

前 言

环境化学是一门基于化学理论和方法研究有害化学物质在环境介质中的存在、特性、行为、效应及其控制技术原理的学科。从1973年8月我国第一次环境保护会议召开至今,我国环境化学学科发展已走过了50余个春秋,经历了由弱到强的发展之路。当前,在我国实施健康和“双碳”目标战略、推进绿色低碳高质量发展的大背景下,环境化学研究迅猛发展、人才辈出,在污染物检测与发现、环境行为与归趋、生态毒理效应与健康风险、污染防控与治理等领域不断取得新突破,在国家污染防控、生态文明建设和人民健康保障等方面发挥了不可替代的作用。

为交流环境化学领域的最新研究成果,探讨环境化学发展的战略方向,促进环境化学研究的提质创新,推动环境化学学科建设与人才培养,中国化学会环境化学专业委员会自2002年发起了“全国环境化学大会”,并分别由浙江大学、上海交通大学、厦门大学、南京大学和中国科学院南京土壤研究所、大连理工大学、复旦大学和上海交通大学及上海电力大学、中国科学院地球化学研究所、华南理工大学、浙江大学、南开大学、哈尔滨工业大学成功举办了十一届会议,参会人数由最初的200多人增长到8000多人,受到了国内外学术界的广泛关注和重视,已成为环境科学领域最有影响力的学术会议之一。二十年春雨秋阳,风华正茂;二十年科研耕耘,硕果累累。

“第十二届全国环境化学大会”由中国化学会环境化学专业委员会和中国地质大学(武汉)主办,于2023年11月17~21日在武汉隆重举行。本次大会以“健康环境 宜居地球”为主题,围绕“双碳”目标、环境与健康,以及水、土、气、固废相关的环境分析、界面过程、污染治理与修复技术、环境政策等多个领域设置94个分会场,邀请国内外著名专家做大会报告8个、环境化学领域前沿发展报告5个、分会场主旨报告660个、分会场报告3081个、墙报展示1200个、线上微墙报1112份,参会人数首次超过万人。大会还邀请环保设备与分析仪器公司参展,组织研究生论坛、主编面对面,前沿技术培训等学术活动,促进环境科学领域创新与跨越发展,促进科教产业融合,推动国内外学术交流与合作,加快环境科学的学科建设与人才培养,是截至目前参会人数最多、分会议题设置最全,学术活动内容最为丰富的一次环境盛会。

鉴于全国环境化学大会的规模和影响力,中国化学会环境化学专业委员会在广泛征求专家建议并借鉴国内外学术会议成功经验的基础上,自2017年起编辑并出版《环境化学前沿》系列,旨在总结上一届大会以来我国在环境化学领域取得的重要成果,展望未来发展趋势,作为全国环境化学大会的一项重要成果,呈现给广大读者。依托“第九届全国环境化学大会”,由江桂斌教授和刘维屏教授共同主编的《环境化学前沿(第一辑)》于2017年10月首次印刷。该书发布后立即引起了广泛关注,许多实验室组织成员深入学习和研讨了书中的30个研究专题。2019年,《环境化学前沿(第二辑)》由江桂斌、郑明辉、孙红文和蔡勇四位教授联合主编,内容由“第十届全国环境化学大会”的各个分会场负责人和科研骨干共同策划和撰写。第二辑的内容与第一辑相辅相成,共同构建了一个较为完整的环境化学前沿体系,充分展现了该领域的工作特色和主流研究方向。第二辑的出版同样引起了强烈的反响,读者们普遍认为,前两辑的出版对于把握环境化学领域的最新动态和未来发展具有重要的意义。2021年,《环境化学前沿(第三辑)》由江桂斌、郑明辉、王亚韡和冯玉杰四位教授联合主编,与前两辑内容互为补充,根据学科发展特点及国家重大需求增添了“双碳”、新污染物监测及管理等相关内容,力求反映和代表我国环境化学领域的工作特色和主流发展趋势。

作为“第十二届全国环境化学大会”的重要成果,《环境化学前沿(第四辑)》的创作再次得到了环境化学领域众多专家的热情投入和大力支持。本书从大会的94个分会场邀请了25个主题进行组稿,其

中大部分是本次大会新增的议题。与前三辑一致，各章节内容由召集人和科研骨干撰写，遵循学术自由、学术民主和学术平等的宗旨，鼓励学术观点自由表达，并强调文责自负。这些专家以其扎实的学术基础、广泛的影响力和强烈的责任感，确保了书稿得以完成，展现了中国环境化学学术界的紧密团结、积极向上的学术风气和充满进取心的活力。在此，我们向所有参与编写的作者表示深深的感谢和敬意。

受作者学术及认知水平之所限，《环境化学前沿（第四辑）》可能存在不同形式的错误、缺憾、疏漏、甚至学术观点的偏颇，敬请读者朋友批评指正。我们特别希望本书能够起到抛砖引玉的作用，激发广大读者的研究兴趣，促进大家在一些关键环境领域持续思考、厚积薄发，并最终取得突破性的研究成果，便是编者期待和深感欣慰之处。

本书成稿过程中，中国地质大学（武汉）的王焰新院士、刘春生教授和邓娅敏教授，中国科学院生态环境研究中心的杜晶晶、姚林林等在组织专家审稿和校稿过程中做出了突出贡献。科学出版社在本书出版的过程中提供了便利的条件和帮助。在此，一并表示诚挚的感谢！

江桂斌

2025 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 新污染物筛查识别与监测技术研究进展	1
1 引言	2
2 新污染物环境监测技术体系构建与试点应用	2
2.1 欧美新污染物环境监测概况	2
2.2 我国新污染物监测工作前期基础	5
2.3 我国新污染物环境监测标准现状	5
2.4 我国新污染物环境监测技术体系框架构想	7
2.5 2023 年监测试点应用	15
2.6 我国新污染物环境监测下一步工作建议	16
3 抗生素快速识别与检测方法研究进展	17
3.1 抗生素分析方法	17
3.2 水和废水中抗生素的快速检测方法研究进展	18
3.3 土壤、粪便和固废中抗生素的快速检测方法研究进展	19
3.4 生物样品中抗生素的快速检测方法研究进展	19
3.5 食品中抗生素的快速检测方法研究进展	20
3.6 小结	20
4 有机磷快速筛查与检测方法研究进展	21
4.1 电化学传感器	23
4.2 比色传感器	27
4.3 荧光传感器	29
4.4 其他传感器	31
4.5 小结	31
5 新型塑料添加剂的筛查与识别	32
5.1 塑料添加剂的分类及环境现状	32
5.2 新型塑料添加剂的筛查和识别方法	36
5.3 挑战与未来发展	38
6 机器学习在新污染物环境过程识别中的应用	39
6.1 机器学习在新污染物排放核算中的应用	40
6.2 机器学习在新污染物源解析中的应用	41
6.3 机器学习在新污染物环境迁移分析中的应用	42
6.4 机器学习在多介质中新污染物浓度解析中的应用	43
7 基于网络化技术的新污染物的识别与鉴定	45
7.1 网络化技术的基本原理与历史发展	46
7.2 基于网络化技术的自动化结构鉴定技术的现有进展	46

