

空气锤在石油钻井中的应用前景 *

刘权萍 孟英峰 梁红 李旭
(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学)

刘权萍等.空气锤在石油钻井中的应用前景.天然气工业,2006,26(4):50-53.

摘 要 针对目前深部、复杂地层钻速低和易产生井斜、大直径井眼和水平井施加钻压困难、钻井成本高等问题进行了大量的调研。通过相关文献提供的数据和图表资料分析得出:空气锤结合了冲击回转钻井和空气钻井的两大钻井优势,转速低,扭矩小,钻压小,降低了钻具循环应力和磨损,控制井斜容易,在很大程度上提高了机械钻速、降低了钻井时间和成本,钻硬地层时优点更为突出,由此提出了研究空气锤的必要性,并全面总结了空气锤钻井的优越性,同时也指出了它应用的局限性。最后分析了我国油气资源现状、钻井状况和空气锤在国内外的应用实例,得出空气锤在低压低渗层欠平衡钻井、欠平衡钻水平井、深井、超深井、复杂地层、大直径井中开发油气资源有着广泛地应用前景。

主题词 空气锤 钻井 钻压 钻速 成本 井斜

一、问题的提出

钻井过程中经常遇到加钻压困难、井斜及钻速低等问题,这些问题给钻井工作带来了极大困难,严重制约了勘探开发步伐,影响了经济效益。

(1)深部地层钻速太低。井眼打开后,井底岩石在受到上覆岩石的压力、钻井液液柱压力、由上覆岩层压力产生的水平地应力和地层渗流压力的作用下产生各向压缩效应,必然导致岩石的硬度和塑性都增加,并且在一定液柱压力的作用下,岩石将从脆性破坏转化为塑性破坏。因此,随着井深的增加或钻井液密度的增加均导致岩石可钻性减少,钻井速度大大减少,钻头磨损又快,井眼轨迹容易偏斜。据统计,在全世界范围内,石油钻井成本约占石油生产综合成本的 50%~70%。因此,钻井成本是构成深井勘探成本的主体。随着井深的加大,成本成指数增长。

(2)复杂地层、深井井斜突出。井斜给钻井、完井、采油带来极大的安全隐患,钻井过程中影响钻速提高,更严重可能导致不能钻达目的层而使井眼报废,造成重大的经济损失,由此可见控制井斜至关重要。

(3)钻大尺寸井眼钻速低。随着我国石油勘探

开发的进展,所钻深井的数量不断增多,从而导致所钻大尺寸井眼比例增大。但是在井深较浅的时候,施加钻压困难,国产大尺寸钻头结构单一、型号少,破岩机械能量和水力能量不足,在易斜井段目前尚无可靠的防斜保直措施,最后导致钻速低、成本高。

如何解决这些难题是石油工作者一直探索的课题。Pratt C. A. ^[1-5] 等人都曾报道,空气锤具有钻压小,转速低,钻井质量好,井斜和循环漏失小,钻铤数量较少,消除了井下复杂而昂贵的钻具组合(BHA),改善了钻具受力和钻具磨损,延长了钻头寿命,大大地提高了钻速,很大程度上降低了钻井成本和钻井时间。国外有资料表明用空气锤钻大尺寸表层井眼能取到很好的经济效益,提高钻速,降低成本。

二、空气锤的特征

图 1 所示为在 Arkoma 盆地打油气井选用的空气锤结构简图^[2]。

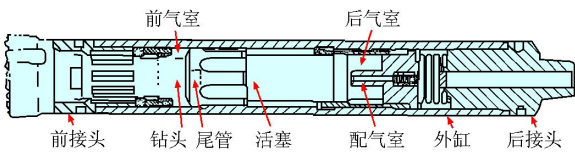


图 1 空气锤结构简图

* 本文系 CNPC 气体钻井技术相关基础研究项目(编号:03A20204)。

作者简介:刘权萍,女,1979 年生,硕士研究生,从事欠平衡钻井装备研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:(028)83033914。E-mail:liuquanping655@sohu.com

