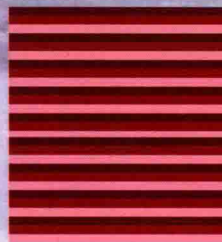
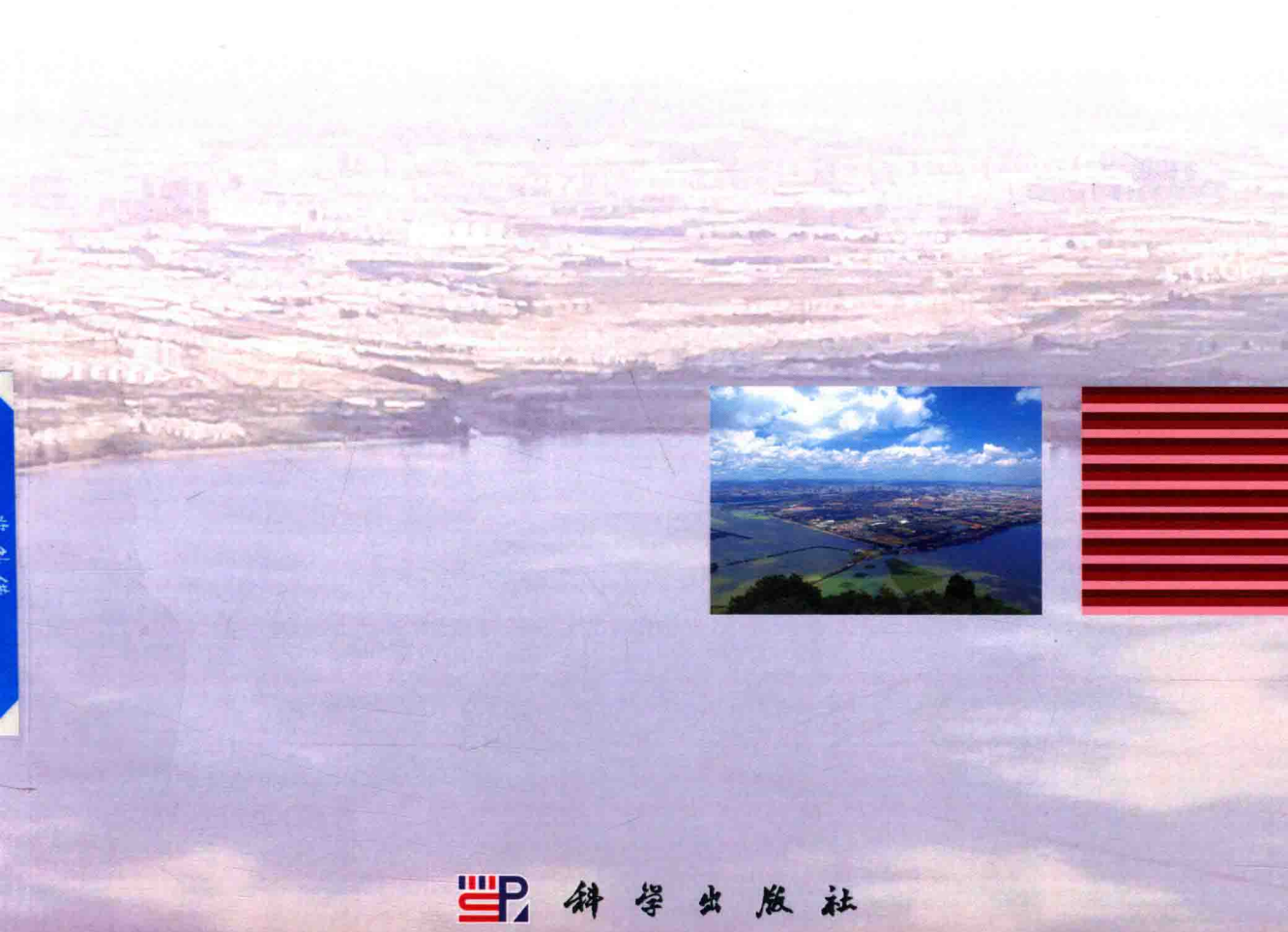


滇池流域 水生态功能分区研究

黄 艺 曹晓峰

樊 灏 蒋大林 汪 杰 蔡佳亮 等 ● 著



科学出版社

滇池流域水生态功能分区研究

黄 艺 曹晓峰 樊 灏 蒋大林 汪 杰 蔡佳亮等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了滇池流域水生态功能分区理论,全书分为7章,在总结水生态功能分区理论的基础上,重点阐述了滇池流域的自然环境、社会经济和人文地理特征的空间分布概况,以及水资源、水环境、大型水生生物等水生态系统的时空演变规律,并分析了滇池流域水生态功能的驱动机制,以此构建了滇池流域水生态功能1~4级分区的指标体系,最后对分区结果进行了功能评价,并提出流域水生态系统保护目标和保护建议。

本书适合生态学、环境科学、地理学、水文与水资源和流域规划与管理等专业的科研、教学和管理工作的读者借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

滇池流域水生态功能分区研究 / 黄艺等著. —北京: 科学出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-03-057615-6

