

ZHINENG DIANWANG
GUZHANG ZHENDUAN JISHU

智能电网 故障诊断技术

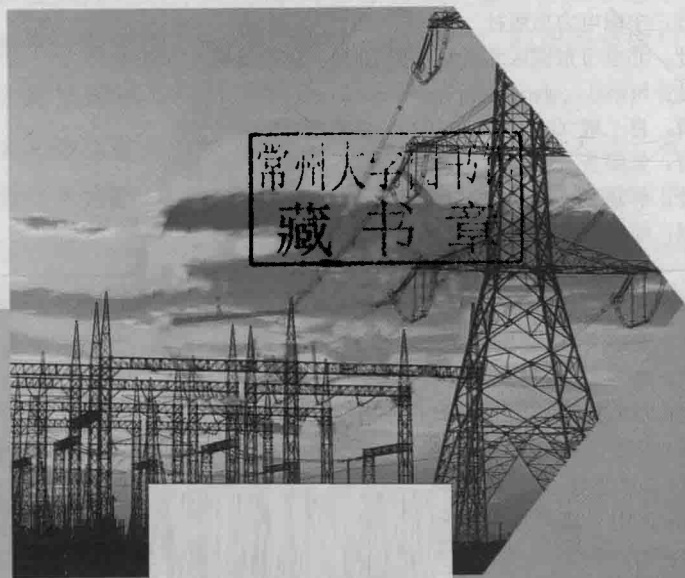
童晓阳 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能电网 故障诊断技术

童晓阳 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书针对智能电网故障诊断这个课题,利用开关量、模拟量及其时序信息,阐述了电网事后故障诊断、基于广域信息的广域后备保护在线故障检测、变电站报警评估等方法与技术。全书共分为3章,内容包括智能电网故障诊断概述、智能电网故障诊断技术、广域后备保护在线故障检测算法。

本书内容翔实、方法先进,研究了最新的智能电网故障诊断技术,可供电力系统运行、设计、生产、科研人员及电气工程及其自动化专业研究生参考,也可作为电力系统及其自动化、信息科学与技术等相关专业本科高年级学生及其研究生的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网故障诊断技术/童晓阳著. —北京:中国电力出版社,2017.12
ISBN 978-7-5198-1289-8

I. ①智… II. ①童… III. ①智能控制—电网—故障诊断—诊断技术 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第255043号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:肖敏(010-63412363) 盛兆亮

责任校对:朱丽芳

装帧设计:郝晓燕 赵姗姗

责任印制:邹树群

印 刷:北京大学印刷厂

版 次:2017年12月第一版

印 次:2017年12月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

印 张:16

字 数:262千字

印 数:0001—1500册

定 价:86.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

序 言

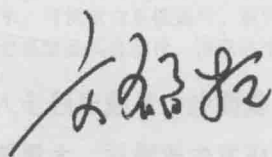
我国电力系统已经步入大机组、大容量、超高压、高参数的发展阶段。电力系统发生故障后，大量警报信息会上传到调度中心，调度人员要在受压状态下快速准确诊断故障的难度很大。因此，研究准确高效的电力系统故障诊断理论与技术对于提高电力系统的供电可靠性、安全运行稳定性具有重要意义。近年来，随着人工智能理论与技术的不断进步，智能电网环境下电力系统故障诊断理论和方法也得到了快速发展。

西南交通大学童晓阳副教授长期从事电力系统故障诊断、智能变电站等方面的研究工作，取得了一些有价值的研究成果，经总结和提炼撰写了《智能电网故障诊断技术》。在电力系统故障诊断方面，重点介绍了基于时序贝叶斯知识库、基于分层模糊 Petri 网 (petri net, PN)、利用时空电气量基于灰色关联度、动态推理链与贝叶斯网络 (bayesian network, BN) 结合、基于异常因子检测和模糊聚类的时空数据自适应诊断等多种新方法。在广域后备保护在线故障检测方面，介绍了基于相对保护熵与名义过渡电阻的电网故障在线检测方法、基于保护元件与同步相量测量装置 (phasor measurement unit, PMU) 数据多信源的广域后备保护算法、分区加权故障匹配的广域后备保护算法、基于专家系统面向 Agent 的广域后备保护系统。另外，还提出了基于分层因果规则网和模糊可信度的变电站报警评估方法。

