

钻井工程决策支持系统关键技术

肖 莉, 杨传书, 赵金海, 李昌盛, 徐术国, 赵 勇

(中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘 要:国内自主研发的钻井软件有的仅能进行辅助设计,不足以支撑专家团队的讨论决策;有的只专注于数据传输或部分风险的预警,功能覆盖面窄,没有形成全面的决策信息支持体系。针对钻井设计论证和钻井施工两个阶段的专家决策需求,开展了系统功能设计及关键技术研究,基于 SOA 软件架构和插件式开发方法,研制开发了易于扩展的钻井工程全过程决策支持系统 DrillAdviser,实现了工程地质信息与钻井工程信息的深度融合,功能覆盖了钻井工程设计论证、施工过程优化、钻后分析等关键技术环节,可为专家决策提供多源异构信息实时融合、二维及三维图形显示、计算模拟、协同讨论等决策支持手段,初步解决了钻井决策支持软件功能单一、多领域信息融合不足等问题。在国内外多个区块的实际应用表明,DrillAdviser 设计合理,能解决实际问题,且效果良好。

关键词:钻井 协同决策 信息融合 方案论证

中图分类号:TE19 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2015)02-0038-06

Key Technologies of Drilling Engineering Decision Support Systems

Xiao Li, Yang Chuanshu, Zhao Jinhai, Li Changsheng, Xu Shuguo, Zhao Yong

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: Some drilling software with Chinese owned intellectual property can only be used in aided design, not sufficient for decision-making by teams of experts. Some the software programs only focus on data transmission or early warning of certain risks. So those software applications are limited and fail to form a comprehensive decision-making information support system. Based on the expert decisionmaking needs in the design of drilling programs, the demonstration and drilling construction, the decision support system was developed based on function design and key technology research which were carried out. The drilling engineering decision support system, DrillAdviser, was developed based on SOA software architecture and plug-in development method. This system is easy to expand and it combines engineering geology information and drilling engineering information. It covers key technical elements of drilling engineering design, construction process optimization and post-drilling analysis. In addition, it can provide decision support such as real-time fusion of multi-source heterogeneous information, 2D and 3D graphic display, computational simulation and collaborative discussion for expert decision making. It preliminarily solves problems of reduced function and insufficient fusion of multi-disciplinary information in present drilling decision support software. According to the actual application in multiple regions within and outside the country, DrillAdviser proved itself to be of reasonable design with good results.

Key words: drilling; collaborative decision; information fusion; program demonstration

国外石油企业已经将信息技术作为提升技术和管理水平的核心手段之一,利用信息技术实现了石油工程施工方案优化、施工过程实时决策和精细化管理^[1]。Halliburton、Schlumberger、Baker Hughes 等国际石油技术服务公司都研发了功能强大的决策支持系统^[2-4],并基于该类系统建立了多专业一体化协同决策模式,提高了核心竞争力。

收稿日期:2014-05-05; **改回日期:**2015-02-09。

作者简介:肖莉(1968—),女,四川江安人,1990年毕业于石油大学(华东)应用电子技术专业,高级工程师,主要从事石油工程信息化研究与管理工作。

联系方式:(010)84988299, xiaoli.sripe@sinopec.com。

基金项目:中国石化“十二五”重大信息化项目“中国石化石油工程决策支持系统”(编号:G11-MM-2011-080)及中国石化科技攻关项目“钻井风险控制系统研发”(编号:P13093)资助。

截至目前,国内开发了很多钻井工程设计与计算、现场数据远程传输、随钻井下风险预警方面的单体软件,也开发出一些钻井决策支持系统^[5-9]。如文献[9]介绍的钻井决策支持系统,包括井位导航、钻井辅助计算、地质导向、网络会议、地层及井身结构对比等功能,由多个独立小系统组成。这些系统对钻井设计和现场管理提供了辅助,但由于每个系统的功能都有局限性,覆盖的信息范围比较窄,在关键技术决策点的多领域信息融合方面尤显不足,因此难以对重点井方案的专家论证、重点井施工的多领域专家支持等重大技术决策活动提供有效支撑。同时,国内现有系统大多比较封闭,在各种不同标准信息源的接入、对外来特色软件模块的集成方面存在明显不足。针对上述问题,笔者借鉴国外先进系统的开发经验,结合国内应用需求,对钻井关键技术决策环节的精准信息支持,跨专业域、时间域、深度域的信息融合,跨地域专家协同决策支持等进行了研究,研发了钻井工程决策支持系统 DrillAdviser。

