

毛国辉, 魏斌, 薛丽洋, 等. 甘肃省突发水污染风险分区研究[J]. 安全与环境学报, 2026, 26(6): 2485–2493.

MAO G H, WEI B, XUE L Y, et al. Risk zoning of sudden water pollution in Gansu Province[J]. Journal of Safety and Environment, 2026, 26(6): 2485–2493.

甘肃省突发水污染风险分区研究*

毛国辉¹, 魏斌¹, 薛丽洋¹, 张艳庆², 徐泽升³, 周夏飞^{3,4}

(1 甘肃省生态环境应急与事故调查中心, 兰州 730030; 2 甘南藏族自治州环境污染源监控中心, 甘肃甘南藏族自治州 747000;

3 生态环境部环境规划院生态环境风险损害鉴定评估研究中心, 北京 100041;

4 生态环境部环境规划院黄河生态保护研究中心, 北京 100041)

摘要: 甘肃省是长江、黄河及黑河上游的重要水源涵养区, 有效管控其水生态环境风险意义重大。环境风险分区是环境风险管理的基础, 也是有效工具。研究在现有网格环境风险场评估方法的基础上, 首次引入环境风险控制机制因素, 开展甘肃省突发水污染风险分区, 结果显示: (1) 高风险区占全域 0.4% (1 565.6 km²), 较高风险区占 0.7% (3 170.4 km²), 中风险区占 2.6% (11 032.9 km²), 低风险区占 96.3% (409 658.2 km²); (2) 从地市级空间格局来看, 高风险区主要分布在兰州市中部及西部、白银市中部、酒泉市中部及东南部、嘉峪关市中部、张掖市中部、天水市中部、陇南市东北部等地; (3) 从重点河流沿岸分布来看, 高风险区主要分布在黄河干流兰州段、白银段, 湟水河兰州段, 渭河天水段, 疏勒河酒泉段、黑河酒泉段、张掖段, 嘉陵江陇南段, 泾河平凉段; (4) 从各流域与地市叠加风险来看, 黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、嘉陵江水系天水段及陇南段、黑河水系嘉峪关段及张掖段、石羊河水系金昌段的风险相对较高。研究结果可为甘肃省突发水污染风险防控提供决策支撑。

关键词: 环境科学技术基础学科; 甘肃省; 突发水污染; 风险; 分区

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 1009-6094(2026)06-2485-09

DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2025.1349

0 引言

甘肃省作为西北地区的重要省份, 地处黄土高原、青藏高原和内蒙古高原三大地貌单元的交汇区域。该省不仅是长江、黄河及黑河上游重要的水源涵养区, 在国家生态安全格局与区域协调发展进程中也扮演着关键角色^[1-3]。然而, 长期以来的矿山开发及高污染高耗水工业的快速发展, 导致该省水环境遭受严重污染, 面临着旧有污染治理与新风险防控并存的复杂挑战^[4-7]。据统计, 2011—2024 年, 甘肃省共发生 36 起突发水污染事件^[7], 其中, 较大以上事件 5 起, 占比 14.0%。在这些事件中, 部分造成了深远的水生态影响。如 2015 年, 陇星锦业“11·23”尾矿库泄漏事件, 其引发的镉污染蔓延至嘉陵江及西汉水数百公里, 并形成跨甘肃省、陕西省、四川省的污染带, 约 10.8 万居民饮水安全受直接影响, 直接经济损失逾 6 120 万元。此外, 2021 年, 兰州“4·25”黄河什川桥石油类异常事件, 造成黄河干流大范围石油类污染物超标, 影响波及甘肃

省与宁夏回族自治区。

区域水污染风险分区作为环境风险管理的有效工具, 能够系统地识别高风险热点区域, 从而支撑精准化风险管理决策^[8-12]。目前, 应用最广泛的水污染风险分区方法为网格环境风险场评价方法^[8, 12-13]。如 2016 年, 邢永健等^[13]最先运用集对分析等方法, 构建了网格环境风险场评估方法; 2019 年, Cao 等^[12]首次利用环境风险场评价方法, 以 1 km × 1 km 网格为单元, 通过耦合环境风险场强度与风险受体易损性指数, 实现了全国尺度突发水污染风险分区; 周夏飞团队则将环境风险场评价法应用于长江经济带^[11]及黄河流域^[9]的研究。然而, 根据环境风险系统理论, 环境风险应考虑风险源危害性、风险受体易损性、环境风险控制机制 3 个方面^[14-16], 现有研究多聚焦风险源危害性和受体易损性空间耦合机制下的环境风险水平, 忽视了控制机制对风险的消减效应。

