

# 辽河流域环境要素 与生态格局演变 及其水生生态效应

LIAOHE LIUYU HUANJING YAOSU  
YU SHENGTAI GEJU YANBIAN  
JIQI SHUISHENGTAI XIAOYING

徐宗学 刘星才 李艳利 等 著



中国环境出版社

# 辽河流域环境要素与生态格局 演变及其水生态效应

徐宗学 刘星才 李艳利 等著

中国环境出版社·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

辽河流域环境要素与生态格局演变及其水生态效应/徐宗学等著. —北京: 中国环境出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5111-2760-0

I. ①辽… II. ①徐… III. ①流域—水环境—生态环境—环境功能区划—景观规划—中国 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 068880 号

## 内容提要

本专著分为两部分。第一部分主要包括区域环境要素与水生态系统, 环境要素空间异质性分析、流域水生态系统要素分析、水生态一、二级分区技术框架、辽河流域水生态一级分区生态水文特征等内容。在总结、借鉴国内外水生态分区理论和技术的基础上, 提出了我国流域水生态功能一、二级分区的基本思路和概念框架, 并在辽河流域进行了初步应用, 为研究流域环境要素空间异质性奠定了基础。第二部分是在水生态初步分区基础上, 关于区域环境要素对水生态系统的影响研究。从景观生态学角度探讨了辽河流域水生态功能二级分区浑太河流域不同尺度上的土地利用结构变化对水质和水生生物的影响, 内容包括浑太河流域不同尺度景观格局分析、不同尺度景观格局的水质响应关系、浑太河流域水生态响应显著的环境要素变化等内容, 最后是结论与展望。

本书可以作为国家重大水专项研究工作, 尤其是水生态功能分区工作的参考用书, 也可以作为环境科学、生态科学、生态水文学、资源科学等相关专业的专家、学者和研究生以及高年级本科生的参考用书。

出版人 王新程  
责任编辑 王 焱  
责任校对 尹 芳  
封面设计 彭 杉

---

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](mailto:bjgl@cesp.com.cn)  
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)  
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 2016 年 8 月第 1 版  
印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 19.25  
字 数 410 千字  
定 价 68.00 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

## 序

自 20 世纪中叶以来,世界各国资源环境问题日益突出,并导致多起重大环境污染事件,各国也由此加大了环境污染治理的步伐和强度。水体是人类和一切地球生物生存的基石,历史上的重大环境污染问题大部分与水体有关。水体污染治理可谓是当前环境保护任务的重中之重,而由于其污染来源及过程的复杂性,又使得治理难之又难。新中国成立以来,我国花费了巨大的人力、物力和财力开展流域水体污染治理,如淮河、滇池和巢湖水污染治理,但至今效果甚微。究其原因,一是我国水体污染防治技术不够发达;二是有限的水资源难以承载经济社会快速发展所带来的巨大压力;三是流域环境治理理念落后,技术单一,缺乏统筹管理思想。当今世界各国水体环境保护技术均蓬勃发展,尤其是发达国家,水体污染治理技术日趋成熟,为我国相关水污染治理工作提供了很好的参考和借鉴。我国各级政府与民间对水环境问题的关注也日益提高,认识到我国不能重蹈西方发达国家先发展后治理的老路。因此,21 世纪以来,中央高度重视水环境问题,大力提倡生态文明建设,水体污染治理是我国经济社会可持续发展的前提。然而,当前流域治理的思想还没有跟上经济和技术发展的步伐,迫切需要重新审视过去的治理工作,更新治理理念。

自从 20 世纪 70 年代美国生态学家 Bailey 开展生态分区以来,分区逐渐成为美国流域管理和水体环境治理的一个重要依据。1987 年,美国学者 Omernik 提出了水生态分区的概念和方法,逐步得到研究者和管理者的认可和推广。美国环保署(USEPA)以水生态分区为基础确定了不同区域的水体主要营养物指标基准值,以此作为分区管理的标准。欧盟也在随后开展了水生态分区研究,在欧盟“水政策管理框架”中明确提出以水生态分区为基础确定水体环境和质量指标的背景值。澳大利亚、英国等也相继开展了水生态分区及其管理应用的研究。可以说,分区管理已成为当前各国流域管理的主导思想之一。水生态分区因内涵更加明确、与水体环境治理关系更加密切,成为流域水环境管理的基本依据。

