

电故障。为了避免双重故障造成地铁线路大面积停电，2025年12月19日交通运输部办公厅针对城市轨道交通供电系统发布了《交办运（2025）71号》文件，文件要求：“当一座主变电所退出运行时，相邻主变电所应越区供电，并应具备向退出运行的主变电所供电范围提供电源支援能力”。要求设计考虑N-2故障，保证应急工

况下的供电可靠性。

3 主变压器容量校核分析

根据N-2供电工况下，即1座主所退出运行时，某地铁线路3座主变电所主变压器远期容量计算分析表如下：

项 目	深大主变电所		罗租主变电所		光明主变电所		
	I号 变压器	II号 变压器	I号 变压器	II号 变压器	I号 变压器	II号 变压器	
正常运行 方式	牵引负荷 (kVA)	12309	12701	21275	20519	39823	37133
	动照负荷 (kVA)	11402	11402	6537	6537	18696	20138
	合计 (kVA)	23711	24103	27812	27056	58519	57271
	负载率 (%)	47.4	48.2	55.6	54.1	117	114.5
N-2故障		罗租解列，深大支援		深大解列，罗租支援		光明解列，罗租仅能支援13号线负荷	
1座主变 电所退出 运行， 35kV环网 越区供电	牵引负荷 (kVA)	33584	33220	33584	33220	37817	35839
	动照一、二级负荷 (kVA)	13298	13298	13298	13298	18992	18992
	合计 (kVA)	46882	46518	46882	46518	56809	54831
	负载率 (%)	93.7	93	93.7	93	113.6	109.6
主变压器目前安装容量 (MVA)		2×50		2×50		2×50	

深大主变电所退出运行或罗租主变电所退出运行，35kV越区开关自动化越区供电，主变压器负载均能满足负荷需求，对行车没有影响。光明主所向某支线7个变电所供电，向某线11个变电所供电，还向另一条线12个变电所供电。通过计算光明主变电所远期正常供电工况下主变压器负载率最大达到117%（主变压器允许1.3倍过负荷2小时），如果光明主所主变压器不进行扩容，任意1台主变压器故障退出运行，在负荷叠加工况下，另一台主变压器也会过载跳闸，N-1故障短时间演变为N-2故障，造成地铁大面积停电故障。1座光明主变电所退出运行时，由相邻主变电所支援供电，相邻主变电所也会因主变压器容量不足而过载跳闸。

4 光明主变电所主变压器容量不足解决措施

光明主变电所单台主变压器故障退出运行时，失压母线负荷不允许叠加至另一正常供电回路，切除负荷及时由相邻主所支援供电。

(1) 主变压器故障退出运行时，光明主变电所35kV母联开关不允许自动合闸，相应母线35kV出线断路器失压保护自动跳闸。

(2) 各线路变电所400V开关柜母联自备投开关

合闸前，切除负荷由相邻主所供电，即要求光明主变电所切除负荷至相邻主所支援供电要在2S内完成；400V母联自备投功能设定在3S-4S期间合闸，时间配合差要精确到毫秒并预留500ms至600ms缓冲时间。

