

油气储运站场设计软件国产化技术发展综述

李海润, 张 硕, 钟 意, 孟祥海, 刘 亮

(国家管网集团工程技术创新有限公司, 天津 300450)

摘要: 随着 IT 和软件国产化的发展, 企业对油气储运站场设计软件的架构更新及软件自主可控提出了新的要求。本文介绍了油气储运站场设计业务现状, 简要论述了设计业务需求和油气储运站场设计软件发展情况, 说明油气储运站场设计软件国产化难点、未来趋势等内容, 为油气储运站场设计软件国产化技术研究提供参考。

关键词: 设计软件; 油气储运站场; 流程工厂; 国产化

中图分类号: TB21 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 油气储运行业已经迎来新一轮的发展高潮, 同时逆全球化的潜在风险使得工业生产的独立、自主、安全上升到国家战略安全层面^[1]。目前使用的国外软件已无法满足数字化转型需求, 随着一体化平台、人工智能、大数据等技术的发展, 立足工程设计从前向后聚焦产业链, 研发自主可控的国产化设计软件, 实现油气储运行业设计生态协同演进、持续良性发展^[2]; 变革设计作业和管理模式; 打造数字化设计新生态, 是满足国家能源安全和企业核心战略的重要需求。

2 油气储运站场设计业务

油气管道运输是用管道作为运输工具的一种长距离输送石油、天然气的运输方式, 可实现将石油、天然气从生产地向市场运输, 是统一运输网中干线运输的特殊

组成部分。油气管道有着很多优势, 不仅运输量大、连续迅速、经济安全和可靠平稳, 而且投资少、占地少、费用低, 还可实现自动控制。油气管道运输可省去水运或陆运的中转环节, 缩短运输周期, 降低运输成本, 提高运输效率。

油气储运站场是用于接收、储存、处理及输送石油、天然气的设施。根据输送介质、地区温度、设计数量等设计输入参数, 确定管径、压力等, 并在管道沿线布置站场和阀室, 根据其功能, 油气储运站场可以分为首站、分输站、压气站、热泵站和末站等站场。这些站场通常包括储罐、泵、压缩机等设备, 以及相关的控制和监控系统, 承担着接收上游来油气、油气分输、加压、加热、计量和过滤等一系列任务, 最终完成油气输送工作。

站场设计软件是承担站场和阀室设计任务的一系列软件, 油气管道站场与化工、船舶、核电等行业相比,



工艺相对简单，但也包含多专业协同设计，主要涉及的专业有工艺、配管、消防、给排水、热工、结构、仪电、建筑和总图等。各阶段设计流程基本一致，针对不同阶段设计深度要求各有不同。

2.1 设计业务总体流程

设计单位接收到设计任务，按照专业进行任务策划，配置项目环境，即从工艺专业开始设计工作。当前大中型设计项目基本是以数字化设计方式完成，通过 AVEVA、鹰图等数字化集成管理平台及可与平台数据交互的各专业辅助设计软件，形成仪表、电力、建筑和总图等多专业协同设计的工作模式，设计成果通过评审后提交设计管理类系统，站场设计业务流程图如图 1 所示。

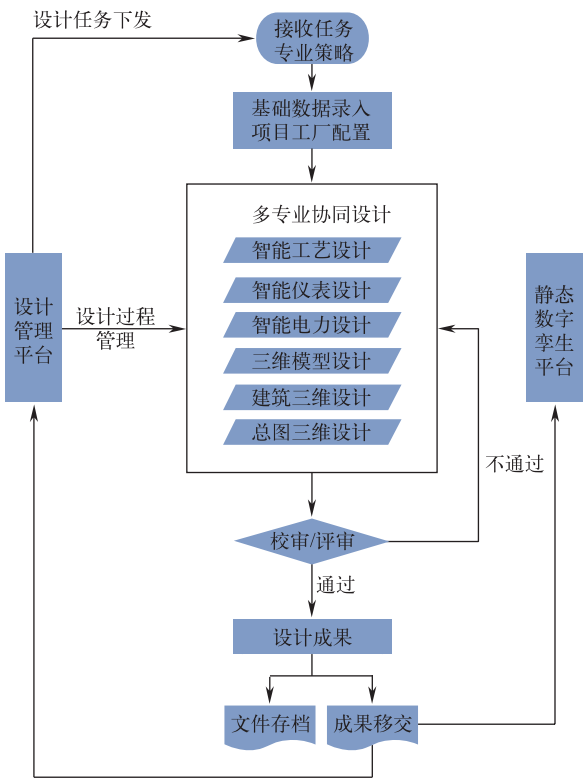


图 1 站场设计业务流程图

2.2 各专业协同设计流程

油气储运站场设计是多专业协同工作的过程，详细过程如图 2 所示，涉及的专业及各专业的设计成果如下：

- 1) 工艺专业制定工艺流程，在进行工艺系统分析、物料平衡计算、设备选型后，完成 PFD、P&ID、UID 和工艺设备表等工艺逻辑设计成果文件；
- 2) 配管专业根据 P&ID、UID 完成管道配管、管道

