

文章编号: 1007-4627(2011)04-0459-05

# MICROME GAS 一维位置编码读出初步测试\*

胡荣江, 段利敏, 杨贺润, 鲁辰桂, 靳根明, 马朋, 李祖玉, 张金霞

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 介绍了微型网状结构的气体探测器一维位置编码读出的基本原理和实现方法。设计了一块灵敏面积为  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  的一维位置编码 PCB 读出电极。测试表明: 感应读出是可行的, 电荷按 1:2 分配最为理想; 利用  $^{55}\text{Fe}$  放射源 X 射线通过  $200\text{ }\mu\text{m}$  狭缝对准读出电极 PCB 板的正面中任意一条, 位置编码读出能很好地再现源所在狭缝的位置。针对其局限性, 提出了一维位置分组编码读出技术, 以解决相邻多条同时点火的情况。使用该读出技术, 使一维读出电子学路数节省量达到 75% 以上。

**关键词:** 微型网状结构的气体探测器; 一维位置编码; 读出电子学

**中图分类号:** TL811+.2; TL82 **文献标志码:** A

## 1 引言

微结构气体探测器<sup>[1]</sup> (Micro-pattern gaseous detector, 简称 MPGD) 作为国际气体探测器研究的热点, 它是一种新型的位置灵敏正比计数器, 采用微电极读出。MPGD 一般由电离转换漂移区、雪崩放大区和微读出电极构成。目前发展最成熟的是采用微型网状结构的气体探测器 (MICRO-Mesh-Gaseous Structure, 简称 MICROME GAS) 和气体电子倍增器 (Gas Electron Multiplier, 简称 GEM)。近年来, 国内一些单位也开展了相应的研究, 得到了很好的结果<sup>[2-9]</sup>。欧洲核子中心 (CERN) 大型强子超级对撞机 LHC (Large Hadron Collider) 上 ATLAS Muon 探测器的升级改造国际合作, 以及国内散裂中子源、同步辐射应用方面都对 MPGD 提出了新的需求。

由于 MPGD 具有良好的空间和时间分辨、高增益、高计数率, 且结构简单, 易做成大的灵敏面积, 作为带电粒子探测器, 它被广泛运用于粒子物理、核物理和核天体物理实验。例如, 可作为时间投影室带电粒子径迹测量的读出探测器; 另外, 适合 X 射线探测<sup>[10-12]</sup>, 借助于合适的转换材料, 它还可作为中子探测器<sup>[13-16]</sup>, 在医学成像、材料科学

和安全检测等领域应用前景广泛。在兰州重离子加速器冷却储存环外靶实验中, MICROME GAS 作为可选的时间投影室带电粒子径迹测量的读出探测器。由于适合在高计数率的环境下工作, 在束流诊断、监测及重离子治癌终端的束流位置与均匀度测量中, MPGD 都有较好的应用前景。

就 MPGD 的读出方式而言, 现常用的是将电极做成一维条状或二维块状 pixel 读出。一维条状读出, 其典型的条宽是  $200 \sim 400\text{ }\mu\text{m}$ , 电极间的间隙是  $80 \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 。如对有效面积  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  的 MPGD, 在电极宽度为  $250\text{ }\mu\text{m}$ 、间隙为  $100\text{ }\mu\text{m}$  时, 其读出电子学也将达到 280 路。庞大的电子学路数限制了它的应用, 要使 MPGD 真正得到广泛应用: 一方面高密度多路集成前端电子学信号处理系统以及与之匹配的信号获取系统的发展显得尤为迫切; 另一方面, 对探测器本身读出方式进行改进, 以减少读出电子学路数也显得很有必要。

本文针对以上提出的电子学问题, 对探测器本身读出方式进行了改进, 对 MICROME GAS 采用位置编码方式实现一维条状读出, 给出了初步的测试结果。针对该读出方式的局限性, 提出了改进方法: 即位置分组编码。该方法的特点是在实现大量

\* 收稿日期: 2011-04-27; 修改日期: 2011-05-19

\* 基金项目: 国家自然科学基金委员会-中国科学院大科学装置科学研究联合基金资助项目 (10979064); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KJJCX1-YW-004); 国家重点基础研究发展计划项目 (2008CB817702); 国家青年基金资助项目 (10805060)

