

流域化学品生态风险评估

——以东江流域为例

应光国 彭平安 赵建亮 任明忠 著
陈慧明 魏东斌 李本纲 宋建中



科学出版社

流域化学品生态风险评估

——以东江流域为例

应光国 彭平安 赵建亮 任明忠 著
陈慧明 魏东斌 李本纲 宋建中

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者“十一五”期间水专项课题的研究成果总结,以东江流域为例,系统探讨了流域化学品暴露评价、效应评价和风险表征的方法和过程:调查流域工业源、农业源和生活源化学品使用量,系统监测流域水体、沉积物、土壤介质中金属、多环芳烃、多氯联苯、有机氯农药、多溴联苯醚、目前在用农药、环境雌激素、药物与个人护理品等共计200余种化学品的污染水平,并对典型污染物进行多介质模拟,进行综合暴露评价;搜集化学品生态毒性数据,推导预测无效应浓度(PNEC),进行生态毒理效应评价;采用商值法进行污染物的生态风险表征。根据生态风险评价结果对东江流域污染物进行优控筛选,得到东江优控污染物清单,含27种污染物。进一步估算了流域化学品的污染源排放通量,解析优控污染物来源,提出流域化学品管理与控制对策。研究成果为东江流域化学品的管理提供依据,也为我国其他河流化学品的管理提供示范。

本书详细阐述了流域化学品生态风险评价的研究过程,提出我国流域化学品生态风险评价体系的基本框架,具有很强的学术性和实用性。适合从事流域化学品生态风险评价、流域化学品管理研究的学者及环境决策者参考,也适合作为环境科学和生态毒理学教师和学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

流域化学品生态风险评价:以东江流域为例 / 应光国等著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035493-8

I. ①流… II. ①应… III. ①东江—流域—化学污染—风险评价
IV. ①X321.265.012

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 208777 号

责任编辑:王 运 韩 鹏 / 责任校对:林青梅
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年9月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:517 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

人类生活和生产过程使用各种人工合成化学品，同时也产生各种可能影响生态环境的污染物质。化学品在生产、运输、消费等过程中，不可避免地会进入自然环境，其中河流是其重要的受纳环境。工业废水、城乡生活污水、养殖废水以及农业面源经地表径流作用的污染物都可能排放到河流环境中，导致河水水质下降，河流生态系统遭到破坏。河流不仅是工农业生产的保障，也是城乡居民生活饮用水的水源，水质安全事关民生福祉，饮用水水源的化学品污染问题时刻牵动着国家、地方政府和老百姓的心。欧美发达国家相继出台了一系列法律法规对化学品进行管理，降低化学品污染环境的风险，比较著名的有欧盟 2007 年 6 月 1 日生效的 REACH（化学品注册、评估、许可和限制）法规，而我国目前还没有相应的化学品管理法规。

党中央和国务院“十一五”时期非常重视我国的水污染问题，国家环境保护部启动了“十一五”水体污染物控制与治理科技重大专项研究，其中在河流主题东江项目中设置了“东江优控污染物动态控制管理技术体系研究与应用示范”课题，由中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室应光国研究员负责，并组建研究团队实施。该课题从河流生态系统健康的角度出发，以我国典型的饮用水水源型河流——东江流域为例，研究流域化学品的生态风险，筛选优控污染物，建立和完善一套流域化学品风险管理与控制技术体系，以期为地方政府制定污染物的长效监测机制、风险评估技术规范、管理控制体系提供依据，保障饮用水水源的水质安全。

《流域化学品生态风险评价——以东江流域为例》一书正是研究人员“十一五”水专项课题研究工作的总结。该书系统介绍了生态风险评价的基本原理和方法，详细综述了欧美国家开展化学品生态风险评价的研究方法和应用成果，即暴露评价、效应评价和风险表征的过程，提出我国流域水体和沉积物中化学品生态风险评价体系的基本框架。以东江流域为例，开展东江流域化学品的暴露评价、生态毒理效应评价、生态风险表征研究，筛选出东江流域优控污染物清单一份，解析了流域优控污染物的来源，通过综合技术集成，形成一套流域化学品控制管理技术体系，能够为环保部门制定相应的法律法规提供依据和借鉴，也可在我国其他河流的化学品风险管理过程中进行推广，具有重要的环境效益和社会效益。