1. 空气锤与其他钻井方式比较

空气锤钻井是冲击加回转、静压和动载、斜冲击破岩联合实现。岩石的抗剪强度仅为抗压强度的10%，这正好满足冲击回转钻井破岩主要以冲击动载为主，剪切破碎为辅的原则，其机械钻速一般比回转钻井高2~3倍。空气锤是当今解决硬岩钻井难题的一种有效方法^[6]，能降低钻井成本^[7]，减少钻井时间^[1]。用气体(空气、天然气、柴油机尾气以及惰性气体)作为循环介质，钻速快(表1、2)^[8,9]。

表1 空气回转和空气冲击回转机械钻速对比^[8]

井眼直径 (英寸)	钻速(英尺/小时)		机械钻速比
	回转	冲击回转	
9	4.67	10.6	2.27
9	7.16	32	4.46
12 1/4	4.95	8.4	1.7
9	24.3	25	1.03
8 5/8	9.3	24.7	2.66

注:1英寸=25.4mm;1英尺=0.3048m,下同。

表2 井下马达定向钻井液钻井和定向冲击回转空气钻井机械钻速对比^[9]

岩层	机械钻速(英尺/小时)		
	牙轮钻头 (空气)	井下马达定向 (泥浆)	定向冲击回转 (空气)
花岗岩	20	5	60
页岩	40	3	60~100
页岩	60	12	60~100

2. 空气锤与其他钻具比较

William、Boyun Guo 与 Frank 试算了下列几种井下气动钻具钻同一地层(从7000~10000英尺)所需的钻井参数。其结果见表3。

表3 空气锤与其他钻具比较表^[10]

井下钻具	型号	注入压力 (磅/英寸 ²)	输入功率 (马力)	燃料消耗 (加仑/小时)
空气锤	Halco D750	288.5	281.7	57
容积式马达	Baker Oil Tools Mach	553.4	353.6	66
气动涡轮马达	Rift 气动 650	356.5	304.5	60

注:1加仑=3.784L;1马力=745.700W;1磅/英寸²=6.895kPa。

空气锤钻井具有注入压力小又节约能源,制造相对简单,所以国外空气锤发展较快,应用得较多。

3. 独特的优越性^[1-4]

总结起来,空气锤兼容了空气钻井和冲击回转钻井的优势:①钻井效率高,速度快(冲击加回转)。②钻压和转速较低。由于此工艺是靠孔底空气锤带动钻头冲击破碎岩石,空气流量和压力直接影响钻井效率,而钻压、转速对其影响较小。这样,在水平钻井中因转速和钻压较低而减少了钻杆的扭矩和摩擦阻力,解决了水平井钻柱与井壁(套管)之间的摩擦难题。③空气锤技术克服了空气钻井中井斜的问题。对于严重倾斜的地层,即使采用空气钻井,也必须大大降低钻压以控制井斜。空气锤钻井方向不受限制。钻垂直井,垂直度高,因为活塞直接冲击钻头,钻杆不承受很大的轴向力。转速低,随井的加深仍能保持较高的垂直度,这在油气井中十分重要。④能保持稳定的钻速。钻头破碎岩石的能力直接来自孔底活塞的冲击功,基本上不发生能量传递损失。因而随井深的加深,机械钻速没有明显下降。⑤能有效清除井底岩屑。钻杆主要输送工作介质,不承受很大压应力和扭矩,所以可以设计得轻便,允许较大的外径,缩小环空间隙,提高携岩速度。⑥保护产层,将储层损害减到最小。钻裂缝性地层可防止循环漏失,钻水敏性地层可防止井壁坍塌。⑦钻头寿命长,改善了钻具的受力,同时减少了井下钻具的损坏和磨损。⑧地层不受钻井液的损害,返出的岩屑能真实地反映地质资料。⑨用空气作循环介质,有利于环保,而且空气随处可取,能解决无水区、高山区、沙漠、多年冻结岩石地层,特别是我国西部缺水地区。⑩空气锤可和其它钻具结合,实现多工艺钻井,尤其是复杂地层。

