

文章编号:1673-064X(2006)05-0059-03

HEGF 中 CO 气体生成及扩散模拟研究

Study on the generation and diffusion of CO in high-energy gas fracture(HEGF)

郑伟林¹, 鄧鸿江², 蒲春生^{2,3}, 秦文龙²(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 西安石油大学石油工程学院, 陕西 西安 710065;
3. 中国石油大学石油工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:针对低渗透油气田在高压气体压裂增产措施中 CO 气体中毒事件, 对 CO 气体生成进行了深入的研究. 研究表明 HEGF 配方本身是产生 CO 的直接因素. 同时, 运用物理模拟和数学模拟方法建立了 CO 大气扩散模型, 并考察了井深、气油比、气体泄放速率、大气稳定度等主要因素对 CO 气体扩散的影响. 该研究为建立监控系统提供了基础技术依据, 同时对高压气体压裂安全生产具有重要的指导意义.

关键词:高能气体压裂; 一氧化碳; 气体扩散; 数值模型**中图分类号:** TE357.28 **文献标识码:** A

目前, 高能气体压裂(简称 HEGF)^[1]广泛应用于低渗透油田改造与开发, 并经过这些年多方面的改进, 已趋于成熟. 但为了延长高能气体压裂药剂在地层的作用时间, 必然要加大装药量或是加入延迟剂, 因此在反应过程中产生了大量的 CO 气体, 使得近期国内一些低渗透油田出现了 CO 气体中毒事件. 本文对低渗透油田压裂增产措施中 CO 气体的生成

及扩散进行了系统深入的研究.

1 高能气体压裂过程中 CO 气体的生成

在高压气体压裂过程中, CO 气体生成量与 HEGF 本身的配方相关. 以长庆油田为例, 对其目前所采用的压裂弹配方进行定量计算. 计算结果见表 1.

表 1 长庆油田所用三类火药配方计算结果

火药名称	火药成份	主要产物	有毒气体	不同压力下有毒气体浓度/(mol·kg ⁻¹)			
				60 MPa	80 MPa	100 MPa	120 MPa
双基推进剂	硝化棉、硝化甘油、二硝基甲苯、苯二甲酸二丁酯、2# 中定剂等	CO, CO ₂ , H ₂ , H ₂ O, N ₂	CO	22.574	22.574	22.573	22.570
			HCN	0.006 8	0.009 3	0.011 9	0.014 6
			NH ₃	0.009 1	0.012 2	0.015 4	0.016 8
复合推进剂	高氯酸铵、丁羟胶、铝粉、草酸铵、癸二酸二辛酯	CO, CO ₂ , H ₂ , H ₂ O, N ₂ , HCl, Al ₂ O ₃ , AlCl ₃ , AlCl ₂ , AlCl	CO	8.798 1	8.797 6	8.796 9	8.796 0
			Cl	0.220 6	0.296 7	0.271 6	0.251 8
			HCl	4.536 0	4.550 6	4.562 0	4.571 8
			HCN	0.003 4	0.004 5	0.005 7	0.006 4
袖套药柱	氧化剂、粘结剂、其他填料	CO, CO ₂ , H ₂ O, HCl, KCl	CO	6.747 8	6.720 9	6.744 0	6.747 6
			HCl	0.800 2	0.800 9	0.754 9	0.715 8
			Cl	0.074 2	0.068 1	0.062 0	0.058 0

收稿日期: 2006-05-20

基金项目: 国家西部开发科技行动计划重大攻关项目“陕甘宁盆地特低渗透油田高效开发与水资源可持续发展关键技术研究”(2005BA901A13)

作者简介: 郑伟林(1963-), 男, 福建莆田人, 高级工程师, 主要从事采油工艺方面的研究.

目前长庆油田使用的压裂弹大体上分为三大类:

(1)双基推进剂.硝化棉(硝化度 188.0~193.5) 56%,硝化甘油 26.5%,二硝基甲苯 9.0%,苯二甲酸二丁酯 4.5%,2#中定剂 3.0%,凡士林 1.0%,水份 0.7%;

(2)复合推进剂.端羟基聚丁二烯 9.5%,癸二酸二辛酯 3.5%,铝粉 16.5%,草酸铵 2.5%,过氧酸铵 68.0%;

(3)袖套药柱(按美国配方配制).氧化剂 80%,粘结剂 15%,其他填料 5%.

