

工程伦理视角下化工事故的成因分析与治理路径 ——以宁夏“12·02”气体闪爆事故为例

徐硕^{1,2}, 于雪³, 赵劲松^{1,2*}

1. 清华大学 化学工程系, 北京 100084;

2. 清华大学 化学工程与低碳技术全国重点实验室, 北京 100084;

3. 大连理工大学 人文学院, 大连 116024

摘要: 以2024年宁夏“12·02”气体闪爆事故为案例, 基于工程伦理学的四个重要理论——后果论、义务论、美德论与权利论, 系统分析了化工事故中个体、组织及行业层面的伦理失范现象及其对事故的催化作用。研究表明, 事故的根本原因不仅在于技术缺陷和管理漏洞, 更在于多重主体对短期效益的过度追求、职业责任履行的层级缺失、职业美德的匮乏以及对工人安全权与知情权的漠视。针对这些问题, 研究提出了包括后果评估系统化、规则刚性化、美德培育强化和权利保障完善等多维度的化工安全管理体系优化建议。研究指出, 只有将伦理原则全面融入技术决策、制度执行与文化塑造的全过程, 才能推动化工安全管理从“合规导向”向“伦理自觉”的根本转变。本研究在一定程度上弥补了传统事故分析视角的局限, 为行业可持续发展和“以人为本、生命至上”的安全生产体系提供了理论参考与实践指导。

关键词: 工程伦理; 化工事故; 安全管理; 伦理治理; 职业安全

中图分类号: B82-057; X92; TQ08

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(XXXX)XX-0001-13

引言

化学工程作为我国重要支柱产业, 2023年全行

业营业收入占全国规模以上工业企业总收入的12%, 在国民经济中占据重要地位^[1]。然而, 该行业生产过程中普遍存在高温高压、易燃易爆、有毒有害等危险

收稿日期: 2025-05-18; **修回日期:** 2025-06-09

作者简介: 国家重点研发计划: 石油裂化装置动态安全风险评价与主动防控技术及装备 (2024YFC3013600)

作者简介: 徐硕 (2001—), 男, 博士研究生, 研究方向为化工安全管理。E-mail: xus23@mails.tsinghua.edu.cn

于雪 (1989—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为科技哲学与科技伦理学。E-mail: yuxue@dlut.edu.cn

*赵劲松 (1969—), 男, 博士, 教授, 研究方向为化工安全风险、知识管理与人工智能技术。E-mail: jinsongzhao@tsinghua.edu.cn (通讯作者)

引用格式: 徐硕, 于雪, 赵劲松. 工程伦理视角下化工事故的成因分析与治理路径——以宁夏“12·02”气体闪爆事故为例[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250068.. CSTR: 32282.14.JES.20250068

Xu Shuo, Yu Xue, Zhao Jinsong. Generation Causes and Governance Paths of Chemical Accidents from the Perspective of Engineering Ethics: A Case Study of the Ningxia "12·02" Gas Flash Explosion[J]. Journal of Engineering Studies, DOI:10.3724/j.issn.1674-4969.20250068.. CSTR: 32282.14.JES.20250068

特性,使其长期位列安全生产事故高发领域^[2]。我国化工企业秉持“以人为本”的发展理念^[3],持续增加生产安全投入,但事故隐患仍未彻底消除。数据显示,2023年化工行业共发生生产安全事故115起,导致159人遇难^[4]。尽管近年来全国化工事故数量呈下降趋势,但部分重大事故仍时有发生,不仅造成人员伤亡和财产损失,更对社会稳定和公众信任产生影响。

化工生产过程的高风险特性决定了安全管理在企业运营中的核心地位^[5]。作为指导工程技术实践的价值准则,工程伦理在化工安全管理中发挥着关键作用。通过强化伦理意识、内化伦理规范和完善安全文化,企业能够从源头上降低安全事故发生的风险^[6]。同时,从事事中总结经验教训并推动伦理自治,是实现化工安全管理模式转变的重要途径。

然而,当前针对化工事故的分析多聚焦于技术缺陷和管理漏洞,对工程伦理的讨论仍显不足。通过案例研究揭示化工事故中伦理失范的具体表现并提出改进建议,不仅能弥补传统分析方法侧重技术与管理的局限,还可为构建“以人为本、生命至上”的安全生产体系提供理论与实践支持。2024年12月2日,宁夏某化工公司发生气体闪爆事故,造成2人死亡。事故直接原因是可燃气体在布袋除尘器内聚集后因违章作业引发爆炸,间接原因涉及安全管理失职、制度执行不到位及操作人员判断失误等^[7]。该事故反映出化工安全管理中从个体操作、组织决策到行业监管等多层面的伦理问题,为从工程伦理视角审视化工事故提供了典型案例。

本文采用案例分析法,以宁夏“12·02”事故为研究对象,综合运用后果论、义务论等工程伦理理论工具,从个体行为、组织文化和行业监管等多维度展开伦理批判。通过系统剖析事故全过程,本文不仅揭示了事故背后的伦理失范根源,还在理论分析的基础上,提炼出具有普遍指导意义的伦理治理路径。具体而言,以事故为切入点,结合伦理理论框架,研究归纳出后果评估系统化、规则刚性化、美德培育常态化及权利保障机制化等多维治理措施,为化工企业从“注重合规”向“伦理自觉”转型提供路径指引。研究遵循“问题识别-理论分析-对策提出”的逻辑主

线,旨在系统阐释事故成因并科学构建防范策略,为化工行业安全管理提供新的理论视角与实践路径,促进安全文化建设,助力行业可持续发展。

1 理论基础与文献综述

工程伦理是研究工程师及其他工程实践主体在工程活动中应遵循的道德原则和行为规范的学科^[8]。其核心在于通过道德约束确保工程活动将公众的安全、健康和福祉置于首位,同时协调工程实践中的各方利益关系,避免因技术滥用、利益冲突或责任缺失引发的安全、社会或环境问题。作为职业伦理与社会伦理的交集,工程伦理涵盖技术决策中的价值判断、责任划分及道德困境的解决。在工程活动中,后果论、义务论、美德论与权利论是影响伦理判断的重要理论^[9]。

后果论以行为结果为核心评判其道德性,认为行为的对错取决于能否最大化整体利益或最小化损害;义务论则强调行为必须遵循既定义务与规则,不以结果为导向;美德论着眼于行为者的内在品德而非具体行为或结果,主张通过培养职业美德达成道德完善;权利论以保障个体及群体的基本权利为要义,要求在工程实践中确保公众的项目风险知情权、工人的安全防护权以及用户的隐私权等。

