

图式化智能供配电网设计系统

周 媛¹,冯林桥¹,张午阳¹,陈湘波²

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082;

2. 湘潭电业局,湖南 湘潭 411100)

摘要: 针对当前供配电网计算机辅助设计 CAD(Computer-Aided Design)存在的主要问题,提出了图式化供配电网智能设计方法,并构筑出该应用系统的结构模型。采用可视化编程语言 Visual Basic 和 MapInfo 公司的组件式地理信息系统 MapX 作为开发工具,运用先进的面向对象技术、计算机图形处理技术、人工智能技术和数据库技术,在专家系统决策下,形成供配电网设计方案,并将多个可行方案进行分析比较,获得设计的最佳方案,同步自动生成代表设计成果的各类工程图形。系统集成图形处理、工程数据管理、分析计算、方案择优等功能于一体,提高了设计工作效率。

关键词: 供配电 CAD; 专家系统; 组件式地理信息系统; 矢量绘图

中图分类号: TM 734;TM 76

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)07-0053-04

1 系统概述

图式化智能供配电网设计系统在传统电气计算机辅助设计 CAD(Computer-Aided Design)基础上,融合知识表示与专家系统构成供配电 CAD 的框架结构模型。利用地理信息系统(GIS)为规划设计提供强大的空间分析和地理图形显示功能。采用高级语言交互式绘图技术实现各类电气图形的绘制和生成。在专家系统决策下,利用智能模型构建多个可行方案,并进行各项分析计算。将多个可行方案输入 CAD 系统,按图 1 所示流程,逐步完成分析比较、设计校验、方案优化,从而获得设计的最佳方案,同步生成代表设计成果的各类工程图形。

型的构建中,使电气量的分析模型与系统图元实体结构模型相关联,建立了高层次的,融合反映电网、元件、节点物理属性、状态信息、电气参数与工程图形实体结构的复合模型。模型为层次结构:基本层元素由实际变电站、线路、用户抽象为电气元件及其标志图元;第二层次元素为描述电气元件的多种属性,如空间位置、结构参数、技术参数、运行状态、隶属关系等。通过复合模型,不仅可获得工程图形结构框架、元件连接等信息,还可由此提取出电气元件的拓扑结构作为分析计算的依据。

通过建立图元对象与电气元件间的关系、图元结构属性参数与电气元件物理参数间的关系,利用电气图元所在位置函数实现对指定设备的模拟操作控制,包括参数的查询、状态的改变、保护的配置及设备的增减,达到显示的设备图形与库中后台数据的联动操作,使设计过程中任一时刻都保持对应的协调关系。

2.2 图形处理

在开发供配电网 CAD 系统时,运用图式化技术进行辅助设计,能够使设计工作形象、直观,一目了然。

供配电网机构复杂,线路分布广,设备种类多,具有明显的地理特征。地理接线图在规划设计中必不可少,它显示系统中变电所的地理位置,电力线路的路径,以及它们相互间的联结。由地理接线图可获得对该系统的宏观印象。由于地理接线图难以表示各主要电力设备间的联系,对系统的进一步了解需要阅读电气接线图,同时设计中的常规分析计算及网络拓扑也需要在电气接线图上完成。作为设计成果的工程图形还包括相应的施工安装图及端子排图。

在供配电网设计中,运用 GIS 可以很方便地显示地理图^[1],通过电子地图的图形界面,可对图形进行放大、缩小、漫游。直接在地图上进行点选和拖动

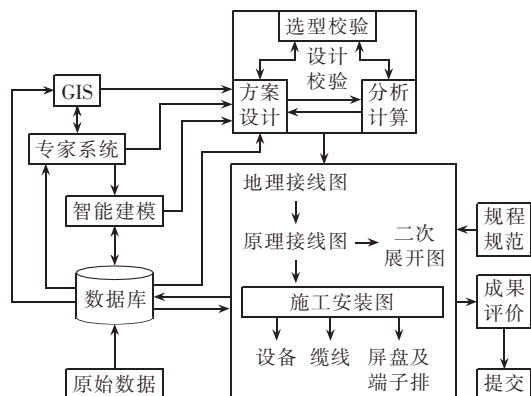


图 1 图式化智能供配电网设计系统结构框图

Fig.1 The block diagram of graphic intelligent design system for power supply and distribution network

