

李祚泳 丁晶 彭荔红 著

环境质量评价 原理与方法



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境质量评价原理与方法

李祚泳 丁 晶 彭荔红 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

环境质量评价原理与方法/李祚泳,丁晶,彭荔红
著. —北京:化学工业出版社, 2004. 3
ISBN 7-5025-5393-2

I. 环… II. ①李…②丁…③彭… III. 环境质
量-评价 IV. X82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022665 号

环境质量评价原理与方法

李祚泳 丁晶 彭荔红 著

责任编辑:王秀鸾

文字编辑:刘莉珺

责任校对:王素芹

封面设计:蒋艳君

*

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

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 12½ 字数 310 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5393-2/X·426

定价:30.00 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

地球是一切生命的摇篮。在一望无际的太阳系中，只有地球独自养育着人类和万物生灵。人类是大地的儿子，地球是人类的母亲。只有地球才像慈母一样用甘甜的乳汁和血液滋养着人类。因而自远古以来，人类一直生活和工作在“落霞与孤鹜齐飞，秋水共长天一色”这样一种充满诗情画意的优美自然环境中。然而人类在征服自然和发展经济的历程中，由于对自然资源的过度开发，致使全球生态平衡受到破坏，环境正在急剧改变，已对人类的生存和发展构成了严重威胁。时至今日，那种“长烟一空，皓月千里”的景色已很少再现。回顾人类前进的步伐，使人类清醒地认识到：正是人类在环境问题上的失误，才给地球带来了创伤，造成了当今世界范围内环境的严重污染。

环境的现状如何？环境的未来走向何处？人类的命运和前途怎样？这是人类需要了解和认真思索的问题。作为环境学科的一个重要分支——环境评价就是从环境质量的基本概念出发，依据环境价值的基本原理，应用各种手段和方法，研究、评价人类活动对环境的影响及环境变化对人类行为、生存与发展的影响。因此，环境评价是一个理论与实践相结合的实用性强的学科。它是人类认识环境的本质及进一步保护和改善环境质量的手段和工具；它为环境管理和规划、环境工程、环境污染综合防治与决策、环境保护政策制订等提供科学依据，是环境保护的一项基础性工作。因此，环境质量评价理论和方法的研究具有十分重要的意义。

20 世纪 80 年代以前，国内外进行环境质量分析与评价的理

论基础是基于随机性的概率论及数理统计；基本方法主要为综合指数评价法、概率统计评价法、主分量分析评价法、热力学熵评价法等。但环境信息除了具有随机性外，还具有模糊性、灰色性和不相容性等不确定性特征。此外，环境评价问题实质上就是决策问题，而决策是需要考虑优化的。自 20 世纪 80 年代兴起和发展起来的模糊集理论、灰色系统理论、物元可拓集、集对分析、粗集理论、投影寻踪技术、人工神经网络、遗传算法和蚁群算法等新理论和新技术正是用于处理具有模糊性、灰色性、不相容性等不确定性问题的新理论和新技术。将这些新理论和新技术引进到环境科学中，应用于环境质量评价，使环境质量评价过程更体现为数学模型化和最优化；使评价理论和方法更具有科学性和先进性；使评价结果更具合理性和精确性，从而开辟了环境质量评价的新途径。但有关上述环境质量评价的新理论和新方法，在通常的环境评价著作中，很少有介绍。

本书目的正是为了介绍近年来新的数学理论和优化技术开拓到环境质量评价中所取得的理论成果和应用成果。

本书汇集了作者多年来在环境质量评价理论和方法上取得的重要研究成果。第 1 章和第 2 章主要介绍了环境质量评价的有关概念、评价标准和常用的评价方法。第 3 章～第 10 章分别介绍了层次分析法、模糊集理论、灰色系统理论、物元可拓集、人工神经网络、投影寻踪技术、遗传算法和蚁群算法、集对分析和粗集理论等的基本概念、基本理论及用于环境质量评价的基本思想和方法、模型和应用实例。此外，在 7.1 人工神经网络简介中，还加进了作者近期对 BP 网络的若干基本问题研究所取得的最新成果。第 11 章介绍了作者提出的新的环境质量评价指数公式或评价模型，第 12 章介绍了作者近年来提出的新的环境与可持续发展评价模型。

