

环境安全与健康

刘征涛 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

环境安全与健康/刘征涛编著. —北京: 化学工业出版社, 2005.1

ISBN 7-5025-6467-5

I. 环… II. 刘… III. 环境影响-健康-研究
IV. X503.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 131482 号

环境安全与健康

刘征涛 编著

责任编辑: 刘兴春 邹宁

责任校对: 顾淑云 周梦华

封面设计: 于剑凝

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 365 千字

2005年3月第1版 2005年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-6467-5/X·569

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

众所周知，随着社会经济的快速发展，在生产和使用中产生的大量有害污染物对人类赖以生存的生态系统与人类身体健康的危害风险性已显著增加，人类生存与发展的重要基础之一——环境安全性问题越来越受到关注。有关研究凸现了由环境污染物产生的一系列问题：人类癌症的高发、生物体畸变或器官退化病变、遗传物质精子或卵子质量与数量下降以及生态物种性别比例失调、物种多样性退化灾难等。而如生存环境的“内分泌干扰”效应，对生物体致突变、致畸、致癌的“三致”效应，污染物长期迁移或蓄积导致的突发性损害土壤、植被、水体、生物圈质量的“环境定时炸弹”效应，大气臭氧层的破坏效应，水体综合富营养化毒害效应等也越来越受到人们的重视。与其相关的有害污染物质安全处置技术、清洁生产技术、环境风险评估与预警方法、环境安全控制基准与检测分析方法等涉及区域、国家或人类可持续健康发展的基本环境安全问题已成为许多国家环境保护领域研究和控制的重要热点和发展方向。

全球范围内发展中国家大多将更多地面临人口继续增加，工业化、城市化加速发展，经济规模继续扩大，空间布局继续拓展，自然资源消耗和环境污染物排放可能继续增加的问题，如果不采取更为有力的环境安全性措施，环境负荷会继续加大。长期的环境欠债使生态系统的环境安全背负沉重的压力，高水平的风险累积时间越长，越易暴发重大的环境危害事故。同时在社会生产发展过程中，一些新的技术方法在给人类生活带来益处时，也可能同时带来了环境中自然生态系统的损害或人体健康的危害问题。经济全球化趋势增加了外来物种入侵、生物安全和跨国污染物转移的风险。此外全面进行经济建设，加快推进全球的现代化发展进程对环境保护提出了更高的要求，人们需要改善生存环境质量的愿望日益迫切。

环境安全性的研究和管理主要涉及环境中化学、物理、生物等污染损害物质对人体正常繁殖、生长与人类可持续生存、发展的影响，主要解决生物种群与群落的结构平衡性与功能有效性失调、物种基因库的安全性危害，物种性别比例失调、生物体内分泌物质变异或传导过程紊乱、污染物致突变与致畸或致癌性生物损害效应等对健康环境体系产生的威胁和危害问题。环境安全与人体健康直接关系到人类的生活和国民经济的健康发展，与国家或地区的军事、政治外交及经济安全相互联系和作用，是国家可持续发展以及民族繁衍生息等代表国家根本利益的国家安全问题的重要组成部分。

本书从生态环境安全与人体健康的角度出发，较全面地介绍环境安全性的基本概念及其应用。全书共3篇20章，主要阐述了环境安全与健康所涉及的环境毒理学、污染物生物化学、环境污染生态学、环境流行病学、污染物风险评估以及资源化生态处置技术、化学品环境毒性筛选、环境安全应急处置与检测方法等环境热点问题。本书还对主要有毒有害环境物

质的迁移、转化、存在形态及其生物活性效应，污染物结构与毒性关系，环境内分泌干扰素效应，环境持久性有机污染物特征，环境绿化化学，环境安全性评估预测及管理控制对策进行了介绍，可为环境保护领域中环境安全性的教学、科学研究、管理决策提供参考。

本书注意反映环境科技研究的新进展和新成果，力求做到科学性、先进性和多学科交叉的实践应用性相结合。环境安全是一门正在形成的新学科，涉及的内容广泛，多学科交叉性强。由于编者水平有限，加之时间仓促，书中可能存在渗漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

本书在完成过程中，承蒙中国环境科学研究院孟伟研究员提供指正意见，倪红、姜福欣、李霁等参与校核，在此一并敬致衷心感谢。

刘征涛

2004年7月

于中国环境科学研究院

第 1 篇 环境安全性概论

1 绪 论

1.1 对象和范围

开展环境生态污染与人体健康相关领域的环境安全性基础研究，建立相应的宏观控制技术体系是环境科学与技术研究范畴的一个重要发展方向，更是环境保护管理体系重点提倡的基本工作之一。环境安全性的研究和管理主要解决环境中化学、物理、生物等污染损害因素对人体正常繁殖、生长与人类可持续生存、发展活动所依赖的自然生态环境的保护问题。其中，涉及生态系统中生物种类多样性、生物种群与群落的结构平衡性与功能有效性、物种基因库安全性、转基因生物利用及危害控制、物种性别比例失调、生物体内分泌物质变异或传导过程紊乱、污染物对人体健康的致突变、致畸或致癌性生物损害效应等对环境体系产生的威胁和危害问题。环境安全与人体健康直接关系到人类的生活和国民经济基本产业、资源的健康发展，并与国家或地区的军事、政治外交及经济安全相互联系和作用，是国家可持续发展以及民族繁衍生息等代表国家根本利益的国家安全性的重要组成部分。

