

一次调频控制系统

从“单纯发电”到“主动调节”

杭州领祺科技有限公司
<http://www.linkqi.cn>

2026年04月





01 项目背景

深入解析为何一次调频已成为光伏电站并网运行的刚性需求。



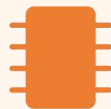
02 政策支持

梳理国家合规并网政策，明确一次调频是电站“硬通货”。



03 应用场景

展示系统在实际电站运行中的调频响应表现与实战价值。



04 产品介绍

详细拆解PFCS-3000B的软硬件架构与核心组件。



05 系统优势

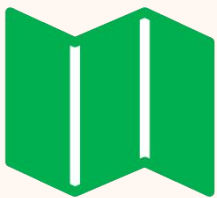
总结毫秒级响应速度、高精度调节等核心技术亮点。



06 项目实例

项目现场一次调频场景展示。

1.1 项目背景：为何光伏电站需要一次调频？



双碳目标驱动
保障电网安全

核心挑战：高比例新能源并网的系统冲击

在“双碳”战略下，光伏、风电等新能源装机占比大幅提升。与传统火电不同，光伏电站通过电力电子变流器并网，本身不具备旋转惯量和一次调频能力。

当电网发生功率缺额导致频率跌落时，缺乏一次调频能力的光伏电站无法快速响应，可能加剧频率波动，威胁电网安全稳定运行。因此，为光伏电站配置一次调频功能已成为行业刚需。一次调频是光伏电站保障电网安全、实现大规模并网的必要技术手段。

一次调频控制系统 是指当电力系统频率偏离额定值时，发电机组通过调速器的自动调节作用，增减发电机的出力，以维持系统频率稳定的过程。它是电力系统的一种自然响应机制，不需要人工干预，能够快速响应系统频率的变化。

1.2 项目背景：新型电力系统的结构性挑战

核心痛点：新能源系统替代传统能源系统带来的稳定性冲击

01 系统惯量急剧下降

传统火电/水电具备巨大旋转质量，为电网提供天然“飞轮”效应。新能源通过逆变器并网，无转动惯量。随着替代率提升，部分区域电网惯量降幅超40%，抗扰动能力大幅减弱。

02 频率波动加剧

光伏/风电出力受天气影响具有强间歇性与随机性，直接冲击供需平衡。在低惯量系统中，频率偏离额定值（50Hz）的幅度与速率显著增加，威胁电网安全。



惯量缺失危机

从“同步机电网”向“电力电子化电网”转型的核心矛盾



频率稳定风险

功率波动直接传导至频率，低惯量下调节难度指数级上升

1.3 项目背景：行业核心痛点分析

四大挑战

01 电网安全风险剧增：频率越限事件2025年多达上百起，威胁电网稳定，易引发大面积停电事故。

02 并网合规性压力：国家政策强制要求光伏电站具备一次调频能力，不达标将面临限发、罚款甚至无法并网风险。

03 传统调频资源不足：火电灵活性改造成本高、响应慢，新能源自身调频能力开发成为弥补调节缺口的关键。

04 巨大的经济损失：频率波动导致精密制造次品率上升、数据中心宕机，经济损失巨大。



破局关键：提升调频响应能力



安全防线



合规门槛



效益保障

ICS 27.180
CCS F 12



中华人民共和国国家标准

GB/T 19964—2024
代替 GB/T 19964—2012

光伏电站接入电力系统技术规定

Technical requirements for connecting photovoltaic power station to power system

2024-03-15 发布

2024-03-15 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

4.3 一次调频

4.3.1 光伏电站一次调频功能应符合 GB/T 40594、GB/T 40595 的规定。一次调频功能可按照电力系统调度机构的指令启动与停用。

4.3.2 当电力系统频率偏差超出一次调频死区范围时，光伏电站应按照公式(1)调整有功功率输出。

3

GB/T 19964—2024

$$\Delta P_1 = -K_f \times \frac{f_t - f_N}{f_N} \times P_N \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔP_1 ——光伏电站有功功率变化量，单位为兆瓦(MW)；

K_f ——有功调频系数；

f_t ——电力系统频率，单位为赫兹(Hz)；

f_N ——电力系统额定频率，单位为赫兹(Hz)；

P_N ——光伏电站额定有功功率，单位为兆瓦(MW)。

4.3.3 一次调频的有功调频系数、死区范围应根据所接入电力系统的频率调节特性，由电力系统调度机构确定，有功调频系数的取值范围宜为 10~50，死区范围宜为±(0.02 Hz~0.06 Hz)。

