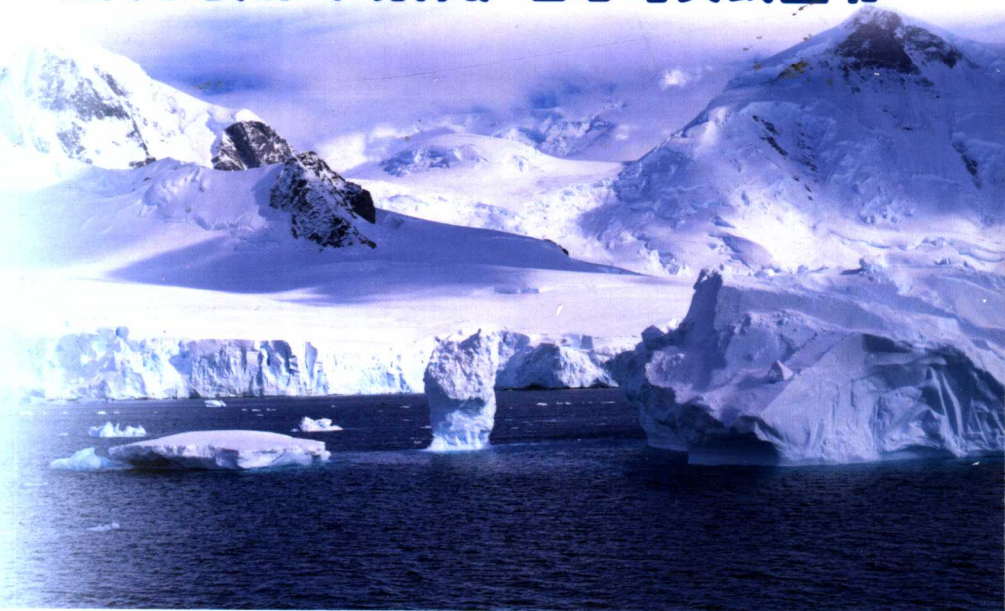


现代水资源环境保护理论与实践丛书



现代水环境质量评价 理论与方法

彭文启 张祥伟 等编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

现代水资源环境保护理论与实践丛书

现代水环境质量 评价理论与方法

彭文启 张祥伟 等编著



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

现代水环境质量评价理论与方法/彭文启, 张祥伟等编著.
北京: 化学工业出版社, 2005. 7

(现代水资源环境保护理论与实践丛书)

ISBN 7-5025-7500-6

I. 现… II. ①彭… ②张… III. 水环境-环境质量-评价
IV. X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 086740 号

现代水资源环境保护理论与实践丛书

现代水环境质量评价理论与方法

彭文启 张祥伟 等编著

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 宋 玮

封面设计: 潘 峰

*

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)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1092mm 1/32 印张 8 字数 207 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7500-6

定 价: 28.00 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

序

水是一种特殊的资源，支撑着所有的生命，它既是基础性资源又是战略性资源，也是整个国民经济的命脉。随着人口增长、社会经济发展，对水资源的需求量不断增加，水资源短缺和水环境污染问题日益突出，严重地困扰着人类的生存和发展。水问题已不再仅限于某一地区或某一时段，而成为全球性、跨世纪的关注焦点。

我国是一个水问题最多的发展中国家之一，水资源与环境成为制约我国社会经济可持续发展的关键因子，也是科学界、水利和环境保护部门共同关注的热点问题。由夏军等多位中青年专家撰写的《现代水资源环境保护理论与实践丛书》具有重要的意义。

该丛书由6部专著组成，内容涉及水资源管理与保护、水环境评价与修复、水生态与调控，都是目前研究和关注的热点问题，也是多位作者最新研究成果的展示。因此，可以说，该丛书是我国水资源与环境领域研究的系统性著作之一，具有鲜明的时代特征和重大现实意义，具有很强的科学性、创新性、系统性和实用性，具有较高的学术价值和应用价值。该丛书内容涉及“水资源环境保护”的关键研究方向和研究内容，必然会极大推动我国水资源环境保护理论研究与实践应用。特此为序。

中国科学院院士 刘昌明

2005年2月

前 言

对水质的认识，我们已经经历了一个多世纪。在这段不太短的时间内，工业化国家出现了不同的水质问题，一些水污染事故及其可怕的后果在人们的记忆中挥之不去。我国改革开放以来，经济快速发展，人类活动对水生态和水环境的影响及其后果已经逐步显现。因此，水质已经从一个抽象的专业术语慢慢进入公众生活，并成为政府管理部门制定经济发展模式时不可忽视的因素之一。

