

LNG 接收站高比例绿电接入配电网谐波抑制与 SVG 协同无功优化

王志磊

国家管网集团天津液化天然气有限责任公司 天津 300450

摘 要: LNG 接收站配电网原生负荷结构复杂, 叠加高比例绿电接入后, 谐波扰动与无功波动问题相互交织, 常规单一调控设备难以适配多变的运行工况。本文结合站内配电网的实际运行特征, 搭建谐波抑制与 SVG 协同无功优化的适配架构, 梳理全流程作业逻辑与现场运维路径, 为站内配电网电能质量管控提供可行的实操支撑。

关键词: LNG 接收站; 绿电并网; 谐波抑制; SVG; 协同无功优化

引言: LNG 接收站作为大功率连续运行的工业用电场景, 内部非线性设备密集, 配电网原生用电扰动本就复杂。随着绿电接入比例不断提升, 新能源出力的间歇性进一步放大了谐波畸变与无功失衡风险, 传统独立调控模式的适配短板逐步显现。针对这类场景梳理协同调控的完整技术路径, 可有效维持站内配电网的稳定运行状态。

1 LNG 接收站高比例绿电接入配电网的运行特性

1.1 LNG 接收站配电网原生负荷的用电特征

LNG 接收站内部用电设备类型繁杂, 整体负荷构成具备明显的工业用电专属特点。站内核心生产设备涵盖气化装置、输送泵体、压缩机组及冷链运维设备, 多数设备属于大功率连续运行负荷。单台高压输送泵的运行功率可突破 1.5MW, 设备启停与工况切换会带来用电功率的动态浮动, 让站内负荷水平始终处于动态变化状态^[1]。部分电气设备含有非线性工作属性, 运行过程会对站内配电网造成持续的电气扰动。站内辅助照明、自控系统、监控设备等常规负荷运行状态相对稳定, 构成配电网基础用电基底。原生负荷的多样化运行状态, 让 LNG 接收站配电网本身就具备复杂的用电运行属性。

1.2 绿电接入后配电网的潮流分布特征

高比例绿电并网会彻底改变 LNG 接收站配电网传统单向供电的潮流模式, 形成电源多点接入的供电结构。新能源发电出力受自然条件影响显著, 发电出力存在间歇性与波动性, 会持续扰动配电网原有潮流状态。电网支路潮流大小与输送方向不再固定, 会随绿电出力起伏与站内负荷波动发生动态偏移。配电网近端、远端节点的功率分布出现明显差异, 部分支路会出现功率倒送现象。潮流分布的动态不确定性, 大幅提升了站内配电网

的运行调控难度。

1.3 绿电并网伴随的谐波生成规律

绿电并网需要依托大量电力电子变流设备完成电能转换与并网输送, 这类设备工作过程会催生大量谐波分量。设备高频开关动作会造成电能波形畸变, 不同工况下的畸变程度存在明显区别。绿电出力波动会改变谐波频次与谐波幅值的分布状态, 让谐波扰动呈现随机性与不稳定性。谐波分量会沿配电网支路逐层传播扩散, 覆盖站内各级供电节点。叠加站内原有非线性负荷的谐波扰动, 电网谐波成分更加复杂, 波形畸变问题进一步加剧, 直接影响站内电能质量水平。

1.4 配电网无功动态波动的变化特征

绿电出力的间歇性波动会持续扰动配电网无功平衡状态, 打破传统电网相对稳定的无功分布格局。新能源并网设备运行过程会产生动态无功损耗, 损耗数值随发电工况持续变动。站内大功率生产设备工况切换, 也会引发负荷侧无功功率的短时突变。多重因素叠加下, 配电网无功供需状态持续波动, 节点电压稳定性难以维持。无功功率的动态偏移, 容易引发电网电压浮动、功率因数偏移等电气问题, 不利于 LNG 接收站配电网安全稳定运行。

2 谐波抑制与 SVG 协同无功优化的适配架构

2.1 多目标协同控制的层级架构布设

多目标协同控制架构采用分层管控形式, 适配 LNG 接收站绿电并网后的电能质量调控需求。架构分为感知层、决策层、执行层三个功能层级, 各层级分工明确, 构成完整调控体系。感知层持续采集配电网谐波数据、无功运行参数与负荷工况信息, 捕捉电网动态变化。决

策层依据实时运行数据识别电网扰动类型,划分谐波治理与无功优化的调控优先级,输出适配电网工况的调控指令^[2]。整套架构的指令响应时延可控制在 10 毫秒以内,执行层依托谐波抑制单元与 SVG 装置落实调控动作,完成电网波形矫正与无功参数调整。

