

DOI: 10.7667/PSPC151032

# 城市电网智能调度故障辅助决策系统设计开发

靖宇宸<sup>1</sup>, 张钟毓<sup>2</sup>

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070; 2. 湖北省武汉市国网武汉供电公司, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 介绍了一种可应用于城市电网调度部门的故障辅助决策系统软件, 该软件通过故障诊断、故障恢复以及决策信息可视化三个环节辅助调度员进行事故处理决策。故障诊断环节通过分层处理故障信息, 保证了故障定位区段的准确性。故障恢复环节通过有针对性的制定故障恢复方案评价指标, 提高了故障恢复决策的合理性。决策信息可视化环节在海量故障信息中筛选出调度员真正需要的信息进行显示, 提供了直观有效的辅助决策展示。该软件充分考虑调度员的决策需要, 在某城市电网地调平台的应用测试验证了软件设计的可行性。

**关键词:** 智能调度; 故障诊断; 故障恢复; 辅助决策; 可视化

## Design and development of an auxiliary decision-making system for smart distribution dispatching fault in urban power network

JING Yuchen<sup>1</sup>, ZHANG Zhongyu<sup>2</sup>

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. State Grid Wuhan Electric Power Company, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** This paper introduces an auxiliary decision-making system software applicable for urban power dispatching department, which assists dispatchers to make decision for dealing accidents through three procedures: faults diagnosis, faults recovery and visualizing decisions' information. The process of faults diagnosis assures the accuracy of orienting the faults' section via stratifying and dealing with faults' information. The process of faults recovery improves the rationality of faults recovery decision by targeted making evaluation criteria for faults recovery schemes. The process of visualizing decisions' information provide intuitive and effective display of auxiliary decision through displaying real information the dispatchers need from massive faults' information. This software thoroughly consider dispatchers' necessities of making decision, and its feasibility is proved through examination conducted in a city's power grid adjustment platform.

**Key words:** smart distribution dispatching; faults diagnosis; faults recovery; auxiliary decision; visualization

## 0 引言

随着电网运行技术水平和复杂程度的不断提高, 诱发电网故障的因素越来越多。在电网发生故障时调度部门必须快速准确的故障诊断和正确有序的事故处理, 这对于保证供电可靠性意义重大。

对于故障诊断, 电力调度部门获取电网故障信息主要是基于 EMS 系统给出的开关遥信量以及厂站人员汇报, 信息来源较为准确, 但在实际操作中厂站人员汇报时间长, 缺乏精密抗干扰措施, 少数关键坏数据即可能导致电力调度得出错误决策; 对

于事故处理, 在很大程度上依靠调度人员运行经验, 缺乏针对事故处理的应用系统, 无法提供直接有效的事故处理建议。上述缺陷最终导致电力调度处理电网故障效率与准确率的降低。

随着电网调度自动化集成系统(OPEN3000)的广泛应用, 包括地区调度实时采集信息、上级调度信息和历史存储信息以及故障录波和保护信息系统等二次设备监视信息在内的海量故障信息集中于城市电网调控中心, 在丰富事故处理信息源的同时也加重了调度员处理信息的负担。因此, 以现有调度平台为信息载体, 采用智能化手段进行快速故障诊断、事故处理等辅助决策<sup>[1]</sup>, 并将有用信息直观展示给调度员, 能有效提高调度员进行事故处理的

效率。本文进行了城市电网故障辅助决策系统的设计开发。

## 1 系统架构

城市电网智能调度故障辅助决策系统软件开发的最终目标在于“智能”和“辅助”<sup>[2]</sup>, 为此设计了如图 1 所示的软件功能架构。

从电网发生故障到调度员倒闸操作处理故障, 智能辅助决策系统软件经过了收集故障信息、感知故障发生、故障诊断、故障区域划分、故障恢复决策及决策信息可视化等过程。软件的“智能性”<sup>[3]</sup> 表现在: 软件通过充分集成现有调度平台的故障信息来源, 可通过实时扫描的方式及时自动地感知电网中的故障发生; 通过采用智能化算法对故障信息进行分层分步处理, 从而得到可靠地故障区段诊断结果; 根据故障诊断结果可自动匹配故障恢复方案。软件的“辅助性”表现在: 软件的设计充分体现调度员的思维, 从调度员决策的关键点出发进行故障诊断和故障恢复的算法设计, 筛选对调度员最有价值的键信息以直观合理的方式在系统界面上显示, 在信息处理和可视化上充分发挥辅助调度员事故处理的作用。

