

也门1区块恶性漏失地层气体钻井实践

郭京华^{1,2}, 夏柏如¹, 田 凤³

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029; 3. 中国石化中原油田采油四厂, 河南 濮阳 457001)

摘要:也门1区块地表覆盖着约300 m厚坚硬灰岩, 区块内断层多, 广泛存在着漏失层, 采用常规钻井技术, 机械钻速慢, 井漏频繁, 钻井难度很大。从地质条件、循环介质以及经济性等方面评价了气体钻井在1区块的适应性。现场应用初期, 砂岩地层井漏、下套管遇阻问题非常突出, 气体钻井发挥的作用有限。针对这些问题, 通过优化井身结构和注气注液参数, 优选泡沫、充气钻井基液配方、首选充气盲钻作为快速钻穿恶性漏失层的主要技术等, 并制订完善的技术措施。现场3口井的应用表明, 1区块地层复杂, 单一的空气、泡沫或气体钻井技术只能解决部分钻井问题, 综合运用气体钻井技术, 才能满足提高钻速、稳定井壁和预防井漏等多方面的要求, 从整体上提高钻井时效。

关键词:空气钻井; 泡沫钻井; 充气钻井; 井漏; 机械钻速

中图分类号: TE242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)07-0001-05

Practice of Gas Drilling in Severe Loss Formation of Yemen Block 1/GUO Jing-hua^{1,2}, XIA Bai-ru¹, TIAN Feng³ (1. School of Engineering & Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100029, China; 3. The 4th Production Plant of Zhongyuan Oil Field, SINOPEC, Puyang Henan 457001, China)

Abstract: This paper focuses on field experience in block 1 of Yemen Republic. The wells have to be drilled through hard limestone and severe fractured thief zone. Low rate of penetration (ROP) and total mud loss were encountered during drilling operations. On the basis of geological characteristics, drilling fluids and economy, the adaptability of gasified fluids drilling in block 1 was evaluated. At the beginning of field application, gasified fluids drilling was only used in the surface interval because some downhole problems, such as lost circulation in sand formation with aerated fluids and the casing stuck. According to these problems, the well structure, air and fluids injection parameters, formulas of foam and aerated base fluids were optimized, and aerated blind drilling was chosen as the principal means to penetrate the severe lost circulation formation, the perfect technical measures were also formulated. The experience of 3 field wells showed that with only air, only foam or only aerated fluid could deal with a part of drilling problems; the integrated application of gas drilling could satisfy the requirements of ROP improvement, borehole wall stability and leakage prevention.

Key words: air drilling; foam drilling; aerated fluids drilling; lost circulation; rate of penetration

也门1区块地貌特殊, 区内沟壑纵横, 悬崖峭壁林立, 井场位于山顶地势平坦处。在早期勘探过程中, 钻井工程面临机械钻速慢, 常规钻井液很难建立循环等诸多难题。中石化进入该区块后, 积极引用气体钻井技术解决这些问题。现场应用初期, 由于经验和认识方面存在不足, 钻进中一旦发生严重井漏, 钻井液完全失返, 就改用清水盲钻, 下套管遇阻问题也非常突出, 气体钻井技术的优势没有充分发挥出来。后来, 通过分析1区块地层特点, 优化井身结构, 分层位优选循环介质配方, 完善现场工艺技术等措施, 使气体钻井技术逐步应用于钻井全过程, 钻井时效得到很大提高。

1 地质特征和钻井难点

也门1区块位于也门中部马里卜-夏布瓦盆地的东南边缘, 气候干旱少雨, 地下潜水层埋深约400~700 m, 油气储层主要是前寒武系的基底地层。受早期强烈构造运动的影响, 区域内断层非常发育, 各层位岩性和厚度横向变化很大, 地层分层及主要岩性数据见表1。该区块钻井难点主要表现在2方面: 一是表层大井眼钻井难度大, 坚硬灰岩地层裂隙发育, 常规钻井液很难建立循环, 机械钻速慢; 另一个难点在中下部井段, 恶性漏失层多, 由于漏失层位没有确切的深度, 预防堵漏的难度非常大, 严重井漏导致钻井液失返, 无法获取岩样, 影响地质资料录取

收稿日期: 2011-12-14; 修回日期: 2012-05-24

作者简介: 郭京华(1971-), 男(汉族), 山东章丘人, 中国地质大学(北京)在读博士研究生, 中国石化国际石油勘探开发有限公司高级工程师, 钻井工程专业, 从事国外石油钻探技术服务和管理, 北京市海淀区学院路29号工程技术学院, guojh71@163.com。

