

松南深层火成岩储层的损害分析与保护技术

王文立

(中国石化石油工程技术研究院,北京 100101)

摘要:松南火成岩的储层特征中石英发育裂隙,发育构造微裂缝,由于天然气气层存在易于移动、易被压缩,且存在束缚水含量高、低压敏感性强、高毛管力等特点,导致气层更容易受到损害,从钻井取心、测井解释和有关的地质描述看,深层储气层普遍存在着裂隙。在对松南深层储层物性的认识以及实施常规钻井技术下储层潜在损害方式、损害程度研究的基础上,研究分析了钻井、完井等各个阶段保护技术的作用原理,制定了针对性的储层保护方案。研究实践表明,同时采用欠平衡钻井工艺,实施屏蔽暂堵的承压堵漏方案,采用优质非渗透钻井液完井液体系,改善侵入储层滤液性质,基本满足深层勘探钻井完井过程中保护储层的技术需求。现场应用表明,各项储层保护措施的实施在保护储层、地质资料需求和勘探发现等方面取得了良好的效果。

关键词:松南火成岩;损害分析;储层保护;裂缝;承压堵漏;欠平衡钻井;低伤害钻井液;完井

中图分类号:TE242;TE258 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)05-0005-05

Analysis on the Deep Igneous Reservoir Damage in Songnan and the Protection Technology/WANG Wen-li (Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the knowledge for deep reservoir physical property in Songnan and the potential damage pattern & degree with conventional drilling technology, analysis was made on action principles of protection technologies of well drilling and completion in each stage and the corresponding reservoir protection schemes were made. Research practices show that the technology requirement of reservoir protection are satisfied in well drilling and completion through the pressure sealing with temporary shielding plugging by underbalanced drilling and the improvement on the property of filtrate invaded reservoir with high quality non-invasive drilling fluid and completion fluid system.

Key words: Songnan igneous; damage analysis; reservoir protection; fracture; pressure sealing; underbalanced drilling; low damage drilling fluid; well completion

中国石化在松辽盆地南部登记区(主要是长岭断陷和十屋断陷)有良好的油气发育层系,主要由断陷和坳陷 2 套地层组成。其深层主要是指登娄库组(K_1d)、营城组(K_1yc)、沙河子组(K_1sh)和火石岭组(J_3hs),在深层储层类型比较丰富,不同层位存在致密砂岩、砂砾岩、火山岩、花岗岩及变质岩风化壳等多类储层。随着中国石化在东北地区勘探的深入与发展,以储层发现与保护为重点的提高深井钻井速度技术成为勘探迫切需要发展的钻井技术,随着深层天然气的勘探发现和储层保护技术不断深入,特别是欠平衡钻井技术和低伤害钻井液技术在松南气田探井产能上的突破,揭示了长岭断陷和十屋断陷探明天然气储量的潜力,保护储层的钻井完井技术对勘探发现与保护起到了十分重要的作用。

1 火成岩储层区域岩石学特征及储层特征

1.1 火成岩储层区域岩石学特征

从有关的地质描述、钻井取心和测井解释看,松辽盆地南部深层火成岩分布在东西 2 个断裂带上,纵向上主要分布在下白垩系地层的登娄库组、营城组、沙河子组和侏罗系的火石岭组。火山熔岩以玄武岩为主,其次是安山岩和流纹岩,火山碎屑岩以凝灰岩和沉凝灰岩为主,局部有火山灰凝灰岩。其火成岩、致密砂岩存在良好油气勘探前景。从腰深 1 井火成岩储层岩心外观看,全直径岩心有长几厘米至 1 m 左右的裂缝,基本沿垂直方向伸展,缝内半充填或全充填方解石及粘土矿物等(图 1、图 2)。

1.2 火成岩储层特征分析

通过对长岭断陷查干花-达尔罕构造上腰深 1 井、DB11 井,长岭断陷东岭构造上 SN109 井火成岩岩性分析,腰深 1 井火成岩属凝灰岩结构,DB11 井营城组主要岩性为辉绿岩,还有部分安山岩、黑色泥岩。属于低孔特低渗储层,用核磁共振仪测试了目的层段内岩心的可动流体饱和度 12.26%~18.85%,

收稿日期:2010-03-18

基金项目:中国石化科技部项目“松辽盆地南部断陷层勘探目标与技术研究(P06020)”部分研究成果

作者简介:王文立(1966-),女(汉族),山东济南人,中国石化石油工程技术研究院高级工程师,石油工程专业,硕士,从事石油工程科技管理工作,北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 10 层 1016-1。

