

基于 BIM 技术的石油化工工程数字化设计研究

唐晨鹏

新地能源工程技术有限公司石家庄能源化工技术分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]石油化工工程项目投资大、工艺复杂、工种繁多、危险系数高,传统的二维设计方式不能够适应多工种配合、精细化管理以及项目全生命周期的信息集成的要求,BIM 技术为石油化工工程数字化设计开辟了一条新的途径。通过对石油化工工程的特点及 BIM 技术结合点进行研究,建立适用于石油化工工程的数字化设计系统架构;研究三维可视化建模、多工种协调设计、碰撞检测优化等主要应用;提出提高设计工作效率,保证工程质量,优化资源配置等方法。研究显示,BIM 技术可以大大提高石化工程项目的设计质量和速度,在同一个数据库基础上进行的协同设计平台可以使多个专业的设计速度快 30%以上,碰撞检测可以降低 70%的现场返工量,对于石化行业的数字化变革有理论依据,也有实际借鉴意义。

[关键词]BIM 技术;石油化工工程;数字化设计

DOI: 10.33142/sca.v9i5.19732

中图分类号: TE624.3

文献标识码: A

Research on Digital Design of Petrochemical Engineering Based on BIM Technology

TANG Chenpeng

Shijiazhuang Energy Chemical Technology Branch of Xindi Energy Engineering Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Petrochemical engineering projects have high investment, complex processes, numerous job types, and high risk factors. Traditional two-dimensional design methods cannot meet the requirements of multi job cooperation, refined management, and information integration throughout the project lifecycle. BIM technology has opened up a new path for digital design in petrochemical engineering. By studying the characteristics of petrochemical engineering and the integration points of BIM technology, establish a digital design system architecture suitable for petrochemical engineering; Research on the main applications of 3D visualization modeling, multi job coordination design, collision detection optimization, etc; Propose methods to improve design efficiency, ensure engineering quality, and optimize resource allocation. Research shows that BIM technology can greatly improve the design quality and speed of petrochemical engineering projects. A collaborative design platform based on the same database can accelerate the design speed of multiple specialties by more than 30%. Collision detection can reduce on-site rework by 70%. This has theoretical basis and practical reference significance for the digital transformation of the petrochemical industry.

Keywords: BIM technology; petrochemical engineering; digital design

引言

石油化工工程的特点是工序繁杂,管线密集,安全性要求高,多专业交叉等。传统的二维图纸设计中各个专业的软件是相互独立的,存在严重的数据孤岛现象,经常发生一些错误遗漏碰撞缺失等问题,大约有 30%的施工问题是因为设计期间的合作不够充分造成的。建筑信息模型以三维几何图形为基础,集成全生命周期的信息,实现了设计、施工以及运行维护之间的数据流动。2025 年,中国石化四建公司建立集质量、安全、进度为一体的数智化双平台。2026 年,人大代表建议出台石化行业的数据标准,统一数字化交付接口。茂名石化改造项目利用 BIM

模型进行在线评审,加快设计审批速度达 90%。但是目前来看,BIM 还存在数据格式标准不一,交付成果良莠不齐等问题,在这一方面仍然有待改善。本文围绕石化工程建设数字化设计方案展开,建立以 BIM 为基础的设计方法体系,提出重点应用方向以及改进措施,给予相关行业的数字化改革一定的帮助作用。

1 BIM 与石化工程数字化设计理论基础

1.1 BIM 技术基本原理与特征

BIM 是以三维数字化技术为核心,集成了工程项目各种信息的一个数据库,主要特点有可视化、协同化、仿真性、最优化及可绘图性等;与传统的 CAD 相比,BIM

实现了由二维图纸向多维信息模型的飞跃，不仅仅是几何信息的描述，还有建筑材料及其性质、制作工艺及相关成本方面的非几何信息描述；建筑信息模型采用参数化的建模方法，把组成构件看作是可以由参数驱动的动态物体，各模型构件相互之间存在一定的联系，一处变化、处处同步，解决了传统设计过程中由于参数变更而导致的混乱局面。BIM 模型信息集成模式能够实现多种来源多种类型数据的整合储存，在 IFC、RVM 等格式的支持下可以在不同的软件系统之间进行数据互通。在油化工程里 BIM 模型要包括设备参数、管径大小、材质强度等等的专业化信息。RVM 文件是 PDMS 或者 E3D 自带的格式，可以完整地保存工厂的立体结构、设备和管道件的关系、材料信息以及工程项目信息等，成为工厂数字化交付的主要媒介。

