

特殊工况下水电厂备自投装置 可靠性提升及优化探讨

向 川

(华电四川发电有限公司瓦屋山分公司, 四川 眉山 620365)

摘 要 在电力系统中, 水电厂作为重要的能源供应基地, 其稳定运行对于整个孤网的可靠性和经济性具有至关重要的作用。备自投装置, 即备用电源自动投入装置, 是水电厂及电力系统中不可或缺的一部分, 其设计初衷是在主电源故障时能够自动切换到备用电源, 以确保电力系统的连续供电。然而在实际运行过程中, 尤其是在一些特殊工况下, 备自投装置有时会出现动作不可靠的问题, 这无疑增加了电力系统的运行风险。本文将针对特殊工况下水电厂备自投装置可靠性提升及优化展开研究, 以期为相关人员提供参考。

关键词 特殊工况; 水电厂; 备自投装置; 性能优化

中图分类号: TM62

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0118-03

近些年, 随着电力需求的不断增长和孤网结构的日益复杂, 水电厂面临的运行工况也日趋多样化。特别是在一些特殊的水电串联运行方式中, 如瓦屋山、葫芦坝、沙坪三个电站通过 220 kV 瓦东线串联送出的情况, 备自投装置的可靠性问题显得尤为突出。在这种特殊的运行方式下, 一旦主线路发生故障跳闸, 备自投装置需要迅速而准确地动作, 以保证电力系统的稳定。但实际情况是, 备自投装置在特殊工况下的动作可靠性并不尽如人意, 这既影响了水电厂的正常运行, 也给整个孤网的安全带来了潜在威胁。

1 特殊现象描述

1.1 瓦屋山、葫芦坝、沙坪电站的串联运行方式

瓦屋山、葫芦坝、沙坪三个电站并非孤立运行, 而是采用了一种相对少见的串联运行方式, 这种运行模式下, 三个电站的输出电能通过同一条 220 kV 瓦东线进行串联传输, 共同构成了一个紧密相连的电力系统, 这种串联方式虽然在一定程度上提高了电力传输的效率, 但同时也增加了系统的复杂性。任何一个电站或传输线路的故障都可能对整个串联系统造成显著影响。

1.2 220 kV 瓦东线故障跳闸后的异常情况

在某次运行中, 220 kV 瓦东线突发故障, 导致线路跳闸, 这一事件不仅中断了电力的正常传输, 更引发了一连串异常反应。由于三个电站是串联运行, 瓦东线的故障直接影响了所有电站的稳定运行^[1]。在跳闸瞬间, 孤网频率和电压均出现了剧烈的波动, 这种不稳定的孤网状态对电站设备和备自投装置的正常工作构成了严峻挑战。

1.3 备自投装置的非正常反应

在 220 kV 瓦东线故障跳闸后, 原本应迅速响应的备自投装置却出现了非正常反应。按照设计, 备自投装置应在主电源故障时自动切换到备用电源, 以确保电力系统的连续供电。然而, 在这次故障中, 备自投装置并未能如预期那样快速准确地动作。装置在监测到孤网异常后, 出现了延迟反应甚至无反应的情况, 导致备用电源未能及时投入, 进一步加剧了孤网的不稳定状态, 这种非正常反应不仅影响了电站的正常运行, 也对整个电力系统的稳定性构成了威胁。

2 特殊工况下水电厂备自投装置存在问题的原因分析

2.1 孤网、频率震荡对备自投装置的影响

孤网的频率震荡是电力系统中常见的问题, 但在瓦屋山、葫芦坝、沙坪电站的特殊串联运行方式下, 其影响被放大。当 220 kV 瓦东线发生故障跳闸时, 三个电站的临时孤网运行导致孤网频率发生剧烈震荡。备自投装置内部的电压和频率监测模块对这种震荡极为敏感, 一旦震荡超出装置的设计容忍范围, 就可能导致装置误判或无法正常工作。此外, 频率的快速变化还可能影响装置内部的时钟同步, 进一步干扰其正确判断和操作^[2]。

2.2 电压超出允许工作范围导致的故障

在孤网故障导致频率震荡的同时, 电压也会随之波动。备自投装置通常有一个明确的电压工作范围, 当孤网电压波动超出这个范围时, 装置可能无法正常

工作。在瓦东线跳闸事件中，电压的剧烈波动很可能导致备自投装置内部的电压监测电路受损或误动作，从而使装置无法正确识别孤网状态并做出相应操作。

2.3 备自投装置故障闭锁的原因分析

备自投装置在设计中通常包含故障闭锁机制，以防止在孤网异常状态下进行不恰当的电源切换，进一步加剧孤网的不稳定。在瓦东线跳闸事件中，由于孤网电压和频率的剧烈波动，备自投装置的电压和频率监测模块很可能判定当前孤网状态为异常，从而触发故障闭锁机制。此外，装置内部的自保护逻辑也可能在检测到异常状态时自动闭锁装置，以防止可能的损坏。