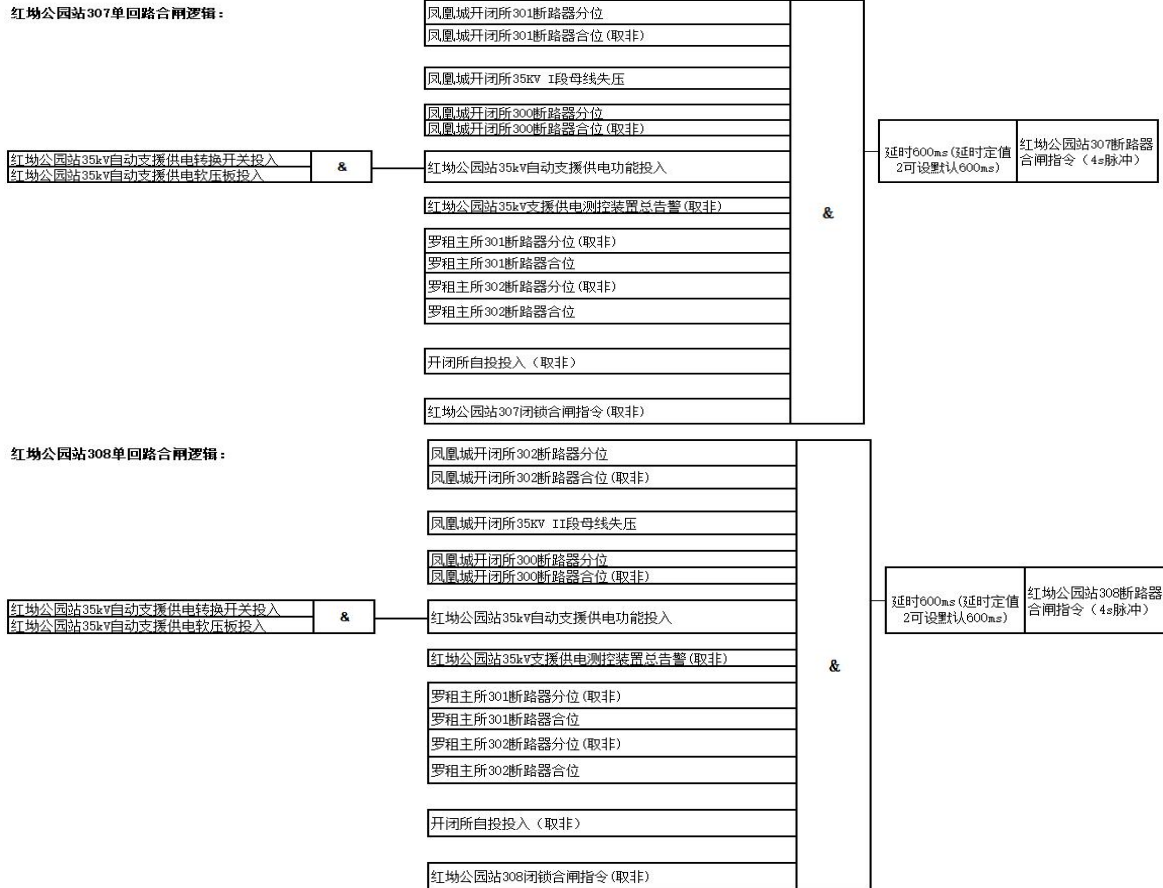
5 35kV越区开关自动化合闸保护逻辑及测试

(1) 各主变电所与各环网越区开关变电所之间的35kV进行开关信号，35kV母线电压信号，35kV越区开关信号，相互闭锁信号等均通过独立光纤传输共享信息，使各站信息可以在10ms内共享完成，防止大面积停电时各系统信息出现雪崩效应造成35kV自动支援信息传送受阻。

(2) 35kV越区开关自动化支援供电装置与电力监控通讯，在电力监控系统中可以实时监测到各站信息状态；电力调度可以根据各主变电所主变压器实时负荷情况决定投入/退出越区开关自动化支援供电功能。

(3) 35kV自动化支援供电综合测控装置经逻辑判断后，35kV越区开关自动合闸（约660ms），罗租主变电所向光明主变电所自动支援供电。

罗租主所向光明主所支援供电35kV越区开关自动化支援供电逻辑如下：



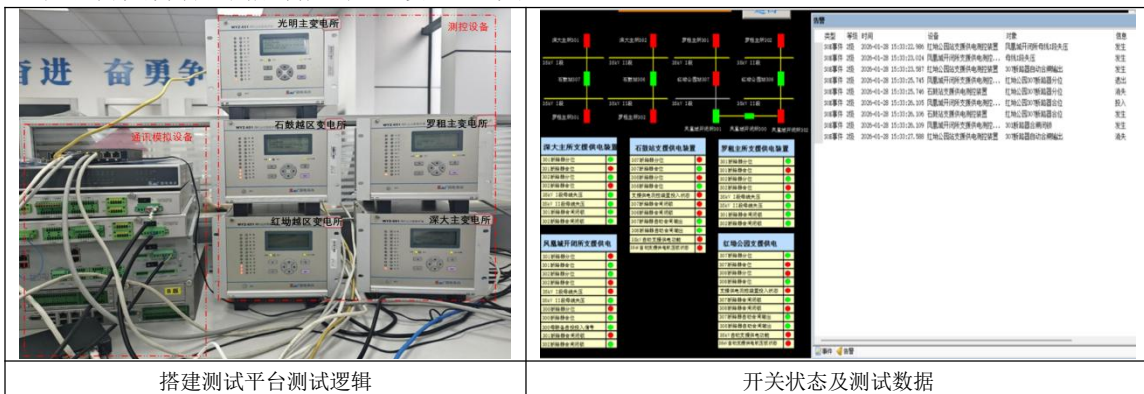
当任意 1 套综合测控装置故障时，可在 NOCC 的 PSCADA 上远程退出 35kV 自动化支援供电功能，由电调远程合红坳公园站 307 及 308 断路器，现实罗租主变电所向光明主变电所失压切除负荷回路支援供电。

35kV 越区开关自动合闸成功后，应闭锁 35kV 失压

母联各自投合闸，防止恢复送电时造成合环送电故障。

6 35kV 越区开关自动化合闸功能测试及实践

(1) 罗租主所向光明主所支援供电 35kV 越区开关自动化支援供电测试



罗租主变电所 35kV 301 和 302 开关均为合位，光明主变电所切除负荷所，即凤凰城开闭所 35kV 302 开关合位，红坳公园站 35kV 308 开关满足闭锁合闸条件，红坳公园站 35kV 308 开关合闸闭锁遥信点为合位，并闭锁 35kV 308 开关合闸出口点出口。

罗租主变电所 35kV 301 和 302 开关均为合位，凤

凰城开闭所 35kV 300 备自投退出，300 分位，301 分位，I 段母线失压，红坳公园站 307 满足自动合闸条件，红坳公园站弹出 307 自动合闸输出指令，1s 左右消失，红坳公园站 307 变为合位。

