

# 2024年度绩效考核报告

实验物理中心 机械组

裴亚田 工程师

2024年11月22日

- 一、岗位职责
- 二、本年度研究任务完成情况
  - 1.江门中微子实验液闪OSIRIS
  - 2.江门中微子实验VETO池底封堵
  - 3.CEPC探测器桶部HCAL
  - 4.CEPC探测器Magnet
- 三、本人研究成果情况
- 四、学术交流、学术发展规划
- 五、公共服务
- 六、存在问题
- 七、下年度工作计划

# 一、岗位职责

- 1.江门中微子项目相关机械设计工作
- 2.CEPC项目相关机械设计工作
- 3.其他工作

# 二、本年度工作情况

## 1.江门中微子液闪OSIRIS

### 1.1钢罐漏水问题

- 新检漏方法调研和漏率计算
- 检漏
- 修补方案的提出和实施

### 1.2系统漏氦问题

- 泵的泄露问题
- 氦气系统问题

### 1.3本底较高问题

- 增加液闪过滤器
- 增加氦气过滤器
- 有机玻璃罐加固密封
- 移除有机玻璃罐内高本底传感器

### 1.4CCD的更换

## 2.江门中微子VETO池底封堵

- 薄钢板+12米混凝土封堵方案钢结构部分方案设计及评审
- 堵头闸门方案设计及施工

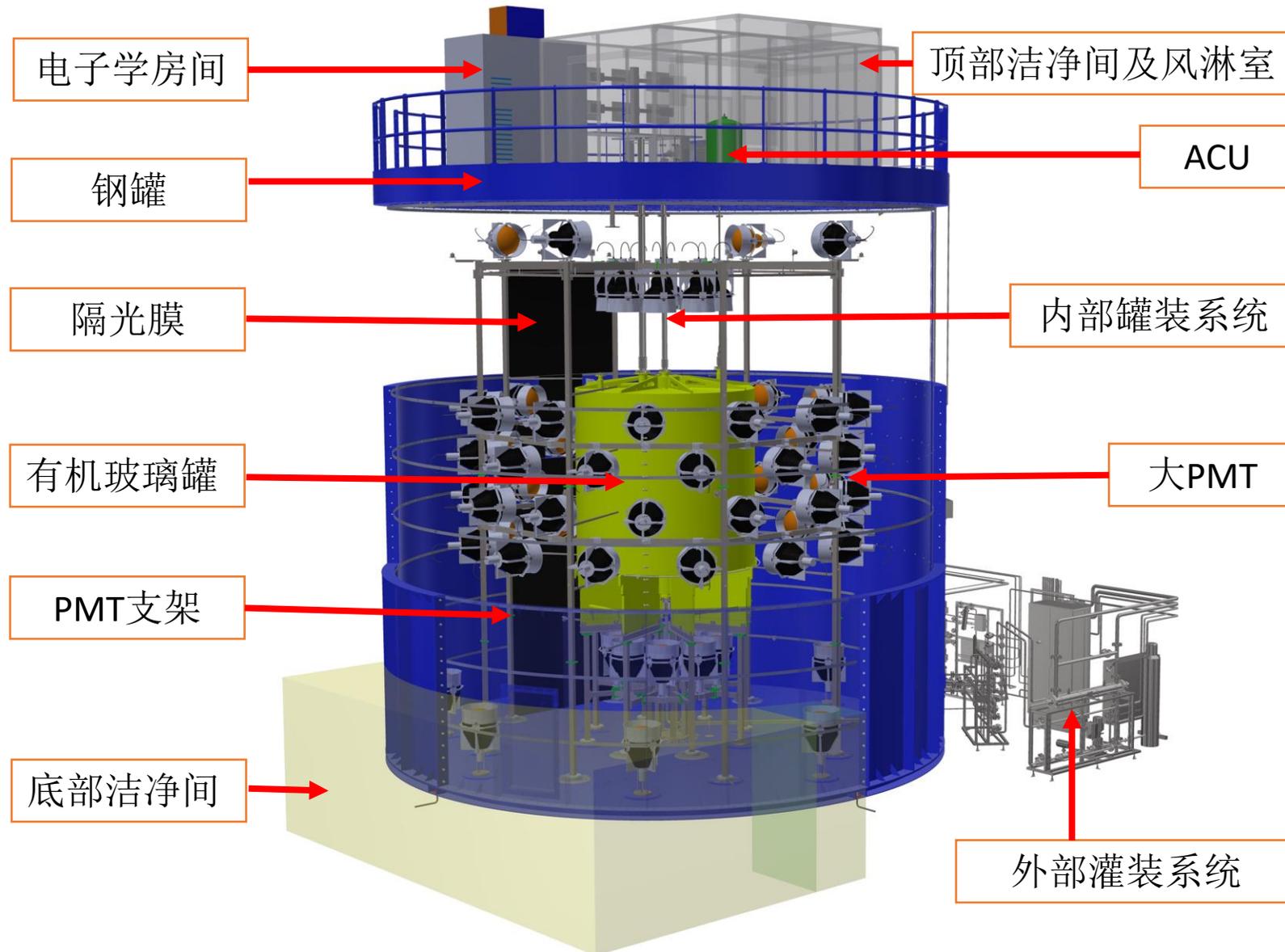
## 3.CEPC探测器HCAL机械设计

- 桶部HCAL塑料闪烁体方案结构设计
- 桶部HCAL玻璃闪烁体方案结构设计
- 统筹HCAL散热，电缆排布

## 4.CEPC探测器磁体相关机械设计

- 磁体连接结构设计
- 备选高温超导方案研究

## OSIRIS机械总体负责人（L3）：



OSIRIS是一个完整的探测器

图中未展示：

- 电子学盒及波纹管
- 激光刻度系统
- 温度传感器
- 液位传感器
- 压力传感器
- 交界面传感器
- HDPE膜
- Tyvek膜

- 2023年11月第一次灌装
- 2024年2月开始取数
- 2024年10月维修停机
- 2024年11月恢复取数

运行调试，性能提升

## 1.1钢罐漏水问题 (2023.11~2024.02)

- 初步原因：钢罐内衬HDPE膜有漏点，原检漏方法不能100%起作用。
- 挑战：工期紧，需短期内提出有效的新的检漏方案和修补方案。
- 难点：HDPE膜位于钢罐罐壁内侧，传统示踪气体及正压法无法确定具体漏点。

### 1.1.1第一轮检漏方法调研及漏率计算



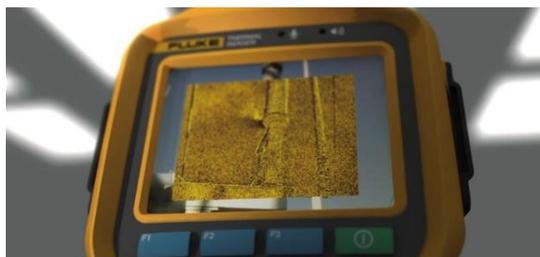
原方法  
(电火花检漏)



