

地质钻探液动冲击回转钻进技术再(新)认识

刘秀美, 李小洋, 孙建华

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:针对地质钻探液动冲击回转钻进适用条件、钻探设备配置要求、冲洗液与现场维护、相关新产品研发等方面提出了一些认识和建议。文章认为,当前地质钻探装备条件的改善,冲洗液性能、质量和固相控制(净化)工作的强化,有利地支撑了液动冲击回转钻进技术的推广应用,小直径金刚石绳索取心液动冲击回转钻进已经成为应用最为广泛的液动冲击回转钻进工艺。对原地质矿产标准《液动冲击回转钻探技术规程》(DZ/T 0053—93)进行修订,是推动目前我国液动冲击回转钻进技术发展的举措之一。今后,还应加强新型高能液动潜孔锤研发和示范应用,研究优化大直径、全面钻进工艺。

关键词:地质钻探;技术标准;液动潜孔锤;液动冲击回转钻进

中图分类号:P634.5⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)04-0031-05

New Understanding of Hydraulic Percussive-rotary Drilling Technology in Geological Drilling/LIU Xiu-mei, LI Xiao-yang, SUN Jian-hua (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Some ideas and suggestions are put forward according to the suitable conditions of hydro-percussive rotary drilling technology in geological drilling, drilling equipment configuration requirements, drilling fluid and field maintenance and new products development. It is believed that the current improvement of geological equipments and the strengthening of flushing fluid performance, quality and solid phase control (purification) are favorable to promote the application of hydro-percussive rotary drilling technology, small-diameter diamond wire-line core hydro-percussive rotary drilling technology has become the most widely used hydro-percussive rotary drilling technology. At the present, the revision of original geological and mineral standards "The regulations of hydro-percussive rotary drilling technology(DZ/T 0053—93)" is one of the good methods to promote the development of hydro-percussive rotary drilling technology in China. In the future, it is also necessary to strengthen the development and demonstration application of new type of high-energy hydro-hammer and attach great importance to the optimization of large diameter and hydraulic hammer non-coring drilling technology.

Key words: geological drilling; technical standards; hydro-percussive tool; hydro-hammer; hydro-percussive rotary drilling

1 概述

液动冲击回转钻进(hydro-percussive rotary drilling)是液动潜孔冲击器连续冲击与钻头回转相结合的“复合”钻进方法。该方法于19世纪初发端于欧洲,20世纪70—80年代曾在苏联大量推广应用。我国原地质部勘探技术研究所于1958年开始研究液动冲击回转钻进技术,70—80年代得到快速发展,逐步成为有中国特色、领先世界的先进钻探技术。与常规回转钻进方法相比,冲击回转钻进具有机械钻速高、回次进尺长、钻探质量较好等优点。在坚硬、致密的“打滑”岩层应用液动冲击回转钻进,可缓解金刚石钻头“打滑”问题;在因地层因素发生钻孔弯曲的钻孔中应用,特定情况下具有一定的减

斜效果。

自2015年1月开始,中国地质科学院勘探技术研究所邀请吉林大学、山东省第三地质矿产勘查院、河南省深部探矿工程技术研究中心、福建省第八地质大队等单位的钻探技术专家,共同对20世纪80年代中期制定的原地质矿产标准《液动冲击回转钻探技术规程(DZ/T 0053—93)》进行修订。经过近2年的努力,标准编写组基本完成了规程(送审稿)及编制说明文件。新规程(标准)说明和规定了液动冲击回转钻进技术的适用条件、液动冲击器技术性能、钻探设备与附属装置配置、金刚石(绳索取心)冲击回转钻进工艺、硬质合金冲击回转钻进工艺、冲洗液与现场维护、液动冲击器故障排除以及孔内事

收稿日期:2016-12-10; 修回日期:2017-01-08

基金项目:中国地质调查局地质调查子项目“《液动冲击回转钻探技术规程》修订”(编号:121201108000150012)

作者简介:刘秀美,女,汉族,1981年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探工艺、器具的研究和钻探标准的制修订工作,河北省廊坊市金光道77号,kuer6785@163.com。

故预防处理等方面的工作要求和技术规则,适用于地质岩心钻探、水文地质钻探、科学钻探及其他钻探工程领域。

在标准编纂过程中,笔者先后参与调研了多家地质钻探施工单位,特别是与受邀单位的钻探专家合作,获益匪浅。两年的调研、讨论、交流,对地质钻探液动冲击回转钻进技术现状有了较为全面的认识,亦有一些收获。本文结合我国目前地质钻探技术经济条件和野外管理体制变化,针对液动冲击回转钻进技术的适用条件、钻探设备配置要求、冲洗液与现场维护、未来相关新产品研发等方面进行总结分析,提出一些认识和建议,期望对推动目前我国液动冲击回转钻进技术发展和应用有所助益。