4.3.4 当电力系统频率大于 50 Hz 时，光伏电站有功功率减少的幅值限制宜不小于 10% 额定有功功率。

4.3.5 当电力系统频率小于 50 Hz 时，光伏电站有功功率增加的幅值限制宜不小于 6% 额定有功功率。

4.3.6 一次调频有功功率响应的滞后时间应不大于 1 s，上升时间应不大于 5 s，调节时间应不大于 15 s，一次调频达到稳定时的有功功率调节偏差应不超过额定有功功率的±1%。

4.3.7 光伏电站应设置一次调频功能的启用状态信号、动作状态信号，并将信号上传至调度监控系统，启用与停用功能可通过本地或调度监控系统远程控制。

华东区域电力安全生产委员会文件

华东监能安全〔2025〕96号

华东区域电力安全生产委员会关于开展华东
区域新能源及新型并网主体一次调频功能
规范化建设运行专项工作的通知

华东区域电力安全生产委员会各成员单位：

近年来，随着华东区域新能源迅速发展，常规机组调节能力占系统总装机比例快速下降，新能源及新型并网主体一次调频实际调用性能与投用量远小于常规机组。华东区域同步电网频率为全网统一的电气量，但是区域内各省（市）新能源及新型并网主体一次调频功能参数规定范围并不统一，一次调频功能建设和投入率不足，难以适应华东区域同步电网频率统一控制的要求。从

2.2 政策支持：合规并网的“硬通货”



