

设备电气自动化节能控制探究

果宏扬

天津中捷能电力工程勘察设计有限公司 天津 300071

摘 要: 电气自动化设备是工业生产体系中的主要耗能单元, 设备工况切换频繁、群组运行协同性不足、参数调控固化等问题, 容易引发各类无效能耗损耗。这套节能控制体系分为感知、传输、执行、决策四层运行架构, 本文依托分层架构的运行特性, 梳理参数动态匹配、设备联动控制、工况平滑切换及负荷自适应调节的运行逻辑, 从电机调速、供配电调控、辅助设备时序管理、管线损耗抑制多个维度搭建节能控制实施路径, 全方位优化电气设备运行模式, 改善电气系统整体用能状态, 助力工业电气设备实现精细化节能运行。

关键词: 电气设备; 自动化控制; 节能降耗; 负荷调节; 电气运维

引言: 工业智能化转型进程持续推进, 电气自动化设备的应用覆盖范围不断扩大, 设备长期连续运行带来的能耗问题愈发突出。传统管控模式多采用固定参数运行与人工干预调控, 难以适配生产负荷的动态变化特征, 工况调节滞后、设备空转、传输损耗等问题持续造成能源浪费。依托自动化控制系统的分层架构与智能运行逻辑, 针对性优化设备运行调控方式, 细化各电气单元的节能管控手段, 能够有效改善粗放式用电现状, 提升工业电气系统的能源利用水平。

1 设备电气自动化节能控制的架构组成

1.1 现场感知层的配置逻辑

现场感知层是设备电气自动化节能控制体系的前端基础, 承担全域运行数据采集与状态识别的核心作用^[1]。层级内部由各类传感装置、检测元件、数据采集终端共同构成, 所有设备元件部署于电气生产作业的一线点位。配置布局围绕电气设备实际运行场景展开, 依据不同电气设备的运行特征与能耗产生规律, 布设对应的检测装置。温度、电流、电压、负荷、转速等各类运行参数的采集点位均匀分布, 能够捕捉电气设备运行过程中的动态变化状态。感知层整体配置遵循全覆盖、精细化的布设思维, 重点针对高耗能电气设备、频繁启停的动力装置、负荷波动较大的运行单元增设采集点位。元件选型与布局方式适配复杂工业作业环境, 可抵御现场环境干扰, 保障数据采集的稳定度与连续性。持续采集的现场运行数据, 能够真实反映电气设备实时工况, 为后端节能调控、状态分析提供原始数据支撑, 搭建起自动化节能控制的数据输入端口。

1.2 传输交互层的搭建方式

传输交互层衔接现场感知设备与后端管控系统, 是电气自动化节能控制体系的数据流转通道。该层级搭建以稳定传输、实时交互、数据保真为核心目标, 依托有线与无线结合的传输网络构建完整数据链路。网络架构根据电气设备分布范围与作业区域布局进行规划, 梳理不同采集点位的数据传输路径, 规避信号重叠、链路拥堵等常见问题。传输网络分区布设、分层管理, 对不同类型的运行数据、能耗数据划分专属传输通道, 避免不同类别数据混杂干扰。搭建过程注重网络带宽与传输速率的适配调整, 匹配现场海量数据的持续传输需求。同时设置数据校验与纠错机制, 处理传输过程中出现的数据偏差与信息缺失问题。规范的网络搭建形式, 能够保障前端感知数据完整、及时传递至决策终端, 实现现场运行状态与后台控制指令的双向互通, 支撑节能控制工作持续推进。

1.3 调度执行层的运行逻辑

调度执行层属于电气自动化节能控制体系的落地执行单元, 所有节能调控操作均依托该层级完成。层级涵盖各类电气控制模块、驱动装置、执行设备, 直接对接现场电气设备的运行回路。运行逻辑围绕设备工况调节、负荷管控、启停调控、参数修正展开, 接收后端下发的调控指令后完成对应操作。系统依据采集的实时运行数据, 区分电气设备的负荷状态、能耗水平、运行时长, 匹配对应的执行动作^[2]。运行过程坚持动态调节原则, 针对设备空载运行、超负荷运转、参数偏移等不良工况开展自主调整。各控制模块按照电气运行规范设定执行标准, 所有调节动作均限定在设备安全运行区间内, 不会突破电气设备的运行承载范围。稳定规范的执