我国过去几十年的相关分区研究工作形成了较为丰富的理论与实践成果。如 20 世纪开展的综合自然地理分区、水文分区、水资源分区,以及后来的水功能分区、水环境功能分区、生态分区等。这些分区在我国自然资源的综合管理、区域发展与规划中发挥了重要作用。不过,目前这些分区都有别于水生态功能分区,对水生生态系统保护缺乏足够的重视。水生生态系统健康是流域环境管理的重要目标。流域水生态分区与其他自然地理分区不同,需要考虑到更多环境要素与水生生态系统之间的关系。因此,需要在明确两者间因果关系的基础上,根据不同尺度地形、气候、水文及地貌等要素确定流域水生生态系统的基本特征,

在不同尺度上对流域进行分区。另外,我国现行流域水环境管理部门之间职责交叉严重,各自采用不同分区管理方案,统一管理和监督体系建设颇为困难。涉水管理部门在流域管理过程中难以协调,往往造成管理政策冲突或资源浪费现象。因此,应该高度重视水生态系统的保护与恢复,提出统一的分区方案并在此基础上建立通用的管理框架,这也是当前我国流域管理的迫切任务之一。

“十一五”期间,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,设立了“水体污染控制与治理科技重大专项”(简称水专项),为我国“十一五”期间污染物排放总量控制提供了科技支撑。其中,“流域水污染防治监控预警技术与综合示范”主题中的一个重要内容即水生态功能区划理论和方法研究,建立水生态功能区划分指标体系和全国水生态功能分区技术框架,完成重点流域水生态一、二级分区。为此,设立了“流域水生态功能评价与分区技术”课题,其基本目标为揭示区域环境要素空间变异对流域水生态系统地域格局的影响,建立水生态功能分区体系与一、二级分区指标体系,初步形成水生态分区理论框架与方法体系,其核心专题之一是流域水生态空间异质性及其区域性环境要素驱动研究。课题于2008年启动,选择辽河与太湖流域作为示范研究区域,其中流域水生态空间异质性及其区域性环境要素驱动研究专题由北京师范大学徐宗学教授主持。

课题启动后,专题组成员对流域水生态空间异质性及其区域性环境要素驱动问题进行了深入探索,以辽河和太湖流域为例进行了实际应用,取得了可喜的成果,更为难能可贵的是,在本课题结题验收以后,徐宗学教授又在此基础上对区域环境要素对水生态系统要素的影响过程和机理开展了更为系统深入的研究。本专著充分吸收了上述研究成果的主要内容,是全国较早结合流域水生态分区开展水生态分析与研究的著作。当前,结合国家重大水专项,全国水生态功能分区研究工作正在快速推进和开展,本专著介绍的有关研究成果可以作为很好地借鉴与参考,相信此专著的出版必会极大地促进当前水专项相关研究工作的开展。

中国工程院院士

中国环境科学研究院院长

国家水体污染控制与治理科技重大专项技术总师



2014年12月20日

# 前言

2008年,国家水体污染控制与治理科技重大专项“流域水污染防治监控预警技术与综合示范”主题启动了“流域水生态功能分区与质量目标管理技术”项目。该项目的一项重要内容是“流域水生态功能评价与分区技术”,其主要目标为揭示区域性环境要素空间变异对流域水生态系统地域格局的影响,建立水生态功能分区体系与一、二级分区指标体系,初步形成水生态功能分区理论框架与方法体系。水生态功能分区将作为流域水体污染控制和管理的基礎,最终与水质目标管理、水环境监控预警和水污染治理综合决策等技术综合集成,构建全国统一的流域水环境管理技术体系。

本专著系上述“十一五”水专项关于流域水生态空间异质性及其区域性环境要素驱动研究专题及相关研究工作的成果总结。我国流域水生态功能分区工作刚刚开展,目前尚无成熟的分区技术和理论。流域分区管理对于流域生态环境保护工作具有重要的现实意义,对于我国流域管理具有十分迫切的现实需求。国外的水生态功能分区已经发展多年并有较成熟的应用,这些经验给了我们很好的启示和借鉴作用。因此,我们期望在总结目前流域管理体系的得失、分区管理框架的利弊基础上,最终提出水生态功能分区的方法和技术,制定流域水生态功能分区方案,为流域管理工作提供基本依据。而本专著的主要内容可以认为是水生态分区理论的主要支撑与基本依据。

