

公益性陆域油气地质调查钻探工程技术 进展与攻关建议

何远信^{1,2}, 胡志方^{1,2}, 单衍胜^{1,2}, 王胜建^{1,2}, 迟焕鹏^{1,2}, 朱迪斯^{1,2}, 赵洪波^{1,2}

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 中国地质调查局非常规油气工程技术中心, 北京 100083)

摘要:公益性陆域油气地质调查主要针对“新区、新层系、新类型、新领域”开展基础性、公益性、战略性工作。近年来,通过部署多项油气地质调查科技攻坚战,取得了一批重要地质发现及页岩油气突破,为国家能源安全保障做出了应有贡献。但“新区、新层系、新类型、新领域”的陆域油气地质调查工作区具有复杂构造区多、工作程度低、工程实践少、资料相对缺乏的特点,导致钻探工程面临复杂故障预见性差、安全风险高、地质目的实现难度大等挑战。结合近年来油气地质调查钻探工程实践,对公益性陆域油气地质调查钻探工程总体现状、难点挑战、技术进展进行了阐述,从安全环保、取全取准各项地质资料、提速降本等角度,提出了技术攻关建议,以期对公益性陆域油气地质调查钻探工程的发展和进步起到一定推动作用。

关键词:油气地质调查;陆域油气;页岩油气;钻探工程;技术进展;攻关建议

中图分类号:P634; TE2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)05-0003-08

Advances and research suggestions for onshore oil & gas survey drilling engineering for the public benefit

HE Yuanxin^{1,2}, HU Zhifang^{1,2}, SHAN Yansheng^{1,2}, WANG Shengjian^{1,2},
CHI Huanpeng^{1,2}, ZHU Disi^{1,2}, ZHAO Hongbo^{1,2}

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2. Unconventional Oil and Gas Engineering Technology Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

Abstract: The public benefit onshore oil and gas survey is to carry on basic, public and strategic exploration focused on new areas, new strata, new types and new fields. In recent years, many important geological discoveries and shale oil & gas survey breakthroughs have been made through a number of scientific and technological projects in oil and gas geological survey, making contributions to national energy security. However, the geological survey work on “new areas, new strata, new types and new fields” has the characteristics of many complex structural areas, low degree of work, few engineering practices and relative lack of data, which lead to the challenges of poor prediction of complex problems, high safety risk and difficult realization of geological objectives. With respect to the practice of oil and gas survey and drilling practice in recent years, this paper expounds the overall status, difficulties and challenges, and advances in the public benefit onshore oil and gas survey drilling engineering. From the perspectives of safety and environmental protection, obtaining full and exact geological data, increasing speed and reducing cost, some research suggestions are put forward to solve technical problems so as to promote the development and progress of the public benefit onshore oil and gas survey drilling engineering.

Key words: oil and gas geological survey; onshore oil and gas; shale oil and gas; drilling engineering; technological progress; research suggestion

收稿日期:2022-08-24 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.002

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“北方重要盆地油气资源战略选区与潜力评价”(编号:DD20221674)、“南方盆地页岩气调查评价”(编号:DD20221653)、“合肥盆地及周缘油气资源战略调查”(编号:DD20190725)

第一作者:何远信,男,汉族,1964年生,教授级高级工程师,博士,从事地质钻探、石油钻井技术研究与管理工作,北京市海淀区北四环中路267号,hyuanxin@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:何远信,胡志方,单衍胜,等.公益性陆域油气地质调查钻探工程技术进展与攻关建议[J].钻探工程,2022,49(5):3-10.

HE Yuanxin, HU Zhifang, SHAN Yansheng, et al. Advances and research suggestions for onshore oil & gas survey drilling engineering for the public benefit[J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):3-10.

0 引言

近年来,我国石油对外依存度超过70%,天然气对外依存度超过40%,我国能源供需形势仍然严峻^[1-2]。为了缓解油气资源供需压力、保障国家能源安全,亟需加大国内油气地质调查、勘查力度,推动页岩油、页岩气、煤层气等非常规油气成为战略接续资源^[3]。公益性陆域油气地质调查作为国家油气勘探的重要部分,旨在通过持续攻关基础性、前沿性、战略性的油气地质问题,查明我国油气资源潜力,并通过公益性油气调查率先获得发现和突破,提供有效招标区块,从而带动商业勘查开发,推动一批勘查示范基地建设,有效促进国家油气体制改革,为保障国家能源安全做出贡献^[4]。针对新区、新层系、新类型、新领域,中国地质调查局在“十三五”期间开展了油气基础调查、战略选区调查和勘查示范工程建设,实施了“南方页岩气基础调查工程”、“北方新区新层系油气地质调查工程”、“松辽盆地及外围油气地质调查工程”、“非常规油气地质调查工程”和“全国油气资源战略选区调查工程”等五大工程^[5-8],解决了一批制约油气地质调查的重大地质问题和工程技术难题,取得了多项调查成果^[9]。油气调查钻探工程作为油气发现的重要和直接手段,在新疆塔里木盆地、准噶尔盆地南缘西北部等北方常规油气调查^[10],鄂西宜昌、黔北武陵山地区、黔西石炭系等南方复杂构造区页岩气调查^[11-13],松辽盆地页岩油^[14]及黔西、川南、东北三江地区煤层气^[15]等调查突破中发挥了重要的支撑保障作用。

