基于GOOSE通信的变电站串联供电备自投控制方法

文/刘瑞贵　张朝学　冉骏　吴恩恩　杨荣
安顺供电局

基于GOOSE通信技术，深入分析和讨论普通变电站备自投逻辑中的问题，提出了一种变电站串联供电备自投控制方法，实现备自投装置的联动控制。应用结果表明，该方法可以具有良好的响应性能，能够解决变电站串联供电情况下的供电可靠性问题，可有效防止全站失电重大事故的发生。

常规备自投装置面对无分断节点的变电站不能有效实现本站故障后的供电恢复，针对这一问题，亟需设计一套新的备自投装置联动方案。本文将GOOSE通信引入到串联供电备自投控制中，使用现代通信技术实现两站之间的逻辑判别与信息交互。这一控制方法一方面可以提升串联供电条件下的供电可靠性，有效避免全站失电重大事故的发生；另一方面该方法可以大幅提高电力系统的运行效率，具有积极的社会效益与经济意义。

GOOSE通信技术

1. GOOSE通信架构

为解决变电站串联供电情况下可靠供电的问题，基于GOOSE通信的串联供电备自投控制方法应运而生。GOOSE通信作为一种高速通信协议，基于IEC 61850标准，目前被广泛应用于电力系统中。GOOSE通信在串联供电备自投控制方法中扮演着关键的角色，其通过分析GOOSE包的组态参数和已设定信息之间的差别来识别与判断GOOSE报文是否正常，同时根据异常情况发送相应报警信息。这一过程可保证数据的准确传输与可靠接收，从而有效提高供电系统的稳定性与可靠性。

GOOSE通信架构包含以下几个组件：①发送方。发送方负责向网络中的设备发送数据信息，通过控制模块将数据填充至数据缓冲区中，其在GOOSE通信中能够同时给多个接收方发送数据信息。②接收方。接收方作为接收数据信息的设备，从数据缓冲区中读取数据后将数据解析成切换值，并存储至初始的数据缓冲区中，其在GOOSE通信中能同时接收多个发送方的数据信息。③配置参数区。配置参数区负责存储GOOSE通信相关的参数与配置信息，主要包括设备的总体检验、重构功能实现以及通信处理等，相关人员通过配置参数区来实现GOOSE通信的灵活设置与调整。④装置监控状态标识区。装置监控状态标识区负责存储输入的标识与设备的状态等信息，装置结合预先设定的参数与配置，能实现相应的功能，并将输入的标识与所生成的装置状况放置到装置监控状态标识区域中。⑤SOE信息缓冲区。SOE信息缓冲区负责存储各种生成的信息，包括其他设备的状态变化、GOOSE通信的报文等，其信息使用通信系统完成读取与处理。

2. GOOSE通信模型

GOOSE通信模型基于一定的机制与通信规则，确保通信的稳定性与可靠性。在通信过程中，GOOSE报文作为载体完成数据信息的发送，由多个

报文元素组成，主要包括GOOSE数据集、APPID和MAC帧头等。其中，GOOSE数据集是实际要传输的数据信息，而APPID用来标识报文的目的地。为切实维护通信的可靠性，GOOSE通信使用添加报文生存期与消息重发等方法，其中，消息重发是指一定时间内发送方多次发送相同的数据信息，以保证接收方可以可靠地接收到消息；而添加报文生存期旨在限定报文的有效期限，报文一旦超过有效期限，就被丢弃。如此一来，能够有效防止无效或过时的数据信息被传输。在串联供电备自投控制方法中应用稳定，且可靠的GOOSE通信具有重要作用。GOOSE通信实现了变电站之间的实时信息交互与逻辑判别，以此实现备自投装置的联动控制。

3. GOOSE通信技术在串联供电备自投控制中的应用

GOOSE通信技术在串联供电备自投控制中具有重要的应用价值与前瞻性。由于传统备用电源自动投入装置不能很好地满足串联供电需求，在这种背景下，基于GOOSE通信的串联供电备自投控制方法提供了一种创新的解决方案。首先，GOOSE通信技术可以实现设备之间的信息交互与逻辑判别，这一能力使变电站可以及时响应故障发生，同时完成相应的调整与控制；其次，GOOSE通信技术可以提供灵活的数据传输方式，利用现有的通信网络完成数据传输，不需要额外的设备与线路，即可较好地满足供电恢复的需求，并且还能有效降低成本与工程难度；最后，基于GOOSE通信技术的备自投控制方法能够通过分析GOOSE包中的组态参数与已设定资料之间的差别，以此识别正常与不正常的GOOSE报文，帮助相关运维人员迅速识别与处理供电系统中的故障，从而提升供电系统的安全性与可靠性。

普通站备自投逻辑问题分析

目前，电力系统因受土地资源、投入资金及线路走廊等因素限制，经常出现两座35 kV变电站串联接线的情况。在这种串联供电结构中，每个变电站均有常规备用电源自动投入装置，且其仅用于主供电失电时投入备用电源。然而，针对非分断节点的变电站失电的问题，由于本站内没有备用电源开关，不能通过本站常规备自投装置完成恢复供电。因此，需要研究并设计一套适用于串联供电的备用电源自动投入动作逻辑，以有效解决非分断节点变电站失电情况下的供电自动恢复问题。其中，串联供电变电站如图1所示。

