

北京谱仪端盖簇射计数器的建造与检测

李金 王曼 崔象宗 王临洲
夏小米 赖元芬 李黎力 汪中吉
郑建平 姚小光 陆伟达

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

描述了北京谱仪端盖簇射计数器的结构及制造工艺。并给出丝张力, 暗电流、计数管工作特性等检测结果。

一、引 言

北京谱仪是安装在北京正负电子对撞机第一个对撞点上的大型通用谱仪。端盖簇射计数器(以下简称 ESC) 安装在北京谱仪两端, 主要用来测量小角度出射的高能电子和光子的能量和空间位置, 还可以辅助测量对撞机的亮度。为保证北京谱仪有良好的性能, 端盖簇射计数器必须有高的能量分辨, 好的能量线性, 高的位置分辨和 π/e 分辨^[1,4,5]。

ESC 的建造工作经历了预制研究, 设计加工, 组装及性能检测等几个阶段, 于 1989 年 4 月安装到北京谱仪东、西两端, 经过调试已经运行取数。

二、结构及主要参数

ESC 由四个半圆环组成, 每两个半圆环组合成一个环形计数器, 安装在北京谱仪的一端。每个环形计数器由二十四层铝方管和二十三层铅板相间排列加前后铝面板胶接而成。为减少与桶部簇射计数器重迭, 增加读出电路安装空间, 前八层排列的管子数目由 174 根增加到 188 根, 每层依次加 2 根形成圆台形, 后十六层每层都包含 190 根管子。每个环形计数器包括 4488 根铝方管, 铝方管内截面 $12.8 \times 12.8 \text{ mm}^2$, 壁厚约 0.6 mm。铅板厚度为 2.8 mm, 相当于 0.5 r. l.。每个环形计数器重约 4 吨。计数器中央为一个半径为 325 mm 的圆孔, 给安装电子学线路, 插入束流管以及为将来采用 mini- β 磁铁留出空间。ESC 的构造概况见图 1、图 2。主要参数列于表 1 中。

ESC 为气体取样型计数器^[1], 取样计数管采用自淬灭流光 (SQS) 模式。每根铝方管中央拉有直径为 $37 \mu\text{m}$ 的高阻不锈钢丝 (STABLOHM 800) 作为阳极, 电阻率为 $11.4 \Omega/\text{cm}$ 。铝方管两端安装有聚甲醛材料的绝缘子, 绝缘子中央固定一个镀锡铈合金的