基于此, 本文以 2024 年为基准年, 整合企业备案数据、数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)与地

* 收稿日期: 2025-07-30

作者简介: 毛国辉, 高级工程师, 从事生态环境风险评估与应急管理研究, MGh_8015@163.com; 周夏飞(通信作者), 高级工程师, 从事生态环境风险评估与应急管理研究, zhouxf@caep.org.cn。

基金项目: 甘肃省科技计划项目(2025QNTD38, 24JRRA712)

理空间数据,在现有网格法框架中耦合风险控制机制,基于 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 空间单元对甘肃省开展突发水污染风险分区,识别高风险热点区域,以期为该省环境风险管理提供科学依据。

1 研究区概况

甘肃省位于我国西北干旱地带,是黄土高原、青藏高原和内蒙古高原的交汇区域,总面积为 42.58 万 km^2 [2,4],下辖 12 个地级市与 2 个自治州。省内主要涵盖长江、黄河和内陆河三大流域,年平均降水量为 262.2 mm ,地表水资源量为 213.65 亿 m^3 ,地下水资源量为 107.91 亿 m^3 [2]。

根据《甘肃省地表水功能区划(2012—2030年)》[17],甘肃省地表水系归属三大流域,划分为 12 个水系:黄河流域下辖黄河干流、洮河、湟水、泾河、渭河、洛河 6 个水系,长江流域涉及嘉陵江、汉江 2 个水系,内陆河流域包含石羊河、黑河、疏勒河、哈尔腾河苏干湖 4 个水系,其空间分布见图 1。



图1 甘肃省水系范围空间分布图

Fig.1 Distribution map of river basin boundaries in Gansu Province

[审图号:GS京(2025)2289号。]

2 数据与方法

2.1 数据来源

(1)甘肃省企业备案数据来源于甘肃省生态环境应急与事故调查中心,该数据包括企业名称、经纬度、风险物质存储量等信息,环境风险物质类型统计以《企业突发环境事件风险分级方法》[18]中附录 A 的涉水风险物质为参考。

(2)甘肃省尾矿库数据来源于甘肃省生态环境

应急与事故调查中心,该数据包括尾矿库名称、经纬度、矿种、等别、入库型式等。

(3)甘肃省环境应急空间设施数据来源于甘肃省生态环境应急与事故调查中心,该数据包括设施名称、经纬度、类型等,环境应急空间设施类型包括水库、湿地、坑塘、闸坝、引水式电站、坝式水电站等。

(4)2024 年甘肃省水质监测断面数据来源于甘肃省环境监测中心站,该数据包括监测断面名称、经纬度、目标水质、现状水质、监测项目等,监测项目主要为 pH 值、电导率、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅、总磷、铜、锌、氟化物、硒、砷、镉、六价铬、氰化物、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、叶绿素 a、透明度等。

(5)2011—2024 年甘肃省突发水污染事件来源于甘肃省生态环境应急与事故调查中心,该数据包括事件名称、诱因、污染物类型等相关信息。

2.2 研究方法

本文在综述现有网格化突发水污染风险分区研究方法的基础上 [12-13,19],引入环境风险控制机制指数,开展突发性水污染风险分区评估。

2.2.1 网格划分

本文基于甘肃省空间范围数据,利用 ArcGIS 的 create fishnet 功能将甘肃省划分为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格,共划分了 430 689 个网格。

2.2.2 网格突发水污染风险场强度计算

风险源按照状态可分为固定源和移动源两类,固定源包括风险企业(储存环境风险物质的企业)、尾矿库等,移动源包括环境风险物质水运及道路运输载具 [8,18]。

限于数据可得性的影响,本文重点考虑风险企业、尾矿库等固定风险源的影响,具体计算公式为

$$E_{x,y} = \max(L_{x,y}, F_{x,y}) \quad (1)$$

$$L_{x,y} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_i & 0 \leq l_i \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{l_i}{10}\right) Q_i & 1 < l_i \leq 10 \\ 0 & l_i > 10 \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{x,y} = \begin{cases} \sum_{j=1}^m Q_j & 0 \leq f_j \leq 1 \\ \sum_{j=1}^m \left(1 - \frac{f_j}{10}\right) Q_j & 1 < f_j \leq 10 \\ 0 & f_j > 10 \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_j = \frac{r_j + w_j + m_j}{3} \quad (4)$$

