

图 3

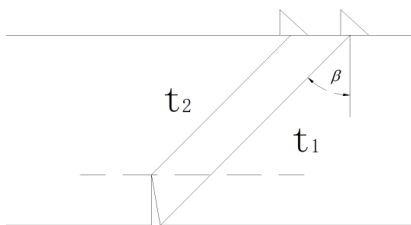


图 4

裂纹长度的测量。传统的裂纹长度测量方法有两类，绝对灵敏度测长法和相对灵敏度测长法，根据车轴疲劳裂纹

的特点，宜采用相对灵敏度测长，以下数据是在人工缺陷基础上实验的结果，在实际使用时，考虑到自然裂纹初始开裂时，可能多点多源，裂纹回波形态可能处于多峰形态，因此在利用相对灵敏度测长时，采用端点回波法，这样结果更加可靠（图 4）。为了验证各种方法的实际效果，分别按相对 3dB、相对 6dB、相对 12dB 和回波消失法，对 5 个裂纹进行了实际检测数据如下：（单位：mm）

通过对以上数据的分析，不难看出在采用回波消失法测量缺陷长度时，误差是在可接受的范围内，效果最好。利用衍射波法测量的缺陷深度，在垂直制造的人工缺陷上，检测误差较小，在实际缺陷检测上，还有待进一步验证。

5 结论

通过上述的分析和试验，在客车轮对超声波检测中，车轴裂纹的定量问题，可以通过实验情况，采用回波消失法进行长度测量，误差小、操作方便、成本低。裂纹深度的测量，采用衍射回波方式，也具有较小的误差，能够满足现有的检测需求，也可以为车轴寿命评估提供可靠的数据支撑。以上数据基于人工缺陷测量获得，也有待于使用自然裂纹对方法进一步进行验证。

缺陷编号	实际长度	3dB	误差	6dB	误差	12dB	误差	回波消失	误差
1	40	24	16	31	9	36	4	39	1
2	65	45	20	53	12	58	7	64	1
3	88	72	16	76	12	80	8	87	1
4	120	100	20	104	16	110	10	118	2
5	134	110	24	118	16	123	11	132	2

缺陷编号	实际深度（最大）	测量深度	误差
1	1	0.9	0.1
2	1.8	1.6	0.2
3	2.2	2.0	0.2
4	2.8	2.7	0.1
5	3.3	3.1	0.2

参考文献

1

《超声检测技术》J.克劳特克洛默&H.克劳特克洛默，李靖等译，1984年9月 第一版 广东科技出版社

2

《声学基础（第三版）》杜功焕 朱哲民 龚秀芬著 2012年5月 第三版 南京大学出版社

3

《傅里叶声学》Earl G. Williams著 卢兔采译，2016年6月第一版 清华大学出版社

The Application of Variable Frequency Speed Regulation Technology in Electrical Automation and standardized control

Jin Shi

College of Intelligent Manufacturing, Xinjiang Vocational University, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

Variable frequency speed regulation technology achieves precise speed control by changing the power supply frequency and voltage of the motor. Its core equipment, the frequency converter, is composed of rectification, filtering, inversion and control circuits, and can be classified according to standards such as the main circuit and control strategy. This technology is widely applied in scenarios such as depth indicator protection and motor unit model regulation in the field of electrical automation. In standardized control, it effectively optimizes systems such as elevator operation, energy conservation of fans and pumps, and food packaging production. Its advantages are reflected in significant energy conservation, enhanced motor operation stability and product quality. However, it also faces challenges such as complex technology, high cost, harmonic interference and difficult maintenance. In the future, this technology will develop in the directions of high voltage and high power, application of permanent magnet synchronous motors, upgrading of PWM technology and intelligent control strategies, providing important support for industrial intelligence.

