

城市电网运行智能决策支持系统

杨宛辉, 王克文, 王军, 许珉, 李予州

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 研究和建立了适用于城市电网无人值班变电站集控中心的运行智能决策支持系统(简称决策系统)。该系统利用已有 SCADA 系统的数据资源, 组建和开发了数据通讯、数据库管理和图形处理平台的相应软、硬件; 结合实际系统的具体特点, 研究和开发了一些实用的高级应用软件, 包括事故诊断、恢复决策、短路计算与分析, 以及网架优化、无功优化等安全经济分析功能, 为电网运行提供科学的最佳在线指导。

关键词: 监控系统; 故障诊断; 事故恢复; 安全经济分析

中图分类号: TM727.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)14-0056-G4

0 引言

目前, 城网的建设和技术改造发展很快, 其中无人值班变电所的发展尤为迅速。如 1990 年全国仅有郑州、深圳等地 14 座 35~110 kV 变电所实行无人值班运行, 而到 1995 年已有广州、大连等 60 多个城网 340 多座变电所实行无人值班, 现在无人值班变电所在城网中已经非常普遍。承担这些无人值班变电所监控任务的控制中心都配置了完善的综合自动化系统, 利用其中的 SCADA 系统采集到的数据资源, 开发实时在线的高级智能决策支持软件是近几年来国内外电力工作者十分关注的课题。

本项目开发的目的是与意义是, 利用已有无人值班变电所集控中心 SCADA 系统的数据资源, 开发高级应用软件, 为电网提供科学的最佳在线运行指导; 运用科学的方法为集控中心值班人员开发和提供该电网事故发生后的事故诊断和恢复决策。

该项目以河南省南阳 110 kV 城网为实际应用开发对象, 并且充分考虑到系统的通用性和可移植性, 能够在其它城市电网中应用。

1 南阳城市电网的基本情况

南阳市近几年的用电量增长很快, 随着附近两个电厂的投运和城网改造工作的进行, 其城网 110 kV 无人值班变电站集控中心于 1998 年末建成并投入运行。该中心采用了 SUPER-2000 型微机综合监控系统, 具有常规监控系统的功能。现已接入无人值班变电站 14 座, 该中心的大多数变电站和输电线路采用 ISA、LEP 型微机保护。该市 110 kV 电网电气一次系统图如图 1 所示。

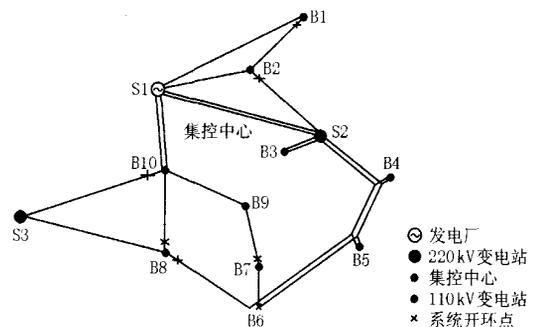


图 1 南阳市 110 kV 电网电气一次系统图

Fig. 1 110 kV urban system in Nanyang

2 决策系统主要功能模块

决策系统的总体框图如图 2 所示, 其主要功能模块有: 数据通信、系统数据库、图形平台、安全经济分析、故障诊断与事故恢复、短路计算与保护灵敏度校验等。

2.1 数据通信^[1]

决策系统数据通信的任务是实时获得城网运行参数和保护动作等信息, 并将其送给本系统的高级分析软件。由于这些参数和信息已经以遥信量、遥测量、SOE 信息、保护事件等形式传入集控中心。本系统采用与集控中心 SCADA 系统通信的方式获得数据资源, 在不干扰 SCADA 系统正常工作的前提下, 共享其数据的方式、方法以及使用规约。数据通信为本系统的高级分析工作提供了数据基础, 也增加了集控中心数据的通用性和使用效率。

本系统的数据通信以串口通信方式与集控中心原有的 SCADA 系统共享数据。由于原系统数据传输使用的是点对点的 RS-232C 通信协议, 所以一个子站对应主站的一个 Modem, 多个 Modem 与主站前

