

高压喷射钻井技术应用及经济性研究

王旭东（东营大明钻井有限责任公司，山东 东营 257000）

摘要：高压喷射钻井技术作为现代提速提效的重要措施。基于此，本文分析该技术在应用中存在的问题，通过将高效破岩喷嘴和大水眼低压降非标钻杆相互结合，进一步优化钻井水力参数，购买先进的地面相关设备，优化高压喷射钻井技术。经过实践证明，将高压喷射钻井技术分两个阶段应用在东营区域现场，明显提升机械转速，采用井全部作为 7000m 钻机日费 11.5 万元计算，直接节约钻机日费的 10 口井共计 1860.24 万元，给高压喷射钻井技术未来发展打下坚实的基础。

关键词：高压喷射技术；机械钻速；经济性评价；东营区域

1 前言

高压喷射钻探技术是我国从 1978 年开始应用的，实践表明，这一技术是提高机械钻进速度的一种有效手段。从 2009 年开始，中原石油工程股份有限公司钻井工程技术研究所针对高压喷射钻井技术的不断科研攻关，先后完成东营地区 10 口井 2 期工程现场应用，累计测试进尺 43699m。该技术与常规钻探工艺相比，具有明显的提速降本效果，特别是在现有机泵条件下，实现了高压喷射钻探技术的应用，同时该技术与一期中段地层机械钻速相比，具有明显的提速降本效果。

2 高压喷射钻井技术作用

首先，高压喷射钻井技术的应用能够对井底进行有效的清洗，避免井底岩屑发生重复性破碎，能够进一步达到提高钻井速度的目的，因此，为了在钻井工作中实现强化井底漫流目标，要大力推广与应用高压喷射钻井技术，并利用高压喷射钻井技术中的双喷嘴、加装中心喷嘴等提高井底的漫流效果。

其次，高压喷射钻井技术的应用能够充分提高牙轮钻头的应用效率，促使牙轮钻头具有较高的击破岩石能力，牙轮钻头在井底作业时除了能够击碎井底的岩石，还能冲击蹦出的碎石块，在水力能量有限时，裂缝可以在泥浆的挤压状态下再次闭合，导致钻头出现破碎，而当水力能量充足时，连结强度较大的裂缝就会被撕开，有利于提高钻井速度。

再次，高压喷射钻井技术对提高钻头切削齿工作效率具有重要作用，以往钻井作业时 PDC 钻头切削地层岩石时，会出现一些岩石碎屑粘附在齿轮上，将影响切齿再次钻入地层，阻碍了 PDC 切削齿的工作效率，排量越低切削齿的工作效率越低，因此，利用高压喷射钻井技术能够促进钻速加快，排量增加，这时能够有效阻止碎屑粘附在切削齿上，大幅度提升了

PDC 切削齿的工作效率。

3 高压喷射钻井技术实施条件

首先，要具备合理的空间结构，高压喷射钻井技术的应用要在合理匹配速度参数以及科学的系统结构参数基础之上进行，主要是指喷嘴几何参数和喷嘴的使用寿命，根据高压喷射的工作原理，要科学的选择喷射嘴结构，使喷射效果达到最佳状态，确定喷嘴内部结构之后还要形成准确的喷嘴直径参数，高压喷射钻井技术对压强有严格要求，因此，在确定高压排量时就确定了喷嘴的直径参数，在进行高压喷射作业时要按照流射实验结果，计算喷嘴直径的最佳范围，以此保证喷嘴的空间结构符合高压喷射钻井作业的需求。

其次，要建立满足高压喷射排量的条件，需要建立科学的携岩环空反流循环系统，要建立该系统结构，需要按照高压喷射钻井技术作业时增压值以及水功率的压力计算，计算高压喷射钻井技术的排量，并对这一排量进行液体做功实验，由此可见，建立满足高压喷射排量条件是一项复杂而高端的作业，而只有建立满足高压喷射钻井技术需求的排量，才能使该技术在钻井作业中保持较高的效率。

再次，实现高压喷射钻井技术的应用需要具备良好的工作介质，高压喷射钻井技术需要循环系统钻井液作为介质，作业介质的物理性能将直接影响到喷射效果与增压值，介质的粘度、体积压缩以及流变性等因素都制约着高压喷射钻井技术的实施，介质的粘度将随着外界温度与压力的变化而变化，压力升高的同时钻井液的粘度也会随之升高，出现流动性较差的现象，而温度的升高则会降低介质的粘度，使钻井液的流动性提升，钻井液介质的压缩能够进一步提高高压喷射钻井技术的应用效率。

