

HUANGHE SHANGYOU TIJIKAI FA DE SHENGTAI
HUANJING FENGXIAN FENXI FANGFA YANJIU

黄河上游梯级开发的生态与 环境风险分析方法研究

胡德秀 周孝德 著



黄河水利出版社

黄河上游梯级开发的生态与 环境风险分析方法研究

胡德秀 周孝德 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

以黄河上游流域的水资源梯级开发利用为工程背景,对流域梯级开发的生态与环境风险问题及其建模和分析方法进行了系统研究。在对梯级开发模式下流域的诸多生态与环境风险进行有效辨识的基础上,重点针对水质污染、生态与环境需水量、泥沙淤积、库水水温变异等常遇风险问题,研究了合理可行的建模分析方法与风险评价方法,并对相应的生态与环境风险管理机制及其风险防范和减缓措施进行了研究。所取得的有关研究成果与结论,可为流域梯级开发的生态与环境风险管理提供科学决策依据。

图书在版编目(CIP)数据

黄河上游梯级开发的生态与环境风险分析方法研究/
胡德秀,周孝德著. —郑州:黄河水利出版社,2011.8
ISBN 978-7-5509-0100-1

I. ①黄… II. ①胡… ②周… III. ①黄河中、上游-
水资源开发-环境生态评价-研究 IV. ①TV213.2
②X826

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第168045号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail: hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:8.75

字数:181千字

印数:1—1 000

版次:2011年8月第1版

印次:2011年8月第1次印刷

定价:25.00元

前 言

对流域梯级开发可能导致的生态与环境影响及相关风险问题进行研究,是当今国际上水资源开发利用和生态与环境保护中亟待解决的重要课题之一,它对于确保梯级开发模式下流域生态与环境的可持续发展具有重要意义。

本书以黄河上游水资源开发利用为工程背景,对流域梯级开发的生态与环境风险问题及其建模分析方法进行了系统研究。主要研究内容和成果包括:

(1)结合黄河上游梯级开发现状与特点,对流域梯级开发可能导致的生态与环境风险进行了系统辨识,并对其风险累积效应进行了综合分析。

(2)提出并建立了梯级开发模式下水质风险的灰色-随机复合不确定性分析方法。将影响水质风险的诸多不确定性作用视为随机作用,把各种影响因子之间的复杂不明确关系看做灰色关系,从而建立了基于灰色-随机不确定性的水质风险分析方法,实现流域梯级开发的水质风险复合不确定性分析,较好地体现了水质风险的不确定性。

(3)提出了基于风险因子层次分析法的梯级开发生态与环境需水量模糊神经网络模型。采用多因子层次分析法分析生态与环境需水量风险因子间的相互关系,建立了各因子间的量化指标组合权重关系,将其权重值作为模糊神经网络模型中各影响因子的初始权值输入,从而有效消除了随机赋予初始权值对FNN模型结果的影响。

(4)在对流域梯级开发的泥沙淤积风险进行系统分析的基础上,提出并建立了梯级水库来沙量的偏最小二乘法回归(PLSR)模型,有效解决了常规最小二乘法回归模型精度受自变量因子间的多重相关性干扰的问题。

(5)对梯级开发的水温风险及其时空分布规律进行了研究,建立了梯级开发模式下河道一维水温模型、库水水温分布的立面二维数学模型淤积考虑泥沙异重流影响的库水水温模型,较好地拟合了梯级水库的水温分布情况。

本书共分8章,其中第1章、第2章、第4章、第5章、第8章由胡德秀完成,第3章、第6章、第7章由周孝德和胡德秀共同完成,全书由胡德秀统稿。

课题研究得到了国家自然科学基金(50779051)、水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金(2007B037)等项目的联合资助,研究中参阅的大量文献限于篇幅未能一一罗列,谨以致谢。

限于作者的学识和水平,书中错误或不当之处在所难免,还请同行专家和读者朋友们批评指正,不胜感激!