1.2 石油化工工程设计特点与数字化需求

石油化工工程项目由工艺装置、储运系统、公用工程、辅助设施等部分构成。工艺装置是整个项目中最主要的部分，其中包括反应器、塔器、换热器、压缩机等重要设备，还有复杂繁琐的工艺管道线路，一个中小型项目的管道甚至能达到几百公里，设备多达几千台，设计数据庞大。石油化工项目设计的特点主要有两点：一是工艺过程复杂，物料大多属于高温高压、易燃易爆类，在设计上要求精度和可靠性很高；二是各专业间配合紧密，有工艺、管道、设备、结构、电气、仪表、给排水等多个专业，各个专业的制约关系相互交织。第一是管线综合复杂，管道纵横交错，空间碰撞严重，传统二维方式无法准确捕捉；第二是变更更多，工艺变动，更换产品型号引起的连环改动较多。从数字化的角度来说，石油化工工程设计迫切需要三维可视化来辅助进行空间碰撞检测，形成跨部门联动模式来避免信息割裂，制定一套规范的数据格式来打通数据壁垒，利用数字化的设计软件完成各专业在同一个数据库下的同步修改，解决长期以来各个专业各自为战的情况。

2 基于 BIM 的石化工程数字化设计体系构建

2.1 数字化设计总体架构设计

基于 BIM 技术的石化工程数字化工厂设计方案采用分层结构，自下而上依次是数据资源层、平台支撑层、业务应用层以及协同管理层。数据资源层为系统底层，包含设备模型库、管道件库、物资编码库、标准化数据库等基本的数据资源，在此数据层中，用统一的数据字典以及编码方式来保存各种设计信息并且可以对不同的信息类型进行快速地查询。平台支撑层提供了 3D 建模引擎、协同管理引擎、分析引擎等多种核心技术能力，能够支持不同专业的人员同时对统一的数据源展开协同设计工作。业务

应用层则包含了三维建模、碰撞分析、出图报表、工程量统计等各种功能模块，涵盖了整个设计过程。协同管理平台实现权限管理、流管理以及版本管理和质量管理，保障整个设计流程的顺利进行。目前行业内存在三大共性难点：信息孤岛难题，每个专业的软件不一样互相之间不协调；协同效率问题，各专业之间通过手动传输数据，改完模型还要重新出图；数据资产管理问题，切换到新系统后之前的数据很容易被遗忘丢失等等，所以整体设计要对以上问题进行系统的应对。

2.2 BIM 数字化设计标准流程

按照《石油化工工程三维数字化设计指南》，三维数字化设计应该在初步设计到竣工图之间进行，在标准步骤中包含以下三个部分：第一部分为项目启动阶段，编制 bim 实施方案，明确模型精细度级别、出图标准以及协同规则等相关技术参数；建立项目的基准坐标系与共享坐标系；第二部分为初步设计，以工艺流程图为依托进行总图布局，设备选型，主要管道走向的设计，构建初步三维模型用于方案选择及概算编制；第三部分详细设计，即 BIM 应用的核心环节，各专业根据设计条件进行精密化建模，通过工艺、管道、设备、建筑、结构、控制、电气、信息、暖通九个专业共同完成一个模型。模型审核是流程的重要关卡，在模型审核过程中可以进行多方远程网上审核，提供模型网上评论、修正闭合管理等功能，做到不同版本模型差别自动生成列表。竣工图阶段，以最终三维模型为竣工图成果提交产品，保证模型与实物相同。

2.3 数据标准化与接口规范建设

数据标准化是信息系统建设的基础。石化工程项目 BIM 数据标准化框架包括数据编码标准、模型精细度标准、交付标准以及接口规范四个方面。数据编码标准为工厂元素赋予唯一的身份并进行分类编码，覆盖整个设计过程直至项目后期维护管理阶段。模型精细度标准明确了各设计阶段下的模型几何及属性描述的具体要求。

