

# 基于解耦原理多功能备自投研究与应用

顾志强，汤大海，陈永明，孙东杰，曹 斌，马海薇，陈 燕，丁国华

(国网镇江供电公司，江苏 镇江 212001)

**摘 要：**针对扩大内桥接线变电所在工程建设不同阶段出现了单母线接线、内桥接线和扩大内桥接线 3 种主接线方式并需要分别配置 3 种主接线备自投的问题，提出了 2 种多功能备自投的解耦控制逻辑和原理，研制了 2 种解耦原理的多功能备自投装置，经过功能试验、型式试验后接入电网试运行。试运行结果表明，该多功能备自投装置能适应上述 3 种主接线备自投的功能要求和全部运行方式，实现了 1 个控制逻辑完成 3 种主接线备自投的运行效果，具有很好的工程应用价值。

**关键词：**备自投；多功能；自适应；解耦原理；不对应启动；全部运行方式

目前扩大内桥接线为 110kV、220kV 变电所常用的一次主接线方式。在新变电站建设初期，为节省投资，4 只断路器一般不全部配齐，而是只配 2 只或 3 只断路器，这样就会出现单母线接线、内桥接线、扩大内桥接线三种主接线方式。针对这三种主接线方式，在变电站建设的不同时期，就需要配备三种配套的备用电源自动投入装置<sup>[1~8]</sup>（简称备自投）方可运行。但是，目前传统的扩大内桥备自投装置却只有 1 只断路器备用的 4 种运行方式，动作逻辑过于简单。目前市场上的扩大内桥备自投还有 2 只断路器备用和 3 只断路器备用的运行方式，至少有 9 种常用的运行方式<sup>[2~3]</sup>。如果备自投运行方式不足，将会限制变电站的运行方式，从而降低变电站的供电可靠性。另一方面，1 套扩大内桥备自投装置根本无法满足上述变电站 3 种主接线方式的运行要求，在上述一次主接线变化时，需要根据不同的一次主接线更换相应的备自投装置，来适应一次主接线变化时的需要，同时还需重新设计、改接电缆方可继续运行，大大增加了投资成本和建设周期，增加了人力物力，降低了供电可靠性。因此，研发一种能适应多种主接线方式的多功能备自投装置，并自适应上述各主接线下的备自投全部运行方式，非常有必要。针对上述情况，镇江供电公司与南瑞继保电气有限公司合作研制了多功能备自投装置。

扩大内桥接线采用双路电源供电，其一次主接线图见图 1。在新变电站建设初期，为节省投资，4 只断路器一般不全部配齐，而是只配 2 只或 3 只断路器，这样就会出现单母线接线、内桥接线、扩大内桥接线三种主接线方式：如果只配 2 只断路器，则变电站一次主接线就变为单母线接线，见图 2；如果只配 3 只断路器，则变电站一次主接线就变为内桥接线，见图 3；如果配齐 4 只断路器，则变电站一次主接线则为扩大内桥接线，见图 1。针对扩大内桥接线这三种主接线方式，在变电站建设的不同时期，就需要分别配备单母线接线备自投、内桥接线备自投、扩大内桥接线备自投这三种配套的主接线备自投装置，同时还需针对这三种备自投装置改接电缆方可运行。

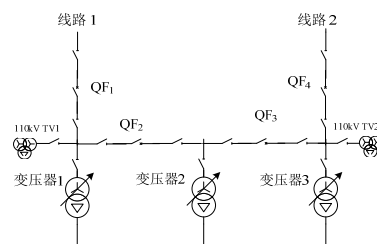


图 1 扩大内桥主接线

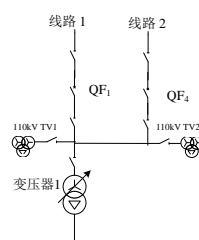


图 2 单母线主接线

## 1 变电所主接线变化及其备自投配置

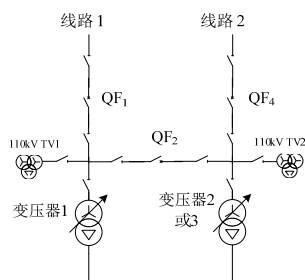


图 3 (1) 第 1 个内桥接线

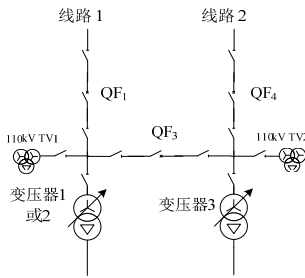


图 3 (2) 第 2 个内桥接线

图 3 内桥一次主接线

2 多功能备自投的原理与实现

2.1 扩大内桥接线及其备自投的简化

2.1.1 扩大内桥接线的简化

由于每两路电源之间不能长时间并列运行，每两路电源之间的环路中的断路器至少应有 1 只断路器为热备用状态，因此，扩大内桥接线备自投有 12 种运行方式（见表 1），常用的运行方式有 9 种[2~3]。