作者简介: 胡荣江 (1975—), 男, 江苏通州人, 副研究员, 博士, 从事气体探测器研究; E-mail: hurj@impcas.ac.cn

减少读出电子学路数、降低探测器系统成本的同时，又不降低探测器原有的位置分辨能力。

## 2 一维位置编码读出技术原理

一维位置编码读出方式原理如图 1，现仅以 3 路编码信号说明其原理。在条状阳极 PCB 板反面，增加一组位置偏移的感应读出条，使之按比例(不等)横跨上面的两条阳极，这样，上面任一阳极条收集的电荷将按比例分配到下面两个相邻感应条上。

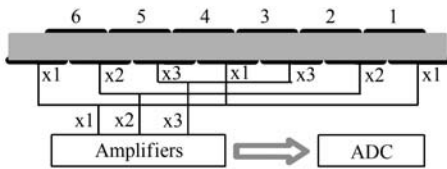


图 1 一维位置编码读出技术原理图

感应信号引出后，对其进行特定的编码合并，把信号缩减到比较少的路数放大成形后，直接用 ADC 记录信号的大小。对于阳极条 1，由于 1-x1 之间的电容大于 1-x2 之间的电容，导致 x1 信号总是大于 x2 信号，而与阳极条 1 上信号的大小无关。从阳极条 1 感应的 x1 信号总是大于 x2 信号，与之相反，从阳极条 6 感应的 x1 信号总是小于 x2 信号。用 3 路读出信号 x1, x2 和 x3，并根据其中两路信号的大小关系就能够唯一地确定  $P_3^3 = 6$  路阳极条中点火阳极的位置，其位置解码如表 1 所列。通常，利用  $n$  路读出电子学，通过鉴别两路信号的大小关系就可以确定  $P_n^2$  阳极条中点火阳极的位置。

表 1 一维位置编码读出的位置解码

信号大小关系	位置
$x1 > x2$	1
$x2 > x3$	2
$x3 > x1$	3
$x1 > x3$	4
$x3 > x2$	5
$x2 > x1$	6

## 3 测试结果

根据一维位置编码读出技术原理，设计了一块灵敏面积为  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  的一维位置编码读出电极，其读出条周期为 1 mm，条宽 0.9 mm，感应层介质厚度  $100\text{ }\mu\text{m}$ 。为确定合适的电荷分配比例，

将 PCB 板读出电极分为 3 个区域，使其感应电荷分配比例分别为 1:2, 1:3, 1:4。测试所采用的电子学是德国 mesytec 公司的 16 路电荷灵敏前置放大器 (MPRS-16) 和 16 路线性主放大器 (MSCF-16)，数据采集所用的是 16 通道模数转换器 (PHILIPS 7164H ADC)。

### 3.1 反面感应信号与正面信号的比较

为了检验反面感应读出的可行性，在将一维位置编码读出电极组装到 MICROMEGAS 探测器上后，用  $^{55}\text{Fe}$  放射源的 X 射线对正、反面读出分别进行了测试。分别将正、反面的 16 路连成一路信号输出，获取了  $^{55}\text{Fe}$  放射源的 X 射线能谱。反面感应读出时，正面的每一路分别通过  $10\text{ M}\Omega$  电阻接地以释放电荷。图 2 显示了正面 (a)、反面 (b) 读出测得的  $^{55}\text{Fe}$  放射源的 X 射线能谱(电子学放大倍数没有归一)，表明反面感应读出是可行的。

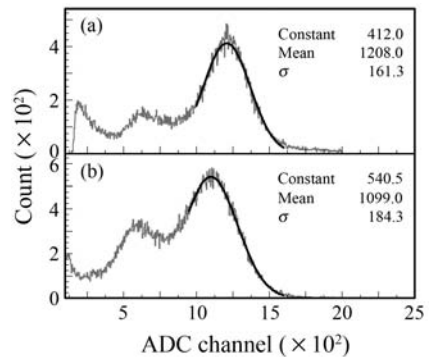


图 2 正(a)、反面(b)读出测得的  $^{55}\text{Fe}$  放射源 X 射线能谱

### 3.2 不同感应电荷分配比例的比较

为了保证信噪比足够大，感应电荷的分配比例是至关重要的。为此，用  $^{55}\text{Fe}$  放射源 X 射线通过  $200\text{ }\mu\text{m}$  狭缝分别对准 PCB 板的正面 3 个区域中任意一条进行了测试。图 3 显示了不同区域感应的大信号  $Q_L$  和小信号  $Q_S$  的关联谱及相除谱。由图可见，电荷按 1:2 分配最为理想。

