

高压油气井井口装置应急抢险技术研究

刘正连

(中国石油集团川庆钻探工程公司钻采工程技术研究院,
中国石油井控应急救援响应中心)

摘要 高压油气井井口装置出现泄漏,将导致油气井口失控引发严重的事故,冷冻暂堵技术能快速安全更换井口泄漏部件,它能够同时暂堵多层环空和油管内通道,为后续井口隐患治理作业创造安全的施工条件。目前对于冷冻暂堵技术的研究主要针对作业原理、技术特征及施工优势等方面,而对于作业过程中井口压力变化规律的分析则较少被提及。为此,以长庆油田冷冻暂堵作业10余井的井口压力变化数据为基础,开展了冷冻暂堵作业压力变化规律研究,研究表明在冷冻暂堵作业过程中,油压和套压均呈现出先降低后升高的趋势,依据压力变化趋势提出了油套环空和油管内冷冻桥塞形成的判别标准。应用研究成果成功指导冷冻暂堵作业施工3井次,现场应用表明该研究对于优化冷冻暂堵施工设计、缩短冷冻暂堵作业时间和提高施工效率具有重要意义,能够快速完成井口装置的抢险救援,减少有毒有害气体对大气的污染,有效保护环境。

关键词 冷冻暂堵技术 井口压力 暂堵桥塞

0 引言

冷冻暂堵技术是一种在井口或管柱带压状态下,利用冷冻暂堵装置注入暂堵介质封堵井口或管路,暂时隔断压力的一种技术。许多学者对冷冻暂堵技术原理、施工特征等方面进行了研究^[1-5],但针对作业过程中井口压力变化规律的研究则较少被提及。基于此,以长庆油田冷冻暂堵作业11口井的井口压力记录数据为基础,分析了冷冻暂堵作业过程中的井口压力变化规律与暂堵桥塞状态的关系。应用研究成果指导3井次的冷冻暂堵作业施工,单井节约冷冻剂近50%,缩短冷冻作业时间约40%,首次提出根据井口压力变化曲线判断暂堵桥塞形成的准则,具有推广应用价值。

1 冷冻暂堵井口压力变化基本情况

冷冻暂堵技术在长庆油田应用10余井次,成功解决了该地区井口隐患治理中“小井口、大通径油管”的难题,在施工中记录和收集了冷冻暂堵作业的井口压力变化、暂堵剂使用量、冷冻时间、井身结构、井压等数据,见表1。冷冻暂堵作业如图1所示。

表 1 X1 等 11 口井冷冻暂堵作业统计表

井号	油压/MPa	套压/MPa	井口装置型号	表层套管	气层套管	油管	暂堵剂用量/L	冷冻时间/h	更换阀门
X1	24	24	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	3 ¹ / ₂ "	160	25	1、2、3 号
X2	25	24	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	3 ¹ / ₂ "	150	25	1、2、3 号
X3	24	24	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	2 ⁷ / ₈ "	70	20	2、3 号
X4	21.6	21.6	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	100	24	1、3 号
X5	25	26	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	100	26	1 号
X6	20.5	20.5	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	110	23	1、2、3 号
X7	27	27	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	3 ¹ / ₂ "	180	24	1、2、3 号
X8	23.5	23.5	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	3 ¹ / ₂ "	160	24	1、2、3 号
X9	22	22	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	120	23	1、2、3 号
X10	16.3	17.4	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	2 ⁷ / ₈ "	50	22	3 号
X11	18.5	18.5	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	2 ⁷ / ₈ "	80	20	2 号

