

岩盐储气库水溶建腔施工参数优化^{*}

班凡生¹ 朱维耀² 单文文¹ 高树生¹

(1.中国科学院渗流流体力学研究所 2.北京科技大学土木与环境工程学院)

班凡生等.岩盐储气库水溶建腔施工参数优化.天然气工业,2005;25(12):108~110

摘 要 岩盐储气库水溶建腔常采用油垫法,其造腔主要施工参数包括:油垫、中间管、中心管等。通过分析在岩盐储气库水溶建腔过程中,油垫位置、中间管位置、中心管位置不同时对溶腔的影响,得出了水溶建腔施工参数对溶腔的影响规律,并结合实际盐矿资料给出了计算实例。研究表明,在控制溶腔形状的工艺参数中,油垫位置的控制对腔体形态变化的影响最大,改变油垫的位置,可以有效控制腔体形态;中间管位置在溶蚀过程中是决定溶腔最大半径的主要因素,溶腔的形态受中间管位置的影响很大;中心管位置的变化对溶腔形态的影响很小。掌握油垫、中间管、中心管等位置不同时对岩盐储气库造腔的影响规律,能够为岩盐储气库的溶腔设计与生产提供理论依据和决策手段,以便科学合理地进行设计和生产。

主题词 岩盐 地下 储气库 水溶建腔 油垫 中间管 中心管 位置 参数优选

水溶建腔技术是地下岩盐储气库建设的核心内容,直接影响着岩盐储气库的后期作业、运行效果以及使用寿命等^[1]。而油垫、中间管和中心管这 3 个施工参数对溶腔形态变化和溶腔体积大小具有很大的影响。因此,据数值模拟软件^[2]对上述参数进行动态模拟,并掌握这些参数对溶腔的影响规律,具有重要意义。

一、油垫法水溶建腔

油垫法水溶建腔是一种单井建库方案,也是一种先进的水溶开采方法:利用油、水互不相溶,以及油密度小且不溶解矿物的特性,在井内注入 3 层套管程序(中心管、中间管和技术套管),从技术套管和中间管环隙注入石油,使其在溶腔顶部形成一很薄的油垫层,控制上溶;采用自下而上的方法提升管柱,建槽初期采用正循环(淡水从中心管进入,中心管和中间管环隙排出卤水),以后采用反循环(淡水从中心管和中间管环隙进入,从中心管排出卤水),如图 1 所示。

(1) 流体输运

水溶建腔流体输运过程中,同时存在着扩散与对流现象:在溶蚀边界层内,流体输运主要表现为溶质的扩散作用;在循环管柱附近,流体输运主要靠强

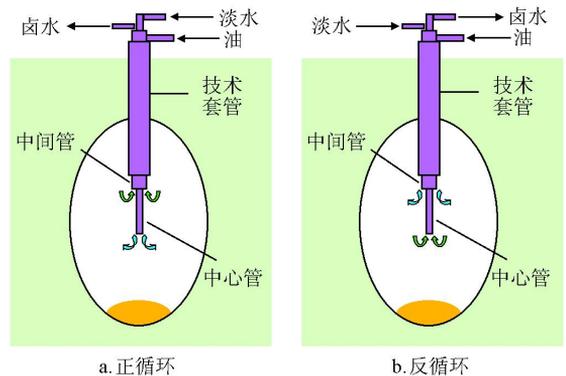


图 1 油垫法水溶建腔正反循环示意图

迫对流作用;在两者之间,流体输运以自然对流为主,表现为在重力作用下的沉降扩散平衡。

(2) 腔体溶蚀

溶腔内壁表面上存在着溶蚀边界层,溶剂和岩盐的质量交换即岩盐的溶解过程是通过边界层完成的。盐溶过程是发生在溶蚀边界层内的物质交换,而采盐过程则是溶腔内盐水通过循环管柱与外界淡水之间进行的物质交换。据物质平衡原理,在稳定溶蚀状态下,盐溶过程与采盐过程达到平衡状态。

(3) 数学模型

水溶建腔的数学模型包括浓度场、速度场和溶

^{*} 本文属于中国石油天然气集团公司金坛盐穴储气库初设项目研究成果。

作者简介 班凡生,1977年生,中国科学院渗流流体力学研究所博士研究生;现从事计算流体力学、渗流流体力学、储气库建设等方面研究。地址:(065007)河北省廊坊市万庄44号信箱。电话:13932666035。E-mail:banfansheng@163.com

解速度等研究内容,其描述公式在此从略。

二、水溶建腔施工参数

1. 油垫

图2是在保持中间管位置1130 m、中心管位置1140 m、沉井位置1160 m、排量为 $120\text{ m}^3/\text{h}$ 以及溶蚀时间120 d和循环方式为反循环不变的情况下,通过改变不同的油垫位置得到的。从图2可看出:当油垫位置比较接近中间管的情况下,溶腔形态出现不规则的情况,随着油垫位置的升高,油垫和中间管之间的距离加大,溶腔的形态趋近规则,当油垫和中间管的距离超过阶段时间所溶蚀能达到的最大半径时,油垫的位置对溶腔的形态不再产生影响。

