

## 羊八井 50m<sup>2</sup>RPC 实验及初步测试结果 \*

卢红<sup>1</sup> 沈培若<sup>1</sup> 何会海<sup>1</sup> 丁林恺<sup>1</sup> 谭有恒<sup>1</sup>  
况浩怀<sup>1</sup> 孟烈<sup>1</sup> 王辉<sup>1</sup> 冯振勇<sup>3</sup> 刘绍敏<sup>1</sup>  
余光策<sup>3</sup> 单增罗布<sup>2</sup> 孟宪茹<sup>2</sup> 袁爱芳<sup>2</sup> 贾焕玉<sup>3</sup>

1(中国科学院高能物理研究所宇宙线与高能天体物理开放实验室 北京 100039)  
2(西藏大学宇宙线研究所 拉萨 850000)  
3(西南交通大学应用物理系 成都 610031)

**摘要** 介绍了羊八井 50m<sup>2</sup>电阻板室(RPC)地毯实验的结构、安装和对其性能的初步测试。测试的结果表明 RPC 完全能够很好地在海拔 4300m, 气压 594mbar 的羊八井宇宙线观测站正常地运行。

**关键词** 电阻板室 坪曲线 效率坪

### 1 引言

RPC(Resistive Plate Chamber)是由意大利罗马大学的 R. Santonico 等研制发展而成的一种新型的气体带电粒子探测器<sup>[1]</sup>。它具有很好的时间分辨率( $\sim 1\text{ns}$ )和空间分辨率( $\sim 1\text{cm}$ ),且其价格低廉,易于工业化大规模生产,因而特别适合作为覆盖大面积的探测器(即 RPC 地毯)应用于加速器物理和宇宙线的研究之中。对于宇宙线的研究,由于高海拔可以带来降低探测阈能的好处,所以一旦 RPC 地毯覆盖的面积达到 5000—10000m<sup>2</sup>并置于象羊八井 4300m 那样的高海拔时,将具有更加诱人的前景:以更高的效率和灵敏度得到能量在 10GeV—500TeV 的原初粒子所产生的大气簇射前峰的空间-时间图像,从而差不多以目前卫星技术探测的阈能上限为其下限,覆盖 50—300GeV 未探测过的能区,寻找宇宙线  $\gamma$  暴的河内、河外源;研究高能  $\gamma$  天文;研究太阳磁场、行星际磁场和地球磁场在 10GeV 的调制阈能以上对宇宙线的调制作用,比较完整地补充卫星项目所不能进行的一些工作。

然而,RPC 安置于高海拔处将面临三大问题,一是高海拔的计数率比海平面高得多,是否会引起探测效率的下降?二是 RPC 的性能受外界温度、气压影响很大,不同的温度、

1998-04-20收稿

\* 中国科学院、国家科委和国家自然科学基金委资助

气压不但影响到效率坪的高压值,而且直接影响到探测效率和时间分辨率的大小;三是工作气体的配置必须既能保证正常工作,又能保证安全且价格低廉。尽管一些文献<sup>[4]</sup>在低海拔上进行了模拟实验,中科院高能所的科技人员从 90 年代起也一直跟踪这种探测技术,同时在这方面的研究中做了许多探索性的工作<sup>[2,3]</sup>。然而实地的实验还从未进行过。正是基于以上的考虑,中国和意大利合作组作为将来建立 5000—10000m<sup>2</sup>地毯式大气簇射望远镜-ARGO 的技术检验阶段和试探性实验,于 1997 年 10 月至 11 月在羊八井安装了 50m<sup>2</sup>RPC 地毯并作了初步测试。本文将介绍此实验的结构、安装和初步测试结果。