结合近年来公益性油气地质调查钻探工程实践,分析和总结了适应性钻探工程技术集成应用、特殊钻井工艺、高效取心工具、钻井液等钻探工程技术进展,梳理了主要钻探工程难点,并对公益性油气地质调查钻探工程技术攻关方向提出了针对性建议。

1 总体现状

中国地质调查局从2010年起开始部署公益性油气地质调查工作,随着国家公益性油气资源调查与评价需求的不断提升,自2013年起,部署的钻探工程工作量也逐步增加,勘探投资和钻井数量逐年提高,2015年达到高峰。根据全国石油天然气资源勘查开采通报数据统计,2013—2020年中国地质调查局油气勘探累计投入经费169.99亿元,实施各类钻井共520口,完成钻探进尺62.87万m(见图1)。

2017年,钻成中国地质调查局首口页岩气水平井——鄂宜页1HF井,井深3917m,水平段长1875m;2018年,钻成中国地质调查局最深页岩气水平井——鄂阳页2HF井,井深5200m;2018年,钻成中国地质调查局最深、水平段最长页岩油水平井——吉页油1HF井,井深3978m,水平段长1252m;2020年,新疆沙井子构造带新苏参1井完钻,井深5110m,成为中国地质调查局最深油气直井。

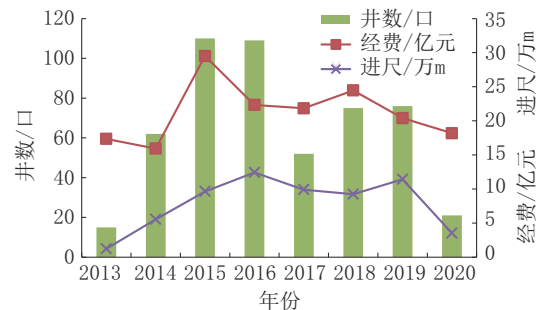


图1 中国地质调查局陆域油气勘探经费及钻探工程部署概况(2013—2020年)

Fig.1 Onshore oil and gas exploration funds and drilling project deployment overview of China Geological Survey (2013–2020)

2 钻探工程难点及挑战

公益性陆域油气地质调查工作区域主要位于矿权空白区,具有分布范围广、工作程度低、工程实践少、资料相对缺乏等特点,且随着油气勘探向新层系、非常规、复杂构造区发展,面临复杂故障预见性差、安全风险高、地质目的的实现难度大等挑战。

(1)南方页岩气地质调查区尤其是湘鄂西、渝黔滇桂工作区,浅表地层以碳酸盐岩为主,溶洞、裂缝发育,部分区域分布有地下暗河,在钻井浅部井段就容易发生失返性井漏。黔北安页1井、黔西南地区黔紫页1井、黔水地1井、鄂西地区鄂阳页1HF井、鄂宜参2井、鄂宜参3井等均在浅表层钻进过程中发生失返性井漏^[16-17],部分恶性漏失同时引起井塌、卡钻等复杂情况,时间和经济成本大大增加。

(2)部分页岩气地层岩石研磨性强,可钻性差,难钻进、难取心。以鄂西页岩气勘探区域为例,寒武系牛蹄塘组下部、震旦系灯影组和陡山沱组地层岩性以白云岩、灰岩、云质泥岩为主,硅质成分高,地层抗压强度高、研磨性强、可钻性差,导致入井钻头磨损快、机械钻速低,鄂阳页2HF井在陡山沱组平均

钻时高达40 min/m以上;以南华北盆地安徽北部勘探区域为例,奥陶系地层岩性以砂岩、含灰质粉砂岩及泥岩等为主,砂岩致密,泥岩性硬、脆、质较纯,煤层和炭质泥岩发育,导致可钻性差、研磨性强、破碎严重,皖毫参1井取心层段钻时37~131 min/m,单筒回次取心进尺短,平均在1.6~5.0 m之间^[18]。