2 适用条件分析

2.1 液动冲击器类型

液动冲击器(hydro-percussive tool)是一种以冲洗液驱动冲锤往复运动产生轴向冲击作用的孔底装置,亦称为液动潜孔锤、液动锤(hydro-hammer)。

国内应用过的液动冲击器类型多样,按照作用原理分为阀式正作用液动冲击器、阀式反作用液动冲击器、阀式双作用液动冲击器。阀式双作用液动冲击器主要有压差式、射流式、射吸式和复合式等类型;液动冲击器可与绳索取心钻具配套组成金刚石绳索取心液动冲击器;另有用于反循环钻探的贯通式液动冲击器。

目前,液动冲击回转钻进主要有金刚石(复合片)钻进、硬质合金钻进、牙轮钻头钻进以及绳索取心钻进等工艺方法。

2.2 应用条件变化

与20世纪液动冲击回转钻进大规模推广应用时期相比,近年来我国地质钻探技术经济条件和野外管理体制发生了重大变化,这种变化亦导致了液动冲击回转钻进应用方面发生相应改变。

(1)硬质合金钻进占比逐步萎缩。人造金刚石制造技术发展迅速,金刚石品级提高,成本大幅下降;而同期硬质合金制造技术和成本变化不大。加之硬质合金与金刚石混合钻进有明显的危害性,很多基层钻探单位明文禁止,故此硬质合金钻进占比逐年降低,硬质合金钻进应用的地层范围亦逐步收窄。因此根据实际情况,新标准将原标准和《地质岩心钻探规程(DZ/T 0227—2010)》规定的“硬质合

金液动冲击回转钻进适合于可钻性级别5~6级和部分7级岩层”修改为“硬质合金液动冲击回转钻进适用于可钻性级别4~7级岩层”。

(2)金刚石(复合片)钻头的应用范围扩大。据此,新标准将“金刚石液动冲击回转钻进适用于可钻性级别6~12级”修改为“金刚石液动冲击回转钻进适用于可钻性级别4~12级岩层”。同时建议,液动冲击回转钻进宜使用人造孕镶金刚石钻头和硬质合金钻头,以及专门设计的金刚石复合片钻头和表镶金刚石钻头。

(3)目前,液动冲击回转钻进适用钻孔深度主要取决于泥浆泵额定工作压力以及钻柱的耐压和密封性能等。近年来,钻柱制造质量、泥浆泵输出指标、液动冲击器(潜孔锤)性能明显改善。地质钻探液动冲击回转钻进深度不断增加,目前记录为4006.17 m(山东省莱州市黄金矿区,2013年5月终孔)。

(4)液动冲击回转应用范围扩大,特别是在重大深部科学钻探工程得到示范应用。目前,液动冲击回转钻进一般以取心钻进为主,亦可全面钻进;钻孔口径范围为60~311 mm,但主要以小口径绳索取心液动冲击回转钻进为主,金属矿产勘查钻探领域应用较多。

(5)20世纪70—80年代,机台定员较多,实施“三班倒”或者“四班三倒”制,且有现场技术员,因此实施上级钻探技术和管理部门建议“适合条件的地层应积极采用液动冲击回转钻探”的条件较好。但近年来,随着人力成本大幅提升,钻探设备机械化、自动化程度提高,野外钻探机台现场人员明显减少,有的钻探机台每班只有3人。个别机台应用液动冲击器往往手忙脚乱、力不从心,导致技术效果不够理想。

(6)在大多数情况下,技术效果和经济效果是一致的,但是有时也可能出现背离。由于研发投入大、性能不断改进、可靠性提高,液动冲击器等孔底动力机具价格较高,如现场管理不佳,钻进规程参数不合理,极有可能出现总成本不降、经济效果不如预期的情况。

(7)液动冲击回转钻进与空气潜孔锤钻进相比,碎岩机理有根本区别,二者的钻进效率亦有很大差别。但是空气潜孔锤钻进需要配置大功率空压机,钻进深度明显低于液动冲击回转钻进,因此很多

遇到坚硬地层的钻探施工人员希望采用高能液动冲击器。国内大学、科研机构正在致力于这方面的研发,并在实验室取得了重大技术突破,不过应用于钻探现场还尚需时日。

2.3 工艺适应性

由于各种原因,我国地质钻探现场使用的金刚石钻头质量、性能与国外相比仍有一定差距,取心钻具专业化制造水平亦有待提高。因此根据目前具体情况,新的标准提出钻遇下列地层,采用液动冲击回转钻进工艺,经济和技术效果更加突出:

- (1) 岩心堵塞现象严重,回次进尺短,机械钻速低的较破碎地层;
- (2) 坚硬、致密,研磨性弱的“打滑”地层;
- (3) 部分强研磨性地层;
- (4) 易发生钻孔弯曲的地层。

2.4 工艺局限性

任何钻进方法和工艺都有其针对性、适应性,亦有其局限性,液动冲击回转钻进方法不可能例外。因此,新标准提出了遇下列情况,在应用液动冲击回转钻进时,应采取有效配套技术措施,或临时换用普通回转钻进工艺:

- (1) 地层自然造浆,冲洗液粘度过高导致泥浆泵压力过高;
- (2) 局部孔段地层不稳定,孔壁坍塌严重,尚未采取护壁措施;
- (3) 易发生岩心冲蚀的松软和水敏地层,岩心采取质量达不到要求;
- (4) 冲洗液含砂量过高且暂时无有效的净化措施;
- (5) 冲洗液中添加了惰性堵漏材料、漂珠等尺寸较大的固相颗粒。

3 钻探装备配置

20世纪70—80年代推广液动冲击回转钻进技术时,针对当时地质钻探装备相对落后、功能不够完善等问题,有的单位还对钻机进行了改造,原标准亦提出了一些具体要求。

目前应用液动冲击回转钻进技术,对钻探设备的特殊要求越来越少。新的标准主要有“应选择转速调节范围较大、钻压控制精度较高的岩心钻机。进行硬质合金液动冲击回转钻进时,钻机的最低转速不高于40 r/min”;“选择泵压较大(4~6 MPa)、

泵量可调的泥浆泵;泥浆泵应配抗震压力表”;“施工机台应配备旋流除砂器、离心机等固相控制设备”等等。这些要求目前多已具备,因其中的要求已经不仅是为了满足液动冲击回转工艺需要,同时也是深孔地质钻探安全施工的必要条件。

对于大直径液动潜孔锤,建议现场应配置专门的机械拧卸装置,亦可根据现场钻机条件使用B型钳或液气大钳拧卸。

除了钻探设备,液动冲击回转钻进工艺对钻探器具、钻柱仍有一些具体要求,如钻柱接头螺纹应具有有良好的密封性;应配用心轴通孔直径较大、转动灵活、密封性好、耐高压和维护方便的水龙头;泥浆泵高压胶管的内径 ≤ 25 mm,耐压力 ≤ 10 MPa。同时应使用耐高压的专用接头;应在泥浆泵输出管与水龙头高压胶管之间设置稳压罐。稳压罐容积 ≤ 0.03 m³,安全压力 ≤ 15 MPa。

4 冲洗液与现场维护

4.1 冲洗液

冲洗液是地质钻探的“血液”,关系到钻探作业的质量和成败,与钻孔安全息息相关。随着深部地质钻探、复杂地层钻探、新矿种钻探作业的增多,这一认识已经成为行业内的基本共识之一。因此近年来,地质钻探用冲洗液性能、质量和固相控制(净化)工作逐步得到强化,有利支撑了液动冲击回转钻进技术推广应用。据此,新的标准对钻探冲洗液的选用方面的规定亦趋于简化。

(1) 应根据地层情况确定冲洗液性能参数,确保冲洗液的润滑和流变特性良好。

(2) 冲洗液密度通常控制在1.0~1.25 g/cm³;含砂量 $< 0.6\%$,漏斗粘度(苏氏) < 30 s。

(3) 需提高冲洗液密度时,可加入重晶石、石灰石粉等,其粒度应为200目以细。

(4) 不得选用含有固体润滑球、喷射钻砂粒、堵漏剂等颗粒状惰性材料的冲洗液。

(5) 孔内返回的冲洗液应进行净化处理。应根据施工现场条件选择配备振动筛、旋流除砂器、离心机等净化冲洗液设备。

(6) 可在冲洗液中加入絮凝剂(如部分水解聚丙烯酰胺),使固相颗粒聚结沉淀,使冲洗液净化。利用絮凝剂净化冲洗液时,应按要求设置完善的沉淀系统,并及时捞取沉淀物。

(7)未使用净化设备的机台,宜采用自然沉淀法净化冲洗液。循环槽长度不应短于15 m,内宽220~250 mm,高200 mm,坡度1/100~1/80;循环槽中每隔1.5~2.0 m应安设100 mm高挡板,并安放至槽底。

