继电保护一体化整定计算数据模型拼接新思路

孙月琴[1]，王同文[1]，王 栋[1]，王海港[1]，李崇瞻[2]，仇向东[3]

(1.安徽电力调度控制中心，安徽 合肥 230022；2.华北电力大学电气与电子工程学院，河北 保定 071000；
3.北京中恒博瑞数字电力科技有限公司，北京 100085)

摘要：提出了一种以边界开关为模型拼接点的继电保护一体化整定计算数据模型拼接新思路。针对各种典型的一体化整定计算应用场合和数据建模方式，给出了完整的模型拼接思路和原则。该方案原理简单，通用性强，可靠性高，易于程序实现，对不同单位数据建模的规范性要求较低。在安徽电网继电保护省地县一体化整定计算系统的应用验证了方法的有效性，方法在继电保护一体化整定计算数据模型拼接方面具有良好的推广应用前景。

关键词：继电保护；一体化整定计算；模型拼接；边界

New technology of model splicing for power relay protection integrated setting calculation

SUN Yue-qin[1], WANG Tong-wen[1], WANG Dong[1], WANG Hai-gang[1], LI Chong-zhan[2], QIU Xiang-dong[3]

(1. Anhui Electric Power Dispatch & Control Center, Hefei 230022, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071000, China; 3. Beijing Join Bright Digital Power Technology Limited Company, Beijing 100085, China)

Abstract: A new method for model splicing for power system relay protection integrated setting calculation is proposed, which adopts the boundary breaker as the splicing locality. The overall approaches are discussed according to both the demands of different users and the diverse modeling method in factual engineering application. The technology has simple principle, strong currency, and high reliability, and is easy to program, besides, has lower request on the standardization of data model for different users. The analysis results show its efficiency and merits in Anhui electric power system, and therefore it has high engineering value in model splicing for power relay protection integrated setting calculation.

Key words: relay protection; integrated setting calculation; model splicing; boundary

中图分类号： TM77 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2014)17-0055-06

0 引言

随着特高压电网的建设和电网规模的不断扩大，上下级和同级电网之间往往相互影响，传统意义上的整定计算分界面越来越多且难于清晰刻画。此外，智能电网的快速推进，大规模新型能源集中接入中低压配电系统已成必然，突破了常规的短路电流单向流动的理念。如仍沿用传统的定期发布边界等值或综合阻抗的方式已很难适应当前电网快速发展的需要。

为此，本文研究了一种包含各电压等级的整定计算基础数据的建模方法。基本思路是：以调度管辖范围为基本原则，将边界开关作为拼接点，采用模型拼接技术，实现整定计算基础数据的全网建模。该方法原理简单，适应性强，可靠性高，易于编程实现，对不同单位数据建模的规范性要求较低。在安徽电网继电保护省地县一体化整定计算系统的应用取得了满意的效果。

1 整定计算基础数据建模方案

1.1 概述

随着特高压电网建设和电网规模快速发展，尤其是大规模新型能源接入中低压配网，传统意义上的上下级已很难界定，短路电流流向趋于复杂，相互影响程度不断加剧。为此，大量学者和工程技术人员从继电保护一体化整定计算出发，研究如何建立一套包含各电压等级的整定计算全网基础数据[1-4]。

一种思路是集中式建模[3-4]。即分散在不同地区的整定计算人员在同一服务器上按照调度管辖范围及权限分配共同维护建立一套整定计算基础数据模

型。该思路优点是易于理解，实现简单。缺点是对服务器性能要求较高，整定计算效率较低，对网络依赖较强。电网规模越大、区域分布越分散，其不足表现更为明显。

另一种思路是“分散建模、数据拼接”的分布式建模[1-2]。即不同地区的整定计算人员按照调度管辖权限在各自服务器上建立整定计算数据模型，通过上下级服务器的数据拼接构建全网模型。该思路可根据电网特性，灵活选择采用全网数据还是等值简化模型进行整定计算，计算效率较高；对网络依赖较低，可确保继电保护整定计算日常工作开展；对服务器的性能要求也较低；逐渐成为主流方案。

然而，采用分布式数据建模的一个关键问题是如何将分散在不同服务器上的整定计算数据模型拼接成一套全网的数据模型。在数据模型拼接方面，以往的研究主要针对调度自动化系统领域的电网模型拼接[5-10]；少量文献探讨了整定计算用数据拼接问题。如文献[2]提出的采用拆分重复建模的边界模型构建全网数据模型的实现方案。该方法要求数据拼接的不同单位之间在边界建模上必须保证完全一致，否则认为两者之间无直接联系而放弃拼接。在实际应用中可用性欠佳，且拼接效率不高。

