

智能电网下可视化技术的展望

刘俊勇^{1,2}, 沈晓东^{1,2}, 田立峰^{1,2}, 陈金海^{1,2}, 黄 媛^{1,2}, 李成鑫^{1,2}

(1. 四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065;

2. 智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 综合分析智能电网和电网调度的发展状况, 结合计算机科学的最新发展成果, 论证调度员在新型的智能调度系统中承担的重要工作角色, 提出“以调度员思维模式为框架, 以可视化界面为功能模块, 以互动计算为系统核心”的智能调度构架, 其能适应电网在多个维度上的特点, 进行多方面协调。指出了建设智能调度, 在人机一体化协同决策模型、数据融合、态势可视化、快速仿真和建模、智能告警、智能调度及备调系统, 应急指挥中心一体化、调度员行为后评估等领域需要解决的关键技术问题。

关键词: 智能电网; 态势感知; 智能调度; 可视化调度; 互动计算

中图分类号: TM 732; TM 734

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)01-0007-07

0 引言

智能调度以电网调度系统为对象, 通过不断研发、应用新型的电网控制技术、信息技术和管理技术, 实现电网调度各环节信息的智能交流。智能调度是提高电网调度安全生产保障能力和决策能力, 提高调度资源共享和优化配置能力, 提高电网调度规范化、标准化、精益化和智能化运行和管理能力, 为电网安全、优质、经济运行提供支持和保障的技术体系。目前, 国内外都在向智能调度方向发展, 以期解决电网规模和复杂性增加后电网调度的安全和经济运行问题。如美国 EPRI 成立了智能电网研究工作组, 国内高校和科研院所也都成立了相关的科研小组或机构, 取得了一系列成果。西安交通大学利用多 Agent 电网运行决策支持系统^[1], 通过 Agent 将调度员与相关的专家联系起来, 从而实现了电力系统理论方法、专家的知识经验和计算机之间的相互结合, 参与的专家不但可以利用自己的方法做出决策, 还可以指导系统中其他 Agent 的运行, 既支持组织决策, 也支持个体或群体决策。文献[2]将态势感知(situation awareness)引入调度系统, 准确有效地预测系统的安全态势, 使得系统的安全管理从被动变为主动。调度员可以判断系统安全所处状态的趋势, 更好地理解系统状态及其所受扰动的状态, 能在电网遭受扰动和故障之前, 及时采取防御措施, 加强电网安全设备的安全策略, 更改电网安全监管的安全规则, 真正达到电网安全主动防御的目的。文献[3]基于空间、时间、控制目标三维协调, 发展的思想分析了电力系统中电力流、信息流、资金流的变化规律和相互之间的制约关系。通过对信息流的调控, 改善电力流和资金流, 实现智能电网。以信息流为基础, 从信息分层、上

下层信息互动、不同时间尺度信息之间的协调几个方面研究了智能电网调度控制系统构架。文献[4]基于一一体化的思路, 通过一体化智能应用支撑技术、一体化调度计划运作平台、一体化调度管理等功能搭建了智能调度的关键技术构架, 提出运用大电网智能运行控制技术, 将通过广域、迅捷、同步、精确的量测感知, 自适应智能决策, 建成智能电网安全防御系统。

本文综合分析智能电网^[5-8]和电网调度的发展状况, 结合计算机科学的最新发展成果, 充分论证调度员在新型的智能调度系统中扮演的重要角色, 提出“以调度员思维模式为框架, 以可视化界面为功能模块, 以互动计算为系统核心”, 设计了一个自动预警型、计算机主动、自动运行的智能调度系统, 能适应电网在多个维度上的特点进行多方面协调的综合和智能辅助决策。

1 可视化调度的实践

我国在智能调度领域已经开展了很多有益的技术尝试。近年来, 华北电网稳态、动态、暂态三位一体安全防御及全过程发电控制系统, 华东电网公司开展的以高级调度中心项目群为突破的智能电网探索, 智能可视化技术^[9]等方面开展了大量的研究和实践, 为智能调度奠定了坚实的基础。可视化调度系统作为智能电网和智能调度发展的第一步, 迅速引起广大科研工作者的关注和研究, 并用于实际的电网调度系统中。可视化系统作为智能调度系统的雏形也受到了电力部门的高度重视。

可视化技术随着电力系统的发展需要不断进步, 从最初的电网单线图的数据原始表示及列表表示, 逐步向二维/三维图形化、动画发展, 并吸收了信息学、美学、心理学等学科技术, 形成了一系列与电力系统运行相适应的可视化表达方式。研究表明, 人眼对图形的敏感度大大高于对数据的敏感度, 将

收稿日期: 2009-11-20; 修回日期: 2009-12-04

该理论实践用于电网运行监控,调度员很容易从可视化后的图形中及时发现电网存在的问题和变化趋势,提高决策效率。在线可视化调度和预警系统通过标准的数据库进行数据交换,并以设备为单位,采用面向对象设计,借助于计算机图形理论和技术,形象生动地显示电网运行信息,为调度人员提供电网实时数据的分类管理,并且挖掘出那些对电网运行有重要影响的数据,对这些数据进行形象表达,并融入优化控制策略,是电网调度自动化的创新实践。