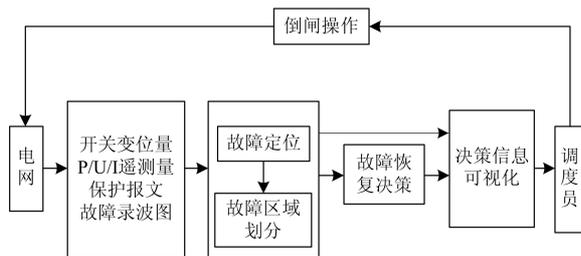


图 1 智能调度故障辅助决策系统软件功能架构

Fig. 1 Architecture of the intelligent dispatching fault decision supporting software

通过对城市电网地调平台调度自动化系统 OPEN3000 及故障信息系统(故障录波器等)配置的调研, 设计了如图 2 所示的智能辅助决策系统软件实现方式。系统主要由 OPEN3000 数据库接口程序、配置工具、数据库、监控决策程序组成。

### 1) OPEN3000 数据库接口程序

本系统需要访问 OPEN3000 系统的配置信息和变电站运行信息, 该接口程序访问 OPEN3000 系统位于 3 区的 Web 数据库服务器, 并提供接口给本系统调用。

### 2) 配置工具

配置工具使得 OPEN3000 系统与智能辅助决策系统软件之间有统一的信息模型, 是监控决策程序

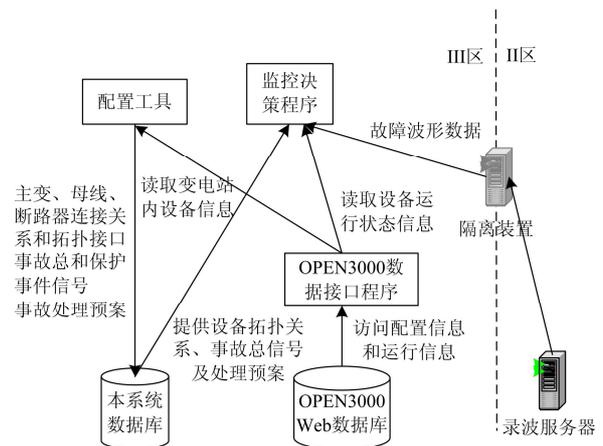


图 2 基于 OPEN3000 系统的辅助决策系统软件实现设计

Fig. 2 Design of the intelligent dispatching fault decision supporting software based on OPEN3000 system

运行的基础。通过配置程序, 可以配置: 需要监控的变电站; 主变、母线、断路器的连接关系和拓扑接口; 变电站的事故总和保护事件信号; 变电站事故发生后的处理预案。

### 3) 数据库

数据库包括 OPEN3000 系统的数据库和本系统的数据库: 软件系统只通过接口程序读取 OPEN3000 系统的数据库中的有用信息, 不对其进行写操作; 本系统数据库存储着本系统相关的厂站、设备配置数据, 运行过程中监控到的故障记录、决策信息等大量数据信息。

### 4) 监控决策程序

监控决策程序是智能辅助决策系统功能实现的核心, 也是调度员直接使用的操作平台。决策程序从 OPEN3000 系统获取变电站的遥测、遥信、保护报文记录, 定期获取事故总事件记录, 并从故障录波服务器获取故障波形数据。通过对以上故障信息的处理和筛选, 进一步执行故障诊断和故障恢复决策。最终将调度员最需要的决策信息以可视化的方式展示在平台界面。

## 2 故障诊断

### 2.1 故障感知

故障感知流程如图 3 所示, 软件监控决策程序定期从数据库中获得被监控变电站的事故总信号, 获取到一条事故总动作信号就认为有一个事故发生。读取该事故总合理时间内的跳闸记录, 若无跳闸记录, 说明是非故障保护事件引起的事故总, 处理流程结束; 若有跳闸事故, 则根据事故时间、厂

站 id 从录波服务器获取相应的故障录波, 并依据断路器跳闸信息等进行进一步故障诊断。

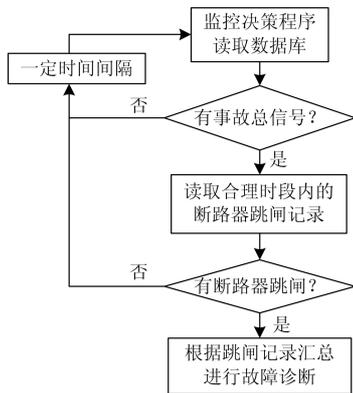


图 3 智能辅助决策系统软件感知故障流程

Fig. 3 Fault detection process of the intelligent dispatching fault decision supporting software

