

李旭,吕佳佩,裴莹莹,等. 国内突发环境事件特征分析[J]. 环境工程技术学报,2021,11(2):401-408.

LI X, LÜ J P, PEI Y Y, et al. Analysis of the characteristics of environmental emergencies in China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021,11(2):401-408.

## 国内突发环境事件特征分析

李旭<sup>1</sup>, 吕佳佩<sup>1,2,3</sup>, 裴莹莹<sup>1,2,3</sup>, 郭昌胜<sup>1,2,3\*</sup>, 徐建<sup>1,2,3</sup>

1. 中国环境科学研究院环境健康风险评估与研究中心

2. 环境基准与风险评估国家重点实验室, 中国环境科学研究院

3. 国家环境保护化学品生态效应与风险评估重点实验室, 中国环境科学研究院

**摘要** 从突发环境事件的发展趋势、空间分布、污染受体类型、污染因子、污染原因及行业特征6个方面对2011—2017年我国3 203件突发环境事件及其中的突发环境污染事件进行统计与分析。结果表明:2011—2017年,突发环境事件发生次数总体呈下降趋势,一般环境事件是主要事件级别,占比为95.50%;华东地区是突发环境事件的主要发生地,占比为46.99%,上海市累计突发环境事件最多(761次),其次是陕西省(360次)和江苏省(347次);水是突发环境污染事件的主要污染受体,占比为85.59%;工业废水是引发突发环境污染事件的主要污染因子,占比为26.73%;人为因素是造成突发环境污染事件的主要因素,其中企业非法超标排污对突发环境污染事件的贡献率达36.56%;水力的生产和供应业以及化学原料和化学品制造业是突发环境污染事件的多发行业。需完善突发环境事件风险管理体系,加大对工业废水排放的多元监督力度,加强对事故多发行业的管理,以有效防控突发环境污染事件。

**关键词** 突发环境事件;空间分布;污染因子;污染原因;事故行业

中图分类号:X507 文章编号:1674-991X(2021)02-0401-08 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20200019

## Analysis of the characteristics of environmental emergencies in China

LI Xu<sup>1</sup>, LÜ Jiapei<sup>1,2,3</sup>, PEI Yingying<sup>1,2,3</sup>, GUO Changsheng<sup>1,2,3\*</sup>, XU Jian<sup>1,2,3</sup>

1. Center for Environmental Health Risk Assessment and Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences

2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences

3. State Environmental Protection Key Laboratory of Ecological Effect and Risk Assessment of Chemicals,

Chinese Research Academy of Environmental Sciences

**Abstract** The statistics and analysis were made on 3 203 environmental emergencies and their environmental pollution emergencies in China from 2011 to 2017 from six aspects, including the development trend, spatial distribution, receptor types, pollution factors, pollution causes and industrial characteristics. The results showed that from 2011 to 2017, the number of environmental emergencies was on the whole decreasing, and the general environmental events were the main events, accounting for 95.50%. East China was the main site of environmental emergencies, accounting for 46.99%. Shanghai had the largest cumulative number of environmental emergencies (761), followed by Shaanxi Province (360) and Jiangsu Province (347). The water was the main pollution acceptor of environmental pollution emergency events, accounting for 85.59%. The wastewater from industrial enterprises was the main pollution factor causing environmental pollution emergency events, accounting for 26.73%. Human factors were the main factors causing environmental pollution emergency events, among which the contribution rate of illegal pollutant discharge by enterprises reached 36.56%. The production and supply of water power and the manufacturing of chemical raw materials and chemicals were the industries with frequent

收稿日期:2020-05-15

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07301-005-03);国家重点研发计划项目(2019YFC1803401)

作者简介:李旭(1995—),女,硕士,主要从事污染物环境风险评估研究,2539972216@qq.com

\* 责任作者:郭昌胜(1981—),男,副研究员,博士,主要从事污染物风险评价与决策支持研究,guocs@cracs.org.cn

environmental pollution emergency events. The research showed that it was necessary to improve the risk management system of environmental emergencies, strengthen the diversified supervision of industrial wastewater discharge, and reinforce the management of industries with high accident rate to effectively prevent and control environment pollution emergency events.

**Key words** environmental emergencies; spatial distribution; pollution factors; cause of pollution; accident industry

突发环境事件是指由于人为因素、意外因素、自然灾害或生产安全事故等对环境造成一定影响的事件,由于其发生途径和方式不固定,具有多样性、突然性和偶然性等特点,在实际生产生活中难以有效控制,从而对人类健康和生态环境造成潜在威胁,带来很大的环境影响<sup>[1]</sup>。近几十年来,随着经济社会的发展,我国环境风险隐患问题突出,各类突发环境污染事件频发。如 2013 年 1 月 18 日,上海某物流有限公司槽罐运输车因向河中违法倾倒油性废物,导致苯乙烯等污染物严重超标,部分水域污染严重<sup>[2]</sup>;2015 年 8 月 14 日,湖北孝昌市因城市污水管网破裂,导致污水直接进入饮用水备用水源河道,出现大面积死鱼<sup>[3]</sup>;2017 年 5 月 15 日,河南漯河市某钛白粉厂因操作不当致氯气泄漏,导致周边约 57 hm<sup>2</sup>的农作物被污染<sup>[4]</sup>。类似的突发环境污染事件频繁发生,在对生态环境造成严重损害的同时,对社会稳定和人体健康也造成一定威胁。

