

Regionalization of Aquatic
Ecoregions in Haihe River Basin

海河流域水生态 功能分区研究

(第二版)

陈利顶 孙然好 汲玉河/著



科学出版社

海河流域水生态功能分区研究

(第二版)

陈利顶 孙然好 汲玉河 著



科学出版社

— 北 京 —

内 容 简 介

本书系统介绍了海河流域的水生态功能分区。全书共分9章,在介绍水生态功能分区概念与内涵的基础上,重点论述了海河流域自然环境、社会经济和人文特征的空间异质性,以及水资源、水环境、大型底栖动物、水生植物、鱼类和藻类等水生态系统的时空演化规律,并对海河流域水生态功能的主要驱动因子进行了辨识,最后构建了海河流域水生态功能一级、二级、三级、四级分区的指标体系,完成了分区的野外验证和水生态系统安全性评估。

本书适合生态学、环境科学、地理学、水文学等专业的科研和教学人员阅读,也可为流域水文水资源管理人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河流域水生态功能分区研究(第二版)/陈利顶,孙然好,汲玉河著.
—北京:科学出版社,2017.9

ISBN 978-7-03-054156-7

I. ①海… II. ①陈…②孙…③汲… III. ①海河—流域—水环境—生态环境—环境功能区划—研究 IV. X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第195815号

责任编辑:刘超/责任校对:彭涛
责任印制:张伟/封面设计:无极书装

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年9月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:445 000

定价:138.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

流域水生态系统健康直接关系到区域社会经济可持续发展和人居环境健康。然而,随着我国人口急剧增长和经济快速发展,水资源需求量增长迅猛,不仅导致大量河流断流和水资源枯竭,同时随着大量生活污水、工业污水排放进入水体,地表和地下水体受到严重污染,流域水生态系统功能失调,区域生态环境问题日益突出。如何进行科学、有效的治理对环境管理部门提出了新的要求。自 20 世纪 80 年代起,我国陆续建立了总量控制、排污许可证、环境影响评价、防治污染措施“三同时”、排污收费、淘汰落后产业、限期治理、目标责任制等管理制度,并在此基础上,实施了重点流域、湖泊和海域的水污染防治规划与治理,但效果十分有限。其根本原因就是现有许多措施均是“头痛医头、脚痛医脚”,未能从流域水生态系统健康角度出发,从问题形成机理上寻找解决途径。“流域水生态功能分区”正是在上述背景下提出来的,通过揭示流域水生态系统空间差异及其对水生生物栖息环境的影响,探讨流域水生态保护目标及其实现路径,从而为地表水质控制单元划分,核定 TMDLs (total maximum daily loads, 最大日负荷总量),开展区域土地利用结构优化和产业结构调整提供科学依据,达到污染物达标排放、实现保护水生态系统的最终目的。

新中国成立以来,我国先后开展了各种各样的区划、规划和分区,但多数方案侧重于单项要素或陆域生态系统,缺乏对陆域生态系统与流域水生态系统、社会经济系统之间相互作用的综合考虑。流域水生态功能分区的目的是反映流域水生态功能在不同空间尺度下的分布格局,与传统的自然地理分区、生态分区、水文分区和水环境功能分区等不同。流域水生态功能分区包括多个等级,一级、二级分区主要考虑陆域自然因素与河流生态系统类型之间的因果关系,通过不同尺度下的地形地貌、气候水文及植被类型等要素来反映流域水生态系统的基本特征,以及陆域生态系统与流域水生态系统之间的相互作用。流域水生态功能分区是水环境功能区划的基础,通过流域水生态功能分区,有助于水环境功能区划中流域水生态系统的特征识别、生态功能定位,可为水体的资源功能、环境功能和生态功能的协调发展提供基础,从而制订出适宜的流域生态系统保护目标和发展远景。

海河流域作为我国政治文化中心和经济发达地区,地位举足轻重。随着人口的迅速增长和经济社会的快速发展,水资源和水生态问题日益突出。海河流域面积近 32 万 km²,属于典型的资源型缺水地区,人均水资源量只有全国人均的 15%。1998 年海河流域以不足全国 1.3% 的水资源量承担着全国 10% 的人口、11% 的耕地、13% 的国内生产总值 (gross domestic product, GDP),其水量供需矛盾十分明显。人类活动产生的大量污染物质远远超过了海河流域水环境承载能力,导致了一系列环境问题。“有河皆干、有水皆污”,已经成为海河流域的真实写照。