7.3 网络化技术在新污染物识别与鉴定的应用	47
8 展望	48
参考文献	48
第2章 臭氧污染的物理化学机制与效应	63
1 引言	64
2 臭氧污染的演变趋势与现状	65
2.1 对流层臭氧的演变趋势	65
2.2 地表臭氧长期趋势	65
2.3 中国近地面臭氧污染现状及趋势	66
2.4 我国夜间臭氧变化新特征	67
3 臭氧污染形成的物理机制	67
3.1 概述	67
3.2 城市化对臭氧的影响	68
3.3 高温热浪天气对臭氧的影响	68
3.4 台风天气对臭氧的影响	69
3.5 东亚夏季风对臭氧的影响	70
3.6 颗粒物对臭氧的影响	70
4 臭氧污染形成的化学机制	72
4.1 臭氧生成的光化学机制	72
4.2 臭氧生成的敏感性及变化	73
4.3 自由基化学及其对臭氧生成的影响	74
4.4 臭氧与颗粒物相互作用机制	75
5 臭氧污染的生态与健康效应	76
5.1 地表臭氧污染的生态效应	76
5.2 臭氧在人体的吸收、分布、代谢与排泄	82
6 中国臭氧污染的防治实践	84
6.1 国家层面上确立多污染物协同控制、PM _{2.5} 与臭氧协同治理的防控策略	84
6.2 持续推进臭氧污染防治及前体物协同减排基础能力建设	86
6.3 持续强化臭氧前体物 NO _x 和 VOCs 协同减排	86
6.4 将臭氧污染防控逐步纳入国家大气污染防治行动	87
6.5 部署并启动一系列与臭氧污染相关的重要科研项目	88
6.6 区域和城市层面开展了臭氧污染防控实践探索	88
7 展望	89
参考文献	89
第3章 饮用水处理技术进展	100
1 引言	101
1.1 新国标下饮用水污染治理措施	101
1.2 新国标下饮用水污染治理新技术	101
2 深度吸附处理技术	102
2.1 改性生物炭吸附除氟化物技术	102
2.2 新生态纳米氧化物吸附除重金属技术	103

3	化学预氧化技术	103
3.1	高锰酸盐复合剂预氧化技术	103
3.2	高铁酸盐复合剂预氧化技术	104
3.3	二氧化氯预氧化技术	105
4	臭氧氧化深度处理技术	106
4.1	臭氧微纳米气泡氧化除臭味技术	106
4.2	非均相催化臭氧氧化除污技术	109
4.3	新冠疫情下饮用水生物性污染应急消毒技术	110
5	高级氧化/还原处理技术	111
5.1	电催化氧化/还原技术	111
5.2	光催化氧化/还原技术	113
5.3	芬顿/类芬顿氧化技术	115
6	膜法处理新技术	117
6.1	高性能反渗透膜过滤技术	117
6.2	新型无机功能膜分离技术	118
6.3	电催化强化膜分离技术	119
6.4	膜污染与自清洁技术	120
7	管网腐蚀结垢与水质化学稳定性控制技术	126
7.1	管网腐蚀和铁释放概况	126
7.2	供水管道的腐蚀机理	127
7.3	供水管道的铁释放机理	128
7.4	管网腐蚀过程的监测方法	128
7.5	管网铁释放的预测方法	128
7.6	管网腐蚀与铁释放的控制技术	129
8	展望	130
	参考文献	131
第4章	地下水水质恶化阻控理论与技术	137
1	引言	138
2	地下水水质恶化的理论研究	139
2.1	原生劣质地下水	139
2.2	人为地下水污染的成因分析	141
3	地下水污染的模型模拟	143
3.1	地下水重金属/准金属迁移转化数值模拟	143
3.2	地下水非水相液体迁移转化数值模拟	146
3.3	地下水多环芳烃迁移转化数值模拟	148
4	地下水水质恶化阻控技术	150
4.1	异位处理	150
4.2	原位处理	151
4.3	地下水水质恶化风险管控	153
5	研究展望	154
	参考文献	154

第5章 膜法水和废水净化技术研究前沿进展	160
1 引言	161
2 膜法水和废水净化技术总体研究趋势	161
3 水和废水净化膜传质机制研究前沿	162
3.1 微滤/超滤膜传质	162
3.2 纳滤/反渗透膜中的传质	163
3.3 电渗析过程中的传质机理	167
3.4 膜蒸馏过程中的传质机理	168
4 水和废水净化膜材料研究前沿	170
4.1 突破水渗透性和选择性相互制约的高性能膜材料	170
4.2 抗污染膜材料	174
5 膜法水和废水净化工艺前沿进展	178
5.1 膜生物耦合集成高标准处理工艺	178
5.2 膜分离耦合电催化	179
5.3 电化学膜生物反应器	181
5.4 新型膜工艺组合	183
6 膜法水和废水净化技术可持续性提升前沿进展	184
6.1 工艺节能降耗	184
6.2 资源化与能源化	185
6.3 再生水利用	187
6.4 膜材料再生	187
7 小结与展望	188
参考文献	189
第6章 水处理高级氧化及消毒技术研究进展	198
1 引言	199
2 面向水处理的选择性氧化技术研究进展	199
2.1 铁基非均相芬顿体系选择性氧化有机污染物的研究进展	199
2.2 Fe 掺杂 g-C ₃ N ₄ 活化 PMS 选择性降解有机污染物性能与机制	201
2.3 基于配体-金属电子转移的有机磷酸选择性氧化方法及应用	202
2.4 小结	204
3 水中溶解性有机物供电子能力测定方法的发展与应用	204
3.1 EDC 分析方法的演变	204
3.2 EDC 在氧化工艺中的应用	207
3.3 小结	208
4 高级氧化技术中单线态氧的产生及其选择性氧化新污染物机制	208
4.1 ¹ O ₂ 的主要产生策略	209
4.2 小结	214
5 UV/H ₂ O ₂ 耦合原位氯胺消毒协同控制饮用水消毒副产物的效能与机制研究	215
5.1 研究结果	215
5.2 小结	222

6	无机助催化芬顿反应	222
6.1	$\equiv\text{Mo}^{4+}$ 等金属还原中心促进芬顿铁循环的新策略	223
6.2	表面微环境调控实现宽 pH 响应降解污染物的新方法	224
6.3	$^1\text{O}_2$ 协同吸附态 $\text{HO}\cdot$ 提高 H_2O_2 利用率的新机制	225
6.4	小结	226
7	催化臭氧氧化工艺	227
7.1	基于 $\text{HO}\cdot$ 高级氧化方法的技术瓶颈	227
7.2	铁基催化剂整砌填料的开发及优势	227
7.3	反应器优化	228
7.4	深度处理中的普适性	230
7.5	高盐废水处理工程例	231
8	水污染控制卤素自由基化学机理和技术	231
8.1	水污染控制卤素自由基化学	232
8.2	卤素自由基的化学反应机制	233
8.3	卤素自由基的转化规律和调控应用	235
9	基于双金属协同催化的类芬顿水污染控制技术研究进展	236
9.1	基于金属-氧共价结构的双金属协同类芬顿催化反应机制	236
9.2	基于金属-金属超交换作用的类芬顿催化途径调控机制	237
9.3	材料结晶度对双金属氧化物类芬顿催化过程的影响及调控机制	238
10	自由基反应体系中溶解性有机质的多重作用及机理	239
10.1	DOM 与典型自由基的反应动力学	240
10.2	DOM 对微污染物降解的影响作用	241
11	在基于羟基自由基和硫酸根自由基的高级氧化体系中同时测定多种自由基的“五探针法”的开发	245
11.1	实验方法	245
11.2	结果与讨论	247
11.3	小结	253
12	展望	253
	参考文献	253
第 7 章	天然水体氮、磷污染溯源研究的现状与展望	261
1	引言	262
2	天然水体氮、磷污染来源	263
2.1	天然水体氮的来源与迁移转化过程	263
2.2	天然水体磷的来源与迁移转化过程	265
3	天然水体氮污染溯源方法	268
3.1	无机氮溯源方法	268
3.2	有机氮溯源方法	272
4	天然水体磷污染溯源方法	274
4.1	无机磷溯源方法	274
4.2	有机磷溯源方法	276