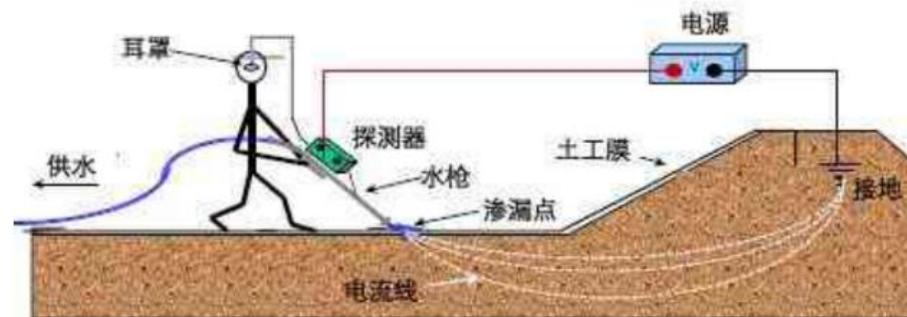
真空吸盘  
罩检法



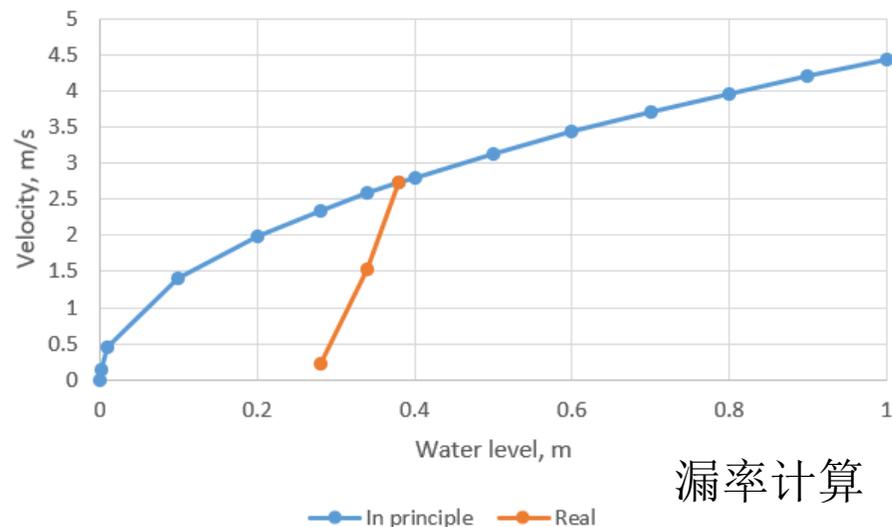
着色法



SF6热成像法



水枪法



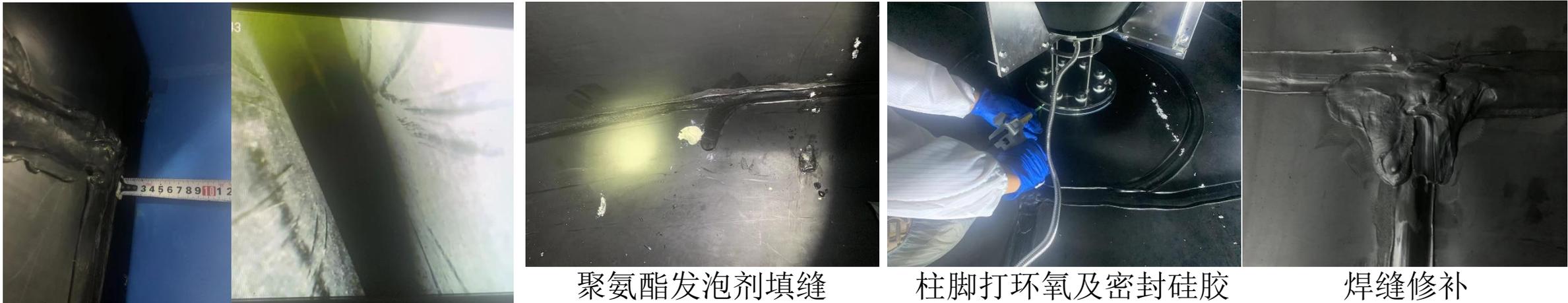
漏率计算

## 1.1.2 第一轮检漏及结果



## 1.1.3 第一轮修补

以焊缝位置居多，共发现6处



聚氨酯发泡剂填缝

柱脚打环氧及密封硅胶

焊缝修补

除HDPE膜本身漏点，HDPE膜与钢罐未贴合及其与柱脚的连接也存在泄露风险

## 1.1.4 第二轮检漏方法调研、检漏和结果



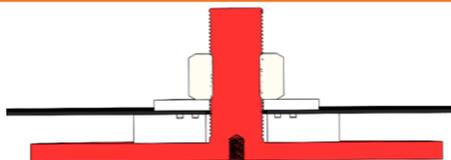
保压法（气压、水压）

升级真空罩

锚点有漏

## 1.1.5 第二轮修补

硅胶兼容性和本底测试，焊缝涂刷



设计新的锚点密封结构

锚点修补

## 1.1.6 结果、结论

漏率/(L/h)	液位/米							
	0.5	~1.0	1.5	2.0	2.5	~3.0	6.0	8.9
第一轮灌水	3.4	31.8	86.0	112.8	132.6	177		
第二轮灌水	0	28	98	144				
第三轮灌水	0	6.6	-	13.8	37.1	49.5	92.9	190

