

含 CO₂ 天然气燃烧爆炸特性实验研究^{*}

张应安^{1,2} 刘振翼³ 王峰² 钱新明³ 张德平² 黄平³

1.大庆石油学院 2.中国石油吉林油田公司采油工艺研究院

3.北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室

张应安等.含 CO₂ 天然气燃烧爆炸特性实验研究.天然气工业,2009,29(6):110-112.

摘要 我国已开始开发含 CO₂ 酸性天然气气田,此类气田的开发要求同时重视天然气的火灾爆炸特性和 CO₂ 的窒息危险性,如何确定 CO₂ 含量阈值浓度,从而制订相应的防护措施具有重要现实意义。为此,运用实验手段研究了含 CO₂ 天然气的爆炸极限,得到了 CH₄、空气及 CO₂ 三种组分气体爆炸范围图。研究表明:当泄漏天然气与空气的混合物中 CO₂ 体积分数达到 13.86%,CH₄ 体积分数为 7.48% 时,CH₄ 在此混合气体中的爆炸下限与上限重合。当泄漏天然气与周围空气的混合物中 CO₂ 体积分数超过 13.86% 时,应重点考虑 CO₂ 的窒息危害,而在此浓度以下时,则应着重考虑天然气的火灾爆炸危险性。同时,还针对气田安全生产的实际情况提出了相应的对策措施。

关键词 二氧化碳 酸性气田 爆炸极限 爆炸三角形 实验研究 安全生产对策

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.06.033

1 引言

天然气作为一种清洁能源正获得日益广泛的应用,当前,我国陆上天然气勘探开发正处于快速发展时期^[1],近年来,我国天然气勘探取得重大进展,相继发现一些重要气藏,并已开始开发含二氧化碳(CO₂)、硫化氢(H₂S)等酸性天然气气田。如川东北高酸性气田的 H₂S 和 CO₂ 含量均颇高,罗家寨气田天然气的 H₂S 含量 8.78%~10.49% (体积分数),CO₂ 含量 5.44%~10.41%^[2] (体积分数);而吉林油田的天然气中 CO₂ 含量更高,达 26%~95% (体积分数)。我国国家标准^[3]规定商品天然气的 H₂S 含量不大于 20 mg/m³、CO₂ 含量不大于 3% (体积分数),因此酸性气体开发成本较高,安全生产尤为重要。

在酸性气田开发中,点火是处理天然气井喷事故、防止事故扩大的有效手段。进行可靠点火的前提是当井喷泄漏气体与空气混合后,可燃气体的浓度处于爆炸极限范围内。纯净天然气的爆炸极限,已有较明确的结论,但含 CO₂ 的酸性天然气的爆炸

极限多为理论计算结果,目前,国内外对含 CO₂ 可燃气体爆炸性的研究主要针对工业生产的爆炸性尾气等^[4-5],与酸性气田开发的实际差距较大,难以借鉴。为此,以吉林油田开发的高含 CO₂ 酸性天然气为样本气体,实验研究了含 CO₂ 天然气的燃烧爆炸特性,得到了具有指导意义的爆炸极限参数,对含 CO₂ 酸性气田的安全开发具有重要的指导意义。

2 含 CO₂ 天然气爆炸极限实验及结果分析

2.1 实验样本气体

为便于实验分析,确保数据真实可靠,实验研究依据吉林油田含 CO₂ 天然气的实际组分,以纯度为 99.99% 的 CH₄ 和 CO₂ 通过分压配气系统制备实验气体。爆炸氧气通过配入空气获得。

2.2 实验设备与步骤

2.2.1 主要实验设备

1)爆炸测试主体:采用改进 Hartmann 管作为爆炸测试主体,内径 96 mm,长度 370 mm。顶部安装压力传感器,上、下部各安装 1 支 0.5 mm 直径的

^{*} 本文受到国家重点基础研究发展计划(973)(编号:2006CB705800)和中国石油重大科技专项(编号:07-02Z-01)的共同资助。

作者简介:张应安,1964年生,高级工程师,博士研究生;从事油气藏改造技术和天然气开采技术研究工作。地址:(138000)吉林省松原市吉林油田采油工艺研究院。电话:(0438)6336591。E-mail:swpizhdping@163.com

