

元坝气田井筒堵塞物清除技术

罗伟,林永茂,董海峰,伍强

(中国石化西南油气分公司石油工程技术研究院,四川德阳 618000)

摘要:元坝气田投产以来,多口井出现了井筒堵塞,严重制约了气井的正常生产。对元坝气田典型井的堵塞物样品进行元素分析、无机成分 XRD 分析、有机成分 IR 分析、热重分析及其在酸液和乙醇中的溶解性分析,认为元坝气田不同气井的堵塞物成分存在差异。针对这种差异,在室内分别研制了有机解堵酸液和无机解堵酸液;并结合具体的井筒堵塞程度,分别配套了针对井筒节流和井筒完全堵死的有机、无机堵塞解堵工艺。元坝气田 8 口井应用井筒堵塞物清除技术进行了解堵作业,日增产气量 $316 \times 10^4 \text{ m}^3$,经济效益显著。井筒堵塞物清除技术可在类似超深高含硫气井中推广应用。

关键词:堵塞;解堵;有机酸;无机酸;连续油管;元坝气田

中图分类号:TE358 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2018)05-0109-06

Wellbore Blockage Removing Technologies in the Yuanba Gas Field

LUO Wei, LIN Yongmao, DONG Haifeng, WU Qiang

(Research Institute of Petroleum Engineering Technology, Sinopec Southwest Oil & Gas Company, Deyang, Sichuan, 618000, China)

Abstract: Since the Yuanba Gas Field was put into operation, wellbore blocking has been occurring in many wells and has seriously hindered the normal production of the gas wells. Through different studies on blockage samples from representative wells of the Yuanba Gas Field including element analysis, inorganic component XRD analysis, organic component IR analysis, the thermogravimetric analysis and solubility analysis of blockage samples in acid and ethanol, it has been found that some difference exist on the blockage compositions of various gas wells. In response to this identified difference, organic and inorganic blockage removing chemicals were developed. In addition, the team wished to remove specific wellbore blockages, so processes were developed to remove both organic and inorganic blockage that had been causing wellbore restriction and complete wellbore blockage. Such technologies have been successfully used to remove blockage in 8 wells in the Yuanba Gas Field. The results yielded remarkable economic benefits, with an increase in daily gas productivity increase of 3.16 million m^3 . The same kind of technologies can also be promoted in similar ultra-deep high-sulfur gas wells.

Key words: plugging; plug removing; organic acid; inorganic acid; coiled tubing; Yuanba Gas Field

元坝气田是中国石化继普光气田之后,在四川盆地发现的又一个千亿立方储量的大型海相气田,具有埋藏深、高温、高压和高含硫等特点,属于典型的“三高”气藏。投产时为尽可能释放储层产能,该气田 86% 的井采用了裸眼完井或衬管完井,井壁支撑较弱,酸岩反应也降低了近井地带岩石的胶结强度,井壁岩屑存在剥落风险^[1-4]。同时,随着生产的进行,井下腐蚀产物、酸化时用的固相暂堵剂、纤维、钻井液与完井液残渣、缓蚀剂高温分解产物及其他

入井材料一同返出^[5-8],有机组分与无机物杂质混杂,造成了元坝气田目前多口井出现了井筒有机-无

收稿日期:2018-04-12;改回日期:2018-07-09。

作者简介:罗伟(1986—),男,四川南充人,2010 年毕业于西南石油大学石油工程专业,2015 年获西南石油大学油气田开发工程专业博士学位,工程师,主要从事完井测试方面的研究设计工作。
E-mail:lwswpu@163.com。

基金项目:国家科技重大专项专题“四川盆地致密碎屑岩完井与储层改造技术研究”(编号:2016ZX05002-004-006)资助。

机物堵塞,其中部分井生产过程中油压快速下降,出现井筒节流,1口井井筒完全堵死,严重制约了气井的正常生产^[9~13]。笔者在分析元坝气田2口典型井堵塞物成分的基础上,研制了解堵酸液,研究了配套解堵工艺,形成了超深高含硫气井井筒堵塞物清除技术,保障了元坝气田的平稳生产及产量任务的顺利完成,也可为同类气井井筒解堵提供技术参考。

