

# 多丝正比室和漂移室的工作原理浅释

毛慧顺

## 迅猛发展

1968年欧洲原子核研究中心的夏帕克等人第一次制成了一台可供使用的多丝正比室。自此之后，多丝正比室以它卓越的性能迅速成为高能物理实验的关键探测器之一。例如在丁肇中教授发现  $J/\psi$  粒子而获得诺贝尔奖金的实验中，多丝正比室就起着重要的作用。该探测器还广泛应用于核物理、宇宙线物理、天文学、生物学、医学和 X 射线晶体学等领域。我国高能物理所、原子能所、科技大学、生物物理所、兰州大学、南京天文台和宇宙线高山站等单位都先后研制或使用过这种探测器。

在多丝正比室发展的早期，夏帕克和沃伦特等人注意到丝室的一种新的探测可能性，即通过测量初级电离电子的漂移时间来确定入射粒子的空间位置。在 1969 年的一次国际会议上，这种新型探测器——漂移室的雏型被提了出来，从 70 年代初正式发展起来了。漂移室立即就成为绝大多数高能物理实验的核心探测器。而在其他许多学科领域中，也同样出现了它的足迹，迅猛发展之势锐不可挡。我国正在研制的，准备在正负电子对撞加速器上做第一个物理实验的北京谱仪中，漂移室是其核心成分。

要理解多丝室和漂移室这两种探测器发展如此迅猛的原因，必须了解其工作原理和所具有的特性。

## 奇妙的增殖——雪崩

提到这两种探测器的工作原理，必不可少的要谈“雪崩”。“雪崩”这个词在日常生活中是指高山上的一大雪块向下滚动时，牵涉到另一块松动的雪块，在重力作用下，雪块的速度越来越快，获得的动量越来越大，这样一块冲击另一块，一个带动几个的引起大批雪块、泥石、冰团象洪水猛兽似的往山下飞滚而去。

“雪崩”这个词用在粒子探测器中仅是气体放大或电子增殖概念的一个形象比喻，说明气体中的电子离子对数目象雪球似地迅猛增长，增长的数量之多，速度之快大有象“雪崩”一样的不可收拾之感。

早在 1928 年，“雪崩”这个概念就用在盖革和克利姆珀里首次制成并使用的经典探测器——正比计数管中。最常见的正比计数管是在一个圆管中心穿有一根细的阳极丝。圆管上加有负的高电压，使管内产生强电场，尤其是在细丝附近，电场更是越来越强。当被测量的粒子通过正比管时，与管内所充的气体分子发生

作用，使分子电离而产生初级电子和正离子，但该作用在一厘米范围内平均只能产生 30 对左右的离子对。如此小的电荷或由这些电荷形成的电流，实在是太小了，测量起来太困难。外界稍有干扰，就可把信号完全淹没掉。此时，加在正比计数管上的高电压就起大作用了。象雪崩中雪块在地球引力作用下，动量越来越大地向山下飞滚而去一样，初级电子在电场作用下不断地向阳极丝方向移动，当它们进入阳极丝附近时，由于电场的急剧增加，电子获得的能量越来越大，使得它们能再去电离气体分子的作用几率大大增加。这样，一个初级电子再电离一个气体分子而产生次级电子，初级电子自身再加上次级电子又可再次电离气体分子，一变二，二变四，四变八，……，几何级数的不断增长下去。通俗的比喻就象人口的增加，母亲生了几个孩子，几个孩子又各生几个孙儿女，孙子辈又很快长成，再生重孙辈，不断繁殖，延续不绝。若不计划生育，按算术级数增长的生产力势必赶不上几何级数增加的人口繁殖，势必产生“人口危机”。若人口增殖是二十年为一代的话，那气体中的离子对数目的增殖则是按十亿分之一秒(毫微秒)为单位来计算的，因此来不及眼睛一眨就是几万、几十万个电子-离子对产生出来了。好在加高压时已考虑到这种爆发性增殖的趋势，我们可以按预先制定好的“生育计划”来控制电场不要加得太高，避免盲目的爆炸性的增殖。因为增殖到一定程度后，虽然电子是越来越接近阳极丝，电场是越来越强，大有产生“增殖危机”而放电、打火花来破坏探测器之势，但实际上，由于产生的这些离子本身在丝周围形成了一个空间电荷区而制止了这种趋势。这是因为电子质量小、离阳极丝近，很快就跑到丝上被收集了。而正离子质量大，因而运动速度慢，加上距离阴极又远，就充斥在阳极丝周围形成一层正离子云，从而产生一个与外加电场方向相反的反电场，只要外加电场不是过分大，增殖一定程度后，他们就能抵御外加电场，使增殖停止(图 1)。