虽然它有诸多好处,采用空气作为循环介质也有其局限性。钻产层需要用氮气或天然气,成本较高;钻大量含水层,不利于携岩,而且用空气对钻具腐蚀严重,可选择泡沫,但空气锤是否能起到相同的效果还需要研究;一般用于钻硬地层,钻低压地层,压力过高,可能发生井喷事故;空气锤钻井所需的压力和流量较大,需要有匹配的压缩机、增压机,成本较高。由于其独特优越性,可解决目前的钻井难题,对它进行研究,势在必行。

三、空气锤应用现状

空气锤钻井工艺技术能够在坚硬、易斜地层钻井安全、快速钻井,节省了钻井综合成本。空气锤钻

井可在2~3 t的钻压下钻出笔直的井眼,保证了后期钻井、下套管、起下钻、通井、注水泥、试油等作业的顺利进行。

1. 国内

空气锤钻井技术是在20世纪80年代初才开始得到较普遍的应用。经过几十年的研究,特别是近10年的不断努力,我国钻探科研人员已经成功地开发出众多系列的空气锤,典型的有嘉兴研制的J系列阀式空气锤、JG及W系列无阀空气锤;吉林大学研制的WC、GQ系列空气锤;FGC系列大直径空气锤、CJ系列旁管水平空气锤。但它们主要应用于地质勘探、水文水井、工程施工钻探、工程爆破孔、锚固孔、桩孔、灌浆孔、非开挖施工技术。

该技术在国内外石油天然气钻井领域的发展受到空气钻井技术发展的限制,主要对液动锤进行了大量研究。近几年由于空气钻井技术的发展应用,空气锤钻井技术得到了国内各研究机构的重视。最近在四川七里白101井进行了空气锤的实践,取得了很大成功。钻速高达17 m/h,仅用一只空气锤就完成了1200 m的进尺,节约了钻井时间72 d。如果用空气钻井仅5.06 m/h,采用常规钻井为2.84 m/h。

2. 国外

美国用空气锤来钻浅井(钻水井、监测井、土工井和采矿井)已有10年的历史。期间也增加了在石油和天然气井中的应用,特别是磨蚀性、硬岩层。近年来,国外已成功将空气锤钻井技术用于欠平衡钻井。气体速度高,可达 $900\sim 1200\text{ m}^3/\text{min}$,比普通气动系统提高钻速3~8倍,尤其适用于坚固的中硬地层和偏斜断裂地带。空气钻井中遇到硬岩层和卵砾石层时几乎95%以上都是采用空气锤钻井。空气锤技术克服了空气钻井中井斜的问题。对于严重倾斜的地层,即使采用空气钻井,也必须大大降低钻压以控制井斜。20世纪80年代中晚期,壳牌公司在加拿大洛基山上进行钻井作业,遇到的主要钻井问题就是地层太硬且存在严重的井斜问题。壳牌公司采用了空气锤钻井,很快就认识到了空气锤钻井应用于这类地层的巨大潜能,并且进一步提高了空气锤的质量。目前空气锤已经成为一种高可靠性的井下工具。威德福公司采用空气锤在玉门青西前陆盆地逆掩推覆体地层钻井,机械钻速达10~15 m/h,而目前玉门推覆体地层钻进时最高机械钻速不到4 m/h,尤其是像隆9井和隆111井平均机械钻速仅有

0.75 m/h。因此,采用空气锤钻井方式,可大幅度提高前陆盆地的机械钻速,缩短高陡构造地层的钻井周期,改善井身质量,加快前陆盆地的勘探与开发。1983年用空气锤Alberta敏感性破碎地层钻达2300 m,钻速13.1 m/h,减少了钻井成本,如用钻井液钻进35 m/d,空气钻进95 m/d。1985年在Arkoma盆地空气锤配平底冲击钻头大大地提高了机械钻速,每英尺降低了钻井成本49%。John Meyers报道空气锤钻Barnett shale在垂直井钻进时间从12~14 d减少到6~8 d,水平井中从10~12 d减少到5~6 d,而且在保持高钻速的情况下可将井斜控制在 4° 以内,每口井可节约钻井成本7.2万美元。