生态风险评价经过 30 多年的发展，已经从环境科学的边缘领域发展成为核心内容之一，是进行化学品监管、污染修复、流域管理及其他环境问题管理的重要手段和工具。该书抓住河流生态健康这一核心问题，针对饮用水水源型河流化学品管控的目的，创新研究思路，取得了一系列重要研究成果，如东江流域优控污染物清单、污染源特征污染物清单等，具有很强的学术价值。该书另一重要特点是具有很强的实用性，课题的开展过程也是研究人员在东江流域进行化学品生态风险评价的实践过程，研究方法、手段可直接被相关部门采用，研究成果可直接为环境决策提供依据。

总之，饮用水水源型河流面临的微量化学品污染问题已越来越受到政府和人民群众的密切关注，水质监测标准也涵盖越来越多的微量污染物，如何有效地保护饮用水水源，管理和控制化学品带来的污染，已成为地方政府迫切需要解决的问题。《流域化学品生态风险评价——以东江流域为例》一书正是面向上述地方战略需求、立足饮用水水源的水质保护而撰写的一本具有重要学术价值和实用价值的著作。

中国科学院院士

傅家谟

2012年3月于广州

前 言

河流是大自然赋予人类最好的礼物之一，为人类社会的发展提供了食物、工农业用水、生活用水，以及交通和娱乐等诸多功能，同时也为大自然的各种生物提供了栖息场所。河流作为重要的生态系统类型，是生物圈物质循环的主要通道之一，化学物质在河流生态系统循环过程中得以迁移、转化和降解，河流生态系统的健康是水资源循环和水质安全的重要保障。改革开放以来，我国社会经济快速发展，工业发展迅猛使工业品产量逐年增加，农业现代化程度提高使化肥和农药使用量加大，人口流动加快并逐渐向发达地区集中。与此同时，工业废水和生活污水的排放量越来越大，农业污水和养殖废水排放加剧，已远远超出河流这一重要受纳环境的承载能力，我国绝大部分河流受到不同程度的污染，水生态系统遭到破坏。面对水污染问题，国务院及国家环境保护部都加大了水污染控制与治理力度，“十一五”期间国家启动了水体污染控制与治理科技重大专项研究，针对我国水污染控制和治理的关键科技问题，遵循集中力量解决主要矛盾的原则，选择典型流域开展水污染控制与水环境保护的综合示范，解决我国河流污染等一系列水污染问题。

东江是珠江三大水系之一，是广东省东部各城市及香港地区重要的饮用水水源地，东江中、上游为水源涵养区，干流下游和三角洲地区为饮用水供水区。东江作为饮用水水源，对水质要求严格，除常规营养元素、氨氮、溶解氧等水质指标外，人们越来越关注各种化学品的污染状况，东江流域在我国类似大江大河中具有典型的代表性。由于东江流域上、中、下游及三角洲地区产业差别明显，污染物种类可能存在显著差异，中、上游以农业、养殖、采矿等为主，金属、农药、抗生素等污染物较多，下游和三角洲河口区域工业发达，电子电镀、印染漂染、造纸等工业企业密度大，人口高度集中，金属、多环芳烃、阻燃剂、表面活性剂、药物与个人护理品等污染物可能大量存在。由于污染物种类多种多样，不同的污染物所引起的生态危害程度也不相同，因此难以对所有化学品进行控制。在如此众多的污染物中，如何更好地控制和管理，保障饮用水水源水质安全是值得思考的问题。因此，开展流域化学品的生态风险评价，筛选需要优先控制的物质，解析优控污染物的来源，建立以河流生态系统健康为基础的流域化学品管理与控制体系，是河流水质安全的重要保障。