本书内容分为两部分。第一部分(第2章至第7章)主要包括区域环境要素与水生态系统,环境要素空间异质性分析,流域水生态系统要素分析,水生态功能一、二级分区基本方法和技术框架以及辽河流域应用案例等内容。在总结、借鉴国内外水生态分区理论和技术的基础上,提出了我国流域水生态功能一、二级分区的基本思路和概念框架,并在辽河流域进行了初步应用,为研究流域环境要素空间异质性奠定了基础。为了开展相关研究工作,课题组成员先后在辽河流域进行了多次野外调查采样工作。过去几十年以来极少有整个流域的大范围水体采样工作,因此,本专著中水生生物和水环境特征分析也是今后该流域水生态系统相关研究的宝贵资料。第二部分(第8章至第11章)是在水生态初步分区基础上,关于区域环境要素对水生态系统的影响研究。从景观生态学角度探讨了辽河流域水生态功能二级分区浑太河流域不同尺度上的土地利用结构变化对水质和水生生物的影响,内容包括浑太河流域不同尺度景观格局分析、不同尺度景观格局的水质响应关系、浑太河流域水生态响应显著的环境要素变化等内容,最后是结论与展望。本专著的相关研究成果将为辽河流域水生态功能分区提供技术支撑和理论依据。

依托本水专项课题,培养了刘星才与李艳利两名博士研究生,现分别就职于中国科学院地理科学与资源研究所和河南理工大学。本专著的基本内容除了部分内容来自专题报告外,相关内容分别来自于刘星才和李艳利的博士学位论文。因此,本专著是集体智慧的结晶,是课题组所有成员近五年的研究成果。专著具体编写分工如下:总体大纲由徐宗学教授设计,第一章由徐宗学、刘星才完成,第二章由徐宗学、李艳利、张淑荣、刘星才完成,第三章由徐宗学、刘星才完成,第四章由李磊、王国强完成,第五章由高欣、牛翠娟、裴雪娇完成,第六章至第七章由刘星才、徐宗学完成,第八章至第十一章由李艳利、徐宗学完成,第十二章由徐宗学、刘星才完成,最后由徐宗学、刘星才统稿。

本专著得到国家水体污染控制与治理科技重大专项“流域水生态功能评价与分区技术”课题所属子课题“流域水生态空间异质性及其区域性环境要素驱动研究”(2008ZX07526-001-001)的支持,课题承担单位为中国环境科学研究院。因此,相关研究工作得到了中国环境科学研究院院长、国家水体污染控制与治理科技重大专项技术总师孟伟院士的直接指导。专著付梓之际,承蒙孟院士百忙之中为专著欣然作序,在此,特对孟院士的亲切指导和大力支持表示衷心的感谢!同时,对为本专著的出版付出辛勤劳动的中国环境出版社王焱和王钦表示衷心的感谢。

