

带空气锤的空气钻井破岩机理^{*}

张晓东¹ 章靖¹ 徐钊²

1.西南石油大学机电工程学院 2.四川经济管理学院

张晓东等.带空气锤的空气钻井破岩机理.天然气工业,2009,29(1):55-57.

摘 要 国内外对空气钻井的井壁稳定性、最小体积流量、地层出水和井斜的控制、提高钻速的机理等方面作了深入的研究,但对破岩机理的研究却较少。为了弄清楚空气钻井尤其是带空气锤的空气钻井破岩机理,依据空气钻井中的专用钻具空气锤的工作特性及其破岩特点,从井底破碎坑的分布、岩石的破碎形态两个方面对岩石破碎、空气钻井破岩机理进行了定性分析与定量分析,分析了空气钻井的工艺参数与空气锤的工作参数对破岩的影响,进而建议开展空气钻井破岩机理仿真、实验台架研制及专用空气钻井设备选型的研究工作。

关键词 空气钻井 欠平衡钻井 空气雾化钻井 空气泡沫钻井 空气充气钻井 破岩机理 空气锤

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.01.014

空气钻井是以空气作为循环介质的欠平衡钻井,可以分为:纯空气钻井、空气雾化钻井、空气泡沫钻井、空气充气钻井^[1],由于具有大幅度提高机械钻速、有效保护储层的特点,加上各油气田为了加快勘探开发的步伐,在我国正得到大力的推广应用。1950 年以来,国内外对空气钻井的井壁稳定性、最小体积流量、对地层出水和井斜的控制、提高钻速的机理等方面^[2-6]作了深入的研究,但是对破岩机理的研究则较少,而空气锤钻井在空气钻井中的优越性日益显现。因此,有必要分析其破岩机理。破岩机理的研究与地层性质、钻头类型、破岩方式、工艺参数等一系列的因素有关,为了分析带空气锤的空气钻井破岩机理,笔者依据空气钻井中的专用钻具空气锤的工作特点及其破岩特点,从井底破碎坑的分布和破碎形态两方面研究了岩石的破碎机理,最后分析了空气钻井破岩的主要影响因素。

1 空气锤钻井的优点

早在 1980 年,加拿大西部和美国中部就开始用空气锤钻井^[7],取得了很好的实效。我国是在近几年逐渐将空气锤钻井技术应用到空气钻井中。利用空气锤进行空气钻井具有钻压小、转速低及扭矩平稳的特点,与不带空气锤的空气钻井相比,实钻证明能够有效控制井斜和进一步提高机械钻速,如表 1 所示。

2 破岩特点

根据钻头与岩石作用方式的不同,破岩分为旋转破岩、冲击破岩、冲旋破岩和旋冲破岩。带空气锤的空气钻井是在空气旋转破岩的基础上,利用空气锤的高频冲击提高破岩效率的一种冲击旋转钻井技术,兼容了空气钻井和冲旋钻井的优点。井底岩石主要是在钻压、冲击力和旋转剪切力的共同作用下产生破碎的,破岩主要有以下特点:

表 1 某空气钻井带空气锤与不带空气锤钻进的井斜与钻速比较表

井眼尺寸 (mm)	钻井方式	进尺 (m)	纯钻总时间 (h)	机械钻速 (m/h)	最大井斜 (°)
Ø314.1	牙轮钻头钻井	455	77	5.88	5.4
	空气钻头钻井	1495	179	8.35	4.6
	空气锤钻井	1851	105	17.63	2.2

^{*} 本文受到“石油天然气装备”教育部重点实验室项目(编号:2006STS04)的资助。

作者简介: 张晓东,1959 生,教授;主要从事石油钻采设备新技术、现代设计理论与方法的教学及石油钻采工具,特别是井下动力钻具和井下工具的研发工作。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:(028)83032740。E-mail:zxd12342@126.com