(3)南方页岩气勘探区域存有异常高压和H₂S。部分层段存在多套压力体系,易漏、易垮塌、异常高压共存,溢漏同段导致井控风险高,井身结构优化设计和安全施工难度大。

(4)新疆复杂山前高陡构造带防斜打直难度大。断裂硬脆性破碎地层、盐膏层发育,垮塌、缩径时有发生。寒武系和震旦系地层古老、研磨性强,对钻具组合和钻头选型要求较高。

(5)页岩油气等非常规油气优质储层较薄,水平井穿行靶窗窄,如鄂阳页2HF井水平段穿行优质页岩靶窗为5 m,吉页油1HF井目标层靶窗仅为1.94 m,实现精确导向难度大。同时,泥页岩地层易垮塌,存在裂缝型漏失风险,水平段钻进井壁不稳定^[19],易发生卡钻风险,严重时可导致钻具被埋、井眼报废。

(6)小井眼地质调查井装备难以满足井控等要求。小井眼地质调查井主要用于查明烃源岩与地层层序,主要采用立轴式岩心钻机,配套绳索取心工艺,其钻机底座、配套钻塔、泥浆泵等,不适宜井控设备安装和井控操作,导致在井控、储备加重钻井液以及固井施工等方面还存在诸多亟须解决的问题^[20],一旦发生较严重的气侵,容易引起溢流甚至井喷,对钻井安全和环保造成极大挑战。

3 钻探工程技术进展

公益性油气地质调查通过钻探工程的实施,取得了宝贵的地质和工程资料,保障了新区、新层系、新类型油气勘探发现和突破,同时,在克服钻探工程难点的过程中,应用或提出了诸多新技术,形成了与公益性油气地质调查相适应的钻探工程技术体系。

3.1 适应性钻探工程技术集成应用

3.1.1 钻井井身结构优化设计

针对鄂西地区浅表层恶性漏失,目的层及上部地层井漏、井壁垮塌问题,形成了降低复杂问题发生风险、兼顾提高钻井速度的水平井井身结构设计方法(见图2),以满足复杂构造区页岩气勘探开发需求。具体优化方案为:根据地层情况,缩短一开井深,提

高钻进效率,由鄂阳页1HF井一开1800 m减少至鄂阳页2HF井的700 m,后续作业可将一开缩短至500 m左右,减少大尺寸井眼工作量;在寒武系牛蹄塘组二段穿行的水平井,技术套管封固牛蹄塘组三段易漏低承压地层,降低水平段地层承压难度,为水平段钻进提供安全密度窗口;如果水平井在震旦系陡山沱组穿行,则宜采用技术套管封固陡二段破碎易坍塌地层,降低水平段钻进及生产套管下入风险。

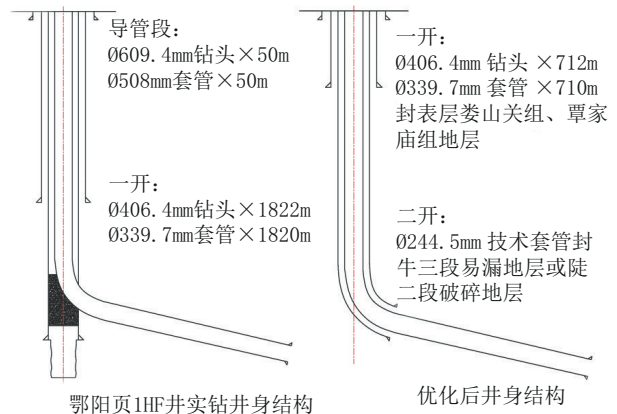


图2 鄂西地区页岩气井井身结构优化设计
Fig.2 Design optimization of well program for Western Hubei area

3.1.2 跟管钻进技术

跟管钻进技术是将钻进形成井眼与下套管封隔同步进行的一种钻井技术,广泛应用于水文、地质、岩土钻探和地质灾害治理等工程领域。跟管钻进技术可有效应用于浅表层溶洞、裂缝发育地层及漏垮同层的安全快速钻进。以黔西地区黔水地1井为例,在导管段钻进过程中钻遇溶洞,发生了恶性漏失和井塌双重复杂情况,先后使用清水强钻、空气钻进、水泥浆堵漏、商砼堵漏等技术措施历时10余天均未解决,采用跟管钻进耗时8 h成功封隔溶洞和垮塌地层^[21]。

3.1.3 优快钻井工具及个性化钻头优选

针对新疆沙井子构造带奥陶系泥晶灰岩、含硅质条带白云岩研磨性地层,优选TS1653型PDC钻头,实现了单只钻头进尺828.5 m;针对山前构造带防斜打直难题,采用“PDC或混合钻头+1.5°弯螺杆钻具+MWD”防斜纠斜钻具组合,密切监测井斜数据,发现井斜超标后及时采取措施定向控制和纠斜钻进,在新苏参1井纠斜困难井段选用KPM1633