微细热电偶,通过压力和温度信号共同判定爆炸火焰的传播情况。

2)点火系统:采用高压火花发生器产生电火花点火,火花功率 50 W,点火时间 0.02 s。

3)自动配气系统:本系统可任意配比 CH_4 、 CO_2 及空气浓度,实验中 CO_2 含量为 0~20% (体积分数)。

4)PLC 控制系统:用以控制点火和触发采样的时间序列。

5)数据采集系统:采用奥地利 Dewetron 高速数据采集系统,记录压力和火焰温度信号。

2.2.2 实验步骤

实验中,首先利用自动配气系统将 CH_4 、 CO_2 及空气配置成所需浓度的混合气体,将气体导入爆炸测试装置内部,关闭各入、出气阀门,点火引爆,记录压力和火焰温度信号,即完成 1 次实验。同一浓度混合气体爆炸实验未发现压力和温度 2 者同时升高时,要反复测试 5 次以上。实验流程如图 1 所示(试验压力为 0.101 325 MPa,初始温度为 20 °C)。

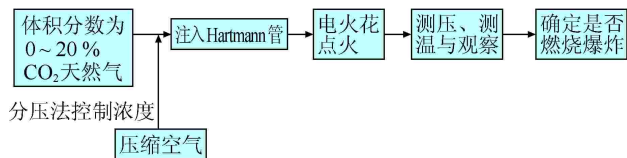


图 1 实验步骤图

2.3 实验结果

实验过程中,由数据采集计算机自动记录数据,并实时获得实验曲线。共进行了 28 组、140 次实验。典型数据对应的实验曲线如图 2 所示。

由图 2 可知:当实验气体在 Hartmann 管内发生爆炸时,能检测到管内有明显的压力和温度变化;如果未发生爆炸,则检测不到明显的压力和温度变化。

2.4 实验结果分析

根据以上实验结果,绘制了 CH_4 、 CO_2 及空气 3 组分气体爆炸范围图,如图 3 所示。经检测得知可燃气体 CH_4 在含有 10% (体积分数) CO_2 的混合空气中的爆炸下限和上限分别为 (X_1, X_2) 、 (X_1', X_2') , 三角形 $X_1 X_2 C$ 即为 CH_4 、 CO_2 及空气 3 组分气体爆炸范围。

据图 3 可知:随着 CH_4 中混入 CO_2 浓度的增加, CH_4 混合气的爆炸下限在升高,而爆炸上限在下降;图 3 的 C 点处 CO_2 体积分数为 13.86%, CH_4 体积分数为 7.48%, 此时该浓度既是 CH_4 的爆炸上限又是爆炸下限。

