

Mechanical & Integretion Weekly meeting

会议纪要

会议总结：

一、探测器结构仿真与模态分析

针对探测器结构的力学性能，会议从等效模型构建、模态分析及强度校核三个维度进行了详细汇报：

1. 等效模型构建与刚度计算

- 等效刚度方法确认：采用直接积分法进行等效计算，针对端盖（轴向拉压）和桶部（平面内弯曲）分别采用不同的等效公式，通过截面梯形等效法计算抗弯刚度。
- 模型约束条件设定：模型两端采用固定约束，并增加了支撑环以模拟真实连接状态，同时添加了三个支点以模拟低温恒温器的支撑作用。

2. 模态与谐响应分析结果

- 一阶频率达标：计算得到结构的一阶频率约为 40Hz，与加速器端低温恒温器的频率一致，且远高于大地振动频率（3Hz），满足设计要求。
- 振动幅度评估：在 35Hz-45Hz 频率范围内进行扫描，最大振动幅度约为 4.8nm，处于可接受范围。

3. 强度校核与计算瓶颈

- 应力水平评估：等效计算显示最大应力为 21.6MPa，预计实际值可能翻倍，但仍远低于材料强度极限，变形量满足要求。
- 计算资源瓶颈：尝试多层实体模型计算时，因接触过多导致内存不足（256G 内存耗尽），后续计划尝试卸载软件包或采用壳单元加厚的方式进行计算。

二、散热系统与实验装置进展

会议同步了散热系统管路设计、实验支架采购及定位系统测试的最新进展：

1. 散热管路设计与加工

- 管路布局优化：完成了排风管路的定制方案，采用方转圆加 45 度斜接的方式，总高约 600mm，预计成本约 1700 元。
- 加工精度挑战：针对 0.15mm-0.2mm 壁厚的散热管，讨论了加工难度。由于壁厚极薄且间隙小（0.2mm），对加工精度（如 IT6 级）要求极高，需调研宝鸡钛业等专业厂家。
- 材料选型建议：鉴于不锈钢与钛合金的散热效果相近，建议优先选择易于加工的材料进行模型测试。

2. 实验装置与定位系统

- 支架与阀门采购：实验系统支架已完成尺寸调整并定稿，预计本周完成采购；阀门及传感器线路已备货，仅差压力传感器。
- 定位系统测试：UWB 定位系统测试结果显示精度在 1cm-2cm 之间，但受人员遮挡影响较大，建议增加基站数量或结合 IMU 进行数据融合以提高稳定性。

三、制冷系统技术路线与 LHC 参考

会议深入探讨了二氧化碳制冷系统的技术方案，并分析了 LHC 的工程实践案例：

1. 制冷系统技术路线

- 产学研结合策略：鉴于二氧化碳制冷系统复杂度高，决定采用“产学研”结合的模式，先基于 AI 或基础计算完成初步设计，再联合高校（如天大、上海交大）进行深度

优化。

- 系统参数范围：初步设定制冷温度范围为 -15°C 至 -40°C (或 -50°C)，需进一步确定蒸发温度、COP 值及关键部件选型。

2. LHC 制冷系统案例分析

- 系统架构借鉴：分析了 LHC 的制冷系统，采用 N+1 冗余模式，主回路 & 二次回路分离，通过长管路 (86m 落差) 输送，并设有气液分离器和过热器以保证压缩机安全。
- 控制逻辑：采用 PLC 控制系统，支持单机启动、双机切换及负载调节，确保系统在 7x24 小时运行下的可靠性。

四、密封检漏与质量控制

针对低温环境下的密封可靠性，会议制定了详细的检漏方案与质量控制措施：

1. 检漏方案制定

- 氦检漏标准：决定采用氦质谱检漏法，计划将管路加压至 30kg 后进行保压测试，并放入低温环境 (如冰箱或液氮罐) 中观察压力变化。
- 过程监控：强调需记录整个升降温循环过程中的漏率数据，以建立可靠的检测标准，确保在温度交变工况下的密封可靠性。

2. 密封与防护措施

- 密封胶应用：针对输液管漏液问题，决定采用密封分离技术，使用可在低温下固化的密封胶进行外部加强处理。
- 管路固定保护：针对细长管路 (如 1.6mm 外径) 易断裂的问题，要求设计专用固定背板或环形支架，避免搬运和安装过程中的损坏。

会议转写文件：

转写：转写_CEPC 探测器 TDR 机械设计周例会

日期：2026-06-01 09:11:00

转写文件：<https://meeting.tencent.com/ctm/2qOXEnaO77>

密码：MYGF