本书内容翔实、结构严谨、逻辑缜密，并包含了大量算例，系统地体现了作者在电力系统故障诊断领域的高水平研究成果。本书丰富了电力系统故障诊断的理论与方法，尤其是比较系统地应用了多种人工智能方法与技术。希望能为从事于电力系统故障诊断及保护相关工作的管理、科研、工程技术人员以及高等学校电力系统及其自动化、信息科学与技术等相关专业教师和学生带来益

处。本书面向智能电网，阐述了诸多智能电网故障诊断的方法与技术，旨在为该学科的进一步完善和发展抛砖引玉。

谨以为序。



前言

随着国民经济的快速发展,我国电网步入大机组、大容量、超高压、高参数的发展新阶段。当电网发生故障时大量报警信息上传到调度中心,给调度人员快速诊断故障与调度处理带来很大的困难。国内外几次大停电事故表明电网局部故障处理不当,可能引发连锁故障乃至大面积停电。因此电网安全运行需要更智能、高效的故障诊断技术,在故障发生后第一时间内诊断故障元件,及时切除故障,保证电网的安全稳定运行。随着电网负荷的不断增长,重载情况下出现不期望的保护误动与拒动,如何甄别出保护误动与拒动是值得思考的问题。同时,故障发生后上传至调度中心的通信报文可能存在丢失、畸变等问题,对电网故障诊断的准确性提出了新的要求。

近些年来,国内外学者在电网故障诊断方面取得了丰硕的研究成果。已有电网故障诊断研究成果大都基于开关量信息,主要采用遗传算法、专家系统、PN等人工智能技术,但是这些研究较少考虑保护与开关的时序信息,存在无法给出全局最优解、创建和维护知识库困难、可能误判等问题。有学者采用电气量进行电网故障诊断,提取特征量来辅助检测故障元件。

针对电网故障诊断存在的问题,近几年来本课题组研究成员在智能电网故障诊断领域取得了一些研究成果。利用开关量及其时序信息,提出了几种新型电网故障诊断方法,包括时序贝叶斯知识库、分层模糊 Petri 网 (fuzzy petri net, FPN)、计及时序信息检查的分层 FPN 等;针对模拟量,研究了利用电气量基于灰色关联度的电网故障诊断方法、基于异常因子检测和模糊聚类的时空数据自适应电网故障诊断方法。通过引入时序信息以及所研究的 FPN、模糊聚类等模糊化处理手段提高了故障诊断的准确度。利用广域信息的广域保护算法进行在线故障检测,可为事后离线故障诊断提供参考,因此研究了几种广域后备保护算法,不仅可在线进行故障诊断,还可为事后诊断提供预判元件。为了便于操作人员快速准确得知故障发生情况,本书设计和实现基于时序贝叶斯知识库的电网故障诊断软件系统,采用时序贝叶斯知识库诊断方法能够准确

地判断出单一故障、多重故障等，并以图形化表达出故障元件、保护与断路器（开关）的误动与拒动、故障演变过程等诊断结果。针对变电站层故障诊断现状，根据相关报警信息构建变电站报警评估分层规则网模型，提出基于分层因果规则网和模糊可信度的变电站报警评估方法，提高了变电站层故障诊断水平。本书共分为 3 章，主要内容包括：