文献报道^[6]以 CO_2 为稀释剂气体的 CH_4 在空气中的爆炸极限浓度(对应于图 3 中的 C 点)约为

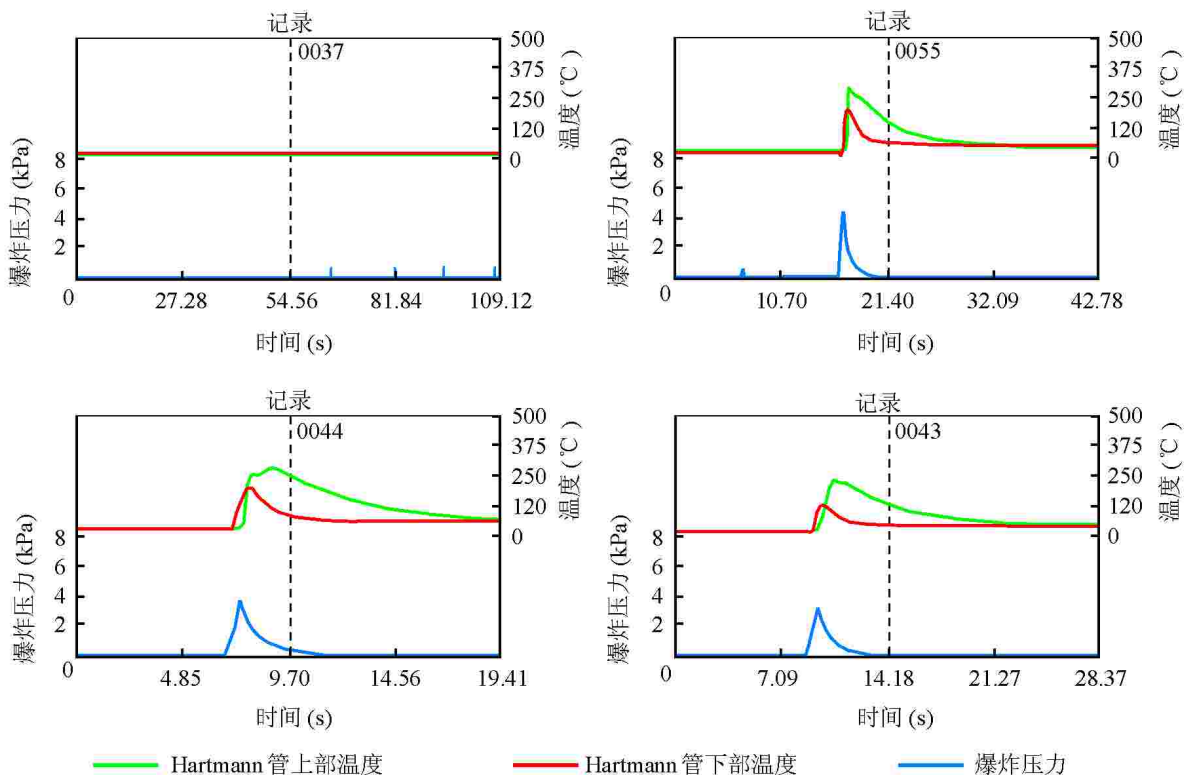


图 2 含 CO_2 天然气爆炸极限部分典型实验数据曲线图

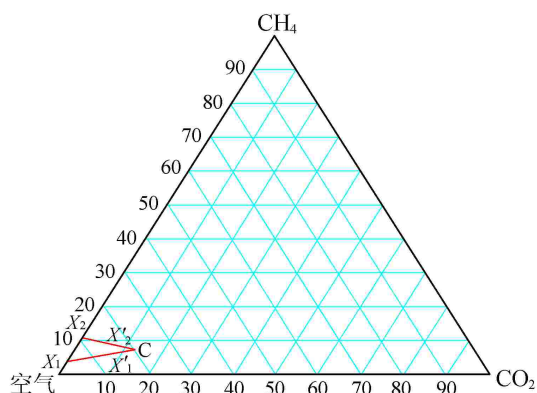


图 3 甲烷、空气及二氧化碳三组分气体爆炸范围图

7.2% (体积分数), 此时 CO_2 的体积分数约为 15.3%, 实验值与文献数值比较接近。

据实验结果可得出: 在含 CO_2 天然气的开发中, 需现场设置 CH_4 、 CO_2 浓度传感器来实时获取数据, 当泄漏天然气与周围空气的混合物中 CO_2 的体积分数超过 13.86% 时, 就不需要考虑此类混合气体的火灾爆炸危险性, 而应更加关注它的高 CO_2 含量产生的窒息危险性。但为确保生产安全, 防止火灾爆炸事故的发生, 应将检测报警的极限浓度适当提高, 建议提高 1.1~1.25 倍。

3 结论与建议

1) 根据实验得到的 CH_4 、 CO_2 及空气 3 组分气体爆炸范围图, 随着 CH_4 中混入 CO_2 量的增加, CH_4 混合气的爆炸下限在上升, 而爆炸上限在下降, 当空气中 CO_2 体积分数为 13.86%, CH_4 体积分数为 7.48% 时, CH_4 在此混合气体中的爆炸上限和下限重合。

2) 当泄漏天然气与周围空气的混合物中 CO_2 体积分数超过 13.86% 时, 应重点考虑 CO_2 的窒息危

害, 而在此浓度以下, 应着重考虑天然气的火灾爆炸危险性。同时, 应考虑一定的 CO_2 浓度控制冗余系数, 避免火灾爆炸危害, 以确保生产安全。建议此系数为 1.25, 即当泄漏天然气与周围空气的混合物中 CO_2 体积分数超过 17.32% 时, 应重点考虑 CO_2 引起的窒息危害, 并为应急人员提供空气呼吸器等救生设备。

3) 对含 CO_2 天然气气藏开发现场进行危险气体监测时, 应同时监测 CH_4 和 CO_2 的浓度。 CH_4 监测仪器报警浓度取爆炸下限的 1/5; 考虑国家对于工作场所 CO_2 浓度的控制要求, CO_2 监测仪器的报警浓度取 1% (体积分数), 由于在生产中要考虑燃爆危险与窒息危险的转换, 建议当 CO_2 的体积分数超过 17.32% 时给出相应报警提示。

参 考 文 献

- [1] 戴金星, 秦胜飞, 陶士振, 等. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质学理论重要进展[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 127-142.
- [2] 赵贤正, 赵政璋, 李景明, 等. 中国陆上天然气资源的特征及发展策略[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 1-5.
- [3] 中华人民共和国国家技术监督局. GB 17820—1999 天然气[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [4] 魏永生, 周邦智, 郑敏燕. H_2 、 CO 、 CH_4 混合气体爆炸极限的多元回归分析[J]. 化学研究与应用, 2004, 16(3): 419-421.
- [5] 胡耀元, 钟依均, 应桃开, 等. H_2 、 CO 、 CH_4 多元爆炸性混合气体支链爆炸阻尼效应[J]. 化学学报, 2004, 62(10): 956-962.
- [6] 伯纳德·刘易斯, 京特·冯·埃尔贝. 燃气燃烧与瓦斯爆炸[M]. 王方, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

(修改回稿时间 2009-04-20 编辑 何 明)