

油气地质综合研讨厅的设计思路与关键技术

孙旭东^{1,2,3}, 吴冲龙¹, 陈历胜³

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101;

3. 中国石化胜利油田物探研究院, 山东 东营 257022)

摘要:石油勘探地质综合研究是石油公司进行勘探决策和施工部署的核心环节,对降低勘探风险有重要作用。该文借鉴钱学森综合研讨厅的理念,通过多源异构勘探数据实时检索、研究主题的知识管理、基于研究成果的数据融合和大屏多点触摸交互式分析等一系列关键技术的探索性研究,建立了一种复杂地质问题多学科、多专家协同综合研讨和决策的高效工作模式,形成系统的解决方案和信息技术体系,并研发相应的硬、软件系统,从而建立了一个可供实际应用的“油气勘探地质综合研讨厅”。通过典型示范应用验证,取得了良好效果,显示了广阔的前景。

关键词:多点触摸;数据融合;地质综合研究;综合研讨厅;油气地质勘探

中图分类号:TE132.1⁺4

文献标志码:A

Design and key factors of a hall for workshop of meta-synthetic engineering (HWME) for petroleum geology

Sun Xudong^{1,2,3}, Wu Chonglong¹, Chen Lisheng³

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China; 3. Research Institute of Geophysical Prospecting, SINOPEC Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257022, China)

Abstract: The synthetic study of petroleum exploration geology is indispensable to decreasing risks in exploratory decision making and project deployment. This research which draws lessons from the theory of the hall for workshop of meta-synthetic engineering (HWME) proposed by Hsue-shen Tsien, has resolved a series of key technologies such as the real-time retrieval of multi-source and heterogeneous geology data, the knowledge management of research subjects, the data fusion of research results, and the interactive analyses of multi-touch on a big screen. An efficient work mode for cooperatively studying comprehensive geologic problems by many multi-subject experts has been set up. Furthermore, some hardware and software systems corresponding to HWME for petroleum exploration geology have been constructed and applied to some typical applications. These applications show that the research results proposed by this paper are effective, efficient and promising.

Key words: multi-touch; data fusion; geologic synthetic study; hall for workshop of meta-synthetic engineering (HWME); petroleum geologic exploration

1 协同模式下油气地质综合研究的背景

油气勘探工作是油气地质工作者正确认识地下地质状况,并获得油气资源信息的基本途径。其涉及领域包括地质、技术、经济和环境等,具有思想性、科学性、高风险性、经济性、规律性和可持续性等基本特征^[1]。地质综合研究是探索油气生聚分布、预测资源潜力以指导油气勘探工作的核心过程,是一个基于地质现象的随机性、模糊性和

不确定性的,从应用到创新,再从创新到应用的地质知识创新过程^[2]。

石油和天然气勘探工作是在勘探系统思想支配下按勘探程序的规范逐步展开的。“地质综合研究”和“勘探部署决策”是油气勘探的 2 个重要环节,前者是后者的基础。在盆地区域勘探、圈闭预探和油气藏评价的 3 个阶段中,随着勘探程度的提高和各种地质、地震及非地震物化探资料的积累,这 2 个环节需要反复地滚动进行。

收稿日期:2014-12-10;修订日期:2015-03-30。

作者简介:孙旭东(1972—),男,在读博士生,高级工程师,从事石油地质软件开发。E-mail:Thinklord@vip.qq.com。

通信作者:吴冲龙(1945—),男,教授,博士生导师,从事资源勘查及地质信息科技研究与教学。E-mail:wucl@cug.edu.cn。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)重点项目(2009AA0628)和中国石化胜利油田分公司科技攻关项目(YKJ1201)资助。

