

工厂供配电系统可靠性提升策略研究

高 远

宁夏工业设计院有限责任公司 宁夏 银川 750001

【摘 要】：工厂供配电系统连接外部电源、变配电设备与生产负荷，局部故障若缺少隔离和转供条件，容易扩展为连续生产中断。围绕电源结构、母线分段、设备状态、保护配合及应急处置，分析可靠供电对生产连续性、电能质量和故障恢复的作用，提出双路电源与分段网架协同、设备分级检修、保护定值联校、监测诊断闭环及应急切换演练等策略。分析显示，可靠性提升不能依赖单项设备冗余，应把故障限制、负荷转移和检修反馈贯通为可验证的运行闭环。

【关键词】：工厂供配电；供电可靠性；分段母线；状态检修；应急切换

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.079

1 工厂供配电系统对可靠运行的作用分析

1.1 突破单电源限制，实现双路供电

单电源结构把线路、进线开关和上级节点串联成同一供电链，任一环节退出都可能造成生产母线失电。双路电源应与母线分段、联络开关和负荷等级对应，关键控制、消防及工艺安全负荷不能与普通动力负荷争用备用容量。N-1准则能够检查单个电源或关键元件退出后的剩余供电能力，还可暴露母线联络与备用容量之间的薄弱关系^[1]。设计时需核对两路电源的独立性、共因失效、短路电流水平和保护配合，并预先确定故障隔离边界、并列条件与转供顺序。

1.2 优化电能质量，保障关键设备

可靠供电除“有电”外，还要求电压偏差、短时中断、谐波和不平衡处于设备可承受范围。变频器、整流装置和冲击负荷可能造成波形畸变或电压暂降，诱发控制器、接触器及精密设备误动作。供配电设计对可靠性的影响需要同时考察接线方式、设备容量和运行条件，任一环节不匹配都可能扩大电能质量扰动^[2]。工厂应把强扰动负荷与敏感负荷分区接入，在关键母线和末端布置监测点，并核对补偿投切与谐振风险，以区分外部波动、内部扰动和接触不良。

1.3 降低故障处置强度，改善运行条件

故障处置效率取决于信息完整度、隔离边界和操作路径。传统巡检依赖经验，温升、局部放电和接点松动常在跳闸后才暴露，恢复时间随排查范围扩大。可靠性评估需要识别设备失效及其影响范围，同时核对故障后的恢复路径，不能只用设备数量判断系统水平^[3]。工厂可统一保护动作、开关状态、电能质量和温度数据的时间基准，形成告警、定位、隔离、转供和检修事件链；图纸、台账、定值单与现场编号同步，处置后记录动作顺序、耗时及未遂风险。

2 工厂供配电系统提升供电可靠性的策略

2.1 保护控制技术创新策略

保护控制要让故障元件快速退出并保留非故障区供电。上下级过流保护级差不足会引起越级跳闸，级差过大则延长故障切除时间。10 kV 供配电系统的接线方式与保护配置共同决定故障切除范围，定值失配还可能使末端故障越级扩展^[4]。工厂应在最小、最大运行方式下校核灵敏度、选择性和速动性，把母联开合、备用投入及大电机启动纳入定值组合。自动切换设置失压判据、延时、防反送电与闭锁，切换前确认备用侧电压，切换后按优先级分批恢复负荷。

2.2 配电设备优化策略

设备优化应按关键度、健康状态和故障后果排序。主变、进线开关、母联、关键电缆及直流控制电源建立温度、绝缘、机械特性和动作次数档案，一般末端设备采用周期巡检与缺陷触发检修。大型工厂供配电可靠性同时受设备选型与系统结构制约，脱离运行环境配置设备会增加隐性失效风险^[5]。选型还需校核温度、粉尘腐蚀、短路耐受、备件周期和维护可达性。设备可用度用于运行维护比较时，应区分延长 MTBF 和缩短 MTTR 两条改进路径，并结合具体故障模式确定投入重点。设备可用度按式（1）计算。

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

式（1）中：A 为设备可用度；MTBF 为平均无故障时间，h；MTTR 为平均修复时间，h。该式用于同口径设备或方案的运行维护比较。式（1）表明，延长 MTBF 与缩短 MTTR 都能提高 A。对故障频繁但维修简单的设备，应优先治理重复缺陷；对故障少但备件周期长的关键设备，应配置备件和替代供电路径。

2.3 运行管理改进策略

运行管理要把图纸、台账、监测与工单绑定到同一设备编码。负荷变化、临时接线或定值调整未同步更新,会使现场系统偏离设计状态。供配电智能化建设需要让在线数据服务于异常识别和检修决策,若平台彼此孤立,告警就难以转化为闭环工单^[6]。工厂应定期核对主接线方式、关键负荷、定值版本和自动切换条件,扩产或大修后重新校核潮流、短路及转供能力。不同故障场景应分别明确隔离与恢复关系,考核可采用定位时间、恢复时间、重复缺陷率和误动拒动情况。典型故障场景的隔离与恢复判读关系见表1。

