

# 新能源发电与环保设备协同控制的自动化系统设计

孟宪宝

金川集团镍钴股份有限公司粉体材料厂 甘肃 金昌 737100

**【摘要】**：新能源发电在我国能源结构转型中愈发重要，但其功率波动性使发电稳定性与环保达标控制面临挑战。风电、光伏接入电网时，需要与脱硫、脱硝、除尘及 VOCs 治理设备实现协同运行，以确保发电效率和排放稳定。然而，传统环保设备多为独立控制，难以适应新能源工况变化，导致动态排放控制可靠性不足。本文分析了新能源发电与环保设备运行特性差异，提出基于集中控制、实时监测、智能预测与优化调节的自动化系统框架。研究表明，通过构建数据融合平台、功率预测模型与多设备协同算法，可提升系统响应能力与减排效率，促进新能源电站的绿色安全运行。

**【关键词】**：新能源发电；环保设备；协同控制；自动化系统；脱硫脱硝；除尘；运行优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.078

## 引言

我国新能源发电在能源结构调整中占比不断上升，风电与光伏等能源形式在大规模并网背景下对电力系统的稳定性提出挑战。同时，国家“双碳”目标的提出，使电站必须不仅关注发电效率，还要保证污染物排放持续稳定达标。新能源电站通常配备烟气脱硫、脱硝、除尘及 VOCs 治理等环保设备，但由于新能源发电功率具有随机性与波动性，其负荷变化会直接影响环保设备的处理效率，造成污染物排放可能出现阶段性超标。因此，从系统工程视角构建发电系统与环保设备之间的协同控制机制，成为提升新能源电站绿色运行能力的重要技术路径。

目前大部分新能源电站采用相对独立的控制方式，即发电系统与环保设备分别根据自身运行逻辑控制，与外界信息交换有限。这种控制模式在负荷变化不大的传统火电中问题不明显，但在风能、光伏发电功率快速波动的情况下，环保设备难以实时响应，导致脱硫液配比滞后、脱硝喷氨量不匹配、除尘效率下降及 VOCs 治理吸附饱和等问题。因此，如何在新能源发电条件下实现环保设备的动态适配与智能调节，是推动新能源电站清洁化运行必须解决的工程问题。本文从系统结构、控制原理、协同机制及工程应用等方面展开研究，提出自动化系统设计方法，为新能源与环保设备一体化运行提供理论支持与工程参考。

## 1 协同控制的系统需求分析

### (1) 新能源发电系统运行特性与波动性需求

新能源发电系统的输出具有明显的时变性。风电受风速变化影响剧烈，而光伏发电影响因素包括太阳辐照度、云层遮挡、温度变化等，使其不同时间尺度上均表现出显著的不确定性。这种不稳定性不仅影响电站并网质量，也会波及环保设备的运行工况。例如，在光伏发电功率突然提升时，电站整体烟气量

可能随储能系统转换策略而发生变化，使脱硫塔液气比偏离设定范围，引起吸收效率下降；风电在低风期发电量降低时，烟气温度与流量变化可能导致脱硝反应不完全，生成氨逃逸现象。新能源的随机性导致环保设备难以长时间维持最佳工况，因此需要实时监测、快速调整与动态负荷匹配策略，以保证整体运行的稳定性。

新能源发电系统在负荷快速变化阶段对控制系统的响应速度提出更高要求。在传统控制模式中，环保设备往往依赖人工经验调整，而这种方式难以满足新能源电站对毫秒级响应速度的要求。基于实时数据流的自动化控制系统能够实现对烟气参数、设备温度、流量、压力与化学反应等多维数据的实时采集与分析，进而保证环保设备在负荷变化时迅速进入稳定区间。此外，新能源发电的间歇性使设备频繁启停，设备磨损增加，因此需要构建能够适应循环工况的协同控制逻辑，以提升电站系统的整体运行寿命。

### (2) 环保设备的运行机理与协同需求

环保设备主要包括脱硫、脱硝、除尘与 VOCs 治理系统，各设备对烟气流量、成分及温度具有严格的工况要求。脱硫设备中石灰石浆液的供给量依赖烟气  $\text{SO}_2$  浓度与流量，而  $\text{SO}_2$  浓度在新能源负荷波动过程中呈现动态变化；脱硝系统通常依赖氨喷射控制，其喷射量需要根据烟气温度与流量实时调整，否则会出现氨逃逸或反应不足；除尘设备如电袋复合除尘器需要维持稳定电场与阻力控制，而烟气量的不稳定易导致电场电压波动；VOCs 治理设备在吸附材料饱和后必须及时切换，否则净化效率会骤降。

