

川东北地区空气钻井燃爆分析与预防^{*}

李铁成¹ 刘东峰² 胡建均² 侯树刚² 张尧³ 钟雨师³

1.中国石化中原油田普光分公司 2.中国石化中原石油勘探局钻井工程技术研究院 3.西南石油大学

李铁成等.川东北地区空气钻井燃爆分析与预防.天然气工业,2009,29(5):78-81.

摘要 空气钻井在钻遇油气层时,易发生井下燃爆,造成钻具被埋、井眼报废等复杂情况。为此,分析了井下燃爆发生的条件、方式、原因和燃爆机理,提出针对现场实际情况预防燃爆的措施,即加强对地层的认识,避免在油气层采用空气钻井或转换成雾化泡沫钻井,防止井下燃爆和卡钻的发生,保持井眼畅通防止滤饼圈的形成,利用UBD气体监测系统加强井下烃类气体的随钻监测以及采用防燃爆短节来及时发现和预防井下燃爆的发生,以保障空气钻井的顺利实施。

关键词 空气钻井 井下燃爆 预防 空气雾化钻井 四川盆地东北

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.05.017

0 引言

中国石化集团自2005年12月在老君1井推广应用气体钻井以来,已在川东北地区60多口井上实施了气体钻井,平均机械钻速为7.47 m/h,较常规钻井液钻井提高了3~8倍,严重漏失、井斜等钻井复杂问题得到了较好的控制,加快了川东北勘探开发的步伐。空气钻井或空气雾化钻井中最大的问题之一就是井下燃爆问题,有多口井在川东北地区陆相地层遇到了地层出气的情况。在空气钻井中钻遇的任何油气层,无论其产量多么小,压力多么低,均有井下燃烧、爆炸的可能性,即井下燃爆^[1]。

1 井下燃爆的条件、原因及燃爆机理

1.1 井下燃爆的定义

井下燃爆,通称井下着火。主要发生在用空气或雾化空气钻开油气层的过程中,当空气与油或气混合达到一定的浓度范围及反应温度时,可能发生氧化反应,并释放出热量。如果该过程产生的热量不能及时释放出来,则会导致燃烧反应的加速,并最终引起井下爆炸^[2-3]。

1.2 井下燃爆的危害性

井下燃爆在空气钻井中发生的概率较低,但其

破坏性极大,造成的损失会相当严重,不但造成钻具烧毁,还会造成井眼破坏、套管烧熔,甚至使井眼报废,只能填井侧钻。在四川普光气田的普104-1井和普303-1井都因发生井下燃爆导致断钻具而填井侧钻。

1.3 井下燃爆的条件

任何井下起火,都要有足够的氧气来点火、足够的燃料来支撑和火源,这3个条件必须同时达到。研究表明,常温常压下天然气(甲烷气)与空气混合爆炸极限浓度为5%~15%,H₂S爆炸浓度为4.3%~46%。随着温度、压力的升高,天然气与H₂S气体与空气混合发生燃爆的浓度范围会扩大。

1.4 井下燃爆的原因

在空气钻井作业中,井下着火通常可由如下3种因素引起^[4-5]:

1.4.1 滤饼圈

滤饼圈的形成使循环气体携岩、携水能力不足,致使岩屑发生水化粘接的现象,堵塞气流循环通道,从而使天然气与空气聚积,当天然气与空气的比例达到其燃爆范围内时,将会发生自行爆燃。

1.4.2 井下火星

由于井内没有水基流体存在,空气钻井中,钻

^{*} 本文为中国石化集团重点科研项目“空气钻井防燃爆安全钻井技术研究”(编号:2008302-1)的部分研究成果。

作者简介 李铁成,1961年生,高级工程师;1983年毕业于原江汉石油学院石油地质专业;从事石油工程技术研究与管理工
作,现任中原油田普光分公司钻井管理部经理。地址:(457001)河南省濮阳市。电话:(0393)4899970,13778310658。E-mail:ldfeng1971@126.com