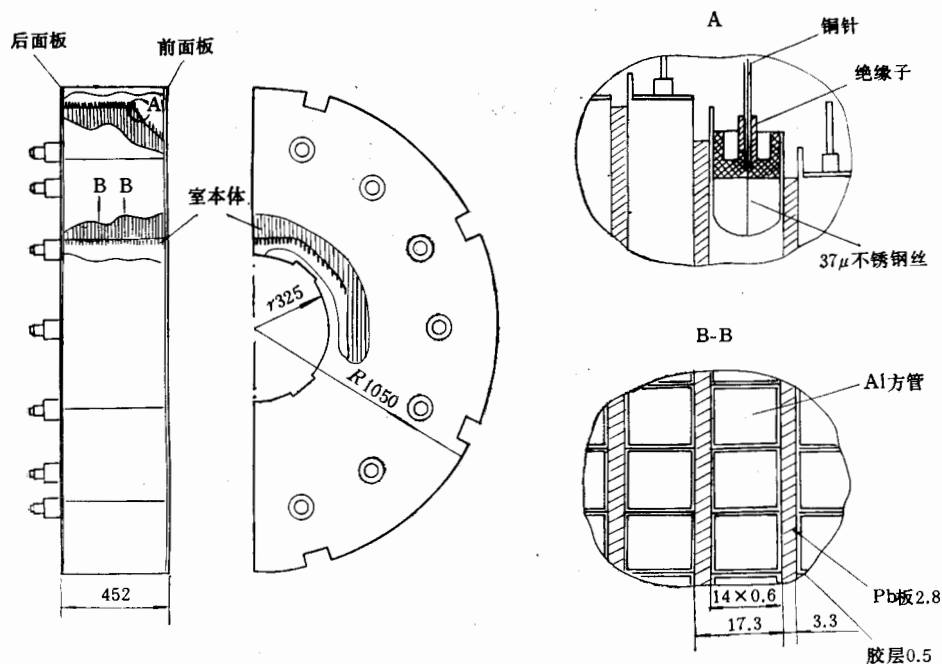


图1 端盖簇射计数器结构概图

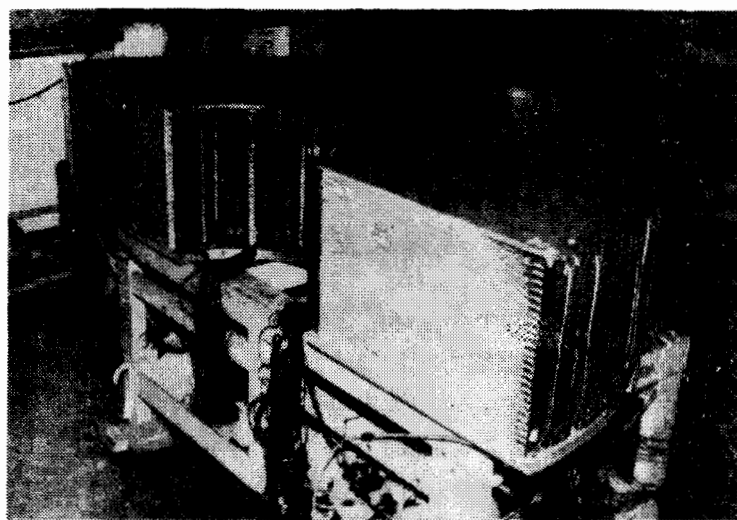


图2 制造中的端盖簇射计数器

细铜管，铜管长约 23 mm，外径 $\phi 1.6$ mm，采用夹丝的方法将阳极丝固定在铜管中心。绝缘子上留有直径为 3 mm 的孔，各孔间用 U 型聚乙烯管连接，通入工作气体。工作气体目前采用 Ar 和 CO_2 混合气体。

信号输出方式：前六层为每层单管两端输出，采用电荷分配法确定入射粒子的空间位置；后十八层为 4 层、4 层、10 层管并联单端输出信号，以节省电子学读出的道数，这些输出信号只给出沉积能量的信息。每个环形计数器共有 2760 道电子学读出线路。

表 1 端盖簇射计数器主要参数

端盖外圆直径	2100 mm
外圆有效直径	1920 mm
端盖内圆直径	650 mm
内圆有效直径	746 mm
端盖总厚度	410 mm
相对对撞点所张立体角	$13\% \times 4\pi$
铅吸收体总厚度	11.5 r. l.
计数管总数	8976
铝方管外壁尺寸	$14 \times 14 \text{ mm}^2$
铝方管壁厚	0.6 mm
阳极丝直径	$37 \mu\text{m}$

三、建造过程及关键技术问题

北京谱仪两端探测器的部件很多,留给 ESC 的空间非常有限;同时物理上又要求探测器有尽量小的死空间和对入射粒子有尽量大的接收度,这都要求 ESC 的结构尽量紧凑、密集,不能有太多辅助的机械结构。为满足上述要求,ESC 采用高强度的胶接技术,形成一个完整的胶接件。

1. 铝方管的生产

ESC 需要的铝方管口径小、壁薄、内壁光洁度要求高,公差又小,国内没有这种产品。最后采用 $\phi 22 \times 2 \text{ mm}$ 的铝合金管二次冷拉成形工艺,制成高精度的薄壁方管,满足了工程需要。

2. 取样计数管的研制

ESC 是以自淬灭流光管为基础的气体取样型簇射计数器。它的信号由阳极引出,入射粒子沿丝方向的位置由电荷分配法确定。电荷分配法要求阳极丝的电阻值足够大,才能降低噪声提高定位精度和保持线性关系。通常 SQS 管的阳极丝都在 $50 \mu\text{m}$ 以上,由于 ESC 的取样计数管长度不同 (33—188 cm),为使每根管的阳极丝都有足够大的电阻,只能选用电阻率较高并且较细的合金丝。在预制研究中,对细阳极丝的 SQS 管的放电特性进行了细致地研究,测量了输出脉冲的形状和延迟时间,对工作气体进行了比较,选取了最佳工作条件^[2]。最后选用 $12.8 \text{ mm} \times 12.8 \text{ mm}$ 铝方管为阴极, $\phi 37 \mu\text{m}$ 高阻丝为阳极。

取样计数管的制作是建造 ESC 最关键的一步,工作量最大也最细致。包括:检修清洗各部件、拉丝、夹丝、气密封、保持高度清洁的工作条件等。

在拉丝前,绝缘子、细铜管及铝管都要进行检修清除毛刺,然后用清洁剂和超声波进行彻底清洗。

取样计数管所用的阳极丝直径只有 $37 \mu\text{m}$ 夹丝工作相当困难,我们曾对夹具进行了多次研制试验,最后取得了满意的结果。

拉丝完成后进行U型气管的安装和气密封,以及各工序的质量检测。

3. 信号引出板的制造与安装

输入高压及读出探测器信号用的信号引出板与取样计数管相接,安装在 ESC 保护壳内。由于空间的限制,引出板布线密集,装配十分紧凑,很容易发生线间高压打火,影响探测器信号读出,严重的还会毁坏前端电子学插件。为解决好这个问题,在设计引出板时就考虑到高压线和地线之间有足够的间隙 ($>3\text{ mm}$),同时在制成的引出板表面涂敷了一层绝缘漆。对引出板逐块检验表明,经过处理后的引出板能满足探测器的要求。