作 者

2010年12月

目 录

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 研究背景与意义	(1)
1.2 生态与环境风险的基本概念	(4)
1.3 生态与环境风险研究的国内外现状与发展	(10)
1.4 研究内容与研究方法	(17)
2 流域梯级开发的生态与环境风险辨识	(21)
2.1 黄河水资源概况与上游梯级开发现状	(21)
2.2 流域梯级开发的生态与环境影响及风险辨识	(28)
2.3 流域梯级开发的生态与环境风险累积效应分析	(34)
2.4 小 结	(36)
3 流域梯级开发的水质风险复合不确定性分析	(38)
3.1 流域梯级开发的水质风险与不确定性	(38)
3.2 基于灰色-随机复合不确定性的水质风险分析方法	(40)
3.3 实例研究	(48)
3.4 小 结	(55)
4 基于风险因子层次分析法的生态与环境需水量模糊神经网络模型	(56)
4.1 生态与环境需水量的基本概念	(56)
4.2 生态与环境需水量的风险因子分析	(57)
4.3 基于风险因子层次分析法的模糊神经网络模型	(58)
4.4 生态与环境需水量模型拟合偏差风险分析	(66)
4.5 实例应用与分析	(66)
4.6 小 结	(71)
5 梯级开发的泥沙淤积风险与入库沙量 PLSR 模型研究	(73)
5.1 流域梯级开发的泥沙淤积风险分析	(74)
5.2 梯级水库入库沙量的偏最小二乘法回归模型	(76)
5.3 工程实例应用与分析	(86)
5.4 小 结	(93)
6 梯级开发的库水水温风险与时空分布拟合模型研究	(94)
6.1 流域梯级开发模式下的水库水温风险分析	(94)
6.2 流域梯级开发模式下的水库水温数学模型	(96)
6.3 实例应用与分析	(111)
6.4 小 结	(115)

7	梯级开发模式下的生态与环境风险管理	(116)
7.1	风险管理的内容与实施步骤	(116)
7.2	风险管理与风险评价	(117)
7.3	梯级开发模式下的生态与环境风险管理体系构建	(118)
7.4	梯级开发的生态与环境风险减缓	(119)
7.5	小 结	(121)
8	结论与展望	(122)
8.1	结 论	(122)
8.2	展 望	(124)
	参考文献	(126)

1 绪 论

1.1 研究背景与意义

随着社会经济的不断发展,水资源的合理开发利用和保障供给越来越重要。水电作为一种可再生循环利用的清洁能源,受到各个国家的高度重视。尤其是近几十年来,国内外水能资源利用逐渐从单项工程开发转变为江河流域的梯级开发与综合利用,大大提高了流域水资源的开发利用效率。

流域梯级开发是指在同一条河流或河段上布置一系列阶梯式水利枢纽的开发方式。梯级开发的主要目的是充分利用河流落差和渠化河道,最大限度地开发河流的水能、水运资源。河流梯级开发通过修筑大坝、开通运河、清理水道等工程技术措施,对流域水系进行综合开发治理,以获得发电、防洪、灌溉、航运、供水、渔业和旅游等综合效益,从而带动区域经济的综合发展。

由于流域梯级开发的综合效益显著,因而逐渐受到世界各国的普遍重视。在国外,流域梯级开发建设起步较早,部分国家现已达成一定的规模。如俄罗斯境内的伏尔加河,河长约 3 700 km,落差 256 m,共布置了 11 个梯级;上游在加拿大、下游在美国的哥伦比亚河,干流长约 2 000 km、落差 808 m,共分了 15 个梯级;密西西比河的二级支流田纳西河设置 15 个梯级;科罗拉多河为 11 个梯级;流经土耳其、叙利亚和伊拉克的幼发拉底河为 7 个梯级等。

值得肯定的是,全球范围内的流域梯级开发确实给相关流域区带来了丰富的电力供应、防洪、灌溉、航运、供水、渔业、旅游等综合效益,促进了流域区内的社会、经济发展及人民生活水平的改善,但同时也带来了一系列的生态与环境问题。如 20 世纪 50 年代苏联对伏尔加河流域的梯级开发就颇具代表性。在伏尔加河流域梯级开发的前期,工程曾发挥了良好的经济效益;但在随后的 30 年里,苏联科学院和各新闻媒体纷纷针对伏尔加河梯级开发所带来的一系列生态与环境问题进行了猛烈抨击,其所带来的生态与环境问题主要体现在以下几方面:

(1) 生境区结构破坏。在梯级库群设计中未考虑生境区的最优比例(沿岸带占 15%,亚沿岸带占 15%,深水带和敞水层占 70%),导致建成后的水库群缺乏食草鱼类再增殖所必需的、有丛生水生植物的沿岸生境区,11 座梯级水库中有 8 座没有生产性浮游生物群落繁衍所必需的足够水层,在很大程度上失去了喜流水性鱼类和无脊椎动物繁殖与越冬生息环境的特质;此外,没有考虑水库兴建对渔业的影响,未修建鱼道,影响了鱼群洄游产

卵;不同水库秋、冬季库水位的消落期长达 1~5 个月,对生物群落和鱼类种群栖生带来极为严重的影响。

(2)水温影响。利用水库蓄存水量进行发电,破坏了库水温度分层,造成水温异常,给供水、灌溉和渔业带来一定影响。

(3)水质污染。由于未重视生态与环境的保护,入库小河成了工业、畜牧场和其他企业的排污沟,每年排放入伏尔加河各水库的污水量约 25 km^3 (占年均径流量的 10%),内含大量氮、磷等农业与生活用水废物,而重工业企业、纸浆综合企业、国防工业和化学工业生产排放的工业废水中含有大量金属和各种化合物,航运船舶则产生大量的碳酸氢盐。