从(表 1)可以看出双芳 3 推进剂燃烧气体在 60 MPa 下火药燃烧生成 22.574 mol/kg 的 CO;复合推进剂火药燃烧生成 8.7981 mol/kg 的 CO,袖套药柱(按美国配方配制)火药燃烧生成 6.7478 mol/kg 的 CO.

在高压气体压裂施工过程中,长庆油田无论采用何种压裂弹配方都将产生大量的 CO;另外,由于此地区孔隙度、渗透率偏低,使得生成的大部分 CO 挤压不进地层,从而聚集在井底,对施工形成严重的安全隐患.庄 62-22 井、西 210 井施工人员中毒事件就印证了这一结论.因此必须采取相应防治措施,以保证员工的安全.那么,把握 CO 气体的扩散规律就显得尤为重要.

2 CO 扩散模拟研究

2.1 CO 浓度分布

依据初始条件以及边界条件和油田实际情况,并综合考虑各方面影响因素的情况下,对文献[2]中的 FEM3 模型进行解化并求解得到二维条件下的 CO 气体浓度扩散数值模型,并计算得出 CO 浓度分布图(图 1).

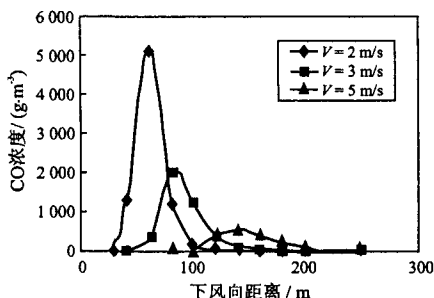


图 1 不同风速下 CO 的浓度分布图

2.2 CO 气体扩散的影响因素

(1)气油比、井深对 CO 气体扩散的影响

在 Ansari^[3]求解井筒压力的基础上,考虑了 CO 对流型以及井筒气液流动的影响,得出在不同的井深下 CO 井口浓度随气油比的变化关系曲线,如图 2.

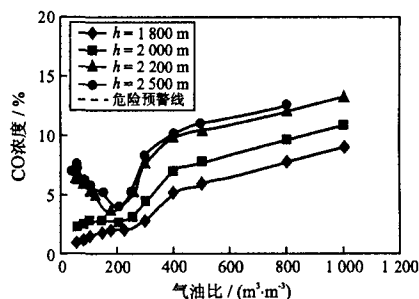


图 2 不同井深下 CO 气体浓度随气油比变化曲线

从图 2 中可以看出,在小于 2 000 m 时,CO 浓度随气油比增大而增大,而大于 2 000 m 时,浓度随气油比增大先出现减小,后又增大的趋势,这主要是因为,在气泡流中,以出现气泡流的最小管径为依据,当流动管径大于最小管径和空隙率接近 0.25 时,气泡流开始向段塞流转变;当液体流量高时,在液体脉动力的作用下,即使空隙率大于 0.25,大气泡也会破碎成为小气泡,气泡流转变为分散泡状流^[4].在此时,CO 浓度开始减小,在气体流量高的情况下,当空隙率为 0.52 时,小气泡很快聚合起来,分散气泡状向段塞流转变,此时井口 CO 浓度又开始回升并逐渐增大.

(2)泄放速率对 CO 气体扩散的影响

气体泄放速率对 CO 气体扩散也有一定的影响.图 3 是一氧化碳气体在不同泄放速率下的下风

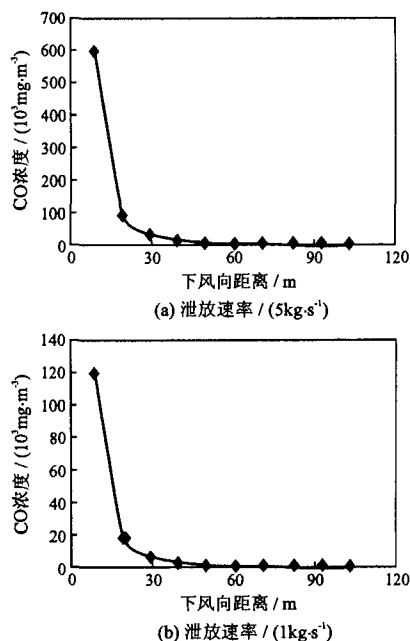


图 3 不同泄放速率下的下风向上 CO 气体最大浓度分布

向上气体最大浓度分布.可以看出,当泄放速率较大时,下风向上的最大气体浓度要比泄放速率小时的最大气体浓度大一些.

