



# 2024年度绩效考核报告

钱小辉 高工  
实验物理中心 机械组  
2024年11月

# 行政组管理

- 全组任务完成情况
- 组内工作安排、学术发展、学术交流、经费、人才培养与引进情况等

	人员	职称	参加项目	任务完成情况
正式职工 (9人)	马骁妍 (组长)	正高	JUNO	<b>项目总工</b> , JUNO现场收尾阶段
	钱小辉	副高	JUNO、CEPC	<b>Level3负责人</b> , 完成有机玻璃球建造; Veto系统安装; CEPC漂移室设计
	何伟	副高	JUNO、TAO	<b>Level3负责人</b> , 完成钢网架建造; <b>TAO总工</b> , 正在紧张安装中
	纪全	副高	CEPC	<b>机械总体负责</b> : 完成机械总体布局和尺寸分配、安装方案等等
	付金煜	副高	CEPC、BESIII	CEPC: VTX, OTK结构设计; BESIII: 完成漂移室拆除和CGEM装入
	侯少静	中级	CEPC、TAO	ECAL桶部结构设计以及其他探测器设计等
	裴亚田	中级	JUNO、CEPC	JUNO: <b>OSIRIS机械负责人</b> , 完成安装; veto池底门洞安装; CEPC:桶部HCAL、磁体结构设计
	王健	初级	JUNO	完成小PMT安装测试检查
	陈芳	高级工	JUNO、BESIII	PMT生产驻厂, 圆满结束。
返聘1人	唐晓	副高	JUNO	灌装系统机械负责人, 目前现场安装
外聘1人	于佳	中级	JUNO	材料各类测试工作和探测器组装

## 总体进展:

**JUNO**: 现场收尾阶段, 12月中旬左右开始灌装;  
**JUNO-TAO**: 台山核电安装中, 春节前安装结束并开始调试  
**BESIII**: 完成漂移室拆除和CGEM装入  
**CEPC**: (Ref-TDR)第一次国际探测器评审委员会会议

- 学术交流: 内部项目报告交流, JUNO国际合作、CEPC
- 人才培养: 硕士毕业2名, 在培博士生1名, 硕士生1名
- 经费情况:
  - 马骁妍: JUNO现场安装: 200万
  - 纪全: CEPC探测器总体, 100万

# 本人本年度科研任务完成情况

## ◆ 江门中微子实验 (JUNO) 中心探测器系统——有机玻璃球子系统L3负责人

**难点：**世界最大有机玻璃球 (35.4m) ，**工艺创新** (大面积聚合、退火等) 、**现场制作难** (板材调装、高空修补等) 、**压力大** (工期和质量)

- 完成有机玻璃球现场建造
- 球体应力测量与分析
- 球体寿命评估
- 健康监控设计
- 缺陷修补工装设计

## ◆ 江门中微子实验 (JUNO) veto系统——TT (径迹探测器) 桥、RPC探测器、现场安装协调、外方协调

## ◆ CEPC漂移室——漂移室结构设计、性能验证模型设计

# 负责有机玻璃球现场建造

- 作为子系统负责人进行现场有机玻璃球的安装和管理
- **难点**：建造工期短、最复杂有机玻璃承力结构，**质量+工期** 双重压力
- **工作**：
  - **现场工艺分析和制定**：缺陷修补方案、板材调整、撑杆安装、粘接聚合、板材清洗等
  - **质检**：应力、拼装尺寸、杆力监测分析、聚合质量、缺陷修补分析、打磨透光率、清洗质量等等
  - **协调合作组单位安装**—内部anchor（上交）、外部anchor（西交）、支撑杆组装和安装（东莞理工）等
  - **组织相关技术讨论会**
- **人力**：长期3人（马+钱+现场助理刘雷）
- **完成有机玻璃球建造工作**
  - 常驻现场，2024年春节留守现场，每天下井做质检
  - 公司：007工作（7天/24h）

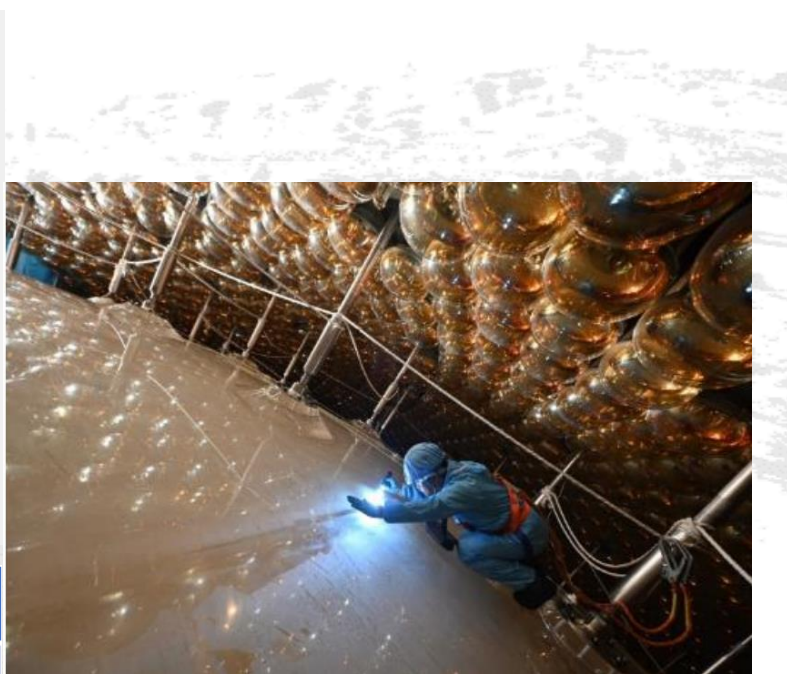
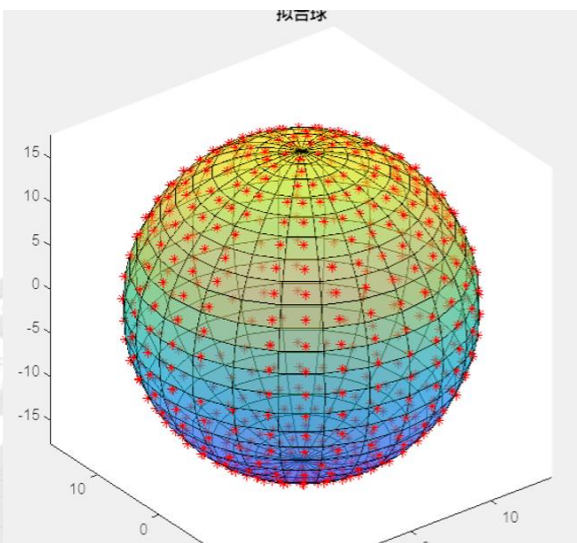