式中 $E_{x,y}$ 为某一个网格的突发水污染风险场强度; $L_{x,y}$ 、 $F_{x,y}$ 分别为风险企业、尾矿库突发水污染风险场强度; Q_i 为第 i 个风险企业环境风险物质最大存储量与临界量的比值,临界量取值参考《企业突发环境事件风险分级方法》^[18] 中附录 A 的涉水风险物质临界量; Q_j 为第 j 个尾矿库的危害性分值,其量化计算可参考周夏飞等^[8] 的研究; r_j 为尾矿库等别分数,一等、二等、三等、四等、五等库分别取 100 分、80 分、60 分、40 分、20 分; w_j 为尾矿库入库形式分数,湿库、混合库、干库分别取 100 分、80 分、60 分; m_j 为矿种类型分数,铅锌矿、镍钴矿、硫铁矿、石煤矿、汞矿、钼矿、铜矿、金矿、银矿、锑矿均取 100 分,锰矿、铁矿、钒矿均取 80 分,其他矿取 60 分; l_i 、 f_j 分别为网格中心点与风险企业、尾矿库的距离, km; n 、 m 分别为风险企业、尾矿库的个数。

鉴于水体具有由高向低流动的自然特性,风险源只有在高程上超过周边区域时,其影响才可能向下游方向扩散。为了准确界定各风险源的实际影响范围,本文借鉴区域生长算法的基本原理^[9,12],基于数字高程模型逐网格扩展分析,从而识别每个污染源在空间上的潜在影响区域。

为了消除量纲影响并实现网格间水环境风险场强度的直接比较,本文对所有网格的风险企业、尾矿库水环境风险场强度进行了标准化转换,具体公式为

$$E_{x,y} = \frac{E_{x,y} - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (5)$$

式中 $E_{x,y}$ 为网格突发水污染风险场强度; $E_{\max}$ 为所有网格最大突发水污染风险场强度; $E_{\min}$ 为所有网格最小突发水污染风险场强度。

2.2.3 网格水环境风险受体易损性指数计算

水环境风险受体易损性指数 $V_{x,y}$ 参考 Cao 等^[12]、

周夏飞等^[10] 研究,可根据河流、湖泊水库级别及水体功能区等确定,具体计算公式为

$$V_{x,y} = \frac{g_{x,y} + q_{x,y} + d_{x,y}}{3} \quad (6)$$

式中 $g_{x,y}$ 为某网格的河流、湖泊水库级别指数,其值可用该网格内河流、湖泊水库的最高级别量化,一级、二级、三级、四级、五级分别取 100 分、80 分、60 分、40 分、20 分; $q_{x,y}$ 为网格的水体功能指数,可用该网格内河流、湖泊水库水质的最优级别量化, I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类及劣 V 类分别取 100 分、80 分、60 分、40 分、20 分; $d_{x,y}$ 为网格的河流、湖泊和水库影响指数,以网格中心点至最近河流、湖泊水库的距离来量化, $[0, 1]$ km、 $(1, 3]$ km、 $(3, 5]$ km、 $(5, 10]$ km 分别取 100 分、75 分、50 分、25 分^[10]。

2.2.4 网格水环境风险控制机制指数计算

网格水环境风险控制机制指数 $M_{x,y}$ 与其所在流域监测预警情况、流域所在行政区域环境应急能力及流域现有环境应急空间设施密切相关^[20]。本文在参考文献^[21] 的基础上,综合考虑数据可得性及历史突发环境事件处置案例,以流域环境应急空间设施状况量化网格突发水环境风险控制机制指数,具体量化方法见表 1。

