

doi : 10. 3969/j. issn. 1005 - 3026. 2016. 06. 002

基于模型诊断和 skyline 查询的电网故障诊断

江雪晨,王大志,宁 一,刘晓琴
(东北大学 信息科学与工程学院,辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 针对基于专家经验的电网故障诊断系统开发周期长,且难以诊断经验之外故障的问题,提出一种基于模型诊断和 skyline 查询的电网故障诊断方法. 该方法根据测点分布将待诊断系统分解成若干独立子系统,利用故障输出与元件之间的因果关系建立系统模型,然后推理每个子系统的候选诊断,将实际告警信息引入到模型诊断逻辑框架中,运用 skyline 查询算法从候选诊断中识别故障元件. 通过离线获得预备候选诊断,在线确认候选诊断的手段,缩减了诊断的时间,提高了诊断的效率,将实际告警信息引入到模型诊断的逻辑框架内,提高了诊断的有效性. 仿真表明方法条理清晰,计算简便,能够有效地减少诊断时间和空间复杂度.
关 键 词: 电网故障诊断; 基于模型诊断; 候选诊断; 告警信息; skyline 查询
中图分类号: TM 711 文献标志码: A 文章编号: 1005 - 3026(2016)06 - 0765 - 05

Fault Diagnosis of Power System Based on Model-based Diagnosis and Skyline Query

JIANG Xue-chen , WANG Da-zhi , NING Yi , LIU Xiao-qin
(School of Information Science & Engineering , Northeastern University , Shenyang 110819 , China. Corresponding author : NING Yi , E-mail : vipningyi@ 126. com)

Abstract : The expert system used in power system fault diagnosis has a long development cycle and can not diagnose the faults beyond experiences. A kind of fault diagnosis of power system was proposed based on model-based diagnosis and skyline query. The diagnosed system was decomposed into several independent subsystems based on the distribution of measurement points. By establishing system models considering the causality between the system failure output and system element , candidate diagnosis of each subsystem was inferred. The actual alarm information was introduced into diagnosis logic framework to identify the fault element from candidate diagnosis by using skyline query. Ready candidate diagnosis was obtained offline and candidate diagnostic was confirmed online based on the proposed method , which saved the time of diagnosis. Actual alarm information was introduced into diagnosis logic framework , which improved the efficiency of diagnosis. The simulation results show that the method can effectively reduce the complexity of time and space.
Key words : power system fault diagnosis ; model-based diagnosis ; candidate diagnosis ; alarm information ; skyline query

目前电网故障诊断的方法主要有神经网络、专家系统、解析模型等^[1],其中专家系统非常适合解决电力系统多规则、多分支、多联络的复杂问题. 专家系统在电网故障诊断领域应用较为成功^[2-3],但仍存在一些缺点:电网系统庞大而复杂,获得完备的知识库比较困难;当电网结构和保护配置改变时,知识库的维护比较困难,依赖于已

有的经验,对未出现过的故障诊断效果较差.

为了克服专家系统的缺点,国外学者^[4-5]提出用基于模型诊断(MBD)来开发故障诊断系统. 基于模型诊断方法通过描述系统的行为、结构和功能来实现诊断推理,具有很强的设备独立性,并且不依赖于专家经验. 目前,MBD方法在工程、医疗、航天等领域得到广泛应用^[6-8],但在电力系

统领域,只有文献[9-11]中做了一些初步研究工作.文献[9]中通过引用候选最小冲突集概念,首次将基于模型诊断的思想应用于牵引变电站故障诊断,并用故障免除假设筛选出最终诊断;文献[10]针对配电网的结构和故障特征,将文献[9]中方法移植到配电网故障诊断,采用贝叶斯定理计算各候选诊断元件的故障概率;文献[11]采用优化的离散二进制离子群算法求取冲突集的最小碰集,提高了诊断效率.然而,文献[9-11]的方法存在以下不足:基于全网范围内求解候选诊断,容易产生组合爆炸,从而引起 NP-完全问题;离线索获得最小冲突集,一定程度上减少了诊断的时间,但由最小冲突集获取候选诊断的过程全部在线运行,若最小冲突集中包含元件较多,仍会导致诊断时间过长,不满足诊断实时性的要求;基于元件故障的先验概率对得到的多个候选诊断作进一步区分,但先验概率主要基于经验统计给出的定性值,具有主观性和局限性.为解决上述问题,本文提出一种结合模型诊断和 skyline 查询的诊断方法,应用于诊断电网故障.