遗憾的是,伏尔加河流域梯级开发在生态与环境保护方面的失败并非个例。国际上众多类似的负面工程案例及其惨痛教训,逐渐唤醒了人们对流域梯级开发的生态与环境风险意识,引发了人们对江河流域梯级开发模式下有关生态与环境风险的分析与思考,进而逐渐认识到,江河流域作为一个相对完整且复杂的生态与环境系统,其梯级开发必然带来生态与环境方面的诸多影响,使流域扰动区尤其是梯级库区及其下游河道区相当范围内的生态与环境面临不同程度的风险。

正是在这样的背景下,对流域梯级开发可能造成的生态与环境风险问题进行系统研究,就成为当今国际上水资源开发利用和生态与环境保护各项研究中亟待解决的重要课题之一。不过,对流域梯级开发的生态与环境风险及其风险问题进行研究,不仅要对流域内的自然、气象、水文、地形、地质、生态、环境、社会、经济等各方面基本信息有全面的了解和认识,同时涉及多学科知识的交叉和利用,其难度大,也十分复杂,因而目前国际上开展相关研究还比较少,亟待加强。

我国从新中国成立初期至 20 世纪 60 年代,进行了四川龙溪河、贵州猫跳河、云南以礼河、福建古田溪等河流的梯级开发。近 10 多年来,随着华能、华电、国电、大唐等一批国家电力集团公司及长江三峡水电开发总公司、黄河上游水电开发公司、大渡河水电开发公司、贵州乌江水电开发公司、湖北清江水电开发公司等一批流域开发公司的相继成立,国内在水电开发模式方面有了跨越式的发展——首先对取得开发权的河流进行整体规划,然后将某些(已建或待建)工程作为龙头工程,进行流域内的梯级滚动开发,这无疑是我国水利水电建设史上一个新的里程碑。实践证明,流域梯级开发能合理、有效地利用水资源,降低工程造价,缩短建设工期,促进流域综合治理和社会经济发展,因而显示出了强劲的生命力。不过,在追求流域梯级开发综合效益的同时,应该科学和辩证地看到,流域梯级开发在时空布局、资源利用与保护、上下游及界河区各方利益的处理及社会、经济与环境的协调等方面,都是十分复杂的,必须科学合理地加以分析和解决。

黄河是中华民族的母亲河,孕育了华夏五千年的文明与发展,其对于中国社会经济发展的重要性是不言而喻的。黄河流域总面积 $794\,712 \text{ km}^2$,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等省(区)。黄河干流划分为上、中、下游三段。河源至内蒙

古托克托县河口镇为上游,河道长 3 472 km,流域面积 $42.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在黄河上游干流上现建有龙羊峡、李家峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡、三盛公等 15 座大中型水利水电枢纽工程,正在建设中的有拉西瓦、积石峡等 6 座电站,规划和踏勘中的电站有 10 余座。作为我国 13 大水电基地之一,黄河上游将形成以龙羊峡为龙头水库的国内最大梯级电站群,是目前国内综合利用任务最多、调度运行最复杂、涉及区域最广的梯级水电站群,承担着向陕、甘、青、宁电网供电和下游地区的灌溉、防洪、防沙、防凌等综合利用任务。

近 10 多年来,随着黄河流域梯级开发力度的进一步加大,黄河梯级开发在调蓄区域流量、获取清洁能源、降低洪涝灾害等方面获得了显著的社会、经济效益;然而,不利的一面是,梯级开发会在一定程度上改变河流系统的原本生态,对河流系统的人为控制可能打破河流与环境间的自然生态平衡,从而给流域生态系统承载力、生物多样性和河流下游民生与经济发展带来一系列的负面效应,这些负面效应往往具有群体性、系统性、累积性、波及性、潜在性等特点,是长期的、累积的和不可逆转的,一旦这些不利影响超过了流域区内的承载能力,生态系统的健康将受到威胁,带来不可估量的风险和损失。

从生态与环境角度分析,黄河上游梯级开发可能带来的风险问题可以大致归纳为以下几个方面:

(1) 梯级开发对黄河上游区域生态与环境的各种影响风险。主要对植被与陆生植物资源、陆生动物资源、水生生物及鱼类、生物多样性、生态系统的完整性、水土流失、消落带环境及自然保护区的影响等,破坏了固有生态与环境需水量的平衡。

(2) 梯级开发可能带来的水质风险。梯级开发模式下,黄河干流流速降低、流动滞后,会加大库群区域淤积下游河道水质污染的可能性。以兰州下游为例,其干流水质等级基本为Ⅳ~劣Ⅴ类,且劣Ⅴ类水面断面占到 81.8%,非汛期水质甚至更差。