针对人类生态环境的安全性主题，主要发达国家如美国、英国、德国、加拿大等国以及北约、欧洲经济与合作组织、欧盟、联合国等国际组织开展了许多研究讨论。1992 年联合国召开环境与发展高峰会议，研讨危害全球生态系统安全的环境问题，并通过了相关宣言和公约。2002 年联合国环境署在《环境安全、稳定的社会秩序和文化》会议的有关报告中指出：环境保护是国家或国际安全的重要组成部分，环境资源短缺在世界上许多地方可能促成暴力冲突；在未来几十年，日益加剧的环境压力可能改变全球政治体系的基础；生态退化则对当今国际和国家安全构成威胁。大量研究认为，国家或区域范围内环境安全出现的风险可直接危及整个国家、民族的生存或引发大的政治危机。例如，历史上美索不达米亚平原的巴比伦文明、地中海地区的米诺斯文明、巴勒斯坦“希望之星”等人类文明的相继衰落或消亡；20 世纪 40 年代美国政府开始在太平洋比基尼岛进行核弹爆炸试验，污染摧毁的岛屿生态系统基本不适合人类生存；20 世纪 60 年代美军在越南大量使用落叶化学剂，导致局部地区严重生态灾害、人体健康危害及相关的政治外交问题；20 世纪 80 年代印度博帕尔市一家农药厂毒气大泄露，造成 6000 多人死亡及前苏联切尔诺贝利核电站发生严重放射性物质环境泄露事故，直接经济损失达 300 亿美元，受损环境和受伤人群的后遗症至今仍未消失；20 世纪 90 年代比利时发现环境食品的二噁英污染，直接导致该国政府内阁变更的政治事件等说明，在环境安全领域，主要由于自然生态环境遭受污染或破坏可导致人类生存资源贫乏，人体健康受损的严重环境、社会、经济灾害性后果。

近年来，随着全球经济的快速发展，在生产和使用中产生和排放的大量有害污染物使人类赖以生存的生态环境与人类自身接触污染物质的机会以及受其危害的风险性已显著增加，人类生存与发展的重要基础之一——环境安全性问题越来越受到关注。有关研究表明，人类

癌症的高发、生物体畸变或器官退化病变、遗传物质精子或卵子质量与数量下降以及生态物种性别比例失调，物种多样性退化灾难等由环境污染物产生的正在“雌性化”的生存环境——“环境雌激素”效应，或生物体“内分泌干扰”效应，致突变、致畸、致癌的“三致”效应，污染物长期迁移或蓄积导致的突发性地大量损害土壤、植被、水体、大气及生物圈等系统“环境定时炸弹”效应，大气臭氧层的破坏效应，水体综合富营养化毒害效应等及其相关的有害污染物质安全处置技术、清洁生产技术、环境风险评估与预警方法、环境安全控制基准与检测分析方法等涉及区域、国家或人类可持续健康发展的基本环境安全问题，已成为许多国家环境保护领域研究和控制的重要热点和发展方向。

在环境安全观念的实践活动中，一些发达国家已制定或正在考虑国家环境外交政策和环境安全规划。例如，最早美国在 20 世纪 80 年代提出的国家环境安全纲领中指出未来的国家安全，除了国防安全和经济安全之外，环境安全将成为国家安全的一个重要因素；当时由总统签署了国家的《防务环境恢复报告》。在 1991 年美国国防部公布了新的国家安全战略，首次将环境视为其国家安全利益，国家环境保护局参加了国家安全委员会会议；并于 1993 年在国防部、能源部和环保局设立了专门负责环境安全的机构。此后国会通过了《环境安全技术检验规划》报告，正式将环境安全规划纳入国家的防务任务之中。在 1996 年美国国务院发表的《国家安全科学和技术战略》报告中还指出，环境压力加剧所造成的地区性冲突或国家内部冲突，可能使美国卷入代价高昂而且危险的军事干预、维护和平或人道主义活动。美国国家环保局也从 20 世纪 90 年代开始，全面开展环境物质的风险分析与评价工作，以此确定解决环境问题的优先级，直接服务于国家环境安全战略的制定。在国际环境政治外交与绿色贸易壁垒对策方面，主要发达国家已从单纯关注两大不同社会制度国家阵营之间的战略对抗、军事对峙的传统政治外交政策向环境外交与相关贸易政策方面做出重要的战略调整，将环境问题与国家安全利益、国际义务更加紧密地联系在一起；如近 10 年来在一些发达国家倡导下，联合国组织有关成员国签署了“保护臭氧层行动”公约、“限制持久性有机污染物 (POPs)”公约等，将环境安全目标纳入长远的国际战略目标之中。

在新世纪开始的一段时期内，全球范围内发展中国家大多将更多地面临人口继续增加，工业化、城市化加速发展，经济规模继续扩大，空间布局继续拓展，自然资源消耗和环境污染排放可能继续增加的趋势，如果不采取更为有力的环境安全性措施，环境负荷会继续加大；长期的环境欠债使生态系统的环境安全背负沉重压力，高水平的风险累积时间越长，爆发重大环境危害事故，甚至出现环境灾害的概率越大；同时在社会生产发展过程中，一些新的技术方法在给人类生活带来益处时，环境中自然生态系统损害或人体健康危害问题也有可能逐渐显现；经济全球化趋势，增加了外来物种入侵、生物安全和跨国污染物转移的风险，区域或国家环境安全在一定程度上将处于危险期。此外，全面进行经济建设，加快推进全球的现代化发展进程对环境保护提出了更高的要求，人们需要改善生存环境质量的愿望日益迫切。因此，全面评估地区或国家的环境安全状况、深入研究分析发展趋势，合理调整产业结构和开发、利用、保护环境资源，实事求是地制定发展战略和对策，对于保障人类社会建设发展的顺利进行十分重要。

1.2 基本概念

① 环境安全 主要指一定空间尺度范围内的生态系统中，物理、化学、生物诸要素的结构与功能处于良好的平衡调节状态，尤其是满足人类健康生存与发展需要的生态要素处于

人体可接受的安全范围的状况。

② 国家环境安全 主要指国家范围内自然生态和社会系统中与人体健康相关的生态要素及其结构和功能的调节处于人们可承受的安全范围状态。

③ 环境安全性 主要指研究和管理与人体健康和社会可持续发展需要相关的生态系统中化学、物理、生物等要素及环境污染因素对环境体系可能产生的损害和保障安全的方法、对策等问题。它主要包括自然生态平衡与人体环境健康保护两方面的环境安全内容。

