

## He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 气体增益的实验研究

马媛媛<sup>1</sup> 刘建北<sup>1,2;1)</sup> 陈昌<sup>1</sup> 陈元柏<sup>1</sup> 金艳<sup>1</sup> 刘荣光<sup>1</sup>  
马骁妍<sup>1</sup> 唐晓<sup>1</sup> 王岚<sup>1</sup> 徐美杭<sup>1</sup> 朱 ■ 萱<sup>1</sup> 朱启明<sup>1</sup>

1(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2(中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 利用正比计数管测量了氦基混合气体 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 在 <sup>55</sup>Fe 5.9keV X 射线下的气体增益, 并对气体增益随高压、温度、气压及气体比分的变化作了研究. 作为比较还对 He/CH<sub>4</sub>(60/40) 及 Ar/CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>(89/10/1) 混合气体进行了相应的测量.

**关键词** 氦基混合气体 气体增益 高压 温度 气压 气体比分

### 1 引言

北京正负电子对撞机(BEPC)及其探测器北京谱仪(BES)将升级为 BEPC II/BES III<sup>2),3)</sup>. BEPC II 有很高的亮度, BES III 具有很高的测量精度. 漂移室是 BES III 最重要的子探测器之一, 用于测量正负电子对撞产生的末态带电粒子的径迹和动量. 为满足 BES III 高精度的要求, 漂移室必须要大幅度提高动量分辨率(0.5% @ 1GeV/c). BEPC 能区(2—5GeV)正负电子对撞产生的大多数次级粒子的动量小于 1GeV/c, 多次库仑散射是限制动量测量的一个主要因素. 为减小多次库仑散射提高动量分辨, BES III 漂移室将采用低质量的氦基混合气体 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 作为工作气体<sup>3)</sup>.

漂移室利用电子在工作气体中的漂移和倍增进行工作, 气体增益将直接影响漂移室的性能. 气体增益受多种因素影响: 漂移室信号丝高压的变化直接影响气体增益; 气体温度的变化也将导致气体增益的涨落; 漂移室采用流气式供气, 大气压力变化也是影响气体增益的重要因素; 气体流量的变化将会引起气体比分的变化, 最终也对气体增益产生影响. 我

们对高压、温度、气压以及气体比分等因素对 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 混合气体气体增益的影响进行了实验研究, 此外, 作为比较还对 He/CH<sub>4</sub>(60/40) 混合气体和 Ar/CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>(89/10/1) 混合气体(以下称为 HRS 气体)作了同样的研究. 本文报道了以上实验研究的主要结果, 包括气体增益随高压的变化, 在不同气压下气体增益随温度的变化, 气体增益随气体比分的变化等.

### 2 实验装置和方法

实验装置如图 1 所示. 正比计数管阴极为内直径 32mm 的黄铜管, 阳极丝为直径 25μm 的镀金钨丝. 在正比管的中心位置开有直径为 2.0mm 的穿孔, 并用厚为 10μm 的 Mylar 膜覆盖. 铜管上有固定放置放射源的支架, 支架开孔对准正比管的小孔, <sup>55</sup>Fe 放射源置于支架上, 5.9keV X 射线经小孔照射正比计数管. 正比管阳极丝一端加正高压, 高压系统为 CAEN SY127. 阳极丝信号由另一端引出, 经电荷灵敏前送入谱放大器 ORTEC672 进行成形和放大, 最后送入多道分析器(TRUMP 2k ORTEC)进行幅度分析, 并由计算机记录. 电荷测量系统通过 OR-

2004-09-24 收稿

1) E-mail: liujb@mail.ihep.ac.cn

2) BEPC II 设计报告, 2002.

3) BES III 设计报告, 2004.

TEC448 脉冲发生器进行刻度.用多道测量出 X 射线能谱,对能谱进行拟合得到能谱峰位,结合刻度结果,便能得到阳极丝信号的电荷量  $Q_i$ . X 射线在混合气中产生的初级电离电子数

$$N_p = \sum_i p_i E_X / W_i^{[1]}, \quad (1)$$

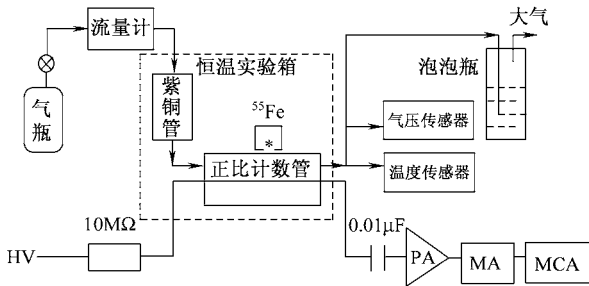


图 1 实验装置示意图

→ 为气体流向; — 为电荷测量系统.其中 HV 为高压电源, PA 为电荷灵敏前置放大器, MA 为线性放大器, MCA 为多道分析器.