国家政策强制要求

发改委与能源局明确规定，新能源场站需具备一次调频能力，未达标项目将面临并网限制。



并网验收核心指标

一次调频响应速度与调节精度是电网验收的“一票否决”项，是项目顺利投运的技术底线。



电力市场收益保障

满足一次调频性能指标是参与辅助服务市场交易、获取额外调频补偿收益的准入门槛。

核心洞察：配置一次调频控制系统，是新能源项目合规并网与收益最大化的必要前提

3.1 应用场景 | 一次调频系统的实战价值



电网频率精准调控

实时监测电网频率微小波动，毫秒级响应调度指令，快速平抑偏差，将频率稳定在标准范围内，保障电网运行安全。



一次调频极速响应

突破传统调节速率限制，响应速度提升50%以上，有效避免频率越限风险，大幅提升一次调频动作成功率与调节质量。



节能增效与收益提升

智能优化机组调节策略，减少能源损耗，最大化利用调节性能获取调频补偿收益，实现电网安全与经济效益的双赢。

3.2 一次调频控制系统的四大核心应用场景

从应急响应到资产增值，全维度赋能光伏电站价值提升

01 应对电网大扰动·应急消防员

毫秒级响应重大扰动，快速填补功率缺口，抑制频率跌落，为系统恢复争取黄金时间。

02 平抑出力波动·稳定电网心跳

结合储能平滑光伏出力，将并网波动控制在极小范围，避免对电网造成冲击。

03 辅助服务市场·收益新蓝海

提供调频服务获经济补偿，度电收益增加0.03-0.05元，显著提升项目回报率。

04 存量电站改造·提升资产价值

对存量电站进行技术改造，是提升合规性、增强市场竞争力的关键举措。



应急响应护航

防止频率崩溃 稳定系统



出力平滑控制

降低波动冲击 稳定电网



收益多维增长

获取辅助补偿 增加回报



资产价值重塑

存量改造升级 合规增效

4.1 一次调频控制系统技术原理图

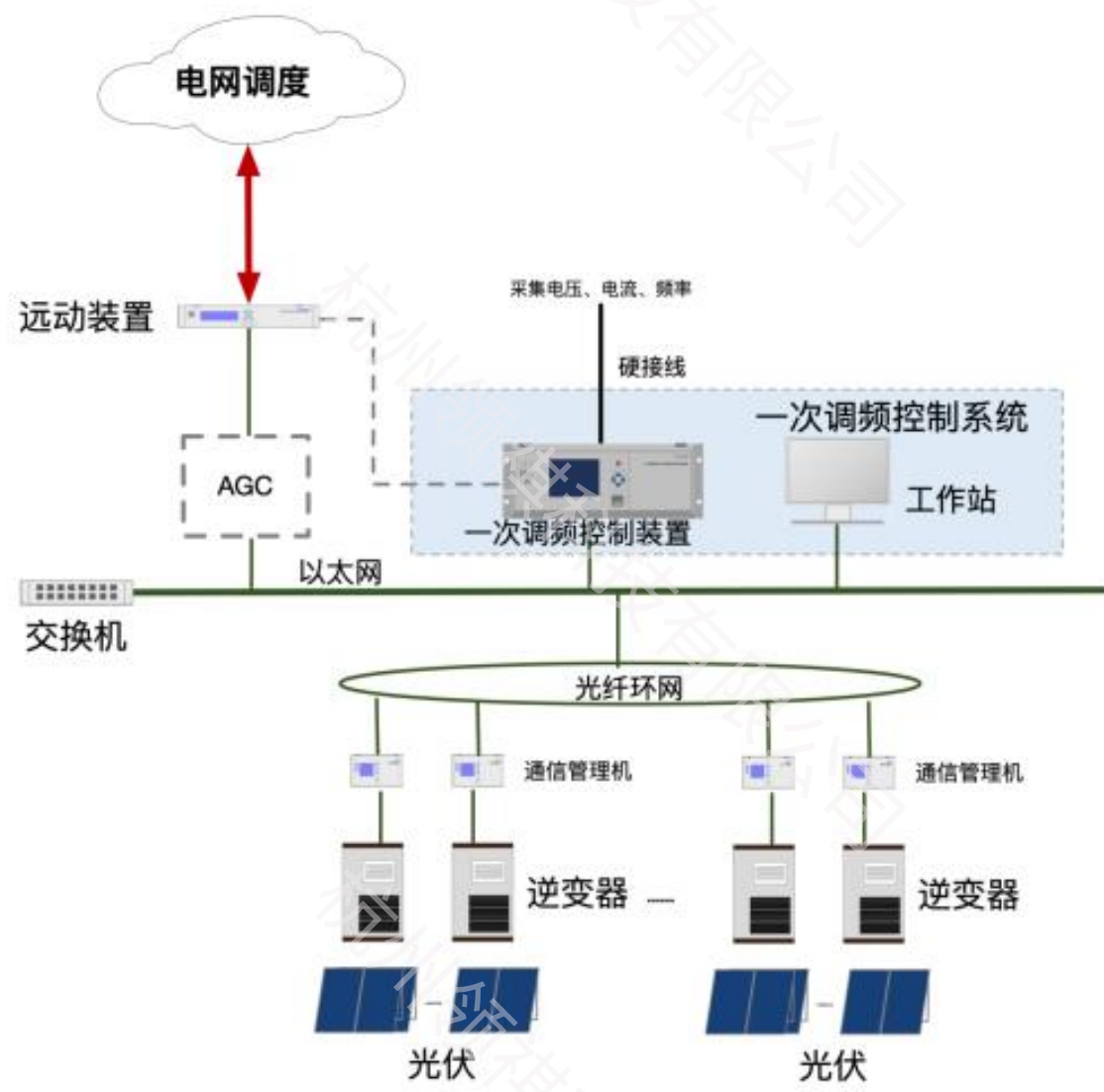


图 1： 一次调频系统技术原理图

4.2 产品介绍

一次调频终端PFCS-3000B

PFCS-3000B 一次调频控制终端是基于 ARM64 架构，采用国产处理器芯片，国产麒麟操作系统，支持电力多种通信协议采集与转发，满足电力调度应用要求，南向可以采集来自远动机，规约转换器、通讯管理机、逆变器数采、保护装置、逆变器等智能设备的数据，同时进行自动快速频率响应控制的功能，可实现与 AGC 系统协调控制，满足电网规定对控制指令叠加或闭锁控制逻辑的要求，满足电网公司对新能源电站一次频率响应功能的要求，同时系统具有友好的人机界面，可通过监控界面实时监测功率跟踪曲线及逆变器运行状态。

规格参数： RK3568J处理器 2.0GHz，2G内存（可扩展），16G存储，VGA，6网4串，8路DI，4路DO，1路CAN，支持B码对时，双电源带失电告警。