在化工安全研究领域,现有文献主要从技术、管理和制度三个维度探讨事故成因及预防对策。技术层面研究集中于工艺改进、设备升级和自动化控制^[10-12];管理层面研究侧重安全管理流程、风险管控和应急响应^[13-15];制度层面研究则聚焦法律法规、标准规范和监管机制^[16-18]。然而,现有研究对工程伦理在化工安全管理中的作用关注不足。虽已有部分研究从伦理角度分析化工事故^[19-21],但对伦理失范的具体表现及其影响机制的探讨仍不够系统和深入。为此,本文基于四个重要工程伦理学理论,系统分析宁夏“12·02”事故中的伦理失范现象及其作用机制,并提出针对性改进建议,以弥补传统事故分析中伦理规范研究的不足,推动化工行业安全管理的“伦理自觉”进程。

2 案例背景：宁夏 12·02 事故概述^[7]

宁夏某化工公司是一家主营合成氨、碳酸氢铵生产的私营化工企业。2024 年 12 月 2 日，该公司造气车间吹风气余热锅炉工段布袋除尘器区域发生气体闪爆事故，导致 2 人死亡，直接经济损失达 302 万元。事故前，公司虽计划对布袋除尘器箱体漏点进行维修，但因安全措施未落实，相关作业审批未获通过。当日，车间副主任陈某某在既未制定维修方案，又未完成气体置换且未办理特殊作业票证的情况下，擅自组织维修作业，最终引发事故。

2024 年 11 月 29 日，公司经理徐某某在调度会上部署了布袋除尘器维修及保温作业。12 月 1 日，因气体置换未完成，安全作业证未能获批。12 月 2 日 8 时 30 分，造气车间副主任陈某某在无施工方案、未经审批的情况下，擅自带领维修班班长王某等 3 人进行堵盲板作业。9 时 20 分完成堵盲板作业后，陈某某与王某登上布袋除尘器顶部拆卸盖板螺栓，造气车间副主任何某某在现场协助。9 时 34 分，布袋除尘器内未完全燃烧的可燃气体（主要含一氧化碳）浓度达到爆炸极限，因铁质工具操作产生的火花或静电引发爆炸。箱体顶部盖板被掀翻，陈某某、王某从 13m 高处坠落，经抢救无效死亡。事故直接原因是操作工殷某为提升燃烧炉温度，擅自大幅调减送风量，致使可燃气体燃烧不充分并积聚于布袋除尘器内；维修人员在未完成气体置换、未检测浓度的情况下，违规使用铁质工具作业，引发闪爆。间接原因包括：未制定检维修作业方案，违规开展检维修作业；岗位人员履职不到位，未能有效制止违章作业；异常工况应急措施不

完善，操作人员违规操作设备，以及监管部门监管不力等。

陈某某（车间副主任）与王某（维修班长）对违章作业负有直接责任，因已死亡免予追究；分管副经理李某、安全总监赵某某、安全科长李某某因未履行岗位安全职责，涉嫌犯罪，建议移送司法机关追究刑事责任；公司经理徐某某等 7 名管理人员受到罚款、吊销安全资格证书等处罚；涉事企业被处以 95 万元罚款。

3 工程伦理视角下的事故成因分析

在进行具体事故成因分析前，有必要先明确本文采用的分析框架。如图 1 所示，本研究基于后果论、义务论、美德论与权利论构建了多层次事故成因分析框架。该框架不仅关注个体行为层面的伦理失范，还系统性地考察了组织决策与行业监管层面的伦理问题，从而为全面理解化工事故的生成机理提供理论支撑。后果论着重分析决策者对短期效益的过度追求与系统性风险后果的低估；义务论重点检视职业责任履行和制度执行中的失守问题；美德论聚焦从业人员职业品格与伦理素养的缺失；权利论则揭示工人安全权与知情权在事故中被忽视或剥夺的现象。借助这一框架，能够超越传统技术分析视角，深入挖掘事故背后的伦理根源。

3.1 后果论视角：效益优先与风险忽视的代价

后果论认为，行为的道德性取决于其能否实现利益最大化或损害最小化。在宁夏“12·02”事故中，



图1 工程伦理视角下的事故成因分析框架
Figure 1 A framework for analyzing the causes of accidents from the perspective of engineering ethics

个体、组织和监管层面的决策均不同程度地反映出对短期效益的过度追求，以及对系统性风险后果的严重低估，这些决策失误最终导致了事故的发生。

首先，个体操作层面存在功利性风险取舍。事故的直接原因是操作工殷某为提升燃烧炉温度，擅自将配风量从三格调减至半格^[7]。该行为以“提高生产效率”为目的，但仅关注工艺参数的短期优化（燃烧温度提升），而忽视了对可燃气体燃烧不充分的风险评估。事故报告显示，送风量骤减导致一氧化碳等可燃气体在布袋除尘器内积聚，使其浓度达到爆炸极限。这种以局部效率优先取代整体安全考量的决策模式，实质上违背了后果论“最小化损害”的核心原则。

其次，组织管理层面缺乏系统性的后果评估机制。后果论强调对决策的长期、多维影响进行全面预判，但企业在本次检维修作业中完全割裂了作业流程与风险后果的关联。管理层虽于12月1日因气体置换未完成而驳回检维修申请，却在次日（12月2日）纵容无方案、无审批的违章作业^[7]，暴露出组织决策中风险与效益的权衡机制存在严重缺陷。事故报告显示，企业既未制定详细的检维修方案，也未健全异常工况下的应急措施^[7]，致使作业人员对布袋除尘器内可燃气体体积聚的潜在危害缺乏基本认知。这种以“抢工期降成本”为导向的决策模式，实质上将经济成本最小化凌驾于生命安全价值之上，构成了后果论视角下的伦理失范。

最后，监管层面的安全效益被忽视。后果论强调行为对公共利益的影响，事故暴露出监管部门执法宽松、处罚乏力的问题。2023—2024年间，监管单位虽多次检查企业，却极少要求整改或实施处罚^[7]，致使企业形成“违规成本低于合规成本”的侥幸心理。这种监管失守，本质上是将区域经济、行政效率等短期目标置于工人生命安全与行业安全生态等长期社会效益之上，违背了后果论“最大多数人最大幸福”的伦理原则。

从后果论视角审视，此次事故本质上是多重主体在风险与效益的权衡中陷入“短期主义”^[22]陷阱：操作工追求工艺参数即时达标，管理层默许违章作业以降低成本，监管部门规避严格执法来维持区域经济表象。这种逐级传导的伦理判断偏差，使得可燃气体

