

黄沙坨油田非烃气驱井现场安全风险识别与防范

金永哲

中油辽河工程有限公司, 辽宁 盘锦 124010

[摘要] 黄沙坨油田非烃气驱工作取得了显著的增油效果, 并实现了一定规模的推广应用, 目前现场实施井组达到 3 个, 在现场试验过程中, 对注气工艺的各个环节进行安全风险识别, 并制定相应的防范措施, 保证了项目的安全平稳运行, 为类似注气工程的安全管理提供借鉴。

[关键词] 非烃气驱; 高压; 安全风险; 防范措施

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19540

中图分类号: TE357.8

文献标识码: A

Identification and Prevention of On-site Safety Risks in Non Hydrocarbon Gas Drive Wells in Huangshatuo Oilfield

JIN Yongzhe

PetroChina Liaohe Engineering Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124010, China

Abstract: The non hydrocarbon gas drive work in Huangshatuo Oilfield has achieved significant oil production effects and has been widely promoted and applied on a certain scale. Currently, there are three well groups implemented on site. During the on-site testing process, safety risks were identified in each link of the gas injection process, and corresponding preventive measures were formulated to ensure the safe and stable operation of the project, providing reference for safety management of similar gas injection projects.

Keywords: non hydrocarbon gas drive; high voltage; safety risks; preventive measures

引言

黄沙坨油田于 2000 年正式投入开发, 2003 年达到年产油 33 万 t 的产量峰值, 此后受储层物性、井网适应性、驱替效率等因素制约, 产量进入快速递减阶段。受限于常规治理措施效果不佳, 油田长期处于低速低效开采状态, 年产油量仅维持在 1.8 万 t 左右, 开发形势严峻, 亟需转换开发方式、提高采收率。

2013 年, 油田启动非烃气(减氧空气)驱先导试验, 通过膜分离制备高氮低氧的注入介质, 高压注入地层实现体积膨胀、混相驱替、改善流度比等增油机理, 试验井组效果显著, 为区块开发转型提供了技术方向。2015 年 5 月, 非烃气驱井组规模扩大至 3 个, 对应受益生产井 23 口, 计划年底扩至 6 个井组, 覆盖小 25 块主体部位, 将全面带动区块产量回升与开发效益提升。

非烃气驱工艺具有高压连续作业、介质易燃易爆、设备自动化程度高、现场交叉作业多等特点, 注气压力通常在 17~27MPa, 最高承压等级达 35MPa, 介质以氮气为主并严格控制氧含量, 现场涉及压缩机、柱塞泵、储配液罐、高压管汇、采气井口、在线监测等成套装备, 同时伴

随发泡剂等化学品使用与硫化氢等伴生气风险, 一旦管控失当, 极易发生火灾爆炸、高压泄漏、窒息中毒、机械伤害等事故, 直接威胁人员安全、设备完好与环境安全。

为此, 必须以风险预控、源头治理、过程严管、应急兜底为原则, 全面开展现场安全风险识别与评估, 制定针对性防范措施, 完善标准制度与应急体系, 确保非烃气驱试验与规模化推广全过程安全可控, 为油田高质量发展筑牢安全底线。

1 非烃气驱开发概况

1.1 油田地质与开发现状

黄沙坨油田于 2000 年投入开发, 2003 年年产油达到 33 万 t 峰值, 随即进入快速递减阶段, 由于配套治理措施效果不理想, 油田一直处于低速、低效开采状态, 年产油仅为 1.8 万 t, 开发形势异常严峻。2013 年通过开展非烃气(减氧空气)驱试验, 油井见到了良好的增油效果, 为黄沙坨油田开发方式转换指明了方向, 2015 年 5 月气驱井组规模扩大至 3 个, 对应生产井达到 23 口, 预计在 2015 年底气驱井组将扩至 6 个, 基本覆盖小 25 块主体部位, 将对黄沙坨油田开发起到极大的推动作用, 由于注气压力

高、危险点源多、注气设备流程复杂等气驱工艺的特殊性,必须对现场进行严格的安全风险识别与排查,并采取相应的措施,编制合理的应急预案,降低安全事故风险,保障现场人员与周边民众的人身安全,保证周围环境不会受到污染。

1.2 非烃气驱工艺原理与流程

通过地面减氧空气生产及注入设备,利用膜吸附原理,将氮气以外的大部分氧气与其他气体清除,再将减氧空气压缩,通过地面管线,注入井口,需要注入氮气泡沫段塞则加装储液罐、配液罐、柱塞泵等设备,详见图1。

