

对改进地浸工艺钻孔施工的思考

杨 俊

(湖南中核勘探有限责任公司, 湖南 长沙 410016)

摘 要 地浸采铀工艺钻孔是原地浸出采铀的关键, 是连接矿层与地面的唯一通道。我国在研究地浸采铀技术的 30 多年来, 对钻探效率一直没有突破性进展, 与国外存在较大差距。文章对当前地浸采铀钻孔发展情况及现状进行了阐述说明, 对当前施工存在的常见问题进行剖析并提出了相关思路, 并对地浸工艺钻孔施工的发展提出了建议, 了解学习国外技术, 结合我国地浸工艺钻孔的发展需求, 配套更为先进的钻探钻机, 配备泵量更大的排浆设备等, 使用钻头组合形式, 增大裸孔施工效率。在成井方面, 改变注浆方法及洗井方式, 提高钻孔质量。最后, 对钻探行业朝机械化、智能化方向发展展开研究。

关键词 地浸采铀; 工艺钻孔; 钻进设备; 钻进方法

中图分类号: TD82

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0043-03

地浸采铀是世界上十分先进的采矿技术, 其基本原理是一种在天然埋藏条件下, 对可地浸砂岩型铀矿按一定网度布置工艺钻孔, 溶浸液通过钻孔注入矿层, 与矿物的化学反应选择性地溶解矿石中的铀, 经抽液提出, 在地表工厂进行萃取铀的过程。该技术不使矿石产生位移, 集采、冶于一体的新型铀矿开采方法。自 20 世纪 80 年代我国开始地浸实验成功并投入开采, 二十多年的实践形成了目前的钻孔工艺流程: 正循环回转钻机配三牙轮钻头钻进、泥浆护壁成孔, 安放环形骨架过滤器和丝扣型 UPVC 塑料井管, 采铀矿层泵送法填砾, 正向注浆(管外环状空间插注浆管注水泥浆)固井, 活塞洗井后用空压机直吹法洗井^[1]。该成孔工艺流程简单直接、可操作性强、技术成熟、设备易维护, 施工队伍积累了丰富的经验, 施工成本较低, 对于中浅孔, 是一套较为普遍、易于推广的有效成井方法。

随着地浸开采深度的加大, 400m~600m 深度的矿层将是今后相当长一段时间内开采的主要对象, 地浸工艺性钻孔的重点也向中深孔转移发展。通过近年开展的中深孔地浸试验可凸显出常规施工方法对中深孔的一些不适应方面, 除施工经验与管理方面外, 尚有较多的技术工艺问题值得总结、试验研究和改进, 如钻探设备的不匹配、运用中浅孔的传统钻进参数致使钻孔效率较低, 致使要求使用其他先进钻进方法(如反循环钻进、泡沫钻进等)时有提及; 正向注浆要求的较大孔径及报废孔率增加; 填砾难度的加大及对其他工艺的限制等。在要求中深孔钻孔成本的降低, 成井合格率上升的前提下, 使逆向注浆、射孔技术、减小孔径、减小井管壁厚等系列先进技术与工艺的试验与研究正

在进行, 也有尽快投入生产中的迫切; 对水量与开采矿层渗透性的要求, 也使得要求采用更高效的洗井设备与更有效的洗井方法^[2]。

1 钻探设备与钻进方法

1.1 钻探设备

目前中浅孔施工普遍使用的是 1500 型、2000 型回转钻机, 配置 3NBB-390/15 型泥浆泵。该套钻探设备组合在我国地质钻探普遍采用, 设备技术非常成熟、性能稳定可靠, 运用也十分普遍, 配件易得。由于要求提升能力、扭矩、排渣能力增大, 中浅孔施工钻机设备组合不适合深孔施工要求。从经济和质量方面分析, 必须配置大功率、大扭矩、2000 型以上的大口径工程钻机, 同时配备高压、大泵量的泥浆泵(TBW-850/50、3NB350 型), 才能满足 700m 以内地浸工艺钻孔施工的需求^[3]。

钻头是钻探生产过程的重要部分, 对施工效率的提高起到重要的作用。牙轮钻头钻进是动、静载相结合的碎岩方式, 因此, 碎岩效率较高, 目前广泛应用于钻进硬岩层, 是主要的破岩工具之一。牙轮钻头在井底的运动由三部分组成: 牙轮绕钻头轴线的“公转”; 牙轮绕自己轴线的反时针“自转”; 钻头在旋转的同时, 由于单齿与双齿交替接触井底的结果, 还做上下往复运动(振动)。所以, 实际牙轮钻头在井底工作时, 是上述几种运动的复合, 依靠复合运动所产生的冲击压碎和剪切作用来破碎岩石。