油气勘探具有极强的探索性和高风险性^[3],其过程是一个从数据采集、信息处理、知识发现到管理决策的高度智慧化过程^[4]。油气地质综合研究是勘探开发部署论证的依据,油气地质综合研究工作的总体水平决定了勘探开发决策的正确性和有效性。然而,在目前的油气勘探工作中,地质综合研究环节通常被视作一项日常性业务交由基层地质技术人员自己去完成。决策重点偏重于专题勘探井位部署论证会,决策模式偏重于研究团队汇报、专家点评这种单向交流模式,这不仅存在勘探目标难以全面和深入认识的问题,也难以提升勘探决策的科学性、高效性。因此,面对当前管理扁平化和决策高效化发展趋势,地质勘探专家们能否灵活地调度和高效地利用与各类地质要素相关的海量数据资料,并从不同角度开展深入的交互探讨,充分表达自己的见解,将决定最终决策的正确性。因此,应当把油气地质综合研究环节看作是油气勘探工作的核心环节,将复杂的决策分析工作下放到地质综合研究环节中去。

国内的勘探信息化技术在过去几年取得了长足发展,数字油田与智能油田的理论技术逐步完善^[5-7]。各级油田数据中心建设为油气勘探开发提供了海量数据资源,通过多源、异构的数据管理技术,实现了分散、孤立、杂乱的海量数据有机集成,也初步实现了将遥感、地理信息、地震数据、地质模型、研究成果和井筒数据以图形可视化方式呈现在决策专家面前,大大丰富了群体决策的手段。在此基础上,根据地质综合研究的需要,如果能够充分整合新技术、研发功能齐备的软件,就可实现把决策分析工作扩展到地质综合研究环节中去,建立多学科实时分析、密切协同、伴随决策的新模式,实现多学科、多专家协同研究与高效决策。

2 油气地质综合研究的新协同模式

油气地质综合研讨厅是一种满足上述地质综合研究业务协同决策的有效思路。钱学森于 1992 年提出了基于综合集成法理论^[8],在此基础上形成了综合集成研讨厅体系的设想,其含义是把人集成于系统之中,通过专家体系、知识体系和机器体系 3 个主要组成部分实现人机结合、以人为主的技术路线,且充分发挥人的作用,使研讨集体在讨论问题时互相启发,互相激活,使集体创见远远高于一个人的智慧^[9]。油气地质综合研讨厅体系,就是在该理论基础设计的、面向油气地质综合研究环节的新的协同模式。

油气地质综合研究处于井位部署决策之前,其任务是通过区域地质综合研究为探井部署提供科学依据和具体方案,是通过多学科、多专家协同讨论,实现油田勘探开发活动中智慧的碰撞与创新。长久以来,代表油田勘探智慧的“地质综合研究”环节,一直沿用传统的纸质图件分析和多媒体汇报的讨论模式,缺乏多源异构异质数据高效整合、实时感知和可视化的决策分析手段支持,因而在决策分析的科学性、创新性与时效性方面,均不能适应当前紧迫的油气勘探形势。为此,需要研究并建立一种新的有效支持模式,即多学科、多专家综合研讨的新模式。这种新模式具有数字化的工作平台和可视化的工作场景,能够高效地满足以下几个方面的需求(图 1):(1)提供全面决策数据与信息:实现现场研讨的相关信息准确、及时获取;(2)实现基于研讨主题的信息快速组织:形成基于研讨主题的业务描述和数据组织;(3)实现多学科成果高效对比分析:实现多领域成果对比和多学科高效协同分析;(4)高效的沟通交流模式:通过优化交互手段,有效地提升研讨效率。

综合集成研讨厅是实现这一思想的一种切实可行的解决方案。它利用现代信息技术、计算机网络和人工智能等最新科技完成综合集成的可视化过程,实现更实时的数据支持、更紧凑的处理流程、更有效的沟通手段和面对面协同研讨方式,达到人机结合和从定性到定量的综合集成的目的。随着计算机与信息技术的跨越式发展,这种综合研讨厅体系完全可以提高到一个新的层次,既能有效地支持地质综合研究和油气资源评价,又能有效地支持勘探决策分析和井位部署,成为复杂地质问题研讨和决策的有效手段。

3 油气地质综合研讨厅设计

3.1 地质综合研讨厅的内容体系

周德群等^[10]提出,综合集成法实质是把专家体系、信息和知识体系以及计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人机结合与融合体系,这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势,从



