

引用格式:糜利栋,曾大乾,刘华,等.中国石化地下储气库一体化综合平台研发与应用[J].油气藏评价与开发,2023,13(6):781-788.

MI Lidong, ZENG Daqian, LIU Hua, et al. Development and application of Sinopec integrated management platform for underground gas storage[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(6): 781-788.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2023.06.009

中国石化地下储气库一体化综合平台研发与应用

糜利栋,曾大乾,刘华,张广权,张俊法
(中国石化石油勘探开发研究院,北京 102206)

摘要:地下储气库(下称“储气库”)涉及的环节多,运行周期长,是一个长期的系统过程。储气库全生命周期包括选址评价、方案设计、工程建设、生产运行、经营优化直至废弃,一体化是储气库安全建设和高效运行的重要保障。亟需一套完整的“管理决策—监测预警—模拟分析—生产操控”系统实现储气库的全流程一体化应用。围绕中国石化储气库建设规划,落实中国“两化”融合工作部署,将储气库管理、研究与生产紧密结合,解决储气库选址—设计—运行—分析全过程面临的管理和技术难题,以提升质量和效益为目标,设计并研发了以“生产监控、跟踪分析、远程调控、辅助决策”为核心内容的地下储气库一体化综合平台。研究表明:该平台实现了对储气库库址优选、地质研究、注采调控、调峰优化及全节点的数字化提升,精准掌控生产流程节点,智能分析生产运行趋势,科学做出生产管控决策,实现了对储气库选址优化、方案设计、生产运行、动态分析的一体化管理及研究。

关键词:地下储气库;地理信息系统;数字化管理;智慧化运行;一体化平台

中图分类号:TE132

文献标识码:A

Development and application of Sinopec integrated management platform for underground gas storage

MI Lidong, ZENG Daqian, LIU Hua, ZHANG Guangquan, ZHANG Junfa

(Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 102206, China)

Abstract: Underground Gas Storage (UGS) is a complex, multifaceted process with multiple stages and a long operational cycle, making it a long-term systemic endeavor. The lifecycle of gas storage encompasses various phases including site selection evaluation, scheme design, engineering construction, production and operation, optimization of operations, and eventual abandonment. The integration of these phases is crucial for the safe construction and efficient operation of gas storage facilities. Given the complexity and scope of UGS, there is a pressing need for a comprehensive system that encompasses “management decision-making, monitoring, early warning, simulation analysis, and production control” to facilitate the integrated application of the entire gas storage process. This paper specifically addresses the construction plan of Sinopec gas storage, aligning with the national mandate for “industrialization and informatization” integration. It aims to bridge the gap between management, research, and production in gas storage, addressing both managerial and technical challenges throughout the entire process of site location, design, operation, and analysis. The ultimate objective is to enhance quality and efficiency in gas storage operations. An integrated platform for UGS has been designed and developed, focusing on “production monitoring, tracking analysis, remote control, and auxiliary decision-making” as its core components. Research indicates that this platform has significantly advanced the digitalization of various aspects of gas storage, such as site optimization, geological research, injection and production control, and peak shaving optimization, across all nodes. It enables precise control over production process nodes, intelligent analysis of production and operational trends, and scientific decision-making for production and control. The research shows that the platform has realized the digital improvement of the gas storage site optimization, geological research, injection and production control, peak shaving optimization and the whole node, accurately controlled the production process nodes, intelligently analyzed the production and operation trend, scientifically made the production and control decisions, and realized the integrated management and research of the gas storage site optimization, scheme design, production and operation, and dynamic analysis.