2.1 动载与静载联合

接在钻头上的空气锤产生高频冲击通过钻头传递给岩石,牙齿与岩石的接触表面在极短时间内产生了很大的冲击作用力。通常在几十微秒,由零上升到几十千牛,又迅速降低到零。冲击点的作用力来不及重新分配,应力便很快接近或超过岩石的强度极限,产生裂纹并形成扩展,出现体积破碎。由于活塞作周期的往复运动,该冲击作用力是周期性交变载荷,随时间作波形变化。而钻压作为静载荷压持岩石可以降低其强度,同时也能对岩石产生一定的研磨。在钻头钻进方向上,动载与静载联合作用的力学模型^[8]为:

$$F(t)=\frac{2KM\beta v_1}{\frac{K}{\Pi}-\beta}e^{-\beta t}+F_0$$

式中: K 为冲击系数; v_1 为冲击速度; M 为活塞质量; Π 为波阻系数; $\beta=\Pi/M$; F_0 为钻压。

2.2 冲击与旋转联合

空气锤的冲击以及钻头的旋转刮削协同作用,联合破岩。钻头旋转的主要目的是为了改变牙齿与岩石的接触位置,扩大岩石破碎体积,冲击才是岩石破碎的最主要原因。与常规钻井液钻井相比,由于空气钻井井底的负压差,产生了沿轴向的拉应力,利于冲击破碎。同时沿井底平面方向,剪应力也要小得多,故也利于剪切破碎。因此,冲击破碎与旋转剪切破碎联合可以提高破岩效率。

3 岩石的破碎机理

3.1 井底破碎坑的分布

空气钻头的运动规律与牙轮钻头相比较为简单,牙齿与岩石的接触情况简单。因此,井底破碎坑分布较为规则。井底破碎坑由若干个同心的破碎圆环组成,而每个破碎圆环则是由许多几何形状基本相似的单个牙齿形成的破碎坑组成。每个破碎坑的几何形状和尺寸,决定于载荷、侵入深度、牙齿的形状及其分布、加载时间、岩石性质等一系列因素^[9]。

3.2 岩石的破碎形态

冲击是造成破碎的主要原因,研究冲击载荷下岩石的破碎形态,就能够了解带空气锤的空气钻井中岩石破碎的主要形态。冲击载荷下岩石的破碎形态主要有如下 3 种:

3.2.1 破碎坑

空气锤中的活塞作高速的往复运动,对钻头产生强烈的冲击,在钻头与岩石的接触区域产生很大

的冲击力。当冲击力达到或大于岩石抵抗破碎的阻力时,岩石发生体积破碎,造成大块岩石破碎。

3.2.2 断裂破碎区

断裂破碎区也叫损伤区。当冲击力没有达到岩石抵抗破碎的阻力时,岩石也会发生一定的损伤。岩石中存在着许多的缺陷,在冲击载荷的交变作用下,岩石出现裂纹并发生扩展,当扩展达到一定程度时,裂纹的互相贯穿也会造成岩石的体积破碎。

3.2.3 无损区

冲击力远小于岩石的疲劳强度,加载的能量不参与裂纹扩展,岩石没有损伤,冲击能量作无用的耗散,只能对该区域岩石产生研磨。在实际中,岩石的破碎并不是以单一的形态出现的,而是两种或 3 种形态同时存在,如图 1-a、b 所示。

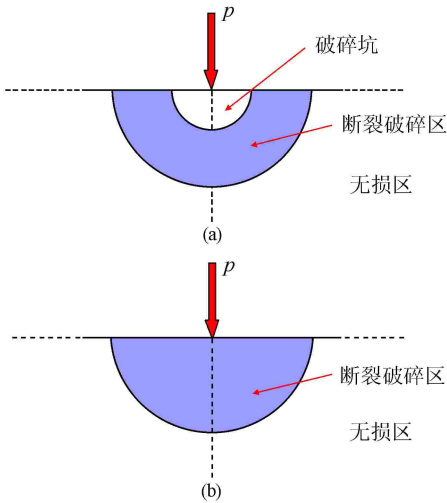


图 1 破碎形态示意图

钻头的旋转刮削,促进了相邻破碎坑间脊部岩石的裂纹形成,剪切裂纹扩展延伸造成了岩石的大块崩裂。如图 2 所示。

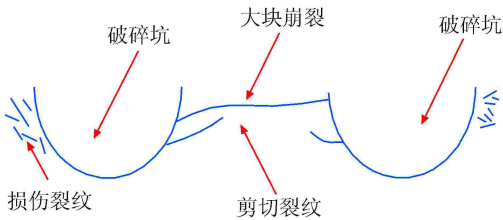


图 2 脊部岩石的崩裂图

4 工艺参数对破岩效率的影响

破岩效率一般以钻速作为指标。空气钻井过程中钻速由多种因素决定,如钻压、转速、井底压差、地层、气体性质、钻头类型、井底清洁程度等等,十分复

杂^[9]。很难建立公式来描述所有因素对钻速的综合影响,只能从单独的影响因素出发,分析对钻速的影响。空气钻井的工艺参数与常规的钻井液钻井工艺参数对破岩效率的影响是不同的。

