

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910093007.1

[51] Int. Cl.

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

G06N 5/00 (2006.01)

[43] 公开日 2010 年 3 月 3 日

[11] 公开号 CN 101661070A

[22] 申请日 2009.9.25

[21] 申请号 200910093007.1

[71] 申请人 华北电力大学

地址 102206 北京市德胜门外朱辛庄华北电力大学

[72] 发明人 张海波 张 莉

[74] 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司

代理人 史双元

权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 2 页

[54] 发明名称

信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法。首先建立实际信道的故障诊断信息传递模型，根据电力系统发生故障的停电区域，专家系统进行正向推理得到所有可能故障的设备，然后分别假设可疑设备，再反向推理出对应的开关和保护的动作状态，得到实际通信中所有可能的信源。最后调度中心得到保护和开关的动作状态组成的一组数据序列，建立基于实际信道的故障诊断信息传递模型，根据故障诊断信息传递模型实施检查、修理，排除故障。



1. 一种信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法，其特征在于，首先建立实际信道的故障诊断信息传递模型，根据电力系统发生故障的停电区域，利用专家系统，经过正向推理得到所有可能故障的设备，然后分别假设可疑设备发生故障，反向推理出对应的开关和保护的动作状态，得到实际通信中所有可能的信源；最后结合保护、开关的拒动概率和设备故障的先验概率计算出信源的自信息或先验概率，这样故障过程中的不确定性就包含在信源中，在实际的 SCADA 系统中，调度中心看到的征兆信息是由保护和开关的动作状态组成的一组数据序列，这样根据通信中信道的转移概率计算信源的条件自信息量，实现了对实际信道中信息不确定性的定量描述，建立基于实际信道的故障诊断信息传递模型，调度中心根据该故障诊断信息传递模型实施故障排除。

2. 根据权利要求 1 所述信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法，其特征在于，所述实际信道的故障诊断过程的具体计算步骤如下：

① 首先根据 SCADA 所采集到的动作开关记录，通过拓扑分析得到故障后的所有失电区域；

② 通过遥测、遥信以及保护类型、动作时间等信息判断出失电区域内动作保护的性质，如果是主保护动作，将其保护对象作为可疑故障设备，如果是后备保护动作或者无法判断保护性质，将其后备范围内的所有电气设备作为可疑故障设备，缩小故障区域；没有保护信息的失电区域记录为故障区域；

③ 由专家系统对故障区域内的可疑设备做出基本分析，如果此时只有一个设备被确定为可疑故障设备，则此时系统发生的是简单故障；如果得到的故障征兆对应多种故障可能或者无法利用专家系统规则进行决策时，进入复杂故障的分析；

④ 反向推理：分别假设可疑故障设备集中所有电气设备故障，同时考虑组

合故障的情况，然后根据②中判断的动作保护性质建立信源；如果判断是主保护动作，假设设备故障时，只考虑由可疑设备的主保护将其隔离；如果实际是后备保护动作，假设设备故障时，反向推理到由此后备保护将其隔离；如果保护性质复杂或者无法判断保护性质，按照主保护或者后备保护动作将故障隔离分别进行故障假设，推理出导致区域失电的保护、开关动作序列，建立一组故障征兆组合集即信源；

⑤ 结合设备故障的先验概率、保护和开关的拒动概率计算出每个信源的先验概率，然后根据接收的故障征兆信息，利用信息传输理论，计算出信源的件自信息量或后验概率条；

⑥ 将信源的条件自信息量由小到大排列，即将信源的后验概率按照由大到小排列，排在最前面的信源对应的故障假设最有可能发生，同时可判断出保护和开关是否正确动作和信息在传输过程中是否存在丢失或者误码的情况；

主保护、后备保护、保护动作时间的解释如下：

主保护：满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。即当设备发生故障时瞬时动作的保护；

后备保护：保护装置拒动、保护回路中的其他环节损坏、断路器拒动、工作电源不正常乃至消失等时有发生，造成主保护不能快速切除故障，这时需要后备保护来切除故障；即在主保护不动作时再动作，一般有延时来判断主保护动作与否；

保护动作时间：由保护装置启动到动作信号出口的时间。

3. 根据权利要求 1 所述信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法，其特征在于，所述建立基于实际信道的故障诊断信息传递模型，将专家系统和信息论中处理通信误码的理论相结合，清晰简便的对故障诊断中保护、断路器拒动和通信中的不确定性进行定量的描述，与专家系统结合，提高了诊断速度，

