

王 黎 编著

RISK MONITORING AND EMERGENCY
RESPONSE TECHNOLOGY

IN WATER ENVIRONMENT

水环境

风险监测与应急响应技术

中国环境出版社

水环境风险监测与应急响应技术

王 黎 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水环境风险监测与应急响应技术/王黎编著. —北京:
中国环境出版社, 2014.4

ISBN 978-7-5111-1822-6

I. ①水… II. ①王… III. ①水环境—风险分析—
环境监测 IV. ①X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 076784 号

出 版 人 王新程
责任编辑 孔 锦
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (总编室)
010-67187041 (学术著作图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2014 年 6 月第 1 版
印 次 2014 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.75
字 数 230 千字
定 价 58.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

目前随着社会经济的高速发展,近年来水环境污染事故频繁发生,其中,重大事故时有发生,如2010年匈牙利西部维斯普雷姆州铝厂泄漏,有毒废水并流入流经多国的多瑙河,造成重大生态灾难;美国墨西哥湾原油泄漏事件,造成大量原油泄漏。为预防重大污染事故,减轻其对人和环境造成的危害,确保水环境风险得到高效率和高水平的控制,有必要对现有的水环境风险监测与应急响应技术进行综述。本文介绍了大连输油管道爆炸、紫金矿业污水泄漏等重大突发环境事件处理过程中涉及的理论与技术,阐述了水环境污染事故处置过程中的水环境风险监测与应急响应技术,预测与模拟了水环境污染事故造成的污染物时空分布,为制定事故应变决策提供科学依据,为将水环境污染事故造成的经济社会损失减小到最低限度,预测与模拟水环境污染事故造成的污染物时空分布。全书包括14章,包括水环境污染环境事故的危害指数评价与计算方法、水环境污染环境事故危险源的危险指数评价与计算方法、水环境污染环境事故危险源的调查与评价过程和方法、水环境污染环境事故的预防与污染源的监测和预警方法、流域水环境污染环境事故的监测与应急响应过程、流域水环境污染环境事故的应急措施与污染减缓和恢复流程、污染源—污水厂—河流的流域水环境污染—环境事故的预防和监测过程方法、污染源—污水厂—河流的流域水环境污染环境事故的预防和风险预警方法、重大流域水环境污染环境事故的应急监测技术、污染源—污水厂—河流的流域水环境污染环境事故的处置方法、流域水环境污染环境事故的事故后评价方法、污染源数据库与流域水环境污染环境事故的应急决策支持方法和流域水环境污染环境事故风险预警的神经网络蚁群预测方法等内容。参加编写的还有张嘉治、张洪杰、于洪海、李艳红、刘广、徐景阳、王捷、周芸、刘海娜、吕翔宇、

丛馨、胡宁、孙义、冯小娜、全玮、张佳凤、程诚、刘森等。本书的编写过程中得到了中国环境出版社和全体参编人员的大力支持和帮助，为本书的编写提供了保障，在此深表感谢。本书可作为高等院校环境科学与工程专业高年级本、专科生参考材料，也可供研究生、科研人员和相关的人员参考使用。由于编者水平和时间有限，书中还存在一些不当和疏漏之处，恳请同行专家、学者和广大读者指正。

编 者

目 录

第 1 章 水环境污染环境事故的危害影响判定与计算方法	1
1.1 污染物迁移转化基本方程与危害影响判定	2
1.1.1 污染物迁移转化的基本方程与简化	2
1.1.2 污染带与危害影响	2
1.2 有边界大河中点源瞬时排放的风险预测	3
1.3 事故危害鉴别	3
1.4 事故危害特征值与危害时间估算	4
1.5 结 语	5
参考文献	5
第 2 章 水环境污染环境事故危险源的危险指数评价与计算方法	7
2.1 危险性评价方法	8
2.1.1 评价的定义	8
2.1.2 系统危险性评价方法分类	9
2.1.3 现有的定量评价方法	10
2.2 危险指数评价系统简介	11
2.3 环境污染事故危险源的调查	12
2.4 评价指标体系的建立	12
2.4.1 评价指标体系建立的原则	12
2.4.2 水环境污染致因分析	13
2.5 水体污染型危险源评级模型建立	14
2.6 危险源分级	14
2.7 环境污染事故危险源的分级和评估	15