I. ①滇… II. ①黄… III. ①滇池-流域-水环境-生态环境-环境功能区划-研究 IV. ①X321.274.113

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 120065 号

责任编辑: 刘 超 / 责任校对: 彭 涛

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 李姗姗

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年6月第一次印刷 印张: 14

字数: 340 000

定价: 218.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

滇池流域是云南省重要的政治文化中心，其地处金沙江、珠江、红河三大水系的分水岭。昆明市依附于滇池而发展，从20世纪80年代末90年代初的480万人口，发展成了常住人口662.6万人、面积21012.54 km²、GDP 3712.99亿元的大城市，成了高原上的一颗明珠。然而，伴随昆明市人口快速增长和城市规模的不断扩大，滇池流域的生态系统也发生了巨大的变化。滇池流域水资源供需矛盾突出，入湖河流水量锐减、水质下降、滇池生态环境恶化，湖泊富营养化严重，景观及供水等功能下降等问题引起了社会各界的广泛关注，滇池被列为全国重点治理的“三江三湖”之一。在科学技术部的“水体污染控制与治理科技重大专项”研究中，滇池流域作为“三河、三湖、一江、一库”里的重点项目，均列入“十一五”和“十二五”国家重大水专项的研究对象。

在相当长的一段时间内，滇池流域仍然要承受人口和经济增长带来的巨大环境压力。一方面，人口的持续增长将增加对滇池的用水需求，使得滇池的饮用水服务功能相对减弱；另一方面，城市化进程的推进和人口的持续增长所带来的污染物和生活废水的排放，在某种程度上将加剧污染物对环境的压力。流域所面临的水资源短缺和水体富营养化将使滇池这一高原湖泊的生态系统面临严峻的挑战。

本书基于国家重大水专项对滇池研究的成果，在研究滇池流域的水文、水质和水生态特征的基础上，通过分析滇池水生态过程，对滇池流域水生态功能进行分级分区，并对各区的水生态服务功能进行阐述。以期对滇池流域水生态系统的保护和恢复，为滇池流域的综合管理提供重要技术支持。

全书共分7章，第1章阐述不同生态功能区划的概念内涵和研究进展，并确立了水生态功能区划的理论基础和划分路径，由黄艺和蔡佳亮撰写。第2章介绍了滇池流域的自然环境特征与社会经济情况，由汪杰、蔡佳亮、曹晓峰、孙金华撰写。第3章综述了滇池流域现有的区划和规划，由蒋大林和黄艺撰写。第4章阐述了滇池流域自然和社会要素与水生态系统的关系，由蔡佳亮、文航、吕明姬、曹晓峰、高喆、孙金华撰写。第5章和第6章对滇池流域的水生态功能1~4级区划进行了具体划分和说明，由樊灏、曹晓峰、蒋大林、高喆、汪杰、陈小勇、赵亚鹏撰写。第7章则在上述分区的基础上，在水生态功能二级分区水平对滇池流域水生态系统的安全性进行了评估，并提出了保障滇池生态安全的管理对策，由曹晓峰、樊灏、孙金华撰写。全书由黄艺、曹晓峰定稿。

本书的写作与出版受“十一五”国家水体污染控制与治理科技重大专项—重点流域水

生态功能一级二级分区研究(2008ZX07526-002)—滇池流域水生态功能一级二级分区研究(2008ZX07526-002-06)与“十二五”国家水体污染控制与治理科技重大专项—重点流域水生态功能三级四级分区研究(2012ZX07501-002)—滇池流域水生态功能三级四级分区研究(2012ZX07501-002-06)的资助,并受昆明市环境监测中心、中国林业科学研究院西南生态研究中心和中国科学院昆明动物研究所提供支撑材料。在此,谨向参与本书研究工作的所有专家学者、技术人员、研究生,以及给予本书研究工作帮助、指导的单位和个人,表示诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏与不足之处,敬请学术界同仁与广大读者不吝批评赐教。

黄 艺

2016年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 流域水生态功能分区研究的背景	1
1.2 水生态功能分区相关的研究及其进展	2
1.3 流域水生态功能分区的理论基础和线路图	14
第 2 章 滇池流域水生态系统形成基础	26
2.1 湖泊流域特征	26
2.2 滇池流域自然环境特征	27
2.3 滇池流域社会经济特征	49
第 3 章 滇池流域现有区划方案解析	53
3.1 生态功能区划	53
3.2 水功能区划	57
3.3 水环境功能区划	66
3.4 主体功能区规划	70
3.5 其他区划	75
3.6 现有区划与水生态功能分区的关系	76
第 4 章 滇池流域自然和社会要素与水生态系统功能关系分析	79
4.1 水生生物群落结构和水质关系分析	80
4.2 河流水文形貌对底栖动物群落结构的影响	86
4.3 人类活动对水质变化的影响	90
第 5 章 滇池流域水生态功能分区	109
5.1 滇池流域水生态功能分区的定位与目标	109
5.2 滇池流域水生态功能分区目的和原则	110
5.3 滇池流域水生态功能划分方法	112
5.4 一级分区过程与结果	114
5.5 二级分区过程与结果	122
5.6 三级分区过程与结果	130
5.7 四级分区过程与结果	143
第 6 章 滇池流域水生态功能分区方案说明	154
6.1 北部水源地—山区河流—水生态功能一级区 (LG I 区)	154
6.2 南部水源地—山区河流—水生态功能一级区 (LG II 区)	164
6.3 环滇池—平原河流—水生态功能一级区 (LG III 区)	168
6.4 滇池—湖体—水生态功能一级区 (LG IV 区)	184