(3) 梯级开发可能带来泥沙淤积风险。梯级水库开发建设可能造成植被破坏,对水土保持不利,可能增大河道来沙量;梯级水库群修建后,河道流量减小、流速降低,对河道泥沙冲淤十分不利;如果排水建筑物设计不当,可能造成水库严重淤积。建在黄河中游的三门峡水库就遇到了严重的泥沙淤积问题,使渭河河床抬高,造成了惨重的洪灾损失,破坏了生态与环境。

(4) 梯级开发可能带来库水水温风险。水库梯级开发建设,会在较大程度上改变原河道水流的水文与水力学条件,从而引起水流热力学状况的改变,使得各级水库及其下游河道的水体温度存在时空变化风险,进而给水生生物繁衍与生长、农田灌溉用水、城镇生活用水、工业用水、水库水质等带来不利影响。

鉴于黄河上游梯级开发在生态与环境方面存在上述诸多风险,因此对这些风险进行有效辨识和系统的分析研究,揭示梯级开发对生态与环境影响的机理和发展演变过程,探讨生态与环境需水量风险、水质风险、泥沙淤积风险、库水水温风险等问题,研究其建模分析与评价方法,准确评估河流梯级开发对生态与环境可能带来的影响和风险,就成了相关

研究人员急需解决的重要课题,它将为水利工程的规划、设计、施工、运行及相关管理提供科学决策依据,对于实现流域水资源综合利用和确保流域生态与环境可持续发展具有十分重要的意义。

综上所述,黄河上游梯级开发的生态与环境风险分析研究是十分必要而又急需展开的一项重要课题。通过对黄河上游梯级开发的生态与环境风险研究,可实现对梯级开发模式下流域生态与环境风险的有效辨识,构建有关流域梯级开发的生态与环境风险问题研究框架,建立起梯级开发模式下水质风险、泥沙淤积风险及来沙量、库水水温风险和生态与环境需水量风险的各种分析模型与优化求解方法,提出合理有效的风险防范与减缓措施,从而为黄河上游水利水电工程梯级开发模式下的人与自然和谐共处、社会经济和生态与环境可持续发展提供科学决策依据,同时也为其他流域梯级开发开展生态与环境风险方面的研究提供可资借鉴的宝贵经验,这也正是本书研究的目的和意义所在。

1.2 生态与环境风险的基本概念

1.2.1 风险的定义

风险在字典中的解释是,生命与财产损失或损伤的可能性。

风险在不同的文献中有不同的定义。1981年风险分析协会成立后,经过三四年的工作,列出了14种风险定义,并指出风险的定义不太可能取得完全统一,建议根据具体情况,自由选定适宜的风险定义。

但就一般而言,风险具有两个主要特点,即损害性和不确定性。损害性是相对事件的后果而言,风险事件一旦发生,就会对风险的承受者造成损失或危害,包括给人身健康、经济财产、社会安全乃至生态系统等带来程度不同的危害;不确定性是指人们对事件发生的时间、地点、强度等难以预料。因此,风险的概念包含了损害性和不确定性。

鉴于此,比较严格和通用的风险概念可以定义为事故发生的不确定性与损害的乘积,其中英文表达式分别为:

$$\text{风险} = \text{损害} \times \text{不确定性} \quad (1-1)$$

$$\text{Risk} = \text{Damage} \times \text{Uncertainty}$$

通常,损害是指系统不能达到所期望满意的功能。因此,风险可以定义为失事概率 P_f ,即广义荷载 L 大于广义抗力(承载能力) R 的概率:

$$\text{风险} = P_f = P(L > R) \quad (1-2)$$

式(1-2)中,荷载 L 和抗力 R 各自的影响因素众多,都是相关影响变量的多元函数,即

$$L = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1-3)$$

$$R = g(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \quad (1-4)$$

风险 P_f 以荷载 L 和抗力 R 的联合概率密度 $f_{R,L}(r, l)$ 表示为:

$$P_f = \int_a^b \int_c^l f_{R,L}(r, l) dr dl \quad (1-5)$$

式中: a, b 分别为荷载 L 的上、下限; c 为抗力 R 的下限。

定义功能变量为式(1-6)或式(1-7)、式(1-8)的形式,即:

$$Z = R - L \quad (1-6)$$

$$Z = (R/L) - 1 \quad (1-7)$$

$$Z = \ln(R/L) \quad (1-8)$$

由于功能变量 Z 也受多种因素的影响,因此式(1-2)可写为:

$$\text{风险} = P_f = P(Z < 0) = \int_a^b f_Z(z) dz \quad (1-9)$$

考虑并综合各种影响因素的作用后,设荷载 L 的概率密度函数(Pdf)为 $f_L(l)$, 抗力 R 的概率密度函数为 $f_R(r)$, 如图 1-1 所示。若用功能变量 Z 表示,则其概率密度函数如图 1-2 所示。从图 1-1 和图 1-2 可知,风险值与纵轴 $Z=0$ 左面 Pdf 曲线下面的阴影面积相当,而可靠性与纵轴右面非阴影面积相当。