2.7.1	水环境污染危险性评价	15
2.7.2	危险源评级结果分析	15
2.8	改进的危险指数评价法	15
2.8.1	模型改进	15
2.8.2	评价指标权重 K 的确定	16
2.8.3	指标权重的确定方法概述	16
2.8.4	相对比较法确定一级指标的权重	17
2.8.5	专家咨询法确定二级指标的权重	17
2.8.6	评价指标的量化分析	18
2.8.7	水环境污染危险性评价分值的计算	19
2.8.8	水环境污染危险等级的划分	20
2.9	水污染危险指数法的应用举例	20
2.9.1	饮水污染事故分析	20
2.9.2	饮水污染危险指数的建立	20
2.9.3	饮水污染危险指数的判定标准	21
2.9.4	危险源评级结果分析	21
2.10	结 语	22
	参考文献	22
第 3 章	水环境污染事故危险源的调查与评价过程及方法	23
3.1	水环境污染环境事故危险源研究的现状	24
3.2	水环境污染环境事故危险源的构成要素	26
3.3	调查和评价目的	28
3.4	调查和水环境污染防治法的适用范围	29
3.5	水环境污染环境事故危险源的调查与评价的过程及其评价方法	30
3.6	水污染评价方法	32
3.6.1	综合污染指数法	32
3.6.2	模糊数学法	32
3.6.3	人工神经网络分析法	32
3.6.4	灰色聚类分析法	33
3.7	实例分析	33

3.7.1 评价标准	33
3.7.2 评价分析	33
3.8 结 语	34
参考文献	34
第 4 章 水环境污染事故的预防与污染源的监测和预警方法	35
4.1 水环境污染环境事故预防的方法	36
4.1.1 法律和行政方法	36
4.1.2 水环境污染环境事故预防观念的转变	36
4.1.3 技术手段	36
4.2 水环境污染环境事故预防的措施	37
4.3 污染源的监测与预警	38
4.4 结 语	39
参考文献	39
第 5 章 流域水环境污染环境事故的监测与应急响应过程	41
5.1 突发性水污染事故	42
5.1.1 突发性水污染事故的分类	42
5.1.2 突发性水污染事故的特点	42
5.2 突发性水资源污染事故应急监测过程及比较	43
5.2.1 布点方法	43
5.2.2 采样	44
5.2.3 现场监测	46
5.2.4 采样和现场监测的安全防护	46
5.3 水环境污染事件应急响应过程对比	48
5.3.1 国内突发性水污染事故的应急处理	49
5.3.2 美国突发性水污染事故的应急处理	51
5.3.3 家庭通信系统	52
5.3.4 信息公开	53
5.4 其他国家突发性水污染事故的应急处理	54
5.5 国内水环境污染事故应急响应过程存在问题及建议	54

5.5.1 存在问题.....	54
5.5.2 建议.....	55
5.6 结 语.....	55
参考文献.....	56
第 6 章 流域水环境污染环境事故的应急措施与污染减缓和恢复流程	57
6.1 突发性水污染事故的危害.....	58
6.1.1 威胁生命与健康.....	58
6.1.2 对工农业生产的危害.....	58
6.1.3 造成重大经济损失.....	58
6.1.4 严重破坏生态环境.....	58
6.1.5 带来污染纠纷,造成社会动荡.....	59
6.2 我国水污染应急响应存在的问题及应急原则.....	59
6.2.1 我国环境污染事故应急管理机制现状.....	59
6.2.2 我国环境污染事故应急体系存在的不足.....	59
6.2.3 突发性水污染事件的应急响应原则.....	62
6.3 水污染事故的分类与特点.....	63
6.3.1 水污染事故的分类.....	63
6.3.2 突发性水污染事故的特点.....	64
6.4 制订应急措施.....	64
6.4.1 事故报警.....	64
6.4.2 事故评估.....	65
6.4.3 应急状态宣布.....	67
6.4.4 应急行动.....	67
6.4.5 恢复/重新进入.....	69
6.5 污染减缓和恢复流程.....	69
6.6 后期处理.....	71
6.7 结 语.....	72
参考文献.....	73

