

# 石油化工管道设计项目质量控制与管理流程优化

董祥虎（上海河图工程股份有限公司武汉分公司，湖北 武汉 430200）

**摘要：**石油化工行业的管道系统可靠性是保障生产安全的关键，而管道设计项目的质量控制与管理流程优化是核心。通过分析石化管道设计阶段质量控制的关键要素，探讨当前项目管理存在的流程冗余、部门协同效率低、风险预警滞后等问题。结合精益管理与信息化技术，提出流程精简、构建协同机制、搭建数字监控平台的优化方案，可显著降低设计缺陷率、缩短工程周期，为石化安全生产提供有力保障。

**关键词：**石油化工管道；设计项目；质量控制；管理流程优化；数字化监控

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 034-0115-03

## Optimization of Quality Control and Management Process for Petrochemical Pipeline Design Projects

Dong Xianghu (Shanghai Hetu Engineering Co., Ltd. Wuhan Branch, Wuhan Hubei 430200, China)

**Abstract:** The reliability of pipeline systems in the petrochemical industry is the key to ensuring production safety, and the quality control and management process optimization of pipeline design projects are the core. By analyzing the key elements of quality control in the design phase of petrochemical pipelines, this paper explores the problems of process redundancy, low departmental collaboration efficiency, and lagging risk warning in current project management. By combining lean management and information technology, an optimization plan is proposed to streamline processes, establish collaborative mechanisms, and build a digital monitoring platform. This can significantly reduce the design defect rate and shorten the engineering cycle, providing strong support for petrochemical safety production.

**Keywords:** Petrochemical pipeline; Design project; Quality Control; Optimization of management processes; Digital monitoring

作为介质输送的核心载体，石油化工管道承担着原油、天然气等易燃易爆、有毒有害介质以及化工原料和成品的输送任务，其设计质量与企业生产安全、经济效益和环境安全有着直接的关系。近年来，随着石化行业向大型化、一体化方向发展，管道系统复杂度不断提高，设计工程在质量要求和管理上面临更高的挑战。据行业数据统计，约 30% 的石化安全事故源于管道选型不当、压力等级不匹配、安全距离不足等管道设计阶段的缺陷，而管理过程中的低效率又进一步导致了设计变更频繁、工程延期等问题的出现。因此，加强石化管道设计工程的质量管控，优化管理流程，成为业界迫切需要解决的重要问题。

### 1 石化管道设计工程质量控制的重点要素

石化管道设计工程质量控制贯穿整个设计周期，以下几个核心要素需要重点关注：

#### 1.1 设计标准与规范合规性控制

设计标准是管道设计的根本依据，必须保证设计方案严格按照国家、行业和企业内部的有关规范进行设计。首先，在设计初期，需要明确项目所适用的标准体系，如国内项目优先执行 GB 系列规范，涉外项目需同时符合国际标准要求，如 ASME、API 等；其次，针对特殊介质（如高温高压介质、腐蚀性介质），需要专项验证标准中的特殊规定，如高温管道热补偿设计

需符合 GB50316 中关于管道热应力计算、腐蚀性介质管道需符合材料耐腐蚀等级规定等要求；最后，建立设计标准校验清单，在方案审查、施工图设计等关键节点上进行合规性校验，避免设计缺陷因标准认识上的偏差而产生。

#### 1.2 材料选型质量控制

作为石化管道全生命周期安全运行的核心保障，材料选型需要构建系统性决策框架，兼顾技术适配性与全周期经济性。首先，要根据介质特性进行精确分类：输送原油和成品油的管道，需采用 Q235B 和 20# 碳钢材质，其优良的焊接兼容性与耐油腐蚀性能，可适配介质中蜡质、胶质及微量添加剂的长期作用；对含硫化氢、二氧化碳等酸性介质的气液混合输送管道，需按硫化氢分压分级选用经 NACE MR0175 标准耐蚀性验证的双相不锈钢（如 2205 型）或镍基合金材料，从源头规避应力腐蚀开裂、氢致开裂等风险。

其次，需要结合工况参数进行全面力学性能核算，严格依据 ASME B31.3 标准公式，综合设计压力、介质温度、腐蚀余量及管道敷设环境（埋地土壤应力、架空风载荷等），同时纳入输送启停冲击、介质流速冲刷等动态因素，对管壁厚度进行精确计算，必要时通过有限元模拟验证，确保静态与动态工况下安全系数均  $\geq 1.5$ 。

最后,建立三级审核与全流程管控机制:工艺专业主导选型方案编制,结合输送量明确材质优先级;材料专业通过理化试验、耐蚀模拟测试复核性能;安全专业开展失效模式分析(FMEA)排查风险。同时严格执行供应商准入,核查特种设备制造许可证、第三方检测报告及3年以上同类项目稳定供货业绩,同步实施生产过程监造与原材料入厂抽检,形成从选型、采购到安装使用的全链条质量追溯体系,筑牢管道安全运行的材料根基。