2.2.5 网格环境风险值计算与风险分区

根据风险系统理论,环境风险系统由风险源、风险控制机制与风险受体构成^[15]。其中,风险源是可能引发环境危害的起源,为突发污染事件提供了先决条件;风险控制机制指抑制风险因子释放的制度与措施,属于源强控制范畴;风险受体指可能遭受风险源损害的生态环境组成部分。因此,空间某一点 (x, y) 处的环境风险水平取决于该点的风险场强度、受体易损性及风险控制能力。

本文基于式(7) 计算得到各网格的环境风险值

表 1 $M_{x,y}$ 确定方法

Table 1 Determination method of $M_{x,y}$

目标	描述	取值
网格水环境风险控制机制指数	网格所在流域上游 10 km 具有 3 种以上关键环境应急空间设施(水库、闸坝、坝式水电站、引水式电站、渠首等)	0.7
	网格所在流域上游 10 km 具有 2 种关键环境应急空间设施(水库、闸坝、坝式水电站、引水式电站、渠首等)	0.8
	网格所在流域上游 10 km 具有 1 种关键环境应急空间设施(水库、闸坝、坝式水电站、引水式电站、渠首等)	0.9
	其他情况	1.0

险区面积为 3 170.4 km²(占比 0.7%);中风险区面积为 11 032.9 km²(占比 2.6%);低风险区面积为 409 658.2 km²(占比 96.3%)。从地市级空间格局来看,高风险区主要分布在兰州市中部及西部、白银市中部、临夏回族自治州北部、酒泉市中部及东南部、嘉峪关市中部、张掖市中部、天水市中部、甘南藏族自治州东南部、陇南市东北部等地;在重点河流沿岸,高风险区主要分布在黄河干流兰州段、白银段,湟水河兰州段,渭河天水段,疏勒河酒泉段、黑河酒泉段、张掖段,嘉陵江陇南段,泾河平凉段(图 3)。

从各流域平均风险值来看,黑河水系、渭河水系、嘉陵江水系、湟水河水系、黄河干流水系的风险相对较高;从各地市平均风险值来看,嘉峪关市、天水市、兰州市、陇南市、张掖市等地的风险相对较高;从各流域与地市叠加平均风险值来看,黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、嘉陵江水系天水段及陇南段、黑河水系嘉峪关段及张掖段、石羊河水系金昌段的的风险相对较高(表 2)。

4 讨 论

4.1 结果可靠性检验

为验证分区可靠性,本文将 2011—2024 年历史固定源突发水污染事件的空间分布与风险分区结果进行叠加匹配。匹配结果显示(图 4),约 17 起事件

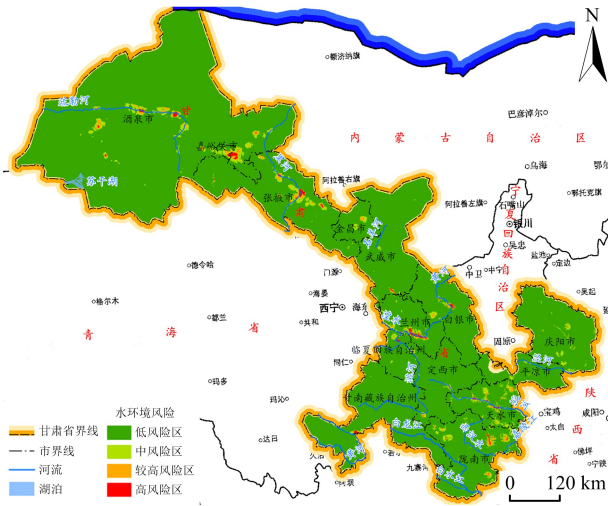


图 3 甘肃省突发水污染风险空间分布
Fig.3 Spatial distribution of risk zoning of sudden water pollution in Gansu Province
[审图号:GS 京(2025)2289 号。]

(占比 89%)发生于中风险以上网格,表明本文的分区结果具有一定的可靠性。

4.2 流域高风险热点区域原因分析

研究结果显示,黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、泾河水系庆阳段、嘉陵江水系天水段及陇南段、黑河水系嘉峪关段、石羊河

