



# 大亚湾反符合探测器系统



路浩奇

中科院高能物理研究所

大亚湾中微子实验组

2010年4月19日

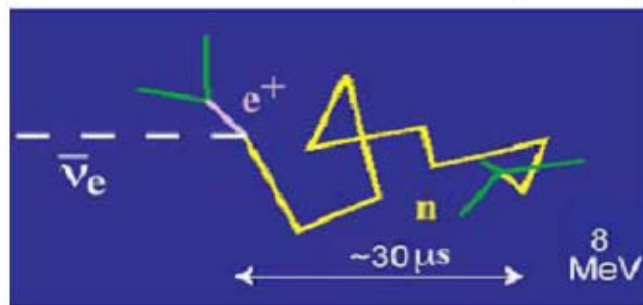
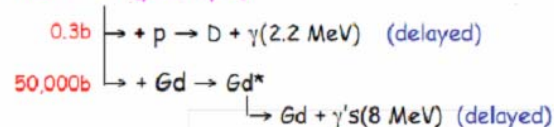
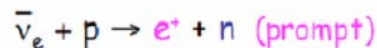
# 内容提纲

- 简述
- 大亚湾反符合探测器系统
- 水契仑柯夫探测器系统
- 高能所小水箱模型
- RPC探测器系统
- 总结

# 大亚湾反应堆中微子实验



用掺Gd液闪里的反 $\beta$ 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
$\mu$ 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
$^8\text{He}$ 和 $^9\text{Li}$ 本底与中微子事例的信噪比(%)	0.3	0.2	0.2

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 $\mu$ 子的联合有效的探测效率 $\geq 99.5\%$

对宇宙射线 $\mu$ 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 $\leq \pm 0.05\%$

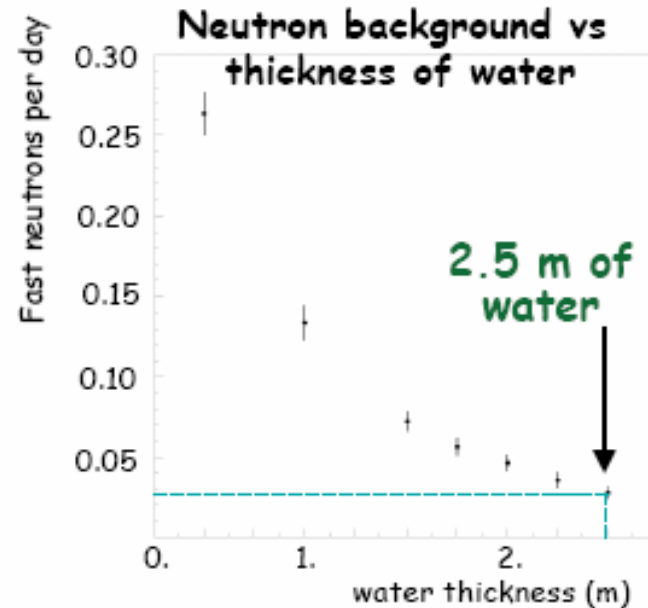
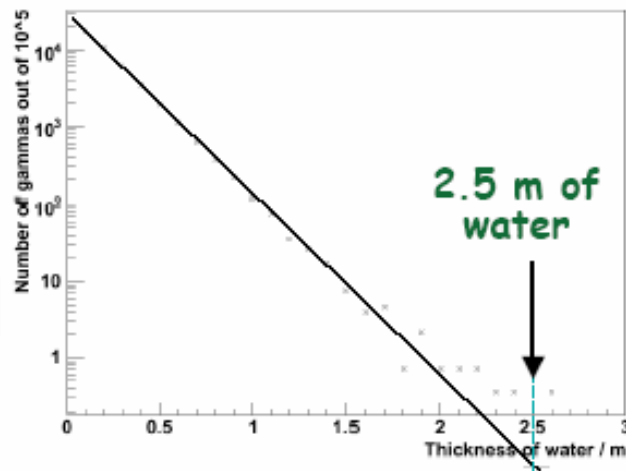
空间分辨率为 $0.5-1m$