图 1 地质综合研究协同模式

Fig.1 Collaboration mode of synthetic geologic study

多方面的定性认识上升到定量认识。以该理论为出发点,“油气地质综合研讨厅”是基于油气勘探地质综合研究的目标任务、工作内容、讨论方式和资料需求形成内容体系设计,重点解决信息体系中的全面及时获取问题、知识体系中的业务主题描述问题、专家体系中的多学科智慧融合问题以及计算机体系中的专家快速沟通模式问题。

“油气地质综合研讨厅”的技术从上述4个要素展开,即:针对信息体系建立数据的实时检索;针对知识体系形成针对研讨主题的知识管理;针对计算机体系解决研究成果图件的数据融合;针对专家体系通过大屏幕多点触摸技术实现高效沟通与交互。基于地质综合研讨厅的上述4个组成部分的技术研究,形成了对空间与属性数据管理、图形叠合、视屏触摸、大屏幕交互等技术的整合集成,设计了勘探地质综合研究的一体化支撑平台;继而基于该平台建立规范的地质研究流程体系,形成一套完整的面向地质综合研究的协同工作模式,同时为各层次的油气资源评价、勘探部署和决策提供各种分析模型和方法模型。

3.2 地质综合研讨厅的总体技术架构

基于上述思路,本文设计形成地质综合研讨厅的总体技术框架(图3),该技术框架核心为“勘探地质综合研究软件”体系的实现,它以“实时数据

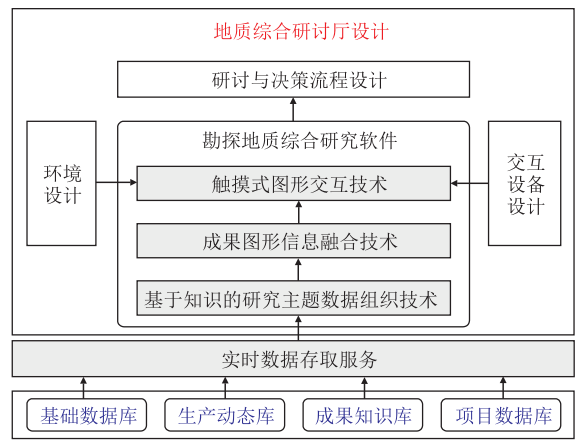


图3 总体框架与技术路线示意

Fig.3 Framework and technologic roadmap

存取服务平台”作为数据体系解决方案,实现研究成果与生产动态信息的实时获取;以“基于知识的研究主题数据组织技术”作为知识体系的解决方案;以“成果图形的信息融合技术”作为计算机体系的软件交互方案,实现多学科密切协同;以“触摸式图形交互技术”作为专家体系的解决方案,探讨沟通、反馈与智慧产生的方法;在上述软件技术基础上形成“勘探地质综合研究软件”。

在勘探地质综合研究软件基础上,辅助以软硬件一体化“环境设计”、触摸式快速“交互设备设计”等配套技术,进而展开科学的“地质研讨与决策流程设计”,最终形成智能化决策的工作模式,完成“地质综合研讨厅”的设计,实现了对油气地质综合研究环节的有效支持。

3.3 地质综合研讨厅关键技术

地质综合研讨模式是以地质综合研究的智能研讨与决策支持作为业务需求,在实时检索、知识管理、信息叠加和触摸交互四项关键技术基础上,通过创新集成实现多学科联动的地质研讨模式。本文提出通过实时感知实现研究成果与生产动态信息的实时存取;通过知识管理技术实现研究成果与工具方法的系统化组织;通过信息融合实现成果图叠合分析与多学科协同;通过触摸交互实现对等沟通与过程记录的学术研讨模式;最终基于上述技术的集成创新,形成勘探地质研究的综合研讨决策新模式。