保障环境安全，主要是通过保护和改善生态系统要素，避免环境污染物产生，防止环境恶化危及国民经济发展、损害人体健康、威胁社会稳定构成，并应避免国际贸易或经济全球化对区域或国家层面的环境安全产生危害，更要避免全球和区域环境问题引起国家间冲突。显然，环境安全正在成为国际社会的许多国家政府及民众日常关注的一个焦点。

环境污染导致的环境安全性危害，可能成为巨大的社会问题而作为世界各国共同关注的重大环境课题。一些发达国家已开始观测和研究一些环境污染物如多氯联苯（PCBs）、多环芳烃（PAHs）、二噁英、有机氯农药等对人类内分泌系统的扰乱和个体雌性化、致突变、致畸变、致癌变等的机理。欧盟国家、美国、日本等相继制定了化学物质的审查与管理法规，列出了各自的优先控制的化学物质名录。例如，美国在新清洁空气法列出了 189 种优先控制的污染物质，对饮用水中需重点控制的微量有害有机物达近百种；在环境调查、毒性鉴别与分析方法、曝露剂量-效应、生态污染机理、风险特性、污染防治技术以及环境风险评价与预测方法等方面进行了一系列基础研究并实施了一些相关管理。发达国家对有毒化学物质的管理多采用“登记-风险评价-风险管理”的三段式模式，对新化学物质实行严格、科学的申报审查制度，旨在避免环境无法消解或接纳且人类尚无法控制的污染物质进入或长期危害生态系统；对有毒有害的化学品实行从摇篮到坟墓的生命周期严格管理；对现有化学物质，特别是生产量大或环境危害严重的化学物质，进行筛选和风险评估以确定其属性及管理模式。针对有毒有害化学物质对环境生态要素和人体健康的危害，近年来一些国际组织如经济合作与发展组织（OECD）、世界卫生组织（WHO）、国际野生动物基金会（WWF）联合国环境署（UNEP）等机构也给予了大量的研究支持。考虑到现代污染事故可以产生严重的环境后果，有害物质泄露可以导致大气污染、土壤生态污染、地面水和海洋污染等，其中由化学品引起的重大火灾、重大爆炸、重大有毒物泄露或释放等，可以导致如多人死亡、重大财产损失和大范围的生态系统灾害事件；特别是在前苏联切尔诺贝利核电站事故、美国三里岛核电站事故、印度博帕尔事件发生之后，发达国家对防治污染事故进行了较系统的研究，并建立了较完善的政策法律保障体系。相关国际组织对污染事故以及危险化学品可能产生的环境安全危害给予了相当的关注，如 UNEP 启动了《污染事故的应急计划》（APELL），并颁布了《技术事故的环境应急程序》、《地方社区环境危害的识别与评价》等一系列的技术导则，分析和预测有毒、易燃、易爆、高积蓄、难降解、易迁移等物质的环境泄露对生态系统和人体健康可能导致的后果，以及建议应采取的环境安全缓解措施。我国政府有关部门也积极参与和响应相关的国际环境安全行动，作为我国环境保护战略选择目标之一的国家环境安全战略在 21 世纪初已经提出；对于环境污染事故的防治工作，大力推动 APELL 计划在中国的开展，认为环境污染事故的预防和处理应是城市管理的重要方面，并积极建立环境紧急事件的应急体系。由于我国目前在有害化学品方面尚缺乏广泛、深入和系统的研究，需要逐步建立和完善适合国情的环境安全理论和管理体系，如国家环境安全的基准、评价、预测和预警体系和相关的国家环境安全政策，其中主要涉及生态安全、生物安

全、食品安全、污染事故应急分析与处理、环境污染风险评估与预测等内容，以保障人们能喝干净水、呼吸清洁空气、吃到安全食物，健康生存在良好的生态系统内等相关的生态安全、生物安全、食品安全、污染事故应急处理，为国家和民族的长远发展奠定坚实的基础。当然，国际或国家间已有的有关环境安全研究和管理的行动还有待广泛、深入地进行，才能不断地达到保障环境安全的目标。

1.3 特征与趋势

环境安全的危害及其修复过程一般具有长期性、广泛性、复杂性。生态系统动态平衡的支撑要素若受到损害，如环境污染物质对生态系统或人体健康的危害性压力一旦超过可接受的一定安全水平的限度或环境阈值，包括与人体健康相关的由各类生态要素变异引发的环境问题就会急剧爆发。若想控制和恢复这些环境破坏，就要在时间和经济上付出很高的代价，一些生态系统的受损因素往往是多因素联合作用的结果，诊断和处置复杂多变，甚至有些受损的生态系统是难以逆转、无法修复的。环境安全的发展形态具有隐蔽性，一定区域内环境危机的显现常经历一个较长期的积累过程。通常先由一种生态要素出现受损变化，经过一定时期的积累而导致多个生态要素受到破坏时，才对整个生态系统或人体健康表现出明显的危害结果。如 20 世纪 60~70 年代发现的因长期排放含汞、镉工业废水导致水源污染，使生态系统中污染物质在水生食物链和人体内富集严重，结果主要出现人体骨骼、神经传导系统疾病或新生儿畸形的日本水俣病事件；因农田长期使用农药或化肥造成土质结构破坏，导致的土壤板结、水土流失、作物减产，或进而因食物中农药残留影响人体健康的农用化学品污染效应等。由于人类活动产生的各类环境安全问题对国家安全非军事威胁在短时期内远远没有军事威胁明显，且其最严重的导致地区、国家或全球水平的人类社会生态系统的崩溃可能是逐步的、长期积累的复杂过程，因而在人类的生态系统进入困境或发生灾难之前，很少为人们所广泛、急迫地考虑。环境安全的影响还具有全球性，环境问题没有国界。例如，污染颗粒物或气溶胶问题、海洋水污染问题、POPs 化学品污染问题等，一定区域或国家的环境污染有可能危及邻国或地区范围甚至全球性的环境安全；一些局部地区的环境问题，如气候变化、外来物种入侵、遗传基因流失、危险废物越境转移、臭氧层破坏、生物多样性减少等已逐步演变成全球性的环境安全问题。

