

## L3 强子量能器第一个模块正比室的研制

王孟奇 毛裕芳 李晓光 李焕铁  
吕雨生 庄红林 朱永生 陈昌  
陈和生 杨长根 杨青云 杨康树  
张守宇 唐孝威 徐鸿章 童国梁

(中国科学院高能物理研究所,北京)

### 摘 要

本文报导 L3 强子量能器第一个模块 60 个正比室的研制和性能测试。在充以 Ar(80%) + CO<sub>2</sub>(20%)混合气条件下,室计数率坪长 125V,坪坡度 3.4%/100V。输出脉冲具有良好的均匀性。长时间的高压“锻炼”能使暗电流减小。由正比室装配成的强子量能器模块,在 CERN SPS 试验束上进行了性能测试,取得了满意的结果。

### 一、引 言

L3<sup>[1]</sup>是将在欧洲核子中心高能正负电子对撞机 LEP 上运行的大型探测器。它包括:(1)由时间扩展室(TEC)构成的高精度顶点探测器;(2)采用 BGO 晶体的电磁量能器;(3)强子量能器;(4)中央 $\mu$ 子室;(5)亮度监测和标记系统;(6)前后向 $\mu$ 子室;(7)大体积(1300m<sup>3</sup>),场强为 0.5T 的螺线管型磁铁,整个探测器被安放在磁铁线圈内。

本文报道在国内建造的 L3 强子量能器第一个模块 60 个正比室的结构和特点;室的制作工艺及检测;以及对室性能研究的一些结果。

### 二、L3 的强子量能器

L3 的强子量能器是采用流气式正比室作取样元件,<sup>238</sup>U 平板作吸收体的取样型强子量能器。因为整个探测器处在 0.5T 磁场之中,所以不用光电倍增管和闪烁体,而用气体探测器作为取样元件。

L3 强子量能器包括三个部分:中央桶部,端盖和 $\mu$ 子过滤器。桶部由九个圆环组

成。中间为第五环，其余每边四个环，对通过相互作用点的垂直于束流的平面呈镜像对称。每个环由16个全同模块组成，每个模块包含60个正比室。这60个室分为两类：一类为丝与束流方向平行排列的 $z$ 向室(测量方位角 $\varphi$ )；另一类为丝垂直于束流方向排列的 $x$ 向室(测量沿束流方向的 $z$ 坐标或极角 $\theta$ )。丝室平面之间镶嵌厚度为5mm的 $^{238}\text{U}$ 平板。

### 三、正比室的结构和制作

正比室的结构如图1所示<sup>[2]</sup>。室平面由适当长度的薄黄铜管构成。黄铜管壁厚0.3mm，截面为矩形，内径 $5.0 \times 10.0\text{mm}^2$ 。组成 $z$ 向室的管子长度相同，不同的室管子根数不同，从33根到58根不等。组成 $x$ 向室的管子根数相同，均为45根，但管子的长度有所不同。两类室在一个模块中各为30个。黄铜管中央有直径为 $50\mu\text{m}$ 的镀金钨丝(LUMA 861)作为阳极。阳极丝固定在镀金小铜块上。黄铜管壁接负高压，阳极丝则通过 $50\Omega$ 电阻接地。

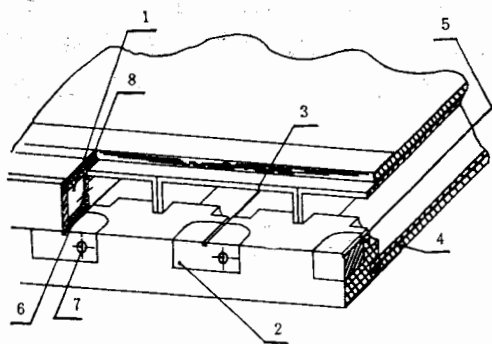


图1 L3 强子量能器试验模块的正比室结构

1. 气体通道； 2. 镀金小黄铜块； 3. 黄铜管； 4. 屏蔽板； 5. 镀金钨丝；  
6. 通气孔； 7. 阳极丝信号引出孔； 8. 阿拉第胶

在模块中，正比室的两面均面对 $^{238}\text{U}$ 平板。U板的放射性给正比室带来本底信号，因此在黄铜管两边均以0.7mm厚的黄铜板作屏蔽，从而使本底大大降低<sup>[3]</sup>。室本体和屏蔽板之间有黄色Mylar胶带和白色的两面有胶的胶带作电绝缘。