DST混合钻头(见图3)，“滚动牙轮+固定刀翼”复合破岩技术，相比PDC破岩，机械钻速提高30.7%，该防斜纠斜钻具组合在新吉参1井(井深4900 m)实现全井井斜角控制在4.92°以内；针对寒武系阿瓦塔格组、沙依里克组、吾松格尔组含石膏地层易蠕变特点，为避免卡钻风险，采用 $\varnothing 215.9\text{ mm} \times \varnothing 241.3\text{ mm}$ 的双心PDC钻头，保证了足够的井筒空间，为后续套管顺利下入提供了保障。



图3 新苏参1井混合钻头使用后照片
Fig.3 Hybrid bit after use in Well XSC-1

针对鄂西地区寒武系、震旦系以灰岩和白云岩为主的古老地层抗压强度高、研磨性强、可钻性差的特点，以及导致钻头磨损快、寿命短、机械钻速低的难题，在牛蹄塘组二段、陡山沱组二段研磨性地层中优选耐冲击、稳定性强的史密斯MDI616、MDI516型的PDC钻头；在牛蹄塘组三段和一段、陡山沱组三段地层优选耐研磨、适合硬地层的HJT637GL型牙轮钻头^[17]。

针对安徽北部页岩气勘探区域存在软硬互层导致难钻进、难取心等难题，研发了适应于地质调查井绳索取心工艺的高胎体偏心斜齿金刚石钻头(见图4)，在皖毫地1井泥岩层钻进中提速20%~50%，机械钻速达到1.65 m/h，钻头寿命延长20%以上。

3.1.4 旋转导向钻井技术

南方页岩气水平井钻进是在特征不清晰、横向变化大、薄夹层多、厚度小的储层中穿行，轨迹控制



图4 高胎体偏心斜齿孕镶金刚石钻头
Fig.4 High matrix eccentric helical impregnated diamond bit

难度大。为了提高优质储层钻遇率的同时，提高机械钻速和降低套管摩阻，最优的办法是使用旋转导向钻井系统。中国地质调查局在长江经济带页岩气科技攻坚战5口水平井钻进中全部使用了旋转导向钻井系统，优质储层钻遇率在90%以上，其中鄂阳页1HF井和鄂阳页2HF井优质储层钻遇率100%，机械钻速远高于使用PDC+螺杆的钻井方式，获得了较高的纯钻时效。

3.1.5 近钻头地质导向钻井技术

采用旋转导向系统可以确保更高的机械钻速和更平滑的井眼轨迹，但其造价昂贵、使用费用高，且国产化工具处在试验应用阶段^[22-23]，尚未全面推广。因此，考虑到导向工具的精确性，地层适应性和经济实用性，近钻头地质导向钻井技术^[24]成为一种优良的解决方案。近钻头地质导向工具(见图5)测量模块零长较旋转导向系统更小，距离钻头只有0.6 m，可通过测量和接收模块实时监测和传输钻头附近实时的井斜、方位、伽马和转速数据，根据地层变化及时调整井眼轨迹。在吉页油1HF井水平段钻进过程中，采用了近钻头地质导向钻井系统，主要利用随钻方位伽马进行厚度仅1.94 m的优质目标层的追踪，快速准确判断井眼与地层接触关系，及时调整井眼轨迹，确保了平滑的井眼轨迹，实现了100%的优质储层钻遇率。

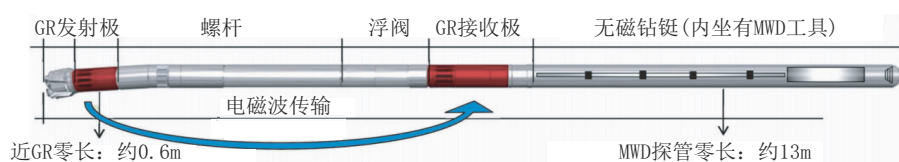


图5 近钻头地质导向工具示意
Fig.5 Schematic of the near-bit geosteering tool

3.1.6 二维地震条件下水平井地质导向技术

针对鄂西地区资料少、地震资料为品质较差的二维资料的情况,面对储层含白云岩夹层、天然裂缝发育、GR值差异小等地质难点,综合利用目标层底面构造及导眼井GR、气测、TOC、碳酸盐岩含量、铀钍比、白云石含量等资料,并依据各曲线特征,进行地层剖面属性反演及曲线反演,构建了一套适宜的地质建模方法,综合随钻测井、录井、二维地震、随钻矿物成分分析等技术,通过“对比—计算—预测—调整”,实时优化井眼轨迹,形成了二维地震条件下“精细地震解释+电阻率+伽马成像”的水平井导向钻井技术。在5 m靶窗内完成了鄂阳页2HF井1410 m的水平段钻进,实现了100%的优质储层钻遇率。