本书具有以下几个特色。

兼容性 本书写作时，尽量做到思想与概念、理论与方法、

模型与应用三个层次兼容。

新颖性 本书在作者多年研究成果基础上，广泛吸收了国内外近年来在环境评价方面的最新进展，内容具有前沿性和新颖性。

先进性 本书提出的评价模型和评价方法大多具有概括性、普适性和简洁性特点，因而具有先进性。

实用性 检验环境评价的理论和方法是否有价值的惟一标准是应用于实践。本书注重理论与实践的紧密结合，每种评价模型都给出了应用实例，因而使提出的环境评价新理论和新方法不会是“水中月，镜中花”。

可读性 本书内容尽量做到深入浅出，清晰易懂，可读性强。

适用性 本书适用于多种不同学科、专业和包括研究生、本科生、大学教师和科技人员在内的多种不同层次的读者需要，适用面广。

本书各章执笔作者如下：前言、后记 李祚泳（成都信息工程学院）；第1章～第3章 彭荔红（厦门大学）；第4章～第8章 李祚泳，丁晶（四川大学）；第9章～第10章 李祚泳；第11章～第12章 李祚泳，彭荔红。全书由李祚泳统稿，并负责校阅全稿。

本书撰写过程中，参阅、引用和吸收了国内外许多专家和学者的著作和研究成果。成都信息工程学院地球环境科学系环境工程专业本科99级的学生丁恒康、姜林、薛丽梅和徐婷婷等分别协助了本书7.6、8.4、9.7和12.3的评价模型的程序编辑与实例计算；10.6是熊建秋博士在导师指导下完成的最新成果；硕士生汪嘉杨和已是青年教师的徐婷婷还帮助作者对本书的若干章节进行校对。

在本书撰写过程中，还得到过邹长武博士、熊建秋博士和杜家幸、汪嘉杨等的宝贵建议和帮助。因此，本书凝聚了广大同行

和学子的辛勤劳动成果，在此表示诚挚谢意！

此外，对在工作和生活上关心、支持和帮助过我们的同事、朋友和亲人也表示衷心感谢！

本书在撰写过程中，得到成都信息工程学院、四川大学和厦门大学有关主管部门和领导的支持和提供的方便，并得到国家自然科学基金项目（40271024）和四川省教育厅重点项目（2002A048）资助；化学工业出版社对本书的出版给予了大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者学识水平、时间和精力有限，书中提出的一些思想和观点难免存在争议；一些模型和方法也许有失偏颇；一些计算结果和文字表述可能有笔误。恳请读者和专家批评指正。

著者

2004年3月10日

于 成都信息工程学院
四川大学
厦门大学

内 容 提 要

本书较详细地介绍了环境质量评价的新理论、新方法及其应用。内容主要包括层次分析法、模糊集理论、灰色系统理论、物元可拓集、人工神经网络、投影寻踪技术、遗传算法、蚁群算法、集对分析和粗集理论等的基本概念、基本理论及其用于环境质量评价的基本思想、模型、方法和实例分析。基本反映环境质量评价取得的最新成果和发展方向。本书尽可能做到思想与概念、理论与方法、模型与应用三个层次兼容，并注意理论与实践紧密结合，内容深入浅出、清晰易懂。

本书适用于环境科学、环境工程、环境分析与监测、环境与资源保护、环境系统分析、环境信息系统、水文水资源、水利水电、人口资源与环境、环境与可持续发展、环境管理等多种不同学科、专业的需要，可作为研究生、本科学生的教材或教学参考用书，亦可供广大科技人员、管理人员参考。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 环境、环境质量和环境质量评价	2
1.2 评价要素与环境质量评价因子	3
1.3 环境质量评价标准	5
1.4 基于韦伯-费希纳 (W-F) 拓广定律的环境空气质量标准	11
参考文献	14
第 2 章 常用的环境质量评价方法	17
2.1 专家评价法	18
2.2 常用的综合指数评价法	19
2.3 环境质量评价中的因子赋权	21
2.4 主分量分析评价法	27
参考文献	33
第 3 章 基于层次分析决策的环境质量评价	35
3.1 层次分析决策简介及其研究进展	36
3.2 大气质量的 AHP 评价模型	43
3.3 水环境质量的 AHP 评价模型	48
3.4 环境工程方案评选的 AHP 模型	54
3.5 AHP-PCA 相结合的水质富营养化评价模型	62
参考文献	67
第 4 章 基于模糊集理论的环境质量评价	69
4.1 模糊集理论简介	70
4.2 大气质量的贴近度综合评价	77