并具有实用性和扩展性，用统一的指标——信息量对可疑故障进行排序，降低了漏警和虚警的风险，并且在较大干扰存在的情况下，得出合理的诊断结果，具有一定的容错和纠错性，处理遥信的不确定性，指导调度员进行故障诊断和故障处理，有利于实现在线应用。

信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法

技术领域

本发明属于电力系统安全处理技术领域，特别涉及一种信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法。

背景技术

电力系统故障过程本身存在着不确定性，这种不确定性主要是由保护或断路器误动、拒动，远动信息通信错误等因素造成。在仅能通过 SCADA（数据采集与监控）系统获得故障征兆信号时，电网故障诊断中的不确定性就更加明显，影响电网故障的实时诊断。贝叶斯网络和信息论都以概率论为基础，可以实现对故障信息的不确定性进行量化。

吴欣，郭创新等人在《电力系统及其自动化学报》2005, 8, 17(4): 11-15上发表“基于贝叶斯网络的电力系统故障诊断方法”一文中。把故障诊断问题表示为不确定性和不完备信息下的决策问题，建立了基于贝叶斯网络的分布式处理模型，对信息的不确定性进行了量化，实现了在不确定性和不完备信息下的电力系统故障诊断。但基于贝叶斯网络的故障诊断方法需要大量完备的实际故障样本进行训练以提高诊断精度，而且，现有基于贝叶斯网络的故障诊断方法在处理故障信息的不确定性时，都假定了事先已经知道缺失的遥信量，再利用其余故障信息对缺失信息进行估计，然后进行故障诊断。但这样的假设在实际应用中难以成立，目前实际应用中的 SCADA 系统，无论是采用原部颁 CDT 规约还是采用国际标准的 101 规约，遥信量都采用变位上送方式，以节省数据传输量。当发生故障时，即使出现了遥信丢失的情况，在调度端也难以确定具体是哪个遥信量出现了缺失。因此，在现阶段基于贝

叶斯网络的故障诊断方法对于遥信信息传输错误带来的不确定性尚不具备实用性。同样的问题还存在于多种故障诊断方法中。

信息论从概率论出发，科学地解决了概率信息的测度问题，能够对不确定信息进行精确的度量。目前，在信息科学的指导下，已有学者将信息运动和重建理论应用到电网在线故障诊断中，把电力系统的故障诊断过程看作信息传递过程，通过求取信息损失的组合优化来计算故障诊断解空间的概率分布。汤磊，孙宏斌，张伯明等在《中国电机工程学报》，2003，7，23(7): 5-11 中发表“基于信息理论的电力系统在线故障诊断”一文，文中的诊断方法促进了故障诊断技术的进一步发展。但在描述信息运动的过程时，完全采用通信系统模型来描述电力系统故障及其引起的保护动作、开关跳闸的过程，将“保护动作、开关跳闸”环节抽象为信道模型。把实际接收到的征兆看作确定信息，忽略了实际信道，即忽略了信息传输中的不确定性，这样不能完全反应故障征兆和故障之间的不确定性。而实际上，在发生故障的情况下 SCADA 提供的信息可能与现场的情况不一致，也就是说信息在传输中出现了错误，直接影响电网的安全和调度员的正确判断，如果忽略 SCADA 信号传输中的不确定性，将会影响故障处理的准确性。

在上述抽象的信息传输模型中，故障停电区域内的所有设备及其组合都被视为信源。假设被诊断的电力系统中有 M 个设备，这 M 个设备在故障过程中总共能产生 N 种征兆信号，则该信道的输入是一个 M 维的随机矢量，输出是一个 N 维的随机矢量。此方法设备可能故障的组合有 2^M 种，可能征兆的组合共有 2^N 种。是一组庞大的数据，虽然采用了现代优化算法来克服解空间过大的问题，但实际应用时，仍会影响到诊断速度，尤其是复杂故障时，信源解空间极大，不利于在线故障诊断。

郭创新，朱传柏，曹一家，吴欣等人在《电力系统及其自动化》2006，4，30(8): 98—103 上发表的“电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势”一文中介

绍了专家系统在故障诊断中得到了成功的应用，但是由于 SCADA 信息的模糊性和不确定性，使专家系统在故障诊断过程中的缺点暴露无遗。一种情况是调度中心得到的故障征兆对应多种可疑故障，另一种情况是由于信息的错误传输，导致接收到的故障征兆无法与专家系统规则相匹配，此时基于专家系统的诊断方法无法处理这种不确定性。因此，在只有 SCADA 一个数据源的条件下，如何处理故障和征兆之间的不确定性，是需要研究的一个重要问题，必须将专家系统与其他技术相结合，才能提高故障诊断的准确度和实用性。

