

Design and implementation of dual machine mutual backup power supply system for factory power supply instead of traditional standby transformer

Xiaofeng Chen Shiya Liu Hongxia Zhang Zhixiong Zhou*

Shenzhen Datang Baochang Gas Power Generation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518110, China

Abstract

To address the challenges of traditional thermal power plants using standby transformers as factory power backup systems—characterized by high investment costs, elevated operation and maintenance expenses, and single-mode redundancy—this study investigates a dual-unit mutual backup system replacement for conventional standby transformers in a Shenzhen gas turbine power plant's power system upgrade project. By establishing a three-tier technical framework encompassing “mode switching, mutual backup control, and reverse power supply assurance,” the design incorporates bidirectional fast-switching devices, optimizes interlock logic, and enhances DCS control strategies. This achieves mutual backup capability between two F-class generating units' 6kV power systems while maintaining external power reversal functionality. The solution not only resolves the power supply shortage for new plants following the decommissioning of legacy facilities, but also provides a replicable approach for multi-unit power plants to simplify backup configurations, reduce costs, and enhance operational efficiency, demonstrating broad practical applicability.

Keywords

dual-machine mutual backup; traditional starting and standby transformer; thermal power plant power supply system; design and implementation

双机互备替代传统启备变的厂用电备用电源系统设计与实现

陈晓峰 刘诗雅 张洪侠 周志雄*

深圳大唐宝昌燃气发电有限公司, 中国·广东 深圳 518110

摘要

针对传统火电厂把启备变作为厂用电备用电源存在投资大、运维成本高,以及单一备用模式等问题,本文依托深圳某燃机电厂厂用电改造项目,探究双机互备取代传统启备变的厂用电系统设计与实现途径,借助构建“模式切换-互备控制-反送保障”三级技术体系,新增加双向快切装置,优化闭锁逻辑以及DCS控制策略,达成两套F级机组6kV厂用电系统的互为备用,同时拥有向外部厂用电反送的能力。此设计不但解决了该厂老厂关停后新厂备用电源缺失的难题,更给多机组电厂在简化备用电源配置、降本增效方面提供了可借鉴的方案,具备广泛的实用前景。

关键词

双机互备; 传统启备变; 火力发电厂厂用电系统; 设计实现

1 引言

1.1 传统启备变厂用电系统现状与问题

在火力发电领域,厂用电系统可靠与否直接关系到机组能否安全稳定运行,传统方案大多依靠启备变充当紧急备用电源,借助启备变把外部电网电压转变为厂用电压,当主供电源出现故障时保障辅机设备的电力供应,此模式存在突

出不足^[1]。一是初始投资成本偏高,配置启备变及开关柜、保护装置等配套设备,投资需要800-1200万元,同时要单独占用厂房与土地资源。二是运维成本颇高,启备变需按周期进行油质检测、绝缘试验等维护工作,年均运维费用约20-30万元,并且长期空载运行存在设备老化的隐患。三是备用模式较为单一,若启备变自身发生故障或者外部供电停止,机组就会失去备用电源,存在停机风险。

1.2 双机互备技术的意义与应用价值

双机互备技术借助电厂内部多台机组的厂用电源实现互为备用,无需依靠外部启备变,能有效弥补传统方案的缺陷,站在经济性的角度考量,此技术可免去启备变的购置及运维成本。以深圳某燃机电厂2台F级机组项目为例,改造后直接省下启备变相关投资约1000万元,年均运维成本

【作者简介】陈晓峰(1977-),男,中国海南琼山人,本科,工程师,从事电力系统自动化研究。

【通讯作者】周志雄(1969-),男,中国湖北天门人,本科,高级工程师,从事电气工程及其自动化研究。

下降 28 万元；就可靠性而言，双机互备构建起“内部闭环备用”模式，不会受外部电网波动以及启备变故障的影响，还能借助快切装置达成毫秒级切换，保证辅机不间断工作。考虑到灵活性，这项技术既能作为新建电厂的备用电源方案，又能够用于现有电厂的改造升级，给拥有 2 台及以上机组的电厂增添一种备用选择。双机互备技术在燃气电厂项目中的应用正逐步增加，但大型火电厂在该技术的系统性设计与工程实践上还需进一步优化，本文借助改造项目，为这项技术的推广提供详细参考。