应力分析、管道材料规格书及设计管道施工安装图等设计文件，完成三维模型设计，并向其他专业提出相关专业设计条件；

- 3) 设备专业根据工艺要求，完成相关设备的安装图；
- 4) 建筑专业完成道路、地沟、建筑物和楼梯等的设计；
- 5) 结构专业完成站场的结构及设备基础设计等；
- 6) 电气专业完成站场供电、照明、防雷和防静电设计等；
- 7) 自控专业根据工艺要求完成工厂的控制系统，包括仪表的选型，并向配管专业提出相关条件；
- 8) 暖通空调专业完成采暖通风的流程图及布置图；
- 9) 给排水专业完成公用工程给排水系统设计。

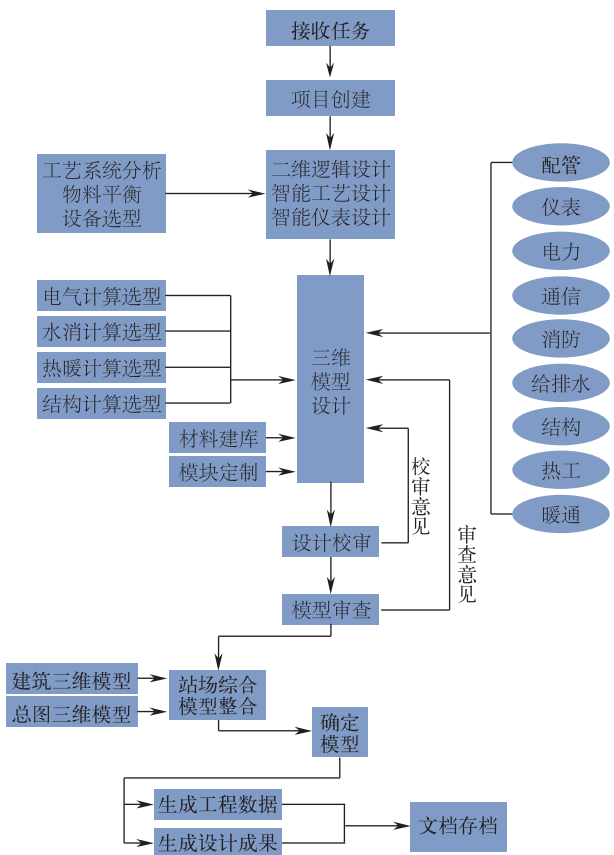


图 2 站场设计专业流程图

2.3 竣工数据回流流程

竣工数据回流是指施工管道焊口数据、施工联络单、设计变更数据和其他竣工数据回流到设计作业系统，形成竣工模型和竣工文件的过程。竣工数据回流流程如图 3 所示。

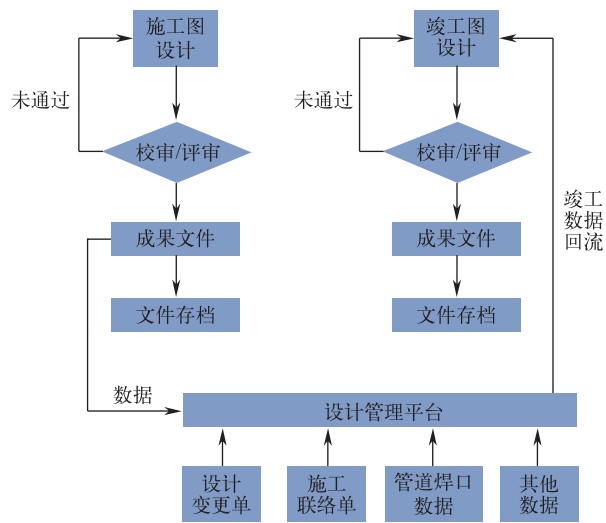


图3 竣工数据回流流程图

3 油气储运站场国内外设计软件现状

根据以上设计业务的分析，油气储运站场设计软件主要涵盖工艺、配管、电气、仪表、建筑结构和总图等专业，主要功能集中在工艺设计和安装布置设计。可将油气储运站场设计软件分为站场管道设计、电力设计、建筑设计和总图设计四种类型。

在站场设计软件方面，鹰图 Intergraph、剑维 AVEVA 和本特利 Bentley 三家国外厂商的产品线丰富，对工艺和布置设计都有较好的支持（见表1）。尤其鹰图和剑维，在流程行业针对不同专业的每个环节都推出了相关产品，通过各产品之间的数据集成，实现了紧密的集成设计模式，从而构建了产品壁垒，形成了一定的市场垄断，继而在此基础上不断开拓新领域。