行逻辑,可精准落实各类节能调控举措,修正电气设备不合理的运行状态,从操作层面减少无效能源消耗。

1.4 管控决策层的覆盖范围

管控决策层是电气自动化节能控制体系的核心统筹单元,承担数据分析、状态研判、指令下发的核心职能。该层级依托后台控制系统与数据处理终端搭建而成,覆盖全部现场电气设备与自动化运行单元。管控范围包含设备运行参数监测、能耗数据统计、工况状态研判、节能策略生成、调控指令输出等多项内容,系统可实现 24 小时不间断在线监测管控。能够对整片作业区域内的电气设备进行集中统筹,打破单一设备独立运行的分散状态。系统可对不同时段、不同设备的能耗数据进行整合梳理,甄别能耗异常的运行点位与工况模式。结合电气设备运行规律与节能管控标准,自主生成适配现场工况的调控方案。管控范围贯穿电气设备运行的完整周期,覆盖设备启停、负荷变动、稳态运行、间歇待机 etc 全部运行场景,为整套电气自动化系统的节能化、精细化运行提供顶层统筹支撑。

2 设备电气自动化节能控制的运行逻辑

2.1 运行参数的动态匹配逻辑

设备电气自动化节能控制的核心运行依托各类运行参数的合理调控实现,参数匹配精度直接影响系统能耗水平。电气设备在不同生产场景下,对电压、电流、运行频率、工作时长等参数的适配标准存在明显差异。固定化的参数设置模式难以适配多变的生产工况,容易引发设备做功低效、能源浪费等问题。动态匹配逻辑以现场实际生产需求为导向,依托前端感知装置采集的实时运行数据,完成各类运行参数的自主调整。系统持续捕捉生产任务强度、设备工作状态、环境运行条件的细微变化,对电气设备的运行参数进行精细化微调。参数调控严格匹配当前生产负荷,弱化固定参数运行带来的适配偏差,让设备运行输出与实际生产需求保持高度适配。科学的参数动态匹配模式可以规避设备长期高参数空载运行的问题,压缩无效能耗支出,让电气设备始终保持高效的运行状态,夯实节能控制的运行基础。

2.2 多设备协同的联动控制逻辑

工业生产场景中,各类电气设备多以群组化模式搭配运行,单一设备的运行状态会对整体能耗产生连锁影响。多设备联动控制逻辑打破单设备独立运行的管控局限,搭建群组化的统筹运行模式。系统梳理各电气设备的工序关联关系与运行优先级,依据生产流程排布各设备的启停顺序与运行强度。生产任务启动阶段,按照工

序推进需求逐步激活对应设备,规避多设备无序启动带来的瞬时能耗激增问题。生产运行阶段,根据主线生产进度调整附属配套设备的运行状态,让辅助设备运行强度适配主设备工作节奏。生产收尾阶段,按照工序结束逻辑逐步关停闲置设备,减少设备空转时长。联动控制模式可以理顺群组设备的运行秩序,化解设备运行节奏紊乱引发的能耗冗余,实现整套电气设备群组的节能化运行。

2.3 工况切换的平滑过渡逻辑

工业生产进程的动态变化,会推动电气设备频繁完成工况切换,工况切换过程的不合理调控,是隐性能源损耗的重要来源。工况切换平滑过渡逻辑针对设备启停、负荷升降、工序切换等关键节点设计调控机制,优化工况转换阶段的运行状态。传统人工调控或固定程序调控模式,容易出现参数骤变、负荷突变、设备急停急启等情况,造成电气能量损耗与设备性能损耗。自动化节能控制体系可提前预判工况转换节点,循序渐进调整设备运行参数与运行负荷。系统预留合理的工况缓冲区间,让设备运行状态平稳完成更迭,规避工况突变引发的超额能耗^[3]。平缓的工况切换过程能够稳定电气系统运行状态,减少工况转换阶段的无效能耗输出,让设备在各类运行状态切换中维持低耗、稳定的运行水准。

2.4 负荷波动的自适应调节逻辑

实际生产过程存在不确定性,生产任务的增减、工序节奏的变动都会引发电气设备运行负荷的持续波动。负荷失衡会造成设备做功效率下降,多余电能以热能、机械能损耗的形式流失。负荷波动自适应调节逻辑依托系统海量运行数据的积累与实时研判,构建智能化的负荷调控机制。系统实时监测设备实际负荷与额定负荷的差值,精准捕捉负荷偏高、负荷不足等失衡状态。针对高负荷运行场景,适度优化设备运行频率与功率输出,保障设备稳定做功的同时控制能耗增量。针对低负荷运行场景,及时下调设备运行档位,避免设备高功率低产出的低效运行状态。自适应调节模式可动态平衡设备运行负荷与生产需求的关系,持续优化电气系统能耗结构,实现节能控制的长效落地。

3 设备电气自动化节能控制的实现路径

3.1 电机拖动系统的调速控制路径

电机拖动系统是工业生产中耗电量占比极高的电气单元,多数生产场景默认采用恒定转速的运行方式。固定的运行参数无法适配生产负荷的动态变化,生产工况强度回落之后,设备输出功率无法及时调整,大量电能