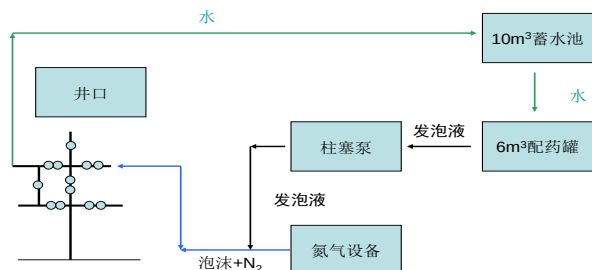


图1 非烃气驱工艺流程示意图

2 非烃气驱现场主要安全风险识别

结合黄沙坨油田非烃气驱高压、密闭、连续、易燃易爆、有毒有害介质共存的特点,采用 jha 工作危害分析、scl 安全检查表法,对注入端、井筒、采出端、设备区、作业区全范围开展风险辨识,共识别出八大类典型安全风险。

2.1 火灾爆炸风险(重大风险)

爆炸为非烃气驱最突出风险,主要源于产出气氧含量超标与油气混合达到爆炸极限。注气过程中易发生气窜,导致减氧空气窜入生产井井筒,使套管气内氧浓度上升;当氧含量与油气组分形成爆炸性混合物,遇静电、摩擦、高温、火花等点火源即发生燃爆。

现场明确控制目标:注入减氧空气中氮气浓度 $\geq 90\%$,对应氧含量 $\leq 10\%$;生产井套管气氧含量预警值3%/关井值5%。若监测失控,气窜加剧,将直接引发井筒或地面管线爆炸,后果极其严重。

2.2 高压喷射伤害风险(重大风险)

非烃气驱注气压力17~27MPa,地面管汇与井口设计承压35MPa,属于高压高危作业系统,高压气体泄漏具有极强冲击力,一旦出现阀门刺漏、法兰失效、管线破裂、井口失控等情况,高压气流携带碎屑、管件高速甩出,可直接造成人员撞击、切割、冲击伤害,甚至导致设备倾覆与次生灾害。

同时,套管未进行液体充填,环空压力易快速升高,若未及时泄压、管控不当,将造成采油树、套管、管柱损

坏,引发高压气体失控泄漏。

2.3 机械伤害风险(较大风险)

注气现场核心设备包括膜分离机组、空气压缩机、柱塞泵、传动皮带、齿轮箱、滚轮机构等,存在大量旋转、往复、传动部件。设备运行时,若防护装置缺失、人员违规靠近、巡检操作失误,易发生卷入、挤压、碰撞、打击等机械伤害;设备检修时未执行断电挂牌、能量隔离,易发生误启机伤人事故。

2.4 氮气窒息风险(重大风险)

减氧空气主要成分为氮气,氮气无色、无臭、无味,具有窒息性,比空气略轻,易在低洼、密闭、半密闭空间积聚。当空气中氧体积浓度低于19.5%时,人员出现缺氧症状;浓度持续下降将导致胸闷、乏力、烦躁、昏迷;吸入高浓度氮气($>90\%$)可快速窒息、呼吸心跳骤停、死亡。

氮气泄漏具有隐蔽性,无明显感官警示,人员易在无防护情况下误入危险区域,是现场极易忽视的高致死风险。

2.5 化学品毒害风险(一般风险)

现场使用高温发泡助排剂,主要成分为十二烷基硫酸钠、硬脂醇醚,外观为棕黄色至褐色粘稠液体,可溶于水,遇强氧化剂发生反应,遇明火、高热可燃,高温分解释放有毒有害气体。

侵入途径以皮肤接触、误服为主,浓溶液对皮肤、黏膜有刺激性;若发生泄漏、误触、误食,将造成皮肤、眼部刺激、消化道不适;大量泄漏进入水体,将造成环境污染。

2.6 触电伤害风险(较大风险)

注气机组、柱塞泵、控制系统、在线监测设备均采用电力驱动,现场电压等级高、用电负荷大、电缆敷设密集,若电缆破损、接地不良、防护等级不足、潮湿积水,易发生漏电、短路、电弧;作业人员未按规定验电、绝缘、挂牌,易发生触电事故,高压触电可直接致死。

2.7 硫化氢毒害风险(重大风险)

