

[控制系统]

可视化发电厂继电保护整定计算软件的研究与开发

文/三峡大学电气与新能源学院 杜于龙

国网和县供电公司 覃 浩

国网攀枝花供电公司 夏展鹏

长期以来发电厂继电保护多依赖人工整定计算，这种粗放型的工作方式不仅准确性低，也难以对继电保护信息进行统一及科学的管理。为此，在Windows平台下，以Delphi 2007为可视化软件开发工具，结合MySQL5.0数据库对可视化发电厂继电保护整定计算软件进行开发，并在Visual Graph 11集成环境下对电力元件库进行开发。软件系统在整体的开发设计中，采用面向对象技术、模块化和一体化的设计思想，该软件具有友好的人机交互功能、通用性及可扩充性，并成功应用到一些发电厂的继电保护整定计算工程项目中。

发电厂作为电力系统中的电源端，其安全稳定运行的程度对整个电力系统来说尤为重要，而这取决于正确可靠的继电保护配置。由于发电厂中设备的种类较多，相应配备的保护种类以及数量也随着增多，加上发电厂内设备以及继电保护装置的不断更新换代，使得发电厂的继电保护的整定计算过程烦琐；随着电网规模的不断扩大和大型发电厂的投产，电网的拓扑结构及整定计算网络参数均会发生较大的变化，为适应各种新形势下的电网运行方式，发电厂设备如发电机、变压器等保护装置的保护种类和整定计算也会变得越发烦琐，因此开发一套可视化继电保护整定计算软件势在必行。

虽然继电保护整定软件的研究和开发方面，在图形化智能化方面取得了一些进展，但仍然存在很多不足，软件功能的全面性、灵活性等与实际需求存在较大差距。本软件在Windows平台下，以Delphi 2007为可视化软件开发工具，采用面向对象的系统设计（OOD）和系统分析（OOA）方法，应用ADO技术与MySQL5.0数据

库连接，对可视化发电厂继电保护整定计算软件进行开发，该软件计算准确度高、操作方便，可极大地提高电厂工作的效率。

软件的设计思想

可视化发电厂继电保护整定计算软件的设计思想为：软件系统是在基于面向对象，在可视化软件和相应组件的基础上，采用模块化、开放式的思想进行开发，各个模块之间相互独立，易于维护升级和对软件功能的扩展；利用Visual Graph 11开发的图元属性和数据库对元件参数、故障计算和整定计算等数据信息进行存储，实现各个模块之间的数据共享，方便用户查看和修改；软件最终要实现发电厂继电保护整定计算的一体化，帮助用户解决文中所述的各种关键问题，实现软件的自动性和通用性；软件系统提供用户对底层数据库的接口，方便对整定原则的扩充，以集合人工经验值等影响最终定值的关键因素，做到整定计算要有科学的依据；从安全性来讲，软件对于用户要