表 2 甘肃省各流域与地市叠加突发水污染平均风险值统计

Table 2 Average risk values of sudden water pollution overlaid by watershed and prefecture in Gansu Province													
地市	黄河干流水系	湟水河水系	洮河水系	渭河水系	泾河水系	洛河水系	嘉陵江水系	汉江水系	疏勒河水系	黑河水系	石羊河水系	苏干湖水系	平均风险值
兰州市	7.71	5.87											6.98
嘉峪关市									12.10	23.90			22.48
金昌市											2.92		2.61
白银市	2.30												2.14
天水市				9.19			8.55						9.06
武威市	3.76	1.20									0.42		0.79
张掖市										4.63	0.68		4.17
平凉市					2.34								2.15
酒泉市									1.73	4.84		0.00	1.96
庆阳市	0.00				2.75	1.75							2.55
定西市	0.57		3.57	1.18			0.34						1.64
陇南市							5.02	0.00					4.96
临夏州	4.95		1.87										3.69
甘南州	0.67		0.71				0.06						0.55
平均风险值	2.99	4.48	1.47	4.69	2.66	1.74	4.15	0.00	1.72	5.05	0.88	0.00	2.69

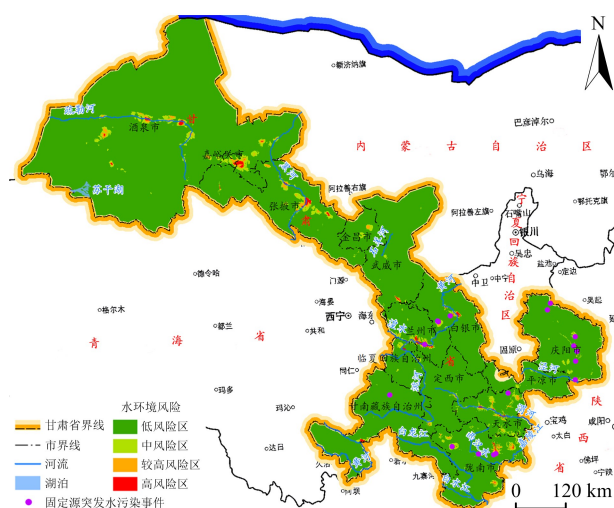


图4 2011—2024年甘肃省突发水污染事件与风险分区结果叠加分布图

Fig. 4 Overlay distribution of sudden water pollution incidents and risk zoning results in Gansu Province (2011 - 2024)

[审图号:GS京(2025)2289号。]

水系金昌段的风险相对较高。为了深入探索流域高风险热点区域的深层次原因,本文进一步分析了其风险场强、受体易损性及风险控制机制指数,见表3。黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、嘉陵江水系天水段、黑河水系嘉峪关段、黑河水系张掖段的风险较高,主要是由风险企业场强大且受体易损性强所致;嘉陵江水系陇南段、石羊河水系金昌段的风险较高,主要是由尾矿库场强大且受体易损性强所致。

4.3 政策建议

基于甘肃省水环境突发污染风险评估的分区结

论,主要建议包括:(1)强化风险热点区域隐患治理。针对黄河兰州段、湟水河兰州段、渭河天水段、嘉陵江天水段以及黑河嘉峪关段等关键流域内的“高风险区域”,加强对其环境风险企业的隐患排查与整治工作。同时,重点抓好嘉陵江陇南段、石羊河金昌段等高风险流域尾矿库的安全隐患排查治理。(2)构建重点河段监测预警体系。在污染风险突出的重点河段,如黄河兰州—白银段、湟水河兰州段、渭河天水段、疏勒河酒泉段、黑河酒泉—张掖段、嘉陵江陇南段、泾河平凉段等,建立健全专业化、综合性的突发水污染事故监测与预警响应平台。(3)完善应急空间设施规划与布局体系。针对黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、嘉陵江水系天水段等高风险且风险控制指数低的河段,编制《高风险河段环境应急能力建设专项规划》,明确固定式应急物资库、拦截工程、移动应急设备配置点的空间布局、服务半径与建设标准,形成“点一线一面”多层次覆盖的应急设施网络。

4.4 不足与展望

基于环境风险系统理论,风险评估应涵盖风险源危害性、受体易损性以及风险控制机制3个核心维度^[16,22-23]。既往研究多聚焦于风险源危害性与受体易损性空间耦合产生的风险水平,未能充分考量风险控制机制的抑制与缓解效应。本文在继承既有研究框架的基础上,于评估体系中纳入“环境风险控制机制”这一关键因素,增强了突发水污染风险分区结果的可靠性。

