

# 空气钻井中钻具腐蚀影响因素分析\*

万里平 孟英峰 梁发书 梁红

(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院)

万里平等. 空气钻井中钻具腐蚀影响因素分析. 天然气工业, 2004; 24(4): 41~44

**摘 要** 空气钻井因其钻速快, 防漏制漏效果好, 具有常规钻井液不可比拟的优越性, 但由于含氧量高, 当其遇到地层水时, 钻具腐蚀情况较为严重。以伊朗 TABANK 气田 14 井为例, 该井地层水为腐蚀介质, 研究了温度、空气压力、含砂量、砂子粒度、转速和 pH 值对 S135 钻杆钢的腐蚀影响, 为以后空气钻井防腐提供了参考依据。试验结果表明: 腐蚀速率随温度、空气压力或转速的升高而增大, 在低温或低压下, 腐蚀为均匀腐蚀; 高温或高压下, 呈现非均匀腐蚀现象。随腐蚀介质中含砂量的增多, 石英砂对 S135 钢的磨蚀作用增强, 腐蚀速率逐渐增大, 石英砂越细, 则其磨蚀作用越强, 腐蚀越明显; 均匀混合的石英砂较单一级配的石英砂对钢片的腐蚀程度大。腐蚀速率随 pH 值的升高而降低, 碱性条件有利于防腐。

**主题词** 空气钻井 钻具 腐蚀 防腐

伊朗南部 TABANK 气田海拔 1120~1250 m, 是位于波斯湾近海岸的一个出露背斜, 从山体表面到目的层, 碳酸盐岩地层裂缝发育, 连通性好, 海平面以上无孔隙压力, 海平面以下有盐水层和气层, 含盐量从海水到欠饱和盐水。2467 m 以上地层, 最高盐水层压力系数也只有 0.85, 而且同一井段存在不同压力系数, 上部裂缝无孔隙压力, 下部地层出水, 普通钻井液无法使用, 清水也只能盲钻。因此要想提高钻井速度, 缩短钻井周期, 降低钻井成本, 必须采用空气—泡沫钻井<sup>[1]</sup>。由于空气含氧量高(约占 21%), 且在钻井过程中不可避免地会遇到地层水, 极易造成金属钻具的腐蚀。为了更好地解决这一问题, 必须对空气钻井中影响钻具腐蚀的因素作出定性和定量的研究, 为以后空气钻井防腐提供可靠的依据。

## 空气钻井

空气钻井因其气/液柱压力低, 机械钻速快, 防漏效果好, 是低压和无压裂缝性地层首选的钻井方式, 不同的空气钻井类型, 适应不同地层。但空气钻井也存在很多不足, 比如钻具腐蚀问题, 尤其是在地层出水而采取雾化钻井时, 腐蚀非常严重, 必须详细分析腐蚀原因, 采取切实有效措施, 延长钻具寿命,

确保井下安全。空气钻井的主要性能见表 1。

表 1 空气钻井的主要性能

钻井类型	适应地层	主要优缺点
干空气	干硬地层	钻速快、无井漏、钻头寿命长; 空气排量大、返速高、冲蚀钻具、不能控制地层流体
雾化钻井	低含水层	钻速快、无井漏、钻头寿命长; 空气排量大、返速高、严重腐蚀钻具
稳定泡沫	干地层和海水层	钻速较快、防井漏、钻具寿命长、抗海水污染; 泡沫液配制量大、一次性使用、成本高
硬胶泡沫	干地层、高含盐层	钻速较快、防井漏、钻具寿命长、抗石膏和高浓度盐水; 泡沫液配制量大、成本高

## 实验原理及步骤

(1) 主要实验设备。GSH-1/10 型强磁力搅拌高压反应釜(威海市丰源工业公司化工机械分厂); FA1004 型电子天平(上海精科天平厂, 精度为 0.1 mg); 0~200 mm 度铬游标卡尺(上海量具刀具厂)。

(2) 实验用钻杆管材及水质分析。实验用材质: S135 钻杆管材(API 标准), 加工尺寸: 50 mm×25 mm×3 mm, 孔径 $\varnothing$ 3 mm。实验水样为伊朗 TBK—

\* 本课题为 CNPC 资助项目“伊朗复杂地层钻井技术研究”的部分成果。

作者简介: 万里平, 1972 年生, 在读博士, 研究方向为油气井工作液技术和油气田废水治理; 已公开发表论文二十余篇。地址: (637001) 四川省南充市。电话: (0817) 2642210 E-mail: wanliping72@sohu.com

14井模拟地层水,根据其钻井井段地层出水分析配制了具有代表性的两个水层。其中第一水层为井深1126~1180 m,段长54 m,Cl<sup>-</sup>含量为41641 mg/L,地层水矿化度不太高,地层出水量约为90 m<sup>3</sup>/h;第