## 2 实验结构和安置

### 2.1 RPC 的结构

羊八井的 RPC 每个尺寸为 2.8m × 1.12m,由两块 2mm 厚的酚醛树脂平板和边框围成的空间构成,内充氩、异丁烷和氟里昂的混合气体。由于平板面积较大,为防止凹凸变形和保证两块酚醛树脂板平行,两板之间每隔 10cm 有一个 2mm 厚的聚氯乙烯(PVC)垫片,并用热熔胶粘合。酚醛树脂构成的两块阻性板有很高的电阻率( $\rho = 10^{11 \pm 1} \Omega \text{cm}$ ),在其外表面上各涂上一层导电的石墨层作为两个电极,上电极接地,下电极加高压,在 RPC 间隙内就行成一个很强的电场。在石墨层外面包一层 200 $\mu\text{m}$ 称为三酞酸聚乙烯(PET)膜的绝缘层,然后再在其外面布放信号读出条,读出条宽度为 2.8cm,条间隙为 0.2cm,所以 RPC 的空间分辨率约为 1cm。读出条外有一层泡沫塑料,泡沫塑料层外铺盖一层 40 $\mu\text{m}$ 的铝箔,铝箔接地,用它防止外部杂散电磁波对探测器内部产生的影响和屏蔽流光放电对电子学电路的干扰。读出条、泡沫塑料层和铝箔组成一个传输线系统,它们有特定的特性阻抗。

由于两平板之间所加的电压很高,间隙又小,所以电场很强。当带电粒子穿越 RPC 时,在气体中产生电离,原初电子向阳极漂移,漂移过程产生雪崩,在增殖区由于光子的作用,远远超过了正比区模式,形成流光放电。最后两极的高体电阻又使放电猝灭。流光放电在读出条上感应出比正比区信号大两个数量级的电信号,电量达 10—100pc( $10^{-12}$ 库仑)<sup>[5]</sup>,电压达 100—300mV,上升时间约 2—3ns。由于信号幅度很大,可直接去甄别器甄别,这样就大大减少了读出电路的造价。

### 2.2 安装

目前,空气簇射阵列常用的闪烁探测器的单个面积为 0.25m<sup>2</sup>,覆盖面积占总面积的 1%,只能采用取样分析的方法去推断簇射(AS)的芯位、入射方向及能量,误差较大。另外,闪烁探测器只能测 AS“阵前”中到达每一个探测器的第一个粒子的时刻,不能给出“阵前”形状分布的信息。而与此相比,RPC 的单个面积为 3m<sup>2</sup>,可连接覆盖很大面积,覆盖率 90% 以上;空间分辨率为 1cm,这样能完整地获取落入阵列区的簇射区的全部信息,定出簇射“阵前”的分布,更精确地测定原初宇宙线的方向和能量;同时,对于较小能量的小空气簇射,也能获得较多的有关源的信息,使探测阈能降低一个数量级,有利于在甚高能和超高能之间的界面能域寻找 $\gamma$ 射线源,研究一些由于探测手段的限制,至今无人涉及的课题。

为了达到RPC地毯覆盖面积90%以上,精心设计了下面的安装方案:在地面上铺设一排排支架,支架是一根长30cm、M16的螺杆,下端是一个厚2mm直径8cm固定在地面上的圆片,圆片的一部分被压在RPC下。螺杆上端放置PVC横梁,上面再铺设PVC板,便于人员走动和维修。5mm厚铅板作为吸收体,放在RPC上面。前端电子学线路板垂直于地面,立在RPC的两侧。高、低压电源线和信号线布在支架上的塑料盒内。这样的安装,前端电子学线路和电源线、信号线都不占地面面积,RPC的覆盖率可达91.2%左右。15个RPC的平面放置示意图如图1所示。

### 2.3 气体系统

羊八井的RPC使用氩气、异丁烷和氟里昂的混合气体。3种气体分别经减压阀后,通过气体流量计按预先设置的比例混合再流入RPC。15个RPC分成5组并联,每3个RPC串联。入气口管内串一个针头,使5排并联入气口内压力一致。气体通过5个气泡瓶后流到室外。气体总流量调节在20 l/h,为了安全,气体钢瓶放在RPC大厅外的小屋内。由于夜间室外气温太低,异丁烷和氟里昂气体瓶外绕着加热带,控制加热带温度以保持瓶内的气压。

