

供配电系统备用电源可靠性提升研究

秋磊

珠海万力达电气技术股份有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/WCEST.2025090010

摘 要 : 工业生产扩张与能源结构优化, 使大型火电厂厂用电系统更复杂, 备用电源作为安全运行最后防线, 可靠性至关重要。本文以某电厂为对象, 聚焦3#锅炉投运后备用电源容量不足问题。分析显示, 扩容后35 MVA启备变需为总容量82 MVA的10段6kV母线提供备用, 多段母线同时失电时, 易引发启备变过负荷保护动作, 后果严重。为解决此“小马拉大车”矛盾, 本文提出两套方案: 一是基于物联网与 IEC 61850 标准的自主决策系统, 借分布式智能终端实现毫秒级负荷感知、容量评估与精准投切; 二是网络化集中管控系统, 通过主站监控结合变压器过载能力与人工干预管理负荷。本文阐述方案架构、交互机制及改造方案并多维度对比, 成果为该电厂及同类系统提供参考。

关 键 词 : 备用电源; 供电可靠性; 负荷分级; 智能决策; IEC 61850

Research on Improving the Reliability of Standby Power Supply in Power Supply and Distribution Systems

Qiu Lei

Zhuhai Wanlida Electrical Technology Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : With the expansion of industrial production and the optimization of energy structure, the auxiliary power system of large thermal power plants has become increasingly complex. As the final line of defense for safe operation, the reliability of the standby power supply is crucial. This paper takes a certain power plant as the research object, focusing on the problem of insufficient standby power capacity after the commissioning of the 3# boiler. Analysis shows that after capacity expansion, the 35 MVA start-up/standby transformer is required to provide standby power for 10 sections of 6kV busbars with a total capacity of 82 MVA. When multiple busbars lose power simultaneously, it is prone to trigger the overload protection operation of the start-up/standby transformer, leading to serious consequences. To resolve this contradiction of "insufficient capacity to meet load demands", two schemes are proposed: First, an autonomous decision-making system based on the Internet of Things (IoT) and IEC 61850 standard, which achieves millisecond-level load sensing, capacity evaluation, and precision switching through distributed intelligent terminals. Second, a networked centralized control system that manages loads through master station monitoring combined with the transformer's overload capacity and manual intervention. This paper elaborates on the architecture, interaction mechanism, and transformation plan of the two schemes, and conducts a multi-dimensional comparison. The research results provide a reference for the studied power plant and similar systems.

Keywords : standby power supply; power supply reliability; load classification; intelligent decision-making; IEC 61850

引言

煤化工、火电等连续性生产企业中, 厂用电系统的高可靠性是安全生产的生命线^[1]。行业普遍采用“双电源、单母线分段”结构及快速切换 (FT) 装置, 确保工作电源故障时无缝切换至备用电源, 降低关键负载冲击^[2]。中国神华某电厂3#锅炉投运后, 6kV母线由8段扩至10段, 唯一备用电源—35 MVA启备变需承载10段母线82 MVA的总负载, 主备容量比仅42.6%。虽该比例未变, 但脱硫等关键负载集中增加, 使运行风险骤升。

若多点故障致5段以上母线同时切换备用, 启备变将过载跳闸, 不仅导致请求备用的母线失电, 更会因母线上的脱硫等关键设备停摆引发连锁反应, 可能造成全厂非计划停机, 产生重大损失。因此, 在不进行大规模硬件增容的前提下, 通过智能化手段提升备用电源可靠性, 成为亟待解决的难题, 本文即旨在分析该问题并提出可行方案。

作者简介: 秋磊 (1989.10—), 男, 汉族, 陕西武功人, 本科, 助理工程师, 从事电气自动化, 继电保护相关研究。

一、系统现状与风险量化分析

（一）厂用电系统拓扑结构

该发电厂的厂用电系统主要由以下部分构成：一是工作电源：分别由1#、2#发电机高厂变、0#炉及公用变、脱硫变以及新增的3#锅炉相关变压器提供。二是备用电源：统一由一台独立的启备变（35 MVA）通过备用段母线提供。三是母线结构：共10段6kV母线，分别为0#锅炉 A/B段、1#机组 A/B段、2#机组 A/B段、脱硫变 A/B段、3#锅炉 A/B段。