1 基于模型的故障诊断方法

1.1 模型诊断的相关知识

基于模型诊断的基本概念参考文献[4-5].在电网背景下,本文对模型诊断的相关知识进行了扩展,给出以下知识.

定义 1 设元件 c 存在约束方程 $f(X)=0$,其变量 X 全部由系统可观测变量构成,则称元件 c 存在解析冗余关系.

为了避免在求解候选诊断过程中引起 NP-完全问题,可以将复杂系统划分成若干个子系统.一般电网系统测点位置是不变的,可以根据各测点位置分布将电网划分成最小区域的若干子系统.最小区域是指由测点包围的区域内没有其他测点.测点测量的电气量包括母线电压和支路电流.

定义 2 系统元件集合为 C ,其中元件 c_i 存在解析冗余关系,如果去除 C 中除 c_i 外的任一元件使得元件 c_i 不具有解析冗余关系,则称 C 为该解析冗余关系的最小支持环境.

定义 3 设系统模型由最小支持环境集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 构成,若给定 n 组相关联观测值, $v_i (i=1, 2, \dots, n)$ 对应解析冗余关系不成立,则称 v_i 是系统的一个故障环境.

定义 4 系统中最小支持环境个数即为系统

输出个数,故障环境的个数为系统故障输出个数.

1.2 模型诊断的实现方案

本文利用系统的故障输出与元件之间的因果关系,由系统的不同故障输出组合推理出所有诊断.将这些诊断定义为系统的预备候选诊断.系统的故障输出与元件之间的因果关系是指元件的故障会导致系统输出结果错误,因此可以根据错误的系统输出结果推理出是哪个或哪些元件发生故障导致故障输出^[12].给出如下相关定义.

定义 5 系统的组成元件中,将只影响一个系统输出的元件称为单输出元件,将影响多个系统输出的元件称为多输出元件^[12].

定义 6 设系统输出为 $O=\{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ ($n \geq 2$),组成元件 α 影响的输出为 $O_\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p\} (p \geq 1, O_\alpha \subseteq O)$,组成元件 β 影响的输出为 $O_\beta=\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\} (q \geq 1, O_\beta \subseteq O)$,如果 $O_{\alpha\beta}=O_\alpha \cap O_\beta (O_{\alpha\beta} \neq \emptyset, O_\alpha \neq O_\beta)$,当 α 和 β 都发生故障时, $O_{\alpha\beta}$ 的输出可能为正常值,则称该系统含有故障掩盖.

由定义 6 可知,如果系统为含有故障掩盖的系统,则在该系统中必然包含多输出元件;如果系统中没有故障掩盖,则该系统中元件都为单输出元件.

基于因果关系的模型诊断思想如下:

1) 在不含有故障掩盖的系统中,若只有一个系统故障输出,可以确定是单输出元件发生故障;若有多个系统故障输出,可以确定是每个故障输出对应的单输出元件发生故障.

2) 在含有故障掩盖的系统中,若只有一个系统故障输出,可能是单输出元件发生故障,也可能是引起故障掩盖现象的元件集合的元件发生故障;若有多个系统故障输出,可能是引起故障掩盖现象的元件集合的元件发生故障,也可能是每个故障输出相对应的单输出元件都发生故障,还有可能是能影响多个故障输出的一个多输出元件发生故障.

利用上述诊断思想,可以离线获得系统的预备候选诊断.基于此,本文在线生成候选诊断的步骤可归纳为

1) 根据结线分析的结果确定电网停电区域,搜索停电区域内最小区域子系统.

2) 获取停电区域停电前的一段时间内各测点的量测值.

3) 将观测量代入停电区域各子系统所有最小支持环境对应的约束方程,确定系统的实际故障输出,然后与离线获得的预备候选诊断相匹配,

匹配结果即为候选诊断。

2 基于 skyline 查询的诊断识别

2.1 skyline 查询简介

基于模型的诊断结果一般为一组或多组引起系统故障的候选诊断,属于不确定性问题。为了进一步从候选诊断中确定最终的诊断,本文提出一种基于 skyline 查询的诊断识别方法。skyline 查询的目的是从给定的 n 维对象集中选择不被其他对象所支配的子集^[13]。相比于依赖统计概率的传统不确定性解决方法,skyline 查询侧重于研究属性的划分和支配关系的表示方法。