其中  $p_i$  为混合气中第  $i$  种气体组分的比例,  $E_X$  为 X 射线能量,  $W_i$  为第  $i$  种气体中产生一对初级电子 - 离子对平均所需的能量.故气体增益

$$G = Q_i / (eN_p), \quad (2)$$

其中  $e$  为电子电荷.

恒温实验箱温度在 5—40℃ 内连续可调,10 个小时内温度波动小于  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .为使通入正比管的气体与实验箱内的温度达到热平衡,在正比管的气体入口端接上一根 4m 长的紫铜管,把它与正比管一起置于恒温实验箱内.在正比管的气体出口处装有温度探头,测量精度为  $0.1^\circ\text{C}$ .

正比管内部气体压力等于大气压力加上泡泡瓶内硅油液柱产生的压力.利用改变硅油液面高度获得所需的压力.本实验的压力调节范围选在 99.5—102.3kPa.气压传感器接在正比管的气体出口端,其测量精度为  $0.1\text{kPa}$ .利用标准大气压计对气压传感器的零点进行了校正.

实验中  $\text{He}/\text{C}_3\text{H}_8$  (60/40) 混合气体由质量流 Model 247c 配成,  $\text{He}/\text{CH}_4$  (60/40) 和 HRS 气体采用预混合好的瓶装气体.

### 3 实验结果

#### 3.1 气体增益随高压的变化

气体增益由阳极丝表面电场强度决定,而表面电场强度直接决定于阳极丝所加的高压.图 2 给出

了各种气体的增益随阳极丝高压的变化.可以看出气体增益与阳极丝高压近似有指数关系,所以气体增益对高压的变化非常敏感;对于  $\text{He}/\text{C}_3\text{H}_8$  (60/40) 当电压超过 2100V 后出现了饱和效应.

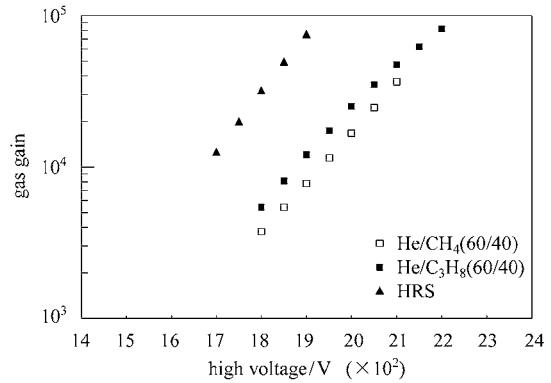


图 2 气体增益随阳极丝高压的变化

为了将实验结果运用于实际的漂移室,研究了气体增益与阳极丝线电荷密度的关系.阳极丝线电荷密度为

$$\lambda = C_\lambda V = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(b/a)} V, \quad (3)$$

其中  $V$  为阳极丝高压,  $b$  为正比管阴极半径,  $a$  为阳极丝半径,  $\epsilon_0$  为真空中介电常数.图 3 显示了各种气体的增益与阳极丝线电荷密度的关系,其中线电荷密度已用  $2\pi\epsilon_0$  归一化.对实验数据按

$$\ln G = A + k\lambda^{[2]}, \quad (4)$$

进行参数化,其中  $A$  和  $k$  为拟合参数.图 3 给出了各种气体的  $k$  拟合值.由(3)和(4)可以得出

$$\frac{\Delta G}{G} = k\lambda \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = k\lambda \frac{\Delta V}{V}, \quad (5)$$

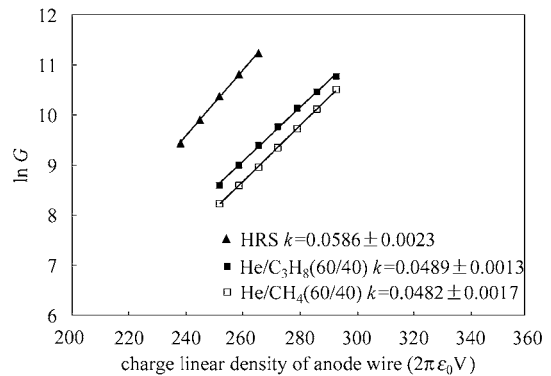


图 3 气体增益与阳极丝线电荷密度的关系

也即气体增益的相对变化是高压相对变化的  $k\lambda$  倍.当  $G \sim 3 \times 10^4$  时各种气体的  $k\lambda$  值见表 1.