表1 国外站场设计软件

	Intergraph 系列产品	AVEVA 系列产品	Bentley 系列产品
智能 P&ID 设计	Smart P&ID	AVEVA Diagrams	OpenPlant P&ID
智能仪表设计	Smart Instrumentation	AVEVA Instrumentation	OpenPlant P&IW
三维布置	Smart 3D	AVEVA Everything3D/PDMS	OpenPlant Modeler
数据集成	SPF	AVEVA Engineering	ProjectWise
材料编码数据库管理	Smart Reference Data	AVEVA ERM	软件内置
三维模型浏览 / 审查	Smart Review	AVEVA Review	无
工程数据交付系统	EDHS	AVEVA NET	AssetWise ALIM
二维绘图工具	Smart Sketch	无	无
三维模型格式转换工具	SPIOP	无	无
支吊架设计软件	软件内置	软件内置	OpenPlant Support Engineering
单管轴测图出图软件	软件内置	软件内置	OpenPlant Isometrics Manager
平立剖图自动标注软件	软件内置	软件内置	OpenPlant Orthographics Manager
信息标准管理平台	无	AVEVA ISM	无
电缆桥架及自动敷设软件	部分功能软件内置	部分功能软件内置	Bentley Raceway and Cable Management (BRCM)
BIM 设计软件	部分功能软件内置	部分功能软件内置	OpenBuilding Designer
总图设计软件	无	无	OpenRoad Designer

国内也有部分软件厂商推出相应的产品和解决方案，但在产品成熟度和市场竞争力方面，和国外软件还存在一定的差距。在站场管道布置设计方面，有中科辅龙（PDSOFT）、高佳科技（EP3D）、中为数通（ZWPD）等软件厂商，以上软件在设计院有一定的应用。在电力设计方面，有博超、上海金曲等厂商，其中博超主要市场

为电力行业，其电力软件在石油石化占有率高达 80%。

在建筑三维设计方面，Autodesk Revit 是目前国际、国内的主流建筑设计平台；Bentley Open building Designer 在国内部分大型建筑上有过成功案例，如杭州奥体中心、内蒙古少数民族群众文化体育运动中心等，油气行业案例较少；Hexagon Brisc CAD 在国内油气行业

案例较少；国产平台的 PKPM BIM 借助在二维设计的市场优势，在逐步向三维设计进行拓展。

在总图设计方面，国际、国内主流总图设计软件是 Autodesk CIVIL3D，其他如 Bentley OpenRoads Designer 和鸿业等总图软件在国内油气行业案例均较少。

3.1 鹰图系列软件

鹰图 SmartPlant 系列软件产品以 SmartPlant Foundation (SPF) 为集成总线，鹰图软件产品关系图如图 4 所示，以图 4 为总体架构实现协同设计，其中工艺设计使用 SmartPlant P&ID 完成设计后数据通过 SPF 传递给 SmartPlant Instrument (SPI)、SmartPlant 3D (S3D) 及 SmartPlant Electrical (SPEL) 进行电力、仪表和配管设计，SPI、SPEL 设计数据传递给 S3D 进行布置设计。

在基础设计阶段，工艺专业、仪表专业和电气专业分别采用智能工具软件 SP&ID、SPI 和 SPEL 开展工艺、仪表和电气逻辑设计工作；在布置设计阶段，配管、桥架、仪表、电缆、设备和结构各专业采用 Smart3D 开展多专业协同布置设计。SPF 作为工程和资产信息管理的核心，支撑数字化资产的生命周期管理。

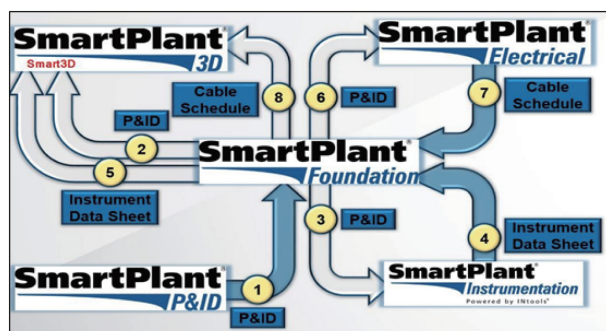


图 4 鹰图软件产品关系图

鹰图软件提供的集成环境，能够确保数据的一致性和准确性。其优点是软件产品线齐全、配置灵活性高，作为集成设计管理软件的先驱，国内也有较多成功应用案例。缺点在于软件体系大，入手有难度；用户体验反馈软件较重，需要在用户体验方面加强改进。

3.2 AVEVA 系列软件

AVEVA 的解决方案覆盖工程设计的各专业，主要涉及工艺、配管、机械设备、仪表、电气、土建和暖通等，AVEVA 软件产品关系图如图 5 所示。在基础设计阶段，工艺专业、仪表专业和电气专业分别采用 AVEVA