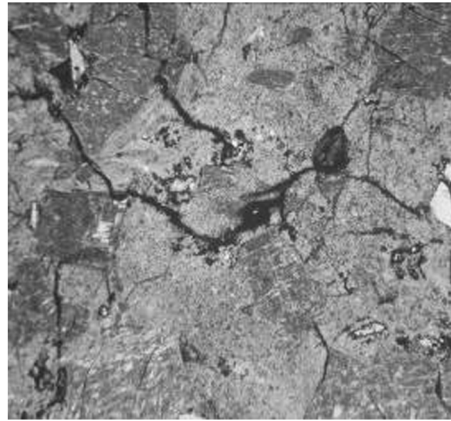
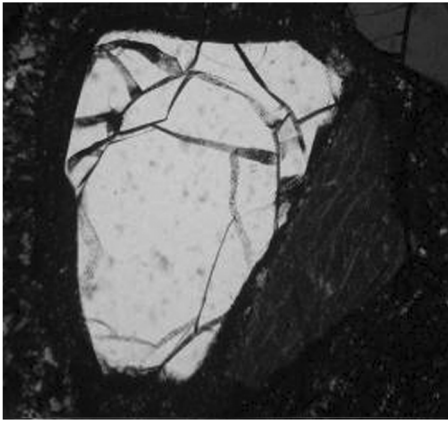


图1 岩石全貌:发育构造微裂缝,与层大角度斜交或垂直,被铁质全充填

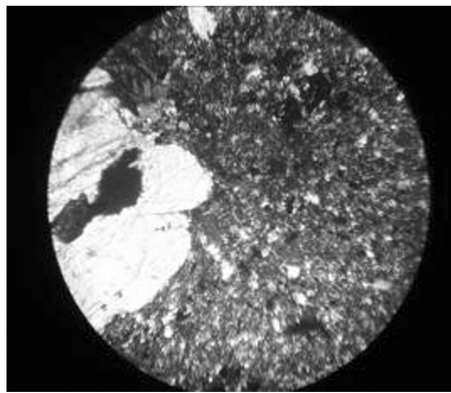
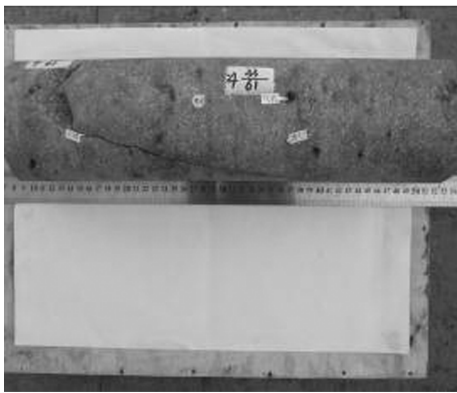


图2 岩石全貌:发育构造微裂缝,与层大角度斜交或垂直,裂缝中含粘土

可动流体孔隙度 0.31% ~ 0.62%, 渗透率为 $(0.04 \sim 0.25) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。SN109 井深 3500 m, 火成岩岩性为灰色流纹岩, 岩石呈斑状结构, 斑晶为石英、长石。地层温度 $> 113 \text{ }^\circ\text{C}$, 地层压力系数在 0.92 ~ 1.14 之间, 地层破裂压力系数在 1.40 ~ 1.95 之间。可动流体饱和度 13.46%, 可动流体孔隙度 0.63%, 渗透率为 $(0.04 \sim 0.26) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。如何保证既能平衡压力系数, 又能防止钻井液大量渗漏污染储层, 是探井迫切解决的技术难题。

2 松南深层储层的潜在损害因素

2.1 储层损害潜在因素分析

松南火成岩的储层特征中由于石英发育裂隙, 发育构造微裂缝, 由于天然气气层存在易于移动、易被压缩, 且存在束缚水含量高, 低压敏感性强、高毛管力等特点, 导致气层更容易受到损害^[4]。

(1) 裂缝性储层的钻井液综合损害。液相在气藏中聚集或滞留是造成气层损害的主要因素, 随着裂缝宽度的减小, 液相损害程度增大; 随着裂缝宽度的增大, 固相侵入深度和损害程度增大, 钻井液综合损害程度增大。从腰深 1 井 FMI 图像上看到了存