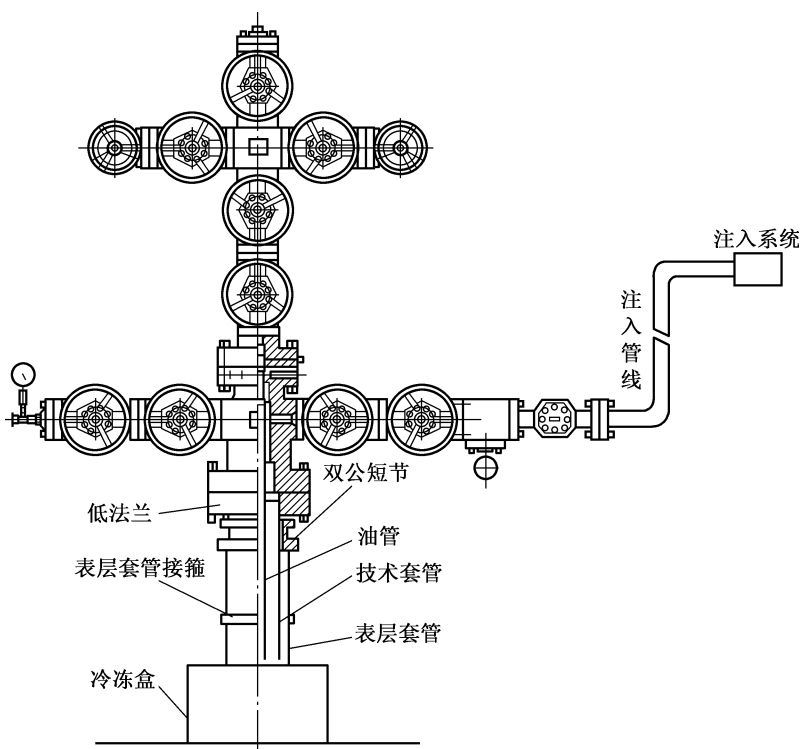


图 1 冷冻暂堵作业示意图

2 压力变化分析与结果

从图 2 至图 7 所示为冷冻暂堵作业过程中井压变化情况，可以看出，在冷冻暂堵作业过程中油压和套压均表现出现先降低，中间保持一定时间后压力回升。

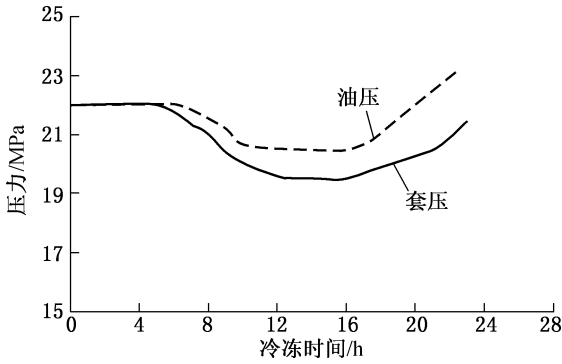


图 2 X1 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

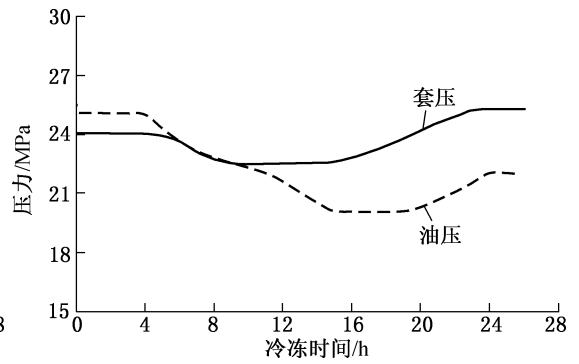


图 3 X2 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

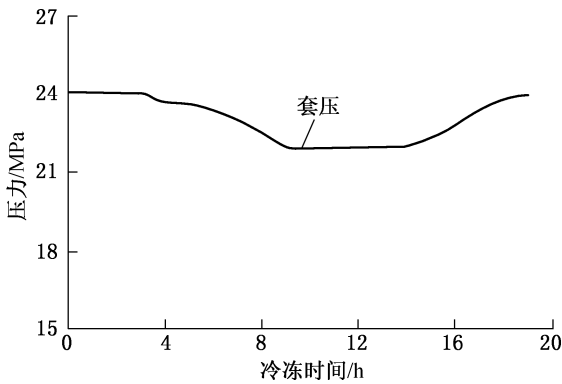


图 4 X3 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

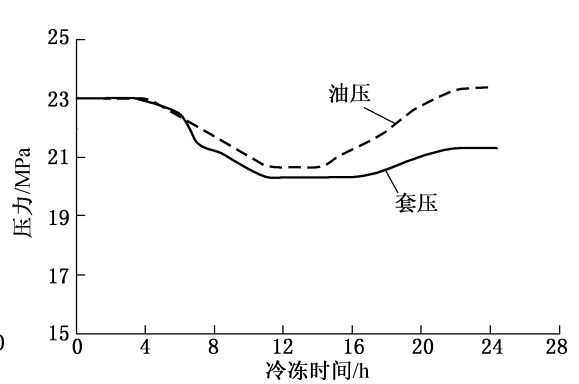


图 5 X4 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

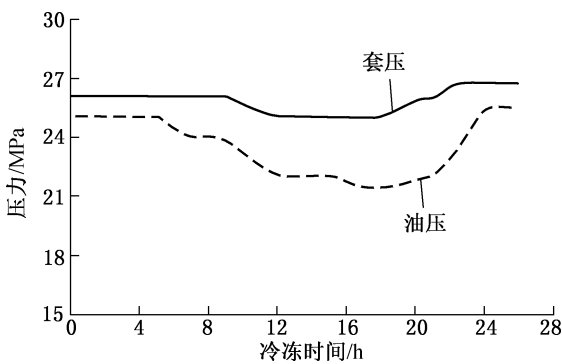


图 6 X5 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

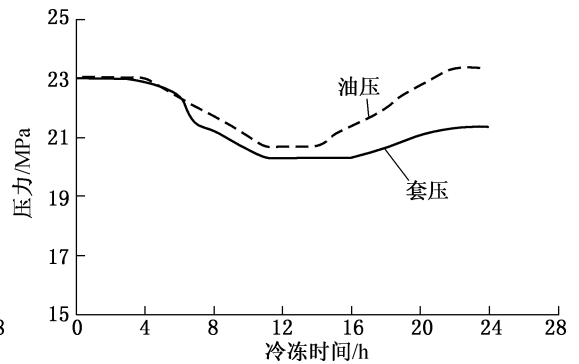


图 7 X6 井冷冻暂堵作业过程中井压变化图

经过研究分析，在作业过程中井口的压力降低是因在冷冻桥塞的形成过程中，随着温度的不断降低暂堵剂体积不断膨胀，干冰盒附近的暂堵剂首先凝固形成暂堵桥塞的凝结核，随着低温的传递，逐渐向凝结核的两端扩展逐渐形成桥塞，凝结核上端空间全部填满暂堵剂，下端为天然气。体积膨胀，凝结核两端介质的压缩比相差较大，导致凝结核向井下缓慢移动，当凝结核能够承受一定压差时桥塞已基本形成，此时的移动使得桥塞上部空间增大，井口压力开始减小。