2 系统主要内容

2.1 智能建模

智能建模将知识表示与专家系统融入供配电模

即可创建、修改电网的结构、设备的布置,以及相关信息的存储和管理。同时利用 GIS 的空间分析、资源分配和最佳路径选择功能,可缩小优化规划程序的搜索空间。在可视的地理环境中布置网络和电气设备,使电网避开山地、河流、建筑物等不适宜位置,方便地选择变电站地址和架空线走廊,做到准确合理,防止失误。

利用高级语言(VB)矢量绘图技术,建立绘图所必需的图形库。绘图时,从图形库调出需要的电气图形于绘图区,并按照设计要求对图形编辑处理,包括平移、旋转、缩放、删除等操作。在此基础上实现原理接线图、二次展开图和施工安装图的自动生成。

智能型 CAD 图形处理部分将图形中的组件图元,如变压器、线路等赋以同步联动操作的属性参数,使这些原本只是几何轮廓的图块成为封装有知识属性及与外部接口的活动对象。一旦图形绘制及属性数据导入完毕,即可从其后台对应数据库中提取设计所需的有用信息,使设计中的各项分析计算能在可视化的环境下进行。

2.3 工程数据管理

在供配电网设计的过程中,需要处理大量数据,系统利用关系数据库对各类数据进行有效的组织和管理,可实现数据资源共享,又可保持数据的独立性和完整性,避免不必要的重复冗余,并能对各种数据进行存储、查询、修改及安全保护。

供配电 CAD 数据库包括空间数据库、图形数据库和属性数据库。空间数据库存储地理图层信息。图形数据库存储各类图形结构参数。属性数据库包括电气工程基础资料和电气设备元件数据。在绘图、分析计算以及方案择优中都可从数据库中获取需要的信息进行供配电网的辅助设计。

2.4 规划与设计

供配电网规划与设计的目的是根据用户要求及负荷与电源分布情况,按国家有关供用电设计规定解决对用户安全、可靠、经济供电的问题。其主要组成包括以下部分:

- a. 空间负荷预测;
- b. 变配电所布点及布线,线路及联络线优化配置;
- c. 变配电所一次部分设计,即电气主接线设计;
- d. 变配电所二次部分设计,包括操作电源系统、电气测量、绝缘监测、断路器的控制、信号回路、中央信号系统以及自动装置等二次回路的设计;
- e. 潮流及无功补偿和短路、继电保护整定计算;
- f. 电气设备及导线电缆的选择校验;
- g. 在专家系统决策下,对多个可行方案进行全面的技术经济比较,获得最优设计方案。

3 系统实现

3.1 系统总体设计

系统采用美国 MapInfo 公司推出的一种基于

OLE 的嵌入式 GIS 组件 MapX 和可视化编程语言 Visual Basic 作为开发工具实现供配电网辅助设计的各项功能,包括设计、图形处理、数据管理、分析计算以及方案的比较优化。MapX 是一种功能强大的地图化组件,可以嵌入到用户应用程序中而引入地图的功能^[2]。系统将 MapX 控件嵌入 VB 开发环境,与其他非 GIS 控件形成无缝集成。后台数据库采用 SQL Server 2000 进行数据管理。具体设计结构如图 2 所示。

