

# 点火位置对密闭容器中的转炉煤气爆燃特性影响

刘启昌<sup>1</sup> 韩 鹏<sup>2</sup> 刘广强<sup>1</sup>

1. 辽宁科技大学土木工程学院 辽宁 鞍山 114000

2. 辽宁科技大学材料与冶金学院 辽宁 鞍山 114000

**摘要:** 本文通过计算流体力学(CFD)的方法, 创建了一个二维封闭空间的物理模型, 用Fluent软件对密闭容器中转炉煤气和空气的充分混合气体的爆炸燃烧过程开展数值模拟研究, 探讨了不同的点火位置对其爆炸燃烧过程有何影响。结果表明: 不同点火位置会对爆炸压力的上升速率和爆炸压力的最大值产生影响, 边角位置点火时爆炸压力上升速率最快, 顶点点火最慢; 边角和中间位置点火时的爆炸压力最大值相同且高于中间位置点火时的爆炸最大压力。

**关键词:** 密闭容器, 煤气爆燃, 数值模拟, 障碍物

## 引言

转炉煤气是一种危险的容易发生爆炸的可燃性气体, 转炉发生爆炸将会对生产的安全和环境产生不可估量的伤害<sup>[1]</sup>。近几年国内外发生转炉爆炸事故屡见不鲜, 事故的原因包括转炉爆炸前的安全检查不严格, 未能及时发现和排除转炉内部可能存在的危险因素; 转炉使用寿命已过长, 疏于维护和检修; 对转炉产生煤气处理和安全操作不规范等, 因此对转炉煤气的燃烧爆炸特性进行研究也包含在可燃性气体爆炸的研究范围之内<sup>[2-4]</sup>。

不管是以提升转炉煤气余热回收利用安全性看, 还是以增加余热回收的效率以及促进转炉炼钢不断发展的方向看, 进行转炉煤气的燃烧爆炸特性研究, 对其不同的影响因素进行实验探讨, 使得能够安全、可靠地回收利用转炉煤气中段温度的热量, 从而使发生转炉煤气爆炸事故的可能性得到降低以及消除, 以及节能减排等方面, 研究转炉煤气的燃烧爆燃特性及其影响因素具有重要的参考价值。

## 1 模型建立

建立一个合理的物理模型是进行数值模拟的关键, 只有物理模型与实际生产相互吻合, 才能够运用模拟对实际问题进行简单化以及合理分析解决问题<sup>[5]</sup>。密闭容器内可燃预混气体的初始状态包括气体的成分、初始温度、初始压力等。这些参数的不同会影响燃烧过程的性质和特征。密闭容器内可燃预混气体的燃烧过程可以分为点火和燃烧两个阶段<sup>[6]</sup>。在点火阶段, 点火源将气体点燃后热量向未燃烧区域传递, 当这一区域中热量达到燃烧所需条件时将开始燃烧。在燃烧阶段, 燃烧反应在气体中持续进行, 并释放大量的热能和燃烧产物, 直至容器中预混气体燃烧完全<sup>[7]</sup>。

转炉煤气在爆炸过程中存在许多化学反应, 能量转

化以及物质转化过程, 所以需要对模型进行假定和简化:

(1) 假设密闭容器中混合气体分布均匀, 同时处于常温常压的静止状态;

(2) 预混气体的爆炸在绝热条件的密闭容器中, 忽略容器和周围环境的能量传递;

(3) 假设密闭容器的壁面为刚性, 预混气体在容器中发生爆炸时与容器壁面无相互作用力。

根据真实生产中的容器尺寸, 设计模拟的模型尺寸为24m × 6m。创建一种结构化的网格形式, 从而能够让计算结果比较准确, 创建大小为3cm的网格, 其总的数量是160000个, 网格质量是1.0。网格示意图如下图1所示。