由文献[2]可知，扩大内桥一次主接线可以由 2 个内桥接线组成：

a.由断路器 $QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_4$ 组成第 1 个双电源三断路器的内桥接线，如图 2，其中 1 号、2 号或 3 号主变压器的运行由 $QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_4$ 控制， $QF_2$ 为桥断路器；

b.由断路器 $QF_1$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$ 组成第 2 个双电源三断路器的内桥接线，如图 3，其中 1 号或 2 号、3 号主变压器的运行。由 $QF_1$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$ 控制， $QF_3$ 为桥断路器。

2.1.2 扩大内桥接线备自投的简化与实现

同样，双电源供电的扩大内桥接线的备自投控制逻辑也可由 2 个内桥接线备自投组成（解耦法[1~2]，简称解耦扩大内桥备自投）：

a.由断路器 $QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_3$ 组成第 1 个双电源三只断路器的内桥接线备自投 1（简称备自投 1）；

b.由断路器 $QF_1$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$ 组成第 2 个双电源三只断路器的内桥接线备自投 2（简称备自投 2）；

表 1 扩大内桥接线备自投的运行方式

方式	运行断路器	热备用断路器	动作过程
1	$QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_3$	$QF_4$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ ，投 $QF_4$
2	$QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_4$	$QF_3$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ ，投 $QF_3$ ；当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_3$
3	$QF_1$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$	$QF_2$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ ，投 $QF_2$ ；当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_2$
4	$QF_2$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$	$QF_1$	当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_1$
5	$QF_1$ 、 $QF_2$	$QF_3$ 、 $QF_4$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ 断路器，投 $QF_3$ 、 $QF_4$ ；
6	$QF_1$ 、 $QF_4$	$QF_2$ 、 $QF_3$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ 断路器，投 $QF_2$ 、 $QF_3$ ；当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_2$ 、 $QF_3$
7	$QF_3$ 、 $QF_4$	$QF_1$ 、 $QF_2$	当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_1$ 、 $QF_2$
8	$QF_1$ 、 $QF_3$	$QF_2$ 、 $QF_4$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ ，投 $QF_2$ 、 $QF_4$
9	$QF_2$ 、 $QF_4$	$QF_1$ 、 $QF_3$	当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_1$ 、 $QF_3$
10	$QF_1$	$QF_2$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$	当进线 1 失去电源时，跳 $QF_1$ ，投 $QF_2$ 、 $QF_3$ 、 $QF_4$
11	$QF_4$	$QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_3$	当进线 2 失去电源时，跳 $QF_4$ ，投 $QF_1$ 、 $QF_2$ 、 $QF_3$

注：无论变电所 1 号、2 号、3 号主变为运行还是停用，但相应的备自投装置不运行，即为停用方式。其中方式 8、9 方式不常见。

扩大内桥备自投与备自投 1、备自投 2 的关系为：

- 运行方式 1：由备自投 1 或备自投 2 完成；
- 运行方式 2：由备自投 2 完成；
- 运行方式 3：由备自投 1 完成；
- 运行方式 4：由备自投 1 或备自投 2 完成；
- 运行方式 5：由备自投 2 完成；
- 运行方式 6：由备自投 1 和备自投 2 共同完成；
- 运行方式 7：由备自投 1 完成；
- 运行方式 8：由备自投 1 完成；
- 运行方式 9：由备自投 2 完成；
- 运行方式 10：由备自投 1 和备自投 2 完成；
- 运行方式 11：由备自投 1 和备自投 2 完成。