第 1 章为智能电网故障诊断概述。分析了智能电网故障诊断国内外研究现状，论述了已有主流的故障诊断算法。

第 2 章为智能电网故障诊断技术。2.1 引入时序贝叶斯知识库理论（temporal bayesian knowledge bases, TBKB）到电网故障诊断，促进了故障诊断时对误动、拒动、时标出错异常判断。2.2 介绍了基于 TBKB 的电网故障软件原型系统设计与实现。2.3 先建立疑似元件在不同故障模式下的 BN 诊断模型，对相应模型中各保护与断路器节点可信度评估后，再进行贝叶斯推理，可准确地判断故障元件，较好地弥补现有 BN 电网故障诊断方法的不足。2.4 从时间上的纵向数据和空间上的横向数据分析两个方面出发，提出了利用时空电气量基于灰色关联度的电网故障诊断新方法。2.5 介绍了提取故障发生后纵向和横向的特征序列故障度、幅值故障度、能量故障度，再采用局部异常因子检测算法和模糊聚类算法，获得故障线路的电网故障诊断新方法。2.6 根据 SCADA 中的断路器动作信息，确定故障目标区域，再利用断路器位置信息和保护动作信息，介绍了基于 BN 的电网故障诊断方法。2.7 介绍了一种采用蝶形分割法和几何平均值法的分布式故障诊断模型，利用 BN 和 D-S 证据理论的分布式电网故障诊断方法。2.8 提出了一种先建各保护子网与线路单侧诊断子网、再建综合诊断子网做融合的分层 PN 模型及其故障诊断方法。2.9 在分层 FPN 模型基础上，利用保护与断路器的动作及其时序信息，对各子网中误动保护与断路器库所的概率进行修正，提高了分层 FPN 电网故障诊断算法的准确性。2.10 阐述了将动态推理链与 BN 结合的电网故障诊断方法。

第 3 章为广域后备保护在线故障检测算法。3.1 通过收集某电网元件及其相邻线路上相关保护的启动信号（如主保护、距离 I 段、距离 II 段、距离 III 段等），论述了采用相对保护熵和名义过渡电阻进行故障元件在线检测方法。3.2 研究同时利用广域保护元件和 PMU 数据进行广域后备保护在线故障检测，直接计算各线路的广域保护动作加权后的综合判断值，采用高斯函数获得故障概率，并在理论上定量分析了广域后备保护容错的极限位数。3.3 利用各区域

边界 PMU 节点的量测量, 建立基于虚拟节点的故障分量电压方程, 采用最小二乘法分别求取故障区域中各条线路的故障点位置, 进而判断故障元件。3.4 研究一种分区加权故障模糊匹配的广域后备保护方法。3.5 介绍了一种采用面向 Agent 设计方法构造广域后备保护系统。3.6 提出了新型 Agent 组织体系的形式化表达, 给出将专家规则和 BN 结合的广域后备保护算法及其系统的实现。3.7 根据电网与变电站结构、保护原理, 构建 4 层结构的变电站报警评估分层因果规则网, 研究了基于分层因果规则网和可信度对变电站故障处理的评估方法。

本书吸纳了何小飞、孙明蔚、罗孝辉、谢红涛、韩迎春、王晨、王睿晗等硕士研究生最新的研究进展与成果, 参考了国内一些专家学者的研究成果; 参与本书整理工作的有连文超、梁晨、余森林、蒋凯、周郑、刘焱滨、刁兴华、何柏杉等硕士研究生, 在此一并表示衷心感谢。

本书出版有幸得到了国家自然科学基金项目“计及时序信息的电网故障在线诊断与连锁故障传播脆度机理”(编号 51377137) 的资助, 特此致谢!

