

中国流域水污染控制分区方法与应用

王金南^{1,2}, 吴文俊^{1,2}, 蒋洪强¹, 徐敏¹, 谢阳村¹, 赵康平¹

(1. 环境保护部环境规划院国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012;

2. 南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要: 针对中国以往的流域分区方法主观性较强, 尤其是对水污染控制单元的划分方法不统一, 划分依据不充分等特点, 提出了“流域—控制区—控制单元”三级分区体系, 采取定性和定量分析相结合的方法进行流域水污染控制分区研究, 重点在控制单元层面构建了层次分析模型, 以区县为单元基于汇水特征、城镇布局、工业布局和农业布局4个因素进行评分比较, 筛选区县主导排污去向, 作为将其划入某一或某几个控制单元的依据。以松花江流域为例, 将松花江流域划为三大控制区, 33个控制单元, 其中莫力达瓦达斡尔族自治县在内的10个区县被拆分到两个或两个以上的单元, 基于流域自然汇水特征, 且充分体现流域水污染防治重点和方向, 重点落实地方政府治污目标、责任和任务, 为中国流域水污染防治规划的科学制定与实施提供重要依据。

关键词: 水污染; 分区; 控制单元; 松花江; 流域管理

中图分类号: X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2013)04-0459-10

自20世纪80年代以来, 随着经济高速发展和城市化进程加快, 中国流域的水污染问题也日趋严重^[1]。2011年发布的《中国环境状况公报》显示, 全国七大水系中黄河、辽河流域为中度污染, 海河流域为重度污染, 湖泊(水库)富营养化问题突出^[2], 在造成巨大经济损失的同时, 正在危及人民群众的生命健康安全^[3]。“十二五”期间, 中国的流域水污染防治形势依然严峻, 如何更加合理地解决流域分区问题, 有重点、有区别地制定流域水污染防治策略, 从而提高流域水环境保护工作的效率, 已成为中国流域水环境管理所面临的重大挑战。

基于控制单元的流域水污染分区管理是国外流域治理优秀经验的凝练^[4], 其中美国的TMDL(Total Maximum Daily Load)计划最具代表性^[5-7]。当问题水体分布于整个流域时, 则需要将整个流域划分为更小的TMDL控制单元来研究, TMDL就是通过识别及提出具体污染控制单元的总量控制措施, 从而引导执行最好的流域管理计划。国外控制单元划分是在流域水生态功能分区的基础上实现的, Crowley^[8]于1967年首次提出生态区一词, 此后生态区的概念日益为人们所接受。Omernik^[9]提出了水生态分区的方法, 在分析植被、土壤、土地利用和地形4个指标的基础上, 将相对同质的单元划为一个生态区。美国联邦环境保护局(USEPA)以淡水生态系统为对象制定了水生态区划, 这一应用非常成功^[10]。

中国的流域水污染控制分区实践始于“九五”淮河流域水污染防治规划, 分区方法在历经“十五”及“十一五”的发展后还存在较多问题: ①方法在八大重点流域的推广应用不足, 未能形成一套标准统一的应用模式; ②方法仅侧重区域或流域, 未有效结合行政管理和流域管理、区域排污和水质目标; ③划分依据单一, 仅依据自然属性及行政区划两个基本要素进行划分, 未综合考虑流域的其他特征, 如排污量、土地利用等因素, 导致跨流域区县的分区判定不准确。为此, 本文在评估中国流域水污染控制分区方法演变特点的基础上, 提出了“流域-控制区-控制单元”三级分区方法, 并以海河流域为案例进行实证研究, 以为水管理者提供方法参考, 为中国流域水污染防治规划的科学制定提供重要依据^[11-12]。

收稿日期: 2012-07-10; **网络出版时间:** 2013-04-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/KCMS/detail/32.1309.P.20130410.1725.001.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07601002)