2.2 多功能备自投原理的实现

2.2.1 扩大内桥接线备自投的实现

当变电所高压侧配齐 4 只断路器，主接线为扩大内桥接线时，备自投原理可按 3.1.2 介绍的解耦法来实现。

2.2.2 内桥接线备自投的实现

当变电所高压侧只配齐 3 只断路器，主接线为

内桥接线。内桥接线备自投的实现可在上述解耦扩大内桥备自投的基础上,只启用备自投1或备自投2,具体做法为采用“运行方式控制字FS1”或“运行方式控制字FS2”,该控制字置“0”时,备自投2或备自投1停用(反之,为启用),见图4。

### 2.2.3 单母线接线备自投的实现

当变电所高压侧只配齐2只断路器,主接线为单母线接线。单母线接线备自投的实现可在上述解耦扩大内桥备自投只启用备自投1或备自投2的基础上,采用“运行方式控制字FS3”或“运行方式控制字FS4”,具体做法为该控制字置“0”时,备自投1中的 $QF_2$ 相关的逻辑电路隐去(或备自投2中的 $QF_3$ 相关的逻辑电路隐去),即该断路器相当于一直处于合闸后状态设置,见图4。

### 3.2.4 多功能备自投原理的实现

通过上述解耦扩大内桥备自投和运行方式控制字的配合,可以采用一个控制逻辑实现了单母线接线备自投、内桥接线备自投、扩大内桥接线备自投的多功能备自投功能,并自动实现了相应接线备自投的所有运行方式。当运行方式控制字FS1、FS2、FS3、FS4均置1时为扩大内桥备自投;当运行方式控制字FS1、FS3均置1、而FS2、FS4置0(或FS2、FS4均置1、而FS1、FS3置0)时为内桥备自投;当运行方式控制字FS1均置1、而FS2、FS3、FS4置0(或FS2均置1、而FS1、FS3、FS4置0)时为单母线备自投。

## 3 多功能备自投的逻辑原理

### 3.1 多功能备自投的总体逻辑原理

采用2件已授权的内桥备自投发明专利<sup>[9~10]</sup>,提出了两种多功能备自投解耦控制逻辑原理,分别采用两个内桥接线备自投的基本逻辑来实现其原理,能够自适应单母线接线、内桥接线、扩大内桥接线的备自投功能。由于篇幅所限,本文给出了采用备用电源断路器充电的多功能备自投解耦控制逻辑框图,见图4;另1种采用供电电源断路器充电的多功能备自投解耦控制逻辑框图见相应的发明专利文件。

### 3.2 多功能备自投的运行方式自适应方案

通过判断备自投1或备自投2控制的三只断路器中分合状态的双位置继电器KKJ、位置继电器

TWJ的状态,自动使得相应的充电回路充电或放电,达到自动适应多功能备自投的运行方式,即:备自投1或备自投2控制的三只断路器中至少有1只断路器为供电电源断路器运行在合闸位置、同时至少有1只断路器为备用电源断路器运行在热备用分闸位置时,相应断路器的充电回路才能充电;当三只断路器均为合闸位置或均为分闸位置时,所有充电回路立即自动放电,见图4。

### 3.3 多功能备自投的启动跳闸方案

多功能备自投启动跳闸的方案为检查供电侧断路器在合闸后状态、供电侧母线电压“无电压”、进线断路器电流“无电流”和备用电源线路侧有电压,经必要的延时启动供电电源断路器 $QF_1$ 或 $QF_4$ 跳闸,见图4。

### 3.4 多功能备自投的充电方案

提出2种实现“多功能备自投装置解耦法”的控制策略,分别对备自投合闸充电方式分别采用供电电源或备用电源断路器启动的两种充电方式,确保备自投装置只动作一次<sup>[1~8]</sup>,提高了备自投工作性能,同时容易实现对有小电源接入变电所时,备自投检定无压和检定同期功能。