然而,受限于数据可得性,本文存在如下局限:(1)风险源涵盖固定源(如工业企业、尾矿库)与移动源两类,本文仅评估了固定源的影响,尚未纳入移动源的贡献;(2)流域风险控制机制的内涵广泛,包

表3 流域高风险区原因分析

Table 3 Analysis of causes for high-risk zones in watershed

序号	流域高风险区域	原因分析
1	黄河干流水系兰州段	风险企业风险场强大、受体易损性强、风险控制机制指数低
2	湟水河水系兰州段	风险企业风险场强大、受体易损性强、风险控制机制指数低
3	渭河水系天水段	风险企业风险场强大、受体易损性强、风险控制机制指数低
4	嘉陵江水系天水段	风险企业风险场强大、受体易损性强、风险控制机制指数低
5	嘉陵江水系陇南段	尾矿库风险场强大、受体易损性强
6	黑河水系嘉峪关段	风险企业风险场强大、受体易损性强
7	黑河水系张掖段	风险企业风险场强大、受体易损性强
8	石羊河水系金昌段	风险企业风险场强大、尾矿库场强大、受体易损性强

括监测预警能力、应急空间与设施、应急响应能力等要素。本文主要依据现有应急空间与设施水平量化风险控制机制指数,未能整合其他相关因素。后续研究需致力于数据优化,以期实现更为精细化的风险分区。

5 结 论

本文基于备案企业数据、DEM 数据和基础地理数据等,开展了甘肃省突发水污染风险分区评估,获得了如下结论。

(1) 风险区面积占比呈现出明显的“金字塔”结构:极少数区域($1\,565.6\text{ km}^2$, 0.4%)处于高风险等级,较高风险区($3\,170.4\text{ km}^2$, 0.7%)与中风险区($11\,032.9\text{ km}^2$, 2.6%)占比也较小,绝大部分地区($409\,658.2\text{ km}^2$, 96.3%)为低风险区域。

(2) 从地市空间格局来看,高风险区主要分布在兰州市中部及西部、白银市中部、临夏回族自治州北部、酒泉市中部及东南部、嘉峪关市中部、张掖市中部、天水市中部、甘南藏族自治州东南部、陇南市东北部等地;在重点河流沿岸,高风险区主要分布在黄河干流兰州段、白银段,湟水河兰州段,渭河天水段,疏勒河酒泉段、黑河酒泉段、张掖段,嘉陵江陇南段,泾河平凉段。

(3) 从各流域与地市叠加风险来看,黄河干流水系兰州段、湟水河水系兰州段、渭河水系天水段、嘉陵江水系天水段及陇南段、黑河水系嘉峪关段及张掖段、石羊河水系金昌段的相对风险较高。

参考文献 (References):