由于本书作者都是初次参与水生态分区相关研究工作,而且这一研究本身也正在发展之中,因此本专著中不妥甚至错误之处在所难免,敬请各位读者不吝批评指正。

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 .....               | 1   |
| 第 2 章 区域要素/景观格局与水生态系统 .....  | 6   |
| 2.1 区域环境要素与生态分区 .....        | 6   |
| 2.2 水生态系统特征因子 .....          | 7   |
| 2.3 区域环境要素对水生态系统的影响 .....    | 16  |
| 2.4 景观格局对水生态系统的影响 .....      | 29  |
| 第 3 章 研究区域概况 .....           | 39  |
| 3.1 辽河流域概况 .....             | 39  |
| 3.2 辽河流域主要支流 .....           | 42  |
| 第 4 章 环境要素空间异质性分析 .....      | 46  |
| 4.1 概述 .....                 | 46  |
| 4.2 空间分析方法 .....             | 46  |
| 4.3 辽河流域环境要素空间异质性 .....      | 52  |
| 4.4 小结 .....                 | 79  |
| 第 5 章 流域水生态系统要素分析 .....      | 81  |
| 5.1 概述 .....                 | 81  |
| 5.2 水生态系统要素分析 .....          | 88  |
| 5.3 鱼类和大型底栖动物调查及其完整性评价 ..... | 100 |
| 5.4 小结 .....                 | 135 |
| 第 6 章 流域水生态一、二级分区技术 .....    | 136 |
| 6.1 概述 .....                 | 136 |
| 6.2 指标体系 .....               | 136 |
| 6.3 分区原则 .....               | 150 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 6.4 分区方法 .....                               | 151 |
| 6.5 水生态一、二级分区案例 .....                        | 153 |
| 6.6 小结 .....                                 | 163 |
| 第7章 辽河流域水生态一级分区生态水文特征 .....                  | 164 |
| 7.1 概述 .....                                 | 164 |
| 7.2 水生态系统因子特征 .....                          | 164 |
| 7.3 环境要素对水生态系统的综合影响模拟 .....                  | 180 |
| 7.4 水文气象特征 .....                             | 189 |
| 7.5 小结 .....                                 | 193 |
| 第8章 基于二级水生态分区的浑太河流域水生态系统特征 .....             | 195 |
| 8.1 土地利用情况 .....                             | 195 |
| 8.2 水生态数据 .....                              | 196 |
| 8.3 水环境质量评价 .....                            | 197 |
| 8.4 大型底栖动物和鱼类的群落结构特征及生物完整性评价 .....           | 210 |
| 8.5 不同尺度环境—水生生物的相关分析 .....                   | 225 |
| 8.6 小结 .....                                 | 227 |
| 第9章 浑太河流域不同尺度景观格局分析 .....                    | 228 |
| 9.1 浑太河流域土地利用变化过程与特征 .....                   | 228 |
| 9.2 不同尺度景观格局空间变异分析 .....                     | 236 |
| 9.3 小结 .....                                 | 246 |
| 第10章 浑太河流域不同尺度景观格局的水质响应关系 .....              | 247 |
| 10.1 基于相关分析方法探讨不同尺度景观—水质关联关系 .....           | 247 |
| 10.2 基于回归分析方法对不同尺度景观格局的水质响应初步分析 .....        | 251 |
| 10.3 基于 RDA 方法对不同尺度景观格局对水质分异控制作用的进一步验证 ..... | 255 |
| 10.4 基于 CCA 方法解析不同景观格局变量对生物空间分异的贡献 .....     | 260 |
| 10.5 小结 .....                                | 265 |
| 第11章 浑太河流域水生态响应显著的环境要素变化 .....               | 266 |
| 11.1 水质指标响应显著的景观指标变化 .....                   | 266 |
| 11.2 水生生物指标响应显著的环境要素变化阈值区间 .....             | 275 |
| 11.3 小结 .....                                | 278 |

---

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第 12 章 结论与展望 ..... | 280 |
| 12.1 结论与讨论 .....   | 280 |
| 12.2 展望 .....      | 284 |
| 参考文献 .....         | 286 |

# 第1章 绪论

随着经济发展和城市化进程加速,我国流域水质污染问题日益严峻。在经济发展和水资源开发利用过程中,往往对人与自然的和谐共处重视不够,造成对水资源的无节制开发利用;最终导致江河断流、地下水超采、地面下沉;过度围湖造地、侵占河道,降低了河湖的调蓄能力和行洪能力,加剧了洪水灾害;忽视生态保护、乱砍滥伐,以致水土流失严重,江河湖库淤积;工业和生活污水大量排放,大部分河流受到严重污染等,带来了一系列流域生态环境问题。我国水资源短缺、水污染严重以及水生态恶化问题具体表现在:①水资源人均占有量低;②水资源供需矛盾突出;③水资源利用效率低;④水资源过度开发;⑤水体污染严重。2008年全国的主要河流或河段水质状况监测评价结果显示,IV~V类水河长占总评价河长的18.2%,劣V类水河长占20.6%。其中辽河区比例更高,IV~V水质占该流域评价总河长的23.9%,劣V类占30.1%。我国本来就是一个缺水国家,水质污染进一步加剧了水资源短缺问题,在一定程度上已经成为经济社会可持续发展的瓶颈。流域水资源过度开发和利用对水生态系统的影响尤其严重。鱼类过度捕捞使得众多河流鱼类几乎绝迹;大量污水的排放使得水生生物繁殖力和存活率下降、死亡率增加,导致水生生物资源迅速减少。近年来,水生态系统承受越来越大的压力,水源枯竭、水体污染和富营养化以及河道断流等问题频频出现(水利部,2005)。因此,为了保证流域水体的正常服务功能,加强流域水污染治理、保护流域水生态系统已是迫在眉睫,是我国当前流域管理的重要任务。

