

自激振荡脉冲射流提高 PDC 钻头机械钻速实践

李天明, 李大佛, 雷 艳, 刘红旗

(中国地质大学长江钻头公司, 湖北 武汉 430074)

摘要:利用自激振荡脉冲射流原理,设计了脉冲射流喷嘴,应用于 PDC 石油钻头中,经过不同地域、不同地层、不同直径的实践应用表明,新型自激振荡脉冲射流 PDC 石油钻头与普通 PDC 钻头相比,机械钻速提高 10%~30%;钻头寿命大幅度提高;破碎岩屑颗粒粒径增大 2~4 倍,扩大了勘探油井 PDC 钻头使用范围;有效地防止了钻头“泥包”等。

关键词:自激振荡;脉冲射流;PDC 钻头;机械钻速

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)11-0074-04

Application of Self-excited Oscillation Pulsed Jet in Improving the Penetration Rate of PDC Drill Bits/LI Tian-ming, LI Da-fo, LEI Yan, LIU Hong-qi (Changjiang bit company, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The pulsation-jet nozzle was designed according to the principle of self-excited oscillation pulsed jet, and was applied in PDC oil drilling head. The application in different area, formation and diameter showed that compared with ordinary PDC bit, penetration rate of self-excited oscillation pulsed jet PDC oil drilling head increased 10%~30%, the service life and application range was largely prolonged and enlarged, and the size of rock debris was increased by 2~4 times without any auxiliary equipment.

Key words: self-excited oscillation, pulsed jet, PDC drill bit; penetration rate

1 概述

利用自激振荡脉冲射流理论,研制自激振荡脉冲射流装置,安装在 PDC 石油全面钻头上,进行油田钻孔生产实践在我国还属先例。它是将泥浆泵提供的连续射流,通过脉冲装置内的特殊腔室边界条件的碰撞产生压力振荡波,形成强烈的自激振荡脉冲射流。

根据实验发现这种射流有较大的变压特性,在相同条件下,与现有的普通喷嘴比较,脉冲射流十分集中,瞬时冲击力提高 2 倍左右,有效喷距提高 1.5 倍左右,而且冲蚀岩石的体积提高 2 倍左右。

因此,应用该理论研制出适合 PDC 石油钻头钻进的自激振荡脉冲射流喷嘴,安装在 PDC 石油钻头的水眼内,依靠自身所具有的自激振荡腔室和特殊的边界条件将连续射流转变成脉冲射流,大大提高了钻井速度,提高了钻头寿命,同时也使破碎的岩屑粒径增大 2~4 倍,而且是在不需要增加任何辅助装备的条件下产生的经济效果。这对于提高石油勘探速度、扩大 PDC 钻头使用范围都具有重要意义。

我们于 2007 年 1 月在江汉油田总 3 斜-3-6 井和万 12 斜-1 井两井中硬地层试验了 2 只 8½M-WH461-5PDC 石油钻头,同年 4 月在四川普光气田 202-1 井坚硬地层试验了一只 9½M-WH361P-7PDC 石油钻头,同年 5 月在新疆塔里木油田 TK246H 井中软地层试验了一只 12¼M-WH-GE461-5PDC 石油钻头。以上钻头均取得了很好的使用效果:钻进机械钻速和钻头寿命都提高 10%~30%。

我们所试验的 4 只自激振荡脉冲射流 PDC 新型石油钻头是在 3 处不同的地方(湖北、四川、新疆),3 种不同的岩石(中软、中硬、坚硬)和 3 类不同规格的钻头型号(8½、9½、12¼ in),应当说具有一定的代表性,因此具有推广使用价值。

