

TAPRO 智能化烧蚀温度计算分析软件

一、企业简介

北京临近空间飞行器系统工程研究所隶属于中国运载火箭技术研究院，是我国临近空间飞行器总体设计中心。作为一个综合性、多学科性、前沿基础科学研究与航天工程紧密耦合、技术力量雄厚、数字化设计手段先进的总体研究，拥有临近空间飞行器总体设计、控制、防隔热、环境、仿真等多个研究设计专业。

本单位以飞行器系统工程理论与技术、飞行器导航与控制技术、先进复合结构力学和热过程控制技术、防热透波技术等为主要研究方向。拥有国内一流的防隔热与透波设计团队，该团队针对飞行环境特点和典型材料体系，获取了大量一手数据，通过技术积累和技术创新而形成了专业设计分析软件，在防隔热与透波设计方向具有丰富的研制经验和攻关能力。

二、工业 APP 简介

(一)、问题定位

高速飞行器是科技大国竞相研究的热点，其在大气层内高速飞行时会经历严峻的气动加热，面临高于 1000℃ 的热防护设计以及温度、电磁多物理场耦合透波设计难题。传统方法存在计算环节多、操作复杂易错、数据处理量大等问题，为提升飞行器热防护计算分析水平、

解决热电性能耦合、提升设计效率、减小产品开发成本和缩短研制周期,亟需结合工业互联网思路,开发智能化、自动化程度高的工业 APP,以提升产品设计准确性和设计效率。

本产品将专业开发的算法与工业互联网平台(索为 SYSWARE 工程中间件平台)相结合,将涉及到的设计流程、核心计算程序、数据处理规则、数据传递接口、交互界面进行了标准化封装与定制,形能集前后处理、设计计算、数据管理功能于一体的多功能软件,是面对航空航天烧蚀防隔热与透波设计的通用软件。本 APP 将基于大量试验结果修正的计算方法和工程实践验证的设计模式进行固化,自动进行数据统计并生成标准格式报告,设计规范性显著提升。

(二)、创新点

1、相比传统烧蚀温度计算分析工具,本软件实现了人机交互界面参数设置和智能参数提取,友好性显著提升。

2、为适应多方案、多状态的设计分析需求,本软件能够开展多工况多方案批量计算,自动进行数据处理并生成分析报告,显著提高烧蚀温度计算效率;

3、软件支持多方案快速对比分析功能,智能推荐优化设计方案,相比传统设计方式缩短了设计周期。

(三)、功能介绍

本 APP 有如下功能:

1、烧蚀温度场分析:烧蚀温度场分析用于计算给定环境、给定外形条件下,不同结构材料配置方式对应的产品烧蚀情况和温

度场分布。

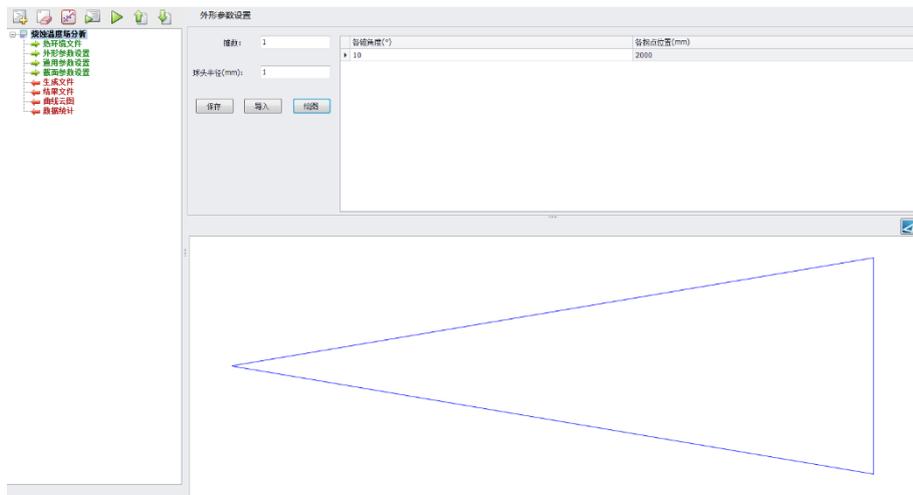


图 3 烧蚀温度场分析模块

2、烧蚀温度场优化：烧蚀温度场优化用于评估给定温度场约束条件下的最优结构材料配置方案。

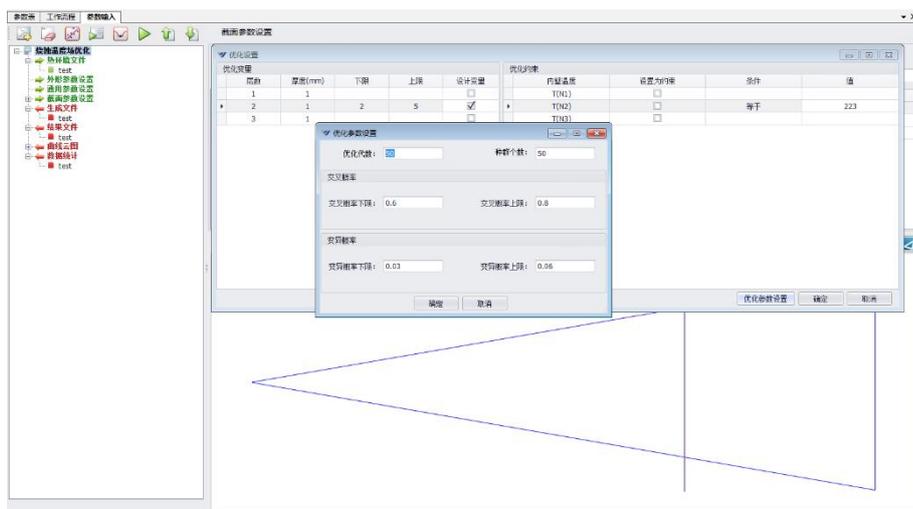


图 4 烧蚀温度场优化模块

3、电磁透波分析：电磁透波分析用于计算指定结构材料配置在工作波段和视场范围的透波性能；

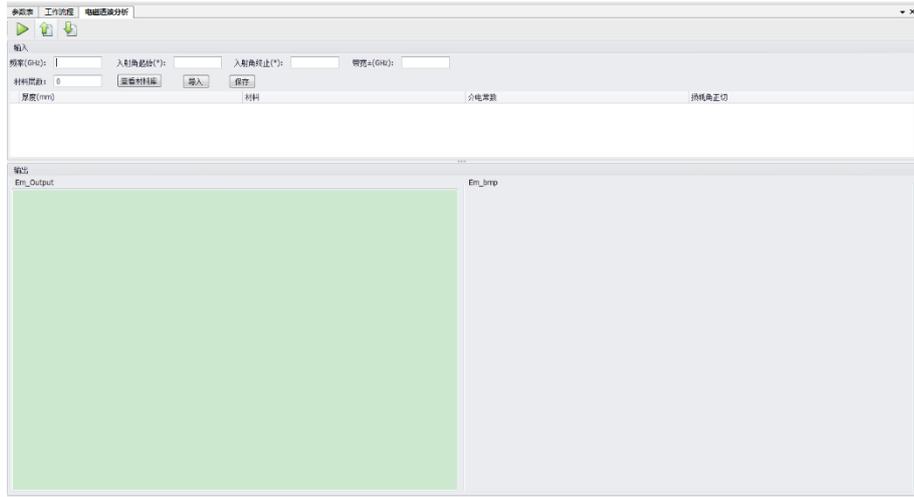


图 5 电磁透波分析模块

4、电磁透波优化：电磁透波优化用于评估实现最优透波性能的结构材料配置方案。

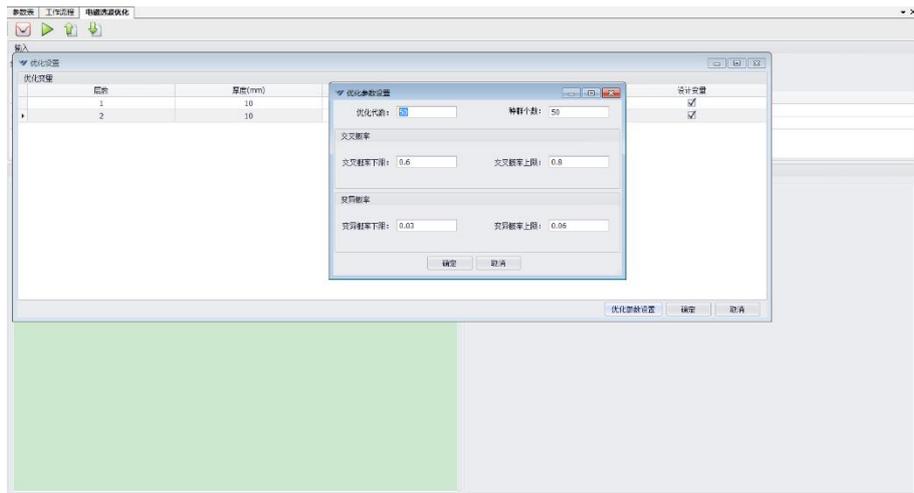


图 6 电磁透波优化模块

5、热电耦合优化：热电耦合优化用于评估在指定温度场约束条件下，为实现最优透波效果所需的结构材料配置方案。

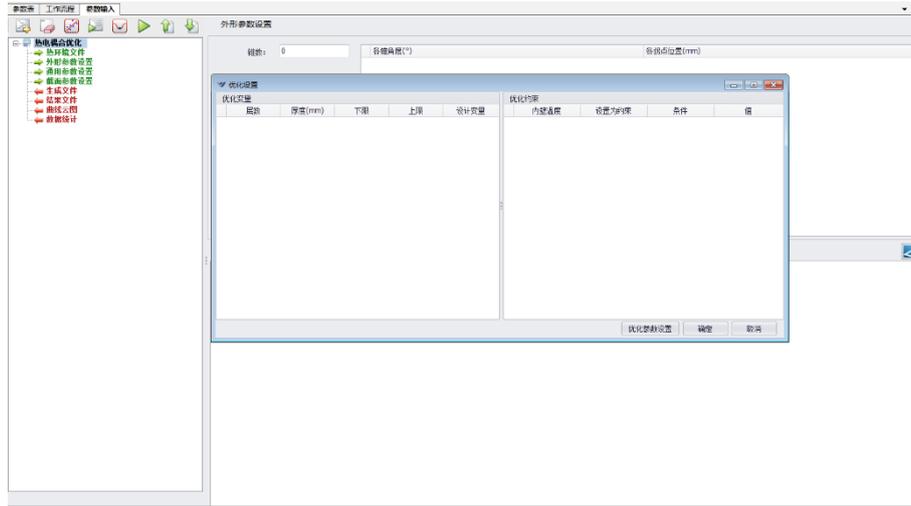


图 7 热电偶优化模块

通用功能:

1、人机交互界面

人机交互界面符合 windows 操作习惯，界面友好，风格大方。与前后处理功能相匹配，具备数据导入输入窗口、图形显示窗口，支持快捷键功能。

2、前后处理