发明内容

本发明的目的是提供一种信息论与专家系统相结合进行电力系统故障诊断的方法，其特征在于，建立了基于实际信道的故障诊断信息传递模型。首先根据电力系统发生故障的停电区域，利用专家系统，经过正向推理得到所有可能故障的设备，然后分别假设可疑设备发生故障，反向推理出对应的开关和保护的动作状态，得到实际通信中所有可能的信源。得到信源符号后结合保护、开关的拒动概率和设备故障的先验概率计算出信源的自信息或先验概率，这样故障过程中的不确定性就包含在信源中。在实际的 SCADA 系统中，调度中心看到的征兆信息是由保护和开关的动作状态组成的一组数据序列即信宿，根据信源与信宿的对应关系，计算通信中信道的转移概率，实现对实际信道中信息不确定性的定量描述。最后利用信道的转移概率和信源的先验概率计算信源的条件自信息量，再根据信源的条件自信息量对可疑故障进行排序，调度中心根据排序结果实施故障排除。

所述实际信道的故障诊断过程的具体计算步骤如下：

- ① 首先根据 SCADA 所采集到的动作开关记录，通过拓扑分析得到故障后的所有停电区域；
- ② 通过遥测、遥信以及保护类型及动作时间信息判断出失电区域内动作保护的性质，如果是主保护动作，将其保护对象作为可疑故障设备，如果是后备保

护动作或者无法判断保护性质，将其后备范围内的所有电气设备作为可疑故障设备，缩小故障区域，没有保护信息的失电区域记录为故障区域；

③ 由专家系统对故障区域内的可疑设备做出基本分析，如果此时只有一个设备被确定为可疑故障设备，则此时系统发生的是简单故障，如果得到的故障征兆对应多种故障可能或者无法利用专家系统规则进行决策时，进入复杂故障的分析（反向推理）；

④ 反向推理：分别假设可疑故障设备集中所有单个电气设备故障，同时考虑组合故障的情况。然后根据②中判断的动作保护性质建立信源。如果判断是主保护动作，假设设备故障时，只考虑由可疑设备的主保护将其隔离。如果实际是后备保护动作，假设设备故障时，反向推理到由此后备保护将其隔离。如果保护性质复杂或者无法判断保护性质，按照主保护或者后备保护动作将故障隔离分别进行故障假设。推理出导致停电区域的保护、开关动作序列，建立一组故障征兆组合集（即信源）；

⑤ 结合设备故障的先验概率、保护和开关的拒动概率计算出每个信源的先验概率，然后根据接收的故障征兆信息，利用信息传输理论计算信道转移概率，最后计算出信源的条件自信息量（或后验概率条）；

⑥ 将信源的条件自信息量由小到大排列，即将信源的后验概率按照由大到小排列，排在最前面的信源对应的故障假设最有可能发生，同时可判断出保护和开关是否正确动作和信息在传输过程中是否存在丢失或者误码的情况。

所述保护类型为主保护动作和后备保护动作；

主保护：满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备和线路故障的保护。即当设备发生故障时瞬时动作的保护；

后备保护：保护装置拒动、保护回路中的其他环节损坏、断路器拒动、工作电源不正常乃至消失等时有发生，造成主保护不能快速切除故障，这时需要后备

保护来切除故障。即在主保护不动作时再动作的保护，一般有延时来判断主保护动作与否。

本发明的有益效果是能够对故障中的不确定性进行定量描述，当实际故障征兆可能对应多种故障假设情况时，或者由于遥信错误，调度中心得到的故障征兆与专家系统的规则库中所存储的所有规则都无法匹配时，按照所提方法进行故障诊断，可以按照故障假设发生的可能性大小对调度员起到辅助决策的作用。

由于采用了专家系统的正反向推理来确定可能的信源，信源组合集非常有限，而且所有信源的指定都是以故障假设为基础的，基本上不受遥信接收到的故障征兆的影响，不但可以计及故障发生时的保护拒动和开关的拒动、误动等不确定情况，还可以处理实际信道（远动通道）中发生的遥信缺失、出错等各种不确定性问题。该算法综合利用了专家系统和信息理论的优点，基本达到了实用化的要求。