限于编者理论水平和编写经验, 书中难免存在疏漏和不当之处, 敬请专家、读者批评与指正。

西南交通大学 童晓阳

2017 年 9 月

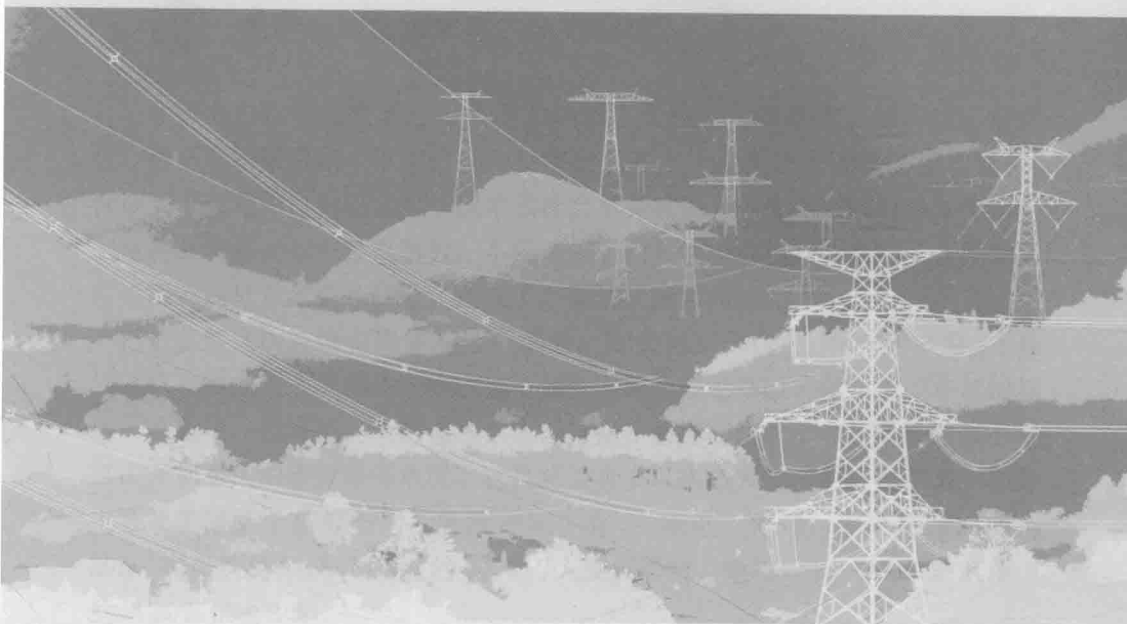
目 录

序言

前言

第 1 章 智能电网故障诊断概述	1
1.1 智能电网故障诊断的研究现状	3
1.2 智能电网故障诊断技术的发展展望	8
参考文献	10
第 2 章 智能电网故障诊断技术	11
2.1 基于 TBKB 的电网故障诊断方法	13
2.2 基于 TBKB 的电网故障诊断软件	26
2.3 计及可信度的变结构 BN 电网故障诊断算法	42
2.4 利用时空电气量基于灰色关联度的电网故障诊断方法	57
2.5 基于异常因子检测和模糊聚类的电网故障诊断方法	78
2.6 基于 BN 和故障区域识别的电网故障诊断方法	89
2.7 基于 BN 和 D-S 证据理论的分布式电网故障诊断方法	98
2.8 基于分层 FPN 的电网故障综合诊断方法	109
2.9 计及时序信息检查的分层 FPN 电网故障诊断算法	119
2.10 基于动态推理链的电网故障诊断方法	131
参考文献	146
第 3 章 广域后备保护在线故障检测算法	151
3.1 基于相对保护熵与名义过渡电阻的电网故障在线检测方法	153
3.2 基于保护元件与 PMU 数据多信源的广域后备保护算法	169
3.3 基于有限 PMU 的电网故障在线识别算法	180
3.4 分区加权故障匹配的广域后备保护算法	191

3.5 基于专家系统面向 Agent 的广域后备保护系统	205
3.6 新型 Agent 组织体系及其在广域后备保护的应用	219
3.7 基于分层因果规则网和模糊可信度的变电站报警评估方法	231
参考文献	240



第 1 章

智能电网故障诊断概述

随着科学技术的不断进步，智能电网已成为电力系统发展的必然趋势。智能电网故障诊断技术作为智能电网的重要组成部分，对于保障电网的安全稳定运行具有重要意义。本章主要介绍智能电网故障诊断的基本概念、分类、特点以及国内外研究现状，为后续章节的学习奠定基础。

智能电网故障诊断技术是指利用先进的计算机技术和通信技术，对电网运行过程中出现的各种故障进行实时监测、分析和定位的技术。随着智能电网的不断发展，故障诊断技术也在不断创新，各种新的故障诊断方法不断涌现，为电网的安全运行提供了有力保障。本章将重点介绍智能电网故障诊断的基本原理、主要方法和应用，以及未来发展趋势。

1.1 智能电网故障诊断的研究现状

中国电力系统的发展已步入了大电网、大机组、高参数、超高压、自动化、信息化的新阶段,电力已成为经济发展和人民生活不可或缺的生产资料,保证安全可靠的电力供应对于国家和社会至关重要。近些年来国内外发生的多起电网瓦解和大面积停电事故,不仅造成了巨大的经济损失,影响了人民的正常生活,还危及了公共安全,造成了严重的社会影响。

