电力系统备用电源自动投入装置分析与研究

针对近年来国内典型的备用电源自动投入装置（以下简称备自投）进行了分析与研究，如备自投建模、备自投自动投退系统、区域备自投、广域备自投及站域备自投等，全面分析了其设计思想及各自的特点。并结合能量管理系统及配电管理系统中的最新发展，就备自投方面的最新成果进行了综述，最后对未来备自投在智能电网运行中有待于进一步研究的问题提出了几点展望。

潘凯岩[1] 桑清城[2] 谭大帅[1]/1.东方电子股份有限公司 2.国网浙江舟山供电公司

潘凯岩/高级工程师

关键词/Keywords
备自投·
区域备自投·
广域备自投·
站域备自投·
备自投自动投退·
智能电网·

0 引言

地区电网的特点是其管辖范围通常包括220 kV及以下的变压器和线路及部分500 kV变压器。其中220 kV设备一般以环网供电方式运行，110 kV设备通常按辐射网供电方式运行。为保证供电可靠性，需在变电站内安装一定数量的备自投装置（Busbar Automatic Transfer Switch，BATS）。当电网发生故障导致母线停电时，满足条件的BATS就会动作，为停电母线恢复供电，从而保证了供电的可靠性[1]。

我国智能电网的定义是：以特高压电网为骨干网、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化和互动化为特征的统一坚强智能化电网。智能电网的基本特质是：自愈、集成、互动、优化和兼容等。其中自愈的特点是实时掌握电网的运行状态进行趋势预测，及时发现、快速诊断故障，并进行故障处理。当故障发生时，在没有或少量人工干预的情况下，能够快速地隔离故障、自我恢复，避免大面积停电的发生[2]。

无论是站内备自投装置，还是在主站端实现备自投功能，其目的都是为了在故障发生时，快速恢复供电，缩短故障处理时间，最终目标是实现智能电网的自愈功能。目前国内学者对备自投的研究主要侧重于备自投建模，在主站端实现备自投自动投退功能，在主站端实现区域备自投或广域备自投功能以及在站端通过改造通信接口的方式实现站域备自投功能等。

1 备自投现状分析

1.1 备自投建模

文献[3-6]分别从不同角度对备自投模型及其应用进行了研究与分析。文献[3]给出了一种适用于EMS/DTS一体化系统中的通用安全自动装置自定义模型，该模型同样适用于基本的备自投建模。文献[4]以备自投装置为例分析了装置类产品实现IEC 61850的过程，提出了装置软件开发的思路。文献[5]提出了一种基于变电站的拓扑结构与运行状态的备自投智能建模与自动生成方法。文献[6]给出了较为通用的备自投模型的定义及其在静态安全分析中的应用。为了能适应特殊的备自投模型，文献[6]将备自投的动作分为充电条件、动作条件及动作序列3部分。该文献对通用的母联备自投及设备备自投均采用如图1所示的建模方法。在图1中，无论是设备备自投还是母联备自投均能满足要求，图1可以满足工作母线（母线A）及备用母线（母线B）各连两个设备的情况（母线A所连的设备

为线路A1和线路A2，母线B所连的设备为线路B1和线路B2）。这可以满足常规的备自投的建模需求。同时文献[6]对备自投的均分性、方向性和时序性等特殊属性，并没有给出通用的建模方法。

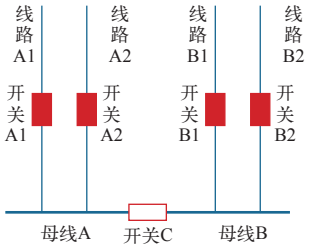

图1　通用备自投模型

1.2 备自投自动投退系统（Automatic BATS Control，ABC）

文献[7-11]基于EMS系统从不同角度分析了备自投装置动作后是否导致设备过载及其处理方法。文献[7]给出了综合考虑变压器油温、变压器初始负载率、变压器及线路$N-1$等校核规则的综合备自投自动投退策略。投退策略考虑了备自投所带的重要用户及备自投所带负荷的大小等约束条件，策略可以在满足电网安全稳定运行的前提下尽可能多投入备自投。文献[8]针对一些特殊备自投存在的时序及均分等特性，给出了全面考虑这些特性的备自投投退策略。文献[9]对影响10 kV备自投的各种约束条件进行分析，提出了基于不同逻辑判断的10 kV备自投自适应投退策略，形成了动作逻辑图，并对各项定值的整定原则和灵敏度系数进行了研究，最终形成了较为完整的10 kV备自投自适应投退策略。

