

# 基于 Web 端的国产三维工厂布置设计平台关键技术研究

陈 功

四川电力设计咨询有限责任公司 四川 成都 610041

**【摘要】**：在数字中国建设与工业软件自主可控政策推动下，能源、化工、核电等流程制造领域，对工厂三维布置设计工具的轻量化、跨域协同、安全替代需求持续提升。当前行业三维设计环节长期依赖海外商业软件，存在诸多现实难题。依托 Web 轻量化架构与自研图形引擎开展技术攻关，可有效破解行业痛点。基于此，本文将针对主数据体系构建、高性能图形渲染、多端协同交互、异构数据互通等核心技术开展研究，搭建自主可控的 Web 三维设计支撑体系，以期为重大工程设计国产化替代提供实践路径与技术参考。

**【关键词】**：Web 端；国产三维工厂；布置设计平台；关键技术

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.020

## 引言

我国高度重视数字经济建设，从 2015 年提出“数字中国”建设以来，一直强调要专注数字产业化，把握数字产业化赋予的机遇。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中，首次以专章专节对数字化转型做出全面部署，提出以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式的变革，擘画出我国数字化发展蓝图。可见，针对基于 Web 端的国产三维工厂布置设计平台关键技术进行深入研究极为重要。

## 1 基于 Web 端的国产三维工厂布置设计平台关键技术

### 1.1 工程主数据标准构建技术

主数据体系是三维工厂设计平台稳定运行的基础，直接影响设计成果的规范性与数据互通能力。平台结合国内工程建设实际需求，搭建包含管道等级、设计规则、施工标准、元件物理参数在内的主数据标准库，实现设计数据统一管理调用。体系构建严格遵循 ISO15926 数据规范，可适配“华龙一号”核电项目、火电站、石化厂区等不同场景的专用要求，支持用户根据项目特点自定义配置与动态更新。通过统一主数据标准，消除各专业、各系统间的数据壁垒，保障模型创建、校验、输出全流程数据准确一致，为平台国产化替代筑牢底层数据支撑。

### 1.2 Web 端三维可视化渲染技术

传统三维设计软件依赖本地客户端安装，硬件要求高、部署流程复杂，难以满足轻量化使用需求。平台采用 Vulkan 多线程图形底层架构，替代传统 OpenGL 渲染方式，充分提升 CPU 与 GPU 资源利用率，保障复杂模型加载速度与操作流畅度。依托自研 Web 三维显示引擎，实现设备、管道、结构模型的实时展示、精准选取与多角度查看，用户仅通过浏览器即可完成核心设计操作，无需安装重型客户端。该技术有效解决 Web 环境下大模型渲染卡顿、响应延迟等问题，在保证设计精

度的同时，大幅提升使用便捷性与场景适配能力。

### 1.3 多专业协同设计与数据交互技术

大型工厂项目涉及管道、结构、设备等多专业协同作业，数据互通与并行设计效率直接影响项目进度。平台采用 B/S 微服务架构，支持局域网部署与云服务器部署两种协同模式，实现多人同时操作同一模型、实时查看修改内容。系统配备精细化项目管理、用户权限与版本控制功能，有效避免设计冲突，保障数据安全与可追溯性。同时具备 PDMS、E3D、Revit 等主流软件数据解析与转换能力，支持设计数据双向导入导出，降低存量项目迁移与对接成本。协同技术打破空间与软件限制，显著提升跨专业、跨地域设计效率，缩短整体设计周期。

### 1.4 三维模型质量验证与虚拟校验技术

设计阶段的模型缺陷会直接导致施工阶段返工，增加项目成本与安全隐患。平台内置模型质量检测规则与虚拟验证模块，可自动识别管道碰撞、尺寸误差、规范不符等问题，并生成详细检查报告，形成“设计一校验一整改”闭环管理。系统支持参数化校验与自定义规则设置，能够满足核电、石化等高危安全等级行业的严苛要求。通过提前在数字环境中完成虚拟验证，减少现场施工变更与风险点，提升设计方案可靠性，为工程安全高效建设提供技术保障。

### 1.5 行业标准化数据输出与应用落地技术

平台围绕核电、电力、石化等领域工程交付要求，开发专用数据输出与出图功能，支持轴测图、平面图、材料清单等成果标准化输出，兼容行业审查与归档格式要求。采用跨平台 GUI 交互框架，实现 PC 端、网页端、移动终端多场景适配，提升代码复用率，降低后续功能迭代难度。目前相关技术已在核电工程、电站设计、化工园区规划等实际项目中验证，可替代国外软件完成核心建模与交付工作，显著降低企业软件采购与后期运维投入，推动工业设计软件国产化落地见效。

## 2 基于 Web 端的国产三维工厂布置设计平台关键技术优化意义

### 2.1 强化技术自主可控

技术优化以国产图形引擎为底层支撑，全面摆脱对国外三维设计内核与架构的依赖，搭建拥有完全自主知识产权的技术体系。通过完善主数据标准、异构数据转换、模型渲染与质量校验等核心能力，可逐步替代海外软件在能源、核电等关键领域的应用，从源头消除技术垄断与数据安全隐患。优化后的平台具备代码自主、迭代可控、适配性强等优势，能够紧密贴合国内工程建设规范与特殊场景需求，为重大工程项目提供稳定可靠的数字化设计保障，切实维护产业链供应链安全。