4.3	大气环境质量模糊综合评价模型	80
4.4	水环境质量的模糊综合评价	83
4.5	湖泊营养状态的 Hamming 贴近度评价法	87
4.6	区域环境质量综合评价的 Fuzzy 概率法	93
4.7	用 Fuzzy 积分比较区域环境质量	103
4.8	模糊数运算法用于湖泊营养类别评判	107
	参考文献	113
第 5 章	基于灰色系统理论的环境质量评价	117
5.1	灰色系统简介	118
5.2	大气质量灰色聚类评价模型	128
5.3	灰色统计决策法应用于大气环境质量评价	137
5.4	灰色局势法用于水质富营养化评价	143
5.5	水质灰色关联分析评价	149
5.6	湖泊富营养化的灰色层次决策评价	153
	参考文献	161
第 6 章	基于物元可拓集的环境质量评价	163
6.1	物元可拓集简介	164
6.2	大气质量的物元可拓评价模型	171
6.3	水质综合评价的物元模型	176
6.4	城市综合环境质量的物元评价模型	180
6.5	生态环境变化趋势的物元可拓评价	184
	参考文献	188
第 7 章	基于人工神经网络的环境质量评价	191
7.1	人工神经网络简介	192
7.2	大气环境质量评价的人工神经网络模型	206
7.3	水质评价的人工神经网络模型	209
7.4	湖泊富营养化评价的人工神经网络模型	214
7.5	城市环境质量的 B-P 网络综合评价	218

7.6 基于 B-P 网络权重分析的大气颗粒物源解析评价	223
参考文献	229
第 8 章 基于投影寻踪技术的环境质量评价	233
8.1 投影寻踪技术简介	234
8.2 基于投影寻踪新算法的水质评价模型	238
8.3 基于投影寻踪的大气颗粒物源解析评价	243
8.4 基于免疫进化算法优化的投影寻踪地下水水质评价	247
参考文献	253
第 9 章 基于遗传算法的环境质量评价	257
9.1 遗传算法简介	258
9.2 基于 GA 优化的大气质量评价模型	264
9.3 基于 GA 优化的地面水水质评价模型	269
9.4 基于 GA 优化的地下水水质评价模型	274
9.5 基于 GA 优化的湖泊富营养化评价的普适公式	280
9.6 基于 GA 优化的湖泊富营养化评价的普适卡森指数公式	285
9.7 基于蚁群算法的大气颗粒物的源解析	289
参考文献	298
第 10 章 基于集对分析和粗集理论的环境质量评价	303
10.1 集对分析简介	304
10.2 粗集理论简介	307
10.3 大气质量的集对分析评价模型	313
10.4 水质的集对分析评价模型	317
10.5 基于粗集理论的大气颗粒物的排放源的重要性评价	320
10.6 基于粗集理论的地下水水质指标属性约简	325
参考文献	332
第 11 章 新的指数评价模型	335
11.1 大气质量评价的标度指数法	336

11.2 环境质量综合指数的余分指数合成法	342
11.3 大气质量评价的广义对比加权标度指数法	347
11.4 环境质量评价的污染损害普适指数公式	351
参考文献	353
第 12 章 可持续发展评价模型	355
12.1 基于集对分析的社会、经济与环境协调发展的评价模型	357
12.2 基于遗传算法优化的城市可持续发展评价的普适公式	364
12.3 基于蚁群算法的可持续发展评价指数公式	374
参考文献	378
后记	381

Contents

Chapter 1	Outline	1
1.1	Environment, environmental quality and environmental quality assessment	2
1.2	Environmental element and environmental quality assessment factors	3
1.3	Environmental criteria of environmental quality assessment	5
1.4	Environmental air quality criteria based on Weber-Fischna's law	11
	References	14
Chapter 2	Common methods of environmental quality assessment	17
2.1	Specialist evaluation methods	18
2.2	Common evaluation methods of comprehensive index	19
2.3	Weighted values of environmental quality assessment factors	21
2.4	Evaluation method of principal factor analysis	27
	References	33
Chapter 3	Environmental quality assessment based on analytic hierarchy process	35
3.1	Introduction of analytic hierarchy process and the progress	36
3.2	Evaluation model of air quality based on AHP	43
3.3	Evaluation model of water quality based on AHP	48