4.1 钻压

气体钻井中,钻压的主要作用是压持钻头牙齿与岩石紧密接触防止跳钻,使空气锤撞击产生的应力波能够高效率地传播到岩石中。钻压太大,加速了牙齿的磨损与掉落,降低了钻具的使用寿命;钻压太小,不能保持钻头牙齿与岩石的接触,影响冲击功的传递,从而降低了钻速。

4.2 转速

转速的作用主要是为了回转钻头,改变牙齿与岩石的接触位置,扩大岩石的破碎效果。转速太大,会减小钻头的使用寿命;转速太小,会造成对岩屑的重复破碎,降低钻速。

4.3 空气流量

气体钻井的空气流量主要有两种作用:①用于空气锤,使其正常工作;②携带岩屑,清洗井底。空气流量的大小决定了井筒中岩屑的上返速度,岩屑的上返速度越快井底的清洁程度越高,从而使钻速相应提高。

5 空气锤工作参数对破岩效果的影响

破岩效果可以按照破碎坑的体积大小进行评价,即在相同的载荷作用下,岩石破碎体积越大,其破岩效果越好。空气锤作为空气钻井中的专用设备,其工作参数对破岩效果有直接的影响。

5.1 冲击功

按照能量守恒的观点,认为岩石的破碎是吸收空气锤的冲击能量产生新表面而分离的过程。空气锤的单次冲击功的高低,影响着岩石破碎坑体积的大小。但是能量越大会造成钻具的使用寿命降低。因此,在实际钻井中应当在保证钻具寿命的前提下,提高空气锤的单次冲击功。

5.2 冲击频率

冲击频率大,单位时间内的冲击次数增加,总的冲击功越高,也会提高岩石的破碎效果。转速的高低虽然不影响空气锤的冲击性能,但是转速与冲击频率的匹配与否影响着破岩效果^[9]。频率高而转速

低,会使井底产生重复破碎,而频率低、转速高,不能使相邻破碎坑间的脊部岩石产生体积破碎。

6 结论与建议

1)带空气锤的空气钻井是在动载与静载联合、冲击与旋转联合的方式下破岩的,岩石破碎主要由空气锤的高频冲击造成。

2)气体钻井中岩石破碎形态主要有3种:破碎坑、损伤区、无损区,钻头的刮削造成了破碎坑之间脊部岩石的裂纹产生与扩展,扩大了岩石的破碎体积。

3)影响空气钻井的破岩因素较多,而各因素间互相影响,如冲击频率与转速的互相影响。因此,需要对空气中的工艺参数进行优化。

4)通过现场实验方法,开展空气钻井破岩机理的研究周期长、成本高。因此,有必要利用计算机仿真技术和研制实验台架,对空气钻井破岩机理进行深入的定性与定量分析,这对于钻具的设计、钻井工艺参数的优选、专用空气钻井设备的选型以及指导空气钻井现场应用等都具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 莱昂斯,郭薄云,赛德尔.空气和气体钻井手册[M].曾义金,樊洪海,译.北京:中国石化出版社,2006.
- [2] 黄进军,崔茂荣,罗平亚.雾化空气钻井井壁稳定性的实验研究[J].钻井液与完井液,1995,12(5):6-10.
- [3] 吴仕荣,邓传光,周开吉.空气钻井地层出水限定值的探讨[J].钻采工艺,2006,29(5):7-8.
- [4] 项德贵,孙梦慈,陈志学,等.空气钻井井斜控制问题的探讨[J].钻采工艺,2005,28(12):1-3.
- [5] 李玉飞,孟英峰.空气钻井提高钻速机理研究[J].石油钻探技术,2006,34(4):9-11.
- [6] 李国华.旋冲钻井参数对破岩效率的影响研究[J].石油钻探技术,2004,32(2):4-7.
- [7] 赖海辉.机械岩石破碎学[M].长沙:中南工业大学出版社,1991.
- [8] 苏义脑.空气钻井工作特性分析与工作参数的选择研究[J].石油勘探与开发,2005,32(2):86-90.
- [9] 陶兴华.冲击旋转钻井破岩特点分析[J].钻采工艺,1996,19(3):1-3.

(收稿日期 2008-09-13 编辑 钟水清)