



旅游开发地生态风险 评价与对策研究

唐代剑 文军 著

前 言

由于人口增长与资源紧缺,目前世界各国关于发展与保护之间的矛盾突出,尤其是发展中国家,这种矛盾更加尖锐。忽视保护的发展加大了对生态环境的破坏,加剧了物种灭绝的速度,生态环境和生物多样性正面临着前所未有的挑战。中国是世界上生物多样性特别丰富的少数几个国家之一,在全球生物多样性保护中占有举足轻重的地位,同世界许多国家一样,中国许多区域包括旅游开发地也面临着生态环境退化和破坏的现象。

生态风险评价是目前国内外学术研究的前沿与热点领域,区域生态作为区域内自然因子、生物因子和社会因子的复合系统,是区域内各种生物有机体的载体,是物质和能量的供应者,也是人类赖以生存和发展的基础。保持生态系统健康、维护生态系统良性循环是区域可持续发展的核心。近年来,在区域经济发展的同时,由于自然、社会以及人为等因素的影响,引发了一系列生态问题,如种群或物种生境的破坏、生物多样性的改变、生态系统服务功能的降低等,造成物种灭绝的速度加快、水污染加剧、土地生产力退化、沙漠侵蚀、全球气候变暖、森林生产力的降低等。因此,生态风险研究是一个具有普遍性意义的问题。正确及时地对生态系统中存在的风险进行预测、评价和管理,对于维护生态系统功能、减少生态系统损伤以及保持区域可持续发展都具有重要的现实意义。目前,关于生态风险的评价和预警工作刚刚起步,由于生态风险的复杂性和监测数据的不足,大多数评价只局限在定性或粗略分析的层次上,在不同尺度上的定量研究基本上还处在探讨阶段。

在浙江省杭州市,随着旅游经济的进一步发展,旅游开发的力度大大增强,尤其是“两江一湖(新安江、富春江和千岛湖)”区域旅游开发更是迅速增长。旅游开发造成的环境破坏和污染,加上工矿企业的

排污,给杭州市的生态环境保护带来了巨大压力。随着杭州市社会经济的迅速发展,“两江一湖”区域的旅游开发力度在逐年增加,对自然资源与环境的破坏也日益加重,严重地影响了“两江一湖”区域的旅游可持续发展,对“两江一湖”区域进行生态风险评价和风险管理研究具有重大的理论价值和现实意义。

本书是在杭州市旅游委员会的支持下,主要针对“两江一湖”旅游开发地的合理开发、科学管理与决策、系统规划和生态风险评价的实际需要而进行。本书以杭州市“两江一湖”区域为研究对象,综合“两江一湖”的自然环境、社会经济、环境质量及污染源现状调查结果,系统地分析了“两江一湖”旅游开发地区域的生态风险,为实现区域开发与环境的可持续发展提供指导,也为相关管理部门,尤其是旅游管理部门科学开发“两江一湖”提供了依据。我们认为只有充分认识区域生态风险、加强风险管理,才能保护好旅游开发地的生态环境,优化区域经济环境,保障经济效益、社会效益和生态效益协调发展。

本书主要针对“两江一湖”旅游开发区域存在的植被破坏、生境破碎和片断化等胁迫因子进行研究,依据杭州市具体的区域条件和生态环境保护目标,确定“两江一湖”生态风险的具体评价终点,其研究成果对我国其他大型水域开发的风险评价和风险管理也有较大科学参考价值。

对“两江一湖”流域的生态风险评价,由于存在整个流域系统的规模庞大以及技术发展水平等因素,对系统现状或演化趋势的分析与实际情况难免会出现一定程度的偏差。对“两江一湖”流域生态风险评价的不确定性来源主要有数据代表性、空间分异特征、分析手段与模型误差、其他风险压力来源以及知识缺乏等方面。此外,由于本书涉及的领域较多,加上作者水平有限,不当之处在所难免,敬请学界同仁批评指正。