有机玻璃球建造过程

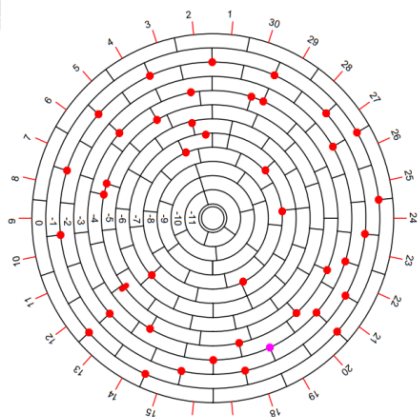
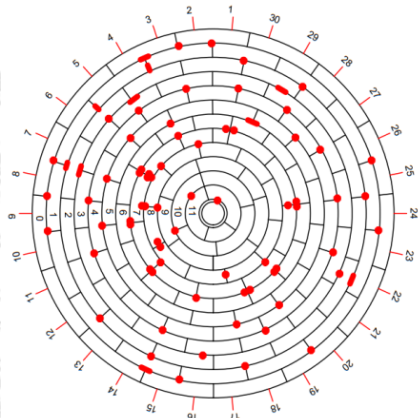
# 负责有机玻璃球建造质量

- 最终整球测量：**内直径偏差23mm (0.065%)**，上下法兰同轴度 $\Phi 6$  mm
- 整球缺陷全面检查，排查隐患
- 整球缺陷修补达100余处，所有的修补缺陷记录
- **11月19日通过中科院重任局组织的建造质量评审**

高精度！！



球体全面检查



缺陷记录

**中国科学院战略性先导科技专项江门中微子实验  
有机玻璃球建造质量评审会专家意见**


2024年11月19日在广东江门，中国科学院重大科技任务局会同科技基础能力局组织了江门中微子实验（JUNO）有机玻璃球建造质量评审会。会议成立了专家组（名单附后）。

江门中微子实验专项旨在建造一个能量分辨率好于3%的高精度中微子探测器，在长达约30年的运行时段内，完成对中微子质量顺序、振荡参数等物理量的精确测量。该专项的有机玻璃球内径33.4米，板材厚度12厘米，由263块拱穹球面板和上下烟囱粘接而成，有机玻璃净重约600吨，是世界最大的单体有机玻璃球。

专家组实地查看了探测器建造情况，听取了《JUNO有机玻璃球总体介绍》、《JUNO有机玻璃球现场安装》、《JUNO有机玻璃球寿命及风险评估》的汇报，查阅了档案资料，经过充分的质询、讨论，形成意见如下：

- 1、提供的资料齐全，满足项目评审要求。
- 2、建造质量分析报告和结构计算书的数据可靠，分析结果正确。
- 3、建造过程中的粘接缝缺陷解决方案和措施有效。
- 4、有机玻璃球建造质量满足设计要求。

专家组一致认为可以进行下一步液体灌装工作。

评审专家组组长： 

2024年11月19日

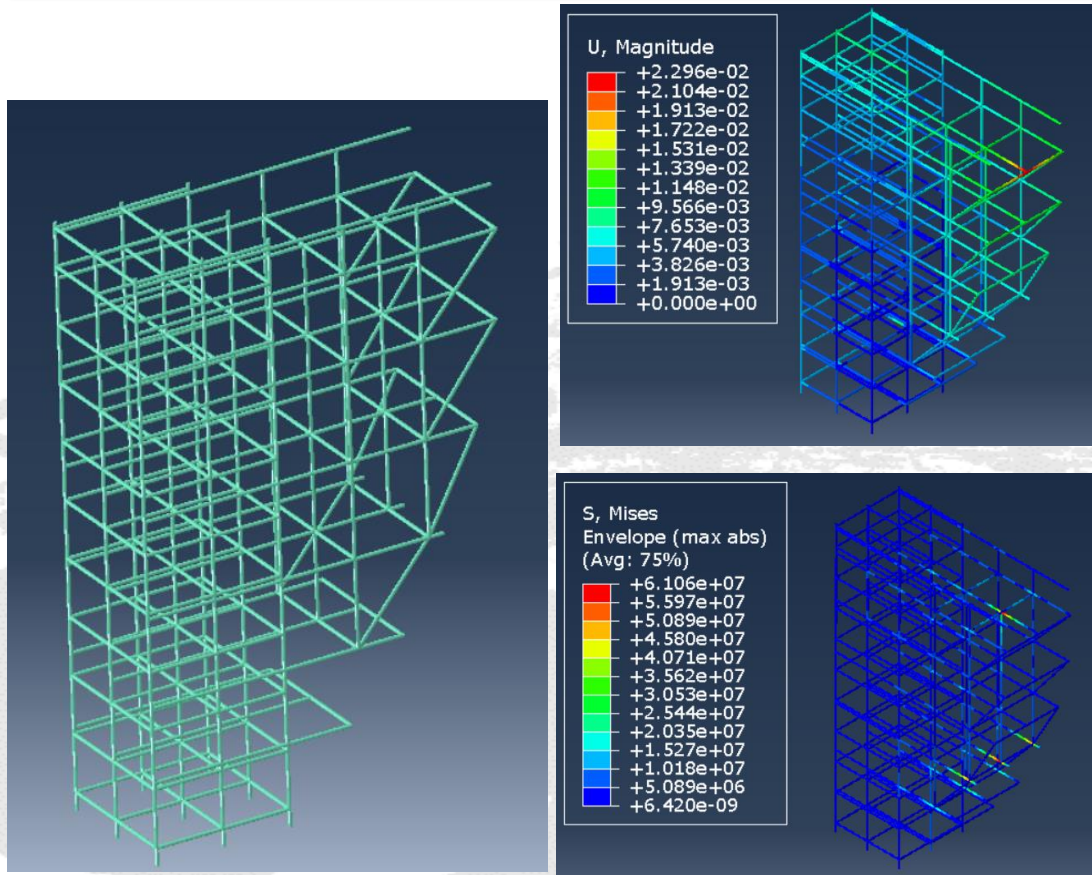
院重任局质量评审

		拟合值	设计/要求值
球心偏差(mm)	$\Delta X$	-5.9	$\pm 20$
	$\Delta Y$	-18.5	$\pm 20$
	$\Delta Z$	4.8	$\pm 20$
球直径 (mm)	R	35377	35400 $\pm$ 40
同轴度 (mm)		6	20

