

# 基于EMS的地区电网合环风险评估系统

罗玉春, 龚成明, 王毅, 李雷, 葛亮亮  
(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 211106)

**摘要:**传统的基于电力系统离线分析软件进行电网合环风险分析,由于无法保证电网模型及电网运行方式的实时性,采用近似计算,缺乏及时有效正确的分析手段。文中提出一种基于能量管理(EMS)系统的地区电网合环风险评估分析软件系统,在调度控制中心实现实时的电网合环风险评估。该系统从EMS系统读取实时电网模型、运行方式,综合利用全网模型量测信息,实现电网热稳定、静态安全及遮断容量校核,减小了电网实际合环操作前分析的工作量,该评估系统已经在深圳电网主站系统中得以应用,具有良好的实用性。

**关键词:**能量管理系统;合环;潮流计算;静态安全分析;遮断容量;冲击电流

中图分类号:TM743

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)02-0030-04

为了对电网风险进行辨识和预控,给调度运行提供理论分析支持,合环风险评估作为一项重要的内容被电网调度运行管理部门所重视。传统合环风险分析方法根据经验或者离线分析,能适应特定的运行方式或者电网规模较小的情况,不适用于日益复杂的大电网合环风险分析<sup>[1-8]</sup>。但目前在我国很多地区,依然是凭调度人员的经验进行合环操作,在发生合环失败的情况再进行分析计算<sup>[9]</sup>,这样所进行的分析计算不可避免存在以下几个方面的局限:

(1) 电网模型的时效性。一般运方人员在进行合环分析时,进行离线近似计算,其过程繁琐且无法保证其模型是否能够完整准确地表述电网当前运行情况,直接影响了计算分析的数据基础。

(2) 合环暂态电流计算的准确性。现有传统的合环操作风险分析方法,由运方人员画出环路路径并将合环路径上的支路阻抗进行累加作为合环阻抗,该方法无法考虑多环等复杂情况,使得计算得到的环路阻抗不甚准确,基于此值求解的合环电流稳态分量和自由分量均存在误差,由此可能导致分析结论的错误。

(3) 缺乏实用的分析机制。现有传统的合环操作风险分析方法,是在计算前手动建立等值近似模型,依靠手工运用潮流分析程序得出需要的指标,步骤较为复杂,在一定程度上影响了合环操作风险分析的实用性。

(4) 计算结果缺乏实用性。以往对电磁环网进行分析和评判只是简单孤立地分析冲击电流、稳态潮流,没有形成一个综合的评价指标来直接指示合环风险等级。

本文提出一种基于能量管理(EMS)系统的地区电网合环风险评估系统,基于EMS系统建立的全网模型和实时数据断面基础上,在控制中心实现实时在

线合环风险分析,建立合环冲击电流校验、支路热稳定校验、静态安全分析校验、短路电流水平校验等风险指标,实现合环路径的搜索检验及拓扑展示,突破传统合环分析方法存在的局限性,有助于提高合环风险分析水平,该系统已在深圳电网投入运行。

## 1 基于EMS的合环风险评估系统

目前EMS系统已经能获得电网的实时运行方式,因此电网在采用电磁环网运行方式前可以通过EMS系统的功能对合环后电网的稳态潮流、N-1静态安全和断路器的遮断容量做预先的分析,获得合环操作风险等级,从而为实际合环操作做指导。