图2为ABC的整体控制流程。

1.3 区域备自投

文献[12-16]对地区电网中基于能量管理系统（Energy Management System，EMS）的区域备自投的应用给出了详细描述。文献[12]与文献[14]对主站端实现备自投遥控处理的命名不同。文献[12]将此类功能命名为区域备自投。文献[14]将此类功能命名为网络备自投，但本质上都是解决串联供电情况下路径上设备故障导致失电的问题。文献[12]给出了区域备自投的建模及其充电条件、闭锁条件及放电条件，同时给出了区域备自投的策略逻辑和动作逻辑，最后给出了过载预判及软件的控制流程。文献[15]介绍了在EMS中进行逻辑建模，并利用EMS采集的变电站遥测、遥信等实时信息实现逻辑判断，在故障发生后以遥控操作的方式断开工作电源，投入备用电源，实现恢复供电。文献[16]则对区域备自投的测试技术进行了详细的探讨。

区域备自投的整体功能框架图如图3所示。从图3中可见，区域备自投从数据采集与监控系统（Supervisory Control And Data Acquisition，

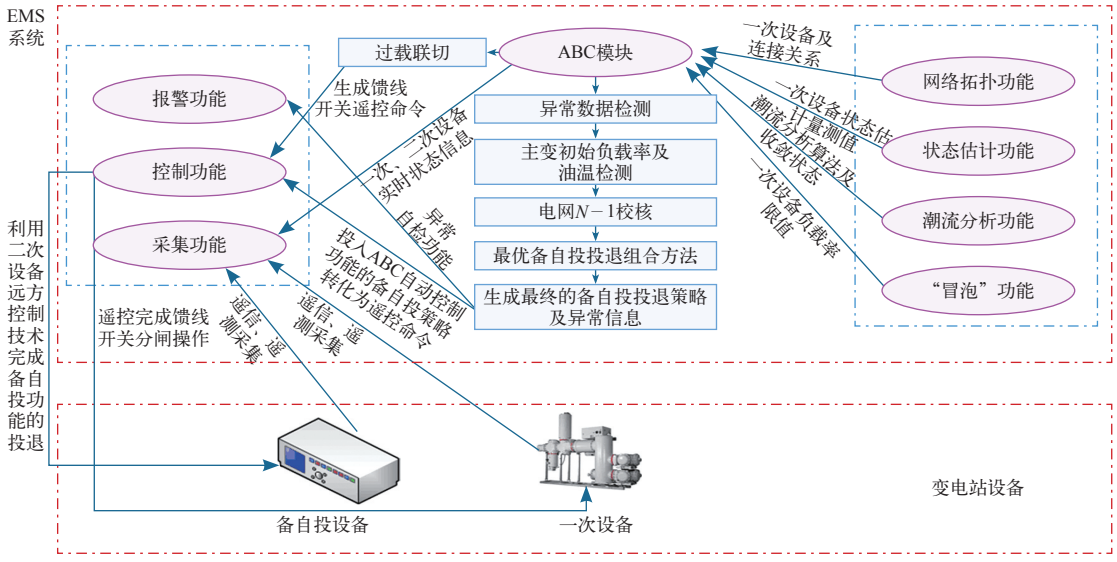

图2　ABC整体架构

SCADA）获取数据并处理后，经过备自投建模、生成备自投的动作逻辑，最终将策略下发给SCADA。

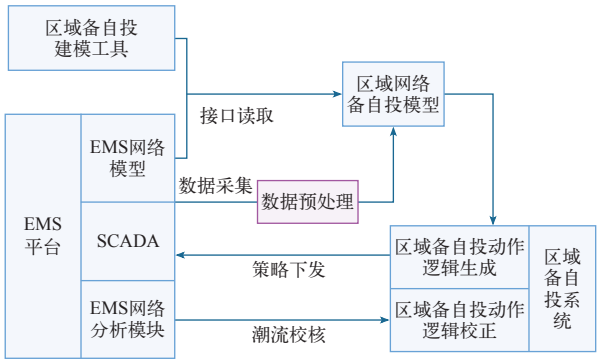

图3　区域备自投功能框架图

1.4　广域备自投

文献[17-20]从不同角度描述了广域备自投的应用技术，其中文献[17]提出的一种基于EMS的广域备自投控制系统具有一定的代表性，该系统在控制中心建立了广域备自投模型，从而实现实时的恢复控制。该文献重点讨论了动作的逻辑，同时对备自投动作后的过载联切进行了介绍，但文中对小水电电源的处理没有给出进一步的讨论，而小水电的存在可能会使备自投的动作条件不满足，从而使备自投不能正常起动。

1.5　站域备自投

文献[21-25]提出在站端通过装置改造的方法来保证供电可靠性，其中文献[21]提出了利用纵联保护通道实现远方备自投的方案。该方案舍弃了通常的串口通信方式，改用纵联保护通道传送逻辑信号，以实现远方备自投装置之间的信息交换，并对远方变电站的开关直接进行操作，其原理示意图如图4所示。