2 双机互备厂用电系统设计基础

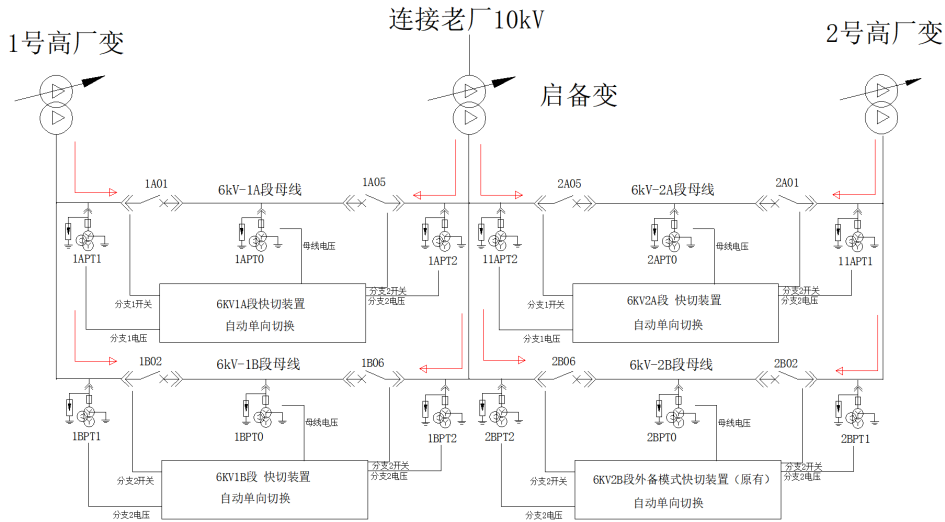
2.1 项目背景与原有系统概况

深圳某燃机电厂 2022 年投产 2 台 F 级燃气轮机发电机组，在基建阶段因系统主接线为发变线单元接线的方式，为节省投资厂用电系统采用“外部电源+启备变”备用模式，即由老厂 10kV 电源经启备变变压为新厂两台机组的 4 个 6kV 母线段（6kV-1A、6kV-1B、6kV-2A、6kV-2B）提供备用电源，配置 4 台快切装置达成电源切换，如图一所示。但老

厂在未来 3-5 年将实施以新代旧且厂用变压器其配套设备已运转 23 年，即将达到使用寿命，新厂两套燃机面临备用电源缺失的风险，且老厂与新厂厂用电基础电费差距明显，急需开展系统改造以达成新厂机组互备，兼顾安全性与经济性。

2.2 设计依据与核心技术指标

本次设计严格依照《电力系统设计技术规程》（DL/T5429-2009）、《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》（GB/T50062-2008）等标准开展，结合新厂实际运行状况，明确核心技术指标^[2]。一是运行模式，要达成“保留外部备用-双机互备-向 A 厂反送”三种模式的无缝切换。二是切换性能方面，快切装置动作时间不超过 10ms，事故动作整体切换时间不超过 100ms，保障辅机无干扰运行。三是可靠性表现出色，双机互备模式下备用电源投入的成功率不低于 99%，闭锁逻辑误动率为 0。四是具有经济性，与传统启备变方案相比，全生命周期成本下降幅度超 30%。五是反送能力，能够借助新厂 1 号或者 2 号高厂变，向老厂 10kV 段反向输送电源，满足老厂 2 台旧机组工作所需电源。



图一：初始厂用电备用电源快速切换系统图

3 双机互备厂用电系统核心设计

3.1 系统架构设计与设备配置

对双机互备系统的原有架构开展模块化改造，核心架构分成“电源层-控制层-执行层”三级。电源层方面一次回路不做任何改动，围绕 1 号、2 号高厂变（型号 SZ-20000/16，额定容量为 20000kVA）构建，二者低压侧的 6kV 母线借助原有四台备用电源进线开关进行转换成母联回路实现相互连接，进而替代传统启备变的备用功能。控制层新添 2 台双向快切装置，具备双向切换逻辑，分别对应 1A-2A、1B-2B 母线段，与原有的 4 台快切装置达成“互锁备用”。执行层开展工作，优化 8 台 6kV 进线开关或备用进线开关控制回路，新添模式转换开关 1ZKK，达成运行模式的精准