- 结论：膜的主要漏点发生在焊缝处，主要原因是HDPE膜未能全部与罐壁贴死，水压下膜的变形不断积累并传递到焊缝，撕扯焊缝

## 1.1.7 升级方案调研

《大型储罐自然硫化橡胶衬里施工工法》



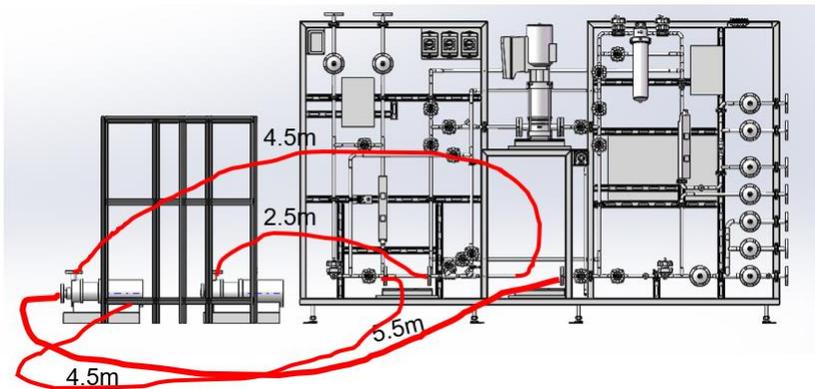
凉胶后 将胶版与罐体进行粘合

《现场油罐内衬不锈钢施工方案》

## 1.2 系统漏氦问题 (2024.03~2024.11)

- 现象：一灌装氦就升高。
- 原因：泵的泄漏，氮气泄漏。
- 难点：在保证正常取数的前提下进行检漏和补漏。

### 1.2.1 泵泄漏的解决



原泵及原备用泵（德方供）长时间运行实验

第一轮更换新泵，但调试后发现流量不满足要求

第二轮更换新泵

- 运行12小时可发现漏液

- 新泵配套管路设计
- 管路制作
- 泵及管路检漏
- 新泵控制系统设计改造
- 泵及管路清洗
- 泵及管路调试

- 液闪进出流量可达到1m<sup>3</sup>/h，满足设计要求

# 1. JUNO液闪OSIRIS

德方主导，用于检测即将灌入CD的液闪是否合格的重要探测器

## 1.2.2 氮气泄漏的解决

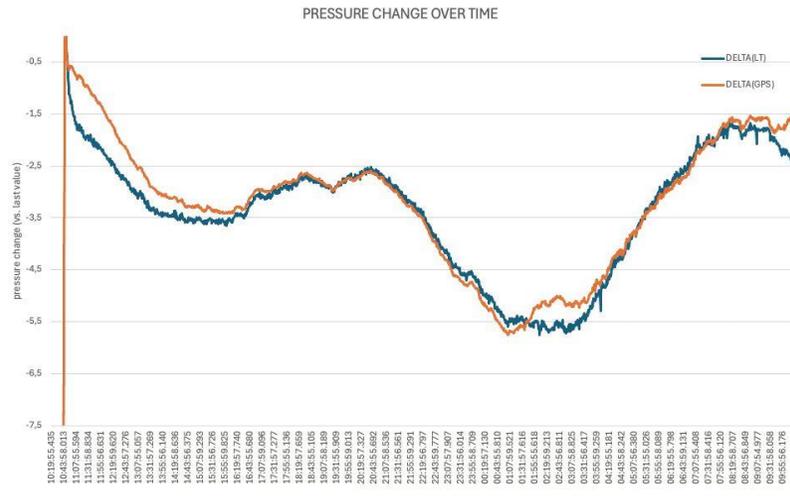
### ◆ 氮气管路检漏



SF6罩检法



真空氮检法



氮气正压保压法

### ◆ 措施1：接头焊接



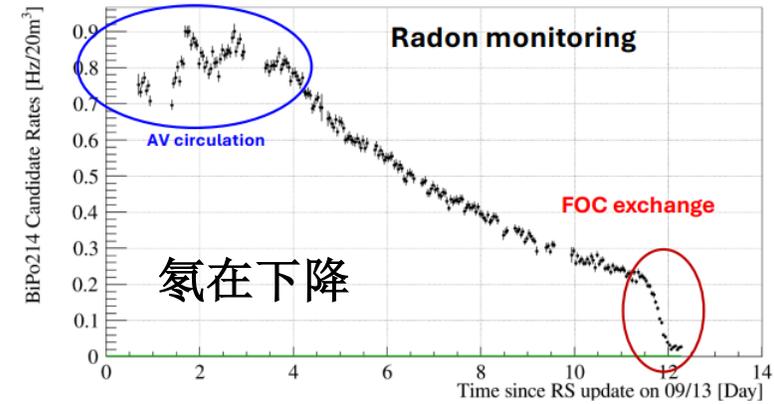
### ◆ 措施2：接头腻子封堵



### ◆ 措施3：氮气保护盒设计，制作和安装



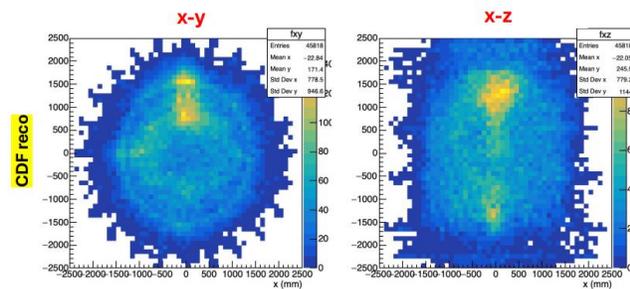
### ◆ 措施4：PFA软管更换为不锈钢波纹管



顶部氡含量目前 < 1mBq/m<sup>3</sup>

## 1.3本底较高问题 (2024.03~2024.11)

- 现象：顶点重建后部分区域发现本底较高。
- 原因：有机玻璃罐可能有微漏，罐内探头本身本底较高。
- 难点：摘除传感器时如何降低氦的渗漏。



### 1.3.1 传感器 (德方提供) 的摘除



原传感器



采用充氮手套袋拆装

### 1.3.2 加固密封



所有法兰缝隙涂环氧胶



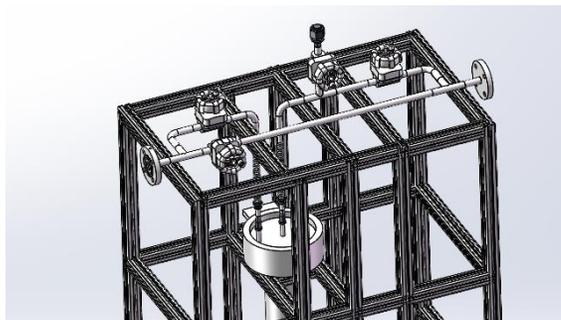
所有法兰腻子封堵

### 1.3.3 增加氮气过滤器

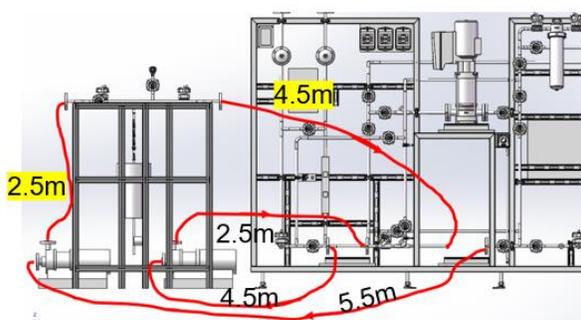


管路设计，清洗和制作

### 1.3.4 增加液闪过滤器



管路设计



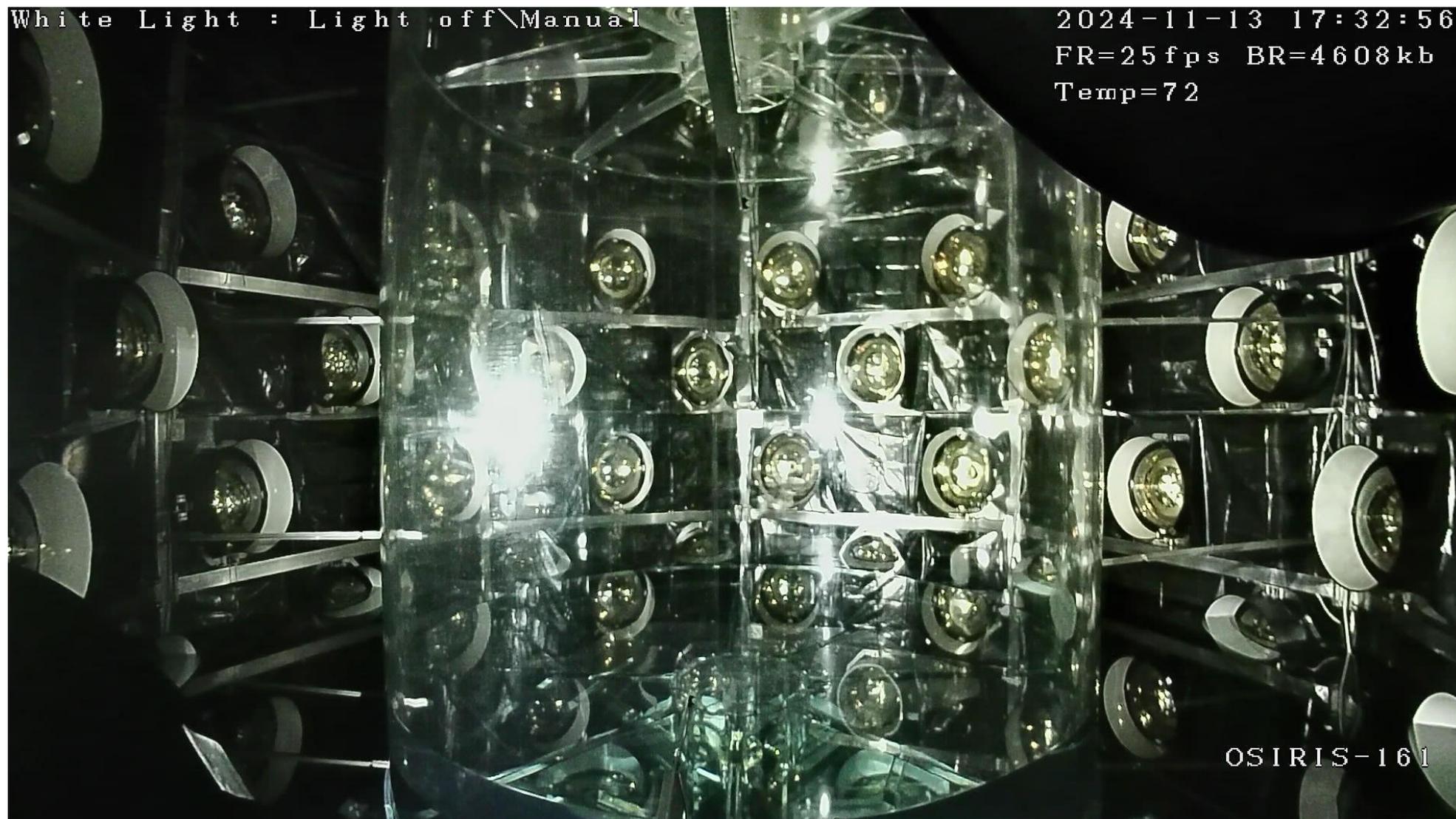
管路制作



现场清洗、安装和检漏

## 1.4CCD的替换安装（2024.11）

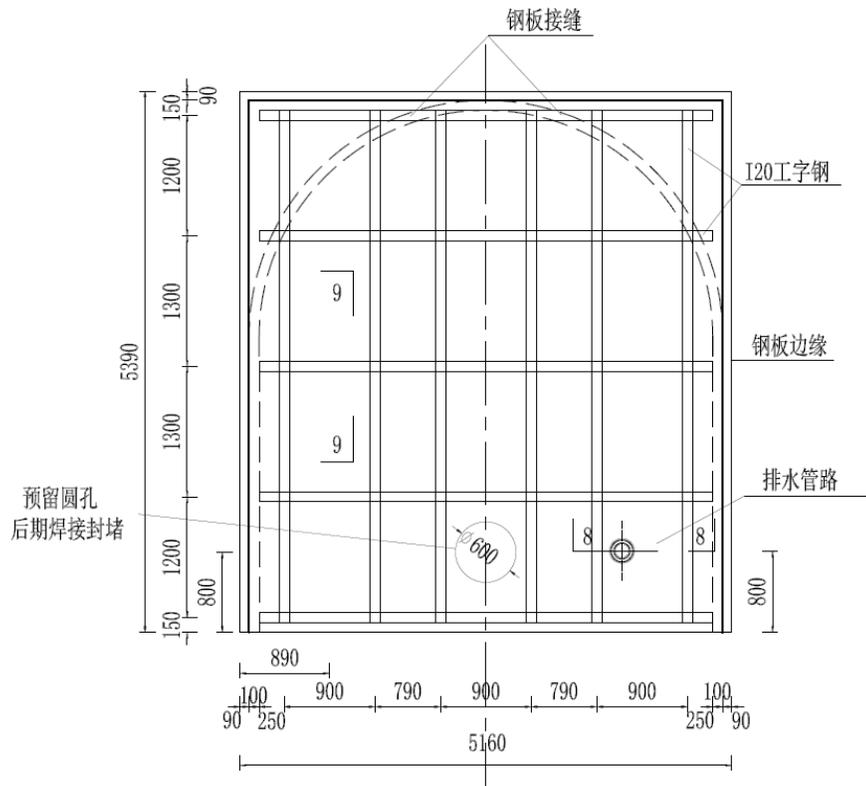
- 原大亚湾CCD电缆断裂进水



# 2.JUNO-VETO底门封堵

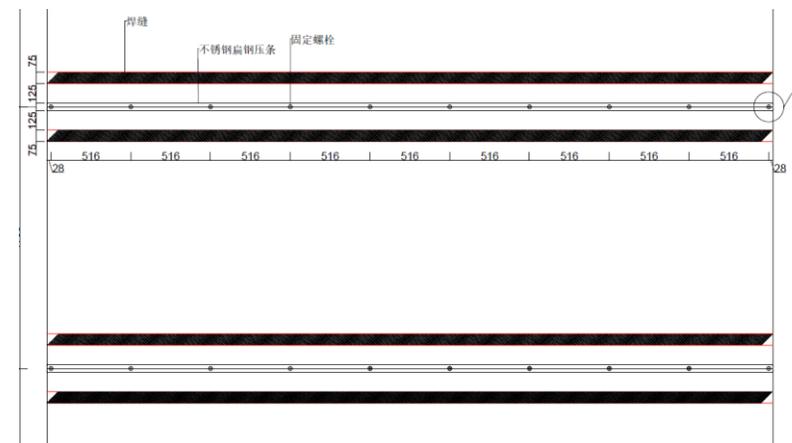
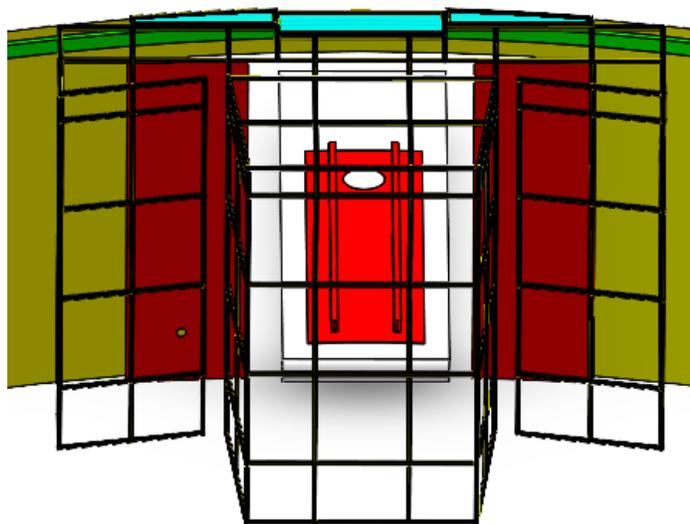
## 2.1. 薄钢板+12米混凝土封堵方案（2023.11~2024.4）