严峻的环境风险形势和频发的环境事件成为制约经济发展的重要因素。美国、日本等发达国家于 20 世纪初开始对突发环境事件应急防范进行研究,欧美等发达国家在应急管理方面已经形成了完善的环境管理体系,如风险评估和政策管理体系、多级联动应急响应系统以及信息交流系统,为突发环境事件应急决策提供依据<sup>[5]</sup>。与发达国家相比,我国对突发环境事件环境管理的相关研究起步相对较晚。原国家环境保护总局于 2002 年成立了环境应急与事故调查中心,2005 年“松花江”事件推动了我国突发环境事件管理的发展,2006 年国务院颁布了《国家突发环境事件应急预案》<sup>[6]</sup>,到目前为止,我国已初步形成了突发环境事件风险应急管理体系<sup>[7]</sup>,但对突发环境事件的防控和治理体系仍有待进一步完善。相关学者以时间序列特征和影响因素为焦点对突发环境事件开展研究<sup>[8-10]</sup>,结果发现:1995—2005 年我国在对突发环境事件的防控和应急管理方面存在很大的不足,全国每年突发环境事件在 1 406 ~ 2 411 次波动;2006 年出现明显的下降趋势(842 次);2010 年降至 418 次。该结果得益于 2006 年《国家突发环境事件应急预案》的出台,同时对突发

环境事件管控力度的加强、污染治理投入的增加和风险技术的控制也起到很大的作用。笔者运用统计分析软件,分析 2011—2017 年我国突发环境事件的基本特征与规律,以期了解事件发生过程、科学识别环境风险源提供参考依据,同时也为突发环境事件的预防和治理、应急方案的制定和实施提供有效的科学支撑。

## 1 数据来源与分析方法

历年的突发环境事件次数、人口数和污染排放指标数据来源于 2011—2017 年的《中国统计年鉴》<sup>[11]</sup>和《安全与环境学报》中 2011—2017 年《国内环境事件》,与其他文献关于全国突发环境事件统计的来源一致。依据《国家突发环境事件应急预案》分级标准,按照突发环境事件的紧急性和严重性,将突发环境事件分为特别重大环境事件、重大环境事件、较大环境事件和一般环境事件 4 类<sup>[12]</sup>。2011—2017 年全国(不包括西藏、香港、澳门和台湾地区)共发生 3 203 次突发环境事件,应用 Origin 软件分别从发展趋势、空间分布、受体类型、污染因子、污染原因及行业特征 6 个方面对 3 203 次突发环境事件进行整理分析,进而以突发环境事件、污染原因、污染源、environmental accidents、environmental management 和 spatial distribution 等关键词在中国知网、Web of Science 和 Elsevier Science Direct 数据库检索相关中英文文献,用以对我国突发环境事件的特征规律进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 突发环境事件发展趋势

2011—2017 年全国各类突发环境事件发生次数变化趋势如图 1 所示。由图 1 可知,2011—2017 年全国突发环境事件发生次数总体呈下降趋势,其中 2013 年出现峰值(712 次),2014 年则大幅下降,2015—2017 年呈平缓下降趋势。2011—2017 年全国不同级别突发环境事件发生次数占比如图 2 所示。由图 2 可知,2011—2017 年未发生特别重大环境事件,发生一般环境事件共 3 059 次,占突发环境

事件发生次数的 95.50%，一般环境事件发生次数与突发环境事件发生次数的变化趋势一致；发生重大环境事件 24 次和较大环境事件 59 次，占比分别为 0.75% 和 1.84%。

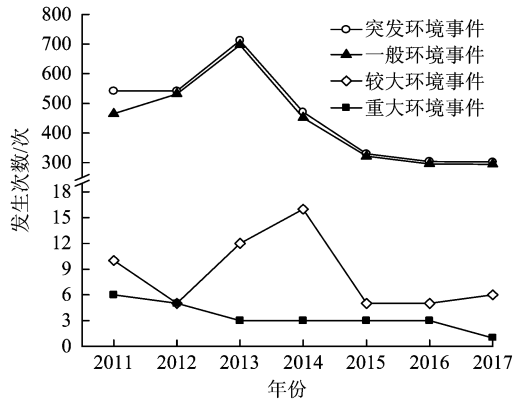


图 1 2011—2017 年全国各类突发环境事件发生次数变化趋势

Fig. 1 Variation trend of the frequency of various environmental emergencies in China from 2011 to 2017