Keywords: underground gas storage; geographic information system; digital management; intelligent operation; integrated platform

收稿日期:2023-03-13。

第一作者简介:糜利栋(1987—),男,博士,高级工程师,主要从事气藏工程及数值模拟、地下储气库建设及运行优化、油气大数据人工智能等方面的研究。地址:北京市昌平区沙河镇百沙路197号中国石化科技中心,邮政编码:100083。E-mail: mild158@163.com

基金项目:中国石化科技部项目“中国石化地下储气库建设运营数字化平台”(P21089)。

储气库作为天然气储存的重要载体之一,是“产供储销”全产业链中重要一环^[1-2]。储气库多周期高频注采产生海量注采运行数据,“地下-地上”一体化运行需要“气藏-井筒-管网”各系统之间的高效耦合,“资源-储气库-市场”一体化运营可以优化资源配置、提高决策效率,提高储气库经济效益。“管理决策-监测预警-模拟分析-生产操控”全流程一体化应用是提高储气库建设质量、管控水平,保障储气库安全运行,提升储气库运营效益和储气库高质量发展的重要抓手^[3-6]。

国外储气库建设起步早,一体化研究比较成熟。意大利储气库生产运行调配与监控全部依靠调控中心,储气库和国家管网已实现了一体化、智能化管理,未来将逐步实现智慧化^[7],斯伦贝谢公司基于软件系统构建了一体化运行平台架构,提出了储气库全生命周期解决方案。十四五以来,中国储气库建设进入高速发展期,但储气库业务的数字化、信息化、智能化尚处于起步阶段^[4-10]。中国基于SCADA系统的集注站、井场注采全过程数据自动化采集、远程监控、实时数据分析等方面进行了实践,建立了自控与信息化系统^[9-14],但数据收集后利用率低,运行动态智能预测、分析和控制水平不高,智能化建设处于探索阶段,全系统数字化模拟、多方联动优化运行、安全预警等系统平台仍处于空白^[15-17]。中国石油搭建了储气库信息数据管理平台^[7-8],建立了多平台大数据一体化智能储气库运行管理系统,论证完成了智能储气库的整体架构、技术架构及业务架构设计,开发了智能配产配注应用系统^[11-12]。中国石化搭建了储气库选址综合筛选信息平台,实现了储气库分区优化布局,已建储气库综合管理,未建储气库智能化评价和筛选,大大提高选址的科学性及工作效率^[13];研发了数字孪生一体化仿真及辅助生产决策系统,通过一体化高精度仿真模拟提供储气库全生命周期动态模拟解决方案;基于“石化智云”构建了储气库全流程、全生命周期业务平台,解决了储气库不同阶段的一体化问题。但目前对储气库“管理-研究-操控”一体化的研究较少,如何实现储气库研究、决策、生产的快速相对应储气库全流程一体化高效运行具有重要意义。围绕储气库智能化建设,基于地理信息系统(GIS)设计并开发了储气库一体化综合平台,应用于中国石化储气库业务,显著提升了储气库选址优化、方案设计跟踪、生产运行、动态跟踪

一体化管理及研究效率,为智能化储气库建设奠定了基础。

围绕储气库智能化建设,设计并开发了储气库一体化综合平台,应用于中国石化储气库业务,显著提升了储气库选址优化、方案设计跟踪、生产运行、动态跟踪一体化管理及研究效率,为智能化储气库建设奠定了基础。

1 需求分析

1.1 总体需求

建立规范、统一、安全、高效的中国石化储气库一体化综合平台,满足集团公司决策层对储气库建设投资决策,储气库运营公司对储气库调峰决策管理,科研院所对储气库选址、方案设计、调峰优化以及动态分析研究,生产单位对储气库生产运行跟踪等业务需求,实现储气库选址优化、方案设计跟踪、工程建设、生产运行、运营优化、动态分析一体化管理及研究。

1.2 具体需求

1) 管控实时化

面向不同层级储气库管理员,满足储气库管理人员实时获取储气库投资决策、调峰决策、选址评价、方案设计、方案跟踪、工程建设、生产运行、调峰优化及动态分析等多维度信息,为管理者做出决策提供依据。

2) 研究模型化

面向盖层完整性、断层稳定性及圈闭密封性评价、地质特征研究、库容参数设计、运营优化决策、生产动态分析等,建立了选址评价模型、地质模型、地应力模型、数值模型、优化决策模型、动态分析模型等模型库,满足储气库选址、设计、建设、跟踪全生命周期的研究需求。

