

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

基于过氧化物的消毒技术研究进展 ..... 刁海玲, 赵三平, 周文 (1645)

环境损害评估: 国际制度及对中国的启示 ..... 张红振, 曹东, 於方, 王金南, 齐霖, 贾倩, 张天柱, 骆永明 (1653)

不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示 ..... 徐猛, 颜增光, 贺萌萌, 张超艳, 侯红, 李发生 (1667)

蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展 ..... 张志剑, 刘萌, 朱军 (1679)

基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究 ..... 刁晓君, 席北斗, 何连生, 邓祥征, 吴锋, 王鹏腾 (1687)

我国东北地区地表水酸化现状 ..... 徐光仪, 康荣华, 罗遥, 段雷 (1695)

西安市对渭河水质的影响分析 ..... 于婕, 李怀恩 (1700)

极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究 ..... 叶丰, 黄小平, 施震, 刘庆霞 (1707)

应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准 ..... 韩超南, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 曹伟 (1715)

长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法 ..... 蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 朱延忠, 周娟 (1725)

温州城市降雨径流中BOD<sub>5</sub>和COD污染特征及其初始冲刷效应 ..... 王骏, 毕春娟, 陈振楼, 周栋 (1735)

影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究 ..... 余小龙, 沈芳, 张晋芳 (1745)

香溪河库湾春季pCO<sub>2</sub>与浮游植物生物量的关系 ..... 袁希功, 黄文敏, 毕永红, 胡征宇, 赵玮, 朱孔贤 (1754)

紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究 ..... 雷雨, 龙天渝, 伞磊, 安强, 黄宁秋 (1761)

高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究 ..... 马晓雁, 张泽华, 王红宇, 胡仕斐, 李青松 (1767)

纳米Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚 ..... 何洁, 杨晓芳, 张伟军, 王东升 (1773)

水中萘普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究 ..... 马杜娟, 刘国光, 吕文英, 姚锬, 周丽华, 谢成屏 (1782)

酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究 ..... 康雅凝, 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 赵伦 (1790)

镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究 ..... 柳王荣, 魏清伟, 杨仁斌, 许振成, 曾东 (1797)

基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法 ..... 金鹏康, 冯永宁, 王宝宝, 王晓昌 (1802)

不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究 ..... 王金泉, 胡梦蝶, 马邕文, 黄明智 (1808)

壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果 ..... 张璐璐, 胡筱敏, 英诗颖, 王芳 (1815)

城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究 ..... 孟晓荣, 张海珍, 王磊, 王旭东, 赵亮 (1822)

倒置A<sup>2</sup>/O-MBR处理城市污水的中试研究 ..... 张健君, 邹高龙, 杨淑芳, 丁星, 王莉, 毛乾庄, 杨丹 (1828)

不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究 ..... 袁莹, 周伟丽, 王晖, 何圣兵 (1835)

短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N<sub>2</sub>O释放特性 ..... 梁小玲, 李平, 吴锦华, 王向德 (1845)

基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化 ..... 张明全, 李锋民, 吴乾元, 胡洪营 (1851)

多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响 ..... 陈春, 刘潇威, 郑顺安, 周启星, 李松 (1857)

浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价 ..... 徐志荣, 王浙明, 许明珠, 何华飞 (1864)

苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应 ..... 赵伟荣, 廖求文, 杨亚楠, 戴九松 (1871)

四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征 ..... 邵敏, 陈永亨, 李晓宇 (1877)

咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究 ..... 赵继红, 赵永升, 张宏忠, 张香平 (1882)

宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征 ..... 樊新刚, 米文宝, 马振宁, 王婷玉 (1887)

内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征 ..... 郭伟, 付瑞英, 赵仁鑫, 赵文静, 郭江源, 张君 (1895)

福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究 ..... 郑桢, 杨冰玉, 吴水平, 王新红, 陈晓秋 (1901)

重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究 ..... 王玉玲, 能昌信, 王彦文, 董路 (1908)

丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响 ..... 郭伟, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 郭江源, 张君 (1915)

海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应 ..... 史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 胡维安, 田梓杨, 戴明 (1922)

1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究 ..... 刘玉娇, 杨新萍, 王世梅, 梁银 (1930)

1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性 ..... 蔡瀚, 尹华, 叶锦韶, 常晶晶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1937)

2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解 ..... 张姝, Giulio Franco, 李晓豹, 卢晓霞, 侯珍, 杨君君 (1945)

养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性 ..... 裴瑞林, 信欣, 张雪乔, 周迎芹, 姚力, 羊依金 (1951)

1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析 ..... 陈圆圆, 田贺忠, 杨懂艳, 邹本东, 鹿海峰, 林安国 (1958)

黄山降水酸度及电导率特征分析 ..... 石春娥, 邓学良, 吴必文, 洪杰, 张苏, 杨元建 (1964)

夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析 ..... 文彬, 银燕, 秦彦硕, 陈魁 (1973)

广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征 ..... 谭吉华, 赵金平, 段菁春, 马永亮, 贺克斌, 杨复沫 (1982)

福建省三大城市冬季PM<sub>2.5</sub>中有机碳和元素碳的污染特征 ..... 陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 徐玲玲, 尹丽倩, 张福旺 (1988)

上海市含碳大气颗粒物的粒径分布 ..... 袁宁, 刘卫, 赵修良, 王广华, 姚剑, 曾友石, 刘邃庆 (1995)

上海市浦东新区二次气溶胶生成的估算 ..... 崔虎雄, 吴迺名, 段玉森, 伏晴艳, 张懿华, 王东方, 王茜 (2003)

沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义 ..... 钱鹏, 郑祥民, 周立旻 (2010)

厦门秋季近郊地面CO<sub>2</sub>浓度变化特征研究 ..... 李燕丽, 穆超, 邓君俊, 赵淑惠, 杜可 (2018)

GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b ..... 郭立峰, 姚波, 周凌晔, 李培昌, 许林 (2025)

城市居家环境空气真菌群落结构特征研究 ..... 方治国, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2031)

城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究 ..... 郭薇, 王伯光, 唐小东, 刘舒乐, 何洁, 张春林 (2038)

内河多点分散码头大气污染叠加影响特征 ..... 刘建昌, 李兴华, 徐洪磊, 程金香, 王忠岱, 肖杨 (2044)

义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究 ..... 刘瑞卿, 王钧伟 (2051)

基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究 ..... 谢元博, 李巍 (2057)

《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807, 1821, 1881, 1987) 专辑征稿通知(1863)

# 环境损害评估：国际制度及对中国的启示

张红振<sup>1,2</sup>, 曹东<sup>1</sup>, 於方<sup>1</sup>, 王金南<sup>1</sup>, 齐霁<sup>1</sup>, 贾倩<sup>1</sup>, 张天柱<sup>2</sup>, 骆永明<sup>3</sup>

(1. 环境保护部环境规划院环境风险与损害鉴定评估研究中心, 北京 100012; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084; 3. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003)

**摘要:** 随着全社会对资源环境稀缺性和环境价值认同的不断深入, 世界各国从污染防治和生态环境保护实践中逐渐形成并健全了环境损害评估制度。环境损害评估的实践活动在科学研究层面对环境法学、环境经济学、环境科学、环境工程等相关学科的发展提出了新的挑战; 在应用层面不断推动相关法律法规、技术方法、工作机制、程序导则的形成和完善。在比较分析美国、欧盟、日本等环境损害评估国际实践经验的基础上, 明确了环境损害评估相关概念、内涵与范畴, 系统梳理了各国相关法律法规、工作机制、技术导则、评估方法、资金来源以及沟通协调等制度内容。当前我国环境损害评估理论和实践都处于起步阶段, 结合我国当前严峻的环境形势和社会经济发展阶段特征, 借鉴国外先进经验, 提出了我国环境损害评估的定位和发展方向, 对探索适合我国国情的环境损害评估制度具有重要意义。

**关键词:** 环境污染; 损害评估制度; 美国; 日本; 欧盟; 自然资源

中图分类号: X3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-1653-14

## Environmental Damage Assessment: International Regulations and Revelation to China

ZHANG Hong-zhen<sup>1,2</sup>, CAO Dong<sup>1</sup>, YU Fang<sup>1</sup>, WANG Jin-nan<sup>1</sup>, QI Ji<sup>1</sup>, JIA Qian<sup>1</sup>, ZHANG Tian-zhu<sup>2</sup>, LUO Yong-ming<sup>3</sup>

(1. Centre for Environmental Damage and Risk Assessment, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

**Abstract:** As the whole society gradually realizes the scarcity of nature resources and environmental value, countries all over the world have evolved and improved the system of environmental damage assessment through the practices of pollution prevention and ecological environmental protection. On one hand, in the research prospective, the practices of environmental damage assessment brought new challenges to environmental law, environmental economics, environmental science, environmental engineering, etc. On the other hand, they constantly promoted and developed relevant laws and regulations, techniques, working mechanism, and guidelines on procedure in practice. On the basis of comparison and analysis of international practices and experiences from US, EU, and Japan, etc., this article identified relevant concepts, content, and scope of environmental damage assessment, and presented its scientific positioning and development direction. At present, both theory and practice of environmental damage assessment in China are in their infancy period. Considering current environmental situation and socioeconomic development features of China, learning international practices and experiences and raising the orientation of environmental damage assessment have great meaning in exploring the suitable environmental damage assessment system.