4. ESC 主体加工中的难题

ESC 是一个一次性加工制造的胶接件。大面积高强度的胶接技术是加工的关键。

(1) 胶接强度: 每半个环形计数器重约 2 吨,共有 49 个粘接面,要由这些胶接面来承担全部重量,必须有足够的胶接强度。经计算第 24 层铅板和铝方管的胶接面所受到的剪切力为 0.09 kg/cm^2 ,考虑到可能出现的局部脱胶和一定的安全系数,设计要求最小抗剪切强度为 0.5 kg/cm^2 。由于粘接是在铝和铅两种不同物质之间进行的,要达到足够的粘接强度存在不少困难。经过反复试验,采用国产 JX-9 为底胶,SL-4 胶膜为胶接层,Al 管和 Pb 板表面经过处理,然后装入热压罐中进行粘接。经小样检验,Al-Pb 板的抗剪切强度为 50 kg/cm^2 ,剥离强度 1.1 kg/cm^2 ,满足胶接强度要求。在 ESC 加工完成后,又按照实际装配情况进行吊装检验,试验表明胶接质量良好。

(2) 胶接公差: 由于铝方管的数量大,长度各异,计数器各层的半径又不相同,胶接时只能先将各层铝方管粘在一起,然后再把各层铝方管与铅板胶接成一个整体。为保证达到公差要求,粘接过程中使用了特制的模具。最后达到的公差指标是: ESC 最大厚度 412.8 mm ;不平整度小于 2.4 mm ; 24 层之间同一列铝管相对错位不超过 2 mm 。

四、调试及检测结果

端盖簇射计数器建造过程中及建成之后,进行了各种性能的检测以保证其质量稳定可靠。现将结果简述如下:

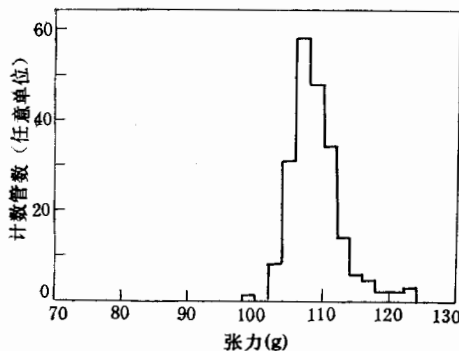


图3 张力测量结果

1. 在拉丝过程中,对阳极丝的张力和电阻值进行了测量,阳极丝上所加张力为 100 g ,以保证丝的稳定。张力测量结果如图3。此外还测量了各阳极丝的电阻值以供电荷分配定位时采用。

2. 在气密封完成后,进行了气密性检查,各气路相对漏气率均 $<1.7 \times 10^{-3}/\text{h}$ 。

3. 在安装引出板之前,对每

块引出板(对应于 24 路取样计数管)作了漏电流检测,在正常工作电压 (3050 V) 下,漏电流均 $< 1 \mu\text{A}$. 在安装完毕后,每路高压 (5 块引出板并联)漏电流 $< 5 \mu\text{A}$. 能保证取样计数管正常工作.

4. ESC 安装完毕后,对各信号通路进行了信号检测. 结果表明各路(包括引出板、取样计数管及其连接部分)性能良好,没有发现断丝或接触不良的现象.

5. 为进一步检测端盖簇射计数器的性能,将探测器置于正常工作状态下,用示波器观察了各取样计数管的宇宙线信号. 此外,还将 240 路取样保持 (S/H) 电子学系统与端盖簇射计数器中的 16 列取样计数管相连接,进行了性能测试,主要结果如下:

(1) 径迹显示及效率估计

图 4 给出高能电子穿过簇射计数器时留下的径迹.

