

# 电气工程与半导体设备自动化中的智能化技术探讨

康颖 单伟广

上海芯源微企业发展有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5095

**[摘要]** 电气工程与半导体设备自动化正经历智能化转型的深层变革。本文围绕智能感知、协同控制及数据驱动等核心技术路径,系统梳理了智能化技术在两大领域中的融合机理与应用实践。研究指出,智能算法与边缘计算的协同介入,能够有效破解传统电气系统在多变量耦合工况下的调控瓶颈,同时满足半导体制程对精密控制与柔性适配的严苛要求。数据互通、协同管控与状态感知构成融合的三大支柱,推动两个领域从技术叠加迈向深度协同。

**[关键词]** 电气工程; 半导体设备自动化; 智能化技术; 协同控制

中图分类号: TM92 文献标识码: A

## Discussion on Intelligent Technologies in Electrical Engineering and Semiconductor Equipment Automation

Ying Kang Weiguang Shan

Shanghai Xinyuanwei Enterprise Development Co., Ltd.

**[Abstract]** Electrical engineering and semiconductor equipment automation are undergoing a profound transformation toward intelligence. Focusing on core technological pathways such as intelligent sensing, coordinated control, and data-driven methods, this paper systematically examines the integration mechanisms and application practices of intelligent technologies in both fields. The study indicates that the combined application of intelligent algorithms and edge computing can effectively overcome control bottlenecks in traditional electrical systems under multi-variable coupling conditions, while also meeting the stringent requirements of semiconductor manufacturing for precise control and flexible adaptation. Data interoperability, coordinated management, and state perception constitute the three pillars of integration, driving the two fields from simple technological stacking toward deep convergence.

**[Key words]** Electrical Engineering; Semiconductor Equipment Automation; Intelligent Technology; Coordinated Control.

### 引言

电气工程与半导体设备自动化分属不同技术体系,却在工业生产中形成紧密耦合关系。半导体制造对供电品质、环境稳定性及制程精度的要求极高,传统电气控制手段已难以适配日益复杂的工况需求。智能化技术的引入,为两大领域的交叉融合注入了新动能。从智能传感到数字孪生,从机器学习到边缘计算,一系列技术手段正重塑设备运行与制程管控的底层逻辑,成为驱动产业升级的关键力量。

### 1 智能化技术在电气工程与半导体设备自动化中的应用基础

#### 1.1 智能化技术与电气工程的适配性

智能化技术与电气工程的适配性根植于两者技术特性的深度呼应,依托智能算法与感知技术的协同作用,破解传统电气工

程在复杂工况下的调控难题<sup>[1]</sup>。电气工程体系普遍存在多变量耦合、非线性动态及工况时变等特征,传统控制模式依赖固定参数与预设逻辑,难以应对动态运行需求。智能化技术以智能传感、边缘计算及机器学习为核心架构,构建数据驱动的自主调控体系,可高精度采集电流、电压、温度等关键参数,构建设备全息感知体系,实现运行状态的全面实时捕捉。边缘计算技术支撑数据本地化处理,缩短控制响应周期,满足电气系统对实时性的严苛要求。机器学习算法通过对历史运行数据的深度挖掘,建立系统动态模型,实现对非线性特性的精准拟合,完成参数自整定与动态优化,形成感知、决策、执行的完整智能控制闭环,实现技术架构与电气系统层级的高度匹配。

#### 1.2 智能化技术与半导体设备自动化的融合逻辑

智能化技术与半导体设备自动化的融合逻辑围绕精密制程

控制需求展开,以数据贯通与自主决策为核心,实现技术特性与设备运行需求的深度呼应。半导体设备自动化聚焦精密制程控制、多参数协同及微环境稳定性维持,光刻、蚀刻、沉积等多道工序的参数相互关联且敏感波动,传统自动化控制难以实现多维度参数的协同优化。智能化技术打破设备间的数据壁垒,构建全流程数据链,实现从设备单机控制到产线协同调控的跨越。人工智能算法深度嵌入设备控制核心,对工艺参数进行实时分析与动态调整,适配半导体制程的精细化控制需求。数字孪生技术构建设备虚拟镜像,映射物理设备的运行状态与工艺参数变化,为制程优化提供虚拟推演载体,支撑工艺参数的精准迭代,实现智能感知与精密检测、自主学习与工艺迭代的深度呼应。

