

数据中心800V DC配电系统 测试分析及仿真

中移能源科技（北京）有限公司

刘继亮



Global Computing Consortium
全球计算联盟

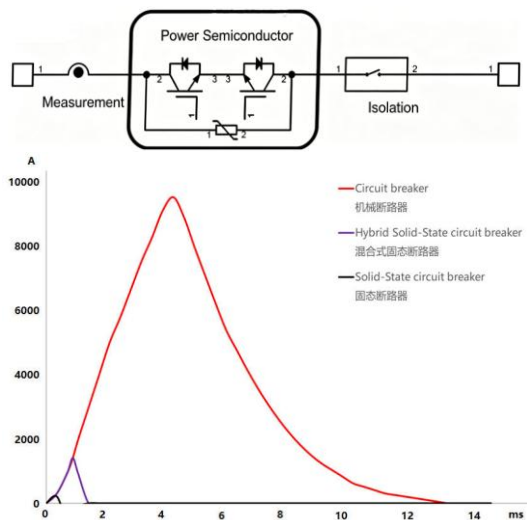
数据中心800V DC配电系统 现场工况测试分析



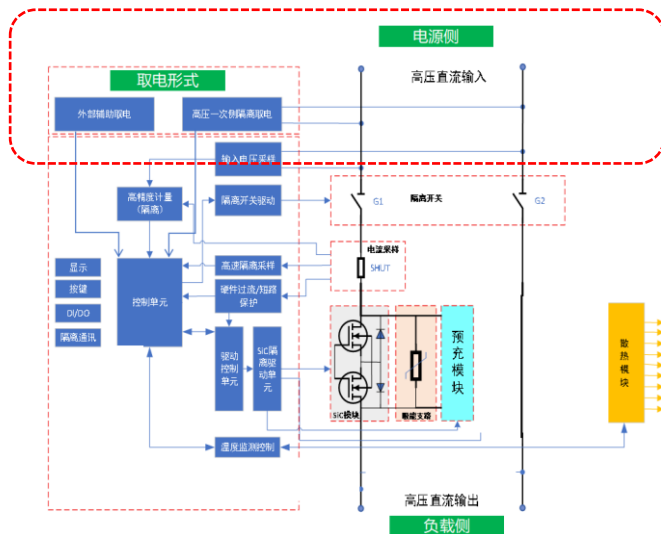
纯固断路器 (SSCB) 介绍

- 固态断路器是一种以功率半导体器件为核心进行电流通断控制，实现微秒级分断与无电弧操作的设备，架构为串联式 SSCB (电子开关 + 机械隔离 串联结构)
- 设计上限制外部独立电源供电或电源侧自取电作为辅助电源使用，避免瞬态电流混乱引起电磁干扰。

- 极速分断 $< 200\mu s$
- 安全无弧控制+前级机械隔离
- 长寿命: 无机械磨损, 电气寿命 ≥ 100 万次 (机械约 1 万次)
- 数字化保护, 实现限流、过压、过载、短路和软启



