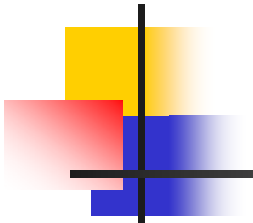


大亚湾RPC探测器

宁哲

高能物理研究所
核探测与核电子学国家重点实验室
2012.08.16



报告提纲

1. 简述
2. 大亚湾宇宙线反符合系统
3. RPC探测器系统硬件
4. RPC探测器系统软件
5. 总结

大亚湾反应堆中微子实验

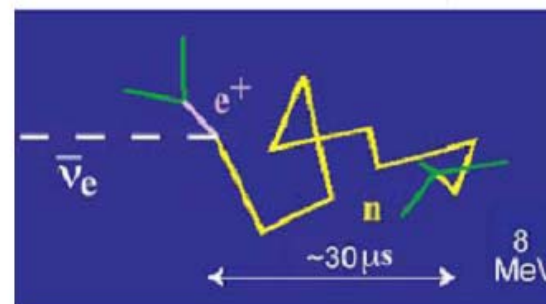
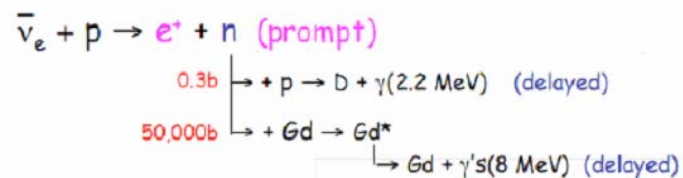


大亚湾实验本底的物理要求

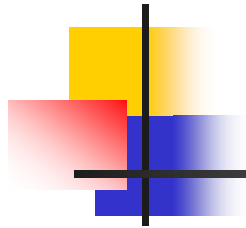
各实验点的中微子探测器模块的事例数和信噪比

	大亚湾近点	岭澳近点	远点
基线长度	363m	距岭澳反应堆481m 距岭澳 II 反应堆526m	距大亚湾反应堆1985m 距岭澳反应堆群1615m
岩石覆盖(m)	98	112	350
天然放射性(Hz)	< 50	< 50	< 50
μ子计数率(Hz)	36	22	1.2
反中微子事例数(个/天)	930	760	90
偶然符合与中微子事例的信噪比(%)	< 0.2	< 0.2	< 0.1
快中子本底与中微子事例的信噪比(%)	0.1	0.1	0.1
⁸ He和 ⁹ Li本底与中微子事例的信噪比(%)	0.3	0.2	0.2

用掺Gd液闪里的 反β衰变 探测来自反应堆的反电子中微子:



快慢信号的能量要求和时间关联大大减少偶然符合本底



大亚湾宇宙线反符合系统

大亚湾是一个低本底的实验，首先需要足够的屏蔽层来降低宇宙线本底，另外需要在中心探测器的周围建立屏蔽层和探测本底的探测器来进一步减少本底(反符合系统)。

大亚湾实验的物理目标对反符合系统的要求

对宇宙射线 μ 子的联合有效的探测效率 $\geq 99.5\%$

对宇宙射线 μ 子的联合探测效率的不确定度 $\leq \pm 0.25\%$

随机符合的死时间 $\leq 15\%$ ，避免影响系统的统计精度

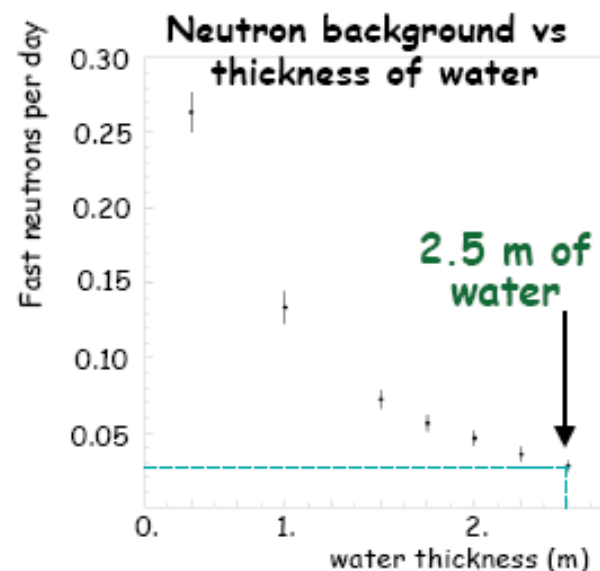
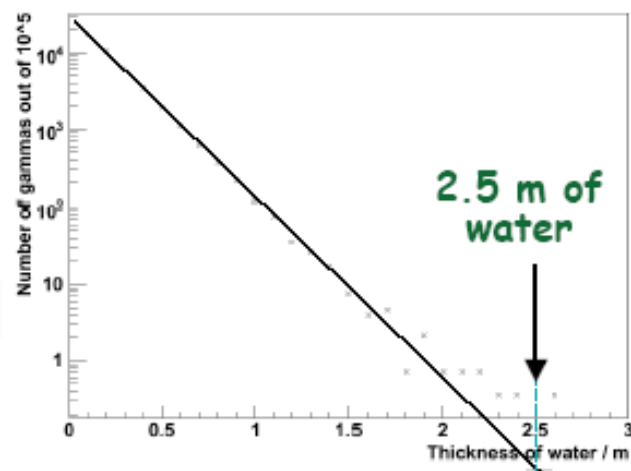
随机符合的死时间的不确定度 $\leq \pm 0.05\%$