1.2 常规数据拼接方案

由于我国电力系统采用多级调度、分层管理模式，应用模型拼接具有天然的优势。相关文献[1-3]研究的模型拼接思路基本如下。

1）数据建模。按照调度管辖范围划分，在各自服务器上建立本单位数据模型；要求设备命名必须统一规范。

2）拼接边界搜索。分析电网模型，搜索模型拼接边界（通常选择厂站母线）。

3）拼接边界匹配。如需要拼接的两套数据模型中的边界（步骤 2）搜索出的边界）建模完全一致，则认为是拼接边界，否则放弃。

4）模型拆分。在步骤 3）确定的拼接边界上将边界以下的等值模型进行拆除。

5）模型拼接。采用详细电网模型替换已拆除的等值模型，形成完整模型。

该类型方法的关键在于边界匹配，即要求边界模型完全一致或定义模型边界对照关系，对不同单位建模的规范性要求极高，实际应用往往难以保证，极易发生拼接遗漏。为此，本文提出一种以边界开关为拼接点的简易模型拼接方案。

2 以边界开关为拼接点的模型拼接方案

2.1 基本思路

本文提出的以边界开关为拼接点的模型拼接原则是：在需要拼接的两套数据模型中，以“电压等级-所属区域-厂站名称-边界开关号”为匹配条件；在获得所有边界后，通过边界拆除、数据拼接，完成全网数据模型的构建。流程图如图 1 所示，图中采用主数据模型拼接从数据模型为例，k 为匹配出的全部边界数量。

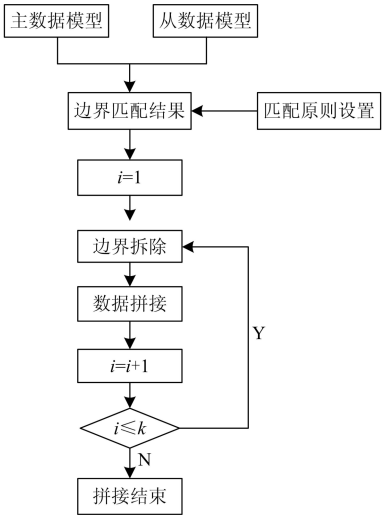


图 1 以边界开关为拼接点的数据拼接流程图

Fig. 1 Frame of model splicing based on boundary breaker

为更清晰地展示以边界开关为拼接点的数据拼接过程，图 2 给出了一组数据拼接前后的示意图。图中，按照调度管辖范围，主数据模型中建立了含主变的 220 kV 系统详细模型，110 kV 系统模型缺省；而从数据模型建立了含主变的 110 kV 详细模型，220 kV 系统模型采用等值处理。

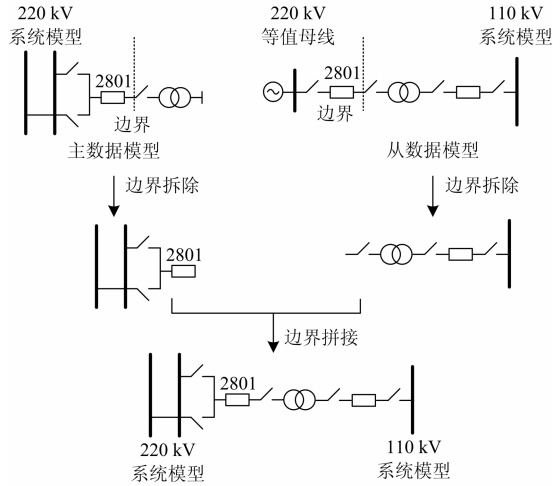


图 2 以主变开关为边界的数据拼接示意图

Fig. 2 Frame of model splicing based on primary transformer breaker

该方案的优点是模型拼接原理简单，易于理解和编程实现；对数据建模要求较低，只需保证边界开关的“开关号-厂站名称-所属区域-电压等级”等基本属性一致即可；此外，方法的扩展性强，适应不同场合的数据拼接。后续分别叙述本文所提方法在不同场合下数据拼接实现。

2.2 网-省拼接实现

网省拼接的两个主体是网调和省调，一般而言，网调负责调度管辖 500 kV 系统，省调负责 220 kV 系统。由于 500 kV、220 kV 均为大电源系统，故不论是在网调数据模型还是省调数据模型均是电网详细模型，其实现更简单。如图 3 所示。