随着桥塞强度的增加，承压能力逐渐加强，桥塞移动速度逐渐变慢，最后静止。此时温度的传递仍在继续，离干冰盒较远的暂堵剂也开始膨胀、桥塞强度逐渐到达最高值，桥塞与井口之间形成圈闭压力，井口压力上升。

在井身结构相同的情况下，压力变化曲线与作业时间基本一致，井口压力和暂堵剂的注入量对曲线变化基本无影响。基于此，不论是油套管环空或者是油管内，均可根据井口压力变化曲线得出冷冻桥塞形成的判断标准——井口压力开始下降对应的折点表示桥塞的凝结核已形成并具备一定强度；井口压力降至最小值对应的折点表示暂堵桥塞已形成并与管壁结合紧密，移动停止。水平段是暂堵桥塞强度稳定增加的阶段，井口压力开始回升对应的折点表示桥塞的强度已能达到更换井口作业的条件。根据压力变化的折点对应的时间和管径可准确计算出不同管径冷冻暂堵作业的最优时间。

3 现场试验验证

根据上述结果，在3口井作业现场进行验证，通过现场验证，当井口压力开始上涨时，井口反方向（试压值高于井压的1.5倍，小于井口额定工作压力）均试压成功具备更换井口闸阀的条件，3口井的工况见表2。

表2 Y1等3口井冷冻暂堵作业工况统计表

井号	油压/MPa	套压/MPa	井口装置型号	表层套管	气层套管	油管	暂堵剂用量/L	冷冻时间/h	更换阀门
Y1	11	11	KQ65-70	9 ⁵ / ₈ "	5 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	70	10	2、3号
Y2	25	24	KQ65-70	10 ³ / ₄ "	7"	3 ¹ / ₂ "	150	11	1、2、3号
Y3	19	19	KQ65-70	13 ³ / ₈ "	7"	2 ⁷ / ₈ "	100	13	2、3号