目 录

第一篇 生态风险评价研究综述及区域旅游业开发现状

第一章 生态风险评价研究综述..... 1

1 生态风险评价研究的回顾及展望 2

1.1 生态风险评价的基本概念、类型、方法及特点 2

1.2 生态风险评价的研究现状、实例、重点、难点、趋向及存在问题 6

1.3 生态风险评价过程简介..... 16

1.4 生态风险评价的研究方法..... 33

2 生态风险管理..... 37

2.1 生态风险管理的定义..... 37

2.2 生态风险评价(ERA)与生态风险管理(ERM)的关系..... 38

第二章 “两江一湖”区域及其周边旅游业开发现状研究 39

1 千岛湖区域旅游业开发现状..... 39

1.1 千岛湖区域人文环境..... 39

1.2 旅游资源..... 41

1.3 千岛湖区域的旅游特色..... 45

1.4 千岛湖区域的旅游业发展概况..... 46

1.5 千岛湖区域的旅游服务业状况..... 48

2 新安江、富春江区域旅游开发现状	51
2.1 区域背景	51
2.2 区域旅游开发现状	52
3 “两江一湖”区域旅游业开发中存在的问题与制约因素分析	58
3.1 制约因素分析	58
3.2 旅游资源开发中存在的问题	59

第二篇 千岛湖旅游开发地区生态风险评价

第三章 千岛湖旅游开发地区域环境质量现状评价与分析	61
1 区域环境现状	61
1.1 自然生态环境	61
1.2 社会环境	70
2 环境质量现状评价与分析	74
2.1 大气环境质量现状评价	74
2.2 千岛湖区域水体环境质量现状评价	84
2.3 千岛湖区域环境噪声现状评价与分析	104
2.4 千岛湖区域主要环境问题	107
第四章 千岛湖旅游开发地区域生态风险评价	109
1 区域生态风险介绍	109
2 问题规划	114
3 问题形成	117
3.1 区域基本概况	117
3.2 评价终点	118
4 风险源的识别与描述	123
4.1 旅游业	124
4.2 生物风险源	138

4.3	工业风险源	139
4.4	城镇化	145
4.5	农业	147
4.6	畜牧养殖与水产养殖业	151
4.7	林业	157
4.8	城市污水	160
4.9	非法捕猎和对资源的过度利用	161
4.10	突发性灾害	163
4.11	大气沉降	167
4.12	外来风险源和其他人为灾害	170
4.13	生态系统动力学	174
5	概念模型	188
6	分析计划	189
7	风险分析	192
7.1	水质分析	192
7.2	底泥重金属污染分析	212
7.3	酸雨分析	223
7.4	氮、磷风险预测模型	240
8	不确定性分析	245
8.1	数据代表性	246
8.2	空间分异特征	246
8.3	模型误差	247
8.4	其他风险压力来源	247
8.5	知识缺乏	248

第三篇 “新安江、富春江”生态风险评价

第五章 “两江”区域生态环境与资源现状	249
1 建德市资源与环境现状分析	249

1.1	自然资源现状	249
1.2	社会与经济状况	251
1.3	建德市环境质量现状评价与分析	254
2	桐庐县资源与环境现状分析	263
2.1	自然资源现状	263
2.2	社会与经济环境	266
2.3	桐庐县环境质量现状评价	268
3	富阳市资源与环境现状分析	271
3.1	自然资源现状	271
3.2	社会与经济环境	280
3.3	富阳市环境质量现状评价	283
第六章 “富春江、新安江”区域生态风险评价		292
1	区域界定与分析	292
1.1	区域背景	292
1.2	区域特征分析	292
2	受体分析	294
3	风险源分析	296
3.1	富阳市工业企业污染风险源	297
3.2	建德市工业企业污染源	300
3.3	桐庐县风险源分析	303
4	暴露和危害分析	305
4.1	环境污染风险源对人体健康的危害分析	306
4.2	环境污染风险源对区域生态环境的危害分析	308
4.3	“新安江—富春江”两江水环境质量分析	310

第四篇 “两江一湖”旅游开发地区域 生态风险管理研究

1	风险管理概述	324
---	--------------	-----

1.1	风险管理的理论基础	324
1.2	风险管理的原理	327
2	生态风险管理概述	338
2.1	生态风险管理	338
2.2	生态风险管理的原则	340
2.3	生态风险管理中风险评价方法	341
2.4	生态风险管理中存在的争论	346
2.5	不同国家生态风险管理的异同	347
2.6	生态风险管理中的合作	347
3	“两江一湖”旅游开发地区生态风险管理	348
3.1	“两江一湖”旅游开发地区生态风险管理现状	348
3.2	“两江一湖”区域生态风险管理存在问题分析	352
3.3	“两江一湖”旅游开发地区风险管理目标	356
3.4	“两江一湖”区域生态风险管理的意义	357
4	“两江一湖”旅游开发地区生态风险管理对策	360
4.1	农业管理	360
4.2	畜牧水产管理	365
4.3	林业管理	369
4.4	城镇管理	376
4.5	工业“三废”及噪声管理	379
4.6	旅游管理	382
4.7	对外来生物的管理	385
4.8	灾害风险管理	388
4.9	流域管理	394
4.10	酸雨管理	400
4.11	综合管理	404
5	“两江一湖”旅游开发地生态风险管理技术	408
5.1	农业生态风险管理技术	409
5.2	畜牧养殖业风险管理技术	412
5.3	水产养殖风险管理技术	415