近些年国内外诸多大规模停电事故,如美国东部时间2003年8月14日16:11,以北美五大湖为中心的地区发生大面积停电事故,包括美国东部的纽约、密歇根、俄亥俄、马萨诸塞、康涅狄格、新泽西州北部和新英格兰部分地区以及加拿大的安大略等地区,这是北美有史以来最大规模的停电事故^[1]。停电涉及美国整个东部电网,事故中至少有21座电厂停运,停电持续时间为29h,损失负荷61800MW,约5000万人受到影响,地域约24000km²,其中纽约州80%供电中断。

2005年5月23日19:57起,俄罗斯莫斯科地区电网发生一系列故障,到5月25日11时左右,莫斯科市大部分地区及附近25个城市发生大面积停电事故,莫斯科电网共断开了321座变电站,除最先停电的500kV恰吉诺变电站外,还包括16座220kV变电站、201座110kV变电站、104座35kV变电站。直接损失负荷达3539.5MW,近400万人的生活受到影响,造成了15亿~20亿美元的直接经济损失。在电网运行过程中,一旦系统发生故障,需要立刻将故障元件切除,否则,潮流分配会由故障位置逐步转移至整个电网,造成不可挽回的经济损失。上述的停电事故也告诉我们,故障的快速诊断技术值得关注,随着诊断技术的不断发展,各种新的诊断方法越来越准确、高效,但无一例外对电网中各监测、监控设备上传的信息具有很强的依赖性,因此,电网的信息安全问题同样也是电网故障诊断中的一个关注热点^[13-16]。

国内外学者利用保护与断路器等开关量信息、故障录波数据等电气量信息,提出了多种电网故障诊断方法,如专家系统、人工神经网络、PN、BN、优化理论、多源信息融合等,分为基于开关量、基于模拟量、基于模拟量与模拟量结合的电网故障诊断方法等几类,其研究现状分述如下。

1.1.1 基于开关量的故障诊断方法

1. 基于专家系统的电网故障诊断方法

专家系统 (expert system, ES) 是基于知识库和推理机的智能程序系统, 是最早应用于电网故障诊断的人工智能方法, 它将专家和工程师解决问题的经验、知识总结出来, 形成知识库, 用户只需提供一些基本数据就可通过计算机得到具有专家水平的结论, 因此专家系统也称为基于知识的系统 (knowledge based systems)。

基于专家系统的电网故障诊断方法分为基于启发式规则和基于正反向推理的专家系统, 得到广泛应用的是基于启发式规则的专家系统。将保护和断路器的动作逻辑、专家或运行人员的经验用规则表示出来, 形成和建立专家系统知识库, 在调度中心通过收集到的保护和断路器动作信息, 匹配专家系统知识库, 从而得到故障元件。该诊断方法的正确性取决于专家系统知识库的完备性, 但存在现代电力系统规模扩大和保护/断路器误动、拒动及其动作信息的误传和漏传等问题, 很难建立完备的知识库。改进的做法是利用混合聚类法对原始故障诊断样本进行离散化处理, 再利用粗糙集理论对样本决策表进行属性约简, 得到能够覆盖原始数据特征的具有最小条件属性的学习样本集。运用径向基函数神经网络对故障诊断知识进行模式识别, 结合专家系统对神经网络的某些输出结果进行必要的修正^[2]。

2. 基于人工神经网络的电网故障诊断方法

人工神经网络 (artificial neural networks, ANN) 是一种模仿大脑神经进行信息处理的数学模型, 建立输入、输出关系, 将大量神经元广泛连接而成的复杂网络系统。在电网故障诊断中, 其输入信息是保护和断路器的动作信息, 输出信息为故障诊断的结果。神经网络模型分为基于 BP 算法的前向神经网络和基于径向基函数的神经网络等, 其具有并行处理、自我学习、高速寻求优化解等功能, 在 20 世纪 90 年代至 21 世纪初得到广泛应用。其缺点是诊断结果的准确性取决于训练样本的完备性, 当电网的拓扑结构变化时, 需要重新训练。