**Key words:** environmental pollution; damage assessment regulations; US; Japan; EU; natural resources

当前, 环境污染事件在世界范围内频繁发生, 2010年发生的美国墨西哥湾漏油事件、2012年广西龙江河突发环境事件以及近年来国内频繁发生的铅污染事件, 给人类生命财产、自然资源和生态环境造成巨大损害<sup>[1,2]</sup>。由于环境污染损害危及海洋、陆地、河流、地下水、环境空气等各类环境介质, 损害范围包括健康、财产、文化、资源、环境等各个方面, 造成环境污染损害评估的研究和实践涉及环境法学、环境经济、环境伦理、环境管理、环境政策、环境社会等人文社会科学领域, 以及环境监测、环境化学、环境工程、环境风险、环境健康、污染

生态等自然学科和工程领域<sup>[3]</sup>。因此, 准确量化环境污染造成的损失和环境保护带来的收益一直是环境经济、环境管理、环境科学等环境学分支学科关注的重点领域和热点<sup>[4]</sup>。构建完备的环境损害评估制度体系并不断改进评估技术方法, 已成为各国环境保护实践的重要前沿方向, 同时也是推动环境管理方式转变的一项基础工作。

收稿日期: 2012-08-18; 修订日期: 2012-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101572)

作者简介: 张红振(1980~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境风险与损害评估, E-mail: hongzhengzhang@126.com

发达国家在自身环境保护发展历程中逐渐形成了独特的环境损害评估制度,将环境损害相关立法及管理模式、损害评估方法与技术导则、资源环境价值理念和自然文化传统融为一体,演进出健全的资源环境保护和环境权益保障体系<sup>[5]</sup>。美国、日本、加拿大、澳大利亚及欧盟等国家和地区都结合当地社会经济环境发展的阶段和特征,开展了丰富的环境损害评估理论研究和实践应用,对环境损害评估的定义、目标、对象、内容都做出了明确界定,成功地形成了类型各异的基于污染者付费原则的环境损害责任制度<sup>[6]</sup>。相比发达国家来说,我国当前仍处于快速工业化和城镇化的关键时期,频繁发生的环境污染事件引发的环境私益损害赔偿还远不到位,环境公益损害的评估与赔偿仍无人问津<sup>[7]</sup>。因此,充分借鉴国外发达国家开展环境损害评估的实践经验,基于我国当前的环境形势和社会经济发展阶段特征,构建符合我国国情的环境损害评估制度,对于抑制恶性环境事件发生,确保环境污染损害的公私权益得到足额赔偿,维护环境公平正义具有重要的现实意义。

## 1 环境损害评估定义

清晰定义环境损害,并对环境损害的主要内容、涉及范围和重点关注对象做出说明,是顺利开展环境损害评估和实现污染防范、责任追究和损失求偿目标的重要前提。一般认为,环境损害包括环境私益损害和环境公益损害两部分,西方国家称之为传统损害(traditional damage)和资源环境损害(environmental damage as such)<sup>[8]</sup>。日本学者将环境污染导致的损害分为舒适性问题和公害问题两大类,并给出了金字塔型的层级关系<sup>[9]</sup>。然而,当环境损害评估的实际评估目的、对象不同时,所关注的环境损害对象、程度和范围往往有较大差别。因此,笔者尝试基于实际面临问题及需求对环境损害进行概念区分。从最宽泛的角度看,环境损害可以概括为任何人类活动对生态环境和社会经济体系造成的负面影响,这种负面影响的一部分可能在现有科学技术水平下能够被感知和量化,另一部分损害虽然实际上发生了,但由于没有对社会经济、人群健康或生态环境造成可察觉的损伤还不能被人类清晰认识。从广义上讲,环境损害(广义)可定义为任何自然环境系统扰动所造成的社会可感知和量化的损害,包括可以明确量化健康、财产、社会经济和资源环境损害,也包括对整个人类社会和自然生态

系统的隐性损伤,也可以称之为全社会损害。环境损害(中义)可定义为由于环境污染物质排放或其他人类活动导致环境参数变化所造成的现行相关法律所主张的,量化的对人体健康、社会经济和资源环境的损害,包括公益损害和私益损害两部分。环境损害(狭义)可定义为由于人类不当活动导致的对资源环境本身的损害,不考虑对人身健康、财产等部分内容。广义的环境损害一般在统计环境污染导致的社会经济损失中使用,如绿色GDP核算、重大环境事件损失分析。中义的环境损害一般用于对污染者的责任追究、损失求偿。狭义的环境损害往往只是针对污染行为对资源环境本身损失的量化,在环境公益诉讼中使用。基于实际开展的环境损害评估和赔偿实践活动,可以将环境损害分为人身健康、社会经济和生态环境损害3大类(图1),其中人身健康损害又可以划分为显性健康损害、隐性健康损害、未来预期健康损害和精神损害等;社会经济损害可划分为直接经济损失、间接经济损失和社会影响损失等;生态环境损害为资源环境价值损失,从基于恢复的角度可分为污染清理和修复费用、生态环境恢复和资源环境服务损失等部分。

环境损害评估是指针对指定环境污染行为,采用严谨的措施或法定的方法和程序对环境损害进行科学合理的量化评估的过程。与环境损害的概念类似,环境损害评估的概念与范畴跟评估对象、法律依据、主张领域等密切相关,根据污染源、损害受体、评估方式等不同可分为各种类型。但要形成完整的环境损害评估制度则必须有明确的法律条文依据、完善的评估技术方法标准和全社会较强的环境意识,3个方面缺一不可,法律法规方面可清晰界定各方权责关系、明确评估工作机制和损害赔偿的途径和方式等,是环境损害评估的基础依据;技术标准方面对评估的方法、程序、流程等进行详细规定,是环境损害量化和评估结果可信的关键环节;环境意识提高确保了评估过程中信息公开、公众参与和关切,是顺利开展环境损害评估的重要保障(图2)。

## 2 环境损害评估制度国际经验

由于各国发展阶段面临的主要环境问题及应对策略各不相同,环境损害评估在世界各地也呈现出多元化的特征。这种差异性最明显体现在各国对环境损害的范畴界定和应对措施的区别上。环境损害评估在美国称之为自然资源损害评估(natural

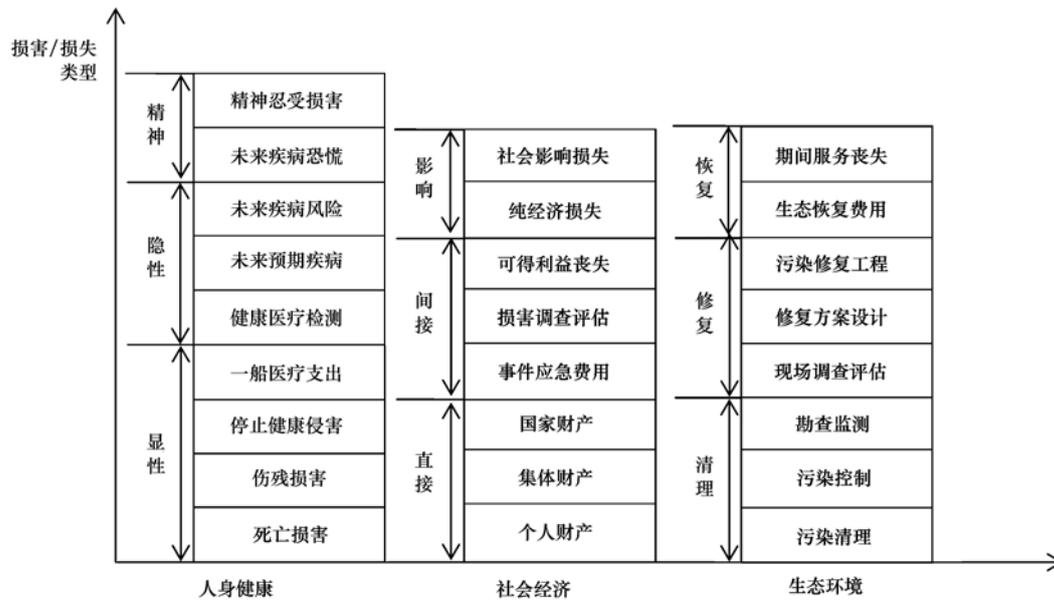


图 1 环境损害/损失的类型和构成

Fig. 1 Types and constitutions of environmental damage



图 2 环境损害评估制度

Fig. 2 Environmental damage assessment system

resource damage assessment, NRDA)<sup>[10]</sup>, 欧盟和加拿大称之为环境损害评估 (environmental damage assessment, EDA)<sup>[11]</sup>, 日本把环境污染损害称之为“公害”。下面分别介绍美国、欧盟、日本和中国的环境损害评估制度和实践进展情况。

2.1 美国

美国是世界上第一个建立完备环境损害评估和赔偿制度的国家, 但早期的环境损害, 包括传统损害和资源环境损害, 都是主要依靠普通法来解决问题。但随着一系列恶性环境事件的频繁发生, 引起社会各界对环境破坏的密切关注和公众的强烈不满, 20 世纪 70 年代开始, 美国开始有专门的环境立法主要