目前，一方面大量未经处理和有效处理的工业和城市废污水以及大量使用化肥、农药形成的面源污染物进入江河湖库或渗透地下，对地表和地下水体造成了严重污染，对水资源构成威胁。另一方面，经济发展，人们对水资源质量和生态环境的要求越来越高，要求饮用高质量的清洁水，使用达标的生产用水、娱乐用水以及提供较高质量的水环境。此外，水资源问题已经成为制约我国经济可持续发展的瓶颈之一，其承载力与经济发展以及人类需求之间的矛盾越来越突出。当前，在我国尤其是华北地区水资源短缺的情况下，水资源质量的降低进一步减少水资源可利用量，降低水资源承载力。因此，水环境质量评价是合理开发利用水资源、有效保护水资源和优化配置水资源、提高水资源和水环境承载力的前提，是水环境管理工作的基础，也是坚持以人为本原则的具体体现。

水环境质量评价是关于水环境质量现状和变化的理论、方法及其应用技术的科学，是环境评价学的一个重要分支，是水环境科学工作者认识水环境、保护水环境的基础。中国水利水电科学研究院水环境研究所组织科研人员，在以往大量科研工作基础上，吸收国外研究成果，结合我国水环境质量特征编著本书，对水环境质量评价的理论和方法进行系统阐述。

在传统的水环境质量评价体系中，增加河流健康评价、水质趋势分析、水功能区水质评价，并进行重点论述，是本书的特色之一。全书由八章组成：第一章是水环境质量评价的概述，着重论述水体分类的水动力学依据、水环境质量评价标准、水质环境监测的基本要求以及人类活动与水质的关系；第二章介绍江河水质评价理论与方法；第三章在介绍河流生态系统理论和基本概念基础上，系统论述河流健康评价的理论与方法；第四章在湖泊特征分析基础上，介绍湖泊富营养化的演变机理及其危害，论述湖泊营养评价理论与方法；第五章分析河流水质序列特征，对水质趋势分析方法进行评述，并对季节性 Kendall 检验方法和基于该方法的软件 PWQTrend 及其应用进行详细介绍；第六章在对水功能区划进行系统介绍的基础上，简要分析水功能区水质状况，并介绍水功能区水质评价方法；第七章介绍地下水水质评价的技术方法；第八章则着重介绍水资源综合规划中的全国水质评价成果。

本书具有较强的实用性，可供从事水污染控制、水资源保护的科研、规划设计、施工等领域的科研人员、管理人员参考，也供高等院校、相关专业师生参阅。

本书由彭文启和张祥伟等编著。各章节的主要编写人员分别为：第一章，彭文启；第二章，杜霞；第三章，毛战坡；第四章，彭文启；第五章，张祥伟；第六章，彭文启；第七章，冯健；第八章，张祥伟、彭文启、杜霞。全书由彭文启和张祥伟统稿、定稿。

由于时间仓促、作者水平有限，书中不免有疏漏及不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编著者

2005 年 5 月

目 录

第一章 水环境质量评价概述	1
第一节 水体特征	1
一、水动力特征	1
二、物理化学特征	4
三、生物特征	4
第二节 水环境质量评价标准	5
一、水环境质量基准 (Criterion) 和水环境质量标准 (Standard)	5
二、水环境质量评价常用的环境质量标准	6
第三节 水环境质量监测	20
第四节 人类活动与水质	22
参考文献	25
第二章 江河水质评价	26
第一节 江河水质评价概述	26
第二节 江河水质评价基本流程	26
一、选择评价参数	27
二、收集与整理监测数据	27
三、确定评价标准	28
四、选择评价方法	28
五、表征评价结果	29
六、提出评价结论	29
第三节 江河水质评价参数的选择	29
第四节 江河水质参数的收集和整理	30
一、单元河段的划分原则	31