### 2.4 高压系统、前端电子学和数据采集

高压电源用意大利的CAEN127,10个插件最大可供40路高压10kV,电流200 $\mu$ A,对15个RPC采用独立供电。

RPC的前端电子学和数据采集如图2所示。每个RPC的读出部分由10个PAD(约55cm $\times$ 55cm)组成(见图1),而每个PAD则由16条读出条组成。每个PAD对应一块前

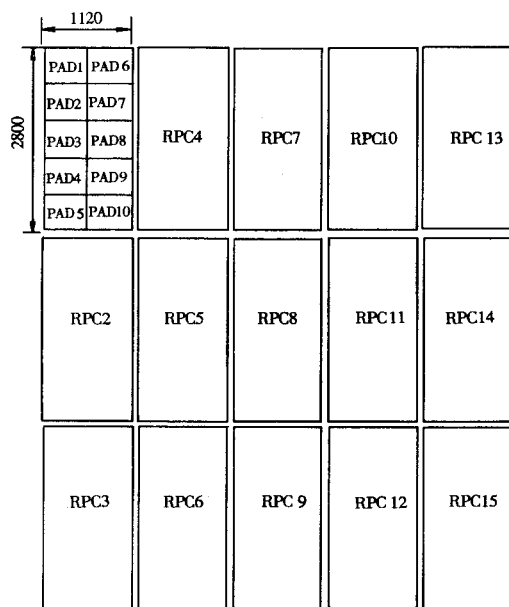


图1 15个RPC平面放置示意图

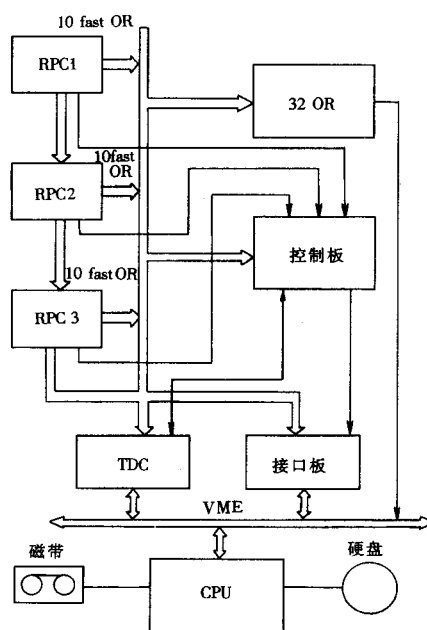


图2 前端电子学和数据采集系统框图

端电子学电路板(50cm × 20cm). 每块前端电子学板包括 16 路甄别器(甄别阈 ~ 50mV) 和一个速度很快的或门电路. 16 路甄别器接收分别来自 16 条读出条的信号, 输入寄存器(采用串行读出, 以便读出读出条上击中脉冲的位置信息来, 本文未用此数据), 经过或门后, 由一根 20 公尺长的同轴电缆传输到 32 路甄别器插件. 或门出来的信号作判选触发, 再传到 VME 总线上测时间信息的 TDC 插件上. 计算机采集 TDC 信号并存诸到磁带上, 再进行离线分析. 图 2 中的控制板主要起控制信号触发的作用, 接口板则主要起记录处理位置信息及联结的作用.

由于 RPC 的输出信号大, 不需要前放, 读出条上也无高压, 所以前端电子学电路既简单又不容易损坏, 还大大降低了造价.

### 3 初步测试结果及讨论

#### 3.1 坪曲线

首先测出 11 个 RPC 的坪曲线(15 个 RPC 中有一个漏气, 一个体积增加得太大, 两个高压接触不好). 图 3 是其中一个 RPC 的 10 条坪曲线, 每个 PAD 对应一条曲线, 所采用的气体比例是: 氩 45%, 氟里昂 45%, 异丁烷 10%, 从图中看出, 这种不可燃混合气体具有很好的坪特性, 工作很稳定, 每个 PAD 的坪曲线差别都不大, 坪长 2000V 以上.