5.4 林业风险管理技术	419
5.5 城镇风险管理技术	420
5.6 旅游风险管理技术	422
5.7 工业风险管理技术	425
5.8 外来生物风险管理技术	428
5.9 流域风险管理技术	431
5.10 酸雨风险管理技术	437
5.11 灾害风险管理技术	439

附 录

参考文献	443
参考资料	482
后 记	484

第一篇 生态风险评价研究综述 及区域旅游业开发现状

第一章 生态风险评价研究综述

区域生态系统作为区域内自然因子、生物因子和社会因子的复合系统,是区域内各种生物有机体的载体,是物质和能量的供应者,也是人类赖以生存和社会发展的基础。保持生态系统健康、维护生态系统良性循环是区域可持续发展的核心。近年来,随着科学技术的进步,在区域经济发展的同时,由于自然、社会以及人为等因素的影响,引发了一系列生态问题。如种群或物种生态环境的破坏、生物多样性的改变、生态系统服务功能的降低等。具体则表现为物种灭绝的速度加快、水污染加剧、土地生产力退化、沙漠侵蚀、全球气候变暖、森林生产力的变化等。因此,生态风险是一个具有普遍性意义的问题。正确及时地对生态系统中存在的风险进行预测、评价和管理,对于维护生态系统功能、减少生态系统损伤以及区域可持续发展都具有重要的现实意义。目前,关于生态风险的评价和预警工作刚刚起步^[1],由于生态风险的复杂性和监测数据的不足,大多数评价只局限在定性或粗略分析的程度上,在不同尺度上的定量研究基本上还处在探讨阶段^{[2]~[19]}。

1 生态风险评价研究的回顾及展望

1.1 生态风险评价的基本概念、类型、方法及特点

1.1.1 风险的概念及特点

风险是指一种可能性,主要指不利事件或不希望事件发生的可能性。^[1]风险具有预测性质,它不仅对已经发生事件或结果的概率分析,而且要预测不利事件可能发生的概率,或可能性有多大(称为“风险概率”, P);不幸事件发生后造成的损害称为“风险后果”(D)。有人曾将风险定义为两者的积,即 $\text{风险} = \text{风险概率} \times \text{风险后果}$ 。风险有两重性质,即具有发生(或出现)人们所不期望后果的可能性,即危害性;也具有不确定性或不肯定性特征^{[20]~[23]}。

1.1.2 生态风险的概念、成因及特点

所谓生态风险是指一个种群、生态系统或整个景观的生态功能受到外界胁迫,从而在目前和将来一个或多个不良的生态影响发生或正在发生的概率及其严重后果(损失)。它可定量表示为 $R=f(P, C)$ 。其中 P 为不良事件发生的概率; C 为不良事件可能造成的损失,即生态风险。

生态风险的成因包括自然的、社会经济的和人们生产实践的诸种因素。^[22]当前,生态风险问题在自然资源综合开发中尤为突出,如自然资源的保护性利用中,资源贮量耗损率、资源利用方式与对策、资源人格和投资形式等的确定,都是在信息不完全的基础上进行决策,因而需要进行风险决策分析。不确定性和危害性是生态风险的两个根本属性。

1.1.3 风险评价

风险评价是对人类活动或自然灾害不利影响的大小或可能性的评价。一般来说,风险评价是一种系统过程,即估算由于出现一些系统失误,或一些类型的危害,在整个失误系统范围内的所有重要的风险因子的后果,这种后果可能导致特定形式的系统反映或系统危害。

随着环境科学发展到一定的阶段,生态风险评价作为其必然产物,为适应环境保护的需要而产生。在环境科学范畴内,风险评价可分为生态风险评价和健康风险评价。近年来,由于人们对生态系统的日益关注,生态风险评价迅速发展,成为环境保护的前沿科学。^{[20]~[37]}