环保设备的调节具有耦合性，例如脱硫塔液气比的变化会影响烟气湿度，而湿度又会影响到除尘与脱硝效率。因此，在动态工况下单设备控制难以实现协同优化，需要系统级控制策略来保证各设备在负荷变化时保持协调一致的反应速度、处理效

率和运行稳定性。从系统工程角度看,环保设备不仅需要跟随发电系统的实时变化,还必须在不确定环境中根据不同的排放标准与负荷特性实现自适应调节。

### (3) 协同控制自动化系统的必要性

在新能源发电场景下构建自动化协同控制系统具备显著必要性。一方面,环保设备对工况变化高度敏感,若不能实现快速调节,容易造成瞬时排放超标,削弱新能源电站的绿色优势。另一方面,环保设备运行成本较高,包括石灰石用量、氨喷射量、除尘系统能耗等,自动化系统可以通过精准控制有效降低消耗,从而提升经济效益。此外,协同控制系统能够减少人工干预,提高设备运行的稳定性与安全性,避免因人工调整滞后造成的大范围系统性能下降。自动化系统还能够通过数据积累形成可持续优化机制,为长期运行提供支持。

## 2 协同控制自动化系统的设计架构

### (1) 系统整体结构与功能分层

执行层包括调速风机、调节阀、喷氨系统、浆液循环泵、除尘极板振打装置、吸附材料切换机构等执行部件,其任务是根据控制指令快速、准确地调整工况。通过多层结构划分,系统实现从采集、分析到执行的全链条控制闭环。同时,为适应新能源发电的快速波动性,系统设计中需加入预测控制模块,使控制层能够提前对可能的负荷变化作出反应,提高整体响应效率。

系统结构设计还应考虑设备的冗余配置与网架稳定性,如关键监测点需双传感器布局、通信网络采用双通道冗余设计、控制平台配置备份服务器等,以提高系统可靠性。通过集中控制平台实现环保设备运行状态可视化、报警统一管理与运行趋势分析,为运维人员提供必要的辅助决策功能。

### (2) 实时监测与数据融合平台的构建

针对新能源发电系统瞬态变化快、工况复杂的特点,协同控制系统必须建立完善的数据融合平台,以实现发电侧与环保设备侧的全量数据统一管理。数据融合平台需实现跨系统、跨设备的数据同步,将风速、辐照度、发电功率与烟气温度、流量、SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>浓度、颗粒物含量等参数纳入统一数据池,通过时间戳与采样频率同步方式保证数据的准确性。

平台利用大数据处理框架实现多维数据清洗、降噪、补偿与结构化处理,形成可用于模型预测、反馈控制与趋势判断的标准化数据流。在此基础上,可构建多变量关联分析模块,通过分析烟气成分变化与功率波动的对应关系,建立发电侧与环保设备间的耦合参数矩阵,为后续的控制算法提供基础。

此外,数据平台需具备边缘计算能力,以便在网络延迟或

云端不可用时仍能实现关键控制逻辑的本地快速执行。平台还应支持历史数据建模能力,通过储存长期运行数据实现设备状态评估、腐蚀预测、吸附材料寿命预测等功能,为系统的预知性维护提供依据。

### (3) 协同控制算法与优化策略设计

协同控制系统的核心在于控制算法的设计,包括模型预测控制(MPC)、自适应控制、模糊控制、规则库控制与多目标优化控制等方法。模型预测控制基于系统状态空间模型,对未来工况进行预测并生成最优控制动作,特别适合新能源发电这种快速变化系统;自适应控制方法能够在设备老化或环境变化导致模型偏差时保持控制性能;模糊控制方法适用于经验丰富但数学模型难以建立场景;多目标优化控制方法可以在脱硫效率、喷氨量、电耗等多个指标之间寻找平衡。

协同控制算法需要处理多个设备之间的耦合问题。例如,在脱硫过程中提高浆液循环量有助于提高SO<sub>2</sub>去除率,但会增加除尘系统的湿度负荷;脱硝喷氨量增大可提高脱硝效率,但氨逃逸会影响后级除尘设备。因此,算法必须通过多模型协同计算,通过加权控制、优先级调度与自适应调整实现系统整体最优。

## 3 协同控制系统的核心技术

### (1) 新能源发电与环保设备运行预测技术

预测技术是协同控制的重要组成部分。新能源发电预测包括风速预测、辐照度预测、短期功率预测等,通过时间序列模型、神经网络模型或物理模型实现。在环保设备中,预测技术用于环境负荷预测、吸收效率预测、反应速率预测与吸附材料寿命预测。预测模型通过结合实时数据与历史数据构建,可用于提前调整设备参数。