3) 设计联动化

针对储气库方案指标、生产运行参数优化设计,实现“建模数模”、“采气量-调峰量-气井数”、“地层-井型-井筒”、“多周期气水互驱-动态库容-工作气量”等一体化联动,满足因不同注采周期油、气、水动态进退造成的动态库容预测,实现储气库本身生产能力与市场需求规律的最佳匹配,单井调峰量满足“地层不出砂、油管不冲蚀、井筒不积液”等。

4) 运行可视化

建立储层-井筒-管网一体化数值模拟模型,满足地质模型实时动态修正,数值模拟全程监控跟踪应用,调峰运营快速联动协作,实现储气库-井筒-管网的虚拟化展示,生产经营指标的可视化动态展示。

5) 运营智能化

保供为先,兼顾效益,建立“气源-管网-储气库-管网-市场”上下游一体化、智能化调峰优化模型,实现储气库生产运营实时智能决策,决策者根据实时气源供给、市场需求及管网分布制定最优购销方案,最大限度发挥储气库“银行”的作用,使储气库效益最大化。

6) 操控自动化

以市场调峰需求和气源供给快速响应为目标,基于气井注采能力实时动态预测结果,实现气井自动操控,确保安全、高效合理地完成调度指令,实现储气库安全高效运行。

2 功能设计与数据架构

1) 总体架构设计

基于储气库建设的数字化基础,建立面向中国石化生产管控和协同研究的地下储气库数字化-信息化-智能化一体化综合平台,实现对储气库的宏观

把控和基于平台的研究分析和优化决策,平台总体功能架构如图1所示。

2) 应用功能设计

储气库一体化综合平台(图2),包括选址优化、方案设计、生产运行、动态分析及一体化决策5大功能模块。

3 平台开发及应用实例

3.1 平台开发

采用多进程架构(图3),开发一套集权限管理、模块集成、应用管理于一体的综合性应用平台,实现对模块的风格统一、集成展示、单点登录以及满足日常网页浏览与业务办公应用使用需求。平台功能模块主要包括平台管理、模块集成、消息提醒、微服务挂载、多终端呈现5个部分。利用“云技术+微服务”体系架构,搭建平台管理体系,建设认证中心、用户中心、权限中心、应用管理中心及日志中心等微服务中心,形成面向云的信息系统的通用基础服务,各中心既相互独立,但又通过接口互通,具有“可插拔式”能力,以便因技术需要进行相应的替换,形成了适应云环境的具有自主能力的技术架构体系。