随着环渤海经济圈的提出,海河流域的经济将加速发展,水生态系统将面临空前的压力,如何协调高速发展的区域经济与流域水生态系统保护之间的矛盾,实现区域经济和环境的协调发展已成为海河流域目前面临的紧迫任务。全面系统地认识海河流域水生态系统结构和功能是流域水生态功能分区的基础,而长期以来缺乏对该区水生态系统结构和功能的系统调查和特征分析,对其水生态功能的区域差异把握不到位,导致制订的分区方案存在一定的盲目性。因此,迫切需要对海河流域水生态功能进行重新分区定位,根据上述目标和环境管理的需求,在国家“十一五”水环境污染控制与治理科技重大专项的支持下,我们于2013年出版了《海河流域水生态功能分区研究》,重点阐述了海河流域自然环境区域特征,并进行了水生态功能一级和二级分区工作的详细介绍。此后,我们进一步集合详细的野外调查和数据收集,在一级、二级分区基础上编制了海河流域水生态功能三级和四级分区方案,完成了对《海河流域水生态功能分区研究》第一版的修订。本书除结合新的调查数据对原有章节进行修改和完善外,新增了第8章和第9章两章内容。希望通过对海河流域的水生态功能分区研究,为实现流域水生态系统分类、分区和分期管理提供科学依据。全书共分9章。第1章水生态功能分区的概念和内涵(由张海萍和陈利顶撰写);第2章海河流域基本概况,对社会经济、人类活动等数据进行了更新(由汲玉河撰写,程先修订);第3章海河流域水生态系统演变特征,根据最新调查数据进行了更新(由汲玉河撰写,程先和武大勇修订);第4章海河流域现有分区方案(由汲玉河撰写);第5章海河流域水生态功能的驱动机制,增加了最新的水生态调查、海河流域西部和中南部重金属生态风险评价、海河底泥沉积物氮磷污染风险评价等内容(由孙然好、王晓燕、王红旗、孙寓姣、杨丽蓉、尚林源撰写,孙然好和程先修订);第6章海河流域水生态功能一级、二级分区(由孙然好、汲玉河、陈利顶撰写);第7章海河流域水生态功能一级、二级区安全性评估(由孙然好和汲玉河撰写);第8章海河流域水生态功能三级分区(由孙然好和陈利顶撰写);第9章海河流域水生态功能四级分区(由孙然好和程先撰写)。全书由陈利顶和孙然好统稿。

我国的流域水生态功能分区刚刚起步,理论探讨较多,但真正应用到具体地区的实际案例相对较少。我们希望本书的再版可为从事生态学、环境科学的教学、科研与科技管理工作提供参考,也希望本书能为我国流域水生态系统与水环境达标管理提供决策支持。但限于作者水平和时间,本书难免有不足之处,敬请读者批评赐教。

作者
2017年6月

目 录

第1章 水生态功能分区概念与内涵	1
1.1 水生态功能分区概念	1
1.2 相关分区(区划)辨析	3
1.3 河流健康评价与水生态功能分区	9
1.4 流域水生态功能分区目的	14
1.5 水生态功能分区案例与分区方法	17
参考文献	21
第2章 海河流域基本概况	25
2.1 流域社会经济和人文特征	25
2.2 海河流域自然环境因子与空间制图分析	33
2.3 流域自然环境要素对水生态系统的影响	53
参考文献	55
第3章 海河流域水生态系统演变特征	56
3.1 水环境与水资源演变特征	56
3.2 底栖动物时空演变特征	59
3.3 水生植物时空演变特征	63
3.4 鱼类时空演变特征	68
3.5 藻类时空演变特征	74
参考文献	78
第4章 海河流域现有分区方案	80
4.1 不同分区方案特点	80
4.2 现有分区方案比较与启示	91
4.3 海河流域规划与综合治理历史	93
参考文献	94
第5章 海河流域水生态功能的驱动机制	96
5.1 海河流域水生态调查	96
5.2 海河流域水环境污染风险评价	99
5.3 海河流域底泥沉积物生态风险评价	111
5.4 流域水资源供需平衡及其影响机制	132
5.5 潮白河子流域水环境特征及影响机制	136
5.6 温榆河流域水环境特征及影响机制	157

参考文献	172
第 6 章 海河流域水生态功能一级二级分区	174
6.1 水生态功能一级二级分区基本原则	174
6.2 水生态功能一级二级分区指标体系	175
6.3 水生态功能一级二级分区过程	183
6.4 水生态功能一级二级分区方案	187
参考文献	212
第 7 章 海河流域水生态功能一级二级区安全性评估	214
7.1 水生态功能分区的规范性评价与野外验证	214
7.2 水生态功能一级区特征	217
7.3 水生态功能二级区特征	219
7.4 水生态功能区的人口压力分析	223
7.5 水生态功能区的水环境安全性分析	225
7.6 水生态功能区的水生生物多样性重要性分析	229
7.7 水生态功能区的生态安全风险综合评价	232
参考文献	236
第 8 章 海河流域水生态功能三级分区	237
8.1 水生态功能三级分区的基本原则	237
8.2 水生态功能三级分区指标体系	238
8.3 水生态功能三级分区技术方法	243
8.4 水生态功能三级分区方案	249
第 9 章 海河流域水生态功能四级分区	268
9.1 水生态功能四级分区原则和指标	268
9.2 水生态功能四级分区方法	271
9.3 水生态功能四级分区方案	273
附录 1 海河流域调查的底栖动物名录	281
附录 2 海河流域调查的藻类名录	287
附录 3 海河流域鱼类名录	294

| 第 1 章 | 水生态功能分区的概念与内涵

1.1 水生态功能分区概念

“生态区”的概念最早由加拿大森林学家 Orie L. Loucks 于 1962 年提出,是指具有相似生态系统或期待发挥相似生态功能的陆地及水域。这一概念成为指导随后各种与生态系统有关分区的基础,并随着科学认识的提高和技术的发展,“生态区”的概念也在不断演化。最初所关注的研究对象为在不考虑人类活动影响的前提下生物和非生物环境的相似性,随后增加了对人类活动影响的考虑。此外,生态系统的多尺度特征及生态格局-过程的耦合关系也常常被应用于各尺度生态区划中,包括点位尺度、区域尺度和全球尺度 (Omernik and Bailey, 1997)。

