

文章编号: 1007-4627(2010)01-0068-03

# PbWO<sub>4</sub> 晶体的光输出与能量分辨研究\*

苏光辉<sup>1,2</sup>, 孙志宇<sup>1</sup>, 岳珂<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 研究了多种包装材料和包装工艺对钨酸铅(PbWO<sub>4</sub>)晶体光输出和能量分辨的影响, 测量结果与基于 GEANT4 的模拟结果符合很好, 并由此确定了晶体的最佳包装方法。

**关键词:** PbWO<sub>4</sub> 晶体; 光输出; 能量分辨; GEANT4

**中图分类号:** TL812.1      **文献标识码:** A

## 1 引言

为了探索粒子世界及宇宙起源的奥秘, 世界上正在建造能量越来越大的对撞机和加速器。在这些装置上将用来测量各种质子和电子等粒子能量的探测器称作量能器, 而闪烁晶体正是建造量能器的重要材料<sup>[1]</sup>。钨酸铅(PbWO<sub>4</sub>, 简写 PWO)晶体是近年来逐步发展起来的具有潜在应用价值的新型闪烁体材料, 由于具有密度高、辐射长度短、抗辐照能力强、衰减时间短和价格低廉等优点, 被欧洲核子中心(CERN)选为大型强子对撞机(LHC)上 CMS 谱仪的电磁量能器材料<sup>[2]</sup>, 也是兰州重离子研究装置上正在建造的  $\gamma$  量能器的备选材料之一。

GEANT4 是 CERN 用 C++ 开发的、用于精确模拟粒子在介质中输运过程的大型蒙特卡罗应用程序软件包。用户可以继承 GEANT4 内部提供的虚基类, 精确描述探测器的几何结构和材料组成, 可以定义研究过程中用到的各种粒子以及这些粒子与探测器物质间的作用过程。自 1999 年发布以来, GEANT4 已经广泛应用于高能物理、核物理、加速器物理、医学和空间科学等领域, 其模拟结果的准确性也得到了广泛的认可。

采用不同的包装材料和包装工艺对 PWO 样品的光输出和能量分辨进行测试, 并且对实验结果进行了分析。用 GEANT4 对 PWO 晶体进行了模拟研究, 模拟结果与测试结果基本一致。

## 2 测试实验结果及讨论

测试实验是在中国科学院近代物理研究所晶体测试实验室进行的。实验所用的 PWO 晶体的尺寸为 2 cm×2 cm×1.5 cm, 放射源为<sup>137</sup>Cs, 光电倍增管为 HAMAMATSU 公司的 R7724。实验所用主放型号为 ORTEC572, 放大倍数设为 1000, 成形时间为 3  $\mu$ m。图 1 给出了测试外面包裹有 4 层 Teflon 的 PWO 晶体所得的能谱, 其中谱线 a 是有放

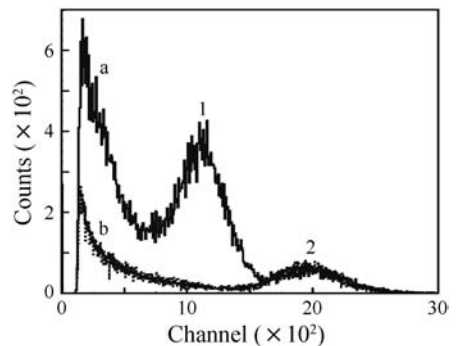


图 1 <sup>137</sup>Cs  $\gamma$  射线能谱和本底

射源<sup>137</sup>Cs 时的能谱, 谱线 b 是没有放射源<sup>137</sup>Cs 时的能谱。由两个能谱的比较可知, 峰 1 为<sup>137</sup>Cs  $\gamma$  射线的全能峰, 对其进行高斯拟合得 PWO 晶体的能量分辨率为 45.38%。能量分辨差的主要原因有两个: 一是 PWO 晶体的光产额较低, 仅为 140 Photons/MeV<sup>[3]</sup>; 二是实验中所用放射源<sup>137</sup>Cs 的  $\gamma$  能

\* 收稿日期: 2009-04-27; 修改日期: 2009-08-24

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10775159)

作者简介: 苏光辉(1984—), 男(汉族), 河南驻马店人, 在读硕士生, 从事粒子物理与核物理研究;

E-mail: suguanghui@impcas.ac.cn

量为 0.662 MeV, 属于低能  $\gamma$  射线。峰 2 的能量为  $(1.3 \pm 0.4)$  MeV, 为了确定峰 2 的来源, 换用 CsI (Tl) 晶体进行测试。测试结果并没有发现比  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线能量更高的全能峰, 因此峰 2 可能是 PWO 晶体样品所含杂质元素发出  $\gamma$  射线的全能峰。