1 需求分析

1) 钻井方案专家论证支持问题。针对每口井的钻井工程设计方案,尤其是重点井、疑难井的设计方案,往往需要经过不同级别专家组的多次讨论,并对关键技术细节或整体方案进行决策。目前,国内尚无相关软件能对这一重要决策过程提供支持。参与决策的专家主要是通过观看幻灯片演示得到的有限信息,在各自的大脑中进行分析并提出意见。由于专家此时获取的信息量较小、信息分析手段单一,难以快速、直观地将当前方案与该区块的地质信息、历史案例信息相结合,难以共享历史经验和他人知识,因此专家们对方案的理解难以达到高度一致,导致方案论证不彻底,决策效率不高,决策的科学性也受到限制。

2) 地质与工程信息的深度融合问题。钻井施工必须充分考虑全井段与钻井工程相关的各种地质细节。目前,钻井地质设计、工程设计、工程施工环节各自独立,地质专家重点关注目的层,对全井段所提供的地质信息量小,而施工过程中获得的地质信息又未能及时融合到钻井分析软件中,导致地质与工程近乎脱节,经常出现地质专家与钻井专家给出的结论不一致或相矛盾的尴尬局面,很难做出最科学的决策。

3) 钻前、钻中、钻后信息一体化应用问题。目

前钻井设计、施工和评价环节的信息系统都独立开发应用,数据库独立设计,没有一体化的数据共享和信息流转体系,难以对这个本来连续的技术流程进行高效一致的数据支撑,尤其是历史数据的价值没有得到发挥。

4) 多专家异地协同决策问题。钻井现场视频监控及网络会议系统的应用,建立了远程协同决策的基本网络通道,但这种远程沟通主要通过语音和影像,与会各方都需要将对对方的分析过程和观点记录下来,然后花一定的时间进行思考再反馈自己的结论,难以当场快速得出结论并在线共享,决策效率有待提升。

5) 决策支持系统的开放性问题。随着信息技术和钻井工程技术的发展,钻井工程决策支持系统也需要随之不断地扩展或改进,而目前国内钻井软件普遍是自成一体,在各种不同标准信息源的接入、对外来特色软件模块的集成方面存在明显不足,导致软件各具特色但又无法实现“强强联合”,因而难以提升系统的整体水平。

2 关键技术

2.1 钻井工程方案论证支持技术

钻井工程方案论证支持主要是给参与论证的专家提供一个快速分析信息和优化方案的辅助手段,针对主要论证环节从以下 5 方面提供信息技术支撑,如图 1 所示。

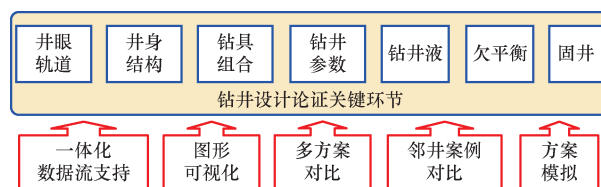


图 1 钻井设计方案论证支持关键技术

Fig. 1 Key technologies for drilling design program demonstration support

1) 一体化数据流支持。对于所有论证环节,底层由统一的数据库支持,数据可在任何一个模块加载或更新,其他相关模块都可以调用,确保任何一项业务的数据都具有唯一性。

2) 图形可视化。无论是待论证的设计方案还是邻井井史数据,均利用地理域(以坐标为基准)和深度域(以井深为基准)串接起来,以二维剖面或三维场景进行集成展现,各种图形之间可以联动,便于

专家们直观、快速、灵活地进行信息综合分析和判断。

3) 多方案对比。对于井身结构、钻具组合等方案,设计人员可以从不同侧重点出发设计出多套可选方案,利用该系统在同一个界面上显示出来,方案之间的异同点一目了然,专家可以对各方案展开进一步讨论并进行优选。

