

# 浅谈缩短西洋岛微电网黑启动时长

高雄阳

(宁德市供电服务有限公司霞浦分公司 福建 霞浦 355100)

**摘要:**霞浦县西洋岛已建设完成风、光、储一体的微电网,可脱离主网独立运行。微电网可在西洋岛海缆故障情况下实现全岛另一电源供电。但全岛微电网黑启动时间长达8-10个小时,严重影响岛上军民生产生活。本文从西洋岛微电网的现状,影响西洋岛微电网黑启动时间超长的原因分析,及缩短西洋岛微电网黑启动时长的措施和建议,来缩短西洋岛微电网黑启动时长。

**关键词:**微电网,黑启动,启动时间超长

为了在西洋岛海缆故障情况下实现微电网对全岛的供电,及时恢复岛上军民生产生活用电,急需对黑启动超长问题进行解决。在提高运维质量的同时,提供更加优质的供电服务。

## 一、西洋岛微电网的现状

西洋岛现有用户2143户,公变20台,专变16台(其中长期处于暂停状态的3台),配变情况见附表1。正常运行的变压器总容量8985kVA。岛上驻有海军雷达观测站和陆军海防连两支驻岛部队,海军雷达站用电容量125kVA,陆军主要用电设备共350kVA,其中:海防连专变100kVA,军用码头公变200kVA,部队抽水站50kVA。目前岛上政府、部队配有柴油发电机5台,总装机容量54kW,另外部分用户自购柴油机组。

西洋岛现有2回10kV海缆和岛外电网相连,其中10kV海岛I回(资产属县政府)目前退出运行,因缺乏维护等问题,需要时无法及时投运。西洋岛主要依靠东冲半岛35kV下浒变通过海岛II回10kV海缆供电(根据海缆初步设计文件,设计极限输送容量7MVA),岛上10kV网架结构为树状辐射结构。

西洋岛微电网是由分布式电源(风力发电、光伏发电等)、储能装置、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等组成的小型发电系统;黑启动是指整个系统因故障停运后,系统全部停电,处于全“黑”状态,不依赖别的网络帮助,通过系统中具有自启动能力的发电机组启动,带动无自启动能力的发电机组,逐渐扩大系统恢复范围,最终实现整个系统的恢复。

西洋岛黑启动操作人员受限,正常情况只满足安排3组操作,以之前完成5次的启动时长统计,平均9.08小时。西洋岛微电网黑启动操作流程如下:确认全岛停电,岛内无故障(或需要微电网供电范围无故障);断开所有公、专变低压侧开关使得变压器处于空载运行状态;利用储能系统建立微电网电压、频率对所有空载变压器进行供电;将各变压器由空载运行转运行;判断负荷情况控制风机输出功率接入风机。

现有的微电网黑启动需要到达岛上各配变台区操作,西洋岛各配变分布较散,一半距离供电所较远,行程路况条件各不相同。

经调查,西洋岛微电网黑启动平均操作时间分类占比:现场停电操作41.99%,接入负荷操作41.80%,启动储能操作7.92%,接入风机操作6.81%,确认运行状态1.47%。因此,现场停电操作时长和接入负荷操作时长占比83.79%是主要症结,应优先解决。

## 二、影响西洋岛微电网黑启动时间长的原因分析

根据主要症结,结合实际,从人、机、料、法、环、测方面考虑,对“现场停电操作时间长”和“接入负荷时间长”的原因进行分析,绘制因果关联图,从中寻找到7个末端因素。

### (一)缺少技能培训

经过对霞浦公司实训机房和供电所实训室现有的培训设备进行现场调查,发现由于管理不到位造成“低压排故仿真系统”和“三相表错接线仿真系统”两种培训设备不能正常使用。只能靠视频教学和现场设备实物进行培训,达不到预期培训效果。实操培训项目较少,技能操作的培训少之又少,没有针对供电所员工的弱项技能开展培训,培训计划和方式不科学造成员工技能低。因此缺少专业的技能培训是造成员工技能单一的一个原因。