- 负责水池底部门洞封堵的详细接口设计
- 负责水池底部门洞封堵安装方案的设计



方案设计难点：

- 怎样保证安装过程不影响水池洁净度；
- 怎样保证天车在有限移动空间内完成安装



- 配合黄河设计院，联系高能环境和核第四设计院完成闸门的设计
- 调研钢结构生产厂家

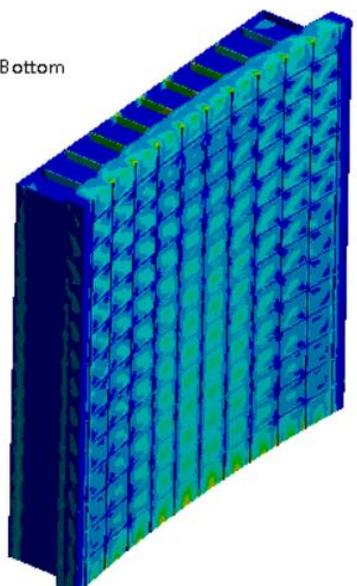
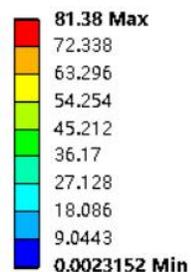
- 安装方案设计及评审
- 评审后认为此方案不能满足工期要求，需修改

# 2.JUNO-VETO底门封堵

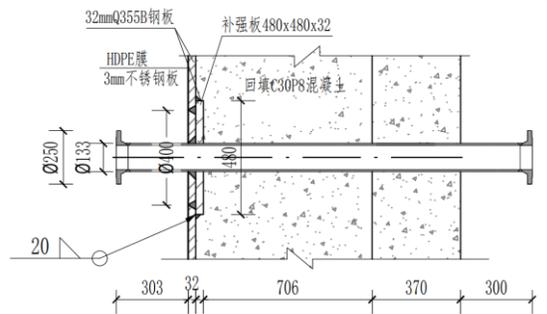
## 2.2. 堵头闸门封堵方案 (2024.5~2024.11)

- 负责水池底部门洞封堵的详细接口设计
- 负责水池底部封堵用隔离棚的调研, 安装

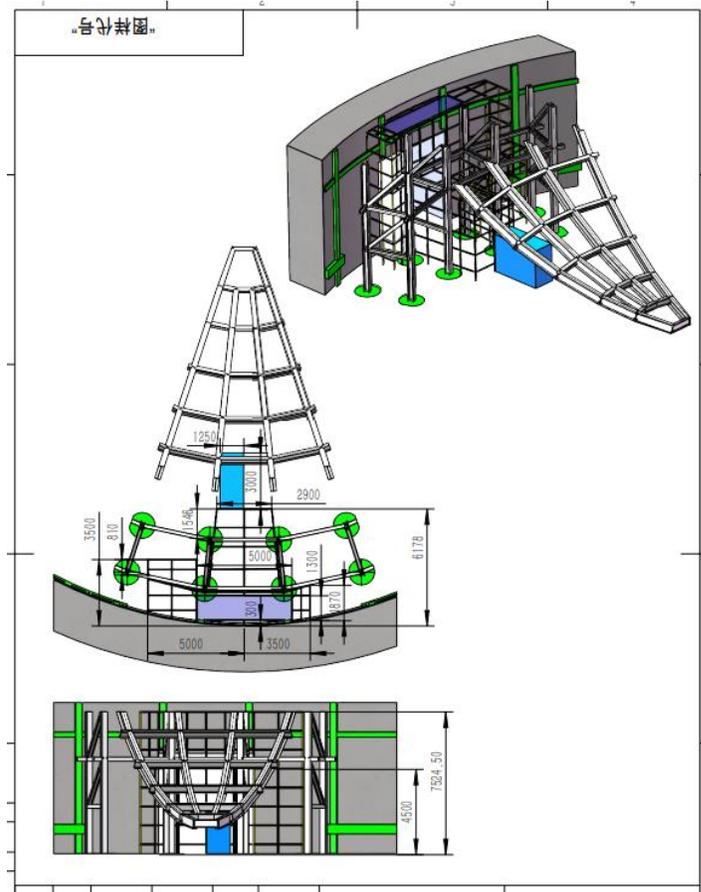
**B: Static Structural**  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom  
Unit: MPa  
Time: 1  
2024/11/21 14:58



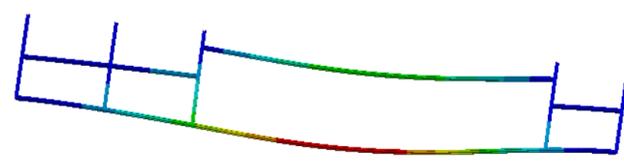
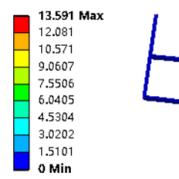
● 新封堵门结构的模拟计算



● 新结构的接口设计确认



**C: Copy of Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
2024/10/22 13:44



● 洁净棚设计和计算



● 洁净棚安装现场协调和质量监督

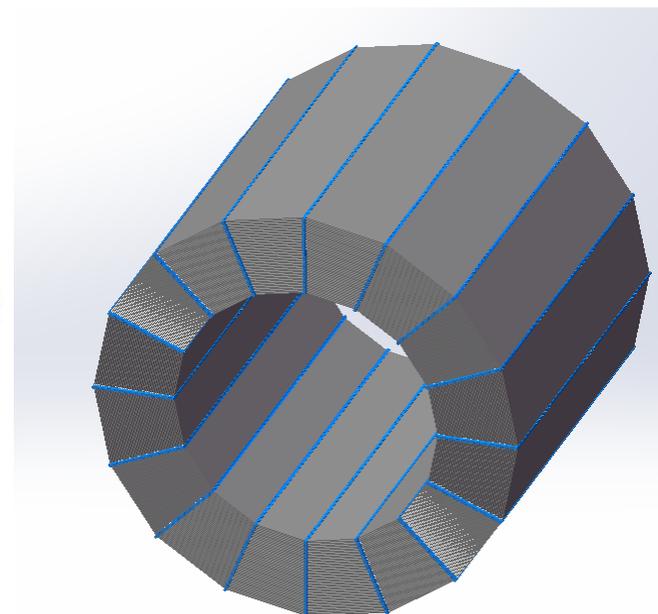
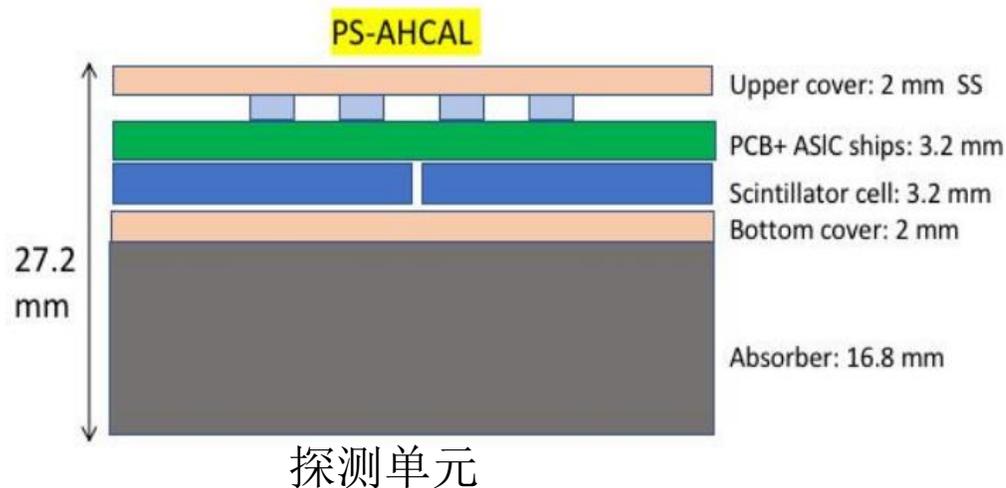
### 3.1桶部HCAL塑料闪烁体方案结构设计 (2024.06~2024.08)

设计指标:

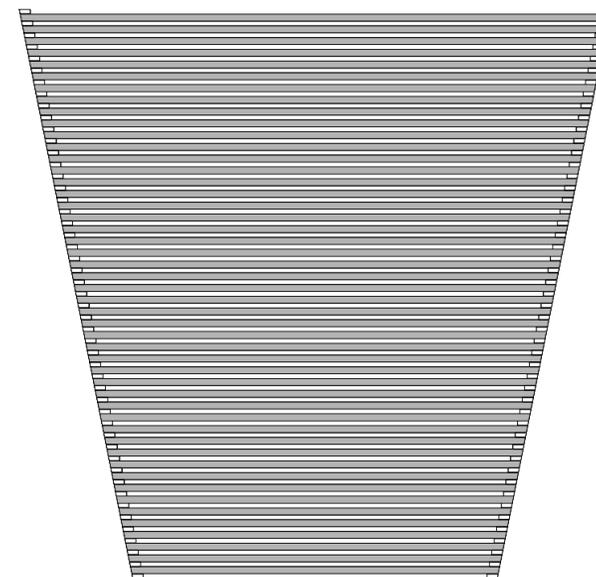
- 死区面积占比小于1%
- 材料应力水平小于许用应力
- 材料变形要求不挤压探测元器件
- 单块SiPM内部温差小于 $0.2^{\circ}\text{C}$
- 不同SiPM间温差小于 $3^{\circ}\text{C}$
- 综合考虑加工, 组装, 运输, 安装, 整体变形小于 $0.5\text{mm}$ 。

难点:

- 死区占比小: 需要用足够少的支撑来撑起1000吨的探测器
- 变形:  $6\text{m} \times 1.5\text{m}$ 范围内层与层之间间隙变化小于 $0.2\text{mm}$
- 散热: 相关电子元器件温度均匀性要求高
- 外形尺寸限制要求加工精度极高



整体结构

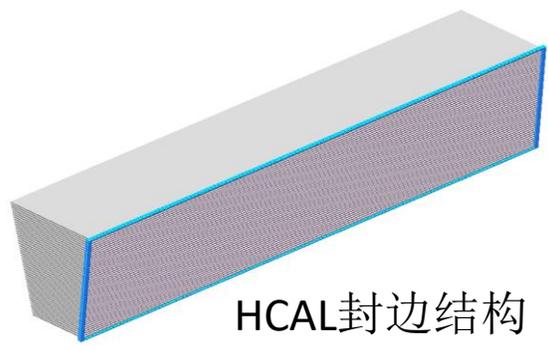
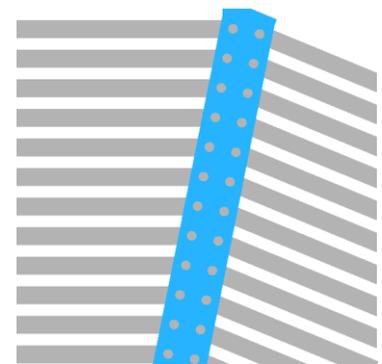
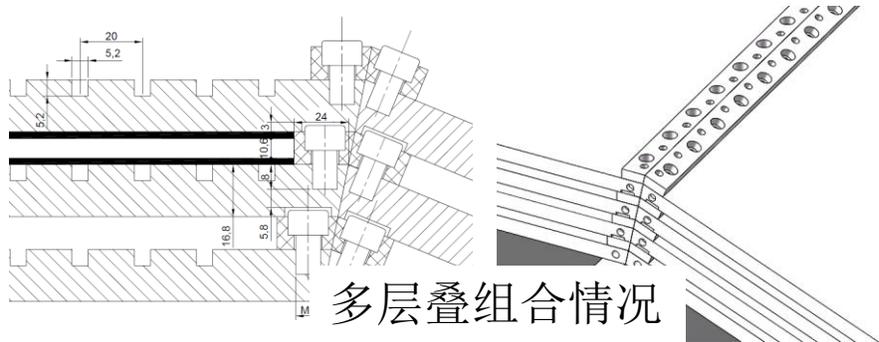
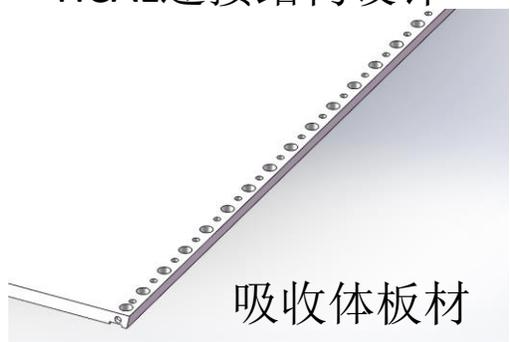


1/16结构

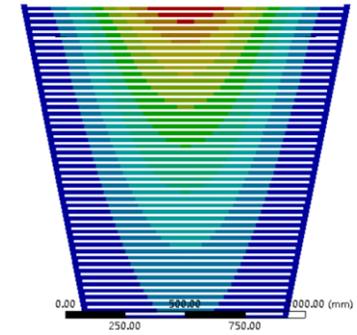
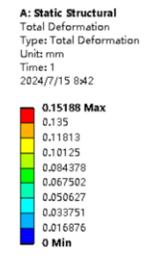
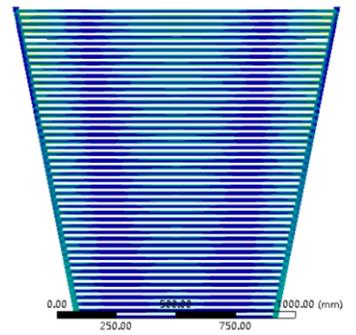
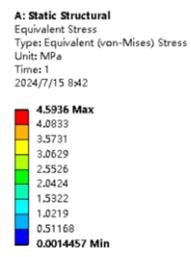
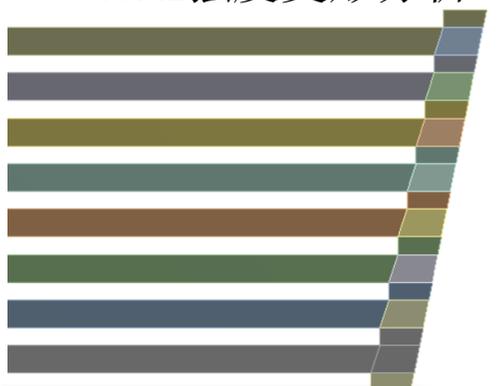
- 环形方向16等分。
- 桶部每一份为梯形形状, 梯形内侧对边跨度为 $4280\text{mm}$ , 外侧对边跨度为 $6910\text{mm}$ , 长度 $6460\text{mm}$ 。分为48层。

## 3.1桶部HCAL塑料闪烁体方案结构设计 (2024.06~2024.08)

### ● HCAL连接结构设计

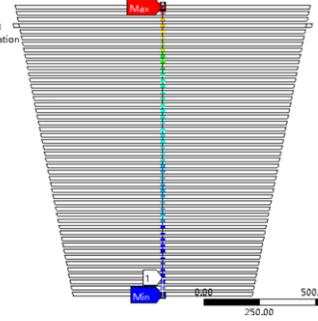
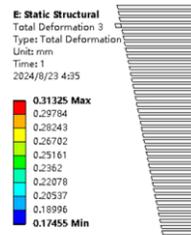
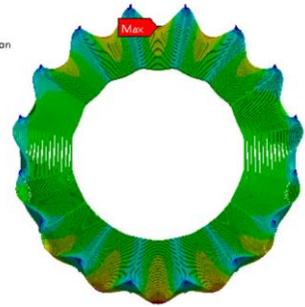
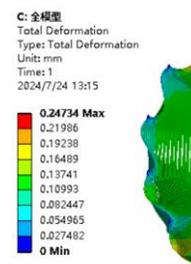
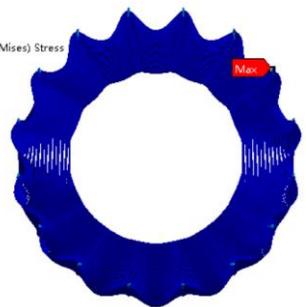
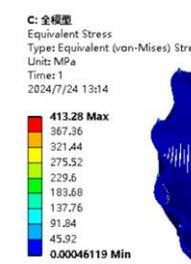
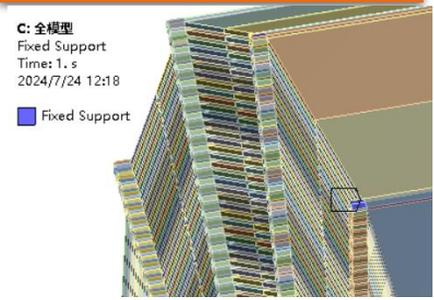