定义 7 对象 P, Q 属于 n 维对象集合 S , 其各维属性分别为 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 和 $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 。若对于 $\forall i (1 \leq i \leq n) p_i \geq q_i$ (或 $p_i \leq q_i$) ,且 $\exists j (1 \leq j \leq n) p_j > q_j$ (或 $p_j < q_j$) 都成立,则称 P 支配 Q , 记做 $P > Q$ 。

定义 8 从集合 S 中选择出所有不被其他对象所支配的对象组成的集合,称为 skyline 集合。

经典的旅馆选择问题把所有海边旅馆作为对象集合,已知旅馆距离海边越近,其价格越贵。按距离与价格划分旅馆的分布,如图 1 所示。图中最外层实线上的点组成 skyline 对象集。如果旅客想选择入住一家离海边较近且价格便宜的旅馆,只需要考虑位于 skyline 上的旅馆,因为总能在 skyline 上找到一家或者离海边更近、或者价格更便宜的旅馆。从定义 7、8 可知,skyline 上的对象支配了其他非 skyline 上的对象,而 skyline 上的对象相互不支配,所以旅客需要的最优旅馆一定在 skyline 上。

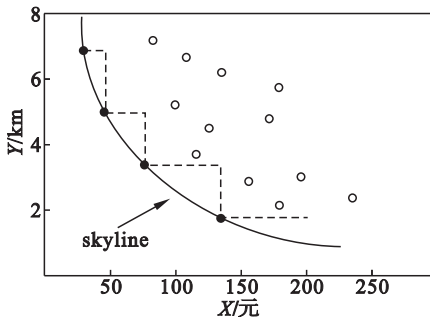


图 1 旅馆的 skyline 查询
Fig. 1 Skyline query of hotels

2.2 基于 skyline 不确定性解决方法

电网中不同元件对应的保护不同,若元件发生故障,其相应的保护会发生动作并上传告警信息给调度端,告警信息蕴含了保护的三种非正确

状态:拒动、误动或误报、漏报。本文由候选诊断组成 skyline 查询的对象集 S ,将保护的三种非正确状态表示成对象的 3 维属性集合 $\{D, M, L\}$,其中 D 为故障元件相关保护拒动的数量; M 为正常元件相关保护误动或误报的数量; L 为故障元件相关保护漏报的数量。三个属性之间的支配关系分析如下。

1) 在故障发生后继电保护装置会在最小区间内将故障元件从电网中断开,如果本级保护拒动可能引起上级保护动作,从而导致事故范围扩大。因此,保护拒动的个数 D 越小,候选诊断可信度越高。

2) 保护的误动或误报同为小概率事件^[14],由条件概率公式可知,元件保护误动或误报的个数越小,候选诊断可信度越高。

3) 在上传至调度端过程中各保护动作信息互相独立, L 个保护信息共同漏报的可能性与 L 值成反比,即 L 越小,候选诊断可信度越高。

根据上述分析,得到关于各候选诊断间的支配关系,定义如下。

定义 9 有由 2 个候选诊断组成的对象 S_i, S_j , 其 3 维属性分别为 $\{D_i, M_i, L_i\}, \{D_j, M_j, L_j\}$, 若 $(D_i \leq D_j) \cap (M_i \leq M_j) \cap (L_i \leq L_j)$, 且 $(D_i < D_j) \cup (M_i < M_j) \cup (L_i < L_j)$ 成立,则称 S_i 支配 S_j , 记做 $S_i > S_j$ 。

3 算例分析与验证

3.1 算例系统

为了检验本文所述方法的有效性,以 IEEE 新英格兰 10 机 39 节点系统为例,设置了一个 3 重复杂的故障:假设在线路 L_{4-14} 、 L_{12-13} 以及母线 B_{14} 上发生金属性接地短路故障。保护和断路器的动作过程如下: $L_{(4)-14p}$ 和 $L_{(14)-4m}$ 动作, $L_{(4)-14m}$ 拒动,跳开 $CB_{(4)-14}, CB_{(14)-4}$; $L_{(12)-13m}$ 和 $L_{(13)-12m}$ 动作,跳开 $CB_{(12)-13}, CB_{(13)-12}$; $L_{(10)-13m}$ 误动,跳开 $CB_{(10)-13}$; B_{14m} 动作,跳开 $CB_{(14)-13}, CB_{(14)-15}$ 拒动,线路保护 $L_{(15)-14s}$ 动作,但漏报,跳开 $CB_{(15)-14}$ 。其中 $L_{(4)-14p}$ ($CB_{(4)-14}$) 表示线路 L_{4-14} 靠近母线 B_4 侧的第 1 后备保护(断路器),其他依此类推。