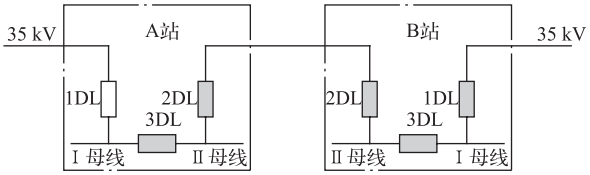

图1　串联供电变电站

为A与B普通变电站分别配置备自投保护装置，在现有备自投保护逻辑的条件下，分析3种供电运行方式：第一种，1DL开关分闸，2DL、3DL开关合闸，当Ⅰ母线与Ⅱ母线失电压时，2DL开关跳开，1DL开关合上。第二种，1DL、3DL开关合闸，2DL开关分闸，当Ⅰ母线与Ⅱ母经失电压时，1DL开关跳开，2DL开关合上。第三种，1DL、2DL开关合闸，3DL开关分闸；当Ⅰ母线与Ⅱ母线失电压时，1DL开关跳开，3DL开关合上。两个串供变电站在图1所示运行方式下，如果B站进线（即1DL开关侧）线路发生故障导致全站失电压，B站的运行方式不符合任何备自投运行方式。因此，备自投保护装置不会动作。而A站的备自投动作逻辑是2DL开关跳开，同时1DL开关合上。这一动作形成的结果是A站的母线供电得到恢复，然而B站的母线全部失电。两个串供变电站在图2所示运行方式下，同样是B站进线（即1DL开关侧）线路发生故障导致全站失电压，B站的运行方式也不符合任何备自投运行方式，同样备自投保护装置不会动作。然而，与图1不同的是，A站的母线未失电压，所以A站备自投保护装置也不会动作。最后的结果是B站的母线全部失电。

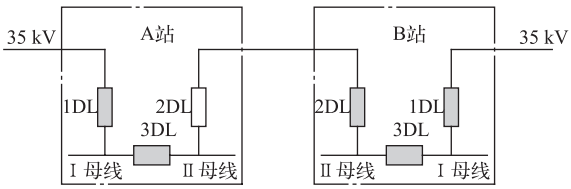

图2　A站运行方式2

两个串供变电站在图3所示运行方式下，如果B站的Ⅰ母线主变压器动作导致3DL开关跳开，进而造成A站的Ⅱ母线失电压与B站的Ⅱ母线失电压。而

B站的运行方式不符合任何备自投运行方式，由此备自投保护装置不会动作。A站的备自投动作逻辑是2DL开关跳开，同时3DL开关合上。这一动作形成的结果是B站的Ⅱ母线失电。

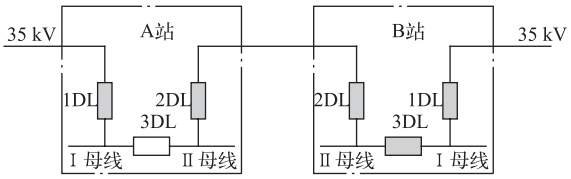

图3　A站运行方式3

通过综合分析，现有普通变电站备自投保护装置的运行逻辑纵使在A站3个开关全部合闸的情况下，如果断开节点在B站运行方式下，仍然存在母线失电压不能恢复的问题。因此，需要重新优化和设计备自投保护装置动作逻辑，以确保可靠有效的供电恢复。

串联供电备自投控制方法

为有效解决上述问题，可以充分利用变电站之间的复用光纤通道或专用光纤，实现实时的运行状态信息交互、逻辑判别以及开关控制。同时，需要增加相应逻辑以区分变电站在分断节点与非分断节点的运行方式。将A站看作分断节点站，B站看作非分断节点站，其中运行方式见图1。此时针对三种供电运行方式，设计A站的备自投逻辑如下：第一种，1DL开关分闸，2DL、3DL开关合闸，当Ⅰ母线与Ⅱ母线失电压时，在等待对侧信号的时间内（非分断节点站1DL开关跳开时间需要小于该时间），如果收到对侧B站的备自投跳开动作信号，并且两站之间能正常通信，则1DL开关合上；反之，2DL开关跳开，同时1DL开关合上。第二种，1DL、3DL开关合闸，2DL开关分闸，当Ⅰ母线与Ⅱ母线失电压时，如果符合本站跳闸逻辑条件，在1DL开关跳开后向对侧B站本站的备自投跳开动作信号；如果不符合本站跳闸逻辑条件，在收到对侧B站的备自投动作跳开信号后合上2DL开关。第三种，1DL、2DL开关合闸，3DL开关分闸，如果Ⅰ母线失电压，1DL开关跳开，3DL开关合上；如果Ⅱ母线失电压，在等待对侧信号的时间内（非分断节点站1DL开关跳开时间需要小于该时间）：如果收到对侧B站的备自投跳开动作信号，并且两站之间能正常通信，则3DL开关合上；反之，2DL开关跳开，同时3DL开关合上。另外，对于B站作为非分断节点的情况，针对1DL开关、2DL开关，3DL开关合闸的运行方式，设计备自投逻辑为：如果Ⅰ母线与Ⅱ母线失电压，在1DL开关跳开后向对侧A站发送本站的备自投跳开动作信号；如果Ⅰ母线主变压器动作，需要在3DL开关补跳后向对侧A站发送本站的备自投跳开动作信号。