### 3.3 编码读出的测试

在确定电荷按 1:2 分配之后，用 6 路信号  $x_1, x_2, \dots, x_6$  将 1:2 区域 PCB 反面的 1~31 路(对应正面 30 路)信号进行了编码，编码顺序是  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_1, x_3, x_6, x_4, x_2, x_5, x_1, x_4, x_3, x_2, x_6, x_5, x_4, x_6, x_3, x_5, x_2, x_1, x_6, x_2,$

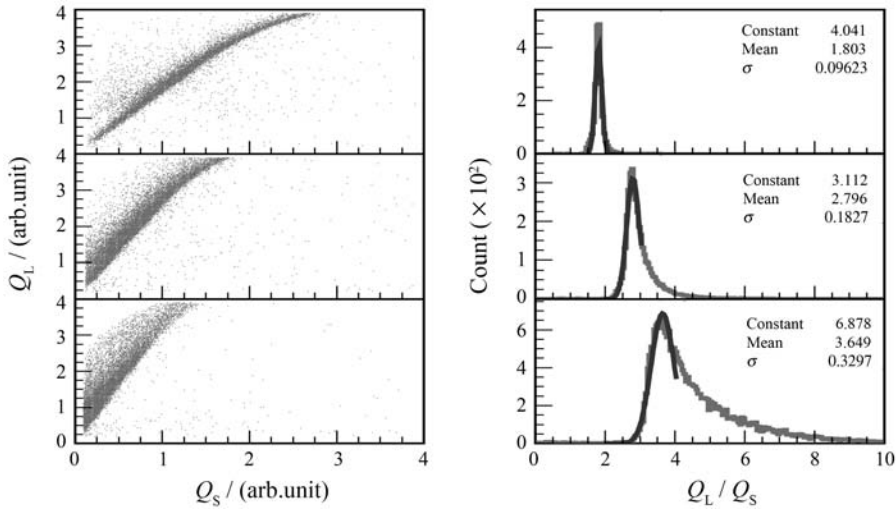


图 3 感应的大、小信号的关联谱及相除谱  
上、中、下分别对应于 1:2, 1:3, 1:4 3 个区域。

x4, x1, x5, x3, x1。通过编码, 信号缩减到 6 路后经前置放大器、主放大器放大成形后用 ADC 记录。测试方法是用<sup>55</sup>Fe 放射源的 X 射线源经 200 μm 狭缝对准读出电极 PCB 板的正面第 8 条, 检验通过编码信号能否反推源所在位置。

数据处理方法是在噪声阈值之上, 选择 x1,

x2, ..., x6 6 路信号中的最大的两路信号, 对最大、次大信号可能出现的各路数累谱。图 4 显示了一维位置编码读出测试结果。其中: (a)和(b)分别对应于最大信号谱及其可能出现的各路数; (c)和(d)分别对应于次大信号谱及其可能出现的各路数; (e)和(f)分别对应于最大、次大信号的关联谱及其相除谱。可

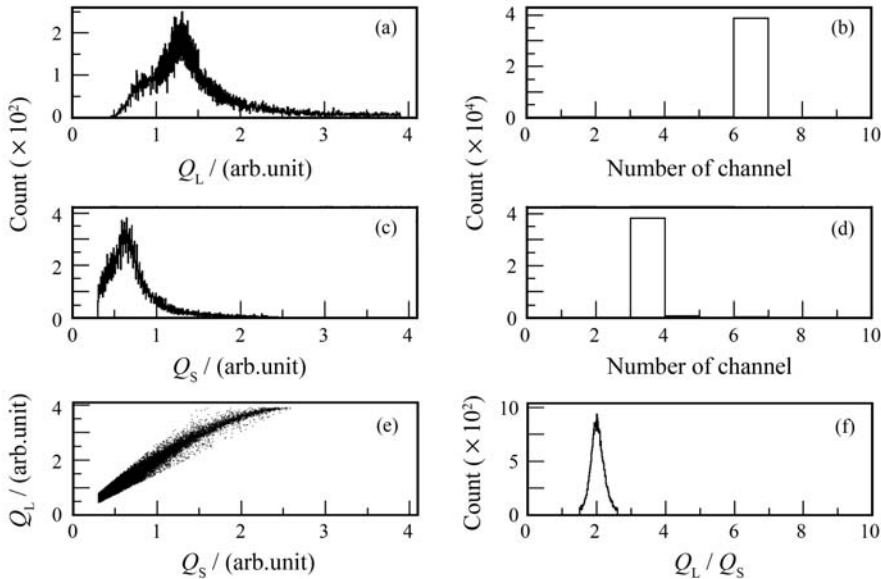


图 4 一维位置编码读出测试结果

以看到, 最大信号基本都是出现在第 6 路, 即 x6, 次大信号基本都是第 3 路, 即 x3。按照上述编码方式, x3和x6同时有信号的只有两个位置, 即源在正面第 8 条或者正面第 20 条, 然而, 信号 x6 大于信号 x3, 只能是在第 8 条, 表明位置编码读出能很好地再现源所在狭缝的位置。

