

基于 BIM 技术的石油化工泵区管道布置优化分析

周绍辉

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

【摘要】：随着石油化工行业的发展，泵区管道布置的合理性愈发关键。BIM 技术凭借其可视化、协同性等优势，为泵区管道布置优化提供了新途径。通过构建精确的三维模型，能直观呈现管道走向、设备位置等信息，精准检测碰撞冲突，优化管道路径，减少材料浪费与施工返工。研究表明，应用 BIM 技术能显著缩短设计周期、降低成本，为石油化工项目带来可观效益，在行业中具有广阔应用前景。

【关键词】：BIM 技术；石油化工；泵区；管道布置；优化分析

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.018

引言

在石油化工行业，泵区管道布置的科学性直接关乎生产安全与效益。传统二维设计方式在复杂工况下暴露出诸多弊端：不仅空间利用效率低下，难以实现立体化布局，而且管道碰撞问题频发，导致施工阶段频繁返工。BIM（建筑信息模型）技术作为新兴的数字化设计手段，通过整合建筑、结构、设备等多源信息，构建可视化三维模型，为解决上述难题提供了创新路径。深入探讨 BIM 技术在石油化工泵区管道布置中的应用，对提升行业设计精度与运营管理水平具有重大实践意义。

1 石油化工泵区管道布置现状及问题

1.1 管道空间布局的结构性矛盾

石油化工泵区的管道系统如同工业肌体的血管网络，承担着原料输送、产品转移等核心功能。随着装置规模扩大与工艺复杂度提升，管道数量呈几何级数增长，不同介质的输送管道在三维空间内相互交织。其中，高温高压管道与低温流体管道并行布置，腐蚀性介质管道与常规管道近距离交错，导致管道间距难以满足规范要求。部分区域因空间限制，管道间距仅能满足安装操作的最低标准，使得后续维护检修时，工作人员难以使用常规工具进行拆卸与检测，增加了设备故障排查的难度与安全风险。

1.2 跨专业设计协同的执行困境

石油化工工程涉及工艺、电气、仪表等多个专业领域，各专业设计人员在传统设计模式下往往独立作业。工艺专业侧重于管道流程的完整性，电气专业关注线路布局的安全性，仪表专业则强调监测设备的准确性。这种分散式设计导致管道设计方案在整合阶段矛盾频出。工艺管道预留的安装空间被电气桥架占用，仪表线路敷设路径与管道支架位置冲突，使得施工过程中频繁出现设计方案反复修改，不仅延误工期，还增加了工程成本与管理复杂度。

1.3 二维设计模式的局限性

传统二维设计图纸通过平面图、剖面图等多视图表达管道系统，但难以直观呈现复杂空间关系。设计人员需要在脑海中

进行三维重构，这种空间想象与实际施工存在较大偏差。管道标高冲突、阀门操作空间不足等问题，在二维图纸上仅能通过标注文字提示，缺乏空间感知的直观性。施工人员依据二维图纸施工时，常因对设计意图理解偏差，导致管道安装位置错误，进一步加剧了施工过程中的设计变更频率，影响工程质量与进度控制。

2 BIM 技术应用于泵区管道布置的实施流程

2.1 基础数据的系统性整合

BIM 模型构建的准确性建立在完整且精准的数据体系之上。项目团队开展工作时，首要任务是全面收集泵区工艺流程图、设备外形尺寸信息、建筑结构梁柱位置等基础资料。这些资料的完整性与精确性，直接决定着后续建模的质量。在收集工艺流程图时，需要深入到管道介质参数、操作压力等级等细节层面；对于设备参数，不仅要掌握外形尺寸，更要明确接口位置、安装方位等关键信息；建筑结构图纸则需详细标注梁柱节点构造细节。