在的钻井张性诱导缝; 在裂隙性气藏中, 天然气与地层水对岩石表面润湿性差异很大, 天然气作为非润湿相极易流动, 而作为润湿相的水则更易吸附, 使得水极易进入大孔道的喉道通道, 破坏气流的连续性, 造成气体渗透率的严重下降。气藏渗透率愈低, 损害气层愈严重, 应将其作为防止储层损害的重要方面来考虑。使用水基钻井液体系, 在常规钻井条件下, 进行的裂缝性储层损害结果表明, 裂缝性储层渗透性综合损害在 31.07% ~ 80.47%, 其中固相损害在 0.08% ~ 64.7%。固相侵入深度在 5.2 cm。结果见表 1。

降低常规钻井条件下裂缝性损害的主要途径是提高滤液抑制性、降低滤液表面张力、降低钻井压差来降低微裂缝储层的损害; 对于裂缝 $> 50 \mu\text{m}$ 的储层, 采用屏蔽暂堵或非渗透钻井液技术, 减小固相损害; 采用欠平衡钻井技术, 消除所有因钻井压差引起的损害。

(2) 普遍存在的漏失性损害。漏失性损害是指在钻井完井过程中, 由于发生井漏对储层造成的损害。数据表明, 中深部储层地温梯度在 $3.0 \sim 3.4 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$, 压力系数在 0.92 ~ 1.14 之间, 属正常压

表1 裂缝性气层钻井液分项、综合损害数据

样号	气体渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	缝长 /cm	缝宽 / μm	原始渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	水锁损害 /%	水敏损害 /%	滤液损害 /%	固相损害 /%	综合损害 /%	固相侵 /cm
C10-9-1	0.792	2.5	1.89	0.21	20.54	8.76	9.71	0.08	38.02	0
Y9-1	1.150	1.89	2.55	0.25	17.94	5.97	6.90	3.74	31.07	0
C11-9-2	52.74	2.1	16.72	4.15	11.61	6.32	6.04	30.35	58.89	0.8
E32-1	79.08	2.5	18.94	6.25	8.66	4.87	4.48	39.93	53.97	3.3
55-1	334.1	2.35	50.79	96.53	7.61	5.13	4.50	64.73	80.47	5.2

力偏负压,钻井过程中钻井液漏失较为频繁,松南地区固井水泥浆密度一般为 $1.35 \sim 1.64 \text{ g/cm}^3$,要大于泥浆密度,注水泥时易发生漏失,因此钻井液和水泥浆漏失是储层潜在的污染因素。

腰深1井自青山口发生漏失,累计漏失 44 m^3 ;腰深101井在营城组火山岩地层正常钻进时,钻井液密度为 1.21 g/cm^3 ,共发生井漏2次,累计漏失钻井液 119 m^3 。下完油层套管循环时,两次漏失钻井液 80 m^3 。在处理堵漏过程中,录井队仪器显示全烃值最高达到饱和状态。消除漏失性损害的主要对策是提高钻井液承压封堵性、降低钻井压差,采取控制起下钻速度等工艺措施。

(3)在以往探井的勘探过程中,钻井液柱与地层层压差过大,不利于机械钻速的提高,从而延长了钻进时间,因而增加油气层的浸泡时间,正压差过大,进入地层的滤失量增加,泥饼增厚,摩擦力增大,容易引起压差卡钻等复杂事故的发生,这样既增加了钻井成本又延长了钻井液对油气层的浸泡时间,使油气层损害程度加深。因此提高钻井、完井速度对油气层保护非常有利。

(4)气井完井方式选择对储层保护的影响。气井压力损失主要集中在井底附近,气井完井在选择完井方式上较油井完井而言要求更高,选择不当将对其损害的影响比油井更大。

2.2 保护油气层技术的主要思路

(1)对于该区域火成岩储层的油气层保护要以预防为主,不该进入的工作液、外来流体和固相,要使之不进入或少进入储层。必要时采用屏蔽暂堵技术等,施工作业时力争减少井下复杂情况^[5]。

(2)依据地质及储层物性资料,通过敏感性试验、流体渗透率评价实验等优选低伤害钻井液体系。在钻井液中加入暂堵材料,提高裂缝储层封堵承压能力,减少钻井液侵入气层的深度,控制污染深度在射孔范围内。进入的流体应是与地层配伍性好的、良性的流体。

(3)采用低密度水泥和/或双级固井工艺技术可降低环空液柱压力与储层压力差,实现近平衡压

力固井,可防止注水泥浆和降低水泥浆污染。

3 保护储层的钻井完井技术

3.1 强化油气层保护的钻井工艺设计,使保护储层贯穿钻井施工的全过程^[1]