由于甄别器的阈值电压为 50mV, 所以 RPC 本身的噪声在 50mV 以下. 图 4 给出了每个 RPC 高压电源的电流电压关系. 如选择工作电压 7500V, 此时工作电流仅为 10 $\mu$ A. 而高压电源 A430 提供高压 10kV 时, 最大电流可达 200 $\mu$ A, 此电源用于羊八井 RPC 上有很大的保险系数. 从电流电压曲线也可以估计将来 10000m<sup>2</sup> RPC 本身的功耗仅约 375W, 显然这是很低的.

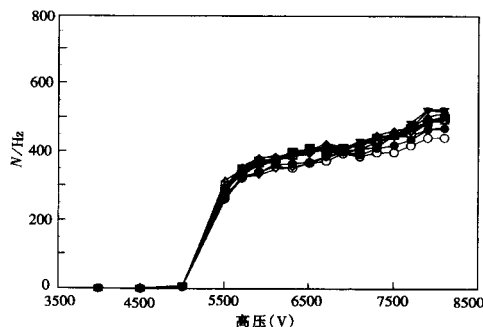


图3 一个RPC的十条坪曲线

○ pad01; ◇ pad02; □ pad03;  
△ pad04; ▽ pad05; ● pad06;  
◆ pad07; ■ pad08; ▲ pad09;  
▼ pad10.

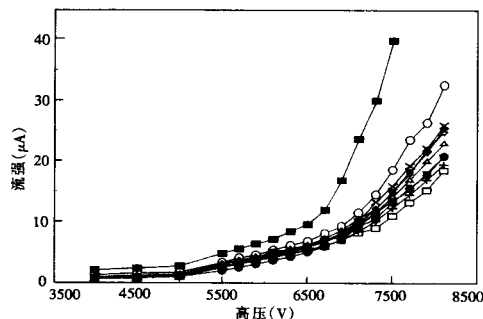


图4 高压电源的电压和电流关系曲线

○ RPC-01; ◇ RPC-02; □ RPC-03;  
△ RPC-04; ● RPC-06; ◆ RPC-07;  
■ RPC-08; ▼ RPC-10; × RPC-11;  
+ RPC-12.

#### 3.2 效率坪曲线

第二次测试把另外的两个 50cm × 50cm 的小 RPC 直接重叠覆盖在每个大 RPC 上, 固

定两个小 RPC 的高压, 改变待测的大 RPC 高压, 分别进行 3 重符合测量(共测了 12 个), 从而得出了中间 RPC 的效率坪曲线. 图 5 中的 3 条曲线是分别采用 3 种不同的气体比例而得到的, 每条曲线的气体比例、温度、高压的参数见表 1:

表 1

气体	氩 (%)	氟里昂 (%)	异丁烷 (%)	温度 (°C)	上、下 RPC 固定电压 (kV)
gas1	45	45	10	6	5.6
gas2	26.6	60	13.3	6.5	6.2
gas3	15	75	10	5	6.7

从图 5 看出 3 条曲线到达效率坪的高压值都不相同, 由于是在同一气压下进行下的测量, 温度又差别不大, 所以这主要是由工作气体所引起的. 我们知道混合气体中氩气是带电粒子的探测介质, 加入异丁烷是为了减小火花放电时所产生的紫外线再生光电电离; 而

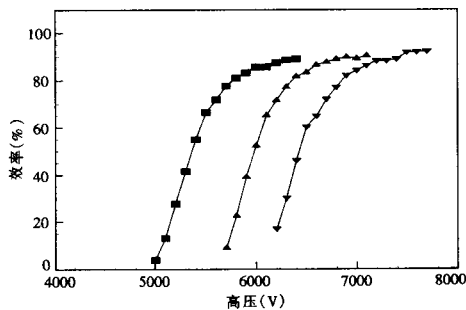


图5 三种气体的效率坪曲线

■ gas1; ▲ gas2; ▼ gas3.