2.2 三维模型的精细化构建

在构建泵区三维模型时，需借助 E3D、PDMS、SP3D 等专业 BIM 软件，按照 1:1 的真实比例进行操作。整个建模过程必须严格遵循 ASME、GB、SH、HG 等国内外权威设计规范，对泵、管道、阀门等设备开展参数化建模工作。以管道建模为例，需要精准设置管径、壁厚、保温层厚度等参数；阀门模型要如实反映其开启方向、操作方式；支架建模则需综合考虑承重类型、抗震等级等因素。为了便于后期对模型进行管理 & 优化，需要对模型进行分层分类。将工艺管道、公用工程管道、电气桥架等不同系统区分开来，这样在进行碰撞检测与方案优化时，能够更清晰地定位问题，提高工作效率。

2.3 全流程模拟与动态优化

当泵区三维模型搭建完成后，BIM 软件的碰撞检测功能将发挥重要作用。通过多轮次、多维度的冲突检查，确保模型的准确性与合理性。第一轮检测，主要排查管道与建筑结构之间的硬性碰撞，及时发现并解决空间占位冲突；第二轮检测聚焦

管道系统内部，查找管道之间的空间干涉问题；第三轮检测着重关注设备安装与操作空间是否合理，保障后续实际操作的可行性。针对检测出的碰撞点，需要采取一系列优化措施，如调整管道标高、改变管道走向、优化支架形式等，对方案进行迭代更新。利用 BIM 的 4D 施工模拟功能，将时间维度融入模型之中。通过模拟不同施工方案下的进度情况、资源消耗情况，进行对比分析，从而确定最优的施工顺序与工艺。这一过程能够有效减少现场交叉作业冲突，提高施工效率，保障项目顺利推进。

3 BIM 技术优化泵区管道布置的优势体现

3.1 可视化驱动的设计质量提升

BIM 技术通过三维可视化革新石油化工泵区管道设计。相比传统二维图纸，立体模型支持视角切换与模型漫游，配合剖切操作可直观呈现管道内部构造与设备连接细节，快速暴露潜在设计缺陷：如管道弯头密集增加输送阻力、阀门安装位置不便维护、管径过渡角度不合理引发湍流等。基于 BIM 的优化流程高效便捷，设计团队可直接修改模型参数，调整管道走向与设备布局，修改效果实时呈现，便于团队从多维度评估方案可行性。这种即时反馈机制显著降低设计失误风险，减少施工阶段变更。可视化模型也让业主摆脱图纸阅读障碍，直观理解设计方案，精准提出需求，加速设计决策进程。

BIM 软件（如 AVEVA E3D/PDMS, SmartPlant 3D, Revit）能自动检测硬碰撞（实体相交）和软碰撞（如安全间距不足、检修空间不足）。在设计阶段即可发现并解决管道与管道、管道与设备、管道与结构、管道与电缆桥架等之间的冲突，大幅减少现场变更和返工，这是 BIM 最直接的经济效益之一。

3.2 协同设计模式的效率革新

BIM 协同平台构建石油化工泵区管道设计高效协作体系。传统设计中各专业图纸分离、信息传递滞后，易引发设计冲突。而 BIM 以共享模型打破专业壁垒，实现多专业实时协同：工艺专业调整管道走向时，电气、结构专业可同步优化桥架布局与支架设计，避免空间碰撞与荷载隐患。平台版本管理功能自动留存修改痕迹，完整记录操作时间、人员及变更内容，形成可视化设计日志。透明化协作机制消除版本混乱风险，助力各专业在空间规划、设备定位阶段达成共识，大幅减少因专业冲突导致的设计返工，显著提升设计效率。

通过建立包含工艺设备、管道、管件、阀门、仪表、钢结构、建筑结构、电气桥架、暖通等所有专业的全专业、高精度三维模型，提供沉浸式、可视化的泵区整体布局，便于设计审查、方案比选和决策。各方能清晰理解设计意图和空间关系。