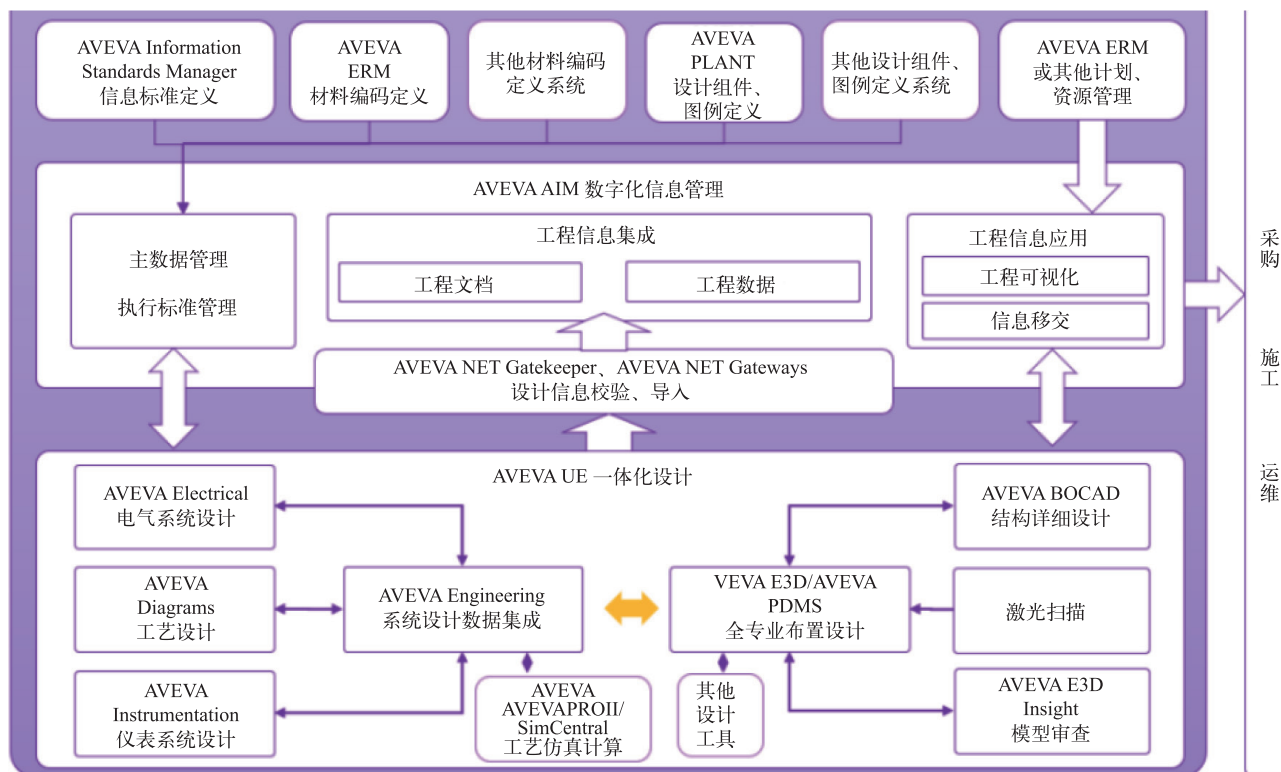


图 5 AVEVA 软件产品关系图

Diagram、Electrical 和 Instrumentation 开展逻辑设计工作；在布置设计阶段主要是使用 AVEVA E3D/PDMS 开展布置设计，以 AVEVA Engineering 为集成主线实现各专业软件间信息流转，并通过 AVEVA NET 完成数字化信息管理。

AVEVA 软件的优点是上手较快、在自身体系内运转较好，缺点是对接第三方配置性不足。

3.3 Bentley 系列软件

Bentley 以 ProjectWise+ MicroStation 为平台基础，

打造“一个平台、一个模型、一个数据架构”的模式，产品线很丰富，包含各个专业设计功能，Bentley 的产品线如图 6 所示。图形引擎以 MicroStation 为基础，在其上建立专业应用软件集包括工艺流程设计、三维管道设计、三维设备设计等，并通过 ProjectWise Design Integration 完成各软件之间数据集成，最终通过 Navigation 完成模型审查，通过 iModel 整合模型并发布。