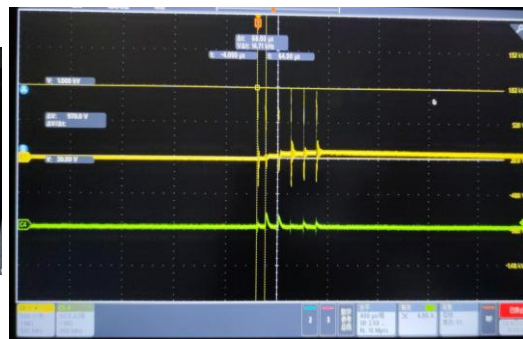
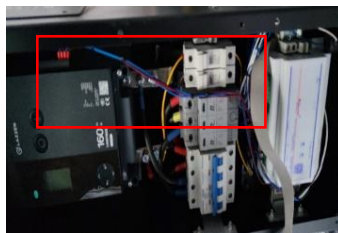
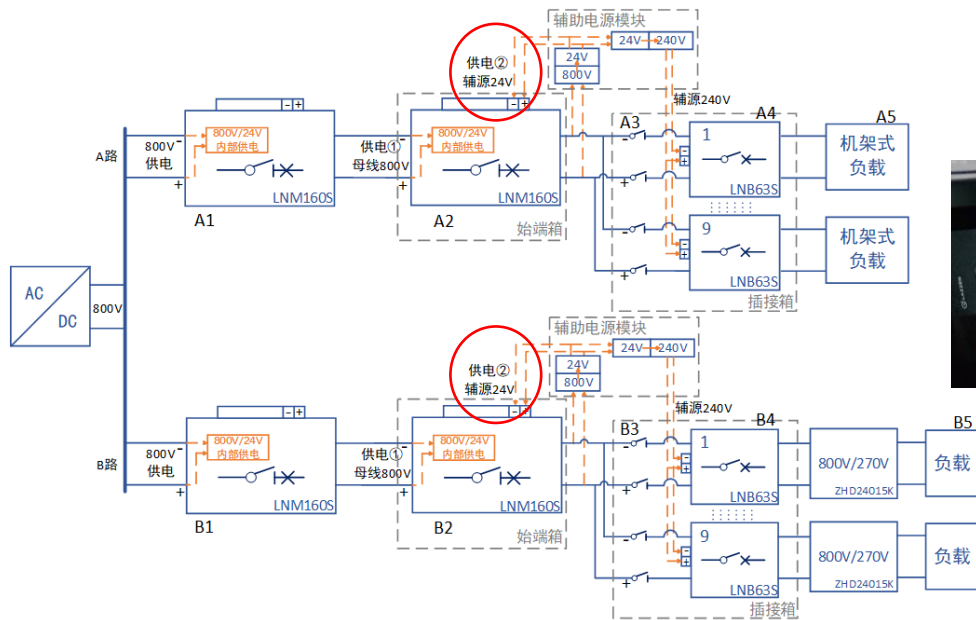
- 较传统开关开断能量低100倍以上



- SSCB原理拓扑——快速保护

现场联调及改善点-固态断路器取电接线纠正

- **工况1**：A3断开，接辅助电源回路（供电①供电②均接入），A1合闸→A2合闸，**A2合闸失败（固态160A）**；断开A3，拆除所有辅助回路，A2正常合闸。
- **分析与结论**：系统辅助电能模块从固态断路器A2输出端取电，再返回为A2供电不符合常规的接线逻辑，导致开关保护；
 - **解决措施**：现场调整线路，同步更新产品规格书中注明取电方式下具体接线要求。



A2合闸失败波形（绿：电流，黄：电压）

现场联调及改善点-负载兼容性

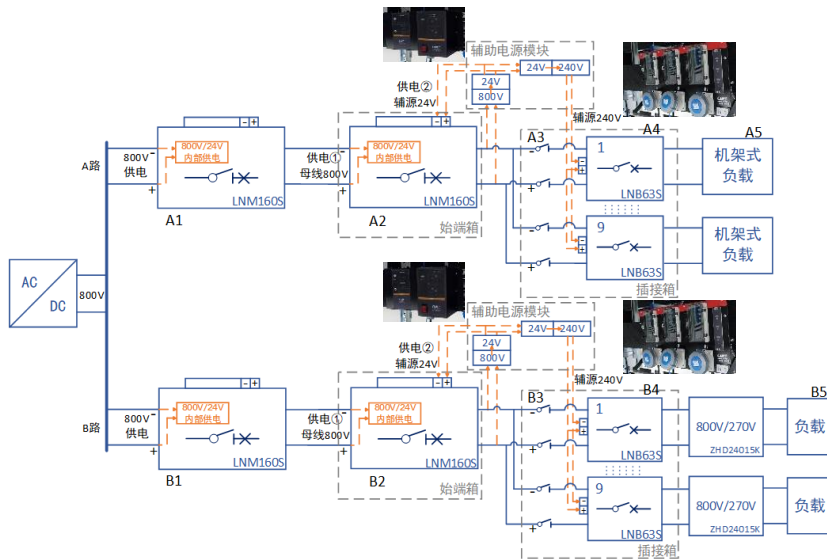
- **工况2**：B1合闸→B2合闸→B4合闸→800V/240V模块接入，**B4跳闸（固态25A）**； A1合闸→A2合闸→A3合闸→A4合闸→**分合A1，A2重合闸引起跳闸（固态160A）**；
- **分析与结论**：原有配电系统按功率因数0.99（接近于纯阻性负载）设计默认配置为阻性负载功能，但**现场实际回路为阻性和容性负载组合**，A2接通辅助电源模块，存在瞬间冲击。
 - **解决措施**：更新断路器配置为阻性&容性负载兼容——**现场结合设备DC/DC模块电容参数，调整软启参数后可以正常启动**，从而在B3和A2位置开关软件更新配置-开启软启算法