3.3 全生命周期价值的深度挖掘

BIM 技术在石油化工泵区管道全生命周期管理中优势显著。施工阶段，BIM 模型实现精准算量，其提取的工程量清单

涵盖管道规格、长度及连接件数量，指导工厂预制标准化管段，减少现场材料损耗，降低施工风险。预制件到场后，借助模型定位快速安装，有效缩短工期、提升质量。运营阶段，BIM 模型成为动态数字档案，设备信息与三维空间关联，便于维护人员快速调取技术资料，提升检修效率。通过仿真分析模拟管道在不同工况下的运行状态，为工艺优化和预防性维护提供数据支持，延长设备寿命，降低故障损失。

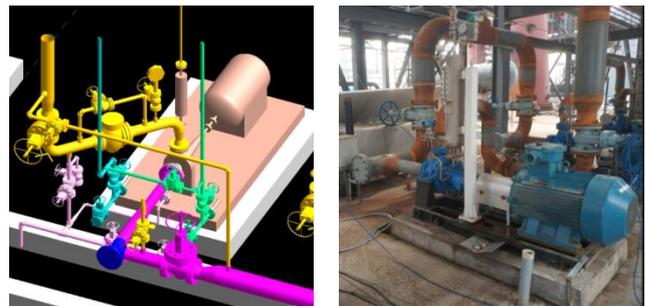
4 BIM 技术优化泵区管道布置的案例剖析

4.1 项目背景

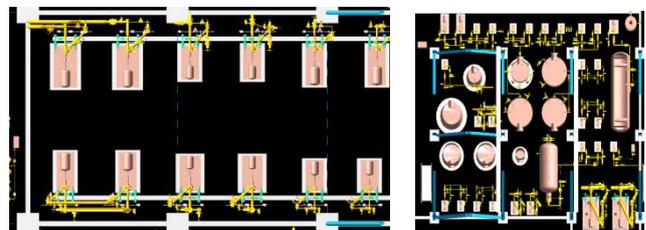
在山东某炼化一体化项目中，泵区工程面临着极为复杂的建设挑战。该区域不仅需要安装 30 余台大型机泵，还涉及近千米管道的铺设，不同工艺系统相互交织，而有限的空间资源更增加了施工难度。项目团队引入 BIM 技术作为核心管理手段，从机泵厂家返资、各阶段模型审查直至后续项目施工，在三维协同设计与可视化基础上，统筹碰撞检测与冲突解决、管道布置规则与规范符合性检查、管道应力分析、可操作性与维护性分析、材料统计与成本控制、数字化交付与资产管理。

4.2 优化应用

(1) 设备返资检查。通过前期建模规划，结合机泵厂家返资，确认机械密封冲洗的方位是否与泵出口管线走向冲突，发现冲突后协调厂家调至另一侧。

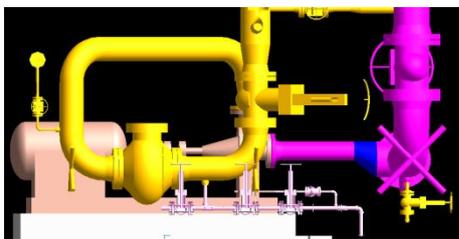


(2) 检修空间检查。充分考虑了泵维修检查所需的空間，使泵的管道、阀门手轮不影响其维修和检查。离心泵管道布置时，泵的两侧至少留出一侧作检修用；往复泵的管道布置，不妨碍活塞及拉杆的拆卸和检修；立式泵上方留有检修、拆卸泵所需的空間。