3.3.1 实时检索:研究成果与生产动态信息的实时获取

勘探地质综合研究的信息来源包括4个方面:以勘探历史生产科研动态为主体的勘探数据库、以地质综合研究各环节成果图件与文档为主体的研

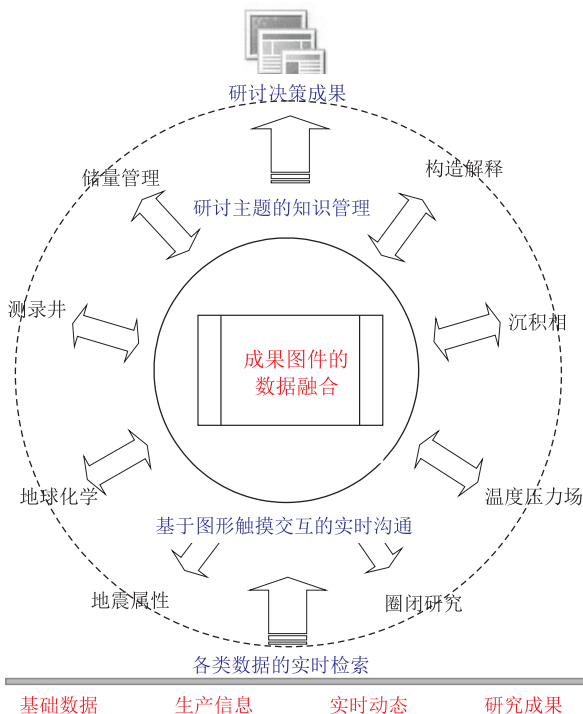


图2 油气地质综合研讨厅体系设计

Fig.2 Hall for workshop of meta-synthetic engineering (HWME) of petroleum geology

究成果库,以钻录井实时数据为基础的实时生产数据库,以 Geoframe 和 OpenWorks 等大型企业版软件为载体的地质研究项目成果库。实时检索就是根据当前在地质综合研讨厅进行协同研讨时对数据的需求,通过实时 SOA 服务平台技术^[11-13]和地质研究项目成果库的访问技术,对四类数据库(勘探基础库、生产实时库、研究成果库、项目成果库)进行实时关联查询和检索,实现对生产、科研和管理动态的全面、实时、准确的掌握,保证协同式综合研讨过程、勘探决策过程与日常生产科研过程的数据获取和处理的同步性和时效性,有利于协同分析和决策的开展。

3.3.2 知识管理:研究成果与方法工具的系统化组织

知识管理是指在组织内持续创造新知识、广泛传播知识并迅速体现在新产品服务技术和系统上的过程^[14]。油气勘探地质研究的知识管理,是针对研究的地质背景、规则标准、流程方法、案例模型以及针对当前业务主题的信息组织方式,其核心目标是明确特定的研讨主题下各类数据和信息的分类、相互关系、获取和筛选模式,从而为地质综合研讨有效地获取和组织必需的信息,为勘探决策提供全面实时的信息基础。

根据油气勘探地质综合研究及其协同研讨的需要,本文基于石油行业数据中心建设中广泛应用的本体描述技术^[15],提出从 5 个方面展开面向地质研讨决策的知识管理,实现地质综合研讨厅的知识体系组织。即地质知识管理的 K5 (Five Factors of Knowledge) 模型(表 1):基于业务知识谱系图的全流程业务体系描述;基于主题知识的特定业务主题的信息与功能组织;基于关联知识的业务应用及

其成果关联;基于案例知识的典型案例信息化收集;基于模型库和方法库的数学模型、图版、经验公式管理。

3.3.3 数据融合:成果图件叠加分析与多学科协同

一直以来地质图是当前油气地质研究中的重要成果^[16],基于多学科、多专业的多图件、多属性等多源异构异质数据,进行空间信息叠合油气资源综合评价和有利勘探目标筛选,是现今油气勘探地质综合研究的一个重要方法。这里的“数据融合”是通过研究成果图件的叠合来实现的,或者说通过空间数据的叠加分析来实现的。空间数据叠加分析的最直接方式,就是把各类研究成果图件,按照统一的地理坐标系进行叠加处理,实现多图件多属性信息的叠合。这是一种行之有效的空间信息技术。其要领是将不同比例、不同格式的各种成果图件,如沉积相图、砂岩厚度图、地层构造图、地震属性图、油气资源分布图等不同学科和业务领域的研究成果,依据地质学理论进行解析,实现各类成果信息的“交集”式组织和叠合,以满足研究人员分析、识别主要控藏因素的需求,进而支持多学科专家基于研究主题的协同研讨和勘探目标综合评价。