### 4 讨论

采用一维位置编码读出, 一方面利用感应的方法将原始信号按比例进行分除, 导致信号变小, 另一方面, 编码将多路信号合并成一路输出, 相当于很多感应条电容并联, 增加了每一路的输入电容, 导致每一路的噪声变大。综合两个方面的因素, 其

结果就是信噪比变差。从上述的采用 6 路编码信号，即将 5 路合并成 1 路的测试结果看，其信噪比还是足以实现一维位置编码读出的。比较图 3 中 1:2 区域中的大、小信号相除谱和图 4(f) 中的大、小信号相除谱，可以发现图 4(f) 的相除谱展宽了，这是由于信噪比变差引起的。同时可以看到这并没有导致大、小信号比值的明显改变， $Q_L/Q_S$  中心值依然在 2 附近。当采用更多路编码信号时，信噪比将会变得更差，需要着力解决的问题就是增大原始信号和降低噪声的影响。

上述读出技术的局限性，就是要保证阳极条的点火多重性为 1，即  $x_1, x_2$  和  $x_3$  只能两路有信号。当点火多重性大于 1 时， $x_1, x_2$  和  $x_3$  将同时有信

号，造成了反推位置的困难(见图 1)。为保证点火多重性为 1，需要增大条宽。然而，为达到较好的位置分辨，通常需要减小读出条的宽度，以实现用电荷重心法来精确定位，即通常点火多重性大于 1。

位置分组编码技术原理如图 5 所示。图中只对位置分了两组，即阳极条奇数编号为一组，偶数编号为另一组。其实现方式是：在每一条阳极条的反面，增加两条宽度不等的感应条，将每个信号按 1:2 一分为二。这样，在最多相邻两条同时点火的情况下，就能够保证每一组编码信号中仅有两路输出信号。通过比较  $x_1, x_2$  和  $x_3$  中两路信号的大小关系就能确定 6 路奇数阳极的点火位置，通过  $y_1, y_2$  和  $y_3$  就能确定 6 路偶数阳极的点火位置。

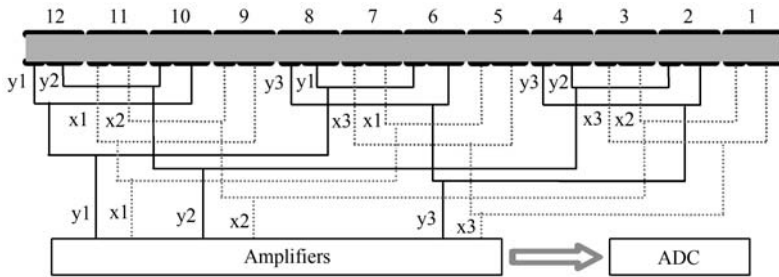


图 5 一维位置分组编码读出技术原理图

当然，根据阳极条宽，若可能的最大点火多重性为  $m$ ，为保证每组中最多只有一条阳极点火，可以将阳极条分成  $m$  组。对于一维位置分组编码方式，通常利用  $m \times n$  路读出电子学，可以确定  $m \times P_n^2$  条阳极中点火阳极的位置。

理想状态下，采用一维位置分组编码读出所需电子学与传统的读出方式所用电子学的比值是  $n/P_n^2$ ，节省的电子学百分比是  $(n-2)/(n-1)$ 。表 2 显示了编码读出节省的电子学百分比与所用编码信号数的关系。可见，当  $n=5$  时，其节省的电子学

已经达到 75%。这样，前述的 280 路一维阳极条的位置读出，可以采用将位置分为 5 组，每组 8 个信号的一维位置分组编码方式共 40 路读出，节省了 85.7% 的电子学。使用一维位置分组编码读出，在减少读出电子学路数的同时并没有损失探测器的位置分辨能力，因为它能反推点火条的位置，同时记录信号的大小，电荷重心法精确定位依然适用。