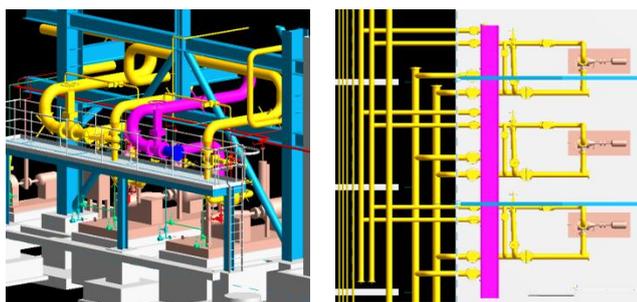


(3) 管道检查。泵入口变径管的安装使气体不在变径处积聚，避免因安装不当产生汽蚀。泵的水平入口管变径时，选

用偏心异径管。当管道从下向上水平进泵时，异径管用顶平，输送含有固体介质或者浆液时，水平管段上采用“底平”安装。



(4) 操作空间检查。机泵阀门高度 2m 至 2.5m 时移动平台即可满足操作需求，但高于 2.5m 时可规划固定平台满足安装及操作。装置外管墩上的泵管道，考虑阀门的操作及通行性，设置操作走廊式平台，阀门统一布置在操作走廊的两侧。



4.3 实施效果与效益分析

BIM 技术的应用为项目带来了显著的实施成效。在设计阶段，通过提前发现并解决潜在问题，大幅减少了设计变更的频次。施工过程中，优化后的方案与施工模拟保障了工程的有序推进，有效缩短了施工周期。在材料管理方面，借助 BIM 模型的精确算量功能，结合预制加工技术，降低了材料损耗，实现了成本的有效控制。进入运营阶段后，维护人员可以通过 BIM 模型快速定位设备与管道的具体位置，显著提高了故障排查和维修效率。这种全生命周期的应用模式，不仅确保了项目建设阶段的顺利实施，更为装置的长期稳定运行提供了有力支持。该项目的实践经验，为同类石油化工工程提供了可借鉴的 BIM 应用范例。

参考文献：

- [1] 李明.BIM 技术在石油化工管道设计中的应用研究[J].化工设计通讯,2023,49(5):112-114.
- [2] 王丽.基于 BIM 的石油化工工程管道综合优化设计[J].当代化工研究,2024,(8):35-37.
- [3] 张峰.BIM 技术在大型石油化工项目中的应用实践[J].石油化工建设,2022,44(3):56-59.

5 BIM 技术在泵区管道布置应用中的未来发展方向

5.1 多技术融合的智能运维体系

未来 BIM 技术将与物联网、大数据形成深度融合的技术矩阵，构建石油化工泵区管道系统的智能运维平台。在管道关键节点部署传感器网络，将压力、温度、振动等运行数据实时采集并同步至 BIM 三维模型，使虚拟模型与物理实体实现动态映射。借助大数据分析技术对海量运行数据进行深度挖掘，通过建立数据关联模型，能够敏锐捕捉管道运行参数的细微波动，识别异常趋势。结合人工智能算法，构建故障预测模型，从设备运行状态的历史数据与实时数据中分析潜在故障模式，提前制定针对性维护策略。

5.2 软件功能与协同效率的升级

BIM 软件技术发展将聚焦建模智能化与数据协同能力提升。软件开发商将开发基于规则的自动化建模工具，通过内置行业标准与设计规范，实现管道系统关键部件的自动生成与智能拼接，大幅降低人工建模工作量。针对石油化工项目数据体量大特点，持续优化模型轻量化技术，解决复杂场景下的数据加载延迟与系统响应缓慢问题。在行业生态层面，推动不同软件间的数据标准统一，建立开放的数据接口协议，确保设计阶段的三维模型数据能够无损传递至施工与运维环节。通过打破软件厂商技术壁垒，构建开放共享的 BIM 生态系统，实现设计方、施工方、运维方在同一数据平台上协同作业，提升全产业链的沟通效率与项目管理水平。

6 结语

BIM 技术在石油化工泵区管道布置优化中成效显著。通过三维可视化建模与碰撞检测，该技术精准解决了传统二维图纸难以发现的空间冲突、管线交叉等难题，使管道布置更科学合理。其附带的信息集成与协同管理功能，为项目规划、设计、施工到运维的全生命周期管理提供有力支持。未来，随着参数化设计、人工智能等技术的深度融合与持续创新完善，BIM 技术将在石油化工行业发挥更大作用，推动行业向数字化、智能化方向迈进，助力实现更高效、安全、环保的生产目标，为行业高质量发展注入新动力。