1) 认证中心

以统一身份认证为基础,采用OAuth+SSO技术,

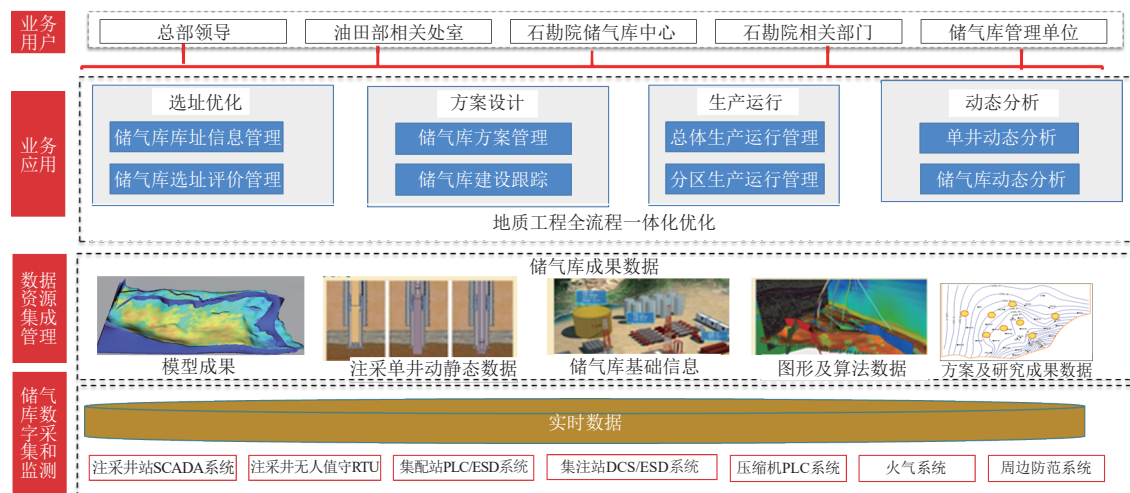


图1 平台功能架构

Fig. 1 Platform functional architecture

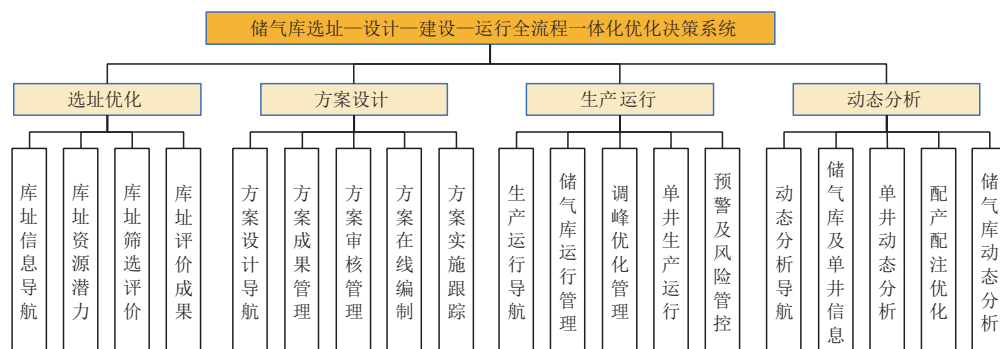


图2 平台功能设计

Fig. 2 Platform function design

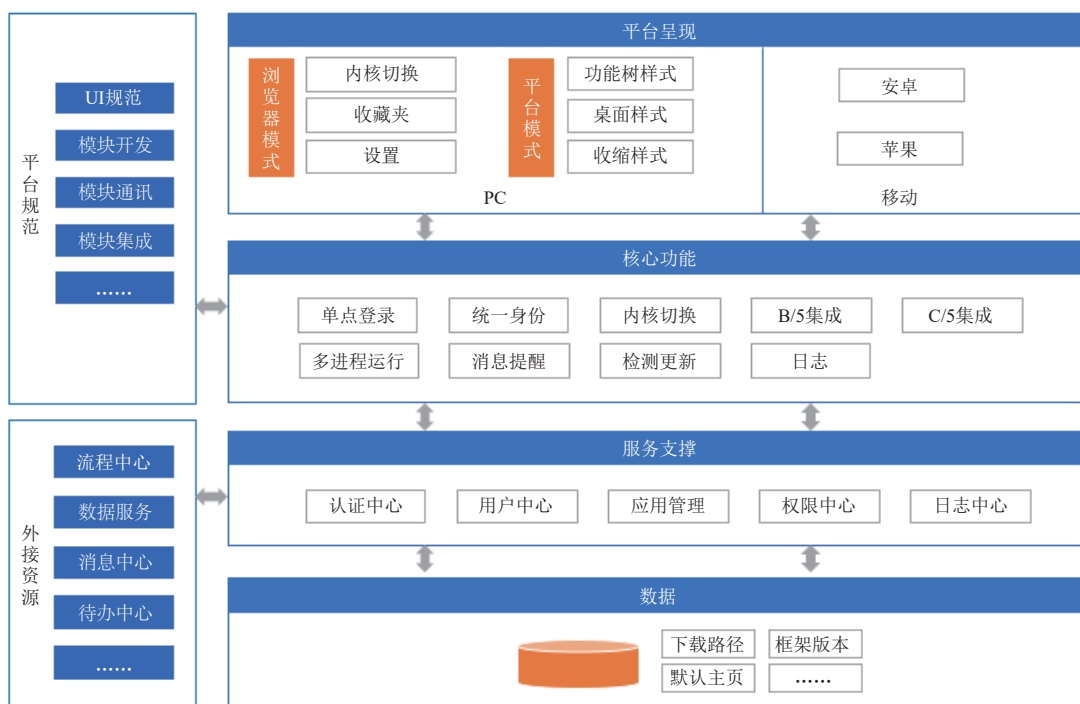


图3 平台框架

Fig. 3 Platform framework

实现面向油田的统一认证和单点登录服务,集成了AD域认证、企业统一认证等第三方认证方式,灵活性高。业务应用不直接持有用户名和密码,确保账号安全,提供统一登录界面,简化应用研发。