积聚的物理风险与制度失效的社会风险产生叠加效应，最终导致系统风险超出承受范围而引发事故。后果论所强调的“最大多数人最大幸福”原则，在此异化为对局部利益的算计，暴露出化工安全管理中价值排序的深层危机。

3.2 义务论视角：职业责任与制度执行的失守

义务论强调道德义务的绝对性，主张行为正当性源于对既定规则 and 责任的履行。在宁夏“12·02”事故中，个体、组织与监管层面的职业责任断裂与制度执行失效，共同构成了义务论视角下的伦理失范，成为事故的深层诱因。

个体层面的职业义务背离是事故的直接触发点。从义务论视角看，从业人员应当严格履行岗位职责，即使面对效率压力或操作便利的诱惑，也应优先遵守安全规程。然而，事故中造气车间副主任陈某某在明知气体置换未完成、特殊作业票证未办理的情况下，仍然擅自组织维修作业，明显违背了《危险作业安全管理制度》的强制性规定^[7]。作为技术管理人员，陈某某的决策不仅违背了化学工程师“将人的生命安全与健康置于首位”的伦理准则^[23]，更在明知存在风险的情况下，以投机操作取代制度约束。此外，操作工殷某为提升炉温擅自大幅降低送风量，同样违反了岗位操作规程^[7]，暴露出其对职业义务的漠视。义务论强调的道德责任原则未能得到贯彻，反而因简化操作的侥幸心理，致使安全操作规程流于形式。

组织层面的制度执行义务消解放大了个体失范的风险。根据义务论，企业应通过制度设计确保责任链的闭环运行，但宁夏某化工公司的管理体系呈现出明显的义务履行断裂。尽管公司已建立《设备检维修安全管理制度》等文本规范，但在执行层面仍存在系统性失效：安全总监赵某某、安全科长李某某在12月1日已驳回未达安全条件的维修申请，却在12月2日默许无审批作业；分管副经理李某直接参与违章作业却未履行监管职责^[7]。这种“制度文本”与“实践操作”的割裂，暴露出组织义务履行的双重标准——将制度作为免责工具而非行动指南。义务论所要求的“绝对义务”并未体现，使得安全审查程序沦为形式，最终导致风险管控防线全线失守。

监管层面的公共安全守护义务缺位构成事故的体制性诱因。根据要求,监管机构应严格履行法定职责。然而,事故发生前,监管单位虽多次检查企业并发现很多问题,却仅要求过一次整改^[7],表现出“重检查、轻处罚”的监管惰性。根据义务论的宗旨,监管部门的核心义务在于通过执法威慑维护行业安全秩序,但实际监管中却将“督促整改”在一定程度上异化为“妥协纵容”,这种义务履行偏差削弱了安全制度的权威性,使得企业安全文化逐渐侵蚀,最终酿成悲剧。

从义务论视角审视,此次事故的本质是职业责任体系的层级坍塌:个体违反操作规程的“义务逃避”、组织消解制度刚性的“义务虚化”、监管弱化执法效力的“义务妥协”,三者共同作用,形成了伦理失范的链条。这一过程深刻揭示了化工安全管理中义务伦理的实践困境——当职业责任让位于效率偏好、制度执行屈从于成本考量时,再完善的技术防护也难以抵御系统性伦理失效的冲击。

3.3 美德论视角:职业美德的缺失

美德论强调行为者内在品德与职业美德的塑造,认为工程师及从业人员应通过培养审慎、责任、诚实等道德品格,实现技术实践中的道德卓越。宁夏“12·02”事故中,个体与组织层面的职业美德缺失,成为了事故的深层诱因。

个体层面的审慎美德缺位是事故的直接触发点。根据美德论,从业人员应当在复杂作业环境中保持“实践智慧”(phronesis)^[24],在技术判断中兼顾审慎美德与专业理性。事故中,操作工殷某擅自调减送料量的行为^[7],暴露出对审慎美德的背离:尽管其调整意图是提升燃烧炉温度,但未充分评估可燃气体积聚风险,更未履行异常工况下的报告义务。这种仅凭经验直觉、缺乏系统性风险考量的决策模式,本质上是职业美德中审慎素养的缺失。同样,车间副主任陈某某在明知未完成气体置换、未办理作业票证的情况下仍组织维修作业^[7],其行为折射出责任美德的溃散——作为技术管理者,其未能将保护生命安全的道德品格内化为职业本能,反而因过度依赖个人经验陷入盲目自信的盲区。

组织层面的诚信文化坍塌加剧了美德失范的扩散。按照美德论的宗旨,组织应通过制度与文化培育诚实与正直的集体品格,但宁夏某化工公司的决策却“表里不一”。尽管公司建立了《设备检维修安全管理制度》等文本规范,但管理层在明知安全措施未达标时仍默许违章作业^[7],暴露出诚实美德的缺失。这种“说一套、做一套”的组织文化,使得安全规程沦为形式,员工对规则的敬畏感被消解。事故报告指出“岗位人员失职失责,发现违章作业未有效制止”,正是组织层面正直美德缺失的具象化表现——当管理者因效率压力默许违规时,其行为传递的信号就会影响员工的职业道德。

行业监管的美德伦理缺位则助长了企业伦理自觉的退化。根据美德论,监管者应秉持公正原则,通过刚柔并济的执法引导企业形成道德自律。然而,监管部门虽多次检查企业,但处罚力度不足,执法流于形式^[7],反映出监管者公正美德的妥协。这种“宽、松、软”的监管环境,进一步削弱了企业的伦理自律,形成了行业层面的道德滑坡。

从美德论视角审视,此次事故的本质是职业美德在多个层面的缺失:个体在技术判断中丧失审慎与责任、组织在制度执行中消解诚实与正直、监管在执法过程中背离公正与勇气。当从业人员将“效率至上”“侥幸心理”等非美德倾向内化为行为惯性时,再完善的技术防护也无法弥补道德自觉的缺口。因此,化工安全管理能力的提升不仅需要规则约束与后果预判,更需通过美德培育重塑从业者的道德品格。

3.4 权利论视角:安全权与知情权的剥夺

权利论强调工程实践中对个体基本权利的尊重与保障,尤其是工人安全权及知情权等核心权益。宁夏“12·02”事故中,存在着对工人基本权利剥夺的现象,这种权利伦理的失守最终导致了事故的发生。

首先,工人的安全权在组织决策和作业流程中被严重侵害。权利论要求企业将保障员工安全权置于首位,但宁夏某化工公司的安全管理体系实质构成对安全权的消解。根据事故报告,造气车间副主任陈某某在未完成气体置换、未办理特殊作业票证的情况下组织维修作业^[7],其决策未能充分保障工人安全作业的