未配置软启动电流波形（短路保护波形）

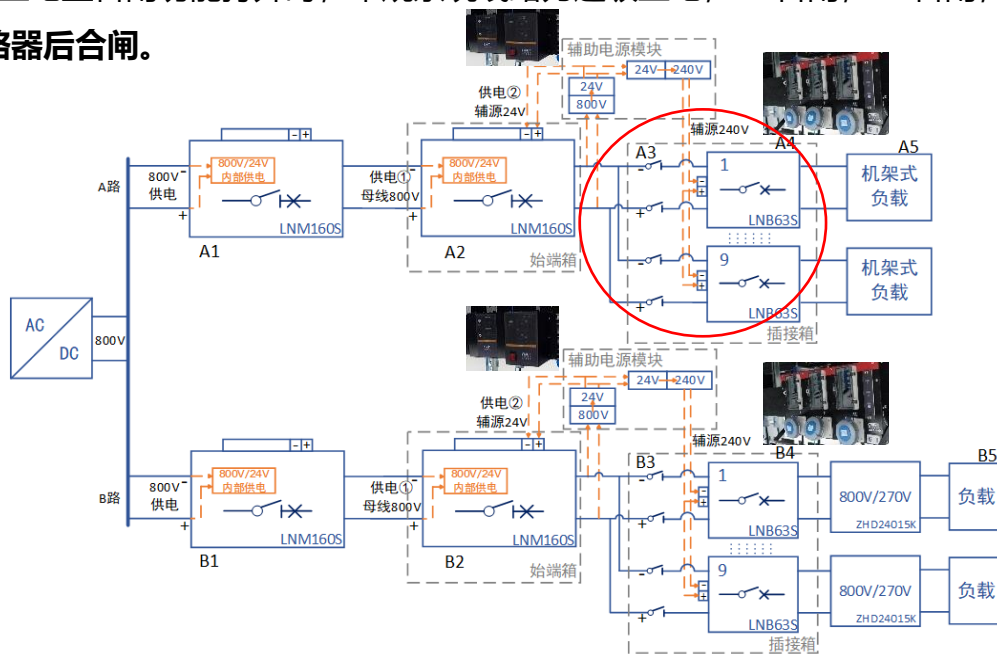


配置软启动电流波形



需共识上电操作规范

- A2、A3上电重合闸功能打开时，常规系统线路为逐级上电，A1合闸，A2合闸，**A4上级串联的机械式微断A3需先合闸，A4固态断路器后合闸。**



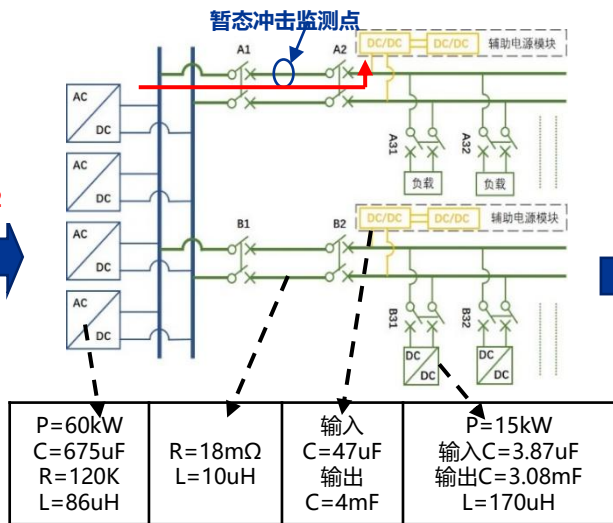
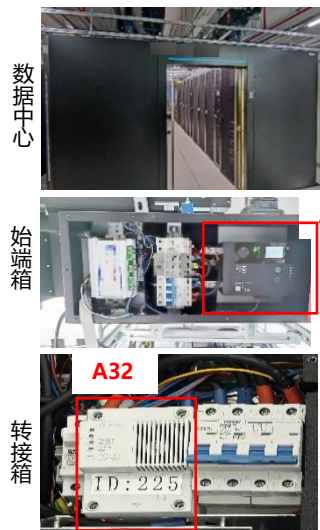
- ◆ 合闸逻辑（顺序：先机械、后电子），机械空载合闸，避免机械带压 / 带流产生电弧。
- ◆ 分闸逻辑（顺序：先电子、后机械），机械零流分闸，彻底消除分断电弧、触头烧蚀。