(3) 大气稳定度对 CO 气体扩散的影响

大气稳定度的确定是十分复杂的.相对而言, Pasquill-Gifford 和 Tamer 划分方法较为实用.本文采用 Pasquill-Gifford 分级法,见表 2.

表 2 不同大气稳定度下的扩散参数值

稳定度	扩散参数			
	a	b	c	d
极不稳定(A)	0.527	0.865	0.28	0.90
不稳定(B)	0.371	0.866	0.23	0.85
较不稳定(C)	0.209	0.897	0.22	0.80
中性(D)	0.128	0.905	0.20	0.76
较稳定(E)	0.098	0.902	0.15	0.73
稳定(F)	0.065	0.902	0.12	0.67

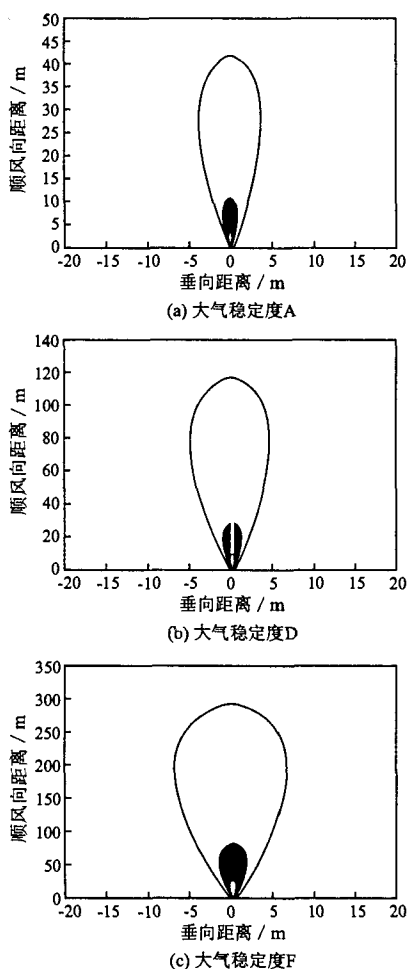


图 4 不同大气稳定度下 CO 气体扩散的浓度分布图

图 4 为 CO 气体在不同的大气稳定度下浓度扩散范围图.由图可以看出:在其他参数不变的情况下,大气越稳定,死亡区面积越大,沿风向扩散得越远,其危险区及有感区面积减小.说明大气稳定度对 CO 扩散有很大的影响.

另外,CO 自身密度、泄放源形式、泄放源高度等^[5]对 CO 气体扩散也有很大的影响,在此不作赘述.

3 结 论

(1)在井深小于 2 000 m 时,CO 浓度随气油比增大而增大,而井深大于 2 000 m 时,浓度随气油比增大先出现减小,后又增大的趋势.井筒中气液流型的转化是导致 CO 浓度变化的直接原因.

(2)在其他参数不变的情况下,大气越稳定,死亡区面积越大,沿风向扩散得越远,其危险区及有感区面积减小.

(3)气油比、井深、泄漏速率、大气稳定度等对 CO 浓度扩散有很大影响.对其影响参数的分析,有利于评估毒气对人的伤害,对于油田及时控制并采取有效防治措施有重要的指导意义.

参 考 文 献:

- [1] 王安仕,秦发动.高能气体压裂技术[M].西安:西北大学出版社,1998.
- [2] 丁信伟,王淑兰,徐国庆.可燃及毒性气体泄漏扩散研究综述[J].化学工业与工程,1999,16(2):118-122.
- [3] Ansari A M, Wellbores Sylvester N D. Supplement to Paper SPE 20630, A Comprehensive Mechanistic Model for Upward Two-Phase Flow in Paper Wellbores[J]. SPE 28671 Available at SPE Headquarters, Richardson, TX, 1994.
- [4] 陈杰,于达,严大凡.油-水两相流流型转换研究[J].水动力学研究进展,2003,18(3):355-364.
- [5] 赵振东.地震次生毒气泄漏与扩散的数值模拟与动态仿真[J].地震工程与工程振动,2002,22(5):137-142.

编辑:贺元旦