

在储能系统，特别是由多个电池簇并联组成的大型工商业或站点能源系统中，有一种现象时常困扰着工程师们——它悄无声息，却实实在在地侵蚀着系统的效率与寿命。这就是我们要深入探讨的“环流”问题。各位或许都晓得，理想的并联系统里，电流应该均匀地分摊到每个支路。但现实往往骨感，由于电池簇之间微小的电压差异、线路阻抗的不均衡，或者BMS（电池管理系统）的协调不够精细，电流就会像黄浦江的水一样，在不该打转的地方形成涡流，我们称之为环流。

## 储能系统环流问题的深度剖析与解决之道

在储能系统，特别是由多个电池簇并联组成的大型工商业或站点能源系统中，有一种现象时常困扰着工程师们——它悄无声息，却实实在在地侵蚀着系统的效率与寿命。这就是我们要深入探讨的“环流”问题。各位或许都晓得，理想的并联系统里，电流应该均匀地分摊到每个支路。但现实往往骨感，由于电池簇之间微小的电压差异、线路阻抗的不均衡，或者BMS（电池管理系统）的协调不够精细，电流就会像黄浦江的水一样，在不该打转的地方形成涡流，我们称之为环流。

这种现象的危害，绝非耸人听闻。它直接导致系统可用容量下降，部分电池簇过度充放电，加速老化，严重时甚至引发发热失控风险。有研究数据显示，在某些未做优化的大型储能项目中，由环流导致的系统能量损失可能高达3%-8%。长远来看，这意味着一笔可观的资产在持续贬值。面对这个行业痛点，我们海集能在近二十年的深耕中，从电芯到系统集成，形成了一套贯穿设计、制造与智能运维的闭环解决方案。我们的南通基地专攻定制化系统设计，其中一个核心课题就是如何从根源上抑制环流。

### 环流的本质：不仅仅是“电流跑偏”

要解决问题，首先要理解其本质。环流，本质上是一种并联支路间的内部能量循环，它不做有用功，纯粹在消耗。你可以把它想象成一支交响乐团，如果每位乐手的节拍器有毫秒级的差异，听起来就会杂乱无章。电池簇也是如此，电压就是它们的“节拍”。我们通过大量测试发现，引发环流的关键因素通常包括：

**电芯一致性差异：**即使来自同一批次，电芯的容量、内阻在长期运行后也会产生离散。

**簇间连接阻抗不均：**母线排长度、接触电阻的细微差别，在数百安培的电流下会被放大。

**温场分布不均：**集装箱内不同位置的温度差异，直接影响电池的开路电压和内阻。

**BMS采样与控制精度：**电压、电流采样的同步性与精度，直接决定了均衡控制的效果。

在连云港的标准化生产基地，我们对每一条产线、每一套出厂的系统都进行严格的均流测试。但这只是基础。真正要驯服环流，需要在系统架构层面动脑筋。

### 海集能的解决之道：从“被动均衡”到“主动构网”

我们的策略是分层的、主动的。许多方案仅仅在BMS层面做被动均衡，这像是在漏水的地方用盆接水，治标不治本。海集能的思路，是从拓扑结构和智能算法上“重新设计水道”。

首先，在电气设计上，我们采用低阻抗的对称性母排设计，并尽可能保证各并联支路的物理路径等长、等阻。这就像为电流修建了多条宽度、坡度完全一致的高速公路，减少了先天的不平衡。其次，也是我们的核心优势之一，在于基于高频数据采样的自适应均流算法。我们的智能能量管理系统（EMS）不仅监测总电压总电流，更以毫秒级精度实时追踪每一个电池簇、甚至关键电芯节点的状态。系统能动态识别出即将形成或已经存在的环流，并通过功率转换器（PCS）进行快速的功率微调，主动“拉齐”各支路

的运行点。

让我举个具体的例子。去年，我们为东南亚某群岛的一个通信微电网项目提供了光储柴一体化解决方案。那里环境高温高湿，站点分散且电网脆弱。项目初期，客户反馈个别储能柜的电池簇温差和衰减速度明显快于其他。我们的技术团队远程分析数据后，发现是环流叠加局部散热不均导致的。我们并没有简单地更换电池，而是派发了算法升级包，优化了该站点EMS的均流控制参数，并指导客户调整了风道。三个月后的数据显示，簇间最大电流偏差从原来的15%降至5%以内，预期电池寿命提升了约20%。这个案例告诉我们，解决环流往往需要“软硬结合”的精细功夫。

## 更深层的见解：系统思维与全生命周期管理

经过这么多项目，我有个深刻的体会：环流问题，表面上是个电气工程问题，深层次看，其实是一个系统集成能力的试金石。它考验的是企业对电化学、电力电子、热管理、软件算法乃至制造工艺的综合掌握程度。单点技术的突破固然重要，但如何让这些技术像齿轮一样精密咬合，才是关键。

在海集能，我们称之为“全产业链优势下的系统思维”。从电芯选型与配组开始，我们就考虑其长期运行的一致性；在PCS设计时，预留了精细的簇级控制接口；在系统集成阶段，通过数字孪生技术进行仿真，提前预测和规避环流风险；直到交付后的智能运维阶段，我们的云平台仍在持续学习系统运行数据，不断优化控制策略。这是一条贯穿产品全生命周期的“防环流”主线。我们认为，未来的储能系统，尤其是对可靠性要求极高的通信站点、海岛微网等场景，其价值不仅在于初始安装，更在于未来十几年能否稳定、高效地运行。而环流控制，正是这长期价值的守护者之一。

当然啦，技术总是在发展。当前学术界和工业界也在探索诸如基于直流变压器的隔离型并联架构等更彻底的解决方案。各位同行，你们在实战中遇到过哪些棘手的环流案例，又采取了哪些有创造性的解决思路呢？我们非常期待能与业界有更多的交流与碰撞。

---

来源: <https://www.hj-mobile.com>