生态区划始于 19 世纪,由于各学科的单方面认识,早期的生态区划多以单因素为主题,如气候、地貌、植被等。随着生态系统整体性和等级理论的发展,美国生态学家 Bailey 于 1976 年从生态系统的角度提出了首个真正意义上的生态区划,并编制了美国生态区划图,包括地域 (domain)、区 (division)、省 (province) 和地段 (section) 4 个等级,此后引起了各国生态学家对生态区划原则、指标体系、等级和方法等的关注和深入探讨。我国生态区划起步相对较晚,相关工作中最具代表性的是中国科学院自然区划工作委员会于 1959 年编写出版的《中国综合自然区划 (初稿)》,该区划重点考虑了地貌、气候、水文、土壤和植被的综合作用,根据上述要素的耦合特征对中国大陆进行自然区划。随后中国陆续开展了方方面面的专题区划,包括农业资源区划、气候资源区划、水文水资源分区、水环境功能分区等。在综合区划方面,傅伯杰等 (2001) 在综合各个专题区划的基础上,面对国民经济发展的需求,开展了首个全国性的生态区划,将中国大陆分为 3 个生态大区、13 个生态地区和 57 个生态区,系统揭示了不同生态单元存在的生态环境问题及其形成机制,该生态区划的主要目的是为生态环境综合整治服务。

自工业革命以来,人类活动以前所未有的速度对各大生态系统造成了破坏,如修建水利工程、排放污水等对水生态系统的影响。20 世纪 70 年代末,美国国家环境保护局 (U. S. Environmental Protection Agency, USEPA) 提出不仅要关注水质污染,还应该关注水生态系统结构与功能的保护,这就需要一个能够反映水生态系统空间特征差异的管理单元,实现从水化学环境管理向水生态环境管理的转变 (Karr and Dudley, 1981)。目前进行的基于自然要素或生态系统的相关生态区划工作中,主要考虑了对生态系统影响的自然因素,人类活动因素作为生态区划因素考虑得相对较少,而人类活动是现今造成生态系统退化的最大胁迫因素,所以如何量化人类活动的空间分布特征及对于生态系统的影响是将来

生态区划工作中的难点和要点。水生态区就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相对独立单元。

生态系统功能是生态系统固有的自然属性, De Groot (2002) 从人类需求角度关注生态系统功能的经济学属性, 其认为生态系统功能是生态系统为人类直接或间接提供服务的能力, 包括调节功能 (regulation function)、生境功能 (habitat function)、产出功能 (production function) 和信息功能 (information function) 四大类。生态系统服务是指人类直接或者间接从生态系统在维持基本功能的过程中所获得的收益, 包括支持 (supporting)、调节 (regulating)、提供 (provisioning) 和文化 (cultural) 四大类服务。从二者的联系来看, 生态系统功能是维持生态系统服务的基础, 生态系统功能的正常发挥是提供生态系统服务的保障。由于生态系统功能和生态系统服务二者与人类活动及人类利益紧密相连, 因此研究生态系统功能及其对人类的服务功效是探讨人类活动和生态系统相互作用的重要手段。欧阳志云等 (2004) 将生态系统服务功能的概念和研究方法引入到国内, 将“水生态服务功能”定义为水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。水生态服务功能不仅是人类社会经济的基础资源, 还维持了人类赖以生存与发展的生态环境条件, 划分为提供产品、调节功能、文化功能和生命支持功能四大类。

与河流生态系统有关的分区有行政分区、生态水文分区、水环境功能分区、水文分区、水资源分区、水功能分区等, 所有这些分区的共同特点是目标较为明确, 服务对象较为单一, 仅仅考虑了水体的部分属性, 如水环境功能分区注重水体的水质指标、水文分区重在揭示水文过程和现象的形成和变化规律等, 这些方法和应用为流域水生态功能分区提供了宝贵的经验和基础。由于对陆地生态系统空间异质性影响河流生态系统的研究不足, 截至目前还没有真正意义上的基于流域水生态功能整体性的系统区划。中国的水资源管理理念正处在水资源管理、水污染控制向水生态分区与水生态管理转变的过程中, 为促进我国水资源管理从水质、水量、水生物单目标管理向流域水生态系统综合管理转变, 实现流域水质保障与水生态安全的目标, 需要基于流域生态系统整体性理论和生态系统适应性管理的要求, 针对水体各项生态环境要素特征进行流域水生态功能区划分。