针对生态环境损害进行严格责任追究, 并在随后的 20 a 建立完善的生态环境损害评估与赔偿的相关立法、工作机制和技术体系, 并随着环境形势的变化和结合环境损害应对实践经验不断改进<sup>[12,13]</sup>。由于美国最具特色的经验是创造性地构建了一套完整的自然资源环境损害评估制度, 这里主要介绍美国 NRDA 相关内容。

美国 NRDA 主要针对石油类物质泄露、危险固体废物不当处置和有毒有害物质排放这 3 种主要类型的环境污染事件造成生态环境损害的评估。在美国联邦层面, 《清洁水法》(CWA, 1977 年)、《综合环境反应、赔偿和责任法》(超级基金法, CERCLA, 1980 年) 和《石油污染法案》(OPA, 1990 年) 为 3 部最主要的环境损害响应和责任追究法律。其中 CWA 主要针对石油和有害物质排放污染水体造成环境损害的评估与赔偿, CERCLA 主要针对危险固废和有害物质的不当处置造成的场地污染和资源环境损害进行应急响应、责任追究和治理恢复, OPA 主要针对油类物质泄露进行处置和求偿(图 3)。3 部法律中, CWA 和 CERCLA 主要针对资源环境损害, 而 OPA 则对损害评估和求偿的范围作了较大的扩展, 不仅涉及环境公益损害, 还涉及较为宽泛的环境私益损害评估与赔偿。

根据美国联邦 CERCLA 和 OPA 等法律, 美国内政部(DOI)、商务部(DOC)、农业部(USDA)、国防部(DOD)、能源部(DOE)、州政府、印第安部落组织以及外国政府可以作为自然资源受托人开展

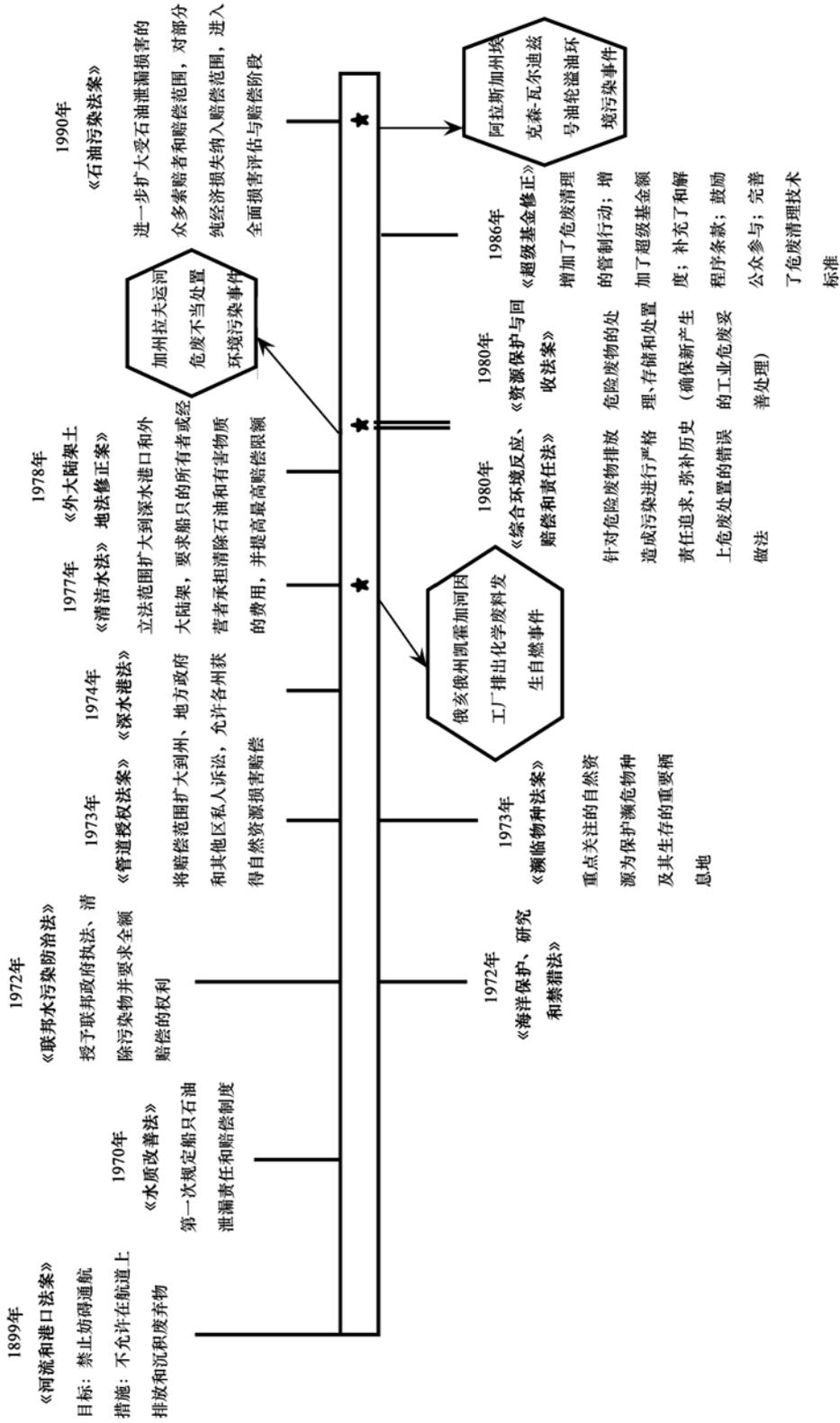


图 3 美国联邦层面的自然资源损害评估相关立法进程  
 Fig. 3 Progress of national level nature resource damage assessment legislation in US

NRDA(图4). 在美国州层面也有相关立法规定,如加利福尼亚州指定亚渔猎部(DFG)负责开展NRDA,佛罗里达州和新泽西州指定州环保局(EDP)负责开展NRDA,华盛顿州指定州生态部

(DOE)负责开展NRDA,明尼苏达州成立了指定州污染控制署(MPCA)负责开展NRDA. 美国EPA在NRDA过程中主要负责提供环境监测数据、前期污染清理及环境修复信息等.

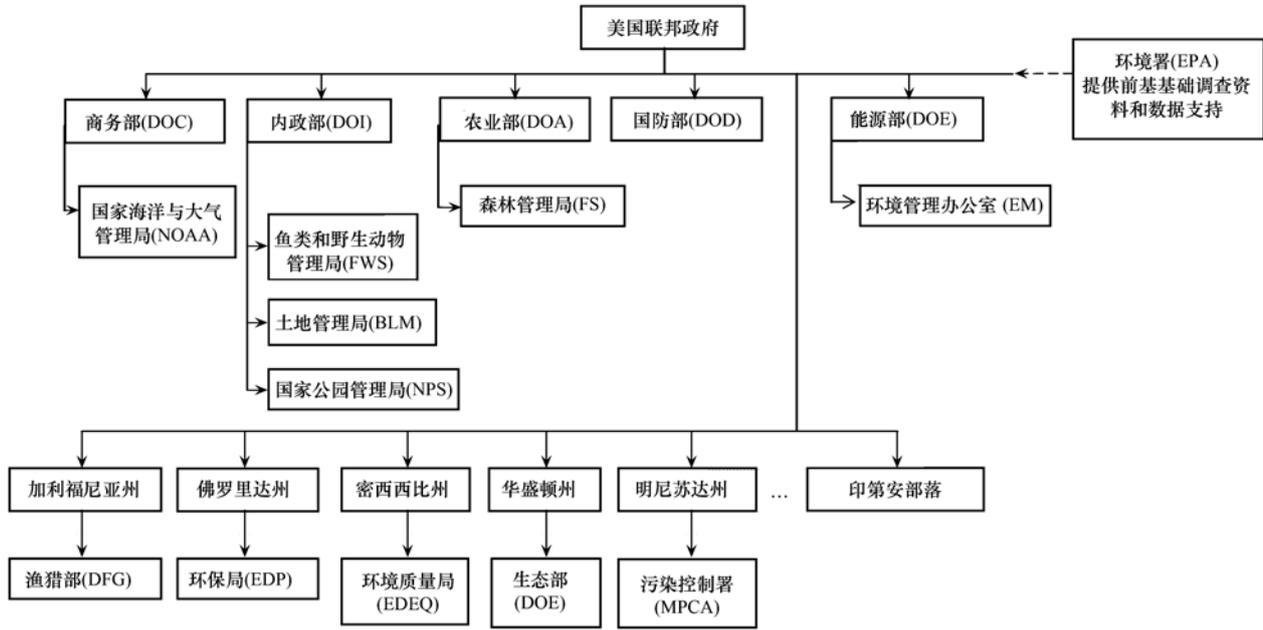


图4 美国联邦和州层面开展NRDA的自然资源受托机构

Fig. 4 National and state-level NRDA trustees in US

在美国早期的NRDA中,无论从基本理念还是实际工作上都存在认识不足和缺陷,但随着对问题认识的不断深入,经过几千个NRDA评估实际案例,美国从立法修订、技术方法和组织实施方面都在实践中不断改进和完善,现行的美国NRDA经验已经相当成熟并广泛为世界其他地区所借鉴. 美国