3.4	Evaluation model of environmental engineering scheme based on AHP	54
3.5	Eutrophic evaluation model of water quality based on AHP-PCA	62
	References	67

Chapter 4 Environmental quality assessment based on

	fuzzy sets	69
4.1	Introduction of fuzzy sets	70
4.2	Comprehensive evaluation of air quality based on fuzzy distance	77
4.3	Comprehensive evaluation of air quality based on fuzzy sets	80
4.4	Comprehensive evaluation of water quality based on fuzzy transformation	83
4.5	Trophic status evaluation of water quality based on Hamming distance	87
4.6	Comprehensive evaluation of regional environmental quality based on fuzzy probability	93
4.7	Comparison of regional environmental quality using fuzzy integral	103
4.8	Eutrophic evaluation of lakes based on fuzzy number operation	107
	References	113

Chapter 5 Environmental quality assessment based on

	grey systems	117
5.1	Introduction of grey systems	118
5.2	Evaluation model of air quality based on grey cluster set	128
5.3	Evaluation model of air quality based on grey statistical strategy	137
5.4	Eutrophic evaluation of water quality based on grey situation	

strategy	143
5.5 Water quality evaluation based on grey correlated analysis	149
5.6 Eutrophic evaluation of lake based on grey stratified strategy	153
References	161

Chapter 6 Environmental quality assessment based on

matter element and extension sets	163
6.1 Introduction of matter element and extension sets	164
6.2 Evaluation model of air quality based on matter element and extension sets	171
6.3 Comprehensive evaluation model of water quality based on matter element and extension sets	176
6.4 Comprehensive evaluation model of city's environmental quality based on matter element and extension sets	180
6.5 Evaluation model of eco-environment change based on matter element and extension sets	184
References	188

Chapter 7 Environmental quality assessment based on

artificial neural networks	191
7.1 Introduction of artificial neural networks	192
7.2 Evaluation model of air quality based on artificial neural networks	206
7.3 Evaluation model of water quality based on artificial neural networks	209
7.4 Evaluation model of lake's eutrophication based on artificial neural networks	214
7.5 Comprehensive evaluation of city's environmental quality based on B-P networks	218
7.6 Evaluation model of apportionment of atmospheric	

particulates based on weighted analysis of B-P networks	223
References	229

Chapter 8 Environmental quality assessment based on

projection pursuit	233
8.1 Introduction of projection pursuit	234
8.2 Evaluation model of water quality based on new projection pursuit algorithm	238
8.3 Evaluation model of apportionment of atmospheric particulates based on projection pursuit regression	243
8.4 Evaluation model of water quality under ground based on projection pursuit with optimization method of immune algorithms	247
References	253

Chapter 9 Environmental quality assessment based on

genetic algorithms	257
9.1 Introduction of genetic algorithms	258
9.2 Evaluation model of air quality based on GA optimization	264
9.3 Evaluation model of water quality based on GA optimization	269
9.4 Evaluation model of groundwater quality based on GA optimization	274
9.5 An universal formula of eutrophic evaluation of lakes based on GA optimization	280
9.6 Carlson's index formula of eutrophic evaluation of lakes based on GA optimization	285
9.7 Evaluation model of apportionment of atmospheric particulates based on ant colony algorithm	289
References	298

Chapter 10	Environmental quality assessment based on set pair analysis and rough set theory	303
10.1	Introduction of set pair analysis	304
10.2	Introduction of rough set theory	307
10.3	Evaluation model of air quality based on set pair analysis	313
10.4	Evaluation model of water quality based on set pair analysis	317
10.5	Important evaluation of apportionment of atmospheric particulates based on rough set theory	320
10.6	Attribute reduction of groundwater quality parameters based on rough set theory	325
	References	332
Chapter 11	New index evaluation models	335
11.1	A scale index method for air environmental quality assessment	336
11.2	Comprehensive index of environmental quality based on residual fractional index composition	342
11.3	An evaluation formula of air quality based on weighted scale index of generalized contrast	347
11.4	An universal index formula of pollution harm suited to environmental quality assessment	351
	References	353
Chapter 12	Evaluation model of sustainable development	355
12.1	Evaluation model of coordinative development between the environment and community economy based on set pair analysis	357
12.2	An universal formula of sustainable development for cities based on genetic algorithm optimization	364