### 2.2 故障区段定位

软件中考虑的故障类型主要包括: 每个变电站中每个独立的设备自动生成一个故障类型, 220 kV 所有母线故障、110 kV 所有母线故障以及所有主变故障。系统软件会读取故障期间发生的所有跳闸记录, 形成故障跳闸开关列表, 根据配置程序中的母线拓扑信息和设备连接拓扑信息, 再进一步判断是何种故障类型, 具体的判断流程如图 4 所示。

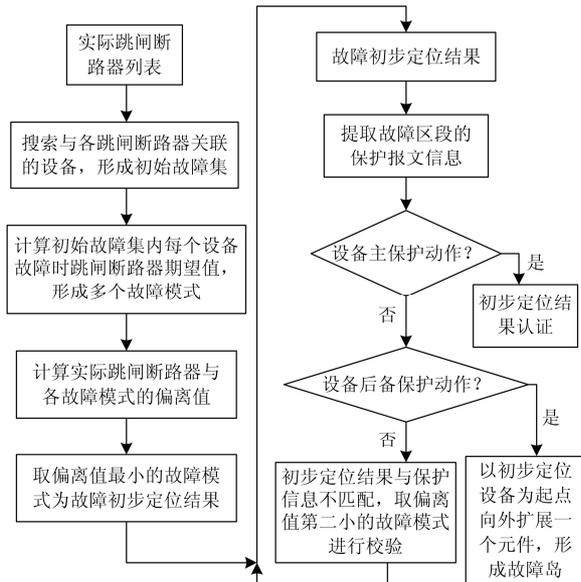


图 4 智能辅助决策系统软件故障区段定位流程

Fig. 4 Fault location process of the intelligent dispatching fault decision supporting software

软件依据开关变位和保护报文双重信息进行故障区段的定位。首先求解出与实际断路器跳闸情况

偏离值最小的故障模式作为首选故障区段, 再提取相应区段的保护报文信息进行匹配校验。对于故障初判结果处主保护动作的情况, 说明初步定位结果准确, 定位结束; 若该区段设备后备保护动作, 出于变电站内远后备保护的设置, 以该设备为起点, 向其下游追加一层设备, 形成一个相对保守的故障岛, 岛内的线路均有发生故障的可能; 若初判结果设备处无保护动作结果, 说明定位结果不准确, 选择偏离值第二小的故障模式再一次进行保护报文的匹配校验。在开关变位和保护报文信息与故障模式相匹配时, 确定故障区段。

### 2.3 故障区域划分

故障区段定位完成后, 基于故障对网络拓扑连通性的影响可将电网划分为如图 5 所示的三个功能区域。通过读取 OPEN3000 系统的遥测信息, 可将故障后未失压的带电设备划入带电岛, 将故障后失压的设备划入失电岛, 根据遥测数据统计失电岛内 10 kV 或 35 kV 母线所带负荷作为总的失电负荷, 下一阶段故障恢复的主要任务就是通过闭合带电岛与失电岛间的联络线使失电负荷重新恢复供电。

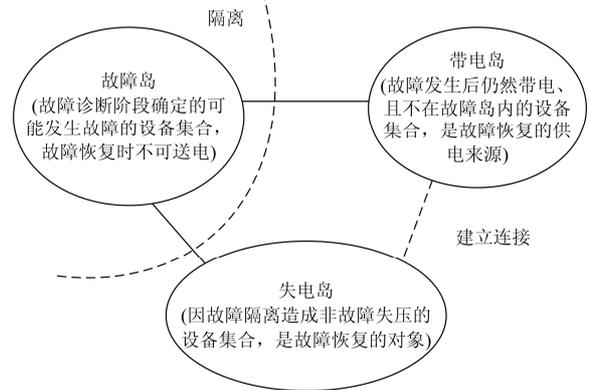


图 5 故障区域划分

Fig. 5 Different fields after fault hit the grid

## 3 故障恢复

鉴于电网规划的可靠性, 对同一故障失电区域的故障恢复方案<sup>[4]</sup>往往不止一个, 软件分别从倒闸操作规程、历史事故集以及电网实时运行情况等多个角度考虑, 为调度员提供多条供电恢复路径的建议。

### 3.1 反事故预案与历史事故记录

软件的数据库系统为变电站的每一个故障类型配置一个反事故预案项, 固定写入依据倒闸操作规程确定的故障恢复预案。另外在预案配置界面上, 加入可人工录入项, 将历史发生事故记录(事故时电网负荷情况、事故处理步骤)在事故后录入。