1 元坝气田井筒堵塞情况统计

元坝气田生产过程中8口井共发生了18井次井筒堵塞(见表1),其中元坝102-1H井完全堵死,其余井形成了井筒节流。从完井方式看,采用裸眼完井的气井更容易发生井筒堵塞,该气田采用裸眼完井的9口井在投入生产后,有6口井发生了井筒堵塞。

表1 元坝气田井筒堵塞情况统计

Table 1 Statistics on the wellbore blockage of Yuanba Gas Field

井号	堵塞类型	堵塞时间	堵塞位置/m	形成特点	是否堵死	完井方式
元坝29-1	复合堵塞	生产过程中		缓慢型	否	裸眼完井
元坝27-3H	复合堵塞	生产过程中	6 380.00	缓慢型	否	裸眼完井
元坝102-1H	复合堵塞	生产过程中	6 460.00	突然型	是	裸眼完井
元坝1-1H	复合堵塞	环空加注保护液后		缓慢型	否	裸眼完井
元坝102-3H	复合堵塞	生产过程中		缓慢型	否	裸眼完井
元坝205-1	复合堵塞	生产过程中		缓慢型	否	衬管完井
元坝103-1H	复合堵塞	生产过程中		缓慢型	否	裸眼完井
元坝204-2	复合堵塞	生产过程中		缓慢型	否	射孔完井

2 堵塞物成分分析

为了弄清堵塞物成分及来源,进而制定针对性的解堵措施,分析了堵塞物的成分。

现场分别对元坝27-3H井和元坝102-1H井

的堵塞物样品进行成分分析,包括元素分析、无机成分XRD分析、有机成分IR分析、热重分析及堵塞物样品在酸液和乙醇中的溶解性分析,结果表明,元坝27-3H井堵塞物以有机物为主,元坝102-1H井堵塞物以无机物为主。因此,以这2口井为典型井分析堵塞物成分,明确堵塞物样品中有机组分和无机组分的含量,为研制解堵酸液和制定解堵工艺提供依据。

2.1 元素分析

采用扫描电子显微镜(SEM)对堵塞物样品的形貌进行观察,从样品放大200倍的SEM形貌图(见图1)可以看出,元坝27-3H井和元坝102-1H井堵塞物样品粒度分布基本均匀。

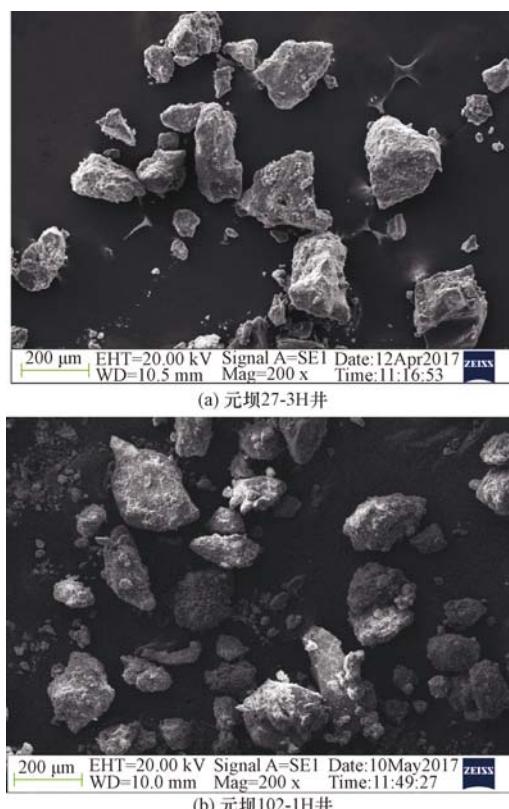


图1 元坝27-3H井、元坝102-1H井堵塞物样品SEM形貌

Fig. 1 SEM morphology of blockage samples from Well YB27-3H and Well YB102-1H

采用X射线能谱仪(EDS)对堵塞物样品进行元素分析,从分析结果(见表2)可以看出,2口井堵塞物元素均以C、O、S、Fe为主,而元坝102-1H井堵塞物含Cr和Ni等金属元素,可能与该井钻磨解堵时磨损油管有关。