将蕴含在径向基函数神经网络中的知识转变为模糊控制语言中的规则表述, 使得故障诊断的过程明朗化, 径向基函数神经网络局部训练算法明显提高了神经网络的训练速度^[3]。针对单个元件进行建模, 有学者研究了以面向元件的神经网络作初步诊断, 结合网络拓扑, 应用模糊积分信息融合技术进行综合诊断, 该方法能够适应网络拓扑的变化, 提高故障诊断准确度^[4]。

3. 基于PN的电网故障诊断方法

PN是20世纪60年代由卡尔·A·佩特里发明的,适合于描述异步的、并发的计算机系统模型。经典的PN是简单的过程模型,它由变迁、库所、连接变迁和库所的有向弧组成,通过静态图形分析和动态矩阵运算来进行故障诊断,适用于对顺序发生、同时发生的故障进行分析和推理。但是经典PN用于电网故障诊断时,对保护和断路器动作信息要求较高,容错能力差;当发生多重或者复杂故障时,其诊断结果并不理想;当电网规模较大时,诊断速度较慢,甚至出现组合爆炸。

将编码原理引入PN,对PN模型进行修正的算法,有助于在电网拓扑发生变化时,仍然有效诊断出故障元件。针对线路和母线,有学者研究建立分层的FPN,利用时序约束关系对保护和断路器的动作信息进行修正,在多重故障及故障信息丢失的情况下,仍然能够正确地识别出故障元件^[6]。

4. 基于BN的电网故障诊断方法

BN是一种基于因果关系的概率网络,它是由节点和有向弧组成的有向无环图。将BN应用于电网故障诊断时,把电力元件、保护、断路器等表示为节点,将它们之间的因果关系用有向弧连接起来,各节点自身发生的概率通过先验概率表示。运用贝叶斯网络,能够根据故障事实(保护与断路器的动作信息)和先验概率计算出元件故障的后验概率,适用于解决不确定和不完整问题。

为了缩小故障诊断范围,可先通过停电区域,找出停电区域中元件作为疑似元件,针对停电区域中每个元件,分别建立它们的BN诊断模型,计算各元件的后验概率,从而确定出故障元件,可大大提高故障诊断速度。有的做法是综合了先验信息和后验信息,建立了蕴含时序属性的BN处理模型,通过时序信息的辅助,能够在不确定和不完备信息下实现电力系统的故障诊断^[5]。对于调度中心收集到的保护和断路器动作信息,还可初步判断各疑似元件所属的故障模式,然后建立对应模式下的计及时序信息的BN诊断模型,在保护和断路器误动、拒动和信息漏传、误传及时序出错的情况下,能够正确地识别故障元件。

5. 时序信息在故障诊断中的运行

电力系统发生故障后的警报信息具有时序特性,适当利用这种时序特性以快速而准确地诊断故障是一个值得研究的重要问题。

充分利用警报信息的时序属性、保护动作与断路器跳闸之间的逻辑规则,基于时间约束PN的电网警报处理及故障诊断方法有其特色,通过对不考虑时间

约束与考虑时间约束两种情况进行故障的比较分析,仿真结果表明利用警报信息时序属性的方法,更加精确地描述了故障警报信息之间的逻辑关系,使故障诊断结果更加准确。同样,FPN故障诊断模型也可融合时序约束,通过将PN的库所赋予时间属性,充分考虑元件故障、保护动作与断路器跳闸之间的延时约束,采用模糊加权算法进行推理运算,可提高诊断模型的容错性^[6]。

1.1.2 基于模拟量的电网故障诊断方法

随着各种监控装置和量测系统在电力系统中的应用,使得对电流、电压、功率等的实时采集成为可能,而且模拟量信息在完备性、准确性等方面具有开关量无法比拟的优点,很多学者研究了基于模拟量的电网故障诊断方法。