### (二)开关设备老旧

调查了PMS2.0系统目前海岛供电所服务站配变低压开关,最久的已经运行15年以上,最近的运行1年,存在多种型号的低压开关,小组对不同型号的低压开关进行模拟操作,统计各类开关的操作时长,若进行人工操作开关老旧程度对开关操作时间影响不大,新旧程度不同的开关对停电操作时间影响很小,因此本末端因素对问题症结影响小。

### (三)缺少低压自动化开关

调查《配网电力设备技术规范》低压开关设备型号功能,岛上现有的开关型号及功能情况,有无自动化功能对停电操作时间长的影响。岛上位置最近非遥控开关操作时间是遥控开关操作时间的12.5倍,岛上位置最远非遥控开关操作时间是遥控开关操作时间的114.5倍。因此低压开关无遥控功能是造成现场操作时间长的主要原因。

### (四)操作顺序统筹性差

调查操作分组方法,模拟测试不同分组方法对停电操作时间长的影响,根据岛上台区具体位置,已通过多次统筹组合,确定了最佳的操作顺序,将重复路程降到最低。因此操作顺序统筹性差已降到最小,对现场操作时间长影响不大。

### (五)行车路况差

调查行车到达配变台区现场的时间,行车路况的好坏对停电操作时间长是否有很大影响,查霞浦县乡镇公路记录。行车路况差延长用时35.15分钟(72.8-37.65),占总用时544.8分钟(9.08小时)的6.45%。因此行车路况差是现场操作时间长的原因之一,但非主因。

### (六)步行路程长

调查发现,步行时间与步行路况有非常大的关系,路况差,步行速度慢,步行时间相对较长。停电操作完成步行往返时间为121分钟,三个操作小组按最佳方案分解解如图,用时最多46分钟,占停电总用时228分钟的20.18%,负荷接入(送电操作)时长相似,总步行时间占比40.36%。因此步行路程长是现场操作时间长的主因。

### (七)操作人员数量少

经现场确认,海岛服务站现有运维人员6人,满足日常运维要求。黑启动操作非常态工作,因为突发事件配置超过日常运维需要人数不满足经济性要求。且由于海岛交通限制,岛外帮扶人员上岛最快也需要2小时,时效性较差。岛外帮扶人员到达西洋岛路中用时最快也要花费2个小时,突发性故障对减少停电时间帮助不大,因此操作人员数量少是现场操作时间长的原因之一,但非主因。

## 三、黑启动实施步骤

### 3.1黑启动前状态检查

黑启动前统一由当班调度员依据通过DMS主站确认微电网内10kV网架开关状态。如检查时开关实际状态与黑启动前所需状态不一致的,应先确认开关状态不一致原因,并将开关状态操作至黑启动前状态,内容检查包括以下两部分:

1)10kV开关位置状态:并网点海岛II回K058开关分位,其余开关在合位,若出现故障跳闸的开关由调度进行遥控合闸,具体开关状态检查见附录2。

2)0.4kV开关位置状态:故障后通过一键批量拉荷的方式将配变低压总开或智能分路开关拉闸,15分钟内完成。(采用失压脱扣方式自动跳闸会增加日常维护工作量,暂不考虑),具体开关状态检查见附录3。

霞浦县调在DMS主站风力发电监视图界面核查三台风机运行状态,应处于停机状态。

检查微网控制系统在正常通讯状态,检查两套储能系统SOC在20%以上。(应改为40%)

### 5)检查两台储能PCS在离网(V-F)运行模式

### 3.2储能系统零启动建立电压

霞浦调度主站判断现场具备黑启动条件后,下达黑启动命令,微网控制器控制两台储能PCS同时启动,约500ms后,同时完成全岛配变零启动建立电压,微电网系统电压达到10kV,检查岛上30台配变是否恢复正常运行。

### 3.3 根据负载情况启动风机

风机最小运行功率为 300kW, 在确认岛上 30 台配变均处在空载运行情况下, 若风机具备启动条件, 根据空载负荷将一台风机投入运行, 并设置最大出力为 500kW (暂定)。

### 3.4 恢复重要负荷供电

根据重要负荷排序依次恢复重要负荷供电。注意: 配备自备电源的用户中, 未配置自动切换装置的应通知用户停用自备电源后, 才可合上配变低压侧开关; 配置自动切换装置的用户, 调度员可通过 DMS 主站远方遥控合上配变低压侧开关, 恢复顺序依据附表 4。