二水层为井深1970~2020 m,段长50 m,Cl<sup>-</sup>含量高达127834 mg/L,地层水矿化度较高,地层出水量相对较小,约为30 m<sup>3</sup>/h。具体水质分析结果见表2。

(3)实验步骤。①先用砂纸将钢片磨光,用游标

表2 伊朗TBK-14井地层水质分析结果

指标	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH	密度	矿化度
第一水层	2034	18461	6280	1072	41641	1274	3085	6.3	1.07	73847
第二水层	8459	74551	4564	1329	127834	2275	7629	6.4	1.22	226641

注:密度单位为g/cm<sup>3</sup>,其它单位均为mg/L。

卡尺测量钢片的尺寸,并按顺序进行数据记录;②用无水乙醇擦洗钢片,并用吹风机吹干,将钢片放入干燥器中干燥,用万分之一的电子天平称量至恒重,并记下数据;③在要求的试验条件下,将钢片悬挂在腐蚀介质中,腐蚀反应36 h;④取出钢片先用自来水冲洗,再将其放入除锈剂中浸泡3~5 min,然后用钢丝刷沾少许去污粉洗至钢片表面光洁如初为止;⑤用布擦干钢片,再用含无水乙醇的棉球擦拭,吹干挂片,放入干燥器中至少20 min后,称至恒重,并记下数据;⑥根据钢片腐蚀前后质量差计算出年腐蚀速率。

## 实验结果及讨论

空气钻井腐蚀钻具的主要介质是空压机注入的空气,其次是地层盐水和硫化氢,此外还有砂子的磨蚀作用。在伊朗气田井史中介绍,地层可能含有硫化氢,但空气钻井时没有检测到硫化氢气体,所以暂未考虑硫化氢腐蚀。实验中分别以第一地层水和第二地层水为腐蚀介质,研究了温度、空气压力(或氧分压)、含砂量、砂子粒度、转速和pH值对S135钢材的腐蚀情况。

(1)温度对腐蚀速率的影响。用量筒准确量取1L地层水,将其放入容积为2L的不锈钢高压反应釜,然后向釜中加入粒度分别为20目、55目和75目的砂子各100 g,再将经过处理好的金属钢片系在釜体旋转杆的底端,最后盖上釜盖,用扭力扳手拧紧螺栓,在电机转速为65~70 r/min,空气压力为0.8 MPa条件下,测试在温度分别为25℃(室温)、64℃(第一地层水井温)、89℃(第二地层水井温)、120℃和160℃时,地层水对S135钢片的腐蚀速率。由实验结果可知,S135钢片无论是在第一水层还是在第二水层,其腐蚀速率均随温度的升高而增大,且介质含盐量越高,温度对其影响越大。观察腐蚀后钢片

发现,在低温下,腐蚀为均匀腐蚀;高温下钢片表面出现大块蚀坑,蚀坑深浅不一,呈现非均匀腐蚀现象。

(2)空气压力对腐蚀速率的影响。向反应釜中加入粒度分别为20目、55目和75目的砂子各100 g,第一水层实验温度为64℃,第二水层实验温度为89℃,电机转速为65~70 r/min,考察不同空气压力下,地层水对S135钢片的腐蚀情况。实验结果表明:随空气压力的增大,腐蚀速率变大。当空气压力超过1.6 MPa以后,腐蚀由均匀腐蚀转为非均匀腐蚀,非均匀腐蚀层表面为一层红色铁锈物,用水可冲洗掉,内层为黑色物质,用水较难冲洗掉,需在除锈剂中浸泡3 min左右,方可除去。

(3)含砂量对腐蚀速率的影响。取粒度分别为20目、55目和75目的砂子各1/3,试验加砂总量分别为10%、20%和30%时,第一水层和第二水层对S135钢片的腐蚀情况。其中第一水层实验条件是:温度为64℃,电机转速为65~70 r/min,空气压力0.8 MPa;第二水层实验条件是:温度为89℃,电机转速为65~70 r/min,空气压力0.8 MPa。实验结果见表3所示。

表3 含砂量对腐蚀速率的影响

含砂总量(%)	0	10	20	30
第一水层腐蚀速率(mm/a)	1.025	1.626	1.947	2.195
第二水层腐蚀速率(mm/a)	1.555	2.665	3.134	3.479

由表3数据可知,对第一水层而言,当含砂量依次增为10%、20%和30%时,与不加石英砂相比,钢片的腐蚀速率分别增加0.601 mm/a、0.922 mm/a和1.170 mm/a,说明随腐蚀介质中含砂量的增多,石英砂对S135钢片的磨蚀作用增强,腐蚀速率逐渐增大。含砂量每增加10%时,钢片的腐蚀速率分别

