

Mechanical & Integretion Weekly meeting

会议纪要

会议总结：

一、探测器结构仿真分析进展

针对探测器结构的力学性能评估，会议重点解决了模型简化、网格划分及计算效率问题：

1. 模型简化与等效处理

- **全尺寸模型构建**：建立了包含 48 层玻璃和不锈钢支撑层的 1/16 对称模型，总重约 100 吨，其中玻璃密度设定为 6g/cm^3 。
- **材料等效替代**：为加速计算，计划将复杂的玻璃+PCB+空气夹层结构简化为单一不锈钢实体，通过调整厚度或刚度参数，使其变形特性与实际模型保持一致。
- **接触关系处理**：原设计中层间存在 0.2mm 缝隙填充导热硅胶，在仿真中需将其等效为绑定约束或赋予特定刚度的虚拟材料，以保证力的传递路径准确。

2. 网格划分与计算策略

- **网格质量瓶颈**：模型包含 4 万多个体单元，导致网格划分卡顿且耗时，目前仅能采用较粗的网格进行计算。
- **计算流程优化**：优先计算模态频率以快速验证模型合理性，若时间允许再补充静力学强度分析；若计算资源不足，将考虑将部分结构（如玻璃）简化为质量点附加在骨架上。
- **局部精细化分析**：对于整体变形，采用简化模型；对于局部应力集中区域（如螺栓连接处），则单独建立子模型进行详细分析。

二、浮漂送线与结构安装调试

1. 浮漂送线方案改进

- **送线机构优化**：实验发现弹簧管在曲率半径较小处摩擦较大，难以推进。后续计划改用更细的钢丝配合抖动方式辅助送线。
- **浮力材料选型**：采用 PVC 发泡板替代气囊作为浮力源，需进一步测试其放射性本底是否符合探测器要求。
- **位置标定方法**：利用鱼线控制浮漂深度，通过刻度测量实现毫米级精度定位，后续需进行一次完整的刻度校准。

2. Eagle 结构安装与热管理

- **空间优化改造**：为解决顶部 PMT 引线空间不足的问题，已将斜撑结构改为 L 型薄片，节省了 40mm 高度，保证了组件的顺利安装。
- **排风散热定制**：针对设备运行产生的高温（80°C 启动降温），需定制矩形转圆形的非标排风管道，解决现有窗口被水管遮挡的问题。
- **管路布局规划**：从空压机到设备的供气线路，计划沿墙壁铺设铝制硬管以确保稳定，仅在设备接口处使用软管连接。

三、二氧化碳两相流冷却系统方案

会议详细介绍了国际前沿的二氧化碳（CO₂）两相蓄能器冷却技术在探测器上的应用前景：

1. 核心技术与优势

- **工作原理**：利用两相蓄能器被动控压原理，通过调节饱和压力来控制蒸发温度，实现无泵、无阀的高可靠性冷却，传输距离可达百米以上。
- **性能优势**：CO₂具有潜热大、粘度低、抗辐射性强等优点，能在微小流量下带走大量

热量，且对环境友好 (ODP=0, GWP≈1)。

- **温度稳定性**：该系统可实现 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的高精度温度控制，满足硅探测器低温降噪需求（目标温度 -50°C 至 -15°C ）。

2. 系统架构与冗余设计

- **N+1 冗余配置**：参考 ATLAS 和 CMS 经验，采用“6+1”或“8+1”的模块化冗余架构，确保单点故障不影响系统运行。
- **长距离传输**：采用同轴真空绝热管线，内管输送液体 CO_2 ，外管回气，利用地层自然散热，减少主动制冷能耗。
- **供电保障**：系统配备 UPS 不间断电源和柴油发电机，具备 360 个报警互锁点，确保极端情况下系统安全。

四、其他专项工作汇报

1. 传感器数据补全与 AI 预测

- **图神经网络应用**：利用图拓扑结构表示支撑杆间的力学传递关系，结合深度学习算法，基于少量完好传感器数据预测缺失节点的状态，以修复损坏传感器的数据。

2. 石墨烯导热材料测试

- **测试外包决策**：鉴于石墨烯导热系数受工艺影响大，决定委托专业科研院所进行第三方测试，以获得准确的选型依据。

会议转写文件：

转写：转写_CEPC 探测器 TDR 机械设计周例会

日期：2026-05-26 09:03:07

转写文件：<https://meeting.tencent.com/ctm/2yOYZ6nR1f>

密码：JHCX