6.5 西山—海口河—水生态功能一级区 (LG V 区)	188
第 7 章 基于水生态功能分区的水生态系统安全评价	190
7.1 水生态安全的概念和内涵	190
7.2 滇池流域水生态系统安全评估方法	192
7.3 滇池流域水生态系统安全评估	197
7.4 滇池流域水生态系统安全评估结果解析及管理对策	204
参考文献	211

第1章 绪 论

分区是空间组织和管理的一种常见手段。自然资源管理者和生态系统管理者一直在探索不同的分区理论和技术,以适应不同管理目标的需求。本章通过梳理既有生态分区相关的研究和实践,提出水生态功能分区的理论基础和技术路线,为滇池水生态功能分区提供基础。

1.1 流域水生态功能分区研究的背景

流域(watershed)在自然地理学中被定义为水系的汇水区域和具有水文功能的连续体,包括自然水文网、相邻路段,以及集水区内的入口、环境、资源、经济、文化、政策和决策等要素,是一个兼具封闭性与开放性的动态复合生态系统。流域的封闭性由其明确的自然地理界限所决定,流域内各要素之间具有因果关系,通过物质输移、能量流动、信息传递,各因素通过相互交织、相互制约,形成自然-社会-经济复合系统。流域的开放性在于其复合系统的耗散结构,依赖于外界的能量流动、物质循环和信息传递,以及生态系统的自组织能力,从而维系流域生态系统健康,进而实现作为完整系统所提供的服务功能(蔡晓明,2000)。

流域是人类活动最为剧烈的地区之一。然而,随着人口的急剧增长和资源的过度消耗,持续而剧烈的人类活动已经使全球生态系统遭受空前的冲击与破坏,生态系统服务功能(ecosystem services)及其对人类的福祉正在迅速衰退,甚至威胁到人类可持续发展的生态基础(李文华等,2008)。联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)报告,近20年来全球各流域生态系统的生物多样性持续锐减,水生态系统的恶化程度比陆地生态系统更加严峻(UNEP,2007),已经造成全球约20%的人口不能获得安全饮用水,约40%的人口缺少基本用水卫生条件(UNEP,2012)。我国流域生态环境的状态也并不乐观,主要问题为水质急剧恶化,水量型缺水与水质型缺水并存,水资源开发与生态用水冲突(钱正英和张光斗,2001),水生态破坏严重与河口淤积,流域跨行政边界管理的职能分割与脱节(黄艺等,2009)等。因此,通过何种手段来科学合理地开展流域生态系统管理(ecosystem management)和水资源保护,已成为中国 and 世界各国可持续发展所面临的关键挑战之一。

自20世纪70代末起,以生态系统健康(ecosystem health)为目标的水环境管理逐渐成为流域管理的研究主流,其理念强调了水环境污染控制向水生态系统完整性保护的转变。80年代中期,美国国家环境保护局(US Environmental Protection Agency, USEPA)提出了水生态区的概念及其分区方法,并以此作为水生态系统环境管理的基本单元(Omernik,1987)。水生态区体现了水生态系统空间特征的差异,实现了从水化学指标向

水生态指标管理的转变。90年代末,USEPA基于水生态区开始着手建立《地区营养标准发展的国家战略》(*the National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria*),通过对湖泊与水库、河流与溪涧、河口区与海岸带、湿地等不同水体制定监测技术指导手册,以期发展和完善流域生态系统的非点源污染控制和生物多样性保护的管理标准。2000年,欧盟颁布《水框架指令》(*Water Frame Directive*, WFD),其中明确提出要以水生态区和水体类型为基础来评估水体的生态状况,从而确定水生态系统健康恢复目标的保护原则(Moog et al., 2004)。国外的这些研究和实践表明,水生态分区成为水环境管理的基础,它使决策者和管理者从系统的角度认识水环境,实现流域生态系统健康的目标。

我国一直在积极寻求适宜的水环境保护和管理措施,已先后制定了《水功能区划技术大纲》(中华人民共和国水利部,2000)、《地表水环境功能区划分技术导则》(国家环境保护总局环境规划院,2001)、《近岸海域环境功能区划分技术规范》(HJ/T 82—2001)、《中国水功能区划(试行)》(中华人民共和国水利部,2002)、《中国地表水环境功能区划》(国家环境保护总局,2002),以及《生态功能区划技术暂行规程》(国家环境保护总局,2002)等,它们对解决我国的水生态环境问题都发挥了重要作用。然而受众多主客观因素的影响,这些现行区划都还存在一系列问题,如缺乏基于流域生态环境特征与生态环境问题、生态环境敏感性,以及生态系统服务功能空间异质性规律的理论与方法的研究(孟伟等,2007),无法从根本上协调流域各利益相关者在水质、水量、水生态方面的冲突(周丰等,2007),无法适应以恢复完整性和可持续性生态系统健康为目标的流域生态系统管理的新要求(刘永和郭怀成,2008),因而无法满足未来我国水环境管理和水资源保护战略的新需求(阳平坚等,2007)。