空间分辨率为 $0.5-1m$

水契伦科夫和RPC探测器的时间分辨率分别为： $\pm 2ns$ ， $25ns$

水屏蔽层的厚度不小于 $2m$

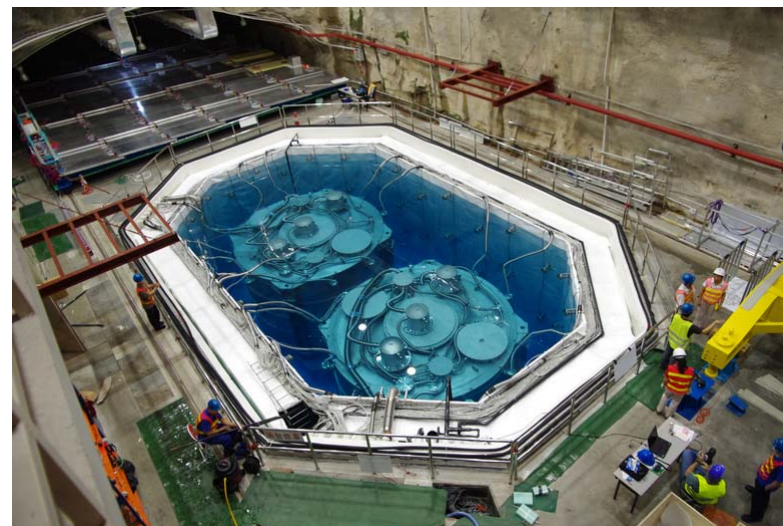
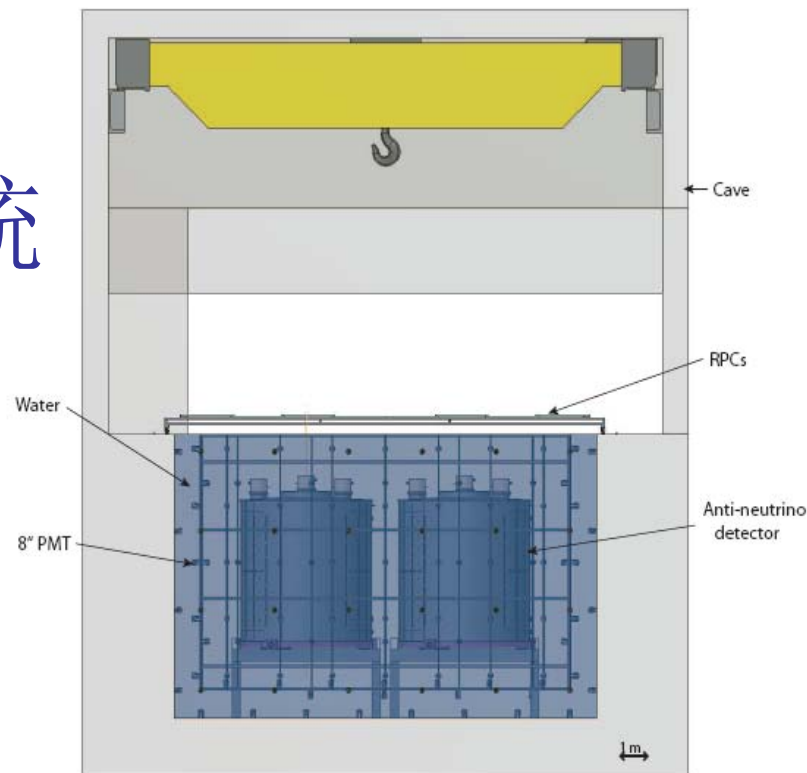
水对gamma和中子的屏蔽作用



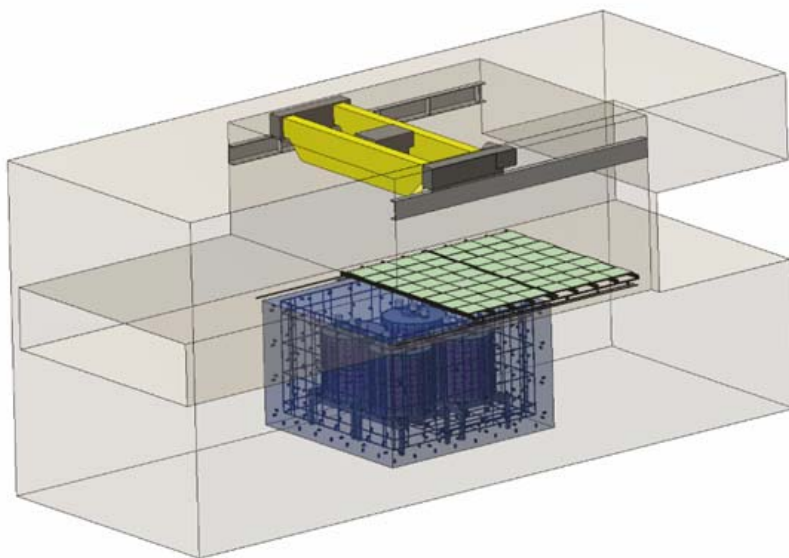
- 如果采用中心探测器外围有水的结构，能够极大地**减低周围岩石引起的放射性本底**，压低我们需要足够厚的水层（2.5米），**可以压低近6个数量级**；对于宇宙线的快中子本底的降低只有几倍，因此需要反符合探测器来压低快中子本底。
- **水层可以兼做成契仑柯夫探测器**，在高纯净水内装光电倍增管进行水契仑柯夫光的测量具有高探测效率，高的探测效率能够把muon在水中产生的快中子本底减到非常低的水平，而且对效率不确定性引起的系统误差也可以减到可控制的水平。

反符合探测器系统

- 水池尺寸:近点实验厅16米×10米×10米,可以容纳2个探测器模块,探测器与水池壁的距离为2.5米。远点水池为16米×16米×10米,容纳四个探测器模块。中心探测器置于水池中,被至少2.5m 厚的纯水包围。
- PMT个数:近点288个,远点384个
- 水池被tyvek反射膜分隔成两个独立的光学部分,称为内外水屏蔽层。Tyvek反射膜上装有8"光电倍增管,内外水层构成两个独立的水契伦科夫探测器探测muon。双重水契伦科夫探测器还可相互校验探测器性能。
- 水池形状为八边形。八边形水池更有利于水池内纯净水的循环,水池有净化和循环系统,使水池的水保持高的透明度,来保持对缪子的高的探测效率。
- 水池顶端同时置有RPC探测器探测缪子,还可以给出缪子的位置信息。
- 水契伦科夫和RPC的联合对宇宙线产生中子的排除效率 $> 99.5\%$, 误差 $< 0.25\%$ 。