### 1.3 工艺参数及水力计算精度控制

工艺参数的准确性是保证石化管道高效、安全运行的要素。核心参数如流量、压力、温度等计算错误,可能造成管道传输效率低下,设备损坏,甚至引发安全事故。在工艺设计阶段,要严格按照生产装置的额定生产能力,对管道设计流量进行科学核算,精确平衡输送效率和系统阻力,避免因流量设计不当或生产瓶颈造成的能源消耗浪费。通过建立符合实际工作条件的流体力学模型,确保管路末端压力与设备进口压力需求的完全匹配,有效避免因压力不足而造成的输送中断或压力过大而造成设备压力过大的危险。针对复杂的多分支管线系统,需要通过流体网络分析技术系统验证各分支管线的流量分布情况。通过流量均衡计算和动态模拟,优化管线布局和管径选择,防止局部管线因流量分布不均造成超负荷运转,从而有效保障管网系统整体平稳运行。

### 1.4 安全防护设计质量控制

石化管道安全防护设计需从布局规划、风险防控到耐久性保障等多维度,构建系统防护体系。在管道空间规划阶段,要严格按照行业规范(如GB 50160),对管道与构筑物、设备之间的安全间距进行科学界定,形成物理隔离缓冲带,切实遏制事故连锁反应。针对高风险输送易燃易爆介质管道,构建“主动防御+应急阻断”双重安全机制:一方面,积聚电荷的风险通过静电接地网络排除;另一方面,准确配置安全阀(设置合理的泄放压力)、紧急切断阀(明确响应时间参数)等关键设施,并在施工图上详细标注技术参数和安装定位。在防腐蚀设计领域,建立环境-材料适配模型,灵活选用环氧煤沥青涂层(适用于埋地中等腐蚀环境)、3PE涂层(强腐蚀环境优选)等高性能防腐材料,或结合牺牲阳极、外加电流等阴极保护技术,根据土壤电阻率、介质腐蚀性等环境参数组成全生命周期防护屏障。明显增强管道结构的耐久性。

## 2 石化管道设计项目管理流程存在的问题

目前,大部分石化企业在管道设计项目管理过程中仍存在不少制约工程提质增效的痛点,主要表现在

以下几个方面:

### 2.1 流程冗余,环节衔接低效

传统的石化管道设计项目管理流程涵盖了多个环节,如方案设计、初步设计、施工图设计、设计评审、设计变更等,但有些环节的冗余非常显著。以评审流程为例,方案设计和初步设计阶段需要经过工艺、设备、安全等多个部门的审核,单个项目的评审平均耗时因缺乏统一的评审标准而延长15-20天。同时,各环节衔接存在沟通断层。方案设计与施工图设计衔接时,工艺参数调整、介质特性补充等关键信息常通过线下文档传递,易出现遗漏或理解偏差,进而导致施工图设计返工;设计变更环节更是缺乏闭环管理,变更申请提交后审批节点不透明,施工团队与设计团队的信息同步滞后,往往出现施工后才发现变更未落地的问题。此外,各环节数据分散在不同部门的独立文档中,缺乏统一共享平台,跨环节查询核对需反复沟通协调,进一步加剧了流程低效问题。

### 2.2 部门协同不足,信息孤岛严重

石化管道设计项目是一项高度复杂的系统工程,技术与智慧深度交织在工艺、管道、设备、电气、仪表、安全等多专业领域,各部门之间的高效协同是确保项目成功的核心要素。但目前行业内普遍存在“各自为政”的工作模式,各专业部门往往局限于自己的设计范畴,跨专业的沟通协作机制严重缺失。具体表现为:工艺部门在关键工艺参数确定后,缺乏及时有效的信息传递机制,导致管线部门在设计工作中依据滞后或数据不全,最终造成管线设计参数与实际工艺需求脱节。另外,各部门采用的设计软件和数据管理平台由于没有统一的标准,设计数据不能做到实时互动和共享,信息孤岛一个接一个地形成。这种信息障碍不仅使设计效率大幅降低,而且显著增加了设计出错的概率,使工程质量和进度存在潜在风险。

### 2.3 风险预警滞后,问题处理被动

在整个生命周期内,管道设计项目面临着系统性风险挑战,如标准迭代滞后、材料供应链断裂、设计动态调整等,而目前的管理流程存在重大的风险预警机制缺失。标准更新响应滞后:企业对行业标准没有建立完善的动态跟踪制度,导致设计规范升级的信息不能及时传递到项目组。在实际执行中,沿用旧版标准的设计方案时有发生,为工程的合规性埋下了隐患。物资供应风险失控:供应链风险管理存在漏洞,对关键指标如供应商产能波动、质量控制等缺乏前瞻性考核。当供应商出现产能瓶颈或质量缺陷时,极易因缺乏应急计划和替代采购计划而造成工程进度延误。设计流程监控缺位:现有的管理模式主要是被动应对,

缺乏基于数据驱动的风险预测和全流程的实时监控机制。设计问题大多是事后暴露出来的，没有及时通过前期的风险识别和动态纠偏加以解决，造成设计返工频繁，工程造价不断攀升。