从上述油气层损害的原因和机理来看,钻井工艺及钻井完井液技术对保护油气层至关重要,对于探井的油气层保护要以预防为主。勘探公司在工程设计的审查中始终将保护油气层、提高钻井速度放在重要位置。在施工的所有探井中,欠平衡钻井工艺、低伤害钻井液、承压堵漏系列工艺、低密度固井技术等保护储层的措施在各阶段得到实施,由于松南深层的复杂性,通过加强现场监督管理,各项措施贯穿钻井施工的全过程。

3.2 采用欠平衡钻井工艺技术,发现与保护储层

3.2.1 松南深层实施欠平衡钻井的可行性

在以往松辽盆地的火成岩储层中,用常规钻井方法打开储层,不但钻速低、经常发生漏失和卡钻等事故,更容易造成严重的储层伤害,开展欠平衡钻井工艺是一种理想的解决方案。而储气层主要成分为甲烷,单层厚度大,且地层较为稳定,适合低密度欠平衡钻井工艺的实施。同时负压钻进,使井底岩石三相应力状态发生了变化,减少了压持效应,缩短钻井周期,从而有效地保护储气层。

3.2.2 低伤害钻井完井液体系的应用

针对松南深层地质特点,应用了多套满足欠平衡工艺钻井液体系:低密度聚合醇防塌钻井液(最低密度 1.03 g/cm^3 ,在腰深1井应用),有效降低钻井液滤失量,提高了渗透率恢复率;稳定性强的水包油钻井液(最低密度 0.90 g/cm^3 ,在梨深1井应用),改变了滤液和连续相的性质,可实现活度平衡,消除了敏感性矿物的损害;低密度非渗透防塌钻井液(最低密度 1.03 g/cm^3 ,在腰深102井、腰南1井应用),在裂缝性储层,由于无渗透钻井液在井壁快速形成的无渗透膜能有效封堵不同渗透性地层和微裂缝地层,从而避免了钻井液、固相和滤液对油气层的损害,保持了油气层原始物性,该技术有利于对

地下情况不了解的探井的油气发现和保护。

3.2.3 欠平衡钻井的完井保护措施

欠平衡钻井最终的效果如何,完井保护至关重要,有关研究表明,完井方式选择不当,所造成的储层伤害比用常规钻井方式还要严重。所以完钻后,起钻前要注入完井保护液对储层进行保护。对于水基钻井液应结合非渗透完井液等裂缝保护工艺技术,通过在地层裂隙表面形成渗透率近于零的封堵性滤饼,以阻止过平衡条件下入井流体连续地反向吸入地层效应。

3.3 采用优质钻井完井液体体系^[5],实现对储层的保护

3.3.1 钻井液改性及保护油气层措施

钻井液是储层保护系统工程的一个关键环节。保护油气层的钻井液及滤液改性的措施途径方法:(1)选用对油气层损害小的钻井液处理剂,调整钻井液无机离子种类,使之与地层水离子种类相似,提高矿化度达到临界矿化度以上;(2)降低钻井液中固相含量,特别是亚微米粒子含量^[6];(3)调整固相粒子级配,根据油层孔喉半径选择粒径与之相当的刚性粒子作桥塞粒子,配合使用非渗透材料;(4)改善泥饼质量,降低钻井液滤失量,特别是高温高压滤失量。

3.3.2 钻井液体体系的储层保护分析

目前,油田主要使用聚合物钻井液体体系、两性复合离子聚合物及正电胶钻井液等钻井液体体系,应该说这些钻井液体体系在松南地区钻井中发挥了重要作用。但也应指出,这些钻井液体体系均有不足。两性复合离子聚合物钻井液稳定井壁能力较差,岩心渗透率恢复值不高;油基钻井液成本高且污染环境,同时需要高成本的固井洗井液。对松南深层勘探使用的几种钻井液体体系的损害模拟评价数据表明:普通两性离子钻井液由于固相含量容量高,特别是亚微米粒子含量大,对储层的渗透性损害较大,渗透率恢复率达55.07%,油包水钻井液对储层的渗透性损害较小,渗透率恢复率达89.94%;非渗透钻井液在井壁快速形成的无渗透膜能有效封堵不同微裂缝,有利于井眼稳定,并降低了钻井压差,对储层的渗透性损害较小,渗透率恢复率达88.9%,可有效提高近平衡钻井对储层的综合保护效果。

