

跟网型与构网型储能

在新型电力系统建设中，储能变流器（PCS）的控制技术主要分为两大阵营：跟网型（Grid-following）与构网型（Grid-forming）。

如果用一句话来概括两者的定位：跟网型是电网的“追随者”，而构网型是电网的“建设者”。两者的本质差异，在于 PCS 对电网的依赖程度以及对电网的主动支撑能力。

一、 技术内核：电流源 VS 电压源

【跟网型储能（追随者）】

电源属性：电流源，自身不能建压

同步机制：依赖锁相环（PLL）跟踪电网相位，离开电网即“趴窝”

控制逻辑：控制交流侧电流，被动获取电网频率/电压参考值

PCS 过流能力：约 1.5 倍

【构网型储能（建设者）】

电源属性：电压源，可自主设定电压与频率

同步机制：采用虚拟同步机（VSG）/下垂控制，无需 PLL，脱离主网也能独立运行

控制逻辑：内部设定电压参考信号，经功率计算与频率下垂控制实现同步

PCS 过流能力：3 倍（持续 10 秒），并具备瞬间过载支撑能力

技术原理解析：

跟网型的控制结构依赖成熟的锁相环（PLL）技术，在系统确定电流和最大功率点条件下运行。但其自身控制回路稳定性较弱，无法主动支撑系统。

构网型类似于同步发电机控制，不依赖外部电压参考信号。在没有刚性电压源的弱电网中，它能自行组建独立电网，形成电压源并网。

二、 电网支撑能力：能量吞吐 VS 全维支撑

1. 跟网型：聚焦“能量吞吐”

跟网型的核心价值在于能量型应用（如峰谷套利、削峰填谷、二次调频）。它响应调度指令干活，但存在明显局限：

- 无惯量支撑、无一次调频能力。
- 电网故障时容易直接脱网。
- 在弱电网场景下，不仅无法支撑电网，自身甚至可能先发生振荡。

2. 构网型：实现“全维支撑”

构网型通过 VSG 技术模拟同步发电机的运行机制，将储能打造成“虚拟同步机”，提供全方位支撑：

- 惯量与调频支撑：提供 2 - 20 秒的虚拟惯性时间常数，缓解新能源“惯性危机”；一次调频响应 <0.2 秒，无需等待调度指令。转动惯量(J)和阻尼系数(D)可灵活取值，不受硬件限制。

- 电压与短路容量支撑：在 0.9 - 1.1 pu 范围内主动调节无功-电压，提升系统短路容量 3 倍以上。

- 抑制宽频振荡：通过灵活的阻尼 D 降低低频振荡风险，并引入虚拟阻抗、有源阻尼等方案实现阻抗重塑。

- 故障穿越与黑启动：

[低穿/高穿]：低穿时进行限幅和虚拟阻抗控制；高穿时快速无功响应抑制电压过充，确保故障期间持续构网。

[黑启动]：具备系统崩溃后的重启能力。如西藏改则县项目，可通过 EMS 调度多台构网型 PCS 并联启动，2 秒内完成变压器励磁与电压建立。

三、 应用场景分野

基于上述技术特性，两者的应用场景呈现出明显的“强弱电网”分野：

【跟网型 —— 强网环境下的“经济适用男”】

- 城市/工业园用户侧：峰谷套利、需量管理。
- 集中式风光配储：平滑出力、满足基础并网要求。
- 电网稳定区域：常规辅助服务与能量时移。

【构网型 —— 弱网/孤网/高比例新能源的“刚需主力”】

- 沙戈荒大基地：西北、华北、新疆、西藏等新能源高渗透区，弥补系统惯量缺失。
- 独立供电系统：海岛、牧区微电网、偏远地区无源网络。
- 海上风电：离岸远、电网连接弱、短路容量低的场景。
- 电网应急：电网黑启动、故障恢复与重构。

四、 成本门槛与市场趋势

【跟网型（成熟且廉价）】

技术成熟，PCS 电流源控制简单。单位成本比构网型低 10% - 30%，目前市场存量占比依然庞大。

【构网型（高门槛但迎爆发）】

- 硬件超配：PCS 需具备 3 倍过流能力，半导体器件成本大幅增加。
- 电池要求高：为配合惯量响应和瞬间过载，电池倾向高倍率（ $\geq 1.2C$ ），且要求长寿命（循环 ≥ 6000 次）。
- 算法复杂：涉及 VSG、惯量调节、多机协同并联及宽频振荡抑制，技术壁垒高。
- 市场趋势：虽然初期投资贵，但能大幅节省弃电量与电网考核费。2025 年以来，在新型电力系统政策强推动下，构网型储能迎来“爆炸式增长”，随着规模化量产，成本有望快速下探。

核心选型指南

一句话判断思路：电网本身就强、核心诉求是赚峰谷价差 ➡ 选跟网型，够用且省钱；电网弱、新能源渗透高、或者面临黑启动/惯量支撑/抑制振荡刚需 ➡ 选构网型，虽然初始投资高，但它是保障系统不崩溃、避免巨额考核罚款的“救命稻草”。