化工设计与安全评价对化工安全生产的影响

周 伟 申亚伟 马 亮 马吉祥 陈 杨
新疆丝路新能源开发有限公司 新疆 霍尔果斯 835221

摘 要：化工设计与安全评价是化工安全生产的关键基石。化工设计涵盖工艺流程、厂区布局及管道仪表控制等要素，设计缺陷将引发工艺失控、设备隐患及布局风险。安全评价通过预先危险性分析、安全检查表法等手段，精准识别高危环节并提出控制措施，动态管理确保风险可控。二者协同可源头减少隐患、降低改造成本，但当前面临设计人员安全意识薄弱、评价流于形式及法规滞后等挑战，需强化培训、推广智能评价并完善法规体系以提升协同效能。

关键词：化工设计；安全评价；化工安全生产；影响

引言：化工行业因其生产过程的高危险性与复杂性，安全生产始终是重中之重。化工设计作为生产系统的构建蓝图，从工艺流程规划到设备选型布局，每一步都深刻影响着安全根基；而安全评价则通过科学方法，精准识别潜在风险，为防控提供指引。二者相辅相成，若设计忽视安全考量或评价流于形式，都将埋下事故隐患。因此，深入探讨化工设计与安全评价的协同作用，对提升化工安全生产水平具有关键意义。

1 化工设计与化工安全生产的关联性分析

1.1 化工设计的基础要素

（1）工艺流程设计是核心基础，涵盖反应条件设定、物料配比计算及设备选型适配三大关键。反应条件需精准把控温度、压力等参数阈值，物料配比直接影响反应稳定性，设备选型则需匹配工艺特性，三者共同决定生产流程的安全基线。（2）厂区布局设计聚焦安全与效率的平衡，包括功能分区划分（生产区、储存区、辅助区等）、安全间距预留（符合危险品隔离规范）及物流路径规划（避免人流物流交叉），合理布局是阻断风险扩散的重要物理屏障。（3）管道与仪表控制系统是过程管控核心，DCS（分布式控制系统）实现生产参数实时监控与调节，SIS（安全仪表系统）针对关键风险点设置联锁保护，二者协同保障工艺过程稳定可控，降低人为操作失误风险。

1.2 设计缺陷对安全生产的潜在风险

（1）工艺参数失控风险显著，若设计阶段未精准设定温度、压力等参数的安全阈值，或未设置有效的超限预警机制，易引发反应失控、物料分解等事故，进而导致火灾、爆炸等连锁灾害。（2）设备选型不当留下安全隐患，如针对腐蚀性物料选用普通材质设备、密封结构设计不合理等，会导致设备腐蚀泄漏、物料跑冒滴漏等问题，不仅影响生产连续性，还可能引发中毒、燃爆等安全事故。（3）布局不合理加剧风险危害，若功能分区混乱、安全间距不足，一旦发生物料泄漏，易导致风险快速扩散蔓延；物流路径交叉、应急通道狭窄等设计缺陷，还会阻碍应急救援开展，扩大事故损失[1]。

1.3 设计阶段的安全优化策略

（1）践行本质安全设计理念，遵循替代（低毒替代高毒物料）、简化（精简复杂工艺环节）、缓和（降低反应剧烈程度）、最小化（减少危险物料存量）四大原则，从源头降低风险等级。（2）推广HAZOP在设计中的应用，组织多专业团队对工艺流程、设备布局等设计方案进行系统性分析，识别潜在偏差及风险，针对性优化设计方案，提前规避设计缺陷。（3）运用数字化仿真技术辅助设计，如通过CFD（计算流体力学）模拟物料泄漏后的扩散路径与范围，据此优化厂区布局及应急疏散路线；借助工艺仿真验证参数设置合理性，提升设计方案的安全性与可靠性。

2 安全评价在化工生产中的作用机制

2.1 安全评价的核心内容

（1）预先危险性分析（PHA）是安全评价的前置性核心环节，主要应用于化工项目规划、设计初期。通过对工艺路线、设备选型、物料特性等基础要素进行系统性梳理，识别潜在的危险有害因素，划分风险等级，预判可能引发的事故类型及后果，为后续设计优化和风险防控提供早期依据，从源头规避重大安全隐患。（2）安全检查表法（SCL）是兼具通用性与针对性的评价手段，依据化工行业安全法规、标准规范及企业生产经验，制定涵盖设备运行、工艺操作、厂区布局等多维度的检查清单。通过逐项核查的方式，精准发现生产过程中存在的违规现象、设备缺陷及管理漏洞，为现场安全整改提供明确方向[2]。（3）定量风险评价（QRA）与LOPA分析是精细化风险管控的关键工具。QRA通过量化计算事