整球尺寸

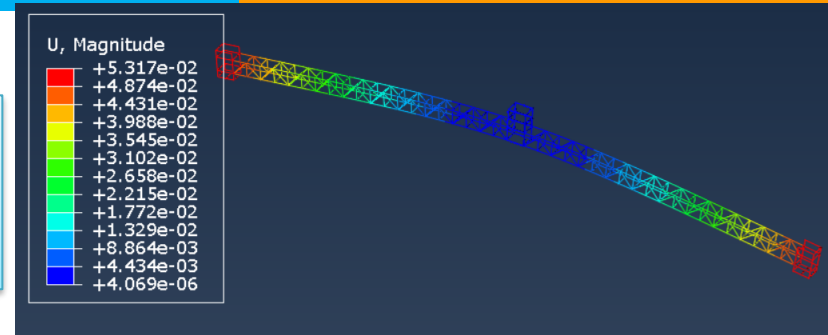
# 现场工装架设计分析制作

- **目的:** 用于有机玻璃球下半球**建造过程**中上半球缺陷的修补
- **脚手架难点:** 悬挑结构, 悬挑6.1m, 高度15.3m, 平台底部无固定支撑
- **修补工装架:** 长度20米, 变形大, 便于组装, 重量轻等



修补用脚手架架设计计算和安装

通过设计非标工装架, 保障现场安装顺利进行

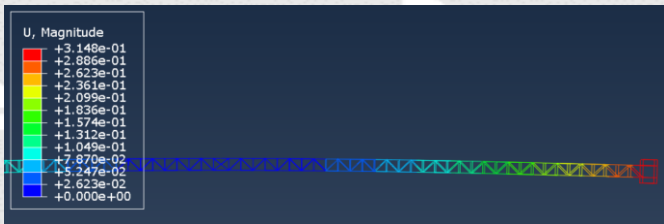
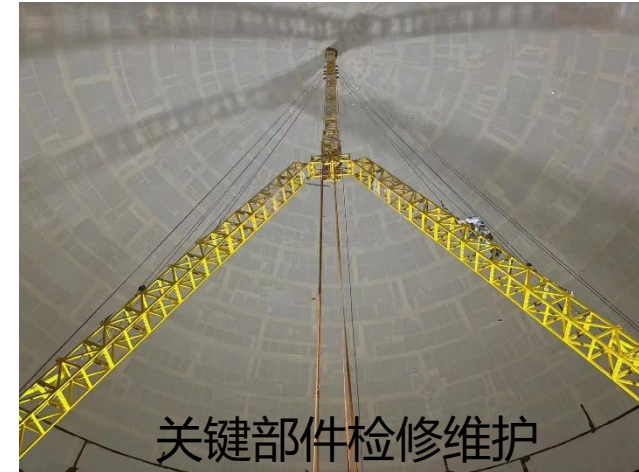
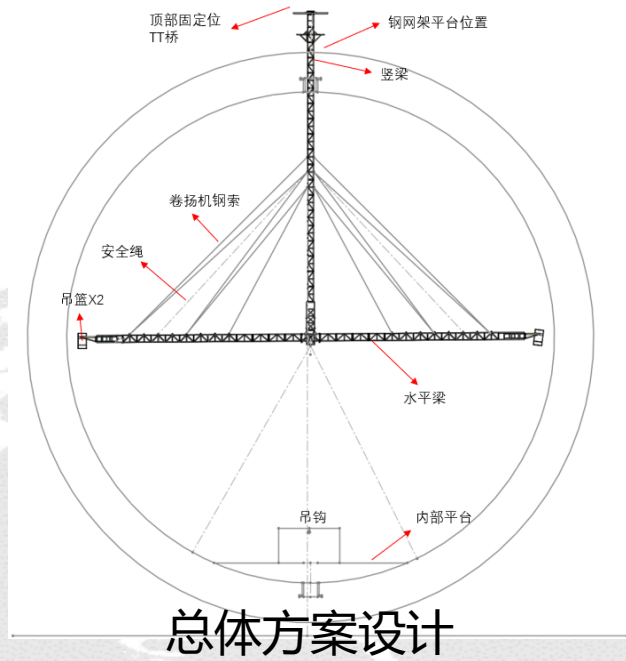


修补工装架设计、计算、测试和使用

# 现场工装架设计分析制作

- **目的：**有机玻璃球**建造完成后**用于球内表面的全面检查
- **难点：**诸多约束条件，1) 组装空间受限；2) 大悬挑：35.4/2 m，3)总重控制4.2吨<5吨；5) 单件需便于组装；6) 实现经、纬线方向旋转和半径方向伸缩；
- **标准件选型和测试工作、组装工艺设计**