一般网调数据模型中 220 kV 系统采用等值模型；而省调模型中既有可能采用完整模型也有可能采用 500 kV 等值模型；对于 500 kV 采用完整模型情况，网调也因无法确保其正确性而不采用，故不论何种方式，均能通过边界匹配、拆除和拼接流程获得全网详细模型。

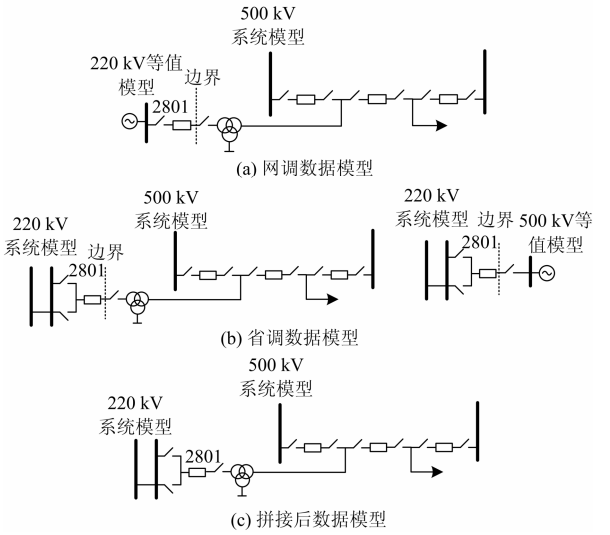


图 3 网-省拼接实现示意图

Fig. 3 Frame of model splicing between state and province power system

2.3 省-地拼接实现

省地拼接的两个主体是省调和地调，通常，省调负责调度管辖 220 kV 系统，地调则负责 110 kV 系统。由于 110 kV 系统大多为纯负荷线路，在省调模型中基本忽略；而在地调模型中，220 kV 系统一般采用等值阻抗（综合阻抗）方式。

对于 220 kV 不包含旁路母线的省－地间模型拼接，均可参照网－省拼接模式实现数据拼接。

对于 220 kV 带旁路母线的场合，其实现方式是，当确定存在拼接边界后，先将模型中主变高压侧与旁路母线的连接关系删除；随后按照常规模式完成模型拼接；在拼接后的模型中再添加主变高压侧与旁路母线的连接。其实现过程如图 4 所示。

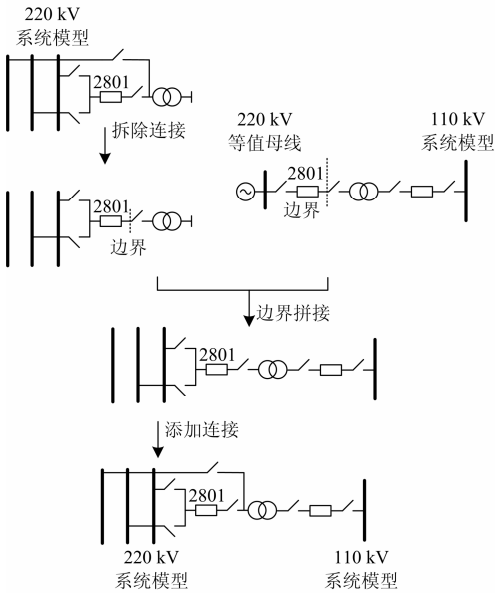


图 4 省-地拼接实现示意图

Fig. 4 Frame of model splicing between province and district power system

2.4 地-地拼接实现

对于地区电网而言，考虑到电网辐射式结构和电流单向流动特点，相邻地区电网之间并无分层或分界。本文研究的地-地拼接主要解决 110 kV 系统互供的情况，即在图 5 的电网结构中如何实现模型拼接。

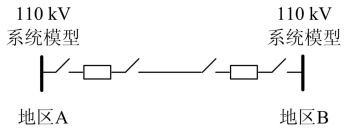


图 5 地区间互供线路模型

Fig. 5 Line model between different districts

对此，文中假定在省-地拼接过程中先与地区 A 完成拼接，提出在与地区 B 拼接过程中处理方式，反之亦然。与此同时，考虑到各地区 110 kV 系统建模的差异性，文中针对不同情况分别论述。