2.4 厂用设备受到的不利影响

备自投装置的非正常反应不仅影响了其自身的可靠性，还对厂用设备造成了不利影响。在瓦东线跳闸后，由于备自投装置未能及时切换到备用电源，导致厂内设备在电压和频率异常的状态下运行，这种异常运行状态可能加速设备的老化，损坏设备内部的电气元件，甚至引发更严重的故障。长期在这种不稳定孤网状态下运行，会显著缩短设备的使用寿命，增加维护成本和安全风险^[3]。

3 特殊工况下水电厂备自投装置改进措施与实践

3.1 引入 220 kV 瓦东线 251 开关位置信号

在电力系统中，开关位置信号是反映孤网状态的重要参数之一。特别是对于像瓦屋山、葫芦坝、沙坪这样串联运行的电站，孤网状态的实时监控显得尤为重要。为了增强备自投装置的响应速度和准确性，决定引入 220 kV 瓦东线 251 开关的位置信号。具体而言，220kV 瓦东线 251 开关的位置信号能够直接反映该线路的通断状态。当开关处于合闸状态时，表示线路正常通电；而当开关处于分闸状态时，则表示线路已断开，这一信号的引入，为备自投装置提供了一个新的、更为直接的判断依据。在技术实施上，通过专用的信号传输线路，将 220 kV 瓦东线 251 开关的位置信号实时传输至备自投装置。装置内部经过处理后，能够迅速识别开关的状态变化，并据此作出相应的动作决策。引入这一信号的意义在于，它使得备自投装置能够在瓦东线发生故障跳闸时，更快速地启动厂用电源的倒换工作，从而确保电站的稳定运行。与传统的依赖电压和频率监测的方式相比，这种方式更为直接、有效，大大提高了备自投装置的响应速度和准确性。此外，引入 220 kV 瓦东线 251 开关位置信号还为电站的运维人员提供了更为丰富的故障判断信息。当孤网发生故障时，运维人员可以通过查看开关位置信号的变化情况，更快速地定位故障点，并采取相应的处理措施，

这对于提高电站的运维效率和安全性具有重要意义。

3.2 改进后的备自投装置动作流程

在瓦屋山、葫芦坝、沙坪电站的特殊运行环境下，备自投装置的动作流程经过深入分析与针对性改进，现已焕然一新。原先的备自投装置主要依赖对系统电压和频率的监测来判定是否进行电源倒换，但在孤网震荡或特殊工况下，这种方式可能出现误判或延迟。改进后的备自投装置动作流程更加精细和高效。当装置接收到 220 kV 瓦东线 251 开关的分闸位置信号后，会立即触发一个快速响应机制，这个机制会首先确认开关位置信号的准确性，排除任何可能的误报或干扰。一旦确认信号无误，备自投装置会迅速进入厂用电源倒换的预备状态。接下来，装置会进行一系列快速的自检程序，包括检查内部电路状态、电源模块健康状况以及与外部设备的通讯连接等，这些自检程序确保装置在动作前处于最佳工作状态。完成自检后，备自投装置会向相关设备发送预倒换信号，通知它们即将进行电源切换，以确保切换过程的平稳进行。随后，装置会按照预设的逻辑顺序，快速而准确地切断当前电源，并接入备用电源。在整个过程中，装置还会实时监控孤网状态，确保切换操作不会对孤网造成不良影响。改进后的动作流程不仅大大缩短了备自投装置的响应时间，还提高了其动作的准确性和可靠性^[4]。

3.3 实际运行中的效果验证

为了验证改进后的备自投装置在实际运行中的效果，在瓦屋山、葫芦坝、沙坪电站进行了一系列的测试和观察，这些测试旨在全面评估装置在应对 220 kV 瓦东线故障跳闸等突发情况下的反应速度、准确性和稳定性。首先，模拟了 220 kV 瓦东线故障跳闸的情况。在模拟故障发生后，备自投装置迅速接收到了 251 开关的分闸位置信号，并立即启动了厂用电源的倒换工作。整个过程中，装置的反应时间明显缩短，相较于改进前，现在能够在更短的时间内完成电源的切换，确保了电站关键设备的持续供电。其次，在多次的实际故障中，也观察到了备自投装置的优异表现。当瓦东线发生故障跳闸时，装置能够迅速、准确地识别出孤网状态的变化，并自动切换到备用电源，从而避免了因电源中断而导致的设备停机或损坏。此外，在长期的运行中，还注意到改进后的备自投装置具有更高的稳定性。即使在孤网状态频繁变化的情况下，装置也能够保持正常的工作状态，未出现误动作或故障闭锁等问题。通过这些实际运行中的效果验证，充分证实了改进后的备自投装置在应对孤网故障时的优异性能。它不仅提高了电站的运行稳定性和安全性，还降