二、单元河段水期平均值确定方法	31
第五节 江河水质的评价方法	32
一、单因子评价方法	33
二、综合评价方法	33
第六节 江河水质的生物评价	40
一、一般描述对比法	40
二、指示生物法	40
三、生物指数法	42
四、种的多样性指数	45
五、生产力分析	46
六、残留量指数	47
七、酶活性	48
八、水质污染的微生物指标	48
参考文献	48
第三章 河流生态系统健康	50
第一节 河流生态系统概述	51
第二节 河流生态系统基本概念	52
一、地带分布概念	53
二、河流连续体概念	53
三、河流水力概念	54
四、养分螺旋概念	54
五、连续中断概念	55
六、洪水脉冲概念	56
七、河流生产力理论	56
八、流域概念	56
第三节 人类对河流生态系统的主要干扰	57
一、污染对河流生态系统影响	59
二、大型水利工程对河流生态系统影响	61
三、河流生物多样性降低	64
第四节 生态系统健康及其评价研究	66
一、生态系统健康概念	66
二、生态系统健康指标	69

三、生态系统健康评价方法	72
第五节 河流生态系统健康评价方法及指标	74
一、河流生态系统健康	74
二、河流生态系统健康评价指标体系	76
三、实例研究	83
参考文献	103
第四章 湖泊水质评价	106
第一节 引言	106
第二节 湖泊特征与类型	109
一、湖泊成因	109
二、中国 5 大湖区特征	110
第三节 湖泊水质评价学分类	112
一、湖泊的物理(温度分层)分类	112
二、湖泊营养类型分类	114
第四节 湖泊水量平衡分析	116
一、水位变化特征	117
二、水资源量分析	118
三、水量平衡分析	118
第五节 我国湖泊主要水质问题	119
一、水质污染问题	119
二、富营养化问题	121
第六节 富营养化对水质的影响	122
一、感官影响	122
二、降低水体透明度	123
三、消耗水体的溶解氧	123
四、向水体释放有毒物质	124
五、影响供水水质并增加制水成本	124
六、对水生生态的影响	124
七、对渔业的影响	125
第七节 湖泊富营养化评价	126
一、湖泊营养盐范式	126
二、湖泊营养评价方法	129

三、湖泊营养评价标准	132
四、全国水资源综合规划湖泊营养状态评价方法	137
参考文献	139
第五章 水质趋势分析	141
第一节 河流水质序列特征	142
一、水质数据基本特征	142
二、水质时间序列趋势特征	144
第二节 趋势分析方法评述	145
一、回归分析法	146
二、时间序列分析法	148
三、水质 GM 趋势模型	148
四、平滑模型	149
五、非参数检验法——秩次相关检验法	149
第三节 季节性 Kendall 检验数学模型	151
一、季节性肯达尔检验	151
二、季节性肯达尔斜率估计	154
三、流量调节浓度检验	155
四、趋势检验的纯一性问题	157
第四节 PWQTrend 介绍	159
一、PWQTrend 概述	159
二、PWQTrend 操作步骤	160
三、PWQTrend 输入文件说明	161
四、PWQTrend 应用	165
第五节 2004 年全国地表水水质趋势评价简介	166
一、全国地表水水质趋势分析技术要求简介	166
二、水质趋势成果分析方法	167
三、全国地表水水质变化趋势评价	170
参考文献	172
第六章 水功能区水质评价	174
第一节 中国水功能区划	174
一、一级水功能区划	174

二、二级水功能区划	176
第二节 中国水功能区划成果	178
一、水功能区划状况	178
二、水功能区水质目标设置	179
第三节 水功能区水质状况简介	181
一、水功能区达标状况评价	181
二、水功能区达标分析	182
第四节 全国水资源综合规划的水功能区水质评价方法	184
一、评价标准值	184
二、水功能区控制断面确定	184
三、评价方法	185
四、水情期评价	185
五、超标倍数计算	185
参考文献	185
第七章 地下水水质评价	187
第一节 地下水污染类型及其危害	187
第二节 地下水的水质监测	188
一、监测点网的布置原则	189
二、监测内容及采样要求	191
三、监测资料整理	193
第三节 地下水水质标准	193
一、《中华人民共和国地下水质量标准》(GB/T 14848—93)	194
二、地区环境质量标准	194
第四节 地下水水质评价方法	197
一、水质单因子评价指数法	197
二、水质综合评价指数法	198
第五节 地下水水质评价新方法	201
一、模糊综合评价法	201
二、灰色综合评价法	205
三、神经网络综合评价法	206
四、关于地下水水质评价方法的比较	209
参考文献	210