5 展望	278
参考文献	278
第8章 污染场地风险管控与修复	287
1 引言	288
2 多手段调查监测技术	288
2.1 针对地质特征的监测技术	288
2.2 针对水文特征的监测技术	289
2.3 针对污染特征的监测技术	290
3 精细化风险评估技术	291
3.1 污染物生物可给性	292
3.2 精细化风险评估模型	293
3.3 统计学应用风险评估	294
3.4 新型污染物筛选值	295
4 高效主动修复技术	296
4.1 多相抽提技术	296
4.2 原位热脱附技术	297
4.3 水泥基固化/稳定化技术	298
4.4 高级氧化技术	299
4.5 可渗透反应墙技术	300
4.6 纳米零价铁技术	301
5 原位管控/阻隔技术	302
5.1 原位管控技术	302
5.2 原位阻隔技术	303
6 展望	304
参考文献	304
第9章 典型环境纳米颗粒的毒性效应及分子机制	312
1 引言	313
2 二氧化硅纳米颗粒的毒性效应及分子机制	313
2.1 呼吸系统毒性	314
2.2 心血管毒性	314
2.3 神经毒性	315
2.4 生殖毒性	316
3 微纳塑料的毒性效应及分子机制	317
3.1 呼吸系统毒性	317
3.2 胃肠道毒性	317
3.3 心血管毒性	318
3.4 神经毒性	319
4 PM _{2.5} 的毒性效应及分子机制	320
4.1 呼吸系统毒性	320
4.2 心血管毒性	321
4.3 神经毒性	321

4.4 生殖毒性	322
5 碳基纳米材料的毒性效应及分子机制	322
5.1 碳纳米材料的胃肠道毒性	323
5.2 碳纳米材料的免疫毒性	323
6 银纳米颗粒的毒性效应及分子机制	324
6.1 心血管毒性	324
6.2 肺毒性	324
6.3 肠道和肝毒性	325
6.4 神经毒性	326
6.5 生殖与发育毒性	327
7 二氧化钛纳米颗粒的毒性效应及分子机制	327
7.1 肠道毒性	328
7.2 肺毒性	328
7.3 神经毒性	328
7.4 生殖与发育毒性	329
8 氧化锌纳米颗粒的毒性效应及分子机制	330
8.1 心血管毒性	330
8.2 肝毒性	330
8.3 神经毒性	330
9 氧化铁纳米颗粒的毒性效应及分子机制	332
9.1 肺毒性	332
9.2 心血管毒性	332
10 展望	333
参考文献	333
第 10 章 新能源固废低碳高效处理技术研究前沿	342
1 引言	343
2 光伏固废处理技术	343
2.1 概述	343
2.2 晶体硅切割废料资源化回收现状	345
2.3 废光伏电池层压件循环再生技术	347
3 锂电废料预处理技术	349
3.1 回收电池分类	350
3.2 放电/失活技术	350
3.3 机械预处理技术	352
3.4 化学预处理技术	356
4 锂电废料回收技术	357
4.1 火法冶金回收技术	358
4.2 湿法冶金回收技术	363
4.3 直接再生回收技术	365
5 新能源固废处理技术评估	367
5.1 环境影响评价	367

5.2 资源关键性评价	369
5.3 经济分析	371
5.4 物质流分析	373
6 展望	374
参考文献	374
第 11 章 环境表观遗传与相关组学	382
1 环境表观遗传学概述	383
2 表观遗传学研究对象	384
2.1 DNA 修饰	384
2.2 组蛋白修饰	386
2.3 RNA 修饰	387
3 环境表观遗传与组学技术	389
3.1 基于质谱的 DNA 修饰和组蛋白修饰分析方法	389
3.2 基于高通量测序的分析技术	390
3.3 展望	392
参考文献	393
第 12 章 环境金属组学研究进展	397
1 引言	398
2 环境金属组学的分析技术	399
2.1 定量分析技术	399
2.2 分布研究技术	400
2.3 形态分析技术	401
2.4 鉴定技术	403
2.5 结构分析技术	404
2.6 环境金属组学技术展望	405
3 金属组学在环境健康研究中的应用	405
3.1 外源金属在生物体中的分布	406
3.2 金属在单细胞中的分布	406
3.3 金属在生物体中的转化和代谢研究	409
3.4 金属与健康的关联研究	410
4 金属组学在环境毒理研究中的应用	411
4.1 汞、氧化应激与细胞死亡	411
4.2 镉的基因毒性研究	412
4.3 天然铀的肾脏毒性	413
4.4 问题与思考	414
5 展望	414
参考文献	415
第 13 章 模式生物在环境风险评估中的应用	423
1 引言	424
2 秀丽线虫在环境风险评估中的应用	424
2.1 秀丽线虫在环境科学及毒理学研究上的优势	424

2.2	基于秀丽线虫的毒理学评价终点体系	425
2.3	基于秀丽线虫的靶器官毒理学分析	426
2.4	基于秀丽线虫的跨代毒理学分析	427
2.5	秀丽线虫在环境污染物风险评估及毒理学机制研究中的应用	428
2.6	总结与展望	430
3	非洲爪蛙和热带爪蛙在环境风险评估中的应用	431
3.1	爪蛙在早期发育毒性方向研究的应用	431
3.2	爪蛙在生殖内分泌干扰方向研究的应用	432
3.3	爪蛙在甲状腺干扰方向研究的应用	433
3.4	总结与展望	434
4	斑马鱼在环境风险评估中的应用	434
4.1	斑马鱼模式特性与发育阶段	435
4.2	斑马鱼在毒性效应评估方面的应用	435
4.3	斑马鱼在药物毒性筛选方面的应用	437
4.4	斑马鱼在生态环境评价方面的应用	438
4.5	斑马鱼在疾病研究方面的应用	438
4.6	总结与展望	439
5	类器官在环境风险评估中的应用	439
5.1	类器官模型的特点及应用潜力	439
5.2	预测肾毒性的三维肾培养模型	440
5.3	可评估环境因子的心脏发育毒性的类器官模型	440
5.4	总结与展望	441
6	展望	441
	参考文献	441
第 14 章	有机、无机及重金属环境污染物的毒性效应及分子机制	448
1	引言	449
2	有机污染物的毒性效应及分子机制	449
2.1	PFAS 的毒性效应及分子机制	450
2.2	氯化石蜡的毒性效应及分子机制	452
2.3	UV-328 的毒性效应及分子机制	453
2.4	得克隆的毒性效应及分子机制	454
2.5	双酚类化合物的毒性效应及分子机制	455
2.6	有机磷酸酯类阻燃剂的毒性效应及分子机制	457
2.7	邻苯二甲酸酯类化合物的毒性效应及分子机制	458
2.8	药品与个人护理产品的毒性效应及分子机制	459
2.9	毒死蜱的毒性效应及分子机制	460
2.10	DDT 的毒性效应及分子机制	461
2.11	二噁英 (Dioxin) 的毒性效应及分子机制	462
3	无机及重金属污染物的毒性效应及分子机制	463
3.1	镉的毒性效应及分子机制	463
3.2	汞的毒性效应及分子机制	464

