火驱尾气排放系统研究及应用

秦洪岩

（中国石油辽河油田公司曙光采油厂）

摘　要　针对火驱开发过程中尾气存在的安全隐患及对油井产量的影响，对现有的工艺流程进行优化，实现气液分输、安全外排，保证集输系统的安全性，同时建立安全防控体系、定时监测，消除安全隐患；并对现有的尾气处理工艺进行改造，将传统的脱硫罐串联改为并联，增大了处理能力。同时增加管径尺寸，降低了收气阻力，提高了尾气处理速度，最终提高单井产量。解决了火驱开发过程中的瓶颈难题，为火驱项目的规模化应用提供了保障。

关键词　火驱；尾气排放；治理对策

DOI：10.3969/j.issn.1005-3158.2018.02.007　　**文章编号：** 1005-3158(2018)02-0024-03

0　引　言

A1 区块位于曙光油田西南部，构造上位于辽河断陷西部凹陷西斜坡中段，南部与 A2 区块、A3 区块相邻，东部为 A4 区块，开发目的层系为下第三系沙四段上部 B 油层。含油面积 8.4 km^2，地质储量 5 629×10^4 t。为改善区块开发效果，提高采收率，2005 年在 A3 区块开展了火驱开发先导试验，并获得成功。

1　火驱尾气状况分析

1.1　尾气的产生原因

火驱[1-3]是将空气注入地层，人为在地下创造一个燃烧放热的条件，形成一个径向移动的燃烧带，通过不断注入空气持续燃烧，产生热量使原油裂解、蒸馏、降黏，并将具有流动性的轻质油＋蒸汽＋烟气驱向前方。当空气中的 O_2 被消耗，N_2 及其它气体混合形成的烟道气就一起通过生产井排出形成了尾气。

尾气组分复杂，主要由 N_2、CH_4、CO_2、CO、C_2H_6、C_3H_8、O_2 及 H_2S 等 12 种气体构成。其中 N_2、CH_4 和 CO_2 含量较多，约占 97%，CO、O_2、H_2S 含量相对较少，A1 块尾气组分参数，见表 1。

表 1　A1 区块尾气组分参数

监测井数/口	15	28	14	99	156
CO_2/%	15.27	12.53	9.62	10.94	12.09
N_2/%	64.85	56.76	51.46	44.12	54.3
CH_4/%	17.61	27.17	36.31	42.81	30.98
O_2/%	1.14	1.08	0.95	0.93	1.03
H_2S/(mg/m^3)	76.4	49	37.5	85	62
CO/%	1	0.99	0.38	0.42	0.698

1.2　尾气带来的问题

1.2.1　组分复杂，安全隐患大

①H_2S 带来的安全隐患：具有易燃烧、强腐蚀及剧毒的特性，浓度超过 66.3 mg/m^3 的情况下可使人中毒，严重可致人死亡[4-5]。火驱井组未经处理的 H_2S 气体浓度范围在 8.6～489.9 mg/m^3，平均含量 62 mg/m^3。

②O_2 带来的安全隐患：当 O_2 含量达到 12%时，O_2 与尾气中的 CH_4 混合易发生爆炸。目前火驱区域监测的 O_2 含量平均值为 1.03%，远低于混合气体爆炸极限值，但由于气窜、单层突进等原因易产生含氧量升高的现象，2015 年 1—9 月份监测含氧量超标井数为 6 口，O_2 含量在 3%～5%之间，最高达到 8%。

1.2.2　尾气量不断增加，制约油井正常生产

①尾气量增加，影响泵效，甚至出现气锁，成品油井产量下降。以 C 井为例，该井日排尾气 3 799 m^3，受尾气影响日产液、油均呈下降趋势，日产液由 9.3 t 下降到 3 t，日产油由 3.2 t 下降到 0.8 t，泵效仅为 17.3%，见图 1。

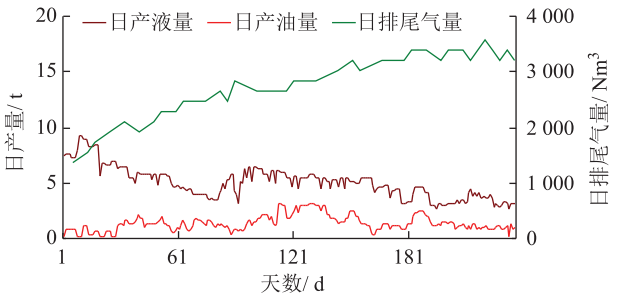

图 1　C 井日产量曲线

秦洪岩，2007 年毕业于大庆石油学院石油工程专业，现在中国石油辽河油田公司从事火驱采油工艺的研究与管理工作。通信地址：辽宁省盘锦市辽河油田曙光采油厂，124109