4 高压喷射钻井技术分析

4.1 喷嘴组合技术

在应用高压喷射钻井技术的过程中,其钻头压降与喷嘴的大小与规格有着直接的关系,喷嘴尺寸直接影响到钻头功率的大小,喷嘴过大就会出现钻头压降较低、钻头水功率较低的现象,钻头尺寸太小将会导致压降太大,开泵出现困难,科学合理的压降对高压喷射钻井技术的实施具有重要意义,在保证高压喷射钻井总泵压恒定时,要提高钻头的压降,就要发挥水力功率作用、降低压耗。从某方面来看,钻井工程是土木工程的重要环节,其施工内容主要包括煤层井场建设、道路建设、设备基础建设、附属设施建设等环节。针对整个煤层开发来说,钻井工程施工内容较小,是钻井工程中的附属工程,其建设过程具有较强的特殊性。对于靠近上部的地层,在采用牙轮钻头作业时,要保证钻头的压降大于等于循环压耗的50%,对于中部地层采用PDC钻头作业时,要保证钻头压降在10MPa以内,同时,应对环空流进行进一步分析,科学合理的控制水力能量的分配,使高压喷射钻井作业具有较高的效率。

4.2 机械钻速技术

高压喷射钻井技术建立在较高的机械钻速基础上,较高的机械钻速在高压喷射钻井作业时不仅达到了增压的目的,还提高了射流击破岩石的效率,同时也有效的避免了技术应用过程中其他复杂情况的发生,充分的提高了深井作业破石工作效率,减少钻井作业中事故发生的频率,机械钻速主要通过增加泵压,使其作业中具有较大的水力能量,使钻头能够有效的进行地层开钻,增加钻头运转速度,机械钻速技术是在传统钻井技术中延伸而来,在原有技术基础上采取适当措施,提高射流水力。同时,通过将高效破岩喷嘴和大水眼低压降非标钻杆相互结合,进一步优化钻井水力参数,购买先进的地面相关设备,优化高压喷射钻井技术,避免机械设备密封与使用周期等问题的限制,促进高压喷射钻井技术在深井作业中的推广与应用。

4.3 地面增压技术

地面增压技术主要是指在钻井作业中通过改善钻井泵配套设施来提高泵压,当前,我国地面泵压已经达到40MPa,机械钻速也得到了较大的提高,地面泵增压技术对提高高压喷射钻井工作效率具有重要意义,但在整个循环作业过程中,都要受到循环压力的

作用。钻井工程和整个油气开发过程相比,钻井工程属于前期临时性工程。随着钻井技术不断发展,大量新型设备和工艺被应用到钻井工程施工中,无形中缩短建井周期,提高中浅煤层建井效率。同时,为提高土地利用的合理性,保护周围生态环境,加强土地利用,加强日常生态效益,相关法律明确规定要复垦受到建设活动损坏的土地,对除井口外的其他区域进行复垦工作,所以钻井工程也属于临时性工程。因此,对钻井泵配套设施以及井下钻柱密封效果等都有较高的要求,钻井作业具有作业周期长、作业连续性较强等特点,因此要加强各机械设备的性能,就要注重地面增压技术的应用,以此促进钻井作业的顺利完成。

4.4 井下泵增压技术

井下泵增压技术主要是指在接近钻头部位加装增压泵,并用井下增压泵提升钻头喷嘴的流速,对喷嘴液流进行增压,这种技术有效降低了管汇设备以及地面机泵的要求,同时还能保证喷嘴能够获得充足的水力,某公司曾经对井下增压泵进行实验研究,在研究过程中科学的选择了成本预算方法,对增压实验中的实验理论、增压实验方式以及实验并联和串联以及喷嘴的尺寸等都经过科学优质选择,在实验中通过对钻头水力能量以及钻柱密封技术等进行了科学可靠的研究,研究表明井下泵增压技术对提高高压喷射钻井作业效率十分重要,此外,该技术还能充分降低高压喷射钻井成本,为深井作业提供了有利依据。

5 高压喷射钻井技术应用

5.1 大水眼低压降非标钻杆

在我国水眼低压降非标钻杆研究过程中,研究人员要注重多方面因素,如钻杆主体和接头的抗拉抗扭强度、环空间隙、钻杆内外循环压降等因素,结合试验现场实际情况,合理选择高强度钻杆材料的力学特性,本文主要采用S135作为大水眼低压降非标钻杆材料。同时,为了控制深井超深井施工质量,使用双台肩高抗扭接头作为接头结构,在该接头设备中有2个主副台,上部和主台肩面相互连接。而在经过结构优化后,副台肩面预留一定的空隙,当扭矩持续增大时,主台肩面会发生变化,从而改变了主台肩面的改变,直至副台肩面的接触,形成一个扭矩,避免接头位置出现应力集中问题。