进行权限设置；从功能来说，分为接线图编辑、电气主接线系统操作和厂用电系统操作，

各个功能上要相互限制，方便用户使用。软件功能结构框图如图1所示。

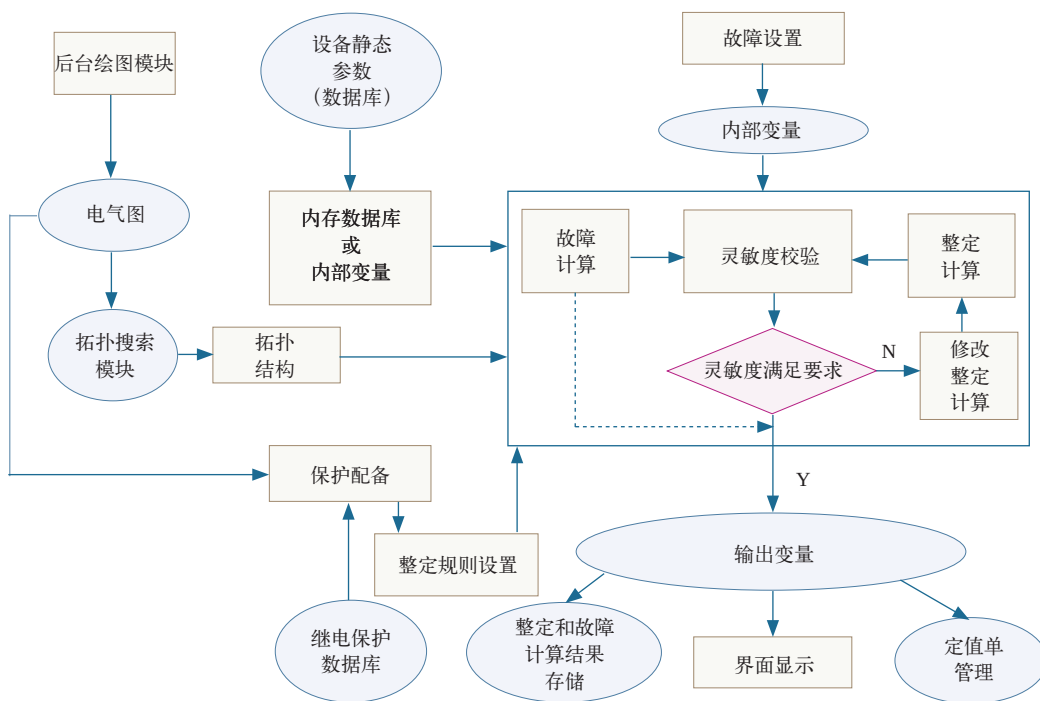


图1 软件功能结构框图

软件的关键技术分析

1. 软件图元开发

软件的图元开发包括电气元件的图形化开发和电气元件类的实现。考虑到电厂实际电气设备及网络的拓扑分析，对软件对电气元件的图形化开发是在Visual Graph 11软件的平台下，通过继承和扩充其基本图形单元类，开发出各个电气设备的部件类，最后对这些部件进行封装，同时加上脚本语言对图元进行操作，最终形成可供Delphi调用的电气元件。电力元件库示例如图2所示。

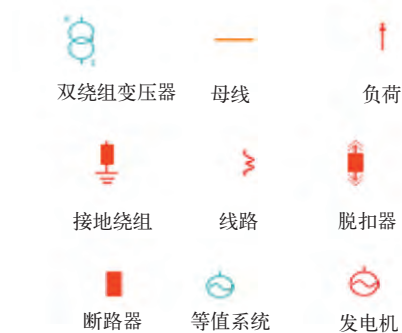


图2 电力元件库示例

电气元件类的实现是将电气元件抽象为一个类，通过元件端口数的不同进行分类，采用基于从属关系的分类原则来考虑电气元件，确定之间的继承关系。考虑到电气元件的基本特性，和电网的拓扑结构以及代码的冗余度，在软件设计开发时，采用基于端口数的方法对电气设备进行分类，可以把电气设备分成1端口的元件、2端口的元件和3端口的元件。元件间的继承关系如图3所示。

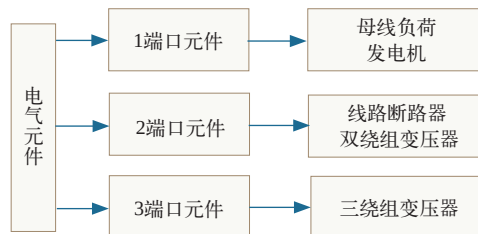


图3 电气元件类的设计

用开发的电力元件库表示不同的电气设备，用端口表示设备的电气连接点，用连接线(LinkLine)连接不同设备的端口，连接信息自

动生成，并作为连接线的属性（Links）存放在元件中。

2. 基于图元对象的电力网络拓扑分析

对电力网络进行拓扑分析，即通过某种算法形成一定的关联矩阵，来储存能够反映电力网络中各个电力元件连接关系的数据信息，它是形成整个网络数学模型的基础。在软件中拓扑分析主要用来判别断路器的状态，使软件能够动态地生成可以正确地反映电厂接线物理结构的数据信息。软件在进行故障计算时，用到的数学模型是节点导纳矩阵，而快速正确的拓扑搜索是形成正确节点导纳矩阵的基础和关键。