工作。

表1 地层分层数据

层位	底界深度/m	主要岩性
乌姆拉杜马	350	灰岩为主,底部页岩
穆卡拉	1200	砂岩,夹泥岩及粉砂质泥岩
哈施亚特	1790	泥岩与砂岩不等厚互层
凯森	1940	细砂岩、粉砂岩夹薄层泥岩
萨尔	2170	泥岩、软泥岩互层,夹薄层石灰岩
内法	2450	石灰岩,夹薄层泥岩、软泥岩
萨巴塔因	2720	硬石膏,石灰岩,泥岩和页岩
莱穆	2780	泥岩、软泥岩夹石灰岩
密穆	2945	灰岩,碳质灰岩夹泥岩
休库拉	3190	灰岩和白云岩
基底	3500(未穿)	变质岩

2 选择使用气体钻井技术的依据

气体钻井是欠平衡钻井的一种,按照循环介质的差异,可分为纯气体钻井(空气、氮气、二氧化碳、天然气)、雾化钻井、泡沫钻井(稳定泡沫、硬胶泡沫)和充气钻井。气体钻井具有循环介质密度低的特点,井底循环当量密度能够降至很低的范围,纯气体钻井可以在 0.012 g/cm^3 以下,泡沫和充气钻井在 $0.036 \sim 0.83 \text{ g/cm}^3$ 之间^[1]。另外,气体钻井还具有循环当量密度调节范围大的特点,可以根据地层压力、井壁稳定等方面的需要灵活调节,图1是模拟计算 $\varnothing 311.2 \text{ mm}$ 井眼在 1850 m 深度注气量和注液量对循环当量密度的影响,基液选用氯化钾钻井液,密度 1.05 g/cm^3 。由图1可以看出,注气量恒定,循环当量密度随注液量增加而增加;注液量恒定,循环当量密度随着注气量的增加而降低。正是因为具有这些特点,气体钻井被广泛用来在非储层井段提高机械钻速和预防井漏,在储层井段减少对油气层的伤害^[2~4]。

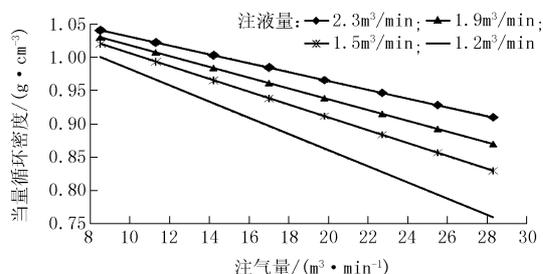


图1 注气量和注液量对循环当量密度的影响

评价一个区块是否能够应用气体钻井,要考虑多方面的因素^[5,6],包括地层压力、岩性、流体产出和循环介质的要求,同时还要考虑人员设备和经济方面的影响。独特的地层条件,促使也门建立了相

对完善的气体钻井设备和技术服务体系,具有推广气体钻井的基础条件^[7,8],各方面因素分析如下。

2.1 地层条件

1 区块厚灰岩表层和长井段漏失层制约了常规钻井的钻井时效。一开大井眼需钻穿 300 m 厚的灰岩地层,常规钻井机械钻速平均 1.5 m/h , Khawan - 2 井只有 0.3 m/h 。表2是 Abyed - 1 井的井漏情况,从表中可以看出,漏失层段多,频繁的静止堵漏,堵漏效果差,用时长,也是造成时间损失的主要因素。相对于常规钻井,气体钻井在机械钻速和预防井漏 2 方面都具有优势,因此,要提高 1 区块的钻井时效,气体钻井技术是一个很好的选择。

表2 Abyed - 1 井井漏情况

井深/m	钻井液密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	漏失程度 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	处理方法
340 ~ 733	1.00	失返	清水盲钻,停钻等水 2.8 天
1077	1.04	失返	堵漏,用时 8 天
2005 ~ 2137	1.02	20 ~ 30	随钻堵漏和静堵
2146	1.02	失返	堵漏
2148 ~ 2438	1.02	10 ~ 40	随钻堵漏和静堵