4) 邻井案例对比。邻井施工情况是新井设计最重要的参考依据,通过在底图上选取一口或多口邻井,自动提取其各种历史数据,统计分析其技术指标,分析其井下故障,可迅速得到适合该区块的经验和教训,以此综合评价新井设计的合理性。

5) 方案模拟。水力、固井、井控等的设计方案涉及到强度校核、压力控制等关键细节,利用内嵌的计算模型可对设计数据进行计算模拟,尤其在论证时如果调整了某些参数,可当场进行模拟验证,以便使方案达到最优,避免线下反复修改并重新论证。

2.2 地质与工程信息融合技术

1) 宏观地质环境分析。针对目前钻井类软件和地质类软件很难无缝集成的现状,通过开发数据接口提取了地质成果图件、地震解释数据体、测井数据及解释结果等地质研究成果,以底图投放、剖面投射和 360°三维场景展现方式同井筒信息一起展示,专家可直观地分析井筒所处的地理环境、井下地质状况和邻井的复杂情况,有针对性地制定适合该区块的最佳方案。

2) 地质与工程的深度融合。针对每一口井,以井深为纵坐标,将地质分层、地层压力、岩石物性等地质信息同井身结构、钻井液、钻具组合等工程信息融合,以曲线对比方式,使专家更直观、更便捷地了解井筒周缘的详细地质参数,从而对设计方案进行优化。

2.3 远程多井实时监测预警技术

1) 单参数超限预警方法。根据每口井所属地区、层位和所用钻机的不同,预先设置其大钩负荷、扭矩等关键工程参数的门限值,钻井过程中通过远程实时传输的录井参数,实时判别其超限情况并报警提示给后方专家。

2) 多参数关联预警方法。根据专家的知识 and 经验^[10],建立了基于多参数的灰色关联预警方法:a. 建立判定每种风险的特征量(工程参数或其标准差);b. 根据该区块的已钻井,回归确定每个特征量的经验权重,得到加权型标准特征向量;c. 利用当前井正钻层位上部井段正常钻进的数据,建立各工程参数的

正常波动区间,参数超出该区间即为参数异常波动;d. 监测下部井段钻进过程,利用灰色关联算法求取实际参数异常波动量与标准特征向量之间的关联度;e. 实时计算关联度大小,某种风险的关联度过高即表示正在发生该风险,系统报警提示。

3) 远程多井监测预警。基于上述两种方法,利用并行计算方式,同时对所有监测井进行监测,将每口井的监测结果实时推送到井位分布图上报警,并可导入该井的具体监测模块开展具体分析,便于一名专家同时监测多口井。

2.4 远程协同技术

1) 远程传输。实现了井场信息(综合录井信息和 MWD、LWD 等信息)、视频的远程实时传输^[11],集成了适用于低带宽的 TCP/IP 视频会议系统,使专家随时随地了解钻井现场的详细情况并进行对话讨论。

2) 在线意见共享。任何一名专家都可启动客户端软件打开某个设计方案进行审阅,并将自己的意见“批注”到方案的相应位置,这些意见可立即通过网络推送到所有客户端。即便专家们不在同一时间、不在同一个会场,也可针对某个具体问题互通有无、协同决策。

2.5 松耦合软件开发技术

1) SOA 技术应用。钻井工程决策支持系统 DrillAdviser 采用面向服务的架构技术(SOA, service-oriented architecture)^[12],如图 2 所示。该架构可实现数据库与应用模块之间的松耦合,当底层数据结构、数据平台或数据库网络位置发生改变时,只需要对服务层进行调整,无需对分散在各用户机器上的客户端进行更新,实现了以不变应万变。

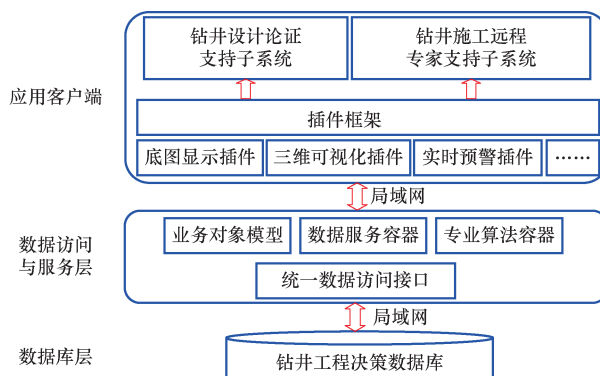


图 2 钻井工程决策支持系统架构

Fig. 2 Architecture of DrillAdviser

2) 插件式技术。开发了统一插件式软件框架,各模块按一定规范独立开发后,可通过接口快速“插接”到框架上,各模块之间可以交互通信实现有机集成。该技术使各模块很容易自由组合,从而提高了系统的可扩展性和开放性。

