

# 基于 Web 的图形化继电保护运行决策专家系统的研究

王利<sup>1,2</sup>, 林俐<sup>1,2</sup>, 陈月从<sup>1,2</sup>, 高曙<sup>1,2</sup>, 郭亚成<sup>3</sup>, 史曜兆<sup>4</sup>

(1. 华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京 102206; 2. 华北电力大学, 北京 102206;  
3. 保定供电公司, 河北 保定 071000; 4. 北京四方继电保护与自动控制有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 介绍了一个基于 Web 的图形化继电保护运行决策专家系统。应用 JSP 动态网页技术与 Wizcon 工业控制平台的图形、工业控制和网络功能开发出可控的图形化人机接口。将面向对象表示法与产生式表示法相结合实现了一个独立的知识库, 并详细介绍了继电保护知识的分类及分类为系统实现带来的便利等。

**关键词:** 电力系统; 继电保护; 运行决策; ES

**中图分类号:** TM743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)20-0014-05

## 0 引言

随着电力系统规模的不断扩大, 安全问题日益突出。继电保护作为电力系统的安全保障, 正确的继电保护方案显得尤为重要。而继电保护运行方案受电网结构、设备状态、调度规程等因素影响, 因此它的确定是一项非常复杂的工作, 方案好坏的判断不仅需要从系统水平上考虑, 而且十分依赖于保护工程师的经验<sup>[1]</sup>。

目前, 制定继电保护方案的工作主要由保护工作人员根据专家经验及《继电保护及安全自动装置运行细则》(简称《细则》)来完成。保护工作人员在制定保护方案过程中需要随时查阅《细则》, 《细则》内容繁杂且不能涵盖所有情况, 而且设备运行和保护配置等信息更加庞杂, 给工作带来了很大困难。专家系统(简称 ES)作为运用领域专家多年积累的经验与专门知识模拟专家的思维过程解决问题的智能程序系统, 能够帮助克服制定继电保护方案的工作中遇到的这些困难。因此将专家经验及《细则》内容做为知识库, 开发继电保护运行决策 ES 是辅助保护工作人员决策的必要手段。如果将 ES 开发成基于 Web 的系统, 应用程序通过网络实时获取设备运行方式, 提高了决策的实时性; 用户通过浏览器访问应用程序, 随时与相关部门保持联系, 方便了各部门之间的配合。

为此, 华北电力大学(北京)和保定供电局联合开发基于 Web 的继电保护运行决策 ES, 旨在总结保护规则及专家经验, 自动生成保护决策方案并验证操作的合理性。

## 1 系统的功能

继电保护运行决策 ES 是根据日方式安排的设

备运行方式, 对继电保护运行方式作出批复。为了完成这项任务, 本系统设计了以下功能:

- 1) 通过电气接线图查看设备及保护信息。
- 2) 通过电气接线图模拟操作设备。
- 3) 建立知识库管理并维护专家经验及《细则》。
- 4) 判断保护投退方案的合理性。
- 5) 判断一次设备运行状态改变时现有的保护方案的合理性。
- 6) 给出判断的依据和改动的内容。

## 2 系统的构成

本系统按照功能划分为人机接口模块、主控模块、数据库模块、知识库模块、推理机模块和知识维护模块, 其中数据库使用了继电保护管理信息系统(简称 MIS)的 DB, 总体结构框图如图 1 所示。

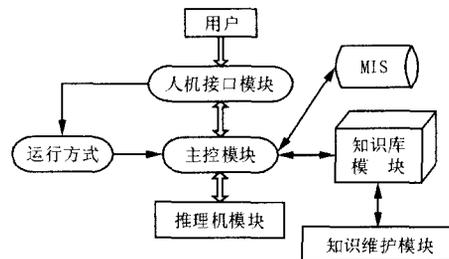


图 1 系统结构图

Fig 1 System structure

### 2.1 主控模块

主控模块主要任务是协调人机接口模块、推理机模块、数据库模块和知识库模块之间的工作, 避免各个模块相互作用时发生混乱。主控模块接收到用户输入的设备运行方式并以此启动推理机, 推理机与人机接口、数据库和知识库的交互归主控模块管理。

由于图形化人机接口是用 Wizcon 工业控制平

台实现的,所以主控模块与人机接口的交互主要是与 Wizcon的交互。Wizcon提供了与 C++和 VB的接口 API,主控模块利用 Java的 JNI本地化技术,调用以库文件形式存放的本地方法,实现应用程序和图形化人机接口的紧密联系。

