



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



The Chinese Academy
of Sciences

PMT 量子效率均匀性测试系统

钱森, 高峰, 马丽双, 朱瑶

Institute of High Energy Physics

Chinese Academy of Science

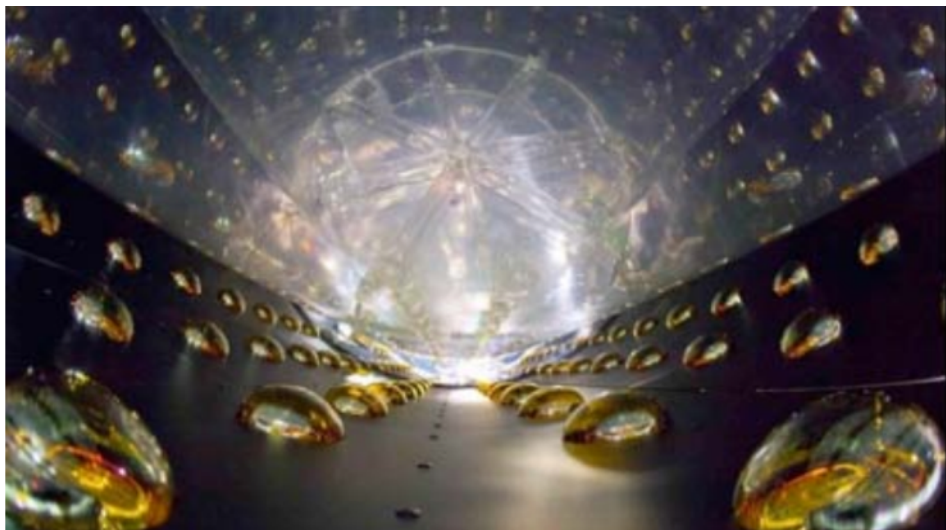
State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics

qians@ihep.ac.cn

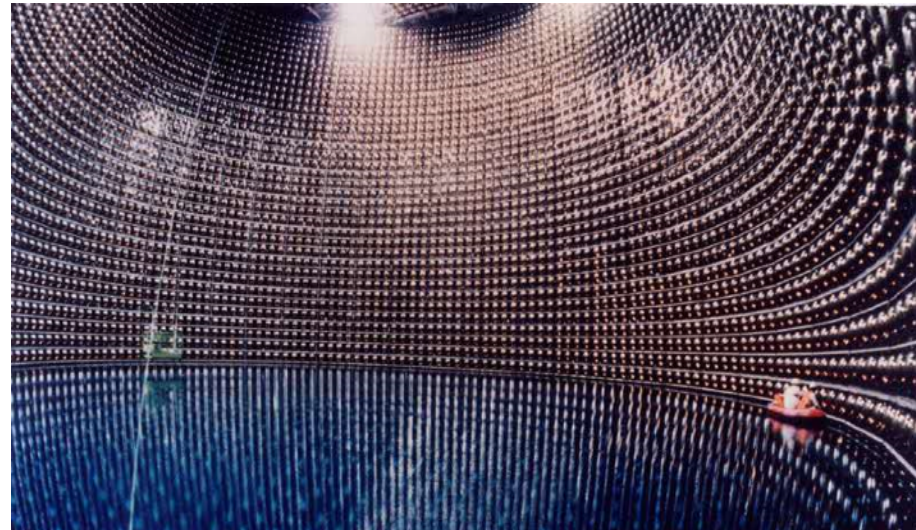
Outline

- 1. 研究背景和实验室介绍;
- 2. PMT均匀性测试平台;
- 3. 多光纤均匀性扫描系统;

➤ 1.1 背景



大亚湾反应堆中微子实验 PMT总览



日本超级神冈实验 PMT总览

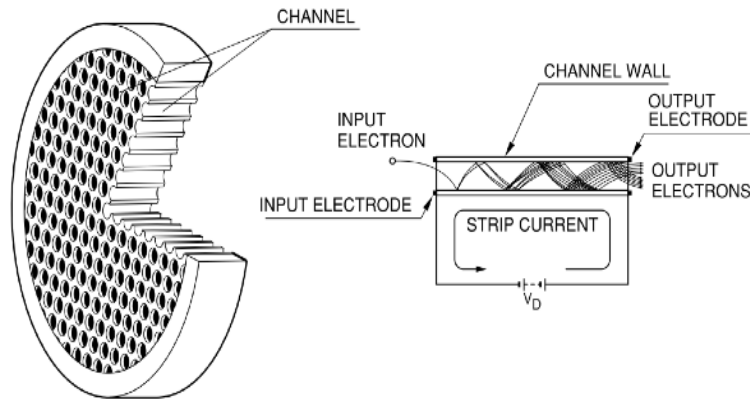
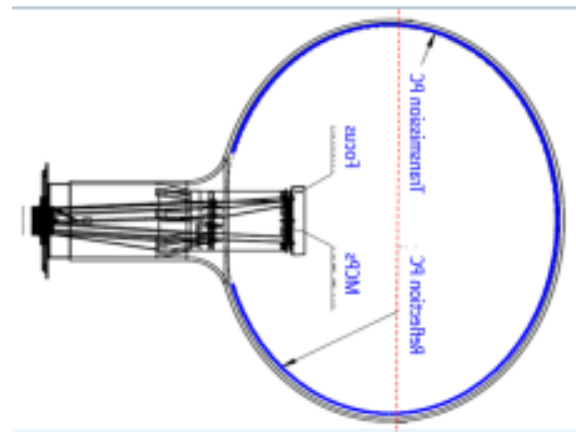


不同型号的滨松 PMT



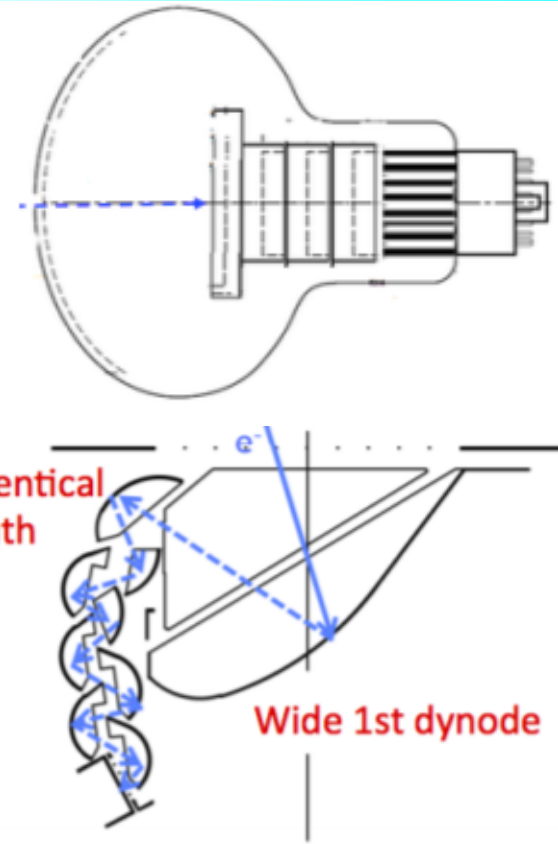
为JUNO-PMT准备的大面积PMT (2015)

➤ 1.2 20 inch Dynode-PMT & MCP-PMT



(a) Schematic structure of an MCP

(b) Principle of multiplication



Box & Line

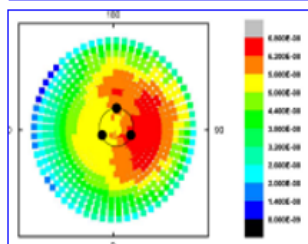
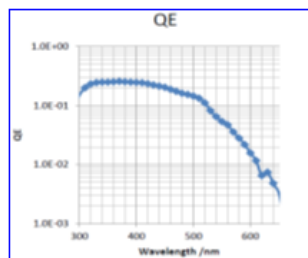
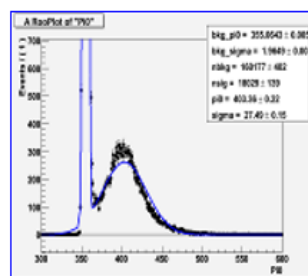
	MCP-PMT	Dynode-PMT	Test Mode
Cathode	Bialkali	Bialkali	pluse
Multiplier	microchannel plate	dynode	current

➤ 1.3 PMT 性能测试

Uniformity?

Uniformity?

➤ Uniformity?

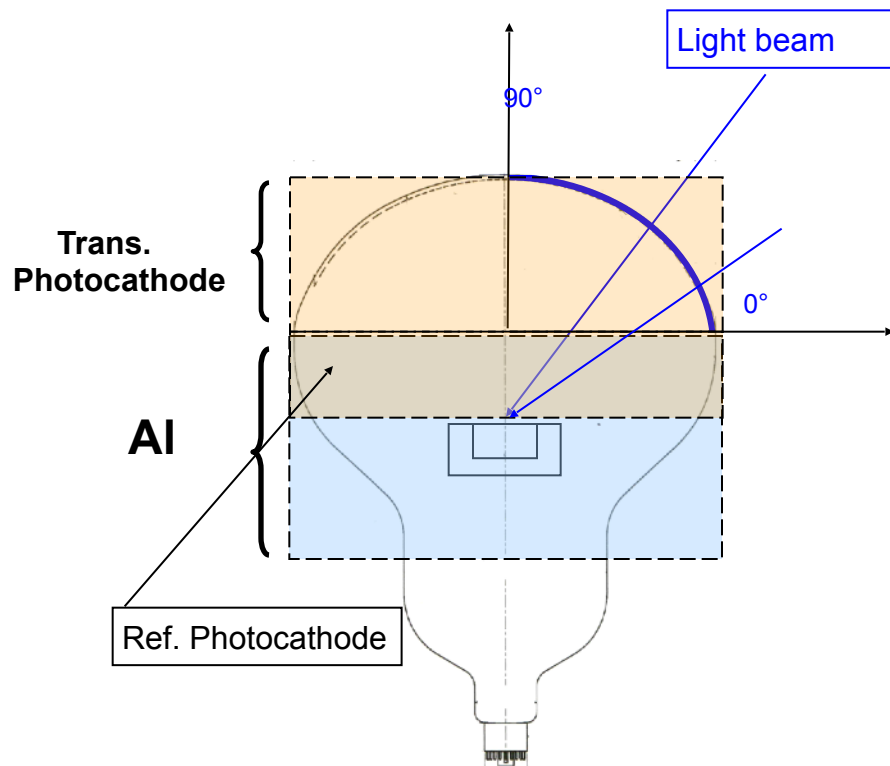


Others

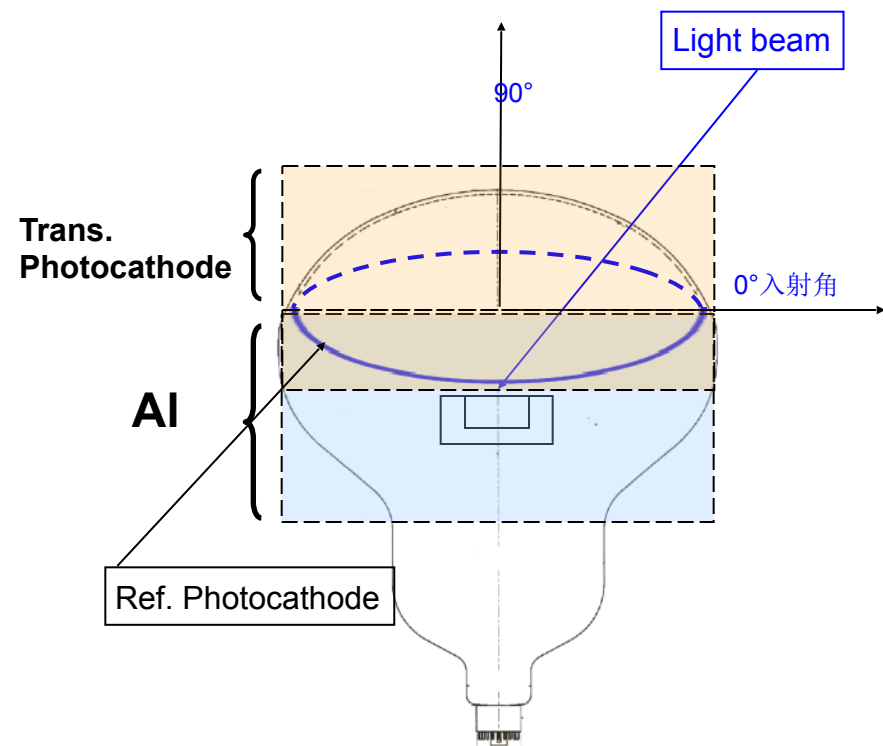
.....

