寿命发挥重要作用。黄坤团队在实际工作中建立详实完备设备台账和全生命周期维护档案，对变频器、机泵、传感器等相关设备工作情况、维修保养、发生问题以及改进措施等都一一记载，做到有据可查、有迹可循，在此基础上进行能耗监测系统在线监测、分析每吨水用电量生成能耗曲线并设置超出范围报警，从而达到实时监督、预测目的，在此基础上对优化控制程序及运行方式，根据分时电价改变设备工作时间，使节电工作不断进步完善。数据化精细化管理使节电降耗由一次性改造变成经常性、制度化自觉行为，同时减少设备故障率、延长使用寿命、节省整个生命周期费用，保证水厂电气控制系统始终处于良好、可靠、高效状态，促进智慧水务和绿色发展。

#### 5 变频调速技术应用的综合效益与推广价值

变频调速技术在水厂电气控制中使用，取得良好的节能效果、经济效益及社会效益，在节能方面，水泵、风机等设备整体节电达到 15%-40%，结合闭环控制以及最优策略，每吨水节省电量约 10%以上，有利于实现“双碳”。

从经济效益来看，变频系统可以减小启动冲击、减少设备磨损、延长设备寿命、节省维修成本等，结合分时电价政策合理使用，还可以大大节省电费开支。国源水务也表明，改造投

资可以在半年到 1 年内收回，经济效益明显。

从运行及安全角度考虑，变频实现恒压供水，降低管网漏损以及爆管概率，提高供水安全性；自动化远程监控降低现场人员需求，节省人力资源消耗，提高管理水平。从行业发展趋势来看，变频调速加上 PLC、大数据、云计算等技术是未来智慧水务关键技术，具有良好的应用前景。

像黄坤这样的水务技术人员，以技术创新作为主要动力源，在变频节电、自动化控制、信息化管理上进行有效融合，为保障城市用水安全搭建智能“防护墙”，也为我国水务行业的可持续发展起到良好的引导作用和技术支持。

#### 6 总结

变频调速技术是水厂电气控制系统的一项节能技术，可以根据需要自动调整泵的运转速度，克服节流带来的能量浪费，使设备处于低耗高效的运行状态。本文以国源水务黄坤团队的实践为例，介绍变频调速技术在水厂电气控制系统中的节能效果、工作原理、实施过程以及维护保养、经济效益等。实践证明，使用这项技术可以大大减少单位水量消耗电量、增加设备使用寿命、提高供水可靠性，在此基础上引入 PLC 闭环控制、精细化的数据管理和合理的价格策略，可以带来更多的节能减排的效果。

#### 参考文献：

- [1] 夏广亮,刘信业.变频调速技术在机电自动化中的节能应用[J].电脑校园, 2025(16):136-138.
- [2] 赵宇.节能技术在建筑电气安装系统中的应用[J].电气技术与经济, 2025(7).
- [3] 陈磊.数据驱动技术在电气自动化供配电节能系统中的应用[J].数码设计(电子版), 2024(9):0811-0813.
- [4] 樊鹏飞.变频调速技术在水利工程中的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(003):000.
- [5] 梁作玉,刘建伟.基于负荷分配优化的电气系统节能设计研究[J].电技术, 2026, 47(5):52.