2 自激振荡脉冲射流原理

其特点是在不需要任何辅助装备的条件下依靠自身具有的自激振荡腔室,产生振荡放大和反馈作用,使射流产生振荡脉冲,将连续射流变为脉冲射

收稿日期:2008-09-12

作者简介:李天明(1964-),男(汉族),湖南人,中国地质大学副研究员、硕士在读,钻探工程专业,从事金刚石钻头的研究与开发工作,湖北省武汉市鲁磨路 388 号;李大佛(1937-),男(汉族),湖南人,中国地质大学教授、国家有突出贡献中青年专家,钻探工程专业,从事金刚石钻头的研究与开发工作;雷艳(1975-),女(汉族),河南人,中国地质大学助理研究员、硕士在读,从事金刚石钻头的研究与开发工作;刘红旗(1958-),男(汉族),湖南人,中国地质大学工程师,钻探工程专业,从事金刚石钻头的研究与开发工作。

流。图 1、2 分别为普通喷嘴和脉冲喷嘴示意图。

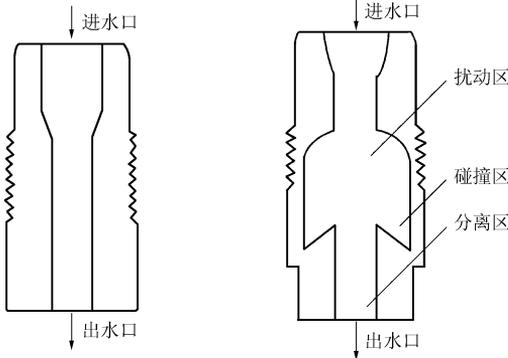


图 1 普通喷嘴示意图

图 2 脉冲喷嘴示意图

当一股射流向下游流动时,射流中一定频率范围内的涡量扰动得到放大,在射流层中形成一连串离散涡环,当其达到碰撞壁并与之互相作用时,在碰撞区产生压力振荡波,该波以声速向上游传播,又诱发新的涡量脉动。若分离区与碰撞区的压力脉动互相为反相就会形成涡量扰动—放大—新的涡量脉动产生的循环过程。该过程不断的重复,就会形成强烈的自激振荡脉冲射流。

实验发现,这种射流有较大的变压特性和很强的光化作用,实验数据表明,在相同的条件下,与现有的普通喷嘴比较,脉冲射流瞬时冲击力提高 1.7~2.5 倍,有效喷距提高 1.5~2 倍,岩石冲击体积

提高 2~4 倍。

因此,应用该理论研制出适合 PDC 石油钻头进用的自激振荡脉冲射流喷嘴,在不需要任何辅助装备的条件下,直接安装在 PDC 石油钻头水眼内,依靠自身所具有的自激振荡腔室和特殊的边界条件将连续射流转变成脉冲射流,克服了现有喷嘴射距短、持续能量小等缺点,大大提高了钻井速度,而且还有助于提高 PDC 钻头进尺,也使破碎的岩屑粒径增大 2~4 倍,这对于某些勘探井,扩大了 PDC 钻头使用范围,提高了石油勘探速度。

3 自激振荡脉冲 PDC 石油钻头生产应用

3.1 在湖北江汉油田使用

2007 年 1 月 30 日~3 月 3 日,我们在江汉油田总 3 斜-3-6 和万 12 斜-1 两井试验了我公司新开发的 8½M-WH461-5 新型脉冲钻头,取得了很好的效果,经济效益可观。

总 3 斜-3-6 并于 1 月 30 日开始三开钻进,使用编号为 DF1563 的 8½M-WH461-5 新型脉冲钻头,于 2 月 18 日起钻,钻进井段 954~3183 m,纯钻时间 287 h,总进尺 2229 m,平均机械钻速为 7.77 m/h,该钻头与相邻井总 3 斜-4-6(相距 400 m)使用普通 PDC 钻头的对比见表 1。