NRDA主要包括4个阶段:预评估期、评估计划期、评估期、后评估期. 预评估的工作是确定自然资源或者服务是否受到了损害,这一阶段的工作还包括响应机构或其他人将事件通知受托人、启动必要的应急行动、进行必要的取样试验、对处于危险的自然资源或服务进行初步确认和评估. 如果预

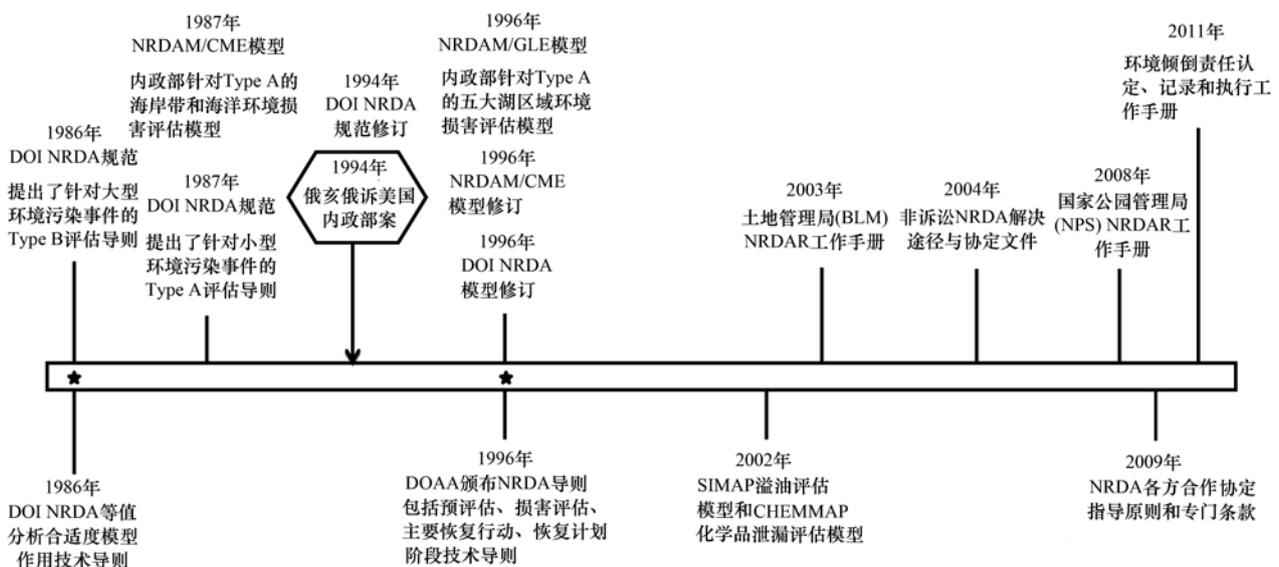


图5 美国NRDA相关技术导则、模型与手册颁布进展

Fig. 5 Issue progresses of technical guidelines, models and handbooks in US

评估阶段的结论显示应进行损害评估,则评估者应制定评估计划,受托人在制定评估计划时,应选择采用的评估类型. 评估计划制定后,受托人应针对计划中所选择的不同的评估类型采取不同的执行方式,由此进入评估期. 在此阶段要进行损害因果关系判定、自然资源损害的判定与量化,在损害确定后,通过确定“基线”服务,量化受损害资源提供的服务数量和质量相对于基线状态的减少程度. 评估结束后,受托人应编写由预评估筛选确定、评估计划和有关信息组成的评估报告,且应向潜在责任方提交交纳损害赔偿金和评估费用的书面要求,将评估报告作为其附件. 资源对等法、服务对等法、等值分析法等替代等值分析法,是 NRDA 常用方法,已经在美国的具体环境损害案例中得到成功应用,目前欧盟也在其成员国国家中推广使用.

## 2.2 欧盟

欧盟的环境损害评估进程明显滞后于美国的实践并在后期完善的过程中充分借鉴了美国经验. 在早期(20世纪90年代以前)的环境损害评估中,主要侧重于人身健康和财产的损害评估. 从20世纪90年代开始,欧盟成员国开始关注污染造成的生态环境损害,与美国不同,欧盟针对资源环境损害评估

的立法仅涉及生态环境损害方面,而并不涉及传统损害的评估与赔偿,仍放在各国传统法中进行解决. 2004年,欧盟颁布了第一部具有严格环境责任和强制执行并基于环境污染损害预防和受损生态环境恢复为理念的环境责任指令(ELD, 2004/35/CE),要求其成员国在3 a内完成本国相关法律的转变<sup>[6,14]</sup>. 环境责任指令(ELD, 2004/35/CE)同时将资源环境损害的范围严格限定在野生鸟类保护指令(79/409/EEC)和自然生境和野生动植物保护指令(92/43/EEC)涉及的受保护物种及其栖息地、欧盟水框架指令(2000/60/EC)中涉及的水生态环境和对人体健康存在潜在风险的污染土地三大类并做了不同的责任层级规定<sup>[15]</sup>. 欧盟分别于2006年和2009年对环境责任指令(ELD, 2004/35/CE)进行修订,2006年修订的环境责任指令(2006/21/EC)针对矿物采选工业固体废物处置环境责任进行了补充规定,2009年修订的环境责任指令(2009/31/EC)增加了对存储场地运营工业活动的严格环境责任补充规定(图6). 2011年欧盟针对近海岸石油和天然气开采、开发和冶炼活动安全规定提出了调整建议,也涉及对环境责任指令(ELD, 2004/35/CE)部分章节的修订.

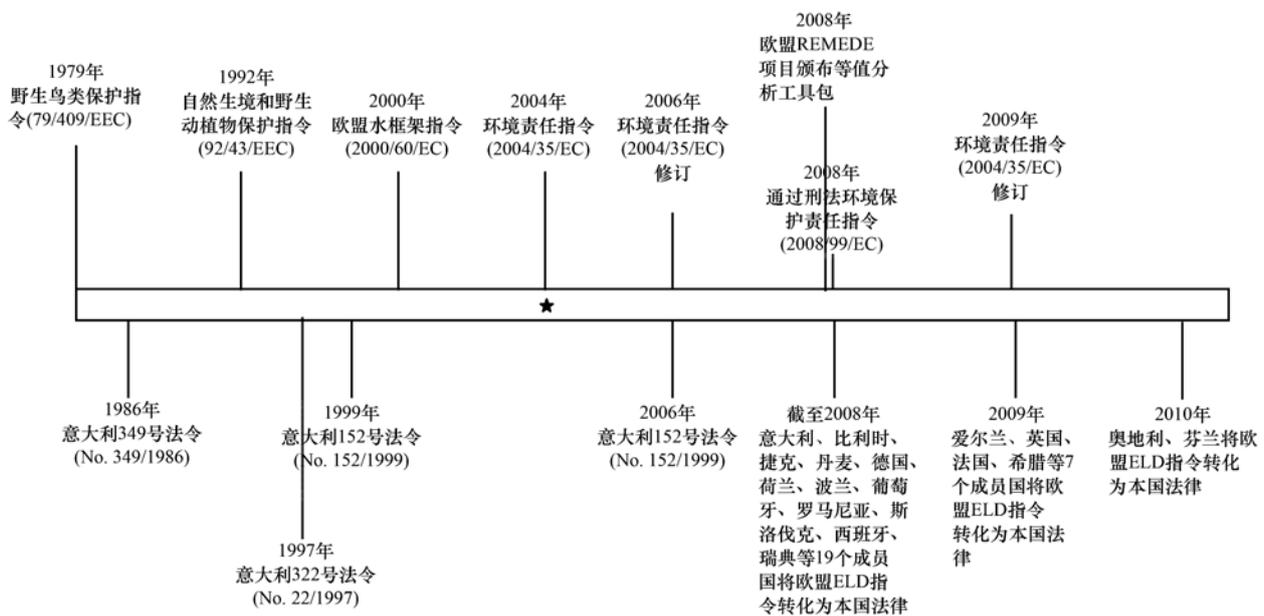


图6 欧盟和意大利环境责任指令及相关法规、文件颁布历程

Fig. 6 Development progresses of environmental liability instructions and relative regulations, and files in EU and Italy

在2008~2010年,欧盟持续3 a开展了ELD执行效果分析和资金安全问题研究,向企业界以及其他ELD参与方广泛征求意见,并于2010年就ELD进展情况和面临的问题向欧洲议会提交了咨询报告. 截至2010年,欧盟各成员国才全部基于环境责

任指令(ELD, 2004/35/CE)制订了本国环境责任法律,其中执行较快的成员国有意大利、波兰等国家. 这里以意大利为例进行简要介绍欧盟成员国进展情况,意大利在欧洲相对较早的提出环境损害评估,在1986年意大利环境部成立当年即发布349号法令



止侵害行为、赔偿预期可能的损失。经过几十年的发展,日本建立了健全成熟快捷的环境权益维护制度,同时,形成了生态环境保育理念、先进的环境管理制度和全民环境维权意识,除强大的司法救济途径(包括民事诉讼、刑事诉讼、行政诉讼)外,还形成了独具特色的公害行政救济途径。