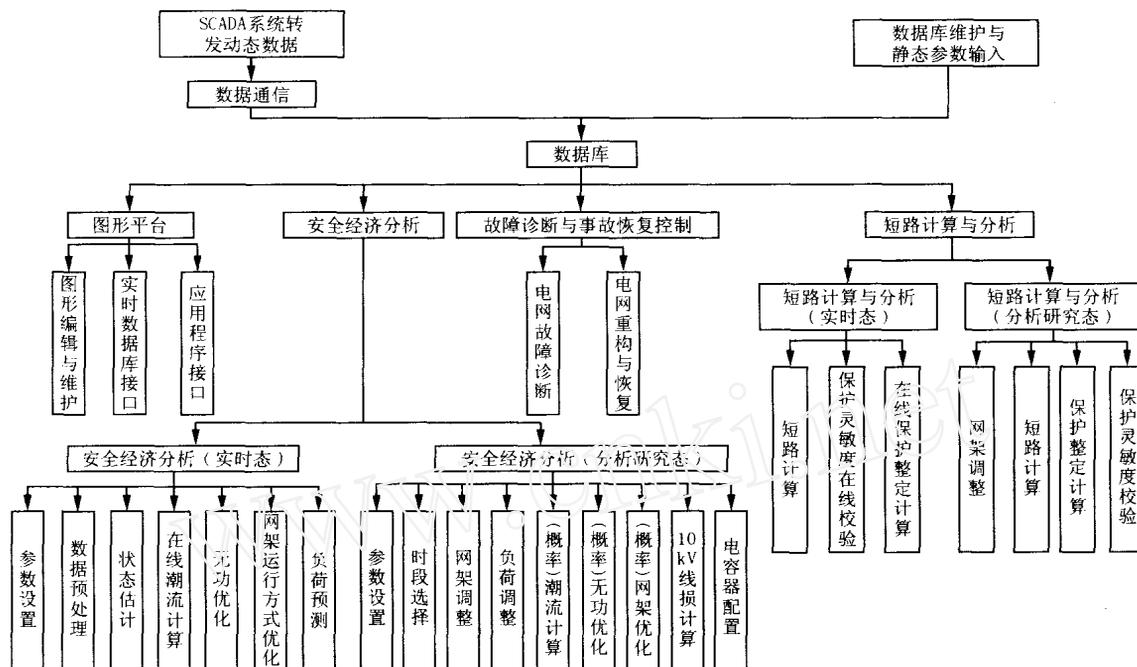


图 2 电网运行智能决策支持系统总体框图

Fig. 2 Overall structure of intelligent decision-making supporting system in power network

置机的多串口卡连接,它向本系统前置机发送数据时,将其当作自己的一个下行子站。本系统的前置机将数据处理后,通过局域网实现数据共享。连接方式见图 3。

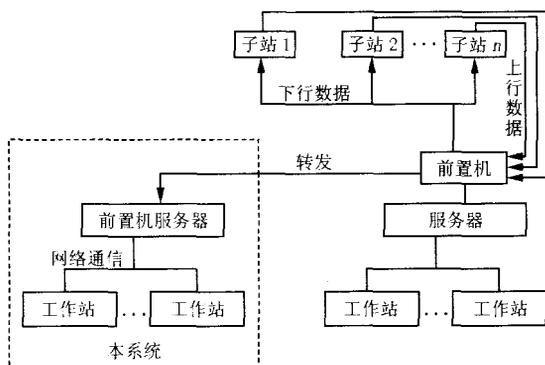


图 3 数据传输的连接方式

Fig. 3 Connection mode of data transmission connection

2.2 决策系统的数据库

为满足系统对数据信息的要求,必须建立安全、高效的数据库系统。本系统的数据库采用自行开发与利用大型商用数据库系统相结合的方式,即实时信息采用自行开发的实时库,网络参数、历史数据等信息在商用关系数据库上开发。

实时数据库、商用关系数据库以及高级分析软件之间存在相互的数据接口。实时数据库与高级分析软件之间的数据接口由程序设计实现。高级分析

软件通过接口访问实时数据库和商用关系数据库。

实时数据库、商用关系数据库和数据接口三者相辅相成构成了本决策系统的一个记录、保持和操作数据信息的有机体,统称为数据库系统。

数据通信与数据库系统为决策系统提供了可靠的数据支持。

2.3 图形平台^[2,6,7]

为本系统开发的电力系统图形支撑平台简称图形平台,它同时也具有通用性以及考虑了今后扩展的接口,其基本功能如下:

- 1) 提供图形编辑环境。在此环境中,可以使用系统提供的各种元件模型进行电气接线图、地理接线图以及元件参数等多项录入工作。
- 2) 完成图形录入工作后,系统根据图形自动生成网络拓扑数据,同时进行网络验证和数据检错,为应用软件提供可靠的基础数据。
- 3) 提供元件模型的定义与编辑功能。当系统提供的元件模型不能满足用户需要时,可以定义新的元件。
- 4) 提供实时运行环境。读取通讯模块从 SCADA 得到的实时遥信、遥测信息,按用户的要求加以显示,建立系统运行状态的实时监视界面。
- 5) 通过 PCAD 控件,为系统的其它部分提供图形化界面支持。

2.4 故障诊断与事故恢复^[3,5]

故障诊断过程就是从被诊断系统的某些检测量中得到故障信息,经过对这些故障信息的分析处理,判断故障源位置。本系统的故障诊断与事故恢复模块是利用原 SCADA 系统采集的数据资源,自动处理故障报警信息、判断故障位置、为值班人员提供恢复决策支持。可起到缩短事故处理时间、防止事故扩大的作用。

实际运行的电网在故障时表现出的故障信息可分为三类:电气量信息、保护动作信息和开关动作信息。原理上讲,只要有完备的故障量信息,就可以很容易地准确判断出故障位置。工程实际中,在故障时从全电网各处测取完整的故障量并实时送到集控中心目前还达不到,而只有实时开关动作信息和保护动作信息。因此,本系统依据开关和保护动作信息进行故障诊断,具有较好的适应性,且不依赖于具体系统的特征结构。

事故恢复的目的是在电网发生故障后,最短时间内最大限度地恢复供电。根据实际系统的运行需要,该功能模块的恢复方式分为两种:方式一,尽量恢复到故障前的负荷水平。因此需要状态估计处理过的各点故障前的负荷值。方式二,系统零启动。需由运行人员设定电源参数与负荷值,相当于网络的完全重构或初始启动。在这两种方式中,均需要来自故障诊断的结果,及正在维修设备的记录。从而将系统所有设备分为已投入、可投入及不可投入三类。另外,电源的负荷分配原则需由电源优化算式确定,而本实际系统中则仅按运行需要预先设定各电源点在负荷中的承担比例。

针对所考虑实际系统包括 110 kV、35 kV 和 10 kV 三个电压等级,可能具有环网运行结构,但网络结构并不复杂的特点,本功能模块采用枚举法自动形成所有可能的运行方式,计算每一个运行方式的各项指标。最后在可行运行方式中,按指标优劣提供前几个最佳运行方式供运行人员参考。所考虑指标包括该运行方式的负荷恢复百分数、开关操作次数、最大母线电压偏移量及相应母线、最小设备裕度及相应设备和全网有功、无功损耗等。而所考虑的约束为支路功率约束、母线电压约束、电源约束等。

2.5 安全经济分析

该功能模块利用已有数据,进行深层次的分析计算,从而提供电网正常运行时的安全经济性分析。从运行实际出发,本模块又分为实时态和分析研究态两种工作方式。安全经济分析的实时态指的是,

对由 SCADA 系统送来的数据所决定的当前实际运行状态下的分析。安全经济分析的分析研究态指的是,对当前实际运行方式修改后的运行方式,或者说是系统需要改变运行方式时,实现模拟新运行方式下的系统各元件状态及负荷值,并对该新运行方式进行分析以确定它是否是安全与经济以及实现该运行方式的几个优化方案。所以说,安全经济分析的分析研究态,为倒换系统的运行方式提供科学计算分析手段。安全经济分析的主要功能模块有:

1) 状态估计^[4]:实际量测获得的数据由于测量和传输误差、干扰因素等原因,使这些“生数据”存在比较大的误差。同时,SCADA 系统为满足集控中心需要所采集的数据由于受到测量装置或种类上的限制,还不能达到电力系统计算分析所需要的数据量,如系统没有提供完整的节点注入量等。状态估计的任务是利用实时测量数据的冗余度,通过状态估计的算法,提高实时数据的可靠性与完整性。本系统用牛顿法基础上的状态估计算法完成原始数据的检错、排错处理,并补足所有运行参数。状态估计的输出可以利用运行环境界面提供的与状态估计的接口,有两种显示方式,即使用户选择在运行环境界面上以图形方式显示系统的实时“生数据”,或者是显示经过状态估计计算后的“熟数据”,也可以选择表格显示方式显示“生数据”与“熟数据”的对比结果。