表 2 堵塞物样品元素分析结果

Table 2 Element analysis results of blockage samples

井号	C, %	O, %	S, %	Fe, %	Na, %	Al, %	Si, %	Ca, %	Cr, %	Ni, %	Ba, %
元坝 27-3H	32.60	2.97	24.31	23.86	1.13						
元坝 102-1H	63.64	13.70	3.35	5.39		0.33	1.14	3.61	0.49	0.89	3.59

2.2 无机成分 XRD 分析

采用粉末 X 射线衍射仪(XRD)分析堵塞物样品的无机成分,从分析结果中可知,元坝27-3H井堵塞物的无机成分以黄铁矿(FeS_2 ,占 86.53%)和石灰石(CaCO_3 ,占 13.47%)为主,而元坝102-1H井堵塞物的无机成分以石灰石(CaCO_3 ,占 76.93%)、重晶石(BaSO_4 ,占 17.55%)和地层微粒(SiO_2 ,占 5.52%)为主。其中, FeS_2 来源于岩石矿物组分或者井下金属管材与硫化氢的反应产物; CaCO_3 来源于岩石矿物组分或者酸化时添加的暂堵剂; BaSO_4 来源于钻井液中添加的加重剂; SiO_2 来源于岩石矿物。

2.3 有机成分 IR 分析

采用红外光谱仪(IR)分析堵塞物样品的有机成分,从 IR 分析图谱(见图 2)可以看出,对于元坝

27-3H井堵塞物,2 901 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2$ 的伸缩振动吸收峰,初步判断为重烃组分,可能为钻井液中 SMC(磺化褐煤)、SMP-2(磺化酚醛树脂)、SPNH(磺化褐煤树脂)、DR-8(煤树脂类降滤失剂)、RH-220(液体润滑剂)和暂堵用的纤维等有机物在高温下的分解产物;同时,该井堵塞物样品在室内加热到 100 $^{\circ}\text{C}$ 以上后和沥青类产品形貌相似。对于元坝 102-1H 井堵塞物,从有机基团的结构推断有曼尼烯碱结构单元和醛类结构单元,这 2 种物质可能为缓蚀剂高温分解后的主要成分。

2.4 热重分析

采用热重分析仪对堵塞物样品进行热重分析,得到 2 口井的样品损失质量与温度的关系曲线(见图 3)。从图 3 可以看出,温度从 230 $^{\circ}\text{C}$ 升至 510 $^{\circ}\text{C}$ 时,元坝27-3H井堵塞物样品质量从 11.995 5 mg 降至