调度中心收到 $L_{(4)-14p}, L_{(14)-4m}, L_{(12)-13m}, L_{(13)-12m}, L_{(10)-13m}, B_{14m}, CB_{(4)-14}, CB_{(14)-4}, CB_{(12)-13}, CB_{(13)-12}, CB_{(10)-13}, CB_{(14)-13}, CB_{(15)-14}$ 动作的告警信息。

3.2 获取候选诊断

篇幅所限,本文只针对故障元件相关区域建立诊断模型,如图 2 所示.根据收到的断路器信息确定停电区域,如图中阴影部分所示.

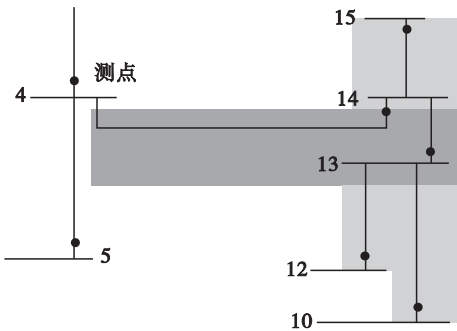


图 2 系统局部图

Fig.2 Schematic diagram of the local system

根据测点位置对停电区域划分子系统: $V_1 = \{L_{4-14}\}$, $V_2 = \{L_{14-15}, L_{13-14}, B_{14}\}$, $V_3 = \{L_{12-13}, L_{10-13}, B_{13}\}$.各子系统的的核心支持环境组成: $V_1: O_1 \{L_{4-14}\}$; $V_2: O_2 \{L_{14-15}\}, O_3 \{L_{13-14}\}, O_4 \{L_{13-14}, L_{14-15}, B_{14}\}$; $V_3: O_5 \{L_{12-13}\}, O_6 \{L_{10-13}\}, O_7 \{L_{10-13}, L_{12-13}, B_{13}\}$

求解预备候选诊断,如表 1 所示.表 1 中的预备候选诊断没有区分 A,B,C 三相,实际分析时将表 1 对应的候选诊断分成 A 相、B 相、C 相.

表 1 预备候选诊断

Table 1 Candidate diagnoses of the preparation

系统	故障输出	预备候选诊断
V_1	O_1	$\{L_{4-14}\}$
	O_2	$\{L_{14-15}, B_{14}\}$
	O_3	$\{L_{13-14}, B_{14}\}$
	O_4	$\{B_{14}\}$
V_2	O_2, O_3	$\{L_{14-15}, L_{13-14}\}$
	O_2, O_4	$\{L_{14-15}\}, \{L_{14-15}, B_{14}\}$
	O_3, O_4	$\{L_{13-14}\}, \{L_{13-14}, B_{14}\}$
	O_5	$\{L_{12-13}, B_{13}\}$
V_3	O_6	$\{L_{10-13}, B_{13}\}$
	O_7	$\{B_{13}\}$
	O_5, O_6	$\{L_{12-13}, L_{10-13}\}$
	O_5, O_7	$\{L_{12-13}\}, \{L_{12-13}, B_{13}\}$
	O_6, O_7	$\{L_{10-13}\}, \{L_{10-13}, B_{13}\}$

将通过仿真得到的故障电气参数代入各子系统包含的约束方程中,得到系统各输出的残差,部分结果如表 2 所示.其中,绝对残差是指系统输出

向量值的幅值,最大项值是指约束方程各项中幅值最大的向量的幅值,绝对残差与最大项值的比值称为相对残差.