低了设备损坏的风险，为电站的长期稳定运行提供了有力保障。同时，这些实际效果也为进一步优化装置性能和提升电站自动化水平提供了宝贵的实践经验。

3.4 图纸调整

图纸的调整是为了更好地反映备自投装置改进后的实际情况，确保电站工作人员能够准确理解和操作新系统。在本次改进中，图纸调整主要涉及以下几个方面：

一是增加了220 kV瓦东线251开关位置信号的接入点图示。在原先的电气图纸中，并未明确标注251开关位置信号的接入位置。现在，新的图纸中详细绘制了信号线路的连接方式，包括信号源、传输路径以及接入备自投装置的具体端口，为工作人员进行设备安装和调试提供了清晰的指引。二是对备自投装置的控制逻辑部分进行了更新。新的图纸中，控制逻辑图更加详细地展示了装置在接收到251开关位置信号后的动作流程，包括信号确认、自检程序、预倒换信号发送、电源切换等步骤，这些细节的补充有助于工作人员深入理解装置的工作原理，提高操作和维护的准确性。三是对相关设备和线路的图示进行了优化。为了更好地展示备自投装置与其他电气设备的连接关系，图纸中对相关设备和线路进行了重新布局和标注，这些调整使得图纸更加直观易懂，便于工作人员快速识别设备间的连接关系和电流路径^[5]。

4 特殊工况下水电厂备自投装置的优化探讨

4.1 提高备自投装置对孤网频率震荡的适应性

在电力系统中，孤网频率震荡是一个普遍存在的问题，它如同隐形的波动，不断地考验着孤网设备的稳定性和耐用性。为有效应对这一问题，计划引入一系列先进的频率检测算法，这些算法基于最新的信号处理技术，能够实时监测孤网频率的细微变化。当孤网频率发生异常波动时，这些算法能够在第一时间捕捉到这种变化，并迅速作出准确的判断和响应，这种智能化的频率检测方式，无疑将为备自投装置提供更加敏锐的“触觉”，使其能够在复杂的孤网环境中稳定运行。除此之外，还将对备自投装置的控制策略进行全面优化。

4.2 增强电压监测模块的稳定性与容错能力

电压监测模块在备自投装置中占据着举足轻重的地位，其性能的稳定与否直接关系到整个装置的运行效率和可靠性。为了实现这一目标，决定采用更高精度的电压传感器，这些传感器不仅具有出色的测量精度，还能在各种复杂环境下保持稳定的性能，从而确保电压测量的准确性，这种高精度的测量能力，为备自投装置提供了更为可靠的数据支持，使其能够在关键时刻作出正确的判断和动作。在提高稳定性的同时，

还注重增强电压监测模块的容错能力。为此，特别增加了冗余设计，比如并联多个传感器，这种设计方式的好处在于，即使某个传感器出现故障，其他并联的传感器也能迅速接管其工作，确保装置的正常运行不受影响，这种冗余设计不仅提高了装置的可靠性，也大大降低了因单个传感器故障而导致的整体失效风险。除了硬件层面的优化，还引入了先进的错误检测和校正技术，这些技术能够实时监控电压监测模块的工作状态，一旦发现潜在错误，便能立即进行纠正，这种技术手段的引入，不仅提升了电压监测模块的容错能力，也提供了一种有效的故障预防和应对机制。

4.3 备自投装置的自诊断与自恢复功能设计

为了提高备自投装置的可靠性和自主性，将设计并实现自诊断和自恢复功能。自诊断功能将能够实时监测装置的工作状态，包括各个模块的运行情况、通信连接是否正常等。一旦发现异常，系统将自动生成错误报告，并通过网络接口或本地接口发送给运维人员，以便及时进行处理。同时，自恢复功能将在检测到故障后尝试自动修复或重启相关模块，以恢复装置的正常运行，这将大大减少人工干预的需要，提高电力系统的自动化水平和运行效率。

5 结束语

随着电力需求的不断增长和孤网结构的日益复杂，水电厂的稳定运行对于电力系统的可靠性和经济性至关重要。备自投装置作为水电厂及电力系统中的关键组成部分，在特殊工况下的可靠性问题不容忽视。本文通过对特殊工况下水电厂备自投装置可靠性提升及优化的探讨，提出了一系列改进和提升措施，并在实际运行中取得了显著效果。然而，电力系统的稳定运行是一个持续不断的过程，需要继续关注新技术、新方法的发展，不断完善和优化备自投装置的性能，以确保电力系统的安全、可靠运行，为社会经济的发展提供坚实的电力保障。

参考文献：

- [1] 杨林. 乐昌峡水电站厂用电备自投系统设计综述[J]. 中国新技术新产品, 2022(07):51-54.
- [2] 陈哲之, 张益华. 国内某水电站特殊电源供电点备自投方案设计[J]. 电力设备管理, 2022(z1):38-40.
- [3] 王永胜, 刘怀龙. 浅析某水电站厂用电系统的优化改造[J]. 水电站机电技术, 2023,46(03):38-40.
- [4] 张义愿, 姚美定, 刘扬洋. 某巨型水电站运行期厂用电系统运行方式研究[J]. 电力设备管理, 2022(z1):32-34.
- [5] 冯建彪. 抽水蓄能电站厂用电备自投系统逻辑分析[J]. 水电站机电技术, 2023,46(12):137-138.