加拿大一项使用空气锤钻欠平衡的记录表明,只用100个纯钻,在井径244.48 mm钻深1738 m。加拿大一个社区游泳池下面的排水工程,采用Numa公司的空气锤钻挖31 m长的洞不足两小时,采用传统钻井方法钻挖花岗岩每天只能钻进5 m。1980年南非金矿用空气锤配增压机钻井深度达859 m,澳大利亚镍矿钻深达900~1000 m,1986年英国地热勘探钻深728 m,美国水井钻深1913 m,油气井配有增压机钻深3000~4000 m。

四、空气锤在石油领域的应用前景

目前石油上游领域的重点放在中小型油气田、复杂地质条件、非常规油气资源勘探开发以及中后期油气田的改造,开采难度加大,钻井成本加大。我国低渗油气田就占了50%以上,而且相当部分开发中后期压力递减而进入低压范畴,这就为空气锤钻井提供了广阔的空间。

1. 欠平衡钻井中的应用前景

美国威德福公司副总裁曾说:我们2003年在全球打了2800多口欠平衡井,2004年将超过4100口。什么技术既能成倍甚至成十倍地提高钻井速度、又能成倍甚至成十倍提高单井产量。2003年,美国采用欠平衡方式钻井2200多口,占当年钻井总数的15%~20%;中油集团从上世纪末至今6年时间共欠平衡钻井150余口。2004年,全集团可完成欠平衡井50~60口,按全集团每年打井7000口计算,欠平衡钻井数占钻井总数还不到1%。巨大的差距意味着巨大的市场。如果整个中油集团采用欠平衡方式钻井的比例达到10%,每年就将有700口井的市场容量。在未来的钻井技术发展中,欠平衡钻井技术将同水平井、分支井一样成为一种趋势。它们之

间的结合应用则是经济有效开发新老油藏的发展方向,尤其是欠平衡钻井技术与水平井钻井技术的有机结合开发低压低渗油藏。欠平衡钻井又以气体钻井为先锋,这为空气锤发展提供了很大的空间。

2. 油气深井中的应用前景

进入20世纪90年代,随着浅层石油天然气的不断开采,可开采的越来越少,深井、超深井、易斜井、硬地层水平井及大位移井在石油钻井中比例越来越大。目前对于复杂地层条件下的深井、超深井钻井存在诸多难题,即硬地层和坚硬地层用常规的回转钻井机械钻速低,井斜突出,成本高。随着井深的增加或钻井液密度的增加均导致岩石可钻性减少,钻进速度大大减少,钻头磨损又快,井眼轨迹容易偏斜。同时由于表层井眼直径大导致钻速低、成本高。这都为空气锤开辟了新的市场。

3. 复杂地层中的应用前景

复杂地层中常见现象是孔壁坍塌、掉块、漏失、涌水、缩径、超径等。在钻井时井壁不稳定产生护壁困难;地质岩心钻探时岩心被破碎、冲蚀、溶解,岩矿心采取成为一个难题;在砂砾石层中含有孤石、漂石,风化层中含有风化球、风化核,或岩石软硬不均,钻井时不仅效率低,而且很难按设计轨迹钻井,即防斜、提高钻速又成为一个突出问题。由此,空气锤配

备双壁钻杆或双介质在复杂地层又是一大应用。

参 考 文 献

- [1] PRATT C A. Modification to and experience with air-percussion drilling[J].SPE,16166.
- [2] WHITELEY M C. Air drilling operations by percussion bit/hammer tool tandem[J].SPE,13429.
- [3] JOHNS R P. Hammer bits control deviation in crooked hole country[J]. SPE,18659.
- [4] REINDVOLD. Diamond-enhanced hammer bits reduce cost per foot in the arkoma and application basins [J]. SPE,17185.
- [5] JOHN M. Air hammers cut barnett shale drilling time in half[J]. World Oil, 2004.
- [6] 何宜章. 潜孔锤技术及其国内市场分析[J]. 岩石钻凿工程, 2000(5).
- [7] 蒋德全. 潜孔锤钻进——钻进方式的最佳选择[J]. 岩石钻凿工程, 1994(6).
- [8] CHASTOLAIN A G. The use of the hammer drill in the foothill[J].SPE,74.
- [9] BUI H D. Introduction of steerable percussion air drilling system[J]. SPE,38582.

(收稿日期 2005-10-19 编辑 钟水清)