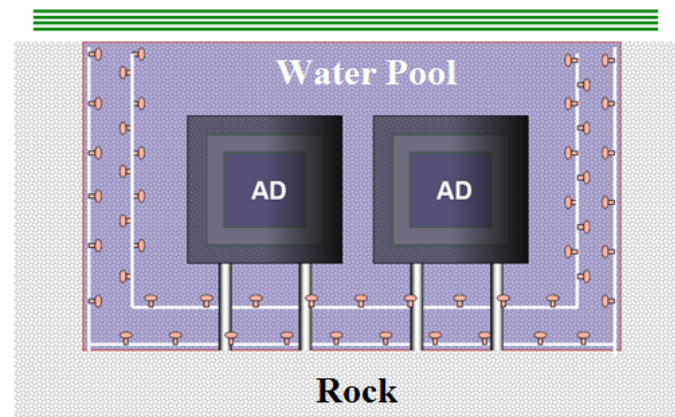
大亚湾探测器示意图



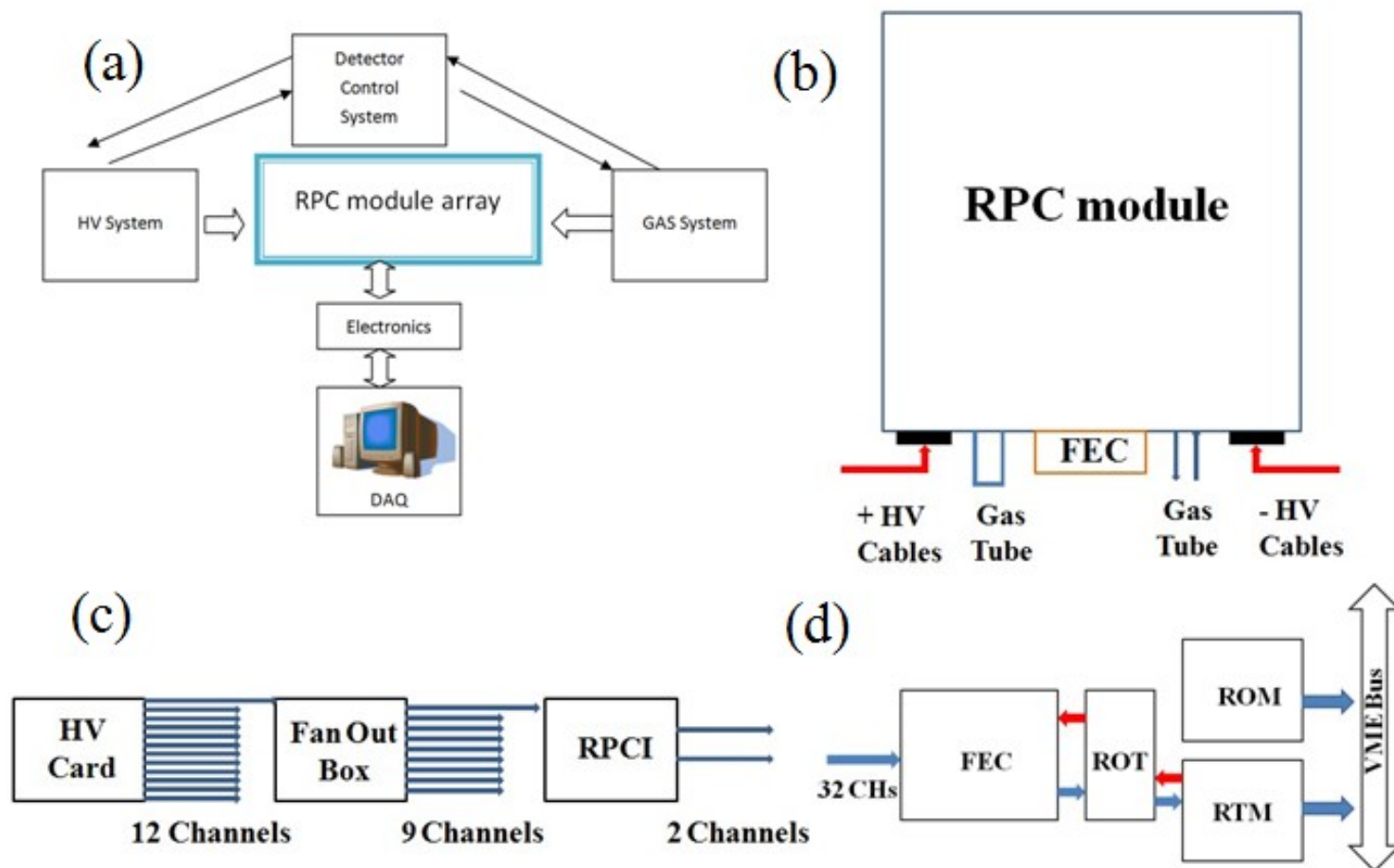
Telescope RPC

Telescope RPC

RPC Array

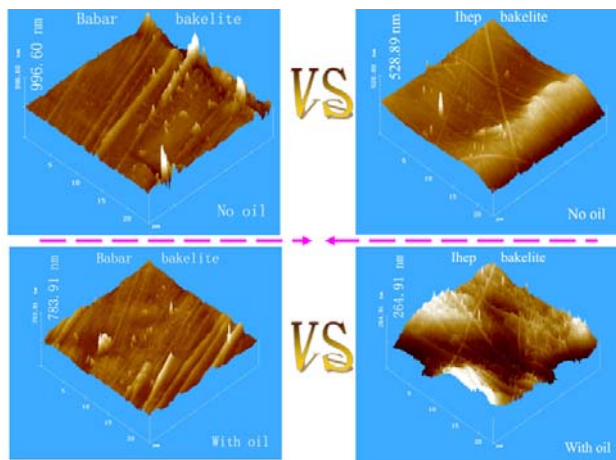


RPC探测器子系统

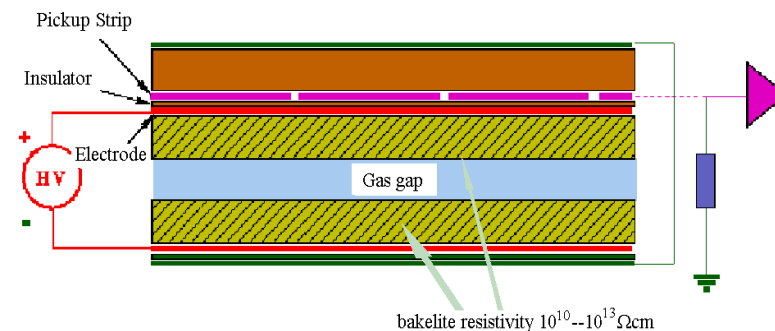


RPC探测器简介

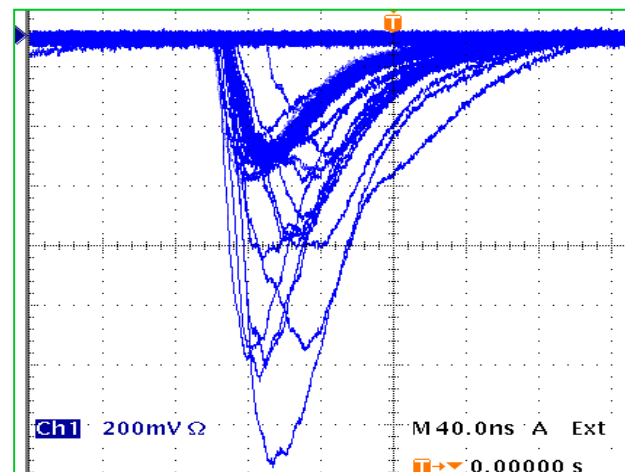
与其他使用酚醛树脂阻性板室的实验组有所不同的是，BESIII阻性板室（RPC）内表面没有采用淋油工艺，而是选择在内表面压制一层特制薄膜来提高其内表面的光滑度。