第 7 章 污染源—污水厂—河流的流域水环境污染环境事故的预防和监测过程方法	74
7.1 水污染的预防.....	74
7.2 污染源的监测.....	76
7.2.1 采样点的设置.....	76
7.2.2 采样时间和采样频率.....	77
7.3 污水处理厂运行管理及水质检测.....	77
7.4 污染源—污水厂—河流水环境的监测.....	78
7.4.1 用于测定无机污染物的方法.....	80
7.4.2 用于测定有机污染物的方法.....	81
7.5 结 语.....	84
参考文献.....	84
 第 8 章 污染源—污水厂—河流流域水环境污染环境事故的预防和风险预警方法	86
8.1 污染源—污水厂—河流流域系统的水环境污染环境问题.....	87
8.1.1 污染源.....	87
8.1.2 污水处理厂.....	88
8.1.3 河流流域.....	89
8.2 污染源—污水厂—河流流域水环境风险预警框架.....	90
8.3 流域水环境风险预警系统模型.....	92
8.3.1 改进 LMBP 模型.....	92
8.4 流域水环境风险预警系统与突发性水污染事故预警.....	95
8.5 结 语.....	95
参考文献.....	96
 第 9 章 重大流域水环境污染事故及其应急处置技术	97
9.1 应对突发性水污染事故中存在的问题.....	98
9.1.1 相关法律法规不完善.....	98
9.1.2 缺乏及时、准确的报告系统, 信息渠道不畅通.....	98
9.1.3 事故处置不及时.....	99

9.1.4 缺乏有效的应急处理机制	99
9.2 水环境污染事故的应急处理概述	99
9.3 含苯物质环境污染事故事件的应急处置对策	100
9.4 重金属污染事件和应急处置技术	101
9.4.1 污染事故与应急控制	101
9.4.2 应急混凝与 pH 控制	102
9.4.3 应急混凝剂种类与选取	103
9.4.4 应急 pH 调整药剂与选取	103
9.4.5 水源水微超标应急处理工艺	103
9.5 结 语	105
参考文献	105
 第 10 章 污染源—污水厂—河流的流域水环境污染环境事故的处置方法	106
10.1 突发性水污染事故分类	107
10.2 突发性水污染事故的特点	108
10.2.1 不确定性	108
10.2.2 流域性	108
10.2.3 处理的艰巨性和影响的长期性	108
10.2.4 应急主体不明确	108
10.3 污染源—污水厂—河流的流域水环境污染环境事故的处置程序	109
10.4 水污染事故的应急控制措施	110
10.5 水环境污染事故危害影响的判定分析	111
10.6 水污染事故应急监测过程中应注意的问题	114
10.7 结 语	115
参考文献	116
 第 11 章 流域水环境污染事故的事故后评价方法	117
11.1 突发性水环境污染事故的特征	117
11.2 突发性水环境污染事故的分类	118
11.3 事故后水流域环境污染评价	118
11.4 事故后水质污染源分析	119

11.5 突发性水污染事故预警模型与事故后分析	119
11.6 事故后污染源影响再评价	120
11.7 突发性水污染事故后应急处理评价	121
11.8 结 语	122
参考文献	122
 第 12 章 污染源数据库与流域水环境污染环境事故的应急决策支持方法	123
12.1 污染源数据库的概述	124
12.2 建立污染源数据库的目的	124
12.3 污染源数据库建立与 GIS/ECDIS、AIS 和 ES 技术简介	124
12.3.1 地理信息系统/电子海图显示与信息系统 (GIS/ECDIS)	125
12.3.2 船舶自动识别系统 (AIS)	125
12.3.3 全球定位系统 (GPS)	125
12.3.4 全球移动通信系统 (GSM)	125
12.3.5 ES 专家系统	126
12.3.6 GIS/ECDIS、AIS 与 ES 集成系统的实现	126
12.4 流域水环境污染事件的探索	127
12.5 突发性水污染事故特点	127
12.5.1 不确定性	127
12.5.2 流域性	127
12.5.3 影响的长期性和处理的艰巨性	127
12.5.4 应急主体不明确	128
12.6 分析具体水环境概况	128
12.7 某水域突发性水污染事故应急体系构建	128
12.7.1 基本思路	128
12.7.2 风险源识别管理与数据库构建	128
12.7.3 突发性水污染事故预警体系构建	130
12.7.4 突发性水污染事故应急监测	131
12.8 结 语	132
参考文献	132