Keywords

Variable frequency Speed regulation technology Electrical automation Standardized control

变频调速技术在电气自动化、标准化控制中的应用

史今

新疆职业大学智能制造学院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

变频调速技术通过改变电机供电频率与电压实现转速精确调控, 其核心设备变频器由整流、滤波、逆变及控制电路构成, 可按主电路、控制策略等标准分类。该技术在电气自动化领域广泛应用于深度指示器保护、电机单元模型调控等场景, 在标准化控制中则有效优化电梯运行、风机水泵节能及食品包装生产等系统。其优势体现为显著节能、提升电机运行稳定性及产品质量, 但也面临技术复杂、成本较高、谐波干扰及维护困难等挑战。未来, 该技术将向高压大功率、永磁同步电机应用、PWM 技术升级及控制策略智能化等方向发展, 为工业智能化提供重要支撑。

关键词

变频调速技术; 电气自动化; 标准化控制

1 引言

在工业生产智能化转型背景下, 电气自动化与标准化控制对设备调控精度、能耗控制及运行稳定性的要求日益提升。传统电机调速方式存在能耗高、响应慢、控制精度不足等问题, 难以满足现代工业对高效生产与标准化管理的需求。变频调速技术以其“频率—转速”关联的核心原理, 突破了传统调速的局限, 通过变频器实现电机转速的动态适配, 在节能、控速及系统协同等方面展现出独特优势。基于此, 本文将对变频调速技术在电气自动化、标准化控制中的应用展开研究。

2 变频调速技术概述

2.1 变频调速技术原理

变频调速技术通过改变电机供电电源的频率和电压实现转速控制。根据交流电动机转速公式, 转速与频率成正比, 因此调节频率即可改变转速。实际中由变频器完成这一过程: 先将工频交流电经整流转为直流电, 再通过逆变转为频率和电压可调的交流电供给电机, 实现精确调控。比如工业风机系统, 生产需求变化时, 变频器降低供电频率, 风机转速随之下降, 既能满足低负荷运行需求, 又可避免能源浪费。

2.2 变频调速器的组成与分类

变频调速器主要由整流、滤波、逆变和控制电路构成。整流电路将交流电转为直流电; 滤波电路平滑直流电压; 逆变电路将直流电转为可调频率等的交流电; 控制电路是核心, 依输入和反馈信号控制逆变电路。变频调速器可按不

【作者简介】史今 (1973–), 男, 中国河北唐山人, 本科, 副教授, 从事智能控制研究。

同标准分类。按主电路分电压型和电流型；按开关方式分 PAM、PWM 等控制变频器；按工作原理分 V/f 控制等类型；按用途分通用、专用等变频器，各类适用不同场景。

3 变频调速技术在电气自动化中的应用

3.1 在深度指示器保护中的运用

在工业生产中，深度指示器是保障设备安全运行的关键部件，以矿井提升系统为例，其能实时显示提升容器位置，一旦失效可能引发过卷、蹲罐等事故。引入变频调速技术可保障其可靠性：电机正常运行时，编码器采集并累积电机脉冲信号（如提升容器运行一定距离对应特定脉冲）。若一段时间内脉冲数未变化，可能是深度指示器故障。检测到故障后，系统会检查设备是否进入爬行区域（提升容器接近井口或井底的低速阶段）。若已进入，深度指示器发信号，控制系统降低速度并加强监控；若未进入，可能因深度指示器故障或系统严重故障，系统立即制动并报警。变频调速技术有效保护了深度指示器，提升了系统安全性与可靠性。

3.2 在电机单元模型中的应用

在电机单元模型中，变频调速系统可精确监测和调控电机运行。以工业自动化生产线电机为例，其通过内置传感器实时采集电压、电流信号，判断负载与运行状态，如负载增加时电流增大，系统会据此调整控制策略。同时，系统检测转速、温度等参数并传至客户终端，供操作人员评估状态。系统还会依据电流规划运行：通过磁体与轴承转换方向反馈数值，设定调频时间和速率。如电流超阈值，会自动降低调频速率以减负载。选择变频器时侧重芯片功能，高性能芯片能快速处理传感数据精准控制电机，还可处理电阻并联情况，分析数据传送结果以节能，使电机高效运行。