数据中心800V DC配电系统仿真

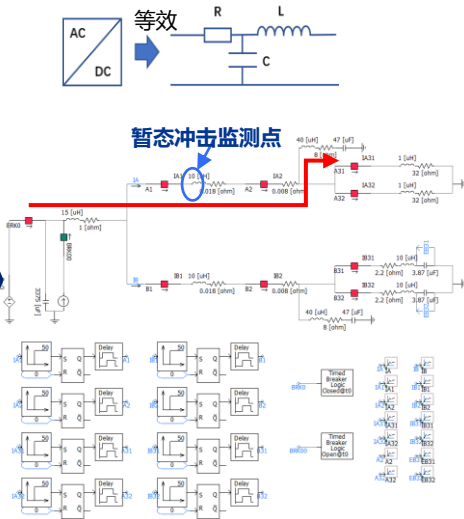


数据中心直流配电系统仿真模型的建立

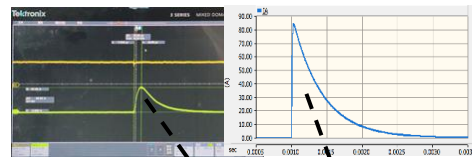
- 为稳压、降谐波等，数据中心直流配电系统核心部件电子转换模块均配置有**输出电容**，因此故障**电流上升快**；
- 通过现场测试，获得下图所示拓扑结构的系统中A2开关合闸过程中A1负载端瞬态电流，呈现为电源AC/DC模块对辅助电源模块充电的暂态冲击（30us电流上升至84A）；
- 通过现场测试和调研，获得系统中**电子转换模块输出电容**、**各路母线阻抗**等参数，结合AC/DC等转换模块的等效电路，可搭建暂态分析用仿真模型；参照上述实测工况波形，可反推出转换模块等效电路中的电阻、电感



数据中心直流配电系统拓扑结构



AC/DC模块等效模型和系统暂态分析仿真模型

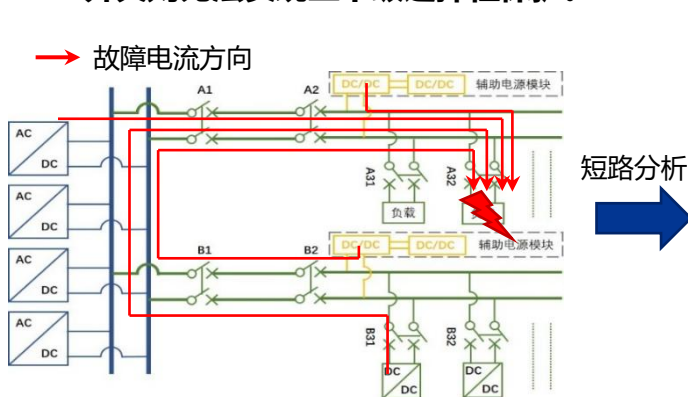


A路辅助电源上电暂态	实测	仿真
峰值时间	30us	29us
峰值电流	84A	83A

实测与仿真计算结果对比

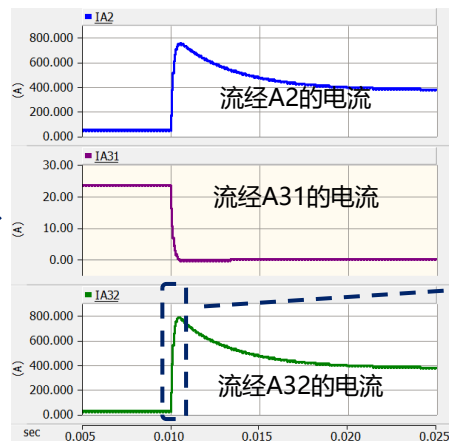
直流配电系统短路工况计算和分析

- 在上述模型基础上，对A路的支路开关A32负载端进行短路故障分析，计算出预期短路电流**峰值790A**，**峰值时间420us**，稳态短路电流375A；
- 分析预期短路电流波形可知，上下级串联的断路器配置微秒级响应的**固态开关**时上下级**选择性保护成功**，毫秒级响应的**传统开关**则**无法实现上下级选择性保护**。