第八章 2000 年中国地表水水质评价	211
第一节 河流水质	211
第二节 水库湖泊水质评价	217
一、水库湖泊现状水质	217
二、水库湖泊营养状况评价	222
第三节 底质污染评价	224
一、底质重金属污染评价	224
二、底质营养物污染评价	225
第四节 集中式饮用水源地水质及供水水质	226
一、地表水集中式饮用水源地水质评价	227
二、重点饮用水源地水质状况评价	227
第五节 水功能区状况评价	229
一、分级水功能区达标评价	229
二、水功能区受纳污染物状况	232
第六节 地表水水质变化趋势分析	234
第七节 中国地表水水质特征	235
参考文献	237

第一章

水环境质量评价概述

第一节 水体特征

水体特征可以从水文特征、物理化学特征和生物特征三个方面进行描述，系统的水质评价一般基于这三个方面的监测数据。

一、水动力特征

通过水文循环，淡水系统与大气和海洋相互联系。因此，理论上讲，从雨水到海水，水质组项浓度的变化并不是突变的。

陆地水体有河流、湖泊和地下水三种主要类型。三种类型水体的水动力特征如表 1-1 所列。

表 1-1 水文循环：水量、滞留时间和通量

水体类型	水 量		淡水量/%	除冰山以外的 淡水量比例/%	滞留时间
	10^6 km^3	%			
海洋	1370	94			≤ 4000 年
湖泊(水库)	0.13	< 0.01	0.14	0.21	≤ 10 年
沼泽和湿地	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1~10 年
河渠	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	≤ 2 周
土壤水	0.07	< 0.01	0.07	0.11	2 周~1 年
地下水	60	4	66.5	99.65	2 周~50000 年
冰山和冰河	30	2	33.3		10~1000 年

续表

水体类型	水 量		淡水量/%	除冰山以外的 淡水量比例/%	滞留时间
	10^6 km^3	%			
大气水	0.01	<0.01	0.01	0.02	≤ 10 天
生物圈水体	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	≤ 1 周
海洋蒸发量	425				
陆地蒸发量	71				
海洋降水量	385				
陆地降水量	111				
入海通量	37.4				
冰河水	2.5				

河流的显著特征是其水流运动具有较高的平均流速 ($>0.1 \text{ m/s}$)、流向相对单一。河流中的水体运动因受气候变化和排水系统特征的影响,呈现高度的时间非恒定特性。一般地,受强紊流运动作用,河道内垂向掺混均匀。侧向混合程度相对较弱,侧向混合发展过程较长,在大的河流汇合口较远的下游,才可能出现较充分的侧向混合。

湖泊(水库)内的水流运动相对较弱,水面平均流速一般在 $0.001 \sim 0.01 \text{ m/s}$ 之间。因此水力滞留时间,较短的超过 1 个月,较长的高达数百年。湖泊(水库)内的水流运动流向多变,许多深水湖泊常出现密度分层现象,密度分层的形成和破坏一般由当地的气候条件和湖泊深度控制。

地下水具有相对稳定的流速和流向,流动形态也相对固定。含水层流速一般在 $10^{-10} \sim 10^{-3} \text{ m/s}$ 之间,一般受介质孔隙度和透水性制约,低流速运动造成地下水的混合相对较差。

另外有几种常见的水体类型(水库、洪泛区、沼泽湿地、冲洪积含水层),具有较为独特的水动力特征。

水库的水动力特征介于河流和湖泊之间。水库规模按库容来区

分, 从大到小变化较大。大型水库水力滞留时间较长, 水动力特性与湖泊接近。在河道上建造的一些河道型水库, 受径流调节和人为控制, 水力滞留时间较短 (小于 2 周), 如我国黄河和长江上建造的一些水库 (葛洲坝、三门峡水库、小浪底水库等), 其水动力特征与河流接近。

洪泛区以季节性特征明显为标志, 呈现介于河流和湖泊之间的水动力特征, 一般以河流形态为主。

沼泽湿地呈现湖泊和潜水含水层的双重特征, 水力特性较为复杂。

冲洪积含水层和岩溶含水层介于河流和地下水之间, 而且二者之间在流动形态上存在较大的不同, 冲洪积含水层流动相对较慢, 而岩溶含水层流动相对较快, 因此一般又被称作地下河或暗河。

综上所述, 不同类型的陆地水体, 水力滞留时间相差甚巨 (见图 1-1), 而且每一种陆地水体的水力停留时间又受所在流域的水文气象条件以及水体规模的影响。一般地, 河流的控制因子是径流量, 湖泊则主要受水力滞留时间和密度分层的影响。水库的一个共同特点是为了某一使用功能或多种使用功能而对出入库水量进行有计划的人为调节。地下水体则主要受补给条件的制约, 即受到使地下水不断更新的非饱和含水层渗流特性的影响。