### ● HCAL强度变形分析



1/16吸收体组装部件自重工况：最大应力4.6MPa，最大变形0.15mm

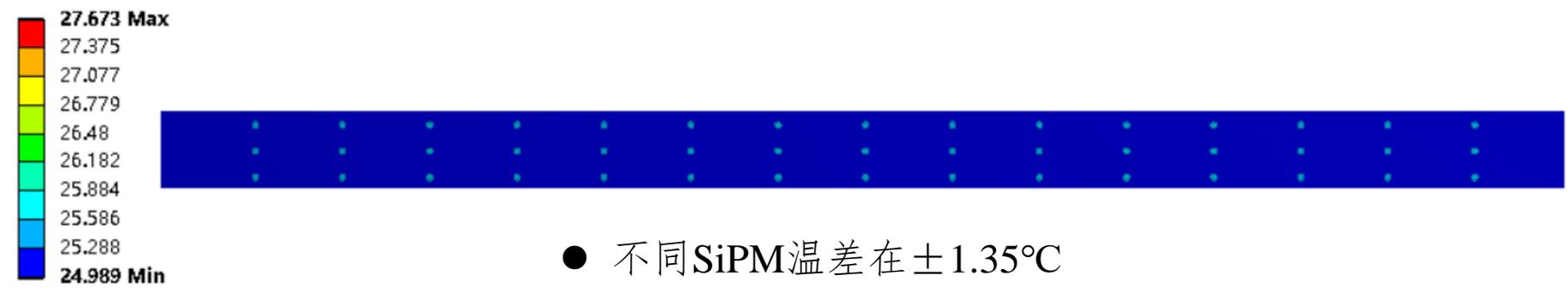
死区占比约为1.2%



应力变形基本满足要求

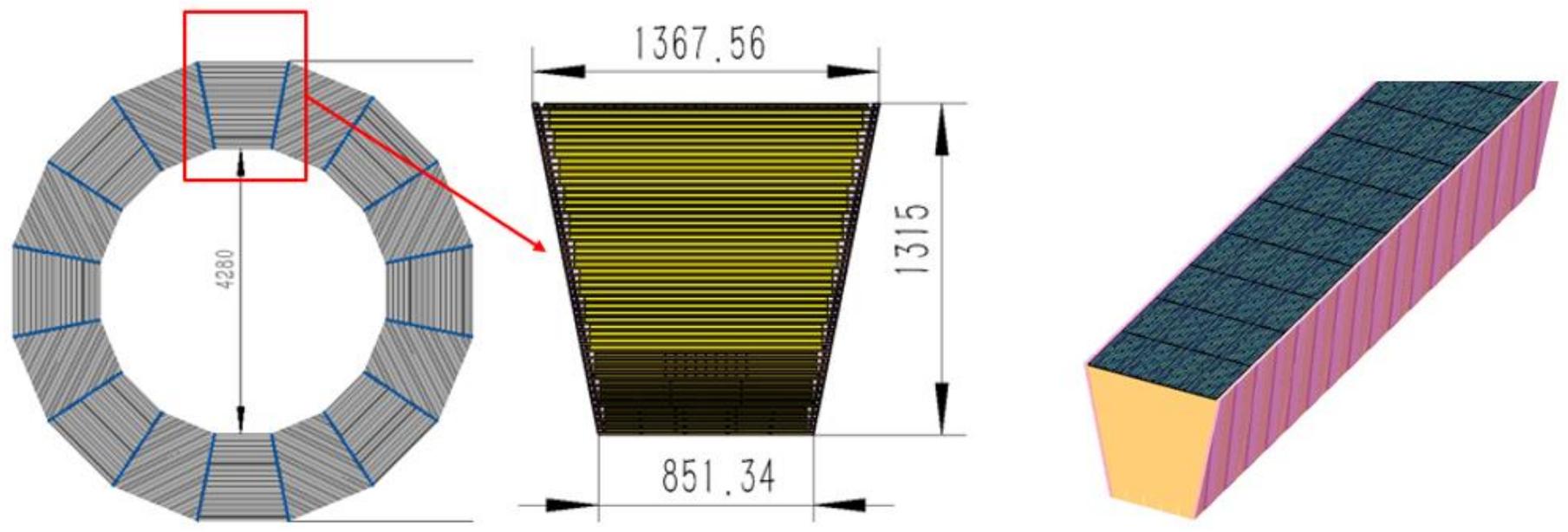
## 3.1桶部HCAL塑料闪烁体方案结构设计 (2024.06~2024.08)

### ● HCAL散热分析



## 3.2桶部HCAL玻璃闪烁体方案结构设计 (2024.09~2024.11)

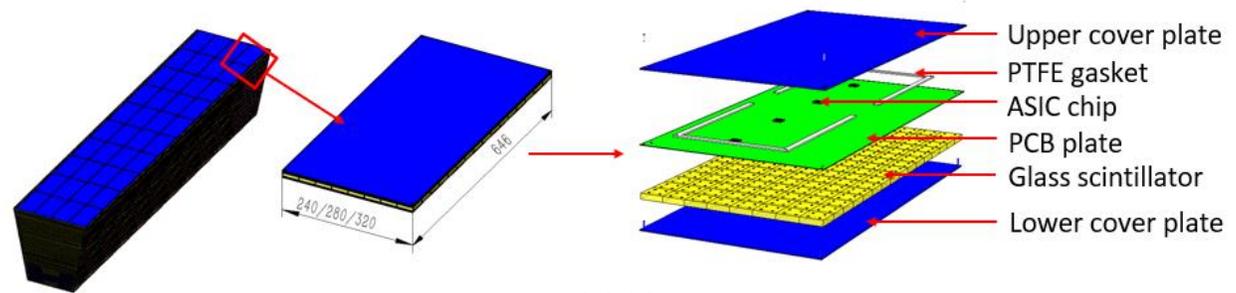
增加难点：  
➢ 支撑结构变薄，探测层变重，46.1%重量支撑53.9%重量



玻璃闪烁体探测层需重新设计；探测层模块化

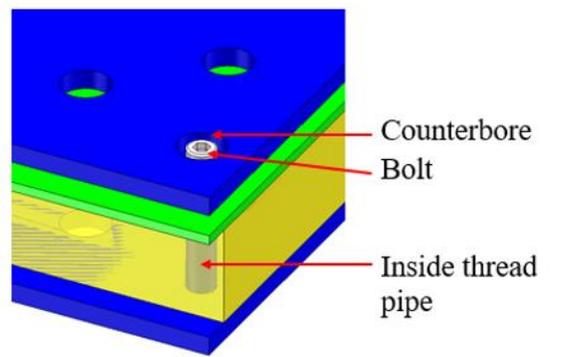
## 3.2桶部HCAL玻璃闪烁体方案结构设计 (2024.09~2024.11)

### ● 探测模块设计

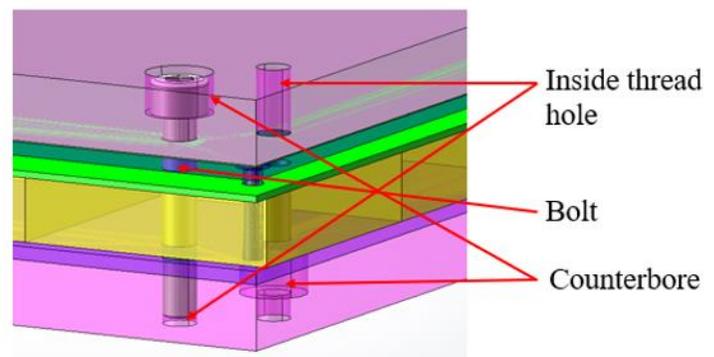


探测模块

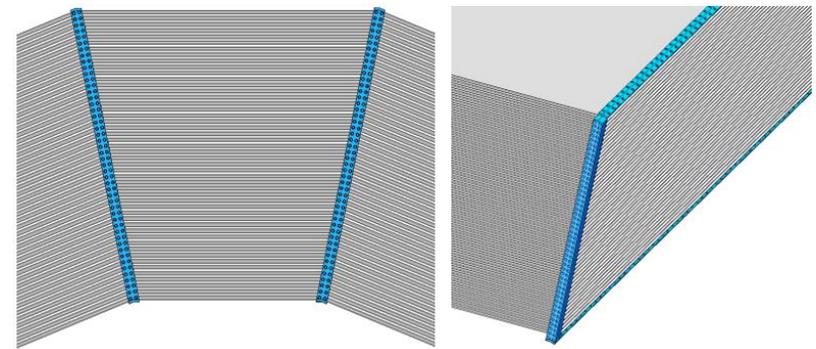
### ● 连接结构



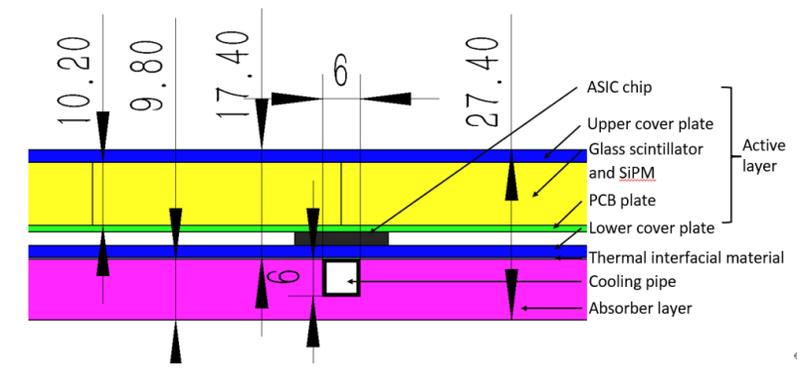
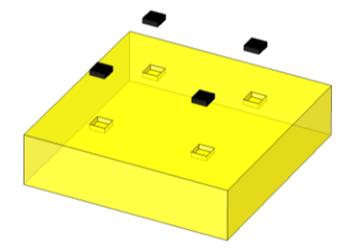
探测模块内部连接



