

文章编号: 1001-1455(2003)01-0078-03

燃料-空气云雾爆轰的直接引爆实验研究*

解立峰, 郭学永, 果 宏, 徐晓峰
(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 在直径 240mm 的立式激波管中环氧丙烷(PO)、正己烷、癸烷分别与空气混合进行了直接起爆, 测定了不同燃料、不同当量比的云雾直接引爆的临界起爆能。实验发现, 当 PO-空气混合物、正己烷-空气混合物及癸烷-空气混合物的当量比分别为 1.05、1.12 及 1.15 时, 其临界起爆能均最小; 三种混合物的可爆下限当量比分别为 0.47(质量浓度 4.23%)、0.75(质量浓度 5.29%)及 0.89(质量浓度 5.8%)。实验表明, 在本实验条件下, 三种燃料与空气混合物的云雾都容易在较大当量比范围内引发爆轰并实现爆轰波稳定传播。

关键词: 爆炸力学; 激波管; 爆炸极限; 燃料-空气混合物; 临界起爆能

中图分类号: O384 国标学科代码: 130°3510 文献标志码: A

1 引 言

燃料空气混合物的爆轰能量巨大, 破坏力强, 所以爆轰研究被摆在突出的位置。临界起爆能和爆炸极限是两相爆轰的两个重要参数。与气相燃料相比, 液体燃料云雾爆轰的临界起爆能和爆炸极限值实测的数据不多。D. C. Bull 等^[1]在 5m³ 塑料袋中充入正己烷与空气混合形成云雾, 用猛炸药起爆的方式引发正己烷云雾爆轰。E. K. Dabora^[2]在截面积 4.13cm × 4.13cm 立式激波管中测量了添加了硝酸正丙酯和硝酸异丁酯敏化剂的煤油-空气混合物的爆炸下限浓度。Ram Bar-Or^[3]在扇形激波管中研究了癸烷-富氧气混合物、癸烷-空气混合物的爆轰引发过程。到目前为止, 对 PO、正己烷、癸烷三种燃料与空气混合物云雾爆轰的临界起爆能和爆炸极限还没有一个系统的研究

本工作较为系统地研究了立式激波管中三种燃料(PO、正己烷和癸烷)与空气混合物的云雾爆轰性能, 得到了一些有价值的结果。

2 实验装置及实验条件

立式激波管的实验装置如图 1 所示。管体总长 5.4m, 内径 200mm, 在管体两侧间隔 0.35m 交错地布置了 14 个喷雾接管, 喷嘴直径为 310 μ m, 形成直径约为 400 μ m 液滴云雾体系。沿管体两侧间隔 0.5m 对称地分布了 6 个 Kistler 公司生产的石英压电压力传感器, 以测量云雾的爆轰参数。喷雾系统由压缩气瓶、气室、电磁阀、单向阀、喷雾室和喷头组成。信号记录系统由电荷放大器(5358 型)、瞬态波存仪(JV 5201 型)、微机及控制系统组成。

全部实验均用 8 号雷管引爆, 实验初始压力为一个大气压, 温度 298K。在激波管实验中, 起爆药柱可看作点爆源, 爆炸产生球面波, 由于本实验中所用管径与燃料