2011—2017 年突发环境事件发生次数呈下降趋势主要得益于法律法规的制定和有效管理。2014 年以来，原环境保护部相继出台了《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》《突发环境事件应急管理办法》等，对突发环境事件进行相对有效的防控和应急管理<sup>[13]</sup>；新《环境保护法》及《大气污染防治法》《水污染防治法》等多部相关法律的修订和实施，为保护和改善我国生态环境、防范环境风险发挥了重大作用。另外，《“十三五”生态环境保护规划》提出将环境风险纳入到常态化管理，开展全过程管控，并加强对重点领域风险的防控，有效防控和降低了环境风险。相关研究表明，突发环境事件的减少也得益于环境风险控制技术的改善、经济水平和工

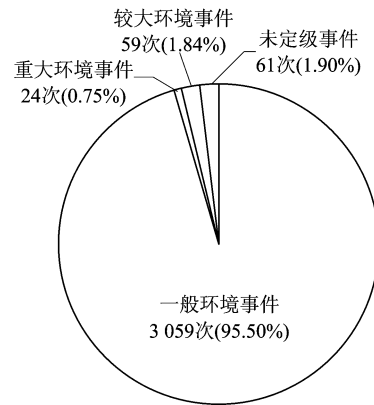


图 2 2011—2017 年全国不同级别突发环境事件发生次数占比

Fig. 2 Proportion of the frequency of environmental emergencies at different levels in China from 2011 to 2017

业文明的提高、产业结构的调整以及污染治理投资的增加<sup>[8-9]</sup>。

## 2.2 突发环境事件空间分布特征

2011—2017 年全国突发环境事件发生次数如表 1 所示。由表 1 可知，华东地区突发环境事件发生次数的变化趋势与全国的突发环境事件一致，整体呈先上升后下降趋势，2013 年达到峰值；华北、中南和西北地区突发环境事件发生次数波动变化，东北、西南地区则变化不大。华东地区突发环境事件发生次数占比最高，为 46.99%；西北和中南地区次之，分别为 16.80% 和 16.27%；东北地区占比最小，仅为 2.72%。对 30 个省、自治区和直辖市(不包括西藏、香港、澳门和台湾地区)2011—2017 年发生的突发环境事件进行统计，上海市突发环境事件发生次数最高，达 761 次，陕西省和江苏省分别为 360 和 347 次；发生 100~300 次的省(市)共有 5 个，分别是广东省 178 次、浙江省 158 次、北京市 123 次、四

表 1 2011—2017 年全国各地区突发环境事件发生次数及占比

Table 1 Frequency and proportion of environmental emergencies occurred in all regions of China from 2011 to 2017

地区	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	占比/%
华北	78	46	36	22	25	27	33	8.34
东北	9	16	13	5	13	16	15	2.72
华东	291	320	431	246	103	60	54	46.99
中南	99	66	52	47	74	85	98	16.27
西南	51	46	36	29	36	44	43	8.90
西北	14	48	144	122	79	72	59	16.80
全国 <sup>1)</sup>	542	542	712	471	330	304	302	100

1) 不包括西藏、香港、澳门和台湾地区。

川省 112 次和重庆市 102 次;发生次数为 50 ~ 100 次的省(区、市)共有 11 个;发生 20 ~ 50 次的省(区、市)共有 6 个,发生次数小于 20 次的省(区、市)共有 5 个。

华东地区是突发环境事件高发地区,2011—2017 年合计达 1 505 次,其中上海市是突发环境事件发生次数最高的城市,达 761 次,这与位于华东地区长江经济带的风险企业相对较多,环境事件风险相对较高有关<sup>[14]</sup>。根据 2012—2018 年《中国统计年鉴》<sup>[11]</sup>,2011—2017 年华东地区的生产总值占国内生产总值的 38.81% ~ 45.95%,人口占全国总人口的 30% 左右,废水排放量和固体废物产生量分别占全国的 34.34% ~ 36.78% 和 19.73% ~ 22.60%。由于华东地区经济总量大、发达程度高、行业和企业数量与种类繁多,东部地区人口高密度集中和产业与生产要素集聚,社会经济高速增长,进而形成了若干人口密集区和城市化区,排污总量大<sup>[15-16]</sup>。因此,华东地区是各类突发环境事件多发地区。

### 2.3 突发环境污染事件的受体类型

对突发环境污染事件的受体类型进行统计,结果如图 3 所示。由图 3 可知,突发环境污染事件主要涉及水、大气和土壤环境受体类型<sup>[17]</sup>,占比分别为 85.59%、7.56% 和 6.85%,其中水是主要的受体类型,这与肖筱瑜<sup>[18]</sup>的研究结果相似。在水环境污染事件中,河流是主要的污染受体,其相关的污染事件数量占水污染事件数量的 60.00%;饮用水和湖泊次之,占比分别为 15.83% 和 7.83%。;地下水污染事件最少,仅占水污染事件的 0.83% (图 4)。