基本权利。此外，分管副经理李某、安全总监赵某某等管理人员虽已驳回不安全作业申请，但在次日未能有效阻止无审批作业^[7]，也反映出组织对安全权保障的不足。权利论所强调的安全权没有被充分重视，最终导致工人暴露于可燃气体积聚的高危环境中。

其次，知情权的剥夺加剧了风险决策的盲目性。权利论要求工程实践者充分告知相关人员作业风险，但此次事故中，工人对风险的知情权被多重截断。操作工殷某擅自调减送风量时，未被告知该操作可能引发可燃气体积聚的连锁风险。这种知情权缺失并非偶然，而是源于企业安全培训的失效与风险沟通机制的不健全。权利论视角下，知情权是工人行使自主避险的前提，而企业的信息流通不畅，实质剥夺了工人对自身生命安全的主导权。

此外，监管部门对工人安全权和知情权的保护同样存在缺陷。权利论要求监管机构以守护公共安全权为己任，确保企业切实履行安全保障和风险告知义务。然而，事故发生前，监管部门虽多次检查企业，但处理和整改措施不足^[7]，未能有效制止企业对工人权利的侵害，最终酿成2名工人丧生的惨剧。

从权利论视角审视，此次事故的本质是权利保障体系的层级崩塌：工人被剥夺风险知情权、组织机构未能尊重个体的安全权、监管机构未能通过有效监管保障工人权利。权利论揭示的不仅是单一个体的伦理失范，更是化工行业安全文化中权利伦理的集体迷失：只有充分尊重个体的安全与尊严，才能打破“效率僭越生命”的恶性循环。

4 伦理视角下的化工事故防范对策

在从伦理角度分析宁夏“12·02”事故成因后，本节将系统性地提出相应的防范对策。如图2所示，基于前文的伦理分析框架，构建了一个多维度的化工事故防范对策体系。该体系以四个重要的工程伦理学理论为指导，针对事故成因提出相应解决方案：从后果论视角强调系统化的后果评估机制，弥补短期效益导向的决策缺陷；从义务论视角注重规则刚性和责任明晰化，强化职业责任履行；从美德论视角重视伦理美德教育和道德激励，培育职业品格；从权利论视角突出安全权与知情权的保障机制，维护工人权益。这一对策体系不仅解决技术与管理层面的问题，更深入到伦理层面，旨在推动化工安全管理从“合规导向”向“伦理自觉”转型。

4.1 后果论视角下的事故防范对策

从后果论视角出发，化工事故防范需重构对风险与效益的权衡机制，通过系统性后果评估打破“短期主义”决策惯性。宁夏“12·02”气体闪爆事故暴露出操作层、管理层乃至监管层在风险与效益权衡中的短视与失衡，导致了对潜在灾难性后果的系统性忽视。对此，需构建多层次的后果预判与价值排序体系，将“最大多数人最大幸福”原则转化为可操作的伦理实践。

(1) 系统性后果评估体系。企业应建立全流程、全生命周期的后果评估体系，将每一项工艺调整、检

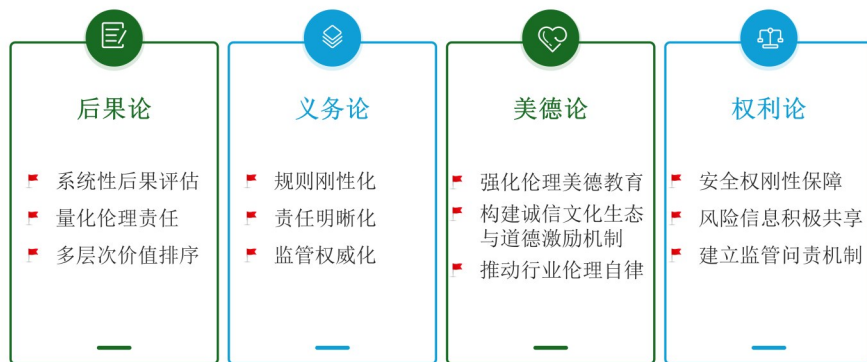


图2 伦理视角下的化工事故防范对策体系

Figure 2 Countermeasure system for chemical accident prevention from ethical perspectives

维修操作和管理决策的短期经济效益与长期安全、环境及社会影响进行统一量化和权衡。例如,在类似送风量等操作参数调整或特殊作业审批前,需通过动态风险评估^[25]、事故树分析^[26]等科学工具,对可能引发的连锁反应和极端后果进行可视化展示,确保决策者能够直观感受到其伦理责任和潜在损失。这不仅有助于提升风险意识,更能促使管理层和一线员工在权衡利益时优先考虑系统整体安全和社会福祉。

(2) 量化伦理责任。后果论的伦理要求应进一步内化为企业文化和管理制度。企业可以通过完善奖惩机制,将员工和管理者在事故隐患排查、风险信息上报、主动规避违规操作等方面的表现,与绩效考核和晋升挂钩。对于能够主动揭示潜在风险、即使短期影响生产但有助于长期安全的行为,应给予正向激励,反之则应严格追责。针对事故中管理层纵容无审批作业的问题,可通过加强伦理宣传,引导管理者在决策时对比违规节省的工期成本与潜在事故损失(包括人员伤亡赔偿、停产损失及社会声誉损害等),以量化手段强化伦理自觉。

(3) 多层次价值排序。监管部门也应将后果论原则纳入执法与政策制定之中。建议建立基于社会整体安全效益的执法评估体系,将企业违规行为对行业安全生态、公众信任等社会后果纳入处罚考量。同时,对积极承担社会责任、主动开展风险沟通和技术共享的企业给予政策激励,引导行业从“合规求生”转向“伦理竞优”。

后果论视角下的防范对策核心在于将抽象的“最大幸福”原则转化为可量化、可追溯的伦理实践。通过建立覆盖技术操作、管理决策与政策制定的后果评估链条,强化长期安全意识,最终实现化工安全管理的范式升级。

4.2 义务论视角下的事故防范对策

义务论强调道德义务的绝对性,主张通过严格遵守职业准则与制度规范来确保行为正当性。结合宁夏“12·02”事故中暴露的个体责任失守、制度执行虚化及监管义务妥协等问题,义务论视角下的防范对策应聚焦规则刚性化、责任明晰化与监管权威化三个核心维度。