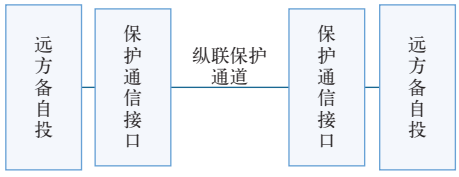

图4　站域备自投原理图

由图4可知，远方备自投装置通过纵联保护通道传送必要的逻辑信号（母线电压、线路电压和电流等模拟量由远方备自投装置通过定值比较转换为开关量），并通过保护通信接口装置直接操作远方变电站的开关，实现变电站之间的远方备自投。

2　备自投存在问题的分析研究

2.1　备自投建模中的标准化问题

目前已有基于EMS的备自投建模方法，建模方法对备自投的充电条件、放电条件、动作条件及动作序列进行了详细分析[5-6]，但对备自投的一些特殊属性，如备自投的均分性、备自投的方向性及备自投的时序性并没有给出通用的建模方法。另外，目前不同厂家在EMS模型及数据交互时，仅限于电网设备及量测等信息的交互，并没有给出备自投相关的信息，这使得在进行诸如静态安全分析等模块的计算时，很不方便。这迫切需要给出基于公共信息模型（Common Information Model，CIM）的通用备自投的建模，以使模型交互更加完善。

2.2　*N*－1在线分析中应考虑备自投的在线状态

目前在EMS的一些应用软件如静态安全分析[6]、负荷转供[26]及停电范围分析等应用模块中，均需要考虑备自投的在线状态，但由于在地区电网中诸如静态安全分析等应用软件的实用化程度不够，通常对备自投的考虑比较粗略，并没有考虑备自投的实际在线投退状态。备自投的在线状态通常是由人工进行设置的，随着备自投自动投退系统（ABC）在地区电网中的应用普及，靠人工设置备自投的投退状态存在维护不及时、效率低下等弊端，所以在这些应用软件中引入备自投的在线投退状态是将来的必然趋势。

另外，一些地区电网由于资金或历史原因仍然存在串联供电模式的接线，图5为110 kV变电站三级串联供电接线模式（图5中1M、2M、3M、4M和5M为母线，1DL～8DL均为开关，L1、L2、L3和L4为线路），如果1M与2M之间的线路L1发生故障，4M所在站的站内备自投会动作，会断开开关8DL，闭合开关7DL。如果主站端配有区域备自投系统，则区域备自投系统会与站端备自投配合，从而为失压母线2M，3M恢复供电，从而保