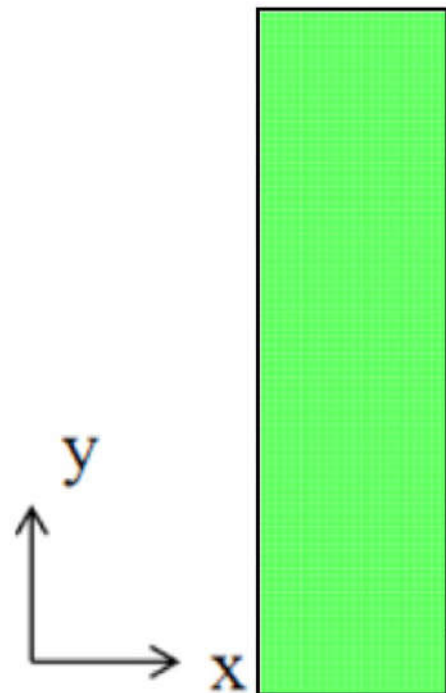


图1 计算区域及网格示意图

模型的四周边界都作为绝热壁面，且热流密度是零，壁面不会滑移。在反应的起始阶段速度为0，未燃烧位置的温度是300K，设置反应压力是1atm，反应进程变量c是0。已经开始燃烧的区域温度是1950K，压力是1atm，反应进程变量c是1。

## 2 模拟结果与讨论

分析图2顶点点火反应进程变量c的变化云图，转炉煤气和空气的预混合气体在密闭容器中开始燃烧时，模拟过程中显示的火焰传播过程清晰地展示了经典“郁金香”火焰的传播的四个流程：在前400ms时，火焰锋面首先以椭球形向周围的未燃烧区发展；在400-700ms内，因为火焰受到了容器两侧壁面的限制，形成接近山字型的火焰前锋，火焰传播速度呈现出了剧烈的提速状态；在700-900ms时间段内，因为火焰发展与壁面接触使得壁面周围的火焰熄灭，火焰锋面呈现出了平面的形式，火焰的传播速度急速降低；在1800ms以后，此阶段中火焰锋面会再次发生变化。随着时间推移，已燃区域的火焰锋面出现了凹陷的情况，也就是形成了tulip火焰。“郁金香”火焰形成的原因。从图中还能够看出，在700 ms之前，流场的所有速度方向都与火焰传播的方向保持一致。在火焰发展至容器两侧壁面时，火焰传播速度降低。同时，流场中的反向气流变多，在容器侧壁形成涡旋，使火焰锋面在传播过程中缓慢变平。反应到900ms时，涡旋处反方向气流对火焰减速作用提升，从而形成了tulip火焰。

对比三个位置点火时爆炸过程的进程变量c变化云图如图2-4所示。能够从图中看出，边角位置点火用时最长为4.0s，其次是顶点位置点火用时为3.7s，中间位置点火用时最短，为3.0s。说明不同的爆炸位置产生的爆炸效果不同，中间位置的爆炸最迅速，对整个密闭空间的伤害可能最大。

