

工商业屋顶分布式光伏并网发电项目 10kV 并网接入防逆流技术研究

赵志敏

天合富家能源股份有限公司, 江苏 常州 213000

摘要: 针对工商业屋顶分布式光伏 10kV 并网中的逆流问题, 本文结合《光伏发电系统接入配电网技术规定》(GB/T 29319-2024) 和《河南省建筑光伏系统应用技术标准》(DBJ41/T 136-2025) 等最新技术规范, 提出了一套集实时监测、柔性调节、硬件保护于一体的综合防逆流解决方案。通过分析冀东水泥凤翔项目与内蒙古白家海子煤矿项目的实际案例, 重点探讨了防逆流系统架构、控制策略、工程实施要点及效能评估。实践证明, 该方案能够在不影响电网安全的前提下, 最大化光伏发电自用率, 为同类工商业分布式光伏项目的设计与实施提供了技术参考。

关键词: 分布式光伏; 10kV 并网; 防逆流; 能量管理系统; 柔性调节

0 引言

随着“双碳”目标的深入推进, 工商业屋顶分布式光伏因其建设周期短, 就地消纳能力强等特点, 已成为能源转型的关键路径^[1]。然而, 光伏发电的间歇性和波动性使得其出力可能超过本地负荷需求, 导致电能向电网反向输送, 即“逆流”。逆流会引起配电网电压越限、保护装置误动、电能质量恶化等一系列问题, 严重威胁电网的稳定运行与设备安全^[2]。

为此, 国家能源局发布的《分布式光伏发电开发建设管理办法》明确规定, 6MW 及以上的分布式光伏要求全部自发自用, 6MW 以下的分布式光伏也普遍要求采用“自发自用、余电不上网”的模式。因此, 研究和应用高效的防逆流技术, 已成为保障分布式光伏规模化健康发展的关键技术环节^[3]。

在分布式光伏快速发展的背景下, 逆流问题日益凸显其严峻性。据研究, 逆流现象不仅导致配电网电压波动范围超过 $\pm 10\%$ 的国标限值, 还可能引发继电保护装置误动作, 造成局部停电事故^[4]。此外, 电能质量下降如谐波污染和频率偏移, 进一步影响敏感负荷的正常运行, 增加运维成本。为应对这些挑战, 本文聚焦于防逆流技术的系统化设计与实现, 通过架构优化和控制策略创新, 提升光伏系统的安全性与经济性。本文基于两个典型的工商业项目案例, 对 10kV 电压等级并网的防逆流技术方案进行深入探讨, 以期为行业提供一套经过工程验证的解决方案。围绕系统分层结构、主从机协同机制及柔性调节策略展开, 并结合实际工程案例, 评估技术方案的可行性和效能, 为行业规模化应用提供理论支撑与实践参考。

1 防逆流系统架构设计

1.1 系统分层结构

防逆流系统物理上采用分层分布式架构, 确保系统的可靠性、可扩展性与易维护性, 主

要包括设备层、网络通信层和站控层:

设备层: 作为系统的“感官与手脚”, 包括逆变器、防逆流保护装置(如 AM5SE 系列)、电能计量装置等, 负责实时数据采集和执行控制指令。

网络通信层: 作为系统的“神经网络”, 采用光纤、以太网等通信介质, 支持 Modbus TCP、IEC 60870-5-104 等通信规约, 确保数据传输的实时性和可靠性。

站控层: 作为系统的“大脑”, 部署 Acrel-2000MG 微电网能量管理系统或 AcrelEMS 3.0 智慧能源管理平台, 实现数据采集、运行监视、策略配置和远程控制, 提供可视化的人机交互界面。

1.2 主从机协同保护机制

对于并网点分散或距离逆流采样点较远的项目, 单一的保护装置难以满足要求, 本方案采用主从机协同的保护机制^[4]。

主机定位: 在电网的 10kV 进线处配置防逆流主机(AM5SE-PVM), 实时监测并计算点的双相功率(P_{pcc})。

从机分布: 在各光伏并网柜处配置防逆流从机(AM5SE-PVS2), 负责接收主机指令, 执行对应并网断路器的分闸操作。

可靠通信: 主机与从机之间通过多模光纤连接, 具备传输距离长、抗电磁干扰能力强的优点, 保障了控制信号的实时性与可靠性。

表 1: 防逆流保护装置选型指南

应用场景	推荐装置	通信方式	主要功能
并网点与逆流检测点距离 $\leq 200m$	AM5SE-IS	电缆 / 网线	逆功率跳闸、低功率保护
并网点与逆流检测点距离 $>200m$	AM5SE-PVM / AM5SE-PVS2	多模光纤	主从机协同、四段低功率保护

1.3 系统组网方案

根据项目规模和保护要求, 可选择不同的组网方案:

单进线单并网点: 采用 AM5SE-IS 防逆流保护装置直接监测并控制。

单进线多并网点(距离 $>200m$): 采用 AM5SE-PVM 主机与 AM5SE-PVS 从机组合, 最多支持 1 主 5 从。

多进线多并网点: 采用 AM5SE-PVM 主机与 AM5SE-PVS2 从机配合, 支持 1 个主机带 5 个从机, 1 个从机接 4 个主机。

2 防逆流控制策略与实现逻辑

本方案的核心在于一套分级、协同的控制策略, 其优先采用柔性调节, 并以硬件保护作为最终后备。

2.1 柔性调节策略

柔性调节是系统的首选及主要调节方式, 也是防逆流系统的核心功能, 通过能量管理系统动态调整光伏出力, 实现“零逆流”目标:

实时功率监测系统持续监测市电进线处的功率 P_{pcc} 和逆功率 PF , 当检测到逆功率 ($PF < 0$ 即出现逆流) 时, 启动调节逻辑。

有功功率调节

阈值判断与功率分配: 系统将检测到的逆流功率与设定阈值 P_1 (通常为额定电流的 2% ~ 5% 对应的功率) 进行比较, 若 $|P_{pcc}| \leq |P_1|$

(P_1 为设定阈值), 能量管理系统则根据各台在线逆变器的当前出力比例, 计算出需要下调的功率值或百分比, 调节方式支持百分比调节或绝对值调节, 系统根据逆变器当前状态智能选择。

指令下发与闭环校验: 系统通过通信网络向所有运行的逆变器下发有功功率调节指令。指令执行后, 系统等待一个数据刷新周期, 再次采集 P_{pcc} 进行校验。若逆流仍未消除, 则启动新一轮的调降, 形成一个闭环控制, 直至逆流现象消失。

多并网点协调控制在多个并网点的情况下, 系统根据各点功率比例分配调节任务, 避免局部过调或欠调。

2.2 硬件保护后备机制

当通信中断、能量管理系统故障或逆流功率瞬间剧增超出柔性调节能力时, 硬件保护装置作为保障系统安全的最后一道防线和后备保护措施立即启动。

紧急跳闸: 若 $|P_{pcc}| \geq |P_1|$ 且 $PF < 0$ 持续超过设定时限, 防逆流主机会直接通过光纤向所有从机发出跳闸信号, 从机随即驱动断路器分闸, 强制光伏系统脱离电网。

自动恢复: 当故障排除且电网条件稳定后, 可由运维人员在能量管理系统上远程执行合闸指令, 恢复系统运行。防逆流控制的核心逻辑流程如图 1 所示。

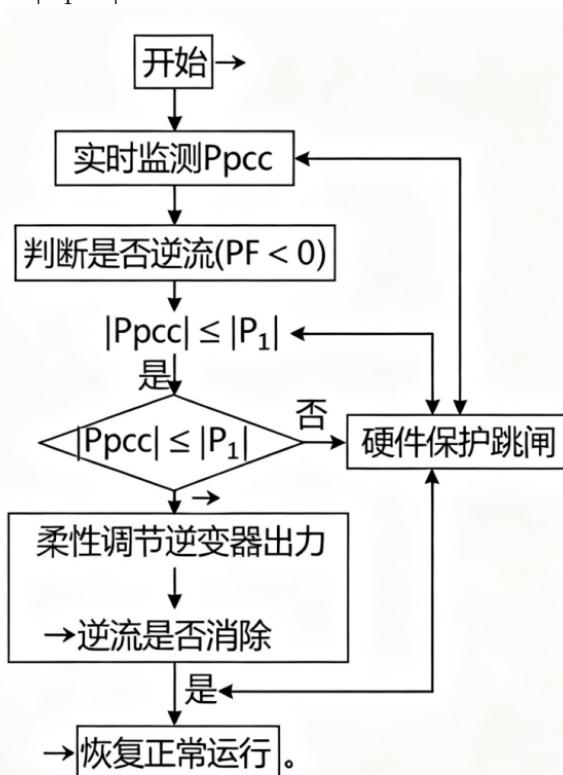


图 1 防逆流控制逻辑流程图

2.3 国家标准要求

根据《GB/T 50865-2013 光伏发电接入配

电网设计规范》^[5] 和《GB/T 29319-2012 光伏发电系统接入配电网技术规定》, 当检测到逆向电流超过额定输出的 5% 时, 光伏发电系统

应在 2s 内自动降低出力或停止向电网线路送电。

国家标准规定,当电网频率偏差超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 或电压波动超出 $\pm 10\%$ 时,光伏系统须在 0.2s 内调节或脱网,以防止冲击。系统须具备实时监测和记录功能,确保保护动作可追溯,并验证响应时间符合要求。这些规定指导防逆流控制策略,提升电网兼容性和可靠性。

标准还要求系统在电网扰动时具有协调保护机制,主保护失效时自动切换备用,脱网后快速自恢复。例如,电压波动时需调整逆变器功率,确保调节平滑。数据记录需保存时间至少一年,支持远程查询分析,以强化容错能力,推动硬件和软件优化,提升系统稳定性和合规性。