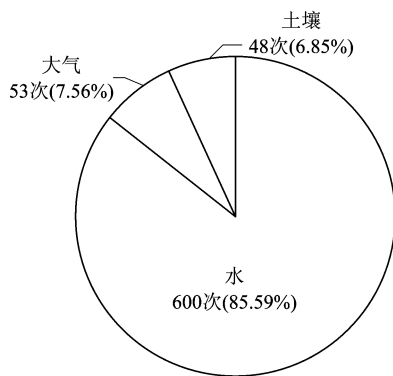


图 3 2011—2017 年全国突发环境污染事件受体类型分布

Fig. 3 Distribution of receptor types of environmental pollution emergencies in China from 2011 to 2017

突发环境污染事件受体多为水和大气,这主要

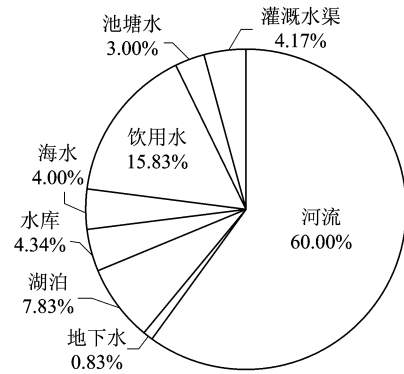


图 4 2011—2017 年全国水环境污染事件受体类型分布

Fig. 4 Distribution of receptor types of water environmental pollution emergencies in China from 2011 to 2017

是由于水和大气流动性强,污染物更易扩散<sup>[19]</sup>。水污染多发生在河流中,由于许多企业为减少废水处理资金投入,借助河流的流动性和稀释扩散作用进行非法排污,随着工业的发展和人口规模的增加,河流在作为水资源被利用的同时,也成为主要的污染受体<sup>[20]</sup>。而饮用水被污染主要由于供水管路老化破坏或者居民私自错接管路,导致饮用水管道被直接污染。突发水污染事件具备风险事件中的瞬时突发性以及后果严重性 2 个基本要素,是典型的风险性事件。

### 2.4 突发环境污染事件污染因子分析

按照污染因子类型对其引发突发环境污染事件的次数进行统计,结果如图 5 所示。由图 5 可知,我国突发环境污染事件的污染因子主要包含工业三废(废水、固废、废气和粉尘)、综合污水、生活污水/垃圾、化学品和油类等。其中,工业废水是造成突发环境污染事件的最主要污染因子,其引发的突发环境污染事件占比为 26.73%;油类、化学品、生活污水/垃圾、综合污水引发的突发环境污染事件占比相对较高,分别为 11.31%、9.25%、8.81% 和 8.08%;工业固废、工业废气和粉尘引发的环境污染事件占比相对较低,分别为 5.87% 和 3.96%。

工业废水是突发环境污染事件的主要污染因子,这主要是由于不合理的产业布局和工业用地规划造成的<sup>[21]</sup>。由于规划和选址的不科学,对环保因素和当地环境的承载能力考虑不够,导致部分工业企业结构布局不合理,许多高污染风险的企业为了取水、排污和原料、产品运输的便利等原因在大江大河边建厂,从而对环境造成结构性风险的隐患。如

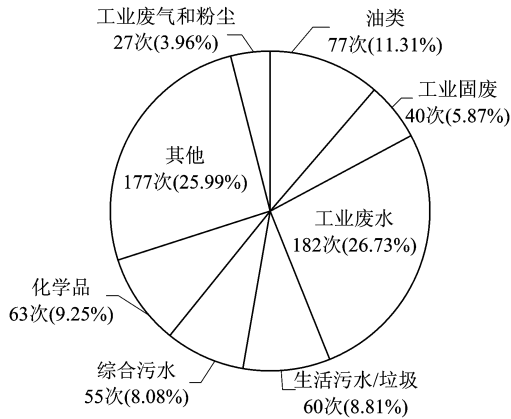


图 5 2011—2017 年不同污染因子引发的全国突发环境污染事件占比

Fig. 5 Proportion of environmental pollution emergencies caused by different pollution factors in China from 2011 to 2017

我国 20 000 多家石油石化企业大部分设在河流、湖泊周边,甚至有 2 000 家企业设在人口稠密地区或者饮用水水源地内<sup>[22]</sup>。此外,企业编制的突发环境污染事故应急预案往往是参照安全生产方面的技术导则而制定,缺乏事故对环境安全、群众健康的危害性分析以及应对措施,企业各部门沟通机制不健全,导致应急预案的针对性和操作性较差<sup>[23]</sup>。

### 2.5 突发环境污染事件的污染原因分布特征

对造成突发环境污染事件的污染原因进行统计分析,结果如图 6 所示。由图 6 可知,2011—2017 年,人为因素是引起突发环境污染事件的主要原因,其引发的突发环境污染事件次数占已知污染原因的突发环境污染事件总次数的 94.42%。其中,因企业非法超标排污造成的突发环境污染事件为 249 次,占比最高(36.56%);生产安全事故次之,占比为 15.42%;水力的生产和供应事故也对环境造成了一定的影响,占比为 9.40%,其中因城市供水管网运行事故和城市管网不完善造成的突发环境污染事件分别为 40 和 24 次,占比分别为 5.88% 和 3.52%。另外,居民的不良行为,如生活垃圾、生活污水乱排及违规操作等也成为引起突发环境污染事件的原因。相对于人为因素,由自然因素突发引发的突发环境污染事件共 38 次,仅占 5.58%。