从表 1 可以看出,新型脉冲 PDC 钻头在潜江组

表 1 江汉油田总 3 斜-4-6 井与总 3 斜-3-6 井两种 PDC 钻头应用效果对比

井号	钻头编号	钻头型号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	钻压/kN	泵压/MPa	地层
总 3 斜-4-6	29790	FX13SN	936.94~1861.94	925	86.3	10.7	20~30	14	潜江组
	DF1399	WHGE361P-6	2132.66~2391	258.34	57.05	4.5	20~30	16	荆沙组
	6097	FX13SN	2391~2397	6	21	0.3	20~30	17	荆沙组
	DF0834	WH461-5	2397~3004.2	607.2	106.15	5.7	20~30	17.5	荆沙组
			3062.55~3301.71	239.16	75.3	3.1	30~50	17	新沟组
	DF1399	WHGE361P-6	3301.71~3358.74	57.03	48.3	1.18	40~50	17	新沟组
总 3 斜-3-6	DF1563	M-WH461-5 脉冲	954~1904 1904~3183	950 1279	87 200	11 6.4	20~30 30~40	13~14 16~17	潜江组 荆沙组

的钻进机械钻速为 11 m/h,机械钻速较总 3 斜-4-6 同井段使用普通 PDC 钻头的机械钻速提高了 3%;而对于下部的荆沙组地层,总 3 斜-4-6 共使用了 3 只 PDC 钻头,平均机械钻速为 5.2 m/h,新型脉冲 PDC 钻头在总 3 斜-3-6 的机械钻速为 6.4 m/h,机械钻速提高了 23%。与编号为 DF0834 的普通 WH461-5PDC 钻头相比,新型脉冲 PDC 钻头的机械钻速提高了 70%,寿命提高了 164%,而且使用一只钻头钻完了相邻井(总 3 斜-4-6 井)使用 4 只钻头才钻进完的井段,大大提高了生产效率。

万 12 斜-1 并于 2 月 14 日开始三开钻进,使

用编号为 DF1561 的 8½M-WH461-5 新型脉冲 PDC 钻头,3 月 3 日提钻,钻进井段 1232~3060 m,纯钻时间 277 h,总进尺 1828 m,平均机械钻速 6.6 m/h,该钻头与相邻井万 12 井(相距 200 m)所使用普通 PDC 钻头的对比见表 2。

在万 12 井中,潜江组的钻进共使用了 3 只 PDC 钻头,平均机械钻速为 5.6 m/h,新型脉冲 PDC 钻头在万 12 斜-1 的潜江组机械钻速为 11.2 m/h,与普通 PDC 钻头相比时效提高了 100%;在荆沙组钻进中,万 12 井使用了 2 只 PDC 钻头,平均机械钻速为 2.6 m/h,新型脉冲 PDC 钻头在同井段的时效为 4.7

表2 江汉油田万12井与万12斜-1井两种PDC钻头应用效果对比

井号	钻头编号	钻头型号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	钻压/kN	泵压/MPa	地层
万12	1090	FX12S	1218.89~1278.92	60.33	25	2.4	30~40	13	潜江组
	1133	FX12S	1278.92~1837.64	558.72	70	8.0	30~40	13	潜江组
	JZ6272B	T5445SH	1837.64~2155.26	317.62	72	4.4	30~40	13	潜江组
	DF1201	WH461-5	2155.26~2648.8	493.54	150	3.2	30~40	13	荆沙组
	JZ6272B	T5445SH	2648.8~3122.21	473.41	220	2.2	30~40	14	荆沙组
万12斜-1	DF1561	M-WH461-5 脉冲	1232~2125 2125~3060	893 935	80 197	11.2 4.7	30~40 50~60	13~14 15~16	潜江组 荆沙组

m/h,与普通PDC钻头相比机械钻速提高了81%。

3.2 在四川普光气田使用

2007年4月3~11日,中原石油勘探局钻井三公司70738ZY队在普光202-1井使用了我公司新开发的9½M-WHGE361P-7新型钻头(见图3),取得了很好的效果,经济效益可观。