软件前处理模块实现对程序输入文件和输入参数的导入、数据提取和数据传递等功能，主要包括材料物性参数、计算尺寸、环境文件等。要求软件建立材料数据库，实现对物性参数的一键提取，同时具备多文件批处理能力。

软件后处理模块实现对程序输出结果的统计对比分析、曲线绘图和 word 报告生成功能。

4、优化算法嵌入

软件嵌入多维(≥ 5 维)优化算法,可设置的优化目标和约束条件,进行设计变量的优化设计。

5、多方案对比

软件支持多方案对比分析功能，对不同输入条件下的计算结果进行分类对比。

6、数据管理

软件可以实现对算例相关文件的保存和读取功能，历史文件可追溯。

7、授权管理

软件具备版权保护功能。

(四)、功能和技术指标优势

1、自动统计数据并生成报告：软件自动读取计算结果，按照指定方式对数据进行统计分析和绘图，并将结果直接写入计算分析报告。

2、智能优化设计：软件内置多维遗传算法，能够根据给定的变量、约束和目标需求，自动开展迭代计算，并推荐最优设计方案。

三、技术方案说明

(一)、工业 APP 架构

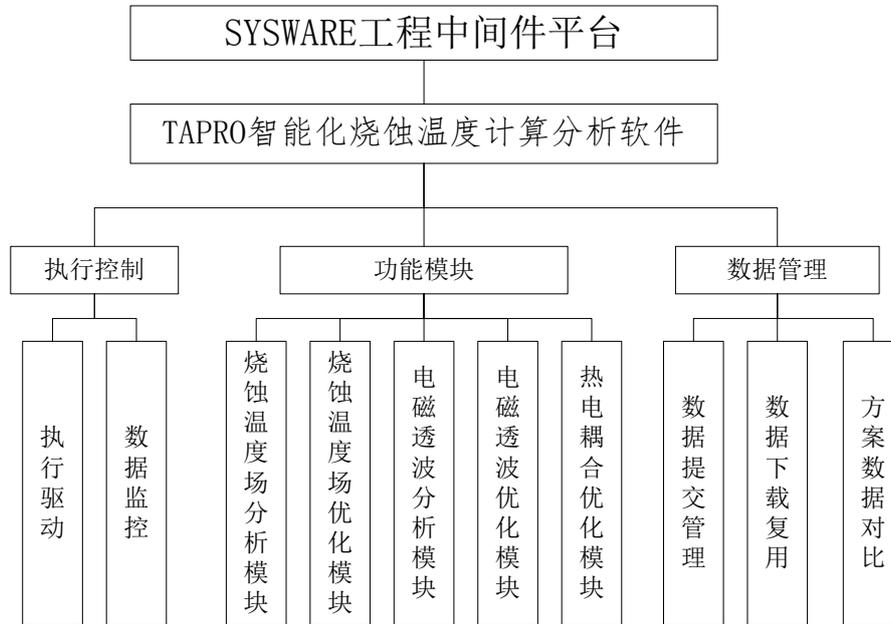


图 8 功能结构图

TAPRO 智能化烧蚀温度计算分析软件基于基于“SYSWARE 工程中间件平台”开发,主要包括执行控制、功能模块和数据管理三大部分。其中功能模块用包含五种计算分析功能,如下图所示。用于实现前处理和后处理功能。