孟伟等 (2011) 首先提出了“流域水生态功能分区”的概念, 并指出流域水生态功能分区是以淡水生态系统及其周围环境为研究对象, 以淡水生态系统的空间层级为划分基础, 旨在反映淡水生态系统的分类特征, 揭示淡水生态系统类型与功能的区域差异性, 从而为水环境的分区分级管理提供依据。为了更好地满足制订具有空间差异性的水环境管理方案的要求, 流域水生态功能分区在水生态区的基础上充分考虑流域水生态系统功能空间分布的特点, 不仅反映了水生态系统功能空间分布格局的差异, 也在一定程度上考虑了人类活动对水生态系统的影响, 实现了自然要素与功能要素的结合, 提出了面向水生态保护的管理区域, 因而更具管理意义。此外, 流域水生态功能分区突破了单纯把恢复和保护水体服务功能作为制订水污染控制方案的主要依据的传统分区模式, 重点体现了保护水生态功能和水生态系统完整性的理念, 从根本上推动了从水环境管理向水生态管理理念的转变, 进一步丰富和深化了中国未来水环境管理的内涵。流域水生态功能分区在国外水生态

分区的经验和理论的基础上,综合考虑了流域内人类活动对水生态系统功能的影响,对于识别不同区域水生态问题、划分水环境治理区域及制订相应的河流恢复措施等具有重要的现实意义。国内有关学者针对“流域水生态功能分区”的内涵、目的和方法展开了系统的探讨,但是目前还没有形成一套针对“流域水生态功能分区”的公认的指标体系和方法,尤其是在流域一级、二级水生态功能分区之后如何进行流域的三级、四级水生态功能分区,包括三级和四级水生态功能分区的核心内容、技术路线、分区目标等理论有待于进一步讨论。

目前有关“流域水生态功能分区”的实践案例较少,孟伟等(2007)以辽河流域为例,以水文格局、地形地貌、植被和土壤等作为区划指标,提出了辽河流域层次的一级、二级水生态功能分区方案,首次对中国水生态功能分区问题进行了探索。高永年和高俊峰(2010)以太湖流域为例,通过对流域数字高程模型(digital elevation model, DEM)和气候、土壤等相关分区指标的系统比较分析,认为地形是太湖流域一级水生态功能分区的主导指标,分区结果主要包括太湖西部丘陵水生态功能区和东部平原水生态功能区,并对太湖流域水生态功能分区体系(分区等级体系、方法体系和指标体系)进行了系统探讨。但是辽河流域和太湖流域的研究基本上还是采用了国外水生态功能分区的理论,因此目前国内对“流域水生态功能分区”的分区目标、分区指标、分区方法等核心技术还没有一致的理论体系,仍在探索阶段,其各项基础理论都有待于进一步研讨。

1.2 相关分区(区划)辨析

自20世纪50年代我国就开始了淡水水体的区划研究,早期的区划多以单自然因素为主,如淡水鱼类区划(李思忠,1981)、内陆水域渔业区划(曾祥琮,1990)、水文区划、湖泊与流域区划等。80年代以后,随着水资源的日益稀缺,水资源管理转向对人类需求功能的满足,国家环保总局、水利部先后制订了我国的水环境功能区划、水功能区划方案,但这些方案由于只关注水生态系统的局部特征差异,还不能称为真正意义上的基于水生态系统的生态区划。21世纪以来,随着人们对水生态系统整体性及生态系统健康重要性认识的加强,水生态区划得到了广泛的重视,相继开展了水生态分区、生态水文分区、流域水环境功能区划等研究。这些工作为我国水资源的科学管理积累了一定宝贵经验,但怎样描述一个管理单元内水生态问题对于陆地人类活动的响应特征,如何确定具有可操作性的管理单元等问题,还存在一定的困难。为弥补以往分区和区划所存在的不足,并为我国的水资源管理设定科学的管理单元,国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项提出了以重点流域为例,构建我国水生态功能分区的理论体系和区划方法。流域水生态功能分区通过识别流域水生态系统格局与功能的空间异质性,分析水-陆生态系统的耦合关系,将流域划分成若干个相对独立、完整的工作单元。该工作为水质管理、水生态系统健康等提供了基本单元,并且通过对不同分区单元实行“分区、分级、分类、分期”来实现流域水质安全及水生态完整性的管理目标(孟伟等,2011)。表1-1和表1-2重点讨论了国内外现有分区/区划方案的特征。

表 1-1 国外主要淡水水体区划

分区类型	研究地区	分区目标	指标体系	分区结果
水生生态分区	美国 (Omernik, 1987)	水质管理、水资源保护	地貌、土壤类型、潜在自然植被、土地利用	15 个 I 级区、52 个 II 级区、84 个 III 级区, 各州内进行 IV ~ V 级区划
	澳大利亚 (Wells and Newall, 1997)	水生生物多样性及水资源管理	气候、地文、前欧洲时期植被	将维多利亚州分成 17 个生态区
	欧盟 (Kleynhans et al., 1998)	河流生态特征评估	A 系统 (指定类型): 海拔、流域面积、地质; B 系统: 必选参数包括海拔、地质和流域面积; 可选参数包括地形、水文和气候	A 系统: 将欧洲分成 25 个河流湖泊生态区 B 系统: 将法国分成 22 个 I 级、54 个 II 级水文生态区
	新西兰 (Harding and Winterbourn, 1997)	溪流保护及管理	气候、降水、地形、植被、土壤、地质	将新西兰分成 25 个生态区
	南非 (Kleynhans et al., 1998)	河流生态保护	地形、气候、地质与土壤、潜在自然植被	18 个一级区