四川大学电气信息学院开发的可视化调度系统已经具有将实时数据的二维、三维图象展示功能和三维图象的旋转功能;能够将灵敏度、线路断面任意组合用三维排序的方式显示;历史数据、关键线路低频振荡模式、电网的 $N-1$ 扫描结果、云图和分区信息能够用可视化方式快速重演;实时态下电网运行的指标体系和电网静态脆弱性指标用虚拟仪表展示。同时融合管理信息和保护信息后能智能展示设备运行状态、开关 SOE、开关短路容量、变电站电压/无功的控制能力范围及其全过程动态响应、调度员预想方式顺序流、电网优化控制策略。基于 Google Earth 的可视化调度和基于虚拟现实的变电站可视化也成功实现。先后在四川电力公司、北京电力公司、中国南方电网区控中心、贵州都匀电网 500 kV 变电站集控中心、广东中山供电局调度中心等十多个实际网、省、地区、集控站中得到应用。

现有的可视化调度系统还需要通过智能调度建设,实现电网较强的自学习、感知力、告警与预警和抗风险能力,较高的自动化、流程化和精细化程度以及较好的运行经济性,增强电网抵御风险的能力。

2 “调度员思维模式”的智能调度系统的构架

2.1 基本思想和原理

“调度员思维模式”就是采用以人为主,人与计算机共同组成一个调度系统,各自执行最擅长的工作,从而突破传统的“智能系统”的概念,形成达到甚至超过人的能力甚至智力的“超智能系统”。其核心内容是强调人在调度系统中的重要性,以人为中心构成新的调度系统。突破现有系统将人排除在外的旧格局,研究新型的调度模式,研制新一代的调度系统——智能调度系统。目前,国内外普遍采用分层递阶控制思想来实现电网调度的决策系统,采用分层递阶的从顶向下的控制结构。但是,在规模巨大、动态性高的电网运行中,这种分层递阶控制思想尽管逻辑上是比较清楚的,然而,结果却不甚理想,存在一些不足,比如电网的可控性、能控性和智能性比较差。解决这些问题的关键在于充分发挥人的作用,利用人独特的智能来构建智能调度系统。

关于人的智能目前存在多种理论^[10]。人的智能可分为 3 个层次,即智慧、智力和技能。智慧与经验积累和文化提升程度有关,它对人生和重大决策具

有指导意义。智力是智能的主体,它更直接地依赖于人的认知活动,通过感知、记忆、思维等活动,对面临的具体问题进行分析、判断,提出解决办法。技能是人智能的基础层次,它是人与环境相互作用的手段,主要包括感觉、运动、操作和语言。在智能调度系统中,这 3 个层次智能成分都分别发挥重要作用。智慧主要在调度员自身素质、意志、情绪控制及相互关系调整方面起作用,智力和技能则在调度员和人工智能的相互作用中发挥重要作用。除智慧外,人类的综合思维能力和语言能力在可预期的时间内,是人工智能所难以达到或超越的,这就是为什么调度员应当作为这个智能调度大系统的主导和核心的原因。调度员思维包括了形象思维和逻辑思维 2 部分,在复杂的电网运行中形象思维常常占据了重要位置,比如当调度员面对一大堆 SCADA 数据时,常常感到难以梳理;但当面对的是形象的可视化图形时他们会迅速决策,安全经济地控制电网。实际上,目前的电网调度系统的决策系统更多的是强调逻辑思维,而对形象思维重视不够。人的功能特点一方面是具有高智能,另一方面则是速度慢、易疲劳、易出错。而且,人的生理和心理系统虽然具有很强的适应性,但也有很大的脆弱性。所以,建设智能调度系统要充分发挥调度员的作用,利用调度员独特的智能配合机器的高效执行,两者在调度过程中相互取长补短。

2.2 “调度员思维模式”的综合电网态势感知体系模型

态势感知这一概念源于航天飞行的人因(human factors)研究^[11],此后在军事战场、核反应控制、空中交通监管以及医疗应急调度等领域被广泛地研究。在动态复杂的环境中,决策者需要借助态势感知工具显示当前环境的连续变化状况,才能准确地做出决策。以调度员思维模式为基础,提出了电网态势感知模型,如图 1 所示。所谓电网态势是指由各种电网设备运行状况以及用户行为等因素所构成的整个电网当前状态和变化趋势。通过建立一套描述电网态势的指标体系,就可以对当前电网状况有一个直观全面的了解,从而为实现主动安全防御打下良好的基础。值得注意的是,态势是一种状态、一种趋势,是一个整体和全局的概念,任何单一的情况或状态都不