全书共 11 章，按照化学品生态风险评价过程来组织章节，即问题提出、暴露和效应评价、风险表征、风险管理的过程。第 1 章首先介绍了东江流域概况，进一步分析流域化学品控制管理的科技需求，提出需要解决的问题。第 2 章系统介绍了化学品生态风险评价的方法，提出我国流域化学品生态风险评价的基本体系。第 3~7 章为化学品的暴露评价过程：其中，第 3 章叙述了污染物的监测方法，为第 5、第 6 章开展水体、沉积物和土壤中污染物的监测提供方法；第 4 章介绍了东江流域工业源、农业源和生活源中使用的化学品调查情况，通过使用量简单评价化学品在东江流域的暴露水平；第 5 章通过系统监测污染物在东江干流水体和沉积物中的浓度，评价其东江流域的污染暴露水平；第 6 章研

究了东江流域不同土地利用类型的土壤环境中典型污染物的浓度,探讨土壤污染与水体化学品污染的关系;第7章采用环境多介质模型,预测了流域内多环芳烃和雌激素的源清单及环境归趋。第8章为化学品的效应评价过程,通过搜集生态毒理数据,推导出化学品的风险阈值,即预测无效应浓度(PNEC)。第9章为化学品的生态风险表征过程,依据化学品的暴露评价和效应评价,采用风险商法对东江流域化学品的生态风险进行表征和高风险区划。第10章为流域化学品的风险管理过程,根据流域优控污染物筛选标准,得到东江流域优控污染物清单,估算污染源的优控污染物排放通量,提出优控污染物的管理控制对策,为环境决策提供参考。第11章为结语。

本书写作分工如下:前言由应光国完成;第1章由应光国、彭平安完成;第2章由赵建亮、应光国、魏东斌和任明忠完成;第3章由任明忠、魏东斌、应光国、赵建亮、宋建中、张素坤完成;第4章由陈慧明、曾建伟完成;第5章由任明忠、张素坤完成持久性有机污染物部分,由魏东斌完成邻苯二甲酸酯、砷、汞部分,由盛彦清、刘有胜完成金属部分,由应光国、赵建亮完成目前在用农药、环境雌激素、药物与个人护理品及未知污染物扫描部分;第6章由宋建中、彭平安完成;第7章由李本纲完成;第8章由赵建亮、刘有胜完成;第9章由任明忠完成持久性有机污染物部分,由魏东斌完成邻苯二甲酸酯、砷、汞部分,由盛彦清、刘有胜完成金属部分,由应光国、赵建亮完成环境雌激素、药物与个人护理品部分;第10章由应光国、魏东斌、任明忠、赵建亮、刘有胜完成;第11章由应光国完成。全书由应光国、赵建亮统稿,张芊芊协助进行内容校正。

在本研究的开展及本书的写作过程中,得到国家水专项、河流主题组和东江项目组的大力支持,得到孟伟院士、王子健研究员和许振成研究员的指导,还得到了广东省环境保护厅及其下属各地方环境监测站的支持,傅家谟院士、陶澍院士等给予了特别指导,东江项目其他课题人员也给予了诸多帮助,傅家谟院士特别为本书作序,在此深表谢意。参加课题研究和书稿整理工作的成员还有邓红梅、安太成、王丽、陈凤、杨滨、杨基峰、刘珊、周丽君、赖华杰、陈智锋、黎玉清、蔡淑娟、黄思静、傅建平、张入元、杜萌、谭卓威、苏燊燊、崔司宇、孙红卫、张朝阳、黄强、张瑞泉、苏浩昌、张丽娟、方怡向、黄国勇、潘长桂、彭富强等研究人员,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请批评指正。

应光国

中国科学院广州地球化学研究所
有机地球化学国家重点实验室

目 录

序

前言

第 1 章 东江流域概况	1
1.1 自然地理概况	1
1.2 社会经济概况	6
1.3 流域污染概况	8
1.4 东江流域水污染控制管理科技需求	11
第 2 章 生态风险评价方法	12
2.1 欧美生态风险评价的发展历程	13
2.2 污染物生态风险评价的基本原则	14
2.2.1 污染物的水生生态毒理特征	14
2.2.2 污染物生态风险评价的一般原则	15
2.3 环境暴露评价	15
2.3.1 预测环境浓度	16
2.3.2 实测环境浓度	17
2.3.3 污染物混合存在	18
2.4 生态毒理效应评价	19
2.4.1 生态毒性数据的搜集和整理	19
2.4.2 预测无效应浓度的推导	20
2.5 生态风险表征	22
2.5.1 水体中污染物的生态风险表征方法	22
2.5.2 沉积物中污染物的生态风险表征方法	22
2.6 我国流域污染物生态风险评价体系	24
2.7 展望	25
第 3 章 污染物监测方法	27
3.1 金属的分析方法	28
3.2 持久性有机污染物的分析方法	32
3.3 目前在用农药的分析方法	38
3.4 环境雌激素的分析方法	41
3.4.1 酚类雌激素的分析方法	41
3.4.2 邻苯二甲酸酯的分析方法	43
3.5 药物与个人护理品的分析方法	45
3.6 土壤中典型污染物的分析方法	50