- 阳极信号上升时间-- Anode Pulse Rise Time;
- 前/后脉冲信息--Pre/Late/After Pulse;
- 暗计数率-- Dark Count
- 单光电子谱--The Single Photoelectron Spectrum;
- 分压器设计--The voltage distribution (BASE) ;
- 最佳工作高压--The Supply voltage;
- 典型高压增益曲线--Typical Gain Characteristic;
- 阳极暗电流--Anode Dark Current
- 光谱响应曲线--Spectral Response;
- 峰值波长曲线--Wavelength of Maximum Response;
- 阴极灵敏度--Cathode Sensitivity: Luminous(2856K);
- 光阴极量子效率--Quantum efficiency with λ
- 光阴极有效面积--Photocathode efficiency Area;
- 光阴极均匀性--Photocathode efficiency Uniform;
- 碱源安装布局--The position of the Sb, K, Cs;
- 线性--The linearity of the PMT
- 抗磁场性能--Magnetic characteristics;
- 时间性能--Transit Time Spread (FWHM)

➤ 1.4 均匀性 (Uniformity) ---- (QE? CE? DE?)



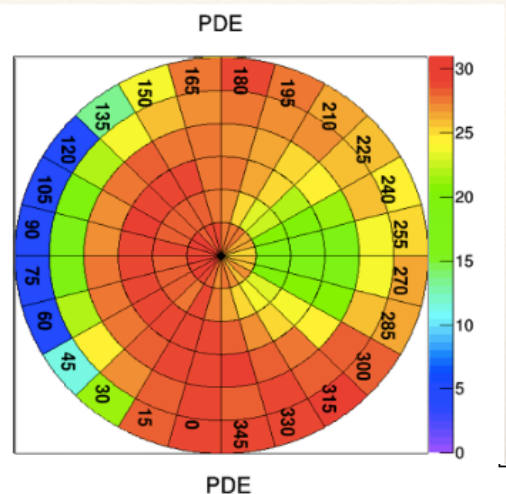
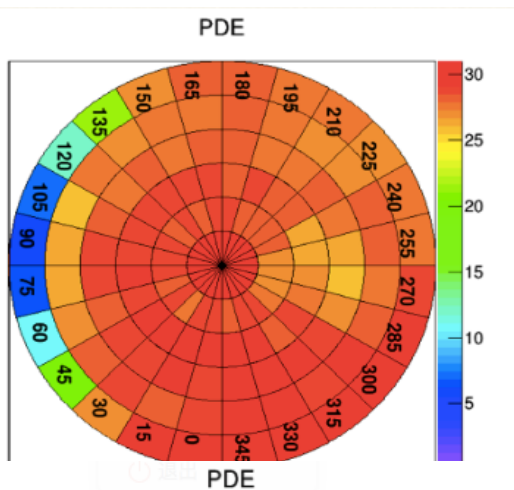
Along with the
Longitude
to Scanning the PMT



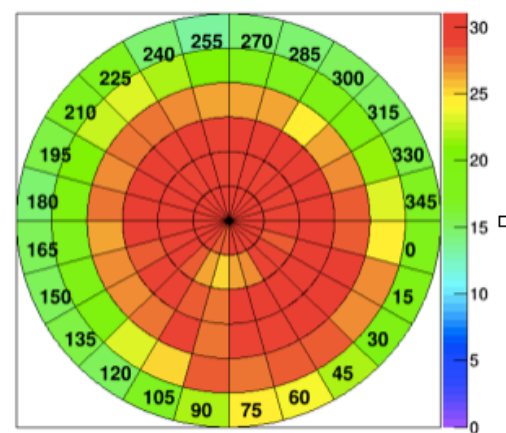
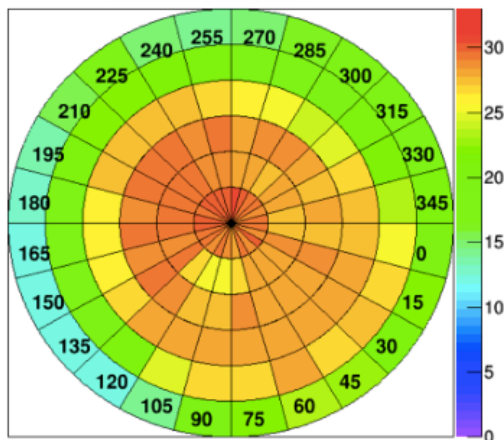
Along with the
Latitude
to Scanning the PMT

All the Scanning point data taking and light adjusting should be operated automatically

- Dynode



- MCP



扣除QE影响的DE，PDE的均匀性，就是CE的“均匀性”；

CE的分布：受结构的约束，中间高，边缘底；不会出现一致性的分布；

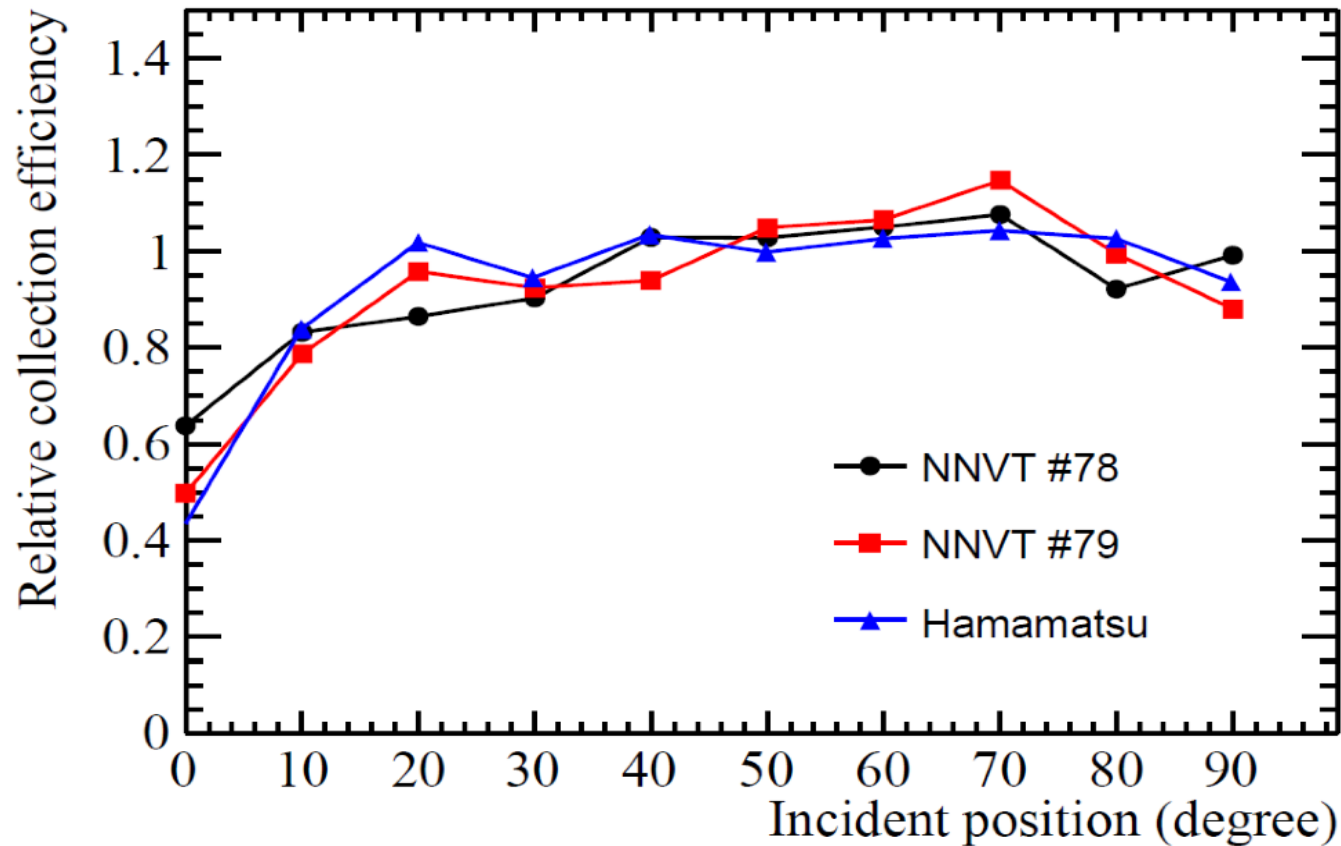
CE的测试：没有绝对测试方法，没有直接的测试方法；

受地磁场影响很大；受分压比影响很大；受测试环境影响很大；

- **DE = QE X CE**

The **CE** : 受PMT结构设计的约束, 天生的; 一致性有保证;

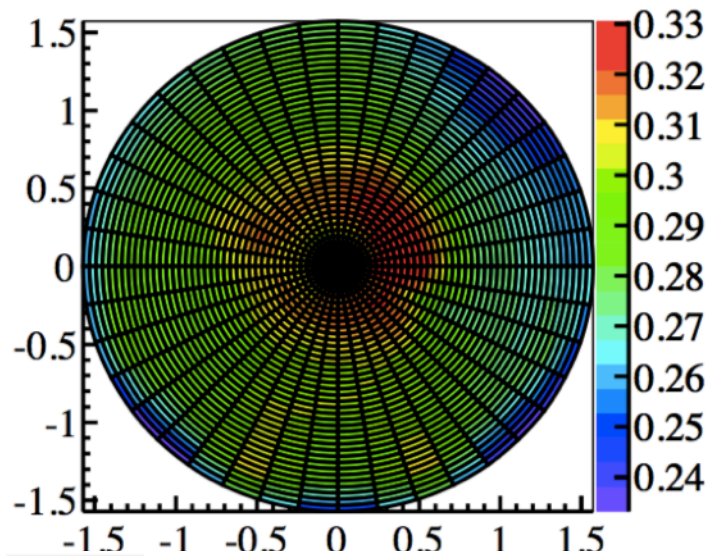
The **QE** : 受PMT光阴极制备工艺的影响, 后天的; 一致性没法保证, 因人而异!