### 2.2 提升工程设计效能

技术优化围绕轻量化运行、多专业协同、智能校核等方向发力，显著提升设计作业效率。依托 Vulkan 多线程渲染与 Web 轻量化架构，用户仅通过浏览器即可完成复杂模型操作，大幅降低硬件配置与部署成本；多端协同能力支持跨专业、跨地域人员同步作业，减少沟通成本与重复修改；模型智能校核功能可自动识别碰撞冲突、尺寸偏差等问题，提前规避施工风险。优化成果有效缩短设计周期、减少现场变更，同时降低软件采购、插件开发、数据兼容等附加投入，为工程建设创造可观经济效益。

### 2.3 赋能行业数字化转型

平台技术优化深度贴合核电、电力、石化等高端工程建设需求，可适配“华龙一号”等重点项目设计场景，形成从建模、协同、校核到输出的全流程解决方案。标准化数据输出与跨平台适配能力，推动设计工作向可视化、协同化、智能化方向升级，助力企业提升数字化设计水平与市场竞争力。相关技术成果可快速拓展至军工、建筑等领域，形成可复制、可推广的国产化应用模式，为流程工业数字化转型提供成熟可行的技术路径。

## 3 基于 Web 端的国产三维工厂布置设计平台关键技术优化策略

### 3.1 国产图形引擎底层架构升级优化

国产图形引擎是 Web 端三维工厂布置设计平台的核心底座，优化需从渲染管线、计算调度、跨端适配三个维度系统性推进，筑牢自主可控技术根基。实施中需以 Vulkan 图形引擎替代传统渲染模式，构建多线程并行绘制体系，充分调度 CPU 与 GPU 算力资源，解决复杂模型加载卡顿、交互响应迟缓等问题，同时摒弃对国外图形接口的依赖，保障底层技术安全可控。

表 1 国产图形引擎底层优化核心性能指标对比

指标名称	优化前	优化后	提升幅度
复杂工厂模型加载时长	12.8s	3.2s	75.0%
模型交互操作响应延迟	450ms	120ms	73.3%
万级构件场景渲染帧率	22fps	68fps	209.1%
大场景显存占用峰值	8.2GB	3.5GB	57.3%
跨端适配兼容通过率	62%	98%	58.1%

指标名称	优化前	优化后	提升幅度
复杂工厂模型加载时长	12.8s	3.2s	75.0%
模型交互操作响应延迟	450ms	120ms	73.3%
万级构件场景渲染帧率	22fps	68fps	209.1%
大场景显存占用峰值	8.2GB	3.5GB	57.3%
跨端适配兼容通过率	62%	98%	58.1%

(注：续表 1)

针对 Web 端轻量化特性，要优化渲染资源调度机制，采用按需加载与动态显存分配策略，对大场景模型实施分层渲染与遮挡剔除，减少无效绘制指令，提升浏览器端渲染效率与稳定性。同时，要结合跨平台 GUI 框架实现代码复用与界面统一，降低多端开发维护成本，确保平台在 PC、移动设备与 Web 端均能保持一致交互体验，为上层建模、协同、校验等功能提供稳定高效的底层支撑，破解国外引擎垄断带来的适配性差、拓展受限等行业痛点。

### 3.2 工程主数据标准体系与数据兼容优化

主数据标准化与跨平台数据兼容是实现设计流程贯通、打破数据孤岛的关键，优化需围绕标准构建、解析适配、动态管理全链条展开。相关部门需构建适配 ISO15926 国际标准与国内工程要求的主数据标准库，统一管道等级、设计规则、元件尺寸、工程参数等核心数据口径，确保各专业设计数据一致性，为协同设计与质量管控奠定基础。

表 2 工程主数据标准化与兼容优化核心指标对比

指标名称	优化前	优化后	提升幅度
核心主数据标准覆盖率	58%	100%	72.4%
跨软件模型转换无损率	71%	99.2%	39.7%
工程数据读写响应时长	380ms	95ms	75.0%
数据冗余存储占比	42%	8%	81.0%
跨专业数据匹配通过率	65%	97%	49.2%

针对 PDMS、E3D、Revit 等主流三维设计软件，研发高精度数据解析与双向转换模块，实现模型、属性、关联关系的无损迁移，避免数据丢失与格式冲突，保障新旧设计体系平稳过渡。同时，采用无模式多模态数据库架构，适配工程数据动态扩展需求，支持用户自定义属性灵活配置，并优化数据存储结构，减少冗余存储占用，提升大规模模型数据读写与查询效率。通过数据标准统一与兼容能力升级，实现设计数据跨软件、跨专业、跨阶段流通，降低数据适配成本，提升全流程设计效率。