1.1.4 生态风险评价的概念及类型

生态风险评价(Ecological Risk Assessment)起源于为保护人类免受化学暴露(Chemical Exposure)的威胁而进行的人类健康评价(Human Healthy Assessment)和污染物对生态系统或其中某些组分产生有害影响的环境健康评价。^{[20]~[25]}通过测定半致死剂量来确定有机体对毒物的反映是生态风险评价最初常采用的计量手段。考虑到环境波动和生态环境破碎化对物种灭绝的影响,生态学家将生态风险对物种的可续存性进行评价^[39];环境工作者则将生态风险应用到区域健康评价和工程建设对环境影响评价。^{[1]~[19], [40]~[42]}随着风险理论的发展和生态问题日益突出,一些研究者则试图利用风险管理的理论和方法对生态系统面临的各種风险进行综合评价。一般地,要综合评价生态系统面临的风险需要大量长期监测的数据,很多工作都基于这一概念进行理论探讨。风险作为一种不确定性的危害,是用事件概率来描述的,能够识别主要风险源及其概率分布,就可以对总体风险进行评价。

生态风险评价的主要对象是生态系统或生态系统中不同生态水平的组分。生态风险评价的定义是研究一种或多种胁迫因子形成或可能形成的不利生态效应的可能性的过程(美国环保局(USEPA),1992)。^[21]其中“可能性”指风险描述可以是定性判别或定量概率。“不利生态效应”指生态风险评价涉及对生态系统的有价值的结构或功能特征的人为改变(或有危害趋势)。当然,“不利”的定义依赖于环境。“形成或可能形成”是指生态风险评价可以预测未来风险,也可以回顾性地评价已经或正在发生的生态危害。“一种或多种胁迫因子”是指生态风险评价可以追溯单一或多重化学、物理、生物学胁迫因子。胁迫因子是一种可能产生不利效应的化学的、物理的、或者生物的作用因子。如果没有暴露,也就没有危险。暴露是指

有机体或者生态系统的组成成分(也称为受体)必须与胁迫因子联系或共同发生,这样胁迫因子和任意效应之间就有了联系。生态风险评价考察胁迫因子和效应间联系的强度。虽然不能总是去做统计预测,但风险表征确实包括一些效应多大程度会发生或观察到的效应和特殊胁迫因子间关系的表述。生态风险评价确定进入生态系统的污染物的可见或期望效应的性质、数量和变化或持续时间,涉及到如下因子:①生态环境丧失;②种群数量减少;③生态系统结构和功能的改变等。

生态风险的评价类型多种多样,其技术程序也具有可变性。一般说来,有回顾性生态风险评价、生态系统的风险评价、监视性生态风险评价或生物安全性风险评价。具体说来,回顾性生态风险评价是风险事件发生在过去或正在进行,它的特点是评价毒理学试验数据必须结合污染现场的生物学研究结果,而且现场数据有时对问题的形成和分析会起重要的作用。生态风险评价需要在时间和空间上综合毒性效应,并且往往评价的重点集中在系统的耐性和恢复能力上。监视性风险评价是通过对环境关键组分的监视性监测而分析生态质量的趋势。它不仅可以发现风险,而且有助于防范风险。生物安全性风险评价起源于外来生物的风险评价,现在已扩大为对现代生物技术的环境释放进行分门别类的风险评价。^[21]

按风险产生的原因,可将生态风险分为三类:生物工程引起的生态风险、生态入侵引起的生态风险、人类活动引起的生态风险。以上的生态风险会对环境和/或人类健康产生影响(李国旗等,1999;韩丽等,2001)。

1.1.5 生态风险评价的方法

最近,主要与环境监测和评价相关的EPA实验室的副主任概括了生态风险评价的五种基本的方法:动物毒性法、生态健康法、模拟法、专家判断法和政治过程或混合法(Lackey,1994)。最近更多的生态风险评价工作结合了这五种方法中的几种。第一种生态风险评价方法:动物毒性法,它以健康风险评价为基础,目前有许多生态学家已经指出它在风险评价中的有限性以及一系列问题。第二种方法:生