工装架运行比预想好，未发生任何安全事故，安全退役；



结构受力分析

地面测试

工装架内部粘接缝检查

# 粘接缝应力分析和去应力工艺研究

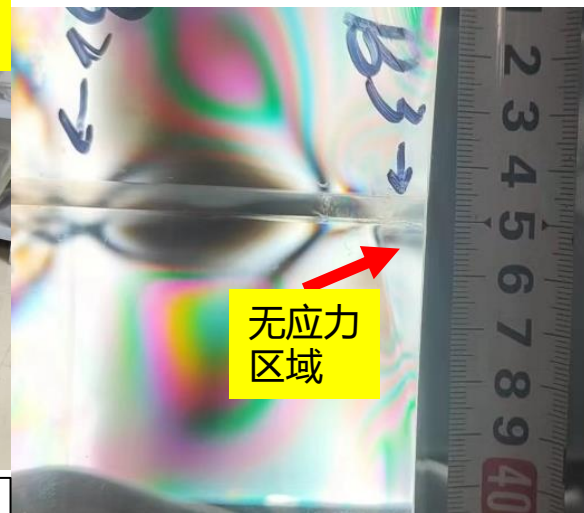
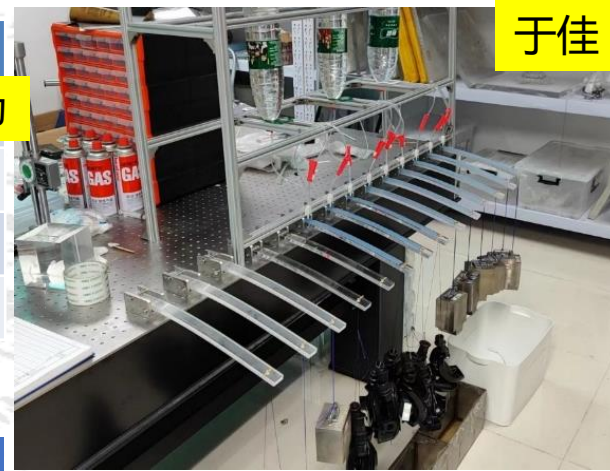
- 粘接缝**聚合应力=约束应力+残余应力**；提出**约束应力**概念，其为球体修补困难主要原因，需将其添加到长期蠕变评估中；
- 研究**残余应力**对材料蠕变和拉伸等性能影响关系，以及溶剂对裂纹影响；
- 分析球体外荷载应力表现为弯曲应力；研究对比**拉伸应力和弯曲应力蠕变性能对比**
- 研究**环氧对粘接缝蠕变性能的影响**——提升2~3倍
- **研究了一种去除亚克力表面残余应力方法**：定制加热带、设定温度曲线

表：球体聚合应力分析

	应力均值/MPa	标准差/MPa
球体上	19.27	约束应力+残余应力
切下样块	13.4	残余应力
试件1（拉伸）	9.10	0.60
试件2（蠕变）	9.79	2.27

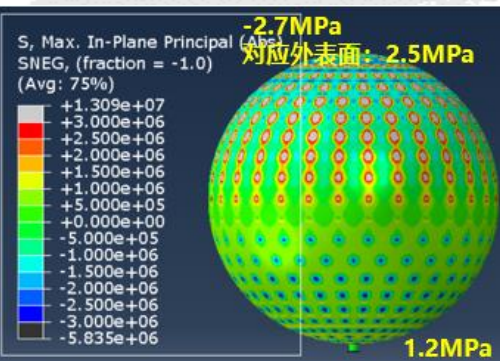
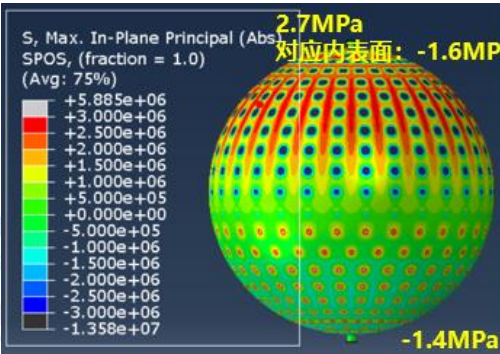
表：外荷载应力分析—弯曲应力

	上半球	下半球
外表面	拉应力 最大拉应力2.7Mpa (相同位置内表面压应力1.6Mpa)	压应力 最大压应力1.4Mpa
内表面	压应力 最大压应力2.7Mpa (相同位置外表面拉应力2.5Mpa)	拉应力 最大拉应力1.2Mpa



弯曲蠕变性能测试：  
 ◆ 亚克力材料在空气中带应力情况下表现的最差；  
 ◆ 弯曲应力下长期蠕变行为比拉伸应力下的性能好，**蠕变性能 > 50倍**

有机玻璃球表面去应力退火  
 通过应力分析，了解球体应力状态，从而进一步评估其寿命。

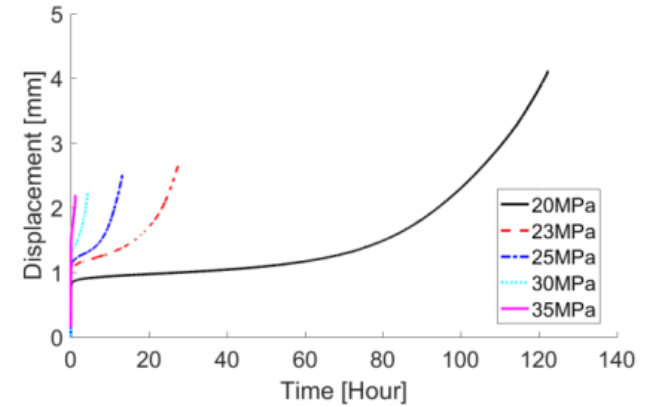


球体有限元分析



# 有机玻璃球长期寿命预测

- 板材本体、垂直缝、平行缝等试件蠕变测试和寿命分析
  - 拉伸应力小于5.5MPa下，三种情况均满足30年使用要求；
  - 带垂直缝的样片(无环氧涂层)：5.5MPa应力下，中心值为270年（实际应力2.7Mpa），满足于30年使用要求
  - 带平行缝的样片（无环氧涂层）：8MPa应力下，中心值为23.8年，通过表面涂抹环氧，蠕变性能能够提高2~3倍，基本满足JUNO要求
- **有机玻璃粘接缝在运行工况下基本能够满足30年使用要求；**