3.3.3 使用低密度钻井液实现近平衡钻井,有利于发现和保护油气层

3.3.3.1 钻井压差与保护储层损害的关系

不同钻井压差对储层的侵入深度损害结果见图

3。实验数据表明,在其它条件不变情况下,随着压差的增大,损害深度增加。外推至1600 h,5.0 MPa压差的损害深度比1.0 MPa的损害深度增加27~31 cm,比3.0 MPa的损害深度增加9~12 cm,由此可见平衡钻井对减少钻井液损害深度是十分必要的。

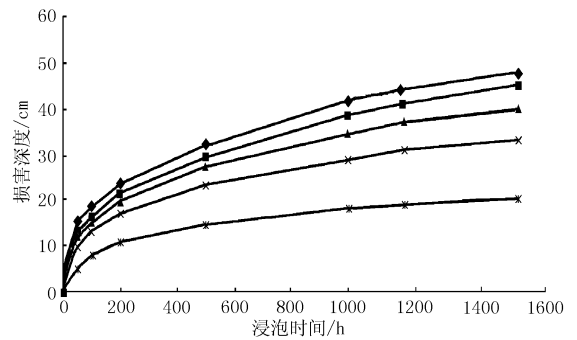


图3 钻井压差对储层岩心损害深度实验曲线

- ◆— p-1 岩样,5 MPa, $\varphi_i = 6.81\%$, $k_d = 0.066$ md;
- p-5 岩样,4 MPa, $\varphi_i = 6.9\%$, $k_d = 0.06$ md;
- ▲— I-5 岩样,3 MPa, $\varphi_i = 7\%$, $k_d = 0.071$ md;
- ×— N-2 岩样,2 MPa, $\varphi_i = 6.84\%$, $k_d = 0.064$ md;
- *— p-4 岩样,1 MPa, $\varphi_i = 7.16\%$, $k_d = 0.067$ md

3.3.3.2 近平衡钻井与保护储层的关系

在腰深102井进行的钻井液密度与气测后效值关系试验结果表明,在钻至3769.7 m的储层时,钻井液密度为1.19 g/cm³,气测全烃值由0.354%上升至1.369%,至溢流发生前,共起下钻3次,每次下钻到底测后效,后效全烃值均在90%以上,钻遇井深3793.5~3798 m显示层后,3797~3810 m井段气测全烃值多在0.154%~0.323%之间,下钻循环观测,全烃最高达70%,降低钻井液的密度有利于气层的发现。

3.4 优化无污染的储层防漏堵漏技术

3.4.1 现场应用采取的防漏措施

松南深层的储层井漏制约着钻探正常施工,若产层存在喷漏同层时,则钻探施工难度更大,找出井漏的原因,提出防漏堵漏的承压堵漏工艺,达到保护油气层的目的。

(1)在地层压力较稳定的浅井,采取平衡压力钻井,使用好泥浆固控设备,控制泥浆的固相含量,防止压差井漏的发生。

(2)在中深井使用不分散低固相聚合物钻井液配合使用随钻堵漏工艺,钻井液流变性能要稳定,防止因粘切过高压漏产层,控制钻井液的密度,提高钻井液对泥页岩抑制性,防止压漏产层。

(3)一旦发生油、气水浸,压井时要把所需的钻

井液密度计算准确,防止人为压漏地层。

(4)对火山岩裂缝性产层的漏失,钻进到界面前,最好采用下技术套管保护下部的油气层。对有可能发生裂缝性漏失的产层应使用低密度的非渗透完井液,固井施工前通过承压堵漏工艺提高地层的流体承载能力,既保证了井下安全和固井质量,又保护了储层不受大的伤害。

3.4.2 现场承压堵漏实例

3.4.2.1 腰深1井流体承载能力的抗压防漏

腰深1井自青山口-营城组顶部油气异常地层36层均具有漏失风险隐患。在井深2360~2362 m坐岗观察发现泥浆罐液面下降 10 m^3 ,发生井下漏失,在钻井液中加入2 t随钻屏蔽暂堵剂,钻井液密度由 1.22 g/cm^3 降至 1.21 g/cm^3 ,漏失得到基本控制,在以后的钻井中始终保持屏蔽暂堵剂的有效含量,在钻至储层也是漏层时,未发现漏失现象。为保护储层不受伤害,提高固井质量,固井前作低压、低渗、低孔储层的流体承载能力的抗压防漏试验,在现有钻井液中加入复合暂堵剂达到性能后,调整密度由 $1.26\rightarrow 1.28\rightarrow 1.30\rightarrow 1.32\rightarrow 1.34\rightarrow 1.36\text{ g/cm}^3$,按循环周加重,直至达到钻井液密度为 1.37 g/cm^3 不漏为止。直至完井顺利,固井质量合格。该井加入复合防漏材料后,既保证了井下安全和固井质量,又保护了储层不受大的伤害,值得推广应用。