### 3.3 Web 端三维轻量化渲染与交互性能优化

Web 端轻量化渲染与流畅交互是提升用户体验、扩大应用场景的核心，优化聚焦模型精简、渲染加速、交互适配三大方向。在构建模型轻量化处理体系的基础上，通过几何精简、拓扑优化、纹理压缩等技术缩减模型体积，同时保留关键设计细节，平衡渲染精度与性能消耗。同时，要采用分层细节（LOD）技术与空间分块加载策略，根据视角距离自动调整模型精度，优先加载可视区域模型，降低浏览器内存占用与网络传输压力，实现超大场景模型流畅展示。另外，还要优化三维交互逻辑，简化操作指令链路，提升模型旋转、平移、选取、实时预览等操作响应速度，减少延迟感，适配普通终端硬件配置，摆脱对高性能工作站的依赖。通过强化 Web 端三维可视化引擎定制化优化，提升模型渲染稳定性与兼容性，支持多浏览器无障碍访问，满足远程办公、移动协作等场景需求，大幅降低平台部署与使用门槛。

### 3.4 多专业协同设计与权限管控机制优化

协同效率与数据安全直接决定平台应用价值，优化需构建实时协同、精细管控、冲突消解一体化机制。相关部门需搭建基于云架构与局域网双模式的协同环境，支持多用户同时编辑同一模型，实现设计操作实时同步与变更即时推送，避免重复作业与版本错乱，提升跨专业协作效率。同时，在建立精细化权限管控体系的基础上，按项目、团队、角色划分操作权限，实现项目管理、数据访问、模型编辑、成果导出等操作的分级授权，保障核心设计数据安全可控，防止误操作与越权访问。研发协同冲突实时检测与智能提示功能，快速定位多专业设计交叉冲突点，辅助设计人员及时调整，减少后期施工变更。另外，还需要优化数据版本管理与增量更新机制，自动记录设计变更轨迹，支持历史版本回溯与对比，确保协同过程可追溯、可管控，适配核电、电力、石化等大型工程多团队并行设计需求。

### 3.5 模型质量智能校验与虚拟验证优化

质量管控是提升设计可靠性、降低工程风险的重要环节，

优化以自动化、智能化、标准化为核心方向。内置全维度模型质量校验规则库，覆盖碰撞检测、尺寸偏差、标准合规性、参数合理性等校验维度，实现设计问题自动识别、精准定位与详细报告生成，替代人工核查，提升校验效率与全面性。同时，构建虚拟验证模块，模拟设备安装、管道运维、空间通行等实际场景，提前预判设计缺陷与安全隐患，实现设计质量闭环管控，减少现场施工返工与成本损耗。结合行业标准与工程实践，持续迭代校验规则，适配核电、石化、电力等不同领域规范要求，提升校验结果专业性与适用性。通过智能校验与虚拟验证融合，实现设计问题前置化解，保障设计方案合规、可行、安全，助力平台替代国外软件实现国产化落地。

### 3.6 跨领域拓展与全流程功能生态优化

平台可持续发展依赖完善的功能生态与广泛的场景适配，优化围绕功能延伸、行业适配、生态构建推进。在管道布置核心功能基础上，拓展土建、桥架、电缆等多专业设计模块，形成覆盖工厂全专业的正向设计能力，满足一体化设计需求。针对核电、火电、石化、军工等领域特性，定制化开发行业专属功能，适配专用标准与设计流程，提升平台垂直领域适配性，强化市场竞争力。同时，需优化数据输出模块，支持 ISO 出图、标准化报表、专业交付格式等成果输出，适配工程审查、归档、交付全流程要求，打通设计到施工的最后环节。另外，还要构建插件化扩展架构，支持第三方功能模块灵活接入，持续丰富工具链，形成“主数据—建模—协同—校验—交付”全链条技术生态，推动平台从单一设计工具向综合性数字化解决方案升级，助力工业软件国产化替代与行业数字化转型。

总而言之，依托自主图形引擎与统一工程主数据体系开展技术攻关，可让 Web 端三维工厂布置设计平台真正实现安全可控、高效协同与轻量化运行。相关技术突破可以切实缓解工厂设计领域对国外软件的长期依赖，更好支撑核电、电力、石化等重点工程的数字化建设。后续仍需紧贴工程实际不断迭代优化，持续完善全流程设计能力，为工业软件自主创新与行业数字化转型提供坚实支撑。

### 参考文献：

- [1] 李多.三维管道设计在选煤工程设计中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(07):109-111.
- [2] 周娜,黄文雄,程科,等.浅谈三维管道设计在粮油加工厂设计中的应用[J].粮食与饲料工业,2022,(02):18-20.
- [3] 张琦.三维管道设计在化工领域的应用[J].当代化工研究,2019,(08):163-164.
- [4] 胡爽策,胡锐,蔡国齐,等.基于 SolidWorks 的水处理装置三维管道设计[J].化工装备技术,2018,39(06):21-24.
- [5] 夏雨露.基于 Teamcenter 数据平台下三维管道的设计方法[J].机械工程师,2018,(03):156-158.