为促进我国水资源管理从单一的水质管理向流域综合管理转变,实现流域水质保障与水生态安全的目标,国家在“十一五”“十二五”期间启动了水体污染控制与治理科技重大专项(水专项),其中,专门设置了“流域监控”主题。该主题中的一项重要任务是要“系统地开展流域水生态功能分区理论与方法研究,建立水生态功能分区分指标体系,建立全国水生态功能分区技术框架,完成重点流域水生态功能一级、二级、三级和四级分区”。旨在研究流域水生态环境特征与生态环境问题、生态环境敏感性和生态系统服务功能空间异质性规律的基础上,建立体现流域水生态系统异质性的单元区,以协调流域各利益相关者在水质、水量、水生态方面的冲突,适应以恢复完整性和可持续性生态系统健康为目标的流域生态系统管理。

1.2 水生态功能分区相关的研究及其进展

分区是空间组织和管理的一种常见手段。出于不同的管理目的,人们一直在探索不同的分区技术和分区方案,如为了给自然资源管理提供依据,为生态环境保护、生物多样性保护提供指导等需求,国内外已经进行了许多分区的研究和实践,相继进行了生态分区、生态功能分区、水生态分区、水功能分区、水环境功能分区等区划实践。区划由最初基于对自然地理特征的认识,从气候、地质、地形、地貌、水文、土壤等非生物性因素方面进行的区划,或基于植被、动物等生物性因素趋同或异质性进行的分区,逐渐转向关注由生

物、非生物构成的整个生态系统的认识和空间划分。在区划空间范围上,有以行政边界为基本单元进行的区划,以便于空间的行政管理;有突破行政界线,以流域为基本单元,在生态水文完整性基础上进行的区划,以保证流域水生态过程的连续性和完整性。各种区划研究的开展对人类认识自然、合理利用和保护自然资源、差异性管理国土空间、指导区域开发建设活动、统筹协调区域发展等提供了基础。下面将详细介绍与流域水生态功能分区相关的各项区划的研究进展。

1.2.1 生态分区

自然地理环境是生态系统形成和分异的基础。在一定尺度区域内,自然地理环境的地域分异规律会导致空间分布呈区域分异的不同生态系统的组合。因此,生态区划多是在自然区划的基础上发展而来的(蒙吉军,2005)。19世纪初,德国地理学家 Humboldt 把气候与植被分布有机结合,首创了世界等温线图。俄国地理学家 Dokuchaev 提出按气候划分自然土壤带,建立了土壤地带学说。与此同时,德国地理学家 Hommever 发展了地表自然区划的观念,以及在主要单元内部逐级分区的概念,设想出4级地理单元,开启了现代自然区划的研究(傅伯杰等,1999)。

19世纪末生态区划研究出现,其标志是 Merriam 以生物作为自然区划的依据来划分美国的生命带和农作物带(Merriam,1898)。英国生态学家 Herbertson (1905)对全球各主要自然区域单元进行了区划和介绍,并指出了进行全球生态地域划分的必要性。1935年英国生态学家 Tansley 提出了生态系统的概念,以植被(生态系统)为主体的生态区划研究得到了蓬勃发展,但也出现了把植被区划等同于生态区划,忽视生态系统整体特征的研究误区(郑达贤等,2007)。1962年,加拿大森林学家 Orie Loucks 提出了生态区(ecoregion)的概念,即具有相似生态系统或期待发挥相似生态功能的陆地和水域,并将其作为生态分区研究的基本单元(Marshall et al.,1987; Wickware and Rubec,1989; Warry and Hanau,1993; Klijn and Udo Haes,1994)。1967年,加拿大生态学家 Crowley 根据气候和植被的宏观特征,绘制了加拿大生态区地图(ecoregion map)。1976年,美国生态学家 Bailey 从生态系统角度阐述了生态分区研究是按照其空间关系来整合自然地理单元的过程,先后绘制了美国(Bailey,1976,1994)、北美洲(Bailey and Cushwa,1981; Bailey,1997)、世界大陆(Bailey,1989)和海洋(Bailey,1996)的生态区地图。同一时间,加拿大进一步发展了全国生态分区体系(表1-1)。

表 1-1 加拿大生态区划方案

分区名称	分区数量	分区描述
生态带 (ecozone)	15 个	地表上极为一般化的区域,大生态景观单元指在任何特定的、有明显区别和相互关系的生物与非生物因素混合的地区
生态省 (ecoprovince)	53 个	生态带的一部分,基于地形地貌、动物群区系、植被、水文学、土壤和大气候等的差异而进一步划分的区域

续表

分区名称	分区数量	分区描述
生态区 (ecoregion)	194 个	生态省的一部分, 基于植被、土壤、水和动物群等的差异而进一步划分的区域
生态小区 (ecodistrict)	1021 个	生态区的一部分, 基于地貌、地质、地形、植被、土壤、水、动物群等的差异而进一步划分的区域