利用多种小波熵,分别提取故障特征量作为独立证据体,再利用D-S证据理论有机地融合各证据,最后利用基于融合可信数的决策,能够得出正确的故障诊断结果。有学者提出基于广域监测系统(wide-area measurement system, WAMS)模拟量数据的输电线路故障诊断方法^[8],通过创建本地数据库视图和触发器的增量抽取规则,远程调用WAMS数据;对数据的故障诊断进行预处理;利用模拟量信息能够预先确定故障区域;比较故障区域中模拟量信息的变化率,选取变化率最大的母线来确定故障元件。该方法能够在保证一定准确率的情况下较快速地进行故障诊断,在实际电网中具有一定的可行性。

利用故障发生后的模拟量特性信息,可构造用于识别故障位置的判据,进而分析得到保护和断路器的误动、拒动情况。根据PMU测量得到的实时数据,可采用模式分类技术和模式识别理论中的线性判别原理,搜索模拟量的明显变化情况,利用线路两端电压电流正序故障分量的电气量,形成诊断快速故障的判据^[9]。在现有解析模型的基础上,通过充分利用WAMS中的电气量信息,形成利用多源信息的故障诊断解析模型,通过联合利用故障后的模拟量和断路器变位信息,给出了故障区域快速识别方法;然后,计及故障后的模拟量变化特性,给出改进型的故障诊断解析模型,该模型具有较高的信息冗余度,能够处理多重故障且伴随保护/断路器异常动作和警报畸变/丢失的情况^[7]。

1.1.3 基于开关量与模拟量结合的电网故障诊断方法

基于解析模型的电网故障诊断方法是在考虑元件的保护配置情况下,利用保护动作和断路器位置等开关量信息,将电网故障诊断问题转换为0-1整数规划问题,可通过优化算法,如遗传算法、禁忌搜索算法(Tabu搜索算法)

等,找到使目标函数最小或最大的故障解。电网故障诊断的完全解析模型主要是利用电网元件与保护、保护动作与断路器跳闸之间的逻辑关系,来建立解析模型,然后采用优化算法进行求解。基于解析模型的故障诊断方法的关键在于如何构造目标函数和提高诊断速度。

在开关量与模拟量结合方面,有学者将模拟量判据引入解析模型,结合 WAMS 的电压、电流量,先快速识别出故障区域,然后在解析模型中引入模拟量判据,改进了只利用开关量进行故障诊断的解析模型,其优点是利用信息的冗余度提高了故障诊断的容错性。

可将保护、断路器的误动与拒动加入故障假说中,构造包含保护、断路器误动与拒动信息的目标函数,这样不仅可识别出故障元件而且可诊断出误动、拒动的保护和断路器信息。

从开关量和模拟量两个层次分别进行故障诊断,用 FPN 对开关量进行处理,得到元件的模糊故障度。采用小波变换对电流采样值进行处理,可得到小波故障度、小波畸变度、小波能量度,最后将基于开关量的诊断结果和基于模拟量的诊断结果用改进的 D-S 证据融合算法进行融合。当待诊断的故障候选集只有一个故障元件时,直接将其判断为故障元件,否则转入多信息源融合层的电网故障诊断,该诊断方法不仅可有效提高故障诊断的速度,在有多位保护和断路器误动、拒动的情况下仍能正确识别出故障元件。

采用 FPN 对停电区域中的保护与断路器开关量进行处理,得到开关量的故障度;采用希尔伯特-黄变换(Hilbert-Huang transform, HHT)对模拟量进行处理,得到幅值故障度、能量故障度、频率故障度,将各故障度采用改进的 D-S 证据融合算法进行融合,可获得故障元件,并具有较高的故障容错性^[15]。

1.1.4 其他故障诊断方法

在电网故障诊断领域,得到广泛研究的故障诊断方法还有基于模糊集理论、基于粗糙集理论、基于多代理系统、基于灰色关联度分析等。

基于模糊集理论和基于粗糙集理论的网络故障诊断方法适合解决报警信息不确定性和不完整性问题。

基于灰色关联度分析的网络故障诊断研究较早用于变压器故障诊断^[10,11],根据变压器发生不同类型故障时油中溶解气体的含量不同,将变压器故障分为多种故障模式。当变压器发生故障时,通过计算其油中溶解气体与各标准故障模式的灰色关联度,与待诊断变压器灰色关联度最大的标准故障就是该变压器所属