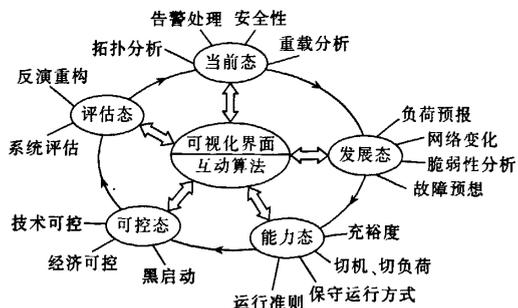


图 1 智能调度系统构成框架

Fig.1 Framework of intelligent dispatch system

能称之为态势。电网态势感知是指在大规模网络环境中,对能够引起电网态势发生变化的安全要素进行获取、理解、显示以及预测未来的发展趋势。

态势感知包括当前态势元素提取、态势评估、电网的能力态、可控态、未来发展态势预测几个部分,主要涵盖以下几个方面:

a. 在一定的运行方式下,提取进行态势估计要考虑的各要素,为态势推理做好准备;

b. 分析并确定事件发生的深层次原因,给出对所监控电网当前态势的理解或综合评价;

c. 通过指标分析电网的控制能力;

d. 已知某时刻电网的状态,预测 $T+1, T+2, \dots, T+N$ 时刻可能发生的事件,进而确定电网态势的发展趋势。

为了对宏观电网的安全态势进行有效的分析、评估和预测,结合电力系统自身的特征,提出了5套相互关联,且覆盖了整个电网各个层面的指标体系,包括当前态、发展态、能力态、可控态、评估态5个方面,这5个指标体系定量描述了电网各个部分的特征。当前态主要完成数据筛选、数据存储、拓扑分析、告警处理、重载分析和安全分析等功能。能力态采用数据融合技术对多源异构数据从时间、空间等多个方面进行关联和识别,制定运行准则和保守运行方式,评估系统充裕度,在预警后制定切机、切负荷策略。评估态采用多层次多角度评估模型,给出网络系统当前安全态势的精确定量描述,以及对态势的重演评估。未来态采用时间序列分析方法等,根据负荷预报、故障预想和网络结构的可能变化趋势,分析网络安全态势变化规律,给出态势变化曲线图,预测将来某一时刻网络安全态势,并给出预测脆弱性分析。可控态主要依据故障威胁程度评估给出相应的响应和防御措施的能力,包括经济和技术上的可控能力及重大灾害时的黑启动能力。态势感知的结果是形成态势分析报告和综合电网态势图,以不同可视化图形表示不同电网状态,使调度员能直观了解电网安全状况,提供辅助决策信息。电网态势感知的结果,根据不同的阈值区间,对应不同的安全等级,可以利用可视化图形中红、橙、黄、蓝、绿等不同色彩,代表不同安全等级。

2.3 “调度员思维模式”的可视化界面展示

“可视化”是指通过图形的方法把电网数据展示给调度员。人相对于计算机系统而言其优势在于无可比拟的逻辑对比分析能力,计算机处理十万条安全事件的速度远比人快上千倍,但从一幅图中发现其变化的趋势以及深层次的原因,人们的直觉却要强得多。通过计算机数据处理能力,再采用不同的算法把电网数据图形化称之为“电网可视化”。电网态势感知本身是一个系统工程,原始数据经过许多流程最终通过视觉在人脑中形成对全网安全状态的宏观认识。作为信息融合的过程,电网态势感知的可视化是一个从底层数据到抽象信息,到获取高

层知识的过程。

电网态势感知的可视化巧妙地把底层的数据转变为调度员可以感知的信息。电网可视化最大的技术优势在于多维度特性与透视特性:“多维度”指不同的数据平面可以在同一个空间中同时展示出来,调度员可以发现不同数据之间的关联;“透视”特性则可以减少图形的视觉冲突,因为调度员可以从上、下、前、后、左、右任意角度观察图形。为了展现电网态势的结果,需要定义可视化的目标:

a. 能够展现各种设备属性,包括发电机、变压器、线路、无功装置、各种保护设备、安控装置等的各项属性,如基本参数、重要程度、地理位置和网络拓扑;

b. 能够展现各种态势关系,态势之间的依赖关系,功能对某项态势的必要关系,功能与子功能的关系以及功能之间的时间联系;

c. 能够展现安全告警,告警的分类、告警的级别、告警的多少、告警所针对的态势进而关联到告警所威胁的态势;

d. 能够展现系统故障,故障的分类、故障的风险等级、故障所涉及的态势进而关联到故障给电网运行带来的风险。

针对以上提出的可视化目标,进一步的工作是可视化场景的设计,即完成数据到场景的变换。例如:利用动态三维图像对有功、无功备用的实时信息进行形象表达。无功备用(通过俯视图显示无功的备用。每个无功设备用一个三维棒图进行表示,总高表示无功的最大安装容量,下部高度表示系统当前无功的投入情况)。变压器温度监控(每台变压器用一个三维棒图进行表示,总高表示变压器温度的最大值,下部高度表示当前变压器的温度。一旦变压器温度越过最大值一定时间,系统会以特殊颜色表示越限情况),变压器备用(通过俯视图显示变压器的备用。每台变压器用一个三维棒图进行表示,总高表示变压器的最大容量,中间高度表示系统当前的功率)三维旋转功能(当系统规模比较庞大,数据较多时,使用三维图形显示数据时,前面的图形可能遮蔽后面的图形,引起判断失误。针对这一问题开发的旋转功能,可以让三维图形在空间 360° 内旋转,使用者可从不同的角度观察图形)。