表 1-2 国内主要淡水水体区划

分区类型	研究机构/人员	分区目标	指标体系	分区结果
水环境功能分区	中国环保部 (2002)	水体环境评价与管理	水环境化学特征	将水域划分为自然保护区、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, 以及混合区、过渡区等不同功能的区域
水资源分区	中国水利部 (2002)	全国水资源综合规划	水资源的自然、社会、经济属性	一级区 10 个、二级区 80 个、三级区 214 个
生态水文分区	杨爱民等 (2008)	生态环境保护及生态需水量研究需要	降水深、径流深、水面蒸发量、产水模数、径流系数、干旱指数、土地利用结构、人均 GDP、人口密度	将全国划分为 3 个生态水文大区、36 个生态水文区
	尹民等 (2005)	河流生态需水量研究需要	一级: 流域水系; 二级: 径流深、干燥度、地形格局; 三级: 地貌类型、海拔、水生态状况、河湖分布、河段划分、水库节点	将全国划分为 10 个一级区、44 个二级区和 406 个三级区

续表

分区类型	研究机构/人员	分区目标	指标体系	分区结果
流域水文分区	中国科学院地理研究所 (1959)	全国各区域水文特征	一级：内外流域；二级：河流冰情、水流形态等；三级：相对流量、含沙量、河流形态、储水形态	将全国划分为 13 个水文区
	熊怡和张家楨 (1995)	全国各区域水文特征	径流深、径流的年内分配和径流动态	将全国划分为 11 个水文地区和 56 个水文区

1.2.1 水生态区划

水生态区划的目的是通过综合分析有关水生态环境要素特征划分出具有相对同质的淡水生态系统和组成的地域单元（Omernik，1987），其实质是在一定尺度下对水生态系统进行分类，其分类结果能够反映气候、地貌、土壤、植被等因素对水文过程的综合影响。

20 世纪 70 年代美国国家环境保护局最早提出了水生态区划。USEPA 认为，水环境管理不仅要关注水体污染控制问题，还应该重视水生态系统结构与功能的保护，因此需要构建能够反映水生态系统空间差异的管理单元体系（Karr，1981）。Omernik 于 1987 年提出了美国三级水生态区划方案，这是全球最早的水生态区划方案，随后其他一些国家和地区也相继建立了基于本地区特征的水生态区划方案，主要包括澳大利亚、欧盟、新西兰、南非等。总结各国学者研究及水生态区划的成果，水生态区划一般是从影响因素出发对水生态系统类型进行划分，其假设前提是相似的影响因素会导致相似的生态系统类型及相应的生态服务功能，因此选用的主要影响因素包括气候、地貌、植被、土壤、地质等大尺度因素，各因素相互影响，在考虑各种因素综合影响的基础上进行水生态区划。根据河流等级理论和区域差异性，不同尺度上考虑的因素有所不同，不同区域水生态的主要影响因素也不同，各国及各区域所选用的水生态区划指标存在一定差异，但区划目标基本属于河流水质管理及水生生物多样性的保护。目前国内外水生态区划主要侧重于自然影响因素，人类活动影响主要体现在土地利用结构的差异。

1.2.2 水环境功能分区

各级环境保护行政主管部门针对水域使用功能、经济发展及污染物总量控制的要求，将水域划分为管理功能区、混合区、过渡区等管理单元。水环境功能分区（国家环境保护总局，2002）是为执行《中华人民共和国水污染防治法》和《地表水环境质量标准》，由环境保护部门主导进行的水环境功能区划，主要从水环境保护的角度对与水体、水质相关联的使用功能进行的区划。水环境功能分区与水环境质量相对应，是保证地表水质标准、污水综合排放标准、区域环境综合治理、总量控制及环境目标责任制正确实施的基础，是

水环境保护与管理的一项基本工作。从 1988 年开始,我国《地表水环境质量标准》(GB 3838-83)从水域分级管理过渡到水域分类管理,确定了高功能水域高标准保护、低功能水域低标准保护的基本思想。伴随水污染防治工作的开展和《地表水环境质量标准》的实施,由国家环保总局牵头的全国各省(自治区、直辖市)水环境功能分区区划工作逐步展开。水环境功能分区的区划依据为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)、《自然保护区类型与级别划分原则》(GB/T 14529—93)、《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)、《渔业水质标准》(GB 11607—89)和《地下水质量标准》(GB/T 14848—93),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。采用 5 级区划,分为八大类: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、混合区及过渡区。