3.3 铅的毒性效应及分子机制	465
3.4 砷的毒性效应及分子机制	467
3.5 铜的毒性效应及分子机制	468
3.6 镍的毒性效应及分子机制	468
3.7 锰的毒性效应及分子机制	468
3.8 氨及硝酸盐类化合物的毒性效应及分子机制	469
3.9 其他无机污染物的毒性效应及分子机制	469
4 展望	471
参考文献	471
第 15 章 高通量效应导向分析技术进展	486
1 引言	487
2 高通量前处理与分级分离技术	489
2.1 高覆盖固相萃取	489
2.2 高分辨分级分离	490
3 高通量效应分析技术	493
3.1 成组生物测试技术	494
3.2 转录组学技术	494
3.3 代谢组学技术	495
4 高通量化学分析技术	495
4.1 高分辨色谱分离	495
4.2 高覆盖质谱扫描	496
4.3 高自动化峰处理	496
5 高通量毒物识别技术	498
5.1 高效率峰过滤	498
5.2 高自动化结构鉴别	499
5.3 高自动化毒物确认	500
6 高通量效应导向分析的未来发展方向	502
参考文献	502
第 16 章 国防安全化学威胁识别与分析检测进展	513
1 引言	514
2 环境遗弃化学武器的典型环境污染问题	515
3 化学毒剂的现场侦检	516
3.1 毒剂的光/电传感	516
3.2 毒剂的比色和荧光传感	517
3.3 毒剂的现场常压电离质谱检测	522
4 化学毒剂的核查与溯源分析	523
4.1 毒剂的环境核查分析	523
4.2 毒剂的生物医学样品溯源性检测	524
5 毒剂的化学归因与取证	525
6 化学毒剂的洗消与防护	528
7 化学毒剂的损伤与救治	529

7.1 神经性毒剂	529
7.2 芥子气	530
7.3 真实队列揭示的毒性结局	531
8 生物毒素蛋白的分析检测	532
9 芬太尼类的分析检测	533
9.1 芬太尼类的现场检测	534
9.2 芬太尼类的中毒诊断与筛查归因	534
10 展望	535
参考文献	535
第 17 章 环境中的水微液滴与微界面化学	545
1 引言	546
2 水微液滴的物理化学特性	546
2.1 水微液滴中反应物部分溶剂化的焓效应	547
2.2 水微液滴界面的熵效应	547
2.3 水微液滴的界面电场效应	548
2.4 水微液滴内部物质的浓缩、扩散与传质	548
3 环境中的水微液滴化学	549
3.1 微液滴中活性物种的发现	549
3.2 水微液滴中活性物种的产生机制	551
3.3 微液滴产生活性物种的影响因素	552
3.4 微液滴化学的环境意义	553
4 水-固接触介导的界面氧化还原过程	554
4.1 水-固接触介导的微界面氧化还原反应	554
4.2 接触介导的氧化还原反应机制	555
4.3 水-固接触介导氧化还原反应的影响因素	555
4.4 水-固接触介导氧化还原反应的环境意义	555
5 展望	556
参考文献	556
第 18 章 环境中的活性氧研究前沿	561
1 引言	562
1.1 ROS 简介	562
1.2 环境 ROS 研究历史与现状	562
2 环境 ROS 分析检测方法	563
2.1 ROS 探针捕获与光谱检测	563
2.2 ROS 顺磁共振检测	564
2.3 ROS 空间分辨检测	565
2.4 ROS 时间分辨检测	565
2.5 ROS 野外环境现场检测	565
3 环境 ROS 生成机制	566
3.1 ROS 光化学生成机制	566
3.2 ROS 暗反应生成机制	567

3.3 ROS 微生物生成机制	568
4 ROS 的环境过程与效应	569
4.1 河流湖泊海洋中的 ROS	569
4.2 海岸带中的 ROS	570
4.3 稻田和湿地中的 ROS	571
4.4 地下水中的 ROS	572
5 展望	573
参考文献	574
第 19 章 汞稳定同位素最新进展及展望	582
1 引言	583
1.1 汞同位素的表示方法	583
1.2 质量分馏	584
1.3 非质量分馏	584
2 新能源结构下人为源汞排放的同位素特征	585
2.1 典型排放源的原辅料汞同位素组成	585
2.2 工艺过程的汞同位素分馏的特征	587
2.3 研究展望	589
3 陆地系统汞循环的同位素示踪研究进展	589
3.1 陆地植被吸收-再释放大气汞的同位素分馏	590
3.2 陆地土壤汞沉降-再释放过程的同位素分馏	590
3.3 湖泊汞沉降-再释放过程的同位素分馏	592
3.4 研究展望	592
4 海洋系统汞循环的同位素示踪研究进展	593
4.1 远洋大气汞沉降途径的同位素示踪	593
4.2 远洋甲基汞转化的同位素示踪	594
4.3 深海极端生态系统汞来源与甲基汞转化的同位素示踪	594
4.4 研究展望	596
5 汞同位素在古环境研究中的应用进展	596
5.1 重建大型火山活动	597
5.2 示踪陆地植被演化与土壤侵蚀	598
5.3 重建古海洋氧化还原状态	599
5.4 研究展望	600
6 汞同位素模型最新进展	601
6.1 一维全球汞同位素非质量分馏 (odd-MIF) 模型	601
6.2 一维全球汞同位素分馏模型	602
6.3 三维海洋汞同位素模型	603
6.4 三维大气汞同位素模型	604
参考文献	605
第 20 章 微生物与矿物相互作用及其环境效应	616
1 引言	617
2 微生物驱动含铁矿物形成和转化的分子机理	618

2.1	驱动含铁矿物形成和转化的微生物类型及其生境	618
2.2	铁氧化菌介导铁矿物形成的分子机制	620
2.3	异化铁还原菌介导铁矿物转化的分子机制	621
2.4	硫代谢微生物介导的铁矿物形成和转化机制	622
3	微生物矿化作用及其环境效应	623
3.1	微生物矿化的概念、类型以及形成途径	624
3.2	微生物控制矿化实例——趋磁细菌与胞内钙化蓝细菌	625
3.3	微生物诱导矿化实例——微生物沉淀白云石	626
3.4	微生物矿化与碳封存	628
3.5	微生物矿化与重金属修复	628
4	矿物界面作用调控微生物黏附与存活	629
4.1	矿物-微生物界面黏附的物理-化学机制	629
4.2	微生物对矿物界面的响应及适应	630
4.3	矿物-微生物界面作用的环境效应及应用	631
5	微生物驱动的隐秘元素循环	632
5.1	隐秘铁循环	633
5.2	隐秘锰 (Mn) 循环	635
5.3	其他元素的隐秘循环	636
	参考文献	637
第 21 章	极地及青藏高原卤代多环芳烃的环境赋存特征	646
1	引言	647
2	HPAHs 的理化性质及生物毒性效应	648
2.1	HPAHs 的理化特性	648
2.2	HPAHs 的生物毒性效应	648
3	极地地区中 HPAHs 的环境赋存	649
3.1	极地地区中 HPAHs 的源	649
3.2	极地地区中 HPAHs 的空间分布及时间趋势分析	650
4	极地地区中 POPs 的全球尺度传输	651
4.1	长距离大气迁移	651
4.2	洋流运输	652
4.3	生物运输	652
4.4	国际贸易	652
4.5	全球气候变化	653
5	极地地区中 HPAHs 的运输和交换	653
6	展望	655
	参考文献	655
第 22 章	环境纳米材料及其水的深度处理方法与机制	661
1	引言	662
2	环境纳米技术研究前沿	662
2.1	纳米分析技术	662
2.2	纳米吸附技术	665

2.3 纳米催化技术	668
3 $\text{Ti}^{3+}\text{-O}_v\text{-P}^{3+}$ 结构强化亚氧化钛纳米管阵列光电极	671
3.1 研究背景	671
3.2 实验方法	672
3.3 形貌结构表征	672
3.4 DFT 计算	674
3.5 光电催化活性和稳定性	674
3.6 机理探究	676
3.7 小结	676
4 纳米碳基材料电化学水处理性能强化方法与机制	677
4.1 活性物种产生和利用调控以强化电氧化水处理性能	677
4.2 电芬顿水处理性能强化方法和机制	679
4.3 小结	681
5 环境催化剂阴离子特性调控及其应用	682
5.1 阴离子调控机制	683
5.2 阴离子调控手段	683
5.3 阴离子调控在环境重金属去除及有机物降解方面的应用	683
5.4 阴离子调控在环境电催化领域的应用	685
5.5 阴离子调控在高温电化学领域的应用	686
6 流体电化学净水效能与机制研究	687
6.1 流体电化学水质净化原理与应用	687
6.2 价态调控去除水中变价重金属	687
6.3 穿透式类芬顿系统去除微污染物	689
6.4 电场辅助脱氮除磷	691
6.5 小结	692
7 纳米碳基导电分离膜	693
7.1 GO&乙二胺(EDA)-磺化聚苯乙烯(PSS)/CNT 膜	693
7.2 RGO-MXene 膜	695
7.3 RGO/MoS ₂ 膜	695
7.4 垂直阵列 RGO 膜	696
8 展望	698
参考文献	698
第 23 章 新能源环境效应及风险防控研究现状	703
1 引言	704
2 新能源利用与碳排放	704
2.1 新能源利用现状概述	704
2.2 新能源利用过程碳排放	705
3 新能源利用化学品环境风险	707
3.1 光伏发电	707
3.2 风能利用	711
3.3 锂电池	711