采用信息论与专家系统相结合的方法，重点解决电力系统发生故障时遥信、遥测（信息传输过程）信息的不确定性问题，使故障诊断方法能够实用化。利用专家系统强的逻辑推理功能尽可能的简化信源，解决抽象信息传输模型中信源的解空间过大的弊端。利用信息论严密的推理计算功能，将故障过程中的不确定性和信息传输中的不确定性统一起来，用信息量进行量化，计算出故障假设发生的可能性，最终按照故障假设发生的可能性大小对所有可能的故障情况进行排断，指导调度员按照实际设备发生故障的可能性大小去查找故障点，真正起到辅助决策的作用。同时能够诊断出可疑故障对应的保护和开关的动作情况，也可以反映信息在实际信道中的传输情况。

附图说明

图 1 为基于实际信道的故障诊断信息传递模型。

图 2 为考虑 SCADA 信息不确定性的故障诊断流程图。

图 3 为复杂故障图例。

图 4 为深圳平安站故障示意图。

具体实施方式

实施例 1

针对专家系统在故障诊断中存在的两种弊端，下面用两个算例分别说明本文算法的诊断过程。

算例一 某配电网故障诊断算例

在图 3 中，变电站 1 为电源侧，变电站 1 通过 1111 线路向变电站 2 供电。

假设 SCADA 系统获得的故障征兆为：变电站 1 母线 C 侧的 1111 开关跳闸；1111 线路保护动作。为了验证本算法的有效性，不妨假设经过分析 1111 线路是由后备保护动作将其故障隔离。

由接收到的 SCADA 信息对此次故障进行诊断。根据跳闸开关拓扑分析出失电区域。在失电区域内，1111 线路后备保护动作，专家系统根据后备保护范围正向推理出故障区域，并统计出故障区域内可疑故障设备为：1111 线路、母线 A、1112 线路、主变、母线 B，进入复杂故障分析。

假设设备故障为事件 ai ，由于边界动作的保护信息为 1111 线路后备保护，可疑设备的主保护或者开关拒动造成故障范围扩大，最后由后备保护动作将故障隔离。每个故障假设对应的保护和开关状态组合集为 mij 。假设母线 B 故障，通过专家系统推理得到的信源如表 1 所示。同理也可以推理出主变故障 $a2$ 对应的信源 $m21$ 、 $m22$ ；1111 线路故障 $a3$ 对应的信源 $m31$ 、母线故障 $a4$ 对应的信源 $m41$ 、 $m42$ ；1112 线路故障 $a5$ 对应的信源 $m51$ 、 $m52$ ；由于此次算例中只有一个保护动作，组合故障假设的概率远小于单个设备故障假设，所以此算例中忽略组合故障情况，但不会影响诊断结果。

注：' 1' --动作，' 0' --未动作，' √' --正确动作，' ×' --错误动作

综合历年全国电力可靠性统计分析和全国电网继电保护运行情况分析，计算出元件故障的先验概率见表 2。结合继电保护和开关的拒动概率(见表 3)计算出每个信源的先验概率。

表 1 母线 B 故障信源征兆组合序列分析表

	假设母线 B 故障 (a1)								故障征兆
	m11		m12		m13		m14		
	1	√	1	√	0	×	0	×	0
母线 B 保护	1	√	1	√	0	×	0	×	0
102 开关	0	×	0	×	0	√	0	√	0
主变保护	1	√	0	×	1	√	0	×	0
1102 开关	0	×	0	√	0	×	0	√	0
母线 A 保护	0	√	0	√	0	√	0	√	0
站 2 侧 1111 开关	0	√	0	√	0	√	0	√	0
1111 线路保护	1	√	1	√	1	√	1	√	1
站 1 侧 1111 开关	1	√	1	√	1	√	1	√	1
1112 线路保护	0	√	0	√	0	√	0	√	0
1112 开关	0	√	0	√	0	√	0	√	0

表 2 部分一次设备故障的先验概率

电压等级	变压器/每台	线路/百公里	母线/每条
220	0.034	0.093	0.009
500	0.020	0.061	0.002

表 3 概率信息统计表

设备 \ 概率	正常	拒动	误动
线路保护(line)	p_{l1}	$p_{l2} = 0.006$	p_{l3}
母线保护(bus)	p_{b1}	$p_{b2} = 0.0001$	p_{b3}
变压器保护(transformer)	p_{t1}	$p_{t2} = 0.0002$	p_{t3}
开关(break)	p_{s1}	$p_{s2} = 0.01$	p_{s3}

由于每个保护和开关是否正确动作是独立的，所有假设条件之间具有条件独

立性。信源 mij 的先验概率等于假设条件的概率之积，若后备保护动作，用权值 λ 对信源的先验概率修正。本例中线路 1111 故障时，后备保护的保护范围为该线路末端的 15%，此处取 $\lambda = 0.15$ 。并且信源必须是完备集，归一化后实际信源的先验概率见表 4。

