

1、项目名称

深部硬地层井下增压与振冲快速钻井技术研究

2、推荐奖种

滨州市科技进步奖

3、项目简介

随着油气勘探开发的方向越来越多地转向了深部地层，钻遇深井硬地层、复杂地层也越来越频繁，常规的钻井方式在面对可钻性差、研磨性强的地层时效果较差，导致机械钻速较低，直接制约了勘探开发的整体效益。本项目在分析钻井现场深部硬脆性地层存在的难题基础上，设计一种新型井下增压钻井系统和振动冲击钻井装置，并配套设计研制了一种超高压射流辅助破岩的双流道 PDC 钻头，从而提高钻头在井底的破岩效率和机械钻速，降低钻井成本。该成果属于油气钻井工程领域，相关成果还可应用于矿山资源开采领域巷道掘进、土木工程隧道建设领域开挖钻进、土木工程岩土勘查与施工领域高效钻探等领域。该项目主要创新点为：

(1) 在综合分析现有增压钻井装置的原理、装置制造难点、实际使用过程中存在的问题等基础上，提出了一种新型井下增压装置设计理念，为井下增压钻井装置的设计提供了新思路。该种装置利用现有螺杆钻具的部分结构——马达总成作为动力源，以旋转拨叉结构作为动力转换机构，以柱塞式增压腔作为实现结构的螺杆式增压装置，来实现部分钻井液的增压目的，而其余大部分钻井液与常规使用时一样用于清洗携岩。

(2) 利用专用的超高压射流实验台，开展了在淹没条件下超高压射流的破岩实验研究，得到了喷距、喷射角度、压力对岩石破碎体积的影响规律，优选出破岩效率最优参数组合，为提高钻头在井下破岩效率的技术研究和装置研发提供依据。在喷嘴直径、喷射角度、喷距一定的情况下，射流压力越高对岩石的冲蚀体积越大；在喷嘴直径、喷射角度、喷嘴移动速度一定的情况下，压力为 100MPa、125MPa、150MPa、175MPa 和 200MPa 时，最优喷距分别为 4.5mm（22.5 倍喷嘴直径）、5.0mm（25 倍喷嘴直径）、6.0mm(30 倍喷距)、6.2mm(31 倍喷距)和 6.5mm(32.5 倍喷距)；在本实验条件下，最佳破岩喷射角约为 13° ；超高压淹没射流的最经济破岩压力在 150MPa 左右时，破岩消耗功率和破岩体积之间达到最优组合。

(3) 立足国内钻井现场实际条件，为提高深部硬脆性地层钻头在井底的破岩效率，

研制出 8-1/2"螺杆式井下增压装置、8-1/2"超高压双流道 PDC 钻头、8-1/2"振动冲击器 3 种装置设备，完成了样机的设计和研制，井下增压系统在川庆钻探灌口 003-5 井，胜利油田埕北 602 井、义 180 井，以及吉林油田长深 D 平 13 井、长深 D 平 5 井等开展了现场试验，同比机械钻速分别提高了 52.0%、41.0%、63.8%、71.7%和 96.7%以上。

4、客观评价

2017 年 5 月滨州市科技局组织有关专家对“深部硬地层井下增压与振冲快速钻井技术研究”项目进行了鉴定。鉴定委员会认真听取了项目组所作的相关报告，审查了相关资料，经质询、答疑，形成鉴定意见如下：

(1) 项目组提供的鉴定资料齐全完整，数据翔实，符合鉴定要求。

(2) 提出了一种新型井下增压装置设计方法，利用螺杆马达作为动力源，依靠旋转动力转换机构和柱塞式增压腔实现了钻井液增压。

(3) 研究了淹没条件下超高压射流的破岩规律，优选出破岩效率最优的参数组合。

(4) 研制了螺杆式井下增压装置、超高压双流道 PDC 钻头、振动冲击器设备，经现场试验评价，大幅提高了深部硬地层的钻井速度，经济社会环境效益显著。

综上所述，鉴定委员会一致认为，该项目成果达到了同类研究的国际先进水平。

5、技术推广情况与社会效益分析

该成果在滨州市油区工作办公室和滨州市鲁明滨西油气开发有限公司推广应用，运用后可提高钻头在井底的破岩效率，加快深部硬脆性地层钻井速度，延长钻头使用寿命，取得明显的经济效益和社会效益。综合分析，该成果可减少支出累计达 2500 余万元。同时，该成果运用在社会方面的效益符合国家节能减排相关政策的要求。

6、主要知识产权/代表性论文/论著目录

专利：

(1)发明专利，邢雪阳，徐义，韩烈祥，王眉山，李鹏，周毅，负压射流式粒子冲击钻井注入置，201310116852.2，2015.12.