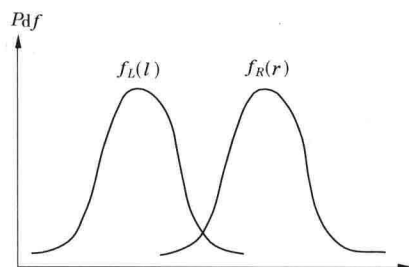


图 1-1 荷载与抗力的概率密度函数

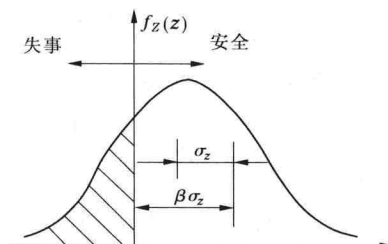


图 1-2 功能变量 Z 的概率密度函数

在实际工程中常有这样的情况,即 L 和 R 的概率密度函数很难求得,而 Z 的概率密度函数却能够估算。理论上,不管 Z 采用何种定义,根据式(1-9)计算的风险都是一样的。然而,如果 Z 的真正概率密度函数未知,并在计算中只是采用近似形式,则风险值就随 Z 的定义而有所不同。

1.2.2 生态与环境风险分析的基本概念

生态与环境风险分析是生态学、环境科学、水利科学、计算机科学、数理统计、管理等多学科交叉的新兴边缘科学,主要利用风险管理决策的理论和方法,结合生态学机制,对区域生态与环境系统,特别是脆弱的生态与环境系统中存在的风险进行评价,并作出相应的管理决策。

美国于 20 世纪 70 年代开始生态风险评价研究,在 1992 年对生态风险评价作了定

义,即生态风险评价是评估由于一种或多种外界因素导致可能发生或正在发生的不利生态影响的过程,其目的是帮助环境管理部门了解和预测外界生态影响因素与生态后果之间的关系,有利于环境决策的制定。人们认为,通过生态风险评价可以预测未来的生态不利影响或评估由过去某种因素而导致生态变化的可能性。

在我国,生态与环境风险分析研究尚处于起步阶段,生态与环境风险评价在建设项目环境保护管理中得以应用的时间还不长,相关理论方法和技术研究相对薄弱。为此,必须重视风险管理研究,使风险评价能够真正实现为生态与环境管理决策服务的目的。

生态风险评价主要基于两种因素,即后果特征和暴露特征。而生态风险评价与环境管理存在以下联系,能够有效地用于环境决策的制定:

(1)生态风险评价是环保部门制定不同管理决策的基础。风险评价应首先考虑环境管理的目标,因此生态风险评价的计划有助于评价的结果用于风险管理。

(2)生态风险评价有利于环境保护决策的制定。在美国,生态风险评价被用于支持多类型的环境管理行为,包括危险废物、工业化学物质、农药控制及流域或其他生态系统由于多种非化学或化学因素产生影响的管理。

(3)生态风险评价过程中,需要不断利用新的资料信息,促进环境决策的制定。

(4)生态风险评价结果可以表达成:生态影响后果是暴露因素变化的函数。这对于环境保护非常有用,通过评估选择不同的计划方案及生态影响的程度,确定控制生态影响的因素,并采取必要的措施。

(5)生态风险评价提供对风险的比较和排序,其结果能够用于费用效益分析,从而对环境管理提供解释和说明。

事实上,将风险减少到最低限度往往会付出很大的代价,或者从技术上并不可行,但是环境保护部门在环境决策制定的过程中,仍必须加以考虑。

1.2.3 生态与环境风险的属性

与自然界、工程界和社会生产中的其他风险一样,生态与环境风险具有自然属性、社会属性和经济属性。

1.2.3.1 自然属性

生态与环境风险是由自然界的运动演变引起的,是人类出现以来直到现在所面临的自然风险之一。它们虽然遵循一定的运动规律,但是由于人们对其认识和了解少,因此认为它们的发生是不规则的,难以准确预测。此外,自然界中这些不规则运动的破坏力十分巨大,人类即使认识了它,也无法采取措施加以完全控制,这就构成了生态与环境风险的自然属性。

1.2.3.2 社会属性

由于人类对土地、森林、矿产、淡水等资源的过度开发,不合理处置、堆弃有害废物及

日益增多的不合理工程与生产活动,致使地球的生态与环境日益恶化,风险事件不断增多,如水污染风险、洪灾风险、生态失衡风险等,其危害也日趋严重。此外,风险的社会属性还体现在风险的结果由整个社会来承担。