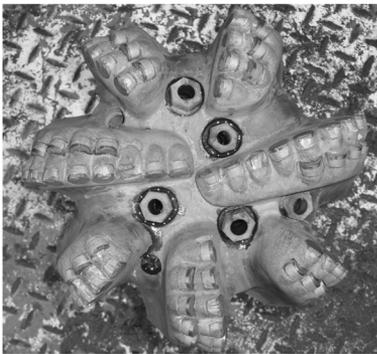


图3 钻头出井实物照片

普光202-1井地理位置为四川省宣汉县普光

镇刘家坡村二队,构造位置为四川盆地川东断褶带黄金口构造带普光构造东翼。

普光202-1并于4月3日在嘉陵江组,井深为4208m时开始使用9½M-WHGE361P-7新型钻头,于4月11日起钻(钻头新度还有60%),起钻原因:已达到钻井设计要求,起钻测井,试压。钻进井段4208~4809m,纯钻时间167h,总进尺601m,平均机械钻速为3.6m/h。

3.2.1 与相同层位井同井段的对比

我公司生产的新型M系列PDC钻头在嘉陵江组的钻进机械钻速为3.6m/h,机械钻速较普光2-2井同井段使用型号为M1375钻头的钻进机械钻速提高了52.41%,大大提高了生产效率(见表3)。

3.2.2 与邻井普光301-3(普光6-3)井的对比

普光301-3(普光6-3)井是2006年10月2日完井的,普光202-1井与普光301-3(普光6-3)井对比见表4。

表3 四川普光气田嘉陵江组井段两种钻头应用效果对比

序号	直径/mm	型号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	钻压/kN	泵压/MPa	层位	钻头使用单位	钻头使用时间
23	241.3	M1375	3569~4077	508	234	2.171	40~60	18	雷口坡嘉陵江	钻井一公司普光2-2井	2006.10
24	241.3	M1375	4077~4442	365	154.5	2.362	40~60	18	嘉陵江	钻井一公司普光2-2井	2006.10
16	241.3	M-WHGE361P-7	4208~4809	601	167	3.6	40~60	18~19	嘉陵江	钻井三公司普光202-1井	2007.4

表4 四川普光气田202-1井与301-3井两种钻头应用效果对比

地质分层 层次	深度/m	尺寸/mm	类型	数量/只	进尺/m	钻速/(m·h ⁻¹)	纯钻/h	钻压/kN	泵压/MPa
嘉陵江组	5011	241.3	M1375	4	978.59	3.54	276.2	40~100	19~21
			HJT537777GK	2	15.74	1.12	14.0	160~200	18
		合计	6	994.33	3.43	290.2	平均单只钻头进尺165.72m		
	4930	241.3	M-WHGE361P-7	1	601	3.6	167	40~60	18~19
		合计	1	601	3.6	167	平均单只钻头进尺601m		

在普光301-3(普光6-3)井中,嘉陵江组的钻进共使用了型号为M1375的PDC钻头4只,平均单只钻头进尺244.64m,新型M系列PDC钻头在普光202-1井的嘉陵江组平均单只钻头进尺为601m,与普通PDC钻头相比单只钻头进尺提高了

145%。

3.3 在新疆塔里木油田使用

2007年5月2~10日,中南石油局第四普查勘探大队新疆工区60830井队在TK246H井使用了我公司生产的12¼M-WHGE461-5钻头,取得了良

好的经济效果和技术指标。

TK246H 井是中石化西北分公司在塔河油田二区部署的一口三级结构水平井,由中南四普 60830 井队承担钻井施工,该井于 2007 年 5 月 1 日二开钻井,5 月 2 日下入编号为 DF1480 的 $12\frac{1}{4}$ M - WHGE461 - 5 钻头,5 月 10 日完成全部二开井段,钻井井段 749 ~ 3300 m,总进尺 2551 m,纯钻时间 109.83

h,平均机械钻速为 23.21 m/h。

相邻的 TK244H 井在二开井段使用的是型号为 FS2563BG 的 PDC 钻头,在上部井段施工中(895 ~ 3347 m),进尺 2452 m,纯钻时间 186.33 h,平均机械钻速 13.16 m/h。