油田生产过程中可能伴随硫化氢(H_2S)释放,硫化氢为剧毒气体,毒性仅次于氰化氢,具有臭鸡蛋气味,高浓度下可迅速麻痹嗅觉导致无法察觉。硫化氢可经呼吸道快速吸收,损害呼吸系统与神经系统,短时间高浓度暴露可导致昏迷、呼吸衰竭、死亡。

非烃气驱改变地层流体运移规律,可能促使硫化氢解吸、窜至井筒与地面,构成隐蔽性剧毒风险。

2.8 高处坠落风险(一般风险)

氮气撬装设备、压缩机、管汇平台、井口操作区离地高度约1.5m,属于高处作业范畴,阴雨、冰雪、霜冻天

气易导致台面湿滑；巡检、操作、维护时未系安全带、踩踏不稳、身体失衡，易发生滑倒、坠落伤害，造成磕碰、骨折等后果。

3 非烃气驱现场安全风险防范措施

针对上述八大风险，建立源头控制、工艺保障、设备可靠、监测预警、行为管控、应急兜底六位一体防范体系，确保风险可控、在控。

3.1 爆炸风险专项防范

(1) 氧含量刚性控制：注入端保证氮气浓度 $\geq 90\%$ ，在线监测连续运行；生产井实行定时取样+在线监测双轨控制，氧含量 $\geq 3\%$ 立即预警， $\geq 5\%$ 立即关井、停注，连续加密监测合格后方可恢复作业。

(2) 点火源全面管控：现场严禁烟火、静电、撞击火花；作业人员穿着防静电工作服、防静电鞋；使用防爆工具、防爆照明、防爆电气；设备可靠接地，消除静电积聚点。

(3) 气窜综合治理：优化注入参数，控制注入速度与压力，采用氮气泡沫段塞封堵高渗通道；建立注采联动机制，及时调控生产制度，抑制气窜发生。

(4) 放空与通风：套管气优先密闭收集处理，必要时高空安全放空；井场保持良好通风，防止可燃气体聚集。

3.2 高压喷射伤害防范

(1) 设备承压升级：井口采用 kq65-35 型高压采油（气）井口，额定工作压力 35mpa；高压阀门、法兰、管件全部选用 35mpa 等级，出厂检验与进场试压合格。

(2) 压力阈值管控：注气压力 $\leq 30\text{mpa}$ ，套管压力 $\leq 10\text{mpa}$ ，超压自动联锁停机泄压。

(3) 管汇加固防护：地面高压管线采用地锚固定、安全连锁、防撞护栏，防止位移、甩脱；注气管柱选用防腐油管，耐腐蚀性能为 n80 油管 2 倍；采用 y111-102+y521-102 双封隔器组合，密封环空、保护套管与采油树。