3.4.2.2 腰深101井井下漏失及预堵情况

腰深101井分别在井段3704.33、3839.46 m发生井漏,漏速 $32.53\text{ m}^3/\text{h}$,起钻至套管内静堵(加入堵漏剂8 t,静堵漏失 41 m^3 、漏速 $3.94\text{ m}^3/\text{h}$)下钻循环堵漏,配好高粘度泥浆 $20\sim 30\text{ m}^3$ 封闭井底及裸眼井段,同时配制4%堵漏泥浆进行全井随钻堵漏。及时配胶液来补充钻井液量的减少和漏失,这样在裂缝性漏失也起到了更好的封闭暂堵作用,按上述步骤采取综合治理,堵漏成功。由于地层压力不能满足固井施工的需要,在开始固井前,做好预堵漏工

作,配制10%的堵漏浆 40 m^3 ,加堵漏材料4 t,注入堵漏浆 30 m^3 封闭裸眼井段进行静止承压预堵,再次进行承压测试,通过采用综合承压堵漏治理,固井施工顺利进行。对于探井的裂缝型渗透性漏失,综合承压堵漏工艺是比较合适的方法,既能保护储层不受永久性伤害,又能防止固井作业对产层的损害,也保证了固井质量。

4 认识与建议

(1)松南深层火成岩裂缝性储层的钻井液综合损害、液相在气藏中聚集或滞留是造成气层损害的主要因素。

(2)松南深层的储层井漏制约着钻探正常施工,找出井漏的原因,提出防漏堵漏的承压堵漏工艺,达到保证井下安全和固井质量,又保护了储层不受大的伤害。

(3)钻井完井保护技术应用类别应兼顾勘探目的的实现、资料的需求以及勘探投资承受能力选择,建议重点发现井选择欠平衡保护技术,一般预探井和评价井选择应用近平衡保护技术,并根据环保要求和钻井液体系的密度适用范围,选择相应的钻井液体系。

参考文献:

- [1] 樊世忠,鄢捷年,周大晨,等.钻井液完井液及保护油气层技术[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [2] 贾锁红.石油钻井工程现场监督工作浅谈[J].西部探矿工程,2006,(12).
- [3] 孔凡,等.松辽盆地北部深层天然气勘探钻井技术[J].中国石油勘探,2004,34(4):38-42,60.
- [4] 沈宗约,等.大庆油田钻井过程油气层保护研究及应用[A].大庆油田发现40年论文集[C].北京:石油工业出版社,1999.
- [5] 赵素丽,常连玉,肖超,等.超低侵害油气层保护剂NPL-2的研制及应用[J].钻井液与完井液,2009,26(6):13-16.
- [6] 王尤富,付利琴,赖必智.注入水中的固相颗粒与储层损害关系的试验研究[J].石油天然气学报,2009,31(9):143-151.

中国地调局、中央地勘基金中心和内蒙古国土资源厅联合勘查蒙重要成矿区带

国土资源网消息 日前,从中国地质调查局、中央地勘基金中心和内蒙古国土资源厅共同召开的内蒙古重点成矿区带地质找矿成果交流与部署研讨会上获悉,三方将集中优势,整合资金,加快基础地质工作,优选重点勘查区和重点项目实行整装勘查,实现内蒙古重要成矿区带找矿突破。

与会者结合近年来内蒙古成矿区带找矿实践和取得的成果,进一步明确内蒙古东部大兴安岭中南段以寻找银、铅多金属矿,西部阿拉善盟北山地区以寻找铜、钼多金属矿,中部华北地台北缘包头至集宁一线以寻找找铁、铜、金等矿种的

找矿方向。

在工作部署和资金投入方面,中国地调局初步落实近期集中向内蒙古地质调查和矿产评价项目投入资金2亿元。中央地勘基金中心对内蒙古自治区提出的非煤地勘项目将按程序分别进行立项论证。此前,中央地勘基金中心已安排项目资金2.1亿元,用于内蒙古东胜煤田今年12个普查项目的续作。内蒙古自治区也将在地质勘查基金中增加新的基础地质调查和矿产资源评价项目,加大专项资金投入力度。