由于应用程序需要随时访问数据库和知识库,每一次访问都要花时间做数据库的连接和相关的安全确认,运行过程涉及很多资源,访问结束时连接也跟着删除,这样每次单独运用连接资源会影响系统效能。因此,主控模块中利用 Java的 JDBC技术建立了一个持续可重复使用的数据库连接共享机制,解决了推理过程中推理机频繁访问数据库和知识库的资源浪费和效率问题。通过将数据库连接对象在程序运行结束后仍保留在系统中,让后面的访问继续使用,这样有效运用了连接对象资源,节省了系统的响应时间,可快速产生动态 JSP网页。

## 2.2 人机接口模块

电网调度管理部门安排的运行方式、保护投退的输入和决策方案的输出是人机接口模块的基本功能。推理过程中出现的信息不完善、方案冲突等问题要通过与调度运行人员和保护工作人员交互,获得更多信息以确定决策方案,这是人机接口的又一重要功能。为了更好的实现这些功能,人机接口设计遵循了以下原则:

- 1) 尽量多的给予提示信息,减少用户记忆的内容。
- 2) 保证系统术语、操作、代码的一致性。
- 3) 提供尽可能多的提示信息,让用户从中选择,减少键盘输入<sup>[2]</sup>。

由于 Wizcon具有良好的接口和成熟的可控特点,并支持 Internet图形发布,本文采用 Wizcon工业控制平台技术实现的动态电气主接线图作为人机界面。其中设备状态的改变和系统运行方式的变化用动态效果显示(改变图形对象颜色、填充模式或闪烁等),如图2所示。保护工作人员可以在电气主接线图上模拟操作设备,生成的决策方案也可以在电气主接线图上显示。为了使人机接口模块与应用程序进行有效的交互,本系统采用 Wizcon的 trigger和由系统进行监测和控制的变量点 tag作为人机交互的纽带,通过在图形中将某一个图形对象定义为 Trigger来实现遥控或调图等操作,再以 tag为媒介,以 API为工具实现与应用程序的交互。其交互过程可用图3表示。

## 2.3 继电保护管理信息系统

继电保护运行决策 ES的数据基础是我们开发

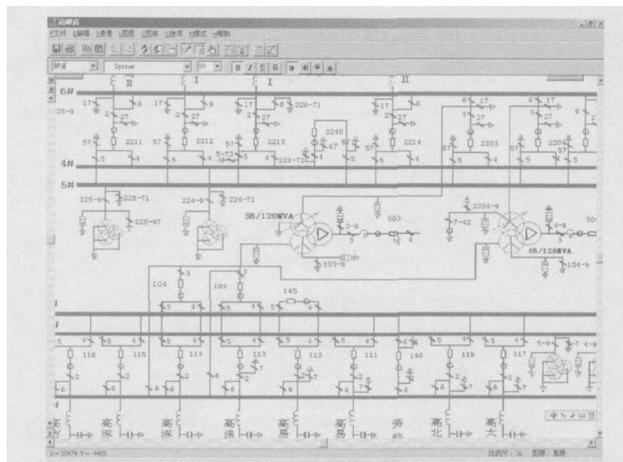


图2 图形化人机界面

Fig 2 Graphic user interface

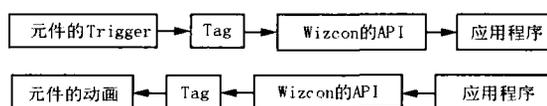


图3 Wizcon与应用程序的交互过程

Fig 3 Mutual process of Wizcon and application

的已经投入运行的保定供电局继电保护 MIS,它是一个独立的系统。开发 MIS时考虑到保定供电局以后必将统一 MIS系统、DTS系统、SCADA系统的数据以保证数据源的唯一性,建立一个大型的、可扩展的、适应性强的数据库系统,所以 MIS系统采用了 Oracle公司开发的高度集成的、多平台支持的、面向 Internet的、支持分布式数据库的关系数据库管理系统<sup>[3,6]</sup>。决策所需的系统运行数据是从 MIS中的电网的运行参数、元件参数、保护配置信息、保护运行状态、保护定值和故障信息等继电保护的相关数据中获取。

## 2.4 知识库模块

知识库是保护规则和专家经验的集合,是本系统的核心之一。知识表示法与所要解决问题的性质密切相关,并且直接影响知识的有效存储和使用效率,合适的知识表示法使问题明确,并对推理提供方便,使问题求解变得容易<sup>[4]</sup>。知识表示法包括谓词逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、语义网络表示法和面向对象表示法等。

在知识表示、知识库组成和管理中引入面向对象的思想和方法,是 ES设计和开发中的一个热点,这使得开发人员在知识整理时和专家容易交流;在系统设计时与用户容易沟通;在程序实现时提高了代码的重用性、可靠性、灵活性及可维护性等。通过采用面向对象技术可以实现问题空间和求解空间的