表 2 部分系统输出的残差

Table 2 Residual values of system outputs

系统	输出	绝对残差	相对残差 r
V_1	O_{1A}	305.78	0.750 1
	O_{1B}	25.83	0.027
	O_{1C}	11.26	0.015 6
V_2	O_{2B}	128.75	0.183 3
	O_{3C}	8.93	0.004 5
	O_{4A}	402.66	0.933 8
V_3	O_{5A}	1.98	0.000 8
	O_{5C}	513.78	1.051 1
	O_{6B}	17.98	0.007 8
	O_{7C}	297.54	0.847 6

由于存在系统误差,设允许相对残差阈值为 0.2(根据具体情况调整),从表 2 中可以选出相对残差 $r' > 0.2$ 的系统故障输出: $\{O_{1A}\}, \{O_{4A}\}, \{O_{5C}\}$ 和 $\{O_{7C}\}$.搜索表 1 中与实际故障输出匹配的情况,得到各子系统候选诊断: $V_1: \{L_{4-14A}\}, V_2: \{B_{14A}\}, V_3: \{L_{12-13C}\}$ 或 $\{L_{12-13C}, B_{13C}\}$.

3.3 诊断结果与适应性分析

由候选诊断得到 2 个 skyline 查询对象:① $\{L_{4-14A} = 1, B_{14A} = 1, L_{12-13C} = 1, B_{13C} = 0\}$;② $\{L_{4-14A} = 1, B_{14A} = 1, L_{12-13C} = 1, B_{13C} = 1\}$.根据保护告警信息得到对象集三维属性: $\{D_{①}, M_{①}, L_{①}\} = \{1, 0, 0\}$, $\{D_{②}, M_{②}, L_{②}\} = \{1, 0, 1\}$.由于对象集中保护拒动的数量相等,只需要分析 M 和 L 属性上的支配关系.由定义 9 可知各对象间的支配关系为① $>$ ②,由此得出最终诊断为 $\{L_{4-14A}, B_{14A}, L_{12-13C}\}$,查询结果与假设情况相符合.

从上述算例的求解过程可以看出,与同样基于告警信息的解析方法^[14]相比,本文方法只用到候选诊断元件相关保护的告警信息,断路器信息和其他元件保护信息不需要考虑,大大降低求解难度,同时由于用模型诊断对诊断结果进行了预处理,能有效提高诊断精度.

为了验证上述分析的有效性,本文对电网中的多起故障案例进行测试,并与文献[14]中解析方法进行比较,部分结果如表 3 所示.由表 3 可知,本文方法未出现多解和误诊情况,而文献[14]的解析方法存在多解和误诊.

表 3 不同模型诊断结果比较

Table 3 Comparison of the diagnostic results among different models

告警信息	文献 [14] 诊断结果	本文方法诊断结果
$L_{(24)-16s}$, $L_{(21)-16s}$, $CB_{(24)-16}$, $CB_{(15)-16}$, $CB_{(21)-16}$, B_{18m} , $CB_{(18)-3}$, $CB_{(18)-17}$	B_{16} , B_{18}	B_{16} , B_{18}
$L_{(26)-29p}$, $L_{(29)-26p}$, $CB_{(29)-26}$, $L_{(4)-3m}$, $L_{(3)-4m}$, $CB_{(3)-4}$, $CB_{(4)-3}$, L_{26-29} , L_{4-3} , L_{26-29} , L_{4-3} , $L_{(27)-28m}$, $L_{(28)-27m}$, $L_{(17)-27s}$, L_{27-28} , L_{27-28}		
$CB_{(17)-27}$, $CB_{(28)-27}$		
$L_{(1)-2m}$, $L_{(2)-1p}$, $CB_{(1)-2}$, $CB_{(2)-1}$, $L_{(19)-1m}$, $CB_{(1)-19}$, $CB_{(19)-1}$, $CB_{(19)-9}$, $L_{(16)-19m}$, $L_{(19)-16p}$, $CB_{(16)-19}$, $CB_{(19)-16}$	多解： ① L_{1-2} , L_{1-19} , L_{1-2} , L_{1-19} , L_{16-19} ; ② L_{1-2} , L_{1-19} , L_{16-19}	
B_{4m} , $CB_{(4)-3}$, $CB_{(4)-5}$, $CB_{(4)-14}$, $L_{(2)-3s}$, $L_{(18)-13s}$, $CB_{(2)-3}$, $CB_{(18)-13}$, $L_{(25)-26m}$, $L_{(26)-25m}$, $CB_{(25)-26}$, $CB_{(26)-25}$, B_{2m} , $CB_{(2)-30}$, $CB_{(2)-1}$, $CB_{(2)-25}$	误诊： B_4 , B_3 , B_2 , L_{25-26}	B_4 , L_{3-4} , B_2 , L_{25-26}