雪崩一般发生在丝周围的几十最多几百微米的区间内，具体数值有赖于电场大小和气体性质。图 2 表示了相对阳极丝的距离与电场分布的关系曲线，可以看到雪崩区和空间电荷区。对于正比计数管和多丝正比室来讲，离子对的增殖倍数，即最终得到的离子对数与被探测粒子直接电离产生的初级离子对数之比  $M$ ，对一定的外加电压来讲，是一定的。此时测量的电荷比原电离大了  $M$  倍。对多丝正比室来讲，可做到  $M =$

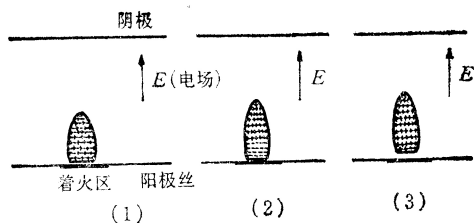


图1 雪崩示意图。(1)雪崩进行中,(2)电场作用下正负离子不同方向运动(3)电子被收集,正离子向阴极运动。

$10^6$ , 即增殖一百万倍, 甚至更大。漂移室一般常工作在十万倍左右的增殖上。正比计数管与多丝正比室的正比二字就来源于: 输出电荷量正比于初级电离对, 比例系数为  $M$ 。气体放大, 也就是放大了初级离子对数, 使之便于测量。

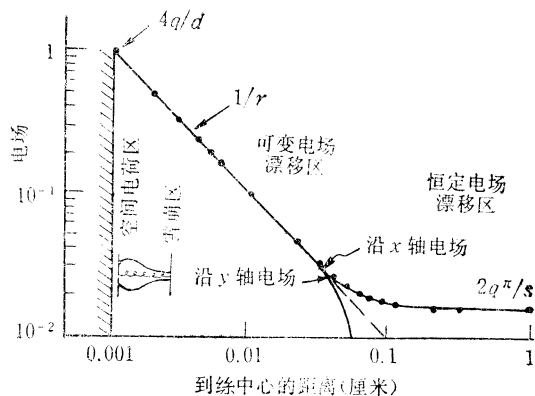


图2 多丝正比室内电场与位置的关系。

阳极丝距 2 毫米(S)阴极阳极距离 8 毫米, 工作电压 4000 伏, 丝上电场  $2.2 \times 10^6$  伏/厘米。(α-丝直径)

这个增殖机制不仅是正比计数管, 同样是多丝正比室和漂移室工作原理的关键, 是气体探测器的最基本依据。

### 多丝正比室姗姗来迟——历史教训

按前节观点看, 在 1923 年制成正比计数管, 了解到雪崩机制的同时, 似乎多丝正比室和漂移室也该应运而生了, 为何拖拖拉拉到 1968 年才露面呢? 原因在于主观认识的错误和客观条件的局限。

把各个正比计数管的外壳去掉, 就可制成在一个外壳内包含有多根阳极丝, 大家有公共阴极的多丝正比室。图 3 就是一个平面型多丝正比室的示意图, 二个阴极平面一般由间距为 1 毫米、直径为 100 微米左右的许多钽-铜丝组成, 中间平面是由处在零电位上的许多直径为 20 到 40 微米左右的镀金钨丝组成, 丝距一般 2 毫米。这种结构的室比起把大批正比管堆集在一起使用, 显然要简单得多, 而且易于制成大面积的(有长 4 米宽 6 米的室), 矩形的, 圆柱形, 甚至六角型

等各种形状的探测器; 阳极丝间距离还可不受管壁限制而靠得很近, 由那一根丝上有信号出现就确定粒子从那儿通过的原理, 可精确定出粒子位置。正比计数管的定位精度是厘米数量级。多丝正比室一般是毫米量级。