基于图形的空间信息叠合一般通过 4 个步骤展开:(1)图形预处理:实现矢量图和位图中关键地质要素和属性信息的抽取与管理;(2)坐标归一化:实现各类图件坐标系和平面投影模式的统一;(3)图形校正:根据图形数据畸变程度、类型和系统对数据精度要求的不同,对图形采用线性变换、非线性变换、三角网分块等算法校正;(4)属性叠合:实现基于图形的属性数据叠合,即在统一的空间信息框架下的属性信息叠合。

表 1 勘探知识管理的五要素(K5 模型)

Table 1 Five factors of exploration knowledge management

知识类型	管理目标	功能设计	描述方式
知识谱系	全流程业务体系描述	描述业务体系及其流程组成的技术。业务知识谱系图是描述业务框架及各类知识相互关系的导航	本体描述 XML 技术
主题知识	业务主题的信息与功能组织	针对勘探生产研究的关键环节建立的信息支持体系。将某一环节决策需要的信息,以系统的组织模式集中	本体描述 XML 技术
关联知识	业务对象关联	以业务对象为关联要素,以空间关系作为基本关联主线,辅助业务主题、地质目标、管理主线和自定义映射等关联维度,建立业务对象及其属性的关联关系,为信息对比、智能搜索、挖掘分析奠定基础	本体的数据库技术
案例知识	典型案例的系统化组织	针对特定决策点的经典案例,实现特定业务的来源、过程、成果、结论等主题化组织	本体的数据库技术
模型方法	数学模型、图版、经验公式组织等管理	解决具体问题的思路和方法的量化表达,是最具实践性的知识,对系统的自动化与智能化提升具有重大意义。包括:基础数学算法、专业数学算法、地质数学模型、图形图版方法、决策统计分析等	文档与软件代码

图形中的地质单要素提取与叠加分析。一是依据矢量图的图层及相关的空间数据,自动识别不同图层和图件的属性信息并形成各种分离的属性要素;二是通过属性的颜色值(RGB or others)来实现目标属性区域的自动拾取。在上述2种识别方式的基础上,自动形成所识别属性的边界范围曲线,以供后续的多图叠合使用。

多图件多要素提取与复合叠加分析。针对协同式地质综合研讨的实际需要,设计了边界范围叠合、颜色充填叠合、原色透明叠合、属性数据叠合及附加信息叠合等方法,研发出了适合于多种图件多种要素的提取与叠加分析功能。其中,边界范围叠合,实现了基于单一图件拾取的有价值信息的边界范围所进行的叠合,可分析研究几种属性信息之间的横向关系,计算重叠区域的面积;颜色充填叠合,实现了在边界范围叠合的基础上,对感兴趣区域进行颜色充填;原色透明叠合,实现了截取原图的有效信息,保留原图的颜色特征,在透明化处理后再进行叠合的功能(图4);属性数据叠合,实现了利用原图的保真数据进行加、减、乘、除等运算的叠合

技术;附加信息叠合,实现了快速调取数据库的相关数据(包括各种标注和说明等)并添加到图件上的功能。通过上述技术的应用,实现多种勘探要素与信息的融合,有效实现了特定主题的地质、地震、地化及管理等环节的有效协同(图5)。

3.3.4 触摸交互:对等沟通与过程记录的学术研讨模式

多重触控技术提出一种以用户为中心的自然高效的交互方式,它在信息查询、展览、指挥决策等领域都具有广泛的应用前景^[17]。多点触摸交互技术目前广泛应用于各类商品级平板和交互设备,但作为会议研讨与决策的媒介应用较少。本文基于DotNet开发环境上的Windows多点触摸API大屏编程技术,在触摸屏厂商提供的硬件设备SDK支持下,依托多点多触摸技术,针对地质综合研究环节的地质图形交互讨论的特点,研发了“基于横置大型多点触摸平板的图形交互技术”,重点实现了基于大型横直平板的图形多点触控操作,实现了团队级的多地质图形叠合交互。该技术通过Win7操作系统、图形操作和触摸屏3个技术层面的技术