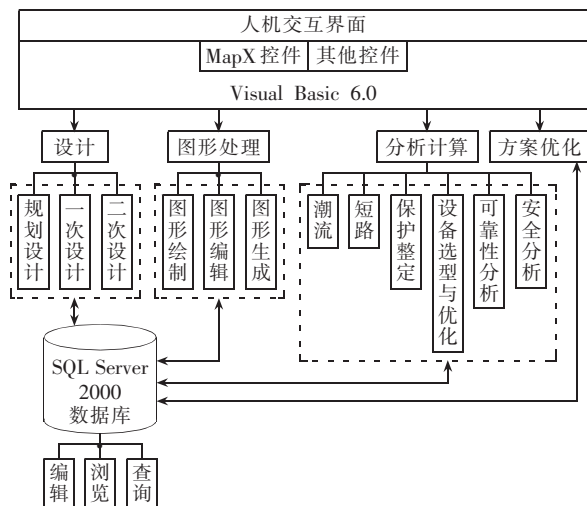


图 2 图示化智能供配电网设计系统功能结构图

Fig.2 The function diagram of graphic intelligent design system for power supply and distribution network

3.2 图形模块设计

为了获取供配电网设计中所需要的地理信息,将 MapX 组件添加到 VB 开发环境中进行二次开发。在设计阶段将 MapX 控件放入窗体,并对其进行设置属性、调用方法或相应事件编程,即可实现数据可视化、专题分析、地理查询等丰富的地图信息功能。

供配电 CAD 中的电气设备图形,如开关、变压器、线路、电动机等都是由点、线、圆、弧、矩形等最基本的图元构成。使用矢量绘图技术,利用 VB 6.0 的图形方法和对象属性进行拖动绘图。同种设备的图元由于相似性,可归结为同一图元类^[3],建立常用设备子图库。对开放式子图库,用户可根据需要随时指定某被编辑图形为子图而置于库中,在作为子图添加于原库后,将原图库从库尾扩容。增加的子图长度及起始地址同时进入索引中。同理,当要删除库中的某个子图时,由要删除子图的页号和位号,计算出其序号,将其在库中的数据删除,其后续子图数据逐一前移填补空位,并相应修改索引中的长度及地址。所建子图库开关类和绕组类部分子图列出见图 3。

为了方便、快捷地实现图形的绘制和生成,建立支路图库、模板图库以及字符条文库。由工程设计基础资料,可直接从库中调出相应的标准设计样图,在此基础上根据设计方案的具体要求进行修改和完善,形成最终的规则设计图。图形系统除具有交互

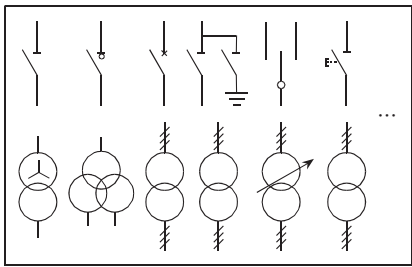


图 3 电气元件子图库页面

Fig.3 The sub-graph database of electric components

操作功能外,还应实现图形的自动生成。从图形数据库中获取绘图所需的数据结构,并对图形数据进行编辑处理,利用 VB 高级语言实现图形绘制的参数化,自动组屏生成各类工程图形。

电气图形中的电气图元不仅是电气元件的几何描述,而且联系着与之相关的属性参数^[4]。通过对这些图形操作的事件响应,可建立几何图元与数据库间的内在联系。如双击屏幕上已绘图元,则激活参数输入事件,弹出相应的数据输入窗口,可供输入数据或修改原有数据。输入的属性参数与自动记录的图元结构数据是实现图元与数据库系统联系的桥梁。

3.3 数据库模块设计

数据库设计是整个供配电 CAD 系统的核心部分。如前所述,可将系统数据库分为空间数据库、图形数据库和属性数据库。

空间数据库存放对应空间实体的地理编码,如标识变压器的地理位置、各类线路的分布及走向等,它还隐式地包含了各空间实体的地理坐标。MapX 以电子地图作为底图,将空间数据进行分层管理。在供配电网地理图中,可以把变压器、高压开关、电缆、架空线等不同类的设备分别放置在不同的图层中,利用这些数据和信息可以构成电气设备的地理拓扑连接关系。图 4 说明了 MapX 的这种空间数据结构。