统一<sup>[1]</sup>。电气设备对象的层次划分如图 4 所示。

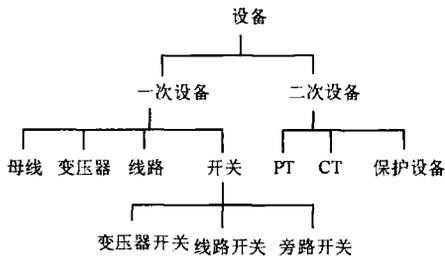


图 4 对象层次划分

Fig 4 Partition of object arrangement

在面向对象技术中,类、子类、具体对象构成的层次结构解决了知识的分类表示,但是专家经验和《细则》具体内容的结构只有结合产生式表示法才能完全表达。产生式表示法基本形式是“如果 P,则 Q”,P是前提,用于指出该产生式是否可用的条件;Q是结论或操作,用于指出当前前提 P 所指示的条件被满足时,应该得出的结论或执行的操作。专家经验和《细则》的大部分内容是以“设备状态满足某条件时,保护装置如何运行”的形式描述的,例如:“xx 站,xxx 开关正常运行时,距离、零序、重合闸均投入,开关重合闸为不对应启动方式”,所以系统采用了面向对象与产生式相结合的知识表示方法。

系统首先根据知识适用对象的不同将其分为通用知识和专用知识,通用知识适用于所有厂站的同类设备,它多用于推理的第二环节或以后的环节。通用知识根据设备又分为一次设备(如:开关、母线和线路等)知识和二次设备(如:母差保护、变压器保护等)知识。

专用知识只能用于某厂站的某台设备,推理的第一环节基本上使用这些知识。对于专用知识,《细则》本身已按照其所属厂站进行了横向分类,知识库中的表如果依据横向分类建立,每增加一个厂站就需要增加一张表,这就影响到知识库的合理性及其安全。本 ES 对规则依据设备类型进行纵向分类并建立知识库,电网运行调度规程和对象系统发生变化后,不需要增加知识表,只要通过编辑知识库中的规则就能适应这些变化。同时考虑到不同电压等级厂站在电力系统中扮演的角色不同,保护知识偏重的对象也不同,所以具体知识分类时厂站的最高电压等级也成为了一个标准。

以保定局 220 kV 站为例,保护规则主要分为以下几类:

- 1) 关于开关的继电保护知识模块。
- 2) 关于线路的继电保护知识模块。

- 3) 关于母线的继电保护知识模块。
- 4) 关于变压器的继电保护知识模块。
- 5) 其它继电保护知识模块。

前 4 类已囊括了 90% 以上的规则,其余零散的规则归入其它知识模块中,这样 220 kV 站的规则便有序的存入知识库,以备推理时使用。

知识表示方法是 ES 的重要因素,知识存储方法也不容忽视。传统 ES 的规则有的被封装在推理模块中,有的用知识库文件存储,如果规则稍有增减或变化,第一种方式必须进行程序级的更改,否则应用程序的使用寿命就会终止。第二种方式虽说知识是独立的,但是想要修改内容繁杂的数据库文件,也不是一项轻松的工作。为了克服这些问题,本系统对经过严格的分析和处理的知识,利用 Oracle 关系型数据库技术实现了独立和开放的知识库。

知识分类存储,缩小了推理过程中规则匹配的范围,提高了推理效率;保护规则是半结构化数据,维护界面很难统一,分类之后界面设计比较简单,知识维护时检查知识问题的范围缩小了。

## 2.5 推理机模块

推理机是专家系统的核心之一。推理机制分正向推理、反向推理和正反向混合推理。本系统采用正向推理。用户输入的设备运行方式或保护投退激活推理机模块,推理机模块对设备运行方式进行拆分、归类等逻辑关系分析处理后,在知识库中找到相关的规则,对相关规则的处理如图 5 所示。图 5 中的事实库是本系统为推理过程设计的一个临时存储单元,在一个 session(从一个客户打开浏览器并连接到服务器开始,到客户关闭浏览器离开这个服务器结束,被称为一个 session)中保存那些在系统内部不能确定经询问用户后才能确定的事实的解,这样就避免了同一 session 中多次向用户询问同一问题。

推理过程主要是将设备运行方式与知识库中的规则前件进行不断匹配、消解冲突,并最终找到完全匹配或近似规则的过程,这个过程中有大量的逻辑运算,这些逻辑运算采用 JavaBean 技术实现。JavaBean 实际上是一种 Java 类,它的使用可有效地分离 JSP 页面的静态工作部分和动态工作部分,JavaBean 技术具有以下特点:

- 1) 实现了代码的重复利用。
- 2) 易编写、易维护、易使用。
- 3) 可以在任何安装了 Java 虚拟机的平台上使用。

## 2.6 知识维护模块

专家系统的使用寿命很大程度上取决于知识库

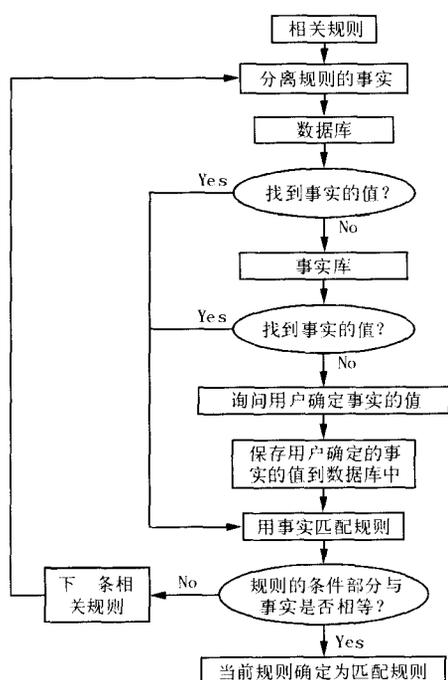


图 5 相关规则的处理流程

Fig 5 Disposal flow chart of correlative rules

的更新是否及时。电力系统正在以日新月异的速度向前发展,如果不能及时维护知识库中的知识,那么系统完成之日距其被废弃之日也就不远了。只有不断更新知识库中的知识,适应电网运行调度规程和对象系统的变化,才能让 ES 充分发挥更大的作用。在知识库模块我们以说明本系统选用的知识表示法及知识存储方法是知识库编辑可行和方便的保障。

知识的有效性、完整性和一致性是影响 ES 性能的重要因素。知识问题主要表现在知识冗余、矛盾、从属、环路、不完整等方面<sup>[5]</sup>。本系统的知识并不是非常多,规则链一般只有 1 级,最多也不会超过 3 级,所以除冗余之外的其它知识库问题基本不存在,产生式表示法中冗余知识的表现及本系统采用的处理方法:

1) 等价规则:当两条产生式规则在相同的条件下有相同结论的规则时称之为等价规则。如果知识库中存在等价规则,有一条规则是多余的应删去。这种问题多存在于子条件较多的规则中,因子条件的顺序不同而产生,是本系统应重点考虑的问题。本系统将子条件按照一定原则编号,将规则的子条件按照编号的大小顺序保存就可以避免这一问题。

2) 冗余规则链:如果两条规则链中第一组规则的条件相同,且最后一组规则的结论等价,则称此两条规则链中存在冗余。这种关系的规则,多出现在

规则链路较长的知识库中,本系统基本不存在这种问题。

3) 冗余条件:两条规则有相同的结论但一条规则中的某个子条件在另一条规则的前提条件中被否定,而其它子条件保持一致的规则,称这互相矛盾的子条件为冗余条件。若规则库中包含这样的规则,应删去这两条规则,同时增加一条不包括相互矛盾子条件的规则。这也是本系统应考虑的问题,子条件编号的方法也是解决冗余条件的一剂良药。

知识按照操作的对象分类,知识显示、修改、删除和添加功能集成在对象内,用户添加和编辑的保护规则,必须通过冗余关系检查之后,确定是有效的规则才能加入知识库。检查是否存在冗余关系的知识集中在同一对象的知识表中,这样缩小了检查的范围,提高了知识维护的效率。

知识库是专家系统的基础,所以安全问题非常重要,为此设计了管理权限,一般用户只能浏览知识库的内容,并提出意见,只有有编辑权限的用户才能修改、删除及添加规则。

### 3 结论

通过将 Oracle 数据库技术、JSP 动态网页技术及 Wizcon 工业控制平台技术应用于 ES,实现了基于 Web 的图形化继电保护运行决策 ES,具有以下特点:

1) 将知识按照厂站的电压等级及设备类型进行纵向分类,利用数据库技术存储知识,实现了独立知识库,方便了知识的及时更新,为开发一个有较强生命力的继电保护决策 ES 奠定了基础。

2) 采用 Wizcon 工业控制平台设计了图形化的人机界面,使继电保护运行决策 ES 更具专业特色、简单、直观、易使用。

3) 利用 JSP 技术实现了基于 Web 的、客户端免维护的继电保护运行决策 ES,方便了整个系统的升级和维护。

### 参考文献:

- [1] 段振国,高曙,等. 电网结构知识表示方法的研究与管理电力系统开发 [J]. 中国电力, 1999, 32(2): 34-37. DUAN Zhen-guo, GAO Shu, et al Study of Power Network Structure Knowledge Representation and Development of Knowledge Management System [J]. Electric Power, 1999, 32(2): 34-37.
- [2] 刘青. 电力系统运行管理多智能体系统的理论和方法 (博士学位论文) [D]. 武汉:华中理工大学, 1997.