人为因素是引发突发环境污染事件的首要原因,其中企业非法超标排污(占比 36.56%)和生产安全事故(15.42%)是造成突发环境污染事件的主要原因。这与我国的环境管理现状有关,新《环境保护法》于 2015 年颁布实施,之前对非法排污造成

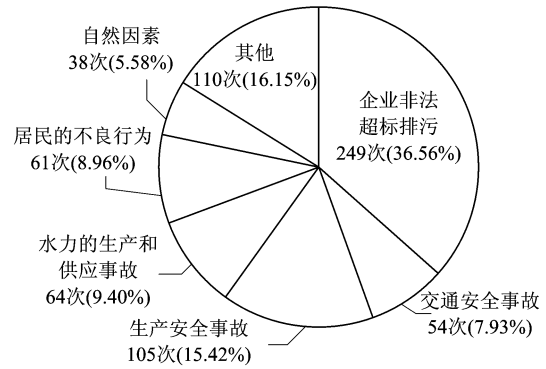


图 6 2011—2017 年全国不同污染原因引发的突发环境污染事件次数占比

Fig. 6 Proportion of environmental pollution emergencies caused by different pollution causes in China from 2011 to 2017

的环境污染事件惩罚力度较轻,使环境保护没有引起公众的高度重视;部分企业并未意识到加强环境管理会形成一种竞争优势<sup>[24]</sup>,由于加强对工业废水、废气和固废治理费用的投入高,导致一些企业为减少生产成本,仍抱有侥幸心理非法排污<sup>[25]</sup>;相关部门的监督和管理能力不足,导致部分企业有机可乘,偷排现象普遍,常因违法生产和违法排污引起环境污染事件;企业在生产过程中,不能及时排除安全隐患,往往因为操作不当或管理不善引发重大生产安全事故,并且对突发环境事件不能做到及时正确地应对或处理,造成严重的环境污染和经济损失。

居民的不良行为是造成突发环境污染事件的重要因素。由于城市化的发展,生活污水和生活垃圾排放量增加,而部分公众的环保意识淡薄,随意排放生活污水和丢弃生活垃圾;部分地区污水处理厂和垃圾处理厂的建设跟不上城市建设的步伐,导致突发环境污染事件发生。特别是在农村地区,由于农村地区的污水排放标准缺失,加之居住较为分散,污水管网和污水处理设施建设难度大,多数农村污水收集和处理能力不足<sup>[26-27]</sup>;部分村民的文化水平和素质相对较低,环保意识淡薄,重视经济利益而忽视了潜在环境污染风险<sup>[28]</sup>。对我国具有代表性的 74 个村庄的调查统计发现,96% 的村庄没有排污管道和污水处理系统,导致大部分村庄直接排放生活污水到环境中<sup>[29-30]</sup>。

### 2.6 突发环境污染事件的行业特征

2011—2017 年突发环境污染事件涉及的行业主要有采矿业,制造业,电力燃气及水的生产和供应业,养殖业,建筑业,交通运输、仓储和邮政业,突发环境污染事件涉及的主要行业分布如图 7 所示。由

图 7 可知,制造业中发生的突发环境污染事件次数多达 198 次,其中化学原料及化学品制造业中发生的突发环境污染事件为 60 次,金属冶炼与加工制造业、纺织业发生的突发环境污染事件分别为 35 和 33 次;电力燃气及水力的生产和供应业也是突发环境污染事件的多发行业,其中因水力的生产和供应业造成的突发环境污染事件次数最高,达 69 次;此外,道路交通、水上交通和仓储累计发生的突发环境污染事件为 68 次,采矿业、养殖业和建筑业突发环境污染事件分别为 43、34 和 19 次。

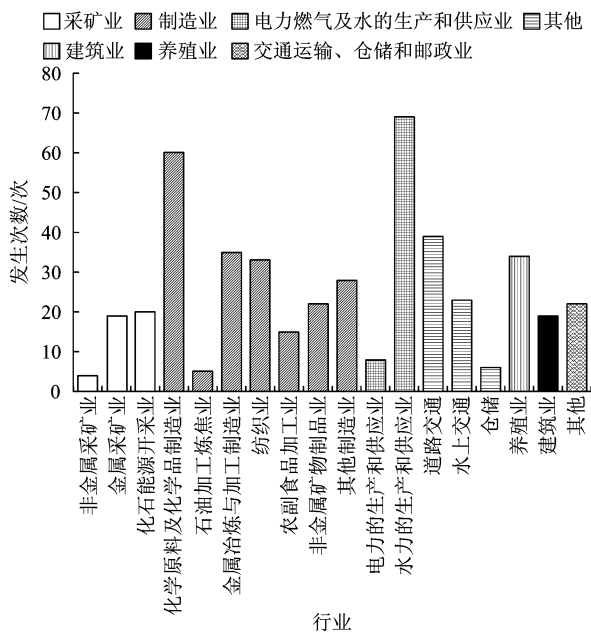


图 7 2011—2017 年全国不同行业的突发环境污染事件的发生次数

Fig. 7 Frequency of environmental pollution emergencies in different industries in China from 2011 to 2017