2.4 “调度员思维模式”的互动计算的设计路线

互动是智能电网的目的和本质要求。基于以上的总体设计思路和原则,在设计路线上以调度员思维为核心,将电网运行的顺序、调度员的思维、电力系统分析的功能有机地结合起来。可视化界面提供数据展示、功能表达、互动计算的平台,有机地将调度员的作用加入到这样一个闭环控制的系统中。这种互动计算融入了调度员的感知、经验,并能将他们的这些感知通过互动计算窗口进行实时计算,做出相应验证。

比如水库智能调度的互动计算。通过收集水电机组及相应水库的发电曲线、耗水曲线、最低水位限

制等数据,实时计算水电机组按给定发电出力时的最大运行时间,以及在给定的运行时间内,水电机组可能到达的最大出力。这个功能的实现是将人-机对话框放在一个可视化仪表中展现的,将时间、水电厂的出力、水位有机融为一体,在虚拟仪表中将互动计算形成了一个联动的展示。为了使本图形系统具有良好的人机接口,在设计中充分利用了 GUI 界面的优点,使操作人员只需使用一个鼠标即可完成几乎所有的操作。

3 关键技术

智能电网是一项复杂庞大的系统工程。它可以全面涵盖发电、输电、变电、配电、用电和调度的各个环节,因而实施智能电网调度必须解决相应的技术问题。

3.1 人机一体化协同决策模型

人机一体化协同决策方法是以人为主,人和机器共同合作决策,这时计算机智能辅助决策程序完全设计成开放式的,计算机和人都可以根据对方提供的信息对自己的决策作相应修正,最终达成共识,得到决策结果。在人机共商决策过程中,重要的是人和机器两者之间的决策既有分工又有协作,一方面通过人机决策任务分配,将适合于机器做决策的任务交给机器去做,将适合于人做决策的任务交给人去做,两者在共同决策过程中相互取长补短,共同进行协商决策,另一方面,人和机器对有些问题同时作出决策,最后通过综合评价得到比较合理的结果,因为人和机器解决问题的思路、方法、侧重点各有不同。例如:机器决策依据的往往是知识库中人类以往的经验知识,以及模型库中的决策数学模型,而人的决策往往是凭自己的直觉经验以及目前的实际情况变化等。所以通过这样的人机共同决策将人的智慧和机器的智能融合在一起,将能进一步提高决策的可靠性。

此类决策问题可以表示成以下模糊结构形式^[13]:

$$\min \text{ or } \max f(X) \cong \tilde{G}$$

$$X \in R^n \text{ 当 } \omega_i(X) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} \tilde{b}_i, i=1, 2, \dots, m, X \geq 0 \text{ 时}$$

在决策过程中,约束条件允许在一定程度上接近 b_i , 这里用约束条件模糊隶属度 μ_{b_i} 表示约束条件接近 b_i 的程度;而决策目标满意度用目标满意模糊隶属度 $\mu_{\tilde{G}}(f(X))$ 表示,它表示目标函数 $f(X)$ 的值与目标值 G 之间的接近程度。

3.2 数据融合

数据融合技术出现于 20 世纪 80 年代,真正得到发展则是在 20 世纪 90 年代。该项技术发展之初就在军事领域得到了广泛的重视和应用。智能调度系统不仅要到省级电网一、二次设备的运行工况进行在线监视和预警,同时对非电网但影响到电网运行的实时信息也要进行监视和预警,包括气象预报

和实时气象卫星云图信息、雷电监测等功能,同时要对这些信息对电网的影响范围和程度进行评估。传统调度系统内部存在多个信息孤岛,缺乏信息共享。虽然局部的自动化程度在不断提高,但由于信息的不完善和共享能力的薄弱,使得系统中多个自动化系统是割裂的、局部的、孤立的,不能构成一个实时的有机统一整体,所以整个电网的智能化程度较低^[8]。智能调度的发展迫切需要加强监控和分析的统一性。在时间尺度上,需要静态、动态、暂态相结合;在空间尺度上,需要各级调度的统一协调;从对象维上讲,既要考虑输电网与配电网相结合,又要考虑经济稳定性(电力市场的影响)与物理稳定性的交织作用。对来自电网中的具有相似或不同特征模式的多源信息进行互补集成,从而获得对当前网络状态的准确判断。同时,在数据融合过程中能对不精确和不确定性问题进行建模、推理。

3.3 态势可视化

态势生成是依据大量数据的分析结果来显示当前状态和未来趋势,而通过传统的文本形式,无法直观地将结果呈现给用户。可视化技术正是通过将大量的、抽象的数据以图形的方式表现,实现并行的图形信息搜索,提高可视化系统信息处理的速度和效率。