表1 各种气体的kλ值(G~3×10<sup>4</sup>)

混合气体	He/C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (60/40)	He/CH <sub>4</sub> (60/40)	HRS
λ/2π ε <sub>0</sub> V	283	290	250
kλ	13.8±0.4	14.0±0.5	14.7±0.6

### 3.2 温度、气压对气体增益的影响

在不同温度下测量了各种气体的增益随气压的变化,结果如图4所示.可以看出气体增益在气温一定时随气压的升高而减小,在气压一定时随气温的升高而增大.以22℃,101.3kPa为标准工作条件,得到气体增益对气体温度和气体压力的相对变化系数,见表2.

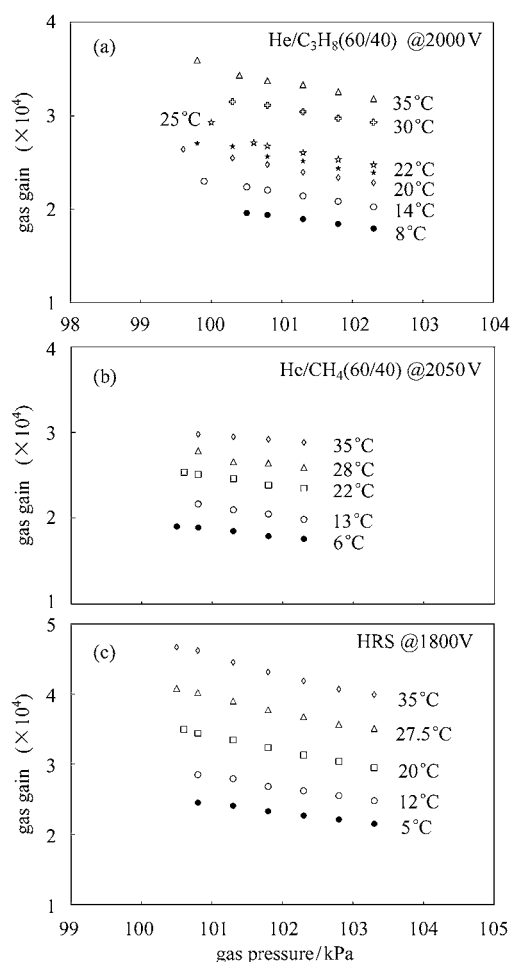


图4 温度、气压对气体增益的影响

(a) He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40), 2000V; (b) He/CH<sub>4</sub>(60/40), 2050V;  
(c) HRS, 1800V.

表2 各种气体的增益温度及气压系数

混合气体	He/C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (60/40)	He/CH <sub>4</sub> (60/40)	HRS
增益温度系数(%/℃)	1.97±0.24	1.54±0.18	1.91±0.26
增益气压系数(%/kPa)	-5.2±2.5	-4.5±2.7	-5.8±2.3

### 3.3 气体增益与气体密度的关系

根据Diethorn公式<sup>[3]</sup>,气体增益可表达为

$$\ln G = \frac{\ln 2 \cdot V}{\ln(b/a) \cdot \Delta U} \ln \frac{V}{\ln(b/a) \cdot a \cdot E_{\min}(\rho_0) \cdot (\rho/\rho_0)}, \quad (6)$$

其中ΔU为产生一个电离电子所需的平均电位差,ρ为气体密度,ρ<sub>0</sub>为所选的标准工作条件下的气体密度,E<sub>min</sub>为电子倍增所需的最小电场强度,是气体密度的函数,其他参数的意义同前.由公式(6)可知温度气压对气体增益的影响可归结为气体密度对气体增益的影响.用公式(6)对2.2节中的实验数据进行拟合,拟合参数为

$$\begin{aligned} P_0 &= \ln E_{\min} \\ P_1 &= 1/\Delta U \end{aligned} \quad (7)$$

拟合结果如图5所示.利用拟合得到的P<sub>0</sub>,P<sub>1</sub>值可以求出气体的ΔU和E<sub>min</sub>,具体结果见表3.