②尾气量增加，容易造成系统憋压。一方面，油井尾气量过大导致系统压力上升，形成憋压；另一方面，H_2S 含量超标，尤其冬天尾气湿度大、液化速度快，导致脱硫罐内积液，如不能对尾气进行有效、迅速处理，易导致油井气管线及系统憋压。以上两种情况均可导致油井套压上升，产量下降。

1.2.3 单井尾气量差异较大，存在气窜现象

火驱井组单井平均日产尾气量为 1 030 Nm^3，当单井尾气量大于 4 000 Nm^3 或大于对应注气井注气量的 80%时，油井可能气窜。油井气窜会产生两方面问题：一是 O_2 利用率低，尾气中含氧量上升，存在安全隐患；二是火线在各个方向上燃烧不均，影响火驱开发效果。经统计，2012 年前转入的 27 井组尾气量大于 4 000 Nm^3 或大于对应注气井注气量的 80%的油井 11 口，占总井数的 9%。

1.3 尾气治理的必要性

目前，火驱开井数由转驱前 147 口达到目前的 306 口，日排尾气量 28×10^4 Nm^3，年排尾气量达到 $11\ 000\times10^4$ Nm^3。随着产气量的增加，尾气中的 H_2S 和残留的 O_2 给安全生产带来极大隐患，而且气量增加造成的系统憋压、冻堵也给生产管理带来巨大的困难，严重影响火驱开发效果。因此，科学的尾气管理和调控是火驱项目能否取得成功的关键环节。

2　火驱尾气治理对策

针对火驱开发过程中出现的尾气问题，采取以下三种治理对策：

2.1 优化工艺流程，采用气液分输方式

在保留原有产出液流程的基础上，增设一套尾气处理流程，尾气由套管闸门直接连到脱硫塔（脱硫罐），经脱硫处理后外排，实现气液分输。其优点是尾气不在原有的集输系统内循环，保证从采油站到联合站整个集输系统的安全性。

2.2 优化尾气处理工艺，实现安全外排

①火驱开发初期采用脱硫罐处理方式。共安装处理装置 77 台，对 84 口油井进行尾气处理，处理后尾气中 H_2S 含量在 1.4～4.3 mg/m^3，符合安全环保标准。它的优点是：固态药剂稳定性好、加药周期长（3～5 个月）、不受季节影响。

②规模化开发阶段采用脱硫塔集中处理方式。目前，脱硫塔 7 座，处理井数 370 口井，日处理尾气 20.5×10^4 Nm^3，在节约投资、成本的同时，极大地降低了工人的劳动强度。处理后检测 H_2S 含量在 1.4～4.3 mg/m^3。

③自主研发并安装了旋流式气液分离器，降低尾气含水量。针对尾气量大、含水量大的油井自主研发并安装了旋流式气液分离器[6]，将原来单重力分离改成旋流加重力联合分离的方式，分离区域由原来的一个变更为旋流区、初分离区、细分离区三个，效果明显，用便携式露点仪检测，含水量由 2.4 g/Nm^3 降至 1.5 g/Nm^3。

④建立安全防控体系，消除安全隐患。制定周期取样制度，对资料归档，强化监测指标控制，完善三级监测体系。通过对井口监测、气干线监测、储油罐监测，严格保证超标 O_2 不进系统。当 $O_2>3\%$时，将尾气改进井口分气包，经过尾气处理装置后放空，并加密监测氧含量。

2.3 进行流程改造，降低收气阻力

①加粗收气管线。把原有的一寸半管线更换为两寸管线，在会管处改成三寸管线进入脱硫塔，整改后系统压力由 0.3 MPa 降至 0.08 MPa。管线改造后的 4 口油井产液量由 22.4 t 上升到 29.1 t，增加 6.7 t，管线改造前后产量对比见表 2。2015 年 1—9 月份共更换 21 口油井 150 m 管线，平均单井日产量增加 0.8 t，累计增油 450 t。