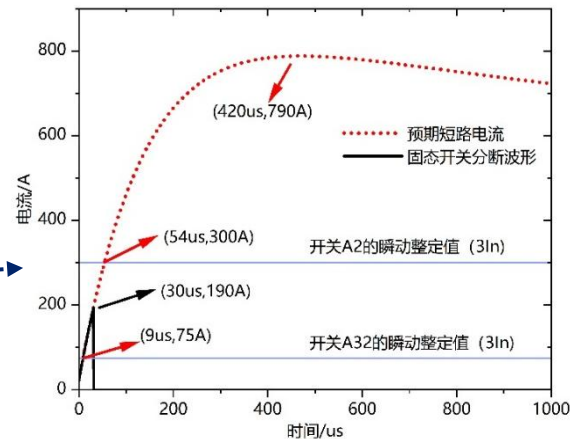


固态开关	壳架/额定	瞬动整定值
A1、A2、B1、B2	160A/100A	300A
A31、A32、B31、B32	25A/25A	75A

系统拓扑结构和固态开关短路保护参数配置



因AC/DC和DC/DC电源模块内部存在**电容**，故短路故障时，会对外放电，**形成大电流暂态冲击**
预期短路电流的峰值790A，峰值时刻420us（刚开始电流上升率约5A/us），稳态短路电流375A



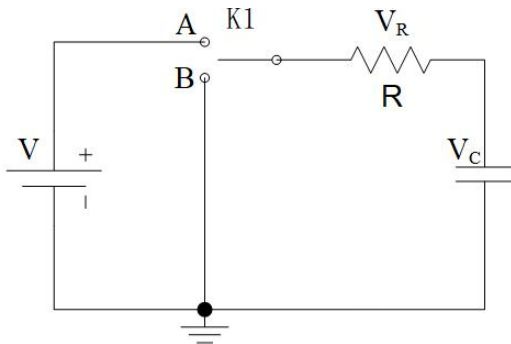
配置固态开关时，A32能在30us内切断故障支路，保证上级开关A2不跳闸
配置传统开关时，A32无法在54us内切断故障支路，便会导致开关A2跳闸

构建对应短路验证回路并实测

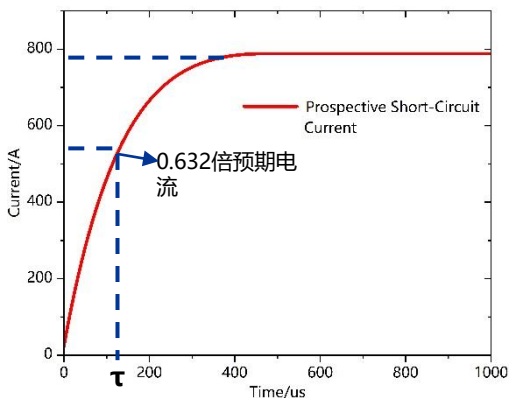
- 基于直流RC充放电回路搭建多种时间常数的试验系统，验证不同上升率短路电流中断路器选择性保护情况

试验回路系统

试验回路：电容放电直流试验回路（RC电路）



电流上升率计算方式



试验回路	τ	di/dt
回路1	$>0.5\text{ms}$	$<1\text{A/us}$
回路2	$<0.1\text{ms}$	$>5\text{A/us}$