1.2.3.3 经济属性

生态与环境风险事件可能造成生态破坏、环境污染、物种濒危、人员伤亡、财物损失等,必然对社会经济造成破坏,这就表现了风险的经济属性。

1.2.4 生态与环境风险的特征

生态与环境风险具有以下基本特征。

1.2.4.1 客观性

生态与环境风险在自然和社会领域中是不可避免的,它独立于人的意志而客观存在,这是由风险事件内部因素的客观规律所决定的。

1.2.4.2 普遍性

生态与环境风险普遍存在于自然、社会和经济文化的发展中。由于和生态与环境相关的各种因素之间相互影响、相互联系和相互制约,其影响作用瞬息万变,关系错综复杂,对于这种充满了不确定性的自然环境和社会环境,必然会面临着各种各样的生态与环境风险。

1.2.4.3 随机性

风险虽然客观存在,但任一风险事件的发生,是诸多风险因素和其他因素共同作用的结果。每一因素的作用时间、作用点、作用方向、顺序、作用强度等都必须满足一定的条件才能导致事件的发生,而每一因素的出现,其本身就是偶然的,因此生态与环境风险事件的发生是随机的,这就意味着生态与环境风险在时间上往往具有突发性,在后果上则具有灾难性。

1.2.4.4 规律性

虽然生态与环境风险事件的发生是随机的、无序的,然而对大量风险事件的观察和综合分析表明,生态与环境风险事件又呈现出明显的规律性。因此,在一定条件下,对大量独立的风险事件进行统计处理,其结果可以比较准确地反映风险的规律性。大量风险事件发生的规律性,使人们可以利用概率论、数理统计等方法来计算生态与环境风险事件的发生概率和损失,并对其实施有意识的监测与控制。

1.2.4.5 动态性

生态与环境风险的动态性是指在一定条件下风险可以变化的特性。和生态与环境相关的各类事物相互联系且不断发展变化,这就决定了生态与环境风险的动态性。随着科技的进步和社会的发展,一方面人们面临的生态与环境风险越来越多;而另一方面,人们认识和抗御这些风险的能力也在逐渐加强。

1.2.5 生态与环境风险分析的主要内容

生态与环境风险分析主要包括风险识别、风险评估、风险管理和风险决策等研究内容。

1.2.5.1 风险识别

风险识别是对风险源的识别,即根据因果分析的原则,把系统中能给生态与环境带来风险的因素识别出来的过程,是生态与环境风险评估研究的前提和基础。主要解决的问题包括:有哪些危害是重大的,并需要进行评估?引起这些危害的主要因素是什么?

能否正确地进行生态与环境风险及其危害识别,对风险管理的效果有极为重要的影响。如果没有认真做好风险识别,忽略了某些重要的风险因素,就会导致生态与环境风险管理的失误。目前,有关风险识别的理论和方法还不成熟,尚处于探索研究阶段,现采用的主要方法有专家分析法、现场调查法、幕景分析法、统计分析法和故障树分析法等,这些方法在涉及风险分析的文献中一般均有介绍,这里不再赘述。

1.2.5.2 风险评估

生态与环境的风险评估是整个风险分析的核心,不同研究人员对风险评估流程有着不同的描述,总结起来大体可概括为源项分析、受体分析、危害判定、剂量反应评价、暴露评价、风险表征等几个部分;如果是对区域生态与环境进行风险分析,还应首先界定分析研究区域的范围。目前,风险定性评估的方法主要有综合定性法、专家打分法、公众打分法、半定量打分法、定性分级法等因子权重法;风险定量表征的方法主要有熵值法、连续法、外推误差法、错误树法、层次分析法和系统不确定法等;另外,还有同时考虑定性和定量评估的等级动态评价法及生态等级风险评价法,主要被用于区域尺度的风险评价。有关生态与环境方面的风险评估模型主要包括污染物扩散模型、种群动态模型等。近年来,随着各基础学科的发展,一些新的技术和方法正逐渐被应用于生态与环境风险评估领域。

1.2.5.3 风险管理

生态与环境风险分析的目的在于以最少的成本(包括人力、物力、财力、资源的投入总和)实现最大生态与环境安全保障(即预期的损失最小),因此生态与环境风险管理是风险分析与评估的最终目的,它依据风险评估的结果,结合相关标准来制定措施,选择合理的生态与环境风险管理技术,以防止或减少风险及其危害,也即生态与环境减缓风险。