支持协议： IEC104等主流协议。

操作系统： 国产凝思/麒麟系统。

探针： 可选探针，支持接入网安。

加固： 默认已加固处理，快捷、高效处理加固问题。

主要功能： 快速频率响应、惯量响应、协调控制。

应用场景： 10KV及以上光伏、风电、水力发电站。

检测报告： 权威机构-国网电科院检测报告。



一次调频机柜

一次调频终端



4.3 一次调频系统解决方案



五大部分协同工作，构建稳定高效的调频闭环

1. 控制终端 PFCS-3000B

系统“大脑”，毫秒级处理，支持冗余配置，负责实时监测与指令下发。

2. 管理服务器

数据中心，存储历史数据与生成报表，无缝对接电站SCADA及AGC/AVC系统。

3. 系统软件

人机交互核心，提供监控、参数设置、告警管理及性能深度分析功能。

4. 显示器及屏体

控制室可视化终端，触摸操作，直观呈现现场运行状态。

5. 快速频率响应装置

含高精度频率测量装置与高速通信模块，保障数据精准与传输可靠。





编号: GDZ25030381

2025 年 4 月 17 日

1. 报告无“检验检测专用章”或检验单位公章无效。
2. 未经本中心书面同意，不得部分复制本检验报告（全部复制除外）。
3. 委托（或受托）单位对检验报告的申诉期限为报告发送后 15 天止（报告发送日期以报告领取或签收日期为准）。
4. 本检验报告只对受检样品所检项目的符合性情况负责；检验有效期按检验依据参照执行；如产品有重大改变，应按检验依据重新检验。
5. 本检验报告中受检样品信息（如样品型号名称、委托单位/制造单位的名称及地址等）为委托单位提供，其真实性由委托单位负责，本中心不负责其信息的真实性。
6. 投诉电话：(025)81098528 投诉邮箱：itc@sgpri.sgcc.com.cn
7. 网址： <http://pnl.sgpri.sgcc.com.cn/>

共 37 页

第 1 页

100

检验类别	型式检验	样品型号	PPCS-3000B
		样品名称	一次调频控制终端
委托单位	杭州领祺科技有限公司	委托单位地址	浙江省杭州市钱塘区 6 号大街 260 号 中自科技园 13F 幢 1 楼
制造单位	杭州领祺科技有限公司	制造单位地址	浙江省杭州市钱塘区 6 号大街 260 号 中自科技园 13F 幢 1 楼
样品数量	1 台	样品编号	GDZ25030381
样品接收日期	2025 年 3 月 26 日	样品接收状况	外观完好
软件版本号	V1.4.24	软件校验码	2a93
检验时间	2025 年 3 月 26 日至 2025 年 4 月 14 日		
检验地点	南京市江宁区诚信大道 19 号		
检验依据	DL/T 2563-2022 分布式能源自动发电控制与自动电压控制系统测试技术规范 (判定依据)		
	GB/T 13729-2019 运动终端设备		
	GB/T 15153.1-2024 运动设备及系统 第 2 部分：工作条件 第 1 篇：电源和电磁兼容性		
	GB/T 17626.10-2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验		
	GB/T 17626.11-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 11 部分：对每相输入电流小于或等于 16A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验		
	GB/T 17626.18-2016 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡场抗扰度试验		
	GB/T 17626.20-2019 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验		
	GB/T 17626.29-2006 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验		
	GB/T 17626.3-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分：射频电磁场辐射抗扰度试验		
	GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 快速瞬变脉冲群抗扰度试验		
	GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌 (冲击) 抗扰度试验		
	GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验		
	GB/T 7261-2016 继电保护和安全自动装置基本试验方法		
	PAL/BZ 11894-2023 电力监控系统网络安全监测装置技术规范		
	PAL/BZ 11914-2023 电力监控系统网络安全监测装置技术规范		
结论	PPCS-3000B 一次调频控制终端技术说明书 (判定依据)		
	Q/GDW 11894-2018 电力监控系统网络安全监测装置技术规范 (判定依据)		
签发	杭州领祺科技有限公司的样品 PPSC-3000B 一次调频控制终端, 经检验, 检验结果符合检验依据要求		
	本报告包含第一部分: 功能及性能; 第二部分: 电磁兼容。		
备注	/		

共 37 页

第 2 章

6.1 项目实例



6.2 项目实例



谢谢聆听!



关注领祺公众号