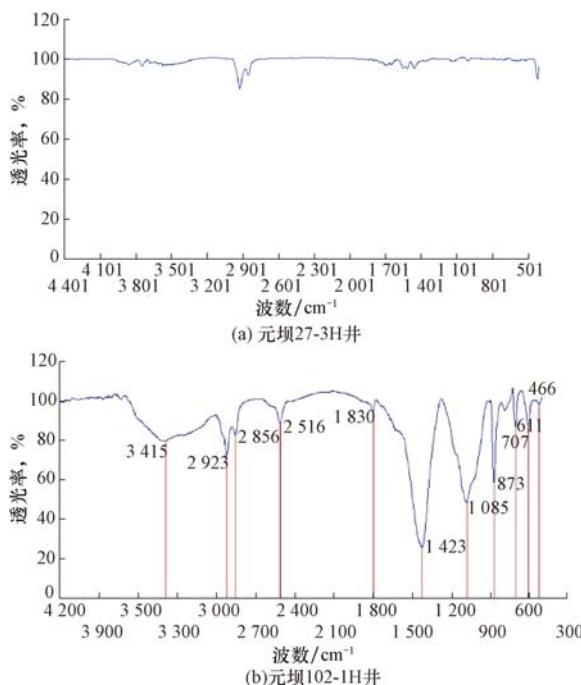


图 2 元坝27-3H井和元坝102-1H井的堵塞物样品有机成分 IR 图谱

Fig. 2 IR spectrum of organic components of blockage samples from Well YB27-3H and Well YB102-1H

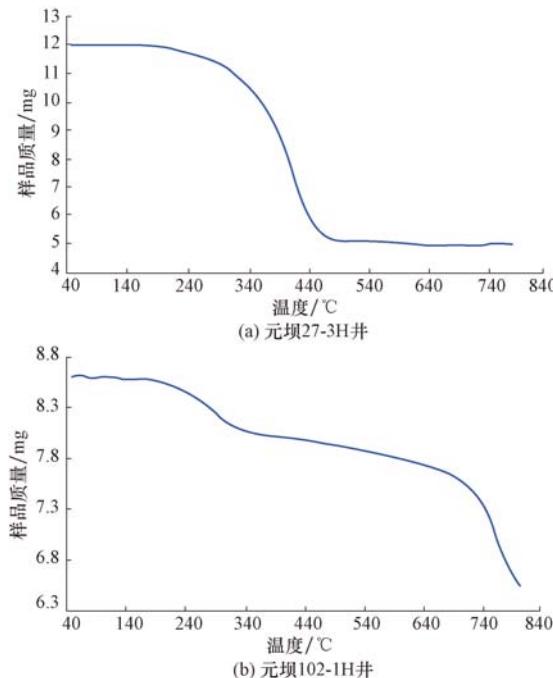


图 3 元坝27-3H井和元坝102-1H井的堵塞物样品质量与温度的关系

Fig. 3 Relationship between weight loss and temperature of blockage samples from Well YB27-3H and Well YB102-1H

5.561 1mg, 样品质量损失 6.434 4 mg, 质量变化率为 53.64%, 说明堵塞物样品中的有机物占 53.64%; 温度从 130 °C 升至 380 °C 时, 元坝 102-1H 井样品质量从 8.501 0 mg 降至 7.951 0 mg, 样品质量损失 0.550 0 mg, 质量变化率为 6.47%, 说明堵塞物样品中的有机物占 6.47%。

2.5 堵塞物样品在酸液和乙醇中的溶解性分析

将堵塞物样品分别置于 10% 的盐酸和有机溶剂(乙醇)中反应 1 h, 反应结果如图 4 和图 5 所示。元坝 27-3H 井的堵塞物样品加入乙醇中立即发生快速溶解现象, 且溶液的颜色由无色快速变为淡黄色; 而该井堵塞物样品与盐酸反应缓慢, 1 h 后溶液表面仍有黑色漂浮物存在。元坝 102-1H 井的堵塞物样品加入盐酸后迅速反应, 并释放出大量气体, 颗粒状堵塞物表面被反应生成的气泡包围; 而该井堵塞物样品置于乙醇中搅拌后静置, 反应微弱, 乙醇溶液呈透明状。

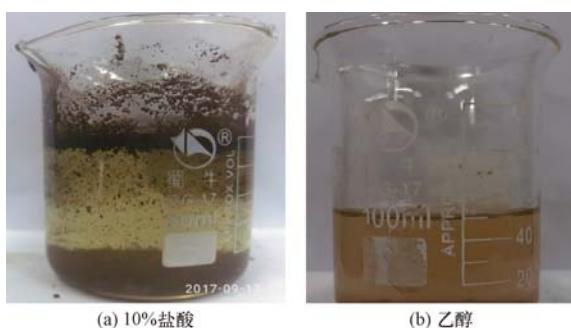


图 4 元坝 27-3H 井的堵塞物样品在盐酸和乙醇中反应 1 h

Fig. 4 Reaction of the blockage sample from Well YB27-3H in HCl and ethanol for 1 h