为了保障国家和地区的环境安全，迫切需要建立环境安全的风险评估体系、与人体健康可接受水平相关的生态要素安全标准及其检测方法体系、预测和预警体系、环境风险应急响应体系，同时应建立相应的环境安全管理的决策支撑体系。其中，环境灾害的预测和预警系统的产生是人类科学地预防和减少自然灾害的过程中逐渐产生和发展的，到目前为止，环境预警系统已经较为普遍地应用在洪水与风沙预警、气象预报、地震预测、航行测报、农业生产等诸多领域。典型例子包括美国的河流预警系统（NWSRFS）和中国的风沙预警系统，在其中的洪水预警系统中，降水处理系统可分析能引起误差的环境要素，并改进和减少由于原始数据误差引起的预测结果的可靠性，包括大量初始参数补测、模型参数校正和进行不确定性、有效性及可靠性分析等，处理系统还建立了以灾害事件为目标的洪水预报检验方法，可以野外实验来确定所建议的地方性局部洪水灾害预警程序的实用性、可靠性。随着环境风险与安全研究的发展，对生态系统的认识预测更多地建立在非结论性的模拟结果上，而非单个现场观测的事实；模拟目标也有从系统的最优控制与恢复转向避免系统风险或系统经济可承受度等趋势的变化。通常政府决策者与公众更为担心环境预警系统预测不准实际事件的非

线性发展趋势,目前基础研究解决的主流方法是从环境参数和预测不确定性的目标主体过渡到关注模型结构的不确定性,并在此基础上对预测模型的验证进行更新认识,主要有模型结构内部一致性验证、模型假设证实与反证、模型相关性与模型结构要素识别及其在预测中的演化、完善等。

结合传统环境特征预警方法,如历史演变法、周期叠加法、剂量-效应外推法、多元线性回归法等数理统计方法,一些环境经济学、地球生物化学、生态动力学及环境毒理学等建模方法已开始综合应用于环境污染影响和社会环境压力变化特征等环境安全性领域的评估和预测。可借鉴的代表性方法有系统动力学方法、改良投入产出方法、一般均衡方法等模型系统。由于传统数理统计的方法大多是在不了解预测对象变化机理的情况下,不直接依赖环境效应本身的物理、化学和生物学机制过程,而本质上主要是运用统计学方法,分析化学、物理、生物等环境要素外在的变化规律而对目标效应或风险结果进行预警,在一定的简单系统水平上进行定性描述通常是必需的;但是,显然这些单一的数理方法由于无法准确地定量描述复杂环境过程的主要机理,当系统的任何一个特征要素出现不协调时,都会导致预测结果的不合理性和不确定性。系统动力学方法可用于分析和模拟生态系统多要素动态复杂变化,其优点是注重生态系统要素的动态结构与功能反馈机制,并综合运用定量、定性、复合与推理等技术,能较真实地反映现实社会生态系统的变化特征,对于认识和处理具开放性,高阶次、非线性、多重反馈的复杂环境体系是值得利用的有效工具。传统的投入产出分析可发展成现代环境安全经济学实践预测的有效分析工具,随着经济核算分析技术的发展,投入产出方法得到进一步的扩充完善,其中主要的改进就是增加了资源-经济-环境的系统化估测并可对要素的相关性进行分析;其将“投入”概念从传统生产性消耗扩展到全部社会环境成本中,并将用于消除生态资源损失和环境污染危害所进行的人类活动纳入到“产出”中,从而使这种改良更新的投入产出分析系统也发展成重要的环境资源安全性分析的手段。一般均衡模型系统作为一种环境管理分析工具,可得到广泛的运用。一般均衡模型通常可表达环境系统的全面均衡状态,重视生态系统中主体生物因素如人类活动的实质内涵,在社会可持续再生产的评估预测方面,可认为生产者和消费者通过物质资源数量和相关价值互动的调整来评价环境资源的合理配置与利用;该体系较适合于描述生态系统各要素的结构相关性、环境因子对生态要素的影响和效率,以及整体系统的运行有效性评估等。随着人们对环境安全性理论方法研究的逐步发展,有关生态系统、社会经济及人体环境健康的多种估测模型的复杂性和可靠性不断增长,经典数学方法用于精确描述环境系统整体复合特征和相关机制的能力大为降低。因此,在识别人体健康生存和发展对于其所处生态系统的影响特征与作用机制的基础上,构建包含环境毒理学、污染生态学、环境医学、环境经济学、环境风险预测系统、环境政策评估系统等内容的环境安全性体系是正确研究和保障社会环境安全的必要发展途径。

1.4 现状与应用

目前,人们对多种新出现的环境污染与人体健康方面的环境安全基础性问题,如定量污染生态学机理、污染物毒理学过程、环境健康医学特性、环境地球生物化学作用、环境分子生物学效应、环境安全性评估及预测体系和污染物在多种环境介质如大气、土壤、水体、固体废物、环境生物及其不同介质之间的环境代谢、分配、迁移、富集、降解、转化、吸附、淋溶机制等还了解不够;同时,在国家或地区层面的环境管理和政策支撑方面,对于现代环境循环经济评估、环境战略安全与政治外交决策、环境绿色 GDP 核算与质量控制、环境税