当前, 地浸工艺钻孔施工时采用 $\Phi 311$ 、 $\Phi 215$ 、 $\Phi 151$ 等规格的合金牙轮钻头回转钻进, 把各种地层磨

成岩粉后,利用泥浆把岩粉带到地表,逐步加深钻杆,达到设计孔深而成孔。

1.2 钻进方法

1.2.1 反循环钻进

反循环钻进由于其排渣效果大大优于正循环钻进,加上洗井液在孔壁环形空间流速慢,对孔壁损伤小、易护壁、少污染,特别适合松散地层(如砂砾层)大口径水井的成井,其钻进效率较高。但也正由于洗井液在孔壁环形空间流速慢的原因,使其对含泥质的中软岩层钻进效率一般,加上其需要较大水量,孔内不宜漏水,且需专门的反循环配套设备,其制约性对其中在地浸工艺性钻孔中采用是明显的。

1.2.2 轻质钻井液

钻井液质量对机械转速的影响:

1. 密度:井液密度大小决定着液柱对岩层的压力。压力越大,岩层被压得越紧,钻头破碎岩层就越困难,因此在保证孔底安全的条件下,应尽量减少钻井液密度。

2. 钻井液固相含量:实践证明,使用低固相、低密度的钻进泥浆,可取得较高钻进效率。因为固相含量小,可增强钻井液清洗孔底能力,加大钻头牙轮对孔底的冲击力,同时可改善钻头轴承的工作条件,使其磨损减少。因此,低固相泥浆更能满足需求。

3. 钻井液粘度和切力:钻井液粘度和切力增加,必然升高泵压,对井底的冲洗能力越差,岩屑粘附在井壁和钻头的可能性越大,严重时可能造成泥包。

4. 轻质钻井液使用:使用轻质钻井液能提高钻机转速、增大钻头对孔底冲击力、延长机具设备的使用,对钻进效率有提高,但大量使用也会使成本上升,且用何种配伍的轻质钻井液也要经试验方可确定,加上运输、存放至使用等方面的制约也影响到轻质钻井液在地浸孔中的大规模使用。

5. 钻井液的排量:大排量泥浆泵在中深孔中得到广泛应用。随钻井液排量增大,机械转速也相应增大,钻头总进尺也相应提高,当排量增加到一定程度时,机械转速变化就不大了。一般要求钻井液上返速度在1m/s以上,最小不能小于0.5m/s。原因在于岩屑需要及时带离孔底,避免井下复杂情况发生。

1.3 换浆、破壁

1.3.1 换浆

使用优质稀泥浆的注入,置换孔内含岩屑的浓泥浆,返浆粘度上限要求为18Pa·s。

1.3.2 破壁

由于钻进过程中井壁泥皮导致出水量降低。为此,

在钻完井换浆后必须把井壁泥皮清除掉,以保证成井后的有效出水量。

破壁器自行加工,在粗径钻具上加焊肋骨片,其直径略小于孔径(以与钻头直径相同为宜)。下入矿层位置,开车回转钻具,一边送水一边反复上下提拉,将井壁泥皮清除掉。

破壁宜在下管前进行,破壁后立即下管。

1.4 套管连接

目前采用丝扣连接。由于塑料套管车丝扣时,丝扣处车丝后厚度变薄,强度显著降低,若遇孔内压力增大,丝扣连接处井内最易断裂。因此中深孔应采用胶结,目前胶结工艺成熟,只需选择合适的胶粘剂即可。

1.5 注水泥浆固井

1.5.1 前置隔离液

通常下注浆管后,再进行水泥浆注入。由于水泥浆与钻井液的化学成分不同,且钻井液含地层岩屑后,多含盐类,交迭面二者要混合,一方面二者混合后可使水泥浆增稠,钻井液内盐份也能使水泥浆较早初凝,导致环空流动摩阻增大,注浆压力显著增高,严重时套管破裂造成井漏。另一方面,钻井液与水泥浆混合液可能很稠,不易被水泥浆顶替,或者水泥浆可加速钻井液内泥质沉淀形成泥包,这些混合物可能窜槽,而影响水泥浆体质量。为了解决此问题,石油部门的做法是:在注水泥浆前面通常注入一段隔离液。隔离液的应用有助于顺利注浆。另外,高浓度水泥浆应用于初次注入,原因在于水泥浆、隔离液、钻井液的密度增大所产生的浮力作用。

1.5.2 注浆时间

水泥浆液规范标准规定的终凝时间是在12小时内,超过该时间即认为水泥不合格。而实际水泥浆液初凝在1-2小时内,终凝在3-5小时内,目前中深孔注浆有的多达十几个小时,超过水泥终凝时间。虽然水泥浆液在扰动情况下终凝速度会变慢,但浆液中逐步增多的固化微粒会显著降低浆液的流塑性,而引起注浆压力骤增,注浆、拔管困难,甚至引起井漏。因此,应缩短注浆时间,改善水泥流塑性(如添加减水缓凝剂)。

1.5.3 正向与逆向注浆

逆向注浆的优点是:工艺直接,适用于小环状空间,不存在卡管问题。缺点是:注浆一次性,注浆时间不宜过长,整个注浆过程水泥浆液的流塑性应较好,注浆管与井管要密封良好、浆液不能窜入上层井管内,成井不能采用填砾方法或应进行后填砾。正向注浆的优点是:注浆管可根据情况上拔,对注浆时阻力和