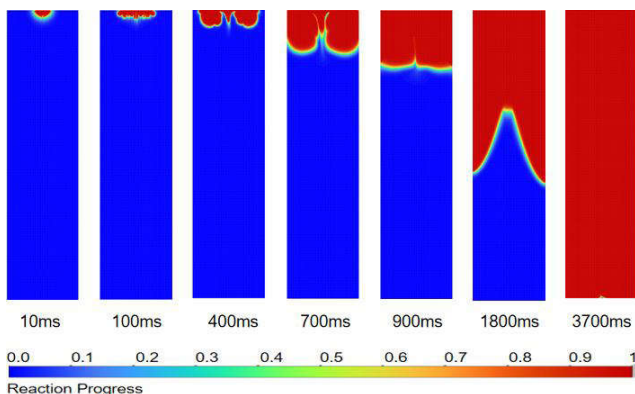


图2 顶点点火反应进程变量c的变化云图

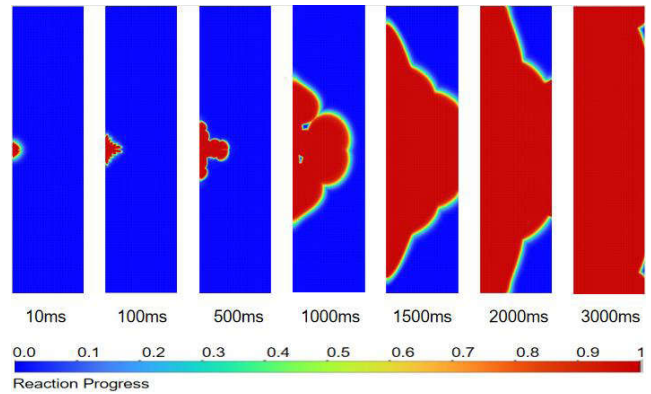


图3 中间点火反应进程变量c的变化云图

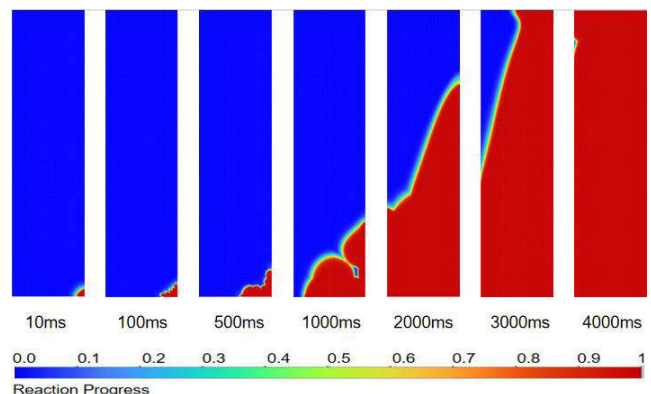


图4 边角点火反应进程变量c的变化云图

由于中间位置点火时，点火源两侧距离容器壁面非常远，而且周围未燃气体范围较大，所以火焰向两侧快速传播，使得燃烧爆炸速度加快。

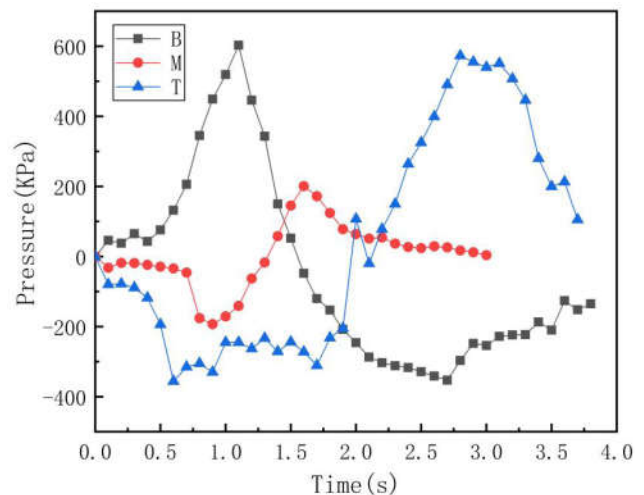


图5 不同位置点火时爆炸压力随时间的变化曲线

如图5所示为三种点火位置爆炸压力随时间的变化曲线。顶点位置点火和边角位置点火时的爆炸压力最大值相同，且大于中间位置点火时的爆炸压力最大值。因为中间位置点火时火焰能够向两边同时扩散，且距离容器上下侧壁很远，使得燃烧产生的高温高压气体可以在容器内部充

分扩散,从而使得容器内部的压力增加得相对较慢,爆炸压力最大值也就相对变小了。在右下角位置点火时,爆炸压力上升的快慢程度要快于顶点位置点火以及中间位置点火。因此通过研究表明,点火位置会影响密闭容器中气体燃烧爆炸的压力上升速率和压力最大值。

### 3 结论

1) 不同点火位置会对爆炸压力的上升速率和爆炸压力的最大值产生影响,边角位置点火时爆炸压力上升速率最快,顶点点火最慢。。

2) 边角和中间位置点火时的爆炸压力最大值相同且高于中间位置点火时的爆炸最大压力。

### 参考文献

[1]夏进军.转炉烟道煤气爆炸事故技术与预防[J].

冶金动力,2013,(10):12-14.

[2]陈先锋.丙烷—空气预混火焰微观结构及加速传播过程中的动力学研究[D].合肥:中国科学技术大学,2007.

[3]王昊平.管道内孔板障碍物对可燃气体爆炸特性的影响机制研究[D].青岛:青岛科技大学,2021.

[4]赵威.管道中可燃气体爆炸动力学特征研究[D].青岛:青岛科技大学,2018.

[5]孙会利.可燃气体/粉尘两相爆炸特性实验研究[D].大连:大连理工大学,2017.

[6]孟伟.管道内预混可燃气体爆炸抑制技术的研究[D].大连:大连理工大学,2005.

[7]张英浩.水平管道内可燃气体爆炸压力研究[D].太原:中北大学,2009.