作者简介: 王金南(1963-), 男, 浙江武义人, 研究员, 博士, 主要从事环境规划与管理研究。

E-mail: wangjn1962@126.com

1 中国流域水污染控制分区方法演变历程

中国的流域水污染防治工作以 1993 年应对淮河水污染事故为标志, 相应水污染防治规划也始于淮河。在淮河流域“九五”水污染防治规划中首次提出了控制区和控制单元的概念, 建立了中国化的流域水污染控制单元管理雏形^[13], “十五”及“十一五”期间, 重点流域水污染防治规划也大致遵循了这样的分区规则^[14]。目前, 针对分区过程中存在的主观性强、分区方法不统一等问题, 已有研究进行了流域水污染防治规划分区技术指南编制工作。总体看来, 中国的流域水污染控制分区方法呈现出由差异化向标准化方向演变, 分区目标由流域、区域管理向流域和区域管理相结合演变, 划分依据由单一指标向综合指标演变等 3 个特征。

1.1 分区方法由差异化向标准化方向演变

中国的流域水污染控制分区经历了“九五”至“十二五”4 个“五年”阶段, 在淮河、海河、松花江等流域逐步形成了可应用的分区成果, 并提出了各流域的分区依据与原则。早在“九五”阶段, 淮河流域规划中依据水资源分布及水环境保护目标, 将全流域划分为七大控制区、34 个控制单元和 100 个控制子单元, 初步建立了中国流域水污染控制分区管理的雏形。这一阶段不同流域控制区划分方法存在较大差异, 为流域规划提供支撑的功能有限。进入“十五”及“十一五”时期, 中国探索性地相继制定了水功能区^[15-16]和水环境功能区^[17-18], 旨在通过对水污染控制区的保护来实现水环境功能区的水质目标, 但相应水污染控制分区未能有效与水环境功能区划进行衔接^[19]。“十二五”国家全面实施流域水环境分区管理, 以行政管理需求为主导依据, 同时兼顾区域水系特征和污染特征等, 使单元的划分更加科学规范, 以行政区落实流域环境保护和区域污染控制责任的效果更加凸显。

1.2 分区目标由流域、区域管理向流域和区域管理相结合演变

早期的流域水污染控制分区, 主要依据水系特征划分, 多参照基于水资源保护及开发利用而构建的水资源分区体系, 割裂了“水-陆”生态关系, 以行政区落实减排任务的效果并不明显; “十五”及“十一五”期间, 流域水污染控制分区则主要是出于行政管理需要构建的行政分区体系, 由省(自治区、直辖市)、市(地区、州、盟)、县(区、旗)构成, 该分区体系与行政职能直接挂钩, 为区域行政管理的载体, 缺乏流域上下游、左右岸之间协调的科学基础^[20]。“十二五”时期, 中国的流域水污染控制分区正逐步结合行政分区与水资源分区, 同时体现流域属性和区域属性, 这一时期分区的特点是从流域层面分析水环境问题, 再根据水质改善需求, 统筹协调流域区域社会经济发展水平, 确定主要水污染物排放总量控制阶段目标, 而水污染控制方案措施和责任分工则分解落实到各级行政区^[21]。

1.3 划分依据由单一指标向综合指标演变

从“九五”流域水污染防治规划开始, 分区指标由简单、单一向复杂和全面发展。“九五”期间流域分区指标包括水系特征和保护目标; “十五”时考虑了水污染控制和水生态保护的区域特征指标; “十一五”及“十二五”, 中国的流域水污染控制分区指标不仅包括了地域特征、汇水特征、行政区划、排污、断面等, 同时也包括了区域污染特征、地方经济发展需求、管理经验等, 划分过程是国家与地方自上而下逐级划分, 自下而上层层调整的过程。国家层面需初步划分流域控制单元, 地方则应结合上述指标细化、调整控制单元^[22-23]。

2 中国流域水污染控制分区方法

2.1 分区方法总则

流域水污染控制分区的关键问题在于: 协调不同利益者、人与自然冲突问题, 从而确定水体功能定位; 流域、区域协调统一; 落实区域污染防治责任和任务。

为了统筹流域水环境管理需求与区域特征, 流域水污染控制分区可以县级行政区为基本单元, 建立

流域—控制区—控制单元三级分区体系,在流域层面,应基于水系汇水的自然属性,同时体现国家流域水污染防治的总体思路;控制区层面,需立足于对流域内环境问题的总结,同时兼顾水系特征;控制单元层面,需实现陆域与水域之间的衔接,建立排污与水质之间的响应关系。