本文基于Visual Graph 11软件中连接线（用于连接各个元件）特有的Links属性，在拓扑分析时将采用端口融合的方法，该方法简单快捷，能够快速准确反映开关量的变化。为了更好地反映水电站的现实情况，本软件是通过各个设备运行状态的改变来反映不同运行方式的，所以此处的拓扑分析不考虑开关状态的影响，即整个网络为一个电气岛。在进行分析时可以将节点分为三个层次：元件的端口号、元件的物理节点以及逻辑节点。形成最终的网络逻辑节点要经过两个步骤：连接线的端口融合和开关的端口融合。下面将对这两个步骤的算法实现进行具体分析说明。

（1）连接线的端口融合

首先对网络中的电力元件进行端口编号，之后对网络中所有的连接线进行处理，进行连接线的端口融合，具体算法如下。

1) 取任意一条连接线两端的端口号，分别为 n_1 ， n_2 。若 n_1 和 n_2 相等，则不做处理。

2) 若 n_1 和 n_2 的值不相等，则取其中的最小值。如 $n_1 > n_2$ ，则 $n_1 = n_2$ ，否则 $n_2 = n_1$ 。

3) 遍历网络中所有电力元件的所有端口，若其任一端的端口号大于2)中的较大端口号，则做“减去1”的处理。

经过上面三个步骤进行连接线的端口融合后可得到对应的物理节点号。

（2）开关的端口融合

首先遍历所有开关，若开关状态为断开，则继续遍历开关；若开关状态为闭合，则进行开关的端口融合具体算法流程如下。

1) 取任意一个开关的两端的物理节点号，分别为 n_1 ， n_2 。若 n_1 和 n_2 相等，则不作处理。

2) 若 n_1 和 n_2 的值不相等，则取其中的最小

值。如 $n_1 > n_2$ ，则 $n_1 = n_2$ ，否则 $n_2 = n_1$ 。

3) 遍历网络中所有电力元件的所有端口。若其任一端的物理节点号大于2)中的较大的物理节点号，则作“减去1”的处理。

经过上面三个步骤进行开关的端口融合后可得到对应的网络逻辑节点号，之后就可以根据该逻辑节点对网络进行数学建模和故障计算分析。拓扑分析算法流程图如图4所示。

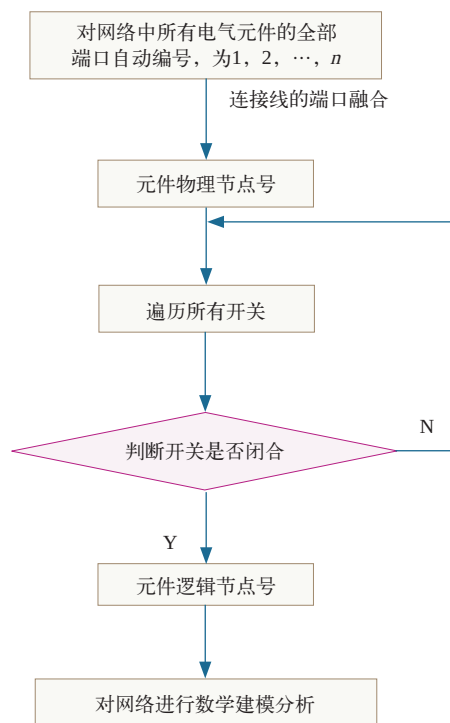


图4 拓扑分析算法流程图

3. 厂用电运行方式分析建模

对运行方式的分析是保证发电厂作为可靠供电电源的关键，并且它在很大的程度上影响着发电厂系统内部的继电保护整定计算的科学性和准确性。发电厂主接线系统运行方式的分析以“电气主设备”为单元，通过其运行状态的改变来实现；而厂用电系统运行方式是以“母线”为单元的，每条厂用电母线对应多种具有实际性的运行方式来保证供电的可靠性。运行方式的确定关键有两点：供电电源和供电路径。通过分析，可知所经过的供电路径的查找要满足供电电源到供电母线的电气距离最短，即为图论中寻找最短路径的问题。在软件开发过程中将采用弗洛伊德算法（Floyd算法）寻找厂用电中某条母线在特定运行方式下的供电路径。