- [1] 宋俊密, 吕康乐. 甘肃省主要工业环境风险源分布特征及环境应急监测建议[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2023, 59(4): 109–117.
SONG J M, LÜ K L. Distribution characteristics of main industrial environmental risk sources in Gansu Province and emergency monitoring suggestions [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Sciences), 2023, 59(4): 109–117.
- [2] 陈晓雨婧, 吴燕红, 夏建新. 甘肃省资源环境承载力监测预警[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2378–2388.
CHEN X Y J, WU Y H, XIA J X. Dynamic monitoring and early warning of resources and environment carrying capacity in Gansu, China [J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2378–2388.
- [3] 薛丽洋, 赵浦秋, 乔飞杨, 等. 甘肃省内陆河流域环境风险评估方法探究[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(4): 2280–2289.
- XUE L Y, ZHAO P Q, QIAO F Y, et al. Research on environmental risk assessment methods of inland river basins in Gansu Province [J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22(4): 2280–2289.
- [4] 孙映祥, 杨繁, 宁娜. 甘肃省绿色矿山建设管理实践与建议[J]. 中国矿业, 2023, 32(7): 50–54.
SUN Y X, YANG F, NING N. Practice and suggestions on the management of green mines construction in Gansu Province [J]. China Mining Magazine, 2023, 32(7): 50–54.
- [5] 鹿晨昱, 黄萍, 张彤, 等. 甘肃省绿色发展效率时空演化与驱动因素研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 305–315.
LU C Y, HUANG P, ZHANG T, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of the green development efficiency in Gansu Province [J]. Arid Land Geography, 2023, 46(2): 305–315.
- [6] 谢利英, 谢成兴, 杨一鸣. 基于水生态足迹的甘肃省水资源可持续利用与经济发展[J]. 统计与管理, 2021, 36(4): 4–9.
XIE L Y, XIE C X, YANG Y M. Sustainable utilization of water resources and economic development in Gansu Province based on water ecological footprint [J]. Statistics and Management, 2021, 36(4): 4–9.
- [7] 魏斌, 梁佳, 薛丽洋, 等. 甘肃省 2011—2019 年突发环境事件特征及防控对策[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(6): 124–130.
WEI B, LIANG J, XUE L Y, et al. Characteristics of environmental emergencies in Gansu Province from 2011 to 2019 and prevention and control countermeasures [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2021, 57(6): 124–130.
- [8] 周夏飞, 周胜森, 徐翔宇, 等. 长江上游地质灾害次生突发水污染风险分区研究[J]. 中国环境科学, 2024, 44(7): 3999–4008.
ZHOU X F, ZHOU S S, XU X Y, et al. Study on the risk zoning of secondary sudden water pollution caused by geological disasters in the upper reaches of the Yangtze River [J]. China Environmental Science, 2024, 44(7): 3999–4008.
- [9] 周夏飞, 曹国志, 於方, 等. 黄河流域水污染风险分区[J]. 环境科学, 2022, 43(5): 2448–2458.
ZHOU X F, CAO G Z, YU F, et al. Risk zoning of water pollution in the Yellow River basin [J]. Environmental Science, 2022, 43(5): 2448–2458.
- [10] 周夏飞, 於方, 刘琦, 等. 东江流域突发水污染风险分区研究[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4813–4822.

- ZHOU X F, YU F, LIU Q, et al. Risk zoning of sudden water pollution in Dongjiang River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(14): 4813–4822.
- [11] 周夏飞, 曹国志, 於方, 等. 长江经济带突发水污染风险分区研究[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(1): 334–342.
- ZHOU X F, CAO G Z, YU F, et al. Risk zoning of acute water pollution in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, 40(1): 334–342.
- [12] CAO G Z, GAO Y, WANG J N, et al. Spatially resolved risk assessment of environmental incidents in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 219: 856–864.
- [13] 邢永健, 王旭, 可欣, 等. 基于风险场的区域突发性环境风险评价方法研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(4): 1268–1274.
- XING Y J, WANG X, KE X, et al. Method of regional acute environmental risk assessment based on risk field [J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(4): 1268–1274.
- [14] 李凤英, 毕军, 曲常胜, 等. 环境风险全过程评估与管理模式研究及应用[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(6): 858–864.
- LI F Y, BI J, QU C S, et al. Whole-process environmental risk assessment and management and its application[J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(6): 858–864.
- [15] 於方, 曹国志, 齐霁, 等. 生态环境风险管理与损害赔偿制度现状与展望[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(5): 143–150.
- YU F, CAO G Z, QI J, et al. Status quo and prospect of ecological environment risk management and damage compensation in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, 13(5): 143–150.
- [16] 胡丽条, 高越, 倪平, 等. 我国沿海地区台风引发的工业企业 Natech 风险评估[J]. *灾害学*, 2021, 36(3): 227–234.
- HU L T, GAO Y, NI P, et al. Natech risk assessment of industrial enterprises triggered by typhoon in coastal regions of China[J]. *Journal of Catastrophology*, 2021, 36(3): 227–234.
- [17] 甘肃省水利厅. 甘肃省地表水功能区划(2012—2030年)[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2013.
- Gansu Provincial Department of Water Resources. Surface water functional zoning of Gansu Province (2012–2030) [M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 2013.
- [18] 中华人民共和国生态环境部. 企业突发环境事件风险分级方法: HJ 941—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical method for ranking the risk levels of enterprise environmental emergencies: HJ 941—2018[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2018.
- [19] 中华人民共和国生态环境部. 行政区域突发环境事件风险评估推荐方法: 环办应急[2018]9号[S/OL]. [2025–07–30]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201802/t20180206_430931.htm.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Recommended method for risk assessment of sudden environmental events in administrative regions: document No. 9 of the office of emergency response [2018] [S/OL]. [2025–07–30]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201802/t20180206_430931.htm.
- [20] 陈思莉, 黄大伟, 张政科, 等. 流域突发水污染事件应急处置工程削污技术[J]. *环境工程学报*, 2021, 15(7): 2233–2238.
- CHEN S L, HUANG D W, ZHANG Z K, et al. Pollution reduction technologies for emergent water pollution disposal in river basins[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2021, 15(7): 2233–2238.
- [21] 莫倩雯, 杨聪高, 阮虹嘉, 等. 基于空间换时间和水质模型反向推演的河流突发水污染应急技术研究[J]. *环境工程*, 2025, 43(2): 105–113.
- MO Q W, YANG C G, RUAN H J, et al. Research on emergency technology for sudden water pollution in rivers based on space for time and water quality model reverse deduction [J]. *Environmental Engineering*, 2025, 43(2): 105–113.
- [22] 高越, 马宗伟, 毕军. 重污染行业 Natech 风险特征识别和风险管控[J]. *灾害学*, 2025, 40(3): 54–63.
- GAO Y, MA Z W, BI J. Identification of Natech risk characteristics and risk management in heavily polluting industries [J]. *Journal of Catastrophology*, 2025, 40(3): 54–63.
- [23] HAN R R, ZHOU B H, AN L Y, et al. Quantitative assessment of enterprise environmental risk mitigation in the context of Na-tech disasters [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, 191(4): 210.1–210.13.