基于BESIII的成功应用，在原有的技术基础上，通过控制体电阻率，改进读出条方式、模块组装、高压和气体组分等方面，大亚湾RPC探测器的性能得到了进一步的优化。



BESIII和BaBar的阻性板表面粗糙情况比较



RPC探测器内部结构示意图

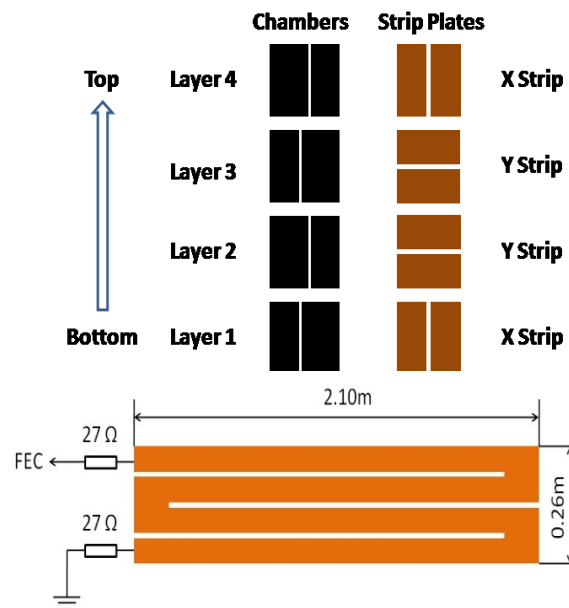
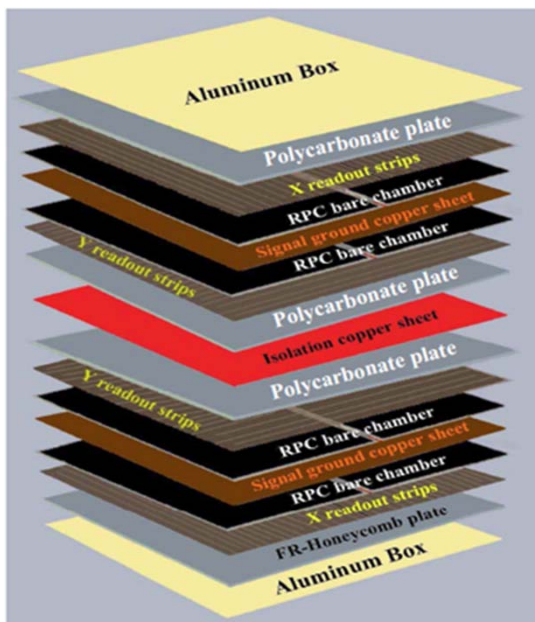


RPC探测器流光模式信号

RPC读出条

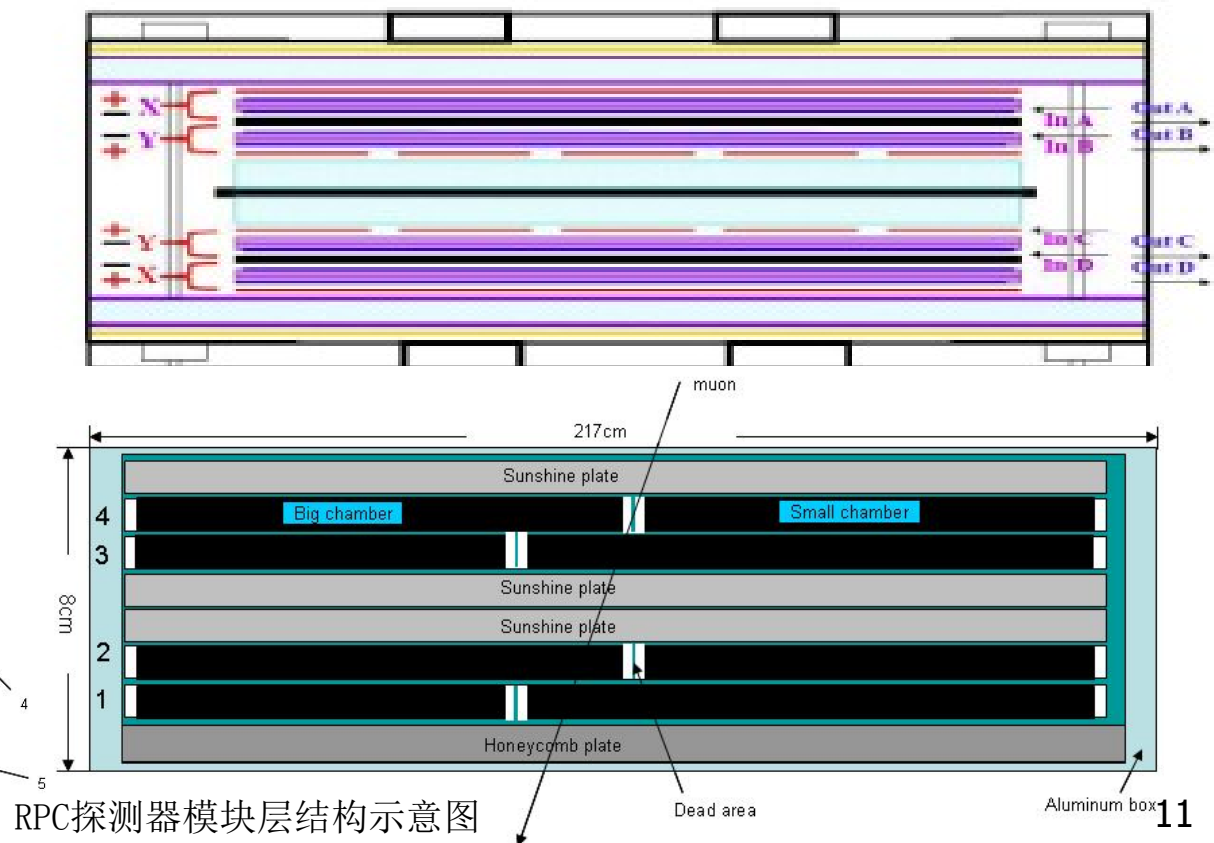
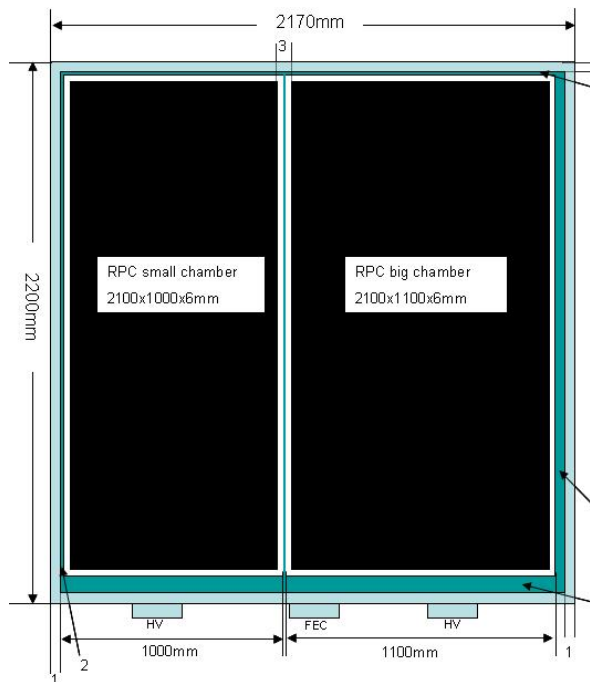
读出条设计:

每层有8根读出条，宽度约为 $26\text{cm} \times 200\text{cm}$ ，其中第1和第4层的读出条走向为X走向，第2和第3层的读出条走向为Y走向，即XYYX；每根读出条为独特的蛇形结构，如此可得到实现既节省电子学，又获得较高幅度信号的目的。匹配电阻为 27Ω 。



RPC 模块结构

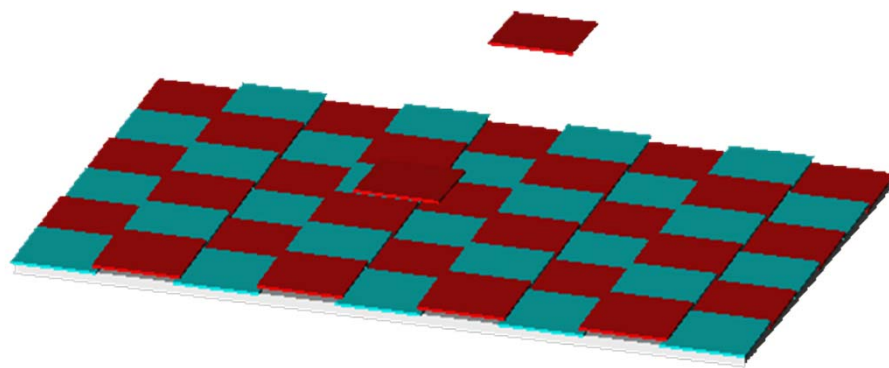
一个RPC裸室的尺寸约 $1\text{m} \times 2\text{m}$ ，模块的尺寸约 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，由4层共8块RPC组装而成，如此设计一个模块可以得到高符合效率。相邻模块存在交叠，目的是为了减少死区，提高探测效率和降低噪声。



RPC探测器模块层结构示意图

RPC模块阵列

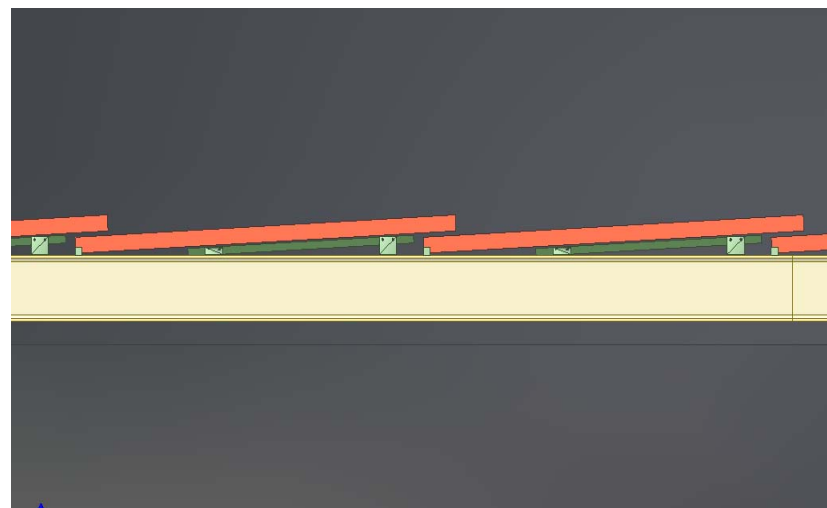
大亚湾有3个实验点，每个实验点都需要RPC模块覆盖在上方。整个大亚湾实验一共需要195个RPC模块，约1600个RPC裸室。两个近厅各有56个模块，远厅83个模块。