1）地区 A、B 均建立详细模型

由于在两个地区电网模型中均建立了详细的模型，此时即可运用边界开关的思路完成模型拼接。如图 6 所示。

2）地区 A 为详细模型、地区 B 为等值模型

针对此种情形，仍可沿用边界开关的思路完成模型拼接。如图 7 所示。

对于地区 A 采用等值模型、地区 B 采用详细模型与此类似。

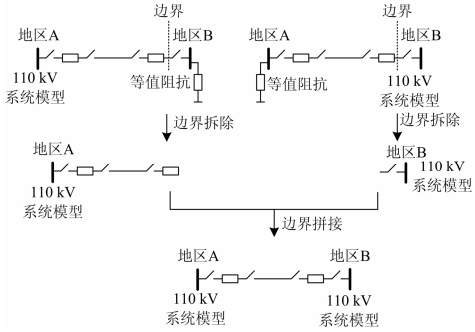


图 6 地-地拼接实现示意图

Fig. 6 Frame of model splicing between different districts power system

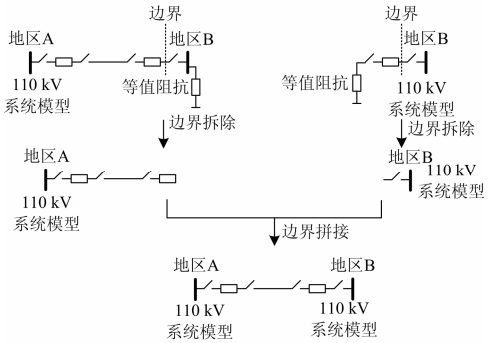


图 7 地-地拼接实现示意图

Fig. 7 Frame of model splicing between different districts power system

3）地区 A、B 均为等值模型

从图形上，由于地区间边界开关已不复存在，通过搜索边界开关的做法表面上无法完成数据拼接。然而，若在建模时，规定采用等值模型时，该等值模型必须包含对侧连接开关属性则可解决数据拼接问题，如图 8 所示。

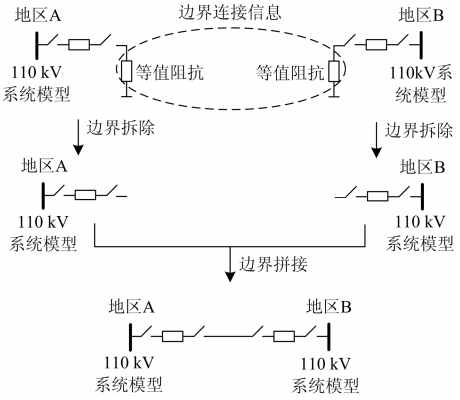


图 8 地-地拼接实现示意图

Fig. 8 Frame of model splicing between different districts power system

对于此类建模方式下数据拼接后互供线路的参数问题，则无法通过程序自动获取，只能依靠人工后续补充。

然而，实际工作中此类现象不太可能出现。理由是，互供线路两侧开关的定值整定要么由其中一侧负责，要么各自负责本侧开关。对于前者，至少有一个单位采用图 6 建模；而对于后者通常两侧均采用图 7 模型。

3　应用算例

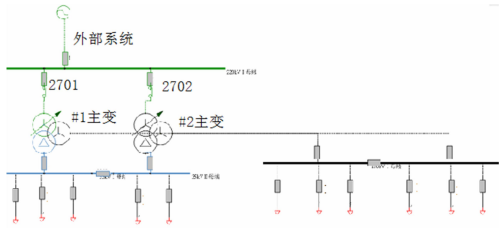
按照调度管辖范围，安徽省调负责 220 kV 系统的整定计算，地（县）调负责 220 kV 主变、110 kV 及以下系统的整定计算，500 kV 系统的整定计算则由网调完成。

以往，安徽省调维护建立 220 kV 及以上系统模型（含 220 kV 主变），忽略 110 kV 系统，与相邻省的边界采用等值电源；根据整定计算需要向各单位发布 220 kV 母线等值阻抗（综合阻抗）。各单位在等值阻抗的基础上建立 110 kV 系统模型，在本单位的整定计算服务器上完成整定计算工作。省、地之间数据为省调向各单位发布等值阻抗的单向流动，无法形成全省统一的包含各电压等级的整定计算基础数据模型，计算效率和准确性均很难获得足够保障。