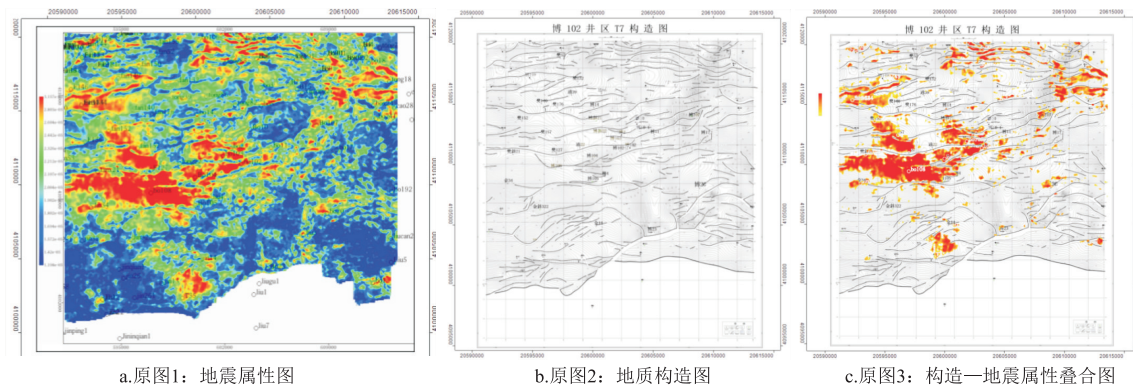


图4 图形中地质属性要素的提取与叠合

Fig.4 Overlapping and extraction for geology attributes in the map

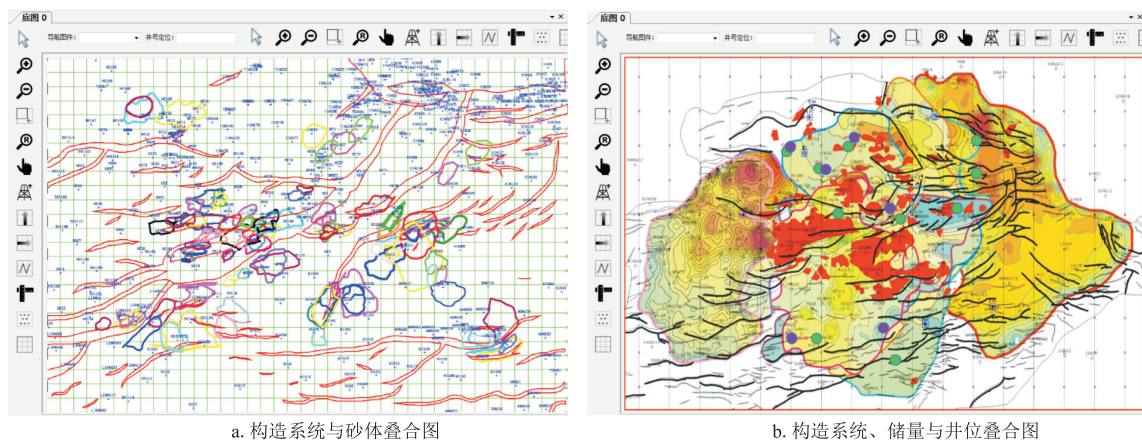


图5 多学科成果图件的多要素提取与复合叠加分析

Fig.5 Multi-feature overlapping and compound extraction for multi-subject result map