3 关键技术问题与解决方案

3.1 通信延迟与可靠性

在远距离、多节点场景下,通信延迟可能影响调节响应速度。解决方案包括:

采用光纤通信,提升传输速率与抗干扰能力;

设置本地从机执行紧急跳闸,不依赖主站响应;

通信中断时自动切换至硬件保护模式。

3.2 逆变器兼容性与调节精度

不同厂商、型号的逆变器在通信协议与调节响应上存在差异。系统应支持:

多协议适配 (Modbus、IEC 61850 等);

调节指令的滤波与容错处理;

实时反馈与闭环校正,确保调节精度。

3.3 系统容错与自恢复能力

防逆流系统须具备高可靠性,包括:

- 软件系统冗余设计;
- 硬件装置双重配置;
- 故障后自动恢复功能;
- 远程维护与在线升级能力。

4 工程实施与效能评估

4.1 工程实施要点

4.1.1 设备安装与接线

所有线缆、设备需符合防雷、接地标准;

- 通信线路应屏蔽处理,避免电磁干扰;
- 防逆流保护装置应按图纸正确接线。

4.1.2 系统调试

系统上线前需进行联合调试,验证调节与保护逻辑;

出具系统调试工作确认函,明确各方责任与调试条件。

4.1.3 运维保障

- 建立实时报警机制,支持短信、语音等

多种通知方式;

- 定期进行系统自检与策略优化;
- 保存历史数据,便于故障追溯与性能分析。

4.2 效能评估

通过实际项目应用,本文提出的防逆流方案取得了显著效果:

零逆流运行:在冀东水泥凤翔项目中,实现了全自动无人值守运行,确保了零逆流并网;

高发电效率:通过柔性调节,最大限度利用光伏发电,自用率提高 15% ~ 25%;

快速响应:从逆流检测到调节完成,系统响应时间小于 2 秒,满足国家标准要求。

表 2: 某啤酒厂项目防逆流系统效果对比

指标	实施前	实施后	提升幅度
逆流发生次数	平均 3 ~ 5 次/天	0 次	100%
光伏自用率	65%~70%	85%~90%	约 20%
系统响应时间	无专项控制	<2 秒	符合国标

5 结论与展望

本文通过两个典型工商业屋顶分布式光伏项目的分析,系统阐述了 10kV 并网接入中防逆流技术的系统架构、控制策略与工程实践。

研究表明:

技术有效性:柔性调节 + 硬件保护分层协同策略的综合方案是当前最可靠、最高效的防逆流技术路径,既能确保电网安全,又能最大限度保障光伏发电收益。

工程适用性:主从机协同 + 光纤通信的架构可有效解决大型工商业园区中并网点分散、传输距离长、多节点场景下的控制技术难题,具备广泛的工程适用性。

系统智能化:可视化的能量管理系统是实现精准监控、智能分析和高效运维的关键,大幅提升了项目的运营管理效率。

展望未来,随着人工智能与边缘计算技术的成熟,防逆流技术将向着预测性控制和多能协同的方向发展。通过 TiDE 等算法^[6]对负荷和发电进行精准预测,提前调整发电计划,实现从“被动防治”到“主动优化”的演进,最终构建安全、高效、智能的“源 - 网 - 荷 - 储”一体化微电网系统。

防逆流技术与储能系统的深度融合将成为重要趋势,储能装置可平滑光伏发电波动,在逆流风险时储存电能、负荷高峰时释放,提升能源效率和系统稳定性。物联网技术普及将增强远程监控与运维能力,运维人员实时掌握状态、及时处理问题,降低运维成本,提高可靠性。未来,防逆流技术将在更多领域应用,为构建绿色、低碳、智能能源体系贡献力量。

参考文献:

- [1] 杨志银.新能源发电“自发自用、禁止余电上网”模式下的防逆流安全自动控制装置的应用研究[J].太阳能,2021,(01):78-84.DOI:10.19911/j.1003-0417.tyn20200305.02.
- [2] 林俊,贡晓旭,高丽萍,等.高渗透率分布式光伏接入的配电网台区防逆流调控技术[J].电工技术,2025,(16):130-135.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2025.16.034.
- [3] 全国城市工业品贸易中心联合会.工商业屋顶光伏系统应用方法: T/QGCML 2018-2023[S]. 2023.
- [4] 杨海晶,石光,赵勇,等.一种应用于分布式发电并网接入防逆流智能检测方法: CN103779834A[P]. 2014-05-07.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.光伏发电接入配电网设计规范: GB/T 50865-2013 [S]. 北京:中国计划出版社, 2013.
- [6] Babayomi O, Zhang Z, Dragicevic T, et al. Smart grid evolution: predictive control of distributed energy resources—a review[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2023, 147: 108812.
- [7] 安科瑞电气股份有限公司.光伏防逆流双重保障方案: ACCU-100 动态调节 +AM5SE 硬性保护 [Z]. 2025.

作者简介: 赵志敏(1989.5—),汉族,男,河南省新郑市,本科,工程师,研究方向:新能源发电及电气工程。