消耗在无效机械运转之中。自动化调速控制能够突破传统恒速运行的局限,依托实时采集的生产负荷数据、设备运行阻力与作业工况信息,灵活调整电机运行频率与转速区间。生产任务繁重、负荷较高的阶段,适度提升运行参数,保障生产作业的稳定推进。生产任务精简、负荷回落的阶段,主动下调运行转速,削减多余的功率输出。这种动态调控模式可以精准匹配生产实际需求,减少低负荷状态下的能源浪费,规避电机频繁启停带来的电网冲击与能耗波动,让电机始终维持高效做功状态,从生产动力源头落实节能管控。

3.2 供配电系统的无功调控路径

供配电系统运行过程中会产生一定占比的无功功率,这类功率无法转化为有效的生产动能,只会加重线路与配电设备的运行负担,造成电能无端损耗^[4]。工业电气设备长期运行容易出现功率因数失衡问题,引发电网电压波动、线路发热、设备过载等一系列不良运行状态。自动化无功调控技术可以针对功率失衡问题开展精准优化,依托监测装置实时捕捉电网电压、负荷分布与功率运行状态。系统根据电网运行状态动态投切补偿装置,合理调节有功功率与无功功率的配比比例,改善电网整体运行工况。规范的无功补偿操作能够稳定电压运行区间,降低线路传输过程中的电能损耗,改善配电设备的运行环境,减少不良工况引发的能耗增量,搭建稳定性更强、能耗更低的供配电运行体系。

3.3 辅助用电系统的时序管控路径

工业生产体系包含大量辅助电气设备,这类设备服务于主生产流程,运行状态会跟随工序变化产生明显波动。日常生产管控中,辅助设备启停缺乏标准化时序规范,容易出现提前开机、延后停机、长期待机不合理运行现象。无序的运行状态会滋生持续性的能耗浪费,日积月累拉高整体用电成本。自动化时序管控可以梳理整套生产工序的推进节奏,重新定义辅助设备的运行周期与启停节点。结合主设备作业流程划分精准的用电时段,匹配各工序对应的辅助设备运行方案。工序间歇的空窗阶段及时关停闲置设备,杜绝无作业状态下的耗电行为。标准化的时序管控模式能够大幅压缩无效用电时长,细化用电管控颗粒度,规范辅助设备的整体运行秩

序,有效减少人为管控疏漏带来的能耗损耗。

3.4 管线传输系统的损耗抑制路径

电气管线网络是电能输送分配的核心载体,管线布设形式、线路老化程度、负荷分配结构,都会直接影响电能传输效率与损耗水平。厂区长期生产运行过程中,管线系统会逐步暴露各类运行缺陷。不合理的布线结构会拉长电能传输路径,老旧线路、接头接触不良会增大回路电阻,局部区域负荷集中会加剧线路发热现象。多重问题叠加,会让大量电能传输环节以热能形式散失,造成不必要的能源损耗。自动化监测体系可对全域管线运行状态开展动态排查,持续采集线路压降、表面温度、负荷承载等关键数据,精准定位能耗偏高的管线区段。结合现场实际布局优化布线结构,删减冗余线路,整改老化破损点位,均衡分配各线路承载负荷。全方位的管线优化与管控手段,能够有效抑制传输环节的电能损耗,补齐电气系统节能管控的末端短板,实现电气运行全链路的节能提质^[5]。

结束语

电气自动化节能控制依托多层级系统架构实现全域工况监测与智能调控,通过梳理设备运行的内在控制逻辑,解决参数固化、协同不足、工况失衡、传输损耗等各类用能问题。针对性完善电机拖动、供配电、辅助用电及管线传输多场景的节能控制方式,细化设备动态调控与精细化管理举措,规范电气设备全流程运行状态,持续削减工业生产中的无效能耗,为电气自动化系统高效、低耗、稳定运行提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 吴晓娥. 机械设备电气工程自动化供配电节能控制技术[J]. 办公自动化,2026,31(10):7-9.
- [2] 杨晓艳. 民用建筑机械设备电气工程自动化供配电节能控制分析[J]. 电气技术与经济,2025(7):353-355.
- [3] 孙炜. 建筑机械设备电气工程自动化的供配电节能控制技术分析[J]. 消费电子,2025(1):52-54.
- [4] 丰啸. 建筑机械设备电气工程自动化供配电节能控制分析[J]. 技术与市场,2024,31(4):111-114.
- [5] 徐文靖. 机械设备电气工程自动化供配电节能控制技术分析[J]. 模具制造,2025,25(12):183-185.