流域管理是指充分发挥流域自然资源(尤其是水土资源)的生态效益和社会经济效益,在全面规划的基础上合理利用水土资源,因地制宜设置综合治理措施,对自然环境和资源进行保护与合理开发利用(王礼先,1999)。国内外流域管理研究经过了几个发展阶段。在20世纪50年代,国外水生态系统管理主要关注水污染治理,管理目标主要为河道、河段尺度。到了60年代,开始将水生生物纳入保护目标。20世纪80年代,研究者开始聚焦水生态系统自然特征的修复,大约从这一时期开始,进入恢复生态系统研究阶段。90年代开始强调对水生态系统的整体功能恢复,并将管理目标扩展到整个流域。此时的水生态系统管理思想也发生了较大变化,从静态的、单项目标控制过渡到了动态、综合目标管理(丰华丽等,2010)。我国的水生态系统管理发展过程类似,20世纪70年代以前,以污染控制为流域生态系统管理的主要目标,70年代起开始水质管理技术相关研究。大约在90年代以后,我国对河流健康、生物多样性保护等越来越重视;研究者结合我国实际情况,也借

鉴了国际上较为先进和成熟的技术,丰富了我国流域管理内容和方法。国内外流域生态系统管理研究的发展历程表明,单纯依靠控制水污染指标并不能很好地解决水生态系统功能退化问题。因此,有必要将水生态系统作为一个整体,维持系统自身的健康与可持续发展能力,确保系统可以提供正常的服务功能,使得流域环境不受破坏,才能使流域水资源得到充分的开发利用。

不同部门和不同研究者对流域管理的理解或目标通常不完全一致。比如,生态学家通常希望受损生态系统能恢复到未受影响前的状态。在现实世界,这一目标却是很难达到。然而有时需要给出一个确切的生态保护或恢复目标以满足社会或管理部门的需要,这种情况只能给出相对较好的生态背景作为恢复目标(Meyer, 1997)。水质或生态恢复标准是影响流域水环境管理过程的一个重要问题(Hughes and Larsen, 1988)。对于大尺度流域,各个部分环境条件差异较大,也难以用一个统一的标准来对整个流域进行管理。由于各流域的自然环境和生态系统特征存在一定程度的差异,在实际流域管理应用中,国家统一的标准可能过于严格或过于宽松。标准过于严格会增加流域管理成本,过于宽松则危害流域生态系统健康(Hughes, 1985; Karr et al., 1985)。采用分区管理框架也许可以较好地解决这一问题;它分别针对各分区给出定量化、可行性较高的生态环境保护目标。如前所述,恢复和保护水生态系统是流域管理的重要目标,分区管理是针对生态系统存在空间差异的流域进行生态保护和修复的一个有效手段。

事实上,在我国流域管理发展过程中,分区管理研究早已开始。我国的流域水环境管理工作也已经有一些分区管理框架在应用,如最早的按行政区划的管理,后来的水功能区划(袁弘任, 2001, 2003)等。我国自 20 世纪 50 年代开始针对水体的区划研究,这一时期主要以部门单要素区划为主,如中国水文区划(中国科学院自然区划工作委员会, 1959)。2002 年,在水文区划基础上,全国水资源分区工作全面开展。全国共分为 10 个一级区,在保证河系完整的基础上划分二级区,在此基础上进一步可划分出三级区,根据需要可以细分至四、五级区。水资源分区为全国流域水资源管理提供了基础。此后,为了合理规划水资源利用和水污染治理,我国开始了针对地表水体的水功能区划研究,并形成了较为成熟的区划方案(水利部, 2003)。水环境功能分区是目前水环境管理的一个基本单元,它以水体污染防治和人类社会的发展需要为主要目标,根据污染物种类和水质类别进行区划。不过该区划尚存在一些问题,如缺乏流域综合管理模式、过于注重人类需求而忽视水生态系统的保护以及管理目标体系的不完整等。此外,在原国家环境保护总局主持下,历时近 13 年时间,于 2002 年完成了全国水环境功能分区工作,划分了 1.3 万个相对独立的区域,分为自然保护区、饮用水水源保护区、渔业用水区、工农业用水区、景观娱乐用水区、混合区和过渡区等几种功能区类型(国家环境保护总局, 2002)。然而,水功能区和水环境功能区均根据河段划分,而没有考虑陆地环境要素,两者均针对水体服务功能进行分类、区划,没有考虑水体污染的防治和水生态系统恢复等目的。鉴于目前我国水体污染和水生态系统受