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。

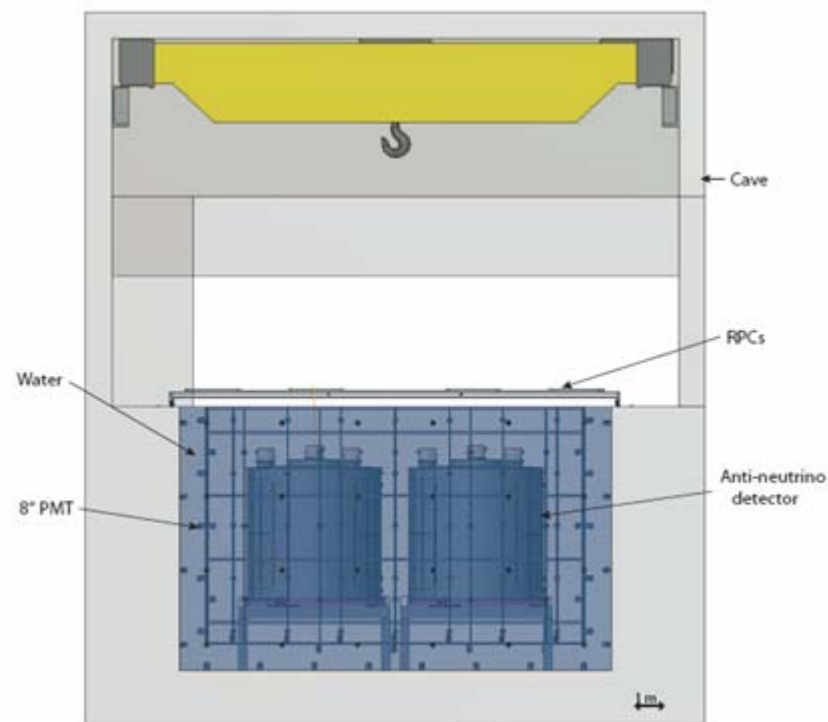
- PMT个数: 近点288个, 远点384个

- 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。

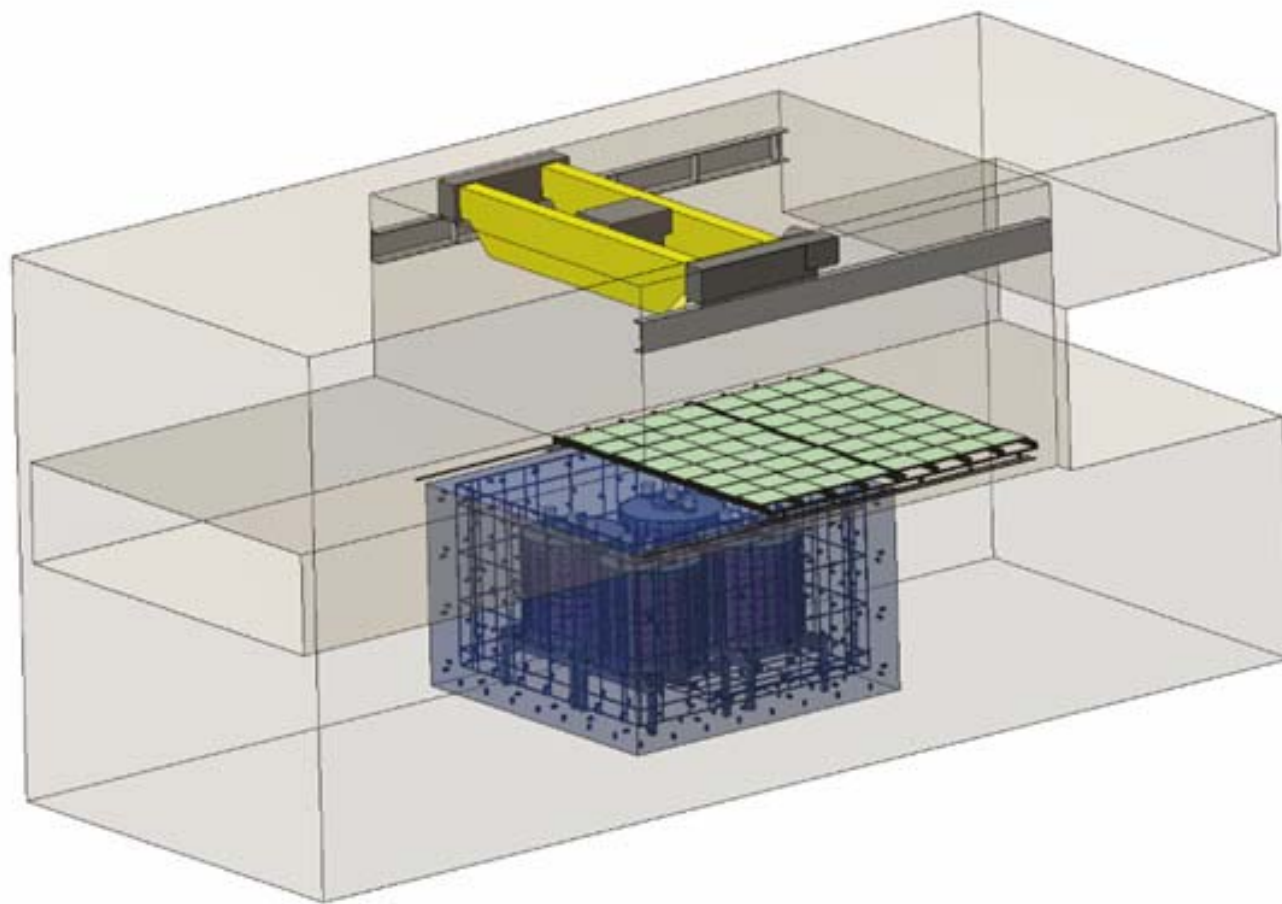
- 水池形状为八边形。八边形水池更有利于水池内纯净水的循环, 水池有净化和循环系统, 使水池的水保持高的透明度, 来保持对缪子的高的探测效率。

- 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。

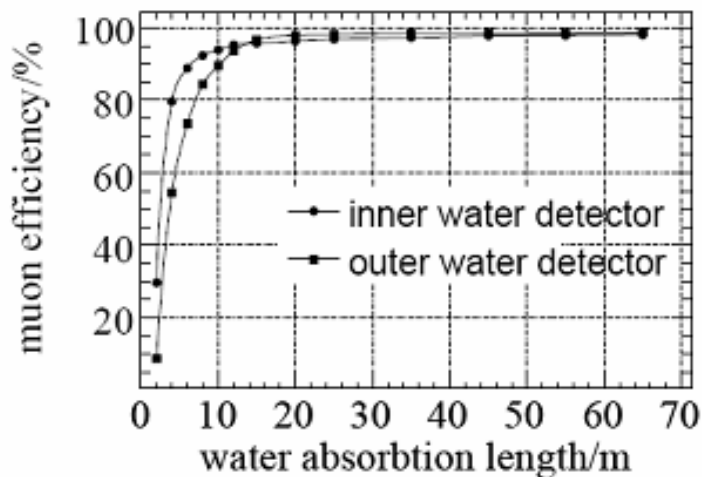
- 水契伦科夫和RPC的联合对宇宙线产生中子的排除效率 $> 99.5\%$ , 误差 $< 0.25\%$ 。