(2)实用新型专利，赵军友，徐依吉，赵峰，张振国，螺旋拨叉式螺杆马达井下增压器，201020576244.1，2011.09.

(3)实用新型专利，赵军友，徐依吉，赵峰，邹俊艳，成植刚，张振国，螺旋面换

向螺杆马达增压器, 201120062164.9, 2011.11.

(4) 实用新型专利, 李建波, 成向阳, 李庆陆, 邢雪阳, 黄泽超, 蔡春雷, 周毅, 高佳佳, 王瑞英, 双柱塞式高压磨料注入装置, 201420111802.5, 2014.07.

(5) 实用新型专利, 赵军友, 刘祥猛, 徐依吉, 苏山林, 徐晓娜, 邹俊艳, 王秀会, 万法伟, 张蕊蕊, 王雷, 螺旋换向式井下液力增压钻井装置, 201320148969.4, 2013.10.

(6) 实用新型专利, 郭公浦, 元君, 徐依吉, 成向阳, 周毅, 邢雪阳, 粒子冲击钻井回收系统试验装置, 201520311159.5, 2015.09.

(7) 实用新型专利, 赵军友, 赵路豪, 傅建伟, 徐依吉, 郭公浦, 兰凯, 螺杆驱动凹凸式振动冲击钻具, 201520107617.3, 2015.09.

(8) 实用新型专利, 赵健, 张贵才, 徐依吉, 杨洋洋, 万夫磊, 郭文卿, 吴琪, 石超, 朱小宝, 邢雪阳, 郭公浦, 粒子射流冲击破岩钻头, 201520899976.7, 2016.03.

(9) 实用新型专利, 万夫磊, 徐依吉, 韩烈祥, 孙永兴, 吴琪, 朱小宝, 石超, 杨洋洋, 粒子冲击钻井钻具磨损实验装置, 201220716429.7, 2013.07.

(10) 实用新型专利, 赵健, 张贵才, 徐依吉, 韩烈祥, 于军芹, 周卫东, 万夫磊, 杨洋洋, 靳纪军, 周毅, 钢粒射流冲击破岩综合实验装置, 201620177194.7, 2016.08.

(11) 实用新型专利, 超高压双流道 PDC 钻头, 赵付国, 徐依吉, 200420038635.2, 2005.03.

论文:

(1) XING Xueyang, XU Yiji. The Numerical and Experimental Research on Solid-Liquid Two-Phase Flow Pattern in the PID. Advances in Petroleum Exploration and Development, 2015.

(2) ZHANG Yu-ying, LIU Yong-wang, XU Yi-ji, REN Jian-hua. DRILLING CHARACTERISTICS OF COMBINATIONS OF DIFFERENT HIGH PRESSURE JET NOZZLES. Journal of Hydrodynamics, 2011.

(3) 邢雪阳, 徐义. 粒子冲击钻井注入系统设计及数值模拟研究. 石油机械, 2013.

(4) 邢雪阳, 徐依吉, 杨勇, 王刚庆. 粒子冲击钻井钻头内流道冲蚀特性研究. 石油机械, 2015.

(5) 赵健, 徐依吉, 邢雪阳, 石超, 李庆陆, 王瑞英. 脆性岩石粒子冲击理论模型与实验. 中国矿业大学学报, 2014.

(6)赵健,石超,徐依吉,邢雪阳,王瑞英,李建波.钢粒间干涉对冲击破岩效果的影响.高压物理学报,2016.

(7)张玉英,徐依吉,李翔.螺杆式井下增压钻井装置原理与设计.石油机械,2010.

(8)张玉英,刘永旺,巴鲁军,赵健,徐依吉.新型井下增压装置研制及现场试验研究.石油矿场机械,2012.

(9)张玉英,赵健,巴鲁军,刘永旺,徐依吉.井下螺杆增压提速装置关键部分设计.石油矿场机械,2012.