软件核心功能

通过对软件设计思想的剖析,绘制了软件系统的总体框架图,如图5所示。将整个软件分成应用层及数据库,二者通过人机交互主界面进行连接。其中应用层分为系统管理模块、故障计算模块、整

定计算模块和参数管理模块四大模块,分别实现整定计算软件的各个功能;数据库分为用户管理库、整定计算库、故障计算库和定值单库四大数据库,分别存储相应的数据信息。下面将对各个模块的具体功能的连接和实现作具体的介绍。

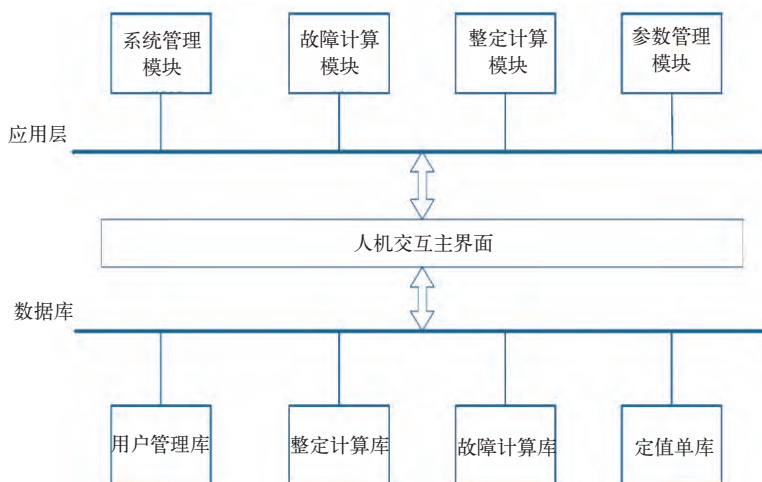


图5 软件总体框架

1) 系统管理模块。主要针对图形和图元、继电保护资料和软件使用说明,以及对用户的管理。其中把用户分为系统管理员和一般用户,系统管理员可以对一般用户信息进行查看和删除,每种用户都可以进行自身密码的修改。

2) 故障计算模块。首先设定发电厂系统的运行方式、故障类型、故障母线。然后通过拓扑搜索计算厂用系统的网络节点导纳矩阵。通过网络的节点导纳矩阵和故障信息,采用故障分量法对故障后网络进行短路计算,从而可实现三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路故障计算。最后,将计算结果存入故障计算数据库。

3) 整定计算模块。分为原理级和装置级。原理级是对保护装置信息进行录入,包括设备生产厂家信息,保护信息和与保护相配套的灵敏度校验信息,还有控制字信息。

装置级指的是对接线图中的元件配置保护和定值计算。内容包括元件配置保护、参数值输入、定值计算、灵敏度校验和对定值计算结果的存储。其中若灵敏系数校验时不满足要求,可以对整定参数进行修改,重复整定计算过程。

4) 参数管理模块。是对元件额定参数、故障计算结果和整定计算结果的管理。具体的功能有:对元件额定参数的查看;通过选择故障类型

一选择故障点,对故障计算结果进行查看,并可以通过Excel格式输出;对某个元件的整定结果的查看是按照“选择元件→选择厂家→选择装置系列→选择保护名称”的顺序,并且该窗口可以对参数进行修改并重新整定。此外还提供了定值单的输出,其输出形式为Word,输出内容包括保护依据、保护原理和整定过程,保证内容的完整性和实用性,方便用户在现场的使用。

结束语

本文重点介绍了可视化发电厂继电保护整定计算软件的总体构架,提出了面向对象的理念和一体化的构思,对软件系统几个关键技术给予分析并对整定计算模块、故障分析模块、系统管理模块及计算结果管理模块上具体的功能设计进行详细的介绍。可视化继电保护整定计算软件是专门针对发电厂从事继电保护工作的工作人员而开发的,并已经应用在国内两个大型水电站中,通过软件系统电厂继电保护人员能够熟悉主接线系统及厂用电系统中各电气元件的保护配置情况及配置保护的整定计算原则、参数选取、灵敏度校验等,使继电保护工作人员更系统地掌握发电厂继电保护相关内容。EA

(收稿日期:2015.05.08)

(编辑:杨得润)