软件系统会根据故障定位的结果匹配出相应的反事故预案, 若此故障设备处历史上就有故障发生则可同时提取出历史事故记录展示给调度员参考。此两项知识的自动查找和匹配可大大减轻调度员的决策负担, 同时具备可靠性。

### 3.2 故障恢复拓扑模型

在故障区域划分完成后, 软件根据电网实时运行情况为调度员提供多条故障恢复路径方案。为了便于数学处理, 首先基于图论将受故障影响变电站内设备抽象点和线: 即将母线、主变等汇聚和分配电能的设备抽象成图中的点, 将其间的联络线抽象成线, 在数学处理时线路的 0-1 状态代表实际上联络线开关的开断闭合状态<sup>[5]</sup>。由于故障恢复决策的对象为 110 kV 及以下电压等级的母线负荷, 该电压等级的电网一般采用开环运行的方式, 软件引入图论中树的概念进行可行方案的搜索。

### 3.3 基于树的可行方案生成

图论中的树是指不存在环路的连通图, 与城市电网中 110 kV 及以下电压等级的开环运行结构相契合。算法以电网中各联络线路的开合状态为变量, 先随机生成故障恢复方案, 再利用树的图论特征判断方案可行性。

如图 6 所示的故障失电情况下, 110 kV 双母线失压时共有 12 个可操作开关, 包含 7 个失电负荷和 4 个备用电源, 和 1 个母联开关。这些开关的开合状态可由程序随机赋值 0 或 1, 对赋值之后的网络基于树的概念进行可行性的校验:

- 1) 要求恢复供电负荷仅有一个供电电源;
- 2) 要求恢复供电负荷总量不超过备用电源可转带负荷容量;
- 3) 不能导致上级供电设备电流越线;
- 4) 不能造成从低压侧往高压侧送电;
- 5) 满足保护之间的配合要求。

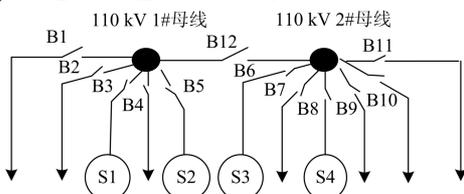


图 6 决策情况示意图

Fig. 6 Example for service restoration

### 3.4 故障恢复方案评价

基于树的随机生成可以产生多个故障恢复路径, 软件设置故障恢复方案评价体系。从调度员倒闸操作的目标出发设定如下方案评价指标:

- 1) 故障恢复总量

尽可能多的恢复失电负荷是调度员故障恢复的首要目标。因此要求随机生成的故障恢复方案能够尽量将失电负荷完全恢复。

#### 2) 倒闸操作次数

倒闸操作次数的多少关系到故障恢复操作是否简单。由于断路器开断次数有限, 每次开合操作都有一定的流程时延, 因此要求方案能够以尽可能少的倒闸操作次数恢复供电。

#### 3) 带电岛备用电源投入个数

对于带电岛内有多个备用电源的情况, 一般可通过统计备用电源的投入个数评价负荷是否均衡的分配到各个备用带电厂站。备用电源投入个数越多, 通常会失电负荷分摊越均匀。

软件通过算法生成多个恢复路径时, 同时计算各恢复路径的各项指标, 作为恢复路径的特征属性同时展示给调度员。调度员可以根据工作经验并结合现场信息做出最后的操作决策。

## 4 决策信息可视化

决策信息可视化<sup>[6]</sup>主要是将调度员在事故处理时最关心的关键问题以合理的方式显示在界面上。如图 7 所示, 显示界面主要包括监视界面、故障信息界面和历史记录查询界面。监视界面包含了被监控电网所有变电站厂站图形的 SVG 图, 以拓扑着色的方式提示故障的发生, 实时对各变电站运行情况进行监控。故障信息界面上显示主要包含了故障列表、保护事件列表及相关操作按钮(反事故预案、厂站图形、故障波形、算法恢复决策结果、人工修正故障)等内容。