2) 用户中心

构建以用户、组织机构、岗位三位一体的联动机制,为其他中心提供组织机构、用户、岗位的数据基础和服务接口。用户中心包括单位管理、岗位管理、用户管理3部分。

3) 应用管理中心

实现应用和模块的全生命周期管理(图4),包括应用和模块的注册、管理、更新、发布、下载等功能。基于不同业务域,提供个性化模块组装技术,支持配置和发布不同应用系统桌面,提高不同领域业务应用的共享和复用,增强信息服务能力、促进信息专业化应用。

4) 权限中心

平台打造岗位化的权限分配、管控、应用体系,

形成“用户-岗位-角色(模块)”权限模型,并在此模型基础上形成“数据行级”授权,权限控制流程如图5所示。权限中心包括权限维护、角色管理、岗位授权3个部分。

5) 日志中心

平台通过搭建统一标准化的日志管理服务,实现日志采集、日志存储、检索分析、展示等功能,提供实时记录、避免丢失、快速定位等能力。通过日志中心,用户可以及时了解系统性能、用户行为,保障系统的高效可靠运行。日志中心由日志收集、日志存储、日志展示3个部分构成。

3.2 实例应用

以中国石化储气库为例进行应用测试,通过统一身份认证登录平台如图6所示。目前综合平台已集成储气库总览、选址优化、方案设计、生产运行、动态分析及数据管理6大模块。储气库总览以地理信息系统(GIS)为指引,通过一张图的形式展示储气库关键信息,包括储气库类型、状态、位置分布、设计指标、实时运行指标以及资源市场流向等参数,管理者可以一目了然地获取到储气库从选址优化—方案设计—调峰管理—注采运行等相关信息。