两井的具体对比见表 5。

$12\frac{1}{4}$ M - WHGE461 - 5 钻头出井后各刀翼、切

表 5 新疆塔里木油田 TK244H 井与 TK246H 两种钻头应用效果对比

井号	钻头型号	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/($m \cdot h^{-1}$)	钻压/kN	泵压/MPa
TK244H	FS2563BG	895 ~ 3347	2452	186.33	13.16	30 ~ 60	6 ~ 21
TK246H	M - WHGE461 - 5	749 ~ 3300	2551	109.83	23.23	30 ~ 60	5 ~ 25

削齿、保径面,保径齿都完好,基本无磨损,钻头出井新度 95% 以上。

$12\frac{1}{4}$ M - WHGE461 - 5 钻头 8 天时间钻完整个二开井段,比设计提前了 3 天,取得了很好的使用效果。

(1) 该钻头机械钻速比较理想,特别是在泥岩段钻进时较快(在 3000 m 左右的吉迪克地层,钻时基本维持在 3 ~ 4 min/m)。

(2) 该钻头起钻新度在 95% 左右,复合片零磨损,复合片消耗小。

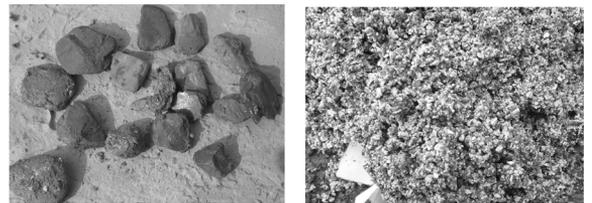
(3) 钻头水眼小,钻头水马力高,在井底钻头冲击力达到 3468 kN,无疑有助于机械钻速的提高,但是在 2500 m 以后的井段,由于水眼小,加大了泵压的升高,制约了排量的提高,在 TK246H 井 3000 m 以后泵压达到了 24 ~ 25 MPa,排量只有 43 ~ 45 L/s。

特点:

(1) 大大提高了 PDC 钻头钻井效率,在坚硬地层提高 10% 以上,在中硬地层提高 20% 以上,在中软地层提高 30% 以上。

(2) 相应地提高了 PDC 钻头寿命或进尺。

(3) 破碎岩屑颗粒粒径比普通 PDC 钻头破碎的岩屑粒径大 2 ~ 4 倍(见图 4),扩大了勘探油井 PDC 钻头使用范围。



新型脉冲PDC钻头

普通PDC钻头

图 4 PDC 钻头破碎岩屑照片

(4) 由于射流脉冲作用,有效地防止了“泥包”,同时也有助于提高钻井机械钻速。

4 自激振荡脉冲射流 PDC 钻头评论

在 PDC 钻头上利用自激振荡脉冲射流协助破岩的设想与工作始于 2006 年,在 2007 年年初正式投入生产使用(或试验),分别在江汉油田、普光气田、西北分公司 3 个不同的地方,使用了 $8\frac{1}{2}$ 、 $9\frac{1}{2}$ 以及 $12\frac{1}{4}$ in 三种不同的 PDC 钻头,同时也分别在中硬地层(江汉油田)、中软地层(西北分公司)和坚硬地层(普光气田)3 种不同的地层进行了生产试验。可以说在钻头规格类别、地层类别以及井队类别上都具有一定的广泛性和代表性,都取得了较好的经济指标和较明显的经济效益。

通过生产试验,新型脉冲 PDC 钻头表现了如下

5 结语

不需要增加辅助设备和提高现有地面设备能力,甚至在不改变钻井技术参数的前提下,利用自激振荡脉冲射流提高 PDC 钻头钻井机械钻速是最简单、最方便、最经济而且也是最有效的一种手段或方法。

参考文献:

- [1] 廖振方,等.自激振荡脉冲射流喷嘴的试验研究[J].重庆大学学报,2002,(2).

欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎惠登广告!