损严重,很多水体已经难以提供人类所需的服务功能,相反,水体生态系统的修复和保护工作更为重要。因此,为了维持流域水生态系统健康,保证流域环境和经济社会的可持续发展,有必要对现有的流域管理方法和理念进行适当改良与创新,以适应新的形势和要求。

目前基于水环境功能分区的流域管理未能形成一个综合管理模式,侧重于人类需求而对水生态系统保护关注较少。随着研究者对流域生态系统认识的深入,对流域水生态系统的保护意识日益增强,以水生态系统保护理念为核心的流域水环境管理思想逐渐在国际上获得认可(Brady, 1996; Westervelt, 2001)。美国学者提出了在流域尺度上以生态系统管理为核心的理念(Christensen, et al., 1996),这一管理思想的基础便是水生态分区(Omernik, 1987; Hughes, et al., 1988)。“生态区”一词是由Crowley在1967年首次提出的,是指具有相似生态系统组成或期待发挥相似生态功能的陆地及水域(Crowley, 1967),将传统的地理分区研究带入了生态学领域。Omernik(1987)指出“水生态分区”是生态分区的一种类型,被认为是具有相对同质的淡水生态系统或生物体及其与环境相互关系的土地单元。水生态分区将特征相近的水生态系统以及与其相关的陆地单元划分为一个生态区,作为流域管理单元,是一种为水体生态管理服务的空间单元划分方法,是全局水污染与水资源管理策略、环境资源管理的空间单元。水生态分区是一种流域分区综合管理框架,以水生态系统为核心,综合考虑陆地环境的影响,实现水陆综合分区管理,从而达到水生态系统保护的目标。国外已经有不少水生态分区应用研究。澳大利亚维多利亚基于大型无脊椎动物进行了分区,在此分区基础上,在不同分区分别选择参考点,并考虑不同分区之间的差异性,利用丰富的大型无脊椎动物采样数据对各分区的水生生物保护状况进行评价,并针对不同分区给出了水环境保护目标(Metzeling, et al., 2006)。Hughes等(1987)对美国俄勒冈州的鱼类群落(fish assemblages)分布进行了系统聚类分析,结果发现鱼类群落的空间分布与水生态区划分结果吻合最好(Omernik, 1987)。水生态分区可以有效反映水生态系统的空间差异,为流域水资源的分类管理提供了新的途径。Stoddard(2004)在水生态分区基础上进行了流域环境监测和评估等方面的研究,包括监测网络设计、环境背景估算、评价结果展示以及未来环境监测和生态恢复优先级设置。

20世纪80年代以来,人们对生态系统的保护意识逐渐增强,可持续发展理念日益深入人心。因此,一些学者将生态学原理和生态系统思想引入自然区划研究,开始了我国生态区划研究(郑度等, 2005)。生态区是具有生态一致性和生物生产潜力相似性的自然区域,生态区划是自然地理区划中的一种,也是综合自然地理学研究中的一个重要内容,为社会经济的区域管理提供了基础。代表性的生态区划有傅伯杰等(2001)提出的中国生态区划方案,将我国划分为3个生态大区、13个生态地区和57个生态区。虽然水或水体相关要素通常是生态区划中的一个重要指标,但那时的生态区划主要针对陆地生态系统,水体还并不是区划的主要目标。20世纪90年代之后,我国流域管理

研究逐步转向高度关注水生态系统。随着研究工作的深入,我国以水环境保护为主要目标的水生态系统分区研究工作逐渐开展,并提出了“分类、分区、分级、分期”的水生态系统保护理念(孟伟,2007)。然而,目前还未形成全国统一的水生态分区框架和技术。