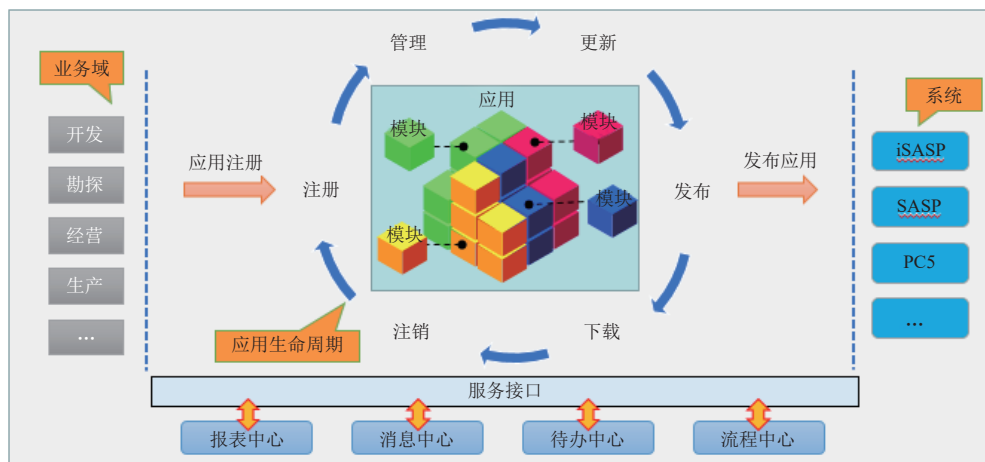


图4 应用全生命周期管理

Fig. 4 Application of lifecycle management

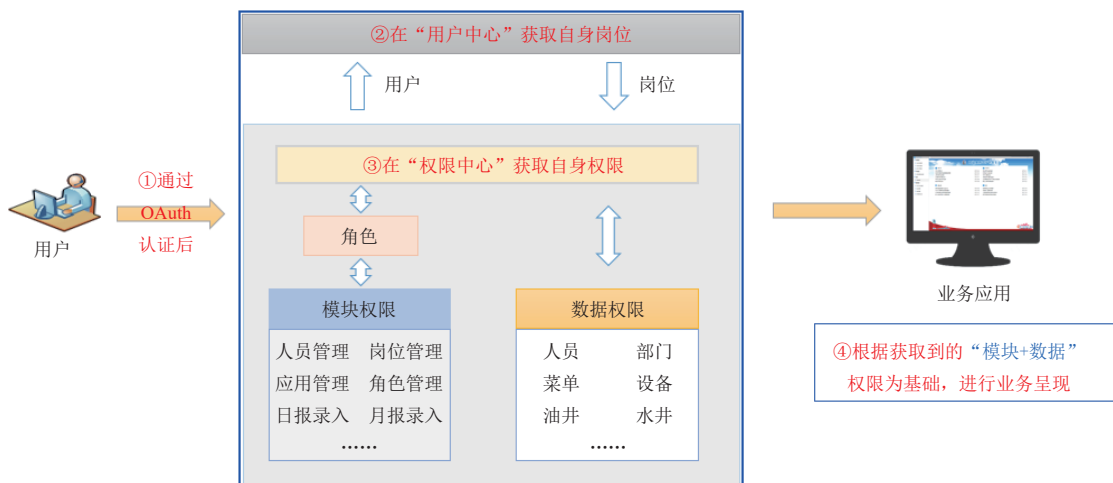


图5 权限控制流程

Fig. 5 Permission control process

选址优化模块包括库址信息导航、库址资源潜力、库址筛选管理以及库址评价成果管理4个子系统。库址信息导航通过一张图的形式显示所有运行、备选、在建储气库类型、位置分布以及库容参数等信息;库址资源潜力对所有储气库从状态、类型以及分区3个维度进行数据分析;库址筛选管理可以对油气藏型、盐穴型以及含水层型储气库等开展库址优选评价,优选建库目标;库址评价成果管理实现了不同类型储气库库址评价指标体系、标准、方法以及评价成果的综合管理与应用。

方案设计模块包括方案设计导航、方案成果管理、方案审核管理、方案在线编制及方案实施跟踪5个子系统。方案设计导航以一张图的形式展示所有

通过总部审查的方案信息,包括不同类型储气库方案、不同类型方案(可研、变更、调整)的数量、总库容、总工作气量等总体信息和单库关键参数,同时可以查询在审储气库方案审查进度及审查意见;方案成果管理子系统集成了所有储气库已审核可研、变更以及调整方案信息,包括方案设计库容参数、运行参数、投资等关键指标,方案设计报告、审查意见、批复文件等文档资料,地质模型、数值模型等模型数据体;方案审核管理按照审核节点面向不同层级用户开放对应界面,包括油田分公司上报管理、储气库中心审核管理、油田事业部审核管理以及发展计划部审核管理等节点,不同层级用户可随时查询了解方案审核流程进度及审核意见;方案在线编制基于模



图6 登录界面

Fig. 6 Login interface



图7 生产运行子系统

Fig. 7 Production and operation subsystem



图8 动态分析子系统
Fig.8 Dynamic analysis subsystem

型数据体,通过不同专业在线协同研究,实现在线编制;方案实施跟踪通过实时跟踪储气库建设实际情况,对比分析与设计指标的差异。

如图7所示为生产运行子系统,包括生产运行导航、储气库运行管理、调峰管理、单井生产运行、预警及风险管控5个子系统。生产运行导航通过一张图的形式展示所有运行储气库实时生产运行指标,包括所有储气库和单库的实时开井数、注采气量、库存量、压缩机及监测井运行指标,实际与计划运行情况对比等;储气库运行管理分析储气库开井数、日注采气量、日注采气压力变化规律及阶段生产指标对比;调峰优化管理子系统基于调峰优化模型,根据市场调峰需求、气源方向以及储气库库存量,结合管网分布,以“保供为先,兼顾效益”为目标,优化储气库气源-调峰方案,依托GIS展示各储气库气源及市场流向;单井生产运行子系统分析储气库不同注采井单井日注采数据,对比单井阶段运行情况,分析监测井单井日监测数据及阶段变化规律;预警及风险管控依托储气库及单井生产运行跟踪情况,基于预警及风险管控模型,实时预警储气库及单井生产异常情况,并给出解决方案。