（二）容量瓶颈与风险场景建模

根据历史运行数据（见表1），各主要负载在最大工况下的需求容量已十分接近甚至超过其对应变压器的额定值。特别是3#锅炉投运后，其预计最大负荷将达到12 MW，对备用系统构成巨大挑战。

表1 厂用电各段最大负荷统计表

负载名称	平均负荷 (MW)	最大负荷 (MW)	换算变压器容量 (MVA)	需求最大容量 (MVA)
公用变	9.8	11.76	11.53	12
#2厂高变	7.8	9.36	9.17	10
#1厂高变	8.3	9.96	9.76	10
脱硫变	2.2	2.64	2.59	3
#3锅炉	—	12.00	33.05	35
总计	28.1	45072	66.09	70

注：最大负荷按平均负荷的1.2倍估算。

通过模拟测算可以清晰地量化风险^[3]：3#炉投运前的情况是：假设8段母线总负载为49.2 MVA（82 MVA * 60%），则每段平均负载约6.15 MVA。35 MVA的启备变理论上可同时为5.7段母线提供备用，备用率为62.5%。3#炉投运后的情况是：10段母线总负载相应增加，但启备变容量不变。此时，其最多只能为5段母线提供可靠备用，备用率降至50%。

一个典型的高风险叠加场景是：在1#机组启动阶段，其A/B段母线（2段）由启备变供电；若此时脱硫变发生故障，其A/B段母线（2段）加上3#锅炉A/B段母线（2段）共4段将同时失电并请求切换。这将导致启备变需要同时承担6段母线的负载，远超其承载极限，系统崩溃风险极高。

二、技术解决方案设计

针对上述风险，本文摒弃了传统的“故障即切换”模式，转而从全局视角出发，设计了两套智能化解决方案。

（一）方案一：基于物联网的自主决策型备用电源切换系统

本方案的核心思想是构建一个去中心化、自组织的智能决策网络，实现“感知-决策-执行”闭环。

1. 系统架构与硬件部署

主机：1台，部署于启备变进线开关侧，作为决策核心。

从机：10台，分别部署于10段主进线母线的开关间隔，负责本地数据采集与执行。

通讯网络：采用双层光纤环网，底层为PRP（并行冗余协议）或HSR（高可用性无缝环网）冗余网络，承载IEC 61850-GOOSE实时报文；上层为传统IEC 104网络，用于三遥信息上传至监控后台。

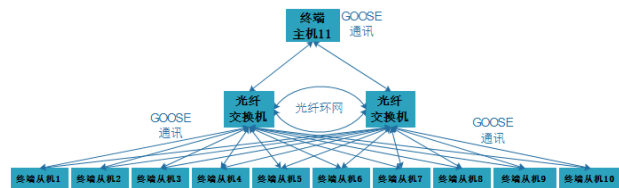


图1：物联网自主决策备用电源切换系统网络部署图

2. 信息交互与处理逻辑

所有终端通过GOOSE协议交换关键信息^[4]，包括开关状态、电压/电流、有功功率及负荷优先级（预设为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级）。其核心处理逻辑如下：

①事件触发：任一从机检测到母线失压，立即将事件信息及自身负荷数据广播至主机。

②全局计算：主机实时汇总所有在线从机的负荷，并计算当前空闲容量。

③智能决策：若待切换负荷总量 ≤ 空闲容量，则授权相应从机执行快切。若待切换负荷总量 > 空闲容量，则根据负荷优先级进行排序，仅允许高优先级负荷切换，并向低优先级从机发送“闭锁合闸”指令。