3.2 高效取心技术

3.2.1 大尺寸提钻取心技术

基于我国大陆科学钻探攻克复杂地层研发的KT型取心钻具,将传统的石油钻井大口径钻具特点及地质岩心钻探金刚石薄壁取心技术的特点相融合,配套使用金刚石、PDC、巴拉斯、硬质合金等多种钻头,对沉积岩、变质岩及岩浆岩具有较广泛的岩石适应性,可实现大口径同径取心^[25-26]。在油气钻井 $\varnothing 215.9$ mm同径取心钻进条件下,KT-194(216)

型钻具切削面积比为64.7%,川8-4型钻具切削面积比为76.2%,前者切削面积比为后者的84.9%^[27]。在油气钻井相同井筒直径条件下,KT-194(216)型钻具所取岩心直径较石油钻井相同规格钻具大20 mm,单位取心量大大提高,同时钻头碎岩面积大幅减小,利于钻速提高^[28]。KT系列钻具与螺杆钻具、涡轮钻具及液动锤等井底钻具组合使用,在东北松辽盆地页岩油气勘探和新疆准格尔盆地等区域实现高效率、长筒取心作业。

3.2.2 大井眼绳索取心技术

以成熟的小口径 $\varnothing 122$ mm绳索取心钻具结构为基础,结合 $\varnothing 152$ mm口径深部钻进的要求,配合绳索取心液动潜孔锤,实现了钻孔直径150 mm、岩心直径80 mm的绳索取心钻进最大钻深达2700 m。通过加大钻杆与钻孔环空间隙,减小深井钻进钻井液上返阻力和对地层的压力,增加钻具的稳定性,改变钻具受力状态,匹配加重钻杆,组合大口径加重绳索取心钻具系统(见图6)^[29],其组合方式为: $\varnothing 152$ mm钻头+绳索取心双管钻具总成+ $\varnothing 140$ mm加重管+ $\varnothing 127$ mm钻杆+扶正器+ $\varnothing 114$ mm绳索取心钻杆。配套钻机选用TGQ-3000型永磁直驱钻机,在浙江临安LC-01井实现长井段连续取心。

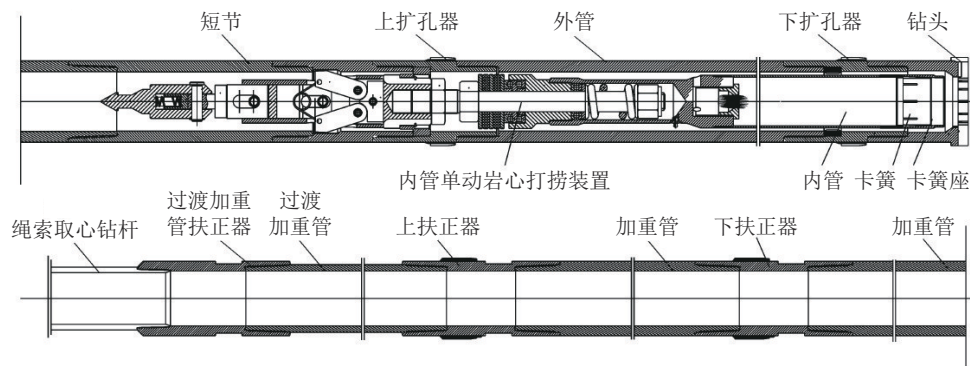


图6 大直径加重管组合绳索取心钻具结构

Fig.6 Structure of the modular large-diameter wire line drilling tool with a weigh pipe

3.3 钻井液技术

3.3.1 水平井段水基钻井液技术

基于环保因素,采用(8~15)% NAPG(聚醚胺基烷基糖苷)和(2~10)% APG(烷基糖苷)为主剂,优化配伍增粘剂、封堵剂、降滤失剂及其他处理剂形成的NAPG水基钻井液体系^[30],代替油基钻井液完成了松页油2HF井泥页岩段739 m水平段的施工,使松页油2HF井成为国内第一口利用水基钻井

液完成的陆相泥页岩水平井^[31]。该水基钻井液破解了水基钻井液在水平段泥页岩岩屑携带能力差、垮塌掉块等陆相页岩油钻井难题,最终油层套管以200~300 m/h的速度顺利下入井底,展现了较好的抑制防塌和润滑效果。