2) 潮流计算:潮流计算的任务是根据实时测量到的系统负荷数据,对当前运行方式进行潮流计算,计算当前运行方式下系统的总有功、无功损耗,电压越限和功率越限的节点个数以及它们越限百分数等。

3) 负荷预测:是依据历史数据,预测下一时刻的自然负荷水平。依时段可分为年、月、日负荷预测,并进一步按负荷类型、负荷区域细分,为下述各子功能模块提供将来的负荷依据。

4) 无功优化:无功优化算法以某一时段的网损最小为目标,以电容器投入量^[8]及变压器分接头为可控参数,计及各种等式、不等式约束后,求解优化算式。无功优化计算后将给出系统优化处理前后的无功损耗值,并给出当前电容器、变压器分接头的状态,以及优化处理后它们所应该处的状态。即给用户以在线无功优化指导。

5) 网架优化:网架优化是在当前运行方式下计算调整网架结构的一种优化算法。它确定某一时段的最优网架,其目标为安全经济指标,即系统的总有功、无功损耗,电压越限和功率越限的节点个数,它们越限百分数以及开关操作次数等。计算完成后系

统给出当前运行方式以及优化处理后的几种运行方式方案的上述安全经济指标,给运行人员在线网架优化指导。

为满足用户需要,在上述功能模块中还设置友好的用户交互界面,方便地设置有关参数,如平衡点电压、电压的上限与下限值、潮流计算的基准容量和收敛精度等,还有在分析态的工作模式下进行网架调整、负荷预测时段的选择等。

2.6 短路计算与分析

短路计算为在某一运行方式下计算短路电流分布及残压分布,输出电气设备校验、保护整定校验所需的电流、电压值。

短路计算与分析同安全经济分析也有实时态与分析研究态两种工作方式,两种工作方式的区别仅在于分析研究态中要进行与安全经济分析中相同的网架调整,该调整为短路计算与保护灵敏度校验而应用。而实时态提供的是保护灵敏度的在线校验。

1) 短路计算:某一运行方式下计算短路电流分布及残压分布,输出所需的电流、电压值。

2) 保护灵敏度校验:继电保护的整定计算与保护的灵敏度校验,一般是按照预定的运行方式离线计算的。但实际运行方式是经常变化的,保护灵敏度在线校验为在各种运行方式下的保护灵敏度计算提供可能。用户需要根据系统提供的界面输入本电网的保护配置、保护整定值以及有关短路计算的系统参数等,就可以使用本功能。

3 结束语

城市电网运行智能决策支持系统受河南省科委2000年科技攻关项目和省电力局科技攻关项目资助,并得到南阳市电业局积极配合。目前,开发工作已经顺利完成,系统已于2002年5月投入现场正式运行,运行情况良好,已通过技术鉴定,它为保障南阳电业局城市电网的安全经济运行做出了一定的贡献。

参考文献:

[1] 李予州,杨宛辉,许珉,等(LI Yuzhou, YANG Wanhui,

XU Min, et al). 部颁 CDT 循环规约的 VC++ 程序实现(VC++ Program for Protocol) [J]. 继电器(Relay), 2001, 29:32-36.

[2] 阎自凯,杨宛辉,王军,等(YAN Zi-kai, YANG Wanhui, WANG Jun, et al). 电力系统图形支撑平台的研究(Studies of the Intelligent Graphic Supporting Platform for Power System) [J]. 继电器(Relay), 2001, 29:32-36.

[3] 史述红,杨宛辉,王克文(SHI Shuhong, YANG Wanhui, WANG Ke-wen). 城市 110 kV 电网故障元件的快速识别(A Real-time Algorithm for the Identification of Fault Components in 110 kV Urban Power Systems) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2001, 25:37-40.

[4] 于尔铿(YU Erkeng). 电力系统状态估计(Power System State Estimation) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1985.

[5] 胡扬宇,杨宛辉,等(HU Yangyu, YANG Wanhui, et al). 城市电网故障诊断系统(Fault Diagnosis System in Urban Power Network) [J]. 继电器(Relay), 2002, 30(12):28-31.

[6] 杨海晶,杨宛辉,等(YANG Haijing, YANG Wanhui, et al). 城市电网运行智能决策系统的图形平台(Graphic Platform of the Intelligent Decision Supporting System in Urban Power Systems) [J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the EPSA), 2003, 15(3):10-13.