表 1 石油化工工程 BIM 数据接口规范对照

接口类型	数据格式	适用场景	传输方式
设计协同接口	IFC、RVM	多专业模型数据交换	实时同步
分析软件接口	JSON、XML	结构分析、流体模拟对接	API 调用
采购管理接口	CSV、Excel	材料统计与采购清单导出	文件交换
施工管理接口	API、WebService	进度模拟、现场数据采集	云端对接
运维平台接口	JSON、数据库直连	竣工模型移交与运维集成	数据同步

关于数据交互方面, IFC 是一个国际通用的 BIM 数据交流标准, 但是石化行业的特殊设备支持不足; RVM 格式与 AVEVA 软件生态环境紧密结合, 在工厂工程中比较常用; BIMBasePlant 平台可以接入国外相关软件数据库内容, 历史数据可以无损转移, 迅速实现原有项目的转移工作。核心技术代码自研率达到 100%, 接口协议标准化要兼顾灵活性, 一方面要符合国际惯例, 另一方面也要适应不同公司要求。

3 基于 BIM 的石化工程数字化设计关键应用

3.1 三维可视化设计与设备管道布置

三维视图是 BIM 应用于石化工程项目设计的基本手段, 在对工艺装置、设备、管路、结构等构建三维模型的基础上, 使设计结果更为形象化。相对于传统的二维图纸而言, 三维模型可以清楚表达出设备的空间布局、管线走向及检修通道间的相互关系, 从而有效的为方案的选择与调整提供依据, 在设备定位时, 依据三维模型能对设备间隔距离检验, 起吊路线仿真模拟, 检修场地核实。反应釜、塔类等重要设备的定位直接影响到整个装置区域的框架结构, 利用三维可视化分析可以在初步设计阶段提前发现设备间距离不够、起吊路线不顺等情况。管线布置属于石化工程项目设计中的重中之重, 包含管线走向、支吊架布置以及应力分析等一系列繁琐的工作, 基于 BIM 的三维管线的设计可以快速进行自动路径计算、坡度设置以及碰撞检查等功能, 大大提高了设计的速度。

3.2 多专业协同设计与碰撞检测优化

多方协作是 BIM 技术的重要优势之一, 在石油化工行业里, 工艺、管道、结构、电气、仪表等多个专业围绕着同一个模型同时进行设计, 并利用协同平台来互通各自的设计要求。由一个统一的平台以及统一的数据中心作为支撑, 实现不同专业的信息实时更新共享, 使工艺和土建跨专业协同设计的效率提升了 30%。碰撞检测就是多方共同合作的技术环节。传统设计中的管线碰到结构梁或者设备抵住柱子的问题常常是在实际建设过程中才发现, 造成很大的浪费。而基于 BIM 进行的碰撞检测可以提前预知到所有的碰撞情况, 无论是硬性的还是有缝隙的。在 LNG 码头工程项目的实施过程中, 利用碰撞检测提前识别出图纸中的错误以及各专业的相互碰撞的情况, 系统直接出图率达到 75.3%, 节省了 30% 的设计用时, 在碰撞检测报告的基础上进行快速定位并整改闭合。针对石化装置工艺管道特有的复杂度对协同设计提出更高的需求, 高温高压管道热胀冷缩带来的变形以及震动管路的支吊架设置等问题都需要多个专业部门之间相互协作。借助 BIM

平台创建条件传输及核实制度保证设计变更能及时传递给涉及的所有相关专业。

3.3 工程量统计与施工模拟分析

利用 BIM 模型直接读取工程量数据是提高设计成果产值的关键方法之一, 在模型中设备、管道、阀门、仪表等各种构件都包含规格型号、材质、数量等属性信息, 可以一键生成出材表及工程量报表。相比于传统的手工录入, BIM 工程量统计更加准确高效并且可以追溯。施工模拟分析将 BIM 模型与施工进度计划结合在一起, 形成建造过程的实时动态的模拟效果。通过 4D 施工模拟可以看到各施工阶段的工作面状况以及找出施工中存在的矛盾点及工程所需的最大量等信息。针对化工装置上的大型设备吊装、重要管线安装等重要危险性施工, 在施工之前进行仿真模拟可以预估出吊装路线、可能发生碰撞的地方以及作业空间, 从而对施工方案的设计起到一定的参考作用。从安全生产角度来说, 通过三维模拟安全风险预评估可以发现高空作业、交叉作业等危险地方, 在施工前采取相应的保护措施。运用物联网传感器与 BIM 相结合的智能化安全防护系统, 利用在施工现场分布的传感器实时获取施工现场人员的位置信息, 并结合 BIM 模型中危险能量源的位置, 形成一个完整的防护区域。