但随着网络规模的不断扩大,对可视化技术又提出了许多新的要求。如何将基于不同数据源数据显示方法进行有机的结合,确定态势显示的统一规范,提高显示的实时性,增大系统可显示的规模,增强人机交互的可操作性等都是可视化技术需要进一步解决的问题。

3.4 快速仿真和建模

智能电网的实时运行需要新的理论支撑,需要突破传统的理论框架和运行工具。某些传统电力系统理论研究及实现工具涉及到复杂的模型和计算,在速度上已不能适应智能调度系统快速的数据传递要求。智能调度系统应有针对性地开发和应用快速仿真模型,市场一体化、政策、风险分析等因素都应被纳入系统模型,并量化系统的安全性和可靠性,提供快于实时的超前仿真。该功能首先利用高性能量测和通信系统到得拓扑、潮流、频率、电压、设备实时模型等信息;然后据此进行状态估计和在线分析;最后确定当前系统的安全性、稳定性和经济性。

快速仿真和建模被认为是一个自愈系统的必备条件,该项研究开发一个开放式软件平台,为未来输、配电系统运行、规划和管理提供一整套仿真和建模工具^[14]。图 2 和图 3 分别实现了电网静态安全的超实时计算和超实时短路电流辨识。

3.5 智能告警

目前已实现的告警系统的告警方式都较为单一,告警系统的功能也很有限,绝大多数是基于系统采集数据对电网进行稳定评估,如:连续潮流稳定计算,灵敏度计算,故障筛选与排序,失稳故障识别,再将各种在线实时监视信息和在线实时计算的稳定指

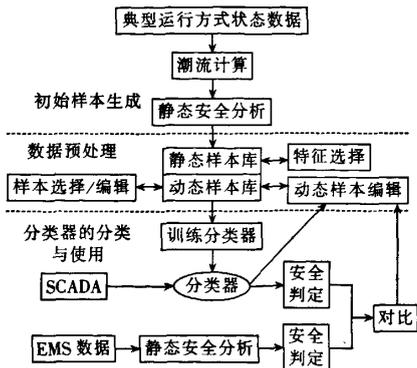


图 2 电网静态安全的超实时计算
Fig.2 Super-real-time calculation of power system static security

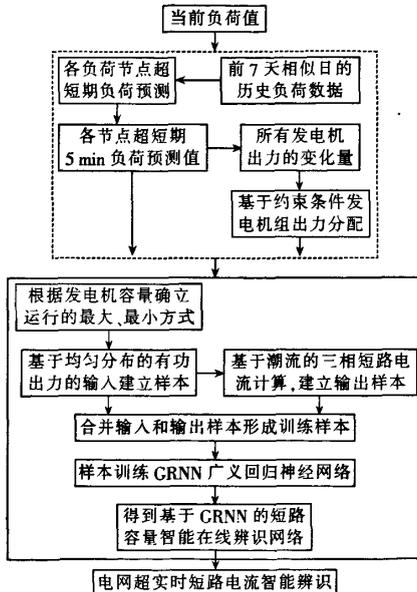


图 3 超实时短路电流辨识
Fig.3 Super-real-time identification of short-circuit current

标进行综合,统一给出预警。从整个告警系统的角度来看,极少有文献是针对故障来分析的,比如不同故障该用什么不同的方式告警,故障之间不同的关联关系也会使告警方式不同。告警方式的单一表现在多数是初始设定元件的上下限,一旦越限就直接告警,没有在越限前预测到可能发生的故障告警,该故障和其他故障之间的相关性分析,以及某个越限发生后会造成其他越限的推理预测告警。告警针对的多是元件的告警,没有从系统安全稳定的高度来判断并提出告警,让调度人员对系统的安全有全局性的把握。同时告警的方式都是基于潮流计算的静态告警,比如 $N-1$ 开断模拟,根据潮流结果来给出告警。对于系统动态变化过程中可能出现的故障并对其告警的研究很少,比如在 $N-1$ 的情况下通过暂态仿真怎样得到下一个故障发生的时间、位置和类

型,即 $N-2$ 的发生,从 $N-1$ 到 $N-2$,甚至 $N-m$ 的动态变化告警少有研究。因为多是针对元件的告警,所以从告警的区域范围看,都是分散的、局部的、独立的小区域的告警,没有对全区的整体告警。告警信息的层次比较模糊,级别需要继续细化,不能完全反映系统中存在的问题以及预测潜在的问题,最具价值的告警信息没有在第一时间被挖掘出来以最直观的方式呈现给调度人员。

基于以上的不足,本文提出一种从元件到系统,从静态到动态,从区域到全区,逐渐推进的智能告警方式如图 4 所示。并且从多角度多层次多区域,从内涵到告警集,再到告警的体系,对其进行大量的分析,目的在于追踪不同类型的故障并对其定位,找到电网主要矛盾点、告警点,使调度人员一目了然地知道电网和设备的状态,从总体上对电网安全做出评估,为调度人员采取快速准确的控制措施提供理论依据和方法。