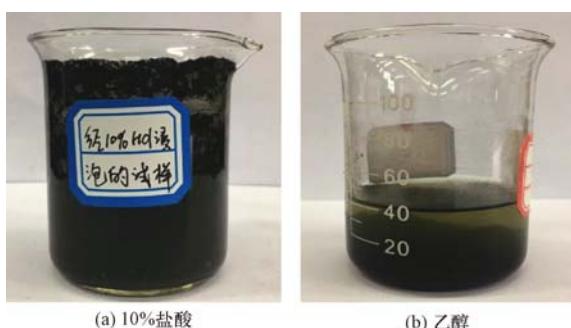


图 5 元坝 102-1H 井的堵塞物样品在盐酸和乙醇中反应 1 h

Fig. 5 Reaction of the blockage sample from Well YB102-1H in HCl and ethanol for 1 h

取出反应后的剩余样品干燥测其质量, 计算样品在 2 种溶液中的溶解率, 结果见表 3。元坝 27-3H 井的堵塞物样品在 10% 盐酸中的溶解率仅为 14.29%, 而在乙醇中的溶解率为 50.87%, 说明样品中可溶性有机物含量较高, 对于此类堵塞, 通过泵注有机解堵剂容易解除; 元坝 102-1H 井的堵塞物样品在 10% 盐酸中的溶解率为 36.61%, 而在乙醇中的溶解率仅为 5.87%, 说明样品中的无机物含量较高, 对于此类堵塞, 通过泵注常规无机酸即可解除。

表 3 元坝 27-3H 和元坝 102-1H 井的堵塞物样品在盐酸和乙醇中的溶解率

Table 3 Dissolution rates of blockage samples from Well YB27-3H and Well YB102-1H in HCl and ethanol

井号	溶液类型	堵塞物质量/g		溶解率, %
		反应前	反应后	
元坝 27-3H	10% 盐酸	0.573 1	0.491 2	14.29
	乙醇	0.154 5	0.075 9	50.87
元坝 102-1H	10% 盐酸	20.035 2	12.699 7	36.61
	乙醇	20.050 0	18.873 0	5.87

3 堵塞物清除工艺

3.1 解堵液设计

3.1.1 压井液

元坝长兴组气藏原始地层压力系数 1.00~1.18, 为正常压力系统, 单井累计产气量达 $(4\sim5)\times10^8 \text{ m}^3$, 生产过程中地层压力衰减, 为了防止压漏地层, 采用清水作为压井液。

3.1.2 冲洗液

冲洗液需要具有耐高温、低摩阻和携砂能力强等性能, 要求其漏斗黏度达到 80 s 以上, pH 值大于 10, 设计采用降阻水作为冲洗液, 密度 1.0 g/cm^3 , 考虑井筒内含有 H_2S 气体, 加入 2% 的有机除硫剂以降低腐蚀。

3.1.3 解堵液配方

根据前面堵塞物样品成分分析结果, 明确了不同气井之间堵塞成分存在差异, 因此分别研制了适用于无机物堵塞为主的无机酸解堵液和适用于有机物堵塞为主的有机酸解堵液。

无机酸解堵液配方为 20.0% HCl + 5.5% 高温缓蚀剂 + 1.0% 铁离子稳定剂 + 1.0% 助排剂。

有机酸解堵液配方为 5.00% 盐酸 + 9.50% 主乳化剂 + 0.40% 助乳化剂 + 48.00% 特效有机溶剂 + 0.05% 有机盐 + 7% 互溶剂 + 4.00% 高温缓蚀剂 + 0.80% 铁离子稳定剂 + 0.05% 消泡剂 + 清水。