(8)泥浆池、沉淀池上应有遮雨设施,避免雨水流入;防止冲洗场地的水、棉纱、树枝等异物流入池中。

4.2 护壁堵漏

相对于普通回转钻进,液动冲击回转钻进所需泵量较大,一般约增加30%,泵压亦明显增高,易发生钻孔冲洗液漏失。钻孔发生冲洗液漏失时,即使地层条件和地质要求允许,顶漏钻进亦可能经济上不合理,因此应根据钻孔情况采取必要的堵漏措施。当采取随钻堵漏工艺时,不应带液动冲击器向孔内灌注堵漏剂、水泥浆液和惰性材料等。另外,钻遇严重坍塌及难以封堵的严重漏失地层(溶洞、暗河等),最好采用套管封隔。

5 新产品研发和应用

5.1 新型高能液动潜孔锤(冲击器)的研发

吉林大学建设工程学院针对干热岩地层研磨性强、可钻性差,常规工艺方法钻进效率低的问题,专门研制了干热岩钻进用的SC-86H型高能射流式液动锤。对该高能射流式液动锤样机进行的地面钻进试验采用了JDD-100型全液动力头式车载钻机,泥浆泵为3P30型三柱塞高压泵,额定功率90 kW,最大泵量250 L/min,最高泵压18 MPa,采用的硬质合金球齿钻头具有9颗 $\varnothing 14$ mm硬质合金齿。试验采用可钻性级别10级的完整花岗岩,通过增大冲锤质量、活塞行程和泵量较常规回转钻进机械钻速提升显著,获得的最大机械钻速为5.19 m/h,取得了重大技术突破。初步试验证明,未来液动冲击回转钻进有条件、有可能向高能型方向发展。但囿于钻探装备配套有待完善、钻进参数有待优化、野外应用经验积累不足等,相关内容暂时未列入新的《液动冲击回转钻进技术规程》标准。

5.2 扭力冲击器

扭力冲击器一般与金刚石复合片钻头配套使用,其破岩机理以冲击破碎为主,并加以旋转剪切岩层,起到在保证井身质量的同时提高机械钻速的作用。扭力冲击器消除了井下钻头运动时可能出现的

一种或多种振动(横向、纵向和扭向)的现象,使整个钻柱的扭矩保持稳定和平衡。2000年,加拿大Ulterra Drilling Technologies公司首先提出了扭力冲击钻井的构想并设计完成Tork Buster产品,在实际钻井过程中的应用证明扭力冲击器能减弱粘滑作用的影响,大幅提高钻进速度,并在世界各大油气钻井施工中有了广泛的应用。

国内外有很多研究机构正在致力研究开发新型扭力冲击钻井工具。目前国内各种扭力冲击工具专利有10项左右,基本可以分为液压式扭力冲击器和涡轮马达式扭力冲击器两种类别。由于涡轮马达式扭力冲击器含涡轮等易损件,使用寿命受到限制,目前在实际钻井生产中主要用的是液压式扭力冲击器,包括国外的Tork Buster,国内胜利油田钻井工艺研究院的SLTIT和SLBF-TIT、浙江睿智钢铁有限公司的石油钻井三维震动破岩装置。胜利油田钻井工艺研究院与浙江睿智钢铁有限公司属于合作关系。

有些情况下连续破岩扭力冲击器的使用效果不明显,如在四川涪陵地区龙潭组—韩家店组上部夹层应用某国外产品,钻头前期损坏严重,机械钻速低,性价比不高。另外,目前的扭力冲击器与传统的液动潜孔冲击器在结构原理、碎岩方式、使用环境、钻进参数方面有着明显区别,因此亦未纳入本标准狭义的液动冲击回转钻进范畴。

6 结语

液动冲击回转钻进技术是我国领先世界的先进地质钻探技术之一。目前的地质钻探装备条件改善,冲洗液性能、质量和固相控制(净化)工作得到强化,有利支撑了液动冲击回转钻进技术的推广应用,小直径金刚石绳索取心液动冲击回转钻进已经成为应用最为广泛的液动冲击回转钻进工艺,取得了良好的技术经济效果。

