

# 基于 PLC 的电机节能控制方案优化研究

伊国福

哈密科能电力技术服务有限公司 新疆 哈密 伊吾 839304

**【摘要】**：工业场景应用的 PLC 电机节能控制方案普遍存在运行参数与动态负载特征偏差、多工况切换时无法及时调整运行状态、非常规运行状态缺少对应节能逻辑的问题，核心诱因是方案设计阶段仅以典型工况能耗最优为核心导向。围绕上述问题开展针对性优化，搭建适配多场景需求的优化控制框架，完成多场景下的落地可行性验证，划定方案的实际应用边界，明确优化方案的落地路径与适配场景。

**【关键词】**：PLC；电机节能控制；参数自适应调节；多工况适配

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.063

## 引言

工业生产领域三相异步电机的能耗占比常年处于高位，节能控制方案的优化是降低工业生产综合能耗的核心路径之一。可编程逻辑控制器是当前电机控制的核心载体，现有主流 PLC 电机节能控制方案多围绕典型额定工况设计，在实际应用中无法匹配复杂多变的生产场景需求，实际节能效果难以达到设计预期。当前高职机电类、电气自动化类专业的 PLC 相关课程实操项目也多沿用传统方案设计逻辑，未能同步融入工业端最新应用需求，实训内容与产业实际存在一定脱节。开展 PLC 电机节能控制方案的优化研究，一方面可填补现有工业方案的应用短板，另一方面可完善实训教学的项目体系，实现产业需求与教学内容的双向适配。

## 1 基于 PLC 的电机节能控制方案现存问题研判

### 1.1 工业场景 PLC 电机控制方案应用现状梳理

本部分首先对当前工业场景中广泛运用的 PLC 电机节能控制方案开展分类梳理工作，明确调压节能、变频节能以及功率因数补偿节能三类主流方案的基础运行逻辑，同时对应划定三类方案的适宜应用场景。其中调压节能方案多运用于负载波动幅度较小的连续生产场景，变频节能方案多用于存在频繁启停、负载动态变化特征的离散加工场景，功率因数补偿节能方案多作为辅助方案与前两类搭配使用。本部分还对三类方案在机械制造、化工生产、市政运维三类核心应用行业的覆盖情况进行整理，归纳不同行业反馈的实际节能效果区间，明确现有方案多以典型工况下的能耗最优为核心设计思路的普遍特征，为后续开展问题排查、确定优化方向的工作提供扎实的现实参考依据。

### 1.2 现有 PLC 电机节能控制方案的核心问题梳理

本部分结合可编程控制器原理及应用课程实操教学中常见的方案设计范式，对教学实操环节以及工业实际应用中两类场景下的方案共性问题开展归纳工作。首先是参数匹配度偏低的问题，现有方案多在设计阶段对运行参数进行固定配置，参数数值多契合额定工况下的运行需求，与实际生产中的动态负

载特征存在明显偏差。其次是工况适配性较差的问题，现有方案的触发逻辑多对应单一工况的运行需求，遇到多工况快速切换的场景时无法及时调整运行状态，还会产生额外的过渡能耗。最后是冗余能耗偏高的问题，现有方案未针对短时空载、待机等非常规运行状态设置对应的节能逻辑，会产生不必要的能耗损耗。本部分同时明确上述问题的核心诱因在于方案设计阶段未考虑非典型工况的运行需求，为后续的优化研究明确精准的靶向。

## 2 基于 PLC 的电机节能控制方案优化框架构建

### 2.1 PLC 电机节能控制的参数自适应调节逻辑设计

参数调节的核心目标为降低电机空载、轻载工况下的冗余能耗，首先梳理电机运行电流、电压、转速等核心参数的采集逻辑，运用 PLC 的模拟量输入模块完成参数的实时采集工作，同时将采集参数与预设基准值开展持续比对，再设计基于 PLC 的参数实时比对、动态调整的编程逻辑，明确不同负载率下的参数调整阈值，整个逻辑的编写选用梯形图完成，既契合高职机电类专业实操教学的可实现性，也能适配工业场景的实际应用需求，同时该逻辑可直接作为课程实操项目的拓展训练内容，供学生完成编程实操验证，不需要额外购置专用功能模块，仅借助现有实训台的硬件配置就能开展完整调试工作。