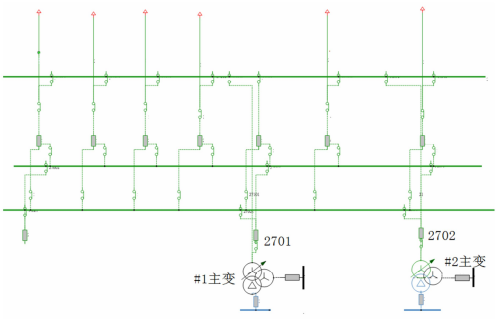
为适应电网快速发展，安徽省调于 2012 年研发建设继电保护省地县一体化整定计算系统平台。该系统采用分布式结构，全网整定计算基础数据获取即应用本文所提基于边界开关的数据模型拼接技术。已完成与淮南、滁州两个地区电网的数据拼接，拼接前后的整定计算模型如图 9 所示，其中图 9(a)、图 9(b)、图 9(c)分别代表数据拼接前地调、省调模型以及数据拼接后的完整模型。

为客观分析整定计算数据拼接前后继电保护整定计算结果的差异，选取三个典型位置在大、小方式下系统发生单相和三相短路故障的计算结果作比较。以淮南八公山变、金家岭变和合肥东北郊变 220 kV 母线短路故障为例，其中八公山变、金家岭变为省、地数据拼接边界，东北郊变为非拼接边界。计算结果如表 1 所示。

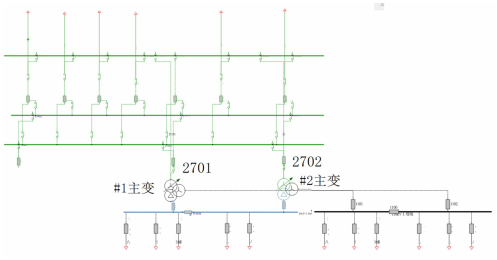
从表 1 可知，与数据拼接边界距离越近的节点，拼接前后的故障计算结果差别越明显，最大差别达到 5.4%（一次电流约 1 340 A），但总体均在工程整定允许范围以内；侧面证实了目前省调继电保护整定计算忽略 110 kV 系统的合理性。



(a) 拼接前地调模型



(b) 拼接前省调模型



(c) 拼接后模型

图 9 拼接前后继电保护整定计算模型

Fig. 9 Frame of model splicing between different districts power system

为进一步验证采用数据拼接后的全网数据进行整定计算的优越性，文中假设在淮南八公山变所属 110 kV 系统中接入了等值阻抗为 0.05 Ω的小电源群，比较常规方式和基于全网数据的整定计算结果的差异，如表 2 所示。

由表 2 可得出与表 1 类似结论外；还可看出，基于全网基础数据的整定计算结果由于计及了 110 kV 系统向 220 kV 系统注入的短路电流，其结果更为合理。可以预见，随着 110 kV 及以下系统电源规模的逐步扩大，在常规忽略 110 kV 系统的整定计算模式下 220 kV 系统的整定计算极有可能得出过于保守甚至是不合理的保护定值。

4　算法应用前景分析

在特高压电网快速发展、省地县一体化甚至国网省一体化联合整定计算的形势下，本文提出的以分界面边界开关为拼接点的思路具有原理简单，可靠性高，对电网拓扑结构建模要求低，工程实现便捷等诸多优势，推广应用前景良好。

本文所提的方法在工程应用的前提是边界开关的唯一性，这一前提在当前环境和模式下是极易满足的。理由是：按照目前多级调度、分层管理的通用原则，不管上下级调度单位的分界面采用何种划分方法，在某一区域电网内其边界总是固化且可预知的；而开关编号的唯一性在同一地区、同一电压等级、同一变电站内天然满足。因此，不管纵向采用几级调度或几级调度间开展一体化整定计算，本文所提方法均是有效的。

表 1 数据拼接前后短路计算结果

Table 1 Short circuit current results for different models

故障位置	运行方式	拼接前故障相电流/标幺值		拼接后故障相电流/标幺值		差异百分比/%	
		单相故障	三相故障	单相故障	三相故障	单相故障	三相故障
八公山变 220 kV 母线	大方式	9.0746	9.9142	9.4987	10.4480	4.673	5.384
	小方式	8.7628	9.5841	9.1745	10.0989	4.698	5.371
金家岭变 220 kV 母线	大方式	8.3465	9.4408	8.6578	9.7823	3.730	3.617
	小方式	7.8019	9.0321	8.0856	9.2825	3.636	2.772
东北郊变 220 kV 母线	大方式	13.0048	13.7475	13.1170	13.7850	0.863	0.273
	小方式	12.2975	12.9422	12.3869	12.9965	0.727	0.420