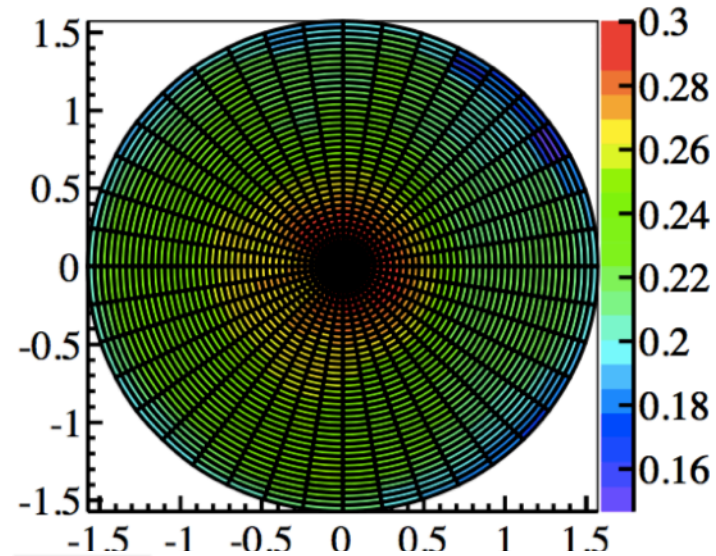
➤ we just to talk about the QE Uniformity!

DE的不均匀性主要来源于QE的不均匀性!

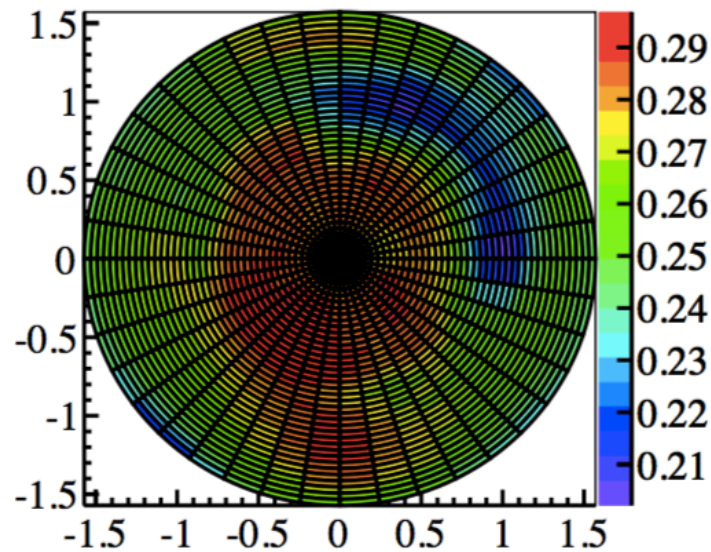
QE: PA1612-143



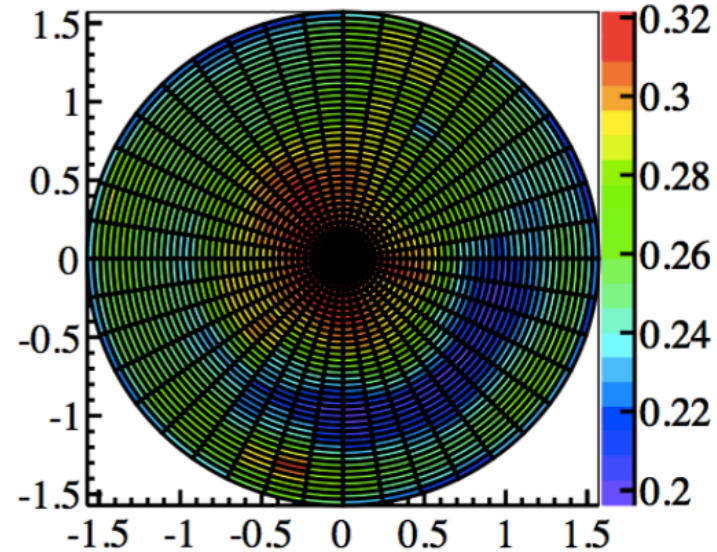
DE: PA1612-143



QE: PA1703-1987

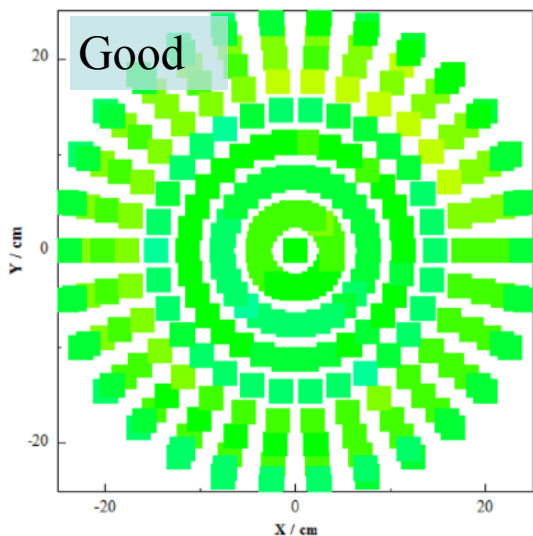


DE: PA1703-1987

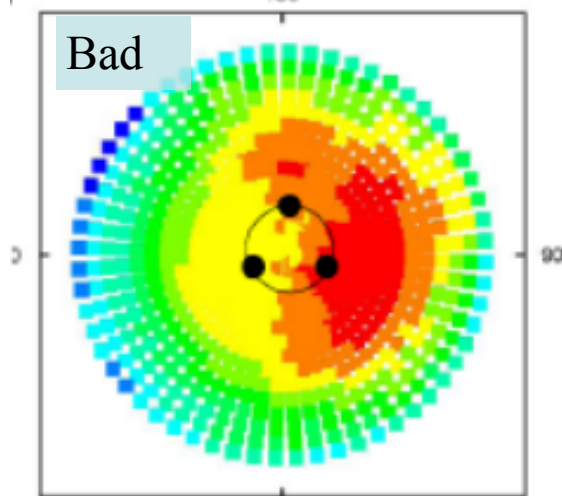


WHY?为什么测试均匀性

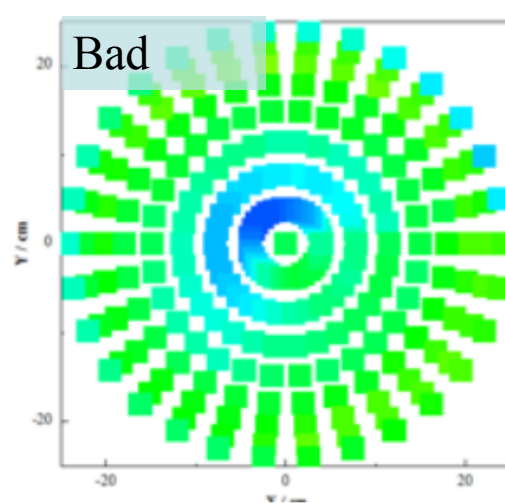
1. 实验要求PMT具有好的均匀性。
2. PMT镀膜的碱源的工作状态的稳定、镀膜时的环境温度以及其他制作工艺都会影响PMT的均匀性。
3. PMT的均匀性会影响探测效率以及测试结果的可重复性。
4. PMT的均匀性不能通过肉眼判断。