拉伸蠕变曲线簇

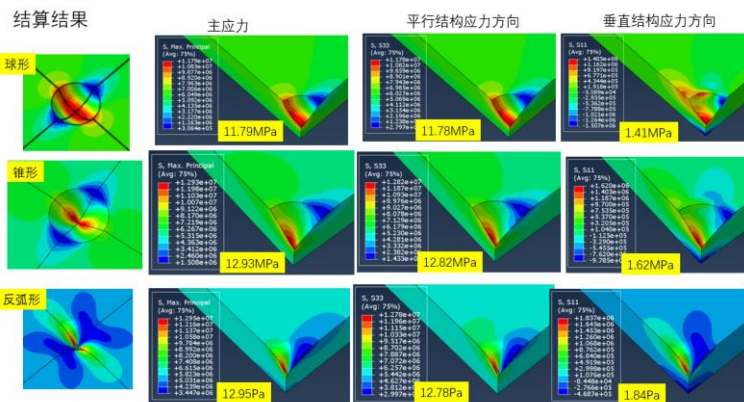
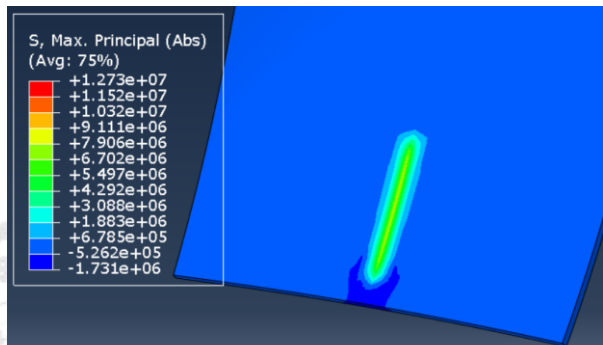
蠕变寿命评估表：



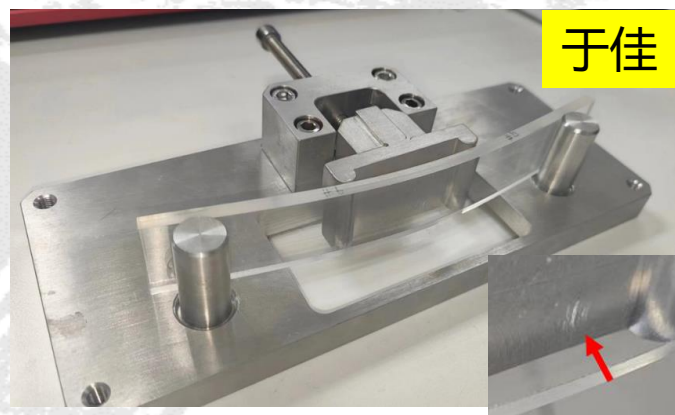
环境：LS 温度20℃	S0203s (R <sup>2</sup> =0.95) 板材, <b>无拼缝</b>		QL1-12TC120SbA80 (R <sup>2</sup> =0.92) 球体上样块, <b>垂直缝</b> σ <sub>r</sub> =9.10±0.60MPa		TCX120SHbA80(R <sup>2</sup> =0.79) 现场样块, <b>平行缝</b> σ <sub>r</sub> =9.12±0.79MPa	
应力 /MPa	均值 (y)	1倍σ区间 (y)	均值 (y)	1倍σ区间 (y)	均值 (y)	1倍σ区间 (y)
9	11.10	6.82~18.05	2.80	1.64~4.79	8.35	2.54-27.43
8	28.90	17.09~48.87	8.36	4.60~15.20	23.83	6.17-92.05
<b>5.5</b>	<b>607.55</b>	<b>314.94~1.17e3</b>	<b>270.24</b>	<b>119.42~611.60</b>	<b>671.06</b>	<b>103.00-4.37e3</b>
3.5	2.39e4	1.05e4~5.48e4	1.79e4	5.96e3~5.37e4	3.76e4	3.04e3-4.65e5

# 有机玻璃球其他方面

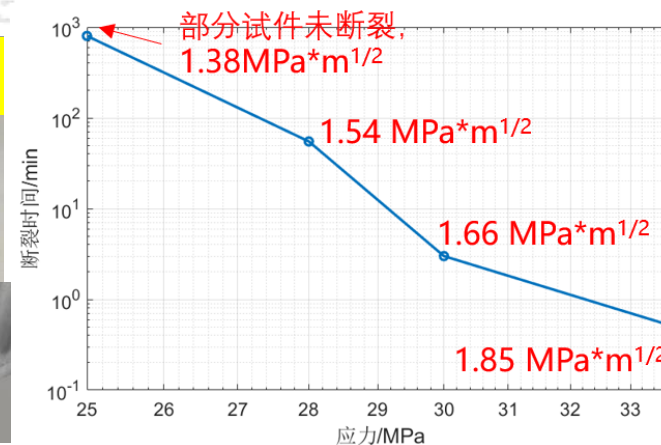
- 退火工艺分析，提出缩短退火长度——降低T缝聚合缺陷风险——平衡退火开裂风险
- 退火工艺过程对杆力的影响——评估球体在关键工艺中的风险
- 结构应力对挖碗影响分析，并提出改进措施等
- 断裂分析，带裂纹试件断裂实验和分析——评估球体存在缺陷情况下长期断裂风险
- 工艺试验：爆聚试验、收缩应力试验，避免球体出现爆聚，研究球体应力状态