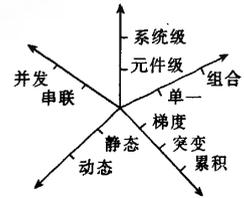


图 4 智能告警的多维分类
Fig.4 Multi-dimensional classification of intelligent warning

在实际电网调度运行中,有异常或故障的情况下,大量监控与数据采集报警信息涌入调度控制中心,调度员被大量数据淹没,很难决策,错失处理事故的良机。智能告警利用一次、二次、静态、动态等的各种信息,按图 5 所示流程对告警信息快速进行分类、筛选和排序,使调度员对故障的类型、程度和等级一目了然,得到当前最关心的关键告警信息,告警内容“少”而“精”,这样就使运行监控人员能够快速地抓住事故重点,及时有效地采取处理方案,提高事故异常处理的准确性和快速性,保障电网安全运行。

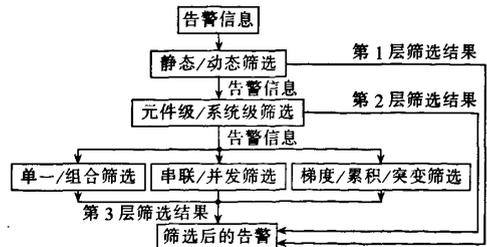


图 5 智能告警信息筛选
Fig.5 Information screening of intelligent warning

3.6 智能调度及备调系统,应急指挥中心一体化

目前电力系统运行管理的功能越来越多,不同的功能往往需要不同的数据库、不同的操作界面,虽然对系统本身来讲只是功能的扩展,对维护使用者来说却增加了大量的重复工作量。如何将数据库、图形、界面等资源进行整合,达到功能之间的共享,实现功能一体化,也成为系统开发重点。在智能调度系统基础上加入备调和应急指挥的元素,通过调度数

据网的扩展,将系统的功能延伸到备调和应急指挥中心。调度、备调和应急指挥一体化的优势在于电网信息的完全统一使用和维护,有利于调度、备调和应急指挥运行的集约化,更加适应复杂化程度越来越高的电网结构。调度、备调和应急指挥一体化并非简单的数量上增加,而是电网监控职能与管理元素增加。例如,调度员关心的是主网系统的情况;而备调、应急指挥中心关心的是针对可能发生的灾难性事故并结合电网实际提出电网快速恢复或保持相对稳定的手段及建议。要实现这个目标,就要很好地设计应用软件的支撑环境,应用软件对实时、历史、未来和外部信息的多态支持,以及各应用软件之间的功能整合等问题。

3.7 调度员行为后评估

所谓调度员行为后评估是指电力系统的调度部门在业务处理中积累了大量数据,可以利用评估技术将这些数据中蕴藏着的许多潜在的重要因素、事实和关联等有价值的信息提炼出来构成调度行为评价指标体系,来评估不同调度行为的质量。调度后评估时所涉及的因素多,有的指标可以量化,但也有不少影响系统整体评估结果的因素量化困难,依据电力系统的本身特点,以文献[15]为基础提出一个综合评价指标体系。该指标由调度操作、可靠性、安全性、经济性、电能质量和交接班 6 个指标构成,如图 6 所示,每个指标下面由若干子指标构成。调度操作可以从流程是否规范,操作设备次数,操作成本等方面进行评估;可靠性可以从调度后系统各种裕度变化和切负荷大小评估;安全性包括稳定判断和过负荷情况;经济性可以从系统网损率和全网购电成本评估;电能质量包括电压偏差和频率偏差;交接班内容包括当前电网运行方式、系统薄弱环节、负荷情况、缺陷处理等情况,使下一个值班对本次值班情况了然于胸,有的放矢地组织处理未来遇到的情况。利用多年积累下来的历史数据,对各种不同类型的数据进行更加细致的划分,同时发现数据中所蕴含的一些非常规的调度模式,并提供优化的策略,这将为调度员对今后的指挥提供借鉴和参考。

调度员 评估指 标体系	调度操作;流程是否规范,操作设备次数、操作成本。
	可靠性;各种裕度变化、切负荷大小。
	安全性;稳定判断,过负荷。
	经济性;系统网损率、全网购电成本。
	电能质量;电压偏差,频率偏差。
	交接班;电网运行方式、系统薄弱环节、负荷情况、缺陷处理。

图 6 调度员评估指标体系

Fig.6 Dispatcher evaluation index systemscreening

调度员后评估涉及电网运行的安全、经济、静态、动态、电压、功角等各种问题。它们本来是交织在一起的一个综合问题,解决这个问题需要处理一、二次系统的同步建模、采集与分析;需要综合处理电网、市场和电量等繁杂、表现形式不直观的数据;需要扩展到静态、动态、暂态三位一体的信息处理与分

析。因此必须采用数据挖掘技术,从海量数据中发现有用的、可理解的数据模式,分析系统的态势和自动构建态势模型。数据挖掘是指从大量的数据中挖掘出有用的信息,即从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的实际应用数据中发现隐含的、规律的、人们事先未知的,但又有潜在用处的并且最终可理解的信息和知识的非平凡过程(nontrivial process)^[12]。