头、钻铤及钻杆接头等部件与石英砂岩等硬地层碰撞时可能会产生火星。如果井内可燃物质与空气的浓度比达到其燃爆极限,这种火星就会点燃可燃混合物,引起井下着火。

1.4.3 钻柱小孔

当空气在一定的压力下通过钻柱上的小孔时,高速流动的气体会在小孔周围产生大量的热而形成一个热点,若此时井内可燃气体与空气的混合物比例在其燃爆极限之内,也会引起井下着火爆炸。

1.5 空气钻井井下燃爆机理

使可燃混合物着火的方式一般有两种:自燃与点燃,前者是自发的,后者为强制的。而在这两种情况下空气钻井井下燃爆主要有井下热自燃、井下热球点火、井下热板点火和井下火花点火4种着火机理,对于空气钻井而言主要有如下的燃爆情况:

1)在正常钻进环空流通道畅通的条件下,井下最可能的着火方式是火花点火方式。

2)在出现环空流通道不畅的现象时,井下最可能的着火方式是热自燃方式。

3)热球点火方式和热板点火方式,一般着火时要求的热球、热板温度相对比较高,在正常条件下,除钻头部分和钻具上的微小缝隙造成的高速气流发热外,若钻具其他部分与井壁不存在严重的摩擦等局部发热现象,井下无异常高温源,由此方式着火的可能性较前述两种相对较小,但也不是绝对不可能的。

2 川东北地区空气钻井燃爆情况

在川东北地区,有多口空气钻井施工在千佛崖组、自流井组和须家河组遇到了地层出气情况,并监测到气测值升高,甲烷含量升高,其中有3口井发生了井下燃爆,造成了严重的后果和经济损失。

元坝3井空气钻进至千佛崖组地层,井深为

3 521.24 m,立管压力由3 MPa上升到8 MPa;全烃突然从零快速上升达到50%,后达到86.21%。排砂管出口处测得H₂S值达40 mg/L,立即停气停钻;关封井器,改成放喷池点火,两条放喷管线出口火焰高为5 m左右。起钻后发现井下在钻开气层后曾发生燃爆,钻头牙齿脱落,3号牙轮局部被高温烧熔,面积达3号牙轮总面积的1/10,共打捞出完整牙轮齿39颗,断齿18颗,碎片若干,总重量为3.3 kg,导致钻头报废(见图1)。终止空气钻井施工,转换为钻井液钻井、压井。普光104-1井采用空气钻井钻至须家河组3 836 m时,气体监测见异常显示,气测全烃值迅速从0.031%升高至76.865%,C₁由0.021%上升至46.505%,工程停钻,排砂管线用常明火点燃气体,并打开两条主放喷管线放喷,火焰高为10 m。气体监测:CO₂值大幅度上升,O₂由20%下降到零,判断为井下燃爆。这次燃爆,直接导致发生卡钻事故,爆炸松扣,钻杆断,打捞失败,最后填井侧钻,报废进尺为277.5 m。普303-1井发生了井口燃爆并造成了重大的经济损失(见图2和表1)。