4 基于 BIM 的石化工程数字化设计优化研究

4.1 设计效率提升优化

设计效率提升可以从三个方面着手: 一是参数化设计, 把设备、管道组件等标准化部件作为参数化族处理, 在改变参数的基础上迅速得到不同的规格型号, 从而省去反复建模的过程^[1]; 二是模型复用, 把以往项目的优秀设计方案变成能多次利用的模板以及模块, 同类装置的新增或扩建项目可以直接在此基础上进行拼装, 大幅度缩减初始建模的工作量; 三是自动化校验, 能够通过自动化检验手段降低人工检验的工作强度, 减少出错的概率。智能化校对软件基于预定机制对模型开展批量校验工作, 自动发现模型缺乏层次感、缺少属性信息、命名不统一等问题, 代替人工逐一核对。目前行业内正在进行着智能化协同设计变革。自动化出图能够完成设计要求的自动提取及传递, 代替了以往反复出图的有效劳动, 而智能设计也能够完成自动排管、构件智能化排布等工作。

4.2 工程质量控制优化

设计错误检测是最主要的设计质量控制优化目标。通过 BIM 模型可以构建设计规则核查引擎, 实现对模型自动化的规则检测^[2]。规则库包括行业标准、公司规定、项目需求等几个方面, 例如管间距最小值、设备净空距离、

阀门操作距离等。方案选择优化以 BIM 模型可以进行多种方案比较的功能,来对设备布局方案、管道排布方案等进行技术经济上的对比分析。各方案之间可以直接通过三维模型、工程量、性能参数等进行直观比较,从而给设计人员做出选择提供参考^[3]。施工可行性优化是指在设计时就要考虑到后期施工的可能性,在 BIM 模型中进行建设可行性分析,找出施工比较困难,造价较高的部分等。在模型审查阶段,施工方早期参与可以早些提出吊装条件、安装环境要求等施工条件,防止设计、施工相脱节。

5 结语

本文的研究主要针对以 BIM 为基础的石化工程建设数字化设计进行系统的阐述。从石油化工工程建设的特点以及 BIM 技术结合点出发建立数据层、平台层、应用层及协同层四个层次构成的数字设计体系框架,在重要应用方面,三维模型可视化设计将设备管道清楚展示出来并可对存在的空间碰撞问题进行提前预警;多专业的联合设计打破了各专业之间的信息孤岛,减少了设计失误对后期的影响。而在改进方面,参数化设计,模板的应用以及程序自动审核大大提高了工作效率,规则校验与多种方案对比选择保证了设计质量,成本预算管理以及物资节约达到了节能降耗的目的。根据业界经验,在石油化工行业中 BIM

的应用已经从单纯的建模转向了全寿命周期一体化管控。诸如中石化炼化公司,构力科技等企业已经证明以一个数据来源为基础的协同设计系统可以提高 25-35%的设计速度,并能降低 70%左右的现场返修次数;而随着 BIM 与 AI 相结合能够做到对方案的智能化生成及自动化调整, BIM 与数字孪生相融合将会构建起一条覆盖整个设计施工运维的大数据链路,国产自主 BIM 软件的完善也将从根本上保证行业的信息安全。石化行业的数字化建设正在迎来重要窗口机遇期,加大 BIM 技术的应用力度、打造数字化设计方式有利于石化行业的高质量发展。

[参考文献]

- [1]韩卫国.基于石油化工工程设计的数智化应用实践[J].炼油技术与工程,2025,55(7):1-4.
- [2]李超华.BIM 技术在石油天然气工程建设中的应用[J].化工管理,2023(35):44-47.
- [3]李汪灏,戈新锐.浅谈 PDMS/E3D 软件下的三维协同设计[J].山东化工,2023,52(20):215-218.

作者简介:唐晨鹏(1999—),男,汉族,河北省邢台市人,工程师,河北科技大学毕业,现就职于新地能源工程技术有限公司石家庄能源化工技术分公司,从事化工设计工作。