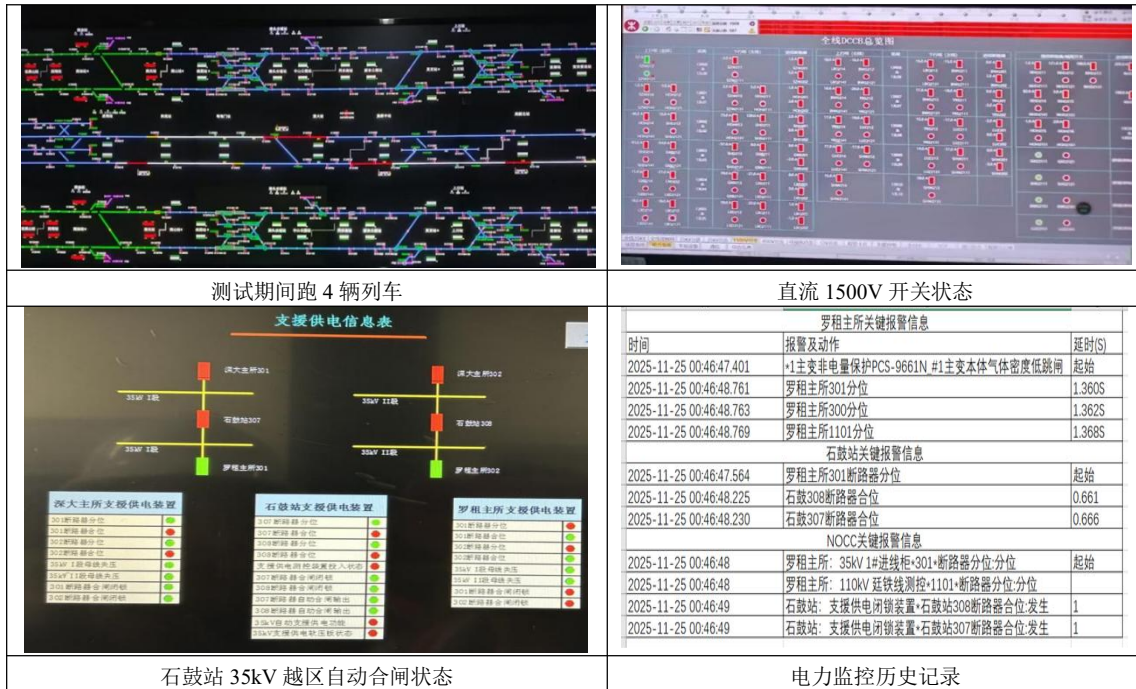
罗租主所 301 和 302 均为合位，红坳公园站 307 为合位时，凤凰城开闭所 301 满足闭锁合闸条件，凤凰城

关闭所 301 合闸闭锁遥信点为合位，并闭锁 301 合闸出口点出口。

模拟故障将罗租主所 1#及 2#主变压器退出运行，

(2) 深大主变电所支援罗租主变电所越区供电实

测 石鼓站 35kV 越区开关延时 660ms 后自动合闸。



测试期间跑 4 辆列车

直流 1500V 开关状态

石鼓站 35kV 越区自动合闸状态

电力监控历史记录

(3) 35kV 越区开关自动化合闸功能实践测试结果
通过分析罗租主所 35kV 301 断路器保护分闸，延时 2 毫秒罗租主所 300 母联断路器保护分闸，再延时 660 毫秒，石鼓站 35kV 越区开关 307 及 308 合闸完成，石鼓站至上屋站 35kV 开关、DC1500V 开关及 400V 开关均未产生变位，检查各站设备供电均正常，直流 1500V 开关未产生变位，列车运行未受影响。

系统要求，能有效解决最大负载情况下进行 35kv 自动化支援供电。

通过报文及开关运行状况分析，支援供电功能与支援供电保护逻辑一致，各站之间通讯可靠，信号可以在 10ms 内传输完成，设备运行安全可靠，各 35kV 开关动作时间顺序正确，满足设计要求。

通过测试及实践证明 110kV 相临主变电所 35kV 自动支援供电是可行及安全可靠的，能大大降低运营风险，提高 35kV 系统供电可靠性。

7 35kV 越区开关自动化合闸功能测试与实践总结

参考文献

通过主变电所各主变压器远期负荷计算分析，发现供电系统越区支援供电不足，通过深化设计，模拟验证及实践测试，证明三座变电所间 35kV 自动化越区供电系统可行，系统连锁闭锁功能可靠，保护配合时间满足

[1]GB 50157-2013 地铁设计规范。
 [2]廖林根--110kV 相临主变电所 35kV 自动支援供电分析与实践。
 [3]交办运(2025)71号《城市轨道交通供电系统运营技术规范(试行)》。
 [4]《深圳市城市轨道交通 13 号线工程》初步设计修编。

作者简介：廖林根(1983.12-)，男，汉族，广东乐昌人，中级，本科，供电工程师，研究方向：地铁供电系统建设及运维。