(10)赵军友,徐依吉,孙培先,祁万军,周长李.双螺旋槽螺杆马达井下增压器设计.石油矿场机械,2010.

(11)徐依吉,周长李,祁万军,宋鹏.一种新型井下增压器的设计.机床与液压,2010.

(12)郭文卿,徐义,杨洋洋,赵健.井下螺杆增压钻井装置设计与应用.石油机械,2013.

(13)顾洪成,赵健,梁明月,郭文清,吴琪.拨叉式螺杆高压喷射钻井技术研究.钻采工艺,2015.

7、全部完成人排序及对项目的贡献

(1) **邢雪阳**, 讲师, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

对本项目主要创新点(1)、(2)、(3)作出了重要贡献,投入本项目的工作量占本人工作量的80%,开发了一种新型井下增压钻井系统装置,并配套设计研制一种超高压射流辅助破岩的双流道PDC钻头;研制一种振动冲击钻井装置,并设计一种动力启振机构用于实现井底钻头轴向冲击井底岩石,从而实现提高钻头在井底的破岩效率和机械钻速,以达到降低钻井成本的目的;验证了该钻井系统的原理可行性、破岩效率和提速效果,为本研究技术推广和应用作出了重要贡献。

(2) **徐依吉**, 教授/博导, 中国石油大学(华东), 对本项目技术创造性贡献:

对本项目主要创新点(1)、(2)、(3)作出了重要贡献,投入本项目的工作量占本人工作量的50%,针对深部硬地层钻井提速提效难题,作为总技术指导顾问,提出了总体方案设计原则,并进行技术指导,提出以井下螺杆增压和振动冲击钻井为特色的提速提效新方法、新理论、新技术研究思路,推动本样机系统开展现场试验研究,对本研究的顺利实施和完成起到了至关重要的作用。

(3) **姜鹏**，工程师，滨州市油区工作办公室，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（3）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的70%，积极推动本研究的成果转化和推广应用，为本研究的推广应用提供了重要支持；对本项目开展的现场试验，开展现场协调和指导，将理论研究推广到工程应用，促进本项目研究成果的转化，以最大可能的实现经济社会效益。

(4) **周毅**，博士，中国石油大学（华东），对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（2）、（3）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的70%，对井底破岩机理、井底流场分布等开展了数值模拟研究，为钻头设计提供理论基础；开展了室内超高压淹没射流破岩参数优选实验，得到了破岩效率最优的水力参数，为钻头研制提供了实验数据支持；开展了系统样机-超高压双流道 PDC 钻头分系统设计，并协助开展了现场试验。

(5) **尚文涛**，副教授，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（1）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的70%，协助完成井下增压系统设计和振动冲击钻井系统设计，分析了系统装置对岩石的破碎机理，针对设计图纸和数据进行了分析和讨论，并提出了合理化建议，为本系统研制成功起到了重要作用。

(6) **郑建波**，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（3）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的70%，协助完成本研究成果在滨州市油区办和滨州市鲁明滨西油气开发有限公司进行工程应用；协助开展了现场试验，并对试验数据进行了分析处理，促进本项目研究成果的转化。

(7) **杜帅**，助教，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（3）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的70%，协助完成本研究成果在滨州市油区办和滨州市鲁明滨西油气开发有限公司进行工程应用；协助开展了现场试验，并对试验数据进行了分析处理，促进本项目研究成果的转化。

(8) **张茜茜**，讲师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（3）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的

70%，协助完成本研究成果在滨州市油区办和滨州市鲁明滨西油气开发有限公司进行工程应用；协助开展了现场试验，并对试验数据进行了分析处理，促进本项目研究成果的转化。

(9) **赵健**，讲师，中国石油大学（华东），对本项目技术创造性贡献：

对本项目主要创新点（1）、（2）作出了重要贡献，投入本项目的工作量占本人工作量的 70%，开展了螺杆增压设备的理论研究和数值模拟研究，为螺杆增压器提供理论依据；开展了振动冲击钻井装置的技术理论研究和数值模拟研究，得到了振动冲击装置的启振机理，为振动冲击钻井系统设备研制提供了理论支持。

8、全部完成单位及排序

- (1) 滨州学院
- (2) 中国石油大学（华东）
- (3) 滨州市油区工作办公室