4	新能源固废处置与资源化利用	713
4.1	新能源固废处置	713
4.2	新能源固废资源化利用	715
5	新能源固废管理与风险防控	718
5.1	新能源固废风险评估	719
5.2	新能源固废管理现状与问题	720
5.3	新能源固废管理与风险防控对策	722
6	展望	722
	参考文献	723
第 24 章	变价组分的环境化学行为	730
1	引言	731
2	水环境中铀的行为特征及调控机制	732
2.1	铀的性质及健康风险	732
2.2	高铀地下水分布及地质成因	732
2.3	铀形态及控铀过程	733
2.4	高铀地下水除铀技术	738
3	水环境中铬的行为特征及调控机制	740
3.1	铬的性质及健康风险	740
3.2	高铬地下水分布及地质成因	741
3.3	控制 Cr 活化的环境化学过程	743
3.4	高铬地下水的除铬技术	745
4	水环境中砷的行为特征及调控机制	746
4.1	砷的性质及环境风险	746
4.2	高砷地下水分布	747
4.3	高砷地下水形成机理	747
4.4	高砷地下水除砷技术	749
5	展望	751
	参考文献	751
第 25 章	海洋生态环境保护：前沿与应用	761
1	引言	762
2	近岸海域氮磷主要污染陆海气协同防治关键技术	763
2.1	近海氮磷来源溯源解析技术	763
2.2	近海生态系统动力学关键过程与模型	763
2.3	近岸海域分区富营养化评价方法	764
2.4	近岸海域氮磷排放总量控制技术	764
2.5	近岸海域氮磷协同防治趋势	765
3	近海新污染物环境行为、生态效应与防控策略	765
3.1	微塑料的环境行为、效应和防控	765
3.2	抗生素的环境行为、效应和防控	767
3.3	阻燃剂类污染物行为、效应和防控	768
3.4	全氟化合物的环境行为、效应和防控	770

3.5	内分泌干扰物的环境行为、效应和防控	771
4	近海典型生态灾害协同防治关键技术	773
4.1	有毒有害赤潮防治关键技术	773
4.2	黄海浒苔绿潮防治关键技术	776
4.3	水母灾害防治关键技术	777
4.4	长棘海星灾害防治关键技术	779
5	近海浮游生态系统演变与气候变化应对	781
5.1	浮游生物多样性和系统稳态转换	781
5.2	浮游生态系统临界点识别	782
6	滨海湿地生态系统蓝碳碳汇和综合生态服务功能评估	783
6.1	滨海湿地碳汇时空格局与潜力	784
6.2	滨海湿地横向碳通量研究进展	784
6.3	滨海湿地生态系统负排放技术研发与示范	785
6.4	滨海湿地生态系统碳汇与其他生态系统服务功能的协同	786
6.5	滨海湿地碳汇交易与生态系统服务功能综合管理提升	786
7	典型海洋生态系统保护与生境修复技术	787
7.1	砂质海岸生态修复	787
7.2	粉砂淤泥质海岸生态修复	790
8	展望	790
	参考文献	792

第1章 新污染物筛查识别与监测 技术研究进展

- ▶ 1 引言 /2
- ▶ 2 新污染物环境监测技术体系构建与试点应用 /2
- ▶ 3 抗生素快速识别与检测方法研究进展 /17
- ▶ 4 有机磷快速筛查与检测方法研究进展 /21
- ▶ 5 新型塑料添加剂的筛查与识别 /32
- ▶ 6 机器学习在新污染物环境过程识别中的应用 /39
- ▶ 7 基于网络化技术的新污染物的识别与鉴定 /45
- ▶ 8 展望 /48

本章导读

随着工业化和城市化的快速发展，新污染物对环境 and 人类健康的影响日益凸显。新污染物的治理已经上升为国家战略，新污染物筛查识别与环境监测是科学有效地开展新污染物风险评估和管控的基础和前提。因此，开发先进而可靠的筛查识别与监测技术是解决污染问题的关键。本章综述了当前关于新污染物筛查识别与环境监测技术方法的研究进展，包括传统色谱、质谱等监测方法的最新进展以及化学传感器、生物传感器等新型快速监测技术的开发，以及机器学习和网络化技术在新污染物识别中的应用。通过对新污染物各种筛查识别与监测技术方法的比较和分析，可以为未来环境监测工作的开展提供有益参考。

关键词

新污染物，筛查识别，监测技术，高分辨质谱，传感器，数据处理

1 引言

新污染物指新近发现或被关注，对生态环境或人体健康存在较大风险，但尚未纳入管理或者现有管理措施不足以有效防控其风险的有毒有害化学物质。新污染物的治理已经上升为国家战略，习近平总书记在 2023 年 7 月 17~18 日召开的全国生态环境保护大会讲话中提到“把应对气候变化、新污染物治理等作为国家基础研究和科技创新重点领域，狠抓关键核心技术攻关。”新污染物筛查识别与环境监测是科学有效地开展新污染物风险评估和管控的基础和前提，是了解重点关注新污染物的环境赋存水平、污染源排放情况的重要手段。

随着社会经济的发展以及科技的进步，许多新型污染物进入了我们的生活环境。这些新污染物对环境和人体健康的危害程度有时甚至超过了传统污染物。因此，新污染物的环境监测变得尤为重要。本章将重点综述新污染物筛查识别与环境监测技术方法的研究进展，以为环境保护工作提供指导和参考。

2 新污染物环境监测技术体系构建与试点应用

《新污染物治理行动方案的通知》（国办发〔2022〕15 号）^[1]中明确提出了：“建立新污染物环境调查监测制度”，“2025 年年底，初步建立新污染物环境调查监测体系”的总体要求。在调研欧盟、美国、加拿大等发达国家新污染物的监测发展历程、监测清单和监测要求等的基础上，结合我国新污染物监测技术现状及前期监测工作基础，提出我国的新污染物环境监测技术体系框架，并在我国部分地区开展试点监测应用。针对目前新污染物监测方面存在的问题，提出相关建议，旨在使新污染物环境监测能够科学、规范地开展，并使新污染物环境监测业务化，最终为实现新污染物监测的常态化运行提供思路，为其有效治理提供技术支撑。

2.1 欧美新污染物环境监测概况

2.1.1 欧盟新污染物监测

欧盟水中新污染物监测工作始于 2008 年，通过 2008/105/EC 指令提出 33 种管控物质外的 11 种候选

物质,供各国开展监测,为开展评估管控提供数据支撑^[2]。2013年,欧盟在2013/39/EU指令中建立了观察清单(Watch List)机制,明确要求全欧盟范围内各成员国对列入清单的新污染物开展监测工作,支撑未来管控物质的筛选^[3]。2015年首次提出清单,在全欧盟范围内开展监测,此后分别在2018年、2020年、2022年进行更新^[4-7]。欧盟各成员国根据观察清单在全欧盟范围内开展监测工作,积累了大量监测数据,为开展新污染物风险评估奠定了基础。