# 大亚湾远点探测器示意图

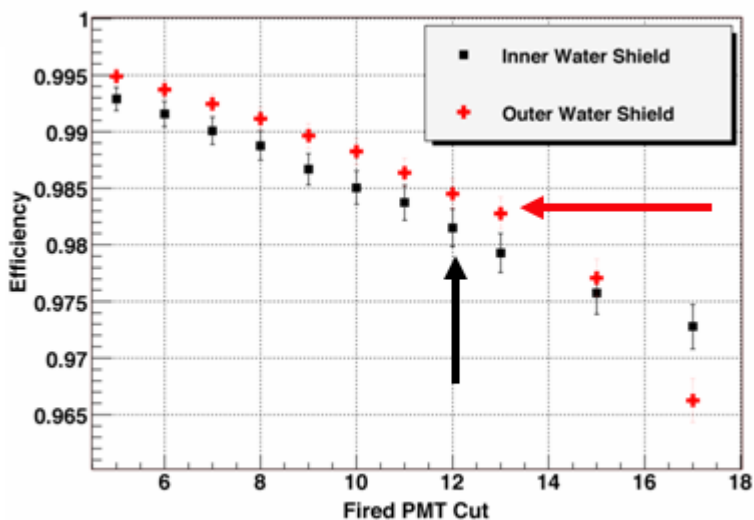


# 水契仑柯夫探测器的模拟



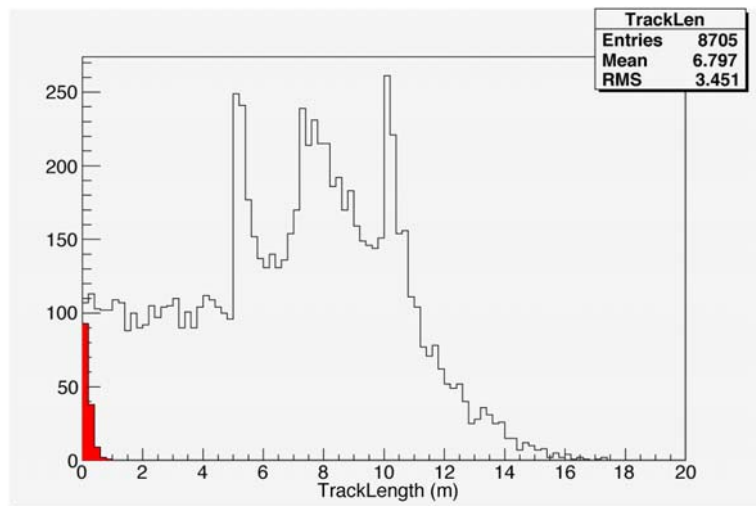
当水的吸收长度 $>30\text{m}$ 时，水契仑柯夫探测器的探测效率基本上上平台。可以保证有一个稳定的效率。

水吸收长度与探测效率之间的关系。



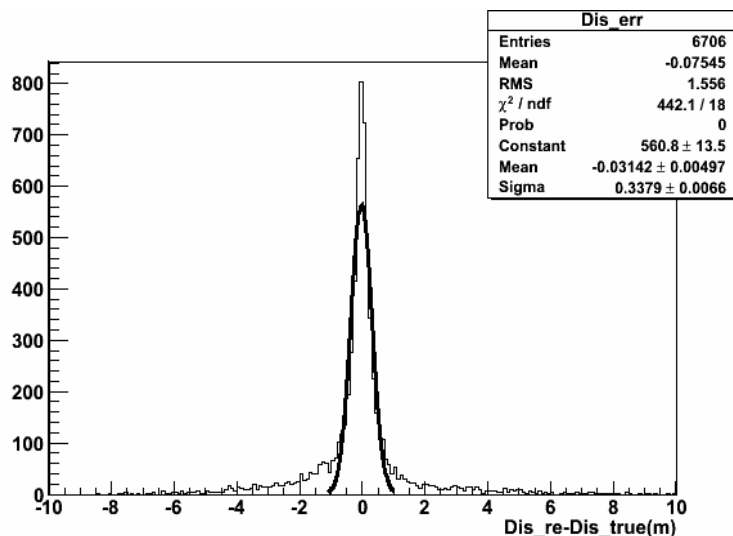
- 内外水池的探测效率与阈值之间的关系
- $\lambda_{\text{att}} = 30\text{m}$ , tyvek 反射率  $\sim 80\%$ ;
- Rate=50KHz, Dead time fraction  $\leq 1\%$ ;