### 1.1 合环风险评估模型和风险指标

合环操作后电网会出现某些特殊状态,包括线路过流、主变过载、母线短路电流过大等。目前电力系统风险分析一般是从经济损失的角度考虑事故后果,本文从电网安全方面结合地区电网实际情况,综合电网安全因素进行合环风险评估分析。由于合环风险计算分析具有强解耦性,合环操作风险可以按照每一类安全性问题、每一起事故或者每一个元件进行计算,因此可以将对合环操作整体风险评估分解为对各类安全性问题的评估,计算不同类型考核项的风险指标值,以反映系统安全问题的不同方面,根据相应的权重可以达到整体评估合环操作风险的目的。对于合环风险评估系统,将合环产生的后果定义为合环操作暂态过程中及合环操作后考核指标的严重度函数值,这样求出的风险指标为具体数值,可以直观地得到系统相应部分对应的风险大小。合环操作风险指标定义为合环操作时事故发生的概率 $\times$ 合环产生的后果。该指标用来反映合环操作风险综合程度,定量的抓住决定风险等级的因素:合环操作相应产生结果的可能性以及其相应结果的严重性<sup>[10-12]</sup>。定义合环风险综合指标计算公式为:

$$R = \sum_i \omega_i P_i(X) S_i \quad (1)$$

式(1)中: $i$ 为合环操作风险评估项目; $S_i$ 为合环操作风险评估单项的风险水平; $P_i(X)$ 为合环操作风险评估单项的出现概率; $\omega_i$ 为合环操作风险评估单项的权重; $R$ 为合环操作风险指标值。

### 1.2 合环冲击电流风险指标

定义合环冲击电流风险指标:合环操作时由于合环端口电压矢量差引起的合环冲击电流大小决定该合环冲击电流风险严重度函数的取值。

合环冲击电流风险指标反映的是合环端口电压矢量差引起的合环冲击电流大小的严重度。合环冲击电流的大小和保护定值决定合环冲击电流严重度函数取值。当合环冲击电流未引起设备保护动作时,其合环操作风险严重度函数取值为0;当合环冲击电流引起设备保护动作时,其合环操作风险严重度函数取值为1。定义合环冲击电流风险指标的计算公式:

$$R_{CLF} = S_{CLF} \quad (2)$$

式(2)中: $S_{CLF}$ 为合环冲击电流风险严重度; $R_{CLF}$ 为合环冲击电流风险指标。

### 1.3 支路热稳定合环风险指标

支路(包括线路和变压器)的热稳定电流是支路传输容量的一个绝对限制条件。定义支路合环风险指标:环网运行方式下流经支路的电流(或者功率)大小决定该支路合环风险严重度函数的取值。

支路合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下系统中运行的支路传输功率重载和过载的危害严重度。每条支路的负载率大小决定该支路合环风险严重度函数取值。对于合环风险评估系统,重点考虑合环引起的新的越限支路情况,兼顾考虑合环操作前已经越限和重载的支路,对于新引起的越限,支路合环风险严重度函数取值为合环操作引起新的越限支路总数,对于合环前已经越限的支路,其风险严重度与重载风险严重度取均值。定义支路合环风险指标的计算公式:

$$R_{BCH} = \sum P_i(X) \times S_i = \frac{\sum_{alm} S_{alm} + \sum_{ove} S_{ove}}{n_{alm} + n_{ove}} + \sum S_{ovenew} \quad (3)$$

式(3)中: $S_i$ 为某一条运行支路对应的合环风险严重度; $n_{alm}$ 、 $n_{ove}$ 为重载/越限支路条数; $S_{alm}$ 、 $S_{ove}$ 为重载/越限支路风险严重度; $S_{ovenew}$ 为合环操作后新引起的越限支路风险严重度; $R_{BCH}$ 为环网运行方式下整个系统所有支路合环风险。

### 1.4 N-1 合环风险指标

在高低压电磁环网方式下,必须保证在任何事故后情况下,通过低一级电压等级支路的电流低于其热

稳定电流。如果高一级电压支路断开后,潮流转移到低一级电压支路,极易超过低压支路的热稳定极限,因而在合环风险分析时需要考虑环网情况下的N-1静态安全水平。定义N-1合环风险指标:环网运行方式下对环路支路设备(线路、变压器)做N-1安全分析时引起电力设备过载的严重函数程度。N-1合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下合环路径上运行的变压器/线路开断运行时对电网的危害严重度。合环支路开断运行时引起的越限设备数决定该支路合环风险严重度函数取值。当合环支路开断运行引起的越限设备数为0时,其合环风险严重度函数取值为0;把不能满足N-1安全准则要求的环路元件总数作为N-1合环风险严重度,进行N-1安全校核的元件包括线路、变压器。定义N-1合环风险指标的计算公式:

$$R_{N-1} = \sum P_i(X) \times S_i \quad (4)$$

式(4)中: $S_i$ 为环路某一支路开断时合环风险严重度; $R_{N-1}$ 为环网运行方式下合环支路开断合环风险。

### 1.5 母线短路电流水平合环风险指标

在各种类型的短路中,最常见的是单相短路。三相短路发生的概率虽然较低,但它却是各种短路故障中最严重的一种,对系统的危害最大,而且随着中性点接地变压器的大量适用,使得单相短路容量增长迅速,有些厂站母线的单相短路容量甚至超过三相短路容量。因此,在制定母线短路电流合环风险指标中需考虑单相短路电流和三相短路电流。

定义母线短路电流水平风险指标:环网运行方式下母线发生短路故障时短路电流和断路器额定开断电流决定该母线短路故障合环风险严重度函数的取值。

短路电流合环风险指标合环风险指标反映的是电磁环网运行方式下合环路径上母线发生短路故障时遮断容量重载和过载(相比于断路器额定开断电流)的危害严重度。母线短路电流的负载率大小决定合环风险短路电流水平严重度函数取值。由于母线发生短路故障,往往是触发电网大事故的元凶,母线短路电流权重在合环风险各项中权重需设置较高,当环路母线短路电流越限时,此时可认为合环短路电流风险很大。定义母线短路电流合环风险指标的计算公式:

$$R_{FLT} = \frac{\sum P_i(X) \times S_{i\_flt}}{n} = \frac{\sum P_i(X) \times S_{i\_alm}}{n_{alm}} + \sum S_{i\_ove} \quad (5)$$

式(5)中: $S_{i\_flt}$ 为环路某一条母线短路电流合环风险严重度; $n$ 为合环路径上重载/越限线路的母线条数; $S_{i\_alm}$ 和 $S_{i\_ove}$ 为重载/越限母线短路电流水平风险严重度; $R_{FLT}$ 为环网运行方式下环路母线短路电流水平合环风险。

### 1.6 基于 EMS 的合环风险评估软件实现

合环风险评估系统软件基于 EMS 平台, 采用服务器 / 客户端的消息机制, 基于 EMS 通用关系表数据库系统和层次库结构。使用人员在客户端侧进行操作, 由客户端发送相应的报文至服务器侧, 由服务器侧主进程根据报文中的信息进行分析和计算, 并将结果写入数据库并返回结果报文至客户端, 整个过程由消息报文进行控制, 流程如图 1 所示。合环风险评估软件嵌入在 EMS 系统高级应用软件的调度员潮流模块中, 共享调度员潮流模块的数据和功能, 可以同时由不同的使用者在不同的研究模式下进行操作, 不同的使用者之间相互不影响。

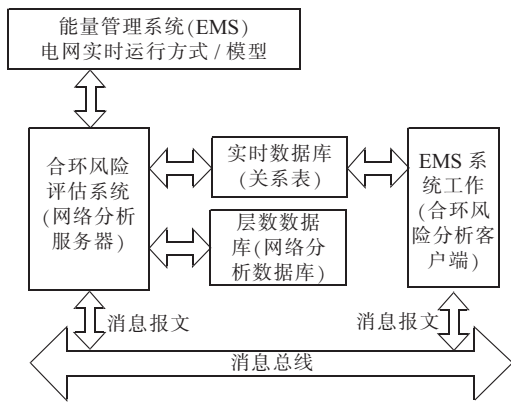


图 1 合环风险评估系统软件框架

## 2 工程应用

某地区电网某合环前 / 后电网运行方式如图 2、图 3 所示, 合环线路为 110 kV 安汤线。选取 220 kV 坪山站、宏图站、简龙站、110 kV 汤坑站、安良站区域电网, 在正常运行方式下, 安汤线 1360 处于充电状态, 汤坑站侧安汤线 1360 开关处于分位。

