

一种测试带压条件下 MON-1 饱和蒸汽压的新方法

李进华, 雷 永, 王乃娟
(北京航天试验技术研究所 100074)

摘 要: 为了解决采用一般方法不能测定带压条件下液体物质饱和蒸汽压的难题, 研究、开发出一种新的测试方法。设计、加工了试验装置, 实测得到一定温度和压力条件下 MON-1 的饱和蒸汽压值, 并与拟合方程计算值和相关文献数据进行比较, 结果表明该测试方法可行、精确、可靠。

关键词: MON-1; 饱和蒸气压; 测试方法

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2013) 02-0079-04

New method to test bubble point pressure of MON-1 under pressure condition

LI Jin-hua, LEI Yong, WANG Nai-juan

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In order to resolve the problem that common methods cannot test bubble point pressure of liquid substance under pressure condition, a new testing method was studied and developed, and an experimental equipment for testing the bubble point pressure of MON-1 in different temperature was fabricated. The saturated vapor pressure value was obtained under the certain conditions of temperature and pressure. It was compared with literature data and the calculated value obtained by fitted equation. The result indicates that the new testing method is feasible, accurate and credible.

Keywords: MON-1; saturated vapor pressure; testing method

0 引言

绿色四氧化二氮是在液体四氧化二氮中加入一定量的一氧化氮构成的呈绿色的氧化氮混合

物, 其中一氧化氮含量标称值为 0.6%~1.0%的称为 MON-1。绿色四氧化二氮 MON-1 一般作为氧化剂用于姿态控制发动机、小型推进系统、航天飞机轨道机动系统和反作用控制系统中。

MON-1 推进剂加注到卫星贮箱后, 贮箱内

收稿日期: 2012-09-18; 修回日期: 2012-11-23

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目 (2011JY01)

作者简介: 李进华 (1980—), 男, 高级工程师, 研究领域为新型液体推进剂

氮气垫的压力变化较大,且没有规律性,难以准确控制发射前贮箱内推进剂的状态。为了精确评定发射前贮箱内 MON-1 的量和状态,非常有必要对相应条件下推进剂的饱和蒸汽压等参数进行研究。

一般来讲,液体物质的饱和蒸汽压测定有静态法、动态法和气体流动法三种。其中,静态法是在某一温度下直接测量饱和蒸汽压,适用于测定饱和蒸汽压较大的物质;动态法和气体流动法则主要适用于测定饱和蒸汽压较小的物质。但对于封闭容器内带压条件下液体物质的饱和蒸汽压测试,以上方法均不可行。本文自主研究开发出一种新的测试方法,设计加工了一套饱和蒸汽压测试装置,测定了一定温度、氮气垫压力条件下 MON-1 的饱和蒸气压。

1 测试原理及方法

1.1 测试原理

在一定温度和氮气垫压力条件下,先使氮气在 MON-1 液相中溶解饱和,且氮气与 MON-1 蒸汽在气相中混合均匀并达到平衡,然后对气体组分取样,采用氧化吸收方法将采集出混合气体样品中的 N_2O_4 和 NO 完全转化为 NO_3^- 使其成为水溶液,参考 HJ/T 42-1999 《固定污染源排气中氮氧化物的测定:紫外分光光度法》,先按照标准绘制样品浓度-吸光度关系的标准曲线,再按标准方法测定样品吸光度,根据测得的吸光度值在标准曲线上查得样品中 NO_3^- 离子的浓度值,再根据公式

$$n_{MON-1} = \frac{c_{NO_3^-} \times 100 \times \frac{100}{2} \times 10^{-6}}{92.016} = \frac{c_{NO_3^-} \times 0.005}{92.016}$$

计算得到 MON-1 的摩尔量 n_{MON-1} 。

混合气样中的氮气则被分离出来通过测量体积算出氮气的量:取样器取完气体样品后,与吸收液罐相连接,待气样中的 N_2O_4 和 NO 被完全吸收后,将取样器连接精密气体体积计量器,打开阀门放出氮气,并保持体积计量器内外液面相平,以排除外界压力的影响,然后读取氮气体积