结构应力对挖碗影响分析



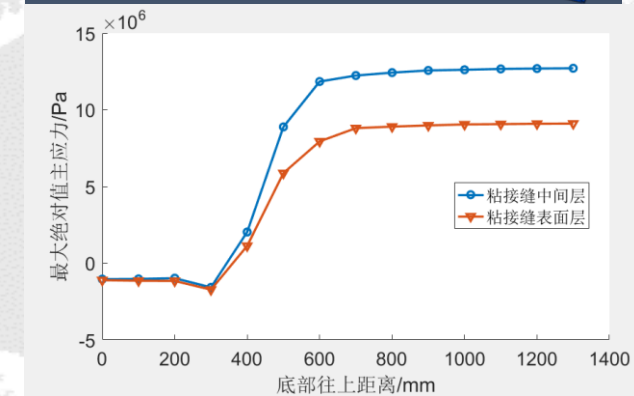
带裂纹试件断裂实验和分析



拟合外推低应力断裂行为



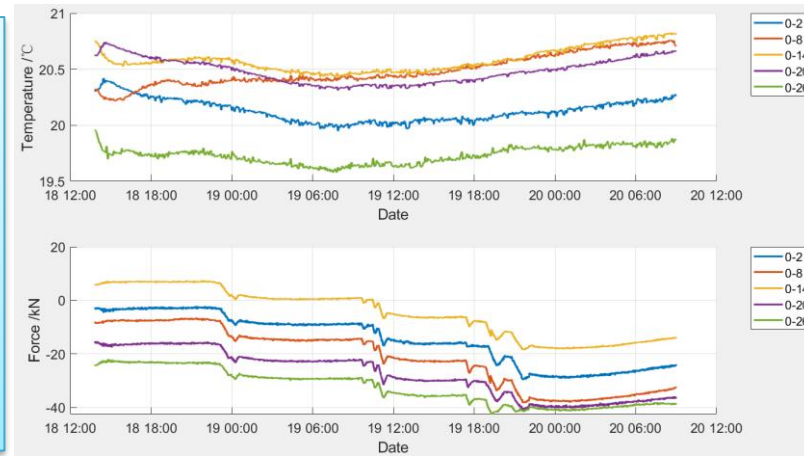
爆聚实验



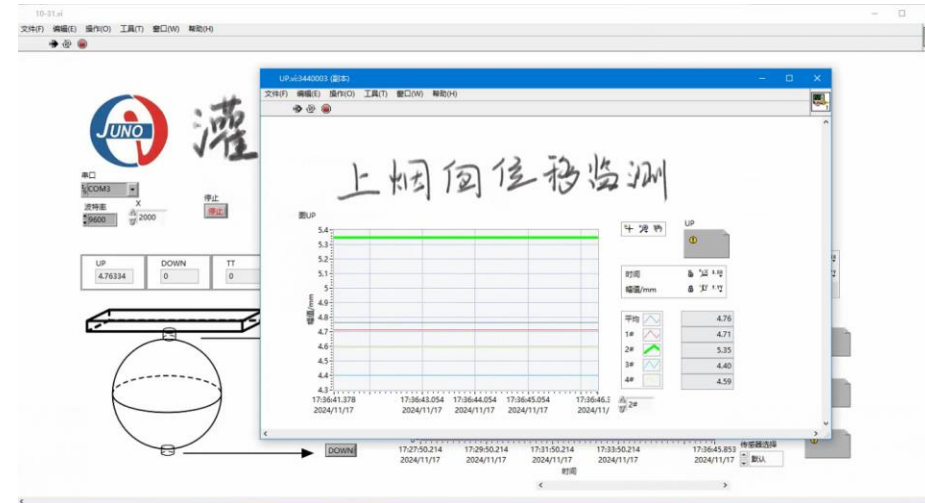
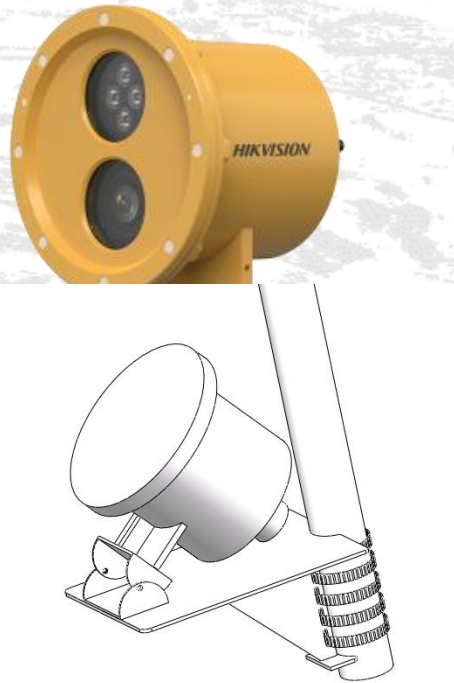
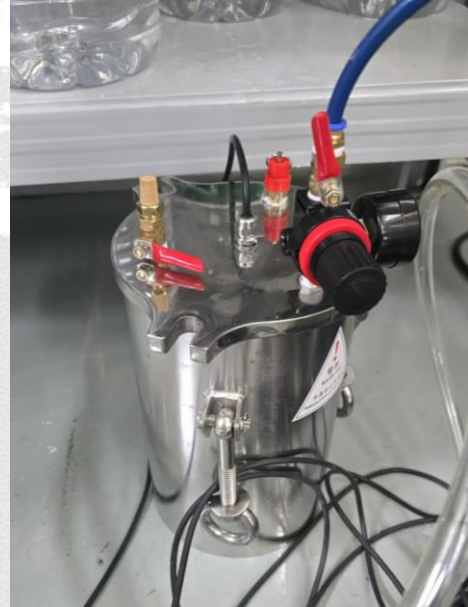
退火工艺退T缝口应力影响分析

# 有机玻璃球健康监测

- ❑ 目的：监测安装和运行过程球体状态
- ❑ 安装过程**支撑杆杆力分析**（传感器：东莞理工负责）：施工工艺对球体影响
- ❑ **水下位移传感器**（拉线传感器和静力水准仪）：上下法兰监测球体变形情况
- ❑ **深水摄像头**：下法兰，监测有机玻璃球内部是否漏水
- ❑ 对传感器进行水下加压测试；
- ❑ **完成传感器选型和支撑设计制造，完成软件监控系统界面初步设计**



有机玻璃球清洗过程撑杆杆力分析



编程软件监控系统界面初步设计

传感器烟囱部位安装设计

传感器安装深水测试

深水摄像头选型和安装设计

# JUNO-Veto系统

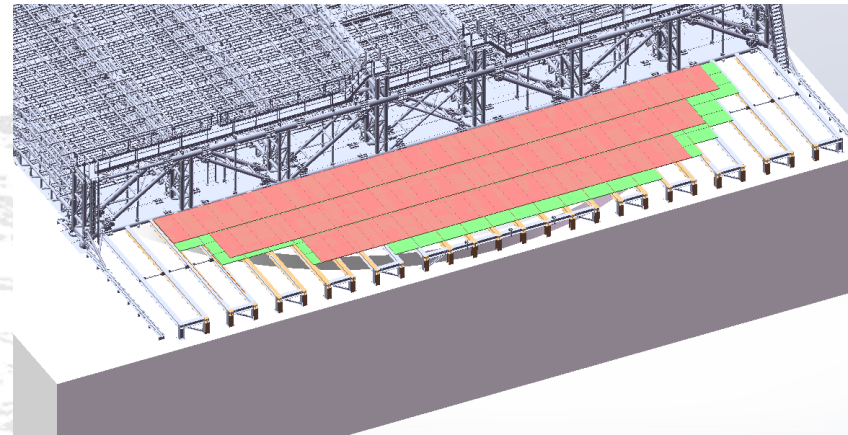
- ❑ Veto TT桥：组织第三方焊缝检测、出厂验收；协调现场安装事宜（关梦云）
- 接口协调（PMT、电子学、刻度、CD系统等等），TT探测器外方协调员
- ❑ Veto 布水器、回水管安装跟踪协调
- ❑ Veto RPC不同支撑结构设计和比选——确定方案