故发生概率及后果严重程度，科学评估风险等级；LOPA（保护层分析）则聚焦于现有安全保护层的有效性，识别薄弱环节，为后续补充防护措施提供数据支撑，助力企业实现精准化风险防控。

2.2 安全评价对生产安全的直接影响

（1）精准识别高危环节与薄弱点是安全评价的核心价值之一。通过多方法、全维度的评价分析，能够锁定化工生产中反应剧烈的工艺环节、易燃易爆物料储存区域、高腐蚀环境下的设备等高危部位，同时排查出管理流程中的漏洞、操作规范中的盲区等薄弱点，为风险防控明确重点方向。（2）针对性提出风险控制措施，形成全方位防控体系。基于评价发现的风险隐患，从工程技术、管理机制、应急响应三个维度制定解决方案：工程控制聚焦设备升级、工艺优化等硬件改造；管理措施侧重制度完善、人员培训、责任落实等软件建设；应急预案则针对可能发生的事故，明确处置流程、责任分工及资源保障，提升应急处置能力[3]。（3）保障企业生产经营符合法规标准要求。安全评价是《安全生产法》《危险化学品安全管理条例》等相关法规明确规定的强制性要求，通过规范的安全评价工作，企业能够及时发现并整改违规问题，确保生产流程、设备设施、管理体系等符合法定标准，规避合规风险，保障生产经营合法有序。

2.3 安全评价的动态管理

（1）建立定期复评与更新机制，适配生产环境动态变化。化工生产过程中，工艺参数调整、物料替代、设备改造等都会产生新的安全风险，因此需结合生产实际制定定期复评计划，同时在发生重大工艺变更或新风险识别后及时开展专项评价，更新评价结果和风险控制措施，确保安全评价的时效性和针对性。（2）构建与SIS（安全仪表系统）的联动机制，提升风险防控协同性。安全评价结果为SIS的设计、调试及运维提供核心依据，通过评价明确SIS的防护目标、联锁逻辑及性能要求；同时，SIS的运行数据可反哺安全评价工作，为复评时的风险等级重新判定、防护措施有效性评估提供数据支撑，形成“评价-防控-反馈-优化”的闭环管理体系。

3 化工设计与安全评价的协同效应

3.1 设计阶段融入安全评价的必要性

（1）从源头减少安全隐患，筑牢本质安全基础。化工生产的危险性贯穿全流程，设计阶段是风险防控的关键源头。将安全评价融入设计初期，可通过预先危险性分析等手段，提前识别物料、工艺、设备中的潜在风险，进而通过本质安全设计策略规避隐患，如优先选用低毒低害物料替代高危化学品、采用封闭式工艺减少物料泄漏途径，从根本上降低事故发生概率，提升生产系统的固有安全性。（2）显著降低后期改造成本，提升项目经济性。化工项目建成后，设备布局、工艺流程等核心环节的调整需耗费巨额资金，且可能导致生产停滞。若设计阶段忽视安全评价，易出现“先天不足”的安全缺陷，后期为满足安全要求需进行大规模改造，不仅增加投资成本，还会影响项目进度。设计与安全评价协同可提前发现并解决问题，避免后期补救性改造，实现安全与效益的平衡。

3.2 协同实施路径

（1）推行并行工程模式，强化跨团队深度协作。打破设计团队与安全评价团队的壁垒，建立同步工作机制，让安全评价人员全程参与设计流程。在工艺流程规划、设备选型、厂区布局等关键环节，双方共同研讨方案，安全团队实时提供风险评估意见，设计团队针对性优化方案，确保安全要求贯穿设计全流程，避免设计与安全评价脱节。（2）应用QFD（质量功能展开）实现安全需求转化。将化工生产的安全法规要求、风险防控目标转化为具体的设计参数和技术指标，通过QFD矩阵明确安全需求与设计要素的对应关系，确保设计方案精准响应安全要求。例如，将“降低有毒物料泄漏风险”的需求，转化为设备密封等级、管道材质选择等具体设计指标，提升协同的精准性[4]。（3）依托数字化工具构建集成协同平台。借助AspenPlus等工艺模拟软件与安全评价系统的集成，实现数据共享与联动分析。工艺模拟生成的反应参数、物料特性等数据可直接为安全评价提供支撑，安全评价发现的风险隐患可反馈至模拟系统进行方案优化验证，通过数字化手段提升协同效率，实现设计方案与安全评价的动态适配。