4 结 论

- 1) 将全网的故障诊断分解成对若干独立子系统的故障诊断,降低了诊断的计算复杂性,通过离线获得预备候选诊断,在线确认候选诊断,缩减了诊断的时间。
- 2) 利用多源信息进行故障诊断,即基于电气量信息得到一组或多组候选诊断,然后把实际告警信息引入到模型诊断的逻辑框架内,筛选出最终诊断,大大提高诊断的有效性。
- 3) 算例结果表明,本文方法条理清晰,计算简便,能够有效地减少时间和空间复杂度,是对目前故障诊断算法的一个必要补充。

参考文献：

[1] 刘鑫蕊,徐国俊,叶金凤,等. 基于多源信息的智能电网动态层次化故障诊断[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014 ,35(9) :1221 – 1224.
(Liu Xin-rui , Xu Guo-jun , YE Jin-feng , et al. Dynamic hierachical fault diagnosis of intelligent power network based on the multi-source information[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)* 2014 ,35(9) :1221 – 1224.)

[2] Cho H J , Park J K. An expert system for fault section diagnosis of power system using fuzzy relations[J]. *IEEE*

Transactions on Power Systems ,1996 ,12(1) :342 – 347.

[3] Lee H J , Park D Y , Ahn B S , et al. A fuzzy expert system for the integrated fault diagnosis[J]. *IEEE Transaction on Power Delivery* 2000 ,15(2) :833 – 838.

[4] De Kleer J , Williams B C. Diagnosing multiple faults[J]. *Artificial Intelligence* ,1987 ,32(1) :97 – 130.

[5] De Kleer J , Mackworth A K , Peiter R. Characterizing diagnoses and systems[J]. *Artificial Intelligence* ,1992 ,56 (2/3) :197 – 222.

[6] Lampettri G , Zanella M. Flexible diagnosis of discrete event systems by similarity-based reasoning techniques [J]. *Artificial Intelligence* 2006 ,170(3) :232 – 297.

[7] Chittar L , Ranon R. Hierarchical model-based diagnosis based on structural abstraction[J]. *Artificial Intelligence* 2004 ,155 (1/2) :147 – 182.

[8] Lampettri G , Zanella M , Zanni D. Incremental processing of temporal observations in model-based reasoning [J]. *AI Communications* 2007 ,20(1) :27 – 37.

[9] 刘志刚,钟炜,邓云川,等. 牵引变电站故障的基于模型诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2010 ,30(34) :36 – 41.
(Liu Zhi-gang , Zhong Wei , Deng Yun-chuan , et al. Electric railway substation diagnosis with model-based method[J]. *Proceedings of the CSEE* 2010 ,30(34) :36 – 41.)

[10] 关龙,刘志刚,徐建芳,等. 基于模型的配电网故障诊断关键问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012 ,40(20) :145 – 150.
(Guan Long , Liu Zhi-gang , Xu Jian-fang , et al. Key issues with model-based diagnosis in distribution network[J]. *Power System Protection and Control* , 2012 ,40 (20) :145 – 150.)

[11] 胡非,刘志刚,范福强,等. 配电网线路故障的基于模型诊断方法[J]. 电力系统自动化, 2012 ,36(10) :56 – 60.
(Hu Fei , Liu Zhi-gang , Fan Fu-qiang , et al. Distribution network line fault diagnosis with model-based method[J]. *Automation of Electric Power Systems* , 2012 ,36 (10) :56 – 60.)

[12] 张立明,赵剑,赵相福,等. 基于因果关系的模型诊断[J]. 吉林大学学报(工学版) 2009 ,39(4) :1052 – 1056.
(Zhang Li-ming , Zhao Jian , Zhao Xiang-fu , et al. New method of using casual relations for model-based fault diagnosis[J]. *Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition)* 2009 ,39(4) :1052 – 1056.)

[13] Borzsonyi S , Kossmann D , Stocker K. The skyline operator [C] // Proceeding of 17th International Conference on Data Engineering. Heidelberg 2001 :421 – 430.

[14] 刘道兵,顾雪平,李海鹏. 电网故障诊断的一种完全解析模型[J]. 中国电机工程学报, 2011 ,31(34) :85 – 92.
(Liu Dao-bing , Gu Xue-ping , Li Hai-peng. A complete analytic model for fault diagnosis of power systems[J]. *Proceedings of the CSEE* 2011 ,31(34) :85 – 92.)