②脱硫罐串联改为并联，提高尾气处理速度。对脱硫罐憋压的油井并联脱硫罐，增大处理能力。以 C2 井为例，日排尾气量 5 000 Nm^3，对该井增加了两个脱硫罐。实施后，该井套压由 0.53 MPa 下降到 0.13 MPa，H_2S 含量由 21.6 mg/m^3 降至 4.3 mg/m^3，日产液由 17.8 t 升至 22.4 t。2015 年 1—9 月份并联脱硫罐 11 台，保证了油井的正常生产。

表 2　管线改造前后产量对比　　t

井号	管线改造前产量	管线改造后产量	对比
C1	4.5	6.5	2
C2	7.4	8.4	1
C3	2.2	3.4	1.2
C4	8.3	10.8	2.6
合计	22.4	29.1	6.7

③下入气液分离装置，提高泵效。2015 年 1—9 月份针对日排尾气量大于 2 000 Nm^3 的油井，实施下气锚 20 口，平均泵效提高 5.9%。以 C1 井为例，该井日排尾气 3 799 Nm^3，日产液 3 t，日产油 0.8 t，含水 73%，泵效 17.3%，下气锚后日产液 16.6 t，日产油 3.5 t，含水 82%，泵效 60.1%，取得了较好效果。

2.4 完善尾气调控方法，确保火线均匀推进

当发生单向突进或气窜时，油井尾气量增加、含氧量升高，通过调整对应注气井的注气量、控制油井产液量及配合调剖措施，达到对尾气“提低”“控高”的目的，从而降低含氧量，提高火驱开发效果。

2.4.1 调整注气量

当井组内出现含氧量大于 3%的油井时，通过适当降低注气井的注气量，提高 O_2 利用率，调整油井受效状况。今年以来，动态调整注气量 17 井次，新增见效井 7 口。

2.4.2 调整产液量

当井组内发生单向突进时，控制同向生产井的排气量及产液量，甚至关井，以调整火线推进方向。

典型实例：C4 井组初期日注空气量6 000 Nm^3，在南部形成一片突进区域，以致北部油井形成低效区。突进区日排尾气量 6 000 Nm^3 左右，日产液 29.9 t，经分析决定对该区域部分油井实施间断关井，通过一段时间内观察，低效区油井尾气量、产量均有不同程度上升，并出现新增见效井 3 口。

2.4.3 高尾气井封窜

当井组内出现尾气单向突进的现象时，对高尾气油井实施调剖封窜，可降低该井的产气量，有效抑制单向突进，提高井组内其它油井产气量，达到火线均匀推进的目的。2015 年共实施调剖封堵措施 4 井次，降低产气量 1.2×10^4 Nm^3/d。

3 效果评价

①尾气处理后 H_2S 含量、含氧量得到有效控制，安全生产得到保障，火驱项目开展以来未发生人员中毒事故。

②单井套压控制在 0.02 MPa 以内，将影响生产因素控制在最低限度。

③尾气分布状况明显改善，高尾气井比例由 9%下降到 5%。

④火驱产量大幅增加。预计 2016 年 91 个火驱井组年产油 20.1×10^4 t，区块单井日产由 0.9 t 提高到 2.0 t。

4 结 论

①通过对尾气处理的工艺流程的改进和优化，尾气处理后 H_2S 含量、含氧量得到有效控制，安全生产得到保障。

②通过对火驱井组的现场摸索和实践，形成了尾气监控、管控、调控的系列管理措施和办法，受效井尾气分布状况明显改善。

③火驱生产井尾气成分复杂，深入开展尾气回收再利用研究是新的创效增长点。

参 考 文 献

[1] 蔡文，李友平，李淑兰. 火烧油层技术在胜利油田的应用[J]. 石油钻探技术，2004，32(2)：53-55.

[2] 关文龙，马德胜，梁金中，等. 火驱储层区带特征实验研究 [J]. 石油学报，2010，31(1)：100-104.

[3] M GREAVES，王玉华，裴东旗，等. THAI——稠油开采和就地升温的注空气新技术[J]. 石油石化节能，2001，17(9)：14-19.

[4] 何继平. 火驱产出水分析[J]. 仪器仪表与分析监测，2012，1(1)：31-33.

[5] 管晓凤. 浅谈高 3618 块火驱试验井组现场管理方法[J]. 中国石油和化工标准与质量，2012，32(1)：200-208.

[6] 张文革，黄丽月，李军. 硫磺回收工艺技术进展[J]. 化工科技，2011，19(3)：76-78.

（收稿日期 2017-11-18）

（编辑 李 娟）