资料来源: Bailey et al., 1985。

目前, USEPA 将生态区最新定义为具有一个独特的生物种群分布结构和模式的空间区域。在这空间区域中, 非生物因素, 如气候、地形、土壤和水文等, 不仅与生物种群之间有着密切的联系, 而且对于生态系统的发展起着重要作用。换言之, 生态区反映了基于景观特征的主要生态模式, 为生态系统评估、监测和管理提供了景观尺度的空间结构 (Merriam, 1898; Dice, 1943; Udvardy, 1975; Thayer, 2003), 从而能够保证在生态系统完整的前提下, 指导各政府部门开展自然资源和生态环境保护的管理工作。

中国的自然区划工作始于 20 世纪 30 年代, 其标志是《中国气候区域论》的发表 (竺可桢, 1931)。40 年代初, 黄秉维 (1940, 1941) 对我国进行了首次植被区划。1959 年, 中国科学院自然区划工作委员会编写出版了《中国综合自然区划 (初稿)》, 首次明确区划目的是为农、林、牧、水等事业服务, 并依据国外 (主要是苏联) 的区划工作拟订了适合中国特点、又便于与国外相比较的区划原则和方法 (燕乃玲, 2003)。与此同时, 根据农业发展的需要, 中国提出了一系列全国农业区划方案。80 年代出版的《中国自然生态区划与大农业发展战略》, 根据生态系统的差异, 首次将全国划分为 22 个生态区, 标志着中国生态区划的研究正式拉开了帷幕 (侯学煜, 1988)。针对 20 世纪 90 年代中期中国日益严峻的生态形势, 傅伯杰等 (1999) 提出在充分认识区域生态系统特征的基础上, 研究生态系统服务和生态资产分布、生态胁迫过程和生态环境敏感性, 建立中国生态环境综合区划的原则、方法和指标体系。杨勤业和李双成 (1999) 明确了中国生态地域的基本分区, 将全国分为 52 个生态区。21 世纪初, 傅伯杰等 (2001) 提出了中国生态区划的方案, 即将全国划分为 3 个生态大区、13 个生态地区、54 个生态区, 从而揭示不同生态区的生态环境问题及其形成机制。针对人类活动在自然生态环境变化中的作用和影响, 苗鸿等 (2001) 基于社会、经济和资源利用等指标开展了全国生态环境胁迫的区划, 初步提出了我国生态环境敏感特征, 以及人类活动对生态环境的影响规律。这些研究为全国各区域进一步开展生态功能区划建立了宏观框架。

1.2.2 生态功能分区

生态特征区划和生态功能区划是生态区划的两大组成部分。相比于前者, 生态功能区划强调了不同时空尺度的景观异质性 (landscape heterogeneity)。景观异质性不仅是景观结构的重要特征和决定因素, 而且对景观格局、过程和功能具有重要影响和控制作用, 决定着景观的整体生产力、承载力、抗干扰能力、恢复能力, 决定着景观的生物多样性。环境资源异质性、生态演替和干扰都是景观异质性的主要来源。

生态功能区划自 20 世纪 80 年代兴起, 在大区域尺度上得到了广泛应用, 其中, 包括

美国国家环境保护局 (USEPA) (Omernik, 1987)、塞拉俱乐部 (Sierra Club) (Elder, 1994)、环境合作委员会 (Commission for Environmental Cooperation)、世界野生生物基金会 (World Wildlife Fund International) (Olson and Dinerstein, 1998), 以及联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 的相关工作。表 1-2 主要概括了美国生态功能分区的发展历程。这些生态功能区划的方法与成果 (生态功能区地图) 通过分析区域生态环境问题形成的原因和机制, 进一步对生态环境及其生态资产进行综合评价, 为区域资源的开发利用、生物多样性保护, 以及可持续发展战略的制订等提供了科学的理论依据 (Bailey, 1996; 傅伯杰等, 1999)。

表 1-2 美国生态功能分区的发展

框架	目标	特征指标	分类方法	地理信息重要性
生态区 (Bailey, 1976, 1988)	美国林业部能推进更多的地区性和长期规划的公共土地管理机构参与其中	气候、顶级植被、地形 (高地、低地)	分类学, 边界描绘规则应用于每个生态层级的一两个预先确定的环境变量	重要, 确定地区某一特定层级空间范围内的变量
主要土地资源地区 (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1981)	为农业相关的决策制定提供基础	土壤、气候、水资源、土地利用	地区是所谓的土地资源单元 (land resource units, LRUs) 的集合。LRUs 与各州土壤地图单元相对应, 但必须基于气候、水资源、土地利用等重要地理差异进行修订或细化	重要, 确定怎样或何时来细化 LRUs, 从而区别于其他环境变量的巨大差异
生态区 (Omernik, 1987; USEPA, 1999)	协助淡水水域和陆地资源的管理者来理解可获得资源质量的地区模式	气候、地质 (地表和岩床)、地文、土壤、植被 (过去、现在、潜在的顶级种群)、土地利用、水质, 以及其他与环境潜能和容量相关的变量	边界确定是基于一套能够最好控制或反映在给定区域给定范围的地区潜能和容量	重要, 驱动整体方法, 对于描绘每个生态区重要或相对重要变量的选择是基于地理信息和适应于每个生态区的特征指标
植被生态区 (Hargrove and Hoffman, 1999)	提供一种量化、自动和可重复的方法对景观结构进行地理分割	高地、斜坡、土壤体积密度、矿物土壤厚度、岩床厚度、年平均气温、年平均降水量、水土保持能力和年平均太阳辐射	统计聚类分析	不重要, 因为聚类分析不需要在地理空间上实现