### 3 石化管材设计工程管理流程优化策略

针对以上问题，结合精益管理思想和数字化技术，提出如下管理流程优化策略：

#### 3.1 精简流程环节，建立规范评审机制

一是进行设计流程的系统性诊断，对冗余环节通过价值流分析进行识别。重点做好方案设计与初步设计阶段评审环节的衔接，创新建立“初步设计综合评审”机制，对2-3项重复审批流程进行有效精简。其次，构建标准化评审管理体系。编制了《石油化工管道设计评审标准清单》，涵盖了全专业，明确了各职能部门的核心评审责任：工艺专业重点考核工艺参数的合理性和工艺优化；安全专业把风险防控措施和安全规范的符合性作为考试的重点；器材专业偏重器材接口的匹配性等等。通过划分职责矩阵，消除各专业之间的复习盲区和复检。最后，引入并联工程管理理念，基于BIM协同平台，构建在线评审体系。各专业团队可同步进行方案评审，利用系统内置的版本控制和即时通讯功能，实时互动并动态追踪评审意见，传统串行评审周期有望压缩40%以上。

#### 3.2 搭建跨部门协同平台，实现实时信息共享

以数字化技术为依托，构建跨专业部门的协同设计平台，将专业的设计软件和数据资源，如工艺、管线、设备等进行整合，实现设计数据的实时共享和同步更新。一是在平台内建立统一的设计数据库，对工艺参数、材料选型、管线布置等关键数据进行存储，各部可根据权限对数据进行实时调取和修改，避免出现信息孤岛；其次，设置实时沟通模块，设计人员可以通过平台发起跨部门沟通，及时解决设计过程中的协同问题，如管道部门发现工艺参数不合理时，可以在平台中直接发起反馈给工艺部门，工艺部门对参数进行及时调整，并同步到平台上进行沟通；最后，建立设计版本管理机制，自动记录设计方案的修改历史，保证各部门使用的设计版本一致，避免因版本混乱而出现设计失误。

#### 3.3 建设数字化监控平台，健全风险预警机制

利用物联网、大数据等技术搭建管道设计项目数字化监控平台，对工程进度的实时监控和预警，质量的实时监测和风险的预警实现。第一，在平台中设置关键节点监控模块，对方案设计、施工图设计、资料采购等各个环节的进度进行实时跟踪，当进度滞后于计划时，自动将预警信息发送给项目负责人；对二是

建立质量在线检测模块，在平台中嵌入设计标准与规范，由设计人员在完成设计后，自动对管道壁厚计算是否符合压力要求、安全距离是否符合规范等设计方案进行合规性检查，发现问题及时提示设计人员进行修改；最后，通过大数据分析历史项目数据，在设计过程中识别出高风险因素（如材料供应延迟、标准更新），并制定相应的预防措施，如当平台监测到某一材料供应商产能下降时，自动提示采购部门提前寻找备选供应商，避免材料供应中断；最后，通过大数据分析历史项目资料，建立风险预警模型，识别设计过程中存在的高风险因素，如：平台监控到某材料供应商产能下降时，自动提示采购部门提前寻找备选供应商，避免材料供应中断。

### 4 结束语

石化管道设计项目的质量控制与管理流程优化是一项系统工程，需要从设计标准合规性、材料选型、工艺参数精准性、安全防护设计等多方面加强质量控制，同时针对流程冗余、部门协同不足、风险预警滞后等问题，结合精益管理和数字化技术，加强质量控制。通过精简流程，搭建协同平台，健全风险预警机制，提高人员素质等策略，实现工程质量和效益双提升。今后，石化管道设计项目管理将随着智能化技术的不断发展，向智能化方向迈进，使管道设计的科学性、可靠性得到进一步提升。企业在技术创新和管理升级方面需要持续关注，不断完善适应行业发展需求的质量控制体系和管理流程。

#### 参考文献：

- [1] 杨祖佩, 艾慕阳, 冯庆善, 等. 管道完整性管理研究的最新进展 [J]. 油气储运. 2008,(7):1-5.
- [2] 祝玉华, 邓勇. 城市地下管线信息系统的建设与实现 [J]. 计算机与现代化. 2008(10):56-56.
- [3] 刘兆甲, 张文明, 焦万才, 等. 焊接工艺查询与管理系统设计 [J]. 电焊机. 2008(1):12-12.
- [4] 程仲元, 李翠云, 郭朝元. 中国管道数据模型 [J]. 中国勘察设计. 2006(10):46-48.
- [5] 李强林. 石油化工工艺管道安装工程施工管理的问题及处理策略 [J]. 石化技术, 2021(08):23-24.
- [6] 屈勇舟. 关于石油化工工艺管道安装质量控制的思考 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020(13):29-30.
- [7] 李悦, 陈超. 信息化管理在石油化工项目管道预制中的应用及未来发展 [J]. 石油化工建设, 2021, 43(3):5-5.
- [8] 邵宇, 黄佳民, 岑旭江. 石油化工装置工艺管道设计的合理性研究 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(1):4-4.