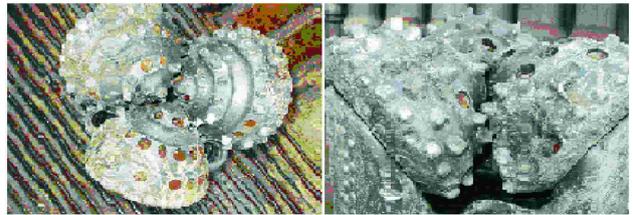


图1 元坝3井发生燃爆后起出的钻头图

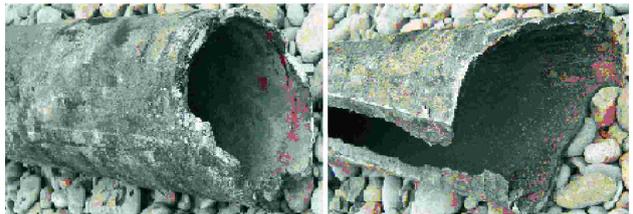


图2 普光303-1井燃爆炸断的钻具图

表1 川东北空气钻井燃爆发生情况统计表

井号	燃爆情况	地层	井深(m)	复杂情况	排砂口	事故损失
元坝2	井下燃爆	千佛崖组	3 727.82	出气,全烃升高	放喷,火焰高为6~8 m	放喷点火12 h后,转换为氮气钻井
元坝3	井下燃爆	下沙溪庙组	3 521.44	出气,烃值增大,含有H ₂ S	放喷,火焰高为4~5 m	牙轮钻头牙齿共计整体脱落51颗,明显是高温烧熔,导致钻头报废
P303-1	井口燃爆	千佛崖组	2 177.61	出气,全烃升高	放喷,火焰高为2 m	炸断钻具,共计1 847.11 m,打捞失败,填井侧钻,报废进尺1 286.61 m,损失时间31 d
P104-1	井下燃爆	须家河组	3 836.00	出气,全烃升高	放喷,火焰高为10 m	燃爆,导致卡钻,打捞失败,填井侧钻,报废进尺277.5 m

3 燃爆的预防及灭火

空气钻井无论是在井口还是井下发生燃爆,都会造成严重的后果和经济损失。实施空气钻井,预防井下或井口燃爆的有效措施是要准确地预知钻遇地层是否含有气层以及出气量的大小,然后在空气钻井钻遇气层时,杜绝火源和井下着火。

3.1 避免在油气层采用空气钻井

针对在生产层位或预计钻遇含有油气层位的井段避免或停止空气钻井,而转换成其他常规钻井方式。这就要求加强地层出气对比分析,提前控制空气钻井速度,遇钻时变快、气测异常等及时停钻循环处理,正常后钻进。

3.2 保持井眼通畅,降低井下着火的可能性

通过观察立管压力的变化,可以了解井下滤饼圈的结构状况,或者地层中天然气侵入井内后在井底形成的回压大小。一旦立管压力值超过正常钻进的压力值,井下所形成的滤饼圈,只需很少量的天然气气体即可引燃井下混合气体,所以,一旦在钻进中发现了天然气侵入井内,应立即停止钻进,停止循环空气。

3.3 向井内转入雾化泡沫液或转换循环介质

将井下易燃气体与氧化剂的浓度控制在不会发生着火的范围,甚至完全避免氧气的进入。因此,可以采用将空气转换为泡沫或惰性气体,即转换循环介质。

1) 泡沫黏度高,对气体具有很好的包被性,能有效阻止空气与油或天然气的接触,有效地避免井下着火。但将空气钻井转换为泡沫钻井时需要同时考虑保护产层问题。

2) 将空气转换为氧气含量很少甚至为零的惰性气体是最为可靠和有效地防止井下燃爆的方法,可有效地避免井下油气的燃烧爆炸。其中,利用氮气钻井是目前比较成熟的技术,但费用很高。

3) 在井内注入雾化液也能防止井下着火。

3.4 使用井下灭火短节

灭火短节(见图3、图4),即钻柱防火接头,这是一种低熔点合金制造的阀件,即灭火浮阀,阀内装有一个锌环。在正常情况下,循环的空气流动压力使弹簧瓣向下张开,允许空气循环通过。一旦环空着火,温度上升,当超过设计温度时,低熔点合金锌环熔化使一个衬套封住空气流道,关闭阀门,停止向井底循环补充空气,从而切断气源使火熄灭。