生态与环境风险管理技术分为控制型技术和财务型技术。前者指避免、消除和减少意外事故发生的机会,限制已发生的损失继续扩大的一切措施方法,重点在于改变引起意外事故和扩大损失的各种条件,如风险回避、风险分散、工程措施等;后者则是指在实施控制技术后,对已发生的风险所做的财务安排,其核心是对已发生的风险损失及时进行经济补偿,从而使得能较快地恢复正常的生产和生活秩序,维护财务稳定性。

1.2.5.4 风险决策

生态与环境风险分析是在对所研究的风险事件进行风险识别、风险估算和风险评价

的基础上,通过优化组合各种工程技术、工程管理措施,从而作出风险决策,达到对生态与环境风险的有效控制和妥善处理风险所致的损失,期望以最少的成本获得最大的生态与环境安全保障。因此,风险决策也是生态与环境风险分析研究的一个重要阶段。

在对生态与环境风险进行了有效辨识,并作出了适当的风险估计、风险评价,以及提出了若干种可行的风险处理方案后,需要由决策者对各种处理方案可能导致的风险后果进行分析并作出决策,即决定采用哪一种风险处理的对策和方案。因此,从宏观上讲,生态与环境风险决策是对整个风险分析活动的计划和安排;从微观上讲,则是运用科学的决策理论和方法来选择生态与环境风险处理的最佳手段。

1.2.6 生态与环境风险分析的一般程序

在对某生态与环境系统(如流域生态与环境系统等)进行风险分析时,其合理程序是:首先进行风险识别,把可能给生态与环境系统带来严重危害的风险因子有效辨识出来;然后进行风险估算,对风险的大小和危害后果进行定性或定量评估,给出生态与环境风险发生的概率及其危害可能造成的社会与经济损失估值;最后,根据风险分析与风险估算的结果,结合系统或承受者对风险事件的承受能力,评价生态与环境风险是否可以被接受,并根据具体情况制定相应的风险减缓措施(如生态保护措施、环境修复措施、工程技术措施、管理措施等),并采取相应的行动。

由此可见,生态与环境风险管理和风险识别之间存在一个反馈作用,即对生态与环境系统的风险评价是一个动态过程,是一个可以迭代的过程。因此,根据风险评价的内容组成,一个完整的生态与环境系统风险分析程序一般应由以下4个阶段组成,见图1-3。

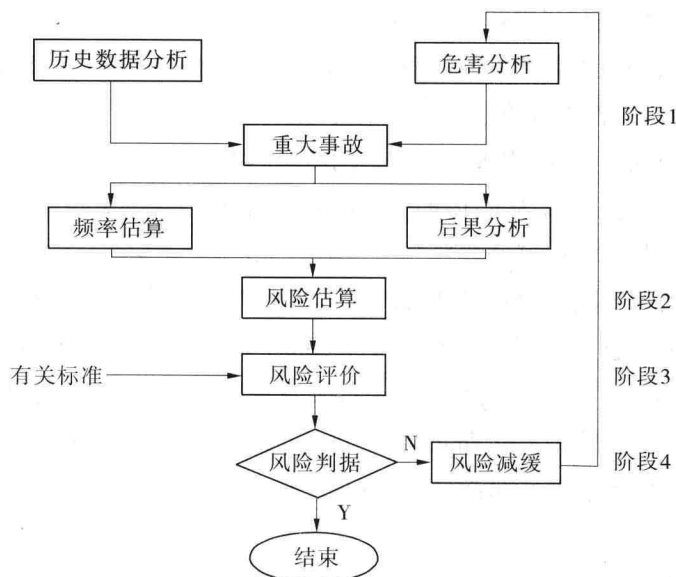


图 1-3 生态与环境风险分析的一般内容和步骤

(1) 风险辨识。通过对历史数据的分析和危害分析确定可能出现的重大事故。

(2) 风险估算。根据对已确定的重大事故的频率估算和后果分析,给出其发生概率。

(3) 风险评价。根据有关标准和系统的承受能力,对风险的可接受性给出合理评价。

(4) 风险减缓。如果风险评价结果超出了生态与环境系统或人类社会的承受能力范围,则提出相应的风险减缓措施,以降低风险直到风险估算结果在承受能力范围内。

需要说明的是,生态与环境风险标准的制定往往同社会经济发展状况、文明程度及人们的心理承受能力紧密相关。就人类、生物群落和社会的承载能力来讲,目前国内外均没有形成一个共同的标准,也就是说,还没有统一确定的生态与环境风险标准。

1.3 生态与环境风险研究的国内外现状与发展

1.3.1 生态与环境风险分析研究的发展历程

生态与环境风险作为一个全球性的重大社会问题,是从产业革命开始的,由于当时只顾生产而不重视对生态与环境的保护,造成了严重的后果。进入 20 世纪中叶后,科技、工业、交通等迅猛发展,造成工业过分集中,城市人口过分密集,环境污染由局部扩大到区域,由单一的大气污染扩大到大气、水体、土壤和食品等多方面的污染,酿成不少震惊世界的公害事件。因此,为了治理和改善已被污染的环境,并防止新的污染发生,就必须加强生态保护和环境管理。