(4) 操作规范刚性执行：开关高压阀门侧身缓慢操作，严禁正对高压部位；巡检重点检查密封点、焊缝、法兰、阀门，发现刺漏立即停机泄压处理。

3.3 氮气窒息风险防范

(1) 泄漏防控：设备启机前全面气密检查，管线、接头、阀门、法兰无泄漏；设置明显氮气警示标识，实行区域封闭管理。

(2) 监测预警：现场配置固定式氧含量检测仪+便携式报警仪，连续监测氧浓度，低于 19.5%立即声光报警。

(3) 准入与防护：氮气作业区实行审批准入，人员必须佩戴便携式报警仪；配备正压式空气呼吸器、急救装备，严禁无防护进入风险区。

(4) 培训与应急：全员开展氮气危害、窒息急救、泄漏处置专项培训，定期开展应急演练。

3.4 机械伤害防范

(1) 本质安全防护：旋转、传动部位加装防护罩、防护栏、急停按钮，实现机械本质安全。

(2) 作业行为管控：严禁戴手套操作旋转设备，严禁跨越、攀爬、触摸运行部件；设备检修执行断电、挂牌、上锁、验电、放电能量隔离制度。

(3) 巡检标准化：实行定路线、定部位、定内容巡检，及时发现异常振动、异响、过热、松动等隐患。

3.5 化学品毒害防范

(1) 储存与使用：发泡剂阴凉通风存放，远离火种、热源，与强氧化剂分储分运，配备泄漏收容材料。

(2) 个体防护：接触作业佩戴耐腐蚀手套、护目镜、防护服，避免皮肤与眼部直接接触。

(3) 应急处置：皮肤接触立即脱除污染衣物，流动清水冲洗；眼部接触立即生理盐水冲洗并就医；误食立即温水催吐并就医；泄漏及时围堵、吸附、无害化处理。

3.6 触电伤害防范

(1) 用电标准化：电缆高架或深埋，穿管防护，防碾压、防破损；设备可靠接地接零，安装漏电保护器。

(2) 作业管控：施工前验电检测，电气操作持证上岗，执行“一人操作、一人监护”；潮湿环境加强绝缘与通风，严禁带电作业。

(3) 设施维护：定期检查线路、开关、电机、控制柜，及时更换老化部件，消除漏电隐患。

3.7 硫化氢毒害防范

(1) 监测预警：现场配置固定式硫化氢检测仪+便携式报警仪，报警阈值设置规范，24h 连续监测。

(2) 防护装备：井场按标准配备正压式空气呼吸器、防毒面具、急救箱，人人会用、随时可用。

(3) 应急处置：发现硫化氢超标立即撤离至上风向，启动预警，禁止无防护处置；严格执行含硫油气井安全规程，落实通风、监测、防护要求。

3.8 高处坠落防范

(1) 平台防护：操作台设置防滑踏板、防护栏杆、踢脚板，恶劣天气增设防滑措施。

(2) 作业管控：1.5m 及以上作业系挂安全带，高挂

低用；严禁酒后、带病、疲劳进行高处操作。

(3) 环境管控：及时清除积水、积雪、冰霜，保持操作面干燥整洁。

4 现场执行的标准与管理制度

4.1 执行标准

(1) sy/t 6524-2010《石油工业作业场所劳动防护用品配备要求》

(2) sy 5225-2012《石油与天然气钻井、开发、储运防火防爆安全生产技术规程》

(3) q/sy lh 0312-2009《进入油田易燃易爆场所的施工队伍安全管理规范》

(4) q/sy 1244-2009《临时用电安全管理规范》

(5) q/sy 1248-2009《移动式起重机吊装作业安全管理规范》

(6) q/sy 1366-2011《氮气使用安全管理规范》

(7) sy6137-2012《含硫化氢油气生产和天然气处理装置作业安全技术规程》

(8) sy/t6610-2014《含硫化氢油气井井下作业推荐作法》

(9) sy/t6277-2005《含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规程》

4.2 管理制度

现场实行标准化管理，建立完善了以下管理制度：

《消防管理制度》《安全生产管理制度》《交接班制度》《巡回检查制度》《现场用电安全管理制度》。

5 应急管理体系建设

5.1 应急预案体系

编制综合应急预案+专项应急预案+现场处置方案，覆盖火灾爆炸、氮气泄漏、硫化氢泄漏、高压泄漏、触电、高处坠落等场景，明确组织机构、职责分工、预警分级、处置流程、物资保障、信息上报、外部联动。

5.2 应急物资配备

现场按标准配备：正压式空气呼吸器、便携式气体检测仪（氧、可燃、硫化氢）、固定式监测报警系统、防爆工具、消防器材、堵漏工具、应急照明、急救箱、安全带、安全绳、警戒带、吸收棉、收容桶等。

5.3 应急演练与培训

实行月度小演练、季度综合演练，重点开展窒息急救、火灾扑救、泄漏处置、硫化氢应急撤离等科目；全员持证上岗，定期开展安全培训、技术交底、风险告知，提升应急处置能力。

6 结论

(1) 黄沙坨油田非烃气驱技术具有周期长、压力高、风险点源多等特点，必须进行施工前的安全风险识别与排查，并制定相应的防范措施。

(2) 在施工过程中加强监督检查，严格进行安全管理，细化安全操作规程，制定安全管理制度与操作规范，能够降低安全风险。

(3) 在施工设计中，必须针对压力高、气体泄漏等问题，选择对应的施工设备，如高压注气井口、双封隔器管柱等，地面管汇需要满足相应的技术要求。

[参考文献]

- [1] 蔺佳, 胡少兵, 万吉庆, 等. 黄沙坨油田火山岩双重介质油藏数值模拟及应用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2025(5): 48-57.
- [2] 黄丽娟, 陈志伟, 李宗法, 等. 高压注空气驱油过程中油气爆炸风险分析及特性实验[J]. 石油学报, 2024, 45(7): 1141-1151.
- [3] 于洪敏, 左景柔, 任韶然, 等. 注空气采油油井产出气体燃爆极限试验研究[J]. 油气田地面工程, 2019, 38(9): 12-17.
- 作者简介：金永哲，男，本科，主要从事质量健康安全环保工作，就职于中油辽河工程有限公司。