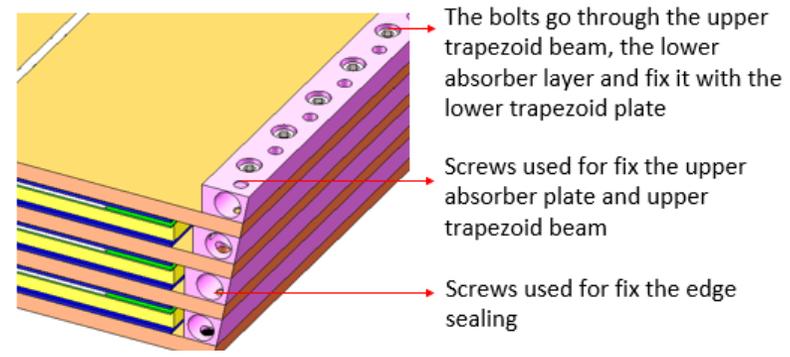
探测模块与吸收体连接



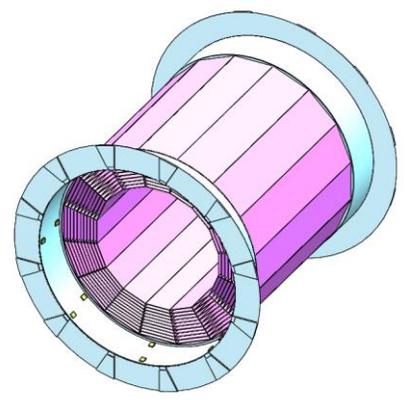
1/16与1/16  
连接



新探测单元结构



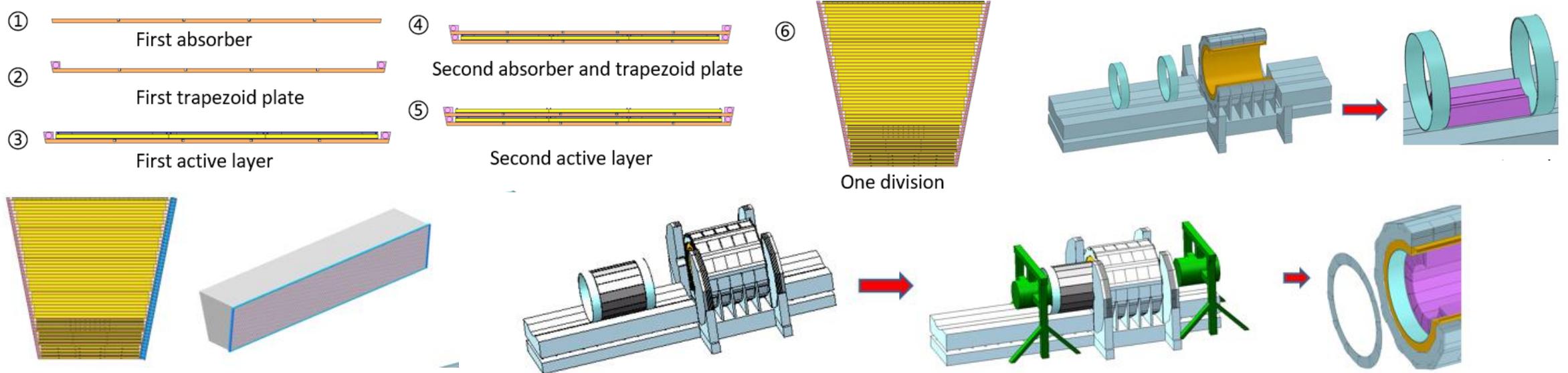
探测器层间连接



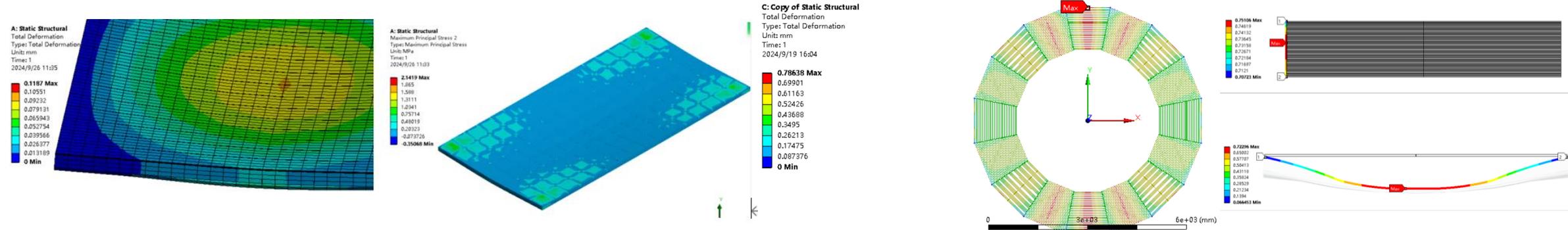
桶部HCAL与轭铁连接

## 3.2桶部HCAL玻璃闪烁体方案结构设计 (2024.09~2024.11)

### ● 安装方案设计



### ● 结构强度变形分析

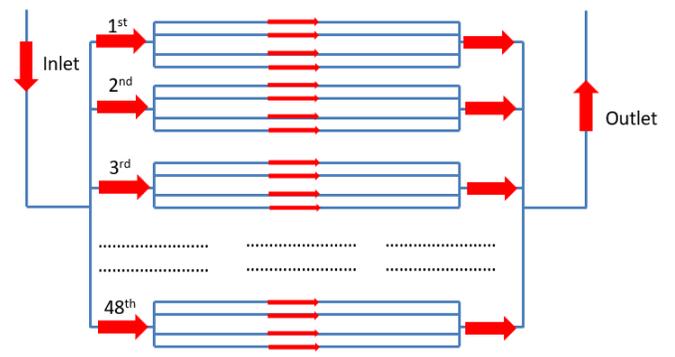


探测模块分析

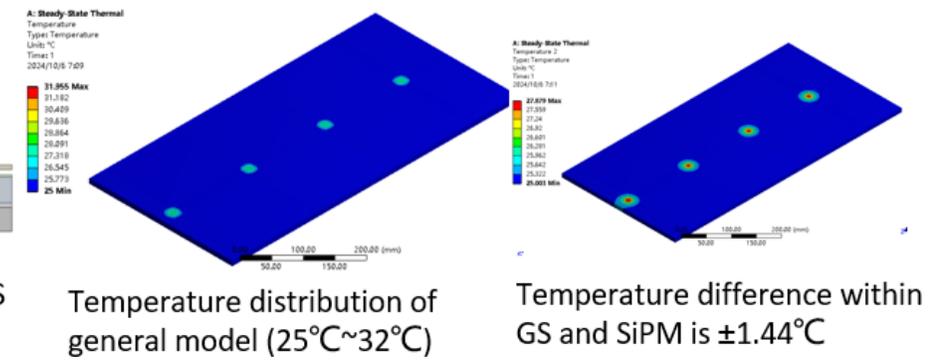
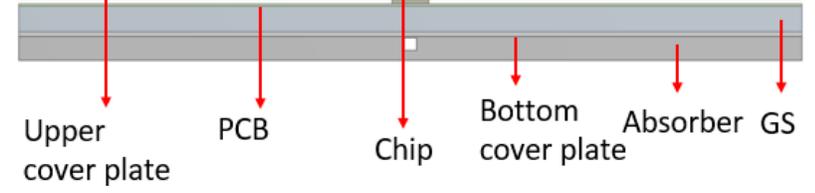
支撑结构分析