3) 面向服务的专业计算。传统钻井专业软件中的计算模块多为客户机本地运行,数据量大且计算频度高时,运算对计算机性能的要求很高。该系统将算法模块封装为 webservice 服务,部署在服务器上运行并向客户端返回计算结果,大大提升了软件的性能,同时也有利于算法程序的统一更新和保护。

3 现场应用

基于以上关键技术开发的钻井工程决策支持系统 DrillAdviser,包括 15 个一级模块(35 个二级模块),各模块均开发成插件,用户可以任意选取其中的部分模块“组装”成不同功能的子系统,以适应方案论证、施工决策和钻后分析等不同的决策场景。

中国石化石油工程技术研究院利用该系统构建了钻井决策支持中心,中石化石油工程技术服务有限公司等单位部署了若干客户端软件。自 2012 年

8 月起,DrillAdviser 在元坝、顺北、焦石坝等地区 and 加蓬、伊朗等国家的 50 余口重点井的钻井过程中进行了应用。应用过程中,向数据库加载了结构化数据 2 000 余万条,包括各种复杂情况处理措施、常用钻具及钻井液体系、区域钻井经验、地质解释结果等的数据库,40 多口邻井井史和风险案例数据,还加载了非结构化图档 12 GB(如地震数据体、勘探程度图、连井剖面图、构造图等),为这些井的专家决策提供了保障。

3.1 在钻井设计论证中的应用

DrillAdviser 已用于 6 口井的设计方案论证和优化。以元坝气田某水平井(记为 A 井)的钻井设计论证为例,该井为元坝九龙山南鼻状构造带一口评价水平井,从剑门关组钻至目的层须家河组二段,预测千佛崖组、自流井组、须家河组地层为异常高压地层,且须家河组地层的可钻性较差。首先由两名设计人员按照传统的流程完成初步设计方案后,再将设计结果及该地区的相关地质数据、历史井数据导入该系统,然后组织专家在大屏幕会议室对全套方案进行论证:

1) 首先调用地质分析模块对该井的地质信息、邻井信息进行整体分析,如图 3 所示;