在黄铜管的两端有端条。端条分为上下两半，上半部为多路气体通道，在正对管口的一侧，开有 $\phi = 1\text{mm}$ 的小孔，给每个管子通气。多路气体通道的一端为进气口，另一端封死。在室的另一边有相同的端条，与进气口对角的一端为出气口。端条的下半部用于安放固定阳极丝的小黄铜块。小黄铜块上有 $\phi = 1\text{mm}$ 的小孔，内装夹紧弹簧，阳极丝信号由此引出。在室体拉丝并安装端条后，用阿拉第胶密封。

### 四、正比室的检测

#### 1. 耐高压试验

耐高压试验在正比室制作过程中先后进行三次。第一次对室本体包的黄绝缘带进行。3 kV 负高压通过 9 MΩ 保护电阻加到室本体上,室本体由两块平整的接地铝板夹住。负高压要求持续 15 分钟以上,在此期间无任何击穿或打火。第二次高压试验在室体加上屏蔽板后进行。将屏蔽板接地,黄铜管壁上加负高压,试验方法同前。负高压加到 5kV,持续时间 15 分钟。在胶住气体通道后进行第三次高压检测,检测方法和要求同第二次。

## 2. 丝张力检测

正比管的阳极拉丝是用专门的拉丝机进行的。丝张力固定为 250g,由张力计测量。对于长度为  $l$ (cm)、张力为  $m$ (g) 的镀金钨丝,其振动频率  $\nu$  与  $l$ 、 $m$  的关系为:

$$\frac{1}{\nu} = 1.30 \frac{l(\text{cm})}{\sqrt{m(\text{g})}} \quad (\text{ms})$$

由张力计测量得到  $\omega'$ ( $\omega' = 1/\nu$ ),从而得到:

$$m = 1.69 \frac{l^2}{(\omega')^2} \quad (\text{g})$$

图 2 为实测的一个室的丝张力统计分布直方图。

## 3. 气密检验

气密检验采用压力差方法。在正比室内充以一定压力的气体,与室外大气压力差由 U 型玻璃管内专用液柱高度差  $h_0$  来表示。气密检验是在通常大气压下进行。

选定参考点  $h_0$ ,对于体积为  $V$  的正比室,在  $\Delta t$  时间间隔内,液柱高度差改变  $\Delta h$ (mm),则相应压力改变  $\Delta p = \Delta h/12.5 \text{ mbar}$ 。我们在这里定义气体泄漏率  $G$  为

$$G_{h_0} = \left. \frac{\Delta p \cdot V}{\Delta t} \right|_{h_0} = \left. \frac{(\Delta h/12.5) \cdot V}{\Delta t} \right|_{h_0} \left( \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{min}} \right)$$

对所制作的 60 个正比室,控制气体泄漏率的标准为  $0.3(\text{mbar} \cdot \text{l}/\text{min})$ 。专用的液体为石蜡油,其密度为  $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 。

## 4. 暗电流检测

正比室要求暗电流很小,从强子量能器总计 36 万根左右的管子而言,这是显而易见的要求。

正比室的暗电流由两部分组成,即直流漏电流和本底脉冲的积分效应。测量时通以 Ar + CO<sub>2</sub>(比例 1:1.4) 混合气,高压逐渐升高,用 FJ-356 型动电容静电计测量整个室的暗电流。

