

液动潜孔锤技术应用于干热岩钻井的可行性探讨

苏长寿¹, 阴文行², 冯红喜², 宋利丰²

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 邯郸伟业地热开发有限公司, 河北 邯郸 057650)

摘要:分析了清洁、可再生能源干热岩的地质特征以及进行钻井施工可能会遇到的环境温度高、钻井深度大等技术难点,并依据此对液动潜孔锤钻进技术应用于该领域进行了分析。按照目前的技术水平和施工能力,提出干热岩钻井分两步走的思路,目前液动潜孔锤所能达到的指标应用于第一步(井深3000~6000 m,温度150~350℃)钻井实践已经基本具备,并对液动潜孔锤需要完善的关键技术提出解决的方案。

关键词:干热岩;地质特征;钻井;液动潜孔锤

中图分类号:P634.5⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)03-0014-03

Feasibility Study on Application of Hydraulic Hammer Technology in Hot Dry Rock Drilling/SU Chang-shou¹, YIN Wen-hang², FENG Hong-xi², SONG Li-feng² (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Handan Weiye Geothermal Development Co., Ltd., Handan Hebei 057650, China)

Abstract: The analysis is made on the geological characteristics of hot dry rock which is a kind of clean and reusable energy and the technical difficulties that might be encountered in drilling construction, such as high temperature and large drilling depth. On this basis, the application of hydraulic hammer drilling technology in hot dry rock field is discussed. According to the present technical level and construction ability, hot dry rock drilling needs 2 steps; with the present technical performance index, hydraulic hammer has the basic conditions for the first step drilling of 3000-6000m in well depth at the temperature of 150-350℃. The solution to the key technology improvement is also put forward.

Key words: hot dry rock; geological characteristics; drilling; hydraulic hammer

1 干热岩的地质特征及钻井技术难点

1.1 干热岩的地质特征及开发利用

干热岩一般是指处于地层3000~10000 m范围内没有或仅有少量液体、致密不渗漏的热岩体,其岩体的温度介于150~650℃之间,呈干热状态,是一种清洁、可再生的绿色资源。我国的干热岩蕴含能量约为 2.09×10^{35} J,合 7.15×10^{14} t标准煤。

干热岩的主要地质特征是:岩石硬度大,抗压强度高;地层温度高;岩石致密,渗透率极低。

干热岩可用于发电和供暖,常规的是采用井网压裂和U形井的方式,通过注水井将高压水注入干热岩层,在充分吸收地层热量后,将高温水和蒸汽通过生产井采出,经过热交换及地面循环装置处理后,将冷却水再次注入地下,如此循环实现干热岩的热量开发,整个过程安全环保,因此具有广阔的开发利用前景。

1.2 干热岩钻井技术难点

收稿日期:2016-10-21; 修回日期:2017-01-24

作者简介:苏长寿,男,汉族,1954年生,教授级高级工程师,从事钻具、钻头以及工艺技术方面的研究开发工作,河北省廊坊市金光道77号, changshousu@hotmail.com; 阴文行,男,汉族,1976年生,总工程师,从事地热资源开发、综合利用和地热尾水回灌领域的技术开发及管理工作,河北省邯郸市广平县金广源路中段北侧, yinhang006@163.com。

目前,钻井仍然是干热岩勘探开发的唯一手段,在钻井的过程中,高温高压的极端恶劣环境给井下钻具和钻井液体系提出了严峻考验,其技术难点表现在以下几点。

(1) 钻井环境温度高,井下钻具和钻井液体系的寿命和性能受到很大制约。具有开发价值的干热岩储层温度一般在350℃以上,螺杆马达、液动潜孔锤等井下动力钻具中的橡胶部件难以有效发挥密封作用等。

(2) 钻井深度大,一般为3000~6000 m,甚至可接近10000 m,需要钻遇多套地层,井身结构复杂,机械能传递效率低,钻进速度慢。

(3) 井壁围岩稳定性差。钻井发生缩径的概率和程度加大,易发生钻头被卡和套管挤损现象。

1.3 干热岩钻探关键技术研究

根据上述的分析,笔者认为进行干热岩钻井施工,有以下钻探关键技术需要研究。

(1) 抗高温钻井液体系研究(如抗高温泥浆、高温处理剂、高温检测仪器、高温钻井液地表冷却系统等);