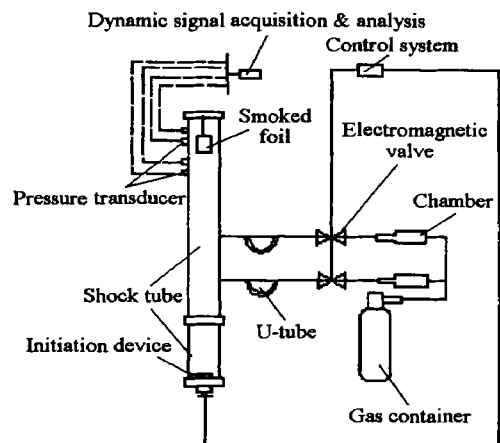


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Experiment set-up

* 收稿日期: 2001-10-08; 修回日期: 2001-12-25

基金项目: 北京理工大学爆炸灾害预防与控制国家重点实验室开放基金项目

作者简介: 解立峰(1965—), 男, 博士, 副研究员。

胞格尺寸^[4]之比远大于 10, 因而可作平面波近似。

3 实验结果与讨论

3.1 爆轰极限

PO 是一种含氧的液体含能材料, 在本实验条件下, 测得其爆轰下限当量比为 0.47 (质量浓度为 4.23%)。在实验的当量比范围内 (0.47 ~ 3.4), PO 与空气混合物均达到爆轰, 这说明 PO 有较宽的爆轰极限。但由于受实验条件的限制, 未得到该燃料的爆轰上限。

实验测得正己烷爆轰下限当量比为 0.75 (质量浓度为 5.29%)。这个值与 D. C. Bull 等^[1]测得的当量比 (0.8) 比较接近。

癸烷常温下是液态, 挥发性低, 其与空气形成混合物可看成纯液滴云雾, 实验测得其爆轰下限当量比为 0.89 (质量浓度为 6.26%)。在实验的当量比范围内 (0.89 ~ 3.61), 癸烷与空气的混合物均达到爆轰, 这说明癸烷的爆轰极限范围较宽。

3.2 爆轰压力

表 1 为不同位置 (2 ~ 7 测点距起爆点距离分别为 2.2、2.7、3.3、3.8、4.3、4.8 m) 传感器测出的环氧丙烷云雾爆轰压力 $p_2 \sim p_7$ 。其中 ϕ 为燃料当量比。由表 1 可知, 当量比为 1.05 时, PO-空气混合物的爆轰压力最大。

表 1 PO 云雾的爆轰压力

ϕ	MPa						平均压力
	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	
0.47	1.89	1.84	1.76	1.79	1.77	1.78	1.81
0.94	2.17	1.95	2.05	2.06	2.10	2.14	2.07
1.05	2.53	2.42	2.39	2.41	2.41	2.39	2.43
1.38	2.33	2.36	2.31	2.35	2.27	2.25	2.31
1.61	2.46	2.36	2.34	2.25	2.24	2.05	2.28

3.3 爆轰速度

表 2 为不同当量比时, 根据爆轰波到达传感器所需时间计算出的 PO 云雾和癸烷云雾的爆轰波传播速度。可以看出, 2、3 测点传感器由于距爆心较近, 该处燃料还受爆源爆炸波的影响, 爆轰波传播不十分稳定。随着距离增大, 云雾爆轰受到爆源影响越来越弱, 3 ~ 4 间爆轰已基本稳定。但 v_{6-7} 较小, 这可能是由于液滴沉降使该区云雾浓度稍低造成的。

表 2 PO 云雾和癸烷云雾的爆轰波传播速度

Table 2 Velocities of detonation wave in the PO spray in air and in the decane spray in air

ϕ	The PO spray				The decane spray				m/s
	v_{2-3}	v_{3-4}	v_{6-7}	平均速度	ϕ	v_{2-3}	v_{3-4}	v_{6-7}	
0.47	1489	1415	1355	1419	1.15	1705	1675	1603	1661
0.94	1656	1467	1637	1587	1.88	1695	1647	1591	1644
1.05	1866	1737	1766	1790	2.49	1677	1586	1516	1593
1.38	1665	1656	1558	1626	3.61	1507	1403	1384	1431
1.61	1706	1618	1679	1668					

3.4 临界起爆能

三种混合物的临界起爆能 E_c 与当量比 ϕ 的关系如图 2 所示。可以看出, PO-空气混合物的临界起爆能与当量比的关系是一“U”形曲线, 临界起爆能的最低点并不在当量比为 1 处, 而是略大于 1, 为 1.05; 癸烷临界起爆能的最低点的当量比为 1.15; 正己烷临界起爆能的最低点的当量比为 1.12。与癸烷相比, PO 的临界起爆能要小的多。因为 PO 常温下的饱和蒸汽压高, 因此在激波阵面到达以前, 系统中就有相当高浓度的燃料蒸汽压存在, 当燃料蒸汽浓度高于爆轰极限时, 整个过程就由气相反应控制, 而低挥发性燃料癸烷与空气的混合物, 其起爆过程包括了诸多物理和化学过程, 如燃料液滴在激波阵面