3.7	未知污染物的全扫描分析方法	50
3.8	质量保证/质量控制体系	51
3.9	小结	53
第4章	东江流域化学品使用调查	54
4.1	化学品调查的基本原则	54
4.2	工业源化学品使用调查	54
4.3	农业源化学品使用调查	57
4.4	生活源化学品使用调查	60
4.5	小结	60
第5章	东江流域化学品污染调查	62
5.1	东江水系采样点分布	62
5.2	常规指标的污染特征	65
5.3	金属的污染特征	70
5.4	持久性有机污染物的污染特征	88
5.4.1	多环芳烃的污染特征	88
5.4.2	多氯联苯的污染特征	95
5.4.3	有机氯农药的污染特征	100
5.4.4	多溴联苯醚的污染特征	107
5.5	目前在用农药的污染特征	112
5.6	环境雌激素的污染特征	118
5.6.1	酚类雌激素的污染特征	118
5.6.2	邻苯二甲酸酯的污染特征	124
5.7	药物与个人护理品的污染特征	128
5.7.1	药物与个人护理品在水体中的污染特征	128
5.7.2	药物与个人护理品在颗粒物中的污染特征	132
5.7.3	药物与个人护理品在沉积物中的污染特征	134
5.7.4	与世界其他地区比较	136
5.8	东江水系未知污染物鉴定	139
5.9	小结	142
第6章	东江流域土壤污染调查	144
6.1	东江流域土壤采样点分布	144
6.2	东江流域土壤中污染物的污染特征	146
6.2.1	东江流域土壤中金属的污染特征	146
6.2.2	东江流域土壤中多环芳烃的污染特征	150
6.2.3	东江流域土壤中有机氯农药的污染特征	155
6.3	小结	158
第7章	东江流域典型污染物多介质模拟预测	160
7.1	环境多介质模型的发展历程	160

7.2 东江流域化学品环境预测模型	163
7.2.1 东江流域污染物排放清单计算方法	163
7.2.2 东江流域污染物环境多介质模型	164
7.3 东江流域多环芳烃排放清单及归趋模拟	165
7.3.1 东江流域多环芳烃的县级排放清单	165
7.3.2 东江流域多环芳烃的归趋模拟	168
7.4 东江流域雌激素排放清单及归趋模拟	172
7.4.1 东江流域雌激素的县级排放清单	172
7.4.2 东江流域雌激素的归趋模拟	175
7.5 小结	178
第8章 东江流域化学品生态毒理效应评价	179
8.1 化学品生态毒理效应评价研究进展	179
8.2 东江流域化学品生态毒性数据库	184
8.2.1 数据来源	184
8.2.2 数据整理及有效性筛选	184
8.3 东江流域化学品的预测无效应浓度	185
8.4 小结	189
第9章 东江流域化学品生态风险表征	190
9.1 金属的生态风险表征	190
9.1.1 地表水中金属的生态风险表征	190
9.1.2 沉积物中金属的生态风险表征	196
9.2 持久性有机污染物的生态风险表征	199
9.2.1 多环芳烃的生态风险表征	199
9.2.2 多氯联苯的生态风险表征	204
9.2.3 有机氯农药的生态风险表征	207
9.2.4 多溴联苯醚的生态风险表征	210
9.3 目前在用农药的生态风险表征	212
9.4 环境雌激素的生态风险表征	216
9.4.1 酚类雌激素的生态风险表征	216
9.4.2 邻苯二甲酸酯的生态风险表征	221
9.5 药物与个人护理品的生态风险表征	224
9.6 小结	230
第10章 东江流域化学品风险管理	231
10.1 东江流域优控污染物清单筛选	231
10.1.1 各国优控污染物筛选方法	231
10.1.2 东江流域优控污染物筛选流程	233
10.1.3 东江流域优控污染物清单	233
10.2 东江流域污染源调查	235