RPC探测器模块阵列排布示意图



RPC探测器模块阵列实物示意图

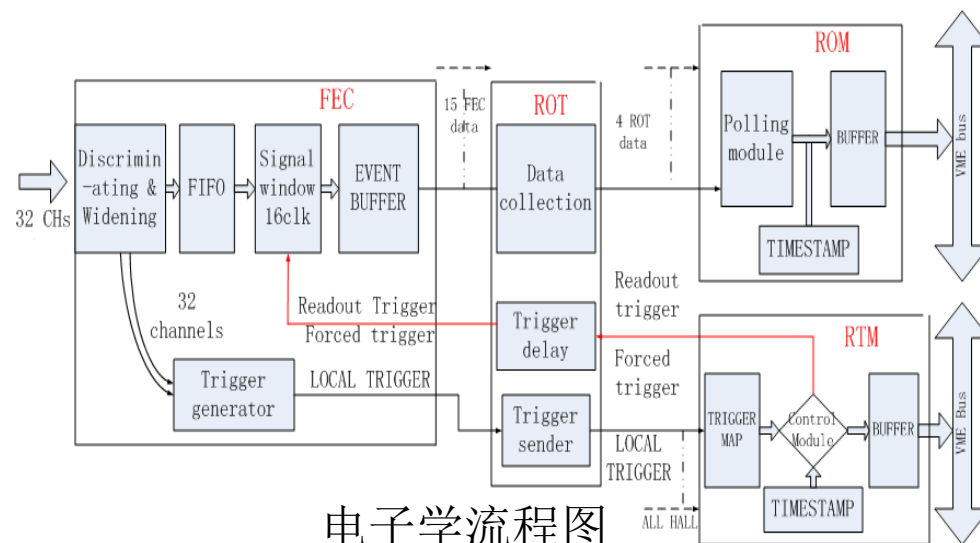


RPC探测器模块阵列排布侧面示意图

RPC电子学系统

RPC电子学系统作用：收集RPC模块产生的信号，并按照一定要求
进行转换和处理，送到数据获取系统。每个模块对应一个
FEC，负责甄别信号，给出击中。超过三层同时有击中，FEC则
会给出本地触发，该触发送到RTM进行处理后，再令ROT将数
据传送到ROM，再经过VME总线传到DAQ；

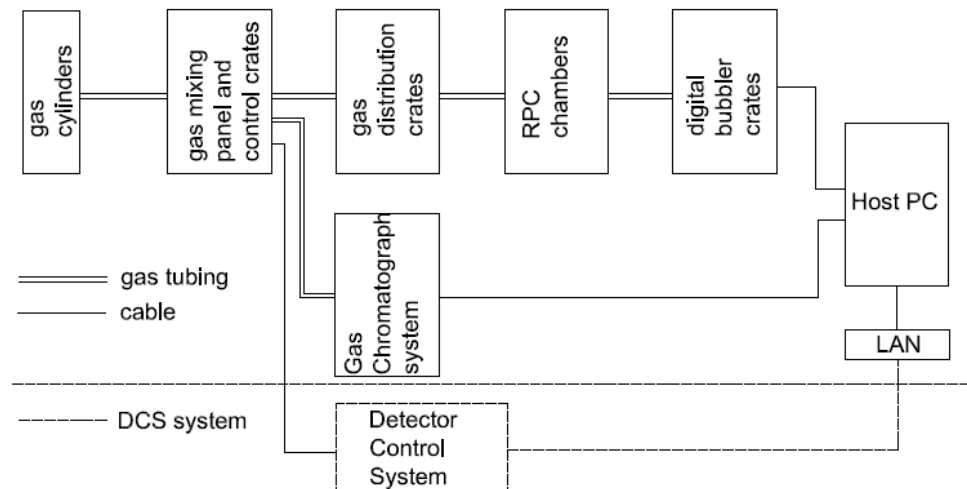
随机触发频率10Hz，用于测量噪声水平；



电子学流程图

RPC气体系统

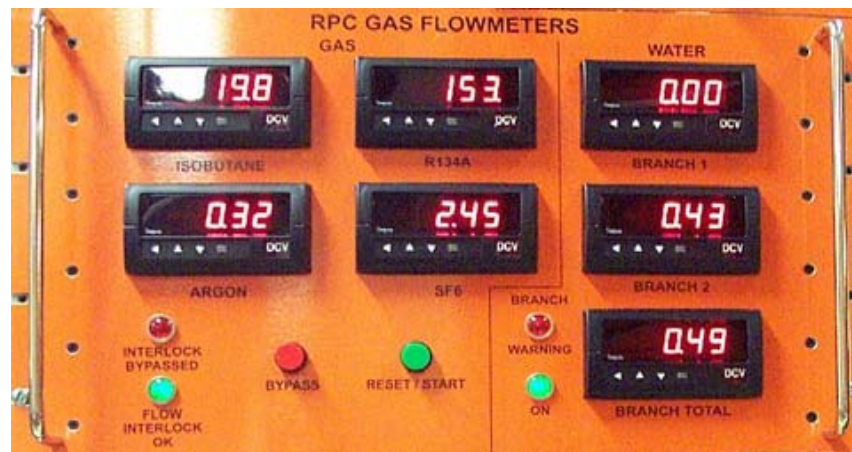
- 混合气体成分比例 argon: R134A: iso-Butane: SF6 = 65.5: 30: 4: 0.5;
- 气体从气瓶出来后，经混气板分两路，一路进入RPC模块，最后作为尾气送到数字气泡计数器测流量，另一路送入气相色谱仪实时分析气体比分；
- 在气体出现异常时，无需人工干预，可自动切断气路，能很好满足地下实验室高安全性的要求；