增加 0.601 mm/a、0.321 mm/a 和 0.248 mm/a,说明石英砂的磨蚀作用起初较强,当钢片表面的腐蚀产物生成后,即被石英砂磨蚀掉,随着石英砂加量的增加,其磨蚀作用逐渐减弱,主要是由于已没有较多的腐蚀产物可磨蚀。同理,对第二水层而言,当含砂量依次增为 10%、20% 和 30% 时,与不加石英砂相比,钢片的腐蚀速率分别增加 1.110 mm/a、1.579 mm/a 和 1.924 mm/a,含砂量每增加 10% 时,钢片的腐蚀速率分别增加 1.110 mm/a、0.469 mm/a 和 0.345 mm/a。

(4) 砂子粒度对腐蚀速率的影响。在加砂总量为 30% 时,取粒度分别为 20 目、55 目、75 目的砂子若干,其配比关系见表 4,考察砂子粒度对腐蚀速率的影响。其中第一水层实验条件是:温度为 64 °C,电机转速为 65~70 r/min,空气压力 0.8 MPa;第二水层实验条件是:温度为 89 °C,电机转速为 65~70 r/min,空气压力 0.8 MPa。实验结果见表 4 和表 5。

表 4 石英砂粒度配比情况

石英砂粒度(目)		20	55	75
含砂量(g)	1号	300	0	0
	2号	0	300	0
	3号	0	0	300
	4号	100	100	100
	5号	200	50	50
	6号	50	200	50
	7号	50	50	200

表 5 砂子粒度对腐蚀速率的影响

实验编号	1	2	3	4	5	6	7
第一水层腐蚀速率(mm/a)	1.747	1.834	1.923	2.195	1.876	1.947	2.118
第二水层腐蚀速率(mm/a)	2.734	3.067	3.235	3.479	3.124	3.332	3.401

由表 5 可知,在以上两种腐蚀介质中,腐蚀速率大小比较为:3号>2号>1号,7号>6号>5号,说明石英砂越细,则对 S135 钢片的磨蚀作用越强,腐蚀越明显。在 7 个腐蚀试样中 4 号值最大,表明均匀混合的石英砂较单一级配的石英砂对钢片的腐蚀程度大,这也与有关的文献报道相一致<sup>[2]</sup>。

(5) 转速对腐蚀速率的影响。考虑到伊朗 TBK-14 井实际钻井过程中钻杆的转速为 65~70 r/min,为保证与现场情况相符,室内实验所选择的转速均为此值。向反应釜中加入粒度分别为 20 目、55 目和 75 目的砂子各 100 g,第一水层实验温度为 64 °C,空气压力 0.8 MPa;第二水层实验温度为 89 °C,

空气压力 0.8 MPa,考察不同转速下,地层水对 S135 钢片的腐蚀情况,实验结果见表 6。

表 6 转速对腐蚀速率的影响

转速(r/min)	0	65~70	135~140	200~210
第一水层腐蚀速率(mm/a)	0.425	2.195	3.947	5.195
第二水层腐蚀速率(mm/a)	1.155	3.479	5.134	6.479

由表 6 可知,地层水对 S135 钢片的腐蚀速率随电机转速的增加而增大。腐蚀现象表明,钢片表面覆盖一层黑色铁锈,用水冲洗可去除部分,腐蚀较为均匀。

(6) pH 值对腐蚀速率的影响。pH 值对腐蚀速率的影响有两个方面,一是高 pH 值易引起地层水无机离子的沉积和结垢,从而间接影响地层水的腐蚀性;二是由于氢离子是有效的阴极去极化剂,pH 值越低,氢离子浓度越大,腐蚀速率加快。取粒度分别为 20 目、55 目和 75 目的砂子各 100 g,用 1 L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 1 L 的 NaOH 调节地层水 pH 值,试验不同 pH 值条件下,地层水对 S135 钢片的腐蚀情况。其中第一水层实验条件是:温度为 64 °C,电机转速为 65~70 r/min,空气压力 0.8 MPa;第二水层实验条件是:温度为 89 °C,电机转速为 65~70 r/min,空气压力 0.8 MPa。由实验结果可知,S135 钢片的腐蚀速率随 pH 值的升高而大幅度降低,在 pH 值为 12 左右时,第一水层和第二水层中钢片的腐蚀速率比较接近,说明在碱性条件下防腐较为有利。