具有卓越特性的多丝正比室迟迟四十年没有发展, 重要的原因在于, 当时在人们头脑中普遍存在着一个错误的观念, 认为当一根阳极丝因雪崩而得到负脉冲

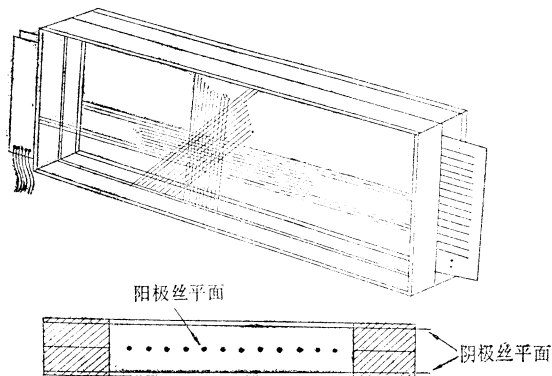


图3 平面型多丝正比室示意图

冲时, 由于阳极丝彼此非常靠近, 相邻的一些丝上将由于电容耦合而出现同样极性的负脉冲。这样就无法确定到底是来了几个粒子而引起这么多丝都有输出, 还是仅仅一个粒子所为; 即使已知仅是一个粒子, 那么多丝上有负脉冲输出的话, 到底粒子入射在那根丝旁边仍无法确定, 也就是难以精确定位粒子的空间位置。而且, 为了验证这种观点, 当时还有人作了具体的实验。利用讯号发生器, 在一根阳极丝上注入一个快的负脉冲信号, 的确在邻近的丝上看到了同极性的脉冲信号。为了避免这种耦合, 人们不得不在阳极丝之间用一根或几根屏蔽丝隔离开来, 他们相间地取代了原来的一些阳极丝, 较高的空间定位精度显然遭到破坏, 而且系统也变得十分庞杂。实在遗憾的是, 错误的实验助长了人们错误的观念。而当时的客观条件是: 为了读出多丝正比室如此多阳极丝上的信号, 所需的电子学线路及计算机数据处理系统还没发展到应有水平, 当时的实验水平也还没提出很迫切的需求, 主客观因素都使多丝室发展受到影响。

1968 年搞清楚真正的事实是, 由于雪崩是在阳极丝附近几十或几百微米之内产生的(下面称产生雪崩的丝为“着火丝”), 因此雪崩中的电子是极靠近“着火”丝的, 很短时间内就被收集完毕。阳极丝上的负脉冲主要不是来源于这些电子, 而是来自雪崩产生的正离子从阳极丝附近向阴极的移动, 此时他们由极高的电场区移向弱区, 这中间电源所加的外电场向他们作功。正是这种正离子的移动在阳极丝上感应出的负脉冲才是多丝正比室“着火”丝上负脉冲的真正来源, 而其邻

近丝上和阴极上将被感应出正电荷,出现的是正脉冲。由于丝间电容耦合,在邻近丝上是会耦合出一点负脉冲,但很小,不是主要的。若我们使用的是仅对负脉冲才灵敏的放大器,而且使其灵敏点放置在一定阈值上,阈值超过邻近丝上的耦合脉冲幅度,那么就可做到仅仅“着火”丝的读出电路才有输出信号。直到此时,多丝室才得以发展。

### “漂移”二字的来源

正比计数管的探测依据是管内有一输出,就认为有一粒子通过管内,空间定位精度由管大小决定(厘米量级)。多丝正比室的探测依据基本类似,那根丝有输出,就认为粒子在该丝的二分之一阳极丝距内通过,定位精度由丝距决定(毫米量级)。漂移室的定位方法则是进了一步,由入射粒子产生的初级电子对,必须运动(该运动称之漂移)到阳极丝附近的高电场区才能产生雪崩。在均匀电场中,这种漂移是匀速运动,即漂移距离与所需的漂移时间成正比,比例系数即漂移速度,一般是1毫米需漂移20毫微秒左右。由于是测量漂移时间再转化到空间位置,空间精度将由测量时间的精度而不再是丝距决定,阳极丝间距离也就不必象多丝

正比室那么小(一般几厘米),这样阳极丝数可大大减小,每根阳极丝上所配备的放大器、甄别器等读出线路的数目也随之减小,室造价为此而减低;目前电子学的水平已可很精确地测量时间,为此相应的空间定位精度可做到一、二百微米,所需的附加工作:一是要有测量时间的时间-幅度变换器(TDC),二是要保持室内有均匀的漂移电场区,使空间-时间有明确的线性关系。至此,新的探测器——漂移室在多丝正比室基础上发展起来了。

### 结 束 语

浅释工作原理同时,实际涉及了气体计数器:正比计数管→多丝室→漂移室的发展简史,想来会使阅者受到某些启示。还需啰嗦几句的是,这儿仅谈了工作原理。对多丝正比室和漂移室来讲,实际上有大量的工作是在电子学,计算机在线获取数据系统上。因为在高能物理的许多实验中,所需的多丝正比室和漂移室的规模已达到一个室中就有几万根丝,每根丝都需一套脉冲读出线路,如此多路读出又要在很短时间(如200毫秒)内按照一定规律记录下来。这方面的工作因篇幅关系不再赘述。