态健康方法,一种对有限性做出反应的方法,它依赖于生态健康和与人类健康有关的大范围的类似问题。动物毒性法和生态健康法是目前生态风险评价中占优势的两种方法。第三种方法:模拟法,结合了许多模型,从系统方法到不同的生态指示剂。第四种方法:专家判断法也未能有明显的方法集,但是用到了许多评价类型。同样地,第五种方法政治过程法不是一种首要的生态风险评价的科学方法,但它是一种重要的政治方法。

1.1.6 生态风险评价的特点

生态风险的评价需要跨学科的知识与技术,它以计算机、数学模型为工具,综合生态学、生物学、卫生学、毒理学、统计学、水文学、地理学、地质学、气象学、化学、物理学、力学、数学、社会学、经济学等几乎所有自然科学和部分社会科学有关的内容、成果、先进方法的分析研究阶段。生态风险评价的目的是使用有效的毒理学与生态学信息估计有害的生态事件发生的可能性。生态风险评价除了具有一般意义上的“风险”涵义外,还有不确定性、危害性、内在价值性、客观性。其中不确定性是指生态系统具有哪种风险和造成哪种风险的灾害(即风险源)是不确定的;^{[43]~[47]}生态系统关注的事件是灾难性事件,其危害性是指这些事件发生后的作用效果对风险承受者(指生态系统及其组分)具有的负面影响。虽然某些事件发生后可能对风险承受者产生有利的影响,但风险评价并不考虑这些正面影响。生态系统中物质的流失或物种的灭绝必然会造成经济损失,但生态系统本身的健康、安全和完整更为重要,这就是生态系统的内在价值性。任何生态系统都不可能是封闭的和静止不变的,它必然会受诸多具有不确定性和危害性因素的影响,也就必然存在风险。生态风险对于生态系统来说是客观存在的。

ERA有几个特点可方便管理者做出有效的环境决策:它能提供新的信息;暴露于胁迫因子时作为变化的函数,它能表达效应的变化;它集中于特殊的管理问题,这使得它能很容易地获得决定管理行为是否有效的成功方法;它详细地评价了不确定性;它被用来比较、排序和优化风险并能提供成本效益和节省成本分析的数据;它考虑

了在问题形成中的管理目标和对象及科学问题,这帮助证明了结果对风险管理者有用。

在生态风险评价中,要特别注意保护生物多样性和生态完整性。^[48]为达到这一目的,需要更多的注意所有生态区和生态系统。然而,资源有限时,就会丧失最多生物多样性的生态系统在保护行动中应有明确的优先级。环境保护部门应该将数据公开,这些数据代表了最复杂的信息,它收集了带给生物多样性的风险,设立了风险管理的优先级。从事保护行动的其他类别的部门和组织(获取土地,生态系统的管理,恢复等)能用这些相同的数据决定他们所强调方面的优先级。在高风险生态系统中,进行风险管理的第一步是回答与资源的胁迫因子特征、暴露特征和生态效应相关的问题。仔细的选择关键种对回答这许多的问题是有帮助的。最终,最有成就的风险管理将是描述生物组织几个层次上(从关键种到群落到生态区)最紧迫的风险(尤其是生态环境的改变和外来物种的入侵)。

1.1.7 生态风险评价的用途

ERA 有三个主要用途:(1)预测未来的负效应(例如,远景,预测一种新设备的排放效应);(2)评价一种资源以及什么因素可能影响它(或许是针对保护的努力);(3)决定什么可能引起观察到的效应(如,回顾,决定需要什么清洁行动)。一种个体的评价可能结合着方法。例如,一种指定评价为什么两栖类种群已下降的回顾性 ERA 可能也被用来选择或优化未来的管理行为。风险评价者可能结合回顾性和前景性的方法,生态风险既有先前一段影响的历史,也有未来潜在效应的考虑。

1.2 生态风险评价的研究现状、实例、重点、难点、趋向及存在问题

1.2.1 生态风险评价的研究现状

目前的生态风险评价大概分为几个模式:美国模式、欧盟模式及其他。美国的生态风险评价从两个不同层面上发展。一个是科学研究层面,另一个是与环境管理密切关联的技术应用层面。^[49]

Suter^{[50]~[53]}和 Battell(1992)等科学家为生态风险评价的应用提供了全面的理论基础和技术框架。第二个层面是以美国环保局(USEPA)及所属的有关管理机构和相关实验室进行的生态风险评价技术框架和具体应用实例研究。它于1998年正式颁布了生态风险评价指南(63FR26845—26924, 1998)。当前美国已将生态风险评价的研究重点放在生态系统对环境干扰的敏感性上。