[7] 杨海晶,杨宛辉,等(YANG Haijing, YANG Wanhui, et al). 适用于电力系统应用软件图形平台开发与研究(Study of Graphic Platform for the Intelligent Analytic Software in Power System) [J]. 继电器(Relay), 2003, 31(9):43-45.

[8] 王克文,张建芬,等(WANG Ke-wen, ZHANG Jianfen, et al). 用灵敏度法确定变电站电容器的在线投切(Sensitivity Approach for the On-line Adjustment of Shunt Capacitors in Power Stations) [J]. 继电器(Relay), 2003, 31(9):15-19.

收稿日期: 2003-10-24

作者简介:

杨宛辉(1943-),女,教授,从事电力系统运行与控制方面的研究;E-mail: yangwanhui@zzu.edu.cn

王克文(1964-),男,博士,副教授,从事电力系统稳定性与控制器方面的研究。

Intelligent decision-making supporting system for urban power system

YANG Wanhui, WANG Ke-wen, WANG Jun, XU Min, LI Yuzhou

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

(下转第 75 页 continued on page 75)

把模拟屏上的电力联络线用光带来表示?在模拟屏的中间还是一边来嵌入投影系统?等等。经过综合考虑,我们没有上地理接线屏,没有在模拟屏上增加光带,我们把投影系统嵌入在模拟屏的左边(正视)。

2) 在工程实施阶段,我们注意到了下列问题:我们让模拟屏上的“厂站名灯”对应于变电站的“事故总”遥信信号,对于没有事故总信号的综合自动化变电站,我们让“厂站名灯”对应于调度自动化系统中远动厂站的投退状态;对没有远动功能的变电站,模拟屏系统通过人工置数功能来完成模拟屏上的显示控制;模拟屏上遥信灯、遥测显示器与屏控机数据库的一一对应是一项费时且需要特别仔细的工作,即使利用其“灯光对位^[1]”功能,也需要多次反复甚至直到试运行阶段的检查才能做到;一个变电站的遥信量尽量从同一控制箱的一块或多块遥信模板的转接盒上接线,并适当预留空点,以便改动或改造。

3) 在试运行阶段,我们注意到:投影系统使用较多,但不应频繁开机关机,也不应长时间使用,要遵守其使用说明;模拟屏系统有音响告警功能,远动工作站也有此功能,可屏蔽掉模拟屏系统的这一功能;对没有远动功能的变电站要及时在屏控机上人工置数,使模拟屏与电网实际运行方式相符,并检查

模拟屏系统运行情况。

5 结语

本文介绍了改造后的大港油田电力调度模拟屏系统的硬、软件构成和特点,模拟屏系统与调度自动化系统之间通过专用屏控机连接的原因以及投影系统在调度自动化系统中应用及其前景,解决原有系统需人工置位的问题,减轻了调度人员的负担,改造后运行状况良好。

参考文献:

- [1] 宁波天明电子股份有限公司(Ningbo Tianming Electronic Co., Ltd). 调度模拟屏说明书(Mimic Board User's Manual) [Z].
- [2] DL/T 550-94,地区电网调度自动化功能规范(Function Specifications for the Dispatching Automation in District Electric Power System) [S].

收稿日期: 2003-10-12; 修回日期: 2003-12-28

作者简介:

龙家文(1970-),男,硕士,工程师,从事调度自动化系统运行与维护工作; E-mail: ljwlt2000@yahoo.com.cn

刘学国(1962-),男,工程师,从事电网运行管理工作。

Rebuilt of power dispatching mimic board in Dagang oilfield

LONGJia-wen, LIU Xue-guo

(Power Dispatching Center Attached to Water & Power Supply Company in Dagang Oilfield, Tianjin 300280, China)

Abstract: The structure and features of the rebuilt power dispatching mimic board in Dagang oilfield is introduced in this paper. Then the scheme of mimic board's connection to the dispatching automation system is discussed. Finally, the application of projection system in electric power system is presented.

Key words: mimic board; power dispatching automation system; projection system

(上接第 59 页 continued from page 59)

Abstract: An intelligent decision-making supporting system is studied and established in the control center of urban unattended substations. With the available data resource in the existing SCADA system, the hardware and software for data communication, database management and graphic supporting platform are developed. Based on the concerned urban system, some advanced application softwares have been completed for fault diagnosis, system restoration, short circuit computation and analysis, as well as for the network configuration optimization and the reactive optimization. The presented system will provide the best online guidance for operators.

Key words: SCADA; fault diagnosis; fault restoration; security and economy analysis