## 防治措施及应用实例

(1) 防治措施。一方面,空气钻井离不开空气,要清除空气中的氧是不可能的(除非使用氮气,但成本太高)。另一方面,由于空气钻井气柱压力低,地层流体易进入井眼。因此必须根据井下情况采取合理措施,扬长避短,既要发挥空气钻井的优势,又要尽可能地减轻腐蚀,保护钻具,提高经济效益。结合以往经验,空气钻井应采取以下措施进行钻具防腐。  
① 干地层使用纯空气钻井;低压水层使用干泡沫钻井;高压水层使用泡沫钻井。由腐蚀机理可知,空气(氧气和二氧化碳)对钻具产生腐蚀,必须有水存在。在干燥环境中,空气不会产生腐蚀,但在潮湿环境中,即使氧的含量相当低(少于 1 mg/L),也能引起严重的腐蚀,所以地层不出水时,可以进行干空气钻井。当地层出水后,可以增加空气排量进行雾化钻井。当地层出水量较大,含盐量较高时,干泡沫钻井

无法作业,必需采用泡沫钻井。这样既可降低空气排量和环空返速,减少钻具冲蚀,又可用泡沫将空气包裹起来,减少空气与钻具接触机会。同时,通过调节 pH 值,提高缓蚀剂和泡沫的协同效益,减轻钻具腐蚀<sup>[3]</sup>。②钻杆与介质(包括空气、泡沫)接触的表面需进行防锈处理,如电镀锌保护层等。③停钻后应用清水及时冲洗所有泡沫通道、钻具、设备。④配制高 pH 值的发泡剂,且其中添加有各种保护剂。

(2)应用实例。TBK14 井用纯空气钻至 1126 m 时,地层第一次出盐水,Cl<sup>-</sup>含量为 41641 mg/L。增大空气排量进行雾化钻井,钻至 1970 m 时,地层第二次出盐水,Cl<sup>-</sup>含量高达 127834 mg/L,地层水矿化度较高,接近饱和和盐水。起下钻具,发现钻具腐蚀十分严重,表层为疏松的红色铁锈物,内层为致密黑色物质,与钢片在高压氧条件下的腐蚀现象一致。

从室内实验和现场观察认为,造成钻具腐蚀的主要原因有:高温条件下酸性地层盐水的电化学腐蚀;高压空气中和溶解氧对钻具的氧化腐蚀;地层砂子撞击钻具使氧化膜脱落造成的冲蚀。为了保护钻具,决定配制高 pH 值且添加了缓蚀剂的稳定泡沫液进行空气泡沫钻井。一方面,减少了空气与钻具接触,另一方面,中和地层水和空气中的酸性物质;其次,还可降低环空返速,从而减轻对钻具的腐蚀和冲蚀。实践证明此法有效地抑制了钻具的腐蚀,提高了经济效益。

## 结 论

(1)S135 钢片无论是在第一水层还是在第二水层,其腐蚀速率均随温度的升高而增大,且介质含盐量越高,温度对其影响越大。在低温下,呈均匀腐蚀;高温下,呈现非均匀腐蚀现象。

(2)S135 钢片的腐蚀速率随空气压力的增大而

增大。腐蚀现象表明,当空气压力超过 1.6 MPa 以后,腐蚀由均匀腐蚀转为非均匀腐蚀,非均匀腐蚀层表面为一层红色铁锈物,用水可冲洗掉,内层为黑色物质,用水较难冲洗掉,需在除锈剂中浸泡 3 min 左右,方可除去。

(3)随腐蚀介质中含砂量的增多,石英砂对 S135 钢的磨蚀作用增强,腐蚀速率逐渐增大。石英砂越细,则对钢片的磨蚀作用越强,腐蚀越明显;均匀混合的石英砂较单一级配的石英砂对钢片的腐蚀程度大。

(4)地层水对 S135 钢片的腐蚀速率随电机转速的增加而增大。腐蚀现象表明,钢片表面覆盖一层黑色铁锈,用水冲洗可去除部分,腐蚀较为均匀。

(5)S135 钢片的腐蚀速率随 pH 值的升高而大幅度降低,说明碱性条件有利于防腐。

(6)空气钻井中影响钻具腐蚀的因素较多,除以上讨论以外,还包括地层水中溶解性气体(如二氧化碳、硫化氢)、腐蚀介质种类、钢材种类、细菌等都会对钻具产生不同程度的腐蚀,需根据具体情况进行分析。

## 参 考 文 献

- 1 刘德胜,赵署光. 空气钻井在 TABANK 气田的合理应用. 石油钻采工艺,2003;25(1):18~20
- 2 Denny A Jones. Principles and prevention of corrosion. New York: Macmillan publishing company,1992
- 3 Marek Pakulski, Richard Martin. Synergism and antagonism of foaming agents and corrosion inhibitors. SPE65016,2001

(收稿日期 2003-09-18 编辑 钟水清)