V_{He} ,由于此时氮气压力为常压,可近似视其为理想气体,按照 $pV=nRT$ 方程可计算得到氮气的摩尔量。

根据公式 $p_{MON-1} = p_{总} \times \frac{n_{MON-1}}{n_{MON-1} + n_{He}}$ 算出混合气

体样品中 MON-1 的分压,即为 MON-1 在该温度和压力条件下的饱和蒸汽压。

1.2 试验装置

主要试验装置包括:MON-1 样品贮存、氮气饱和和溶解试验装置,恒温水浴系统,压力数据采集系统,气体氧化吸收处理装置,紫外/可见光光度计,气体取样器等。

图 1 和图 2 列出了部分试验装置的示意图。

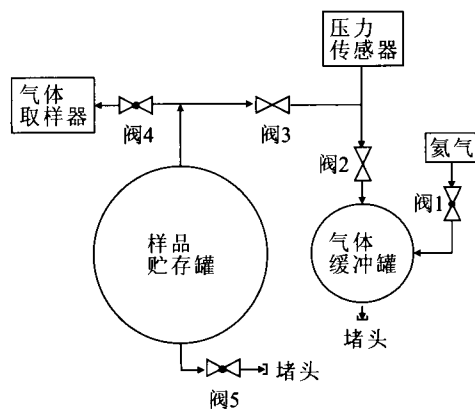


图 1 氮气饱和和溶解试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of saturated helium dissolving experimental device

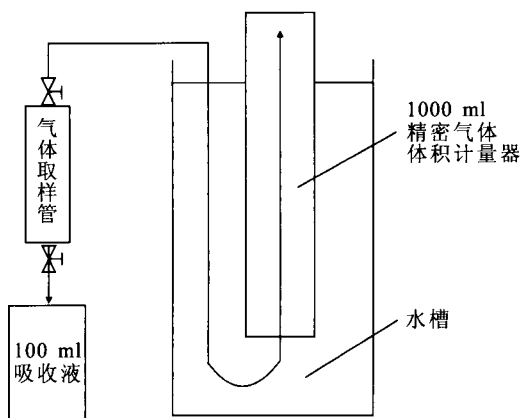


图 2 气体氧化吸收处理装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of disposing device to oxidize and absorb gas

1.3 测试步骤

- 1) 对图 1 所示的试验装置进行清洗、气密性检查, 然后连接试验装置, 采用氦气进行气体置换, 关闭所有阀门;
- 2) 对试验装置抽真空, 然后精确加注定量的 MON-1 液体推进剂;
- 3) 增压氦气, 装置恒温, 振荡装置使氦气在 MON-1 中溶解饱和, 至罐内气相压力保持稳定, 读取、记录压力值;
- 4) 对气体组分取样, 采用吸收液对 N_2O_4 、NO 气体进行氧化吸收, 采用分光光度法测定吸收液中 NO_3^- 的浓度, 计算得到 MON-1 的摩尔量 $n_{\text{MON-1}}$;
- 5) 采用量气法测量取样器中分离出的氦气量, 计算得到氦气摩尔量;
- 6) 根据算得的混合气样中 MON-1 的分压, 即 MON-1 在此氦气垫压力和温度下的饱和蒸汽压值;

7) 改变测试条件, 测定得到不同温度和压力条件下的 MON-1 饱和蒸汽压数据。

2 结果及讨论

根据测试方法及步骤, 测定了 15 ℃, 20 ℃, 25 ℃ 温度条件和 1.1 MPa, 1.3 MPa, 1.5 MPa, 1.7 MPa 氦气垫压力下的 MON-1 饱和蒸汽压值, 并根据测得数据绘制数据曲线, 拟合得到了 MON-1 饱和蒸汽压值与温度、氦气垫压力的关系曲线方程; 美国相关文献中给出了 4 ~11 ℃ 温度条件下 MON-1 饱和蒸汽压值与氦气垫压力关系的计算公式, 根据文献公式计算得到了 5 ℃ 和 10 ℃ 温度时不同氦气垫压力下的 MON-1 饱和蒸汽压值。

表 1 中列出了不同温度和氦气垫压力下的 MON-1 饱和蒸汽压实测值、拟合方程计算值和文献公式计算数值。

表 1 MON-1 饱和蒸汽压的实测值、拟合方程计算值与文献值比较
Tab. 1 Comparison of tested data, calculated data and literature data of bubble point pressure of MON-1

气垫压力	MPa									
	温度/℃									
	5		10		15		20		25	
	文献值	拟合方程 计算值	文献值	拟合方程 计算值	实测值	拟合方程 计算值	实测值	拟合方程 计算值	实测值	拟合方程 计算值
1.1	0.062 1	0.062 3	0.078 3	0.077 9	0.097 2	0.096 5	0.116 8	0.116 5	0.139 4	0.136 5
1.3	0.063 6	0.063 5	0.079 8	0.080 1	0.099 4	0.098 4	0.117	0.118 4	0.140 0	0.138 4
1.5	0.064 9	0.065 3	0.081 2	0.081 0	0.102 3	0.100 3	0.118 8	0.120 3	0.142 1	0.140 3
1.7	0.065 7	0.066 1	0.082 4	0.082 7	0.103 5	0.102 2	0.121 1	0.122 2	0.144 3	0.142 2