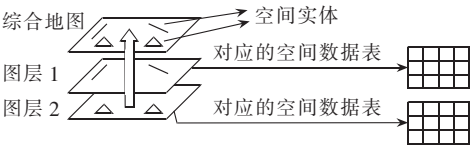


图 4 MapX 的空间数据结构

Fig.4 The space data structure of MapX

图形数据库存放图形的结构数据,在绘图的同时自动跟踪记录。它包括电气元件子图库、支路图库、模板图库以及字符条文库。电气元件子图库可分为缆线类、开关类、电机线卷类、高压电器类、保护控制类。子图库包括索引数据和子图数据。库首为索引数据,包括子图起始位置和子图记录条数。子图数据包括图元特征代码、定位坐标、图元尺寸等数据。对应的字段含义如下:

$\left. \begin{matrix} 1 & X_1 \\ 2 & Y_1 \end{matrix} \right\}$ 坐标,直线首端坐标或圆心坐标或图心坐标;

- 3 X 坐标,直线末端横坐标或圆半径或子图缩放的倍数;
- 4 Y 坐标,直线末端纵坐标或圆半径或弧起始角或子图旋转因子;
- 5 弧终止角;
- 6~10 1~5 位置旋转 90° 的值;
- 11 颜色码。

支路图库可分为电源进线、馈线、互感器、支流支路、电机控制回路等。模板图库为各不同电压等级、不同主接线方式的标准设计样图。设置图名、所包含的电气元件的图柄、代号以及几何结构信息(坐标、尺寸)等字段。字符条文库提供图形中必须嵌入的文本信息:名称、参数、技术条件等。将电气元件常有的型号、规格、技术数据等信息分类归纳,以串为单位存储。每串文本均含有文字、字体、字号、特征等数据项。将各类图形分别在不同的数据表中保存,并在各个表之间建立链接关系,利用关系数据库的强大功能实现对数据的查询及更新。

在属性数据库中,将电网所有元件的原始参数(型号、规格与技术数据等)置于不同的表中,包括变压器表、线路表、电抗器表、断路器表、电容器表等。例如,对于双绕组变压器数据表,可设置以下字段:编号,额定容量,一、二次额定电压,短路电压,空载电流,短路损耗,空载损耗,电阻,电抗,一、二次节点编号,一、二次 TA 变比及绕组接线方式等,元件参数采用易获得的铭牌数据,电阻、电抗自动计算显示。

空间地理位置信息与电气设备元件数据是一一对应的。要查询某设备的数据时,MapX 首先在空间数据库中查找出设备所在图层,然后根据选中设备的标识在属性数据库中查询出相应的数据。二者之间的连接是双向的,根据指定的设备参数也可以在空间数据库中查询满足条件的地理图形。

MapX 通过数据绑定引用空间数据库,支持对多种常用数据库的访问,在 VB 环境中利用通用数据库的结构化查询语言(SQL)访问图形数据库和属性数据库。

3.4 分析计算模块设计

分析计算模块分为多个子模块,建立分析及设计的方法库,包括功率分布计算及变配电所高、低压母线负荷统计计算,各母线及各馈线出线末端节点短路电流计算,电气设备及导线电缆选择校验,主要设备及电网继电保护整定计算,可靠性、安全性分析等。其结构较复杂,设计方法及实现详见文献^[4]。

3.5 专家系统模块设计

供配电网设计中的非数值问题;设计方案提出、比较、最优方案选择,以思维和推理为基础,需要综合多个学科的专业知识和设计者丰富的设计经验,很难用明确的数学模型表达清楚。这类问题由供配电 CAD 中的专家系统决策完成。专家系统是基于知识的程序设计方法建立的计算机系统,它主要由知