水力的生产和供应业是发生突发环境污染事件最多的行业。根据 2012—2018 年《中国统计年鉴》与住房和城乡建设部关于 2011—2017 年上半年全国城镇污水处理设施建设和运行情况的通报<sup>[11,31-37]</sup>,2011—2015 年我国废水排放总量由 659.2 亿 t/a 增至 735.3 亿 t/a,2017 年降至 699.7 亿 t/a,全国城镇累计建成运营的污水处理厂污水年处理能力从 2011—2017 年 6 月 496.4 亿 t/a 增至 649.7 亿 t/a,污水处理能力虽然逐年提高,但我国部分污水处理厂的污水处理效率无法满足排放要求,导致部分污水未经处理直接排放或者超标排放;其次在城市建设过程中,对供水管网及污水管网的整改未能做到系统和长远规划,仍存在大量雨污合流

现象,且城市给排水管道老化或因施工不当被破坏,都会导致水体污染。

我国是化学品生产和消费大国,随着我国国民经济的快速发展,化工业已成为我国重要的支柱产业<sup>[38-39]</sup>。化学原料及化学品制造业在整个生产过程中涉及的化学品种类繁多,甚至涉及危险品,更容易发生安全事故,对人体健康和环境构成潜在的危害<sup>[40]</sup>。但目前我国缺乏化学品环境管理专项法规,现有的《危险化学品安全管理条例》侧重于生产安全与事故管理,难以满足我国化学品环境管理的需要;由于化学品生产过程工艺复杂,对生产操作以及风险预防措施要求严格,而我国安全生产监督管理体系不完善,且企业管理部门未落实对安全生产的监督管理制度,尤其是中小型企业的管理、培训和安全运营体系不够健全,从而导致化学原料及化学品制造业频频发生事故<sup>[41-42]</sup>。

在城市的建设和发展过程中,既要切实保障水力的生产和供应行业的发展规模,又要保证排水管网改造完善过程中的施工质量。需要加强企业的安全生产意识,完善企业对员工的培训机制,增强员工的环保意识、责任心,定期排查安全隐患。相关部门要尽快推动对各行业的管理条例和法律的制定实施,以及加强对企业生产过程的监管力度。

## 2.7 突发环境污染事件管理对策

加强环境管理制度建设,建立和完善企业、区域环境风险评价体系和环境管理体系,对风险进行分级排序,明确优先管理目标,加强对重点企业、区域的监管,制定完善突发环境事件应急预案,落实环境风险防控措施与应急资源储备,提高环境管理水平;完善环境管理法律体系,建立高效的环境风险防控信息平台 and 突发环境污染事件应急决策支持系统,为环境管理提供法律依据与技术支持。加强监管机制和防控预警建设,强化源头控制,以防控和减少环境风险为重点,建立完善政府、企业及公众的多元监管机制和主动有效的环境管理体系,构建事前预防、事中应急和事后修复的全过程管理体系,有效防控和降低环境风险。

加强多部门之间的联合执法与协调合作,继续落实完善流域一体化管理体系。充分发挥政府对产业发展的调节和引导作用,考虑企业在生产活动中的利益和需求,严格把控项目准入,优化配置工业用地,遵循生态经济化和经济生态化作用机制,保证产业活动的经济效益和生态效益的平衡。同时,为避免差异化的环境规定导致污染企业的迁移现象,需

平衡东西部的相关环境保护政策。

### 3 结论

(1)2011—2017年全国(不包括西藏、香港、澳门和台湾地区)突发环境事件发生次数整体呈下降趋势,突发环境事件共3 203起,主要事件类型为一般环境事件。全国突发环境事件在空间分布上存在显著差异,其中华东地区是突发环境事件多发地,占46.99%。累计突发环境事件较多的省(市)依次为上海市(761次)、陕西省(360次)和江苏省(347次)。

(2)2011—2017年的突发环境污染事件中,水是污染事件主要受体,在水污染事件中,河流污染占比高达60.00%。工业废水是造成突发环境污染事件的主要污染因子,应作为首要的突发环境污染事件防控因子;人为因素是导致突发环境污染事件的首要因素,其中企业非法超标排污是主要的污染原因。