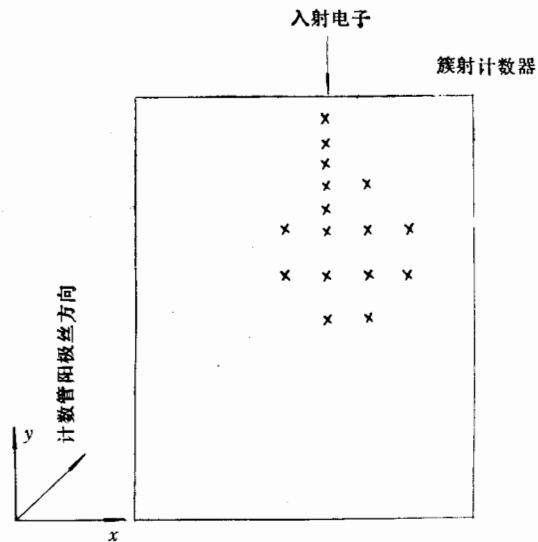


图 4 400 MeV 电子产生的簇射径迹 (计数管阳极丝垂直于图面)

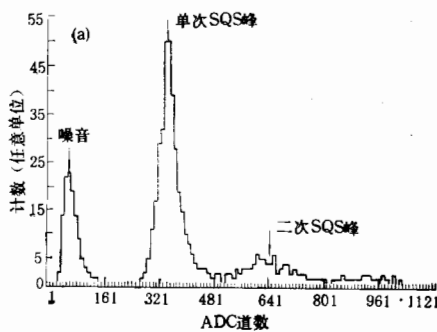


图 5 (a) Co^{60} 源的信号谱

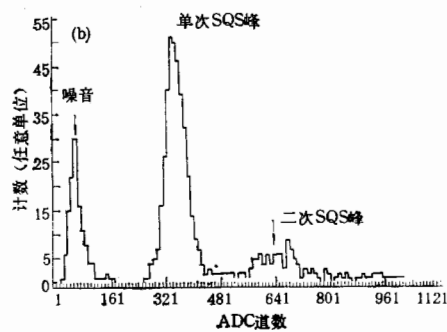


图 5 (b) 宇宙线信号谱

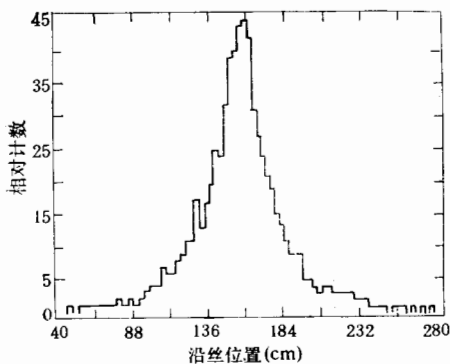


图 6 电荷分配法定位误差分布

取样计数管对宇宙线的平均探测效率为 $\sim 94\%$.

(2) 取样计数管信号谱的测量

在工作气体为 34% Ar+66% CO_2 , 工作电压为 3025 V 时,用 Co^{60} 放射源测得的信号谱如图 5(a),用宇宙线测得的信号谱如图 5(b).

各取样计数管 SQS 的平均电荷量在 27—30 pC 之间.

(3) 单丝电荷分配法定位精度的测量

对簇射计数器前 6 层的宇宙线径迹作了沿

丝方向的定位。共取了1000个宇宙线事例,经电荷分配法计算确定了宇宙线径迹的位置,再经最小二乘法拟合,找出定位误差,得到图6的定位误差分布曲线。分布曲线的均方偏差相相对值为1.3%。

我们曾经研制了一台簇射计数器模型。其结构与现在的ESC一样,只是接收粒子的面积较小,所以其性能大致能够反映北京谱仪ESC的性能。1986年5—7月,该模型在日本KEK的PS加速器T₁实验束上作了测量^[3]。结论是:工作气体为Ar + CO₂ + n-Pentane,工作电压为3250V时,能量线性范围为0—2 GeV,能量分辨率为 $\sigma/E=15.5\%$ ($E=1$ GeV时),并且有比较好的 π/e 分辨。完全满足北京谱仪的实验要求^[1]。

参 考 文 献

- [1] 李 金,北京谱仪电磁簇射计数器物理设计初步考虑(高能所北京谱仪第二届工作会议报告)。
- [2] 王 曼等,核电子学与探测技术, **5** (1987), 283.
- [3] 王 曼等,高能物理与核物理, **11** (1987), 321.
- [4] R. Fabrizio et al., The End Cap Shower Counter for MARK 3 (Detector (N. I. M **227** (1984), 220).
- [5] The MARK 3 Spectrometer (SLAC-PUB-3222).

Construction and Check up of the BES End Cap Shower Counter

LI JIN WANG MAN CUI XIANGZONG WANG LINZHOU XIA XIAOMI

LAI YUANFEN LI LILI WANG ZHONGJI ZHENG JIANPING

YAO XIAOGUANG LU WEIDA

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

In this paper, the structure and constructive technologies of the BES End Cap Shower Counter are described. The tension of anode wires, dark currents and some check up results of sampling tubes are given.