2.2 循环介质的要求

气体钻井技术主要应用于 1 区块油气储层以上地层,可以选择空气作为气体介质。各地层适宜的循环介质分析如下。

灰岩地层采用纯气体或泡沫钻井可以最大程度降低循环当量密度,空气潜孔锤可以发挥其冲击回转破岩方式的优势,提高机械钻速。

穆卡拉组上部砂岩地层,具有流沙的特征,要求钻井流体具有较低的循环当量密度,避免恶性漏失,也要有很好的悬浮携带能力,保持井眼清洁,要满足这些要求,选用泡沫钻井。

胶结性差的泥岩和砂岩地层,选用膨润土充气钻井,基液配方简单实用,能在井壁上快速形成泥饼,具有预防井漏,保持井壁稳定的优点。

泥页岩和灰质泥岩地层,井壁稳定和预防井漏之间存在尖锐的矛盾。前者希望钻井液要具有相对高的密度来支撑井壁,后者要求循环当量密度要适当低。此外,还需要重点考虑如何抑制泥页岩水化分散。综合考虑各种因素,选用充气钻井,循环当量密度容易调节,氯化钾钻井液作为基液,能够提供抑制泥页岩水化的钾离子,有利于井壁稳定。

2.3 经济方面

国外钻井日费昂贵,在也门 1 区块这样的地区,提高钻井时效带来的效益完全能够弥补气体钻井所花费的费用。另外,1 区块水源匮乏,水源井远离井

场,所需用水主要依靠罐车拉运,钻井用水成本非常高。气体钻井可以减少地层漏失,节约清水和钻井液用量,因此,无论是从钻井时效还是从用水方面,气体钻井都有降低钻井费用的空间。

3 应用初期遇到的问题及改进措施

3.1 钻遇问题

气体钻井在 Abyed - 1 井一开 $\varnothing 444.5$ mm 井眼最先尝试应用,灰岩地层的机械钻速非常理想,但是应用过程中遇到了一些问题,主要包括下套管遇阻、潜水层上部地层用充气钻井液无法建立循环等。为解决这些问题,同时考虑到下部地层的需要,对井身结构、注气注液参数、基液配方等方面作了改进。此外,为快速钻穿恶性漏失层,制订了充气钻井的盲钻措施。

3.2 改进的钻井技术措施

3.2.1 井身结构优化

潜水层的存在,对空气/泡沫钻井是一大威胁。国内采用空气钻井,地层出水大于 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 时就要转换成其他钻井方式^[6]。鉴于同样的考虑,Abyed - 1 井钻穿灰岩后尝试充气钻井。由于空气和水全部漏失,无法建立循环,于是遣返气体钻井设备,强行清水盲钻,因为供水紧张,排量偏低,井底堆积沉砂,造成了下套管遇阻。针对这种情况,对井身结构进行了优化,优化方案见表 3。两种方案的区别在于井眼尺寸和一开井深。Abyed - 1 井一开套管下得深,用来封隔潜水层,井眼尺寸小,目的层段为 $\varnothing 152.4$ mm 井眼。方案优化后,一开井眼变浅,不用封隔潜水层,一开井段可全部用空气泡沫钻进,用以预防井漏,井眼尺寸扩大,为应急套管预留空间,以应对复杂的井下情况。

表 3 井身结构优化方案

开钻 次序	Abyed - 1 井			优化后		
	钻头直径/mm	套管直径/mm	设计原则	钻头直径/mm	套管直径/mm	设计原则
一开	444.5	339.7	钻穿灰岩, 流沙, 封潜水层	660.4	473.1	钻穿灰岩, 封流沙地层
二开	311.1	244.5	封萨尔组以上漏失层	444.5	339.7	封潜水层及萨尔组以上漏失层
三开	215.9	177.8	封基底以上地层	311.1	244.5	封基底以上地层
四开	152.4		油气层	215.9		油气层

3.2.2 注气注液参数优化

注气注液参数的变化,对循环当量密度有很大的影响。由图 1 还可以看出,要维持一定的循环当量密度,可以有很多注气注液组合,这就需要优化,以选择合适的环空返速,满足井眼清洁的需要。环空返速对井眼清洁的影响很大,Y. Rojas 等人指出^[9],灰岩地层泡沫钻井, $\varnothing 311.1$ mm 井眼最小环空返速为 $13.7 \text{ m}/\text{min}$,才能满足井眼清洁的要求。A. M. F. Lourenco 等人根据实验并得出的数据表明^[10],在直井和定向井中充气钻进,满足井眼清洁的有效环空返速为 $36.6 \sim 45.7 \text{ m}/\text{min}$ 。通过观察振动筛返砂和起下钻是否畅通,评估井眼清洁状况,认为 1 区块不同井眼环空返速最低要求为 $30.5 \text{ m}/\text{min}$ 。现场配备专业计算软件,计算井底循环当量密度和环空上返速度,优选注气注液参数,指导钻井生产。