水环境功能分区首先对社会需求进行划分,根据社会需求的分区分级类型对水体进行区划,目标明确,方便管理。但是该分区方案仅仅将人类需求作为水环境功能分区的基础,将水环境化学质量作为水生态系统管理的目标,忽略了河流生态系统其他组分特征及其相互之间的有机联系,如没有考虑水生生物的生态需水量及人类活动对河流生境的影响,缺乏从水生态系统整体性对水资源进行系统管理和保护。

1.2.3 水资源评价与分区

水资源分区与水资源评价是相互关联的两项工作,二者密不可分。它们是水资源规划的基础性工作,根据水资源的自然、社会和经济属性,按照开发、利用、治理、配置、节约、保护等要求,将流域水系与行政区划有机结合起来进行分区,以提高基础资料的共享性和各种规划成果的可比性。进行水资源分区的目的是为了研究和指导区域经济发展与生态环境的协调,实现区域资源和经济的互补性,利于社会经济和生态的良性循环。我国的水资源分区是由水利部水利水电规划设计总院(2002)提出的对全国水资源管理的规划,该规划考虑了流域水系与行政区域的有机结合,保持行政区域与流域水系分区的统分性、组合性与完整性。其一级分区按照长江、黄河、淮河、海河、珠江、松花江、辽河、东南诸河、西南诸河、西北诸河十大区域进行,以重点经济区和重点城市为重点。

基于水资源分区进行的水资源评价在国内外得到了较多的讨论,较全面的水资源评价的含义可概括如下:进行水资源评价活动应当包括对评价范围内全部水资源量 and 水质及其时空分布特征的变化幅度与特点、可利用水资源量的估计、各类用水的现状及其前景、评价全区及其分区水资源供需状况与预测、可能解决供需矛盾的途径、为控制自然界水源所采取的工程措施的正负两方面效益评价,以及政策性建议等。1977 年联合国召开的联合国水环境会议的第一项决议中指出(United Nation, 1977):没有对水资源的综合评价,就谈不上对水资源的合理规划与管理,并号召各国要进行一次专门的国家级别的水资源评价活动。美国在 1968 年完成了第一次国家水资源评价报告,对美国水资源现状进行了评价及 2020 年全美国的需水预测;并在 1978 年,美国完成了第二次国家水资源评价报告,侧重分析可供水量及用水需求,再次对各类用水现状及对未来需求进行了预测,对一些专门的

水资源问题提出了可能的解决途径 (Laura, 1981; 威尔伯和刘辉, 2004; 米勒, 2004)。苏联将 1930 年开始编制的《国家水资源编目》及 1960 年起编制的《苏联水册》的第二次修订工作作为进行国家级水资源评价的经验 (Shuklomanov et al., 1981)。20 世纪 80 年代初我国开展全国第一次水资源评价以来, 我国经济社会发展面临着严峻的水资源问题、水资源可持续利用的要求及水资源统一管理的需要, 2002 年 3 月水利部和原国家计划委员会发出《关于开展全国水资源综合规划编制工作的通知》。水资源现状评价被列为全国水资源综合规划的重要基础, 该项工作在第一次全国水资源评价工作的基础上, 根据近年来水资源条件的变化, 全面准确地评价我国水资源条件和特点, 系统地调查评价水资源的数量、质量、能量、可利用量时空分布特点和演变趋势。

水资源分区和水资源评价为全国水资源管理提供了大量的基础数据, 并做出了一定的评价和预测, 但仍存在着明显的不足: 水资源评价重水量轻水质, 由于水质受水量的影响, 需要将两者同时考虑, 但在具体工作中难以将它们结合起来, 且我国对水质的监测和研究工作起步较晚, 这些对水量和水质关系的研究将成为今后水资源评价面临的挑战之一; 水资源评价大部分是从人类需水的角度出发进行区划, 进而对各区域水量和水质进行评价, 忽略了生态需水, 没有把水生生物考虑在内, 这与国际水生态保护的主流思想及我国现阶段提倡的水生态理念不符合。

1.2.4 生态水文分区

生态水文分区是指在对流域生态水文过程客观认识和充分研究的基础上, 应用生态学、水文学、水资源学和生态水文学的原理和方法, 采用遥感、地理信息系统 (geographic information system, GIS) 等技术手段, 揭示流域自然生态水文系统的相似性和差异性规律及人类活动对流域生态水文系统干扰的规律, 进行整合和分区, 从而划分出生态水文的区域单元, 并在图上准确地反映出来。生态水文分区遵循的原则包括: 生态水文系统的分异性、生态水文系统的完整性、生态水文系统的等级性和生态水文系统内的相似性、区际的差异性和人类活动对生态水文系统演变的影响具有差异性等 (杨爱民等, 2008)。

河流生态水文分区 (尹民等, 2005) 是基于河流生态环境需水量研究的需要而提出的, 它以我国宏观尺度的河流生态水文系统为研究对象, 应用生态水文学与陆地系统科学的原理与方法, 借助地理信息系统的空间分析功能, 进行河流生态水文空间单元的划分与整合。河流生态水文分区不仅要考虑我国河流的水文现象和水文过程, 还要考虑河流生态需水量的空间特征、影响因素和河流作为生物栖息地的生态环境功能, 其是特征分区与功能分区的有机统一, 也是区域划分与河段划分的结合。