后的迅速破碎、蒸发以及随后的气相化学反应诱导期, 因而其总诱导期要长很多。

4 结 论

通过对环氧丙烷(PO)、正己烷和癸烷的爆轰极限、起爆能、爆压和爆速的测定, 可以看出这些燃料与空气混合物的临界起爆能与燃料当量比成“U”形曲线关系; 三者相比, 环氧丙烷的临界起爆能最小, 正己烷次之, 癸烷最大。

PO 云雾的爆轰下限当量比为 0.47(质量浓度为 4.23%), 正己烷云雾爆轰下限当量比为 0.75(质量浓度为 5.29%), 癸烷云雾的爆轰下限当量比为 0.89(质量浓度为 6.26%); PO 的爆轰极限范围宽。

PO-空气当量比接近于 1 时的环氧丙烷的爆轰压力为 2.43MPa, 爆速 1790m/s; 随当量比的增大, 爆压和爆速都趋于稳定值, 可以看出过量的燃料对于爆轰波的强度并没有多大贡献。

参考文献:

- [1] Bull D C, Atkinson R, Shuff P J. Detonation of unconfined fuel aerosols[J]. Progress in Astronautics and Aeronautics, 1981, 75: 48-60.
- [2] Dabora E K. Effects of additives on the lean detonation limit of kerosene in air[J]. DAAG-29-78-G0074, 1978.
- [3] Ram Bar-Or. Experimental study of cylindrical, two phase detonation in monodisperse sprays[D]. Michigan: The University of Michigan, 1979.
- [4] 解立峰. 云雾爆轰测试系统设计和云雾爆轰特性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2000.

Experimental study on the direct initiation of detonation in fuel-air sprays

XIE Li-feng, GUO Xue-yong, GUO Hong, XIE Xiao-feng

(School of Chemical Engineering, NUST, Nanjing 210094, Jiangsu, China)

Abstract: The direct initiation of detonation in a propylene epoxide spray in air, a hexane spray in air and a decane spray in air has been studied respectively using a vertical shock tube with a diameter of 240mm. The critical energy for the direct initiation of detonation has been measured for the three fuel-air mixtures at different equivalence ratios. Under the conditions of the experimental system, there is minimum critical initiation energy for propylene epoxide-air at equivalence ratio of 1.05, the hexane-air at equivalence ratio of 1.12, and the decane-air at equivalence ratio of 1.15 respectively. The lean detonation limits for propylene epoxide spray in air, for hexane spray in air and for decane spray in air are determined respectively to be 0.47 (4.23% fuel by mass); 0.75 (5.29% fuel by mass); 0.89 (5.8% fuel by mass). Experiment results show that detonation is easily initiated and propagates steadily in the three fuel-air mixtures of a wider equivalence ratio range in the vertical shock tube with a diameter of 240mm.

Key words: mechanics of explosion; shock tube; detonation limit; fuel-air mixture; critical initiation energy

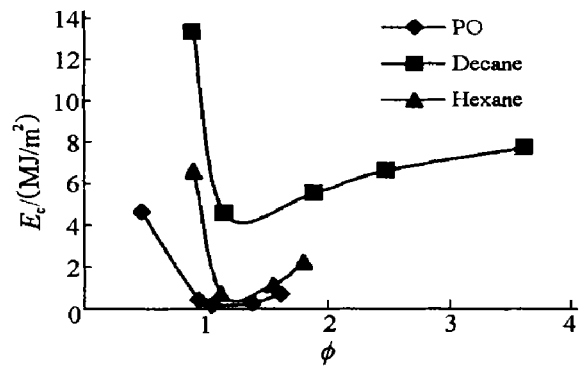


图 2 临界起爆能与当量比关系曲线
Fig.2 Variation of critical initiation energy of fule spray in air with equivalence ratio