### 2.2 多工况下 PLC 电机节能控制的触发机制设置

针对现有方案无法适配多变工况的问题，先划分电机启动、空载、轻载、额定负载、过载五类核心工况，明确不同工况下的节能需求差异，再设计对应工况的识别判定规则与节能控制触发逻辑，整个触发机制的设计不需要运用高难度编程指令，仅需应用基础的 PLC 比较指令、移位指令就得以实现，可直接融入课程的工况识别实训环节，降低学生学习与实操的难度，同时把工况切换的过渡时间控制在合理区间内，避免工况切换过程中产生额外的过渡能耗，保证优化方案的可落地性，也能满足工业场景下多工况快速切换的实际运行要求。

### 2.3 优化方案的兼容性适配调整

针对现有方案无法适配不同品牌 PLC、不同功率电机的问题

题,先梳理市面主流小型 PLC 的通用指令规则,明确优化方案的核心逻辑均采用通用指令完成编程,不需要依赖特定品牌的专属功能块,同时针对不同功率等级的电机设置参数阈值的自定义调整入口,操作人员可以根据电机的额定参数、实际运行场景的负载特性进行阈值的灵活调整,保证方案可适配 0.75kW 到 30kW 范围内的常用三相异步电机,该适配调整的相关内容可作为工业控制组态应用课程的拓展实训内容,供学生完成不同场景下的方案适配实操。

### 3 基于 PLC 的电机节能控制优化方案的效果验证

基于前序完成的优化框架搭建工作,本部分从教学实操验证、工业模拟测试两个维度开展效果验证工作,同时结合两类场景的验证结果明确优化方案的推广适用范围,整个验证过程均依托现有常规硬件设备开展,不额外引入专用功能模块或者特殊测试仪器,保证验证结果具备普适性,能够直接为后续的落地应用提供参照依据。

#### 3.1 优化方案的教学实操场景验证

本次教学实操验证依托高职机电一体化技术专业核心课程《PLC 综合实训》的常规教学环节开展,选取两个平行教学班共 64 名大三学生作为测试对象,将学生平均分为两组,一组运用传统 PLC 电机节能控制方案完成实训项目,另一组运用本次研究提出的优化方案完成相同实训任务。本次实训选用西门子 S7-200 SMART PLC、1.5kW 三相异步电机作为核心实操设备,所有设备均为实训台原有配置,不需要额外新增硬件。两组学生的实训任务完全一致,均需要完成程序编写、硬件接线、运行调试三个环节的工作,实训指导教师同步开展两组学生任务完成情况的统计工作,重点统计两组学生完成全流程任务的平均时长、任务完成正确率两项核心指标。实训过程中,指导教师还针对学生遇到的问题开展记录工作,发现优化方案的疑问点主要集中在参数阈值的配置逻辑上,与传统方案的疑问点分布基本一致,不存在无法理解的高难度知识点。统计结果显示,运用传统方案的小组平均完成时长为 126 分钟,任务完成正确率为 78.1%,运用优化方案的小组平均完成时长为 131 分钟,任务完成正确率为 75%,两组数据不存在明显差距,说明优化方案的实操难度与传统方案基本持平,完全契合现有实训教学的难度设定,不会额外增加学生的学习负担。后续开展两类方案的能耗对比测试,设置完全相同的空载、轻载、额定负载交替的运行周期,连续运行 1 小时后统计能耗数据,结果显示优化方案的总能耗较传统方案低 12.3%,节能效果明确。本次验证结果说明优化方案可直接纳入现有 PLC 实训教学的项目库,既能够完成原有实训项目的全部教学目标,还可以帮助学生建立节能控制的设计思路,拓展实训项目的实用性。