然后由信息理论计算出信源的条件自信息量 $I(mij|m)$ ，即通信之后信源剩余的不确定度。

$$I(mij|m) = -\log p(mij|m) \quad (1)$$

$$p(mij|m) = \frac{p(mij,m)}{p(m)} = \frac{p(mij)p(m|mij)}{\sum_{i \in A, j \in K} p(mij)p(m|mij)} \quad (2)$$

由于传输的 mij 各符号间相互独立，且为(0、1)序列集，所以可看作离散无记忆信道，设 mij 和 m 的符号长度为 n ，记 $m = s_1s_2 \cdots s_n, mij = l_1l_2 \cdots l_n, s_i, l_i \in \{0,1\}$

$$p(m|mij) = p(s_1s_2 \cdots s_n | l_1l_2 \cdots l_n) = \prod_{i=1}^n p(s_i | l_i) \quad (3)$$

当传输信息的信道一定时，信道的误码率可以由统计特性得到，不妨设信道的误码率为 ps_i ，则信号正确传送的概率为 $1-ps_i$ 。每个二元信道中 $p(s_i | l_i), i \in N$ 由 mij 和 m 中对应的符号来决定。

$$p(s_i | l_i) = \begin{cases} ps_i & s_i \neq l_i \\ 1 - ps_i & s_i = l_i \end{cases}, s_i, l_i \in \{0,1\}, i \in N \quad (4)$$

本例中取 $ps_i = 0.0001$ ，则在接收到故障征兆 m 时，根据表 1 中 mij 与 m 中各符号的对应关系，由式 (3) 和 (4) 计算信道的转移概率 $p(m|mij)$ ，由式 (2) 计算信源 mij 的后验概率见表 5。由式 (1) 计算出故障假设剩余的信息量。依据信源剩余信息量对进行排序，诊断结果见表 6。信源的信息量越小，说明诊断后此信源不确定度较低，实际发生的可能性较大。接收到的征兆消除了信源假设的不确定性，更有利证明实际发生故障的情况。

当接收到的故障征兆信息为：变电站 1 母线 C 侧的 1111 开关跳闸；1111 线路保护动作；1112 线路保护动作。也就是实际获得的故障征兆 m 为 {1100100000}。此时只有一种故障假设与实际获得的故障征兆相同，利用本算法得到的诊断结果为：1112 线路故障，1112 线路保护动作，1112 开关拒动，1111 线路保护动作，变电站 1 母线 C 侧的 1111 开关动作，且信息均正确传输。

算例二 深圳平安站母线故障诊断算例。

下面以深圳市平安站 2008 年 1 月 3 日平安站 220kV 母线失压为例，图 4 为此次故障的示意图。利用本发明方法对此次故障进行诊断。

SCADA 系统获得的征兆信息如下：平安站 220kV 母差保护，象山站 220kV 象平甲、乙线保护，西乡站 220kV 平西甲、乙线保护均动作；平安站#3 主变变高开关 2203、2012 开关，象平甲、乙线 2807、2808 开关，前平甲线平安站 2890 开关，前平乙线 2891 开关，平西甲、乙线 2944、2945 开关跳闸。由于信息在传输的过程中出现了错误，平安站#1 主变变高 2201 开关、#2 主变变高 2202 开关、前平甲线前湾站 2890 开关 SCADA 显示为合闸位置。

首先根据 SCADA 所采集到的动作开关信息拓扑分析出失电区域。由于动作的保护均为主保护，可以判定故障区域为所有与平安站 220kV 母线相连的线路和设备。统计出可疑故障设备为：母线 I、母线 II、母联死区、象平甲乙线、前平甲乙线、平西甲乙线、三台主变压器；然后利用专家系统对接收到的故障征兆进行决策，没有相应的规则与之匹配，进入复杂故障的分析。

专家系统进行反向推理，所有的可疑设备按照主保护将其隔离进行故障假设，每个故障对应一个征兆集，最后建立一组导致区域失电的征兆组合集作为信源如表 7 所示， $m_1 \sim m_{12}$ 为单个电气设备故障， $m_{13} \sim m_{24}$ 为组合故障；最后计算出每个信源的先验概率。因为母联死区为母线的一部分，不妨取母联死区故障的

先验概率为母线故障的百分之一。同算例一的方法计算信源 mij 的后验概率有：
 $p(m3|m) > p(m13|m) > p(m21|m) > p(m1|m)$ 。其余故障的可能性较小，基本可以排除发生故障的可能。诊断结果如表 8。