### 1.3 智能化技术在二者融合中的核心支撑方向

智能化技术为电气工程与半导体设备自动化的融合提供底层技术支撑,搭建跨领域技术协同的核心框架,覆盖数据、控制、运维及拓展四大维度。数据互通支撑依托物联网与工业互联网技术,建立统一数据交互标准,实现电气系统运行数据与半导体设备制程数据的无缝流转,消除信息孤岛,为融合调控提供数据支撑。协同控制支撑通过智能算法的跨领域适配,整合电气动力调控与半导体设备工艺控制逻辑,实现动力供给与制程运行的动态匹配,保障半导体设备稳定运行的同时优化电气能耗配置。状态管控支撑融合智能传感与故障诊断技术,对电气设备及半导体设备进行全生命周期状态监测,捕捉潜在异常特征,形成一体化运维管控体系。柔性拓展支撑凭借模块化智能架构,适配电气工程扩容与半导体制程升级的动态需求,实现系统功能的灵活迭代与拓展,推动两大领域从技术叠加向深度融合转变。

## 2 电气工程中的智能化技术核心方向

### 2.1 电气控制中的智能化技术

电气控制中的智能化技术以数据驱动与自主决策为核心,突破传统控制模式的局限性,实现电气系统控制精度与运行效率的双重提升<sup>[2]</sup>。现场传感监测元件搭配智能运算程序,能够实时对电气运行流程做出动态调校,达成高精度管控效果。依托系统运行产生的各类运行数据完成深度研判,灵活更改设备运行调控参数,适配各类现场作业环境,摆脱固有程序化调控模式带来的使用限制。分散式管控布局弱化集中调控模式存在的运行风险,把各项调控职能划分至不同终端设备,增强整套控制系统运行稳定程度与适配能力。该类技术融入电气管控核心流程后,可精准下达调控指令并及时收集设备运行反馈信息,形成完整运行管控流程,妥善处理传统电气调控存在的反应迟缓、参数适配度偏低等实际问题,保障各类电气设备长期平稳运转。

### 2.2 电气设备运行中的智能化调控技术

电气设备运行中的智能化调控技术聚焦设备全运行周期的动态管理,通过精准感知与智能调节,保障设备运行稳定性,延长设备服役寿命。整套调控体系依靠多元感知装置搭建监测基础,布设高精度传感器件采集电压电流温度振动等核心运行指标,全程掌握设备实时工作状态。系统整理汇总各类监测数值后,依托运算逻辑排查运行异常情况,预判设备后续运行走势,灵活

改动工作参数调整运行状态,规避过载高温等不良工作工况。这类技术还可结合设备实际承载负荷变化规律梳理用能特点,合理规划能源供给方式,有效削减设备作业期间的能源消耗。设备能够依照现场工况自主完成状态调整优化,减少人员现场操作频次,切实提高电气设备日常运维管理的智能化程度。

### 2.3 电气系统的智能化协同技术

电气系统的智能化协同技术聚焦系统内各设备、各环节的协同运作,打破设备间的信息壁垒,构建一体化智能运行体系。工业互联网与物联网手段为该技术落地提供支撑,搭建起系统内部各组成单元的数据互通路径,确保运行数据高效流转、全面共享,为后续协同调控工作提供可靠数据保障。智能协同运算方法整合各设备运行工况与控制需求,实现设备间精准联动与合理负荷调配,规避单一设备过载运行及资源闲置浪费问题。从发电、输电到配电、用电,协同技术全程渗透,实现各环节动态适配、高效联动,进一步提升电气系统整体运行效能与稳定性。

## 3 半导体设备自动化中的智能化技术核心方向

### 3.1 半导体设备的智能化驱动技术

半导体生产所用智能驱动相关技术,主要面向设备动力调控与工况适配开展技术研究。该技术结合电力电子实操原理与现场优化算法,打破旧式驱动控制存在的精度短板,契合芯片生产各类精细加工工序的实际运行标准<sup>[3]</sup>。现场配置高精度驱动硬件单元,搭配现场自适应调控逻辑,可完成运行参数自主修正与动态调配,满足设备高速平稳运转以及高精度位移作业的实际使用标准。设备内置实时数据采集调控回路,及时捕捉动力输出过程中出现的运行误差,依托数据运算完成控制信号微调,规避动力参数波动干扰加工成品品质。合理改良驱动电路整体架构,能够缩减运行过程中的能源损耗,在保障设备运行效能的同时实现能耗管控,契合行业低碳生产发展趋势。该项技术可让动力控制系统贴合实际生产流程运转,切实增强整机运行平稳程度,为高精度半导体加工作业筑牢动力运行基础。

### 3.2 半导体生产流程中的智能化联动技术

半导体行业生产环节应用智能联动手段,可打通各生产步骤与各类加工设备的运行隔阂,消除以往独立作业形成的运行壁垒,搭建覆盖全线的智能统筹管理模式。依托工业网络搭建数据互通渠道,可完成光刻蚀刻沉积等核心制程设备运行信息实时互通。结合现场实际生产工况与工艺标准制定调控逻辑,统筹调配现场设备运转节奏,缩减工序交接产生的闲置时长。全线统一调控生产运行参数,统一各制程工艺执行标准,稳固成品整体品质。该技术还可依据不同品类产品生产标准调整现场作业排布方式,灵活适配多元化定制化生产模式,切实满足当下半导体产业小批量多品类的实际生产诉求。