暗电流的测量可以提供一个线索,即在绝大多数情况下,一个正比管如果有噪声,则可能有较大的暗电流。

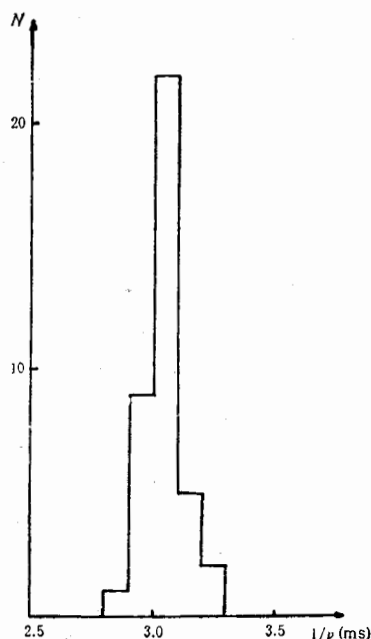


图 2 丝张力统计分布直方图

对  
一  
列  
238U

0.3  
根数  
与所  
MA  
2电

号,  
和屏  
口的  
一端  
用于  
丝信

### 5. 噪声检测

这里所说的噪声是指处于正常工作条件下的正比室,用放射源辐照,当移去放射源后,正比管仍然有比包括宇宙线在内的本底为多的脉冲输出。信号经过  $50\ \Omega$  电阻及两个二极管构成的保护盒输入示波器。工作气体为  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  (比例 1:1.4), 工作电压为  $-2450\ \text{V}$ , 此时正比室工作于正比及流光模式共存区。在示波器上能同时见到正比和流光脉冲。正比脉冲幅度  $\lesssim -5\ \text{mV}$ , 流光脉冲  $\lesssim -20\ \text{mV}$ 。脉冲底部宽度  $\geq 200\ \text{ns}$ 。检测中选用的  $\text{CO}_2$  比例比实际运行时高得多,是因为在这种比例下能产生流光,流光脉冲幅度较大,在示波器上易于观测;流光区工作电压亦较高,使本来在低工作电压时不出现的噪声隐患在此时能明显暴露。噪声脉冲波形与正常脉冲不同,它有迅速下降的前沿,后沿上升则较缓慢,与正常脉冲相近。这种波形特点说明噪声是由正比管内的局部尖端放电引起的。正比室的正常使用,要求不能有任何一根正比管有噪声。

### 6. 输出脉冲幅度均匀性的检测

作噪声检测时,用同一放射源 ( $^{106}\text{Ru}$ ) 移动辐照每一道正比管,用示波器观察输出信号幅度,这实际上也就同时对输出均匀性作了检测。随着通气时间增长,正比室的每根正比管输出脉冲幅度渐趋均匀,最后达到相同幅度。

## 五、正比室性能的测定

对正比室的计数率坪特性、暗电流随高压的变化、正比室输出脉冲幅度的均匀性、正比室输出脉冲幅度随通气时间的变化等作了测量。

在正比管上开窄缝薄窗,缝宽  $1\ \text{mm}$ , 窗上覆盖以  $80\ \mu\text{m}$  厚的铜箔,充以  $\text{Ar}(80\%) + \text{CO}_2(20\%)$  气体(这是 L3 强子量能器实际使用的工作气体比例)。用  $^{59}\text{Fe}$  X 射线 ( $5.9\ \text{keV}$ ) 作粒子源。图 3 为所测得的正比管计数率坪特性曲线,坪长为  $125\ \text{V}$ , 坪坡度  $3.4\%/100\ \text{V}$ 。对于气体比例  $\text{Ar}:\text{CO}_2 = 1:1.4$  也作了类似测量,得到形状相差不大的坪特性曲