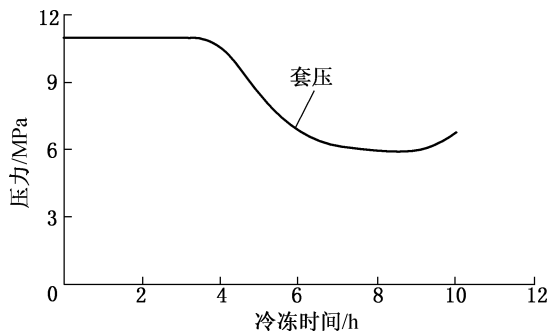


图8 Y1井

Y1井(图8)和Y2井(图9)冷冻作业10h后Y1井套压和Y2井油套压开始上涨;此时分别对油管内和油套环空内冷冻桥塞反向试压35MPa验证,桥塞暂堵成功。Y3井(图10)冷冻作业13h后套压开始上涨;此时对油套环空内冷冻桥塞反向试压35MPa验证,桥塞暂堵成功。

应用研究成果在Y1等3井次的冷冻暂堵作业施工,充分证实井口压力变化曲线与冷冻暂堵桥塞形成的关系,避免

了过度冷冻, 减少了冷冻剂的使用量, 缩短了冷冻作业周期, 在 Y1、Y2 和 Y3 井现场应用来看, 与 X1 等井对比, 冷冻作业周期平均缩短约 40%, 冷冻剂使用量也减少约 50%。Y1 等 3 口井的顺利实施, 证明了冷冻暂堵作业过程中压力变化规律研究的重要意义, 具有推广应用价值。

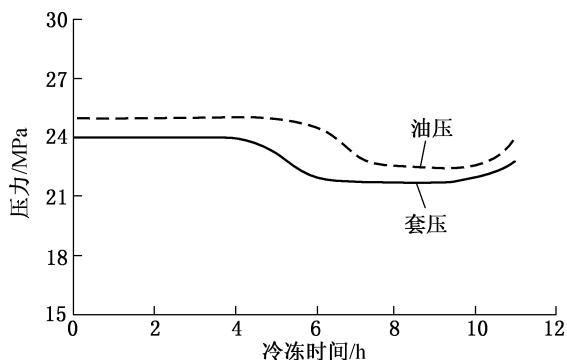


图9 Y2 井

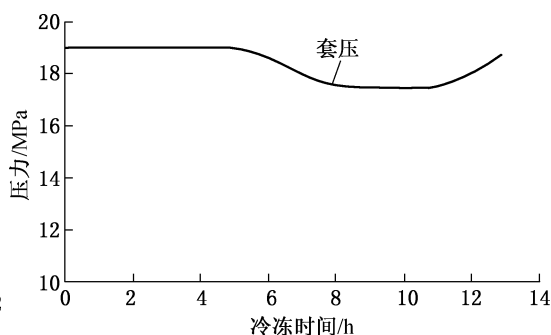


图10 Y3 井

4 结论

本文得出以下结论:

- (1) 归纳了冷冻暂堵作业井口压力变化的规律。
- (2) 提出了冷冻暂堵作业时间与套管直径存在正比关系。
- (3) 形成了井口压力变化曲线判断暂堵桥塞形成的准则。
- (4) 成功应用 3 井次, 对研究成果进行了验证。

参 考 文 献

- [1] 刘忠飞, 何世明, 黄桢, 等. 四川地区气井井口隐患治理技术与应用[J]. 钻采工艺, 2014, 37 (3): 1-4.
- [2] 李艳丰, 盛勇, 谢意湘, 等. 冷冻暂堵技术在灌 31 井的应用[J]. 钻采工艺, 2009, 32 (1): 11-13.
- [3] 黄桢, 王锐, 杜娟. 冷冻暂堵带压换阀技术及应用前景[J]. 天然气工业, 2009, 29 (2): 79-80.
- [4] 郭南舟, 秦本良, 王美洁, 等. 新疆油田冷冻暂堵技术的研究与应用[J]. 非常规油气, 2016, 3 (3): 96-100.
- [5] 彭小强, 刘先印, 吴虎. 新疆油田冷冻井口带压换阀技术的研究与应用[J]. 新疆石油科技, 2014, 24 (2): 36-41.