正常

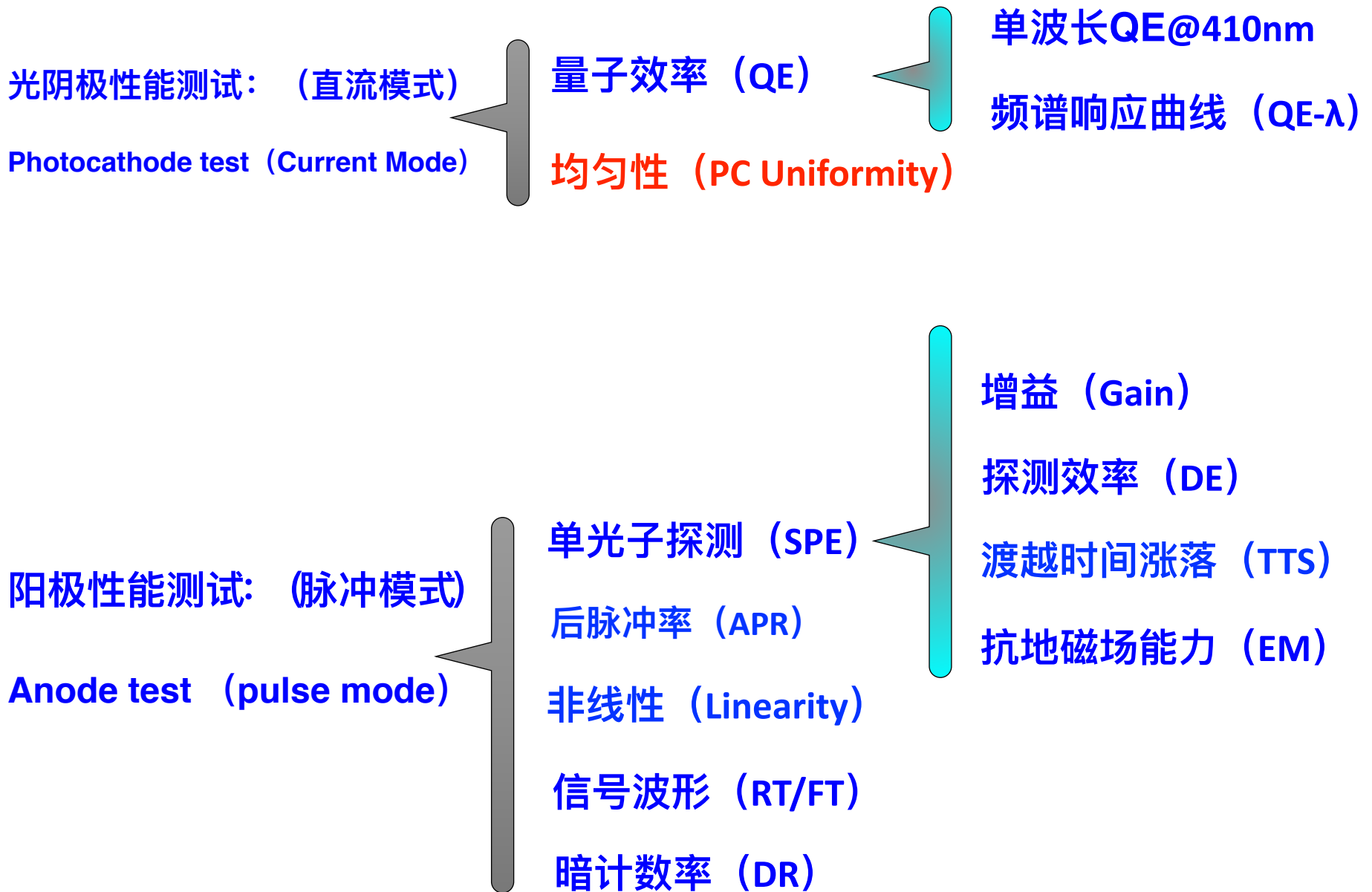


碱源工作状态不稳定导致不均匀



环境温度导致不均匀

➤ How to test the parameters of the PMT

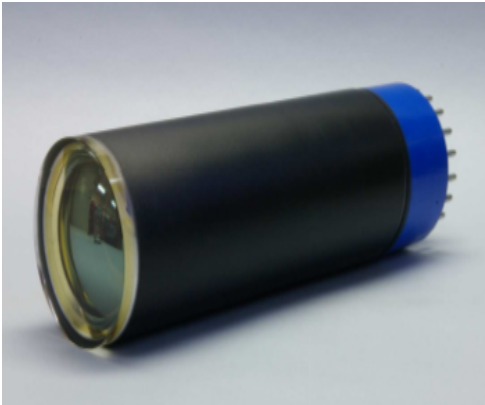
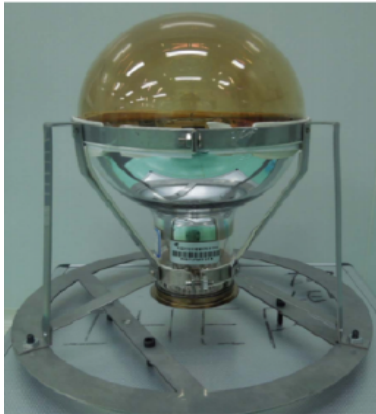


Outline

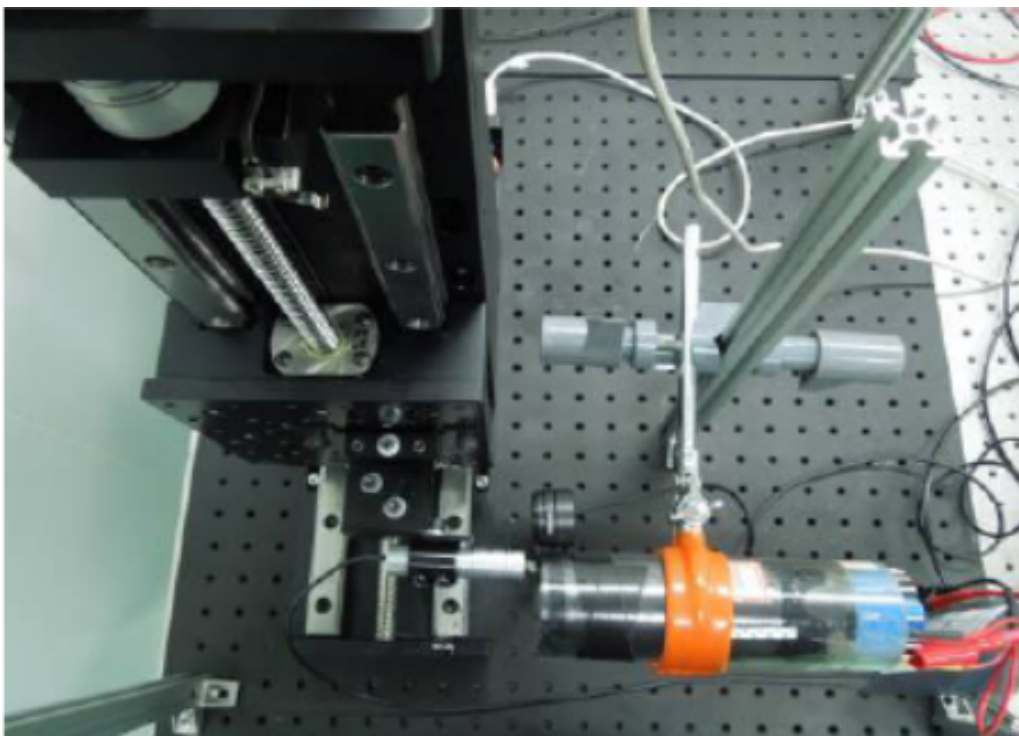
- 1. 研究背景和实验室介绍;
- 2. PMT均匀性测试平台;
- 3. 多光纤均匀性扫描系统;

➤ 2.1不同型号PMT的均匀性测试平台

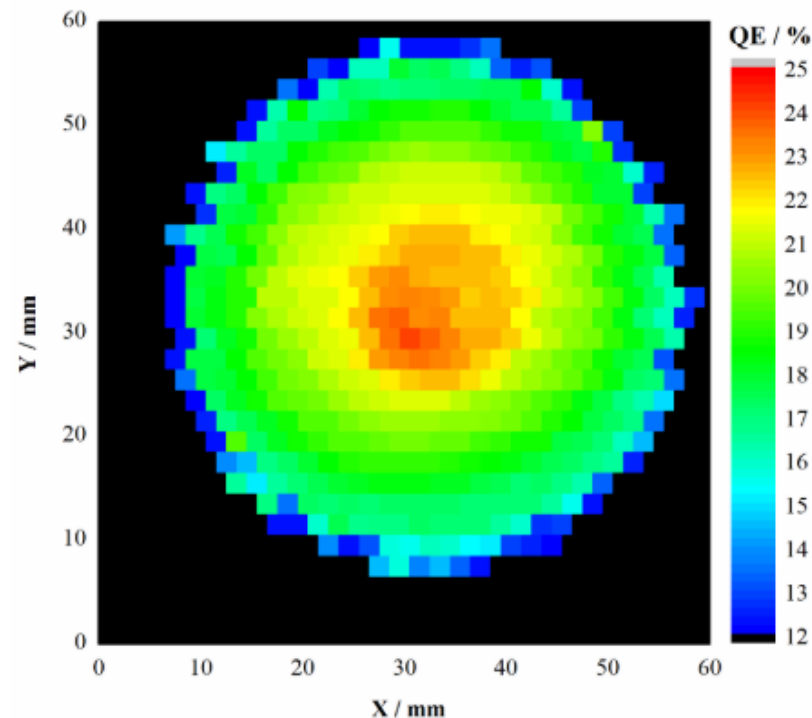
测试方法：测试光阴极面上的所有点的**QE**或者光电流大小

PMT			
外观	平面型窗口	球面窗口	球面窗口
大小	2 inch	8 inch	20 inch
扫描平台	1.二维平面型 (2013)	2.三维球型 (2014)	1.光耦合(2014) 2.电耦合(2015) 3.多光纤耦合(2016研发, 2017推广)

➤ 2.2 针对平面型窗口的二维平面型扫描平台(2013完成)



平面型光阴极均匀性扫描平台

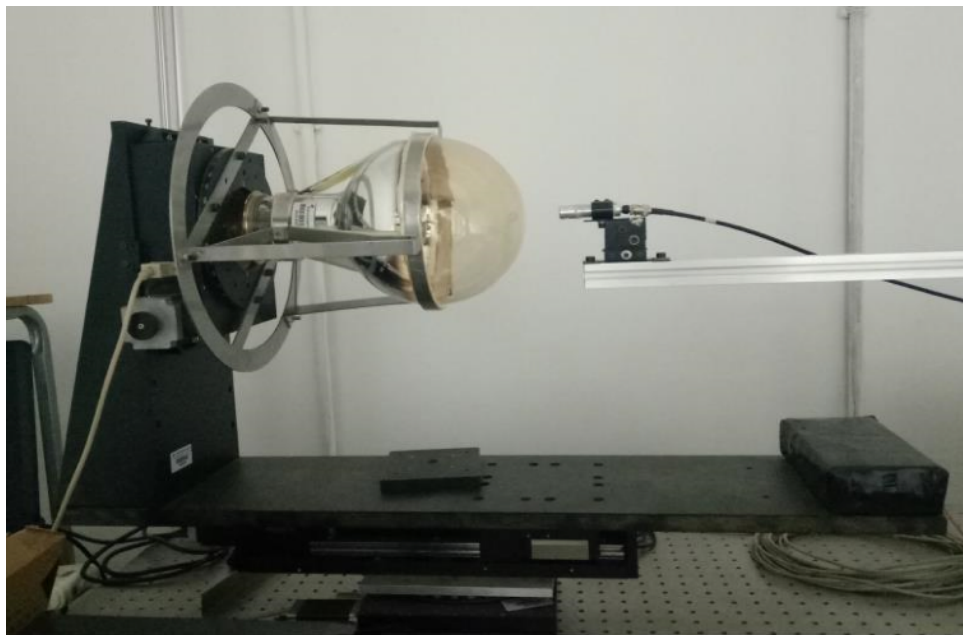


一只2英寸平面型PMT XP2020
光阴极面QE均匀性扫描结果

设备方法

- PMT固定在光学平台上;
- 光源固定在可移动设备上
- 通过可移动设备带动光源沿XY轴移动完成PMT均匀性扫描

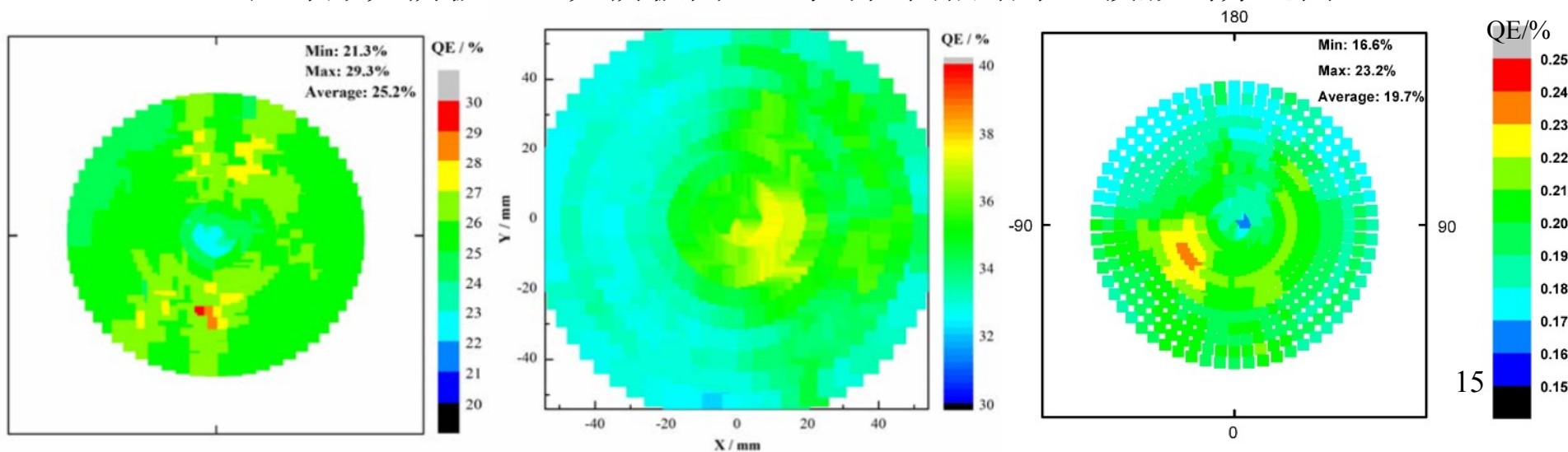
➤ 2.3 针对8inch PMT的三维球型扫描平台 (2014完成)