10.2.1	重点行业排水采样点分布	235
10.2.2	东江流域重点行业废水排放总量	238
10.2.3	金属在污染源的分布特征及排放量估算	240
10.2.4	持久性有机污染物在污染源的分布特征及排放量估算	244
10.2.5	环境雌激素在污染源的分布特征及排放量估算	247
10.2.6	三氯生在污染源的分布特征及排放量估算	252
10.2.7	东江流域行业排水中未知污染物鉴定	253
10.2.8	东江流域重点行业排水特征污染物清单	256
10.3	东江流域优控污染物管控对策	258
10.3.1	优控污染物来源分析	258
10.3.2	优控污染物控制对策分析	260
10.4	小结	261
第 11 章	结语	262
参考文献		265
附表		290
中英文对照及缩略词表		343

图 目 录

图 1.1	东江流域水系分布示意图	2
图 1.2	东江干流东岸断面 2007~2009 年总氮、氨氮和溶解氧指标变化趋势	9
图 2.1	美国环保署生态风险评价框架	13
图 2.2	欧盟委员会的化学品风险评价体系	14
图 2.3	污染物的生态风险评价流程	15
图 2.4	污染物在污水处理厂及受纳水体的迁移过程示意图	16
图 2.5	我国水体和沉积物中污染物生态风险评价体系	25
图 3.1	四类持久性有机污染物的前处理流程	36
图 4.1	东江流域工业源化学品调查企业的筛选路线	55
图 5.1	东江流域采样点分布图	64
图 5.2	东江流域采样点水体中丰水期化学需氧量的分布	65
图 5.3	东江流域采样点水体中丰水期氨氮的分布	65
图 5.4	东江流域采样点水体中丰水期溶解氧的分布	66
图 5.5	东江流域采样点水体中丰水期总有机碳的分布	67
图 5.6	东江流域采样点颗粒物重量分布	67
图 5.7	东江流域采样点枯水期和丰水期沉积物组成示意图	68
图 5.8	东江流域枯水期沉积物中总有机碳、总氮和总硫的分布	69
图 5.9	东江流域丰水期沉积物中总有机碳、总氮和总硫的分布	70
图 5.10	东江流域枯水期地表水中金属的浓度分布	71
图 5.11	东江流域丰水期地表水中金属的浓度分布	71
图 5.12	东江流域地表水中溶解态铜的浓度分布	72
图 5.13	东江流域地表水中溶解态锰的浓度分布	73
图 5.14	东江流域沉积物中金属总重的浓度分布	75
图 5.15	东江流域不同河段沉积物中铜的浓度分布	75
图 5.16	东江流域地表水中总砷、三价砷、五价砷的浓度分布	78
图 5.17	东江流域各河段地表水中砷的浓度分布	79
图 5.18	东江流域地表水中总汞的浓度分布	80
图 5.19	东江流域沉积物中砷的浓度分布	81
图 5.20	东江流域沉积物中不同形态砷的浓度分布	82
图 5.21	东江流域沉积物中汞的浓度分布	84
图 5.22	东江流域沉积物中不同形态汞的浓度分布	84
图 5.23	东江流域沉积物中酸可挥发性硫化物的浓度分布	87
图 5.24	东江流域沉积物中同步浸提金属的浓度分布	88