日本的环境健康赔偿体系分为特异性疾病患者健康赔偿救济体系、非特异性疾病患者健康赔偿救济体系以及石棉致疾病患者赔偿救济体系。特异性和非特异性疾病的判定过程为:首先由受害人提出申请,通过医学检查、医学专家复审、政府作出最终裁决等方式进行鉴定,通过鉴定后根据“与污染相关的健康损害的赔偿和防治法”进行损害赔偿。对于非特异性疾病而言,赔偿费用包括实际发生的医疗救治费用和生活补偿费、公害保健福利费以及事务费,对于特异性疾病而言,《公健法》只负责认定,具体补偿办法由责任企业与受害团体协商或签订协议。

#### 2.4 中国

中国当前的环境损害相关立法和实践还主要关注环境私益损害的评估与赔偿,正处于逐渐往环境公益损害的主张和求偿过渡的初期阶段。在中国近20 a颁布的各项法规中,如《民法通则》(1987年)、《环境保护法》(1989年)、1997年《刑法》修订、

2008年《水污染防治法》以及2010年颁布的《侵权责任法》,都仅对环境污染损害的责任进行了较为原则性的规定,主要关注环境污染造成的私益损害,只有2004年《海洋环境保护法》对排污造成的海洋生态环境损害进行了明确规定(图8)。从2000年起,中国的农业、渔业、海洋等管理部门开始针对环境污染造成损害的评估发布相关技术文件,如针对渔业污染事故分别于2000年和2008年颁布了《渔业污染事故调查鉴定资格管理办法》(农渔发[2000]7号)和《渔业污染事故经济损失计算方法》(GB/T 21678-2008),对水域污染渔业养殖和天然鱼类损害的评估技术做了明确规定。农业部针对农业环境污染事故于2007年颁布了《农业环境污染事故损失评价技术准则》(NY/T 1263-2007),对农业环境污染事故损害评估做出了原则性的规定,评估范围、评估主体和工作程序还缺乏配套规定。国家海洋局和山东省分别于2007年和2009年颁布了《海洋溢油生态损害评估技术导则》(HY/T 095-2007)和《山东省海洋生态损害赔偿和损失补偿评估方法》(DB37/T 1448-2009),对海洋环境污染造成的生态环境损害量化评估方法进行了规定。环境保护部2011年发布了《关于开展环境污染损害鉴定评估工作的若干意见》(环发[2011]60号)和《环境污染损害数额计算推荐方法》(第I版),尝试启动环境损害评估工作。

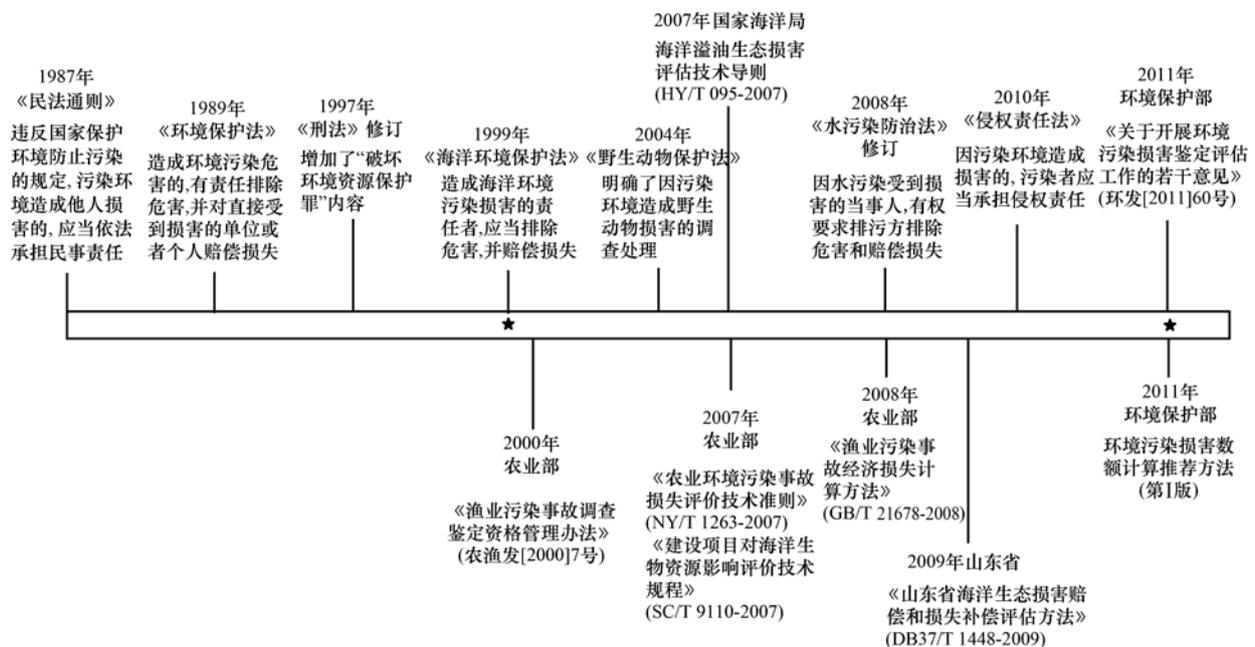


图8 中国环境损害评估实践进展

Fig. 8 Environmental damage assessment practice progress in China

总体上来看,中国构建环境损害评估制度体系在法律法规、技术导则和工作机制方面都面临不

足。中国还没有针对生态环境污染责任的系统立法,虽然对环境损害具有比较明确的上位法规定,但

缺乏具体可操作的实体法和程序法规定。相关法律条文还主要关注环境污染造成的显性的人身财产损失,并且环境污染私益损害的相关机制还不健全,大多数立法仅做了原则性规定,对人身财产损失评估与赔偿的工作机制、资金来源和环境污染的救济途径没有具体要求。环境公益损害的权责散落在环保、农业、海洋等不同部门,目前仅有海洋环境污染对生态环境损害在法律基础和技术导则方面有所涉及,但仍然存在缺少明确的工作机制,技术方法可操作性不强,损害赔偿资金来源不足等问题<sup>[17]</sup>。

### 3 环境损害评估制度演进趋势

#### 3.1 法律法规

从发达国家的环境损害评估立法进程看,经历了从依靠传统法律往环境损害立法转变,立法理念从最初的被动的环境污染损失赔偿向环境污染预防和受损生态环境恢复转变,并且在发展的过程中环境责任逐渐严格、评估范围逐渐扩大、评估技术逐渐合理、制度体系逐渐健全。在环境损害评估立法的早期阶段,主要以传统民法(侵权法)为基础,尝试在环境法中以市场价值的减少为基础原则来评估和赔偿自然资源(生态环境)财产属性部分,随后发展为采用基于替代或修复自然资源的费用来评估和赔偿自然资源,并认可在生态环境资源恢复期间不能提供生态服务的期间损失的求偿。如美国 20 世纪 70 年代早期的环境损害评估相关法律仅对具有使用功能的自然资源损害的市场价值实行严格责任制度,但仍缺乏对损害具体范围的界定和明确的评估技术方法。随后在 1977 年的 CWA 和 1980 年的 CERCLA 中,美国构建了较为完整的环境损害评估制度,将生态环境恢复费用、期间损失以及损害评估费用都纳入评估范围。在 1990 年 OPA 中,对油类污染物泄露造成环境损害规定了更加宽泛的赔偿主体,并对环境污染造成影响损失规定了更加宽广的评估范围。至此,美国针对环境污染造成损害的立法实现了在私益方面评估和赔偿范围全面完整,在生态环境损害等公益损害方面也形成了健全的制度体系<sup>[18]</sup>。欧盟在 2004 年通过的环境责任指令(ELD2004/35/CE)基本上吸收了美国的生态环境损害相关立法经验,但将生态环境损害的范围作了进一步明确规定,仅关注濒危物种及其栖息地、水体污染和土壤污染这 3 个方面的自然资源对象,规定污染水体、受保护的珍稀物种及其生境的损害要恢复至基线水平,而确保修复受污染土地健康风险

降低至可接受的水平即可。

同样,日本的公害应对相关法规体系也经历了从传统法向专项法、从有限健康损害赔偿向严格环境健康责任、从被动健康损害救济向污染预防转变的历程。在 20 世纪 60 年代,日本的公害健康损害救济范围仅包括受害人医疗费用等损失的赔偿。在随后的 70~80 年代,日本逐渐构建并健全了公害司法诉讼、行政调解等多种健康损害救济途径,救济范围也从显性损害往隐性损害、新型公害以及未来预期健康损害等更广的范围拓展。

无论是美国的 CWA、CERCLA 和 OPA,还是欧盟的 ELD 指令,在立法中对各方权责关系、评估模式、资金来源等做了详细明确的规定,并充分体现了全过程环境风险与损害防控管理的理念。从环境污染物质泄露发生前环境风险/损害隐患的预警和预防、及时上报信息和妥善应急处置、环境污染损害赔偿与恢复方面对潜在污染责任方的权责进行界定。责任方有无过失或主观故意性、是否及时报告事件并采取恰当应对措施是环境污染事件责任追究和是否进行处罚的重要依据。经过几十年的发展,发达国家的相关立法已经完成了从 20 世纪 70 年代的环境损害立法薄弱阶段转变为 90 年代的环境损害足额赔偿阶段,至 20 世纪末已经构建起基于污染预防和资源环境恢复为立法原则的现代环境立法阶段转变。