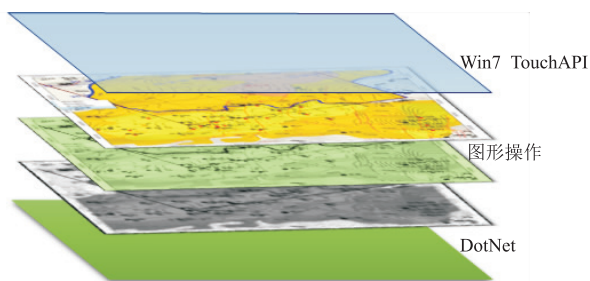


图 6 基于三层设计的多人多点触摸技术

Fig.6 Multi-person and multi-touch technology based on three level design

整合,流畅地实现了基于多人多点手势操作的触摸屏拖动、缩放、旋转图片等功能(图 6)。通过触摸技术实现的触摸屏无缝拼接,提升了对更大范围的勘探形势图、地震剖面 and 综合录井图的交互调用和判释。同时,实现用户在脱离物理键盘和鼠标的情况下,快速选择临井、任意测线、解释层位、图件类型以及查询检索各类数据库的相关数据,为地质综合研讨厅体系设计提供了计算机交互体系设计。

4 新研讨决策模式的建立

油气资源勘探决策是油田勘探活动中高级智慧的碰撞与创新。随着国际油气勘探领域的技术进展,该领域决策的时效性和实时性需求日趋迫切。其油气地质综合研究与决策分析过程,理应是一个从生产、科研到决策的循环往复过程,也是地质人员对地下地质环境认识的不断深化过程。

油气地质综合研讨厅的协同研讨与决策模式,就是按照钱学森所提出的从定性到定量的综合集成法理论设计的。这个研讨决策模式,包含组织流程、交互模式、软件支持、场景设计等 4 个环节,每个环节都包含着丰富的内容(表 2)。

其中,在组织流程环节中的多学科协同,是决策分析的核心,建立在各专业成果信息的综合集成平台之上。在软件支持环节中,集成了多项新的软件技术,提供了全面的信息与功能支持。在场景设

表 2 决策流程及其配套技术体系

Table 2 Decision process and complement technology system

组织流程	交互模式	软件支持	场景设计
分专业表达	主题陈述 实时检索 数据融合	数据索引 知识管理 图形叠合	实时网络 圆桌模式 对等沟通 触摸表达
多学科协同	学科交流 成果分析 知识碰撞	触摸交互 模拟分析 多屏同步	
群体决策		过程留痕	



图 7 基于水平横置大屏幕的地质综合研讨厅工作场景示例

Fig.7 A working scene sample of HWME for petroleum exploration geology based on big screen

计环节中,通过软件功能和实时网络、圆桌模式、对等沟通、触摸表达等场景的设计(图 7),形成了全新的研讨决策模式。这种模式不仅保证了研讨团队交互操作的简便性,同时,采用水平横置大屏幕的方式,相对传统的竖立屏幕模式,不再有前后之分,参会专家观看资料和发言机会均等,有助于实现平等的学术交流。所有与会人员,都可以通过实时网络和触摸交互,实现数据的实时检索、集成展示和数据融合处理,通过圆桌模式实现对等交流和知识碰撞。这样做,可以促成专家群体智慧与业务主题的充分融合,甚至发动针对专题讨论的“头脑风暴”,从而可以有效地降低决策风险。

5 总结与讨论

(1)提出了一个基于现代信息技术的协同式油气勘探地质综合研究新模式。这是一种通过整合设备、环境、软件的集成设计而形成的,以专家为核心的新决策流程与决策模式,纠正了智能决策分析中侧重软件技术而忽视人及其群智作用的问题。

(2)该新模式是从系统思维的角度,提出了基于知识工程的勘探系统和勘探程序的重要改革。通过该模式,研究人员的决策不再孤立地面对问题,而是将问题放到整个勘探生命周期中去认识,形成一种面向地质背景和油气成藏过程的分析方法。

(3)探索了油气勘探地质综合研究中多源异构异质数据融合的技术方案。针对目前地质综合研究中所涉及的构造分析、沉积相分析、地震属性分析、圈闭评价与储量矿权研究等多源异构异质数据,探讨了以图形叠合为代表的融合技术方案。