对注浆时间稍长的中深孔有优越性。缺点是：要求孔径较大；注浆管从外环状空间插入拔出可能较困难，有时无法插入与拔出；影响采用薄壁管与缩小孔径工艺；同时注意注浆管插入与拔出对井壁破坏。

1.6 洗井

目前洗井方式有两种：先活塞洗井与空压机洗井，旧井有的建议脉冲式洗井。

1.6.1 活塞洗井

活塞洗井是通过钻机卷扬机的向上活动，形成负压，向下活动时活塞门开启，将泥水带出，是水井施工中一种常用的洗井形式。

活塞胶皮外径一般与井管内径一致或稍小，形成负压小，洗井时间长，对孔壁泥皮的冲洗作用不强。由于连续的上下活动，极易在套管丝口处发生碰撞，极易损坏套管，若胶皮外径略大于井管内径，用力地上下拉拔也易损坏套管，特别是对中深孔更是如此，是一个较为有质量隐患的工艺。中华人民共和国住房和城乡建设部颁布的《供水水文地质钻探与管井施工操作规程》(CJJ/T13-2013)第 7.3.6 条中明文指出：“用塑料管、石棉水泥管、砾石水泥管、钢筋骨架管作井管时，不宜使用活塞洗井^[4]。”

1.6.2 脉冲式洗井

脉冲式洗井是一种效果较好的洗井方式，但由于高压的聚升聚降，第一次压力未完全释放，第二次高压迭加，由于井管承受的最大压力为 1.5Mpa，远小于脉冲的 5Mpa。若含水层未被阻塞，脉冲压力能很好释放，则可达到较好洗井效果；若含水层有阻塞，脉冲压力未及时释放而迭加时，井管可能因承受不起高压而破裂。脉冲法洗井对于地浸孔使用应多加注意。

1.6.3 空压机直吹法洗井

直接压气洗井法是当前常用的洗井方法。该方法运用多年，操作简单，对中深孔只要提高空压机压力也能达到较好的洗井效果。缺点是井管作为了出水管，无法量测静止水位，也无法测到从动水位到静止水位的水动力下降过程；由于没有气水混合器，开始洗井有反压过程；由于风管与出水井管内径相差较大，洗井效率稍低，洗井时间稍长；不能分层接力抽水。建议开展反循环洗井方法的据实应用。

1.7 射孔技术

射孔技术自 1932 年在美国石油开采时开始使用，技术已成熟，运用已十分普遍。射弹孔的应用工艺在国外或国内石油开采行业有成熟经验^[5]。

型号 YD-73 射孔器和型号 YD-89 射孔器广泛应用

于油田的开发、勘探井中，取得了较好的资源开发成果。新疆某单位于 2009 年开始了应用射弹技术的试验，2009 年采用 YD-89 枪射孔，孔密 16-20 孔/米，主要问题是井管破坏严重，影响下一步试验或生产的进行；2010 年采用 YD-73 枪射孔，孔密 12 孔/米，同时改进了井管材料，其效果是井管完整性较好，却出现了部分孔射弹后水量小，即可能未完全射穿，也影响下一步工作。由于试验未完全成功，在国内地浸采铀方面尚未推广使用。^[6]

2 结论

中深地浸工艺钻孔施工中正循环回转钻进和泥浆护壁成井，应注重设备配套能力，使其能更好地适合中深孔施工。施工时注重加强钻进参数、钻井液、钻具钻头的研究、改进与经验总结，总结出一套行之有效的方法以适用中深孔更钻进。

若设备配套，钻进参数与工艺合理，水泥浆顶托隔离技术、射孔技术能成功运用，则使逆向注浆、缩小孔径、减小井管壁厚、一孔多层开采成为可能，生产效益将明显上升，中深孔地浸工艺钻探将上一个新台阶。

目前，地浸采铀工艺钻孔施工工艺虽然较成熟，但仍有较大的提升空间。应加强对工艺技术、经验的总结、研究，提高整体施工工艺，如提高机械化、数字化、可视化、智能化程度，将当前钻探施工参数及施工状况直观地反映出来，降低劳动强度，提高施工效率；如改善工艺、提高钻进效率等方面，为天然铀的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献：

- [1] 王海峰,叶善东.原地浸出采铀工程技术[M].北京:中国原子能出版社传媒有限公司,2011.
- [2] 张勇.新疆地浸钻孔施工技术的创新与发展[Z].长沙:2010年地浸钻孔施工技术交流会会议资料,2010.
- [3] 武伟.新疆513矿床钻孔施工工艺讨论[Z].长沙:2010年地浸钻孔施工技术交流会会议资料,2010.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.供水水文地质钻探与管井施工操作规程:CJJ/T 13-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [5] 同[4].
- [6] 龙南国.关于合作进行射弹地浸孔施工技术研究的建议[Z].长沙:2010年地浸钻孔施工技术交流会会议资料,2010.