2.2 谐波抑制单元与 SVG 装置的端口衔接

谐波抑制单元与 SVG 装置为独立电气调控设备,规范的端口对接是设备协同工作的前置条件。两类设备依据配电网拓扑结构定点布设,统一电压、电流信号采集端口标准。采集端口对接电网关键供电节点,保证电气数据采集口径统一。控制端口建立互通通道,实现设备间信号双向传输,破除独立调控的运行壁垒。功率输出端口按分区调控原则接入电网,明确各自治理覆盖区间,防止调控盲区与功能重叠。标准化端口对接模式统一设备运行基准,为设备联动调控提供硬件支撑。

2.3 数据交互与指令传输的链路布设

协同调控体系依托专用传输链路实现数据与指令交互,链路结构适配 LNG 站区复杂电气环境。专用传输通道承载电网运行数据、设备状态信号与调控指令的双向传输任务。链路设置数据优先级机制,保障核心调控指令快速传输,降低延时对调控精度的影响。链路布设贴合站内设备布局,规避电气电磁干扰造成的信号异常。链路增设容错设计,应对电网工况波动引发的传输不稳定问题。稳定的数据交互链路可实时同步各调控单元运行状态,支撑调控策略动态更新。

2.4 协同运行的时序逻辑排布

谐波治理与无功补偿的联动工作需要规范时序逻辑,无序调控会引发电网参数波动与设备干预冲突。整体时序遵循状态监测、分项治理、动态校准的递进逻辑运行。系统持续监测电网谐波畸变与无功偏移情况,识别当下主导电能质量扰动类型。谐波抑制单元优先投入运行,修正畸变电能波形,规整电网基础电能状态。SVG 装置后续启动动态无功补偿,调整电网无功分布与电压水平。单轮调控结束后重启数据采集,依据电网实时状态微调调控参数。递进时序可以规范多设备干预流程,规避调控冲突,稳定配电网电能质量。

3 谐波抑制与 SVG 协同无功优化的作业流程

3.1 配电网实时运行状态的信息采集

配电网工况动态变化是电能质量调控的核心依据,精准全面的信息采集是后续治理工作的基础。依托全站布设的电气采集单元,定点捕捉配电网各节点的电压波动、电流波形、功率参数等关键运行数据。采集设备覆

盖绿电并网节点、站内负荷中心及 SVG 装置接入点位,实现电网关键区域的数据全覆盖^[3]。采集系统的采样频率可达到 25.6kHz,持续记录电网谐波畸变程度、无功功率偏移量等电能质量参数,捕捉工况波动带来的细微数据变化。采集系统保持高频采样频次,完整留存电网动态运行数据,为扰动类型判定、调控方式选择提供精准数据支撑,保障后续作业流程的精准落地。

3.2 谐波分量的分层分类处置流程

LNG 接收站配电网谐波成分复杂,不同频次、幅值的谐波扰动对电网的影响程度存在差异,需采用分层分类的处置模式。系统依据采集的波形数据,区分低次谐波与高次谐波的分布范围,划分谐波扰动的危害等级。针对频次稳定、幅值较高的常规谐波,依托被动滤波装置完成针对性滤除处理,削弱持续性波形畸变问题。针对绿电出力波动引发的随机性、不规则谐波,启动主动谐波抑制单元动态抵消畸变分量。按照分层处置原则逐步清理各类谐波干扰,逐层规整电网电能波形。分类处置模式可以精准匹配不同谐波的扰动特征,提升谐波治理的精细度与有效性。

3.3 无功功率的动态调节作业流程

绿电出力起伏与站内负荷切换会持续改变配电网无功供需平衡,固定补偿模式无法适配动态工况变化。SVG 装置依托实时电网数据启动动态无功调节作业,根据节点电压偏移幅度与无功缺额大小调整补偿容量。电网无功储备不足、电压偏低时,输出感性无功补充电网缺失容量,抬升节点电压水平。电网无功过剩、电压偏高时,吸收线路多余无功功率,抑制电压异常抬升。调节作业全程跟随电网工况自主适配,依据负荷变化与绿电出力波动持续微调补偿参数,维持配电网无功平衡与电压稳定状态。

3.4 谐波抑制与无功调节的协同切换流程

谐波治理与无功调节属于两类独立调控作业,单一设备独立运行无法适配复杂电网复合扰动工况,需要规范的协同切换机制支撑联动作业。系统根据电网实时扰动主导类型,自动切换核心调控模块的工作优先级。电网以谐波畸变问题为主时,优先保障谐波抑制单元满负荷运行,完成波形规整作业,无功调节保持基础待机适配状态。电网以无功波动、电压偏移问题为主时,侧重启动 SVG 动态补偿功能,谐波装置维持基础滤波运行模式。电网出现复合扰动时,两类设备分区并行作业,各自承担对应治理任务。智能切换流程可以规避调控功能冲突,适配多变的电网运行工况,长效维持配电网电能