3.2.3 基液配方的改进

考察了 2 种发泡剂,一种是 Weatherford 公司的 FMA - 100,另一种是 MI 公司的 S - FOAM。由图 2 和图 3 可以看出,两种发泡剂最佳加量范围均为 $0.3\% \sim 0.6\%$,随着加量的增加,发泡剂 FMA - 100

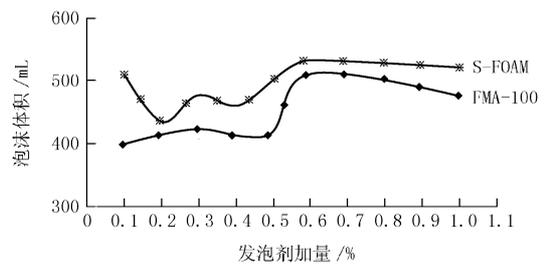


图 2 发泡剂加量对泡沫体积的影响

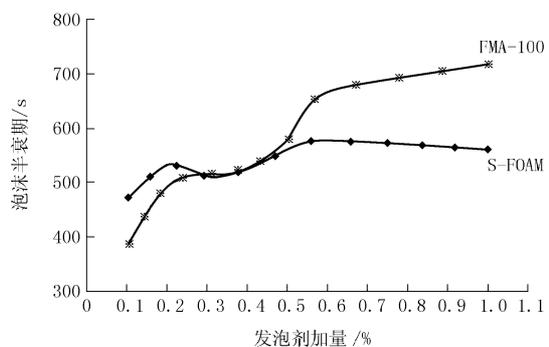


图 3 发泡剂加量对泡沫半衰期的影响

产生的泡沫有更好的稳定性。现场首选 FMA - 100 作为发泡剂。泡沫钻井液的配方为:

稳定泡沫配方: 水 + 0.4% FMA - 100 (发泡

剂)。泡沫半衰期 8.7 min,适用于灰岩地层。

硬胶泡沫配方:2%膨润土浆+0.3%PAC(提粘剂)+0.6%FMA-100。泡沫半衰期 645 min,适用于泥岩和砂岩地层。

充气钻井液基液有 2 种:一种是预水化膨润土浆,适用于二开地层;另一种是氯化钾钻井液,适用于三开地层。氯化钾基液配方为:2%膨润土浆+0.2%Polysal(改性淀粉)+0.5%PAC-R(聚阴离子纤维素)+0.4%Duo-Vis(生物聚合物)+6%氯化钾+2%Asphasol(磺化沥青)。用烧碱调节 pH 值,用 MI-Cide 作为杀菌剂。

3.2.4 恶性漏失层钻进技术措施

一般情况下,清水盲钻是快速钻穿恶性漏失层的有效手段^[11]。但是,清水盲钻需要有充足的供水,以保证钻进过程的连续性。以 Ø444.5 mm 井眼设计排量 3.8 m³/min 的一半估算,清水盲钻一天,

消耗的水量要超过 2000 m³。1 区块水源匮乏,清水盲钻面临缺水的窘境,而充气盲钻具有注液量低的优势,成为穿越恶性漏失层的首选技术。具体的措施有:合理选择注气注液参数,要参考正常钻井时的数值,适当下调循环当量密度,降低井底压力,维持环空返速,确保钻屑能充分携带至漏失层;起钻前,先后泵入 15~20 m³堵漏浆和适量高粘度钻井液至漏失层,用于防止井底沉砂。

4 现场应用情况

现场应用 3 口井,表 4 列出了气体钻井在每一口井的详细应用情况。总体来说,空气、泡沫对表层大井眼钻进发挥了很好的效果,在 3 口井的应用过程都很顺利,而充气钻井的应用相对保守,随着对其认识的深入得到了逐步推广。下面以 Reema-1 井为例简要介绍现场应用情况。