同时,流域水污染控制分区与“十二五”国家流域水污染防治总体规划、区域水污染防治实施计划、控制单元水污染防治方案三级水污染防治规划体系保持对应,重点把握完整性与唯一性、以水定陆以及区县为最小行政单元三大原则:

(1) 完整性与唯一性原则 流域、控制区、控制单元为流域水污染控制三级分区体系,为实现三者自上而下逐步扩散、自下而上逐步收敛的单向逻辑关系,要求控制单元划分时必须保证流域的完整性,不能出现空白,也不能重复出现。

(2) 以水定陆原则 控制单元为水陆对应的面状区域,自然水系为陆域划分的基准,根据自然汇水特征确定陆域汇流范围,形成水陆结合单元。

(3) 区县为最小行政单元原则 区县作为环境数据调查、统计的基层行政单位,是实现控制单元空间落地功能的最小单位。对于主导排污去向唯一的区县,将整个区县全部划至某个控制单元;对于主导排污去向不唯一的区县,可以将区县分拆到不同的控制单元,并在对应排污区域内注明某某县(部分)。

2.2 分区方法要点

首先,国家层面需依据自然汇水特征初步确定流域范围,参考水资源一级区,并以行政区边界调整流域范围;其次,应以省级行政区为主要依据,与水资源三级区对接,初步构建各流域控制区;再次,在控制区层面下,需结合水系、县级行政区中心、水质断面位置、土地利用、排污特征等诸多因素,以县级行政区为最小单位划分控制单元。

2.2.1 流域及控制区划分

流域界定:参照水利部水资源分区方法对全国自然水系进行分割,结合水环境管理需求及县级行政区界对流域边界进行修正,可将全国流域划分为松花江、淮河、海河、辽河、黄河中上游、太湖、巢湖、滇池、三峡库区及其上游、丹江口库区及上游、长江中下游等11个流域。

控制区划分:控制区为流域的进一步细化,其划分目的是对不同区域分别提出有针对性的治理措施,并有效落实地方政府治污责任和任务。划分过程中应分析省级行政区内水系及汇水特征,在省级行政区边界的基础上,叠加该省水系水域和陆域的空间边界,以水系的水域及陆域界限作为控制区的边界。控制区要求不跨省级行政区,巢湖等省内流域以地市级行政区作为控制区,个别以湖库为主的流域(如滇池)也可按水系特征构建控制区。

2.2.2 控制单元划分

控制单元是控制区的进一步分解细化,其划分目的是建立水体—行政区—断面的对应关系,通过削减排污达到有效改善水质的目的,其划分过程包括水系概化、控制断面选取、筛选主导排污去向和控制单元命名与编码。

(1) 水系概化是控制单元划分的一个重要准备工作,应用 ArcGis ArcHydro 水文模块,通过 DEM 数据提取流域河网,河网数据赋存的信息包括河流流向、河流干支流、河流连接状况、河流等级等,水系概化确定了水系汇水去向,为后续区县排污去向确定及控制单元划分提供了重要的支撑和依据。

(2) 控制断面选取是控制单元划分的核心,一般从国控、省控或者市控等常规监测断面中选取,筛选和优化的依据包括干流水体、支流水体、跨界水体、重要功能水体和污染排放监测五大要素:确保处于城市下游的干流监测断面,用于作为反映城市排污的主要控制断面;确保支流汇入干流前的监测断面,用于代表汇入干流前的支流水体水质;确保各条干流或者支流的跨省或市级行政区界水体的监测断面,用于反映跨界水体水质;确保每个重要功能水体包含一个监测断面,用于代表该水体水质;确保每个排放区域排放口下游包含一个监测断面,用于反映污染物排放对水体水质的影响。一般情况下,每个控制断面代表的河长原则上不小于100 km。