Thoms (2004) 将澳大利亚干旱区河流系统分为 5 种河流类型区: 狭窄区 (confined)、防护区 (armour)、易变区 (mobile)、曲折区 (meander) 和汇合区 (anastomosing), 并分析了不同河流类型区的特征及其与流量相关的生态服务功能。尹民等在综合分析相关研究进展的基础上, 界定了河流生态水文分区的内涵, 结合我国不同区域的生态环境特点与水

文水资源状况,建立了河流生态水文分区的基本原则与依据及不同级别分区的指标体系,应用地理信息系统的空间叠加分析、专家判断与定性分析等方法,将全国划分为10个一级区、44个二级区和406个三级区(尹民等,2005)。杨爱民等(2008)在综合分析生态分区、水文分区、综合自然分区与水资源分区等相关研究的基础上,首次提出并界定了生态水文分区概念,根据我国不同流域或区域的生态水文特征,提出了生态水文分区的原则,建立了生态水文分区的指标体系,并以水资源三级区为单元,采用定性定量相结合的ISODATA(iterative selforganizing data analysis)模糊聚类分析方法,将全国划分为3个生态水文大区、36个生态水文区,提出了各生态水文一级区内与水有关的生态环境保护目标与准则(杨爱民等,2008)。

总结我国的生态水文分区,其综合了流域内自然因素及人类干扰的影响。从分区指标体系和分区结果来看,生态水文分区以水文分区为主,水生态系统结构及属性成分相对较少,且较为模糊。此外,分区体系和分区目标结合不紧密,目前仍停留在大尺度级别。生态水文分区注重生态需水有关的水量计算,对于流域内人类活动对水体水质、河流生境及生物多样性方面的影响没有考虑,因此生态水文分区有一定的生态学意义但不全面。

1.2.5 流域水文分区

流域水文分区单元是依据影响水文现象、水环境质量和水资源分布规律等的因素,如气候、地形、河流水文特征、水化学特征和流域内人类活动干扰(如土地利用变化、水利工程等非生物因素的某一方面),或是多方面综合而实行的分区体系后划分的空间单元。由于流域内水文、地形等自然要素相互影响,同一流域内呈现出一定程度的相似性,不同流域间自然要素则表现出较大差异。用水文资料作流域水文分区,有单因子分区和综合分区两类。根据某一项水文特征值或某一有明确物理概念并具有分区特性的水文模型参数作出的分区,称为单因子分区;用若干个单因子分区重叠在一起可作出能概括各个单因子集总属性的综合分区。单因子分区常用于地理内插或解决水文资料的移用问题,综合分区则用于水文站网的规划。

中国科学院地理科学与资源环境研究所以径流深为标准,将全国划分为13个水文区(中国地图出版社编辑部,1998),罗开富等根据内外流域的分水线将全国划分为外流区和内流区(中国地图出版社编辑部,1998),熊怡和张家楨(1995)以径流深度、径流的年内分配和径流动态为主要指标,将全国划分为11个水文地区和56个水文区,汤奇成和熊怡(1998)按气候带将全国划分为6个河流水文区。

流域水文分区是基于水文观测站数据进行的分区,可以作为水量管理的基本单元,而水生态系统其他方面指标没有考虑,如水生态系统的整体性、陆地生态系统与水生态系统之间的联系等,因此该分区难以满足水资源与水环境的综合管理和生态保护,应用范围较窄,但可以作为其他区划的基础和参考。

1.3 河流健康评价与水生态功能分区

《欧盟水框架指令》(Water Framework Directive, WFD)提出了“更加清洁、更加完整和健康的河流”的管理目标,并期望2015年实现良好的河流状态,其指出未来的河流管理将从调整河流满足人类需求,转向调整人类利用满足河流生态系统健康(European Union Commission, 2000)。美国《清洁水法》规定“恢复和维持美国水体的化学、物理和生物完整性”的目标,水生态功能分区是开展河流健康评价的基本单元,它将水生态系统划分为不同的功能区,以此反映河流生态系统健康状况及其所面临潜在压力的地区差异,并针对不同河流系统特点,分别制定相应保护恢复措施和可持续的资源利用规划方案。采用河流健康评价方法对不同水生态功能分区进行河流状态评价,包括水文、水质、河流物理生境和水生生物状况,可以对水生态功能分区的结果进行调整和验证。