为了避免  $^{137}\text{Cs}$  放射源放置位置不同对 PWO 晶体光输出和能量分辨造成的影响, 采用没有放射源时的本底峰对 PWO 样品的光输出和能量分辨进行研究。把没有光反射材料包裹、没有放置放射源时 PWO 晶体的光输出作为标准, 规定为 1, 有光反射材料包裹时的 PWO 晶体的光输出定义为没有放置放射源时其信号幅度与标准信号幅度的比值。表 1 给出了使用不同包装方式时晶体光输出的相对强度和能量分辨。Naked 表示不使用任何光反射材料包装的结果。“4”表示包裹 4 层, “2”表示包裹 2 层。由表 1 可知, 用光反射材料包裹可以大幅提高晶体的光输出; 用 Tyvek 包裹 2 层的光输出高于用 Teflon 包裹 4 层的光输出, 但高出幅度不大, 大约高出 3.9%; 用 Tyvek 包裹 2 层后再用铝膜包裹, 对晶体的光输出几乎没有影响, 原因可能是晶体发出的光子穿透 2 层 Tyvek 纸的概率很小, 包裹两层 Tyvek 之后, 再用铝膜包裹, 达不到大量反射光子的目的。PWO 样品的能量分辨随光输出的增加在逐渐变好; 但当包装方式为 2Tyvek+2Al 时, 在光输出几乎没有变化的情况下, 能量分辨反而变差, 原因可能是: 包裹 Tyvek 之后, 在用铝膜包裹的过程中, 改变了原来 Tyvek 的包裹状态。

表 1 不同包装方式时 PWO 样品的光输出和能量分辨

包装方式	相对光输出强度(%)	能量分辨(%)
Naked	1	42.3
4Teflon	1.55	33.5
2Tyvek	1.61	31.8
2Tyvek+2Al	1.61	33.2

### 3 GEANT4 模拟

模拟程序的基本框架如图 2 所示。程序的运行是由 G4RunManager 类控制, 它负责完成系统的初始化以及对粒子在探测器中传输过程的模拟<sup>[4]</sup>。我们利用图 2 中的 IMPDetectorConstruction 创建了一个长为 2 cm、宽为 2 cm 和高为 1.5 cm 的 PWO 晶体和一个厚度为 2 mm、半径为 1.6 cm 的光电倍增管的接收窗以及设置了各种模拟参数。具体参数设置如下: PWO 晶体产生的光子能量设为 2.59 eV; PWO 晶体对光子的折射率设为 2.2, 光产额为 140 Photons/MeV, 吸收长度为 260 cm; Teflon 对荧光光子的折射率设为 1.34, 表面反射系数为 0.90; 当光子从晶体进入光电倍增管接收窗时, 反射系数设为 0.1。图 2 中 IMPPhysicsList 用于定义模拟过程中用到的所有粒子以及这些粒子与晶体间的相互作用。的 IMPPrimaryGeneratorAction 主要用于产生能量为 0.662 MeV 的  $\gamma$  光子。IMPRunAction 的作用主要是利用 Root 软件中的 TH1F 类来建谱。G4TrackingAction 主要是获取进入光电倍增管接收窗中的光子数。IMPEventAction 的作用主要是用代码实现对光电倍增管的模拟, 并设置合适的阈值进行填谱。

图 2 模拟程序基本框架

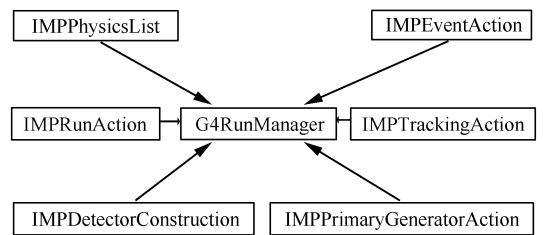


图 2 模拟程序基本框架

图 3 给出了模拟得到的 0.662 MeV  $\gamma$  光子的全能峰。从图中可以看出, 模拟的能谱呈良好的高斯型分布, 用高斯拟合得能量分辨率为 43.85%, 其与测试结果 45.38% 基本一致。