设备方法

- 光源固定.
- PMT固定在可以旋转的设备上
- 旋转平台可以水平或绕PMT极轴转动,从而实现扫描在PMT灯泡上的经度和纬度。

3只球形光阴极PMT光阴极面QE均匀性扫描结果（投影到赤道面）



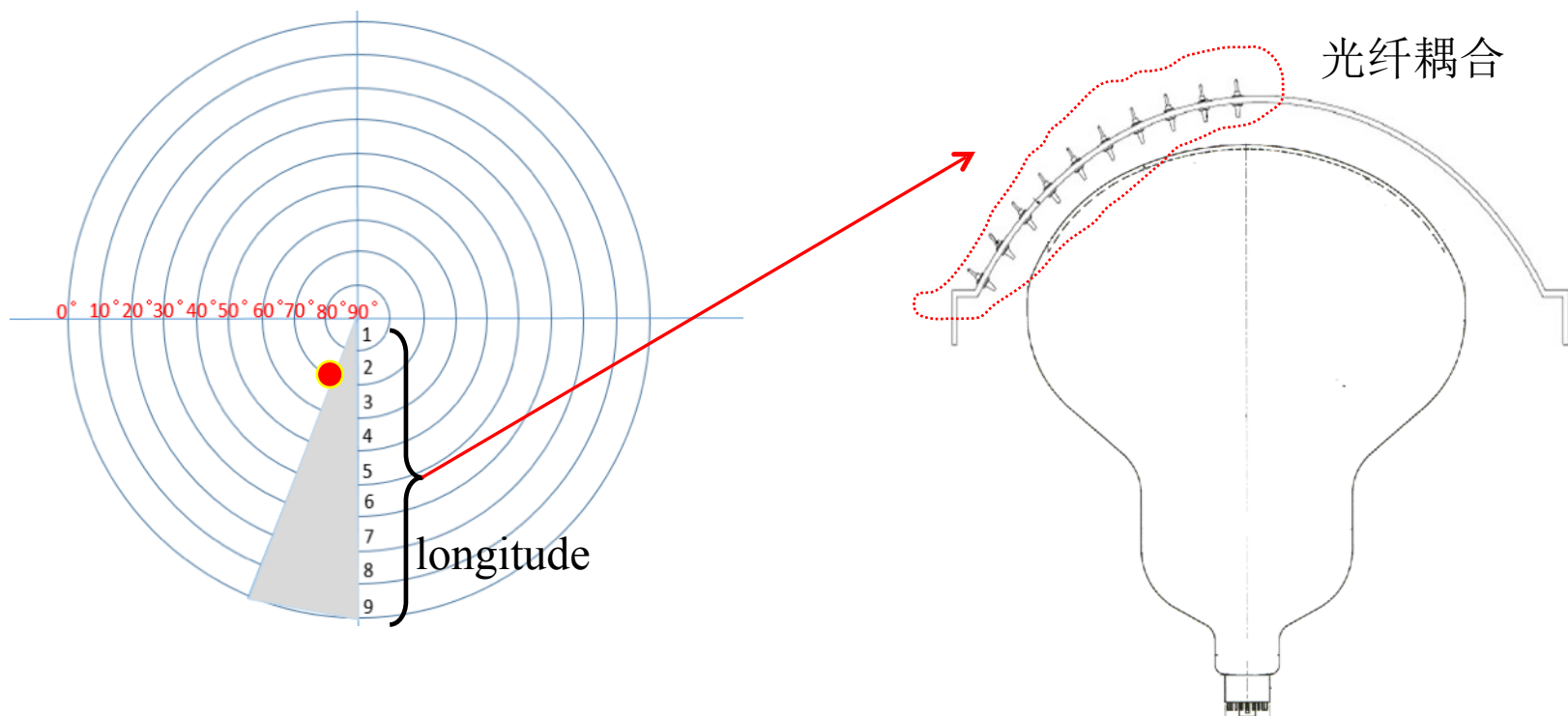
➤ 2.4 光耦合/电耦合/多光纤耦合平台

三维球面PMT外观和质量比较

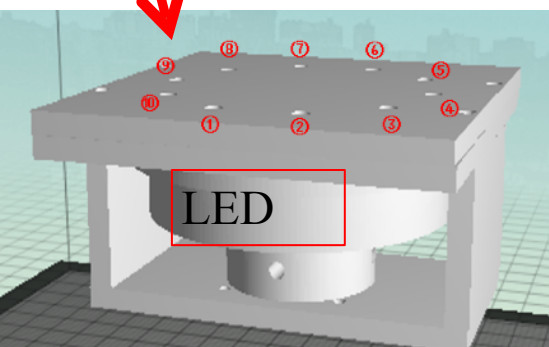
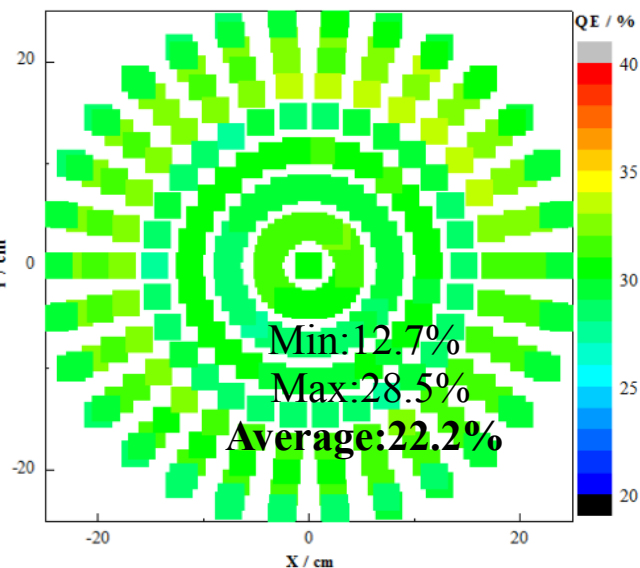
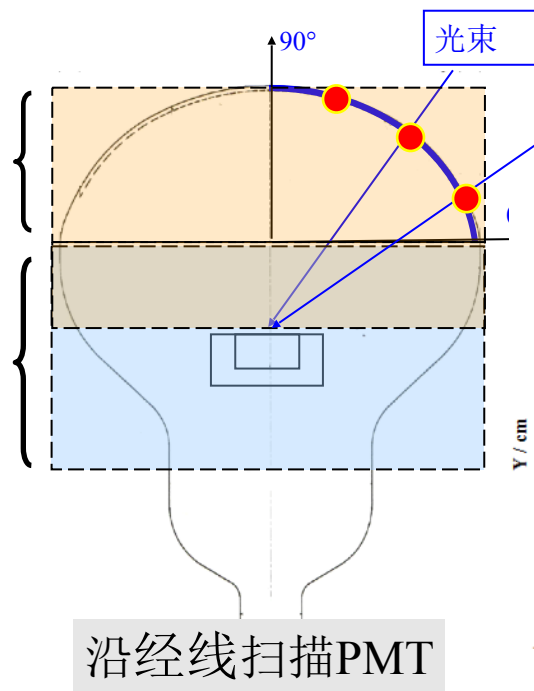
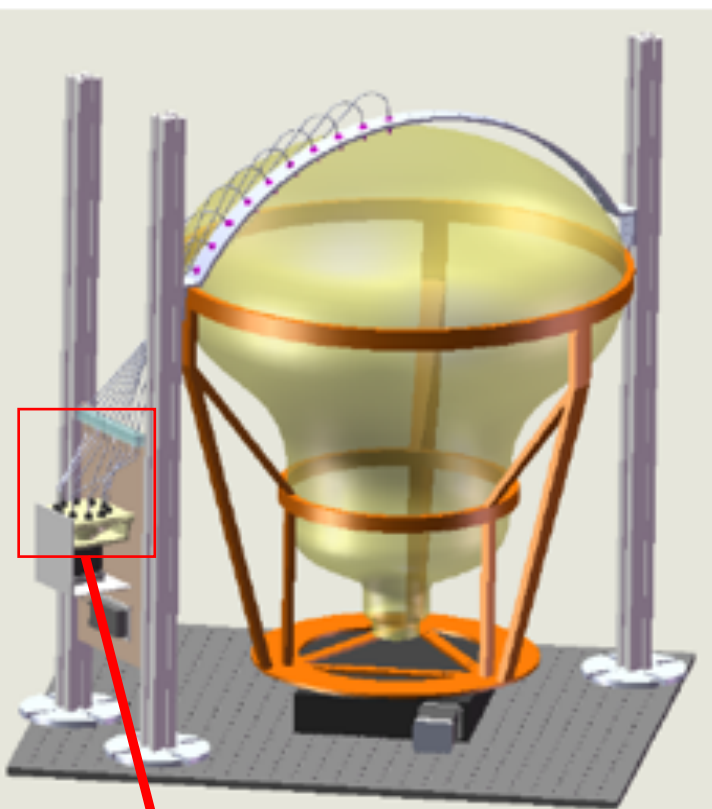
大小	测试时间	质量
8inch	~3h	~1kg
20inch	---	~10kg

问题：20 inch的PMT过重，现有的三维扫描设备不足以支撑。

方案：光纤+旋转平台 (关键因素是实现**PMT**经纬点的扫描测试)