3.3.2 弱凝胶堵漏技术

鄂阳页1HF井在斜井段牛三段地层中钻进过程中,多次发生井漏和复漏,采用堵漏浆、水泥浆多

次堵漏后,仍无法满足后续油基钻井液水平段钻进的地层承压要求,最后采用弱凝胶堵漏技术成功解决。弱凝胶堵漏剂具有较高的粘弹性,进入裂缝后形成段塞滞留在裂缝中,且启动压力高,不易被钻井液冲走,能够有效封堵裂缝通道。将弱凝胶堵漏剂在地面配制好后,用光钻杆将弱凝胶段塞注入漏失井段,直接挤入裂缝中,短时候凝后即能够达到承压要求。

3.4 基于“云”架构的油气大数据中心和生产调度

指挥平台

油气地质调查大数据是地质云^[32]建设的重要内容,考虑油气地质调查数据管理方式、存储状态和应用领域等状况,针对公益性油气地质调查数据管理、存储及应用需求等内容,形成了基于“云”架构的油气大数据中心,实现了“数据采集—存储—预处理—共享—应用”的全过程管理。基于油气大数据中心,通过生产现场—室内数据的传输与共享,建立了生产调度监控指挥中心(见图7),实现了远程实时会商、讨论、决策,降低了作业风险、提高了作业效率。



图7 生产调度指挥平台

Fig.7 Production dispatching command platform

4 攻关建议

公益性油气地质调查的钻探工程应围绕“新区、新层系、新类型、新领域”的基础性、公益性、战略性油气地质调查需求,在“安全和环保”的前提下,以“取全取准各项地质资料”为主要目标,兼顾“提速降本”,支撑保障油气发现和突破。公益性陆域油气地质调查钻探工程技术正向绿色、安全、经济、智能的方向发展。

(1)深化钻井工程与测井、录井、物探、实验测试等多学科的融合,增强地质工程一体化研究。优化钻完井技术方案,降低作业风险,保障作业安全。

(2)开展高效提速关键技术研究,重视安全高效碎岩及取心技术研发及应用推广。探索基于“钻柱—井壁—岩石”系统动力学和钻头逆向设计理论

的钻头破岩、磨损机理研究,开展个性化钻头与钻井参数智能控制研究,满足钻井提速需求。

(3)开展绿色钻探技术的研究应用。研发适用于小口径油气调查钻探工程泥浆不落地装备以及适用于复杂地层的强抑制性环保型钻井液体系;加强跟管钻进装备升级,优化井身结构,解决浅部失返性漏失及坍塌破碎地层快速钻进难题,实现南方岩溶发育地区高效安全钻进。

(4)开展小口径地质调查井井控技术研发,推动地质岩心钻机及配套系统改进升级,形成相应的井控安全技术规范,适应公益性油气地质调查钻探井控安全的需要。

(5)加快低成本地质调查井规范制度建设,改进相关技术措施,形成“钻前一钻中—钻后”全流程的绿色钻探工程技术体系。

(6)开放公益性油气地质调查钻探工程平台,积极推进新装备、新技术试验及推广应用,推动油气地质大数据和工程的深度融合,完善智能决策系统,建设远程专家“会诊”与决策信息平台。

参考文献(References):