表 4 归一化后实际信源（各种征兆）的先验概率

$p_{m11} = 5.7776 \times 10^{-5}$	$p_{m12} = 1.1442 \times 10^{-6}$
$p_{m13} = 5.7204 \times 10^{-7}$	$p_{m14} = 1.1329 \times 10^{-8}$
$p_{m21} = 2.1612 \times 10^{-2}$	$p_{m22} = 4.2793 \times 10^{-4}$
$p_{m31} = 0.8777$	$p_{m41} = 5.7206 \times 10^{-3}$
$p_{m42} = 5.6632 \times 10^{-5}$	$p_{m51} = 5.9114 \times 10^{-2}$
$p_{m52} = 3.5326 \times 10^{-2}$	

表 5 信源的后验概率

$p(m11 m) = 6.3258 \times 10^{-13}$	$p(m12 m) = 1.2526 \times 10^{-10}$
$p(m13 m) = 6.2626 \times 10^{-11}$	$p(m14 m) = 1.2401 \times 10^{-8}$
$p(m21 m) = 2.3656 \times 10^{-6}$	$p(m22 m) = 4.6844 \times 10^{-4}$
$p(m31 m) = 0.9608$	$p(m41 m) = 6.2618 \times 10^{-7}$
$p(m42 m) = 6.1993 \times 10^{-5}$	$p(m51 m) = 6.4707 \times 10^{-6}$
$p(m52 m) = 0.0387$	

表 6 算例一的诊断结果

序号	诊断结果（信息正确传输）	信息量/bit
1	1111 线路故障，1111 线路保护动作、母线 C 侧的 1111 开关跳闸	0.0577
2	1112 线路故障，1112 线路保护拒动、1111 线路保护动作，母线 C 侧的 1111 开关跳闸	4.6915
3	主变故障，主变保护拒动、母线 C 侧的 1111 开关跳闸	11.0586
4	母线 A 故障，母线 A 保护拒动、1111 线路保护动作、母线 C 侧的 1111 开关跳闸	13.9775

表 7 所有可能的信源组合

事件 m_i	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9	m_{10}	m_{11}	m_{12}
假设故障地点	I 母	II 母	母联死区	象平甲线	象平乙线	前平甲线	前平乙线	平西甲线	平西乙线	1#主变	2#主变	3#主变
事件 m_i	m_{13}	m_{14}	m_{15}	m_{16}	m_{17}	m_{18}	m_{19}	m_{20}	m_{21}	m_{22}	m_{23}	m_{24}
假设故障地点	母线 I、II	象平甲乙	前平甲乙	平西甲乙	1、2#	1、3#	2、3#	1、2、3#	前、象西、象线	前、西、前、线	前、西、前、线	西、象线

表 8 诊断结果

序号	诊断结果 (现场情况)	错误传输的信息	信息量/bit
1	母联死区故障，平安站 220kV母差保护动作、跳开 I 母、II 母所连开关	#1 2201 开关、#2 2202 开关、前平甲线前湾站 2890 开关合闸与现场情况相反	0.9259
2	母线I、II故障，平安站 220kV母差保护动作、跳开 I 母、II 母所连开关	#1 2201 开关、#2 2202 开关、前平甲线前湾站 2890 开关合闸与现场情况相反	1.0780