质量稳定。

4 现场运行的协同管控与维护

4.1 协同装置的日常运行巡检

谐波抑制单元与 SVG 装置多为不间断运行, LNG 接收站复杂的电气运行环境容易催生各类隐性设备隐患。常态化巡检工作可以持续保障协同调控体系的运行稳定性。巡检内容覆盖硬件本体、线路连接、实时工况三个关键维度,全面囊括整套调控系统的核心结构。运维人员逐项核查柜体温度、设备指示灯及面板运行数据,及时识别设备过热、工况异常等直观问题。细致排查信号线路与功率端子的连接状态,及时处理线路松动、绝缘老化、积尘受潮等常见问题。结合站内实时电网工况,核对设备输出参数、滤波投入状态与无功补偿档位,保证设备运行模式适配现场用电变化^[4]。巡检环节完整留存设备运行细节,标注潜在隐患,为后续养护作业与参数调整提供可靠依据,让调控设备始终保持稳定可用的运行状态。

4.2 不同工况下的参数动态调整

LNG 接收站配电网运行状态随新能源出力波动、站内生产负荷切换不断变化,固定的设备参数难以适配多变的电网运行场景。参数动态调整依托实时工况灵活开展,让调控装置适配不同阶段的电网运行需求。新能源出力充足阶段,电网谐波成分更加复杂,无功冗余体量明显上升。工作人员可适时调整谐波装置的滤波频段与投入容量,同步调整 SVG 无功吸纳参数,适配电网富余功率状态。新能源出力偏弱阶段,站内生产负荷主导电网运行,无功供给出现缺口。通过调整 SVG 无功输出比例,强化电网电压支撑能力。负荷高峰阶段适当提升设备响应速率,快速平抑工况切换带来的电能质量波动。负荷低谷阶段精简设备冗余输出,降低设备空载能耗。动态参数调整可以贴合电网实际变化,提升整套协同调控系统的适配能力。

4.3 装置部件的定期养护与校准

设备长期持续运行会造成内部元器件性能衰减,采样与调控精度也会逐步偏移。定期养护与精度校准能够稳固设备调控能力,延缓设备老化速度。养护工作针对功率模块、信号采集模块、散热结构、接线端子等核心部件有序开展。清理设备内部积攒的粉尘与油污,保持散热通道通畅,规避高温工况引发的模块性能衰减。紧

固松动构件,替换老化破损的辅助配件,夯实设备硬件运行基础。校准作业重点修正采集与调控偏差,调整电压、电流采样参数,保证电网数据采集真实准确。复核谐波检测与无功输出精度,修正设备内部调控阈值,抵消长期运行产生的精度误差。常态化养护与校准可以稳定设备工作性能,延长装置整体服役周期。

4.4 异常工况下的应急处置操作

新能源出力骤变、生产负荷切换、电网冲击扰动等因素,都会造成 LNG 接收站配电网运行异常。规范的应急处置操作可以快速控制故障范围,弱化工况异常带来的影响。电网谐波超限时,提升谐波抑制单元的投入容量,启用深度滤波模式,控制波形畸变持续扩散。电网电压大幅波动、无功供需失衡时,逐级调整 SVG 补偿档位,强化动态无功调节力度,平稳节点电压状态。设备出现过载、模块报错等故障问题时,及时隔离异常运行回路,切换备用调控模式,保障电网基础电能质量不受大幅影响。应急处置遵循稳定电网工况、排查设备问题、恢复系统运行的递进逻辑,规避盲目操作引发的二次扰动^[5]。标准化处置流程能够缩短异常持续时间,降低电能质量扰动对站内电网及生产设备的不良影响。

结束语

整套谐波抑制与 SVG 协同无功优化体系,从架构布设、作业流程到现场运维形成完整的落地链路,完全贴合 LNG 接收站高比例绿电接入后的运行特性。现场执行过程中随工况动态调整细节操作,可持续消解复合电能质量扰动,保障站内生产设备的可靠供电,为同类工业场景的电能质量管控提供务实参考。

参考文献

- [1] 丁明. 基于阻抗匹配的配电网谐波抑制方法研究[J]. 电工技术,2026(7):109-111,114.
- [2] 周磊,郑剑锋,姚远. 中压配电网 MMC 谐波电流干扰抑制算法设计[J]. 信息技术,2026(5):114-119.
- [3] 乔洪新,厉冰,戴昊,等. 考虑谐波抑制的柔性配电网负荷均衡控制仿真[J]. 计算机仿真,2025,42(7):151-155.
- [4] 袁明涛,刘英建. 分布式光伏接入对配电网谐波影响及抑制技术[J]. 电力设备管理,2025(5):97-99.
- [5] 施圣东. 基于感应滤波的配电网谐波电流柔性抑制方法[J]. 制造业自动化,2022,44(9):184-188.