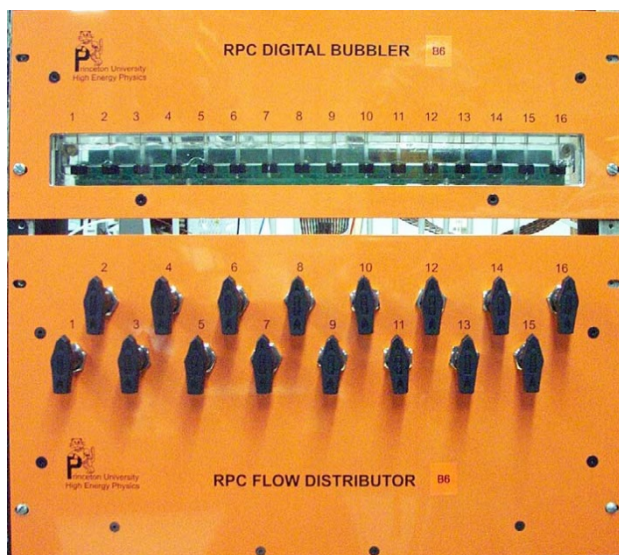
RPC气体系统结构图



混气面板



前端显示面板



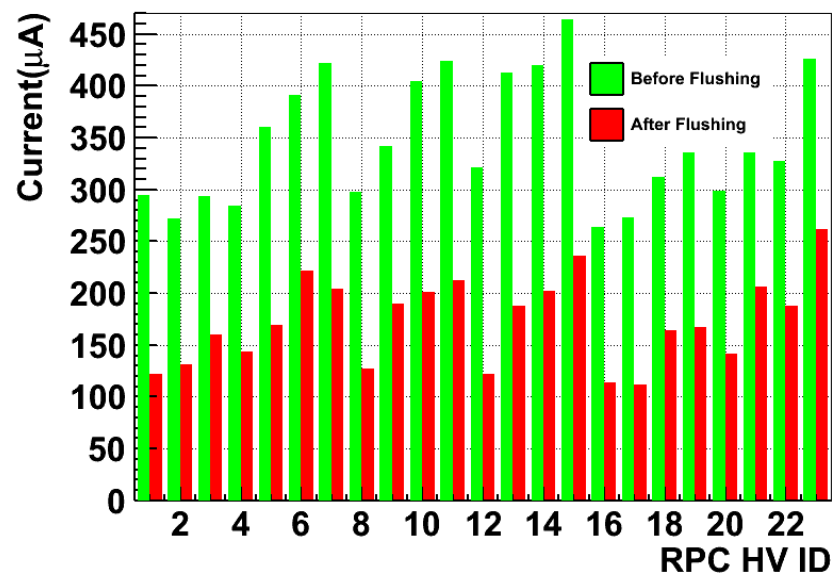
数字气泡计数器



气相色谱仪

干燥气

由于地下高湿环境，调试期间湿度超过70%，暗电流极大，为保证探测器正常工作，需要通干燥气。

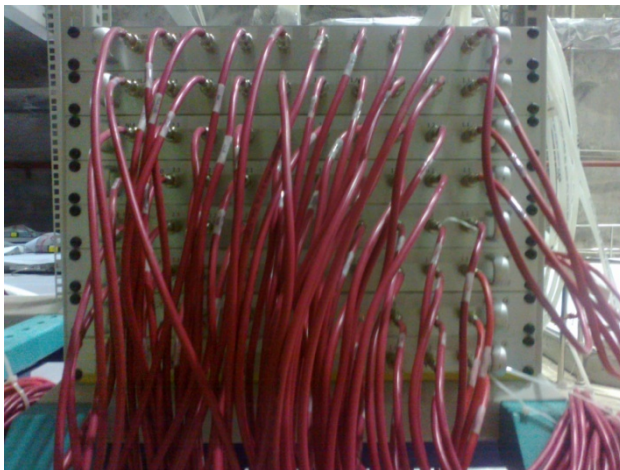


通干燥气前后暗电流变化，纵坐标为暗电流

RPC高压系统

RPC目前正负工作高压均为3800V;

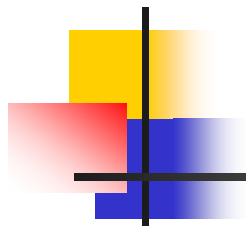
为节省高压通道, 高压插件的一路高压经过fan box将被扇出成9路, 然后9路再进入RPC模块前被RPCI分成 9×2 路, 为模块同一层的两块RPC裸室提供高压;



fan box



RPCI



RPC离线刻度

RPC的离线刻度层次包括模块、层、patch三个层次；

算法：利用4层中的其中3层同时有击中来研究剩余层状态；

刻度内容：效率和噪声；

层效率：

$$\varepsilon_i = \frac{N_{4-fold,ijkl,WP}}{N_{3-fold,jkl,WP}}$$

模块效率：

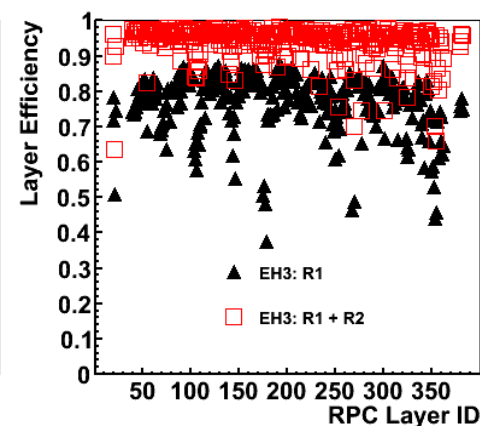
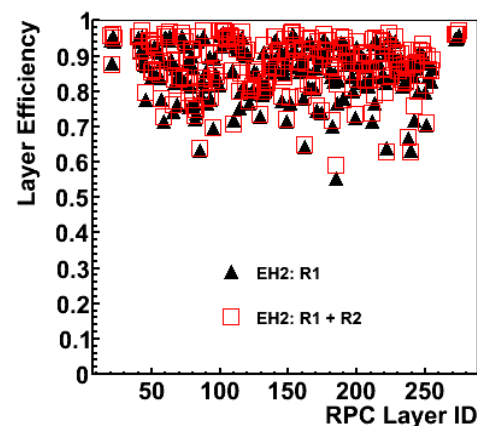
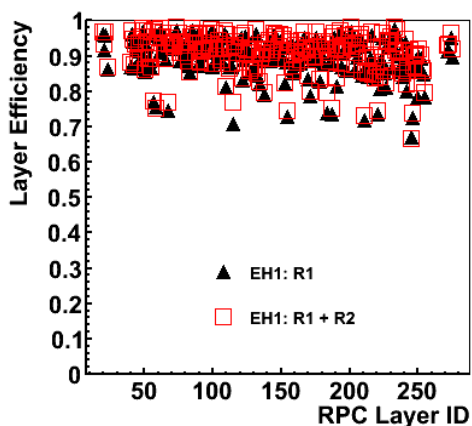
$$\varepsilon_{\text{mod}} = \prod_{i=1}^4 \varepsilon_i + \sum_{i=1}^4 (1 - \varepsilon_i) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^4 \varepsilon_j$$

角度依赖性

事例挑选要求:

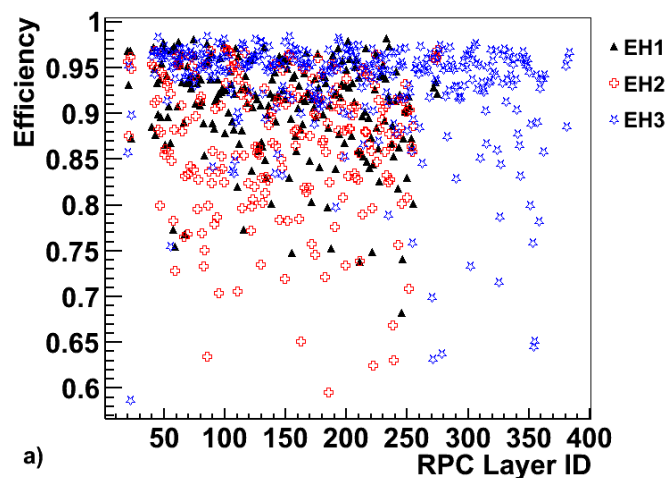
R1. 要求同时着火的3层以上, 每一层只能有一根读出条或者相邻两根读出条同时有击中;

R2. 要求RPC和水池同时有触发;

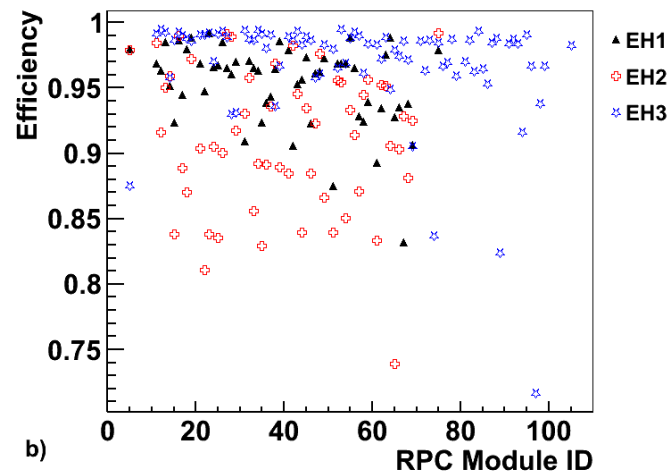


Layer Eff.	EH1	EH2	EH3
$Max(Fabs(D))$	0.4%	0.54%	0.55%
$Aver(D)$	-0.05%	-0.05%	-0.07%

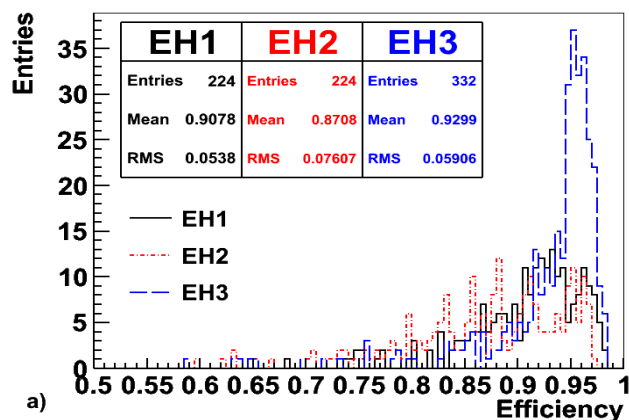
效率刻度



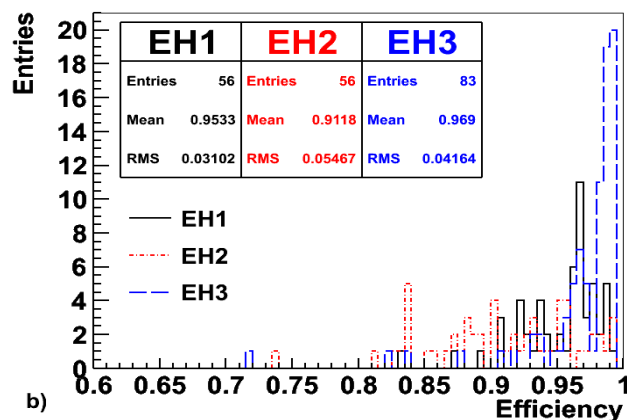
各层效率



模块效率



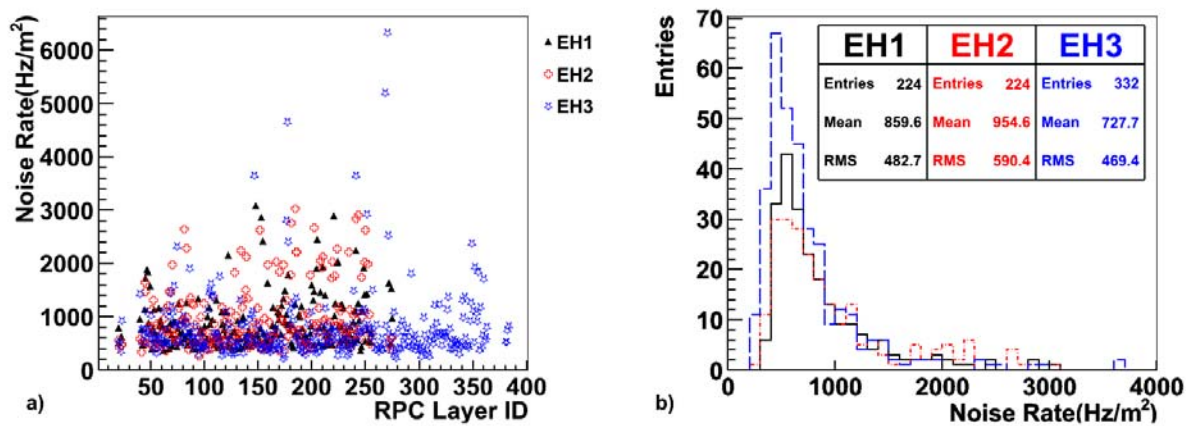
层效率统计



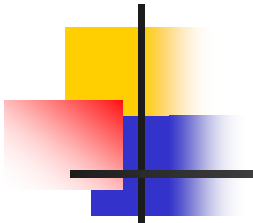
模块效率统计

噪声刻度

电子学采用10Hz周期性触发测量探测器噪声水平



Layer Eff.	EH1	EH2	EH3
Noise Rate(Hz/m ²)	859.6	954.6	727.7



总结

- 大亚湾采用双层水契仑柯夫探测器+RPC探测器的反符合系统，可以满足大亚湾实验的要求；
- 反符合探测器在2011年12月25日全部开始正常运行，总体运行状态良好；
- 双宇宙线反符合探测器系统：
 - 水契仑科夫探测器：效率>97%
 - RPC径迹探测器：效率 > 88%

THANKS