## 3.2桶部HCAL玻璃闪烁体方案结构设计 (2024.09~2024.11)

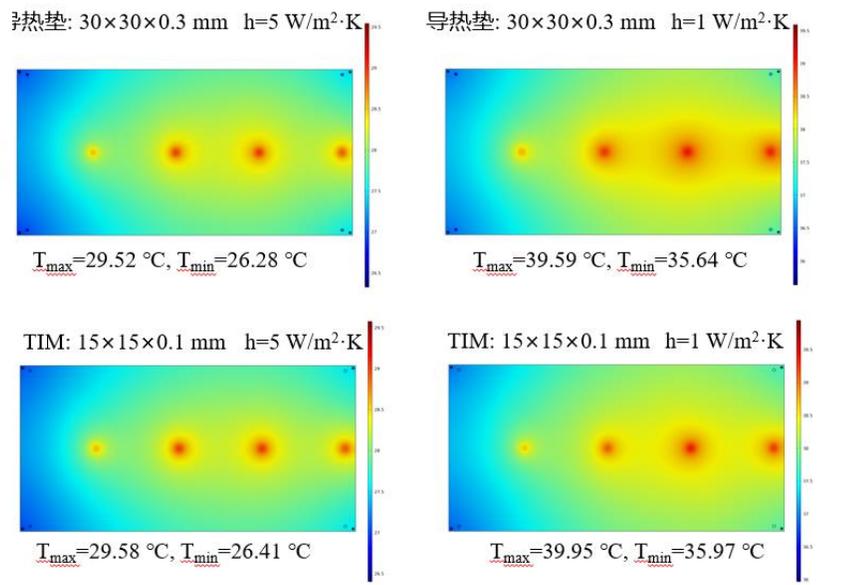
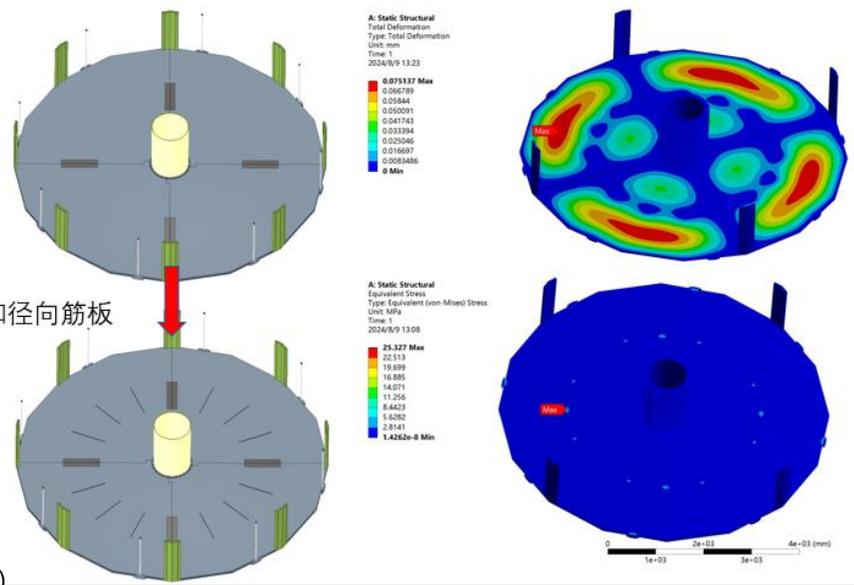
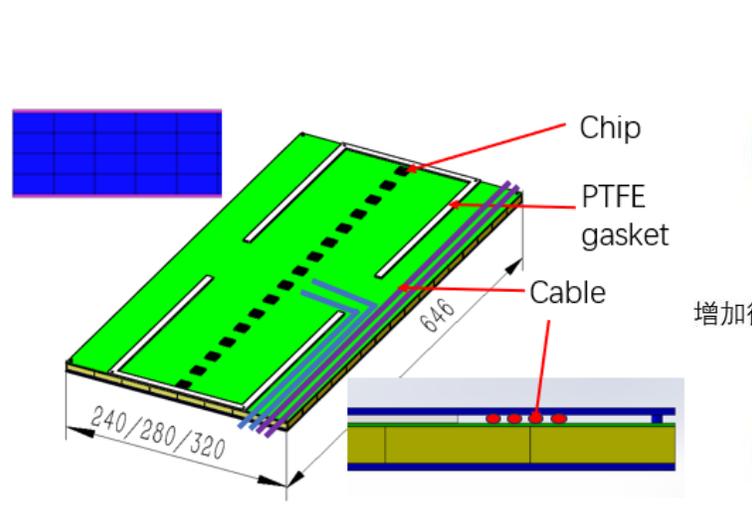
### ● 散热方案设计和计算



- coefficient of heat conduction:  $5000\text{W/m}^2\text{K}$ ;
- Inlet water  $25^\circ$ , environment temperature is  $25^\circ\text{C}$
- Thermal contact resistance:  $500\text{W/m}^2$



## 3.3作为HCAL机械负责人统筹端部HCAL、桶部HCAL、电缆排布和散热设计 (2024.09~2024.11)

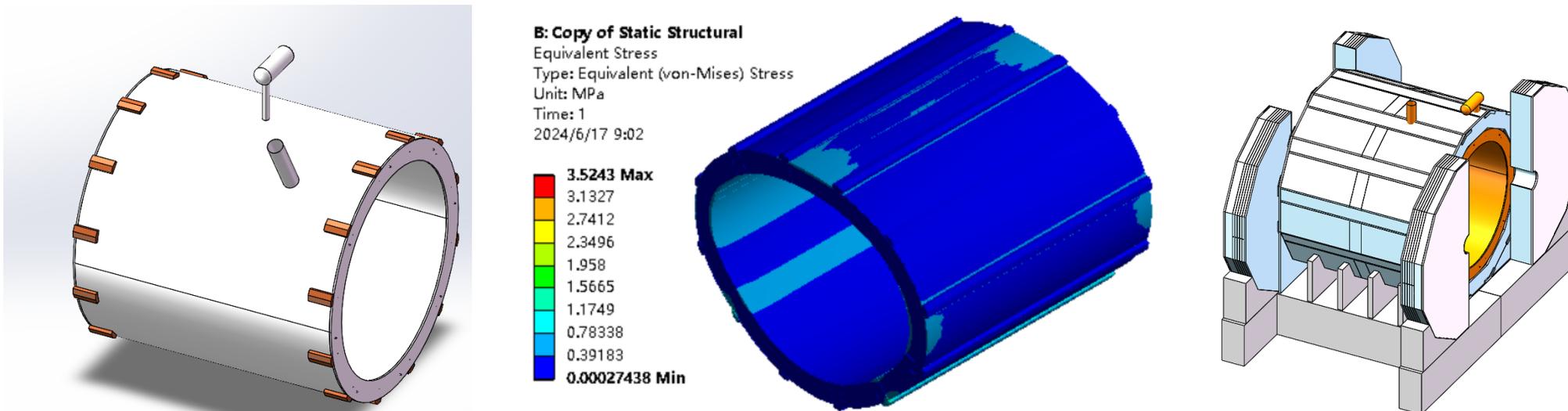


电缆排布 (配合电子学进行设计)

东莞分部端盖

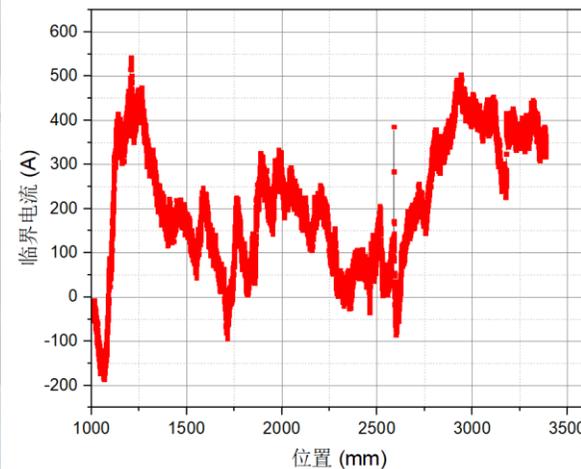
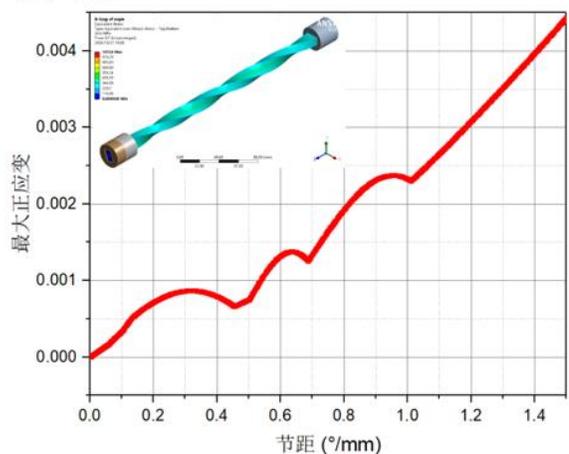
郑州大学散热

### 4.1 CEPC探测器磁体连接结构机械设计 (2024.06~2024.11)



完成了磁体与轭铁连接结构的设计，完成了电流引线烟囱和低温阀箱烟囱的尺寸与位置设计

### 4.2 备选高温超导方案研究 (2023.12~2024.11)



- 扭转特性的研究
- 百米长缆性能在线监测平台搭建和测试
- 以第一作者身份基于弯曲特性发表文章

## 三、本人研究成果情况

### 1、文章

[1] **Pei Y**, Cao J, Wang M, et al. Study on Normal Bending Characteristics of Aluminium-Stabilized Stacked HTS Tape Cable for CEPC Detector Magnet[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 34[2024-10-17]. DOI:10.1109/TASC.2024.3425373 (SCI)

[2] Wang M, Ning F, **Yatian Pei**, Yaqiang Wang, Jingli Cao, Ling Zhao, Qingjin Xu, Zian Zhu. A Novel Aluminum-Stabilized Stacked REBCO Tape Cable[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity: A Publication of the IEEE Superconductivity Committee, 2024, 34(4):1-9

## 四、学术发展，学术交流

1、博士课题：探测器磁体铝基高温超导电缆研制及机械特性研究

2、参加学术活动

(1) 23th JUNO collaboration Meeting, Jiangmen, Feb 2024

报告：OSIRIS leak search and repair

(2) 24th JUNO collaboration Meeting, Jiangmen, Jul 2024

报告：LHS update plan

(3) 2024年CEPC机械设计研讨会，2024年8月

报告：CEPC强子量能器机械设计

## 五、公共服务

- JUNO-OSIRIS灌水值班
- 《河南省科学院创新平台建设项目申报书》相关内容撰写
- 《Reference Technical Design Report of CEPC Detector》相关内容撰写
- CEPC International Detector Review Committee Meeting 相关内容撰写

## 六、存在问题

学术发展投入时间较少

## 七、下年度工作计划

- JUNO-VETO
  - 底门封堵
- CEPC-桶部HCAL机械设计
- CEPC-磁体连接结构机械设计

**谢谢!**