Risk zoning of sudden water pollution in Gansu Province

MAO Guohui¹, WEI Bin¹, XUE Liyang¹, ZHANG Yanqing², XU Zesheng³, ZHOU Xiafei^{3,4}

(1 Gansu Ecological Environmental Emergency and Accident Investigation Center, Lanzhou 730030, China;

2 Environmental Pollution Source Monitoring Center of Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Gannan Tibetan Autonomous Prefecture 747000, Gansu, China;

3 Center for Ecological and Environmental Risk and Damage Assessment, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100041, China;

4 Yellow River Ecology and Environment Protection Center, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100041, China)

Abstract: Gansu Province is a crucial water conservation area in the upper reaches of the Yangtze River, Yellow River, and Heihe rivers, making the effective management of its water ecological environment risks highly significant. Environmental risk zoning serves as both the foundation and an effective tool for environmental risk management. Building upon existing grid-based environmental risk assessment methodologies, this study introduces factors related to risk control mechanisms to conduct risk zoning for sudden water pollution incidents in Gansu Province. The results indicate that: (1) The high-risk zone covers an area of 1 565.6 km², accounting for 0.4% of the total; the relatively high-risk zone covers 3 170.4 km² (0.7%); the medium-risk zone encompasses 11 032.9 km² (2.6%); and the low-risk zone spans 409 658.2 km² (96.3%). (2) Spatially, from the perspective of prefecture-level cities, high-risk areas are primarily located in the central and western parts of Lanzhou City, the central part of Baiyin City, the central and southeastern areas of Jiuquan City, the central part of Jiayuguan City, the central part of Zhangye City, the central part of Tianshui City, and the northeastern part of Longnan City. (3) Along major rivers, high-risk areas are mainly concentrated in the Lanzhou and Baiyin sections of the Yellow River main stream, the Lanzhou section of the Huangshui River, the Tianshui section of the Wei River, the Jiuquan sections of the Shule River and Heihe River, the Zhangye section of the Heihe River, the Longnan section of the Jialing River, and the Pingliang section of the Jing River. (4) From the perspective of overlapping risks between river basins and prefectural cities, relatively higher risks are observed in the Lanzhou section of the Yellow River main stream system, the Lanzhou section of the Huangshui River system, the Tianshui section of the Wei River system, the Tianshui and Longnan sections of the Jialing River system, the Jiayuguan and Zhangye sections of the Heihe River system, and the Jinchang section of the Shiyang River system. These findings can provide decision-making support for the prevention and control of sudden water pollution risks in Gansu Province.

Key words: basic discipline of environmental science and technology; Gansu Province; sudden water pollution; risk; zoning