收与绿色贸易政策等领域的具体应用，还需在广泛、深入的调查研究基础上，建立较适用、可靠的环境安全管理决策体系。

国际机构及一些发达国家对环境安全性效应的研究愈来愈重视，1992 年联合国环境与发展大会列出了 21 世纪全球七大环境安全性问题，在制定的《21 世纪环境与发展议程》中，其核心也是要解决好环境的安全性问题。目前国际上相继开展了对一些新出现的环境污染危害问题进行联合攻关研究，包括人体健康与生态安全性检测与评估、有关转基因生物与基因疾病调查等；逐步公布了一些污染物的环境暴露标准及禁用化学物质名单，并相应建立了联合国环境信息卫星网络体系，在经济合作与发展组织（OECD）国家之间实现情报资源共享。例如，美国国家毒理学规划署（NTP）已对数百种进入环境的化学物质进行了较系统的毒理学研究，并公布了 129 种需优先控制的污染物名单；德国结合应用研究成果，于 1995 年开始实施一项“关于禁止使用潜在致癌物质”的新法规，严禁生产及使用共计 118 种原有工业染料，同时禁止生产和进口涉及使用对人体健康可能有有害的偶氮染料的纺织品、皮革制品和鞋类产品。这一法规引起 OECD 各成员国环保部门、进出口贸易及有关工业与外交部门的高度重视，美国、日本、欧洲等国家和地区都相继计划做出类似反应，同时准备研究推出环境安全性替代品。在污染物的环境安全性评估领域，联合国环境规划署（UNEP）、国际劳工组织（ILO）和世界卫生组织（WHO）、国际环境科学委员会（SCOPE）等国际机构或组织开展了一些联合研究项目，制定了一系列的污染物潜在环境危害性研究与评估方法，以增强国际间解决经济生产和环境协调发展的能力。

我国目前属发展中国家，整体工业技术水平落后于发达国家，在环境污染与人体健康的科技研究与技术开发方面，总体发展水平与发达国家相比存在差距，其中经济总量的迅速增加和经济粗放型发展结构是导致环境污染问题的重要原因。主要表现为：环保科技投入还不充分，高新技术的应用程度及管理水平有待提高，以人体健康为核心的环境标准等指标体系尚待深入建设，相关的环境分析测试能力与事故应急能力尚待加强；有毒物质的环境控制及其治理技术、环境产业化程度、环境风险评价和政府监督协调体制等有待创新发展。一些地区的超负荷污染物排放与污染物在环境介质中长期积累、迁移导致生态环境系统结构失衡、功能衰退，甚至发生不可逆转的生态系统崩溃，这不仅直接造成国家或局部地区经济重大损失，而且对未来可持续发展可能产生长期的危害影响。例如，我国云南滇池地区，由于近年来因环境污染引发的水体富营养化生态危害频繁发生，导致水体中藻类疯长、鱼类大量死亡，人畜的饮用水源地受到污染威胁，局部地区不得不实施远距离跨区域调水以满足人们生活和生产发展的需要。若环境安全性研究水平长期不能步入国际先进行列，势必将严重影响我国环境质量的改善和有关国际环境公约的履约。其中环境污染物以过程中间体、辅助物质、杂质或反应代谢转化物的形式存在或产生的环境损害效应日益突出，而一些已有的环境控制标准可能包含的环境安全性要素还不完善，因此在环境保护领域，为从国家环境安全的战略高度全面制定好各类环境标准，依据实际国情进行环境安全基准实验研究是非常必要的。据报道，我国当前仅纺织业使用的一些漂洗染料属于德国等 OECD 发达国家公布的禁用品，若不能及时研制推出环境安全替代品，这将对我国纺织业及有关化工产品的进出口贸易造成较大的影响，同时还涉及技术引进时防止国外污染产业向我国转移及国内推荐产品的研制生产等一系列的产业结构调整与布局及其相关环境问题的解决。当今环境科学与管理发展的主流方向是在掌握若干先进分析技术或理论方法的支持平台基础上，将微观效应研究或大尺度宏观环境危害问题系统有机地整合到国家或全球性发展的重要组成部分和约束条件中

考虑, 进行全面的环境对策分析和安全性体系研究。

系统计算机综合模拟方法的迅速发展为有效地研究与制定环境安全发展战略提供了有力的支持, 同时许多可能的系统影响要素和系统外源性干扰因素对环境质量的影响都可以在现代分析技术平台的支持下有效、可靠地完成, 且可节约现场检测所需的大量物资与人力、财力资源。近 30 年来, 环境水体质量预警系统也得到了广泛地重视和应用, 其中欧洲的莱茵河流域环境水污染预警系统、多瑙河流域水污染预警系统等在区域污染的控制中发挥着重要作用。建立水环境预警系统的主要目的是在水环境可能受到污染时, 提供水体特征因素的变化预警信息, 帮助管理者采取相应对策和措施, 以便避免污染事故的发生或减小事故的损失。现有环境水质预警系统大多是基于水中生物数量、形态或基本化学物质的监测数据, 通过标志生物对有毒污染物质的响应行为或水质的基本理化参数如化学需氧量 (COD)、生化需氧量 (BOD)、pH 值等信息进行水质预测, 即目前大多数预测系统并不监测和估算水体中不同种类污染物的具体浓度及其健康危害特征, 而是通过生态系统中的某些标志生物或简单的水质化学指标进行水质预警。由于标志生物的敏感性通常具有专一性, 对于不同有毒有害物质, 可能需选择不同的生物物种作为指示生物; 并且一些基本水质指标如 COD、BOD 等也不能反应水体中复杂污染物体系的混合毒性特征, 因此很难对一些随机性污染事件如暴雨径流、多种行业污染物共同排放等起到可靠、有效的预警作用。由于现有预警系统主要处理可能污染事故所对应的环境过程本身, 如洪水灾害预警系统就是研究阐述“降水→汇流→径流→复合危害处置”的过程, 但一般并不深入分析洪水及相关污染事故产生的要素特性和过程机理, 评估可能造成的损失和相应的管理对策, 即大多环境灾害预警尚未采取一定的预警机制将自然过程和决策过程更好地组合, 以便为管理者提供更有效的环境灾害控制措施。随着环境随机性污染事件控制重要性的增加, 20 世纪 90 年代以来环境系统建立模型主要用于评价污染物的环境效应, 进一步融入了三维空间技术与数据库处理技术, 较大地推动了环境模型和数据处理技术的广泛应用。三维空间技术是以处理地球表面信息为主要特征的空间信息技术, 其中地理信息系统 (GIS) 通过计算机技术, 对各种与地理位置有关的信息进行采集、存储、检索、显示和分析, 将自然资源特征、生态系统要素、环境污染特性数据与空间位置直观地联系起来, 为环境中生态系统中健康安全因子识别和表达提供了有效途径。遥感数据是地理信息系统加工处理最主要的信息来源, 全球定位系统 (GPS) 可以对地表空间任一位置准确定位, 其重要意义在于精确地给出了环境系统模拟的空间状态变量的地理位置, 特别对于水资源保护、水污染灾害防治、大尺度环境污染过程识别、模拟和控制等具有重要意义。在有关环境安全模型系统的建设方面, 对现有综合性环境评估模型的参数筛选进行评估, 开发和建立资源利用、经济结构、生态恢复等系统, 改善主要模型的结构分析和参数确定。研究人口增长、资源消耗与替代、再生等变量因素及生态要素对环境中其他负荷结构性变化的响应, 系统识别关键变量导致具体环境效应的机制与主要过程; 筛选和建立相关的水环境安全模型、大气环境质量模型、生态系统安全预测模型、危险废物迁移转化模型、农田土壤系统模型、环境人体健康评估模型及环境安全信息模型等; 研究优化算法的基本特征和适用条件; 确定特征污染物的作用过程和时空变化, 判别环境效应的变化、传递过程中的不确定性因素, 主要包括污染物来源、负荷、迁移、转化、归趋及相关污染途径与污染水平等内容。