3.2 施工工艺

针对井筒节流、井筒完全堵死等不同的堵塞程度,研究了相应的施工工艺。

3.2.1 井筒节流

1) 无机物堵塞为主的气井。从井口直接泵注无机酸解堵液,解堵液按照油管鞋以下井筒容积的 3 倍准备,施工排量控制小于 0.4 m³/min,尽量延长解堵液与堵塞点的过液时间。注解堵液结束后,采用 1 个油管容积的清水挤注酸液进入地层,清除井筒及近井地带的酸溶性物质。

2) 有机物堵塞为主的气井。带球形喷嘴的连续油管的下放速度控制在 10 m/min,避免突遇堵塞点时压力过大导致连续油管弯曲变形;探到塞面后,加压泵注冲洗液,对堵塞点进行冲洗解堵,排量控制在 0.3 m³/min;如果泵注冲洗液无法解堵,则加压泵注有机酸解堵液对堵塞点进行冲洗解堵,排量控制在 0.2~0.3 m³/min;若仍然无法解除堵塞点,上提连续油管至堵塞点以上 500.00 m,泵注有机酸解堵液,采用冲洗液将有机酸解堵液顶替出连续油管管鞋后,再次上提连续油管 1 000.00 m,让有机酸解堵液浸泡 2 h;提出连续油管,井口泵注无机酸解堵液,用清水挤注所有解堵液进入地层,关井反应 4 h,随后在具备良好放喷条件下放喷排液。

3.2.2 井筒完全堵死

对于井筒完全堵死的情况,完全由地层返出物桥架堆积引起的可能性不大,应为金属硬物与地层杂质胶结在一起形成堵塞,针对该类堵塞,采用如下解堵工艺:1)连续油管探塞面;2)逐步提高冲洗液排量,最大排量以泵压不超过 50 MPa 为限;3)采用连续油管+螺杆+套铣鞋对堵塞点进行钻磨;4)根据堵塞物成分,选择相应解堵液类型;若沟通堵塞,则将解堵液挤入地层,否则下连续油管替出解堵液;5)将连续油管+铅模下至遇阻点加压进行打印;6)电缆测井校深,如果堵塞点位于封隔器之下,采用连续油管穿孔,沟通油套,进而沟通地层。

4 现场应用

2015 年以来,元坝气田 8 口井应用井筒堵塞物清除技术进行解堵,成功率 100%,日增产气量 $316 \times 10^4 \text{ m}^3$,保证了元坝气田生产任务的顺利完成。其中元坝 29-1 井、元坝 1-1H 井、元坝 102-3H 井、元坝 205-1 井、元坝 103-1H 井和元坝 204-2 井采用无机酸解堵液成功解除了井筒堵塞;元坝 102-1H 井为井筒完全堵死,现场采用连续油管冲洗解堵、连续油管钻磨、试挤、酸洗、泡酸解堵、铅模打印、电缆测井测堵点和连续油管穿孔等一系列措施成功沟通地层;元坝 27-3H 井前期采用无机酸解堵液解堵效果不够理想,通过对堵塞物样品进行成分分析,明确了该井堵塞物以有机物为主,采用有机酸解堵液解堵取得了良好效果,下面对元坝 27-3H 井的解堵施工过程和解堵效果进行分析。

4.1 元坝 27-3H 井基本情况

元坝 27-3H 井于 2016 年 11 月至 2017 年 8 月采用无机酸解堵液进行了 4 次解堵,解堵后油压恢复,但有效期仅分别为 60, 51, 73 和 28 d, 维持时间越来越短, 2017 年 9 月 15 日该井油压再次出现了明显下降, 根据前期解堵施工数据, 判断该井井筒存在 1 个固定节流点, 每次注无机酸解堵液冲刷均未能完全溶解堵塞点, 复产后返出物容易再次在该堵塞点处堆积。