如图8所示为动态分析子系统,包括生产动态导航、单井信息管理、单井动态分析、配产配注优化以及储气库动态分析5个子系统。动态分析导航全面展示储气库动态分析成果及动态分析需求;单井信

息集成可以调用单井钻完井、监测、生产等数据满足动态分析过程中基础数据的获取;单井动态分析可以实时分析对比注采数据、监测数据并动态成图。

数据管理模块,包括基础数据、选址优化、方案设计、生产运行及动态分析5个数据管理子系统,主要用于数据采集,服务于总览、选址优化、方案设计、生产运行及动态分析5大模块的数据展示和研究分析,是储气库一体化综合平台的基础。

4 结论

1) 面向中国石化生产管控和协同研究的储气库数字化-信息化-智能化综合平台服务于总部决策层、储气库运营公司、科研院所以及生产单位,满足储气库选址、方案设计、方案跟踪、工程建设、生产运行、运营优化及动态跟踪全流程一体化管理与研究,实现了管控实时化、研究模型化、设计联动化、运行可视化、运营智能化、操控自动化。

2) 储气库一体化综合平台包括选址优化、方案设计、生产运行、动态分析及一体化决策5大功能,提高了储气库选址的效率,方案在线审核缩短了审核时间,生产运行和动态分析实现了储气库生产动态数据的实时分析和成图,在生产和研究方面提高了工作效率。