续表

框架	目标	特征指标	分类方法	地理信息重要性
Holdridge 生命地带 (Lugo et al., 1999)	提供一种生态制图的工具,能够应用到全球范围(与全球其他地区植被分类效果做比较)	降水量、生物温度、潜在土壤水分蒸发蒸腾损失总量、高地	自动方法对 Holdridge 生命地带图表进行地理空间应用	重要,在 Holdridge 生命地带分类学中,嵌入天气变量和其他特定变量(海拔)
北美陆地生态区 (Rickett and Claerbout, 1999)	用于保护规划的指导生物多样性评估	基于 Omernik (1995),但需修订物种分布和与地区物种生境有关的环境变量的有用信息	如果生物地理的和生物多样性模式不能在原来的边界上充分地区别或者充分地区别物种或唯一生境的额外集合,Omernik (1995) 的生态区就可以被相互融合	重要,确定何时去融合或何时和怎样去充满生态区
生态区	生态区规划	基于 Bailey (1994),但需修订有用的额外的生物和行政的信息	基于自然保护区团队的建议,对 Bailey 生态区进行修订,边界修订是基于各种可以影响保护效果的因素	重要,地理和行政(政治)信息

2001 年,国家环境保护总局组织中国科学院生态环境研究中心编制了《生态功能区划暂行规程》,对省域生态功能区划的一般原则、方法、程序、内容和要求做了规定,用于指导和规范各省开展生态功能区划(郑达贤等,2007)。目前,全国许多省和城市都已相继开展并完成了各自的生态功能区划。

生态功能区划体现了空间尺度的生态系统管理框架。通过识别生态系统空间格局、关键过程、动态演替的特征因子,揭示生态系统服务功能的区域差异,从而为因地制宜地开展生态功能区划,引导区域经 济-社会-生态复合系统的可持续发展提供一种新的思路和途径(欧阳志云和王如松,2005;黄艺等,2009)。

1.2.3 水生态分区

早在 20 世纪 70 年代末,USEPA 期望水环境管理部门在水域管理中,不仅要关注水化学指标和水污染控制问题,而且要关注水生态系统结构和功能的保护。要求有一套针对水生态系统的区划体系,不仅可以指导水质管理,而且能够反映水生物及其自然生活环境的特征。

1987 年,USEPA 根据 Omernik 提出的水生态区概念,即基于土壤、自然植被、地形和土地利用 4 个区域性特征指标,将具有相对同质的淡水生态系统或生物体及其与环境相关的土地单元划分为同一生态区的分区方法,制定了首份美国水生态区方案。该方案不是

根据某一种自然因素来划定各个级别的水生态区,而是将上述4个区域性特征指标结合在一起,反映水生生态系统及其周围陆地生态系统耦合关系的关键性因素 (Omernik and Gallant, 1990)。这些特征指标之间的联系密切,共同决定着土地利用类型,也影响着植被演替和土壤信息。例如,气候和地形影响土壤构成,气候和土壤影响植被类型,植被类型又影响着土壤构成。USEPA 通过对这4个指标专题地图的叠置和比较,确定其各自的空间特点和关系,以及潜在的水生态区范围。每个潜在的水生态区往往都由核心区和过渡区组成。其中,所有指标在核心区内的空间特点相对一致,能够基本重叠在一起,在过渡区内只有部分指标能够重叠在一起,需要根据专家经验进行判断,最终确定水生态区边界,因此,USEPA 水生态区方案是一个既能体现水生生态系统空间特征差异,又能够为水生生态系统完整性标准制定提供依据的管理单元体系。更重要的是,美国实现了从水化学指标向水生态指标管理的转变。

USEPA 水生态区方案至今已被多次修改,其最大变化是由Ⅲ级水生态区体系细化为V级体系。其中,I级和Ⅱ级划分都较为粗略,将整个美国划分为15个I级区和52个Ⅱ级区;Ⅲ级划分比较细致,包括美国大陆(除阿拉斯加州和夏威夷州以外的美国国土)(the Conterminous United States)的84个Ⅲ级区和阿拉斯加州的20个Ⅲ级区(USEPA, 2013);为了管理和监测非点源污染问题,由各州划分Ⅳ级区,主要指标包括气候、地文、土地利用、土壤、植被、地表水质等;V级区是基于区域景观水平开展的。目前,Ⅳ级水生态分区已经在美国各州实现,如在西弗吉尼亚州的阿巴拉契亚山脉山脊和山谷生态区,采用高程、电导率和水温3个指标将其划分为石灰岩山谷、页岩山谷、砂岩山脊、砂岩岩床山脊4种类型亚区,并且4种类型区并不是连续的,而是相互交错在一起;而V级分区研究还仅在个别区域进行。

