

城镇自来水厂运行安全风险辨识与分级管控策略研究

李铮

北京市自来水集团有限责任公司第九水厂，北京 100020

DOI:10.61369/ERA.2026100007

摘 要： 城镇自来水厂作为城市供水系统的核心节点，它的运行安全与否，关系到公众健康以及社会稳定方面，本文基于安全生产双重预防机制理论框架来开展，对城镇自来水厂运行的主要风险来源进行了梳理，从人员操作、设备设施、工艺流程、危险化学品以及作业环境这五个维度来构建风险辨识体系。风险评价环节，把 LEC 法以及风险矩阵法结合起来运用，去处理对辨识出的危险源开展半定量评估的工作，依照“红、橙、黄、蓝”四色标识来划定风险等级，在风险管控策略这个方面，提出把分级管控责任体系、技术管控措施以及动态监测机制当作三位一体的管控路径来开展，从组织制度保障、信息化建设以及持续改进机制这三个方面来提出实施保障建议。研究结果能够为城镇供水企业开展安全风险分级管控方面的工作提供方法参考以及实践指导。

关 键 词： 城镇自来水厂；运行安全；风险辨识；分级管控；双重预防机制

Research on Risk Identification and Hierarchical Control Strategy for Operation Safety of Urban Waterworks

Li Zheng

No.9 Water Plant, Beijing Waterworks Group Co., Ltd., Beijing 100020

Abstract： As the core node of urban water supply system, the operation safety of urban waterworks is related to public health and social stability. Based on the theoretical framework of the dual-prevention mechanism for work safety, this paper sorts out the main risk sources in the operation of urban waterworks, and establishes a risk identification system from five dimensions: personnel operation, equipment and facilities, technological process, hazardous chemicals and working environment. In the risk evaluation stage, the LEC method and risk matrix method are combined to conduct semi-quantitative assessment on the identified hazard sources. Risk levels are classified according to the four-color marking standard of "red, orange, yellow and blue". In terms of risk control strategies, a three-in-one control path consisting of hierarchical control responsibility system, technical control measures and dynamic monitoring mechanism is proposed. Implementation guarantee suggestions are put forward from three aspects: organizational and institutional guarantee, informatization construction and continuous improvement mechanism. The research results can provide methodological reference and practical guidance for urban water supply enterprises to carry out safety risk hierarchical control.

Keywords： urban waterworks; operation safety; risk identification; hierarchical control; dual-prevention mechanism

引言

城镇供水系统是维系城市正常运转的重要基础设施，自来水厂作为供水链条中的关键生产环节，承担着水质净化与安全输配的核心功能。近年来，随着城镇化进程加快和供水规模持续扩大，水厂运行过程中暴露出的安全隐患日益受到关注。有学者对2020至2024年间公开报道的16起供水行业安全事故进行了统计分析，发现其中56.3%发生在水厂环节，事故类型以中毒窒息和设备故障为主，直接原因多为人员违章作业^[1]。这一数据表明，水厂运行安全管理仍然是供水行业亟需强化的薄弱环节。

2021年修订的《中华人民共和国安全生产法》明确要求生产经营单位建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制。在此政策驱动下，国内部分供水企业开始探索双重预防机制的建设路径。梁耀枢等^[2]以南方某城市供水系统为例，通过梳理风险点、识别危险源、完成风险分级并编制管控措施，成功将全部风险点转化为低风险水平，为供水行业提供了可借鉴的实践经验。然而，当前多数城镇自来水厂在风险辨识的全面性、评价方法的适用性以及分级管控的精细化方面仍存在不足，亟待建立一套系统化、可操作的风险辨识与分级管控策略体系。

鉴于此，本文立足于城镇自来水厂的运行特点，从风险辨识方法体系、风险评价模型与分级管控策略三个层面展开研究，以期为供水企业提升运行安全管理水平提供理论支撑与方法指导。

一、城镇自来水厂运行安全风险辨识方法

（一）风险辨识的总体框架

风险辨识是安全管理的首要环节，其核心目标在于全面识别生产经营活动中可能导致事故发生的危险源及其特性。城镇自来水厂的风险辨识应遵循“横向到边、纵向到底”的原则，覆盖全部生产经营活动和区域场所^[3]。参照《生产过程危险和有害因素分类与代码》（GB/T 13861—2022）的要求，辨识过程需综合考虑人的因素、物的因素、环境因素和管理因素四个维度，确保辨识结果的系统性和完整性。

在开展具体实施工作当中，水厂需要成立由主要负责人来牵头风险管理组织，组织下面设立若干专业辨识小组，把工艺单元以及作业活动这两个路径当作同步推进风险辨识工作来使用。每个辨识小组应当由工艺技术人员以及安全管理人员、一线操作人员一起来组成，保证辨识结果拥有技术深度以及现场适用性。

（二）风险辨识维度划分

结合城镇自来水厂的生产运行特征，风险辨识可从以下五个维度展开：

1. 人员操作风险。水厂运行中涉及加药操作、设备巡检、化验分析、有限空间作业等多项操作活动。人员违章作业、操作不规范、安全意识薄弱是引发事故的主要诱因。辨识时应涵盖各岗位的常规作业和非常规作业，包括设备启停、药剂配制、采样化验、滤池冲洗等典型操作环节。