#### 3.2 工作机制

从当前欧美日等国的环境损害评估实践经验来看,美国从 20 世纪 70 年代起启动环境损害评估工作,在 20 世纪 90 年代通过实体性、程序性和可操作性很强的立法率先形成了健全的环境损害评估工作机制;欧盟则通过 2004 年的 ELD 指令开始强化环境污染损害责任后,于 2010 年刚刚完成了立法体系建设,实际工作机制,包括评估主体、评估机构、技术导则和资金来源等还处于探索阶段;而日本则从 20 世纪 60 年代末至 80 年代初,通过近 20 a 的经验积累,形成了健全的公害应对与预防机制。当前中国的环境损害评估还处于法规体系还不健全,针对环境私益损害的评估工作机制尚未理顺,针对生态环境损害的评估工作机制尚未形成的初期阶段。各国环境损害评估的实施与诉求主体在前文已经介绍,本节主要介绍环境损害评估的专业机构、评估程序和资金来源这 3 个方面的内容。

美国 NRDA 采取自律管理为主,政府管理为辅的方式,具有一定技术力量和资质的环境咨询公司

或科研机构都可以接受自然资源托管方或潜在责任人的委托开展自然资源损害评估。当前,美国开展 NRDA 的机构处于商业化运营中,一些熟悉 NRDA 相关法规、程序、技术和实际案例经验的公司已经充分介入到美国的 NRDA 实践中,包括探索和改进 NRDA 过程中的合作机制、修改和改进 NRDA 评估模型,甚至参与到欧盟和其他发展中国家的环境损害评估制度体系构建,开展实际案例评估技术援助。另外,虽然美国相关法律没有规定 EPA 是开展 NRDA 的主体机构,但在 NRDA 的实践中,EPA 充分发挥自身在环境污染事件处置前期应急响应、污染修复过程中的工作基础,与作为自然资源受托人的内阁级别的联邦政府部门和州政府进行协调配合,在 NRDA 过程中发挥着重要作用。可以说美国 EPA 在 NRDA 中的定位充分体现了其环境保护综合协调与监督管理的职能。欧盟 ELD 指令将开展环境损害评估的实施主体、评估机构设置以及运行机制交给各成员国自行设定。意大利根据第 152/2006 号法令,意大利环境、领土与海洋部为环境损害评估的主管部门,意大利环境保护与研究院(ISPRA)是意大利唯一的环境损害评估专业机构;波兰根据 2007 年第 75 号环境损害预防和修复法令,指定波兰环境部为该国环境损害评估的主管部门;英国指定环境、食品和农村事务部为该国环境损害评估的主管部门。

目前美国已经建立了完备且严谨的 NRDA 的评估程序,在 CERCLA 法案下,针对有害物质泄露开展场地风险管理与受损自然资源评估及恢复的过程相互交叉又有各自独立的执行程序(图 9)<sup>[19]</sup>。虽然 CERCLA 法案在污染场地清理和修复方面给予美国 EPA 强大的执行权,比如严格的追溯责任制度和先执行修复措施后向潜在责任方索赔的权力;但在 NRDA 过程中对自然资源受托人向责任方问责在程序上与污染场地修复有明显区别,比如要受托机构证实污染与自然资源损害之间有直接联系,要求先进行评估量化自然资源损害,向责任方提起诉讼后才可以进行自然资源恢复行动。在 OPA 法案下,也规定了 NRDA 严格的司法程序以确保受损自然资源得以精确量化和完全恢复(图 10)。与美国不同的是,日本的“公害”健康损害评估构建了完整和快捷的行政救济程序。针对特异性疾病(水俣病等)、非特异性疾病(SO<sub>2</sub> 污染区)以及石棉致疾病健康损害的鉴定评估和赔偿,经过多年的实践后日本逐渐建立了一套行之有效的行政救济机制。

环境损害评估和恢复的资金来源保障是确保相

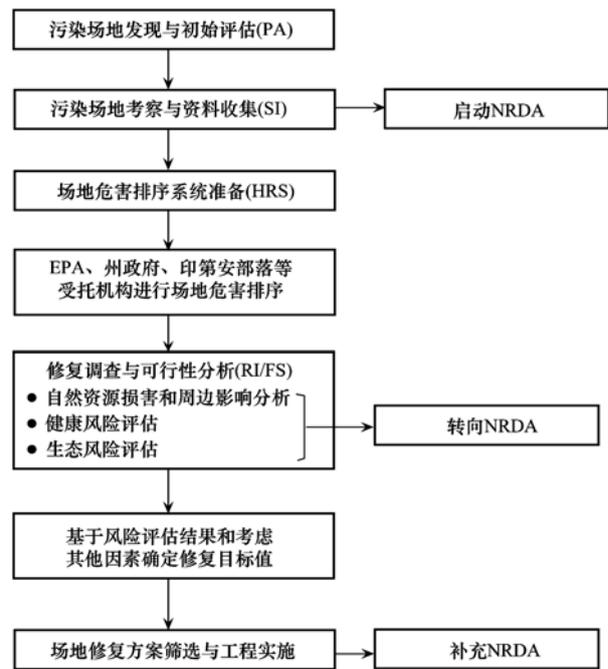


图 9 CERCLA 法案下启动 NRDA 的工作程序

Fig. 9 NRDA working procedure under CERCLA

关法规能够切实得到实施的重要保障。美国在环境责任险、基金等其他环境风险社会化分担方面的实践经验是环境污染损害得到切实赔偿和自然资源损害得到完全恢复的重要基础。同时也是当前欧盟推动 ELD2004 责任指令的重点关注内容。一般可以将自然资源损害应对资金保障分为两个部分,一是开展环境损害评估工作的资金;二是进行环境损害赔偿或自然资源环境恢复的资金。虽然两部分资金在理想状态下都可以向潜在责任方追偿,但在实际操作中仍需要有充足的运作资金来源。在美国 CERCLA 法案下,一旦污染场地列入国家优先修复名录(NPL),则 EPA 开展污染调查、风险评估和修复方案设计等费用来自于超级基金或者直接向责任方追偿,但在 NRDA 的案例中,有些场地虽然由于健康或生态风险不高没有列入 NPL,但有可能存在可量化的自然资源损害,需要开展 NRDA,有些情况下是将场地修复与自然资源恢复合为一体开展,或者在 EPA 开展一些降低风险及修复行动后其他受托机构在此基础上进行 NRDA,因此,并不是所有的 NRDA 过程的损害评估资金来源于超级基金,如美国内政部每年有专门的基金(DOI 恢复基金)开展 NRDA 工作。同样,在 OPA 法案下,联邦层面 NOAA 等受托机构在开展 NRDA 时进行损害评估的资金来源一部分来自溢油责任信托基金(OSLTF)。在 CERCLA 和 OPA 法案下,自然资源环境恢复的资金