表 4 也门 1 区块气体钻井应用情况

井号	井眼开次	井眼尺寸/mm	井段/m	进尺/m	地层岩性	钻井方式	备注
Abyed-1	一开	444.5	0~341	341	灰岩	空气	井深 379 m 井漏失返,变换成常规清水盲钻
			341~379	38	砂岩	充气	
Abyed-2	一开	660.4	0~263	263	灰岩	空气	砂岩地层尝试硬胶泡沫,堵雾化泵
			263~584	321	砂岩	稳定泡沫	
	二开	444.5	689~747,992~1029	95	泥岩	充气	
			311.2	2054~2063	9	泥岩	充气
Reema-1	一开	660.4	0~296	296	灰岩	空气	
			296~447	151	砂岩	稳定泡沫	
	二开	444.5	1231~1280	49	泥岩、泥质灰岩	充气	
	三开	311.2	1331~1465	134	泥岩、泥质灰岩	充气	充气盲钻 77 m

现场配备 5 台空气压缩机组,最大排气量 5000 SCFM(142 m³/min),压力 2500 psi(17.2 MPa),1 台雾化泵,最大排液量 60 GPM(0.23 m³/min),压力 1500 psi(10.3 MPa)。

一开 Ø660.4 mm 井眼,灰岩地层用空气潜孔锤钻进,5 台空压机同时启动供气,现场实际观察,注气量低于 56.7 m³/min,携岩能力变差。调整注气量在 82.1~97.7 m³/min 之间,钻压 40~60 kN,转速 40 r/min,空气钻井顺利,进尺 296 m,平均机械钻速 15.1 m/h。进入砂岩地层后,有憋跳钻现象,钻速也明显变慢,显示空气锤与地层不匹配。起钻换牙轮钻头,采用泡沫钻井液,钻井参数:钻压 20~40 kN,转速 100 r/min,注气量 76.5~102 m³/min,注气压力 3.0~3.6 MPa,基液注入量 0.1 m³/min,泡沫体积百分数为 1.0%~1.5%,顺利钻完一开井深。

二开 Ø444.5 mm 井眼,钻完水泥塞和套管附件进入新地层,钻井液密度 1.02 g/cm³,无漏失,保持

此密度钻进至 1231 m,遭遇失返性漏失,用触变性水泥浆堵漏未成功,按设计转换成充气钻井液,基液注入量 1.2 m³/min,逐步提高空气注入量至 79.3 m³/min,理论当量循环密度为 0.31 g/cm³,钻井液和空气均未见返出,考虑到大排量注气对井壁的冲刷作用,不利于井壁稳定,于是调整充气参数,空气注入量降至 56.6 m³/min,基液注入量保持不变,理论当量循环密度提高至 0.50 g/cm³,强行盲钻。为获取岩样卡准地层,盲钻至井深 1273 m 决定起钻堵漏,起钻前先后泵入 20 m³堵漏浆和 10 m³高粘度钻井液至漏失层,起下钻过程井壁稳定,井眼畅通。多次堵漏后,常规钻井液仍完全漏失,采用充气钻井液建立了循环,空气注入量 17.0 m³/min,基液注入量 1.6 m³/min,循环当量密度为 0.89 g/cm³,继续钻进至 1280 m,顺利下入 Ø339.7 mm 套管。

三开 Ø311.2 mm 井眼,充气钻井液钻井进尺 134 m(井段 1331~1465 m),其中盲钻井段为 1331

~1408 m,长77 m。

5 应用效果分析

1 区块灰岩地层的机械钻速,常规钻井平均为1.5 m/h,空气钻井:Abyed-1井为11.2 m/h,Abyed-2井为16 m/h,Reema-1井15.1 m/h。以补心高10 m计算,3口井的灰岩平均厚度为290 m,空气钻井节约的纯钻进时间为6.98~7.30天,大幅度降低了一开大尺寸井眼的钻井时间和钻井费用。

Abyed-1井灰岩以下地层采用常规钻井,井漏非常频繁,钻井工作时常因此而中断;340~733 m砂岩地层无法建立循环,强行盲钻,漏失清水8600 m³,因供水不足,中间停钻等水2.8天;井深1077 m,停钻堵漏用时8天,2005~2438 m井段,每钻进一个单根就需要泵入5~10 m³堵漏剂静止堵漏一次。Abyed-1井全井漏失清水和钻井液17300 m³。综合运用空气、泡沫和充气钻井,缓解了Abyed-2井和Reema-1井的井漏,上部砂岩地层采用泡沫钻井,没有发生漏失;下部井段采用充气钻井,避免了渗透性漏失的发生;对于恶性漏失层,采用充气盲钻,漏失量大大降低,与Abyed-1井相比,平均单井漏失量降低了75%,钻井生产的连续性得到了保障。