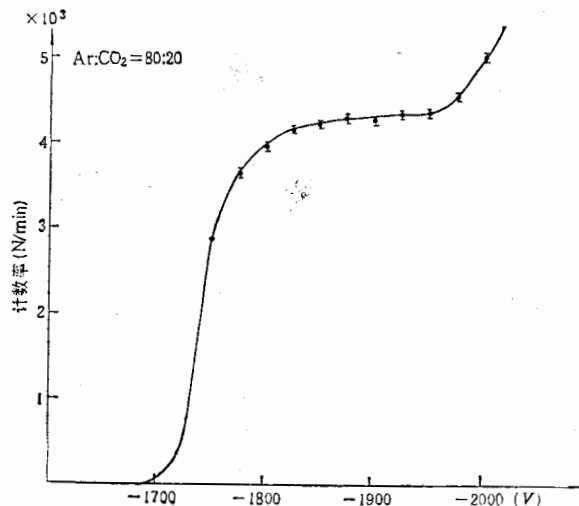


图3 正比管计数率坪特性曲线

源  
两  
为  
流  
测  
幅  
的  
沿  
电

信  
正

正

) +  
(5.9  
%/  
主曲

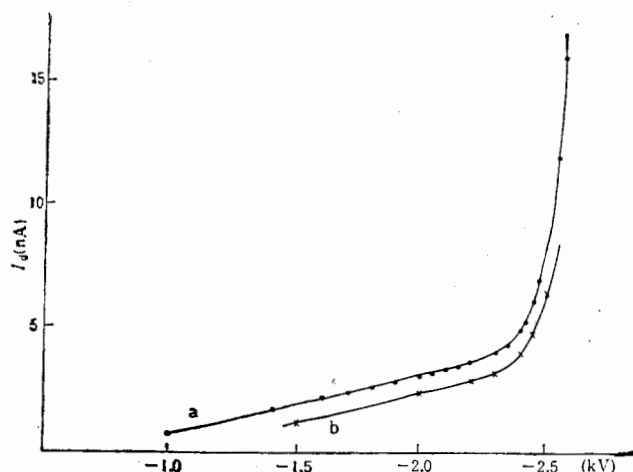


图 4 暗电流  $I_d$  随所加高压的变化曲线

a: T101, b: T102

线。随着  $CO_2$  成分的增加,工作电压自然较前为高。

图 4 中曲线 a 为正比室 T101 的暗电流随工作电压变化的曲线,当工作气体为 Ar:

$CO_2 = 1:1.4$  时,在  $-2200V$  以下,暗电流随

工作电压成线性缓慢上升,这正是暗电流成

分中的直流漏电部分。从  $-2200V$  以上,本

底脉冲的积分效应开始明显。工作电压加到

$-2550V$  左右,正比管开始产生微小的放电。

正比室 T102 的暗电流随工作电压变化的曲

线 b 与曲线 a 具有相同特性,暗电流值更小

些。暗电流经过长时间的“锻炼”将会逐渐变

小。所谓“锻炼”,是对通气的室长时间加上

一定的高压,并将所有的阳极丝接地。图中

曲线 a 就是正比室 T101 经过一个晚上的

“锻炼”后测得的。在曲线 a 上  $-2300V$  处,

$I_d = 4nA$ ,而在“锻炼”前为  $I_d = 6nA$ 。

正比室作为强子量能器的探测元件,要

求输出脉冲幅度有好的均匀性。图 5 是正比

室 T101 的输出特性。输出信号脉冲幅度

用示波器的最灵敏档 ( $5mV/cm$ ) 读取,其

最小刻度为  $1mV$ 。图 5 中 a 为 T101 室每一

正比管道输出脉冲幅度的均匀性, b 为任意选取该室中某几道(第 4、12、22 道)沿丝方向

不同位置的输出脉冲幅度均匀性。正比室输出脉冲幅度与通气时间长短和气体流量大小

有关。只有经过一定时间通气,正比室各道输出脉冲幅度才能达到正常值。气体流量大

则达到正常值所需时间较短,反之则较长。实际观测表明,出气口附近的道,并不是最后

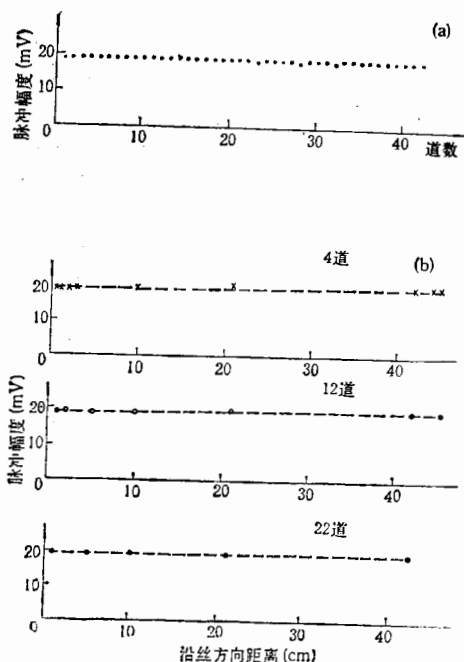


图 5 正比室输出脉冲幅度的均匀性

则达到正常值所需时间较短,反之则较长。实际观测表明,出气口附近的道,并不是最后

达到正常输出幅度。相反地,进气口和出气口的道首先达到正常输出幅度。如果从进气口开始对室的道进行编号,则最后达到正常输出脉冲幅度的是中间偏后的道。气体流量越大,最后达到正常的道越向中间偏移。

## 六、结 束 语

我们完成了一个模块60个正比室的研制,并对正比室的性能作了初步测量。测量表明,在充以Ar(80%) + CO<sub>2</sub>(20%)条件下,正比管具有坪长~125V,坪坡度3.4%/100V;室的暗电流小;输出脉冲幅度均匀性良好。

60个正比室运到瑞士后,已装配成强子量能器模块。模块在欧洲核子中心SPS高能加速器试验束上进行了性能测试,得到满意的结果:对4GeV到50GeV的强子,模块的输出对能量成线性,对强子的能量分辨率为 $\left(\frac{61}{\sqrt{E}} + 3\right)\%$ (E单位为GeV)<sup>[4]</sup>。

瑞士苏黎世高工高能所和瑞士反应堆所的H. Hofer教授、W. Boehlen先生、J. Ulbricht博士、P. LeCoultré博士等给我们支持及提供基本设计。张志杰同志参加了正比室的检测和性能测试。本所兄弟室借用仪器设备提供帮助。在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] L3-Collaboration, The Construction of L3 (April, 1985).  
 [2] W. Boehlen et al., EIR/ETH Internal Report (Zürich, Switzerland, 1985).  
 [3] A. Arefiev et al., Nucl. Instr. Method. A245(1986), 71.  
 [4] H. C. Group, L3 Collaboration, Nucl. Instr. Method. (to be published).

## THE STUDY AND PRODUCTION OF PWC'S FOR THE FIRST MODULE OF L3 HADRON CALORIMETER

CHEN CHANG CHEN HESHENG LI HUANTIE LI XIAOGUANG LU YUSHENG MAO YUFANG  
 TANG XIAOWEI TONG GUOLIANG WANG MENGQI XU HONGZHANG YANG CHANGGEN  
 YANG KANGSHU YANG QINGYUN ZHANG SHOUYU  
 ZHU YONGSHENG ZHUANG HONGLIN

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

### ABSTRACT

This paper reports the study and production and the performance of 60 PWC's which were the first module of L3 hadron calorimeter. 125 Volts plateau and 3.4%/100 V plateau slope were obtained with the gas mixture of Ar:CO<sub>2</sub> = 80:20. We also checked the dark current of some chambers and found that the dark current could be reduced by "cooking". The chambers worked well when they were assembled in a calorimeter module and tested by the beam of SPS at CERN.