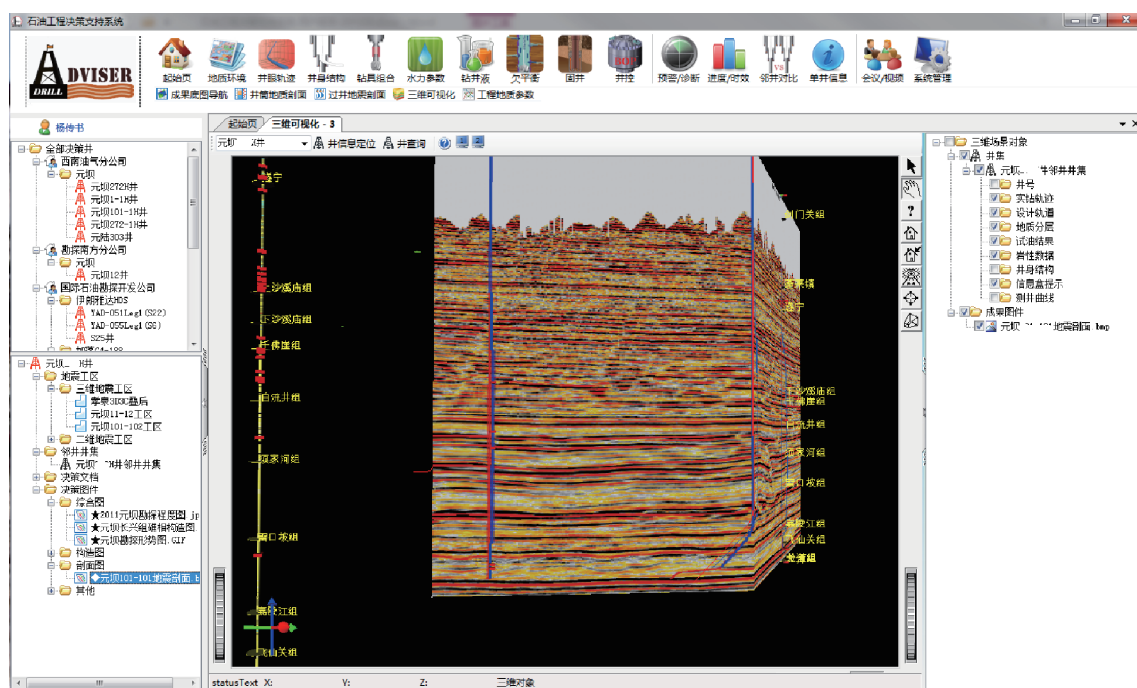


图 3 元坝气田 A 井井下三维可视化分析

Fig. 3 Downhole 3D visualized analysis of Well A in the Yuanba Gas Field

2) 运行井身结构模块,调取区域地层压力预测曲线、20 多口邻井地层压力曲线、测井解释结果、井身结构及风险案例,以多屏对比方式供专家们讨论,经综合讨论分析,决定将原方案的“二开钻至上沙溪庙组地层底部(深约 3 202.00 m)”调整为“二开钻至下沙溪庙组地层底部(深约 3 392.00 m)”,以更好地应对下部异常高压地层可能出现的问题,随后又对套管强度进行了重新校核并微调了套管选型;

3) 运行钻头优选模块,现场在线提取 20 多口邻井的钻头型号、钻井方式、机械钻速、钻头用量、复杂情况等的数据,快速统计出每口井各种钻头的用量及平均机械钻速,以及该区块最高指标的钻头情况,经专家们反复分析对比,最终决定调整一开至三开的钻压,钻头数量也由 27 只调整为 32 只,四开的钻头型号由 HJT537G 改为 HJT617GL,并重新计算了钻头数量,调整后的方案兼顾了钻速和安全等多方面;

4) 其他方面的设计基本合理,不需要调整。

该次论证过程中,一位身处异地的专家通过网络会议模块参与讨论并发表了意见。专家们认为,这种方式能直观、丰富地展现决策信息,能快速进行对比、统计和计算,大大提高了决策的效率和科学性。

3.2 在钻井施工远程决策中的应用

截至目前,DrillAdviser 已用于 40 余口井的施工远程决策及钻后分析。

新疆顺北区块 B 井是一口外围高风险超深预探井,设计井深 7 570.00 m,目的层为奥陶系中下统一间房组和鹰山组。该井地处塔克拉玛干沙漠腹地,地面被第四纪流动沙丘覆盖,属于温带大陆性荒漠极端干旱气候,施工难度大,环境恶劣,交通不便。该井在钻井施工中采用了创新管理模式,由中国石化石油工程技术研究院的专家负责一体化技术支持及工程监督。通过 KU 卫星通信链路,将现场数据实时传回北京,专家组与现场人员可随时召开远程会议。2013 年 8 月中旬,专家组与现场人员同时监测到钻时变化剧烈、波动幅度大,甚至出现难以钻进的情况,DrillAdviser 也发出卡钻预警,专家组随即启动远程会议模块(见图 4),针对实时数据特征及现场人员反馈的情况,经过讨论提出用稠浆循环清洁井底的方案,成功带出了落入井底的多块套管附件,恢复了正常钻进;该井钻至井深约 6 910.00 m 时,系统发出井漏预警,后方专家注意到扭矩波动大、立压减小、钻井液地面循环量有减小趋势,经与现场沟通确认发生漏失,随即采取应对措施避免了情况的进一步恶化。此外,专家组还通过该系统为现场解决了火成岩侵入体造成的钻进难题。