没有探测到的muon在水中的径迹长度

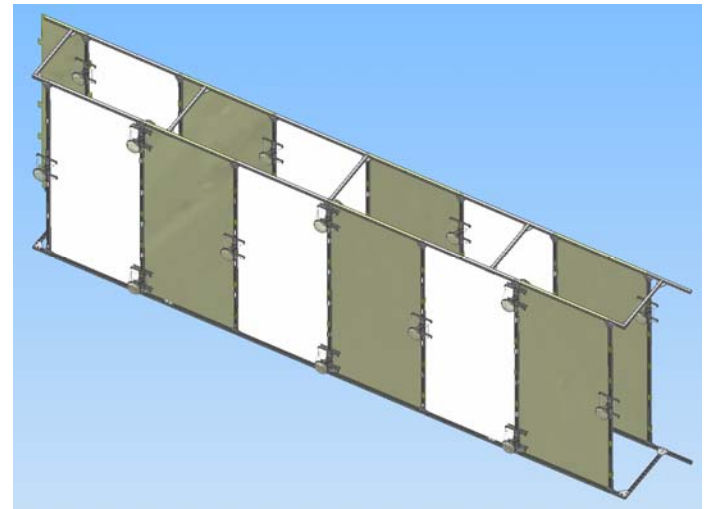
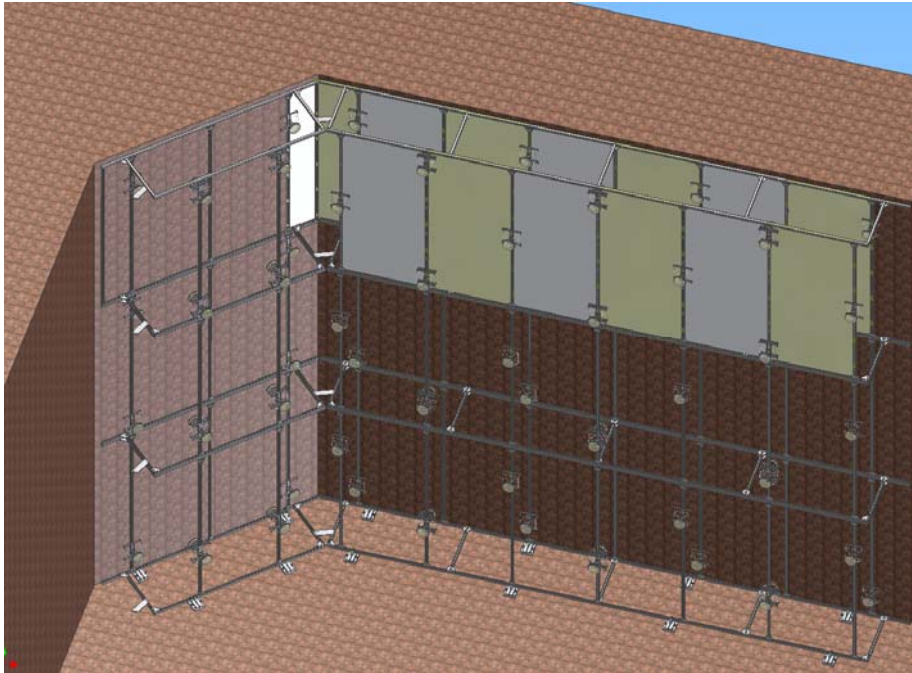
没有探测到的muon，都是在探测器的边沿穿过，带来的本底比较小，结合水契仑柯夫探测器和RPC，对muon带来中子的有效探测效率99.9%(>99.5%)。



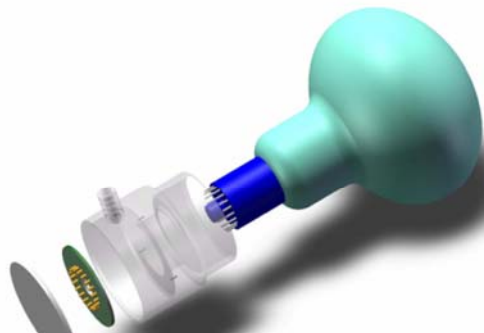
Muon 重建的位置初步结果~0.4m(<0.5m)

大亚湾对水契仑柯夫探测器的要求:  
对水的吸收长度 (>30m)，tyvek反射率 (>80%)