另外，现代粒子物理和核物理实验中，往往需要精确地测量粒子的二维位置信息，因此，有必要把一维位置编码推广到二维的情形。一维位置分组编码以及二维位置编码的实现等方面的研究工作正在进行中。

表 2 一维位置编码读出节省的电子学量(理论值)

编码信号数 $n$	电子学减少百分比(%)
3	50.0
4	66.7
5	75.0
6	80.0
7	83.3
8	85.7
9	87.5
10	88.9

参考文献 (References):

[1] Shekhtman L. Nucl Instr & Meth, 2002, **A494**: 128.  
 [2] Liu Da, Lu Chengui, Duan Limin, et al. Nucl Phys Rev, 2009, **26**(4): 319(in Chinese).  
 (刘达, 鲁辰桂, 段利敏, 等. 原子核物理评论, 2009, **26**(4): 329.)

- [3] Lu Chengui, Duan Limin, Yang Herun, *et al.* Nuclear Physics Review, 2011, **28**(1): 68(in Chinese).  
(鲁辰桂, 段利敏, 杨贺润, 等. 原子核物理评论, 2011, **28**(1): 68.)
- [4] Liu Da, Lu Chengui, Duan Limin, *et al.* Chinese Phys C, 2010, **34**(4): 479.
- [5] Yang Herun, Hu Bitao, Zhang Xiaodong, *et al.* Chinese Phys C, 2011, **35**(2): 174.
- [6] Fan Ruirui, Hou Fengjie, Ouyang Qun, *et al.* Chinese Phys C, 2010, **34**(10): 1636.
- [7] Tang Haohui, Guo Junjun, Wang Xiaolian, *et al.* Chinese Phys C, 2009, **33**(9): 777.
- [8] Guo Junjun, Wang Xiaolian, Tang Haohui, *et al.* Chinese Phys C, 2010, **34**(4): 482.
- [9] Lu Chengui, Duan Limin, Yang Herun, *et al.* Nuclear Physics Review, 2011, **28**(3): 310(in Chinese).  
(鲁辰桂, 段利敏, 杨贺润, 等. 原子核物理评论, 2011, **28**(3): 310.)
- [10] Charpak G, Derre J, Giomataris Y, *et al.* Nucl Instr & Meth, 2002, **A478**: 26.
- [11] Li Cheng, Sun Yongjie, Zhou Yi, *et al.* Chinese Phys C, 2005, **29**(1): 68(in Chinese).
- [12] Fanourakis G K, Geralis T, Kousouris K, *et al.* Nucl Instr & Meth, 2004, **A527**: 62.
- [13] Jeanneau F, Junca R, Pancin J, *et al.* IEEE-TNS, 2006, **53**(2): 595.
- [14] Britton C L, William L B, Alan L W, *et al.* IEEE, 2004, **51**(3): 1016.
- [15] Zhou Jianrong, Zhang Yi, Hu Bitao. Nuclear Physics Review, 2009, **26**(4): 322.
- [16] Wei Zheng, Li Haoxiang, Zhang Yi, *et al.* Nuclear Physics Review, 2010, **27**(3): 291.

## Preliminary Test of One-dimensional Position Encoding Read-out for MICROMEAS<sup>\*</sup>

HU Rong-jiang<sup>1)</sup>, DUAN Li-min, YANG He-run, LU Chen-gui, JIN Gen-min, MA Peng, LI Zu-yu, ZHANG Jin-xia  
(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** The basic principles and implementation of one-dimensional position encoding read-out for MICROMEAS have been introduced in this paper. A 10 cm×10 cm prototype of one-dimensional position encoding read-out electrode based on printed circuit board was designed. Preliminary test indicates that the induction read-out is feasible and the ideal charge distribution is 1:2. X rays emitted from <sup>55</sup>Fe source were collimated to one of strips on the read-out electrode through a slit of 200 μm, position decoding well reproduced the position of the <sup>55</sup>Fe source. For its limitations, we have proposed a one-dimensional grouped position encoding read-out technique to address a neighboring strips simultaneously fired situation. The amount of read-out electronics is very easy to approach a obduction of 75% with position encoding read out technology.

**Key words:** MICROMEAS; one-dimensional position encoding; read-out electronics

\* **Received date:** 27 Apr. 2011; **Revised date:** 19 May. 2011

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation Commission of China-Chinese Academy of Sciences Joint Fund for Research Based on Large Scale Scientific Facilities(10979064); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX1-YW-004); Major State Basic Research Development Program of China (2008CB817702); National Natural Science Foundation of China for Young Scholar(10805060)

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