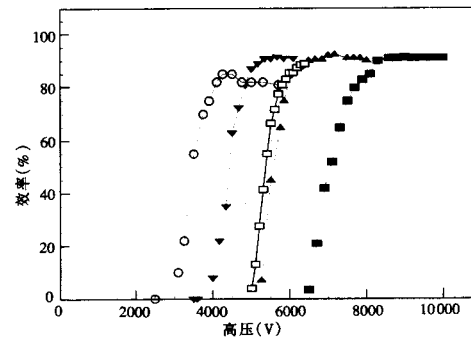


图6 羊八井所测的效率坪与文献[2]的结果比较

■  $P=1013\text{mbar}$ ; ▲  $P=800\text{mbar}$ ; ▼  $P=600\text{mbar}$ ;  
○  $P=400\text{mbar}$ ; □- YBJ:  $P=594\text{mbar}$ .

氟里昂是负电气体, 它的加入可压缩放电范围. 在这里, 异丁烷的用量基本相同, 因此氩气含量越高、氟里昂含量越低, 则一次和两次电离的粒子的产生就越多, 到达效率坪的电压值也就越低. 我们也看到尽管 3 种气体到达效率坪的高压值都不相同, 但对效率值本身都影响不大(效率均达 90% 左右). 图 6 是 gas1 的效率坪与文献 [4] 的模拟实验进行比较的结果. 该实验所用的气体比例为: 58%Ar、40%*n*-butane 和 2%CF<sub>3</sub>Br, 是典型的流光模式常用的气体比例. 由于异丁烷的地区差价的限制, 本实验所采用的气体比例与典型的流光模式有些区别. 在这里主要比较的是低气压下的探测效率问题. 文献 [4] 认为, 当 RPC 内的气压在 400mbar 时, 因一次和二次电离的粒子大量减少, RPC 将不能正常工作. 幸运的是, 羊八井的气压为 594mbar, 在此下限之上, 而且从图 6 很明显地看出, 羊八井实测的 91% 的效率, 与平原地区的 95% 相比相差很小. 也就是说羊八井的气压、温度引起的探测效率下降是很小的.

至于计数率太高而引起效率下降的问题, 从图 3 中可以计算出羊八井的宇宙线计数率约为 0.147Hz/cm<sup>2</sup>, 比 RPC 可工作的计数率上限<sup>[3]</sup>1Hz/cm<sup>2</sup>低差不多一个量级, 因此就计数率而言也不会引起探测效率的下降.

这里还有另一个问题值得考虑,混合气体中氟里昂含有能破坏大气臭氧层的氯成分,建造大的 RPC 地毯是否会引起环境问题呢. 如果氟里昂采用 R14(化学成份  $CF_4$ ), 根据世界环保组织提出的标准, 每年 R14 用量不能超过 10000Ib 单位, 我们按目前气流速比例 ( $50m^2$  20 l/h) 计算出  $10000m^2$  每年 R14 排放量约为此 3270Ib 单位, 仍低于规定值. 当然, 如果将来建造回收装备, 环境保护问题将得到更好的解决.

因此, 综合考虑认为 gas1 较为理想, 因为它到达效率坪的高压值和对环境有害的氟里昂都低, 而且价格较贵的异丁烷也低. 后面的测试都采用 gas1.

### 3.3 触发脉冲的门宽与多重符合测量

按照图 1 的几何放置, 进行多重符合测量. 先进行了触发脉冲最佳门宽度选择的测量. 方法是将甄别器的阈值设在 14mV, 高压设在 7.5kV, 逐渐加大触发脉冲的宽度, 观测 RPC 的计数率, 如图 7 所示, 大约在  $1.5\mu s$  处, 有一平台, 既选此值为触发脉冲的门宽度.