对制定于20世纪80年代中期的原地质矿产标准《液动冲击回转钻探技术规程(DZ/T 0053—93)》进行修订,是推动目前我国液动冲击回转钻进技术发展的举措之一。该标准(规程)的发布,必将对地质钻探液动冲击回转技术应用有所助益。今后,还应继续加强新型高能液动锤研发和示范应用,研究优化大直径、全面液动冲击回转钻进工艺。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王建华. 对大直径液动冲击回转钻进技术开发的认识和建议[J]. 探矿工程, 1997, (S1): 107-109, 114.
- [3] 谷守卫. SYZX75型绳索取心液动锤在生产应用中常见问题的分析与处理[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2015.
- [4] 任鹏飞, 王四一, 刘勇. 液动潜孔锤在煤矿井下穿层孔钻进中的应用[J]. 石化技术, 2015, (8): 124-126, 133.
- [5] 余桂红, 赵尊亭, 余东山, 等. 绳索取芯液动锤在新疆和静县铁铜多金属矿复杂地层钻探中的应用[J]. 西部探矿工程, 2015, (8): 56-59.
- [6] 刘国经. 蓄能式液动潜孔锤的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(7): 45-49.
- [7] 张元志. 射吸式液动冲击器的优化设计[D]. 陕西西安:西安石油大学, 2015.
- [8] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 24-26.
- [9] 孙强, 杨冬冬, 彭视明, 等. 高能射流式液动锤在花岗岩中的钻进研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(8): 39-43.
- [10] 陈师逊. 液动冲击回转钻进在我队的应用与探讨[J]. 西部探矿工程, 1992, (4): 19-21.
- [11] 王鸿远, 李忠寿, 张庆华, 等. 涪陵页岩气井新工具的应用与经济评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 24-30.
- [12] 柳贡慧, 李玉梅, 李军, 等. 复合冲击破岩钻井新技术[J]. 石油钻探技术, 2016, (5): 10-15.
- [13] 黄雪琴, 孟庆昆, 郑晓峰. 液动冲击器发展现状及在油气钻井应用探讨[J]. 石油矿场机械, 2016, (9): 62-66.
- [14] 李玮, 李卓伦, 刘伟卿, 等. 扭转冲击提速工具在文安区块的现场应用[J]. 特种油气藏, 2016, (4): 144-146, 158.
- [15] 齐列锋, 冯进, 董斌, 等. 回转式扭力冲击器结构设计及碰撞分析[J]. 机械工程师, 2016, (4): 75-77.
- [16] 李欢欢, 王玉玺, 李秋杰. 扭力冲击器在大庆油田肇深17井的试验应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 44-47.
- [17] 张海军, 彭勇. 扭力冲击器在塔河油田托普台的钻井提速试验应用[J]. 西部探矿工程, 2016, (7): 58-59, 62.

致谢: 本文在资料搜集、撰写和修改过程中先后得到了殷琨、苏长寿、杨泽英、陈师逊、卢予北、傅丛群等专家的帮助和指导, 在此表示衷心的感谢。

(上接第30页)

(2) 地层选择不当、欠平衡方式选择不当或介质选择不当, 都可能影响欠平衡钻井效果。

(3) 对于破裂压力和孔隙压力接近的地层, 应用欠平衡钻井是较过平衡钻井更可行的开发方式。

(4) 对于裂缝性储层, 采用全过程欠平衡钻井技术效果更理想。

(5) 对水敏性储层用气体全过程欠平衡钻井开发, 效果更好; 对于较薄的储层, 可以与水平井结合开发。

(6) 应用欠平衡钻井能够获得较好经济效益的必要条件主要有如下几点:

① 合适的地层条件, 有油气资源, 有一定的孔隙度和渗透率, 在孔隙压力系数和坍塌压力系数之间, 有一定的欠平衡当量密度可以选择, 对过平衡钻井伤害敏感;

② 合理的欠压值过程控制, 对于过平衡敏感的地层要确实做到全过程欠平衡;

③ 合适的欠平衡工艺方法;

④ 选择与储层相容性好的欠平衡循环介质;

⑤ 在储层有足够长的接触面积。

参考文献:

- [1] 陶冶, 刘伟, 罗维, 等. 欠平衡钻井技术在夏72井的应用[J]. 钻采工艺, 2005, 28(1): 11-12.
- [2] 法鲁克. 油层伤害——原理、模拟、评价和防治[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [3] 李天相. 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [4] 陈若铭, 刘伟, 屈志伟, 等. 气基流体钻井转换技术研究[J]. 石油钻采工艺, 2013, 32(S1): 58-62.
- [5] 杨毅, 齐彬, 马晓伟. 气体钻井注气模型优选及设备优化配置分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 53-56.
- [6] 田玉栋. 气体钻井节能减排装置的研制及应用[J]. 石油石化节能, 2016, 6(2): 21-23.
- [7] 侯树刚, 刘新义, 杨玉坤. 气体钻井技术在川东北地区的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 24-28.
- [8] 杨智光, 赵德云, 刘永贵, 等. 大庆外围深层实施气体钻井的可行性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(9): 55-58.