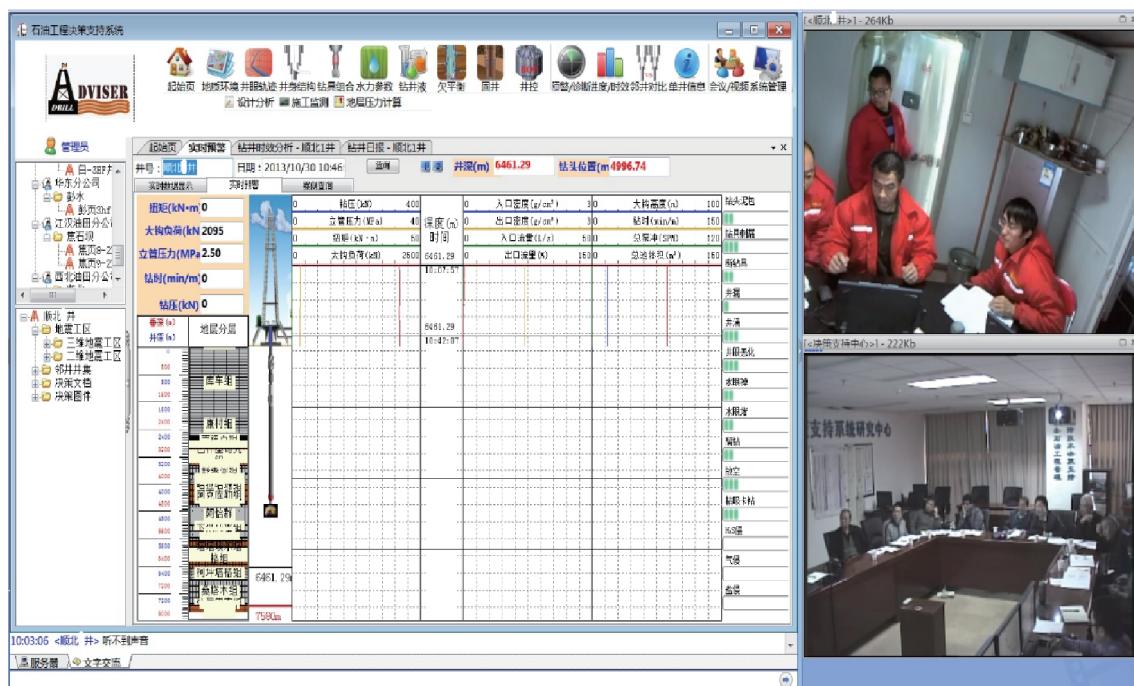


图 4 顺北区块 B 井远程决策场景

Fig. 4 Remote decision making of Well B in Block Shunbei

元坝气田 C 井是一口超深水平井,设计井深 7 830.00 m,设计造斜点深度 6 500.00 m,在钻达造斜点之前,定向工程师在位于北京的办公室利用 DrillAdviser 每日监测施工进度及井眼轨迹情况,为定向服务做准备。当该井钻至井深 6 470.00 m 时,监测到井眼轨迹与设计轨道已偏离超过 100.00 m,且方位角与原设计相差很大,经专家与施工队充分论证后决定提前定向造斜,并设定了合理的初始造斜方位以修正前期偏差,最终该井顺利钻达目的层。在 C 井近两年的施工中,该系统成功进行井漏、钻具刺漏、气侵预警 20 余次,召开专家远程决策会议 10 余次,克服了专家资源有限、施工条件极其复杂、技术难度大、交通不便等困难,探索出了一种新的钻井决策模式。

此外,在涪陵页岩气开发过程中,由于同时钻进的井数多,导致技术支持人员严重不足。DrillAdviser 将实时传输的 MWD/LWD 数据与地质建模功能相结合,帮助建立了远程地质导向技术支持新模式,将有限的技术专家集中起来,大大提高了决策支持的效率。

4 结论与建议

1) 利用软件为专家论证钻井设计方案提供支持,能帮助具有不同专业特长、不同实践经验的专家在很短时间内深入了解方案、达成一致意见,并可当场调整不合理内容,提高论证效率。