(1) 规则刚性化。强化个体职业义务的核心地位。义务论要求从业人员将安全规程视为绝对命令,而非可协商的操作选项。事故中车间副主任陈某某擅自组织无审批作业、操作工殷某违规调整配风量等行为,均是对职业义务的背离。对此,企业可通过标准化作业流程嵌入伦理审查机制,例如在关键操作节点设置“伦理-技术双确认”程序,要求操作人员在执行高风险任务前,不仅需确认技术参数合规性,还需签署伦理责任承诺书,明确违反规程应承担的伦理责任。同时,将义务履行纳入绩效考核体系,对遵守规程的行为给予正向激励,对违规操作实行“一票否决”,促使职业义务内化为个体的行动自觉。

(2) 责任明晰化。构建责任明晰的组织制度执行体系。根据义务论,企业应将安全制度作为不可动摇的行动纲领,而非弹性工具。事故中,企业虽建立《设备检维修安全管理制度》,但管理层纵容无方案作业、安全总监默许流程跳过的行为,实质是制度权威的自我消解。对此,可以通过“制度-执行-监督”三位一体机制重塑规则刚性:在制度设计上,细化检维修作业的审批触发条件,以量化标准压缩主观裁量空间;在执行层面,引入独立安全督导岗,赋予其“一票否决权”,确保安全措施不达标时作业强制中止;在监督环节,建立制度执行回溯系统,通过作业记录存证实现责任可追溯,防范管理层的义务虚化。

(3) 监管权威化。重构监管义务的权威性与独立性。根据义务论,监管机构应以捍卫公共安全为使命。该事故暴露的监管惰性,本质是义务让位于功利考量的伦理失范。对此,建议通过“执法标准化+问责透明化”双重路径强化监管刚性:制定《化工监管执法负面清单》,明确“未完成气体置换作业”“无审批检维修”等行为触发“立即整改”的红线标准,压缩监管自由裁量权;提高监管透明度,对执法记录实施第三方审计,并向社会公开处罚依据及整改结果,以公众监督倒逼监管义务履行。此外,可探索“垂直监管+跨区轮岗”模式,削弱地方保护主义对监管独立性的干扰,确保监管机构执法不受经济目标裹挟。

义务论视角下的对策核心在于通过规则绝对化消解妥协空间。只有将个体职业准则、组织制度权威与监管执法刚性提升至不可退让的高度,才更有可能从

根本上遏制“经验僭越规则”“效率压倒安全”的伦理失范，实现化工安全管理从“注重合规”向“义务自觉”的范式转型。

4.3 美德论视角下的事故防范对策

美德论强调从业人员内在道德品格的塑造与职业美德的培育，主张通过伦理自觉实现安全实践的道德卓越。针对宁夏“12·02”事故暴露的审慎、责任、诚实等职业美德缺失问题，需从个体、组织与行业层面重构伦理素养培育体系，推动安全文化从“制度约束”向“美德驱动”转型。

(1) 强化伦理美德教育^[27]。操作人员与管理人员需通过系统化的伦理教育内化审慎、责任等核心美德。例如，针对事故中操作工擅自调减送风量、陈某某违章作业等行为，企业应强化“实践智慧”策略，将安全规程与风险场景结合，通过案例模拟训练从业人员在复杂工况下的道德判断能力。同时可考虑建立“事故反思工作坊”，要求技术人员定期复盘操作决策中的美德缺失环节（如过度依赖个人经验、风险沟通惰性），逐步将职业美德内化于心、外化于行。

(2) 构建诚信文化生态与道德激励机制。企业需通过制度设计培育诚实、正直的集体品格。针对事故中管理层“制度文本”与“实践操作”割裂的问题，可实施“领导安全承诺公示制”，要求管理者定期签署并公示安全履职清单，接受全员监督。同时，建立“道德行为积分体系”，将遵守安全规程、制止违章作业等美德行为与晋升、薪酬挂钩。例如，对及时发现并阻止违章作业的员工给予表彰，形成正向激励。

(3) 推动行业伦理自律。监管部门应通过注重伦理原则的执法实践，引导行业形成道德自律。针对事故暴露的监管“宽、松、软”问题，应强化监管人员的“公正”美德培养，将伦理准则纳入执法培训必修课程，定期开展“安全权守护”专题研讨。同时，建立“监管道德评估机制”，对执法过程中的美德实践进行独立评估，并将结果纳入监管绩效考核。例如，对监管单位“重检查轻处罚”的惰性执法模式启动伦理问责，倒逼监管者坚守安全价值至上的职业操守。

美德论视角的防范对策需以美德为核心，通过教育浸润、制度激励与文化塑造的多维干预，将职业美

德转化为化工安全管理的内在意识，从根本上遏制伦理失范诱发的系统性风险。

4.4 权利论视角下的事故防范对策

权利论视角下的事故防范对策需聚焦于重构工人安全权与知情权的系统性保障机制，打破“效率僭越生命”的恶性循环。

(1) 建立安全权的刚性保障机制。企业应将安全权视为根本的价值理念，建议建立独立于生产指挥系统的安全权保障架构。如在车间设置专职安全代表岗位，赋予其“一票否决权”，安全代表需直接向公司董事会负责，对涉及安全权侵害的作业（如无审批的检维修）拥有即时叫停权。该机制可缓解事故中车间副主任与安全总监的“角色冲突”困境，避免安全管理人员因隶属生产体系而丧失独立性。

(2) 构建知情权的动态共享平台。根据权利论，工人对作业风险的知情权应贯穿全流程。企业可建立基于物联网的“风险可视化系统”^[28]，如在布袋除尘器等关键设备安装可燃气体浓度实时监测装置，并将数据同步推送至操作人员移动终端，确保工人对作业环境风险具备即时判断能力。同时，应实施“风险知情确认制”，在每项作业前由安全代表、技术人员与操作工人三方共同签署《风险告知书》，明确作业环节的物理风险、防护措施及应急处置方案。此举可破解事故中“操作工擅自调减送风量，作业人员却未获风险警示”的信息不对称问题，使知情权转化为自主避险能力。

(3) 强化公共安全权的监管问责体系。根据权利论，监管部门作为公共安全权的守护者，应当通过制度创新提升执法刚性。建议建立考核机制，将企业违章作业率、安全培训覆盖率、隐患整改时效等指标纳入地方政府绩效考核。对存在监管惰性的监管单位，可以实施“监管责任追溯制度”，当企业发生事故时，倒查对应监管记录，对存在“应罚未罚”情形的监管人员终身追责。

通过上述对策，可重构权利伦理在化工安全管理中的实践框架：以安全权的制度刚性破除管理弹性，以知情权的技术赋能消解信息闭塞，以公共安全权的监管革新重塑行业生态。这不仅是对宁夏“12·02”