1998年,USEPA 基于水生态区着手建立《地区营养标准发展国家战略》(the National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria, NSDRNC),以期通过制定河流与溪涧、湖泊与水库、河口区与海岸带、湿地4种不同水体营养状态基准的监测技术指导手册来完善流域生态系统非点源污染控制和生物多样性保护的管理标准。根据这个国家的战略标准,将美国大陆的84个Ⅲ级区整合成了14个应用型的水生态区。

除此之外,美国自然保护机构(The Nature Conservancy, TNC)也开展了淡水生态系统保护的分区研究,其基本单元按尺度由大到小的顺序依次为I级区—大生境(macrohabitat)、Ⅱ级区—水环境生态系统(aquatic ecological system)、Ⅲ级区—生态流域单元(ecological drainage unit),以及Ⅳ级区—水环境动物地理单元(aquatic zoogeographic unit)。

与美国水生态区方案中对流域水环境生态系统的管理理念相似,欧盟于2000年颁布了《水框架指令》,它以法律的形式要求欧盟境内的地表水达到“好的状态”。所谓“好的状态”,是指健康的水体生态状况,包括水物理-化学质量(pH、营养物、污染物)、水形态质量(水文区、河流连通性),以及水生物质量(鱼类、浮游植物、浮游动物、底栖动物)3类指标,都处于良好状态。换言之,基于水体类型和水生态区,《水框架指令》分析水体的参考条件,从而评估水体的生态状况,并最终确定水环境生态系统健康恢复目标的保护原则(Moog et al., 2004)。

《水框架指令》的水生态区方案包括:①确定流域。②水体分类(河流、湖泊、过渡

带水、海岸水、人工水、严重改变的水体)。

③基础分区,即划分A系统或B系统。其中,A系统是按照生态区的方法划分(包括海拔高度、下游区面积和地质这3个附加特征),而B系统除必需因子(与A系统因子相同)外,还引入了表征人类活动影响的选择因子,从而能够反映自然-社会经济-环境之间的耦合关系。

④详细分区,即按照压力-状态-影响,将同一类型水体划分为未显著影响水体和显著影响水体。《水框架指令》克服了在生物多样性管理上的国家政策局限性,改革性地以流域尺度确定欧盟水质目标,代替原来的行政管理单元。

为达到减少污染、改善水质、促进水资源可持续利用和降低旱涝灾害破坏的预期目标,欧盟提出了分阶段实施《水框架指令》:2004年完成水质现状及人类活动对水质影响的分析;2007年完成流域地表水风险评估(WFD,2007);2009年推进流域管理计划;2012年全面应用水生态区方案;2015年境内地表水达到“好的状态”,是分类、分级、分区实现流域生态环境管理目标的典型范例。

澳大利亚横跨整个大洋洲大陆,水体具有极大的生态多样性,因此,澳大利亚提出以影响水生态系统的景观要素指标,即降水量(季节性和充足度)、海拔和地形、植被类型(结构和组成)3个关键性因素,反映水生态系统的自然差异性(Davies,2000)。水生态区方案首先在维多利亚州试行,基于上述3个指标标准,可将其划分为17个水生态区(Wells and Peter,1997)。

我国为了满足生态水量标准制定的需求,中华人民共和国水利部于2000年开展了生态水文区划的工作。尹民等(2005)基于以往的水文区划(熊怡和张家祯,1995),提出了我国的生态水文区划方案,将水文要素特征与水生态特征区划进行了初步关联。该工作标志着我国的生态区划开始细化,有了专门针对水生态系统的区划研究和实践。

1.2.4 水功能分区

水功能区划(water function zoning)是为满足水资源合理开发和有效保护的需求,根据流域或区域水资源的自然条件、功能要求、开发利用现状,按照流域综合规划、水资源保护规划和经济社会发展要求,在相应水域按其主导功能并执行相应质量标准进行特定区域划分(高健磊等,2002)。

水功能区划是《中华人民共和国水法》赋予水利部门的一项重要职责。中华人民共和国水利部于1998年在全国范围内组织开展水功能区划分工作,全国七大流域根据各自情况对流域内所有江河湖库进行了水功能区划。在此基础上,中华人民共和国水利部根据国家和流域水资源的管理重点和核心,于2001年下发了《中国水功能区划(试行)》[简称《区划(试行)》]。通过1年的试行,水功能区管理取得了一定的效果。2003年,中华人民共和国水利部征求全国各省、自治区、直辖市人民政府及各部委意见,对《区划(试行)》进行调整修改后上报国务院批准,并于2003年7月1日正式颁布实施了《水功能区管理办法》。目前,中华人民共和国水利部已经完成了全国地表水水功能区划方案(表1-3)。