2. 设备设施风险。水厂核心设备包括取水泵、送水泵、投加设备、变配电系统、加氯加氨装置等。设备老化、密封失效、腐蚀泄漏、保护装置失灵均可能引发安全事故。姜晓琳^[4]在上海凌桥水厂提标改造工程中，识别出高压配电改造、新老管道接驳等四类工程风险点，表明设备设施环节在改造期和运行期均存在较高风险。此外，压力容器、起重机械等特种设备的管理也需纳入辨识范围。

3. 工艺流程风险。水处理工艺涵盖混凝、沉淀、过滤、消毒等环节，各环节的工艺参数偏离均可能导致出水水质超标或设备故障^[5]。基于 HACCP 体系对水厂投加系统进行了风险分析，识别出投矾系统的铝超标、浑浊度偏高、断药等4个关键控制点，以及加氯系统的微生物超标、余氯超标等3个关键控制点，表明工艺流程中投加系统是风险集中环节。

4. 危险化学品风险。自来水厂常用的危险化学品包括液氯、次氯酸钠、聚合氯化铝、氨等，其中液氯和液氨属于重点监管的危险化学品。相关研究针对水厂加氯加氨间建立了基于模糊数学的重大危险源安全评估与控制评价模型，评价结论表明加氯加氨间构成一级重大危险源，可能发生的事故类型为氯气、氨气泄漏引发人员中毒。因此，危险化学品的储存、使用和废弃处置全过程均须作为重点辨识对象^[6]。

5. 作业环境风险。水厂厂区通常地势开阔，存在雷击风险；各类池体密集，存在淹溺风险；噪声、粉尘等职业危害因素亦不容忽视。辨识时应将厂区环境、作业场所的物理条件与气候气象因素纳入考量。

（三）风险辨识方法选择

在辨识方法的选择上，作业活动类危险源宜采用工作危害分析法（JHA），设备设施类危险源宜采用安全检查分析法（SCL），两者互为补充^[7]。对于涉及危险化学品储存的区域，可辅以预先危险性分析法（PHA）进行辨识。辨识完成后，应编制风险辨识清单，记录评估单元、风险点、危险源及其可能引发的事故类型，形成后续风险分析与评价的基础数据。

二、风险评价与分级方法

（一）风险评价模型

风险评价是在风险辨识的基础上，对危险源导致事故的可能性与后果严重程度进行系统分析，以确定风险等级的过程。城镇自来水厂宜采用定性半定量相结合的评价方法。参照相关地方标准，作业活动类危险源可采用作业条件危险性评价法（LEC法），设备设施类危险源可采用风险矩阵法^{2w}。

LEC法从事故发生的可能性（L）、人员暴露于危险环境的频繁程度（E）和事故后果严重程度（C）三个维度进行评价，风险值 $D=L \times E \times C$ 。该方法在水务领域已有较多应用。针对传统LEC法主观性较强的问题，引入专家可信度和AHP-熵值法进行改进，使评价结果更为客观，该方法对水厂风险评价具有借鉴意义。风险矩阵法则从事故发生可能性（L）和后果严重性（S）两个维度构建矩阵，风险值 $R=L \times S$ ，适用于设备设施类风险的评价^[8]。

在城镇供水管道安全风险评估中，采用层次分析法确定评估指标权重，结合风险矩阵法综合判定风险等级，将风险划分为四级^[9]。该指标体系涵盖可能性指标和后果性指标两大类，并引入安全管理水平作为修正指标，其思路可为水厂风险评价体系的构建提供参考。

（二）风险等级划分

依据风险评价结果，城镇自来水厂的安全风险可划分为四个等级，并采用四色标识进行区分：

风险等级	颜色标识	风险值范围（LEC法）	管控要求
重大风险	红色	$D > 320$	厂级管控，立即整改
较大风险	橙色	$160 < D \leq 320$	部门级管控，限期整改
一般风险	黄色	$70 < D \leq 160$	班组级管控，制定措施
低风险	蓝色	$D \leq 70$	岗位级管控，日常监测

风险评价应分两个阶段进行：首先评价极端风险等级，即不考虑现有管控措施的风险水平；其次结合实际管控措施落实情况评价现实风险等级。两阶段评价的对比可有效评估现有管控措施的充分性，为后续管控策略优化提供依据。

三、风险分级管控策略

（一）分级管控责任体系

风险分级管控的核心在于根据风险等级匹配相应的管控层级和资源投入。重大风险由企业主要负责人组织管控，较大风险由

部门负责人组织管控，一般风险由班组负责人组织管控，低风险由岗位人员自主管控^[10]。每一层级均须明确管控责任人、管控措施和管控周期，形成自上而下的责任链条。

（二）技术管控措施

技术管控措施是降低风险水平的直接手段，按优先级可划分为以下三类：

- 1. 工程控制措施。通过隔离危险源、改进设备设计、增设安全防护装置等手段，从源头削减风险。例如，对加氯加氨间设置有毒气体报警仪与通风联动装置；对投加系统进行PID改造，实现恒流自动冲洗防堵塞；建设独立消毒池以确保消毒CT值达标。
- 2. 管理控制措施。建立健全安全操作规程、作业许可制度、变更管理制度等管理性管控手段。对有限空间作业、动火作业、高处作业等危险作业实行分级审批制度，作业前须确认安全措施到位后方可实施。
- 3. 个体防护措施。为作业人员配备符合标准的劳动防护用品，包括防毒面具、安全帽、防坠落装置等，作为风险管控的最后一道防线。