目前数据挖掘在电网安全领域有着很好的发展前景,但仍有一些问题有待解决。如数据挖掘前期所需要的训练数据来之不易;从大量数据中进行挖掘,很费时间和资源,很难保证实时性等。如何将数据挖掘与机器学习、模式识别、归纳推理、统计学、数据库、数据可视化和高性能计算等相关领域有机结合,达到挖掘有用信息的最佳效果,还有待进一步研究。

4 结论

随着我国特/超高压电网的建设,电力市场化的深化,电力系统面临着新的挑战,因而对它的理论研究及实现工具的探讨和实践是目前必须要解决的问题,它需要新的理论支撑,需要突破传统的理论框架和运行工具,基于调度员思维模式的智能调度系统在这方面做了有益的尝试和探索,将人(调度员)-机互动计算的设计思想与可视化界面有机结合,利用人工智能技术从海量数据中挖掘出表征电网运行特性的关键数据,建立了表达电网充裕度、安全性和脆弱性的指标,并应用三维旋转视图进行形象直观的表达,使调度人员实时掌握电网运行的整体态势。

参考文献:

- [1] 杨旭升,盛万兴,王孙安. 多 Agent 电网运行决策支持系统体系结构研究[J]. 电力系统自动化,2002,26(18):45-49.
YANG Xusheng, SHENG Wanxing, WANG Sun'an. Study on multi-agent architecture based decision support system for power system operation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(18):45-49.
- [2] BATALLA E. Recommendations for situational awareness[R]. Fort Lau-derdale, USA: RTBPTF, 2006.
- [3] 张伯明,孙宏斌,吴文传,等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):21-28.
ZHANG Boming, SUN Hongbin, WU Wenchuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17):21-28.
- [4] 姚建国,严胜,杨胜春,等. 中国特色智能调度的实践与展望[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):16-20.
YAO Jianguo, YAN Sheng, YANG Shengchun, et al. Practice and prospects of intelligent dispatch with Chinese characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17):16-20.
- [5] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-7.
CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8):1-7.
- [6] 谢开,刘永奇,朱治中,等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力,2008,41(6):19-22.
XIE Kai, LIU Yongqi, ZHU Zhizhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric Power, 2008, 41(6):19-22.

- [7] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(6):14-16.
YU Yixin. Intelli-D-Grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(6):14-16.
- [8] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9):1-4
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [9] 刘俊勇, 陈金海, 沈晓东, 等. 电网在线可视化预警调度系统[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(1):1-5.
LIU Junyong, CHEN Jinhai, SHEN Xiaodong, et al. On line visual dispatch and early warning system of power grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(1):1-5.
- [10] DAVIDSON J E, DOWNING C L. Handbook of intelligence[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000:34-49.
- [11] THEUREAU J. Use of nuclear-reactor control room simulators in research & development[C]//7th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-machine Systems. Kyoto, Japan: IFAC, 1998:425-430.
- [12] 张云涛, 龚玲. 数据挖掘原理与技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [13] 杨灿军, 陈鹰. 人机一体化协同决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2000(5):24-29.
YANG Canjun, CHEN Ying. Study on humachined cooperation decision-making [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000(5):24-29.
- [14] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(1):7-11.
- [15] 邢金峰, 常鲜戎, 张洁. 多级模糊综合评价在电网调度员培训评估中应用[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(10):78-81.
XING Jinfeng, CHANG Xianrong, ZHANG Jie. Evaluating power system dispatcher training by multi-grade fuzzy comprehensive evaluation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(10):78-81.

(责任编辑: 康鲁豫)

作者简介:

刘俊勇(1963-), 男, 四川成都人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统稳定与控制、电力市场、灵活交流输电等 (E-mail: scdxliu@mail.ehdc.com.cn);

沈晓东(1975-), 男, 四川双流人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为电力系统分析 (E-mail: shenxdsl@163.com)。

Prospects of visualization under smart grid

LIU Junyong^{1,2}, SHEN Xiaodong^{1,2}, TIAN Lifeng^{1,2}, CHEN Jinhai^{1,2}, HUANG Yuan^{1,2}, LI Chengxin^{1,2}

(1. Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Provincial-Level Key Laboratory of Smart Grid, Chengdu. 610065, China)

Abstract: The development state of smart grid and power grid dispatch is analyzed, and combined with the latest achievements of computer science, the important role of dispatcher in new intelligent dispatch system is described. The intelligent dispatch architecture “with the dispatcher thinking mode as the framework, the visualized interface as the function module and the interactive computation as the system core” is proposed, which adapts to the characteristics of power grid in multiple dimensions and carries out the coordination of different parties. The key technologies of intelligent dispatch construction are pointed out in different aspects: man-machine integrated decision-making model, data fusion, situation visualization, fast simulation and modeling, intelligent warning, intelligent dispatch and backup system, emergency center integration, dispatcher behavior assessment, etc.