注：取时间 τ 内电流上升速率平均值

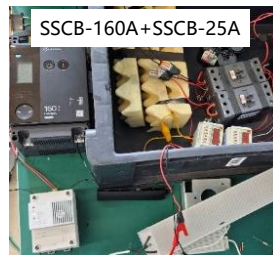
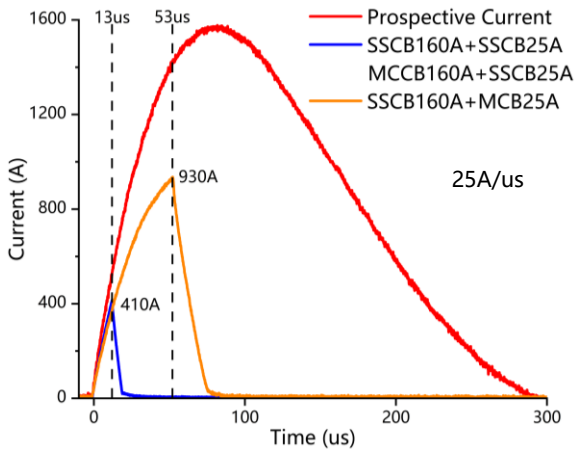
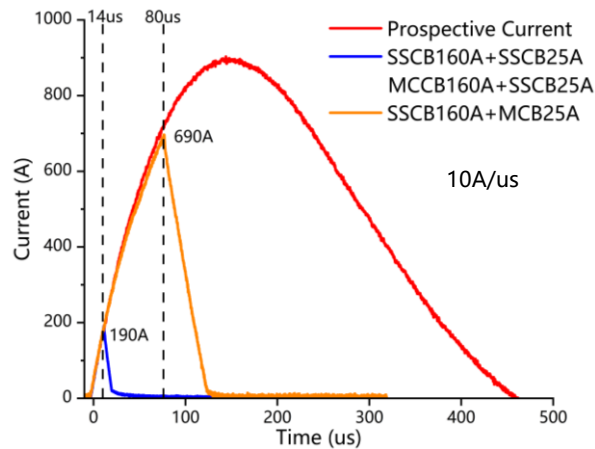
- 采用电容放电形式进行，可以模拟真实场景
- 智算中心更等同试验回路2
- 目前已和战略合作伙伴完成试验设备建设，基于试验回路2的验证，并掌握相关试验资源

电容放电的选择性保护试验

- 当下级开关为**MCCB-25A**时，上级开关SSCB-160A会跳闸保护，选择性保护**失败**；
- 当下级开关为**SSCB-25A**时，上级开关SSCB-160A或者MCCB-160A不会跳闸保护，选择性保护**成功**

选型组合	上级开关	下级开关	选择性保护配合情况	
			电流上升率10A/us	电流上升率25A/us
传统+固态	SSCB-160A	MCCB-25A	失败	失败
	MCCB-160A	SSCB-25A	成功	成功
固态+固态	SSCB-160A	SSCB-25A	成功	成功

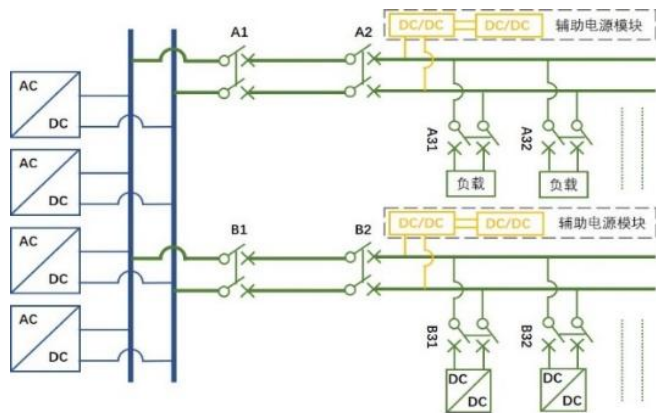
开关参数设置	额定（瞬动）
SSCB-160A	In=160A (3In)
SSCB-25A	In=25A (3In)
MCCB-160A	In=160A (10In)
MCB-25A	In=25A (6In)



实验现场

直流配电系统选择性保护系统性方案

- 经试验，**下级开关为固态时**，无论上级开关是固态还是传统的，**都选择性保护成功**；
- 试验测试回路有待完善，需进一步搭建更大能量的电容放电回路，用于对传统+传统组合的测试；
- 仿真模型有待完善，以便计算包括负荷投切、短路故障等暂态过程，提供可靠、经济的选择性保护策略。



选型组合	始端箱（上级）		插接箱（下级）		选择性保护配合情况
	开关类型	型号	开关类型	型号	
传统+固态	SSCB	LNB-250S	MCB	/①	×
	MCCB	NDM3Z-160	SSCB	LNB-63S	√
固态+固态	SSCB	LNB-250S	SSCB	LNB-63S	√

附注：①表示任意产品型号

未来输出的选择性保护策略清单

Thank You !



Global Computing Consortium
全球计算联盟