观察清单包括的新污染物数量不超过14种/组,每两年更新一次,删掉已经完成风险评估的新污染物,并选择纳入新的物质。已公布的4次观察清单,涵盖25种/组物质,共46种化合物(以CAS号计),按用途可分为农药(24种)、医药品(17种)、个人护理品(4种)、工业用品(1种)4类物质(图1-1)。

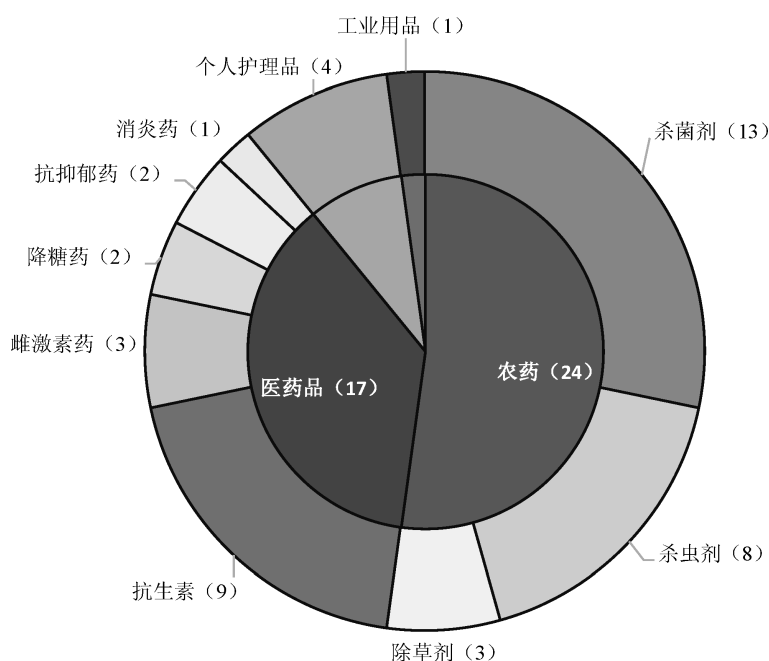


图1-1 欧盟2015~2022年期间观察清单中新污染物分布情况(括号内为个数)

欧盟在2013/39/EU指令中规定了开展观察清单中新污染物监测的点位选择、监测频次、监测时间等要求^[3]。每个欧盟成员国至少设置一个监测点位,并根据国家人口和面积具体情况,增加相应的点位数量;在公布观察清单后的6个月内开展监测,对新增加的物质,需要在清单公布后的21个月内提交监测报告,对于其他物质,每12个月报送一次监测报告。

欧盟还规定了每种/组物质所用的前处理和分析技术手段,以及方法检出限/定量限。观察清单的监测手段主要采用固相萃取前处理方法(SPE)和液相色谱三重四极杆串联质谱法(LC/MS/MS)。方法检出限/定量限要求小于等于相应环境介质中预测无效应浓度^[4]。此外,所采用的监测方法需要满足欧盟统一规定的技术要求^[8]。

2.1.2 美国新污染物监测

美国重点关注饮用水中新污染物对人体健康带来的危险。美国环保局(EPA)针对处于管控之外的物质,提出污染物候选清单(Contaminant Candidate List, CCL),每5年公布一次,对前次CCL中至少5种污染物评估是否进行管控。同时,EPA配套设立了未管控污染物监测规则(Unregulated Contaminant Monitoring Rule, UCMR),每5年提出不超过30种未管控污染物的清单,开展监测,收集管控评估所需

数据，为管控决策以及标准制定提供支持（图 1-2）。自 2001 年以来，已完成了 4 次 UCMR 监测，目前正在开展第 5 次 UCMR 监测（2022~2026 年）^[9]。历次 UCMR 清单为政府的管控决策和标准制定提供所需信息，在美国饮用水中新污染物管控中发挥基础性支撑作用。

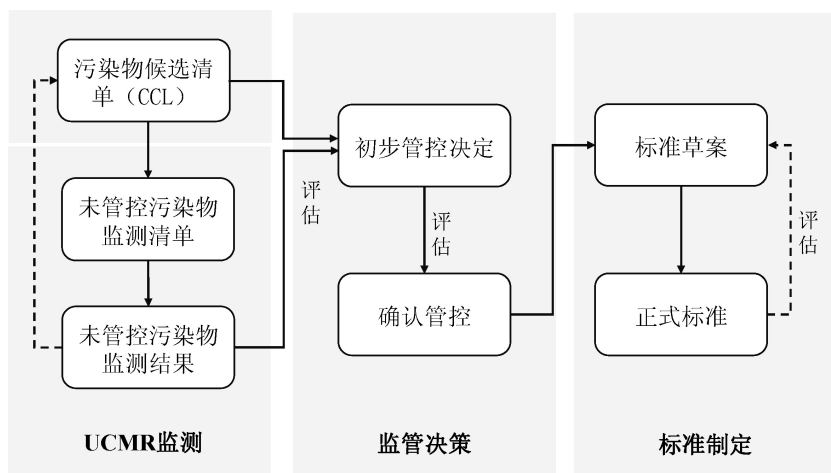


图 1-2 美国饮用水中新污染物监测和管理程序

UCMR 监测清单是基于污染物可能赋存情况、监测方法成熟度、健康危害、监测成本和可行性等多方面因素，通过多步优先级排序过程确定的。最新的 UCMR 5 主要基于《国防授权法》要求，结合 CCL 4、CCL 5 草案确定，最终确定了 30 种物质，包括 29 种全氟和多氟烷基物质（PFAS）和锂^[10]。

UCMR 监测的范围包括服务于超过 3300 人的所有供水单位，以及部分服务于少于 3300 人的代表性小型供水单位，合计约 10311 家^[10]。关于监测频次，对于水源为地表水或地表水/地下水混合水源、地下水的供水单位，在连续 12 个月内分别开展 4 次、2 次监测。UCMR 监测方法要求采用 EPA 标准方法。

2.1.3 加拿大新污染物监测

加拿大要求建立优先评估物质清单（PSL），并且动态更新，分别在 1989 年和 1995 年发布两次 PSL^[11]。2006 年加拿大发布了新的化学品管理计划（CMP），旨在评估和管理化学物质对人体健康和环境造成的风险。截至 2022 年 4 月，通过 CMP 完成 12 批化学物质评估，2021~2024 年将完成约 330 种化学物质评估。

为给 CMP 的风险评估提供数据支持，加拿大实施了相应的环境监测项目，要求至少在一类环境介质中开展双酚 A、氯化石蜡、硅氧烷、金属、PFAS、多溴二苯醚和其他阻燃剂等监测。2020~2021 年环境监测项目涉及空气中 9 种/组物质、地表水中 10 种/组物质和鱼中 9 种/组物质^[12]。

加拿大要求采用标准方法开展空气、水、沉积物、生物（鱼类和鸟类）等环境介质监测。空气监测（含降水）涵盖 19 个站点；水监测是在现有的水质监测站点基础上补充站点，每月开展一次监测；沉积物站点是每年轮流在五大湖进行监测；鱼类监测涵盖 19 个站点。

2.1.4 欧美新污染物监测特点

总结欧美环保部门开展的新污染物监测工作，有三个特点：

（1）建立动态更新的新污染物清单监测机制。欧盟提出观察清单（Watch List）监测机制，每两年更新清单。美国 EPA 每 5 年提出污染物候选清单（CCL）及未管控污染物监测规则（UCMR）并开

展监测。加拿大提出优先评估物质清单（PSL）并动态更新，基于化学品管理计划（CMP）要求开展监测和评估。

（2）欧盟在观察清单中对新污染物监测技术手段和检出限/定量限进行要求，并且通过指令（Directive）统一规定监测方法技术要求。美国和加拿大要求新污染物监测需采用标准方法，保证监测数据的准确可比。