(2) 抗高温耐腐蚀井内动力钻具研究(如液动潜孔锤、螺杆马达、涡轮钻);

(3) 抗高温井内测量及轨道控制仪器的研究;

(4) 钻头、取心器具及取心工艺研究;

(5) 井口高温安全防护装备研究;

(6) 干热岩钻探设备配套研究。

研究内容还会在实践中增加,它是一个系统工程,需要众多的研究者参与。笔者在此文中主要就液动潜孔锤应用于干热岩钻井施工的可能性进行探讨。

2 液动潜孔锤技术的发展现状

液动潜孔锤技术是具有中国特色、其研究和应用处于世界领先水平的钻探技术。液动潜孔锤是利用钻探泥浆泵输出的高压冲洗液作为动力传输介质,驱动井下钻具组合中液动潜孔锤内的冲锤作轴向的往复运动,对钻头施加冲击载荷以提高钻进效率的井底动力机具。液动潜孔锤通常连接在钻头或岩心管的上部与钻杆、钻铤或其它孔底动力机具之间,因而能量传递损耗小、效率高。使用液动潜孔锤进行钻井施工,具有不需增加其它设备、操作简单、应用范围广、钻进效率高、钻进质量好的特点。经过长期不懈的研究与开发,已经较为广泛地应用到地质钻探、水文水井钻探、基础施工以及国家重点科学钻探工程等领域。截止目前,液动潜孔锤钻进的最大孔径311 mm,2016年7月31日YZX178型液动潜孔锤配合螺杆钻在“松科二井”采用 $\varnothing 215$ mm金刚石取心钻头钻进最大深度5450.74 m。回次进尺19.03 m,时效提高26%。冲洗液循环温度175℃,现场见图1。获得国土资源部科技一、二等奖各1项,河北省技术发明2等奖及国家科技二等奖各1项。国家知识产权局优秀专利奖1项。在技术上取得重大突破,产品在生产上得到广泛应用。

总结液动潜孔锤技术取得的进步主要有如下几个方面。

(1) 在工作原理上采用射吸和射流两种工作动力复合作用方式,成功解决了制约液动潜孔锤发展的工作稳定性及深孔适应性问题,获发明专利:“双喷嘴复合阀式液动潜孔锤”(专利号02125436.2),



图1 YZX178型液动潜孔锤在“松科二井”钻井现场

2011年该发明专利荣获第十三届中国专利优秀奖。

(2) 探索表面处理技术和结构参数的优选,有效提高了液动潜孔锤的工作寿命,使大口径液动潜孔锤的工作寿命从不到30 h提高到60 h以上。

(3) 在提高橡胶密封副耐温性能方面进行了一些初步探索,取得了进展,为今后的进一步研究奠定了基础。

(4) 作为高技术新产品取得广泛应用,自2008年起,YZX系列高效液动潜孔锤及其配套产品已经广泛应用于国内地质钻探、水文水井钻探、基础施工以及国家重点科学钻探工程等领域,遍布除香港、澳门外全国各省市,覆盖地质、煤炭、建筑、核工业、石油、冶金、有色等各部门,成为我国近年来钻探技术发展和应用的热点,2008及2011、2013年3次入选探矿工程年度十大新闻,2011年被科技部等四部委授予国家重点新产品称号。

3 液动潜孔锤应用于干热岩钻井应重点解决的关键技术

根据技术的进步和产品的应用实际,干热岩钻井深度笔者认为应采取分步实施较为理想(见表1)。

表1 干热岩钻井深度与温度以及分步实施建议

分步计划	井深/m	温度/℃
第一阶段	3000~6000	150~350
第二阶段	6000~10000	350~650

因此,第一步应采取目前现有的设备器具进行3000~6000 m深度,150~350 ℃温度的实施。液动潜孔锤应用于干热岩钻井主要应考虑下列问题。

(1)对深井、超深井大背压的适应性;

(2)橡胶密封的改进之路(耐高温橡胶-全金属密封);

(3)冲击能量的科学性提高(高压大泵量高能量还是合理能量延长连续工作寿命);