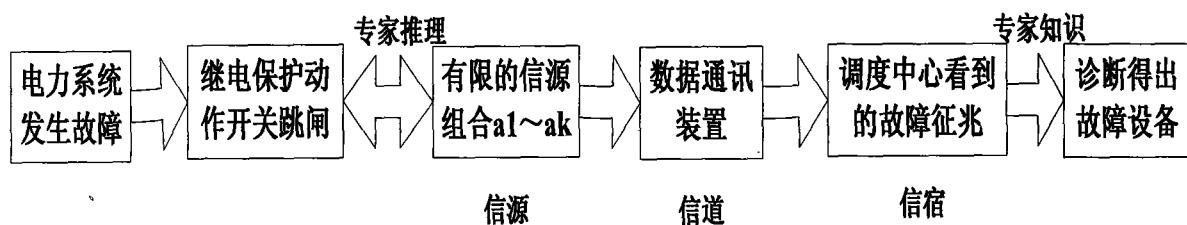


图 1

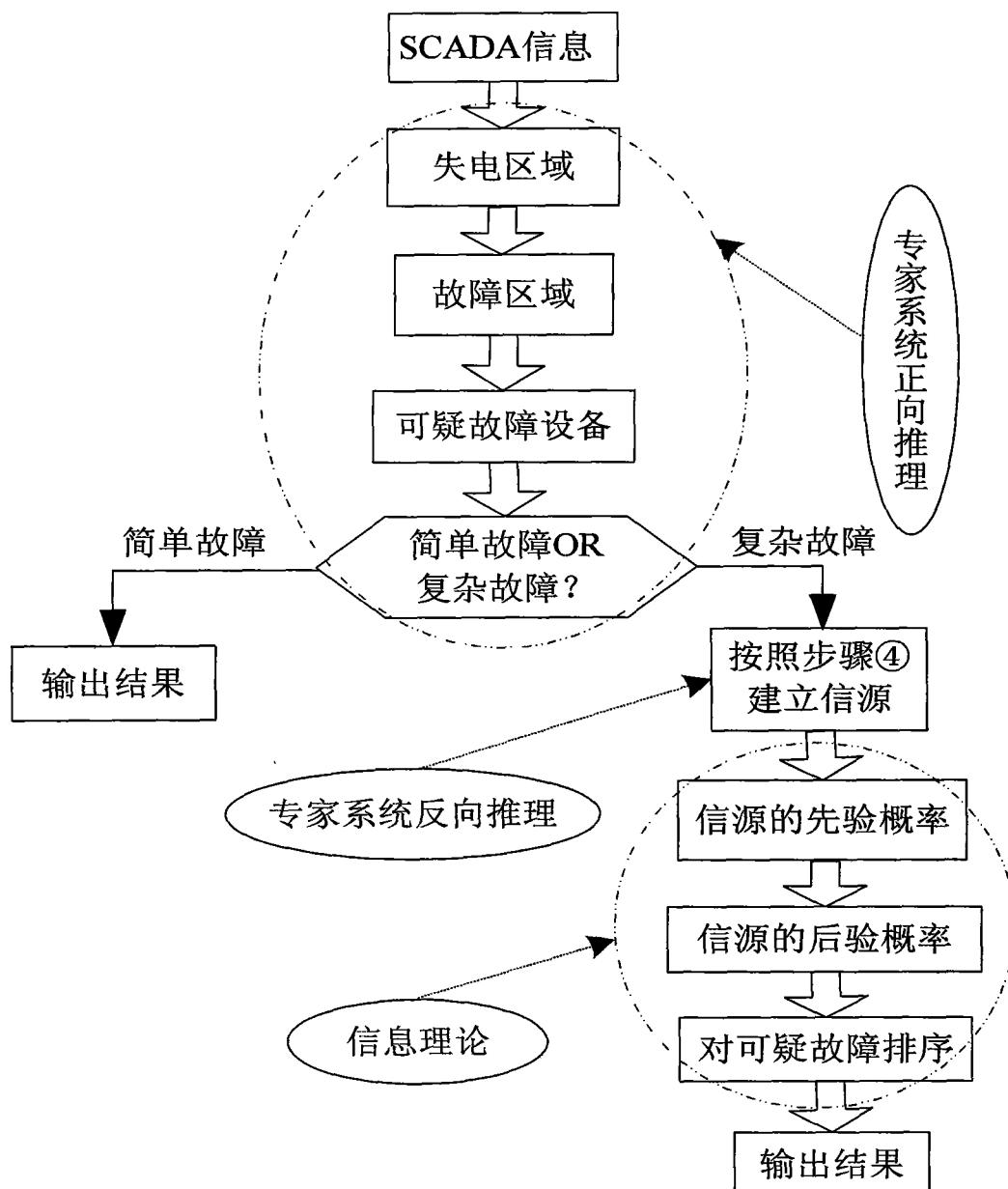


图 2