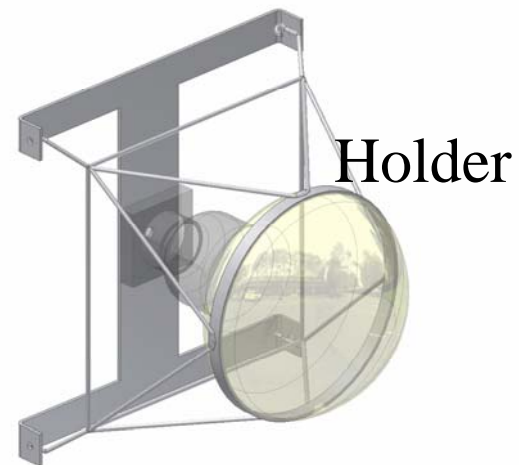
# 水池中PMT和支撑结构



Unistrut frames & Tyvek panels

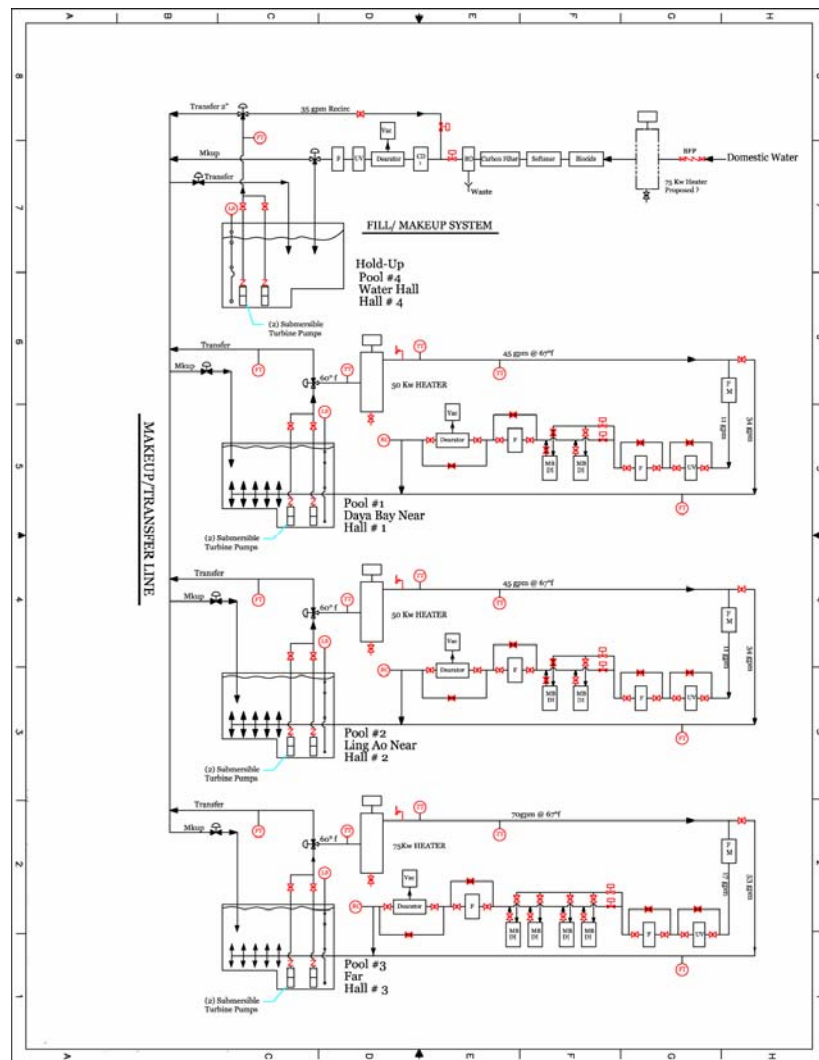


Potted & encapsulated base



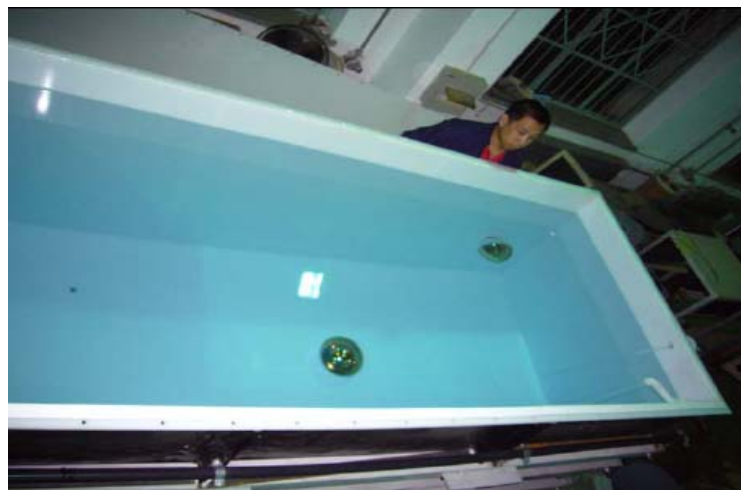
# 大亚湾的水循环净化系统

- 大亚湾实验近点，水池的循环速度为每小时10吨，净化速度为每小时5吨;~10天净化一个体积;
- 远点探测器,循环速度每小时16吨,净化速度为每小时8吨,~10天净化一个体积.
- 进行水循环和净化装置有利于水池水透明度的保持.

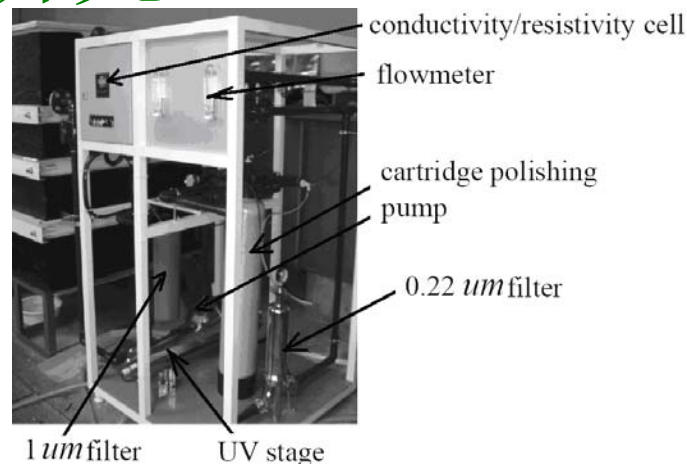
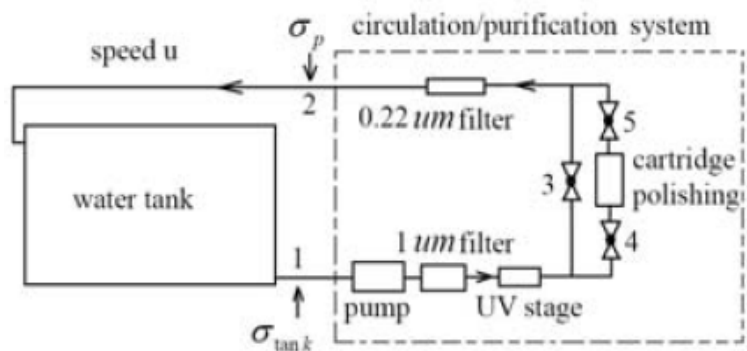