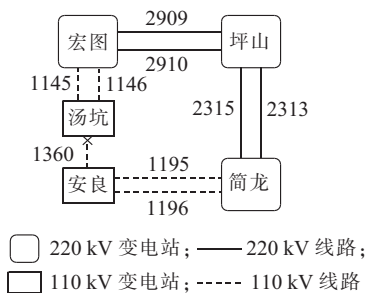


图 2 开环运行方式示意图

合环风险分析评估系统模拟分析计算结果和电网实际合环操作 SCADA 量测值如表 1 所示。

本系统直接从地区电网调度控制中心 EMS 系统中获取实时电网模型和状态估计数据, 无需另行进行设备参数维护和建立等值计算模型。基于全网模型和实时拓扑分析结果, 自动搜索合环路径, 基于全网导纳

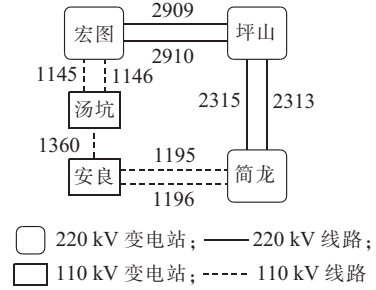


图 3 合环运行方式示意图

表 1 合环风险评估系统计算结果和实际合环量测

计算项	计算结果	实际合环操作量测
首端节点电压 /kV	114.23 ∠ -4.07°	114.5
末端节点电压 /kV	114.64 ∠ -6.07°	114.6
端口阻抗 /Ω	1.38+j13.20	—
合环冲击电流最大值 /A	425.5	—
合环稳态电流 /A	247.3	242.6
基态潮流非初始越限数	0	—
环路 N-1 越限数	0	—
环路母线短路电流越限数	0	—

阵进行和合环端口电压计算合环冲击电流, 并基于全网模型计算合环后稳态潮流、N-1 静态安全分析、环路母线短路电流水平。合环操作风险评估系统分析得出的此断面运行方式下合环风险总水平及其分项风险评估水平如表 2 所示, 基于广度搜索算法得到的环路拓扑如图 4 所示。

表 2 合环风险评估水平

计算项	风险水平
冲击电流风险水平	0
稳态潮流风险水平	6.93
N-1 安全分析水平	0
母线短路电流水平	8.33
合环风险总水平	15.26

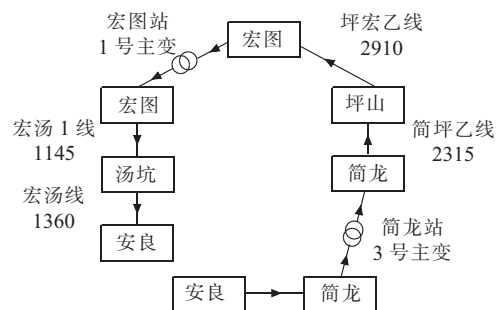


图 4 案例合环路径拓扑

在本系统确立了 4 种合环操作安全性问题, 从地区电网安全的的不同角度对系合环操作进行了风险描述并建立了不同类型的风险指标, 通过对不同项指标的整合对合环操作进行了合环风险水平的评估。



应该指出合环分析计算结果依赖于EMS系统的状态估计结果,随着变电站装置的改造,状态合格率随着调度控制中采集的SCADA数据质量改善也在不断提高,另外随着地区电网外网等值接入功能的加入,电网计算模型也日趋完整,这些为合环风险分析软件提供了更准确的基础数据。经测试表明,合环风险分析软件能够满足地区电网的分析需求。

### 3 结束语

本文针对传统地区电网合环分析的缺点做了深入的分析,提出并开发了基于EMS系统的在线合环风险分析系统,克服了传统分析方法的缺点,基于EMS系统实现了合环分析的实时性、准确性和便利性。可以为大规模地区电网合环风险分析提供决策支持,从而有效提高电网调度和运行人员对电网的控制能力和对电网事故的处理能力,减少电网事故造成的损失。