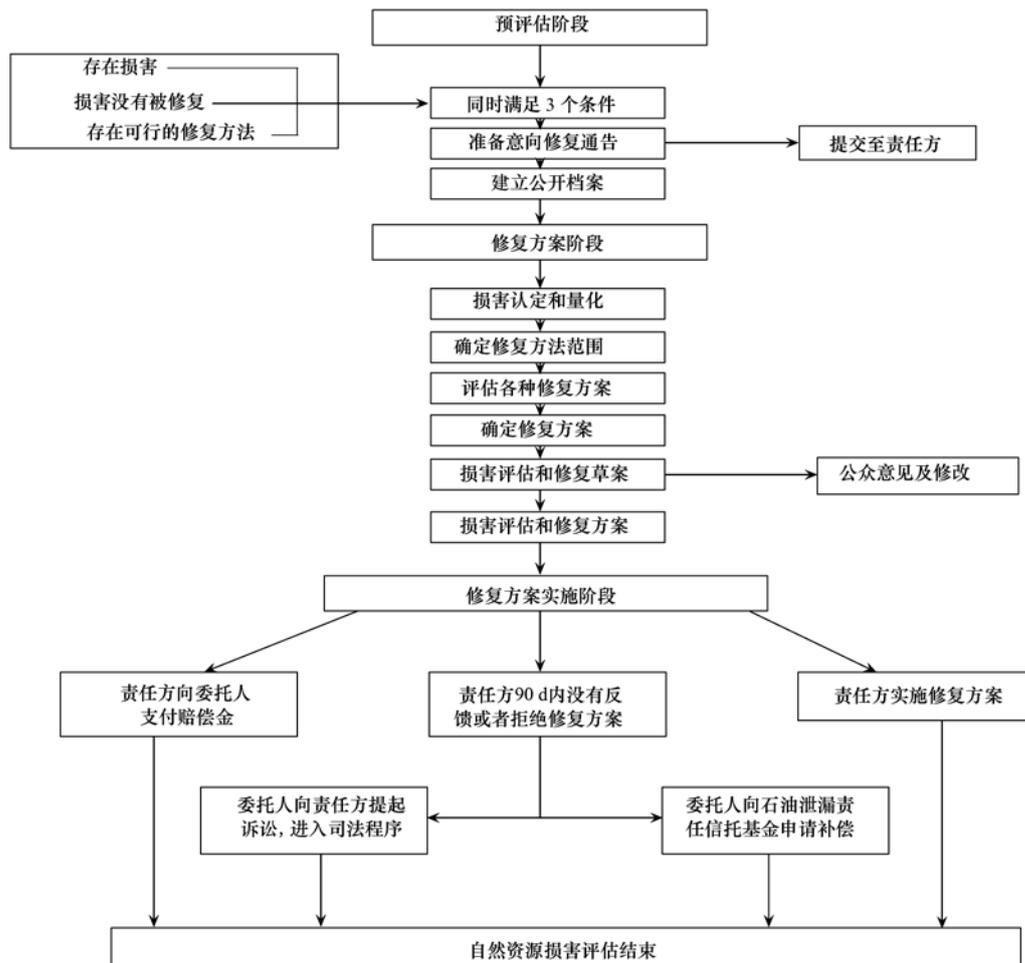


图 10 OPA 法案下开展 NRDA 的工作程序

Fig. 10 NRDA working procedure under OPA

主要来自于向责任方的追偿,部分来自相关的基金。截止 2012 年,NOAA 共计针对 500 多个污染场地和 50 多次溢油事件开展了 NRDA 工作,恢复了 47 英里的河流和 15 000  $\text{hm}^2$  的野生动植物栖息地生态环境,共花费资金 6.1 亿美元; DOI 仅 2010 年就通过 NRDA 恢复自然资源 68 834 英亩,恢复河流生境 377 英里, NRDA 的实际费用为 0.63 亿美元。相对美国严格的环境责任制度,日本的“公害”赔偿资金来源更加灵活的运用了“责任者负担”原则,在特异性疾病和非特异性疾病的不同地区的综合采用税收、补偿金、公积金等方式,由中央政府、地方政府、肇事企业、高污染行业以及公众募捐等确保受害民众的足额赔偿。

### 3.3 技术导则

美国内政部依据 CERCLA 和 CWA 制订了 NRDA 相关的技术导则和评估工作手册,并开发了相关评估模型;美国 NOAA 依据 OPA 也制定了 NRDA 相关的技术导则和评估软件。1986~1987 年

美国内政部根据 CWA 和 CERCLA 最先颁布了分别针对大型和小型环境污染事件的 Type B 和 Type A NRDA 技术规范,提出了“较少原则”和以市场价值评估为主的评估技术方法,并同时提出了针对海岸带和海洋环境损害评估的模型(NRDAM/CME)和软件。1996 年美国内政部结合司法实践,尤其是 1994 年的俄亥俄州以评估技术方法不够科学全面为由诉美国内政部案,对 NRDA 规范非使用价值评估技术方法部分进行了修订,并提出了针对美国五大湖区域的环境损害评估模型(NRDAM/GLE),同时根据新的技术规范对 NRDAM/CME 模型进行了修订。随后,美国内政部土地管理局和国家公园管理局于 2003 年和 2008 年分别提出了指导开展 NRDA 的工作手册<sup>[20,21]</sup>。从 1990 年开始,美国商务部下属海洋与大气管理局(NOAA)在 OPA 框架下分别针对 NRDA 预评估、损害评估、主要恢复行动、恢复计划各个阶段开展了技术规范编制工作,并于 1996 年颁布实施。另外,加利福尼亚州、佛罗

里达州、华盛顿州和新泽西州还分别根据各自实际经验提出了简明的 NRDA 程序和技术导则。

由于欧盟各成员国缺少环境损害评估的实践基础,比如政府部门没有制定相关技术导则和规章,相关企业环境责任意识不够以及保险等相关行业缺乏经验,导致欧盟的环境责任指令执行不够。为弥补欧盟国家在环境损害技术和资金来源机制上的不足,欧盟于 2006~2008 年开展了在欧盟 ELD 指令框架下资源等值分析技术在环境损害评估中的应用 (REMEDE) 研究计划,并于 2008 年推出了等值分析工具包 (Toolkit)。

### 3.4 评估方法

环境经济学中的资源环境价值评估方法仍然是环境损害评估的核心,但由于资源环境的服务价值一直不能市场中完全体现,欧美的自然资源损害评估方法演进也在从基于货币化表征向基于恢复成本的等值分析方法转变<sup>[22]</sup>,成为无论在美国成熟的 NRDA 实践中还是欧盟“REMEDE”计划都力推的环境损害评估方法,基于服务对等的等值分析方法得

到广泛认可(表 1)。在美国 DOI 和 NOAA 颁布的 NRDA 技术导则中,环境损害评估的全过程涉及到污染物运移扩散模拟、敏感受体暴露途径和毒性分析、污染修复与生态恢复方案效果评价、资源环境损害经济分析等各个方面,涉及现场勘察、数据整理、计算机模拟和损害量化等具体环节,但都是将自然资源提供的服务损失作为评估结果,并将资源环境恢复至基线状态作为首选方案和最终目标<sup>[23,24]</sup>。美国 NRDA 相关法律在因果关系认定和损害量化方面提出明确要求,托管机构在提起诉讼时必须证明污染物质的泄露与自然资源损害之间存在必然的联系,并且必须量化由于污染导致的自然资源损害,后继资源环境恢复过程分为“主要恢复”、“补充性恢复”和“补偿性恢复”三部分<sup>[25,26]</sup>。相比较而言,日本的“公害”健康损害评估方法在因果关系确认和损害定量化方面的要求比美国 NRDA 要薄弱一些,通过设定指定地区、主要症状、暴露期限等指标和条件,转而追求相对快捷的半定量处理模式。

表 1 资源环境损害评估常用方法概述

Table 1 Summary of resource and environmental damage assessment methods

类型	方法	适用条件	评估内容
等值分析	服务-服务	资源对等法	评估受损自然资源的所有服务价值,包括期间损失
		生境对等法	
		价值-价值法	“服务-服务”法条件不满足;恢复方案的费用、时间跨度和评价标准可量化
		价值-成本法	“服务-服务”法条件不满足;污染造成的“损害”可以量化,但恢复方案获得的“收益”难以量化
货币度量	揭示偏好	市场价值法	主要用于私益损害评估或第三方损失求偿
		旅行费用法	娱乐服务价值,如钓鱼、野生动物观赏等
		享乐定价法	环境舒适性服务价值,钓鱼、游泳、划船等
	陈述偏好	条件价值评估法	评估非市场服务价值
		选择模型法	一定数量经济学文献数据

### 3.5 沟通协作

从 OPA 和 CERCLA 法案下的工作机制来看,规定受托机构在向潜在责任方提出 NRDA 要求 60 d 后才能提起诉讼,也是希望各方能够在谅解的前提下达成共识。美国已经开展了数千例 NRDA,仅有极少数是最终通过法院判罚执行,其中大多数都是通过协商途径解决。在充分协商的基础上,开展合作性 NRDA 已经成为主要趋势,美国 DOI 及一些开展 NRDA 工作的大型评估机构都提出了受托机构和潜在责任方之间开展非诉讼型 NRDA 的相关协

议规定和工作程序指南。另外,美国开展 NRDA 的过程中还非常重视受托机构之间的协调与配合,如 EPA 与 DOI、NOAA 之间配合基础监测资料共享,野生渔业、林业以及其他野生动物等资源受损联邦层面、州政府以及其他托管机构和利益关系方的协调也非常重要,比如在墨西哥湾漏油事件的 NRDA 过程中,就提出了有计划的环境影响表述 (PEIS)。从 NRDA 的程序上看,受托机构在重视自然资源损害精确量化的同时,越来越重视把自然资源恢复纳入到评估过程中来,把 NRDA 延伸至 NRDA,如美

国 DOI 的自然资源损害评估与恢复计划 (NRDARP) 和 NOAA 的损害评估、修复与恢复计划 (DARRP)。

#### 4 对中国环境损害评估的启示

开展环境损害评估是欧美发达国家认识到仅仅依靠罚款或者其他惩罚性措施无法确保环境污染事件发生后受损资源环境的足额赔偿和完全恢复后提出的创新性环境管理强化手段,虽然在实践的过程中依然面临一些问题,但无疑对于受损人身健康和财产损害的赔偿以及资源环境恢复起到了至关重要的作用<sup>[27,28]</sup>。应对环境污染事件造成的损害是一项包括“事前预防、事中应对、事后处置”的系统工程,我国目前还缺乏健全的应对机制,往往事发后应对不够科学合理,事后恢复不到位,主要依靠开展环境突击检查、风险隐患排查等行政手段,缺少科学应对的长效机制<sup>[29,30]</sup>。我国当前的环境管理面临“守法成本高、违法成本低”的顽疾,还处于环境污染造成的私益损害赔偿极不到位,环境公益损害基本没有得到关注的阶段。经过几十年的经济高速增长,我国的环境管理在环境损害评估与赔偿方面已经远远滞后于社会经济发展。在相关立法方面,我国还处于私益损害评估与赔偿主张尚不到位的早期阶段;在制度构建方面,我国还处于评估机构和专业人员匮乏的机制尚不健全的阶段;在评估技术方面,我国尚未建立统一的环境污染导致健康和财产损害评估技术体系和鉴定流程;在资金保障方面,我国无论是鉴定评估费用还是损害赔偿和资源环境恢复资金来源都尚未形成通畅的资金保障渠道和社会化分担机制。在我国开展环境损害鉴定评估时,评估过程应具有坚实的科学技术基础支撑,保证评估结果不能轻易被否定或被提出异议;与当前我国面临的主要环境损害问题紧密联系,切实服务于我国环境保护管理实际需求;围绕环境风险与损害评估开展工作,致力于推动该项工作在我国起步并逐渐完善。避免欧美日等国家和地区环境损害评估的缺点和不足,探索适合我国环境保护道路的环境损害评估实践与学科发展途径。具体建议如下。

