

Mechanical & Integretion Weekly meeting

会议纪要

会议总结：

一、机器学习在结构优化中的应用

针对传统有限元分析效率低、历史数据利用率不足的问题，会议提出采用机器学习建立代理模型以加速仿真优化：

1. 代理模型构建逻辑

优化流程重构：利用 1500 组有限元分析数据训练机器学习模型，建立输入参数（厚度、宽度）与输出结果（最大变形、最大应力）的映射关系，替代繁琐的重复仿真流程。

模型选型与基准设定：选定岭回归作为基准模型（下限），对比支持向量回归（SVR）、XGBoost 及多层感知机（MLP）等非线性模型，要求非线性模型必须优于基准模型才算合格。

评估指标与结论：基于决定系数 (R^2)、平均误差及均方根误差评估，SVR 模型在变形预测中表现最佳，综合精度和稳定性最高；XGBoost 和 MLP 可作为备选方案。

2. 优化算法与验证

算法应用：采用 Scipy 优化算法，结合训练好的代理模型，在满足变形 ($\leq 2\text{mm}$) 和应力 ($\leq 80\text{MPa}$) 约束下，寻找结构质量最小的最优解。

验证机制：利用独立的测试集（300 条数据）验证模型泛化能力，确认模型未出现过拟合，预测速度可达秒级，大幅提升优化效率。

二、支撑结构优化方案

针对原方案支撑投影面积过大、质量过重的问题，会议提出了新的优化设计方案：

1. 结构减重与布局调整

隔板与底板减薄：将隔板厚度从 50mm 减至 8mm，底板和侧板分别减至 42mm 和 40mm，使支撑占比与原方案持平，总质量显著降低。

布局优化：将轴向份数从 15 份调整为 12 份，减少隔板数量；将模块间的交错距离从 150mm 缩短至 50mm，以降低安装难度。

安装工艺改进：采用轨道滑块推进方案替代螺栓连接，并设计临时工装框架用于运输过程中的固定，防止模块滑动。

2. 尺寸与接口适配

尺寸修正：根据实测数据，将设计孔径修正为 850mm，并调整重心位置使其居中，确保滑轨安装顺畅。

电缆布线策略：采用“先布电缆后插接”的方式，先铺设电缆槽并预留接头，模块就位后直接插接，避免带电缆安装。

三、ITK 探测器支撑方案与材料验证

针对 ITK 探测器悬挂于 TPC 内筒的变形控制难题，会议进行了详细的结构仿真与材料评估：

1. 支撑结构仿真分析

载荷与变形评估：ITK 单边载荷约 85kg，在 TPC 内筒增加支撑环后，变形量约为 0.26mm，距离小于 0.1mm 的目标仍有差距。

刚度增强方案：建议在蜂窝板内部增加纵向加强筋，或将碳纤维蒙皮厚度从 0.2mm 增加至 0.3mm，以提升纵向刚度。

材料参数校准：指出当前仿真使用的蜂窝板等效刚度参数（如弹性模量 1MPa）过于保守，需进一步查阅文献或实验验证真实物性参数。

2. 气凝胶应用与导热系数测量

气凝胶特性：气凝胶密度虽低，但因厚度较大，单个探测器模块重量预估约 30kg；需解决其脆性导致的切割与粘接难题。

导热系数测量需求：为优化涂层与添加剂配方，需采购或借用导热系数测量设备，建议先查询所内共享平台或第三方测试机构资源。

四、二氧化碳制冷系统技术研讨

会议深入分析了二氧化碳制冷系统在探测器应用中的技术细节与潜在风险：

1. 系统循环与压力控制

循环模式界定：明确了跨临界循环与亚临界循环的区别，指出探测器端通常采用亚临界循环以保持压力平稳。

压力波动风险：长距离输送（400m 落差）可能导致重力压差过大，需关注管路压力分布；同时需防止泵入口闪蒸导致气蚀。

2. 关键组件与安全措施

换热器选型：建议采用板式换热器替代管壳式，因其承压能力更强（可达 100kg），安全性更高。

安全防护机制：必须设置安全阀或爆破片，防止设备损坏；停机后需考虑蓄能器保压，防止温度回升导致压力失控。

五、基础设施与辅助系统进展

1. 电源与气路改造

电源引入方案：确认采用第三方施工方案，费用约 5000 元，包含电缆铺设及人工费，计划一天内完成改造。

气路接口适配：针对不同流量计（小流量与定量）的接口不一致问题，正在寻找非标转接头或定制方案。

2. 实验装置搭建

实验回路搭建：正在组装实验回路，计划先用水进行测试，再切换为油；需在细管处增加三通或阀门作为泄放口。

数据采集方案：确定采用分布式采集模块（RS485 转 USB）采集温度和压力数据，暂不开发复杂的控制界面。

会议转写文件：

转写：转写_CEPC 探测器 TDR 机械设计周例会

日期：2026-04-13 09:01:23

转写文件：<https://meeting.tencent.com/ctm/2rwaJE7Jde>

密码：PJI8