在已带载状态下，若新故障发生且容量不足，主机可主动发出指令，切除已接入的低优先级负荷，为新出现的高优先级故障负荷腾出容量。

（二）方案二：基于网络化的备用电源切换管控系统

本方案采用“集中监控、预警辅助、人机协同”的策略，充分利用现有运维体系。

1. 系统架构与硬件部署

主站：1套后台管理系统，部署于控制室PC端。

终端：10台快切终端，功能与方案一的从机类似。

通讯网络：采用星型光纤网络，终端与主站通过IEC 104规约进行通讯。

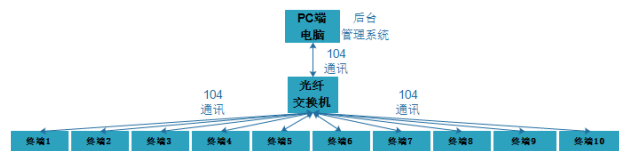


图2：基于网络化备用电源切换管控系统网络部署图

2. 信息交互与处理逻辑

终端周期性地将遥测遥信数据上传至主站。主站进行全局负荷计算，并执行以下逻辑：

①常态监控：主站持续计算启备变的实时负荷率和剩余容量。

②预警与闭锁：在快切动作前，主站若预测切换后会过载，则提前向对应终端下发“闭锁”信号，阻止其动作。

③极端工况处理：对于无法预判的多点同时故障，允许快切装置先动作。主站随即进入“过载应急模式”，利用启备变的短时过载能力（如超30%可运行120分钟），在此时间窗口内向运行人员发出声光报警和负荷切除建议。

④自动兜底：若运行人员未能在规定时间内（如30分钟）完成负荷调整，系统将自动按照预设优先级切除低级别负荷，强制系统回到安全运行区间。

三、方案综合对比与选型建议

两种方案都是基于传统型无扰动快切技术^[5]，所不同的是方案1：融合了新一代物联网技术，基于 IEC61850+GOOSE 通讯开发的自主决策备用电源切换系统；方案2：融合了新一代的网络化预判的、站预警技术的备用电源切换管控系统。下面对两种路线的具体差异进行对比见表2。

表2 两种技术方案综合对比表

对比维度	方案一：自主决策型	方案二：网络化管控型
自主程度	L4级（全自动，无需人工）	L2级（预警+人工干预）
运行风险	算法复杂，存在误切风险	依赖人工，对突发故障响应慢
施工难度	高（需改造所有间隔二次回路）	低（主要增加主站和通讯）
通讯方式	IEC 61850-GOOSE（实时性强）	IEC 104（通用性强）
组网方式	星环结合	星型结构
系统架构	分布式（鲁棒性好）	主从式（结构清晰）
调节速度	秒级调节（自主）	小时级调节（人工）
适用场景	对供电连续性要求极高的“黑灯工厂”	有人值守、强调人机协同的传统电厂

选型建议：若电厂具备较强的技术维护能力和对供电连续性的极致追求，且愿意承担较高的初期改造投入，则方案一是面向未来的发展方向。若电厂倾向于稳妥过渡，希望在保留现有运维习惯的基础上提升安全性，则方案二是更为现实的选择。

四、结论

本文针对某大型煤化工发电厂因系统扩容引发的备用电源可靠性危机^[6]，进行了深入剖析，并提出了两套具有创新性和实用性的解决方案。研究结论如下：一方面风险根源明确：3#锅炉投运导致的负载结构变化，是引发备用容量不足风险的根本原因，必须通过系统性方案而非局部修补来解决。另一方面技术路径可行：无论是基于物联网的自主决策系统，还是基于网络化的集中管控系统，都能有效规避启备变过载跳闸的风险，将“被动防御”转变为“主动管理”。最后一方面是价值导向清晰：方案的选择应紧密结合电厂的实际运维水平、风险偏好和投资预算。

智能化不是目的，而是提升本质安全的手段。本研究不仅解决了特定电厂的燃眉之急，其提出的“全局负荷感知”“动态容量评估”和“负荷分级管理”等核心理念，对于指导其他面临类似挑战的工业供配电系统升级改造，具有广泛的借鉴意义和推广价值。

参考文献

[1] 国家能源局. 发电厂厂用电设计技术规程 :DL/T 5153-2014[S]. 北京 : 中国电力出版社 , 2014.

[2] International Electrotechnical Commission. IEC 61850-5: Communication networks and systems for power utility automation-Part 5: Basic communication structure for substation automation systems[S]. 2013.

[3] 李永丽, 李博通. 智能变电站技术及其应用 [M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2016.

[4] 李霞, 刘洋, 龙军, 等. 大型火力发电厂启动 / 备用电源接线探讨 [J]. 机电工程技术 , 2024, 53(12): 253-255+312.

[5] 陈益鑫. 数据中心市电电源和备用电源的切换控制逻辑研究 [J]. 智能城市 , 2024, 10(12): 54-57.

[6] 朱曙, 冉月, 赵慧明. 基于 IEC 61850 标准的配电站网络攻击模型研究 [J/OL]. 自动化技术与应用 , 2024.