切换。具体如图二两套机组厂用电备用电源互备系统图。

3.2 关键控制逻辑设计

3.2.1 模式切换逻辑

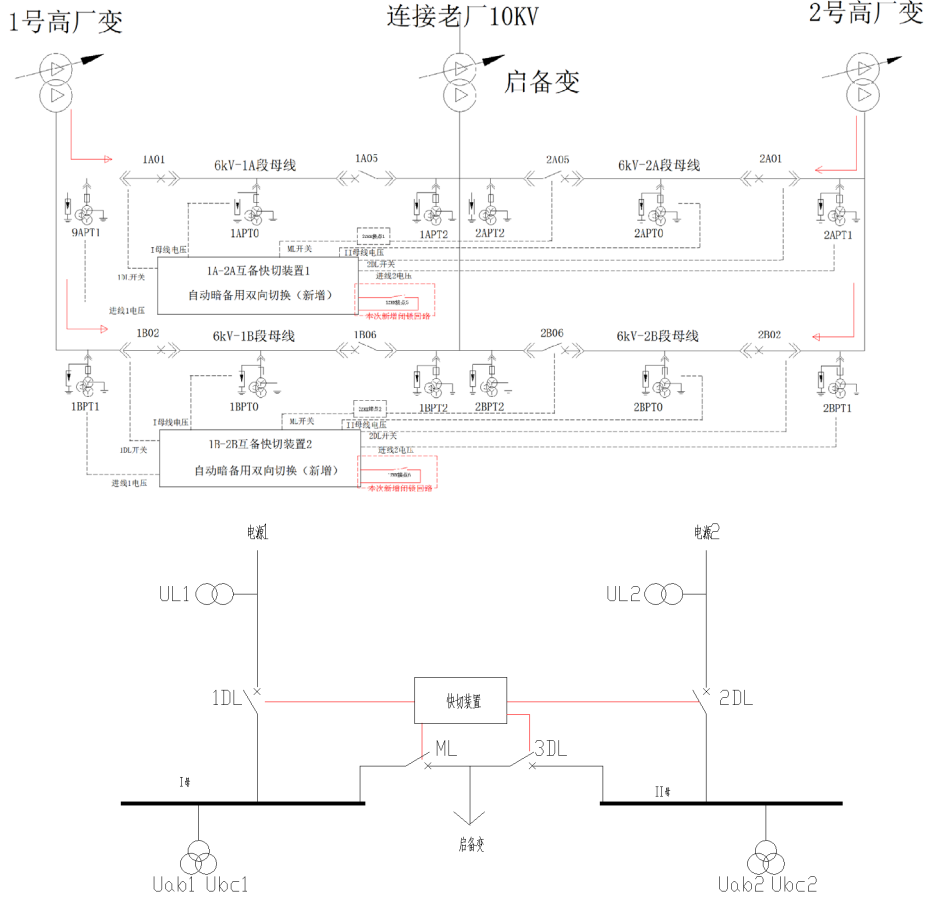
借助 1ZKK 开关实现模式切换，达成“互备”与“外备”的双向闭锁。若将 1ZKK 置于“外备”模式，系统继续采用原有的控制逻辑，备用电源由启备变提供，使 4 台既有的快切装置投入运行，同时把新增的 2 台互备快切装置进行闭锁。一旦 1ZKK 切换为“互备”模式，原有的四台快切装置关闭，新增加的快切装置开启，1 号、2 号高厂变低压侧母线达成互备^[3]。切换操作要达成前置条件，一是断开启备变高压侧开关，杜绝外部电源干扰；二是经 DCS 系统确认，母线无故障信号；三是互备快速切换装置没有闭锁告警，切换时利用声光报警来告知运维人员，DCS 画面实时呈现当

前模式与设备状态。

3.2.2 双机互备切换逻辑

互备切换按照“电压及开关状态检测 - 逻辑判断 - 开关动作”三步流程执行。快切装置会实时获取 1A、2A（或 1B、2B）母线段的电压及工作进线开关 1A01、2A01（或 1B01、2B01），当某段母线出现失压（电压 ≤ 0.7 倍额定值）情况或者主供电源进线开关偷跳，开启切换逻辑。快切装置

自动方式采用串联切换方式，以 6KVA 段为例，一旦 1A（或 2A）母线失压或者进线开关 1A01（或 2A01）偷跳，则装置工作逻辑启动先分工作进线开关 1A01（或 2A01）后合两台母联开关 1A05 和 2A05 开关，保障工作母线备用电源自动投运。手动方式运用“并联切换”方式，先合上备用开关，再断开故障开关，杜绝母线断电。整体切换逻辑如图三新增快切装置逻辑图。