事故中工人安全权受侵犯、风险沟通失效等问题的针对性回应,更是推动化工行业安全管理从“合规底线”向“权利优位”转型的关键路径。

5 结论与展望

本文以宁夏“12·02”气体闪爆事故为案例,基于工程伦理学理论中的后果论、义务论、美德论和权利论,系统剖析了化工事故生成的伦理根源。研究发现,化工事故的发生不仅源于技术和管理层面的缺陷,更深层次地反映出个体、组织及行业在伦理价值排序、职业责任履行、道德品格培育和权利保障等方面的系统性失范。具体而言,短期效益至上的决策惯性、职业责任履行的层级坍塌、职业美德的缺失以及对工人安全权与知情权的漠视,共同构成了事故发生的伦理基础。

基于伦理理论的事故分析框架为化工安全管理提供了新的方法启示。宁夏事故的教训表明,在化工生产规模不断扩大、工艺技术日趋复杂化的背景下,单纯依赖技术改进和管理强化已难以有效应对系统性安全挑战。将伦理原则全面融入技术决策、制度执行与企业文化塑造全过程,通过后果论、义务论、美德论和权利论等多元理论工具,能够帮助企业突破以往单一依赖技术和制度的管理模式,推动安全理由“注重合规”向“伦理自觉”转变。

本研究的伦理分析框架在聚焦个体、组织及行业层面的同时,也为审视更广泛层面的化工伦理问题提供了理论接口。在化工项目的立项论证阶段,部分国家或地区为追求经济增长,可能简化项目审批流程,导致技术论证不充分、社区沟通缺失的项目仓促上马;而跨国企业在属地化经营中,或将母国安全标准降级适配当地法规下限,这种“相对伦理”实质上是对生命价值的漠视。在技术设计与工程实施阶段,若设计团队为节省成本或缩短工期,采用低于国际通行标准的安全措施,或在设备选型、工艺流程中忽视本地实际操作风险,也可能导致系统性安全隐患。这些现象与本次“12·02”事故共同表明,工程伦理在化工项目全生命周期中都具有深远影响:从立项论证、技术设计到运营维护,任何环节的伦理失范都可能埋

下事故隐患。此外,工程伦理与新兴安全管理科技的深度融合,正成为化工行业安全治理的新趋势。一方面,智能传感、风险可视化、动态风险评估等技术手段,为事故隐患的早期识别、风险信息的透明共享和应急响应的科学决策提供了有力支撑;另一方面,这些新技术的应用也对数据隐私、知情权保障及技术决策的伦理边界提出了更高要求。伦理原则应在新技术研发和应用过程中发挥内在约束和价值引领作用,防止“技术异化”带来新的风险盲区和权利侵害^[29]。

本研究仍存在一定的局限性。首先,本文以宁夏“12·02”气体闪爆事故为单一案例,尽管具有一定的代表性,但难以涵盖我国化工行业所有类型的安全事故,其结论的普适性尚需在更多案例中加以验证。其次,工程伦理理论的应用在实际分析过程中可能存在一定的主观判断,部分结论可能受限于事故报告等资料的完整性与公开性。此外,本文所采用的理论分析框架(后果论、义务论、美德论与权利论)主要参考了国内相关学者的研究成果,虽然有助于从多维度梳理化工事故中的伦理问题,但尚未涵盖伦理理论体系的全部内容。随着工程伦理学的不断发展,学界对于工程伦理理论基础的分类和表述也日益多元^[30-32],其他如功利主义、契约论、德性论等理论(或表述)在不同语境下均有其独特的理论渊源和应用重点。本文的理论框架在体系选择上或许未能完全反映工程伦理领域的全部理论脉络,相关分析也有进一步拓展和融合的空间。未来研究可在充分借鉴国内外最新理论成果的基础上,进一步优化和丰富分析框架,以更好地适应工程伦理学科发展的多样化趋势,为化工安全管理的理论与实践提供更加坚实的支撑。

综上所述,工程伦理不仅是化工安全管理的价值底座,更是化工行业实现本质更安全的关键驱动力。通过对本次事故的系统分析,本文总结出一条以工程伦理为核心的化工安全治理路径:即以后果论为基础,建立系统性风险后果评估机制;以义务论为要求,强化规则刚性与责任落实;以美德论为引领,培育职业美德和道德自觉;以权利论为保障,完善工人安全权与知情权的保护体系。该伦理治理路径不仅为本案例的事故防范提供了依据,也为化工行业的安全管理提供了具有一定借鉴意义的伦理治理框架。宁夏

“12·02”事故的深刻教训警示我们，以伦理为准绳，念，推动中国化工行业走向更加健康、可持续的有助于落实“以人为本、生命至上”的安全生产理念未来。

参考文献

- [1] 高璟卉, 李海洋. 2023年中国石油和化学工业经济运行报告[J]. 现代化工, 2024, 44(3): 252-258.
Gao J H, Li H Y. Economic operation report of China petroleum and chemical industry in 2023[J]. Modern Chemical Industry, 2024, 44(3): 252-258.
- [2] 纪国峰, 刘晓彤, 张辽, 等. 2021—2023年化工事故分析及对策研究[J]. 安全、健康和环境, 2024, 24(12): 9-13.
Ji G F, Liu X T, Zhang L, et al. Analysis and countermeasures study of chemical engineering accidents in 2021—2023[J]. Safety Health & Environment, 2024, 24(12): 9-13.
- [3] 蔡广辉, 王小飞. 实行“以人为本”的化工安全管理探析[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(3): 143, 150.
Cai G H, Wang X F. On the management of chemical safety in "human-oriented"[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, 43(3): 143, 150.
- [4] 应急管理部 危险化学品安全监督管理局一司 2023年全国化工事故分析报告[R]. 2024.
The Ministry of Emergency Management, First Department of Hazardous Chemicals Safety Supervision and Administration. 2023 National Chemical Accidents Analysis Report[R]. 2024.
- [5] 戚萌, 朱常龙. 2013—2017年中国石化及化工行业安全生产现状及展望[J]. 现代化工, 2019, 39(2): 1-6, 8.
Qi M, Zhu C L. Overview of safety production in China's petrochemical and chemical industries from 2013 to 2017 and prospects[J]. Modern Chemical Industry, 2019, 39(2): 1-6, 8.
- [6] Lindhout P, Reniers G. Involving moral and ethical principles in safety management systems[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(16): 8511.
- [7] 中卫市应急管理局. 宁夏兴尔泰化工集团有限公司“12·02”事故调查报告[EB/OL]. (2025-02-11) [2025-02-27]. https://www.nxzw.gov.cn/zwgk/bmxxgkml/syglj/fdzdgknr_49937/zhsgjy_49954/202502/t20250211_4817596.html.
Zhongwei Emergency Management Bureau. Investigation Report on "12·02" Accident of Ningxia Xing'ertai Chemical Group Co., Ltd.[EB/OL]. (2025-02-11) [2025-02-27]. https://www.nxzw.gov.cn/zwgk/bmxxgkml/syglj/fdzdgknr_49937/zhsgjy_49954/202502/t20250211_4817596.html.
- [8] Harris C E, Pritchard M S, Rabins M J, et al. Engineering Ethics: Concepts and Cases[M]. Belmont: Wadsworth, 2000.
- [9] 李世新. 工程伦理学概论[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2008.
Li S X. Introduction to Engineering Ethics[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2008.
- [10] 杨鹏, 王光昆. 化工工艺安全设计中风险因素识别与控制[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(2): 1-3.
Yang P, Wang G K. Identification and control of risk factors in chemical process safety design[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2025, 45(2): 1-3.
- [11] 陈钢, 刘俊, 曾志强. 化工机械设备事故分析[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(5): 91.
Chen G, Liu J, Zeng Z Q. Chemical machinery equipment accident analysis[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2019, 45(5): 91.
- [12] Liang H Y, Yan T, Zhao W W. Comprehensive assessment of recent major chemical accidents in China and path to sustainable solutions[J]. Smart Construction and Sustainable Cities, 2024, 2(1): 1.
- [13] 马强, 李明. 化工安全生产问题及应对措施[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(2): 183-184.
Ma Q, Li M. Chemical safety production problems and countermeasures[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(2): 183-184.
- [14] 沙帅, 胡泽华, 王浩, 等. 化工工艺安全风险评估与控制[J]. 化工管理, 2024(22): 139-141.
Sha S, Hu Z H, Wang H, et al. Chemical safety production issues and accident prevention strategies[J]. Chemical Enterprise Management, 2024(22): 139-141.