证了供电可靠性。如果在静态安全分析的$N-1$中仅对4M所在变电站的备自投进行建模，则在分析线路L1和线路L2故障时，最终的结果必然是失负荷，从而与实际动作情况不一致。因此，在静态安全分析的$N-1$中需要考虑区域备自投的建模，使$N-1$分析结果与电网的实际情况相一致。

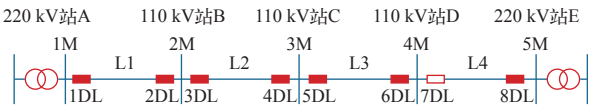

图5　3个站串联供电的情况

2.3　区域备自投中的一些特殊问题

目前区域备自投在南方电网已经有了一些应用现场，并积累了一定的运行经验，但对于更为复杂及特殊的接线及运行方式，仍然有许多需要解决的问题。

1）双回线建模问题。如果某条线路存在并列运行的双回线，则对整个串联供电的充放电及动作的逻辑都有变化，更通用的区域备自投策略应考虑这种情况（见图5）。

2）过载联切问题。是在区域备自投动作前进行过载预判，然后进行负荷切除；还是先进行恢复供电，然后再实时监测是否有设备过载。

3）小水电切除问题。目前区域备自投的传统规则是在故障定位后，首先将故障点与开环点间的小水电进行切除，但一些应用现场由于小水电容量比较大或基于安全原因的考虑，存在不允许直接切除小水电的情况。

4）多复电策略问题。对于较为复杂的运行方式，针对某设备故障，有可能存在两种复电策略，这样应对复电策略的优先级进行区分，或让用户可以选择使用哪种策略。

2.4　一体化电网运行智能系统中的扩展及命名规范问题

一体化电网运行智能系统（Operation Smart System，OS2）是支撑南方电网运行、指挥、控制和管理的智能化技术体系，作为二次一体化的载体，其目标是实现电网二次系统建设技术架构统一，多业务系统信息集成融合，管理层面流程优化及资源集约，通过信息整合，支撑发电、输电、配电和用电全过程监控，实现电网智能化、决策化管理。

OS2系统建设经历了需求分析、框架设计、关键技术研究和试点项目建设等阶段，目前已经全面推广。其中区域备自投及备自投自动投退系统作为一个可选模块已经纳入到南方电网OS2规范中，随着运行经验的积累，区域备自投及备自投自动投退系统必然会在地区电网中得到更广泛的应用。

另一方面，目前存在的区域备自投、广域备自投及网络备自投解决的问题都是一致的，为了便于该功能的推广和理解，建议进行统一规范的命名，如统一命名为区域备自投，这样便于软件管理及统一维护。

2.5　配电管理系统（Distrubution Management Systme，DMS）中的备自投问题

目前备自投装置通常是装配在变电站内，以保证供电可靠性。随着配电网运行的可靠性要求越来越高，通常也可以考虑在配电网中增加适量的备自投装置，通过备自投装置来快速地恢复供电，而不是通过主站端故障定位、隔离与恢复的功能来实现恢复供电的功能，这样可以大大减少恢复供电的时间。

2.6　更通用的复电策略的研究

目前区域备自投及广域备自投的设计思想是参考站端备自投的动作逻辑并在主站端实现，通过遥控的方式来保证供电的可靠性。随着智能电网的发展，应该研究更通用的故障检测及恢复供电策略，以满足智能电网的自愈要求。

3　结束语

本文首先回顾了目前智能电网模式下国内备自投的最新研究成果，包括备自投建模、备自投自动投退系统、区域备自投系统、广域备自投系统和站域备自投系统等，同时给出了备自投还需进一步研究的问题。总体来说，在主站端基于备自投的思想实现智能电网的自愈还存在许多需要深入研究的内容，将快速复电等最新理论成果引

入智能电网的自愈控制中将会获得更多的理论和实践成果。

参考文献

[1] 丁书文．电力系统自动装置原理 [M]．北京：中国电力出版社，2007.

[2] 李兴源，魏巍，王渝红，等．坚强智能电网发展技术的研究 [J]．电力系统保护与控制，2009，37 (17)：1-6.