第 13 章 流域水环境污染环境事故风险预警的神经网络蚁群预测方法	134
13.1 基本蚁群算法.....	135
13.1.1 蚁群算法原理.....	135
13.1.2 蚁群算法数学模型.....	136
13.2 蚁群径向基函数网络.....	137
13.2.1 蚁群算法与径向基函数网络的融合策略.....	137
13.2.2 基于蚁群算法的径向基函数网络优化训练.....	137
13.3 人工神经网络.....	138
13.3.1 BP 神经网络算法原理.....	139
13.3.2 径向基函数神经网络模型.....	140
13.4 一种基于蚁群算法的径向基网络.....	143
13.4.1 蚁群聚类算法.....	143
13.4.2 隐层单元结构的调整.....	145
13.4.3 基于蚁群算法的径向基网络.....	146
13.5 结 语.....	147
参考文献.....	147
第 14 章 环境应急监测技术概述	149
14.1 环境应急监测的现状.....	149
14.1.1 国外环境应急监测技术的进展.....	150
14.1.2 我国环境应急监测工作的发展.....	150
14.2 环境应急监测体系和环境应急监测技术方案.....	151
14.2.1 建立应急监测体系.....	151
14.2.2 环境应急监测技术方案.....	151
14.2.3 环境应急监测的作用.....	152
14.2.4 环境应急监测的特点.....	152
14.3 突发性环境事件应急监测的主要技术.....	153
14.3.1 各类突发环境事件的监测特点.....	153
14.3.2 快速应急监测技术.....	154
14.4 结 语.....	157
参考文献.....	158

附录 A.....	159
附录 B.....	167
附录 C.....	181
附录 D.....	191
附录 E.....	194
附录 F.....	195
附录 G.....	196
附录 H.....	198
附录 I.....	199
附录 J.....	201

第 1 章

水环境污染环境事故的危害影响判定与计算方法

摘要：本章针对频发的突发性水污染事故，阐述了在风险预警系统建立的基础上，如何依据水体中污染物迁移转化基本方程进行合理简化和数学推导，得出用于鉴别环境危害状态、表征环境危害程度、描述事故危害等级、估算事故危害区范围和危害时间的风险评估模式。该模式可为环境风险管理以及突发性环境污染应急预案的制定提供科学依据。

关键词：突发性事故 环境污染风险 危害区域 危害时间

近年来水污染事故频繁发生。国际方面重大事故前言中已经介绍，小事故则难以计数，多数原因是由内河运输化肥、农药、石油及其他有害化学物品的船只，以及沿岸化工企业的储存容器等失事造成的。国内方面，继柴油入黄、大连“7·16”输油管道爆炸、紫金矿业污水泄漏，发生多起重大突发环境事件。据不完全统计，在 20 世纪末的 20 年间，我国城乡因水环境事故性污染造成的灾害的事例达数百起。水污染事故不仅造成人身财产损失，而且造成许多环境灾害问题。多数河流既是内河运输的航道，也是沿岸城市、企业以及乡镇的水源地。一旦河流上游发生水污染事故，下游沿岸城乡供水系统和水生态环境将受到严重损害。为了预防和控制这种潜在的水环境风险，准确地预测水体中污染物的迁移和扩散情况是非常必要的。在多种预测方法中，由于数学模型法具有的特点，使它成为风险预测与评价的主要方法。随着水质模型研究的深入，国际上已经有很多成熟的水质模型软件：如美国环保局（USEPA）推荐的适用于一维的 QUAL II，WASP；丹麦水动力研究所（DHI）开发的适用于二维的 MIKE21 等。但这些模型需要输入众多参数，分析工作量很大，对于突发性环境污染事故进行危害评价存在较大难度。本书通过对水体中污染物迁移转化基本方程作合理简化与数学推导方法，得出用于鉴别环境危害有无、表征环境危害强弱、描述事故危害情况、估算事故危害区大小和危害时间长短

的风险评估模式。

1.1 污染物迁移转化基本方程与危害影响判定

1.1.1 污染物迁移转化的基本方程与简化

任何排入水体中的污染物都满足根据质量守恒推导出来的迁移转化基本方程：

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} + u_y \frac{\partial c}{\partial y} + u_z \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + \sum S - kc \quad (1-1)$$