# 高能所水契仑柯夫水箱模型

- 由于大亚湾要求反符合系统的高的探测效率，对水的吸收长度 ( $>30\text{m}$ )，tyvek反射率 ( $>80\%$ )。
- 大亚湾需要超纯水来作为探测介质，并有循环净化系统维持。设计并建造了一个水箱模型，去进行超纯水的质量（电阻率和衰减长度）和tyvek反射率和水循环净化系统的研究，以及材料对超纯水兼容性的研究。
- Tyvek为特制的双层tyvek膜（1082D+PE+1082D）；
- 研究了水箱对于宇宙线mu子的响应，通过数据与模拟，去验证模拟软件的有效性和可靠性。
- 小水箱尺寸： $2.8\text{m}\times 1.2\text{m}\times 1.3\text{m}$ ，2个PMT放在水箱，4吨的超纯水
- 水箱带有水循环净化系统，保证水质的长期稳定性。

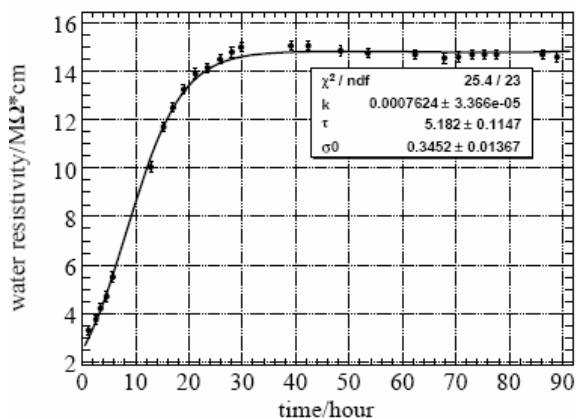


# 水循环和净化模型的研究



这里我们假设与超纯水接触的物质在单位时间内析出导电离子物质为一个常数， $k$  ( $\text{mg}/(\text{l} \cdot \text{h})$ )，水箱水的电阻率的变化满足方程：

$$R_{\text{tank}} = \frac{1}{\sigma_{\text{tank}}} = \frac{1}{(\sigma_p + 2k\tau) + (\sigma_0 - (\sigma_p + 2k\tau))\exp(-\frac{t}{\tau})} \quad \tau = \frac{V_{\text{tank}}}{u}$$

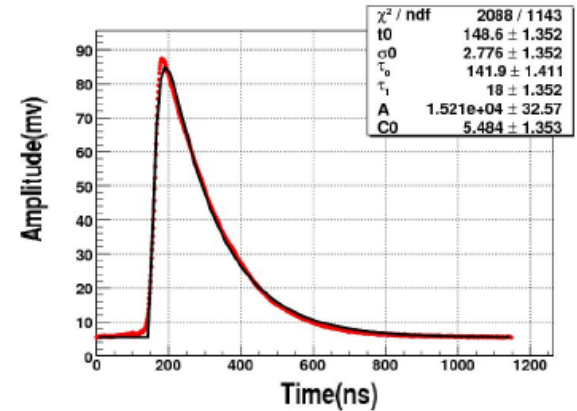
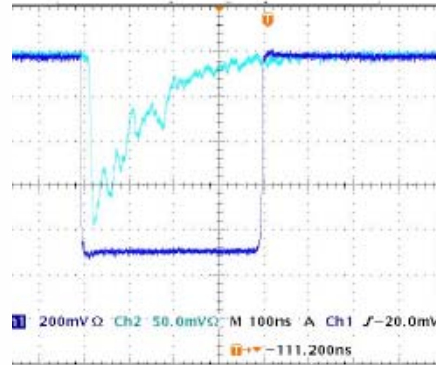
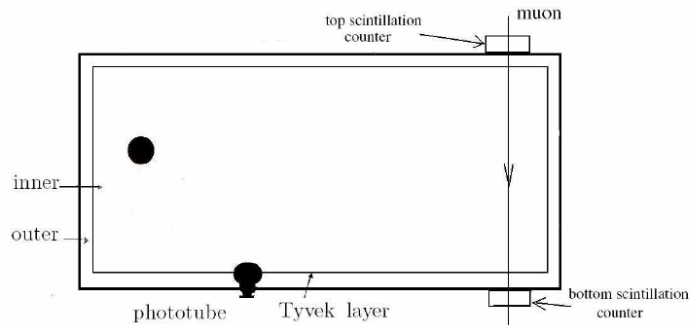


Increase curve(speed  $u_1$ )

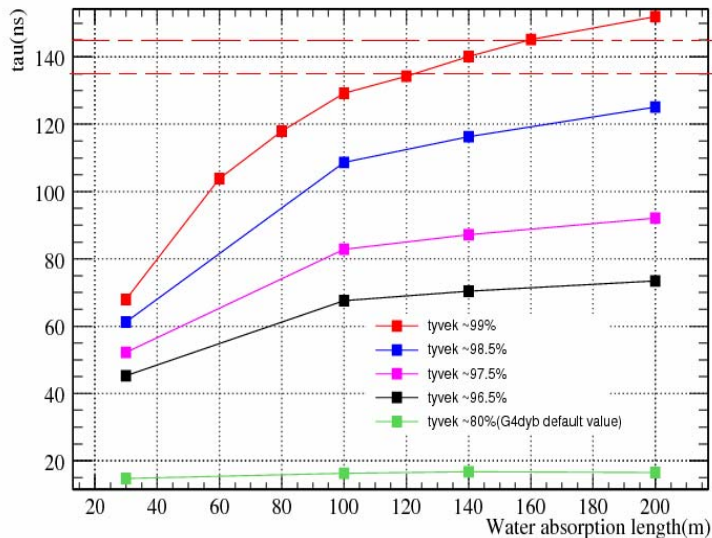
通过此模型可以测量不同材料的 $k$ 值，来比较各种材料对水的污染程度，最后选择比较合适的材料，将来用于大亚湾实验。