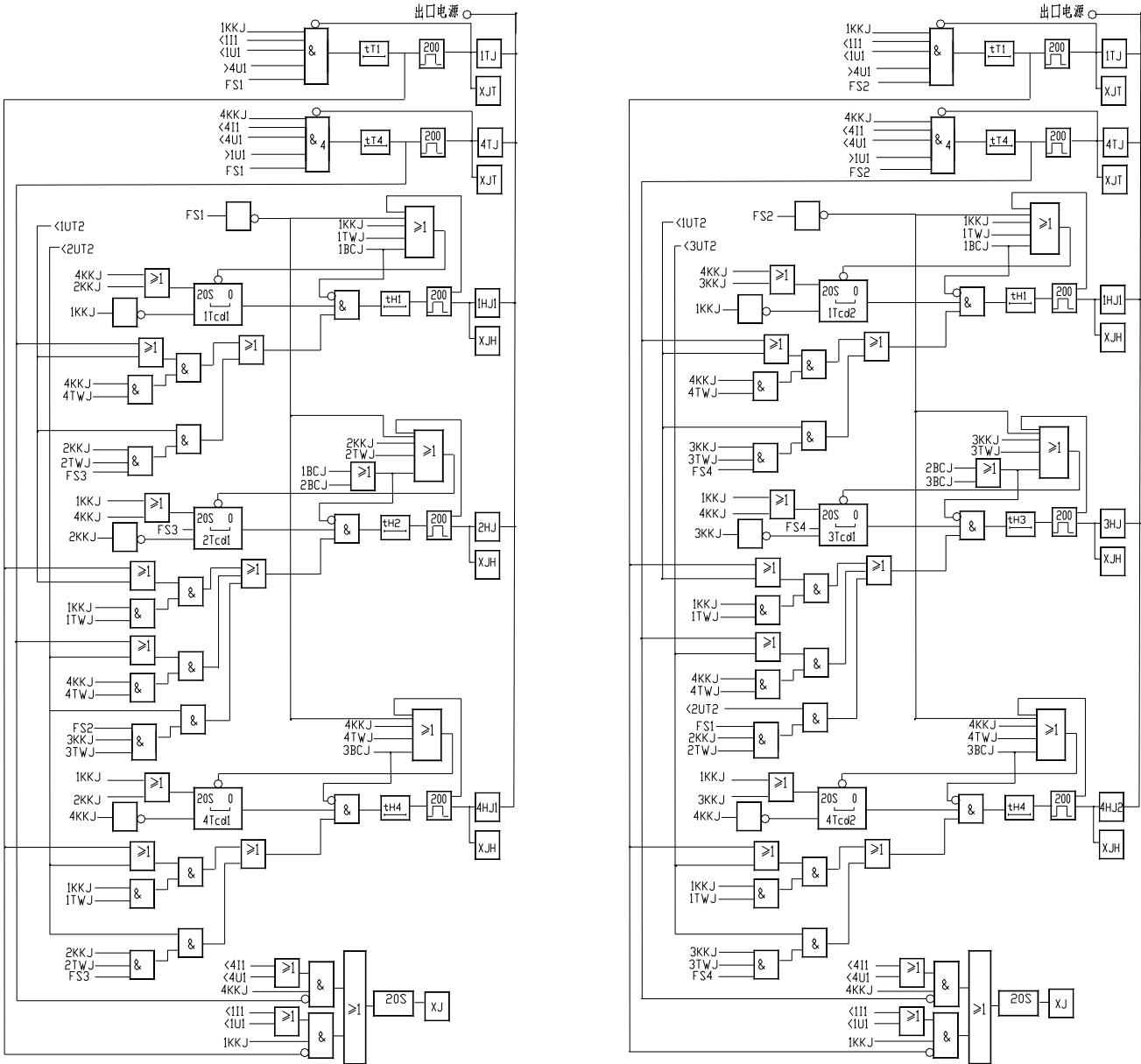
图4中 $tT_1$ 、 $tT_4$ 分别为 $QF_1$ 和 $QF_4$ 的跳闸延时, $tH_1 \sim tH_4$ 分别为 $QF_1 \sim QF_4$ 的合闸延时, $1TJ \sim 4TJ$ 分别为 $QF_1 \sim QF_4$ 跳闸出口继电器, $1HJ \sim 4HJ$ 分别为 $QF_1 \sim QF_4$ 合闸出口继电器,XJT、XJH、XJ为信号报警, $1 \sim 4Tcd$ 为 $QF_1 \sim QF_4$ 充电回路,其他符号见文章相关章节内容。

### 3.5 多功能备自投的合闸启动方案

多功能备自投的合闸启动方案采用“断路器位置不对应启动”和“备自投启动跳闸的同时启动合闸”两种启动方式,见图4。其中“断路器位置不对应启动方案”为:供电电源断路器的分合状态双位置继电器KKJ为合闸后状态、但该断路器位置接点或位置继电器接点在分闸位置,即供电电源的断路器位置不对应时启动相应备用断路器合闸回路。