此外,我国现行流域水环境管理体制也存在不少问题,如管理部门之间职责交叉严重,水资源开发利用与水环境保护之间的矛盾,统一管理和监督体系建设困难等(陈宜瑜等,2007)。我国涉水管理部门有数个,其中主要的两个水环境管理部门为水利部和环保部。而这两个部门之间职能交叉严重,管理过程中难以协调,往往造成管理政策冲突或资源浪费现象。以分区管理为例,前面提到的环保部门提出的水环境功能区划与水利部门的水功能区划重复,两者在划分方法和目标上都大致相似,因此,在此基础上进行分区管理时容易造成水域功能矛盾或者重复管理。

目前,我国大多数流域水体污染严重,水生态系统均受到严重损害。因此,我国流域管理工作的重点不仅仅是水土资源的合理利用,更重要的是如何避免流域环境继续遭到破坏,清洁流域水体环境,恢复水生态系统功能,在此基础上才能更好地发挥流域水土资源的社会经济效益。我国流域管理工作主要分为两个阶段:①追根溯源,恢复原貌;②合理配置,物尽其用。前者即研究水生态系统恶化的主要原因,找出其主要影响因素,在此基础上制定合适的生态保护措施和目标,恢复水生态系统及其服务功能。后者是在保护环境和恢复生态功能基础上,对流域水土资源进行合理配置,充分利用不同条件和状态下生态系统所提供的服务功能。严格来说,两个阶段是相互交叉甚至同时进行的。正因为如此,才有进行流域水生态分区,实现流域分区、分类管理的重大现实需求。

鉴于我国流域管理中存在的种种问题,2008年,国家水体污染控制与治理科技重大专项主题五《流域水污染防治监控预警技术与综合示范》启动了“流域水生态功能分区与质量目标管理技术”项目。该项目的一项重要内容即“水生态分区”,其主要工作为“系统开展流域水生态功能区划理论与方法研究,建立水生态区划分指标体系,建立全国水生态功能分区技术框架”,分区方案将作为流域水体污染控制和管理的基础,最终与水质目标管理、水环境监控预警和水污染治理综合决策等技术系统集成,构建全国统一的流域水环境管理技术体系(水体污染控制与治理科技重大专项领导小组,2008)。

欧美等国家在流域分区(包括水生态分区)理论和方法上进行了长期的研究和探索,并开展了大量实践工作(Omernik,1987;Abell, et al., 2000; European Commission, 2000; Bailey, 2002),其中很多理论和方法成果均可供我国水生态分区工作参考。然而,各国进行分区时出发点并不完全相同,而且由于地理条件差异及社会经济发展水平不同,各国对水生态系统保护的目标及恢复标准也不一样。因此,在参考其他水生态分区研究成果时,还需要根据我国具体情况开展更深入的探索,以确保我国水生态分区技术的可操作性与标准化,并提供充分的理论支撑。本专著在梳理前人研究成果的基础上,丰富和完善了水生态分区理论和方法,并提出了适合我国流域特点的水生态分区技术,在辽河流域进行了水

生态一、二级分区应用示范。目前我国水生态分区工作正逐步开展,为了使不同机构在不同的流域分区保持一致性,有必要对分区理论和技术框架进行探讨,对当前相关研究成果进行总结,从而为相关研究人员提供参考。

## 第2章 区域要素/景观格局与水生态系统

### 2.1 区域环境要素与生态分区

#### 2.1.1 国外生态分区研究

生态分区工作在国外开展得较早,并且已经取得了较多成果。1976年,美国生态学家 Bailey 从生态系统的观点出发,首次对各种组分(如森林、气候等)进行整合,提出了美国生态区域的等级系统,并编制了美国生态区域图(Bailey, 1976)。之后 Bailey (1989)还编制了北美和美国范围内的陆地生态系统区域图和海洋生态区划图。但 Bailey 生态区划的每个等级均基于其他特定的地图。如 Bailey 生态区划中的最小单元区块(section)基于 Küchler (1970)的潜在自然植被(Potential natural vegetation)图,而较区块尺寸大两级的分区(division)则基于气候图(Trewartha, 1943)。然而,在应用 Bailey 的分区方法对水生态系统进行分区时,并没有像陆地生态系统分区那么有效。在以上工作基础上,研究者提出了水生态系统分区方法以及水生和陆生生态系统综合分区方法,即将影响水生态系统空间分布特征的要素如气候、地貌、土壤、地质以及植被等纳入生态分区指标体系(Omernik, et al., 1981; Omernik, 1987)。该分区方法中用到的基础地图有:土地利用、地形、潜在自然植被以及土壤图,认为这些要素是水生物区系的决定因子。McMahon 等(2001)提出了美国生态区划分的通用方案。该方案划分的生态区具有相似的生物和非生物特征、地形、水生容量和潜力(aquatic capacities and potentials)。Hargrove 和 Hoffman (2004)基于高程、温度、降水、土壤特性和太阳辐射等空间分布图,采用多变量聚类方法在美国进行了多个级别的定量化生态分区。