表 2 数据拼接前后短路计算结果

Table 2 Short circuit current results for different models

故障位置	运行方式	拼接前故障相电流/标幺值		拼接后故障相电流/标幺值		差异百分比/%	
		单相故障	三相故障	单相故障	三相故障	单相故障	三相故障
八公山变 220 kV 母线	大方式	9.0746	9.9142	10.5239	12.0154	15.971	21.194
	小方式	8.7628	9.5841	10.0571	11.4856	14.770	19.840
金家岭变 220 kV 母线	大方式	8.3465	9.4408	8.7301	10.1333	4.596	7.335
	小方式	7.8019	9.0321	8.1504	9.6832	4.467	7.209
东北郊变 220 kV 母线	大方式	13.0048	13.7475	13.2014	13.9453	1.512	1.439
	小方式	12.2975	12.9422	12.4321	13.1117	1.095	1.310

此外，本文所提方案还针对两个单位间的互供线路进行了研究，尽管对建模方式和内容提出了新要求，但这些要求均是很容易满足和达到的。

5 总结

本文提出了一种继电保护一体化整定计算基础数据模型构建方案。该方案采用数据拼接技术，以边界开关作为数据拼接点，原理简单，可靠性高，通用性强，对不同单位整定计算基础数据建模的规范性要求较低，且易于编程实现，具有良好的推广应用前景。

参考文献

[1] 陈朝晖, 周红阳, 石东源, 等. 大型互联电网继电保护整定计算数据一体化管理系统[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(3): 106-110.
CHEN Zhao-hui, ZHOU Hong-yang, SHI Dong-yuan, et al. Data integrated management system for relay protection setting calculation of interconnected power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(3): 106-110.

[2] 李江华, 宋玮, 周庆捷, 等. 基于图模拼接的整定计算数据中心研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24): 9-13.
LI Jiang-hua, SONG Wei, ZHOU Qing-jie, et al. Research on setting calculation data center based on splicing of graph and model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24): 9-13.

[3] 李大勇, 房亚囡, 黄毅, 等. 一体化整定计算系统二次统一模型的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(21): 143-146.
LI Da-yong, FANG Ya-nan, HUANG Yi, et al. Research and application of secondary system unified model in integrated relay setting calculation system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(21): 143-146.

[4] 黄乐, 陈朝晖, 余江, 等. 南方电网整定计算数据交换模式研究[J]. 南方电网技术, 2012, 6(1): 38-41.
HUANG Le, CHEN Zhao-hui, YU Jiang, et al. Research of data exchange model for setting calculation of China southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(1): 38-41.

[5] 陈根军, 顾全. 应用模型拼接建立的全电网模型[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 94-98.
CHEN Gen-jun, GU Quan. Creation of complete power network model by splicing power network model for EMS with external network model built by BPA[J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 94-98.

[6] 钱锋, 唐国庆, 顾全. 基于 CIM 标准的多级电网模型集成分析[J]. 电网技术, 2007, 31(12): 69-73.
QIAN Feng, TANG Guo-qing, GU Quan. Analaysis on integration of multilevel power network model based on CIM[J]. Power System Technology, 2007, 31(12): 69-73.

[7] 马强, 荆铭, 梁成辉. 基于 CIM/CIS 的省地调电网模型拼接与数据交换[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 116-119.
MA Qiang, JING Ming, LIANG Cheng-hui. CIM/CIS-based connection and data exchange for provincial and regional power networks[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 116-119.

[8] 米为民, 韦凌霄, 钱静, 等. 基于 CIM/XML 的电网模型合并方法在北京电力公司调度系统中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 33-37.
MI Wei-min, WEI Ling-xiao, QIAN Jing, et al. Application of CIM & XMl based combination method of power network models in dispatching system of Beijing electric power corporation[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 33-37.

[9] 李晓露, 黄明辉, 韦凌霄, 等. 多区域电网模型在线拼接与合并[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(22): 49-56.
LI Xiao-lu, HUANG Ming-hui, WEI Ling-xiao, et al. Multi-regional power network model online splicing and merging[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(22): 49-56.

[10] 崔巍, 史永, 孙兵. 基于 IEC61970/61968 电网模型构建和整合[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(17): 60-63.
CUI Wei, SHI Yong, SUN Bing. The construction and integration of grid model based on IEC61970/61968[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(17): 60-63.

收稿日期：2013-11-23

作者简介：

孙月琴(1964-)，男，硕士，高级工程师，从事电力系统继电保护专业运行管理与研究工作；

王同文(1981-)，男，博士，高级工程师，从事电力系统继电保护专业运行管理与研究工作；
E-mail:wtwen@126.com

王 栋(1973-)，男，硕士，高级工程师，从事电力系统继电保护专业运行管理与研究工作。