### 3.5 恢复非重要负荷供电

检查重要负荷供电正常后, 根据负载情况调整风机出力, 暂设置风机出力上限为 1MW, 当储能 SOC 达到 90% 时, 且仍处于充电状态, 将非重要负荷投入运行, 投入顺序参照附表 5。

### 3.6 启动柴油发电机

若 4.3 中, 站内三台风机均不具备启动条件, 或风机启动但储能系统带负荷后储能系统 SOC 仍下降至 30%, 则霞浦县调在 DMS 主站通过微网控制器向柴油发电机系统控制器下达启动指令, 柴油发电机启动并网给储能系统充电。

### 3.7 转入离网运行模式

霞浦调度检查全岛配变均正常运行, 储能 SOC 处在 60% 以上容量时, 则认为成功完成西洋岛微电网黑启动, 主站将操作微电网进入离网运行模式。

### 3.8 离网运行的功率平衡

离网运行时, 风机功率调节交由微网控制器控制, 设置微网控制器每间隔 10 分钟计算并调节风机出力, 比如 8:00 监测到负载 956kW, 设置风机出力上限为 1000kW, 8:10 负载上升至 1034kW, 设置风机出力上限为 1100kW, 使得储能系统处于浅充状态; 储能达到上下限值调节 (60%~95%) 也可触发微网控制器 (DMS 主站) 调节风机出力, 使储能处于放电平衡状态。若风机不具备出力条件, 且储能 SOC 低于 30% 则告警主站投入柴油发电机。

## 四、对策与建议

### (一) 更换带远程遥控功能的配变低压开关

1. 岛上 30 台配变低压侧开关更换为配置智能断路器和台区智能融合终端 (TTU), 具备远方遥控及位置上送功能。

2. 微电网停电后, 智能断路器仍可通过蓄电池维持至少 15 分钟的可操作时间。

通过对策一实施, 30 台开关遥控成功动作 29 台, 功率率达 96.67%, 达到遥控功率达 95% 及以上的目标值。

### (二) 现场倒闸操作改为远程遥控操作

1. 安装快速控制开关 PCS-8910-HSCB-KYN-12/C1250-31.5, 确认 0.4kV 开关位置状态; 故障后通过一键批量拉荷的方式将配变低压总开或智能分路开关拉闸, 15 分钟内完成。

2. 考虑到负荷与风机输送功率的匹配, 全岛停电后尽快恢复对海岛重要负荷的供电, 根据重要负荷排序依次恢复重要负荷供电。注意: 配备自备电源的用户中, 未配置自动切换装置的应通知用户停用自备电源后, 才可合上配变低压侧开关; 配置自动切换装置的用户, 调度员可通过 DMS 主站远方遥控合上配变低压侧开关, 恢复顺序依据附表 7-2。

### 根据负载情况启动风机

风机最小运行功率为 300kW, 在确认岛上 30 台配变均处在空载运行情况下, 若风机具备启动条件, 根据空载负荷将一台风机投入运行, 并设置最大出力为 500kW (暂定)。黑启动重要负荷的 9 台配变遥控操作作用时 120 秒钟。

3. 黑启动后的离网阶段可根据风况恢复对部分非重要负荷的供电。中间间隔 5 分钟左右, 检查重要负荷供电正常后, 根据负载情况调整风机出力, 暂设置风机出力上限为 1MW, 当储能 SOC 达到 90% 时, 且仍处于充电状态, 将非重要负荷投入运行, 投入顺序参照附表 7-3。黑启动非重要负荷的 24 台配变遥控操作作用时 319 秒钟。

负荷接入总时间: 120 秒钟+5 分钟+319 秒钟=12.3 分钟

通过对策二实施, 有效缩短了停电操作时间, 现场停电操作时间由原来 228 分钟下降到 14 分钟, 接入负荷操作时间由原来 227 分钟下降到 13 分钟左右, 单台配变操作时间不超过 14 秒, 达到预定的目标值。