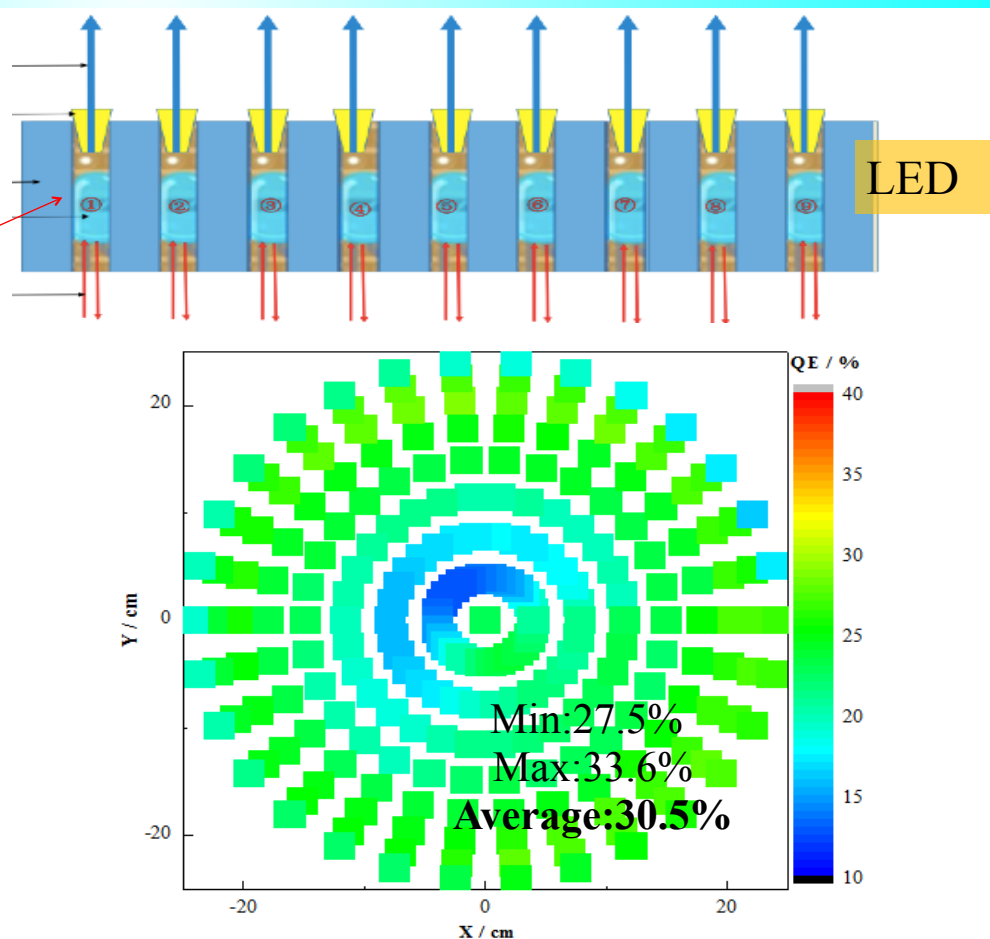
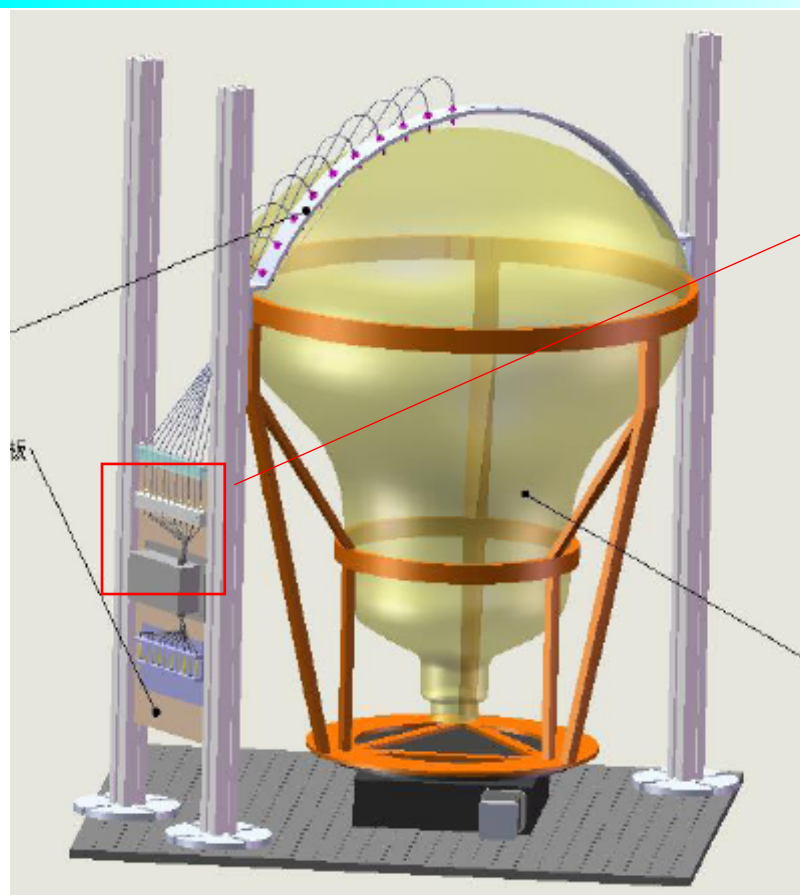


➤ 2.4.1 针对20 inch PMT的光耦合扫描平台 (2014完成)



因素	2个旋转平台 1个LED + 9根 光纤
经线扫描	LED沿光源的旋转平台旋转和不同的光纤耦合
纬线扫描	PMT绕自身极轴转动

➤ 2.4.2 针对20 inch PMT的电耦合扫描平台 (2015完成)



因素	一个可编程阵列信号发生器 9个 LED + 9根光纤
经线扫描	9 个LED依次一个一个被点亮（每次只有一个被点亮）
纬线扫描	PMT绕自身极轴转动

➤ 2.5 20吋光耦合/电耦合/多光纤耦合平台---总结

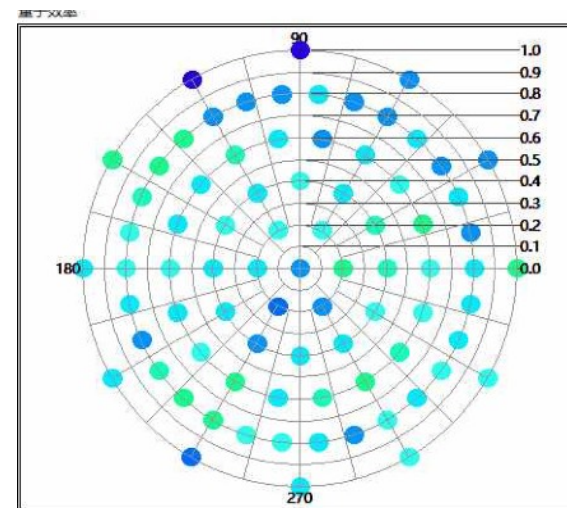
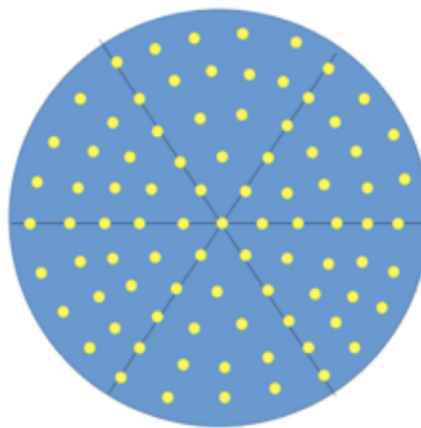
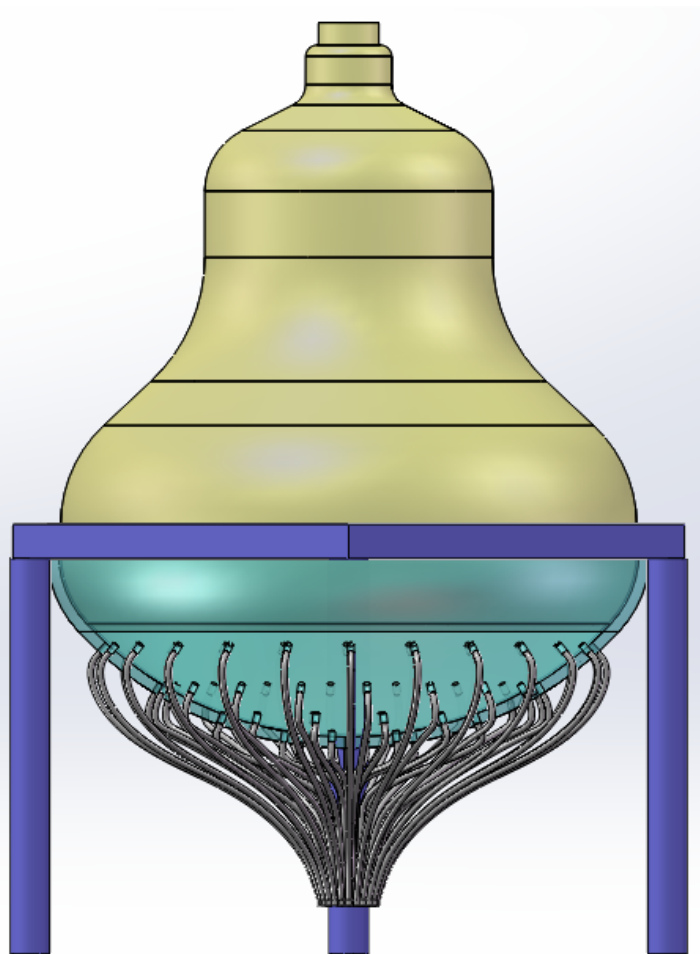
扫描平台	光耦合	电耦合
PMT的直径	20inch	20inch
旋转平台数量	2	1
可编程阵列信号发生器数量	No	Yes
LED数量	1	9
光纤数量	9	9
测试时间	3h	1.5h

- NNVT批量生产阶段，每天30只PMT；
- 批量测试阶段，每天30只PMT；
- 要求所有参数全部测试，100%测试，不是抽测！
- 均匀性扫描测试，每天工作8小时，每只测试时间=16 min！

Outline

- 1. 研究背景和实验室介绍;
- 2. PMT均匀性测试平台;
- 3. 多光纤均匀性扫描系统;

➤ 3.1 多光纤扫描系统设计（2016年初）



因素	一个可编程阵列信号发生器 80 个LED + 80 光纤
扫描整个平面	80 LED被依次点亮， 位置信息代表其均匀性！

➤ 3.2 多路可调谐信号发生器设计

第39卷 第9期
2016年9月

核 技 术
NUCLEAR TECHNIQUES

Vol.39, No.9
September 2016

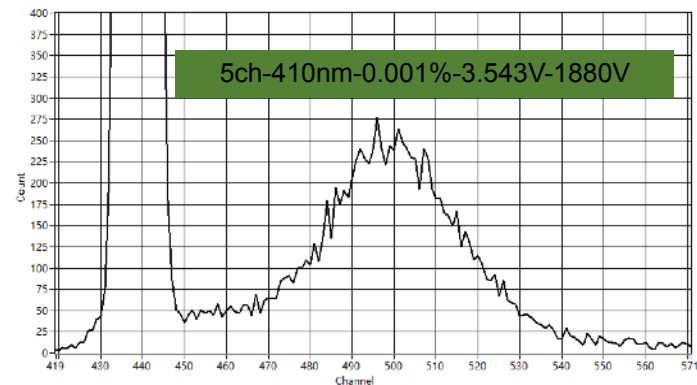
基于FPGA的单光子脉冲信号发生器设计

马毅超¹ 朱 纳¹ 党宏社¹ 钱 森^{2,3} 白文静¹

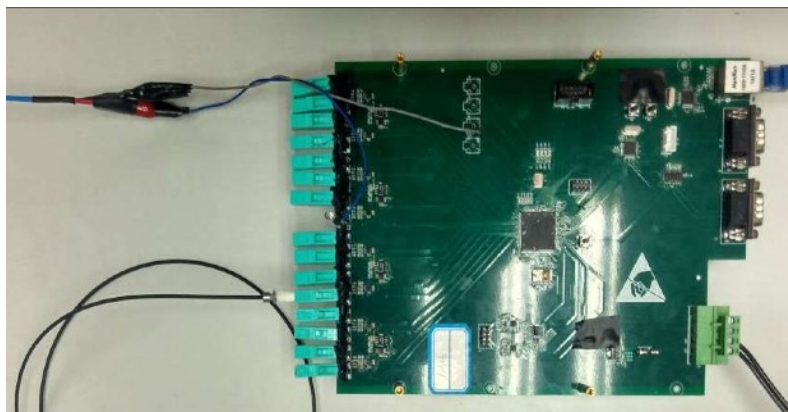
¹ (陕西科技大学 西安 710021)