在当今环境安全的战略政策研究领域, 有关环境安全与国家安全、国防安全、经济安全、外交安全、社会政治安全的关系; 环境安全与资源冲突、环境安全与生态难民、环境安全与可持续发展; 环境安全支持因素如环境稳定水平、环境缓冲水平、环境自净水平和环境

恢复水平、人体健康安全水平等内容是共同关心的课题。依据不同的生态要素和环境介质特性,有关环境污染风险效应与评估的内容主要包括水环境安全、大气环境安全、生态系统安全、土壤系统安全、人体健康安全、食品安全、转基因生物安全、化学品与危险废物安全、环境核反应与辐射安全等。要开展系统的区域性环境生态安全与人体健康理论和控制基准、技术方法的研究,主要内容涉及各类环境污染物的污染生态学、分子毒理学、环境健康化学、环境生物学、环境医学、环境安全性评估等学科与技术领域。积极开展综合性、多学科交叉的环境污染与环境人体健康保护的基础理论和应用技术方面的研究,从原子、基团、分子到细胞、组织、个体、种群、系统多个水平的物理、化学、生物、医学、地球化学等学科多有所涉及,应用多种实验室静、动态模型,开展主要包括污染物在土壤、水、大气环境中或食物链的积累、迁移、转化、积蓄、降解、代谢及富营养化等多种生态系统安全学效应与控制基准研究。污染物分子生物学主要侧重于在分子生物学水平上,研究和评价应用基因工程技术、蛋白质工程技术、酶工程技术对各类环境安全因子的影响,研究制定环境生物化学控制基准体系。环境健康化学侧重于在研究表征环境化学物质的物理-化学特性、作用机制的基础上,主要利用分子定量结构-活性相关(QSARs)等理论与方法,诸如拓扑学指数法、基团贡献法、量子化学法、线性自由能法等,研究有关环境污染物与人体健康效应相关的“三致”效应(致癌、致畸、致突变)、“环境内分泌干扰”效应等化学污染效应与相关的环境安全基准体系。环境安全性工程学主要是依据化学工程学、生化工程学、分子设计工程等原理方法,进行污染物安全性替代物质生产、绿色化学工程、清洁生产工艺等环境安全生产与处置工程的控制体系研究。环境健康毒理学与医学主要进行环境污染物对不同环境介质中生物细胞、组织、个体、种群水平的反应性与非反应性毒理学效应和控制、评估对策的实验研究。环境安全评估方法主要研究生态系统的“压力(Pressure)-状态(Status)-响应(Response)”和“驱动力(Driver)-状态(Status)-响应(Response)”的过程和效应。目前,一些 OECD 国家采用环境绩效评估方法,建立国家环境安全的压力或动力指标、状态指标和响应指标,并通过多种模型系统分析方法,如层次分析法、要素权重法、单要素评价法、功效法等方法,选择确定国家环境安全的评价模型系统,或可选择两种以上的方法同时进行比较评估与指标研究。评估范围主要包括水环境安全、大气环境安全、生态环境安全、海洋环境安全、土壤环境安全、生物环境安全、食品环境安全、危险化学品与危险废物安全、核安全以及全球环境安全等。能够分析研究某些国际组织或国家的环境可持续发展指标体系如环境压力指标、总体能力指标、能力建设指标、绿色国民经济核算指标等,可以相对较准确地提出适合某些国家和地区的环境安全评价指标体系,包括环境主要介质或结构、功能的安全要素如水环境安全、大气环境安全、土壤环境安全、食品环境安全等的评价指标体系。评估指标体系的确定还要考虑现有生态系统的分析测试系统能力、国民经济管理和信息统计能力、人体健康相关的环境安全保护能力及其与环境安全预测或预警指标体系的相互内涵和外延的关系。