从表 1 中可以看出, 不同温度、氦气垫压力下的 MON-1 饱和蒸汽压实测值与按拟合方程计算的值得比较, 误差在±1.5%内; 5 ℃ 和 10 ℃ 下的拟合方程计算值与相关文献中给出的公式计算值得比较, 误差在±0.6%内, 说明拟合方程具有较高的精确度、可靠度, 可作为 MON-1 在一定温度、

气体压力条件下的计算公式使用。

3 结论

- 1) 根据实测数据, 拟合得到的 MON-1 饱和蒸汽压与温度、气垫压力的关系方程, 测量误差

小,具有较高的精确度、可靠度,说明采用的测试方法可行、精确、可靠,可作为其它液体物质在带压条件下饱和蒸汽压测试的参考方法。

2) 运用该测试方法可得出,在一定温度、气体压力条件下,MON-1 的饱和蒸汽压值随温度和气垫压力升高而升高。

3) 采用该方法测试 MON-1 的饱和蒸汽压,可能产生误差的原因是:氦气在水中有一定程度的溶解,可能会对测试结果造成一定影响,但氦气压 15 ℃, 20 ℃和 25 ℃在水中的溶解度分别只有 0.88, 0.86 和 0.85 ($\times 10^{-4}$ ml/ml),对测定结果影响很小,可忽略不计。

参考文献:

- [1] 李亚裕. 液体推进剂[M]. 北京: 宇航出版社, 2011.
- [2] 才满瑞, 王向阳, 刘兴武, 等. 国外航天运载器的发展状况、发展趋势及采用的关键技术[J]. 导弹与航天运载技术, 1998 (3): 16-18.
- [3] 庞建国, 刘小平, 邵永平, 等. 推进剂加注后末修贮箱压力变化机理[J]. 火箭推进, 2005, 31(5): 15-17.
- [4] 陈阳, 张振鹏, 瞿骞, 等. 液体火箭发动机试验台贮箱增压系统数值仿真[J]. 航空动力学报, 2007, 22(1): 96-101.
- [5] 李进华, 孙兆懿. 四氧化二氮胶体的饱和蒸汽压测试及分析[J]. 火炸药学报, 2007, 30(1): 74-77.
- [6] PONNER S S. The chemistry of propellants[M]. London: Pergamen Prees, 1960.
- [7] SMITH I D. The determination of the helium saturation level of monomethyl hydrazine and MON-3 nitrogen tetroxide, NASA-TM-101262 [R]. USA: NASA-TM, 1979.
- [8] 潘玉竹, 余永刚, 张琦. AF-315 液体单元推进剂高压燃速的实验研究[J]. 弹道学报, 2012, (2): 79-82.
- [9] 李健, 周文禄. 推力室气动加热及结构传热耦合分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2012, (3): 18-22.
- [10] 李青, 王天舒, 马兴瑞. 充液航天器液体晃动和液固耦合动力学的应用[J]. 力学进展, 2012, (4): 472-481.
- [11] TIM Edwards. Liquid fuels and propellants for aerospace propulsion:1903~2003. Journal of Propulsion and Power, 2003, 19(6): 28-32.
- [12] AMES D L, TURNER D W. The static method studies on the vapor pressure of dinitrogen tetroxide and dinitrogen pentoxide[J]. Physical and Chemical Sciences, 1976, 348 (1653): 89-94.

(编辑: 王建喜)

(上接第 78 页)

- [3] 石井勇五郎. 无损检测学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [4] 仲维畅. 方钢纵向磁化时各棱上的磁荷线密度[J]. 无损检测. 2002, 24(8): 332-335.
- [5] 宛德福, 罗世华. 磁性物理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.
- [6] 林俊明, 林春景, 林发炳, 等. 基于磁记忆效应的一种无损检测新技术[J]. 无损检测, 2000, 22(7): 297-299.
- [7] 王丹, 董世运, 徐滨士, 等. 应力集中部位的金属磁记忆检测研究[J]. 失效分析与预防, 2007, 2(2): 12-16.
- [8] 黄小忠. 短切磁性碳纤维泡沫复合材料吸波性能研究[J]. 2010, 41(5): 15-18+26.

(编辑: 王建喜)