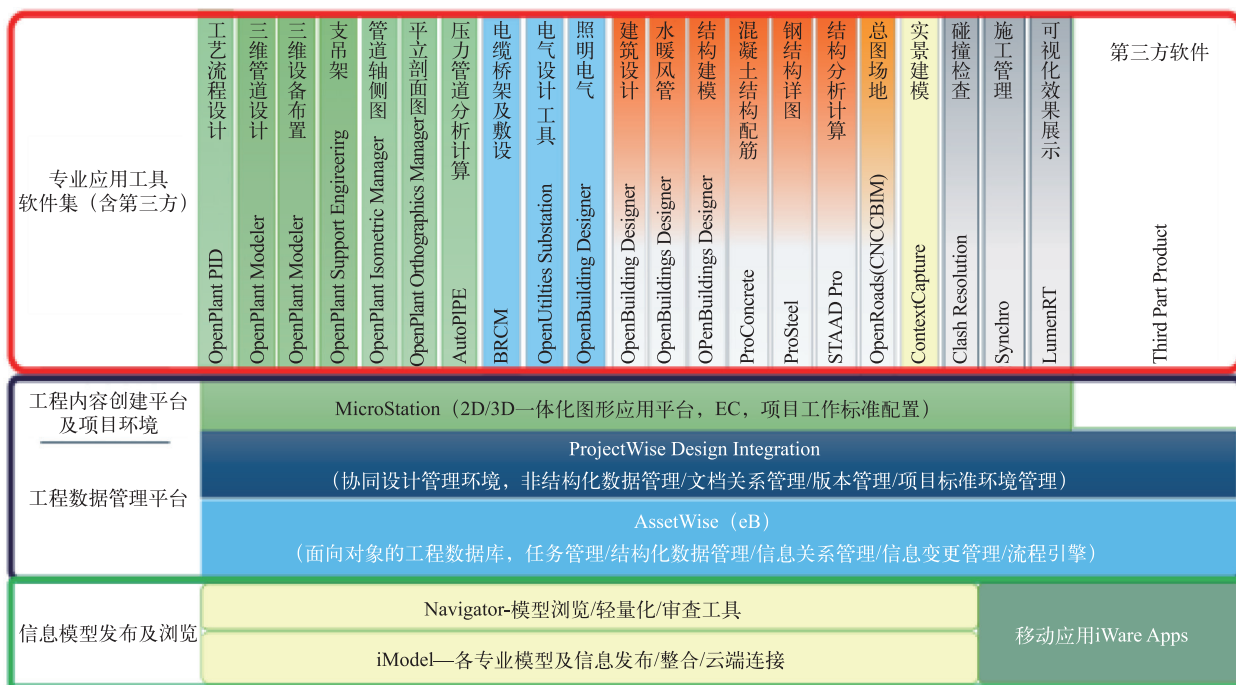


图 6 Bentley 软件产品关系图

4 油气储运站场设计软件发展趋势

从市场占有率和软件性能来看，油气储运站场设计软件还是以国外软件为主，其软件市场占有率高、软件性能强、设计理念较为先进^[3]，我国工业软件呈现管理软件强、工程软件弱的基本特征，高端软件明显不足。一方面，国产工业软件在运营管理领域（如生产管理、客户服务、综合管理）发展较好，而在以 CAD、CAE 为代表的研发设计类领域发展水平滞后；另一方面，国产工业软件在中低端市场占有率较高，而在不少高端领域仍是空白^[4]。

从发展态势看，工业互联网的带动作用日益显现，国内企业采取加强平台建设、汇聚开发资源、培育并部署工业 APP 等措施积极向云服务转型的趋势较为明显。

也要注意，在面向制造业的产品创新数字化软件方向，相关开发企业的规模较小^[5]。

面对国外设计软件可能的“卡脖子”风险，国内有识之士也积极在行动，提出各类国产化措施和施行站场设计软件国产化。例如提出以加快研发设计软件发展，增强竞争力^[6]；提出激励国产化机制^[7-8]；以工业企业为主体带动应用创新^[9]；分层次推进工业软件关键技术突破，构建工业软件生态系统^[10]；广泛发动和吸纳各类主体掀起创新高潮，促进工业软件企业产品创新^[11]。

4.1 数据标准化、集中化

油气储运行业工程设计软件繁多、复杂，软件之间交互的需求十分迫切。打通数据壁垒、建立数据标准、组织研发数据集成平台，是实现多专业数据与模型协同

集成的前提条件。以设计数据标准和三维模型标准为抓手,研究标准、制定内容,以支撑研发过程中的软件集成、数据拉通、数据应用。并进一步打通设计、采购、施工数据通道,提升数据利用率,为站场从设计、采办、制造、施工及运营全链条数据共享奠定坚实基础。

传统的客户端软件采用本地文件型存储,对于数据的快速传递、共享非常不便,因此需要实现海量数据处理和高并发的业务场景,数据的集中管控也就非常重要。其中数据管理有“一数之源”和“一数多源”两种方式,两者各有优缺点。对于站场整体的业务管理,数据量大、数据源多,不适合一数之源;但对于设计阶段的核心业务数据,可以在集成设计的基础上实现一数之源。对于数据的集中管理,不同的软件采用不同的策略,如鹰图和剑维采用一数多源,西门子 COMOS 和达索 3DE 采用一数之源。

4.2 应用智能化、平台化

油气储运站场设计软件普遍采用专业化软件,本质是工业知识的软件化,是融合数学、物理基础理论、工程知识、软件技术形成的工业结晶,是实现工业数字化、网络化、智能化的核心。人工智能、大数据、大模型的技术发展直接带动设计软件向着智能化的方向发展,多款应用集成向着平台化的方向发展。

目前设计软件厂商在探索将大模型的通用泛化优势与人工智能的专用高效特点结合起来,打造平台级的软件产品,在平台基础上叠加互补、协同的人工智能能力,用来满足各专业智能化设计的业务需求;再基于智能化平台收集的设计阶段工程孪生体模型,向采办、施工、运营业务提供数据开放、模型解析、低代码开发等平台服务,快速构建工程各阶段的智能化应用场景。