(4)工作寿命的有效延长(主要易损件的连续寿命提高措施、性能的科学界定);

(5)与其他井内动力机具配套应解决的技术(泵量匹配)。

按照上述的条件要求和液动潜孔锤的目前所能达到的水平和指标,我们认为应用于第一步(井深3000~6000 m,温度150~350 ℃)干热岩钻井实践已经基本具备(液动潜孔锤钻进的最大孔径311 mm,最大钻进深度5450.74 m,连续工作寿命达70 h,橡胶密封耐温达220 ℃),因此应积极参与干热岩钻井活动。当然,距离完全适应和满足还有进一步的工作可做,其中应首先解决以下难题。

3.1 液动潜孔锤固定密封的耐温性能

由于液动潜孔锤的运动密封副均采用刚性材质,固定式的静密封选用O形橡胶密封形式,考虑干热岩钻井条件,可采取下述方案来满足:在已有的橡胶密封材料中,氟橡胶是耐温及综合性能优越的密封材料,选择氟橡胶材质的O形密封圈无疑是一条有效思路。我们前期在实验室进行的高温试验表明,该材质的密封圈在200 ℃环境中保温22 h性能完好,在260 ℃热空气老化条件持续24 h性能可用,见图2和表2;但由于橡胶材料承受更高的温度会受到限制,同时耐高温初步试验没有附加上液动



图2 耐高温氟橡胶O形密封圈

表2 耐高温氟橡胶O形密封圈性能试验

试验项目	试验温度/℃	试验时间/h	试验内容	指标值	实测值
耐液体	150	24	体积变化率(1号标准油)/%	-3~5	-0.4
压缩变形	200	22	压缩永久变形/%	≤50	10
			硬度变化/度	0~10	1
热空气老化	260	24	抗拉强度变化/%	≤-20	-8.3
			扯断伸长变化/%	≤-30	-17.5

潜孔锤的振动、高压流体的冲蚀等因素对密封寿命的影响,因此在液动潜孔锤的固定密封结构设计上,还应考虑采取全金属刚性密封(类似于螺杆马达的金属定子),以保证液动潜孔锤在干热岩钻井的高温环境下正常发挥效果。

3.2 进一步提高运动密封副的工作寿命

由于液动潜孔锤驱动的介质为泥浆,泥浆中含有的各种固相颗粒,对液动潜孔锤运动部件之间产生的磨粒磨损极大的影响到了其工作寿命,同样由于泥浆中含有大量的固相颗粒,在液动潜孔锤内随着高速流动,将对相应的零件产生冲蚀作用,也将对液动潜孔锤的寿命和安全性产生影响,应加强液动潜孔锤零部件表面耐磨性的研究,使其寿命接近100 h。据上述的工况分析,液动潜孔锤的运动密封摩擦面拟采取硬-硬思路。在其表面层应探索碳化钨注渗钢基高级耐磨合金工艺、微粉金刚石电镀、激光喷焊碳化物合金、硬质合金喷涂Ni60、离子氮化等工艺,并探讨仿生原理等,经过优化,使液动潜孔锤的密封碰撞零部件具有内韧外刚耐磨抗撞性能。当然,在使用中应加强对钻井液的净化工作。

3.3 应解决与其他井内动力机具的泵量匹配等技术问题

为了发挥井底动力的综合优势,在干热岩的钻井施工中,液动潜孔锤将会与螺杆马达、涡轮钻等井底动力钻具组合,实现钻杆不旋转(或慢旋转),对井壁干扰小、摩擦阻力小、能量传递损耗少等优点。但这种组合钻具目前在工作泵量上存在严重的问题是,液动潜孔锤与适配钻井口径工艺所需泵量以及与组合螺杆钻、涡轮钻所需泵量的严重不匹配,一般液动潜孔锤的工作泵量要小40%左右。因此应采用内部分流机构使其有一部分钻井液不参与液动潜孔锤做功而保证螺杆马达、涡轮钻对大泵量的要求,同时还应开展液动潜孔锤不通过内部分流适应大泵量的新型结构的探索研究。

(下转第26页)