2) 将地质信息深度融合到钻井决策过程中,实现地质信息与工程信息的联动,改变了钻井专业软件仅局限于工程本身而难以结合地质环境的局面,使决策更加高效科学。

3) 钻井专家决策所需信息量大、覆盖面广,而目前国内各单位数据库设计和实时数据传输“百花齐放”又参差不齐,多源异构数据的实时融合技术大大提高了数据的获取效率。

4) 利用 SOA 架构技术、插件式框架技术、面向服务的计算技术,实现了软件的松耦合,使其易于扩展、移植或插接外来模块,有利于钻井工程决策支持系统的持续扩展优化。

5) 钻井工程决策支持系统 DrillAdviser 为建立钻井远程协同决策新模式奠定了技术基础,但由于受限国内的国内的管理模式、现场网络条件、数据共享能力、数据质量等因素,系统的大规模推广尚需时日。建议从管理上加强数据质量管理及各类数据的互通,并试点建立专家组远程坐诊决策新模式。

参考文献

References

- [1] 肖莉,杨传书,费海涛,等. 关于石油工程信息化需求与建设策略的思考[J]. 石油钻探技术,2011,39(3):81-85.
Xiao Li, Yang Chuanshu, Fei Haitao, et al. Thinking on demands and countermeasures of petroleum engineering informatization[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 81-85.
- [2] Halliburton. Collaborative decision centers [EB/OL]. [2014-02-07]. <https://www.landmarksoftware.com/Pages/CollaborativeDecisionCenters.aspx>.
- [3] Andreas Sadlier, Ian Says, Ryan Hanson. Automated decision support to enhance while-drilling decision making; where does it fit within drilling automation? [R]. SPE 163430, 2013.
- [4] Baker Hughes. WellLink radar remote drilling advisory service [EB/OL]. [2015-02-09]. <http://www.bakerhughes.com/products-and-services/drilling/drilling-services/remot-drilling-services/welllink-radar-remote-drilling-advisory-service>.
- [5] 安文忠,徐荣强,何辽勤,等. 实时可视决策系统在渤海湾旅大油田开发中的应用[J]. 石油钻探技术,2007,35(4):100-102.
An Wenzhong, Xu Rongqiang, He Liaoqin, et al. Application of realtime visual decision-making system in the development of Lvda Oilfield in Bohai Bay[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(4): 100-102.
- [6] 赵庆,刘岩生,蒋宏伟,等. 钻井实时监控与技术决策系统研发进展[J]. 石油科技论坛,2013(3):11-14,65-66.
Zhao Qing, Liu Yansheng, Jiang Hongwei, et al. Research and development of real-time drilling monitoring and technological decision-making system[J]. Oil Forum, 2013(3): 11-14, 65-66.
- [7] 樊洪海. 钻井工程实时监测与井场信息系统开发[J]. 石油钻探技术,2003,31(5):17-19.
Fan Honghai. Monitoring of real-time drilling engineering and development of field data service system[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(5): 17-19.
- [8] 郭建明,李云峰,韩朝晖. 钻井异常状态实时监测与智能决策系统的研究[J]. 钻采工艺,2008,31(2):32-35.
Guo Jianming, Li Yunfeng, Han Zhaoxue. Research on real-time monitoring and intelligent decision system of the abnormal problem during drilling operation[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(2): 32-35.
- [9] 张军,费海涛,王崇敬,等. 钻井远程决策支持系统开发及在元坝 103H 井的应用[J]. 石油钻探技术,2011,39(6):104-107.
Zhang Jun, Fei Haitao, Wang Chongjing, et al. Development of remote drilling decision-making support system and its application in Well Yuanba 103H[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 104-107.
- [10] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京:石油工业出版社,2001:1-481.
Jiang Xiwen. Drilling accident and complex problems[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-481.
- [11] 杨传书,赵金海,张克坚. 新版 WITSML 井场数据交换标准特征及应用分析[J]. 石油工业技术监督,2011,27(12):36-40.
Yang Chuanshu, Zhao Jinhai, Zhang Kejian. Analyses on the characteristics and application of new well-site data exchange standard WITSML[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2011, 27(12): 36-40.
- [12] Krafzig D, Banke K, Slama D. Enterprise SOA 中文版:面向服务架构的最佳实战[M]. 北京:清华大学出版社,2006:95-135.
Krafzig D, Banke K, Slama D. Enterprise SOA: service-oriented architecture best practices[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 95-135.

[编辑 令文学]