(3)在我国突发环境污染事件所涉及的行业中,水力的生产和供应业、化学原料及化学品制造业是引起突发环境污染事件的高发行业,应当给与高度重视。

### 参考文献

- [ 1 ] 季书贤. 突发环境污染事件对刑事侦查效率的影响分析研究[J]. 环境科学与管理,2018,43(4):44-46.  
JI S X. Impact of environmental pollution incidents on criminal investigation efficiency [ J ]. Environmental Science and Management,2018,43(4):44-46.
- [ 2 ] 安莹,李生才. 2013年1—2月国内环境事件[J]. 安全与环境学报,2013,13(2):280-284.  
AN Y,LI S C. Statistics of environmental events in China during period from January to February in 2013 [ J ]. Journal of Safety and Environment, 2013,13(2): 280-284.
- [ 3 ] 李生才,安莹. 2015年7—8月国内环境事件[J]. 安全与环境学报,2015,15(5):390-394.  
LI S C,AN Y. Statistics of environmental events in China during period from July to August in 2015 [ J ]. Journal of Safety and Environment,2015,15(5): 390-39.
- [ 4 ] 李生才,安莹. 2017年5—6月国内环境事件[J]. 安全与环境学报,2017,17(4):1626-1630.  
LI S C,AN Y. Statistics of environmental events in China during period from May to June in 2017 [ J ]. Journal of Safety and Environment,2017,17(4):1626-1630.
- [ 5 ] 张剑智,李淑媛,李玲玲,等. 关于我国环境风险全过程管理的几点思考[J]. 环境保护,2018,46(15):41-43.  
ZHANG J Z,LI S Y,LI L L, et al. Thoughts on whole-process environmental risk management in China [ J ]. Environmental Protection,2018,46(15):41-43.
- [ 6 ] 国家突发环境事件应急预案[A/OL]. (2006-01-24)[2020-05-15]. [http://www.gov.cn/yjgl/2006-01/24/content\\_170449.htm](http://www.gov.cn/yjgl/2006-01/24/content_170449.htm).
- [ 7 ] 吴娜. 浅谈突发环境事件应急管理现状及建议[J]. 广东化工,2019,46(11):147-148.  
WU N. Development course, situation and suggestions of emergency management for environmental incident in China [ J ]. Guangzhou Chemical Industry,2019,46(11):147-148.
- [ 8 ] 杨洁,黄蕾,李凤英,等. 中国1991—2010年环境污染事故频数动态变化因素分解[J]. 中国环境科学,2013,33(5):931-937.  
YANG J,HUANG L,LI F Y, et al. Decomposition analysis on the variation of China's annual environmental pollution accidents, 1991-2010 [ J ]. China Environmental Science,2013,33(5):931-937.
- [ 9 ] 丁镭,黄亚林,刘云浪,等. 1995—2012年中国突发性环境污染事件时空演化特征及影响因素[J]. 地理科学进展,2015,34(6):749-760.  
DING L,HUANG Y L,LIU Y L, et al. Spatiotemporal variability of sudden environmental pollution incidents and influencing factors in China,1995-2012 [ J ]. Progress in Geography,2015,34(6):749-760.
- [ 10 ] 李静,吕永龙,贺桂珍,等. 我国突发性环境污染事故时空格局及影响研究[J]. 环境科学,2008,29(9):2684-2688.  
LI J,LÜ Y L,HE G Z, et al. Spatial and temporal changes of emerging environmental pollution accidents and impact factors in China [ J ]. Environmental Science,2008,29(9):2684-2688.
- [ 11 ] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012—2018年.
- [ 12 ] 国务院办公厅关于印发国家突发环境事件应急预案的通知;国办函[2014]119号[A/OL]. (2014-12-29)[2020-05-01]. [http://www.mee.gov.cn/ywgz/hjyj/yjzb/201912/t20191227\\_751708.shtml](http://www.mee.gov.cn/ywgz/hjyj/yjzb/201912/t20191227_751708.shtml).
- [ 13 ] 马文亮,薛丽洋. 甘肃省突发环境事件特征分析及防控对策浅析[J]. 甘肃科技,2018,34(7):1-2.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] GUAN X L,WEI H K,LU S S, et al. Mismatch distribution of population and industry in China: pattern, problems and driving factors [ J ]. Applied Geography,2018,97:61-74.
- [ 16 ] XUE P L,ZENG W H. Trends of environmental accidents and impact factors in China [ J ]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China,2011,5(2):266-276.
- [ 17 ] 魏科技,宋永会,彭剑峰,等. 环境风险源及其分类方法研究[J]. 安全与环境学报,2010,10(1):85-89.  
WEI K J,SONG Y H,PENG J F, et al. Environmental risk source and its classification [ J ]. Journal of Safety and Environment, 2010,10(1): 85-89.
- [ 18 ] 肖筱瑜. 2012—2017年国内重大突发环境事件统计分析[J]. 广州化工,2018,46(15):134-136.  
XIAO X Y. Statistical review of major environmental accidents at home in the period from 2012 to 2017 [ J ]. Guangzhou Chemical