“备自投启动跳闸的同时启动合闸方案”为:多功能备自投判断供电电源在失去电源状态,启动供电电源断路器 $QF_1$ 或 $QF_4$ 跳闸的同时启动备用断路器合闸回路。多功能备自投的合闸启动方案采用“断路器位置不对应启动”的好处为具有动作判据明确、简单、可靠的优点,并可纠正断路器偷跳,无须另设专门的防断路器偷跳纠正回路,从而解决了

各断路器偷跳问题，特别是桥断路器偷跳问题。



(1)备自投 1 逻辑框图 (2)备自投 2 逻辑框图

图 4 多功能备自投的总体逻辑框图

3. 6 多功能备自投的保护闭锁方案

变压器保护动作闭锁备自投<sup>[4-5]</sup>采用“对应闭锁”方案：即 1 号变压器保护动作闭锁断路器QF<sub>1</sub>和QF<sub>2</sub>的合闸回路；2 号变压器保护动作闭锁断路器QF<sub>2</sub>和QF<sub>3</sub>的合闸回路；3 号变压器保护动作闭锁断路器QF<sub>3</sub>和QF<sub>4</sub>的合闸回路，具体措施为：某变压器保护动作立即将备自投相应断路器的充电回路放电，使其闭锁不能动作合闸。其好处为：当某 1 台变压器高压侧发生故障，故障变压器高压侧相

应断路器由于采用了保护对应闭锁方案，闭锁了故障设备引起的备自投动作，不会自投到故障设备上，从而避免了扩大故障。

3. 7 多功能备自投的检查无压闭锁合闸回路方案

多功能备自投的检查无压闭锁合闸回路也采用“对应闭锁”方案，即由“对应”失去电源的母线来“检查无压”。针对小电源在变电所并网备自投防止非同期合闸有 2 种方案：a.备自投启动合闸前检查失去电源母线无电压方案；b.备自投动作跳闸

的同时连跳该变电所小电源并网线路断路器的方案。当采用连跳小电源并网线路断路器的方案可能存在变电所潜在的小电源线路很多而无法连跳，且采用连跳要损失连跳线路的负荷。采用检查无压闭锁合闸回路可避免上述问题，但相应变压器高压侧要装设电压互感器（简称 TV）。

### 3.8 多功能备自投的硬件平台

多功能备自投的硬件平台采用模块化的硬件设计思想，按照功能模块分类，包含了交流输入模块（AI 模块）、直流电源模块（PWR 模块）、处理器模块（CPU 模块）、人机接口模块（HMI 模块）、操作回路模块（SWI 模块）、开出模块（BO 模块）。处理器模块（CPU）和其它模块通过内部总线进行数据交换。硬件的功能模块结构图见图 5。

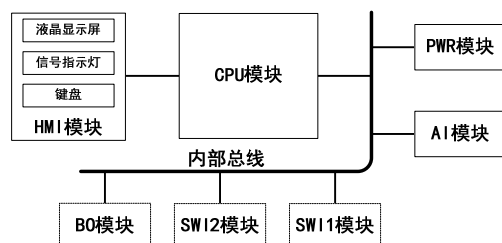


图 5 硬件功能模块结构图

### 3.9 多功能备自投的接入量

多功能备自投装置所必需的接入信息，包括交流流量信息和开关量信息 2 类。

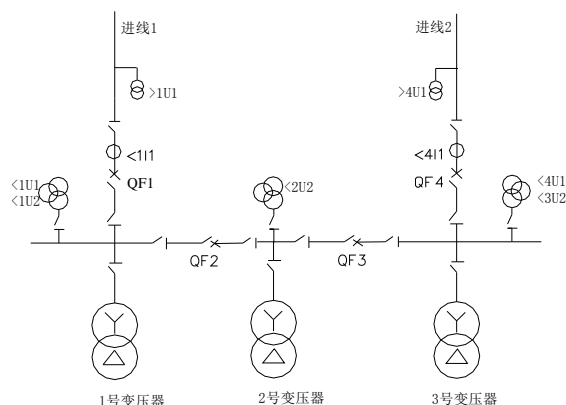


图 6 多功能备自投的交流接入量示意图

交流流量信息包括以下内容，见图 4、图 6：

1) 母线电压：1~3 号变压器高压侧母线电压（当母线侧没有 TV 时，由线路 TV 电压通过断路器位置等接点切换引入，采接线电压）：

跳闸检无压电压：<1U1、<4U1；

合闸检无压电压：<1U2、<2U2、<3U2；

2) 进线电压：进线 1、进线 2 的电压：>1U1、>4U1；无线路电压互感器可不接；

3) 进线电流：进线 1、进线 2 的电流：<1I1、<4I1；

4) 桥断路器电流：2 个内桥断路器的电流。

开关量信息包括以下内容，见图 4：

1) 各断路器跳闸位置接点 TWJ：断路器 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 的跳闸位置接点 1TWJ~4 TWJ；