4.3 总体数字化、国产化

全球油气行业使用国外软件的居多,我国的油气行业在开采、运输、运营管理等各方面都与国外存在较大差异,因此在实际应用中会遇到许多挑战。

国外软件在制造、施工等环节的结合方面做得不强,这也与国外实体产业空心化相关,相反国内由于具备全产业链的能力和优势,在设计、制造、施工信息一体化方面,具有强烈的业务需求。同时在国际形势严峻、技术封锁不断升级的背景下,为避免“卡脖子”风险,助力产业升级和高质量发展,我国工业软件研发刻不容缓。软件国产化在油气储运行业不仅是推动行业发展的重要

手段,也是保障国家能源安全、促进经济社会发展的必要条件。设计软件要实现对国产 CPU、操作系统、数据库和中间件等适配。

5 油气储运站场设计软件国产化关键路径

我国现代工业体系起步晚,国产工业软件基础与核心技术薄弱,技术发展存在代差,工业软件企业长期以来承受着自身发展困境和国外主流软件冲击的双重压力,油气储运站场设计软件国产化关键路径可按照攻克重点技术、构建国产软件行业生态、优化工作流程来实施。

5.1 攻克重难点技术

站场设计软件是工业知识和信息技术的结晶,油气储运站场设计软件国产化范围包括多个专业设计软件,其中涉及的关键技术包括工程知识 IT 转化、三维引擎技术、软件交互技术、数据库模型设计、多专业数据集成和多专业协同设计等方面,站场设计软件关键技术如图 7 所示。

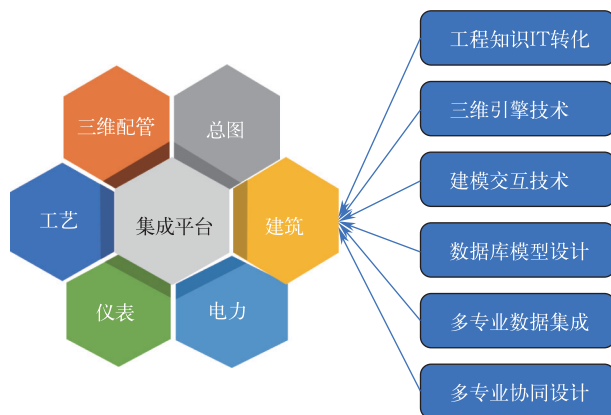


图 7 站场设计软件关键技术

其中三维引擎技术需要满足油气储运站场三维布置设计要求。站场模型规模大致在 10 万基本体要素,对模型精细度要求不高,几何图元满足基本体要求,几何体操作支持交、并、差及平面切割,支持大规模数据快速处理等;在三维几何引擎应用方面,国外厂商一般有自己的三维几何内核,或使用 ACIS、Parasolid 等流行的内核,唯一的开源内核 OCC 成熟度不高,商用存在较多的问题;国内部分 CAD 厂商有引进或自主研发的三维几何内核,流程行业现有设计软件研发企业基本无自主几何引擎,多基于国外引擎二次开发,缺乏从底层进行优化的能力^[12]。

建模交互技术是软件交互和工程知识转化技术,是

软件好用、易用的支撑和保障，尤其在超大模型的基础上，保持流畅的交互能力对于软件使用体验影响较大。

数据库模型设计技术是为了解决油气储运对象大量结构化工程属性数据存储和扩展，支持全生命周期数据拉通需求。

多专业数据集成包括模型集成和系统集成。模型集成涉及各类主流软件格式识别和转换，系统集成对应结构化和非结构化数据的集成、系统历史数据复用等使用场景^[13]。

多专业协同设计要求软件支持团队协作，能够通过严格的权限控制和多途径的回退机制确保数据安全；支持多用户PC端、移动端协同设计和评审，同时采用多种技术手段降低数据传输量，结合通信技术实现实时响应^[14]。

5.2 构建国产软件行业生态

油气储运站场设计软件国产化需要在实际项目中不断应用和优化，国外软件已在行业中有长期的应用，积累了很多的设计数据、设计人才、设计经验，对新的国产化软件的研发、推广、应用有一定的挤压。所以构建国产软件替代应用，需要建立政府、应用企业、软件厂商和研究机构之间良好生态。

依托政府生态，改善油气储运站场设计软件产业生态环境，可以依托国家课题或工业技术研究院，借助产业规划、带动能力。

强化用户生态，强化油气储运站场设计软件研发应用牵引，强化行业深耕，透彻理解行业知识，使站场设计软件具有强烈的行业属性和易用性，加速站场设计软件的创新迭代，从而使得软件具有更强的生命力；同时软件是用出来的，尤其前期在软件的推广过程中，只有在用户使用中不断迭代，才能不断完善软件，打造用户生态环境。

构建人才生态，围绕软件研发的过程，培养业务和IT混合型人才，按照需求、规划、架构、研发和测试流程进行人才培养，深化油气储运站场设计软件人才技术储备，加强产学研协同机制，解决站场设计软件的技术创新问题。