护壁,又可保护泥浆性能不被破坏,且使用这种泥浆也对提高机械钻速,降低材料消耗,预防孔内事故有利。

通过简单的计算,充气泥浆的关键设备——空压机,采用市场上小型空压机就能满足钻进时对风量、风压的要求,且动力消耗较低,从适用性和经济性考虑是可行的。但空压机最好采用电力驱动(发电机组或高压电路),而用柴油机做动力则受到限制。

随着逐步掌握充气泡沫的工艺方法,将会进一步排除与克服因设备能力所造成的孔内排渣、粘壁等客观因素对孔内事故影响。实践证明,充气泡沫钻进技术可进行各类基岩地层条件下施工钻孔的尝试与推广。

参考文献:

- [1] 耿瑞伦. 应用空气钻进技术钻采地下水[C]// 严重缺水地区地下水勘查论文集. 北京:地质出版社,2003.
- [2] 顾新鲁,赵清海,刘庆章,等. 空气泡沫钻进在干旱地区水井钻探方面的应用[J]. 西部探矿工程,2005,(8):113-114.
- [3] 索忠伟,王生. 钻孔冲洗与护壁堵漏[M]. 北京:地质出版社,2009.
- [4] 汤凤林,A. Г. 加里宁,段隆臣. 岩心钻探学[M]. 湖北武汉:中

国地质大学出版社,2009.

- [5] 郑秀华,李国庆,王军,等. 可循环微泡沫及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):255-259.
- [6] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等. 多工艺空气钻进技术及其新发展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):8-14.
- [7] 刘家荣,王建华,王文斌,等. 气动潜孔锤钻进技术若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):34-39.
- [8] 王艳丽. 岩屑对泡沫剂性能影响的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):22-24.
- [9] 郭京华,夏柏如,田凤. 也门1区块恶性漏失地层气体钻井实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):1-5.
- [10] 张建,王艳丽,吴国强. 空气泡沫钻进技术在复杂漏失地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):32-35.
- [11] 许刘万,王艳丽,刘江,等. 影响水井钻探效率的因素及提高钻井速度的关键技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):18-21.
- [12] 张秋冬,王兴民,张新春,等. 大口径空气钻进工艺在大陆科学钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):10-13.
- [13] 王占林,冯水山,王昱涵,等. 可循环微泡沫钻井液技术在易漏失地层钻井施工中的应用[J]. 西部探矿工程,2014,(11):69-72.
- [14] 董震堃,胥虹,聂洪岩,等. 微泡沫泥浆在贵州岩溶裂隙地层钻探施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):5-8.
- [15] 刘海波. 空气泡沫潜孔锤钻进技术在大直径基岩深井中的应用试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):31-34.

(上接第16页)

4 结论

作为环保、可再生的绿色能源,干热岩是未来需重点关注的能源热点,在钻采利用上从钻井角度存在井深、高温、岩石硬等钻井难点,对钻井设备、器具、仪器提出了更苛刻的要求。

根据目前的技术产品实际,提出钻井施工分两步走的建议。

液动潜孔锤作为钻速有效的提高机具,已基本达到第一步干热岩钻井施工的要求,同时提出了采用氟橡胶和全金属密封材料和结构解决液动潜孔锤的耐高温性能、采用注渗碳化钨工艺提高运动密封副连续工作寿命、以及采用分流结构解决与其他井底动力机具大泵量的匹配等关键技术方案。

参考文献:

- [1] 谢文卫,苏长寿,宋爱志. 新型高冲击液动潜孔锤的研究[J]. 探矿工程,1998,(6):31-32.
- [2] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 系列高效液动锤的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.
- [3] 王建华,苏长寿,左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J]. 勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [4] 张金昌. 地质钻探技术与装备21世纪新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):10-17.
- [5] 王建华. 大直径液动潜孔锤钻进技术探讨[J]. 勘察科学技术,2009,(6):22-24,28.
- [6] 张金昌. 钻探技术新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):11-18.
- [7] 赵福森,张凯. 青海贵德ZRT₁干热岩钻井钻进工艺研究[J]. 石油钻探技术,2015,43(2):5-7.
- [8] 刘伟莉,马庆涛,付怀刚. 干热岩地热开发钻井技术难点与对策[J]. 石油机械,2015,43(8):11-15.
- [9] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 高效岩心钻进的有效途径——液动锤钻探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):81-84.