- LU Qing The Theories and the Methods for Multi-agent System Used in Power System, Doctoral Dissertation [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 1997.
- [3] 陈月从, 林俐, 等. 基于 Web 的跨平台图形化继电保护运行管理系统的研究 [A]. 电力系统及其自动化专业第十九届学术年会论文集. 成都: 2003. 950-954.  
CHEN Yue-cong, LN Li, et al Research of Web-based Graphic Relay Protection MIS [A]. Proceeding CUS-EP-SA. Chengdu: 2003. 950-954.
- [4] 王威, 张沛超, 等. 面向对象的继电保护日常运行操作专家电力系统的运用 [J]. 继电器, 2001, 29 (9): 23-26  
WANG Wei, ZHANG Pei-chao, et al Application of Object-oriented Expert System in Relay Protection Routine [J]. Relay, 2001, 29 (9): 23-26
- [5] 王永庆. 人工智能原理与方法 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998
- WANG Yong-qing Theories and Methods of Artificial Intelligence [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998
- [6] CHEN Yue-cong, LN Li, GAO Shu, et al Research on Operation DSS of Relay Protection [A]. Regional Inter-university Postgraduate Electrical and Electronic Engineering Conference (R UPEEEEC). 2003.

收稿日期: 2005-01-10; 修回日期: 2005-03-31

作者简介:

王利 (1975 - ), 女, 硕士研究生, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用; E-mail: wanglilzb@163.com

林俐 (1968 - ), 女, 讲师, 研究方向为电力系统自动化及继电保护;

陈月从 (1979 - ), 女, 助工, 研究方向为电力系统自动化及继电保护。

### Study on web-based graphic relay protection operation decision-making expert system

WANG Li<sup>1,2</sup>, LN Li<sup>1,2</sup>, CHEN Yue-cong<sup>1,2</sup>, GAO Shu<sup>1,2</sup>, GUO Ya-cheng<sup>3</sup>, SHI Yao-zhao<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control, Ministry of Education,

North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. Baoding Power Supply Company,

Baoding 071000, China; 4. Beijing Sifang Relay Protection and Autocontrol Co., Ltd, Beijing 100085, China)

**Abstract:** This paper introduces a web-based graphic relay protection operation decision-making expert system. It develops controllable graphic user interface using the JSP dynamic web technique and the graphic, industrial control and network function of Wizcon industrial control platform. This system also combines the object-oriented representation and the producing representation to realize an independent repository and details the class of relay protection knowledge and its advantages to the system realization

**Key words:** power system; relay protection; operation decision-making; ES

(上接第 13 页 continued from page 13)

- [14] David R, Orlando H. 佩特利网和逻辑控制器图形表示工具 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996

David R, Orlando H. Graphics Representative Instrument of Petri Net and Logic Controller [M]. Beijing: China Machine Press, 1996

- [15] 袁崇义. PETRI 网 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1989.

YUAN Chong-yi Petri Net [M]. Nanjing: Dongnan University Press, 1989.

- [16] 陶然. 继电保护自动装置及二次回路 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1992

利电力出版社, 1992

TAO Ran Relay Protection Auto Equipment and Its Secondary Circuit [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1992

收稿日期: 2005-01-17; 修回日期: 2005-04-18

作者简介:

朱林 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护安全与监控; E-mail: zhulin1979@vip.sina.com

蔡泽祥 (1960 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护, 电力系统稳定与控制的教学和研究工作。

### Model on the logic working procedure of relay schemes based on timed Petri net

ZHU Lin, CAI Ze-xiang, LU Wei-xiong

(Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The Petri net is efficient to model DEDES (discrete event dynamic systems) due to its full-developed theories. This paper proposes a method of timed Petri nets for relay schemes modeling. A relay scheme is one of the discrete event dynamic systems. Using the parallel, impacting, resource-sharing characteristics of Petri net, the logic working procedures with secondary loop dynamics are described. The working principle and performance of RCS-901A/B are comprehensively studied and evaluated with the proposed method to demonstrate its effectiveness.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 04020015).

**Key words:** Petri net; discrete event dynamic systems; secondary loop; model of relay schemes