识库、推理机、数据库、知识获取、解释几部分组成。基本结构如图5所示。

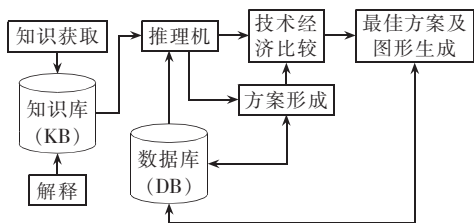


图5 专家系统基本结构图

Fig.5 The basic structural diagram of expert system

知识库由电网设计必需的非数值型知识和经验条目组成,包括相关的规程、规范、原则、标准的有序描述和专家在实际工作中得出的经验知识。系统采用关系表格知识的表示方法^[5],它是一种抽象的数据结构,是数据结构和所赋予操作的组合,是数据抽象和功能抽象的统一体。关系表格知识中的选择查询功能,能对知识库中的知识在深度和广度上方便搜索,增加了知识库的通用性、灵活性、可扩充性。

推理机实际上是一组程序,用于控制、协调整个系统。采用条件驱动的前向推理控制策略,在设计过程中,按一定的设计流程通过与用户的交互获取一些必要的条件,再以这些条件为基础合理利用知识库中的知识进行逻辑推理,得到多个可行方案,经过全面的技术经济比较,获得最佳设计方案,并同步生成主要图形。专家系统也赋予用户人工干预的权力,即用户可通过解释部分了解推理过程,如果对结果不满意,可以修改条件或知识库重新进行推理。

4 结语

本文在供配电系统常规模型的基础上提出新的智能建模的原理和方法。将最新的面向对象技术、计算机图形处理技术、人工智能技术及数据库技术

引入供配电工程设计,并与电力系统优化分析相结合,实现完整的智能供配电 CAD 系统。该系统现已进入试运行阶段,界面友好、功能齐全、运行稳定、可扩性强,大大提高了电气设计人员的工作效率,获得用户好评。文中采用的技术和方法也可推广到其他领域的辅助设计,促进 CAD 技术向智能型高层次发展。

参考文献:

- [1] 孙才新,周 泉,刘理峰,等. 电力地理信息系统及其在配电网中的应用[M]. 北京:科技出版社,2003.
- [2] 卢 洵,姚建刚,谷林峰,等. 基于 ComGIS 的短路计算系统[J]. 电力自动化设备,2004,24(9):73-75.
LU Xun,YAO Jian-gang,GU Lin-feng,et al. Short circuit calculation system based on ComGIS[J]. **Electric Power Automation Equipment**,2004,24(9):73-75.
- [3] 苏金明. 用 Visual Basic 开发交互式 CAD 系统[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 冯林桥,许文玉,王姿雅. 电力系统及厂矿供电 CAD 技术[M]. 长沙:湖南大学出版社,2004.
- [5] 杨宛辉,许 珉,谢 琦. 变电站计算机仿真培训专家系统开发与应用[J]. 继电器,1999,27(3):32-34.
YANG Wan-hui,XU Min,XIE Qi. Development and application of the computer simulation training expert system for substation[J]. **Relay**,1999,27(3):32-34.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

周 媛(1980-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为电气工程 CAD 及信息管理(E-mail:janeyuan7@163.com);

冯林桥(1946-),男,湖北荆州人,教授,主要研究方向为电力系统运行分析、电力 CAD 及其应用软件研究开发;

张午阳(1979-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要研究方向为电力市场软件开发和电力调度;

陈湘波(1974-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事电网规划及设计的研究。

Graphic intelligent design system for power supply and distribution network

ZHOU Yuan¹,FENG Lin-qiao¹,ZHANG Wu-yang¹,CHEN Xiang-bo²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Xiangtan Electric Power Bureau, Xiangtan 411100, China)

Abstract: Regarding to the main problems of present CAD(Computer-Aided Design) for power supply and distribution network,a graphic intelligent design method for power supply and distribution network is put forward and the structural model of its application system is given. The program is developed with Visual Basic and MapInfo's MapX. It applies object-oriented technology,computer graph processing technology,artificial intelligence technology and database technology. With the decision of expert system,the design schemes of power supply and distribution network are formed. Several feasible schemes are compared and the optimal one is accepted,with various engineering graphs generated automatically. The functions of graph processing,engineering data management,analysis and calculation,scheme optimization and so on are integrated in the system,which improves the work efficiency of design.

Key words: CAD of power supply and distribution; expert system; component geographic information system; vector plotting