对于上述提到的问题，使用本文设计的备自投逻辑，具体动作过程如下：两个串供变电站在图1所示运行方式下，如果B站进线（即1DL开关侧）线路发生故障导致全站失电压，此时，B站的备自投装置中1DL开关跳开，而后向对侧A站发送本站的备自投跳开动作信号；A站备自投在接收到B站动作跳开信号后，闭合1DL开关，如此A站与B站母线均全部恢复供电。两个串供变电站在图2所示运行方式下，如果B站进线（即1DL开关侧）线路发生故障导致全站失电压，此时，B站的备自投装置中1DL开关跳开，而后向对侧A站发送本站的备自投跳开动作信号；A站备自投在接收到B站动作跳开信号后，闭合2DL开关，如此A站与B站母线均全部恢复供电。两个串供变电站在图3所示运行方式下，如果B站的Ⅰ母线主变压器动作导致3DL开关跳开，进而造成A站与B站的Ⅱ母线失电压。此时，B站的备自投装置需要先补跳3DL开关，再向对侧A站发送本站的备自投跳开动作信号，而A站备自投在接收到B站动作跳开信号后，闭合2DL开关，如此A站两段母线与B站Ⅱ母线全部恢复供电。

串联供电备自投控制应用效果

备自投系统通常包括主站和子站两部分，其中，主站工作者负责利用测试仪来模拟故障发生时全部子装置发送至主站的GOOSE信息。为了实现备自投控制，用向量方式表示状态序列，基于向量构建矩阵。矩阵就是备自投所需的GOOSE开出矩阵，其每行向量都表示一定的意义。基于此，可以设置开关的自动操作，如将“0”表示为“分”，“1”表示为“合”。备自投系统正式使用之前，子站工作者会认真检查所有开关的响应情况，同时校验备自投的动作逻辑以及控制回路是否正确。同时，子站人员向子设备的终端发出激励，由主站人

员核实子站设备响应激励的过程是否存在问题，以完成子设备控制值的校验。此外，主站人员还需要校验GOOSE通信发出的信息来保证备自投控制的准确性。该备自投系统的主要组成部分有一个控制主站、通信设备及若干子站，其中，子站与主站之间利用光纤通道相连。对使用本文控制方法的普通变电站在一个和多个故障点情况下的控制性能进行分析，并将备自投装置响应的错误次数作为衡量指标，具体统计结果见表1。

表1　不同数量的故障点的控制效果

实验次数/次	响应错误次数/次	
	1个故障点	多个故障点
20	2	3
40	2	3
60	3	4
80	3	4
100	4	4
120	4	5
140	4	5

通过表1可知，当普通变电站系统中仅存在1个故障点时，伴随实验次数增多，响应错误的次数也有所增加，然而仅从2变成4，这表明基于本文备自投控制方法的备自投装置具有良好的响应性能；当故障点增加时，响应性能虽然有所下降，然而随着实验次数的增多，响应错误率逐渐趋于平稳。这表明本文设计的GOOSE通信架构具有较好的通信能力，能够完成备自投装置之间实时的信息传输，可以按照备自投控制动作逻辑来实现开关的准确控制。

结束语

综上所述，本文提出的串联供电备自投控制方法，为串联供电变电站重新设计备自投动作逻辑，通过实时的信息交互与逻辑判别，能够有效解决任意运行方式下故障失电压后的供电恢复问题，显著提升供电可靠性，能有效避免全站失电等重大事故的发生。本研究为解决供电可靠性问题提供一种有效解决方案，填补了串联供电备自投控制方面的研究空白，具有重要的现实意义。未来，将持续优化和完善备自投控制方法，进一步提高其适用范围与实施效果，从而为电力系统的正常可靠供电提供更有力的支持。EA

（收稿日期：2024-04-25）

参考文献

[1] 吴薇．远方备自投装置及案例分析[J]．电气时代，2023(9)：59-61．
[2] 皮志勇，罗皓文，严文洁，等．基于GOOSE通信的变电站递推式远方备自投节能控制方法[J]．能源与环保，2022，44(6)：212-218．
[3] 陈虹铮．IEC 61850变电站网络系统分析工具解决方案[J]．电气时代，2022(4)：76-78．
[4] 任薇．110 kV扩大内桥接线备自投方案的设计与探讨[J]．冶金管理，2021(21)：34-35．
[5] 孙镜轩，尧长国，祁有年．基于链式网络的区域备自投控制系统分析运用[J]．电力学报，2021，36(2)：139-148．