3) 储气库方案在线编制、智能配产配注、研究

生产实时交互、储气库一体化运营、全流程一体化生产优化、储气库群全局系统优化、智能运营及风险管控、储气库数字孪生技术等将是未来储气库智能化发展的重点方向。

参考文献

- [1] 曾大乾,张俊法,张广权,等.中石化地下储气库建库关键技术研究进展[J].天然气工业,2020,40(6):115-123.
ZENG Daqian, ZHANG Junfa, ZHANG Guangquan, et al. Research progress of Sinopec's key underground gas storage construction technologies[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(6): 115-123.
- [2] 张广权,曾大乾,范照伟,等.利用地应力评价地下储气库断层密封性方法及应用[J].天然气地球科学,2021,32(6):923-930.
ZHANG Guangquan, ZENG Daqian, FAN Zhaowei, et al. Method and application of fault sealing evaluation of underground gas storage using geostress[J]. Natural Gas Geoscience, 2021, 32(6): 923-930.
- [3] 文韵豪,王秋晨,巴玺立,等.国内外智能化储气库现状及展望[J].油气与新能源,2022,34(6):60-64.
WEN Yunhao, WANG Qiuchen, BA Xili, et al. Insights and forecast on domestic and international intelligent gas storage[J]. Oil and Gas and New Energy, 2022, 34(6): 60-64.
- [4] 张磊.基于自动化系统的智能储气库建设探索[J].电子测试,2022,36(16):82-84.
ZHANG Lei. Exploration of intelligent gas storage construction based on automation system[J]. Electronic Test, 2022, 36(16): 82-84.
- [5] 刘焯,何刚,杨莉娜,等.“十四五”期间我国储气库建设面临的挑战及对策建议[J].石油规划设计,2020,31(6):9-13.
LIU Ye, HE Gang, YANG Lina, et al. Challenges and countermeasures for China's gas storage construction during the "fourteenth five-year plan" period[J]. Petroleum Planning and Design, 2020, 31(6): 9-13.
- [6] 赵平起,李才雄,王权国,等.大港油田储气库发展历程及相关思考[J].国际石油经济,2021,29(6):63-70.
ZHAO Pingqi, LI Caixiong, WANG Quanguo, et al. Development history and relevant thinking of gas storage in Dagang Oilfield[J]. International Petroleum Economics, 2021, 29(6): 63-70.
- [7] 马新华,郑得文,魏国齐,等.中国天然气地下储气库重大科学理论技术发展方向[J].天然气工业,2022,42(5):93-99.
MA Xinhua, ZHENG Dewen, WEI Guoqi, et al. Development directions of major scientific theories and technologies for underground gas storage[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(5): 93-99.
- [8] 张刚雄,郑得文,张春江,等.地下储气库信息数据管理平台开发及应用[J].油气储运,2015,34(12):1284-1287.
ZHANG Gangxiong, ZHENG Dewen, ZHANG Chunjiang, et al. Development and application of underground gas storage information data management platform[J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 2015, 34(12): 1284-1287.
- [9] 赵爱国,尹文斌,李红军,等.中控自动化控制系统在驴驹河储气库中的应用[J].中国仪器仪表,2021,41(6):23-27.
ZHAO Aiguo, YIN Wenbin, LI Hongjun, et al. Application of central control automation control system in Lvju River gas storage[J]. China Instruments and Meters, 2021, (6): 23-27.
- [10] 张晓冉,薛辉,张磊,等.文96地下储气库SCADA系统[J].油气田地面工程,2014,33(10):90-91.
ZHANG Xiaoran, XUE Hui, ZHANG Lei, et al. Wen 96 underground gas storage SCADA system[J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2014, 33(10): 90-91.
- [11] 游赞,禹贵成,周博涵,等.相国寺储气库压缩机活塞杆断裂故障分析研究[J].油气田地面工程,2020,39(12):30-34.
YOU Yun, YU Guicheng, ZHOU Bohan, et al. Analysis and research on piston rod fracture of compressor in Xiangguosi gas storage[J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2020, 39(12): 30-34.
- [12] 廖浩然,任科,禹贵成,等.相国寺储气库智能化建设探索与实践[C]//第32届全国天然气学术年会(2020)论文集.北京:中国石油学会,2020:3005-3014.
LIAO Haoran, REN Ke, YU Guicheng, et al. Exploration and practice of intelligent construction of Xiangguosi gas storage [C]// Proceedings of the 32nd National Natural Gas Academic Annual Conference (2020). Beijing: Chinese Petroleum Society, 2020: 3005-3014.
- [13] 曾大乾,胡宗全,糜利栋,等.不同类型地下储气库库址评价标准体系及筛选平台[J].天然气工业,2022,42(增刊1):117-124.
ZENG Daqian, HU Zongquan, MI Lidong, et al. Evaluation standard system and screening platform for different types of underground gas storage sites[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(suppl. 1): 117-124.
- [14] 叶康林.地下天然气储气库信息化建设现状与探讨[J].信息系统工程,2019,32(7):124-126.
YE Kanglin. Current situation and discussion of underground natural gas storage informatization construction[J]. Information System Engineering, 2019, 32(7): 124-126.
- [15] 万喙.地下天然气储气库数字化建设现状[J].化学工程与装备,2021,50(10):216-217.
WAN Yang. Digital construction status of underground natural gas storage[J]. Chemical Engineering and Equipment, 2021, 50(10): 216-217.
- [16] 糜利栋,顾少华,薛亮,等.基于数据驱动技术的智能试井解释方法——以有水气藏产水气井为例[J].天然气工业,2021,41(2):119-124.
MI Lidong, GU Shaohua, XUE Liang, et al. An intelligent well test interpretation method based on data driven technology: A case study from one water-producing gas well of water-bearing gas reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(2): 119-124.
- [17] 糜利栋,顾少华,薛亮,等.基于人工智能技术的试井解释方法研究[C]//第32届全国天然气学术年会(2020)论文集.北京:中国石油学会,2020:1177-1185.
MI Lidong, GU Shaohua, XUE Liang, et al. Research on well test interpretation methods based on artificial intelligence technology[C]// Proceedings of the 32nd National Natural Gas Academic Annual Conference (2020). Beijing: Chinese Petroleum Society, 2020: 1177-1185.

(编辑 常燕)