20 世纪末,欧洲国家统一开展了水生态分区工作。2000 年,欧盟委员会(European Commission)提出欧洲水框架指令(European Water Framework Directive, WFD),首次全面阐述了欧洲淡水生态系统的管理和保护概念(European Commission, 2000)以及水生生物区系在水质评价中的重要作用。WFD 将地表水分成了河流、湖泊、过渡水区(transitional waters)和沿海水域(coastal waters),据此可对水生态系统进行分类,并对不同类型水域的管理选择不同生态系统状态参照基准(Logan & Furse, 2002)。

### 2.1.2 我国生态分区研究

20世纪90年代,我国开始关于生态分区、生态功能分区的研究(黄兴文和陈百明,1999;傅伯杰等,2001;燕乃玲和虞孝感,2003;尹民等,2005)。我国真正开始系统地进行生态区划是国家环保部编制的全国生态功能区划,在生态现状调查、生态敏感性和生态服务功能评价基础上确定不同区域生态功能,将全国划分为3类31个生态功能一级区,9类67个生态功能二级区,以及216个生态功能三级区(环境保护部和中国科学院,2008)。随着研究者对生态系统认识的深入以及对水体保护的关注日益增强,以水环境保护为主要目标的水生态系统分区研究工作逐步开展(孟伟等,2007b;周丰等,2007;黄艺等,2009),并提出了“分类、分区、分级、分期”的水生态系统保护理念(孟伟,2007;孟伟等,2007a)。然而,目前还未形成全国统一的水生态分区框架和技术。Zhou和Zheng(2008)以水库和湖泊为对象进行了全国范围的水生态分区,但由于没有考虑河流这一重要的水生态系统,其分区结果尚值得商榷。最近孙小银和周启星对我国水生态分区框架进行了探讨,提出了一个较完整的指标体系(孙小银和周启星,2010);不过该指标体系基于宏观、中等和小尺度对指标进行分类,没有明确针对某个级别的分区给定指标。孟伟等认为水生态功能区是水环境功能区划的基础,同时前者还弥补了后者的不足之处(孟伟等,2007c);然而,由于水环境功能区划已经应用到众多省市的水环境管理工作中并取得了一定成效,有学者建议水生态功能分区工作宜在已有的水环境功能区划基础上进行,以保证两个分区框架的衔接和区划工作的可操作性(孙小银和周启星,2010)。

## 2.2 水生态系统特征因子

水生态系统不仅为水生生物提供栖息地,对地球的环境具有重要的调节作用,而且也与人类的生存生活密切相关,为人类提供水资源和水产品。主要包括湖泊、水库、江河和海洋生态系统等不同类型,而水库实际上是“人工湖泊”,有与湖泊基本相同的特征。对水域的划分,生态学中常依据对水生生物分布、生长等起重要作用的主要生态因子如水温、盐度等为依据。科学地划分水域的类型是开展水域生态系统研究的基础。水域类型不同,生物群落的结构和功能就不同,因而对外界干扰的反应和抵抗力也不同。例如,同是淡水水域,湖泊和河流这两个类型之间无论是在生物群落的物种组成、系统的功能特征还是抗干扰的能力(如自净能力)等都存在着很大的差别。但是,与陆地生态系统的环境相比,水生生态系统又因其以水作为系统的环境因素而又具有一些共同特征,这些共同特征在很大程度上都与水的理化特性有关。而且,正是由于水的这些理化特征使水陆两类生态系统在系统的结构和功能上存在着许多明显的差异。水生态系统是由水生生物群落与水环境共同构成的具有特定结构和功能的动态平衡系统。