构建软硬件生态，提升油气储运站场设计软件上下游集成水平，利用国产整机、操作系统、数据库等逐渐成熟的有利时机，适配信创环境和国内的各个主流云平台，提升适应能力和未来发展潜力。

最终构建有活力的商业生态，软件产品的秩序迭代需要依靠市场化的运作，不断从市场获取需求和收入。从产品规划之初，就要考虑好未来推广的用户画像；产品发布后，要提升站场设计软件应用推广能力。

5.3 优化业务流程

油气储运站场设计软件国产化的实施对基于现有软件的业务流程可能会产生冲击，需要处理好基于现有业务的优化升级、本土化扩展等工作。良好的业务流程优化可以极大推动国产化软件推广应用及升级更新换代；同时考虑兼容性，把基于老平台的数据、业务流程平滑迁移到新的软件平台。

6 油气储运站场设计软件国产化建设蓝图

通过对油气储运站场业务的需求分析，和现有站场设计软件进行对标，我们设计了“一套数据标准、一个技术底座、一个一体化平台”的站场设计软件国产化总体构想。油气储运站场设计软件构想图如图8所示，以数据标准为准则，技术底座为驱动力，建设软件一体化平台，在平台之上添加业务组建，构建各类设计应用，完成站场设计业务。

6.1 一套数据标准

首先完成数据分类，全部企业数据执行统一数据分类标准。企业数据分类要满足各种数据需求和对数据组织的要求，并独立于具体的数据模型和数据分布。企业数据分类要有利于数据的维护和扩充。

然后是定义数据模型，按照概念模型、逻辑模型和物理模型的顺序，采取自顶向下的思路，建立概念模型，依据数据实体间的关系，设计逻辑模型，梳理每个业务逻辑模型的属性，从数据标准化、数据安全、数据质量、数据模型和数据管控五个方面进行数据架构的定义，构建企业的信息模型视图。

6.2 一个技术底座

技术底座是平台的基础支撑，主要包括二三维引擎、数据治理模块和系统集成模块。二三维引擎是二三维设计软件的核心，负责对二三维几何数据描述、参数化设计及前端显示；数据治理模块负责对平台涉及的各类数据进行标准化和统一管理，包括元数据管理、主数据管理、数据标准和模型管理等；系统集成模块负责平台与外部系统的数据交互，包括接口模型管理、接口映射和IoT组件等。