通过协调各方，推进现场安装

杭州华新检测技术股份有限公司  
HANGZHOU HUAXIN TESTING TECHNOLOGY CO., LTD.  
超声波检测报告  
Ultrasonic testing report  
报告编号 Report No.: HXT-UT-20244495

客户名称 Customer name	中国科学院高能物理研究所		
工程名称 Project name	江门中微子实验反符合探测器 TT 桥	构件名称 Member name	管桁架
监理单位 Supervision unit	北京通达国际工程管理有限公司	见证人 Witnesses	钱小辉
检测地点 Detection location	浙江东南网架股份有限公司南前路 560 号		
检测比例 Detection of proportion	仪器型号 Instrument model	SF710	接头/切口形式 Joint / cut form
构件材质 Material	仪器编号 Instrument No.	HXT-M-181	对接 V 型 对接 Y、T、K 型
检测标准 Testing standard	验收标准 Acceptance standard	GB50661-2011	焊接方法 Welding method
检测等级 Inspection level	校验块 Check block	CSK-IA、RB-2	检测灵敏度 Detection sensitivity
验收等级 Acceptance level	表面补偿 Surface compensation	4dB	耦合剂 Coupling agent
构件温度 Member temperature	检测范围 Detection range	焊缝、热影响区及接头 移动范围内每材区域	表面状态 Surface situation
时基线范围 Time baseline range	工艺规程 Testing procedure	HXT3-01	打磨光滑 适合检测
探头型号 Probe Type	检测时机 Detection timing	焊后 48h	
检测结论 Test conclusion	依据 GB/T 11345-2013《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》 JB/T203-2007《钢结构超声波探伤及质量分级法》对该构件焊缝、热影响区及 接头移动范围内每材区域(累计长度 927717mm)进行检测,检测结果符合图纸设计 工艺及 GB50661-2011《钢结构焊接规范》的要求。		

检测: 钱小辉 审核: 关梦云 批准: 关梦云  
Form No: HXT-4-064 Rev: P/0 第 2 页 共 22 页

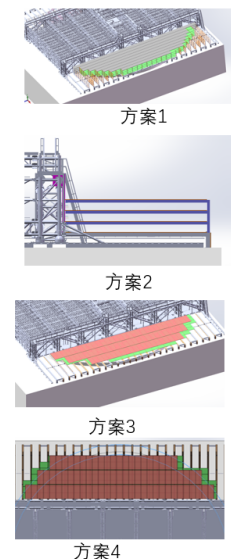


## 焊缝检测报告

各方案重量对比(单侧RPC)

方案	名称	数量	总重/kg	型号	总重量/kg
方案1:	支撑	234	3065		27674
	角钢	200	3911	L40*3	
	钢格栅	616	20698	1600*1200, 支撑处存在间隙	
方案2:	RPC	356	24920	2800*1250, 4层, 无重叠	24920*5/7
	H型钢	39796	3911	H200X200	66061
	角钢	200	3911	L40*3	
方案3: H梁平铺 +6层RPC	角钢	200	3911	L40*3	12693
	钢格栅	154	8782	为方案1的1.08倍	
	RPC	89*6	44856	4层RPC	
方案4:	RPC	316	22120	6层RPC	37380*5/7 =26.7t
	支撑	100	1310		23897
	角钢	200	3233	L40*5	
钢格栅	576	19354			
	RPC	316	22120		22120*5/7

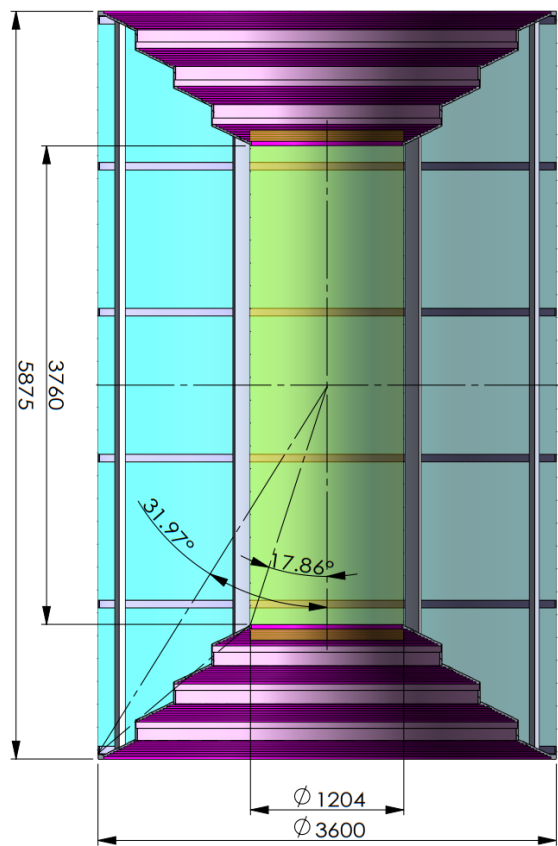
方案3支撑结构最为简单



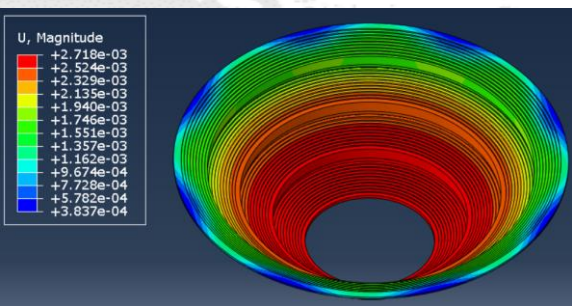
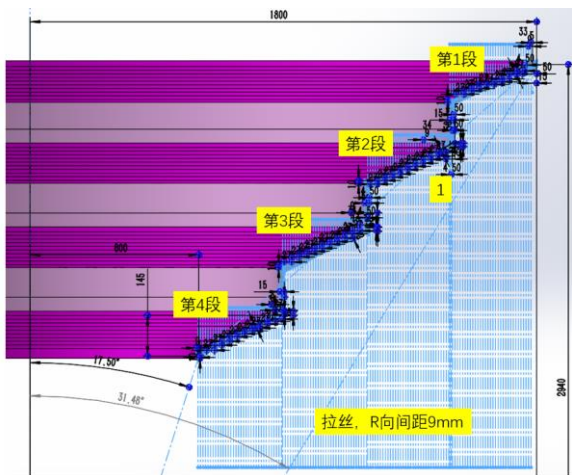
## RPC设计 方案比选