图 5.25	东江流域水体中多环芳烃的浓度分布	89
图 5.26	东江流域不同河段地表水中多环芳烃的污染特征	90
图 5.27	东江流域地表水中蒽的污染特征	91
图 5.28	东江流域地表水苯并[a]芘毒性当量的污染特征	92
图 5.29	东江流域沉积物中多环芳烃的浓度分布	93
图 5.30	东江流域不同河段沉积物中多环芳烃的污染特征	93
图 5.31	东江流域地表水中多氯联苯的浓度分布	96
图 5.32	东江流域不同河段地表水中多氯联苯的污染特征	97
图 5.33	东江流域沉积物中多氯联苯的浓度分布	98
图 5.34	东江流域不同河段沉积物中多氯联苯的污染特征	99
图 5.35	东江流域地表水中有机氯农药的浓度分布	102
图 5.36	东江流域地表水中六六六各组分的污染特征	102
图 5.37	东江流域地表水中 DDTs 各组分的污染特征	103
图 5.38	东江流域地表水中有机氯农药 (除六六六、DDTs 外) 各组分的污染特征	104
图 5.39	东江流域沉积物中有机氯农药的浓度分布	105
图 5.40	东江流域地表水中多溴联苯醚的浓度分布	107
图 5.41	东江流域各河段地表水中十溴联苯醚的污染特征	109
图 5.42	东江流域沉积物中多溴联苯醚的浓度分布	110
图 5.43	东江流域地表水中目前在用农药的浓度分布	114
图 5.44	东江流域干支流地表水中常见农药的污染特征	115
图 5.45	东江流域颗粒物中目前在用农药的浓度分布	115
图 5.46	东江流域沉积物中目前在用农药的浓度分布	116
图 5.47	东江流域地表水中酚类雌激素的浓度分布	119
图 5.48	东江流域地表水中壬基酚的污染特征	120
图 5.49	东江流域地表水中双酚 A 的污染特征	120
图 5.50	世界不同地区地表水中壬基酚的污染水平	121
图 5.51	世界不同地区地表水中双酚 A 的污染水平	122
图 5.52	东江流域颗粒物中酚类雌激素的浓度分布	123
图 5.53	东江流域沉积物中酚类雌激素的浓度分布	123
图 5.54	东江流域地表水中邻苯二甲酸酯的浓度分布	124
图 5.55	东江流域颗粒物中邻苯二甲酸酯的浓度分布	126
图 5.56	东江流域沉积物中邻苯二甲酸酯的浓度分布	127
图 5.57	东江流域地表水中杀菌剂的浓度分布	129
图 5.58	东江流域干支流地表水中杀菌剂的污染特征	129
图 5.59	东江流域地表水中药物的浓度分布	130
图 5.60	东江流域地表水中抗生素的浓度分布	131
图 5.61	东江流域干支流地表水中四类抗生素的污染特征	132

图 5.62	东江流域颗粒物中杀菌剂的浓度分布	133
图 5.63	东江流域颗粒物中药物的浓度分布	133
图 5.64	东江流域颗粒物中抗生素的浓度分布	134
图 5.65	东江流域沉积物中杀菌剂的浓度分布	134
图 5.66	东江流域沉积物中药物的浓度分布	135
图 5.67	东江流域沉积物中抗生素的浓度分布	136
图 5.68	东江流域地表水、颗粒物和沉积物中抗生素的检出率比较	137
图 5.69	东江流域干支流沉积物中四类抗生素的污染特征	137
图 5.70	东江干流观音阁渡口全扫描总离子流图	139
图 5.71	东江干流麻涌河全扫描总离子流图	140
图 5.72	东江干流沙田水道入海口全扫描总离子流图	141
图 5.73	壬基酚和壬基酚聚氧乙烯醚 (NP1EO) 的质谱图	141
图 5.74	双酚 A 的质谱图	141
图 5.75	东江支流石马河上游全扫描总离子流图	142
图 5.76	东江支流寒溪水全扫描总离子流图	142
图 6.1	东江流域土壤样品采样点位分布图	145
图 6.2	东江土壤样品中金属的浓度分布	146
图 6.3	东江流域不同类型土壤中金属的污染特征	148
图 6.4	东江流域土壤样品中金属的形态分布特征	149
图 6.5	东江流域不同类型土壤中多环芳烃的污染特征	151
图 6.6	东江流域不同类型土壤中多环芳烃的毒性当量分布	153
图 6.7	东江流域不同河段土壤中多环芳烃的异构体比值	154
图 6.8	东江流域不同类型土壤中 DDTs 的分布特征	156
图 6.9	东江流域不同类型土壤中六六六的分布特征	158
图 7.1	多介质逸度模型框架图	162
图 7.2	东江流域多环芳烃的县级排放清单工作流程	166
图 7.3	东江流域及周边多环芳烃总量县级排放量	167
图 7.4	东江流域内多环芳烃按种类排放清单	168
图 7.5	东江流域各环境介质中多环芳烃蓄积量百分比	170
图 7.6	东江流域各环境介质中多环芳烃迁移通量	170
图 7.7	东江流域水体中多环芳烃总量县级浓度多介质模拟结果	171
图 7.8	东江流域雌二醇当量浓度的县级排放清单	174
图 7.9	东江流域天然雌激素的排放清单	175
图 7.10	东江流域各环境介质中雌激素的迁移通量	176
图 7.11	东江流域水体中雌二醇当量浓度的县级多介质模拟结果	177
图 8.1	不同的淡水生态情境下铜的物种敏感度分布曲线及其拟合情况	180
图 8.2	锌的物种敏感度分布曲线及其拟合情况	181
图 8.3	炔雌醇的物种敏感度分布曲线及其拟合情况	182