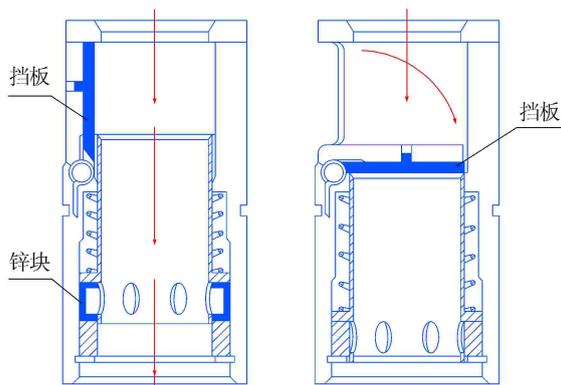


图3 灭火短节示意图

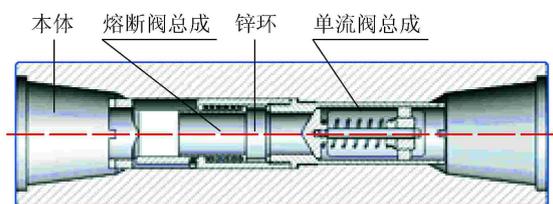


图4 防燃爆短节图

3.5 加强井下随钻监测

井下随钻监测系统是专门为监测井下燃爆现象而开发研制的。目前,在现场使用比较成熟的是西南石油大学研制的 UBD 气体监测系统,其主要原理是在监测到烃类气体的情况下,通过对返出气体中 O_2 、 CO_2 、和 CO 体积分数变化的监测来判断井下是否发生燃爆。一旦发生井下燃爆,由于井下燃烧为不完全燃烧,返出气体中的 CO_2 、 CO 气体体积分数会升高,而 O_2 气体体积分数会降低。图5是3种情况下监测界面图的对比^[2]。

该系统在元坝1井等井上的应用,证明了该系统捕捉井下燃爆现象的灵敏性和准确性,能及时发发现返出气体组分、排砂管压力等参数的异常变化、井下燃爆隐患和井下环空净化问题,辅助综合录井仪判定有毒、易燃气体出现的真实情况,为安全开展空气钻井起到保障作用。另外,在没有发生井下燃爆和发现 H_2S 气体等有毒有害气体,在烃类气体体积分数为井队安全预案许可范围内的情况下,仍然可以在 UBD 气体监测系统的辅助下继续使用空气钻井,从而提高钻井速度。

4 认识与建议

1) 在川东北地区,非储层段陆相地层,如须家河组、千佛崖组等地层为含气层段,气体钻井过程中遇

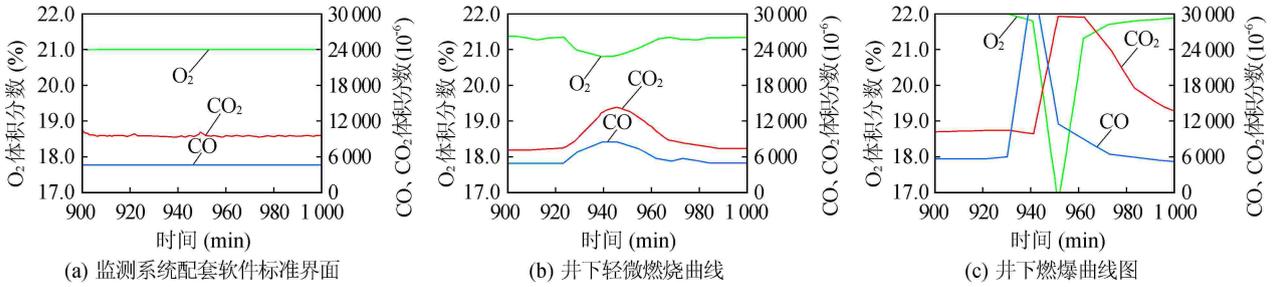


图5 井下随钻监测曲线图

到地层出气,均有发生燃爆的可能性,需要深入研究地层压力、含气量等情况。

2)采用惰性气体或氮气代替空气进行气体钻井,是可靠的防火、灭火方法。

3)井下燃爆监测系统能够捕捉到井下燃爆现象,现场应用证明了该系统捕捉井下燃爆现象的灵敏性和准确性,建议扩大应用范围。

参 考 文 献

[1] 赵业荣,孟英峰.气体钻井理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2007:47-52.

[2] 李永杰.空气雾化钻井井下燃爆分析[D].重庆:重庆大学,2002.

[3] 白家祉,苏义脑.井斜控制理论与[M].北京:石油工业出版社,1990.

[4] 冯靓,陈一健.空气钻井井下燃爆监测系统[J].石油机械,2007,35(5):35-37.

[5] 刘久艳,郭立稳.KJG2000 监测监控系统的应用研究[J].中国矿业,2005,14(9):81-83.

(收稿日期 2008-12-27 编辑 钟水清)