(1)健全环境损害预防(环境风险防控)、环境损害鉴定评估、恢复与赔偿相关法律法规,清晰界定政府、企业和公众各方权责范围。逐步过渡到环境保护优先,环境权益不容侵犯的立法理念,推动环境侵权责任、环境损害赔偿的可操作性强的专门实体性立法。进一步理清环保、农业、国土、水利等

相关部门在资源环境损害评估中的责任和协作机制,形成完备的环境损害评估机构、人员和监管体系;推动环境污染事件处置的信息公开、公众参与,确保环境损害发生及时披露,建立金融担保、环境责任险等环境损害赔偿社会保障体系。

(2)构建环境损害界定与量化的技术标准体系。提出兼具科学性同时切实可操作的环境损害评估方法体系。结合环境污染事件发生后事件应急阶段、污染修复阶段和生态恢复阶段发生损害的不同特征,建立适宜于实际评估工作开展的损害分类和量化方法体系。建议以爆发频次高,危害大,涉及环境健康和社会稳定的环境问题为突破口,围绕矿区典型陆地生态系统损害、突发性水污染事件、污染场地环境损害和铅污染事件环境损害等我国当前面临的主要环境损害类型,分类建立相关技术标准与规范。根据我国环境管理的阶段性特征,建立分批次的环境损害评估范围,构建当前阶段和未来全面完整的环境损害评估范围,积极探索适合中国社会经济发展阶段的环境损害问题解决途径,构建并逐渐完善我国环境损害评估制度。

(3)逐步完善环境损害评估资金保障机制。在环境损害评估费用保障方面,建立各级政府财政资金和专项资金为主要来源的评估经费资金保障途径,逐步过渡到独立基金保障评估工作顺利开展上来。在私益损害赔偿资金保障方面,针对典型的具有重大健康危害或造成财产损失的环境污染事件,构建政府主导的环境损害赔偿机制,逐步形成以标准化的行政救济为主,司法救济和纠纷调解为辅的损失赔偿制度。在环境公益损害赔偿资金保障方面,结合自然保护区、主体功能区划、环境功能分区等环境管理机制,构建不同类型的受损生态环境恢复专项资金保障机制,逐步形成生态环境恢复独立基金保障。最终形成包括专项独立运作基金、高环境风险企业互助金、环境责任保险等途径的综合资金保障体系。

#### 参考文献:

- [1] 侯瑜, 郑鹏凯, 张天柱. 突发性水污染事件损失的系统分析[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 12-15.
- [2] 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.
- [3] Turner R K, Morse-Jones S, Fisher B. Ecosystem valuation: a sequential decision support system and quality assessment issues[J]. Ecological Economics Reviews, 2010, 1185: 79-101.
- [4] Burger J. Environmental management: integrating ecological evaluation, remediation, restoration, natural resource damage

- assessment and long-term stewardship on contaminated lands[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **400**(1-3): 6-19.
- [ 5 ] Barbier E B. Progress and challenges in valuing coastal and marine ecosystem services [ J ]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2012, **6**(1): 1-19.
- [ 6 ] Oikonomou V, Dimitrakopoulos P G, Troumbis A Y. Incorporating ecosystem function concept in environmental planning and decision making by means of multi-Criteria evaluation: the case-study of Kalloni, Lesbos, Greece [ J ]. *Environmental Management*, 2011, **47**(1): 77-92.
- [ 7 ] 杨朝飞. 环境污染损害鉴定与评估是根治“违法成本低和守法成本高”顽疾的重要举措[J]. *环境保护*, 2012, (5): 18-24.
- [ 8 ] Ando A W, Khanna M, Wildermuth A, *et al.* Natural resource damage assessment: methods and cases [ R ]. WMRC Reports, 2004. 2-5.
- [ 9 ] 宫本宪一(朴玉译). *环境经济学*[M]. 北京:生活·读书·新知三联书店, 2004. 20-25.
- [ 10 ] Lee V A, Bridgen P J. The natural resource damage assessment deskbook: a legal and technical analysis [ M ]. Washington DC: Environmental Law Institute, 2002. 22-27.
- [ 11 ] Steinway D M, Seitz J B. Natural resource damages in the European Union [ J ]. *Environmental Claims Journal*, 2008, **20**(4): 317-321.
- [ 12 ] USEPA. Natural resource damage assessment [ EB/OL ]. <http://www.darrp.noaa.gov/about/nrda.html>. 2010-07-19.
- [ 13 ] General Counsel for Natural Resources. Damage assessment remediation & restoration program [ EB/OL ]. <http://www.darrp.noaa.gov/index.html>. 2008-08-28.
- [ 14 ] European Commission ( DG ENV ). Study on the implementation effectiveness of the environmental liability directive ( ELD ) and related financial security issues contract reference [ R ]. Brussels: European Commission, 2009. 3-11.
- [ 15 ] Maes F. Marine resource damage assessment-liability and compensation for environmental damage [ M ]. The Netherlands: Springer, 2005.
- [ 16 ] 冷罗生. *日本公害诉讼理论与案例评析* [ M ]. 北京:商务印书馆, 2005.
- [ 17 ] 周生贤. *领导干部环境保护知识读本* [ M ]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.
- [ 18 ] 汪劲. *环境正义: 丧钟为谁而鸣* [ M ]. 北京:北京大学出版社, 2006.
- [ 19 ] Bardos R D, Nathanail C P, Weenk A. Assessing the wider environmental value of remediating land contamination: a review [ R ]. Environment Agency, R&D Technical Report P238, 2000.
- [ 20 ] Barnhouse L W, Stahl R G Jr. Quantifying natural resource injuries and ecological service reductions: Challenges and opportunities [ J ]. *Environmental Management*, 2002, **30**(1): 1-12.
- [ 21 ] Costanza R, Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [ J ]. *Nature*, 1997, **387**(6630): 253-260.
- [ 22 ] Freeman A M III. The measurement of environmental and resource values: theory and methods [ M ]. Washington: Resources for the Future Press, 1993.
- [ 23 ] Gougnet R G, Charters D W, Champagne L F, *et al.* Effective coordination and cooperation between ecological risk assessments and natural resource damage assessments: a new synthesis [ J ]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2009, **5**(4): 523-534.
- [ 24 ] Munns W R, Helm R C, Adams W J, *et al.* Translating ecological risk to ecosystem service loss [ J ]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2009, **5**(4): 500-514.
- [ 25 ] Roach B, Wade W W. Policy evaluation of natural resource injuries using habitat equivalency analysis [ J ]. *Ecological Economics*, 2006, **58**(2): 421-433.
- [ 26 ] 张蓬,冯俊乔,葛林科,等. 基于等价分析法评估溢油事故的自然资源损害 [ J ]. *地球科学进展*, 2012, **27**(6): 633-643.
- [ 27 ] 李文华. *生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用* [ M ]. 北京:中国人民大学出版社, 2008.
- [ 28 ] 骆永明. *中国污染场地修复的研究进展、问题与展望* [ J ]. *环境监测管理与技术*, 2011, **23**(3): 1-6.
- [ 29 ] 徐嵩龄. *中国环境破坏的经济损失计量-实例与理论研究* [ M ]. 北京:中国环境科学出版社, 1998.
- [ 30 ] 徐祥民,高振会,杨建强,等. *海上溢油生态损害赔偿的法律与技术研究* [ M ]. 北京:海洋出版社, 2009.

## CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies .....	XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)
Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China .....	ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)
Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China .....	XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)
Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective .....	ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)
Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China .....	DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)
Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China .....	XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)
Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River .....	YU Jie, LI Huai-en (1700)
Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011 .....	YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)
Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River .....	HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)
Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI .....	CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)
Pollution Load and the First Flush Effect of BOD <sub>5</sub> and COD in Urban Runoff of Wenzhou City .....	WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)
Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters .....	YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)
Relationship Between pCO <sub>2</sub> and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring .....	YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)
Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment .....	LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)
Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate .....	MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)
Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> System .....	HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)
Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products .....	MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)
Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud .....	KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)
Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment .....	LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)
Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring .....	JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)
Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors .....	WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)
Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water .....	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)
Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties .....	MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)
Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A <sup>2</sup> /O-MBR Process .....	ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)
Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors .....	YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)
Nitrogen Removal and N <sub>2</sub> O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process .....	LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)
Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples .....	ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)
Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i> .....	CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)
Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province .....	XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)
Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds .....	ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)
Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province .....	SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)
QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids .....	ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882)
Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China .....	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)
Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia .....	GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)
Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province .....	ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)
Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites .....	WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings .....	GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)
Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China .....	SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)
Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage .....	LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)
Isolation of an Effective Benzo[ <i>a</i> ]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics .....	CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)
Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether .....	ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)
Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics .....	PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)
Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011 .....	CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)
Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang .....	SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)
Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer .....	WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)
Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou .....	TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)
Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM <sub>2.5</sub> During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China .....	CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)
Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China .....	YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)
Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai .....	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)
Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event .....	QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)
Near Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China .....	LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)
<i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method .....	GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)
Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing .....	FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)
Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant .....	GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)
Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port .....	LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)
Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal .....	LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)
Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing .....	XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行