图 9 功能模块

执行控制用于激活调用后台执行驱动和监控软件运行状态; 数据管理用于实现软件计算产生数据的统一提交管理, 数据复用和多方案数据对比。

(二)、工业 APP 关键技术

本工业 APP 采用了如下技术：

- 1、基于试验数据和工程经验修正的烧蚀温度场和电磁透波计算方法；
- 2、基于 Sysware 工程中间件平台 APP 开发规范，开发各模块专用组件和控件；
- 3、采用软件组件化集成技术实现与软件和程序的数据对接；
- 4、针对算法模型、流程、界面、数据，采用模块化开发方式，模块功能易于维护与扩展；
- 5、采用轻量化数据库进行方案数据管理，实现方案数据管理，实现方案数据对比与复用。

四、应用情况描述

(一)、应用场景描述

本软件简化了烧蚀温度和电磁透波计算的输入输出环节，规范了计算分析流程，大幅提升了计算质量和效率，具有响应速度快，并行能力强的特点，能够更好地满足多任务多工况的应用需求。软件秉承“紧密结合使用需求、接受建议持续改进”开发理念，在项目设计中进行了推广应用，获得了设计人员的广泛支持和改进意见。同时软件预留了功能扩展接口，为软件功能的进一步丰富和优化提供了保障。在航空航天设计研究领域具有广阔的应用前景。

(二)、商业化情况

TAPRO 是源于航天、立足质量、服务军民的通用 APP，其热/电分析优化功能可为航空航天飞行器热防护和电磁窗口设计，以及民用建筑保温、气象雷达罩等设计优化提供支撑。目前已在航天器设计单位和电信设计单位应用。TAPRO 通过简化输入和自动处理结果，将典型高速飞行器热电分析效率提升 4~5 倍。通过算法和设计模式固化，降低人为失误，提高设计准确性。同时，APP 内置智能优化算法，将重复性工作交给计算机，自动推荐最优方案，促进传统热电设计模式转变。

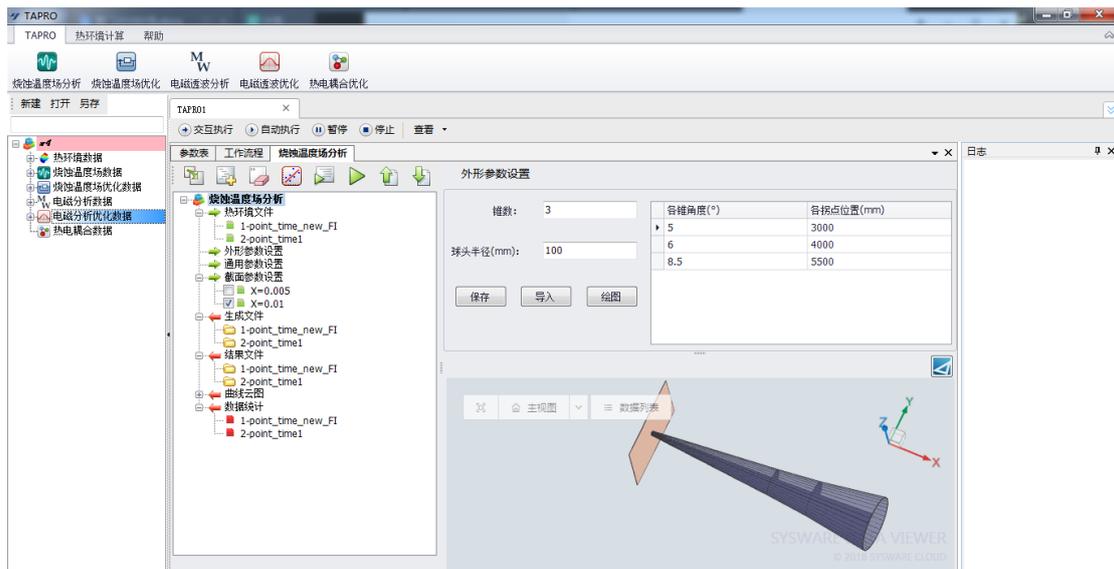


图 10 TAPRO 智能化烧蚀温度计算分析 APP 界面效果图