总之,国家环境安全的战略对策应该从多方面入手,采取综合措施,构建保障国家环境安全的若干体系,全面提升国家环境安全的保障能力。为适应国际环境保护研究趋势的发展,保障人们的健康生存与发展,合理控制环境污染并积极开展环境安全的系统研究,防止和避免新的潜在污染物在国家或地区间不合理地转移性生产并引发再污染效应,促进环境资源的利用与恢复,提高区域整体性的环境质量水平,应尽快建立国家或地区范围内的环境安全与人体健康的研究理论与应用技术、宏观管理决策体系。

2 基础反应

2.1 分子键合作用

2.1.1 配合作用

生态系统中许多化学物质可能以阳离子或阴离子的状态存在于主要环境介质如水溶液、土壤颗粒、大气气溶胶及生物体中，其中某些阳离子是良好的配合物中心体，而阴离子则是形成配合物的配位体，它们之间通过分子离子键的配合作用形成的配合物是环境化合物存在的基本形式之一。在研究化合物在一定环境体系介质中的形态、迁移、代谢、分布、归趋和毒性等生态学效应的实践中，认识到环境中以配合物方式存在的化合物，其多数环境行为效应与配合作用过程有直接的相关性；表 2-1 为可能优先结合的配位体与中心体物质顺序。例如，进入环境水体的具有害无机元素的工业废水中，一些重金属元素在水体中的离子可溶态物质可与水介质中的某些可溶性阴离子配体发生配合反应，通过相对较弱的分子离子键形成配合物形态，随环境条件改变而可能动态地迁移、变化，参与多种环境过程并表现出多种反应活性效应。较典型的例子如在向水体排放的含无氰镀镉和有氰镀镉的工业废水中，有害元素镉可能分别以氨羧配合物和氰络离子配合物的形式存在于水体而产生相应的环境危害效应；日常生活中使用的各类洗涤剂大多含有表面活性化合物，其中阴离子表面活性剂是良好的配位体，阳离子型活性剂则可能成为配合物的中心体而发生配合反应。对一般金属元素而言，同样物质的不同的离子态或配合态存在形式，其生物活性或毒性有差异，这主要可能取决于物质的离子态或配合态可参与生物活性反应的能力程度；如自由铜离子的毒性大于配合态铜，甲基汞的毒性大于无机汞离子。环境中可能的有机配位体与中心体的存在较复杂，由于环境介质中还存在大量环境生物体的天然代谢产物如氨基酸、腐殖质、脂类、蛋白多糖类等复杂物质及含有洗涤剂、清洁剂、添加剂、农药等多种化合物，应根据具体情况分析环境化合物的配合作用过程。

表 2-1 可能优先结合的配位体与中心体物质顺序

配位体物质	中心体物质
F ⁻ >O>N=Cl>Br>I>S	Mn ²⁺ <Fe ²⁺ <Co ²⁺ <Ni ²⁺ <Cu ²⁺ >Zn ²⁺
OH ⁻ >RO ⁻ >RCO ₃ ⁻	K ⁺ =Na ⁺ >Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Al ³⁺ >Zn ²⁺ >Cr ³⁺
CO ₃ ²⁻ >>NO ₃ ⁻	
PO ₄ ³⁻ >>SO ₄ ²⁻ >>ClO ₄ ⁻	-NH ₄ ⁺ >-RH ⁺ R;有机烃类

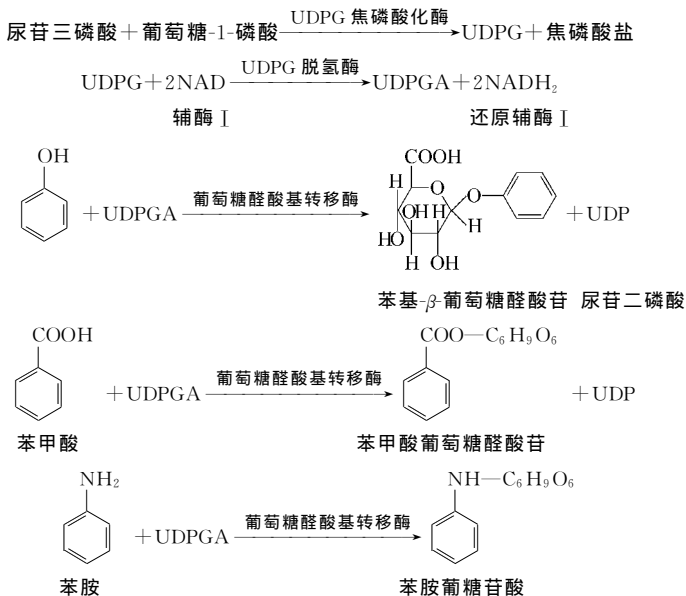
2.1.2 结合反应

结合反应是进入生物体内的外源性化合物在代谢过程中与某些内源性化合物或基团发生的生物合成反应，形成的产物称为结合物。一般外源化合物经分配、氧化、水解作用进入生物体后已具有羟基、羧基、氨基、环氧基等极性基团，易与也具有极性基团的内源性物质发生结合反应，结合反应中形成的分子间的化学键较复杂，可以是分子离子键、氢键或某种偶

合共价键等。在结合反应中，大多需要有相应的生物转移酶和辅酶参加并消耗能量。外源化合物和作为结合剂的内源化合物一般需要生物活化作用，参加结合反应的内源化合物或基团是体内正常代谢过程中的产物。外源化合物可直接发生结合反应，也可经生物体内的其他反应后再发生结合反应；当外源化合物分子中有极性基团，可使其极性增强，水溶性增高而易于发生结合反应，并表现各种反应活性；同时也可使化合物的原有生物活性或毒性改变或使其易于排出体内。但也发现有些外源化学物经过结合反应，可形成终致癌物或间接致癌物，其生物活性作用增强；或有些外源化学物经结合反应后，脂溶性增高而不易排出生物体外。例如，发生结合反应的酸类或醇类外源化合物，其中酸类可与生物体的甘油或胆固醇结合，醇类可与脂肪酸结合，形成亲脂性较高的结合物而不易溶于水而排出体外。因此，应认识到结合反应的双重性，正确分析化合物结合反应的作用效应。根据与外源化合物化学物结合的内源化合物的类型，主要的结合反应分有以下几种。