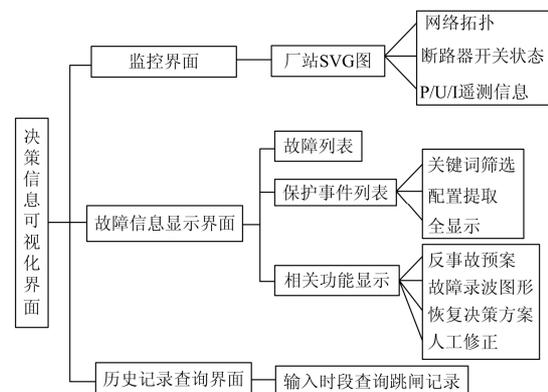


图 7 基于 OPEN3000 系统的决策信息可视化设计

Fig. 7 Presentation of the intelligent dispatching fault decision supporting software based on OPEN3000 system

## 5 软件测试

该软件在某城市电网地调进行了实用化测试,

以电网中某 220 kV 变电站 J 中 220 kV 2 号母线故障为例，本软件能够通过扫描事故总信号感知故障发生，并基于断路器跳闸信息和保护报文校验准确进行故障区段定位。在事故处理环节，软件不仅能正确匹配出该故障类型的反事故预案，还能提供多条故障恢复路径的显示，部分显示界面如图 8、图 9 所示。

对故障恢复方案分析表明，软件所提供的故障恢复方案均能够安全可靠地恢复失电负荷，且在一定程度上保持与反事故预案的一致性。故障信息及其他功能的可视化展示有针对性地反映了调度员关心或需要的关键信息，体现了软件的智能性和辅助性。

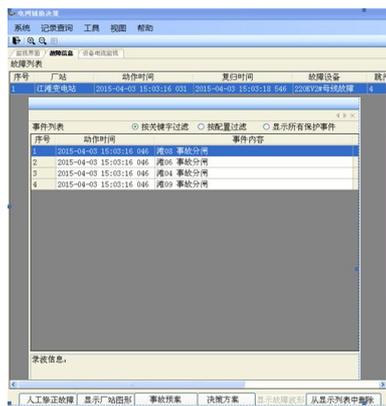


图 8 故障信息显示界面

Fig. 8 Presentation of fault information



图 9 故障恢复结果显示界面

Fig. 9 Presentation of service restoration schemes

## 6 结论

本文基于城市电网地调平台的 OPEN3000 系统进行了智能调度故障辅助决策系统的软件设计开发。当电网发生故障后，软件读取事故总信号进行故障感知，根据事故跳闸信号和保护报文进行基于模式匹配的故障诊断，并将诊断出的所有故障信息以列表的形式呈现给调度人员，通过基于树和评价指标生成可行的故障恢复方案，将决策信息(事故预案、恢复决策方案、保护时间记录、故障波形等)以合理的方式展示给调度人员，为调度人员提供辅

助决策。在某城市电网地调平台的软件测试验证了本文软件设计的合理性和可行性。

## 参考文献

[1] 荀挺, 张珂珩, 薛浩然, 等. 电网调控数据综合智能分析决策架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 121-127.  
XUN Ting, ZHANG Keheng, XUE Haoran, et al. Framework design of the analysis decision system about the power grid data[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 121-127.

[2] 杜红卫, 何勇, 张瑞鹏, 等. 地区电网调度智能辅助决策软件设计[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 108-112.  
DU Hongwei, HE Yong, ZHANG Ruipeng, et al. Design of regional power grid dispatching intelligent aided decision-making software[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2): 108-112.

[3] 吴国沛, 刘育权. 智能配电网技术支持系统的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 162-166.  
WU Guopei, LIU Yuquan. Research and application of technology support system for smart distribute grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 162-166.

[4] 徐希, 张剑, 孙世明. 地区电网智能调度辅助决策系统[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(2): 111-115.  
XU Xi, ZHANG Jian, SUN Shiming. Regional power grid dispatching intelligent aided decision-making system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 111-115.

[5] 林晓庆, 任建文, 张丙合, 等. 基于网络重构的电网智能调度操作系统开发研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(7): 143-147.  
LIN Xiaoqing, REN Jianwen, ZHANG Binghe, et al. An intelligent dispatching operation-tickets in electric power system based on network reconfiguration[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7): 143-147.

[6] 沈国辉, 孙丽卿, 游大宁, 等. 智能调度系统信息综合可视化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 129-134.  
SHEN Guohui, SUN Liqing, YOU Daning, et al. Intelligent dispatch system information comprehensive visualization method[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 129-134.

收稿日期: 2015-06-19; 修回日期: 2015-08-13

作者简介:

靖宇宸(1994-), 男, 本科, 电气工程及其自动化; E-mail: 501173481@qq.com

张钟毓(1983-), 男, 工程硕士, 工程师, 计算机技术, E-mail: prase@163.com

(编辑 张爱琴)