(4)建立了一种全新的图形化沟通与交流的协同工作平台。通过大型圆桌触摸式交流沟通工具的设计和研发,提供了一个平等、自由、均衡的交互研讨平台,改变了过去由单一专家主导的单向式讨论模式,深刻地改变了传统研究讨论的决策模式。

(5)通过具体油田的示范应用,证明了该油气勘探地质综合研讨厅是一种有效的多学科多专家协同决策方法。这种决策方法,将领导决策变为团队决策,将最终集中决策变为伴随研究过程的实时决策,有效地提高了决策的灵活性与科学性,促进了管理的扁平化和高效化。

参考文献:

- [1] 郭元岭. 油气勘探发展规律及战略研究方法[M]. 北京:石油工业出版社,2010.
Guo Yuanling. Petroleum exploration develop rule and strategy research method[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [2] 王根海. 石油勘探哲学与思维[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
Wang Genhai. Philosophy and thinking of petroleum exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [3] 吴冲龙,刘刚,田宜平,等. 地质信息科学与技术概论[M]. 北京:科学出版社,2014.
Wu Chonglong, Liu Gang, Tian Yiping, et al. Technology overview of geological information science[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [4] 邱中建,龚再升. 中国油气勘探·第一卷:总论[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Chinese petroleum exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [5] 李清辉,曾颖,陈新发. 数字油田建设与实践:新疆油田信息化建设[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
Li Qinghui, Zeng Ying, Chen Xinfa. Digital oilfield construction and practice[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [6] 李清辉,文必龙,曾颖. 数字油田信息平台架构[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
Li Qinghui, Wen Bilong, Zeng Ying. Digital oil field information platform architecture[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [7] 段鸿杰. 胜利油田信息化框架构建研究[R]. 东营:胜利油田博士后流动站,2003.
Duan Hongjie. Shengli oilfield informatization framework research[R]. Dongying: Shengli Oilfield Post-Doctoral Mobile Stations, 2003.
- [8] 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学的新领域:开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志,1990,13(1):3-10,64.
Qian Xuesen, Yu Jingyuan, Dai Ruwei. A new field of science: The open complex giant system and its methodology[J]. Chinese Journal of Nature, 1990, 13(1): 3-10, 64.
- [9] 戴汝为,王珏,田捷. 智能系统的系统集成[M]. 杭州:浙江科技出版社,1995.
Dai Ruwei, Wang Yu, Tian Jie. Integration of intelligent system[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1995.
- [10] 周德群. 系统工程概论[M]. 北京:科学出版社,2013.
Zhou Dequn. Introduction to system engineering[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [11] Josuttis N M. SOA in Practice: The art of distributed system design[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2008:324-354.
- [12] Fielding R T. Architectural styles and the design of network-based software architectures[D]. Irvine: the University of California, 2000.
- [13] James S, Ken M, Doug T, et al. Programming web services with SOAP[M]. Cambridge: O'Reilly & Associates Inc., 2005:324-343.
- [14] 竹内弘高,野中郁次郎. 知识创造的螺旋[M]. 北京:知识产权出版社,2006.
Hirota T, Yujiro N. The spiral of knowledge creation[M]. Beijing: Intellectual Property Rights Press, 2006.
- [15] 文必龙,肖波,陈新荣. 石油勘探开发数据元管理技术[J]. 大庆石油学院学报,2012,36(1):83-87.
Wen Bilong, Xiao Bo, Chen Xinrong. Management technology of petroleum exploration and production data element[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2012, 36(1): 83-87.
- [16] 陈克强. 地质图的产生、发展和使用[J]. 自然杂志,2011,33(4):222-230.
Chen Keqiang. Emergence, development and usage of geologic maps[J]. Chinese Journal of Nature, 2011, 33(4): 222-230.
- [17] 王德鑫,张茂军,熊志辉. 多重触控技术研究综述[J]. 计算机应用研究,2009,26(7):2404-2406.
Wang Dexin, Zhang Maojun, Xiong Zhihui. Survey on multi-touch research[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(7): 2404-2406.

(编辑 徐文明)