- [15] 葛安卡. 化工过程安全管理中的应急响应[J]. 现代职业安全, 2019(2): 24-26.
Ge A K. Emergency response in chemical process safety management[J]. Modern Occupational Safety, 2019(2): 24-26.
- [16] 郑凌菁. 新时代背景下的化工企业法律法规探讨[J]. 化学工程, 2024, 52(6): 115.
Zheng L J. Discussion on laws and regulations of chemical enterprises under the background of new era[J]. Chemical Engineering (China), 2024, 52(6): 115.
- [17] 陈康, 邓子峰. 化工行业安全和职业健康标准规范体系梳理分析[J]. 中国职业医学, 2019, 46(2): 239-242.
Chen K, Deng Z F. Classification and analysis on the standardized system of occupational safety and health regulation in chemical industry [J]. China Occupational Medicine, 2019, 46(2): 239-242.
- [18] 刘春峰, 茅琪. 石油化工安全生产问题及监督管理分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(3): 52-54.
Liu C F, Mao Q. Analysis of safety production problems and supervision and management in petrochemical industry[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2023, 43(3): 52-54.
- [19] 金友平, 单克, 谷凯. 基于工程伦理的化工企业事故致因分析与防范措施[J]. 安全、健康和环境, 2024, 24(8): 8-10.
Jin Y P, Shan K, Gu K. Accident cause analysis and prevention measures of chemical enterprises based on engineering ethics[J]. Safety Health & Environment, 2024, 24(8): 8-10.
- [20] 赵鹏飞, 姚颖, 赵学锋. 张家口"11.28"爆燃事故工程伦理诱因分析与防范策略研究[J]. 安全, 2019, 40(10): 24-26, 33.
Zhao P F, Yao Y, Zhao X F. Study on engineering ethics inducement and prevention strategy of '11.28' deflagration accident in Zhangjiakou [J]. Safety & Security, 2019, 40(10): 24-26, 33.
- [21] 王超, 张成良, 刘磊, 等. 天津港"8·12"特大火灾爆炸事故的工程伦理教育缺位探析[J]. 中国水运(下半月), 2018(24): 26-27.
Wang C, Zhang C L, Liu L, et al. Analysis on the absence of engineering ethics education in the "8.12" extraordinary fire and explosion accident in Tianjin Port[J]. China Water Transport, 2018(24): 26-27.
- [22] Rhee R J. Corporate short-termism and intertemporal choice[J]. SSRN Electronic Journal, 2018: 495.
- [23] 中国化工学会. 中国化工学会工程伦理守则[EB/OL]. (2025-03-03) [2025-03-03]. <http://www.ciesc.cn/c235>.
China Chemical Industry Society. Code of Engineering Ethics of China Chemical Industry Society[EB/OL]. (2025-03-03) [2025-03-03]. <http://www.ciesc.cn/c235>.
- [24] Warm R. Leading deeply: A heroic journey toward wisdom and transformation[D]. Yellow Springs: Antioch University, 2012.
- [25] 王亚茹, 贾波, 李学盛, 等. 危险化学品企业安全动态风险评估研究[J]. 价值工程, 2024, 43(30): 26-28.
Wang Y R, Jia B, Li X S, et al. Research on safety dynamic risk assessment of hazardous chemical enterprises[J]. Value Engineering, 2024, 43(30): 26-28.
- [26] 王海娥, 王娜娜. 事故树分析在化工企业安全评价中的应用研究[J]. 现代职业安全, 2025(2): 90-93.
Wang H E, Wang N N. Application of fault tree analysis in safety assessment of chemical enterprises[J]. Modern Occupational Safety, 2025 (2): 90-93.
- [27] 杨桦. 美德伦理学在工程伦理教育中的重要作用及其实践[J]. 云梦学刊, 2025, 46(1): 62-69.
Yang H. The important role of virtue ethics in engineering ethics education and its practice[J]. Journal of Yunmeng, 2025, 46(1): 62-69.
- [28] 王明生. 基于物联网技术的安全风险可视化系统设计[J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(12): 166-169.
Wang M S. Design of security risk visualization system based on Internet of Things technology[J]. Electronic Components and Information Technology, 2022, 6(12): 166-169.
- [29] Wang D Z. Towards ethical engineering: artificial intelligence as an ethical governance tool for emerging technologies[J]. Computer Sciences & Mathematics Forum, 2023, 8(1): 76.
- [30] Adair J C. Resolving problems in engineering ethics: Precept and example[J]. Provo: Brigham Young University, 1999.
- [31] Martin M W, Schinzinger R. Ethics in Engineering[M]. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2004.
- [32] Konstantis K, Tsakalakis T. Integrating perspectives from engineering ethics into the study of technology: A synthesis of research on critical cases[J]. Bioethica, 2024, 10(1): 7-18.