Key words: smart grid; situational visualization; intelligent dispatch; visualized dispatch; interactive computation

国电南京自动化股份有限公司 4 项新产品通过鉴定

2009 年 12 月 18 日, 在江苏省经济与信息化委员会组织下, 国电南京自动化股份有限公司研制的“PSL621U 线路保护测控装置”、“NFR601 数字式发电机变压器组动态监视录波装置”、“ZDJ801A 注入式定子接地保护装置”和“HNS2000 水环境自动监控系统”4 项新产品顺利通过了投产鉴定。

鉴定委员会分别对 4 项新产品进行了严格的审查和评审, 经认真讨论, 形成如下鉴定意见:

PSL621U 线路保护测控装置适用于三相跳闸的输电线路, 设计合理、原理先进, 装置整体性能和技术指标达到了国际先进水平。其中的无死区的零序方向判别方法、合闸加速阻抗的波形系数比较方法处于国际领先水平。

NFR601 数字式发电机变压器组动态监视录波装置设计合理, 录波功能完善, 全面适用于各种容量各种接线方式的发电机组变压器组成单独的发电机、变压器。装置的主要技术性能指标达到国际先进水平, 其中基于组件式 CPU 设计的分散式监控系统构架和基于 .net remoting 的分布式监视-录波应用达到国际领先水平。

ZDJ801A 注入式定子接地保护装置设计合理, 保护判据完善, 可适用于各种容量各种接线方式的发电机定子接地保护。装置的主要技术性能指标达到国际先进水平, 其中基于 20 Hz 频率的接地电阻测量的快速算法达到国际领先水平。

HNS2000 水环境自动监控系统总体功能和各项技术性能指标达到国内领先水平, 其中适用于 UV 测量技术的套管式精密测量池、微滤膜水样预处理技术处于国际先进水平。

本次鉴定的 4 项新产品, 是国电南自紧密围绕国家建设资源节约型、环境友好型社会发展方针的又一科研成果; 其成功鉴定和推广应用将使国电南自在将来的电力建设发展机遇中获得更好的社会效益和经济效益。

(国电南自技术部)

智能电网下可视化技术的展望

作者: [刘俊勇](#), [沈晓东](#), [田立峰](#), [陈金海](#), [黄媛](#), [李成鑫](#), [LIU Junyong](#), [SHEN Xiaodong](#),
[TIAN Lifeng](#), [CHEN Jinhai](#), [HUANG Yuan](#), [LI Chengxin](#)
作者单位: [四川大学电气信息学院, 四川成都610065; 智能电网四川省重点实验室, 四川成都610065](#)
刊名: [电力自动化设备](#) **ISTIC EI PKU**
英文刊名: [ELECTRIC POWER AUTOMATION EQUIPMENT](#)
年, 卷(期): 2010, 30(1)
引用次数: 0次

参考文献(15条)

1. [杨旭升](#), [盛万兴](#), [王孙安](#) [多Agent电网运行决策支持系统体系结构研究](#)[期刊论文]-[电力系统自动化](#) 2002(18)
2. [BATALLA E](#) [Recommendations for situational awarenese](#) 2006
3. [张伯明](#), [孙宏斌](#), [吴文传](#) [智能电网控制中心技术的未来发展](#) 2009(17)
4. [姚建国](#), [严胜](#), [杨胜春](#) [中国特色智能调度的实践与展望](#) 2009(17)
5. [陈树勇](#), [宋书芳](#), [李兰欣](#), [沈杰](#) [智能电网技术综述](#)[期刊论文]-[电网技术](#) 2009(8)
6. [谢开](#), [刘永奇](#), [朱治中](#), [于尔铿](#) [面向未来的智能电网](#)[期刊论文]-[中国电力](#) 2008(6)
7. [余贻鑫](#) [面向21世纪的智能配电网](#) 2006(6)
8. [肖世杰](#) [构建中国智能电网技术思考](#)[期刊论文]-[电力系统自动化](#) 2009(9)
9. [刘俊勇](#), [陈金海](#), [沈晓东](#), [李成鑫](#) [电网在线可视化预警调度系统](#)[期刊论文]-[电力自动化设备](#) 2008(1)
10. [DAVIDSON J E](#), [DOWNING C L](#) [Hanbook of intelligence](#) 2000
11. [THEUREAU J](#) [Use of nuclear-reactor control room simulators in research & development](#) 1998
12. [张云涛](#), [龚玲](#) [数据挖掘原理与技术](#) 2004
13. [杨灿军](#), [陈鹰](#) [人机一体化协同决策研究](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2000(5)
14. [余贻鑫](#), [栾文鹏](#) [智能电网](#) 2009(1)
15. [邢金峰](#), [常鲜戎](#), [张洁](#) [多级模糊综合评价在电网调度员培训评估中应用](#)[期刊论文]-[电力自动化设备](#) 2005(10)

相似文献(0条)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dlzhsb201001002.aspx

下载时间: 2010年6月8日