注：新增两台快切装置工作原理接线图所示，正常运行时：1DL 合位，进线1 通过 1DL 向 I 母供电；2DL 合位，进线2 通过 2DL 向 II 母供电；ML 分位，3DL 可以在分位也可以在合位，控制通过压板实现，I 母、II 母通过 ML 形成互为备用。当 3DL 分位，3DL 跟随 ML 逻辑分合，当 3DL 合位，则断开压板，3DL 跟随 ML 动作逻辑不变，但是实际分合都通过断开压板不予以动作

非正常工况，事故切换逻辑：

运行工况	启动原因	切换动作逻辑	备注
1DL 合位	I 母失压	断 1DL → 合 ML + 3DL	
2DL 合位	I 母失压	断 1DL → 合 ML + 3DL	
ML 分位	进线 1 偷跳	断 1DL → 合 ML + 3DL	
1DL 合位	II 母失压	断 2DL → 合 ML + 3DL	
2DL 合位	II 母失压	断 2DL → 合 ML + 3DL	
ML 分位	进线 2 偷跳	断 2DL → 合 ML + 3DL	

运行工况	启动原因	切换动作逻辑	备注
1DL 合位, 2DL 分位, ML 分位, 3DL 分位	检测到手动切换启动信号	断 ML + 3DL → 断 2DL	模式未切换有效
1DL 分位, 2DL 分位, ML 分位, 3DL 分位	检测到手动切换启动信号	断 ML + 3DL → 断 1DL	模式未切换有效
1DL 分位, 2DL 分位, ML 分位, 3DL 分位	检测到手动切换	模式未切换有效	模式未切换有效
1DL 分位, 2DL 分位, ML 分位, 3DL 分位, 2DL 分位	检测到手动切换启动信号	断 2DL → 断 ML + 3DL	
2DL 分位, ML 分位, 3DL 分位, 1DL 分位	检测到手动切换启动信号	断 1DL → 断 ML + 3DL	

3.2.3 反送控制与闭锁逻辑

反送功能得符合“安全优先、按需切换”原则，在新厂处于互备模式且老厂需要电源支援时，可以开启反送逻辑。如采用 1 号高厂变反送，则将启备变 6KV1A 侧备用开关（如 1A05）闭合，利用启备变把 6kV 电压提升到 10kV，在确认老厂 10KV 工作进线开关分闸后，合上启备变 10KV 侧开关，实现对老厂 10kV 段的反送。一旦使用了反送方式，快切装置的工作逻辑不会变化，但是要将反送电

源开关的分合闸压板退出，比如用 1 号高厂变 1A 段反送，则需在新厂两段厂用电源互为备用的条件下手动合上 1A05 开关，确认启备变带电后退出快切屏上 1A05 开关的分合闸压板，在事故状态下及时进行了厂用电切换，1A05 开关跟随逻辑发出分合闸指令但是不动作，确保启备变不失电。

3.3 DCS 系统逻辑优化与画面设计

3.3.1 逻辑优化

针对 1 号和 2 号机组的 DCS 系统，关键在于优化备用

进线开关合闸允许条件以及快切装置控制逻辑。就1号机6kV1A段备用进线开关(1A05)而言,原本的逻辑仅需达成“进线开关1A01分闸、保护无故障”等基础条件,优化后增添了模式判断。若1ZKK置于外备状态,维持原有逻辑动作条件;若1ZKK置于互备状态,同时2ZKK进行1号反送,还需额外达成“1A、1B、2A、2B段备用开关分闸”“启备变10KV侧进线开关分闸”等条件,避免开关误合闸。增添1A-2A、1B-112互备快切装置手动投入/闭锁逻辑,规定“无闭锁信号、无总告警”为投入前提,保证装置可靠运转。

3.3.2 操作画面设计

在DCS操作画面中增添“双机互备控制”专题页,其画面布局由“状态显示区-模式控制区-故障告警区”三部分构成。状态显示区会实时呈现1号、2号高厂变的电压和电流,连同4台进线开关和4台备用进线开关分合状况,以不同颜色标注。模式控制区布置了1ZKK、2ZKK开关的虚拟操作按钮,点击后便弹出确认对话框,以防误操作^[5]。故障告警区会弹出窗口,提示快切装置闭锁、开关故障等信息,还会显示处理办法。画面新添“反送功率监测”模块,可实时呈现向A厂反送的有功、无功功率,如果功率超过限定值便自动发出告警,告知运维人员调整负荷。