- [1] 何江川,余浩杰,何光怀,等.鄂尔多斯盆地长庆气区天然气开发前景[J].天然气工业,2021,41(8):23-33.
HE Jiangchuan, YU Haojie, HE Guanghuai, et al. Natural gas development prospect in Changqing gas province of the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 23-33.
- [2] 张金成.第一性原理思维法在页岩气革命中的实践与启示[J].钻探工程,2022,49(2):1-8.
ZHANG Jincheng. First principle thinking promotes innovation of shale gas revolution[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 1-8.
- [3] 张抗,张立勤,刘冬梅.近年中国油气勘探开发形势及发展建议[J].石油学报,2022,43(1):15-28,111.
ZHANG Kang, ZHANG Liqin, LIU Dongmei. Situation of China's oil and gas exploration and development in recent years and relevant suggestions[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(1): 15-28, 111.
- [4] 张文浩,高永进,周新桂,等.公益性油气基础地质调查的进展与发展方向[J].地质学报,2021,95(5):1630-1643.
ZHANG Wenhao, GAO Yongjin, ZHOU Xingui, et al. The new prospecting and direction of nonprofit petroleum basic geological survey in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(5): 1630-1643.
- [5] 陈树旺,许光,杨建国,等.松辽盆地及外围油气资源基础地质调查——“十三五”阶段进展与未来工作展望[J].地质与资源,2021,30(3):221-231,248.
CHEN Shuwang, XU Guang, YANG Jianguo, et al. Foundational geological survey for oil and gas resources in Songliao Basin and its periphery areas: Progress and prospect[J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 221-231, 248.
- [6] 周新桂,高永进,杜小弟,等.新疆博格达山前带油气调查进展[J].中国地质调查,2020,7(1):1-6.
ZHOU Xingui, GAO Yongjin, DU Xiaodi, et al. Progress of oil and gas investigation in the piedmont of the Bogda Mountain in Xinjiang[J]. Geological Survey of China, 2020, 7(1): 1-6.
- [7] 包书景,李世臻,徐兴友,等.全国油气资源战略选区调查工程进展与成果[J].中国地质调查,2019,6(2):1-17.
BAO Shujing, LI Shizhen, XU Xingyou, et al. Progresses and achievements of the National Oil and Gas Resource Strategic Constituency Survey Project[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(2): 1-17.
- [8] 张家强,毕彩芹,李锋,等.新能源矿产调查工程进展[J].中国地质调查,2018,5(4):1-16.
ZHANG Jiaqiang, BI Caiqin, LI Feng, et al. Progresses of the new energy mineral investigation project[J]. Geological Survey of China, 2018, 5(4): 1-16.
- [9] 许光,韩志军,张君峰,等.公益性陆域油气地质调查工作进展与发展建议[J].地质通报,2022(网络首发).
XU Guang, HAN Zhijun, ZHANG Junfeng, et al. Progress of public oil and gas geological survey during the 13th Five-Year Plan period and prospect forecast for the 14th Five-Year Plan. Geological Bulletin of China, 2022.
- [10] 张君峰,张远银,高永进.塔里木盆地沙井子构造带志留系油气勘探突破及启示[J].石油勘探与开发,2022,49(1):203-214.
ZHANG Junfeng, ZHANG Yuanyin, GAO Yongjin. Silurian hydrocarbon exploration breakthrough and its implications in the Shajingzi structural belt of Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(1): 203-214.
- [11] 赵洪波,朱芝同,梁涛,等.页岩气基础地质调查钻井技术进展及展望[J].中国地质,2022(网络首发).
ZHAO Hongbo, ZHU Zhitong, LIANG Tao, et al. Shale gas geological survey drilling technologies: Progress and prospect[J]. Geology in China, 2022.
- [12] 林拓,苑坤,陈相霖,等.贵州黔水地1井探获中国南方石炭系页岩气工业气流[J].中国地质,2022,49(3):995-996.
LIN Tuo, YUAN Kun, CHEN Xianglin, et al. Industrial gas flow of Carboniferous shales in southern China was obtained in Well Qianshuidi 1 in Guizhou province[J]. Geology in China, 2022, 49(3): 995-996.
- [13] 翟刚毅,包书景,王玉芳,等.古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J].地球学报,2017,38(4):441-447.
ZHAI Gangyi, BAO Shujing, WANG Yufang, et al. Reservoir accumulation model at the edge of palaeohigh and significant discovery of shale gas in Yichang area, Hubei province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2017, 38(4): 441-447.
- [14] 徐兴友,刘卫彬,陈珊,等.松辽盆地南部陆相页岩油气勘查突破及意义[J].天然气工业,2022,42(3):12-20.
XU Xingyou, LIU Weibin, CHEN Shan, et al. Breakthroughs in continental shale oil and gas exploration in the southern Songliao Basin and its implications for carbon neutrality[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(3): 12-20.
- [15] 毕彩芹,胡志方,汤达祯,等.煤系气研究进展与待解决的重要科学问题[J].中国地质,2021,48(2):402-423.
BI Caiqin, HU Zhifang, TANG Dazhen, et al. Research progress of coal measure gas and some important scientific problems[J]. Geology in China, 2021, 48(2): 402-423.
- [16] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):66-72.
CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Drilling techniques for thief zones in surface formations in Western Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4): 66-72.
- [17] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.鄂西地区黄陵背斜页岩气钻井难点与对策[J].钻采工艺,2021,44(2):21-25.

- CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Challenges and solutions of drilling engineering in Huangling anticline in Western Hubei[J]. *Drilling & Production Technology*, 2021, 44(2):21-25.
- [18] 赵洪波,朱迪斯,黄正,等.南华北盆地亳州一阜阳地区页岩气钻井技术[J].*石油钻采工艺*,2020,42(6):679-683.
- ZHAO Hongbo, ZHU Disi, HUANG Zheng, et al. Shale gas drilling technology in Southern North China Basin Bozhou-Fuyang[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(6):679-683.
- [19] 陈树旺,公繁浩,杨建国,等.松辽盆地外围油气基础地质调查工程进展与未来工作方向[J].*中国地质调查*,2016,3(6):1-9.
- CHEN Shuwang, GONG Fanhao, YANG Jianguo, et al. Progress and orientation of the project about fundamental geological survey on oil and gas resources in the periphery area of Songliao Basin[J]. *Geological Survey of China*, 2016, 3(6):1-9.
- [20] 赵志涛,刘文武,朱迪斯,等.岩心钻机施工页岩气地质调查井的井控技术现状[J].*地质装备*,2018,19(1):6-10.
- ZHAO Zhitao, LIU Wenwu, ZHU Disi, et al. Progress in well control technology of shale gas geological survey wells constructed by core drilling rig[J]. *Geological Equipment*, 2018, 19(1):6-10.
- [21] 郭军,王超技,李岩,等.跟管钻进在大口径页岩气井浅部复杂地层中的应用——以黔水地1井导管段为例[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2020,47(5):22-26.
- GUO Jun, WANG Chaoji, LI Yan, et al. Application of simultaneous casing drilling to large bore shale gas well drilling in shallow complex formation: A case of conductor drilling for the Qianshuidi-1 well[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(5):22-26.
- [22] 孙金声,刘伟.我国石油工程技术与装备走向高端的发展战略思考与建议[J].*石油科技论坛*,2021,40(3):43-55.
- SUN Jinsheng, LIU Wei. Strategic thinking and suggestions on high-end development of China's petroleum engineering technology and equipment[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2021, 40(3):43-55.
- [23] 陈虎,和鹏飞,万圣良.国产旋转导向及随钻测井系统在渤海某油田的应用[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2017,44(3):35-38.
- CHEN Hu, HE Pengfei, WAN Shengliang. Application of China-made rotary steering and logging while drilling systems in adjustment well of Bohai[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(3):35-38.
- [24] 林昕,苑仁国,秦磊,等.地质导向钻井前探技术现状及进展[J].*特种油气藏*,2021,28(2):1-10.
- LIN Xin, YUAN Renguo, QIN Lei, et al. Present situation and progress of geosteering drilling pre-prospecting technology[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2021, 28(2):1-10.
- [25] 张恒春,王稳石,李宽,等.KT178型取心钻具在共和干热岩钻井中的应用[J].*钻探工程*,2021,48(2):29-34.
- ZHANG Hengchun, WANG Wenshi, LI Kuan, et al. Application of the KT178 core tool in Gonghe hot dry rock exploratory wells[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(2):29-34.
- [26] 朱芝同,伍晓龙,董向宇,等.松辽盆地页岩油勘探大口径取心技术[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2019,46(1):45-50.
- ZHU Zhitong, WU Xiaolong, DONG Xiangyu, et al. Large diameter coring technology for shale oil exploration in Songliao Basin[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(1):45-50.
- [27] 熊虎林,张飞,甘辉敏,等.页岩气调查泉参1井大口径同径取心钻进工艺[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2019,46(6):19-25.
- XIONG Hulin, ZHANG Fei, GAN Huimin, et al. Coring technique for shale gas survey Quancan Well-1[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(6):19-25.
- [28] 朱永宜,王稳石,张恒春,等.我国大陆科学钻探工程实施概况及其取心钻进技术体系[J].*地质学报*,2018,92(10):1971-1984.
- ZHU Yongyi, WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, et al. Implementation overview of Chinese Continental Scientific Drilling (CSCD) Project and technical systems of core boring[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(10):1971-1984.
- [29] 朱恒银,王强,张正,等.大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2016,43(10):160-164.
- ZHU Hengyin, WANG Qiang, ZHANG Zheng, et al. Application research on large diameter weighted combined wire-line coring technology for shale gas exploration[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(10):160-164.
- [30] 司西强,王中华,王伟亮.聚醚胺基烷糖苷类油基钻井液研究[J].*应用化工*,2016,45(12):2308-2312.
- SI Xiqiang, WANG Zhonghua, WANG Weiliang. Study on the similar oil based drilling fluid of polyether amine alkyl glucoside[J]. *Applied Chemical Industry*, 2016, 45(12):2308-2312.
- [31] 杨建国,李士超,姚玉来,等.松辽盆地北部上白垩统青山口组一段页岩油战略调查成果综述[J].*地质与资源*,2021,30(3):232-238,264.
- YANG Jianguo, LI Shichao, YAO Yulai, et al. Strategic survey results of shale oil in the first member of Qingshankou Formation, upper cretaceous in northern Songliao Basin[J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(3):232-238, 264.
- [32] 高振记,谢华锋,李志伟,等.油气资源地质调查大数据架构与应用研究[J].*地理信息世界*,2016,23(1):18-23.
- GAO Zhenji, XIE Huafeng, LI Zhiwei, et al. Research on the architecture and application of the big data in oil and gas geological survey[J]. *Geomatics World*, 2016, 23(1):18-23.

(编辑 周红军)