（3）充分考虑监测可行性和经济成本。经筛选确定的优先评估/监测清单中新污染物种类仍然很多，由于监测成本高，难以全部开展监测。欧盟观察清单最多涵盖 14 种/组新污染物，美国 UCMR 要求提出监测清单包含不超过 30 种污染物，加拿大 CMP 在 2020~2021 年开展不超过 10 种/组物质的监测。除了限制新污染物种类数量外，欧美国家均强调监测方法的经济性和适用性。

2.2 我国新污染物监测工作前期基础

相比欧美发达地区，我国新污染物监测工作起步较晚，但我国生态环境监测系统近年来也开展了一些新污染物监测实践与研究，取得了一定进展。

在监测方法标准体系建设方面，通过国家生态环境标准制修订项目的开展，推动了新污染物监测方法开发及标准化。目前，部分持久性有机污染物（POPs）、挥发性有机物及内分泌干扰物已发布行业监测标准，抗生素、PFAS 等部分新 POPs 的监测标准正在制订中。现有的技术规范、监测方法及质控要求，可初步支撑新污染物环境监测试点工作。

在监测机构的监测能力方面，根据开展的生态环境监测系统内的新污染物监测能力调查结果，监测系统内整体上具备水体中典型 POPs 的监测能力，对内分泌干扰物、新型 POPs、部分抗生素监测能力较弱。中、东部较西部地区监测能力强，省站较地市站监测能力强。

在调查监测方面，我国从 2007 年起持续开展履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》成效评估监测，对 14 个大气监测点（7 个背景点、4 个城市点、3 个农村点）、4 个水体监测点（太湖、青海湖、渤海、黄海），开展 77 种 POPs 监测；2016 年起先后在太湖、白洋淀、丹江口水库等重点水体开展“典型区域新污染物调查及风险评估”专项工作；2022 年以长江流域为主，开展新污染物试点监测；2022 年开展渤海、东海等部分海湾、河口的 POPs、抗生素等新污染物监测。

此外，在新污染物监测科研方面，生态环境监测系统依托国家自然科学基金、“863 计划”、水专项、国家重点研发计划等重大科研专项，开展新污染物相关监测技术、毒性效应及生态风险相关研究。

上述工作为我国履行国际公约成效评估、重点关注地区新污染物风险管控提供了有力的技术支撑，在新污染物调查监测方面积累了一定的经验和技術储备，为新污染物环境监测制度的建立进行了有益的探索。然而我国生态环境监测部门尚未完全形成新污染物环境监测业务化运行的机制和制度，没有一套相对完善并能满足业务化运行要求的标准监测体系，所积累的数据还无法有效满足新污染物环境风险评估的需求。

2.3 我国新污染物环境监测标准现状

2.3.1 国外新污染物相关分析方法标准

新污染物监测相关方法标准是新污染物监测科学规范开展的依据。由于环境背景中新污染物的残留很低，因此对分析方法的特异性、选择性和灵敏度要求较高。欧美各国都投入大量的人力物力进行新污

染物监测分析方法和仪器的研究,从高分辨气相色谱低分辨质谱联用发展到同位素稀释高分辨气相色谱高分辨质谱联用法(HRGC/HRMS)。表 1-1 是部分国外新污染物相关分析方法标准。

表 1-1 国外新污染物监测分析方法标准

介质	方法/标准名称	标准号
水质	水质.全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟辛酸(PFOA)的测定.使用固相萃取和液相色谱/质谱法测定水样的方法	BS ISO 25101-2009
	气相色谱/质谱法测定水中邻苯二甲酸酯	ISO 18856
	气相色谱-质谱法测定环境水中壬基酚、双酚 A、对叔辛基酚、壬基酚单氧乙烯醚和壬基酚二氧乙烯醚的标准试验方法	ASTM D7065-06 ASTM D7065-11
	采用液相色谱法/串联质谱法测定环境水体中壬基酚、对叔辛基酚、壬基酚单氧乙烯醚和壬基酚二氧乙烯醚的标准试验方法	ASTM D7485-2016
	水质—沉积物和污泥多溴二苯醚的测定气相色谱/质谱法	ISO 22032: 2006
	水质-选定烷基苯酚的测定.第 1 部分: 对未过滤样品采用液-液萃取法和有选择性质量检测的气相色谱法	DIN EN ISO 18857-1
	工业用水和废水中全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟辛酸(PFOA)的检测方法	JISK0450-70-10-2011 (日本)
	城市和工业废水有机化学分析方法: 有机氯农药和多氯联苯	EPA 608
	使用液相色谱串联质谱法(LC/MS/MS)测定水、污泥、进水、出水以及废水中全氟和多氟烷基化合物的标准检测方法	ASTM D7979-17
	水质.全氟烷基和多氟烷基物质(PFAS)的测定.固相萃取液相色谱-串联质谱法(LC-MS/MS)	ISO 21675-2019
纺织品	饮用水中全氟和多氟化合物的固相萃取、液相质谱串联质谱标准分析方法	EPA 537.1
	纺织品—使用气相色谱负离子化学电离质谱(GC-NCI-MS)测定不同基质的纺织品中的短链氯化石蜡(SCCP)和中链氯化石蜡(MCCP)	DIN EN ISO 22818 (德国)
环境空气	PUF 吸附大流量采样气相色谱多种检测器测定环境空气中农药和多氯联苯	EPA TO-4A
	PUF 吸附小流量采样气相色谱多种检测器测定环境空气中农药和多氯联苯	EPA TO-10A
土壤	土质.气相色谱质谱法(GC-MS)测定壬基酚(NP)、壬基酚单氧乙烯醚和壬基酚二氧乙烯醚	ISO/TS 13907-2012
水、土壤、沉积物、污泥、组织	水、土壤、沉积物和组织多溴二苯醚的测定高分辨气相色谱/高分辨质谱法	EPA 1614
	水、土壤、沉积物和污泥中药物和个人护理产品的测定, 高效液相色谱/串联质谱法	EPA1694
	水、土壤、沉积物、污泥以及组织中 OCPs 的测定高分辨气相色谱-高分辨质谱法	EPA 1699
	水、土壤、沉积物、组织中多溴联苯醚同类物的分析	EPA 1614
物品	检测物品中 PFOS 和 PFOA 的方法	EM201: 2010 (韩国)
水、土壤、沉积物、生物固体材料和组织	多氯联苯同位素稀释高分辨率气相色谱/高分辨率质谱检测法	EPA1668

2.3.2 国内监测分析方法研究进展

近年来,我国科研领域参考国外新污染物分析方法标准开展了大量新污染物分析方法研究并逐

步标准化。自 2006 年，我国陆续发布了环境领域的部分新污染物监测分析方法标准，电子、皮革、涂料、食品、电器和纺织等领域也相继出台了某些特征新污染物的国家标准。但大部分新污染物目前尚无监测分析方法标准，如德克隆、抗生素、微塑料等。表 1-2 列举了国内新污染物相关分析方法标准。

针对《重点管控新污染物清单（2023 年版）》（生态环境部部令第 28 号）^[13]、《第一批化学物质环境风险优先评估计划》（环办固体（2022）32 号）^[14]、《优先控制化学品名录（第一批）》（生态环境部公告 2017 年第 83 号）^[15]及《优先控制化学品名录（第二批）》（生态环境部公告 2020 年第 47 号）^[16]等相关名录中筛选出的新污染物项目的方法标准进行梳理，这些项目的现行标准方法及已立项的方法标准制修订项目情况见表 1-2。可见新污染物的方法标准缺口较大，亟需开展相关研究。2023 年，中国环境监测总站（以下简称“总站”）组织编制了《水质 1,3-丁二烯和 1-溴丙烷的测定吹扫捕集/气相色谱-质谱法》等 6 个方法的作业指导书（表 1-2 中以*标出），以规范指导年度试点监测工作。后续，根据技术需求，总站将组织编制紫外吸收剂类、有机磷酸酯类等更多新污染物监测项目的作业指导书，以支撑新污染物环境监测工作的深入开展。