例如,在风电场中,当预测未来五分钟风速将快速上升时,系统可以提前调节脱硫浆液比、喷氨量与除尘电压,以保证负荷上升时系统已处于最佳工况,避免反应滞后引起排放异常。预测模型还可用于优化设备启停策略,减少设备疲劳损伤。

### (2) 协同控制中的通信技术与网络安全

协同控制系统必须依赖高可靠通信网络实现高速数据传输,因此工业以太网、5G专网、无线传感器网络(WSN)与边缘计算节点构成通信基础设施。通信系统需具备低延迟、高带宽与高抗干扰能力,以确保实时性要求。

网络安全是系统设计的另一核心问题。新能源电站与环保设备均涉及关键基础设施,必须防范恶意攻击、非法访问与数据篡改。系统需采用多层安全机制,包括身份认证、加密传输、网络隔离、防火墙与安全监测策略,确保协同控制系统的运行

安全。

### (3) 环保设备快速响应与自适应调节技术

环保设备的快速响应能力是决定排放稳定达标的关键。例如脱硝喷氨系统需在毫秒级完成喷射量调节，以适应负荷变化；脱硫塔需通过调节浆液流量与喷淋分布实现及时调节；除尘设备需在电压波动时维持稳定电场。

自适应调节技术通过实时监测烟气参数与设备状态，根据当前设备性能自动调节控制参数，特别适合长期运行后设备性能衰减的场景。例如喷氨系统可通过实时监测 NO<sub>x</sub> 浓度误差自动调整喷射曲线；除尘设备可根据阻力变化自动优化振打频率。

## 4 协同控制系统的工程应用与案例分析

### (1) 风电场与脱硫系统的协同控制应用案例

某沿海风电场采用海上风电与岸基环保设备协同运行结构。在风速变化较大时期，烟气流量变化频繁，引起脱硫浆液比难以稳定。通过应用协同控制系统，发电预测模型提前识别风速变化趋势，自动调整脱硫塔循环泵转速，保持液气比稳定。系统运行后 SO<sub>2</sub> 排放波动幅度降低 40%，脱硫效率提升 8%。

### (2) 光伏电站与脱硝系统协同控制应用案例

在某光伏电站中，云层遮挡造成发电量急剧波动，导致烟

气温度短时下降，脱硝反应效率降低。协同控制系统通过温度预测模块提前通知脱硝系统调整喷氨策略，使喷氨量提前适配未来工况。在运行测试中，NO<sub>x</sub> 排放稳定性提高 25%，氨逃逸量减少 12%。

### (3) 新能源综合电站的多设备协同优化应用

在一个集风电、光伏与储能于一体的综合电站中，系统集中调度环保设备，根据多能源发电曲线实时调整脱硫、脱硝、除尘与 VOCs 系统的运行参数。通过部署统一数据平台与多目标优化算法，实现了整体运行的自动化、智能化与低能耗化。运行数据显示系统整体排放达标率超过 99%，运行能耗降低 15%。

## 5 结语

新能源发电的快速发展与环保要求的严格提升，使发电系统与环保设备协同控制成为新能源电站自动化系统设计的关键方向。研究表明，通过构建多层自动化架构、实时监测系统、数据融合平台、预测模型与协同优化算法，有助于显著提升环保设备响应能力，保证排放稳定达标，并提高系统整体运行效率。未来，随着人工智能、数字孪生以及边缘计算等技术的不断发展，协同控制系统将朝着更高精度、更强智能化与更高可靠性的方向演进。新能源电站不仅需实现发电效率最大化，更需实现绿色、环保与可持续运行，通过协同控制系统的深度融合，将有效推动清洁能源在未来能源体系中的核心地位。

## 参考文献：

- [1] 陈伟. 电池储能技术在新能源发电系统中的应用与优化[J]. 电力设备管理, 2024, (24): 138-140.
- [2] 陈卫. 新时代新能源发电场站电力二次系统安全防护研究[J]. 光源与照明, 2024, (12): 219-221.
- [3] 刘颖. 新能源发电企业融资现状与发展对策[J]. 煤炭经济研究, 2024, 44(12): 179-185.
- [4] 王轶辰. 合理保障新能源发电收益[N]. 经济日报, 2024-12-26(006).
- [5] 姜洪浪, 王爽, 汪龙峰, 等. 新能源发电典型波动工况下动态电能计量算法研究[J]. 电力信息与通信技术, 2024, 22(12): 69-76.