4.2 解堵施工过程及效果

根据对该井堵塞物样品的成分分析,对该井实施了新的解堵方案,施工过程如下:1)连接入井工具,管串结构为 $\phi 44.5 \text{ mm}$ 连续油管 + 环压接头 + $\phi 44.5 \text{ mm}$ 单流阀 + $\phi 44.5 \text{ mm}$ 液压丢手 + $\phi 44.5 \text{ mm}$ 球形喷嘴;2)采用 1400 型泵车从油管注入清水压井;3)连续油管下至井深 6 380.00 m 遇阻,加压 10 kN 冲洗 40 min 无进尺,排量 0.3 m³/min, 泵压 24 MPa, 累计泵注冲洗液 15 m³;4)井深 6 380.00 m 加钻压 10 kN 开始泵注有机酸解堵液,排量 0.2~0.3 m³/min, 泵压 25~42 MPa, 解堵液泵出连续油管管鞋 3 m³ 时悬重恢复正常,表明遇阻点解堵成功,随后累计泵注有机酸解堵液 10 m³;5)倒换地面低压管线,泵注冲洗液开始顶替,冲洗至井深 6 438.00 m(管鞋井深 6 408.00 m);6)上提连续油管,对 6 380.00~6 390.00 m 井段进行冲洗;7)边泵注冲洗液边上提连续油管,提至井深 5 450.00 m 停泵,连续油管提

出井,关闭采气树 7 号主闸门,拆除井口连续油管设备,恢复采气树 7 号主闸顶部盖板法兰;8)泵注无机酸解堵液 20 m³、顶替清水 30 m³,此过程中泵压由 3.4 MPa 升至 4.7 MPa,随后降至 0 再升至 2.3 MPa,排量 0.3~1.0 m³/min,关井反应;9)油嘴控制放喷排液,点火成功,焰高 8~10 m,关闭采气树 4 号阀关井,拆除解堵流程管线,恢复采气树左翼盲板。

元坝 27-3H 井经过 4 d 解堵作业后恢复正常生产,油压 40.8 MPa,产气量恢复到 43×10^4 m³/d,解堵效果显著。

5 结 论

1) 元坝气田堵塞物样品的成分分析表明,不同气井之间的井筒堵塞物成分存在差异,有的气井以有机物堵塞为主,有的气井以无机物堵塞为主。

2) 元坝气田井筒堵塞物的无机成分主要为黄铁矿(FeS₂)、石灰石(CaCO₃)、重晶石(BaSO₄)和地层微粒(SiO₂),主要来源于岩石矿物、钻井液加重材料和酸化时的暂堵剂;有机成分主要为入井钻井液、压裂液与缓蚀剂中的高分子材料在高温下的分解产物和地层析出的沥青质。

3) 根据堵塞物成分差异及具体的井筒堵塞程度,分别研制和配套了不同的解堵酸液和解堵工艺,形成了元坝气田井筒堵塞物解除技术,元坝气 8 口井应用该技术成功解堵。该技术可在类似超深高含硫气井中推广应用。

参 考 文 献

References

- [1] 薛丽娜,周小虎,严焱诚,等.高温酸性气藏油层套管选材探析:以四川盆地元坝气田为例[J].天然气工业,2013,33(1):85-89.
XUE Lina,ZHOU Xiaohu,YAN Yancheng,et al. Material selection of the production casing in high-temperature sour gas reservoirs in the Changxing Formation, Yuanba Gas Field, Northeastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry,2013,33(1):85-89.
- [2] 苏镖,赵祚培,杨永华.高温高压高含硫气井完井试气工艺技术与应用[J].天然气工业,2010,30(12):53-56.
SU Biao,ZHAO Zuopei,YANG Yonghua. Completion and well testing technology in HTHP and high-H₂S gas wells of the Eastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry,2010,30(12):53-56.
- [3] 苏镖,龙刚,许小强,等.超深高温高压高含硫气井的安全完井投产技术:以四川盆地元坝气田为例[J].天然气工业,2014,34(7):60-64.
SU Biao, LONG Gang, XU Xiaoqiang, et al. Safe completion and production technologies of a gas well with ultra depth, high temperature, high pressure and high H₂S content: a case from the Yuanba Gas Field in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas In-

dustry,2014,34(7):60-64.