Generation Causes and Governance Paths of Chemical Accidents from the Perspective of Engineering Ethics: A Case Study of the Ningxia “12·02” Gas Flash Explosion

Xu Shuo^{1,2}, Yu Xue³, Zhao Jinsong^{1,2*}

1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. State Key Laboratory of Chemical Engineering and Low-Carbon Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. School of Humanities, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

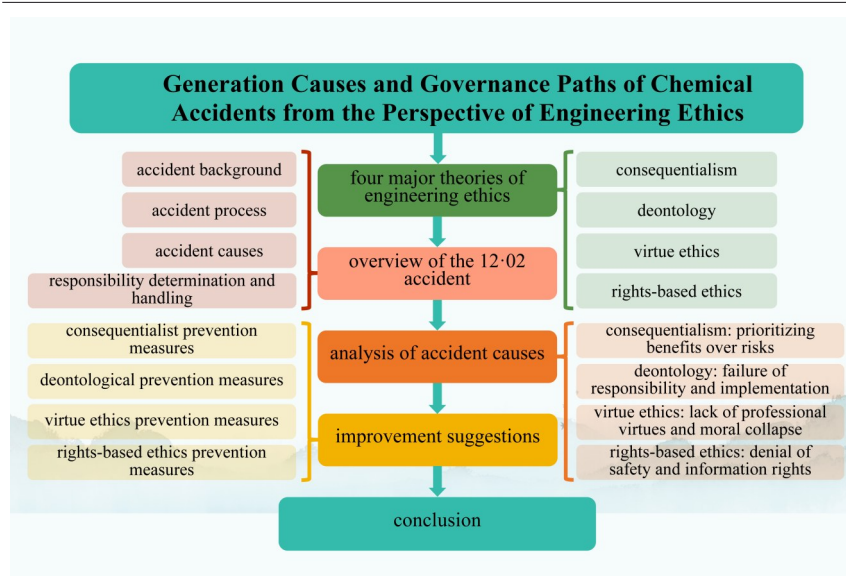
Highlights

Systematically analyzes the Ningxia “12·02” accident using four major engineering ethics theories.

Proposes multi-dimensional safety management improvements: consequence assessment, rule rigidity, virtue cultivation, and rights protection.

Provides a novel ethical framework to support sustainable and people-oriented chemical safety management.

Graphical Abstract



Abstract: This study investigates the generation causes and governance pathways of chemical accidents from the perspective of engineering ethics, using the “12·02” gas flash explosion accident in Ningxia, China, as a representative case. Against the backdrop of the chemical industry’s high-risk attributes and its significant role in China’s national economy, the research addresses the persistent challenge of safety incidents despite ongoing technological and managerial improvements. The study highlights the importance of integrating ethical principles into chemical safety management, aiming to transcend the limitations of traditional accident analyses that focus primarily on technical and managerial failures. The scope of the research encompasses individual, organizational, and industry-level ethical deviations.

Methodologically, the research adopts a case study approach, systematically applying four major theories of engineering ethics—consequentialism, deontology, virtue ethics, and rights theory—to dissect the ethical failures that contributed to the accident. The analysis is structured around the identification of ethical lapses at multiple levels: individual operators’ risk-taking behaviors, organizational decision-making processes, and regulatory oversight. The study draws on the official accident investigation report to reconstruct the sequence of events and the underlying ethical dynamics. The principles and conditions of each ethical theory are operationalized to evaluate the actions and omissions of key stakeholders, including frontline workers, technical managers, company executives, and regulatory authorities.

From the perspective of the four major theories of engineering ethics, the root causes of the Ningxia “12·02” accident can be systematically categorized as follows. Consequentialism reveals that key decision-makers and operators prioritized short-term production efficiency over the comprehensive assessment of long-term safety risks, leading to actions that ultimately resulted in greater harm—a clear misjudgment in weighing outcomes. Deontologically, the accident was precipitated by a widespread failure

to fulfill professional duties and adhere to established safety protocols: unauthorized maintenance activities and the circumvention of mandatory procedures reflected a breakdown in the observance of moral and institutional obligations. From the standpoint of virtue ethics, the incident exposed a pervasive lack of essential professional virtues such as prudence, honesty, and responsibility, undermining the ethical self-discipline required for safe engineering practice. Finally, rights theory highlights the systematic neglect of workers' fundamental rights, including the right to safety and the right to be informed about operational risks, both within the company and in the regulatory environment. Together, these ethical deficiencies at the individual, organizational, and regulatory levels created the conditions for the accident, demonstrating that the underlying causes extend beyond technical and managerial shortcomings.

Based on these insights, the research proposes a multidimensional strategy for improving chemical safety management through the lens of engineering ethics. From a consequentialist standpoint, it advocates for the institutionalization of comprehensive consequence assessment systems that prioritize long-term safety and social welfare over short-term economic gains. Deontological recommendations include the rigidification of safety rules, clarification of responsibilities, and enhancement of regulatory authority to ensure the absolute execution of safety obligations. Virtue ethics informs the need for systematic cultivation of professional virtues through targeted education, organizational culture reform, and moral incentive mechanisms. Rights theory underpins the establishment of robust mechanisms to guarantee workers' safety rights and access to risk information, including independent safety representatives and real-time risk communication platforms. The study emphasizes that only by embedding ethical principles throughout technical decision-making, institutional execution, and cultural development can the chemical industry achieve a paradigm shift from compliance to ethical self-awareness.

This research demonstrates innovation by establishing a systematic analytical framework centered on engineering ethics that systematically addresses the causes of chemical accidents at the individual, organizational, and industry levels. By integrating consequentialism, deontology, virtue ethics, and rights theory into accident analysis, the study effectively bridges, to some extent, the traditional gap between technical/managerial and ethical dimensions of safety management. The findings provide important policy implications, suggesting that regulatory bodies and enterprises should embed ethical principles deeply into technical decision-making, institutional execution, and safety culture development, thereby promoting a shift from passive compliance to ethical self-awareness in chemical safety governance. Academically, the study enriches the discourse on engineering ethics by offering a comprehensive empirical application of ethical theories to a representative industrial accident, and by proposing a referential governance framework for the chemical industry. The research also highlights the necessity of integrating ethical considerations with emerging safety management technologies to address new challenges related to risk and rights protection. While the study is based on a single case and primarily employs qualitative analysis, its conclusions offer a valuable reference for broader application and future research. In conclusion, the study underscores that engineering ethics is not only the value foundation of chemical safety management but also a key driver for the sustainable and human-centered development of the chemical industry.

Keywords: engineering ethics; chemical accident; safety management; ethical governance; occupational safety