# 水衰减长度和tyvek反射率研究

$$I(t) = i(t) * g(t) * \frac{1}{RC} e^{-t/RC}$$



## 模拟与实验的对照

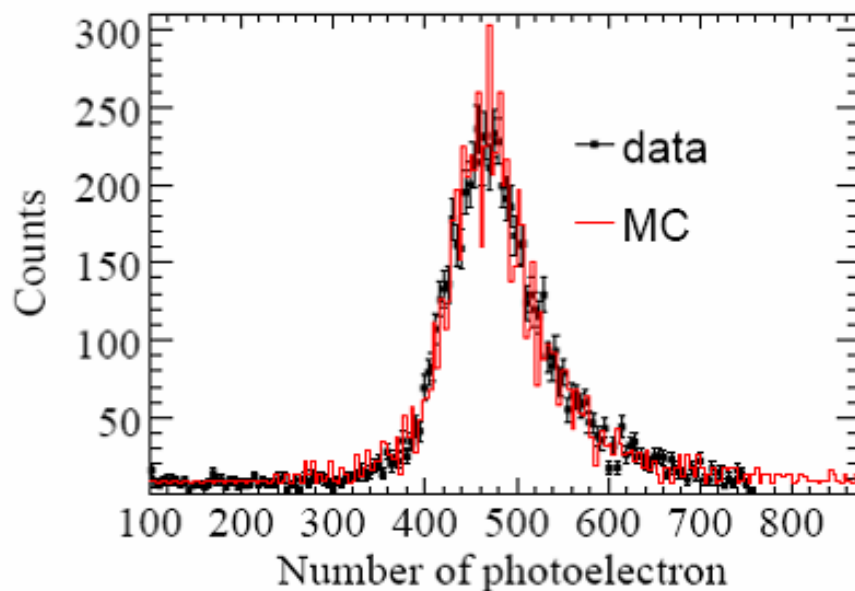


- 实验测量结果:  $\tau_0 \sim 140\text{ns}$
- Tyvek 反射率~99%
- 水箱中的水的吸收长度140m左右;

$$\frac{1}{L_{\text{attenu}}} = \frac{1}{L_{\text{abs}}} + \frac{1}{L_{\text{Scatter}}}$$

$$L_{\text{abs}} = 140\text{m} \Rightarrow L_{\text{attenu}} \sim 80\text{m}$$

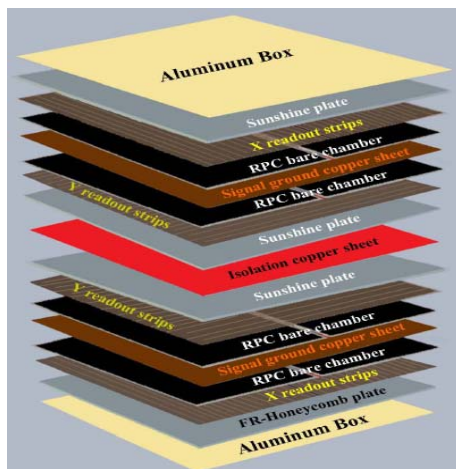
## 模拟与实验结果的对比(垂直muon)



通过小水箱实验的研究，所用 **tyvek**反射率可以达到~**99%**，有循环净化系统下，**水的衰减长度可达到80m**，可以满足我们大亚湾的实验的要求，也验证了大亚湾所提要求的可行性；

通过水箱模型对宇宙线响应的研究，再次验证水契仑柯夫探测器**模拟软件的有效性和可靠性**；

# RPC 探测器系统



- 大亚湾要求顶部覆盖RPC,可以与水契仑柯夫探测器实现相互检验; 要求探测效率(>95%),同时可以给出muon的位置信息。
- 使用模块读出,模块的尺寸在2.1\*2.1m,4层RPC,每一层中包括了2块RPC(一大一小),每一个模块中有8块RPC裸室;
- 4层RPC,效率实行4选3,在保证高效率的情况下可以大大降低随机符合的事例,读出顺序XYYX读出,读出条的间隔26cm,位置的分辨~0.1m;
- 模块重叠式排布,减小死区,实现高的探测器效率;