² (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

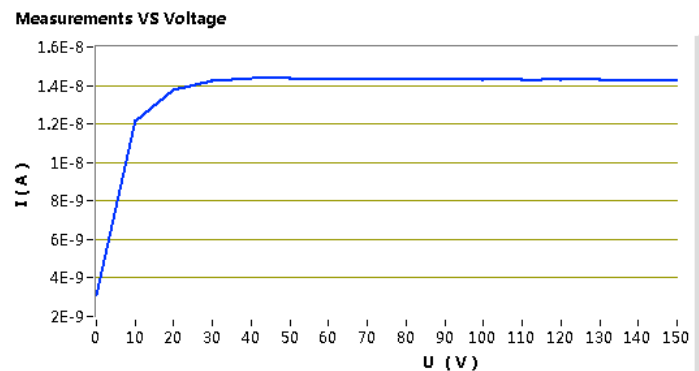
³ (核探测与核电子学国家重点实验室 北京 100049)



工作于脉冲模式测试SPE

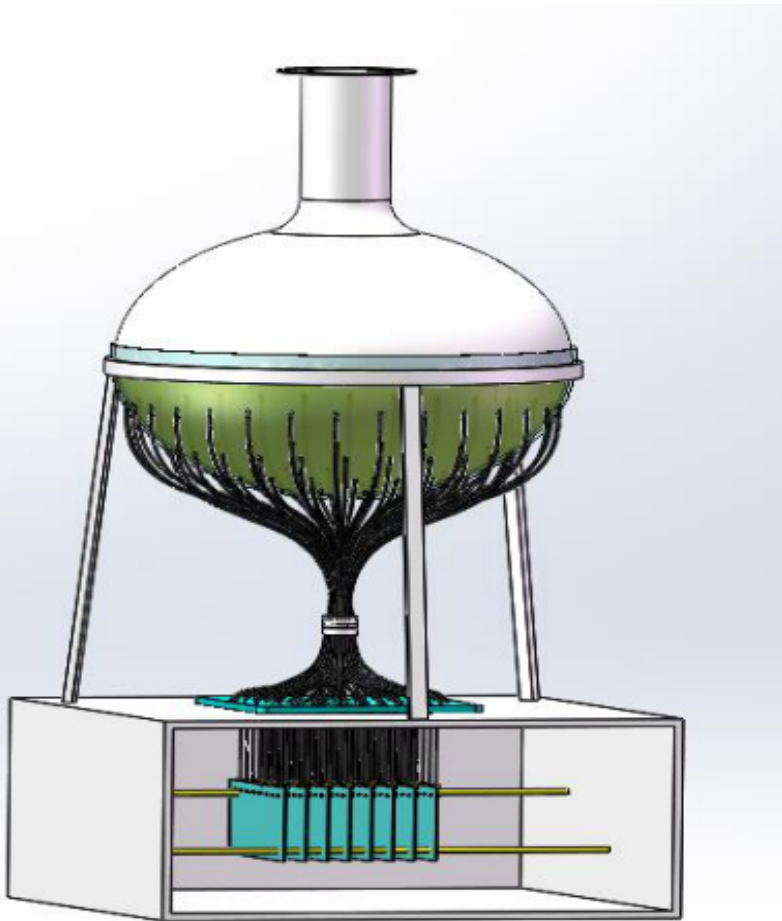


基于FPGA的信号发生板



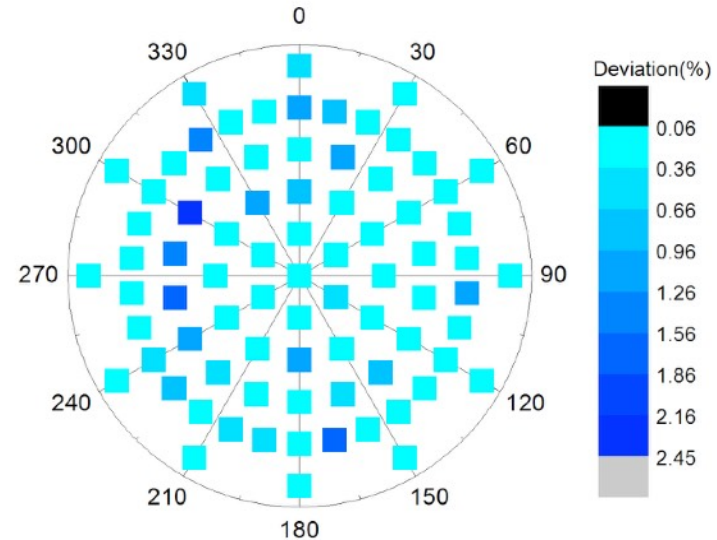
工作于直流模式测试QE

➤ 3.3 多光纤扫描系统实现（2016年中）

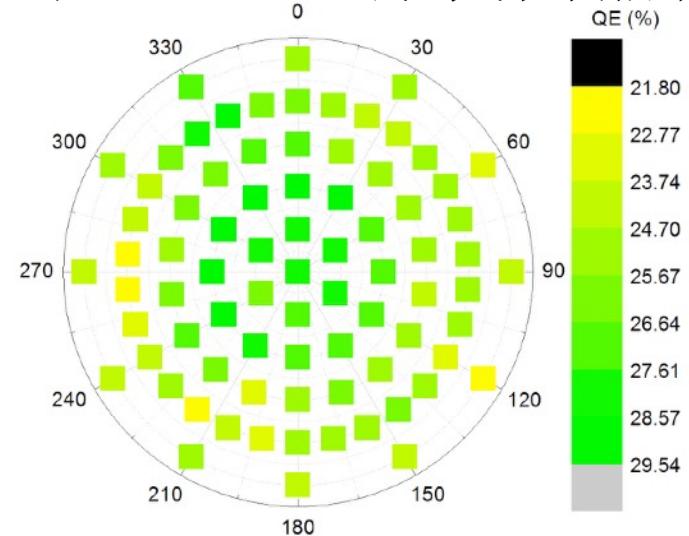


多光纤扫描平台的整体示意图

所有光源的误差结果



一只20 inch PMT的均匀性扫描结果



➤ 3.4 光耦合/电耦合/多光纤耦合平台---总结

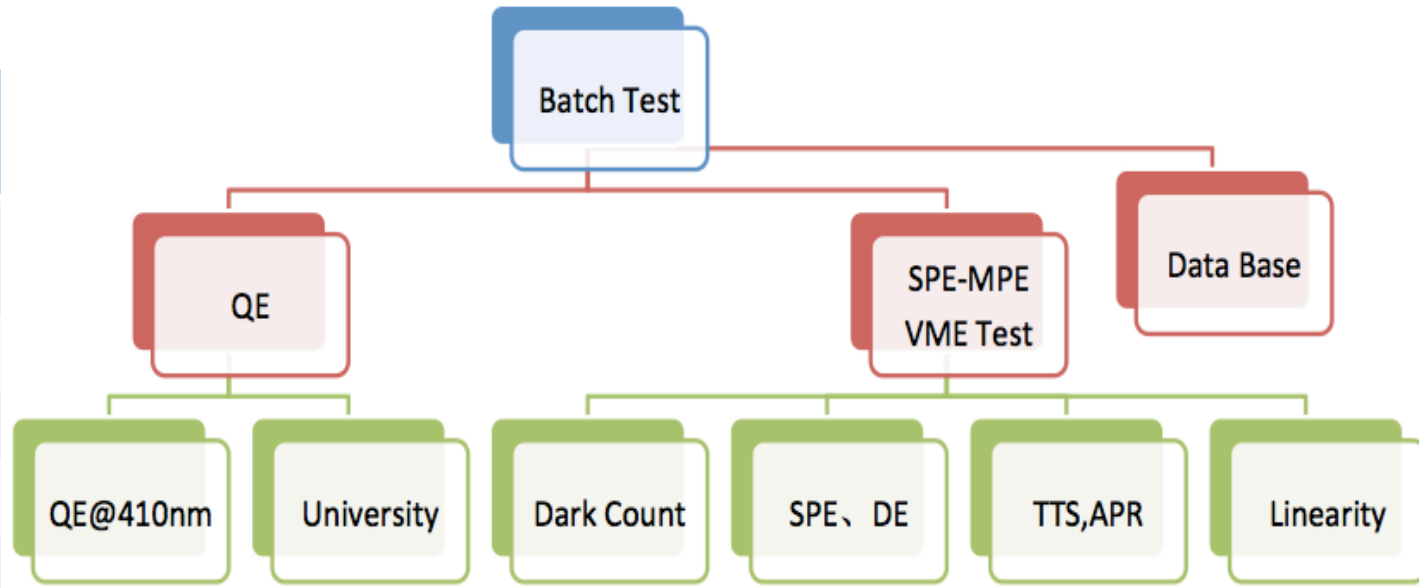
扫描平台	光耦合	电耦合	多光纤耦合
PMT的直径	20inch	20inch	20inch
旋转平台数量	2	1	0
可编程阵列信号发生器数量	No	Yes	Yes
LED数量	1	9	80
光纤数量	9	9	80
测试时间	3h	1.5h	10min

20inchPMT均匀性测试系统从光耦合到电耦合到多光纤耦合，完成了从测试由点到点，线到线最后整个球面一起的发展。机械装置的使用在减少但对电子学的要求更严格，由于测试过程中机械操作的时间较长，多光纤没有使用旋转装置，测试时间大幅度减小。

多光纤耦合平台可以用于批量测试系统，保证**PMT**的全部性能参数都能被检查，满足批量生产**PMT**的测试速度。

➤ 3.5 20吋MCP-PMT批量测试平台设计

PMT	JUNO Contract	NNVT test
QE@410nm	A	A
QE-Un	B	A
QE-λ	B	B
SPE	A	A
Gain	A	A
DE	B	A
TTS	B	A
APR	B	A
Linearity	B	A
RT/FT	A	A
DR	A	A
Rmcp	—	A