### 3.3 半导体设备状态的智能化感知技术

半导体设备状态的智能化感知技术以设备全生命周期状态监测为核心,通过多维度感知与数据解析,实现设备运行状态的精准捕捉与异常预警,保障设备稳定运行。智能化感知技术依托高精度传感网络,部署于设备关键部件,全面采集运行过程中的

温度、振动、压力、能耗等关键参数，构建设备运行状态的全息数据画像。感知数据通过边缘计算单元进行实时处理，剔除冗余信息，提取特征参数，精准识别设备运行中的异常迹象与潜在隐患。智能感知系统嵌入趋势分析算法，通过对历史感知数据的深度挖掘，预判设备运行状态变化趋势，提前触发预警机制，为设备运维提供数据支撑。

#### 4 智能化技术在二者融合中的关键技术要点

##### 4.1 信号处理与传输的智能化优化

信号处理与传输的智能化优化是电气工程与半导体设备自动化融合的底层技术支撑，聚焦信号完整性与传输效率的双重提升，破解融合过程中信号干扰、延迟等核心难题<sup>[4]</sup>。智能化优化依托先进信号调理技术，对采集的电气参数与半导体设备制程信号进行降噪、滤波处理，剔除环境干扰与冗余信息，提升信号精准度。采用自适应信号处理算法，动态适配不同类型信号的传输特性，实现信号解析效率的动态优化，满足融合体系对多类型信号的处理需求。传输层面通过优化信号传输链路拓扑结构，结合抗干扰技术，减少电磁兼容问题引发的信号串扰，保障信号传输的稳定性。边缘计算技术嵌入信号处理环节，实现信号本地化快速处理，缩短传输延迟，适配融合体系对实时性的严苛要求，为二者深度融合提供可靠的信号支撑。

##### 4.2 设备联动的智能化协调机制

设备协同运行层面搭建的智能调控体系，是电气设施与半导体加工设备完成一体化运行的关键条件。该调控方式着力统筹两类工业设备同步作业，消除不同设备之间信息传输不畅通以及指令管控脱节等问题。行业组网模式可搭建一体化集中管理平台，汇总电力供给设备与制程加工设备产生的运行信息，完成全域信息互通交互。现场智能运算程序研判设备实时工况与生产作业诉求，合理调配各类生产资源并更改管控方式，让电力输出水准贴合实际加工生产标准。按照作业层级划分管理模式，依据不同协作标准制定对应调控方案，提升整体作业响应水准。系统内置工况自主调节功能，设备工况出现起伏时及时更改协作模式，维持整套作业体系平稳运转，完成设备单独作业向一体化协同作业转变。

##### 4.3 智能化技术的适配与调试技术

智能技术层面的匹配调校工作，直接决定不同设备融合应用所能达到的实际成效。研究工作重点完成智能手段和硬件设备以及整体运行体系的精准对接，妥善处理技术匹配失衡以及现场调校耗时偏多等实际问题。结合电气装置和半导体生产设备实际运行特点调整智能系统整体框架，让运算程序传感组件能够和设备主控单元完成深度对接<sup>[5]</sup>。分体式组建形式可拓宽技术适用范围，满足电气系统扩建以及半导体工艺更新产生的各类变动需求。现场参数校准工作可借助专业运算逻辑完成数值修正，减少人为操作带来的数据偏差，加快整体调校进度。专属智能调试平台可全程采集作业数据偏差，自主拟定合理调校方案，充分发挥智能技术在一体化运行模式里的实际价值，维持整套运行系统长久平稳高效运转。

#### 5 结束语

智能化技术在电气工程与半导体设备自动化中的应用，实现两大领域技术模式的革新，破解传统运行与融合过程中的核心难题。通过优化智能化技术与两大领域的适配性，完善核心技术体系，强化融合过程中的信号处理、设备联动及技术调试，可显著提升系统运行稳定性、精准度与协同效率。梳理相关技术要点与应用逻辑，明确智能化技术在各环节的应用路径，能够为两大领域的深度融合提供清晰技术指引，破解技术适配与协同管控中的痛点，推动相关技术体系不断完善，为产业高质量发展提供坚实支撑。

#### [参考文献]

- [1]刘鹏,张建国.电气工程智能化发展及其挑战[J].电力技术,2023,42(5):98-104.
- [2]孙慧,陈鹏.半导体制造自动化技术现状与未来发展[J].电子科技,2022,40(3):65-72.
- [3]李雪,王志强.智能化技术在设备故障诊断中的应用[J].机械工程学报,2024,58(2):121-128.
- [4]张蕾,周涛.基于大数据分析的电气工程优化控制系统[J].工业自动化,2021,39(10):53-58.
- [5]王倩,刘晨.半导体设备智能化控制系统的应用研究[J].半导体技术,2023,41(4):77-84.