1964 年在加拿大召开的国际环境质量评价会议上,学者们提出了“环境影响评价”的概念。在发达国家,环境影响评价的实践经历了曲折的道路,研究学者和管理人员们不断寻求对环境影响评价工作进行改进和完善的方法。20 世纪 80 年代,在环境影响评价的对象、范围、程度、方法等方面,出现了一些新的特点,评价的范围由只考虑对自然因素的影响发展到包括社会与经济影响在内的全面环境影响,环境影响风险评价也应运而生,成为环境影响评价中最受关注的问题之一。

环境影响风险评价常称为事故风险评价(或事故后果评价),它在国际上主要是沿着三条路线发展的:其一称为概率风险评价(Probability Risk Assessment, PRA),它是在事故发生前,预测某设施(或项目)可能发生什么事故及其可能造成的环境(健康)风险;其二称为实时后果评价,是在事故发生期间给出实时的有毒物质的迁移轨迹及实时浓度分布,以便作出正确的防护措施,减少事故的危害;其三称为事后后果评价,主要研究事故停止后对环境的影响。

经过 20 多年的研究发展,风险分析评价的热点已经从人体健康评价转入生态与环境风险分析评价,风险因子也从单一的化学因子,扩展到多种化学因子及可能造成生态风险

的事件;风险受体也从人体发展到种群、群落、生态系统、流域景观水平;评价范围则由局地范围扩展到区域水平。比较完善的生态与环境风险评价框架也在1998年美国《生态风险评价指南》出台后逐渐形成。

目前,国外在有关生态与环境风险分析方面比较有代表性的研究主要有:

1989年荷兰提出了其风险管理框架,并应用阈值(决策标准)来判断特定的风险水平是否能接受,创新之处在于利用不同生命组建水平的风险指标,其具体管理框架为危害识别、危害大小和发生概率评估阈值拟定及风险等级的确定。

1995年英国国家环境部要求所有环境风险评价和风险管理行为必须遵循国家可持续发展战略,强调对于重大环境风险,须采取行动预防并减缓潜在的危害,其创新点在于采取了“预防为主”的原则,其评价管理流程包括危害识别、后果判定、风险感知、风险评价和风险监管等部分。

1998年美国国家环境保护局正式颁布了《生态风险评价指南》,提出生态与环境风险评价“三步法”,即问题形成、问题分析和风险表征。其中,问题形成主要是评价终点的确定,问题分析主要是对暴露、生态效应的测定及其响应的分析,风险表征是对风险的估计和描述。此外,要求在正式的科学评价之前,首先制定一个总体规划,以明确评价目的。

在生态与环境风险评价的数学方法上,主要采用污染物扩散模型、种群动态模型等,风险影响效果多以定量化的生物有机体死亡率、生长发育、繁殖力等指标来表示。在20世纪90年代后期的大尺度(如流域或更大尺度)生态风险分析评价方面:Valiela I指出单个因子也可以导致对整个生态系统的影响;Cormier S M等认为综合影响结果可用生态完整性系数、修改的健康系数、微生物种群系数来表示,但用这些参数去描述生态影响则存在着错误;Wayne G等也指出,从个体影响外推到景观影响存在着不确定性。为此,科学家们逐渐认识到,区域环境特征不仅影响风险受体的行为、位置等,同时影响到风险因子的时空分布规律,于是区域生态风险分析评价便应运而生,黄圣彪、付在毅等将区域生态风险的评价方法总结概括为研究区的界定和分析、受体分析、风险识别与风险源分析、暴露与危害分析、风险综合评价等几个部分。

纵观生态与环境风险分析研究的发展历程,先后经历了从环境风险到生态风险再到区域生态与环境风险分析等阶段;风险源由单一风险源扩展到多风险源,风险受体由单一受体发展到多受体;同时,随着各基础学科的发展,一些新的分析技术和方法也正逐渐被应用于风险评估领域,如在模式识别、非线性回归及优化、不确定信息处理、数据分类与预测等方面占有强大优势的神经网络技术;从无规则和无序事件中有效找出有用、显著和有序事件的混沌理论;从传统的明确量化思维模式转变,汲取人脑模糊思维特点而保留更多有用信息的模糊理论;在系统外部信息明确、内部规律不确定甚至数据信息不全(即贫信息)的情况下进行建模分析的灰色系统理论;基于贝叶斯统计推断,借助尽可能多的先验信息与样本信息进行推理和决策的贝叶斯理论;利用模糊系统、神经网络、遗传算法对数