6 结论

(1)空气/泡沫钻井对灰岩地层机械钻速和砂岩地层预防井漏都有很好的效果,此项技术的应用,提高了也门1区块表层大尺寸井眼的钻井时效,为井身结构优化奠定了良好的基础。

(2)通过改进基液配方,制订完善技术措施,充气钻井的应用逐步成熟。对具有大裂缝的地层,充

气钻井虽然不能避免恶性漏失,但是由于其注液量低,降低了对钻井液的依赖程度,停工等水现象得以杜绝,保证了钻井生产的连续性。

(3)单一的空气、泡沫或充气技术不能解决也门1区块的钻井问题,综合运用气体钻井各项技术是1区块优快钻井的基础,各工艺之间的协调转换是应用成功的关键,这对钻井生产的组织协调能力提出了更高的要求。

参考文献:

- [1] Sid Ruiz, Fred Curtis, Robert Urbanowski, et al. Fluid Selection for Underbalanced Drilling Operations[R]. Aberdeen, Scotland: IADC Underbalanced Technology Conference, 2001.
- [2] 许爱. 气体钻井技术及现场应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 16-19.
- [3] 张金成, 位华, 于文红. 空气钻井技术在普光气田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(6): 8-10.
- [4] 何世明, 汤明, 邢景宝. 大牛地气田盒1段气层氮气泡沫钻井水平井技术[J]. 天然气工业, 2010, 30(10): 1-4.
- [5] 李皋. 气体钻井的适应性评价技术[J]. 天然气工业, 2009, 29(3): 57-60.
- [6] 范希连, 袁骥骥, 王军波. 空气钻井选井分析[J]. 西部探矿工程, 2009, (5): 59-61.
- [7] 陈升, 王长生, 杜家祥. 也门32区块空气泡沫钻井技术[J]. 钻采工艺, 2002, 25(2): 3-4.
- [8] 崔卫华, 侯绪田, 郑清国, 等. 气体/泡沫钻井技术在也门砂岩地层的应用[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(4): 107-109.
- [9] Y. Rojas, P. Vieira, M. Borrell, J. Blanco, M, et al. Field Application of Near-Balanced Drilling Using Aqueous Foams in Western Venezuela[R]. Dallas, Texas, USA: IADC/SPE Drilling Conference, 2002.
- [10] A. M. F. Louren o, Martins, Andrade Jr. et al. Investigating Solids-Carrying Capacity for an Optimized Hydraulics Program in Aerated Polymer-Based-Fluid Drilling[R]. Miami, Florida, USA: IADC/SPE Drilling Conference, 2006.
- [11] 王实其, 彭大勇, 陈兴明, 等. 恶性井漏与气层并存的清水强钻技术[J]. 钻采工艺, 1994, 17(4): 73-77.

江西地勘基金项目2012年首批安排66个

《中国矿业报》消息(2012-07-21) 2012年江西省第一批66个地勘基金项目近日部署完成,江西地勘基金投入2亿元推进找矿突破。

据了解,这66个地勘基金项目是重点围绕长江中下游、钦杭、南岭、武夷山成矿带(江西段)和江西省37个重点突破区部署的。主攻矿种为铜、铁、钨、铀、金、地热及特色非金属等,力争新增一批矿产资源量,提交一批可供进一步勘查的矿产地。

据悉,此次安排的13个煤矿项目,其中江西省莲花县小江煤矿普查等9个项目预期新增煤资源量2亿t。12个铀矿项目预期提交可供进一步勘查大型铀矿产地2处、中型铀矿产地3处。30个金属矿项目,其中江西省吉安金溪铁矿详查

已施工27个钻孔,矿体平均厚度42.32 m,预期新增铁矿石资源量3500万t;江西省瑞昌市宝山-夫山铜多金属矿项目已施工18个钻孔,累计完成钻探工作量8188 m,发现了含铜花岗闪长斑岩脉和铜矿体,并伴有金、银、钼矿化,具有寻找大型斑岩铜矿的远景;江西省瑞金市南港矿区铜金属矿项目已施工钻孔17个,累计完成钻探工作量17280.3 m,发现了矽卡岩型和块状硫化物型铜、金矿体,预期新增铜资源量50万t;江西省浮梁县朱溪外围铜多金属矿项目已施工3个钻孔,发现了厚大且品位较富的白钨多金属矿体,并伴有铜、锌矿体,具有寻找大型以上钨矿床的资源潜力。地热资源项目8个,预期提交可供开发利用的地热田5处。另外,此次还安排了3个科研及非金属勘查项目。