- [4] 李玉飞,余朝毅,刘念念,等.龙王庙组气藏高温高压酸性大产量气井完井难点及其对策[J].天然气工业,2016,36(4):60-64.
LI Yufei,SHE Chaoyi,LIU Niannian,et al. Completion difficulties of HPHT and high-flowrate sour gas wells in the Longwangmiao Fm gas reservoir, Sichuan Basin, and corresponding countermeasures[J]. Natural Gas Industry,2016,36(4):60-64.
- [5] 李霜,董波,孔方清,等.元坝气田超深水平井防漏型乳化酸解卡技术[J].石油钻探技术,2015,43(2):44-49.
LI Shuang,DONG Bo,KONG Fangqing,et al. New technology for stuck drill pipe using mud loss-proof emulsified acid implemented in a ultra-deep horizontal well in the Yuanba Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques,2015,43(2):44-49.
- [6] 蒲洪江,张林海,侯跃全,等.元坝气田大尺寸非标准尾管固井技术[J].石油钻探技术,2014,42(4):64-68.
PU Hongjiang,ZHANG Linhai,HOU Yuequan,et al. Large size nonstandard liner cementing technique in Yuanba Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques,2014,42(4):64-68.
- [7] 张耀刚,吴新民,梁铭,等.气井井筒有机解堵工艺技术的应用[J].天然气工业,2009,29(2):95-97.
ZHANG Yaogang,WU Xinmin,LIANG Ming,et al. Application of organic plug removal in gas well bore[J]. Natural Gas Industry,2009,29(2):95-97.
- [8] 杨立新,郭东红,谢慧专,等.肯基亚克油田盐下油藏 8001 井有机-无机复合堵塞的机理研究[J].石油与天然气化工,2007,36(5):412-415.
YANG Lixin, GUO Donghong, XIE Huizhan, et al. Study on mechanism of organic-inorganic complex plugging for Well 8001 in Kenjyak Oilfield[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas,2007,36(5):412-415.
- [9] 胡德芬,陈华勇,龚方君,等.缓蚀剂引起气井油管堵塞原因分析及对策[J].天然气工业,2008,28(5):86-88.
HU Defen, CHEN Huayong, GONG Fangjun, et al. Analysis on the reasons for the gas well tubing blocking caused by corrosion inhibitor and its countermeasures[J]. Natural Gas Industry,2008,28(5):86-88.
- [10] 朱明喜,王国昌,张房,等.普光气田井筒解堵工艺技术改进方法[J].石油矿场机械,2013,42(6):44-47.
ZHU Mingxi, WANG Guochang, ZHANG Fang, et al. Technology development of well bore plug removal in Puguang Gas Field[J]. Oil Field Equipment,2013,42(6):44-47.
- [11] 孔凡群,王寿平,曾大乾.普光高含硫气田开发关键技术[J].天然气工业,2011,31(3):1-4.
KONG Fanqun, WANG Shouping, ZENG Daqian. Key techniques for the development of the Puguang Gas Field with a high content of H₂S[J]. Natural Gas Industry,2011,31(3):1-4.
- [12] 何生厚,曹耀峰.普光高酸性气田开发[M].北京:中国石化出版社,2010.
HE Shenghou, CAO Yaofeng. Development of Puguang high acid gas field[M]. Beijing: China Petrochemical Press,2010.
- [13] 蒲洪江,伍强,杨永华,等.8000 m 连续油管在超深高含硫气井的应用与实践[J].钻采工艺,2015,38(2):111-113.
PU Hongjiang, WU Qiang, YANG Yonghua, et al. Application and practice of 8000 m coiled tubing in ultra-deep and high H₂S gas well[J]. Drilling & Production Technology,2015,38(2):111-113.

[编辑 潘子晴]