2.4 我国新污染物环境监测技术体系框架构想

目前我国新污染物环境监测工作刚刚起步，机制待捋顺，制度待确立，技术待规范。我国目前没有国家层面的化学物质管理单行上位法，化学物质管理基本制度不够健全，环境监测与化学品管理尚未有效衔接。部门内、部门间工作流程和职责分工不明，部门内环境风险管理和环境质量管理衔接不够，需要明晰我国现状与问题，打通我国新污染物环境监测的路径，更好满足“源头禁止、过程减排、末端治理”的全生命周期的风险管控及“分类、分阶段、分区域、分行业”的精准管控中对监测技术的需求。规范和完善新污染物环境监测技术方法，同时加强与环评、排污许可、水、大气、土壤等生态环境部内管理制度以及与其他部门化学物质管理制度的衔接，建立部门内协调机制。

2.4.1 新污染物监测技术路线

新污染物监测技术路线需要明确近期新污染物监测工作的技术路线以及主要技术环节要求等，此外需要明确工作目的、指导思想和原则、当前和近期工作任务与目标、组织实施要求和保障措施，从总体上指导全国新污染物监测工作。

2.4.2 新污染物环境监测技术方法

新污染物环境监测技术方法包括新污染物及污染源信息调查方法，新污染物监测分析技术，及新污染物监测分析评价技术。新污染物及污染源信息调查方法是新污染物环境监测开展的信息基础，为新污染物环境监测指标选择以及监测布点提供重要信息。以液相色谱质谱和气相色谱质谱为主的采用同位素内标法的质谱定量分析技术确保新污染物环境监测分析数据的灵敏、准确；质谱筛查技术为新污染物环境监测的辅助手段。新污染物监测分析评价技术支持新污染物来源与变化趋势、环境影响、风险评估等分析。

2.4.3 新污染物监测标准体系框架

新污染物监测标准体系是新污染物监测技术体系的重要组成部分，分为指南规范、方法标准、技术装备和标准样品。

表 1-2 新污染物环境监测项目方法统计表

序号	CAS	名称	水			沉积物			气			土		其他
			标准方法	参考方法		标准方法	参考方法		标准方法	参考方法		标准方法	参考方法	
1	120-82-1	1,2,4-三氯苯	HJ 639	/		HJ 605	/		HJ 759	/		HJ 605	/	HJ 1079 HJ 951 HJ 760 HJ 643
2	106-99-0	1,3-丁二烯	/	HJ 639*		/	HJ 605		HJ 759	/		/	HJ 605	GBZ/T 300.61
3	81-15-2	5-叔丁基-2,4,6-三硝基间二甲苯（二甲苯麝香）	/	EPA 8270E		/	EPA 8270E		/	EPA 8270E		/	EPA 8270E	
4	27417-40-9	N,N'-二甲苯基-对苯二胺	/	/		/	/		/	/		/	/	
5	50-00-0	甲醛	HJ 601	/		HJ 997	/		HJ 683, HJ 1153, HJ 1154	/		HJ 997	/	DB51/T1918
6	77-47-4	六氯代-1,3-环戊二烯	/	EPA 8270E		HJ 834	/		/	/		HJ 834	/	HJ 951
7	91-20-3	萘	HJ 639	/		HJ 605	/		HJ 759	/		HJ 605	/	DB13/TS254 HJ 951 HJ 760
8	79-01-6	三氯乙烯	HJ 639	/		HJ 605	/		HJ 759	/		HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
9	127-18-4	四氯乙烯	HJ 639	/		HJ 605	/		HJ 759	/		HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
10	75-07-0	乙醛	/	GB/T 5750.10		HJ 997	/		HJ 683, HJ 1153, HJ 1154	/		HJ 997	/	HJ T35

续表

序号	CAS	名称	水			沉积物			气			土		其他
			标准方法	参考方法	参考方法	标准方法	参考方法	参考方法	标准方法	参考方法	参考方法	标准方法	参考方法	
11	75-35-4	1,1-二氯乙烯	HJ 639	/	/	HJ 605	/	/	HJ 644	/	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643
12	78-87-5	1,2-二氯丙烷	HJ 639	/	/	HJ 605	/	/	HJ 644	/	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
13	121-14-2	2,4-二硝基甲苯	HJ 716	/	/	HJ 834	/	/	/	/	/	HJ 834	/	
14	732-26-3	2,4,6-三叔丁基苯酚	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	T/GDCKCJH 069
15	71-43-2	苯	HJ 639	/	/	HJ 605	/	/	HJ 759	/	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
16	108-88-3	甲苯	HJ 639	/	/	HJ 605	/	/	HJ 759	/	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
17	95-53-4	邻甲苯胺	HJ 1048	/	/	HJ 1210	/	/	/	/	/	HJ 1210	/	
18	115-96-8	三(β-氯乙基)磷酸酯	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
19	133-49-3	五氯苯硫酚	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
20	68937-41-7	异丙基苯酚磷酸酯	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
21	375-95-1, 21049-39-8, 4149-60-4	全氟壬酸及其钠盐和铵盐	DB 32/T 4004	GB/T 5750.8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
22	3846-71-7	2-(2H-苯并三氮唑-2-基)-4,6-双(1,1-二甲基乙基)苯酚(UV-320)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	SN/T 5259-2020 SN/T 5258-2020
23	3864-99-1	2-(5-氯-2H-苯并三唑-2-基)-4,6-二(1,1-二甲基乙基)苯酚(UV-327)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	SN/T 5259-2020 SN/T 5258-2020

续表

序号	CAS	名称	水		沉积物		气		土		其他
			标准方法	参考方法	标准方法	参考方法	标准方法	参考方法	标准方法	参考方法	
24	117933-89-8	(2,4-二甲基-3-环己烯-1-基)-5-甲基-5-(1-甲基丙基)1,3-二噁烷(卡拉花醛)	/	/	/	/	/	/	/	/	SN/T 5339-2021 SN/T 5267-2020
25	1461-22-9, 1983-10-4, 2155-70-6, 24124-25-2, 4342-36-3, 56-35-9, 85409-17-2	三丁基锡化合物(类)	HJ 1074	EPA 8323 ISO 17353	/	/	/	/	/	ISO 23161	
26	126-72-7	三(2,3-二溴丙磷酸酯)磷酸盐	/	/	/	/	/	/	/	/	GB/T 24279
27	106-94-5	1-溴丙烷	/	HJ 639*	/	HJ 605	/	HJ 759	/	HJ 605	GBZ/T 310
28	25155-23-1	磷酸二甲酚(1:3)酯	/	/	/	/	/	/	/	/	
29	107-06-2	1,2-二氯乙烷	HJ 639	/	HJ 605	/	HJ 759	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643 HJ 734
30	106-46-7	1,4-二氯苯	HJ 639	/	HJ 605	/	HJ 759	/	HJ 605	/	HJ 951 HJ 760 HJ 643
31	79-34-5	1,1,2,2-四氯乙烷	HJ 639	/	HJ 605	/	HJ 759	/	HJ 605	/	HJ 760 HJ 643
32	117-84-0	邻苯二甲酸二正辛酯	HJ 1242	GC-MS*	HJ 1184, HJ 834	/	HJ 867, HJ 868	/	HJ 1184, HJ 834	/	
33	26761-40-0, 68515-49-1	邻苯二甲酸二异癸酯	/	HJ 1242*	/	/	/	/	/	/	电子行业标准 SJ/T