4 系统实现与性能验证

4.1 改造实施步骤

改造工程将按三个阶段推进,整体工期为60天。第一阶段(1-15天)主要进行前期准备工作,完成设备采购(包含新增2台快切装置、10套压板等)、图纸会审和技术交底,与此同时对运维人员展开专项培训。第二阶段(16-45天)开启现场施工工作,涵盖电缆敷设(新增1200米控制电缆)、快切装置安装、开关回路改造以及闭锁逻辑接线工作,施工期间采用“单段停电、分段改造”方式,防止影响机组正常运行。第三阶段(46-60天)进入调试与验收环节,按顺序开展分系统调试(快切装置静态试验、DCS逻辑测试)、联动调试(三种模式切换测试)以及满负荷试运行,请第三方机构对切换时间、反送功率等指标做检测,保证符合设计要求。

4.2 性能验证结果

改造结束后,历经三个月的试运行与性能测试,各项指标全部达标。一是达成运行模式切换,“外备-互备-反送”三种模式成功实现了100%的切换成功率,切换过程中母线未失压、辅机未跳闸。二是切换性能方面,在开展模拟1A段母线失压试验时,快切装置90ms完成动作,电压经90ms恢复,可满足辅机无扰运行要求。三是反向送电能力,1号(或2号)高厂变向A厂反向送电,功率达7000kVA,稳定运行72小时,此时电压波动 $\leq \pm 2\%$,能契合老厂机组供电需求。四是体现出经济性,改造后如果A厂关停或以新代旧后不购置新启备变,可节约大约1200万元的投资,

全生命周期成本可降低35%。五是可靠性方面,试运行时主供电源出现3次故障,互备系统都成功投入运行,投入成功率达100%,未出现闭锁误动或切换失败问题。

5 应用前景

双机互备技术拥有极为可观的实用前景,能应用于三类场景。一是新建火力发电厂,使用该技术可直接省掉启备变投资,减少初始建设成本,就新建 $2 \times 500\text{MW}$ 燃机电厂而言,可节约大约1500万元投资。二是开展现有电厂启备变的升级改造工作,针对启备变老化且运维成本高的电厂,改造后能延长设备使用周期,同时增添备用模式,增强系统可靠性。三是实施跨厂电源支援,例如由新厂给老厂反向提供电源的情形,能达成区域内电厂资源共享,增强电网应急供电能力。伴随“双碳”目标的推进,火电厂承受着降本增效的压力,双机互备技术作为兼具低成本与高可靠性的备用电源方案,市场需求必将不断增长。

本方案适用于两套及以上机组采用发电机出口断路器并网的火电厂,不适用于采用单元接线的并网机组。

6 结论

本文以深圳某燃机电厂改造项目为支撑,对双机互备替代传统启备变的厂用电系统设计与实现展开深入研究,借助“模式切换-互备控制-反送闭锁”三级设计,可保障双机互备系统实现安全可靠的运行。其切换性能和可靠性比传统启备变方案更优,经济上可节约启备变投资及运维成本,使全生命周期成本大幅下降。该技术可应用于多机组火电厂,既可用作新建项目方案,又能对现有项目进行改造,还具备跨厂反送能力,实用前景十分可观。未来可深入探究“双机互备+新能源供电”融合方案,搭配光伏与储能系统,提高厂用电系统的绿色水平与灵活特性,为火力电厂高质量发展提供技术支持。

参考文献

- [1] 王浩,王永红.大型火力发电厂厂用电系统的微电网技术[J].科学技术创新,2024,(09):213-216.DOI:CNKI:SUN:HLKX.0.2024-09-052.
- [2] 聂岩.火电厂谐波抑制措施及设备选型优化研究[J].山东电力高等专科学校学报,2022,25(03):1-4+30.DOI:CNKI:SUN:SDDK.0.2022-03-001.
- [3] 刘然,张涛,颜士海.站用电系统设计中争议问题的探讨[J].东北电力技术,2021,42(12):54-56.DOI:CNKI:SUN:JISU.0.2021-12-013.
- [4] 王永生.大型火力发电厂高压厂用电系统创新应用[J].西安文理学院学报(自然科学版),2020,23(03):67-70.DOI:CNKI:SUN:XAJY.0.2020-03-013.
- [5] 李天波.某火电厂灰场光伏项目接入厂用电系统分析[J].科技创新与应用,2020,(14):58-59+63.DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2020.14.023.