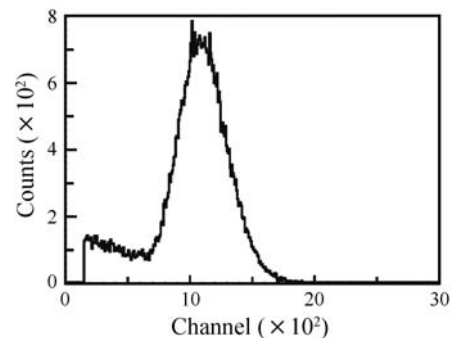


图 3 模拟给出的  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线能谱

基于上述基本框架, 又模拟了本底峰的光输出和能量分辨对包装材料的响应。模拟参数设置如下: 本底峰的能量设为 1.3 MeV, Teflon 的反射率设为 0.90, Tyvek 的反射率设为 0.98, 把 2Tyvek+2Al 看成是一个反射层, 反射率设为 0.99。表 2

给出了模拟得到的结果。由表 1 和表 2 可知, 模拟结果和测试结果有一定偏差, 但偏差不大。出现偏差的原因是: (1) 模拟中所用参数与实际有一定差别; (2) 实验所测数据跟所用电子学线路有一定的关系, 而模拟中并未考虑电子学线路的影响。

由模拟和测试结果可知, 用 2 层 Tyvek 包裹时 PWO 晶体的光输出和能量分辨远好于用 4 层 Teflon 包裹时晶体的光输出和能量分辨; 用 Tyvek 包裹 2 层后, 再用铝膜包裹, 对 PWO 晶体的光输出和能量分辨影响很小。因此, 在本模拟和测试的多种包装方式中, 用 2 层 Tyvek 包裹是最佳的包装方法。

表 2 模拟给出的不同包装方式时 PWO 样品的光输出和能量分辨

包装方式	相对光输出强度(%)	能量分辨(%)
Naked	1	40.12
4Teflon	1.49	35.41
2Tyvek	1.68	33.57
2Tyvek+2Al	1.68	33.34

## 4 结论

通过对 PWO 晶体的测试和模拟, 得到以下结论:

(1) 用光反射材料包裹可大幅提高 PWO 晶体的光输出; 包裹 2 层 Tyvek 之后, 再用铝膜包裹, 对 PWO 晶体的光输出影响很小。

(2) 采用适当的包装工艺可以提高 PWO 晶体

的能量分辨; PWO 样品的能量分辨基本上随光输出的增加而逐渐变好。

(3) 用 GEANT4 对 PWO 晶体进行模拟, 模拟结果与测试结果基本一致; 模拟所用方法对整个探测器模拟及其它类似模拟具有一定的参考价值。

(4) 在模拟和测试的多种包装方式中, 用 2 层 Tyvek 包裹是最佳包装方法, 该方法既可大幅度提高 PWO 晶体的光输出, 又可以节省光反射材料。

## 参考文献 (References):

- [1] Luo Liming, Tao Dejie, Wang Yingjian. *Journal of Synthetic Crystals*, 2004, **33**(5): 821(in Chinese).  
(罗利明, 陶德节, 王英俭. *人工晶体学报*, 2004, **33**(5): 821.)
- [2] Xie Jianjun, Liao Jingying, Yuan Hui, *et al.* *Journal of The Chinese Ceramic Society*, 2005, **33**(8): 946(in Chinese).  
(谢建军, 廖晶莹, 袁晖等. *硅酸盐学报*, 2005, **33**(5): 821.)
- [3] Wu Chong, Li Cheng, Wang Zhaomin, *et al.* *High Energy and Nuclear Physics*, 1999, **23**(12): 1141(in Chinese).  
(吴冲, 李澄, 汪兆民等. *高能物理与核物理*, 1999, **23**(12): 1141.)
- [4] Wang Wenfeng, Ma Lianliang, Zhang Xueyao. *Journal of Shangdong University(Natural Science)*, 2003, **38**(5): 80(in Chinese).  
(王文峰, 马连良, 张学尧. *山东大学学报(理学版)*, 2003, **38**(5): 80.)

## Study on Light Output and Energy Resolution of PbWO<sub>4</sub> Crystal<sup>\*</sup>

SU Guang-hui<sup>1, 2, 1)</sup>, SUN Zhi-yu<sup>2</sup>, YUE Ke<sup>1, 2</sup>

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

*2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** The light output and energy resolution of PbWO<sub>4</sub> crystal are studied with different wrapping materials and methods. The Wrapping condition was optimized by analyzing the experimental data to gain higher light output and better energy resolution. A GEANT4-based package has been developed to simulate the corresponding features of PbWO<sub>4</sub> crystal, and the simulation results are consistent with the experimental data.

**Key words :** PbWO<sub>4</sub> crystal; light output; energy resolution; GEANT4

\* Received date: 27 Apr. 2009; Revised date: 24 Aug. 2009

\* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10775159)

1) E-mail: suguanghui@impcas.ac.cn