#### 3.2 优化方案的工业模拟场景能耗测试

本次工业模拟测试依托实验室现有工业流水线模拟平台

开展,搭建包含 1 台 2.2kW 三相异步电机、负载调节装置、能耗采集模块的专用测试环境,整个测试环境完全还原中小型加工企业流水线的实际运行配置,保证测试结果能够契合工业场景的真实运行情况。测试前先完成两类方案的程序烧录与参数配置工作,传统方案选用当前工业场景应用最广的变频节能控制方案,优化方案采用本次研究提出的包含参数自适应调节、多工况触发逻辑的优化方案,两类方案的基础运行参数均按照电机额定参数完成配置,不做特殊调整。测试过程中设置两类符合工业实际的运行工况,第一类为连续负载波动工况,模拟流水线加工过程中负载随加工工序动态变化的场景,第二类为间歇性空载工况,模拟流水线待料、换料过程中的短时空载运行场景,每类工况的连续测试时长为 2 小时,同步采集两类方案的单位时间能耗、电机运行电流波动率、工况切换过渡时长三项核心指标。测试过程中还开展了连续 72 小时的稳定性测试,优化方案的运行故障率为 0,没有出现程序报错、控制失效等问题。测试结果显示,在连续负载波动工况下,优化方案的单位时间能耗较传统方案低 15.7%,在间歇性空载工况下,优化方案的单位时间能耗较传统方案低 18.2%,两类工况下的平均节能率超过 15%,完全达到预期的节能目标。同时两类工况下,优化方案的电机运行电流波动率均控制在 5%以内,工况切换过渡时长均控制在 0.8 秒以内,不存在电机启停冲击、参数波动过大的问题,运行稳定性完全满足工业场景的实际应用要求。

#### 3.3 优化方案的推广适用范围界定

结合教学实操场景验证以及工业模拟场景测试的结果,本次研究明确优化方案的推广适用范围,覆盖教学以及工业两个核心应用场景,同时明确后续的功能拓展方向,为方案的进一步升级提供参照。在教学场景中,优化方案可适配中高职机电类、电气自动化类专业的 PLC 相关课程的实操教学,既可以作为《可编程控制器原理及应用》《PLC 综合实训》等核心课程的常规实训项目使用,也可以作为职业院校技能大赛机电一体化、工业系统控制等赛项的训练项目使用,方案的编程逻辑全部采用通用 PLC 指令完成,不需要额外购置专用硬件,依托现有实训台的配置就可以开展全流程的实操训练,能够帮助学生掌握参数采集、工况识别、动态控制等核心 PLC 应用技能,同时建立节能控制的设计思维,提升实训项目的实用性。在工业场景中,优化方案可适配中小型加工企业的流水线驱动电机、冷却风机、供水水泵等通用三相异步电机的节能改造,适用电机功率范围覆盖 0.75kW 到 30kW,不需要更换原有 PLC 硬件,仅需要更新控制程序就可以完成改造,改造成本低、周期短,针对部分已经完成变频节能改造的企业,优化方案也可以直接对接原有变频设备的控制接口,不需要更换原有变频装置,进一步降低改造的成本投入,能够帮助企业在不大幅投入改造成本的前提下降低电机运行能耗。后续的功能拓展方向主要为对

接工业互联网平台，增加能耗数据的上传与分析功能，进一步提升方案的精细化控制水平，适配更复杂的工业运行场景。

#### 4 结语

PLC 电机节能控制方案的优化是兼顾工业节能降碳需求与职业院校实训教学改革的重要研究方向。本次提出的优化方

案既能够解决现有工业应用场景下非典型工况的能耗浪费问题，也能够适配职业院校实操教学的难度设定，不需要额外增加硬件投入即可完成落地应用。后续可围绕更复杂的工业运行场景开展功能拓展，对接工业互联网平台实现能耗数据的精细化采集与分析，进一步提升方案的适用范围与控制精度，为工业节能改造与实训教学升级提供更完善的支撑。

#### 参考文献:

- [1] 刘超.基于 PLC 的五轴加工中心电气控制系统优化设计研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(12):198-200.
- [2] 吕栋腾,李俊雨.基于 PLC 和触摸屏的电动机控制系统设计[J].机械工程与自动化,2025,54(03):164-165+168.
- [3] 龙斌.基于 PLC 控制技术的数控机床自动化生产研究[J].中国机械,2024,(36):69-73.
- [4] 刘超.基于 PLC 的五轴加工中心电气控制系统优化设计研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(12):198-200.
- [5] 吕栋腾,李俊雨.基于 PLC 和触摸屏的电动机控制系统设计[J].机械工程与自动化,2025,54(03):164-165+168.
- [6] 龙斌.基于 PLC 控制技术的数控机床自动化生产研究[J].中国机械,2024,(36):69-73.