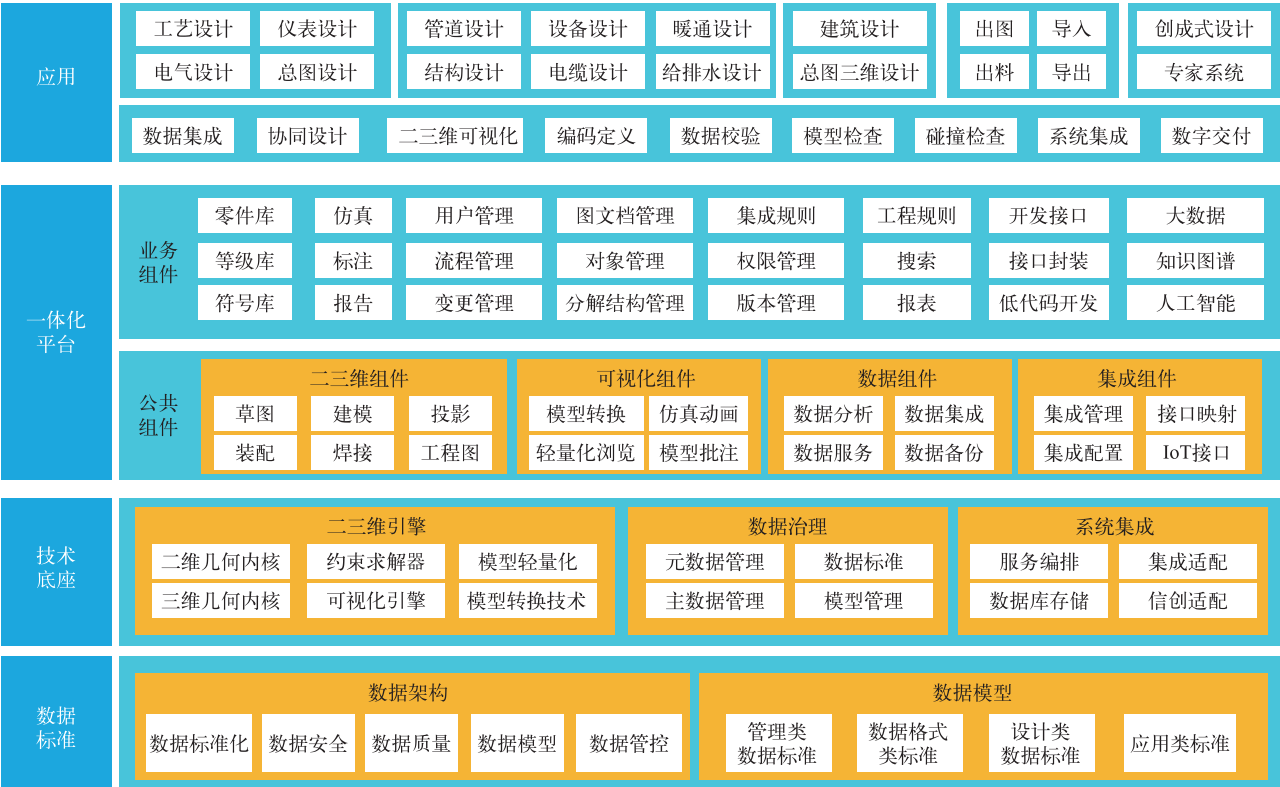


图 8 油气储运站场设计软件构想图

6.3 一个一体化平台

一体化平台的设计核心在于整合所有业务和数据，实现数据的实时监控和跟踪，帮助企业进行更准确、更快速的决策。其设计方式主要包括以下几个方面。

统一架构：一体化平台应采用统一的架构，使得各个系统模块之间具有良好的互联互通性，避免系统间的信息孤岛。同时统一的架构还能方便企业对系统进行统一管理 and 维护，降低运营成本。

快速开发：一体化平台应具备快速开发的能力，能够根据企业的特定需求进行定制开发，缩短系统的开发周期，降低企业的开发成本。

智能扩展：一体化平台应具有良好的扩展性，能够随着企业业务的发展进行智能扩展，满足企业不断增长的需求。同时一体化平台还应支持各种硬件设备的接入，实现系统的全面整合。

用户体验优化：一体化平台应注重用户体验的优化，提供简单易用的操作界面和丰富的数据分析功能，方便企业人员进行业务操作和管理。

未来，一体化平台将朝着云化部署、大数据、人工智能、安全性和行业化方向发展。大型企业一体化平台

的设计方式和发展趋势将以企业的实际需求为导向，以提高企业的运营效率和管理水平为目标，不断进行创新和升级。

7 结束语

随着油气储运行业的数字化转型要求不断提高、IT 行业新技术的不断发展，油气储运站场设计软件国产化需求更加迫切。为此，我们从业务需求分析开始，结合现有的产品技术架构、应用情况，从新技术、新架构和新方法的角度，对实现站场设计软件国产化的路径进行了分析，提出了国产化的总体思路和建设重点，对阶段目标、关键内容进行了梳理，对建设完整的生态体系进行了论述，为油气储运站场设计软件国产化技术研究提供参考。

工程设计类软件作为工程信息源头，是实现工程全生命周期管理的重要起点。目前国内相关软件产品距离成熟还有较大距离，工程设计类软件从规划、开发、实际应用到持续迭代，是一个长期的过程，需要经历工程应用的不断打磨，才能达到好用、易用的目的。

参考文献

- [1] 张倩. 加快研发设计类工业软件国产化步伐 [N]. 中国企业报, 2023-03-28 (006).
- [2] 戴超, 王子帅, 赵茜. 我国工业软件产业发展的研究 [C]// 上海筱虞文化传播有限公司. Proceedings of 2023 Seminar on Engineering Technology Application and Construction Management. 重庆信息通信研究院, 2023; 3.
- [3] 邵珠峰, 赵云, 王晨, 等. 新时期我国工业软件产业发展路径研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24 (2) : 86-95.
- [4] 肖源. 我国工业软件突围路径探析 [J]. 国家治理, 2022 (7) : 57-59.
- [5] 王子宗, 王基铭, 高立兵. 石化工业软件分类及自主工业软件成熟度分析 [J]. 化工进展, 2021, 40 (4) : 1827-1836.
- [6] 李郁佳, 孟嫣. 加快研发设计软件发展, 增强竞争力 [J]. 中国科技信息, 2022 (12) : 125-128.
- [7] 陈华元. 推动工程软件国产化 [J]. 施工企业管理, 2021 (4) : 52.
- [8] 周雄伟, 肖咏龙, 杨鑫浩. 工业软件国产化替代创新突破路径与激励机制 [J]. 科技导报, 2023 (6) : 34-46.
- [9] 陈华元. 推动工程软件国产化 [J]. 施工企业管理, 2021 (4) : 52.
- [10] 蒋明炜. 构建工业软件生态系统, 加速工业软件国产化进程 [J]. 新型工业化, 2023, 13 (9) : 5-8.
- [11] 徐恒, 吴丽琳. 工业软件企业发展及对策建议——基于研发设计类软件开发 [J]. 工业技术创新, 2019, 2 (6) : 99-102.
- [12] 李士才, 唐卫清. 流程工厂设计软件的关键技术研究及展望 [J]. 图学学报, 2013, 34 (5) : 76-81.
- [13] 张系强. 常用工业设计软件 (UG、Pro/E、SolidWorks、AautoCAD) 的文件相互转换技术 [J]. 中国高新技术企业, 2007 (11) : 99-100.
- [14] 凡剑波. 三维软件在中小型工厂设计和管理中的选型及应 [J]. 化工管理, 2016 (10) : 172-173.

收稿日期: 2024-07-15