# CEPC—大型漂移室结构设计

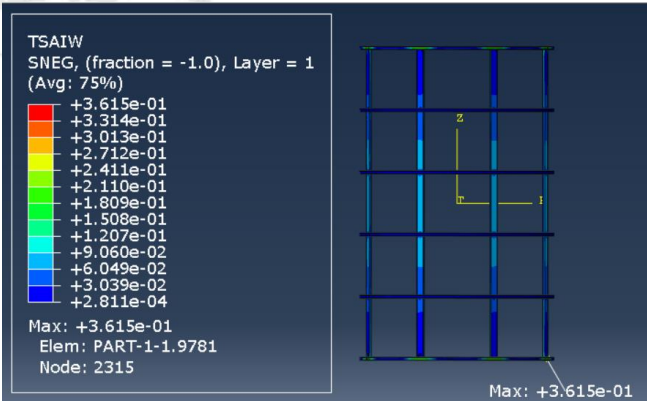
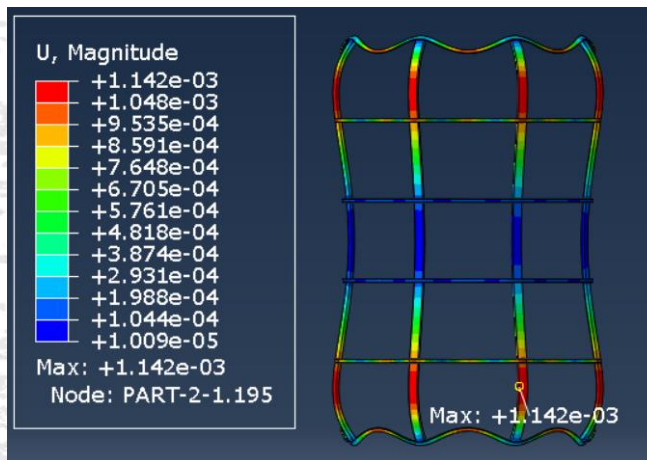
- **要求：**满足结构强度情况下减小物质量
- 结构的轻量化优化设计，直径3.6m，长度~6m
- 端面板结构优化和拉丝布局设计：分析不同分段方式对布线、结构受力影响，厚度20mm，物质量~22%
- 框架式复合材料支撑结构+蒙皮结构：截面80X40X3.2mm、60X30X3.2mm **大幅降低物质量**
- 漂移室性能验证模型：**完成设计和加工制造**



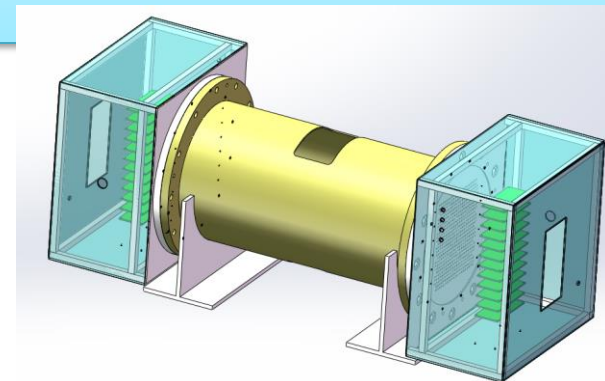
漂移室结构设计



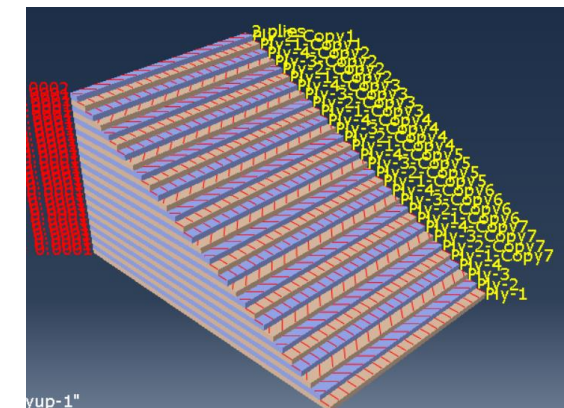
漂移室端面板设计和分析



框架式复合材料支撑



漂移室模型设计和加工



# 本人研究成果

## 论文2篇:

- ① The design and technology development of the JUNO Central Detector, EPJ PLUS 已接收; 合作组文章, **主要完成有机玻璃球部分**
- ② Radon Diffusion Chamber Design for Determining Diffusion Coefficients in Membrane Materials

## 专利: 1项

- ① 应变测量方法, CN218992042U, **第一发明人**, 2024年7月授权



## 参与课题情况

序号	项目名称	项目类别	项目总经费	项目申请人	本人角色	起止时间
1	江门中微子实验中心探测器系统	中科院先导专项A类	~2.3亿 有机玻璃子系统~1亿	衡月昆	参与 Level3负责人	2018~2023

# 学术交流

- ◆ 参加第21~22届JUNO国际合作项目会议，大会报告1篇，平行会议报告4篇。

## 研究生培养

- ◆ 协助组内学生培养：李鸿渐、柳鸿杨（均已毕业）
- ◆ 2023级硕士学生：刘卓

## 公共服务以及其他贡献

- ◆ JUNO合作组评审评委
- ◆ 研究生考核评委
- ◆ 硕士学位论文评阅与答辩评审
- ◆ 现场助理招聘和面试
- ◆ 协助组长处理一些组内事务

## 三 存在问题

1. 现场安装建造比较忙，没有充裕时间参加其他学术交流会议、论文写作、以及自己想做的事等等
2. 现场有机玻璃安装困难重重，需要强大的抗压能力

## 四 下年度工作计划

1. 有机玻璃球灌装；
2. Veto TT桥和TT探测器安装
3. 投入更多精力到CEPC探测器设计

**Thank you !**