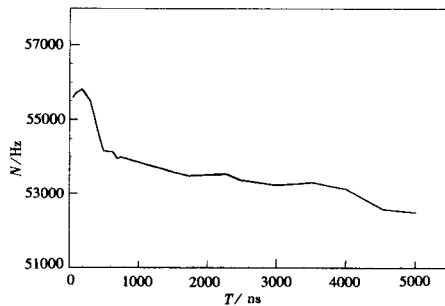


图7 输入脉冲宽度的测量

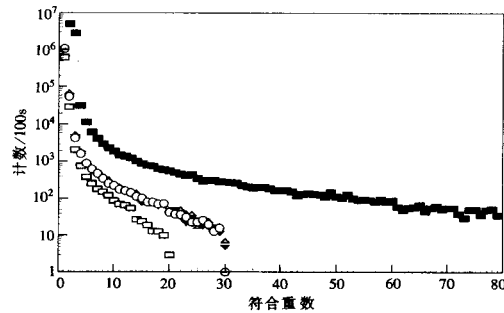


图8 多重符合测量的结果

▼ Ch1, 2, 3; □ Ch4, (5), 6; △ Ch7, 8, 9;  
○ Ch10, 11, 12; ■ All Chamber.

接着把 12 个 RPC(除去 1 个漏气, 1 个体积增加得太大, 1 个高压接触不良外)分为 4 组, 将输入脉冲的宽度设在  $1.5\mu s$ , 高压均设在 7.5kV, 分别进行多重符合测量. 测量中甄别器的阈值随着符合重数的增加而增加, 满足公式:

$$(n-1)20mV + 10mV = \text{threshold}(mV)$$

在图 8 的结果中, 第二组的 Chamber 5 漏气不能工作, 所以相同的符合重数计数率比其它三组的要低. 全部 12 个 RPC 的 79 重符合测量也作了出来.

此外为了检验整个  $50m^2$  RPC 的稳定性, 对每个 PAD 在高压 7.5kV、输入脉冲宽度  $1.5\mu s$  的相同条件下, 记录了 10s 的计数率. 如图 9 所示. 所有的 PAD 的计数率基本相同, 差不多都处在一个平面上, 因此  $50m^2$  的 RPC 整体性能还是很好的.

我们知道, 温度对 RPC 能否正常工作也是影响很大的. 文献 [5] 的结果表明, 当温度范围在  $0-30^{\circ}C$  时, 温度只影响到效率坪的高压值, 这被认为是温度影响密度所致(可通过归一化把效率坪曲线都统一起来); 如高压选在 9kV 以上, 温度对效率的影响就很小. 但温差达到  $30^{\circ}C$ , 时间分辨率的偏差可达  $0.4ns$ . 这样, 为了精确地测量源的方向, 即对簇射阵前到达中的各个 RPC 之间的时间差测量有高的精度, 就要求尽量使阵列范围内的温度均匀; 如果可能, 最好使之保持在  $\pm 3^{\circ}C$  之内. 此外, 还希望整个阵列区的日夜温差保

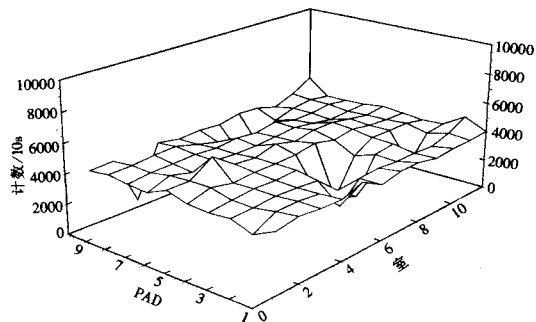


图9 每个PAD在高压7.5kV时10s内的计数率

持在  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  之内。而上述测试都是在羊八井气候最恶劣的冬季进行的,由于这一时期的日夜温差高达 20 多度,为了使温度保持在  $5^{\circ}\text{C}$  以上,我们付出了较大的代价,即利用 6 个 2kW 的电炉不间断地加热 RPC 实验厅,耗电非常大,因此大规模地毯的保温问题显得非常突出,如何从房屋的结构、材料、造价和保温设施等等去寻找一个最佳的方案还需要进一步探索。但我们相信在最寒冷的冬季 RPC 都能正常运行,那么别的季节更是毫无问题的了。