图 8.4	雌二醇的物种敏感度分布曲线及其拟合情况	182
图 8.5	物种敏感度分布曲线法推导铜的预测无效应浓度	185
图 8.6	物种敏感度分布曲线法推导镉的预测无效应浓度	186
图 8.7	物种敏感度分布曲线法推导壬基酚的预测无效应浓度	187
图 8.8	物种敏感度分布曲线法推导双酚 A 的预测无效应浓度	187
图 8.9	物种敏感度分布曲线法推导毒死蜱的预测无效应浓度	188
图 8.10	物种敏感度分布曲线法推导菲的预测无效应浓度	188
图 9.1	东江流域各河段地表水中锰的风险分布	192
图 9.2	东江流域各河段地表水中铜的风险分布	193
图 9.3	东江流域各河段地表水中镍的风险分布	193
图 9.4	东江流域地表水中污染综合指数评价金属的风险分布	194
图 9.5	东江流域各河段地表水中总砷的风险分布	195
图 9.6	东江流域各河段地表水中总汞的风险分布	196
图 9.7	东江流域各河段沉积物中铜的风险分布	197
图 9.8	东江流域枯水期沉积物中金属的生物有效性风险评价	198
图 9.9	东江流域丰水期沉积物中金属的生物有效性风险评价	199
图 9.10	东江流域各河段地表水中菲的风险分布	200
图 9.11	东江流域各河段地表水中茚并[1,2,3-cd]芘的风险分布	201
图 9.12	东江流域各河段沉积物中菲的风险分布	203
图 9.13	东江流域各河段沉积物中蒽的风险分布	204
图 9.14	东江流域各河段地表水中 γ -六六六的风险分布	208
图 9.15	东江流域各河段地表水中 p,p' -DDD 的风险分布	209
图 9.16	东江流域各河段地表水中甲氧滴滴涕的风险分布	209
图 9.17	东江流域各河段地表水中毒死蜱的风险分布	213
图 9.18	东江流域各河段地表水中三唑磷的风险分布	214
图 9.19	东江流域各河段地表水中整体农药的风险分布	214
图 9.20	东江流域各河段地表水中壬基酚的风险分布	217
图 9.21	东江流域各河段地表水中双酚 A 的风险分布	217
图 9.22	东江流域各河段地表水中雌酮的风险分布	218
图 9.23	东江流域各河段地表水中整体雌激素活性的风险分布	219
图 9.24	东江流域干支流沉积物中整体雌激素活性的风险分布	219
图 9.25	东江流域各河段地表水中邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯的风险分布	222
图 9.26	东江流域各河段地表水中总邻苯二甲酸酯的风险分布	222
图 9.27	东江流域各河段地表水中三氯生的风险分布	226
图 9.28	东江流域各河段地表水中三氯卡班的风险分布	226
图 9.29	东江流域各河段地表水中杀菌剂的整体风险分布	227
图 9.30	东江流域各河段地表水中脱水红霉素的风险分布	228
图 9.31	东江流域各河段地表水中罗红霉素的风险分布	228