3.3 V - F 控制技术的应用

V-F 控制技术（电压频率变换控制）通过保证输出电压与控制频率成正比，维持电机磁通量稳定，避免弱磁场和磁饱和^[1]。异步电机中，转矩由磁通与转子电流相互作用产生，若额定频率下只降频率不变电压，会导致磁通过大、磁回路饱和，甚至烧毁电机，故需频率与电压成比例改变。该技术主要用于风机水泵类负载节能变频器，常通过压控振荡器实现。如城市供水水泵，夜间用水量少时，变频器将供电频率从 50Hz 降至 30Hz，电压按比例降低以保磁通恒定，水泵转速和流量随之下降，既满足需求又节能。压控振荡器随电压变化改变电容，进而调整振荡频率，实现电机转速调控，提升系统效率。

4 变频调速技术在标准化控制中的应用

4.1 变频调速技术在电梯系统中的应用

以某品牌高层商用电梯为例，其采用变频调速技术后，拖动模式得到显著优化。传统电梯常用直流或简单交流调速，存在能耗高、调速精度低、舒适性差等问题。该电梯通过变频器精确控制电机供电频率和电压，能依运行状态及负

载实时调整转速：启动时以低频率供电，电机低速平稳启动，减少冲击感；加速时按预设曲线调整频率，保证运行平稳；抵达前降低频率实现减速停靠。应用该技术后，电梯不仅运行效率和乘坐舒适性提升，能耗较传统方式降低约 30%，还减少了机械部件磨损，延长设备寿命，降低维护成本，带来良好使用体验与经济效益。

4.2 变频调速技术在风机、水泵节能中的应用

某大型工厂生产车间的多台大型风机和水泵，承担通风、冷却及供水等任务。改造前，这些设备以工频运行，转速恒定，无论实际需求如何，均造成严重能源浪费。工厂对其进行变频调速改造后，能耗显著降低。以一台 75kW 风机为例，改造后可依实际通风需求调整转速：车间温度低、需求小时，频率从 50Hz 降至 35Hz，因轴功率与转速三次方成正比，能耗大幅下降，平均每小时能耗从 60kW · h 降至 35kW · h。水泵也按用水量调整转速，低负荷时降速避浪费，高峰期提速保需求。改造后，工厂年节约电费约 50 万元，且电机软启动、软停止减少部件磨损，降低维护成本，提升设备可靠性与寿命，效益显著。

4.3 变频调速技术在其他标准化控制系统中的应用案例

在食品饮料行业，生产对设备稳定性和精度要求极高。某知名饮料企业灌装生产线采用变频调速技术后，能依饮料品种、包装规格及生产速度，通过变频器快速调整电机转速。更换包装规格时，输入参数即可自动适配，相比传统方式，灌装精度提高 5%，生产效率提升 20%，减少浪费与成本。包装行业中，变频调速技术作用显著。某包装印刷企业印刷机应用该技术后，可根据图案复杂度、纸张材质等，精确控制滚筒转速和印刷压力，保证印刷质量。印刷不同规格纸张时能快速调参，使次品率降低 10%，生产效率提高 30%，增强了企业市场竞争力。

5 变频调速技术应用的优势与挑战

5.1 应用优势

变频调速技术在节能方面优势显著。以风机、泵类负载为例，传统用挡板或阀门调节流量，电机恒速运行，能耗浪费严重；采用该技术后，转速随需求调整，因轴功率与转速三次方成正比，节能效果突出^[2]，如某工厂风机转速降 30%，能耗降约 50%；恒压供水系统应用后，能耗降 30% ~ 60%，还提升供水稳定性。在电机运行上，其可轻松实现正反转，避免换相不当烧毁电机；软启动能将启动电流限制在额定电流 1.5-2 倍，减少冲击；平缓加减速和高效制动功能，可延长设备寿命、降低维护成本。在工艺和质量提升上，该技术通过精准控速控转矩发挥作用。纺织行业针织大圆机、粗纱机应用后，次品率降低，成纱质量提升；自动化生产线中，保障物料精准加工，提高产成品率，推动工业智能化。