表 1-3 中华人民共和国环境保护部地表水水环境功能区划与中华人民共和国水利部水功能区划简介

类型	项目	具体内容			
		中华人民共和国环境保护部地表水水环境功能区划		中华人民共和国水利部水功能区划	
区划原则依据	区划目标	正确实施地表水环境质量标准，促进水污染物排放总量控制和环境管理目标责任制的实施，正确决策地方水环境保护的重点水域和保护目标		根据流域（区域）水资源开发利用现状与社会需求，合理开发和有效保护水资源，并确保发挥其最佳效益	
	区划依据标准	GB 3838—2002	地表水环境质量标准	GB 3838—2002	地表水环境质量标准
		GB/T 14529—1996	自然保护区类型及级别划分原则	GB 5749—2006	生活饮用水卫生标准
		GB 5749—2006	生活饮用水卫生标准	GB 11607—1989	渔业水质标准
		GB 11607—1989	渔业水质标准	GB 5084—2005	农田灌溉水质标准
		GB/T 14848—1993	地下水质量标准	GB 12941—1991	景观娱乐用水水质标准
	适用范围	适用于按《地表水环境质量标准》划分的Ⅰ～Ⅴ类的水环境功能区、混合区、过渡区，不适用于没有水环境功能的季节性水域		流域（区域）内河流（包括运河和渠道）、湖泊、水库	
区划技术方法	区划原则	可持续发展的原则，集中式生活饮用水水源地优先保护的原则，地下饮用水水源地污染防治为主的原则，不得降低现状使用功能的原则，水域兼有多种功能时按高功能保护的原则，对专业用水区及跨界管理水域统筹考虑的原则，与调整产业布局、陆上污染源管理紧密结合的原则，实用可行、便于管理的原则		可持续发展原则，统筹兼顾、突出重点的原则，前瞻性原则，便于管理、实用可行原则，水质水量并重原则	
	分级分类系统	采用Ⅰ级区划，分为8类：自然保护区、饮用水水源保护区、渔业用水区、工业用水区、农业用水区、景观娱乐用水区、混合区、过渡区		采用二级区划，其中Ⅰ级区划分为4类：保护区、保留区、开发利用区和缓冲区；Ⅱ级区划分为7类：饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区、排污控制区	
	资料收集	水质控制断面的常规监测资料，分水期进行水质单因子评价，从不同水期的多项水质指标监测值中找出主要污染物类型（超标因子）、主要污染时段（控制水期）。按照超标因子的不同，可以分为有机污染类型（COD、BOD ₅ 等）、富营养化类型（TP、TN等）、有毒有害类型（氰化物、汞、镉、铅、铬、砷等），分断面开列水环境问题清单		自然条件、社会经济、水资源开发利用现状、相关地方性法规与规划（流域综合规划、水资源保护规划）、水质现状及排污情况等。其中，Ⅰ级区划以省级行政区为单位，Ⅱ级区划以地级市为单位	

续表

类型	项目	具体内容	
		中华人民共和国环境保护部地表水水环境功能区划	中华人民共和国水利部水功能区划
区划技术方法	区划技术程序	汇集水域使用功能、确定水质控制断面，水质评价与输入响应分析，水环境功能区划分，协调水环境功能区保护目标，上报审批	I 级区划：按照先易后难的规则，首先划定保护区，接着划定缓冲区和开发利用区，然后划定为保留区 II 级区划：确定各开发利用功能区，然后协调和平衡各功能区的位置和长度等，最后考虑与规划衔接，检查所划功能区的合理性，进行适当的调整
	区划技术要求	饮用水水源保护区优先划分，混合区范围从严控制，明确水质控制断面考核目标，综合决策陆上污染源控制方案	以流域（区域）为单元，因地制宜地考虑水资源自然属性的空间差异性

水功能区划执行二级区划，即先对水域按照“保护区、保留区、开发利用区、缓冲区”进行 I 级分区，再在开发利用区内进行 II 级分区，共划分饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区和排污控制区 7 类水功能区。

1.2.5 水环境功能分区

水环境功能区划（water environmental function regionalization）是针对流域或区域水域使用功能、经济发展和污染源总量控制的要求，而开展的水域分类管理功能区划分（夏青，1989）。早在“六五”期间，我国就开始了水环境功能区划的相关工作，但主要集中在对部分流域的水环境容量研究上；自 1988 年起，我国《地表水环境质量标准》从 GB 3838—1983 水域分级管理过渡到 GB 3838—2002 水域分类管理，确定了高功能水域高标准保护和低功能水域低标准保护的思想；到 20 世纪 90 年代，各省、自治区、直辖市在中华人民共和国环境保护部的指导下，相继开始进行当地水环境功能分区的工作，并取得了阶段性成果（王红等，2002；许宏斌，2003；尹越等，2003；陈德容等，2004；侯国祥等，2004）；2002 年，中华人民共和国环境保护部发布《关于开展全国水环境功能区划汇总工作的通知》（环办〔2002〕55 号），正式启动全国的水环境功能区划汇总工作，同年又发布了《关于汇总核实全国水环境功能区划及开展环保重点城市水环境功能区划汇总工作的通知》（环办〔2002〕117 号），要求对面积在 1000 km² 以上的流域必须进行水环境功能区划，同时编写《全国水环境功能区划汇总工作指南》，将水环境功能分区研究进行规范和统一（表 1-3）。

目前，在全国 31 个省、自治区、直辖市和 113 个环境保护重点城市的环境保护主管部门的共同努力下，全国水环境功能区划汇总工作初步完成。我国第一次对十大流域、51 个二级流域、600 个水系、57 374 条总计 298 386 km 的河流、980 个总计 52 442 km² 的湖库进行了系统的水环境功能区划，得到了我国水环境功能区划全息描绘，将我国水环境管理出发点、最终目标和地表水环境质量标准对应到 1.3 万个水环境功能区，形成以地理信