➤ QE sub-system

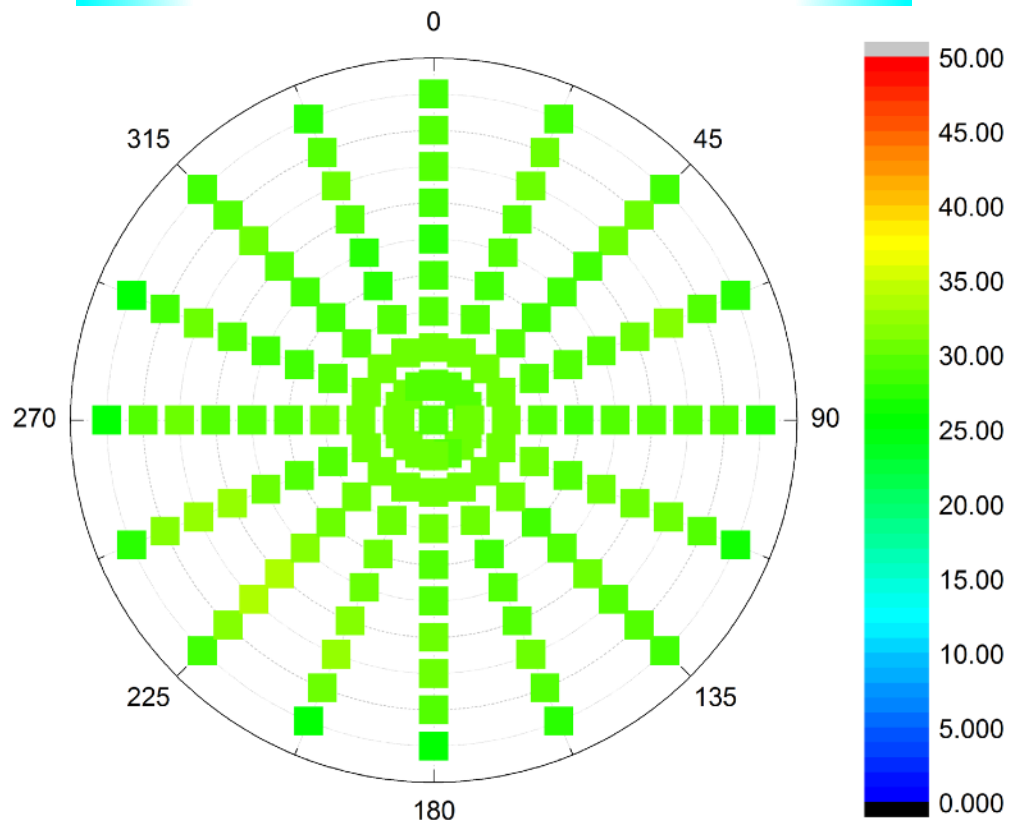
- **Equipment:** 2 pic;
—> 80 LED for testing;
- **Time:** 0.5h / PMT;
20min for cooling PMT;
10min for scanning test;
- **One Day:** 30 PMTs;
- **Test Ratio:** 100%;

➤ SPE Batch Test sub-system

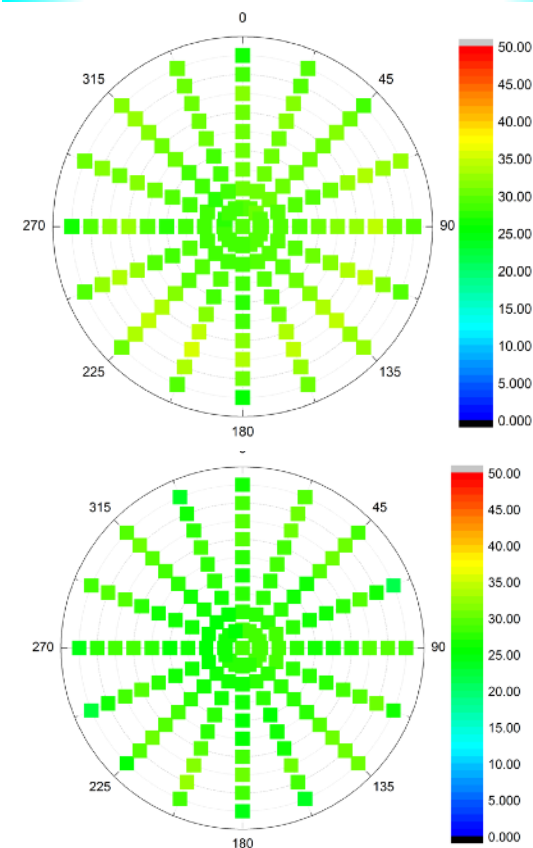
- **Equipment:** 2+1 Dark Room;
—> 1 dark room = 32 PMTs
- **Time:** 48h (2 days) / PMT;
- One day: for training PMTs;
- One day: for testing PMTs;
- **One Day:** 30 PMTs;
- **Test Ratio:** 100%;

A: will be test 100% one by one; **B:** will be test 10%~20%, part of them.

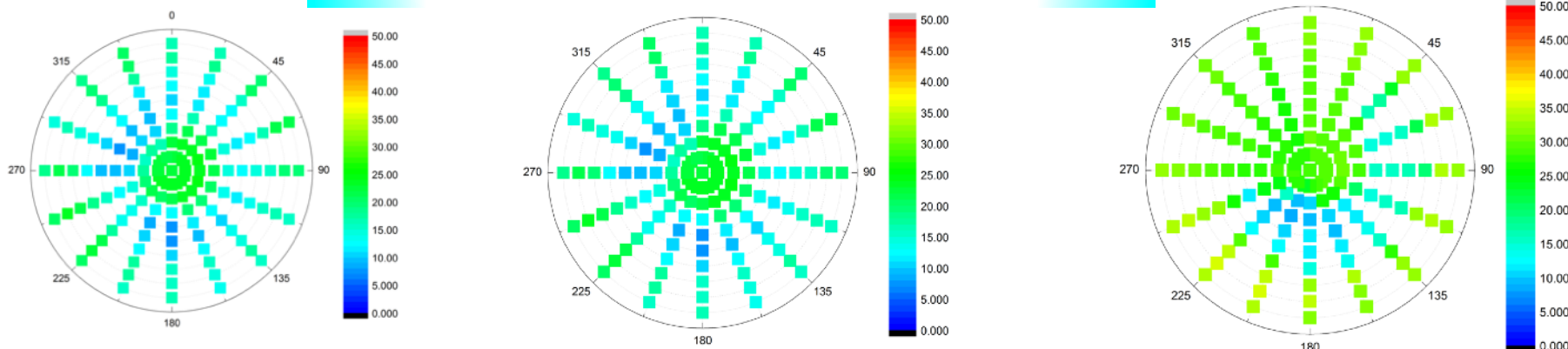
The average data of 2688 piece PMTs



The good situation



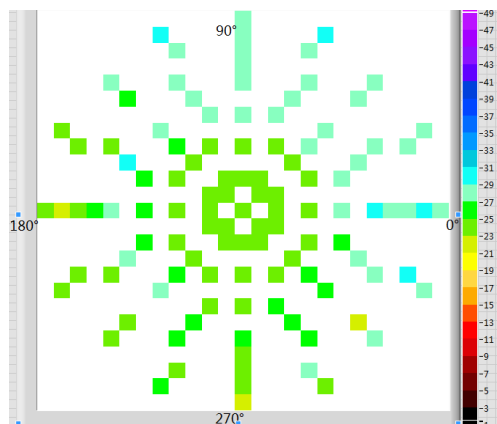
The bad situation of the QE uniformity



➤ 3.6 The Uniformity of the Photocathode

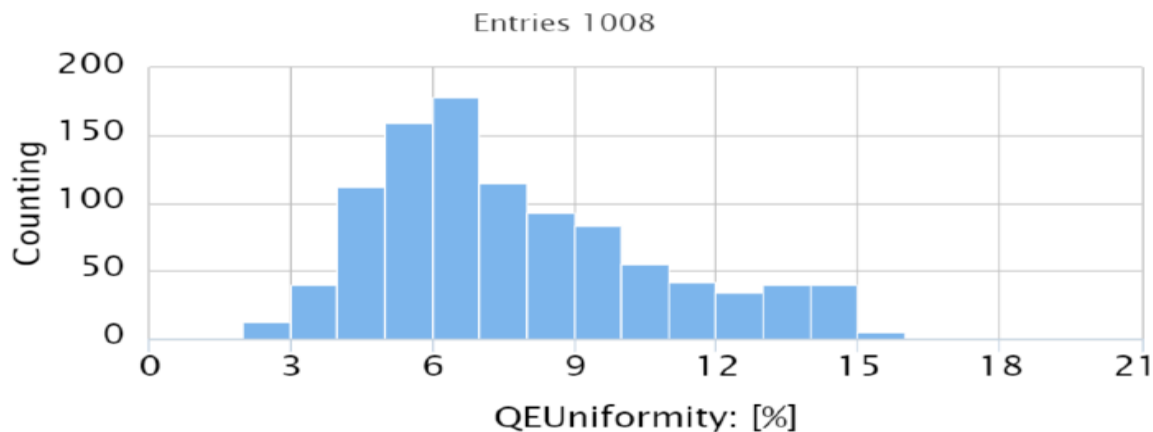
PMTs	Hamamatsu	MCP-PMT prototype	~300 MCP-PMTs	~1000 MCP-PMTs	~4703 MCP-PMTs
Uni-QE @ 410nm	< 15%	< 15%	8.1%	7.8%	7.4%

MCP-PMT-prototype

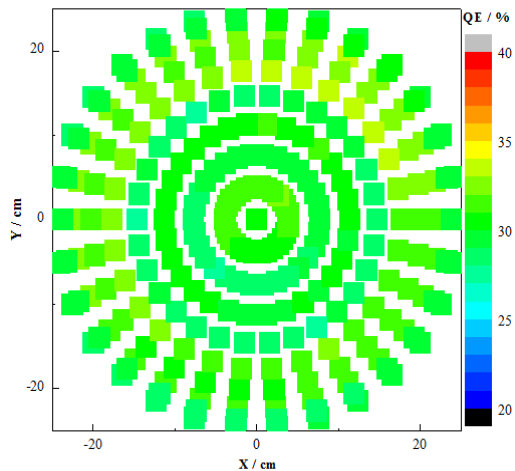


Average : 7.77

1000 shipped MCP-PMTs:

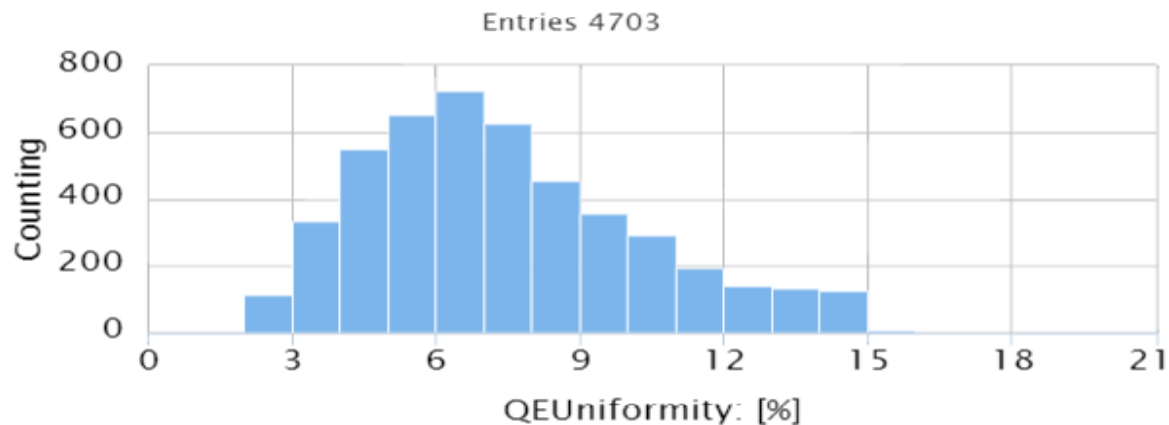


Hamamatsu Prototype



Average: 7.43

total shipped MCP-PMTs: ~4703



谢谢！
欢迎评论指正！