3.3 典型案例分析

（1）成功案例：某精细化工企业在新建生产线项目中，采用设计与安全评价协同模式。安全团队提前介入，通过HAZOP分析识别出硝化工艺的温度失控风险，设计团队据此优化工艺流程，增设双重温度监测与联锁系统，并选用耐高压设备。项目建成后，多次通过安全复评验证，未发生重大安全隐患，实现稳定生产，印证了协同模式的有效性。（2）失败案例：某化肥企业扩建项目中，设计阶段未融入安全评价，未识别出合成氨装置与储罐区的安全间距不足问题。生产过程中，因设备腐蚀泄漏引发氨气扩散，受间距限制导致火势快速蔓延至储罐区，引发爆炸事故，造成重大人员伤亡和财产损失。事后调查表明，若设计阶段开展安全评价，该布局缺陷可及时发现并整改，此次事故完全可避免。

4 化工设计与安全评价协同推进的当前挑战与改进策略

4.1 现存问题

（1）设计人员安全意识薄弱，存在“重效率轻安全”的认知偏差。部分化工设计人员将项目进度和成本控制作为核心目标，忽视安全设计的核心地位，对安全评价意见重视不足，甚至为压缩工期简化设计流程，省略必要的风险防控设计环节。这种认知偏差导致设计方案存在先天安全隐患，为后续生产安全埋下重大风险，也制约了设计与安全评价的有效协同。（2）安全评价流于形式，难以发挥实际风险防控价值。当前部分安全评价工作存在评价方法单一的问题，多依赖传统的安全检查表法，缺乏定量风险评价、HAZOP分析等精细化手段的应用；同时，部分评价机构为抢占市场，存在数据失真、结论模糊等乱象，未深入核查设计参数、物料特性等核心数据，仅简单套用模板完成评价报告，无法精准识别风险，导致安全评价与设计实践脱节。（3）法规标准滞后于技术发展，存在监管空白地带。随着化工行业新材料、新工艺、新设备的快速迭代，现有法规标准难以同步覆盖相关领域，出现监管滞后问题。例如，部分新型高性能化工材料的危险性评估标准缺失，新型连续化生产工艺的安全设计规范不完善，导致设计与安全评价工作缺乏明确依据，难以精准把控新兴技术应用中的安全风险。

4.2 改进方向

（1）强化设计人员的安全培训与资质认证。建立常态化安全培训体系，重点开展本质安全设计理念、典型事故案例、安全评价核心方法等内容的培训，提升设计人员的安全认知水平；完善设计人员资质认证制度，将安全设计能力纳入资质考核核心指标，实行“安全资质一票否决制”，倒逼设计人员重视安全设计环节，筑牢协同基础。（2）推广基于大数据的智能安全评价系统。依托化工行业大数据平台，整合工艺参数、物料特性、事故案例等多维度数据，构建智能安全评价模型；引入机器学习、人工智能技术，实现风险隐患的自动识别、精准量化及动态预警，替代传统单一的评价方法，提升安全评价的科学性与高效性，同时保障评价数据的真实性与可靠性。（3）完善法规标准体系，加强国际先进标准借鉴。加快修订滞后于技术发展的法规标准，针对新材料、新工艺制定专项安全设计与评价规范；积极引入ISO45001职业健康安全管理体系等国际先进标准，结合国内化工行业实际优化调整，构建覆盖全领域、全流程的法规标准体系，为设计与安全评价协同提供明确的制度依据。（4）建立设计-评价-生产全生命周期管理平台。整合设计数据、评价报告、生产运行数据等核心信息，构建一体化管理平台，实现各环节数据实时共享与联动追溯。设计阶段的方案可通过平台直接对接安全评价系统，评价结果同步反馈至设计环节优化调整；生产过程中的风险数据反向支撑设计与评价的迭代优化，形成全生命周期的闭环管理，提升协同效能。

结束语

化工设计与安全评价作为化工安全生产的两大核心支柱，前者从源头构建安全基因，后者以科学手段筑牢风险防线。二者深度协同不仅能从本质上降低事故概率、减少后期改造成本，更能推动行业向智能化、标准化方向发展。面对当前设计安全意识薄弱、评价方法滞后等挑战，唯有强化全流程协同管理、完善法规标准体系、推广数字化技术，才能实现化工生产“零事故”目标，为行业高质量发展提供坚实保障。

参考文献

[1]蔡建华.浅谈化工设计与安全评价对化工安全生产的重要影响[J].当代化工研究,2022(8):103-105.

[2]吴娉,徐唯唯.分析化工设计与安全评价对化工安全生产的不良影响[J].化工管理,2022(33):107-108.

[3]徐长通,赵大伟.研究化工设计与安全评价对化工安全生产的影响[J].石油石化物资采购,2021(13):120-121.

[4]王仕勇.化工工艺设计与安全评价对安全生产的影响分析[J].化工设计通讯,2023,49(06):141-143.