(1) 葡萄糖醛酸结合

生物体的葡萄糖醛酸类化合物可与一些外源化合物如醇类、酚类、羧酸类、硫醇类和胺类等物质进行结合反应，其中葡萄糖醛酸主要由生物体内糖代谢中生成的尿苷二磷酸葡萄糖 (UDPG) 被氧化生成尿苷二磷酸葡萄糖醛酸 (UDPGA)，再在葡萄糖醛酸基转移酶的催化下与外源化合物及其代谢物的羟基、氨基和羧基等基团结合，生成葡萄糖醛酸苷类产物而发生的结合反应，以苯酚、苯胺为例的主要反应过程为：

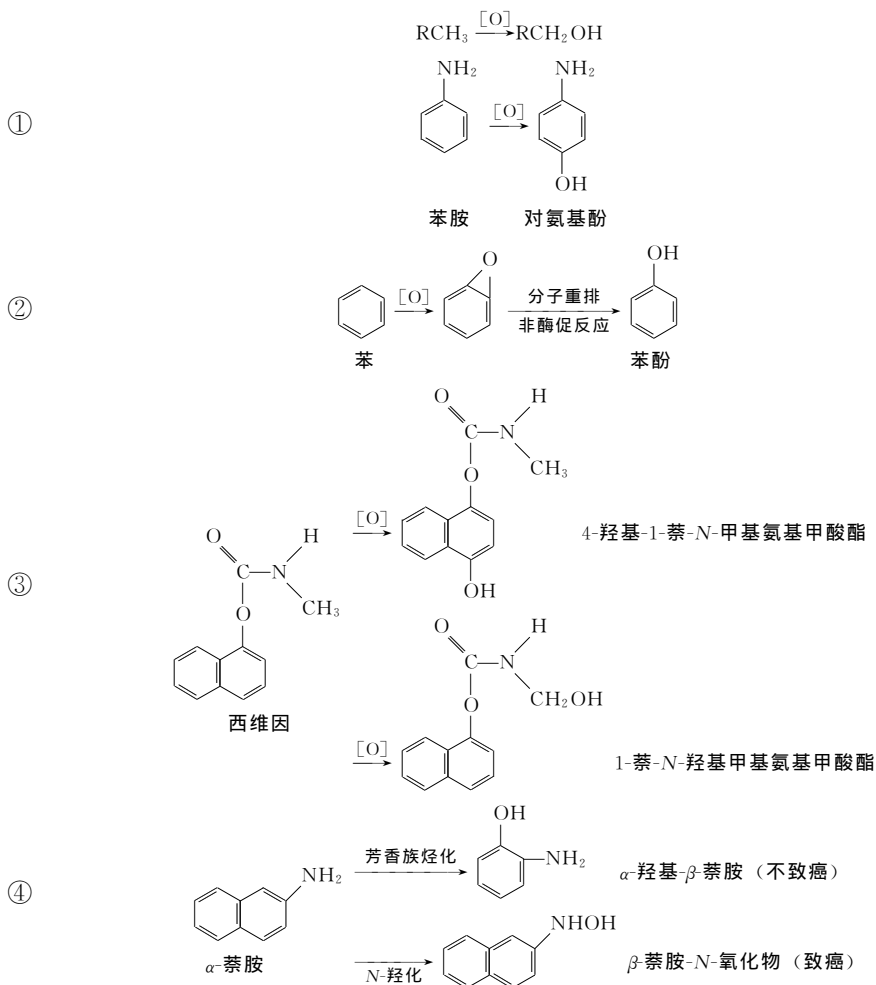


该类反应主要在哺乳动物肝细胞的微粒体中进行，一般直接从体外输入的葡萄糖醛酸不能进行此类结合反应。

(2) 硫酸脂合反应

环境外源化合物及其生物代谢物中的醇类、酚类或胺类物质可与内源性具硫酸根类化合物结合形成硫酸酯类产物；生物体内源硫酸基团类物质来自含硫氨基酸的代谢产物，反应过程中，一般需经三磷酸腺苷 (ATP) 活化成为 3'-磷酸腺苷 5-磷酸硫酸 (PAPS)，再在生物体内磺基转移酶的催化下与外源性醇类、酚类或胺类结合形成硫酸酯类产物。典型苯酚、苯胺的基本反应过程为：

胺、苯并芘、萘、黄曲霉素、西维因等可以这种方式发生转化反应。较典型的反应有：



(2) 环氧化反应

大多在生物体内微粒体的氧化酶系作用下，化合物的两个相邻碳原子和一个氧原子之间作用而构成一种桥式结构，形成环氧化物的反应。一般环氧化物多以中间活性产物的方式出现，如芳烃化合物的苯环上由卤族元素取代或多环芳烃类物质被氧化时，可能形成较为稳定的环氧化物。有的环氧化物可经水解酶进一步作用产生氢二醇衍生物或经谷胱甘肽转移酶作用产生谷胱甘肽结合物；并且有些环氧化物毒性常大于其母体化合物，且还可与生物大分子通过共价结合而形成化合物。如苯并芘和黄曲霉毒素 B₁ 的环氧化物都属于前致癌物，经进一步代谢转化可成为致癌物。当环氧化烯烃类化合物在双键位上加氧，可产生不稳定的环氧化物而再进行分解转化；当氯乙烯进而生物体内后，经微粒体的氧化酶系作用产生环氧氯乙烯，游离态的环氧氯乙烯可进而氧化形成氯乙醛或被环氧化物水解酶水解，也可能作用于 DNA 等生物大分子而引起致癌作用；多环芳烃类化合物氧化产生的环氧化物可与 DNA 等发生共价结合反应而可能诱发细胞出现癌变。典型反应如：