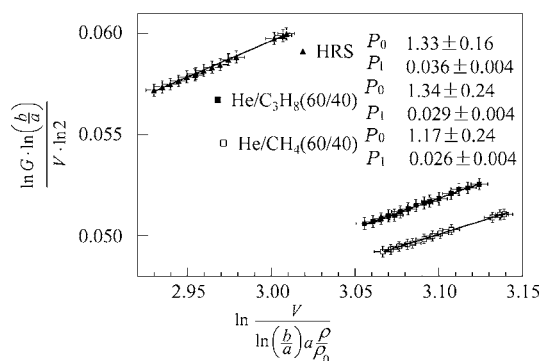


图5 气体增益与气体密度的关系

表3 各种气体的ΔU和E<sub>min</sub>值

混合气体	He/C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (60/40)	He/CH <sub>4</sub> (60/40)	HRS
ΔU/V	34±5	38±5	28±3
E <sub>min</sub> (kV/cm)	38±10	32±8	38±6

### 3.4 气体比相对气体增益的影响

在高压为2000V,温度为22℃,气压为101.3kPa的条件下,改变He+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>混合气体中气体比分,测量了气体增益随氦气比的变化.图6为测量结果.

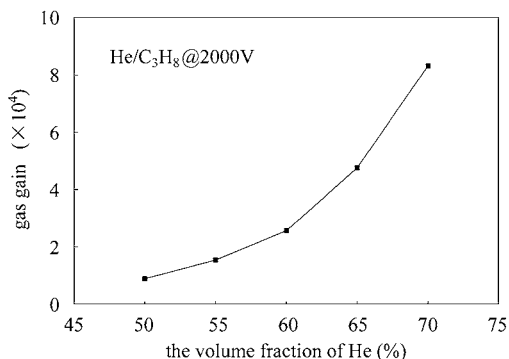


图6 氦气比相对气体增益的影响

由图可知: He + C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 混合气体的气体增益随着氦气比分的增加而增加, 而且随着比值的不断增大, 气体增益增加速度加快. 在 He 气比分超过 60% 时, 其比分每改变 5%, 气体增益增加  $2 \times 10^4$  左右.

## 4 结语

氨基混合气体 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 是 BES III 漂移室的候选工作气体. 利用正比计数管测量了 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 在 <sup>55</sup>Fe 5.9keV X 射线下的气体增益, 并对气体增益随高压、温度、气压及气体比分的变化做了研究. 作为比较还对 He/CH<sub>4</sub>(60/40) 及 Ar/CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>(89/10/1) 混合气体进行了测量.

氨基混合气体的工作电压比氩基混合气体高. 利用阳极丝线电荷密度将实验测量结果与真实漂移室联系起来. 在 BES III 漂移室实际工作条件 ( $G \sim 3 \times 10^4$ ) 下 He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 气体增益的相对变化约为信号丝高压相对变化的  $(13.8 \pm 0.4)$  倍.

气体增益在气温一定时随气压的升高而减小, 在气压一定时随气温的升高而增大. 气压及温度对气体增益的影响可归结为气体密度对气体增益的影响. 对实验数据按 Diethorn 公式进行拟合得到: He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) 的平均电离电位为  $(34 \pm 5)$  V; 最小电离电场强度为  $(38 \pm 10)$  kV/cm.

气体增益对氦气比分十分敏感, 因此在漂移室的实际运行过程中, 必须严格控制工作气体的比分.

## 参考文献 (References)

- 1 Sauli F. Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers: CERN 77-09. 1977
- 2 LIU Jian-Bei, CHEN Yuan-Bo, CHEN Chang. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2003, 23(6): 497-501 (in Chinese)  
(刘建北, 陈元柏, 陈昌. 核电子学与探测技术, 2003, 23(6): 497-501)
- 3 Diethorn W. A Methane Proportional Counter System for natural radio-carbon measurements: USAEC Report NY06628. 1956

## Experimental Study of the Gas Gain of He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40)

MA Yuan-Yuan<sup>1</sup> LIU Jian-Bei<sup>1,2;1)</sup> CHEN Chang<sup>1</sup> CHEN Yuan-Bo<sup>1</sup> JIN Yan<sup>1</sup> LIU Rong-Guang<sup>1</sup>  
MA Xiao-Yan<sup>1</sup> TANG Xiao<sup>1</sup> WANG Lan<sup>1</sup> XU Mei-Hang<sup>1</sup> ZHU Min-Xuan<sup>1</sup> ZHU Qi-Ming<sup>1</sup>

1(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

2(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Using a proportional tube, the gas gain of the helium-based gas mixture He/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(60/40) was measured with <sup>55</sup>Fe 5.9keV X-ray source as a function of the anode wire high voltage, gas temperature, gas pressure and gas mixture ratio. The gas mixtures of He/CH<sub>4</sub>(60/40) and Ar/CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>(89/10/1) were also tested for comparison.

**Key words** helium-based gas mixture, gas gain, high voltage, temperature, gas pressure, gas mixture ratio