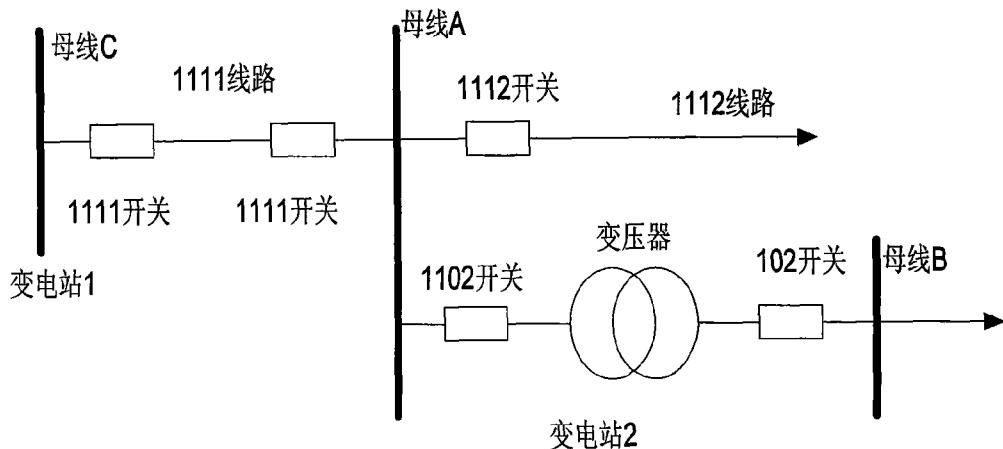


图 3

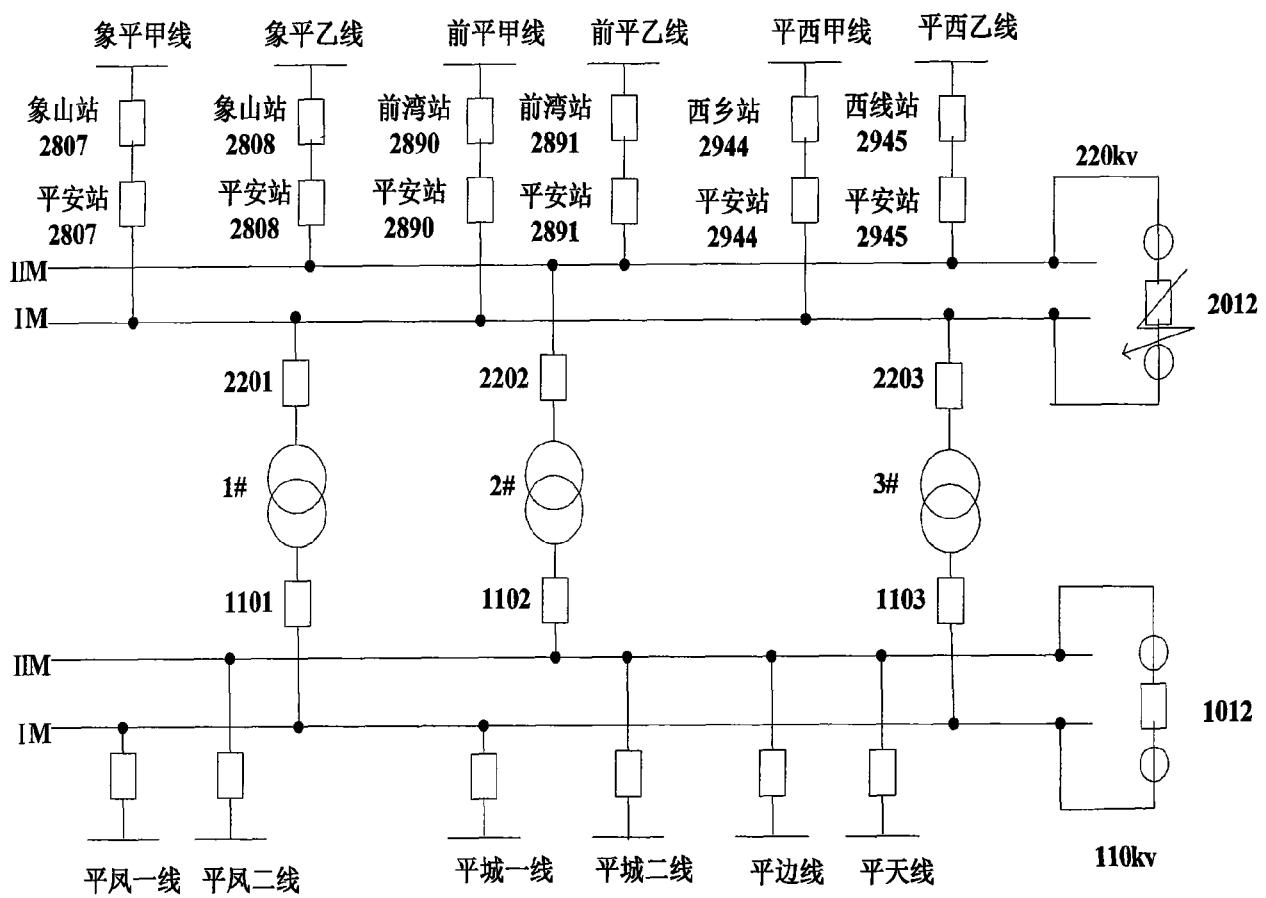


图 4