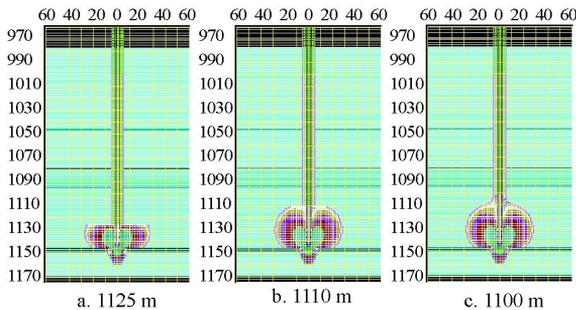


图2 油垫位置对溶腔形态影响图

从图3可以看出,当油垫位置和中间管位置的距离不超过阶段溶蚀所能达到的最大半径的时候,对溶腔的体积是有影响的。在这个阶段中,油垫位置越高,溶腔所能达到的体积越大,跨越了此阶段后,油垫的位置对溶腔的体积不再产生影响。

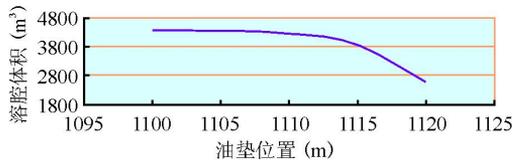


图3 油垫的位置对溶腔体积的影响图

2. 中间管

图4是在保持油垫位置1070 m、中心管位置1140 m、沉井位置1160 m、排量 $120\text{ m}^3/\text{h}$ 以及溶蚀时间120 d和循环方式反循环不变的情况下,改变中间管的位置的情况下得到的。从图4可以看出,溶腔的形态受中间管位置的影响很大,在其他条件不变时,主要的影响因素是中间管位置与前次溶蚀最大半径位置的距离。从图5可看出,改变中间管的位置,溶腔体积的大小变化很大,可见中间管位置对

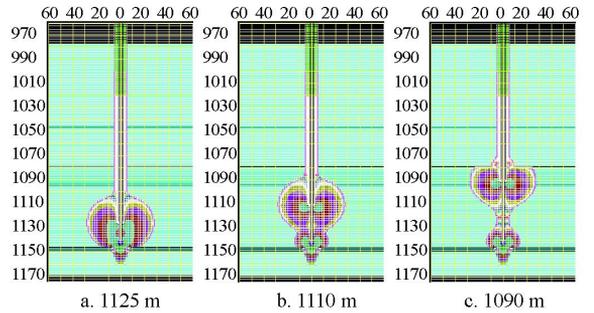


图4 中间管位置对溶腔形态影响图

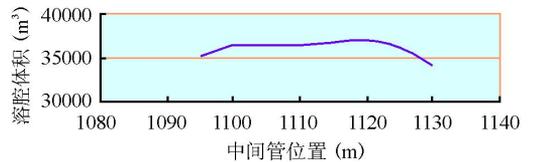


图5 中间管位置对溶腔体积的影响图

溶腔体积大小的变化有着很大的影响。

3. 中心管

图6是在保持油垫位置1070 m、中间管位置1090 m、沉井位置1160 m、排量 $120\text{ m}^3/\text{h}$ 以及循环方式反循环和溶蚀时间120 d不变的情况下,改变中心管的位置得到的。从图6可看出在其他条件不变的情况下,中心管位置的变化对溶腔形态的影响很小,在图中基本显示不出来。