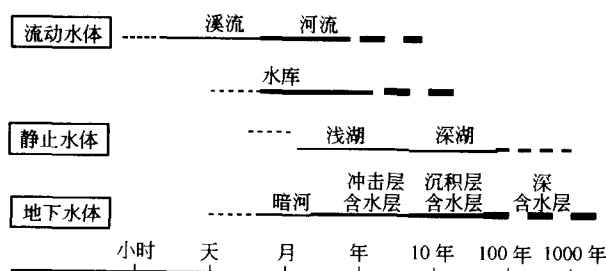


图 1-1 陆地水体水力滞留时间示意

陆地水体水质监测与评价实施前, 必须对水体水动力特性进行

系统分析。只有在经过有效的水文监测获得较系统的流量数据基础上,才能较准确分析陆地水体水力特性,由于水体水力特性的复杂性,必须尽可能避免经验判断。

二、物理化学特征

陆地淡水水体因所在流域水文气象、地形地貌和地球化学等方面的差异,其物理化学特征呈现明显的不同。一些综合性特征参数,如总溶解性固体、电导率以及氧化电位等,可以对自然条件相同的水体分类提供参考。与总溶解性固体有关的矿化度,是降水、风化、淋溶等过程作用的结果,是水体最重要的水质参数之一。因溶解氧是水体中重金属的溶解性能以及生物生命活动的重要控制因素之一,因此也是表征水体水质特征的重要参数之一。

水环境的水化学状况与当地的地质状况、气候条件、与海洋空间距离、表土层状况等因素有关。如果地表水不受人类活动影响,那么全球 90%~99% 淡水的天然水化学状况,是适宜水生生物和人类使用的,只有 1%~10% 左右淡水的水化学状况分布在盐湖、温泉、酸性火山湖和泥炭沼泽等水体中,对人类使用是不合适的;但是,即使是在这样的极端环境中,依然能发现种类众多的水生生物存在。一些区域,天然地下水中总溶解盐、氟化物、砷等含量较高,以至高出最大容许浓度。

颗粒物含量影响吸附/解吸过程,也是水质的重要参数。水体的吸附/解吸过程受到以下因素影响:单位水体颗粒物含量,颗粒物类型和特征(有机颗粒物或无机颗粒物),水体与颗粒物的接触时间。水体颗粒含量随时间变化的原因主要源于水力参数、矿物溶解性能、颗粒特征和生物以及人类活动强度等因素的相互作用。

三、生物特征

环境条件制约地表水体中生物(植物和动物)的繁殖,从而决

定单个有机体的生理特征与种群选择。与河流相比，湖泊水库中浮游植物和大型水生植物等有机体的初级生产力相对较高。与阳光隔绝的地下水和深湖中有机质分解较慢，与之相关的细菌活动过程也较漫长。水体可以采用一定的分析方法进行监测，而水体生物学质量则一般只能进行定性和定量相结合的方法进行描述。水体生物监测一般在两个层次上展开：单个物种对环境变化的响应；生物群落对环境变化的响应。根据生物特征对水体水质进行分类评价已经在较多水体中进行了研究。对选定物种（如贝类、水生苔藓）或形体组织（如肌肉和肝脏）进行化学分析确定污染原因，是化学和生物结合的监测方法。由于化学、水文等因素对生物群的影响可持续数天、数月乃至数年，因此包括生物群化学分析的生物学质量的时间尺度远高于水体化学质量。

第二节 水环境质量评价标准

一、水环境质量基准（Criterion）和水环境质量标准（Standard）

水环境质量基准可以是一种水质成分的规定浓度，也可以是叙述性的说明。如果水质成分未超出规定浓度，将可以保护生物、生物群落，或者指定的用水，或者具有某一适当安全度的水质。

水质标准是以水质基准为依据，根据社会、经济、技术等因素所制定的限制值，具有法律强制性，且根据实际情况进行不断的修改和补充。

水质评价标准意味着水域所要达到的，或污水排放所要遵循的一项法律条文。一项水质评价标准可以利用水质评价基准作为制定法律规定或实施条例的依据，但是考虑到当地自然条件特征，水域的重要性、经济性，或者生态系统的状况以及水质安全度，水质评价标准可以有别于评价基准。