[3] 吴文传，孙宏斌，张伯明，等．新一代EMS/DTS一体化系统中基于自定义建模的自动装置模拟 [J]．电力系统自动化，2000，24 (4)：57-60.

[4] 梅德东，黄国方．符合IEC 61850标准的分布式备自投的设计 [J]．电网技术，2006，30 (增刊)：471-475.

[5] 江伟，裴培，王鹏．电网仿真备自投智能建模系统 [J]．华东电力，2014，42 (3)：562-566.

[6] 潘凯岩，谭大帅，赵勇，等．地区电网计及备自投的N－1静态安全分析快速计算方法 [J]．电力系统自动化，2015，39 (24)：122-127.

[7] 潘凯岩，谭大帅．基于EMS的智能备自投在线压板最优投退策略 [J]．电气技术，2015 (7)：103-107.

[8] 潘凯岩，谭大帅，李俊格，等．考虑负荷均分及时序的备自投压板最优投退策略 [J]．电气技术，2015 (12)：101-105.

[9] 张承周，刘仁恭，杨欢欢，等．考虑安自装置约束的10kV备自投自适应投退策略 [J]．电力系统保护与控制，2012，40 (18)：120-123.

[10] 刘若溪，张建华，苏玲，等．地区电网备自投在线投退控制策略 (一) 备自投投退组合在线动态选择新方法 [J]．电力自动化设备，2011，31 (3)：1-4.

[11] 刘若溪，张建华，李更彧．地区电网备自投在线投退控制策略 (二) 考虑备用电源侧可用供电能力的备自投控制策略 [J]．电力自动化设备，2011，31 (4)：13-15.

[12] 潘凯岩，黄红远，车磊．区域备自投通用模型建模及其策略实现 [J]．南方电网技术，2011，33 (22)：94-97.

[13] 林志超．变电站网络备自投的研究与实践 [J]．智能电网，2014，30 (6)：39-42.

[14] 邹德虎，王仲达，徐柳飞，等．网络备自投系统在地调EMS中的应用 [J]．电力系统自动化，2013，37 (17)：106-109.

[15] 施雄华，郭云川，金震，等．适用于串行供电网络的区域备用电源自动投入系统 [J]．电力系统自动化，2013，37 (23)：88-92.

[16] 周伊琳，孙建伟，陈炯聪．区域网络备自投及其测试关键技术 [J]．电力系统自动化，2012，36 (23)：109-113.

[17] 杨浚文，吴文传，孙宏斌，等．一种基于EMS的广域备自投控制系统 [J]．电力系统自动化，2010，34 (11)：61-65.

[18] 徐希，韩韬，杜红卫，等．主站集中式广域备用电源自动投入系统 [J]．电力系统自动化，2010，34 (21)：112-115.

[19] 余涛，胡细兵，黄炜，等．地区电网广域备自投控制系统研制 [J]．电力自动化设备，2011，31 (3)：121-125.

[20] 姚成，徐石明，桑林，等．基于电网调度自动化系统实现备用电源自动投入 [J]．电力系统自动化，2009，33 (24)：75-77.

[21] 唐海军．基于光纤通信的远方备自投设计与实现 [J]．继电器，2006，34 (4)：30-33.

[22] 汪祺航，袁明哲，马彦伟，等．110kV内桥接线智能变电站域备自投装置设计 [J]．电力系统自动化，2013，37 (14)：72-75.

[23] 杨合民，路小俊，王军，等．一种适用于串联电网接线的远方备自投装置 [J]．电力系统自动化，2011，35 (20)：94-97.

[24] 崔风亮，周家春．远方备用电源自动投入装置 [J]．电力自动化设备，2002，22 (9)：121-122.

[25] 陈志峰，吴勇，金滇黔．考虑山区小水电的智能型备自投装置的研究 [J]．电力系统保护与控制，2010，38 (8)：120-123.

[26] 潘凯岩，刘仲尧．负荷转供在线辅助决策系统在大型电网中的应用 [J]．电气技术，2013，33 (17)：54-57.

（收稿日期：2017－02－16）EA