## 4 结论

通过测试,得到以下结论:

1) 所选用的气体配方都能使 RPC 在羊八井地区正常地工作。羊八井宇宙线的高计数率和低气压条件对探测效率的影响都不大,大面积 RPC 地毯的运行和实现其物理目标是完全可能的。

2) 3 种气体当中, gas1 的工作点相对较好,但就将来大面积地毯而言,气体的利用、回收甚至价格、运输仍是一个要很好对待的问题。

3) 大规模的恒温设施也是一个要很好解决的问题。

由于时间限制,时间分辨率和簇射前峰分布的测试还未完成,进一步的实验也将在适当时候继续进行。相信通过中、意双方的共同努力,随着将来大面积 RPC 地毯的建成,一定能在宇宙线的研究中取得重要的成果。

作者感谢以 B. D'Ettorre Piazzoli 为首的意方合作组,是他们运来了 RPC 及有关设备并与我方人员一道上山安装测试,才使本试验获得成功。经协商,同意中方可以单独署名在国内刊物上发表。

高能物理所的谢一冈研究员对本文提出了许多非常重要的意见和建议,在此一并表示深深的感谢!

## 参 考 文 献

- 1 Santonico R, Cardarelli R. Nucl. Instr. and Meth., 1981, A187:377
- 2 Chen Yuanbo et al. Nuclear Electronics & Detection Technology (in Chinese), 1992, 12:88

(陈元柏等. 核电子学与探测技术, 1992, 12: 88)

- 3 Bian J G et al. Some Results of Resistive Plate Counter and the Proposal to TAU-CHARM Factory of Beijing. In: Sergio P. Ratti, Marco Merlo ed. SCIENTIFICA ACTA. Pavia: INFN, 1996, 419—436
- 4 Abbrescia M et al. Nucl. Instr. and Meth., 1997, A394: 341—348
- 5 Abbrescia M et al. Nucl. Instr. and Meth., 1997, A396: 93—102

### Structure, Installation and the First Step Experimental Results of 50m<sup>2</sup> RPC in YBJ\*

Lu Hong<sup>1</sup> Shen Peirou<sup>1</sup> He Huihai<sup>1</sup> Ding Linkai<sup>1</sup> Tan Youheng<sup>1</sup>  
Kuang Haohuai<sup>1</sup> Meng Lie<sup>1</sup> Wang Hui<sup>1</sup> Feng Zhenyong<sup>3</sup> Liu Shaomin<sup>1</sup>  
Yu Guangce<sup>3</sup> Danzhenluobu<sup>2</sup> Meng Xianru<sup>2</sup> Yuan Aifang<sup>2</sup> Jia Huanyu<sup>3</sup>

1 (*The Key Lab. of Cosmic Ray and High Energy Astrophysics, Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

2 (*Institute for Cosmic Ray Research, Tibet University, Lhasa 850000*)

3 (*Department of Physics, South West Jiaotong University, Chengdu 610031*)

**Abstract** We introduced the structure, installation and the first step experimental results of the 50m<sup>2</sup> RPC in YBJ. Our conclusion is that RPC can work very well in YBJ where the altitude is 4000m a.s.l and the pressure is 594 mbar.

**Key words** resistive plate chamber, plateau curves, efficiency plateau

---

Received 20 April 1998

\* Supported by the Chinese Academy of Sciences the State Science and Technology Commission of China and the National natural Science Foundation of China