（三）动态监测与持续改进

风险管控并非一次性工作，而应建立动态监测与持续改进机制。水厂应设定差异化的动态管控周期：重大风险每3个月重新评价一次，较大风险每6个月一次，一般风险每9个月一次。当发生工艺变更、设备更新、组织调整或事故后，应及时启动风险再辨识与再评价。

应将风险评估结果应用于企业供水规划和更新改造计划等管理决策，通过信息化手段提高风险管理效率。水厂可结合SCADA系统、智慧水务平台等现有信息化基础，将安全风险分级管控内容融入日常管理流程，实现风险数据的自动采集、实时预警和动态更新，提升风险管控的时效性和精准性。

四、实施保障建议

- 1. 组织与制度保障。供水企业应建立由主要负责人牵头的安全风险分级管控组织机构，制定覆盖全流程的管理制度，明确

各层级、各岗位的职责边界和工作要求。制度体系应涵盖风险辨识、风险评价、风险管控、隐患排查、文件管理和持续改进等环节，形成闭环管理机制。

- 2. 教育培训保障。分层次、分阶段组织员工开展风险辨识方法和风险管控措施的教育培训，使一线人员掌握危险源辨识的基本技能，提升全员风险意识和防范能力。培训方式可与常规安全教育培训相结合，可聘请专业机构开展，亦可由企业内部专业人员组织实施。
- 3. 信息化建设保障。将安全风险分级管控体系与现有智慧水务平台、SCADA系统、OA办公系统等信息化系统深度融合，建立风险基础信息库、过程管理流程和动态监测模块。通过信息化手段实现风险数据的条件查询、自动预警和统计分析，减少重复性工作，提升管控效率。

五、结束语

本文围绕城镇自来水水厂运行安全风险辨识与分级管控策略展开研究，得出以下主要结论：

- 1. 城镇自来水水厂运行安全风险可从人员操作、设备设施、工艺流程、危险化学品和作业环境五个维度进行系统辨识，采用JHA法与SCL法相结合的方式可实现对作业活动和设备设施的全覆盖辨识。
- 2. 风险评价宜采用LEC法与风险矩阵法相结合的半定量评价模型，通过极端风险与现实风险两阶段评价，可有效评估现有管控措施的充分性，并将风险划分为重大、较大、一般和低风险四个等级。
- 3. 分级管控策略应以责任体系为骨架、技术措施为支撑、动态监测为驱动，形成“辨识—评价—管控—改进”的闭环管理路径，并辅以组织制度、教育培训和信息化建设三重保障，推动安全风险管控由被动响应向主动预防转型。

本文所提策略体系可为城镇供水企业开展安全风险分级管控工作提供方法参考，后续研究可结合具体水厂的实证数据进一步验证和优化评价模型与管控策略的适用性。

参考文献

[1] 肖彬彬, 郭文路. 2020—2024年供水系统安全事故统计分析与探讨[J]. 城镇供水, 2026(1): 47-52.

[2] 梁耀枢, 刁俊峰, 梁红亮. 南方某城市供水系统建立双重预防控制机制的经验分享[J]. 城镇供水, 2024(6): 73-76.

[3] 周雅珍, 蔡云龙, 刘茵, 等. 城市供水系统风险评估与安全管理研究[J]. 给水排水, 2013, 49(12): 132-136.

[4] 姜晓琳. 上海凌桥水厂不停产提标改造的运行安全控制[J]. 中国给水排水, 2024, 40(10): 91-95.

[5] 徐锦涛, 张葆华. 基于HACCP体系的水厂投加系统的风险管理[J]. 净水技术, 2022, 41(11): 179-184.

[6] 水厂加氯加氨间重大危险源安全评估与控制评价模型研究[J]. 城镇供水, 2016(6): 49-53.

[7] 深圳市市场监督管理局. 自来水厂安全风险分级管控工作指南: DB4403/T 267—2022[S]. 深圳: 深圳市市场监督管理局, 2022.

[8] 邵勇, 陶飞飞, 皮妍玲, 等. 基于改进LEC法的水利工程安全风险分级评价[J]. 江苏水利, 2023(6): 60-65.

[9] 李兰娟, 孟珊. 基于层次分析法和风险矩阵法的城镇供水管道安全风险评估[J]. 净水技术, 2025, 44(3): 52-59.

[10] 吴疆, 喻博, 张思远, 等. 基于PDCA和AHP的水务企业安全生产标准化评价[J]. 科技通报, 2024, 40(9): 116-122.