图 9.32	东江流域各河段地表水中整体抗生素的风险分布	229
图 10.1	东江流域优控污染物筛选流程	233
图 10.2	东江流域污染源采样点示意图	238
图 10.3	东江流域重点行业排水中溶解态和金属总重的浓度分布	240
图 10.4	铜在东江水系和污染源中的分布特征比较	241
图 10.5	东江流域各地区 6 类重点行业排水中铜的排放量	241
图 10.6	东江流域各地区 6 类重点行业排水中锰的排放量	242
图 10.7	东江流域重点污染行业排水中砷、汞的污染特征	243
图 10.8	东江流域重点行业排水中多环芳烃的分布特征	244
图 10.9	东江流域重点行业排水中多氯联苯的浓度分布	245
图 10.10	东江流域重点行业排水中多氯联苯的分布特征	246
图 10.11	东江流域不同行业排水中多溴联苯醚的分布特征	246
图 10.12	东江流域污染源排水中环境雌激素物质的浓度分布	248
图 10.13	壬基酚在东江水系和污染源排水中的分布特征比较	248
图 10.14	双酚 A 在东江水系和污染源排水中的分布特征比较	249
图 10.15	东江流域各地区 6 类重点行业排水中壬基酚的排放量	250
图 10.16	东江流域各地区 6 类重点行业排水中双酚 A 的排放量	251
图 10.17	东江流域污染源排水中邻苯二甲酸酯的分布特征	251
图 10.18	东江流域重点行业排水中邻苯二甲酸酯的污染特征	252
图 10.19	东江流域各地区 6 类重点行业排水中邻苯二甲酸酯的排放量	252
图 10.20	东江流域重点行业排水中三氯生的污染特征	253
图 10.21	东江流域某印染漂染企业排水中污染物全扫描总离子流图	254
图 10.22	东江流域某造纸企业排水中污染物全扫描总离子流图	254
图 10.23	东江流域某电镀厂排水中污染物全扫描总离子流图	255
图 10.24	东江流域某电镀科技企业排水中污染物全扫描总离子流图	255
图 10.25	东江流域某表面处理企业排水中污染物全扫描总离子流图	256

表 目 录

表 1.1	东江子流域划分情况表	3
表 1.2	东江流域近年来主要监测断面流量表	4
表 1.3	东江流域主要地级市人口分布情况	6
表 1.4	东江流域 1990~2009 年土地利用结构及其变化趋势	7
表 2.1	芳香烃受体效应的毒性当量因子	18
表 2.2	一些化合物的雌激素活性当量因子	19
表 2.3	推导预测无效应浓度所用的评价因子取值	21
表 3.1	检测的 15 种金属污染物的基本性质	28
表 3.2	检测的 16 种多环芳烃的基本性质	32
表 3.3	检测的 21 种多氯联苯的基本性质	33
表 3.4	检测的 19 种有机氯农药的基本性质	34
表 3.5	检测的 27 种多溴联苯醚的基本性质	34
表 3.6	检测的 49 种目前在用农药的基本性质	38
表 3.7	检测的 7 种酚类雌激素物质的基本性质	41
表 3.8	检测的 10 种邻苯二甲酸酯的基本性质	44
表 3.9	检测的 38 种药物与个人护理品的基本性质	46
表 4.1	与东江流域主要监测的污染物相关的工业源化学品	56
表 4.2	东江流域 2009 年化肥使用量	57
表 4.3	东江流域各区域农药年使用量	58
表 4.4	东江流域禽畜养殖化学品使用量及其在东江水体的情况	60
表 5.1	东江流域采样点位基本信息	62
表 5.2	国内外河流、湖泊水体中金属的污染水平	74
表 5.3	国内外河流、湖泊沉积物中金属的污染水平	77
表 5.4	国内外河流、湖泊水体中砷的污染水平	79
表 5.5	国内外河流、湖泊水体中汞的污染水平	81
表 5.6	国内外河流、湖泊沉积物中砷的污染水平	83
表 5.7	国内外河流、湖泊沉积物中汞的污染水平	85
表 5.8	多环芳烃单体相对于苯并[a]芘的毒性当量因子	91
表 5.9	国内外河流水体和沉积物中多环芳烃的污染水平	94
表 5.10	国内外河流水体和沉积物中多氯联苯的污染水平	100
表 5.11	国内外河流水体中有机氯农药的污染水平	106
表 5.12	国内外河流沉积物中有机氯农药的污染水平	107