式中, c 为河流中污染物质量浓度, mg/L ; t 为时间, s ; k 为降解系数, s^{-1} ; x, y, z 为纵向、横向和垂向距离, m ; u_x, u_y, u_z 为水流在 x, y, z 方向的速度分量, m/s ; D_x, D_y, D_z 为 x, y, z 方向湍流扩散系数, m^2/s ; $\sum S$ 为内部所有源和汇的总和, $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ 。

对于污染物迁移转化基本方程 (1-1), 在以下假设下可以简化为式 (1-2) 的基本形式: ① 不考虑其他支流污染物的汇合和分散, 只考虑单一的瞬时排放源。② 不考虑泥沙夹带效应的损失。③ 不考虑垂向上污染物浓度变化 (即假设 z 方向上浓度梯度为零)。④ 不考虑横向流速 (即令 u_y 近似为零)。

简化后的水质基本方程变为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - kc \quad (1-2)$$

简化基本方程的应用分类: 按维数分为一维河流水质模型和二维河流水质模型 (一维水质模型适用于小河, 二维水质模型适用于较大河流考虑横向弥散), 按排放源的特征分为点源瞬时排放和点源连续排放。本书重点考虑点源瞬时排放到较大河流, 同时考虑岸边反射的二维河流水质模型。

1.1.2 污染带与危害影响

污染带一般定义为: 排放口附近环境水域某污染物浓度高于该水体环境功能要求的水质标准的区域。这种方法把污染带范围和环境水质标准紧密地联系在一起, 有利于环境水质控制。

(1) 事故危害鉴别。在距事故源下游某控制断面 X_0 处, 要防止发生某级危害 (由浓度阈值 C_s 确定, mg/L), 则事故排放量必须小于某一阈值, 即 $M \leq M^*$ 。由物理概念可知, 在控制断面 X_0 处, 污染物浓度最大发生在 $t = X_0/u$ 时。 M^* 可以事先计算得出, 是特定污染物在特定环境条件下的环境风险临界值。 M 根据事故现状分析, 一经确定便可以作为该事故的环境危害鉴别与确定标准, 据此以采取相应对策。

(2) 事故危害特征值估算。① 污染水团中心浓度大于某级危害阈值浓度的总时间 (T_M) 为事故危害最长时间。② 污染水团浓度大于某级危害阈值浓度的范围, 它是时间 (t) 的函数, 在 $t=\tau$ 时出现最大。由此可求出危害区最大纵向半径 R_{xm} , 危害区最大横向半径 R_{ym} 及其出现的位置 x_m 。③ 在水速为 u 时, 受事故排放污染团危害的河段总长度 $X_M = uT_M$, 即污染团最大危害长度 X_M 。

(3) 事故排放造成的各断面危害期估算某控制断面上超过某浓度所经历的时间 $\Delta T = t_2 - t_1$, 其中 t_2 为污染团块后部离开的时间, t_1 为污染团块前部到达的时间。

1.2 有边界大河中点源瞬时排放的风险预测

发生在有边界大河中的瞬时点源事故排放, 必须同时考虑污染物的横向扩散作用与两岸对污染物的反射。设事故点源排放位置在距近岸距离为 b 的地方, 河宽为 B , 若只考虑一次反射, 则根据简化的水质基本方程推得:

$$C(x, y, t) = \frac{M}{4\pi h \sqrt{D_x D_y t}} e^{-\frac{(x-m)^2}{4D_x t}} \left[e^{-\frac{y^2}{4D_y t}} + e^{-\frac{(2b+y)^2}{4D_y t}} + e^{-\frac{(2B-2b-y)^2}{4D_y t}} \right] e^{-kt} \quad (1-3)$$

式中, C 为河流中污染质量物浓度, mg/L ; M 为事故瞬时排入河流的污染物量, g ; x 为纵向距离, m ; y 为横向距离, m ; D_x 为河流纵向弥散系数, m^2/s ; D_y 为河流横向弥散系数, m^2/s ; u 为河流平均流速, m/s ; t 为时间, s ; B 为河流宽度, m ; b 为近岸距离, m ; h 为河流平均水深, m ; k 为降解系数, s^{-1} 。

1.3 事故危害鉴别

当河流中污染物背景浓度为 C_h 时, 要使 (x, y) 处 t 时刻受到 C_s 的危害, 则事