同时,在应用材料S135试验过程中,要将其和低于7mm钻杆进行对比,进一步优化螺纹牙型、内径、壁厚等结构参数。和常规钻探工艺相比,明显提

高改造效果,在现有机泵条件下实现高压喷射钻探技术。

通过研究发现,发现采用大水眼低压降非标钻杆具有多样化接头特征。虽然大水眼低压降非标钻杆接头外直径缩短,但有效拓展钻杆内直径,合理控制接头抗张强度,且由于接头抗张强度超过主体强度,保证其能满足强度实际要求。另外,通过分析钻杆内、外部循环压力,发现其强度下降 19.8%,无形中增强钻头表面力度,给钻井技术在深井应用中奠定了基础。

5.2 高效破岩喷嘴组合方式

在高压喷油钻探技术应用过程中,其表现非常优异。在钻头水眼出口处高速喷水,在井底岩门极限突破的压力下,自动产生喷头破岩作用力。高压喷油钻探技术广泛应用于钻头喷嘴的结组合模方式和喷嘴结构形式。

在此基础上,针对不同钻具组合和喷嘴组合下的井底水力能量,结合传统的喷嘴压力下降计算模型进行优化。由于钻井工程涉及范围较广,特别在地形地貌过于复杂的环境时,如山区、丘陵等区域,在建井工作中要使用各种学科技术,主要包括基坑工程、边坡工程、结构工程、公路工程等环节。同时,钻井工程具有交叉作业数量多、施工环境复杂、工种类型多等特征,所以在选择煤层井位置时,要提前进行基坑开挖和支护,提高边坡防护的稳定性,有效降低工程施工风险。

调查结果表明:在上层使用了牙轮钻头的钻进时,钻头的压降低于 15MPa;在中下部地层使用了 PDC 钻头时,钻头的压降为 510MPa。传统喷嘴所产生的喷流核长度很低,且在井底时的速度会变得更快速。为改善井底喷嘴的射流流速,采用传统的喷嘴结构,选择了脉冲喷嘴为替代,并对其进口直径和长度、出口直径和长度、振荡腔圆角等结构参数进行了敏感分析。根据研究结果证明,出口和入口直径在 1.250~1.375 区间,脉冲振幅和射流核长度最大。

6 经济性评价

高压喷油钻井技术提速效果通过研究和现场应用得到验证,可在中上部地层应用,在常规 7000m 钻机现有机泵条件下实现,使现场应用高压喷油技术的成本大大降低。TH12233 井在使用高压喷油钻井技术后,比同井深平均钻期 63.36 天,节约钻期 24.63 天。在 TH10389 井两开井段比去年后,节约钻井周期 15 天是使用。采用井全部作为 7000m 钻机日费 11.5 万元

计算,直接节约钻机日费的 10 口井共计 1860.24 万元。同时还降低了每天消耗的柴油,每米减少 17% 左右。再加上井斜控制好、井径扩张率小等高压喷油钻井技术的技术优势,使高陡地层竖向钻井系统的租用费用大大节省,经济效益显著。

7 总结

综上所述,从泥浆泵、高压管汇等地面设备配套升级到现在的泥浆泵及配套管路只需利用 7000m 钻机就可以使用,高压喷射钻井技术的应用条件大大提高了该项技术的适用性。特别是为高压喷钻技术应用于中部硬地层提供技术支撑的大水眼低压降非标钻杆的开发,合理选择高效破岩喷嘴组合方式,在使用高压喷油钻井技术后,比同井深平均钻期 63.36 天,节约钻期 24.63 天,有效节约租用费用,具有明显的经济效益,使该技术成为未来深井中上部地层提速增效的主要依据。

参考文献:

- [1] 蔡灿,高超,王海柱,等. 高压 CO₂ 射流—PDC 齿复合破岩流场及携岩增强机理 [J]. 天然气工业,2021,41(10):101-108.
- [2] 李根生,田守增,张逸群. 空化射流钻径向井开采天然气水合物关键技术研究进展 [J]. 石油科学通报,2020,5(3):349-365.
- [3] 广汉市思明石油钻采设备配套有限公司. 一种高压喷射点火装置及使用该点火装置的移动点火系统: 中国, CN202122926983.X[P]. 2022-04-19.
- [4] 黄婧婷. 油气安全钻井技术发展趋势研究——评《海相碳酸盐岩油气藏安全快速钻井技术》[J]. 中国安全科学学报,2022,33(1):1.
- [5] 徐世东,陈书平,薛佳雯,等. 井震数据联合驱动下砂体叠置模式构建技术及应用——以 WX 油田东北部姚家组葡萄花油层为例 [J]. 石油地球物理勘探,2022,18(1):178-189.
- [6] 曾光,文乾彬,肖新宇,等. 基于技术与管理有机融合的系统优化钻井方法——以长宁国家级页岩气示范区为例 [J]. 天然气工业,2022,42(12):72-81.
- [7] 翁行芳. 石油钻井工程风险因素分析与控制方法研究——评《石油钻井风险管理技术研究与实践》[J]. 人民长江,2022,53(7):5.
- [8] 毛伟. 高压喷射钻井技术应用及经济性评价 [J]. 断块油气田,2019,26(02):261-263.