- Industry, 2018, 46(15):134-136.
- [19] 韩玉婷, 班婕, 翁素云, 等. 我国环境污染事故源解析研究[J]. 环境保护科学, 2013, 39(2):56-60.  
HAN Y T, BAN J, WENG S Y, et al. Risk source analysis of environmental pollution accidents in China[J]. Environmental Protection Science, 2013, 39(2):56-60.
- [20] 罗昌锋, 王春霞. 可持续发展理念下人口规模、工业经济发展与污水污染的关系研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(7):131-135.  
LUO C F, WANG C X. The relationship between population size, industrial economy and water pollution under the idea of sustainable development[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(7):131-135.
- [21] SHU H, XIONG P P. Reallocation planning of urban industrial land for structure optimization and emission reduction: a practical analysis of urban agglomeration in China's Yangtze River Delta[J]. Land Use Policy, 2019, 81:604-623.
- [22] 柳长顺. 关于建立我国水资源战略储备体系的探讨[J]. 水利发展研究, 2008(2):20-25.
- [23] 吕培辰, 李舒, 马宗伟, 等. 中国环境风险评价体系的完善: 来自美国的经验和启示[J]. 环境监控与预警, 2018, 10(2):1-5.  
LÜ P C, LI S, MA Z W, et al. Improvement of China's environmental risk assessment system: experience and enlightenment from the United States [J]. Monitoring and Forewarning, 2018, 10(2):1-5.
- [24] PINTO G M C, PEDROSO B, MORAES J, et al. Environmental management practices in industries of Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) from 2011 to 2015 [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 198:1251-1261.
- [25] DONG F, WANG Y, ZHENG L, et al. Can industrial agglomeration promote pollution agglomeration: evidence from China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 246:118960.
- [26] MA Y H, ZHAI Y K, ZHENG X Y, et al. Rural domestic wastewater treatment in constructed ditch wetlands: effects of influent flow ratio distribution [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 225:350-358.
- [27] 马涛, 陈颖, 吴娜伟. 农村环境综合整治生活污水处理现状与对策研究[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(4):26-29.  
MA T, CHEN Y, WU N W. Current treatment status and development strategies for domestic sewage of rural environment comprehensive control program in China [J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42(4):26-29.
- [28] 朱国平. 农民环保意识淡薄的主要原因探析[J]. 理论观察, 2015(7):100-101.
- [29] 周正, 周颖辉. 我国农村水污染现状及防治方法[J]. 环境与发展, 2011, 23(6):97-99.  
ZHOU Z, ZHOU Y H. A brief introduction of the status of rural water pollution and control methods [J]. Environment and Development, 2011, 23(6):97-99.
- [30] GU B J, FAN L C, YING Z C, et al. Socioeconomic constraints on the technological choices in rural sewage treatment [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(20):360-367.
- [31] 住房和城乡建设部. 关于全国城镇污水处理设施 2011 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2012-02-15) [2020-05-01]. [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201203/t20120320\\_209157.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201203/t20120320_209157.html).
- [32] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2012 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2013-02-04) [2020-05-01]. [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201303/t20130301\\_213010.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201303/t20130301_213010.html).
- [33] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2013 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2014-01-28) [2020-05-01]. [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201403/t20140320\\_217412.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201403/t20140320_217412.html).
- [34] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2014 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2015-02-06) [2020-05-01]. [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201502/t20150217\\_220335.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201502/t20150217_220335.html).
- [35] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2015 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2016-05-18) [2020-05-01]. [http://www.jhjsj.gov.cn/xwzx/tzgg/201605/t20160518\\_1042752\\_1.html](http://www.jhjsj.gov.cn/xwzx/tzgg/201605/t20160518_1042752_1.html).
- [36] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2016 年第四季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2018-01-10) [2020-05-01]. <http://www.waterchina.com/content/detail/id/11763>.
- [37] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于全国城镇污水处理设施 2017 年第二季度建设和运行情况的通报[A/OL]. (2018-04-04) [2020-05-01]. [http://www.jhjsj.gov.cn/xwzx/tzgg/201804/t20180404\\_2191675\\_1.html](http://www.jhjsj.gov.cn/xwzx/tzgg/201804/t20180404_2191675_1.html).
- [38] LIN B Q, LONG H Y. How to promote energy conservation in China's chemical industry[J]. Energy Policy, 2014, 73:93-102.
- [39] JIAHUEY Y, LIU Y, YU Y N. Measuring green growth performance of China's chemical industry [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019, 149:160-167.
- [40] ZHAO R, LIU S L, LIU Y Y, et al. A safety vulnerability assessment for chemical enterprises: a hybrid of a data envelopment analysis and fuzzy decision-making[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2018, 56:95-103.
- [41] CAO G Z, YANG L, LIU L X, et al. Environmental incidents in China: lessons from 2006 to 2015 [J]. Science of the Total Environment, 2018, 633:1165-1172.
- [42] DUAN W L, CHEN G H, YE Q, et al. The situation of hazardous chemical accidents in China between 2000 and 2006[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 186:1489-1494. □