#### 参考文献:

[1] 叶清华,唐国庆,王磊,等.配电网合环操作环流分析系统的开发和应用[J].电力系统自动化,2002,26(22):66-69.  
 [2] 钱兵,程浩忠,杨镜非,等.电网合环辅助决策软件研究[J].电力自动化设备,2002,22(3):8-11.  
 [3] 夏翔,熊军,胡列翔.地区电网的合环潮流分析与控制[J].电网技术,2004,28(22):76-80.  
 [4] 胡伟.2004~2005年江苏电网分层分区运行分析[J].华东电力,2003(8):14-17.

[5] 张勇,姚建光,俞晓荣,等.具备快速合解环功能的备自投分析[J].江苏电机工程,2012,31(1):61-63.  
 [6] 应夏曦,纪良.常州电网分区运行对地区配网跨区合解环操作的影响及其对策[J].电力设备,2008,09(1):65-68.  
 [7] 秦跃进,汪勇,胡广.2005年湖北电网电磁环网问题研究[J].华中电力,2002,15(6):15-17.  
 [8] 葛少云,李晓明.基于戴维南等值的配电网合环冲击电流计算[J].电力系统及其自动化学报,2007,19(6):124-127.  
 [9] 胡宏波,孟清谱,刘高飞,等.一起10kV配电网合环倒电引起线路跳闸的事故分析[J].江苏电机工程,2011,30(3):15-18.  
 [10] 陈霄,王磊,李扬.配电网合环冲击电流的分析[J].电力自动化设备,2005,24(5):40-42.  
 [11] 刘新东,江全元,曹一家,等.基于风险理论和模糊推理的电力系统暂态安全风险评估[J].电力系统自动化设备,2009,29(2):15-20.  
 [12] 潘轩,张建华.基于风险理论的电力系统安全评估方法应用[J].中国电力教育,2008(S1):219-222.

#### 作者简介:

罗玉春(1984),男,江苏涟水人,工程师,从事电网调度自动化系统高级应用软件开发工作;  
 龚成明(1977),男,江苏响水人,高级工程师,从事电网能量管理系统研发、管理工作;  
 王毅(1980),男,甘肃会宁人,工程师,从事电网调度自动化分析与控制技术研究工作;  
 李雷(1978),男,安徽淮南人,工程师,从事电网调度自动化分析与控制技术研究工作;  
 葛亮亮(1984),男,江苏如东人,工程师,从事电网调度自动化系统仿真研究工作。

## A Closing Loop Operation Risk Evaluation System Based on EMS

LUO Yuchun, GONG Chengming, WNAG Yi, LI Lei, GE Liangliang

(NARI Technology Development Limited Company, Nanjing, 211106, China)

**Abstract:** Due to lack of the capacity of real-time updating power network's model information and operational mode, traditional off-line analysis software for power system grid closing loop operation risk analysis only can provide an approximate result. An Energy Management System (EMS) based regional power grid risk analysis software for closing loop operation analysis is presented. The proposed software is capable to provide a real-time closing loop operation risk evaluation. It collects real-time data of power network model and its operational mode from EMS, which makes it possible to achieve thermal stability analysis, N-1 analysis and circuit breaker interrupting capacity checking of electromagnetic loop network grid. The utilization of EMS in the proposed software reduces risk analysis computational complexity. The proposed system has been successfully applied into the Shenzhen power grid.

**Key words:** EMS; Close Loop Operation; Power Flow Calculation; Contingency Analysis; Circuit Breaker Interrupting Capacity; Impact Current

## 广告索引

中国华电集团公司江苏分公司	封一	《江苏电机工程》协办单位	前插4
江苏省电力设计院	封二	南京苏逸实业有限公司	(黑白)文前
南瑞科技股份有限公司	前插1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插2、3	远东电缆有限公司	封四