表1 典型故障场景的隔离与恢复判读关系

故障场景	恢复优先级/级	恢复步骤数/步	关键确认项/项	优先隔离范围	恢复路径	判读重点
单回路进线失压	1	5	9	故障进线及其连锁区	备用进线—母联—关键母线	备用侧电压、容量与防反送电
单段母线故障	2	6	10	故障母线段	相邻健全母线转供	母联状态、保护闭锁与负荷优先级
关键馈线故障	3	7	11	故障馈线开关至负荷侧	备用馈线或工艺安全停机	故障点位置、选择性动作与末端状态
控制电源异常	4	8	12	失压直流分屏或回路	备用电池组或冗余控制回路	电压趋势、绝缘告警与跳闸能力
主变压器退出	5	9	13	故障主变及关联开关	备用主变或跨段转供	负载率、温升、保护与并列条件
通信监测中断	6	10	14	故障通信链路	本地保护—人工巡检—离线工单	本地保护独立性与数据补录

表1中,6类场景的恢复优先级、步骤数和确认项数量形成差异化判读关系。进线与母线故障优先核

对备用侧和连锁条件,主变退出需追加负载率与温升判断,通信中断则保持本地保护独立运行。数值仅用于本篇演练方案分级。

2.4 应急制度支持策略

应急保障要与真实接线、人员权限和生产工艺联动。预案按外部电源中断、母线故障、主变退出、控制电源异常及通信失效设置处置卡,明确确认、隔离、转供和负荷恢复责任。供配电系统的应急切换方案应以故障边界和备用容量评估为基础,并通过现场验证确认连锁与恢复顺序^[7]。演练前检查备用容量、连锁和通信方式,演练后核对恢复时间并修订预案;关键备件按故障后果和采购周期分级。供配电可靠性提升应形成完整动作闭环,可据此检查信息来源、操作接口与检修反馈是否完整。供配电可靠性提升的动作闭环见图1。

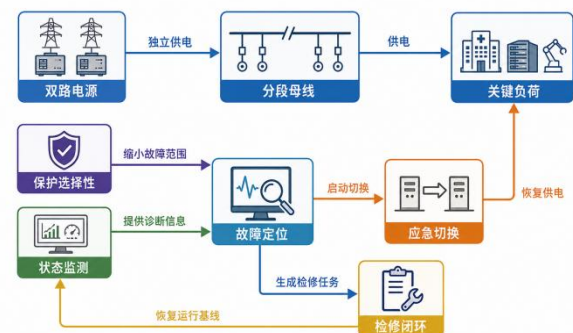


图1 工厂供配电可靠性提升闭环

图1中,双路电源和分段母线提供转供基础,保护选择性与状态监测共同缩小故障范围;应急切换恢复关键负荷,检修结果再返回监测基线。任何节点缺少前置确认,都可能使冗余结构失去实际作用。

3 结语

工厂供配电可靠性建设的核心,是在故障发生前识别劣化,在故障发生时缩小停电范围,并在故障隔离后快速恢复关键负荷。双路电源、分段母线、选择性保护和状态监测只有形成协同关系,冗余资源才会转化为实际恢复能力。工厂还需按负荷等级安排转供次序,把定值校核、缺陷工单和切换演练纳入日常管理,以恢复时间和重复故障为依据持续修正方案。这样能够在不过度增加设备的前提下,兼顾生产连续性、检修安全和全寿命成本。同时建立年度复盘机制,使设备更新、定值维护和应急资源配置始终对应实际生产风险。并保持动态校正。

参考文献:

- [1] 朱宝峰,孙文华.基于 N-1 准则的工厂供配电系统方案简介[J].智能建筑电气技术,2023,17(3):1-3+11.
- [2] 林林.10kV 供配电系统设计及对供电可靠性的影响研究[J].电子元器件与信息技术,2023,7(8):197-200.
- [3] 李永涛,陈乃渲,李树珂.高层建筑供配电系统可靠性评估及应急供电方案设计[J].智慧中国,2025,(8):122-123.
- [4] 陈学龙.10 kV 及以下电压等级工厂供配电系统电力系统运行可靠性分析与提升方案[J].产品可靠性报告, 2025,(9):91-93.
- [5] 陈华健.浅谈工厂供配电智能化发展策略[J].中国设备工程,2026,(9):32-34.
- [6] 姜珊.医院双电源供配电系统可靠性评估与应急电源切换策略[J].四川建材,2026,52(5):243-245.
- [7] 郑鸷.基于大数据中心高可靠性智能中压供配电系统落地的研究[J].电力设备管理,2026,(8):222-224.