欧盟的生态风险评价科学研究是在新化学品评价的基础上发展起来。为了避免生态目标受到不可接受的危害,它对工业活动的生态危害评价法律规定了一系列基本数据提交的要求。欧盟国家在应用上集中于:①发展更实用的污染物排放估计方法;②针对评价数据参差不齐的现状,开发专业、简便的数据判断方法;③逐步发展亚急性效应和慢性效应在生态风险评价中的应用,对高残留、高生物有效性的物质予以特别关注。Esa Ranta 等以濒危种群 Saimaa 环斑海豹为例进行了生态风险理论技术和实际应用方面的研究,指出水位变化和人类的捕获所造成的幼海豹的死亡数目已远远超过安全限度。^[39]

其他国家诸如中国还处于起步阶段。由于这是一门新技术,又具有实用性,所以还有待在实践中去不断创新、完善。希望能够建立起既符合国际惯例,又能结合本国实际科学技术水平的生态风险评价模式。在生态风险评价技术上,中科院及省一级环保研究机构都能执行有简单危害评价技术的生态风险评价任务,有些地、市级也能执行此类任务。沈韞芬(1990)、沈英娃和曹洪法(1991)、殷浩文(1995, 1995, 1997)、殷浩文和赵华青(1995)都从生态风险评价理论和技术程序方面作过不同层面的研讨。

1.2.2 生态风险评价的研究实例

国外的研究实例有:Y. Iwasa(2000)等得到了一个逻辑斯谛(logistic)增长种群的平均灭绝时间的公式,环境的和统计学的随机性可用一个随机微分方程模型来表示。并从时间系列数据上得出了三个参数(内禀增长率 r , 容纳量 K , 和环境随机性 C^2)的极大似然估计。通过上述数据和公式,我们可以对种群灭绝的生态风险加以管理。^[54]Bruce K. Hope(2000)描述了综合相对简单的方法来执行种

群层次的生态风险评价的一个可行的过程。这个过程包括:(1)确定单个受体暴露的分布和某一污染物的毒性参考值,或作为点值或分布;(2)估计当地种群内这些受体的丰富度;(3)估计暴露超过毒性参考值的单个受体的概率;(4)估计当地种群内可能出现大于时间的10%,暴露高于毒性参考值的单个受体的数值;(5)确定这个数值是否大于整个当地种群的20%。^[55]Lammert等(2001)提出了在河漫滩的生态风险评价中,通过结合地理信息系统(GIS)和估计漫滩最敏感物种暴露的模型来并入空间组分这一过程。^[56]Victor(2002)描述了流域方法的要素、生态风险评价的过程及怎样合并这两部分。并认为流域生态风险评价的三个主要原则是:(1)用评价终点和概念模型;(2)在科学家和管理者之间进行定期的讨论;(3)形成一个多胁迫因子分析的核心。^[57]目前,我们大多考虑毒性的直接效应。然而Benjamin(2002)指出毒性的间接效应可能也是重要因子,它影响生态系统结构和功能对人为胁迫因子做出反应的方式,未能将间接效应纳入评价过程可能是风险评价中不确定性的一个重要的来源。作者对实验室及整个生态系统间接效应的研究进行了回顾并讨论了间接效应对生态风险评价的意义。^[58]Ryan(2003)提出了将生物评价与生态风险评价综合用于得到水质标准的数值方法。作者提供了得到潜在生态阈值的一般化方法——用集合层次的属性和多度量指数(生物综合指数——IBI)作为对水质数字变化反应的终点。为解释这种方法,作者使用了现有大型无脊椎动物和表层水总磷(TP)数据。^[59]

国内的研究实例有:周启星、王如松(1998)进行了城镇化过程中生态风险评价的研究,认为在小城镇发展或城镇化过程中具有一定的人类生态风险。^[41]李自珍和何俊红(1999)对生态风险评价与风险决策模型进行了理论上的研究,并以河西走廊荒漠绿洲开发为例阐述了其应用。^[60]徐镜波、王咏(1999)在生态风险评价一文中提供了一套风险评价的生态系统指标体系。^[24]曾辉、刘国军(1999)对基于景观结构的区域进行了生态风险分析。^[4]刘文新、栾兆坤、汤鸿霄(1999)对乐安江沉积物中金属污染的潜在生态风险,^[61]何孟常、王