1.3.1 河流健康概念

生态系统健康(ecosystem health)是新兴的生态系统管理学概念,是新的环境管理和生态系统管理目标。什么是河流健康?不同学者有不同的观点。一些学者认为,河流健康并不是河流生态系统固有的特性,所以河流健康无法用科学意义上的技术方法进行度量。凡赞同河流健康概念的学者,多是将其作为河流管理的一种工具,强调河流生态系统自然属性的健康,并从生态系统角度出发讨论河流健康的概念,认为河流健康的生态系统应该是稳定的和可持续发展的,如Karr(1991)将河流生态系统完整性当作健康;Simpson等(1999)认为,河流健康是指河流生态系统支持与维持其主要生态过程,以及具有一定种类组成、多样性和功能组织的生物群落,尽可能接近河流未受干扰前状态的能力;Shcofield和Davies(1996)认为,河流健康是指河流生态系统未受到破坏,尤其是在生物多样性和生态功能方面。此外,也有学者考虑人类价值,提出河流健康概念,如Norris和Thoms(1999)认为,河流健康依赖于社会系统的判断,应考虑人类社会的福利需求;Meyer(1997)认为,健康的河流不但要维持生态系统结构和功能,而且应包括人类与社会价值。随着讨论的深入,河流健康概念又有完善并有新的概念被提出,这主要包括“生态势”(ecological potential)和“健康工作河流”(health working river)的概念。由于河流生态系统自身的复杂性、研究者不同的学科背景和评价视角,政府机构、专业团体及学术界等对河流健康内涵的理解仍然比较多元,目前没有一致的定论。

随着国际上对河流健康状况研究的日趋重视,河流健康概念也在不断发展。20世纪,河流健康状况评价已在很多国家先后开展,并分别提出了不同的河流健康状况评价内容及评价指标,主要代表国家有美国、澳大利亚、英国、南非等。澳大利亚政府于1992年开展了《国家河流健康计划》(National River Health Program, NRHP),其目的是监测和评价澳大利亚河流的生态状况(Shofield and Davies, 1996)。USEPA于1989年发展了《快速生物评价协议》(Rapid Bioassessment Protocols, RBPs),经过10年的发展与完善,于1999年

推出新版 RBP, 提供了河流着生藻类、大型无脊椎动物、鱼类的监测及评价方法标准 (Barbour et al., 1999)。英国在 20 世纪 90 年代建立了河流保护评价系统 (system for evaluating rivers for conversation, SERCON) (Boon et al., 1997) 及以 RIVPACS (river invertebrate prediction and classification system, 河流无脊椎动物预测和分类系统) 为基础的河流生物监测系统 (Wright et al., 2000), 目标是用于评价河流的生物和栖息地属性及河流的自然保护价值。同一时期还发展了河流栖息地调查 (river habitat survey, RHS) (Raven et al., 1998) 方法, 该方法为英国提供了一个河流分类和未来栖息地评价的标准方法。我国河流健康保护工作总体上还处于水质恢复阶段, 在水质评价方面已做了大量的工作, 评价指标主要采用水质理化指标, 也有部分采用生物指标, 但总体来讲我国河流健康研究仍处于初级阶段。唐涛等 (2002) 系统评述了河流健康评价方法; 董哲仁 (2005) 初步探讨了河流健康的内涵及评价原则; 吴阿娜等 (2005) 尝试评述了河流健康的主要表征因子; 耿雷华 (2006) 探讨了河流健康的评价指标和评价标准; 高永胜等 (2007) 从河流健康的生命视角构建了评价指标体系; 刘晓燕和张原峰 (2006) 设计了黄河健康生命的指标体系; 中国环境科学研究院的张远等 (2006) 构建了河流健康相应的评价体系, 分别就宁波城市河流及深圳典型河流的健康状况进行了初步评价。

1.3.2 河流健康评价指标

1. 水文特征评价

水文特征是河流健康评价的重要表征指标, 水文特征评价的根本目的在于分析水文条件变化对河流系统结构与功能的影响。建立河流水文特征与生态过程的关系, 进而识别对于河流生物群落有重要影响的关键水文特征参数, 是水文特征评价重要的基础性工作。造成河流水文特征变化的主要因素包括气候变化、水利设施建设、经济活动取排水等。

水文特征评价表征参数可以分为传统水文参数及水流情势变化参数两类。传统水文参数包括流动条件 (平均流速、流量状况)、洪水条件 (洪量、洪水频率、洪水持续时间等); 水流情势变化参数则可以是水流的季节性特征和水文周期模式、基流、年平均径流指数、水位涨落速度等表征人类活动对栖息地条件影响的参数。国内外使用的河流水文特征评价的表征参数种类繁多, 由于多数参数计算复杂, 目前最常用的水文特征评价表征参数主要为流速状况、水量状况等。

通过对比现实的水流模式与理想的自然状况的水流模式可以对水文特征进行评价, 可以利用水文特征评价表征参数直接比较, 也可以通过构建水文特征与生物群落之间关系, 计算河流环境流量等方法来实现。直接比较法因其计算方法较为简单, 在河流健康评价中应用较为广泛, 但不能揭示水文特征变化对生物群落的影响。河流环境流量法从早期单一反映水量 (“最小河流流量”, 主要方法有 Tennant 法、7Q10 法及湿周法等) (桑连海等, 2006), 到目前已经开始关注水流情势对河流生态系统的影响, 通过建立水流情势的参数 (幅度、频率、历时、时间、水文条件变化率等) 与生物群落之间的联系, 明确各水文特