2) 各断路器合闸后位置接点 KKJ：断路器 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 的合闸后位置接点 1KKJ ~ 4KKJ；

3) 保护动作接点 BCJ：1~ 3 号变压器保护动作接点 1 BCJ ~ 3BCJ；

4) 其他开关量接点：装置检修开入、信号复归开入、自投总闭锁开入、闭锁备自投 1 开入、闭锁备自投 2 开入。

### 3.10 多功能备自投的功能试验和型式试验

按 2 种控制逻辑研制的 2 种多功能备自投装置分别经过厂内功能试验后，在国家指定的电力自动化设备质量检验测试中心进行了型式试验，包括功能试验、传导发射、辐射发射、静电放电、辐射电磁场干扰、快速瞬变干扰等 13 项试验，试验结果符合相关规程要求，2 种原理的多功能备自投装置均能够自适应单母线接线、内桥接线、扩大内桥接线的备自投功能要求和全部运行方式。

## 4 多功能备自投接入电网试运行

2012 年 1 月，按 2 种解耦控制逻辑研制的 2 种多功能备自投装置安装在镇江电网 110kV 南郊变进行了试运行，装置运行正常。110kV 南郊变为完整的扩大内桥接线，现场按 9 种常见的运行方式进行了整组试验，试验表明，2 种原理的多功能备自投装置均能够满足该接线 9 种运行方式的动作逻辑要求，实现了 1 个控制逻辑完成 3 种主接线备自投的运行效果，装置适应性强，节省了二次设备投资。

## 5 结束语

本文提出了 2 种解耦多功能备自投控制逻辑原理，研制了 2 种多功能备自投装置，符合备自投的基本原理，接入信息简单，自适应性强。1 个控制

逻辑能够满足变电所扩大内桥接线在不同建设周期内出现单母线接线、内桥接线、扩大内桥接线对备自投的功能要求,具有很好的工程应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 汤大海.基于双电源五角形接线的备自投控制策略[J]. 电力自动化设备,2005.25(12). 52-54.
- [2] 汤大海.基于双电源扩大内桥的备自投解耦控制策略研究[J]. 电力系统自动化,2009.33(23).103 -107.
- [3] 汤大海,杨合民,刘春江,等.一种自适应的扩大内桥备自投装置[J]. 电力系统自动化,2009.33(15).108 -111.
- [4] 刘沪平,汤大海,郑建勇,等.一种新型自适应备投方案及其实现[J]. 电力自动化设备,2005.25(8). 84-86.
- [5] 阮爱民,李民,汤大海.保护闭锁备自投的运用,江苏电机工程. 2003.22(4). 41-42.
- [6] GB-14285-2006,继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [7] DL/T584-2007,3~110 kV 电网继电保护运行整定规程[S].
- [8] DL/T 526-2013,备用电源自动投入装置技术条件[S].
- [9] 汤大海.微机控制备用电源自动投入的方法[P]. 中华人民共和国国家知识产权局, 2009.
- [10] 汤大海.内桥及单母线接线的微机控制备用电源自动投入的方法[P]. 中华人民共和国国家知识产权局, 2011.

#### 作者简介:

顾志强(1971-),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电网生产运行管理工作;

汤大海(1963-),男,江苏镇江人,研究员级高级工程师/高级技师,从事电网继电保护运行管理工作;

陈永明(1979-),男,江苏海安人,高级工程师,从事电网运行监测管理工作;

孙东杰(1985-),男,江苏镇江人,硕士研究生,工程师,,从事电网继电保护运行管理工作;

曹 斌(1977-),男,江苏海安人,高级工程师,从事电网继电保护运行管理工作;

马海薇(1981-),女,江苏镇江人,工程师,从事电网调度运行管理工作;

陈 燕(1981-),女,江苏镇江人,工程师,从事电网调度运行管理工作;

丁国华(1972-),男,江苏海安人,高级工程师,从事电网继电保护运行维护工作。