模块内4层RPC的朝向



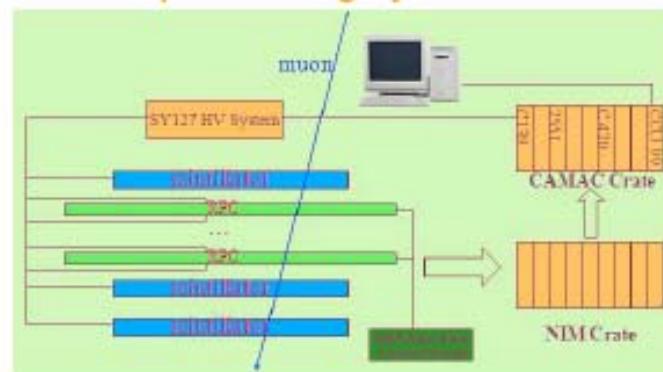
模块的摆放方式



# 裸室的测量



Sketch map of testing system



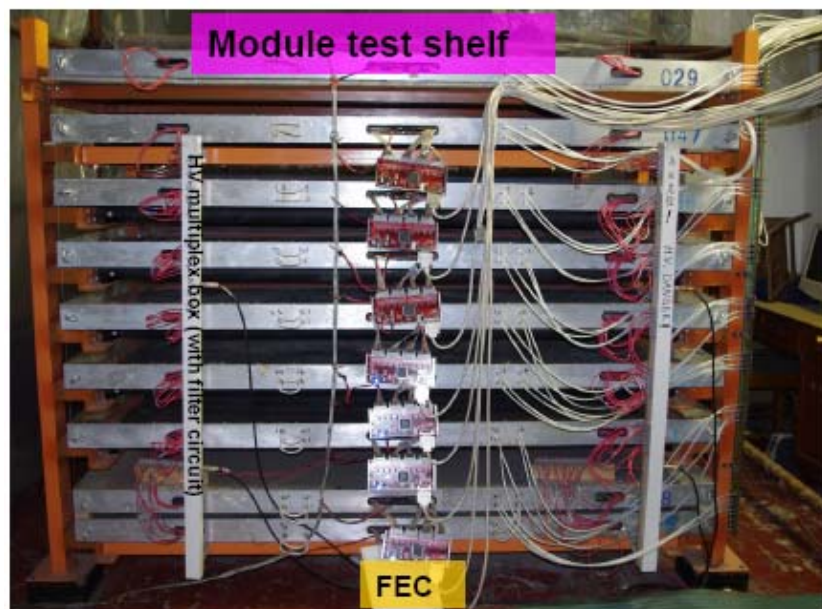
	Events	Efficiency (%)	SCR (Hz/cm <sup>2</sup> )	Current (uA/m <sup>2</sup> )
Small RPCs	640	95.23	0.191	2.760
Big RPCs	565	95.70	0.164	2.656
Total	1205	95.46	0.178	2.711

单层RPC的探测效率>95%

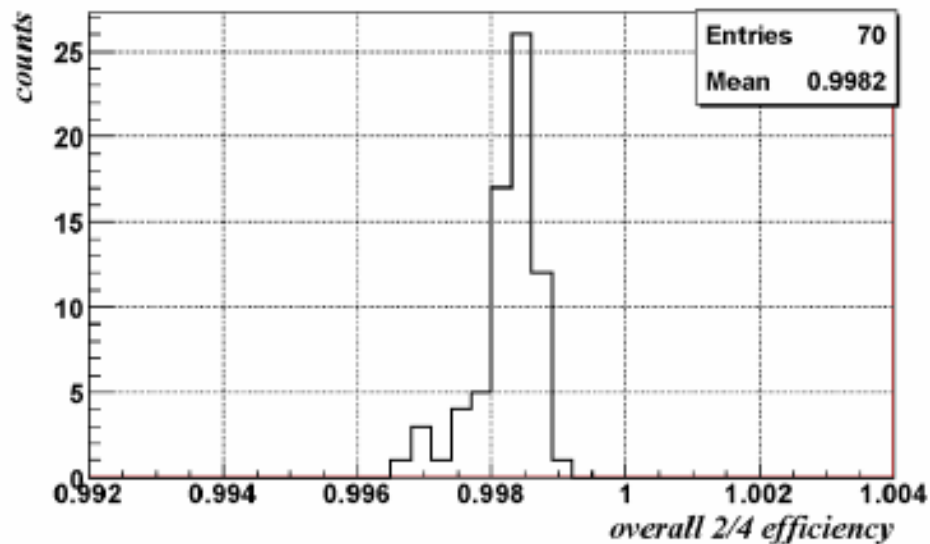
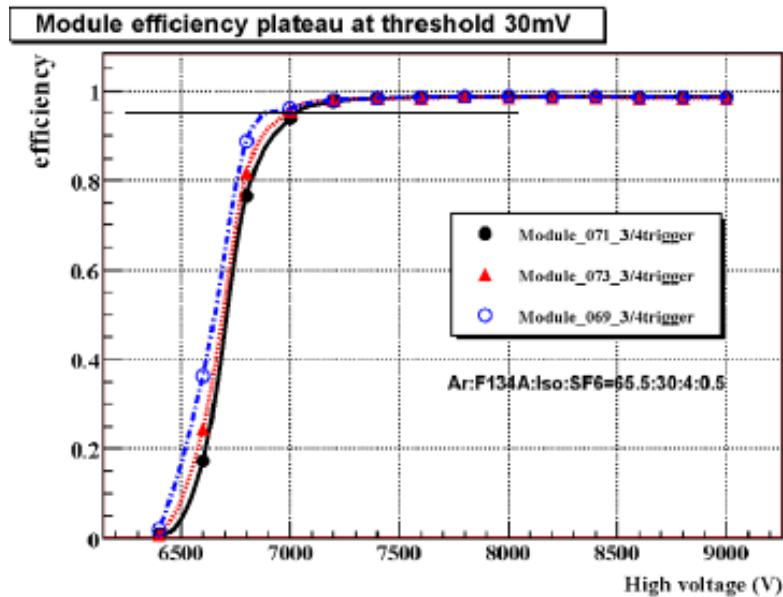
# 模块的测量

模块

放置模块支撑架



# 模块性能的测试结果



所测量模块的效率都满足要求(>95%).

# 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;
- 高能所小水箱模型验证了水契仑柯夫探测器的设计的可行性,以及检验探测器模拟软件的可靠性.
- 反符合探测器的进展情况:
  - 水契仑柯夫探测器:大亚湾实验近点水池已经挖完成,正在进行实验厅修整和相关设备的安装;tyvek反射膜已经制备好,所用PMT已测量完成;
  - RPC探测器系统:大亚湾所需要的RPC裸室1600块测量已全部完成;大亚湾近点所需的模块54块也已全部测量完成,等待运抵大亚湾安装.
  - 预计2010年底大亚湾近点探测器安装完成,开始数据获取!

谢谢!