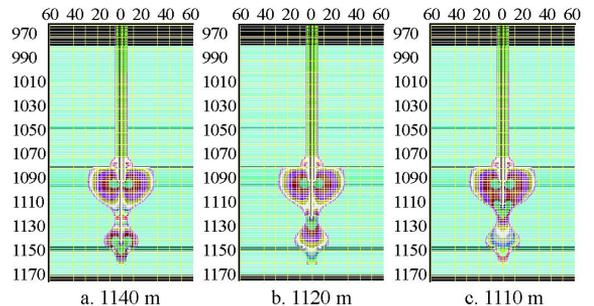


图6 中心管位置对溶腔形态影响图

从图7可看出,当中心管的位置发生变化时,溶腔体积基本上不发生变化。

4. 油垫、中间管及中心管位置

为了对油垫、中间管及中心管位置对溶腔形态

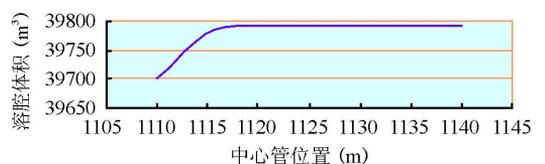


图7 中心管位置对溶腔体积的变化图

的影响规律进行综合分析,设定一个优化参数 p ,其定义如图 8 所示。

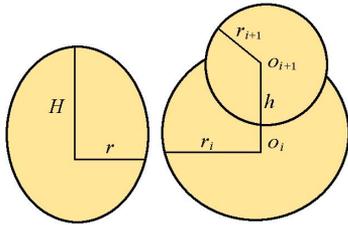


图 8 优化参数 p 定义示意图

图 8 中 r_i 、 r_{i+1} 分别是在阶段溶蚀过程中第 i 次和第 $i+1$ 次的溶蚀半径; o_i 、 o_{i+1} 分别在两次阶段溶蚀过程中的圆心位置,也就是两次溶蚀过程中的中间管所在的位置; h 是两个圆心间的距离,也就是油垫在两次溶蚀阶段中所提升的距离; r 是溶腔优化成型时最大半径, H 是优化成型时最大半径位置到腔顶位置的距离。定义 $p = \left(\frac{r_i - r_{i+1}}{h} \right) \left(\frac{r}{H} \right)$, p 值反映了施工参数对溶腔的影响程度, p 值越大说明溶蚀过程中溶腔受该施工参数影响越大,通过分析可以得到图 9。

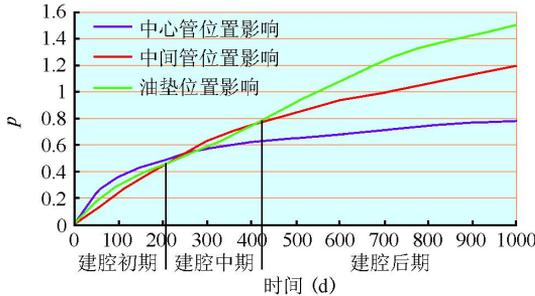


图 9 溶腔形态优化影响示意图

从图 9 中可以看出在建腔初期,对优化参数 p 影响最大的是中心管的位置,其次是油垫位置的影响。因此在建腔初期,对中心管以及油垫的位置要注意,中心管的位置影响溶腔的体积变化,中间管位置影响溶腔的成形位置,油垫影响溶腔的外边界的光滑性和拟合性;到了建腔中期,中心管位置的影响变小,这个时候中间管位置的影响作用加强,在这个阶段过程中,中间管的位置直接影响到成形后溶腔的最大半径位置,油垫位置的影响还是表现为溶腔边界的拟合性的好坏,同时中心管位置对溶腔的形态和体积的影响已变得很轻微了;到了建腔后期,油垫位置成为最主要的影响因素,其不仅影响到溶腔的边界的拟合性,同时也决定了在后期阶段中溶腔体积的增加比率,中间管位置的影响表现在对溶腔形态的拟合

性的好坏上,对于体积的增加不再产生影响。

三、计算实例

根据岩盐储气库影响因素研究的结论,可对水溶开采方案进行优化设计,从而建立一套溶腔优化设计方法。下面给出的是某盐矿进行诸方案设计后的最优方案。

据该盐矿地质资料,确定计算参数:岩层埋深在 990~1300 m,纯度 85%~94%。腔体设计在地层深度 988~1202 m 之间,根据隔层情况,溶腔底部盐层预留厚度 25 m,底部预留厚度 17 m,造腔高度为 154 m。采用典型注采管柱系统,技术套管 $13\frac{3}{8}$ " (外径 339.73 mm),中间管 $9\frac{5}{8}$ " (内径 224.41 mm),中心管 $5\frac{1}{2}$ " (内径 125.73 mm);循环方式采用正、反循环组合方式:即溶蚀初期采用正循环建立沉井,然后采用反循环建腔。

该盐矿在建腔初期选用小排量 $40 \text{ m}^3/\text{h}$,以后逐渐增加到 $160 \text{ m}^3/\text{h}$ 的排量,在 1070 d 可以洗出 $33.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的梨形溶腔(腔体设计符合率高,稳定系数好),可以在 3 年内完成建腔任务。

四、结 论

(1) 在控制溶腔形状的工艺参数中,油垫的控制对腔体形态变化的影响最大,改变油垫的位置,可以有效控制腔体形态;在溶蚀过程中要控制油垫位置和两口距,油垫的提升一般以 7~9 次为宜,两口距(中间管和中心管的距离)应逐步加大;中间管的位置在溶蚀过程中是决定溶腔最大半径的主要因素,溶腔的形态受中间管位置的影响很大;中心管位置的变化对溶腔形态的影响很小。

(2) 在建腔初期,中心管位置和油垫位置对溶腔的影响较大;建腔中期,中间管位置对溶腔影响逐步加强,成为影响溶腔形态变化的主要因素,中心管位置的影响变小;建腔后期,油垫位置成为最主要的影响因素,中间管位置对溶腔体积增加不再产生影响。

参 考 文 献

- 王清明. 盐类矿床水溶开采. 北京: 化学工业出版社, 2003: 62~86
- 赵志成, 朱维耀, 单文文等. 岩盐储气库水溶建腔流数学模型研究. 天然气工业, 2004; 24(9): 126~129

(修改回稿日期 2005-09-28 编辑 居维清)