### 4. 通讯改造

现有两条岛内外相连的通信通道, 其中一条为电力海底光缆 (与海岛 II 回电缆同步接入), 一条为军用海底光缆。光缆敷设现状需核实, 电力海底光缆进岛后进入配电站房, 光纤进一步延伸至岛上东北角的微电网开关站。岛上现有终端通过移动运营商的无线公网 VPN, 与 DMS 主站实现三遥/四遥功能, 移动租用的是军用的海底光缆。故电力海底光缆终端情况下正常不会影响基站信号。

### 有形效益

西洋岛微电网黑启动操作 1 次时间同比减少 374 分钟 (6.23 小时), 西洋岛现负荷为 2MW, 计算: 1 次操作可增供电量  $W=P \times T=2000 \times 6.23=12460 \text{ kWh}$ ; 一年按平均停电 5 次, 设备使用寿命按 10 年估算, 共增供电量 623000 度。

### 无形效益

(1) 通过微电网黑启动现场停电和接入负荷操作时长治理措施的执行, 减少了用户停电时间, 提高了供电可靠性。

(2) 提升了供电服务质量, 减少的因停电时间过长而引发的投诉。为巩固成果, 小组在公司调控中心的指导下编制了《西洋岛微电网黑启动作业指导书》, 经公司运维检修部和安全监察部的审核同意后推广应用, 实现操作的流程化、标准化。

## 五、黑启动原则及注意事项

### (一) 黑启动总体原则

1. 黑启动过程中, 仍然按照“统一调度、分级管理”的原则进行电网事故处理。

2. 承担黑启动任务的机组必须配置足够的直流电源。不间断供电电源的容量应能支持在黑启动过程中的通讯系统 8 小时、自动化等监控系统 2 小时的正常运行。

3. 黑启动过程中, 负荷应当在调度的统一指挥下按轮次有序恢复。首先恢复网内电力调度机构生产用电、风机启动用电。在启动电源容量允许条件下, 按照用电负荷重要性, 优先恢复通信设施、党政机关、重要企业负荷的用电。

4. 为了维持黑启动机组的稳定运行, 应适时投入一定数量的负荷。所带负荷的大小一般为机组容量的 80% 左右。每次增加的负荷一般不大于机组或独立系统容量的 2%。对电网运行冲击较大的负荷应在恢复的系统规模足够大时才能供电。

5. 黑启动过程中应着重考虑可能出现的低频振荡问题、机组的自励磁问题、空载线路或变压器的过电压问题 (操作过电压、工频过电压及谐振过电压等)、事故恢复过程中的有功平衡及无功平衡问题、事故恢复中并列 (或合环) 点的选择问题, 以及系统初步恢复后的潮流和稳定校验问题、继电保护的校核问题等。黑启动研究方案应对选定的黑启动路径进行自励磁、谐振、过电压、频率、电压、合环、负荷恢复和稳定性等问题进行校核计算。

6. 黑启动成功后, 应当控制地区间的交换功率, 以输送黑启动所需的动力资源为原则, 确保恢复过程中系统的灵活性、稳定性。

### (二) 黑启动电压及频率控制原则

1. 调度员许可后, 按预定方案逐步恢复重要负荷供电, 严格控制负荷的恢复速率, 保证频率在  $50 \pm 0.3 \text{ Hz}$  内, 一次接入负荷不应使频率下跌 0.5Hz; 一次接入负荷量不大于发电出力的 5%, 防止该系统再次崩溃, 指定储能系统承担调频任务。

### 2. 黑启动路径

每个黑启动电源应具有独立的黑启动路径。各黑启动路径送电后应在规定的并列点并列, 逐步形成主网架。

## 结语

综上所述, 结合当前西洋岛微电网黑启动情况来看, 紧密结合 PCDA 循环方法来开展, 根据微电网黑启动治理工作中遇到的问题制定计划, 结合数字化技术来落实计划, 并检查和结果进一步进行处理, 在该活动中所积累的经验有助于提高在日后工作中对于所遇到的问题处理水平。专业技术方面对微电网黑启动时长治理有了更深的技术理解, 为电力企业实现持续发展奠定坚实的基础。

## 参考文献

[1] 谭丽君, 陈广久, 王莉, 张小研, 王昕. 微电网技术的发展现状与未来趋势[J]. 现代经济信息, 2023(24):378.

[2] 梁德斌, 刘仁军. 微电网的现状 & 面临的问题[J]. 农村电工, 2023, 25(08).