(3) 控制单元的划分与确定。区县排污去向是划分控制单元的重点。对于辖单一水体的区县,水体汇水去向即为区县排污去向,县级行政区即为控制单元;对于辖两条及两条以上河流的区县,以断面为节点,

统筹考虑汇水特征、城镇布局、工业布局以及农业布局等因素,本文构建了层次分析模型综合评价各因素的权重^[24-25],对造成各河段污染的区县排污去向进行比较,最终筛选区县的主导排污去向,作为将其划入某一或某几个控制单元的依据。

(4) 控制单元命名与编码。控制单元由水、陆两部分组成,因此命名时采用主要河流或河段+地市的形式,即×河×市控制单元。若控制单元涉及多个地市,可采用“×河×市-×市控制单元”的命名形式;对于湖体控制单元,可以不将陆域纳入命名体系。控制单元编码包含流域、省(区)信息,以松花江为例,控制单元编号方法为“松蒙-01-01”,其中,“松”指松花江流域,“蒙”为内蒙古自治区,第1个“01”为控制区序号,第2个“01”为01控制区中的控制单元序号。

需要强调的是,整个分区过程由国家、地方协作完成。国家负责界定流域范围、构建控制区、划分国家级控制单元;地方负责向下细化省级控制单元,按照省级控制单元、国家级控制单元、控制区、流域自下而上的次序依次调整各级分区范围,整个过程需要包括流域管理机构以及地方政府在内的多方协商完成,最终形成国家“十二五”流域水污染控制分区结果。

3 松花江流域水污染控制分区实证研究

根据上述流域水污染控制分区原则和方法,本文以松花江流域为例,探讨分区方法的具体应用。

3.1 松花江流域概况

松花江流域地处中国东北地区的北部,位于 $119^{\circ}52'E \sim 132^{\circ}31'E$ 、 $41^{\circ}42'N \sim 51^{\circ}38'N$ 之间,东西宽920 km,南北长1 070 km。流域西部以大兴安岭为界,东北部以小兴安岭为界,东部与东南部以完达山脉、老爷岭、张广才岭等为界,西南部的丘陵地带是松花江和辽河两流域的分水岭。

松花江流域面积约55.7万 km^2 ,共26个市(州、盟)170个县(市、区、旗)。与水资源一级区相比,该范围不包括黑龙江、乌苏里江、额尔古纳河、图们江等界河流域。松花江流域涉及内蒙古自治区、吉林省和黑龙江省的全部或部分地区,3个省级行政区内水系完整,划定为3个控制区,即内蒙古控制区、吉林控制区和黑龙江控制区。

3.2 松花江流域控制单元划分

(1) 水系概化 松花江有嫩江和第二松花江两个源头,两江在松原市扶余县的三岔河口汇流后形成松花江干流,向东北流入中俄界河黑龙江。主要支流有牡丹江、拉林河、阿什河、呼兰河、甘河、绰尔河、辉发河、伊通河和饮马河等。重点城市包括长春市、哈尔滨市、齐齐哈尔市、大庆市、牡丹江市、佳木斯市等。松花江流域水系概化如图1所示。

(2) 控制断面选取 松花江流域共布设34个国控断面(点位),其中,河流断面26个,湖泊点位8个。河流断面中,内蒙古自治区3个,吉林省9个,黑龙江省14个。根据控制断面选取原则,选取成吉思汗、白旗、阿什河口内等国控断面为控制断面,镇江口、巴彦等省控断面为控制断面。如表1所示。

(3) 控制单元划分与确定 以控制断面为节点,依照汇水去向及结合层次分析法综合评价,筛选各区县的主导排污去向。本文构建的层次分析模型包括1个目标层A,4个准则层B和9个方案层C,如图2所示。

根据专家对不同方案重要性评判结果,采用1~9标度法构建了该模型的4个判断矩阵A-B、 $B_2-C_{2,3}$ 、 $B_3-C_{4,6}$ 、 $B_4-C_{7,9}$ ^[26-27]:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{7} \\ 5 & 7 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 \\ \frac{1}{4} & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

经过矩阵计算、检验得到 A-B、B-C 的单层次权重值及 A-C 总权重值，并根据判断矩阵一致性检验结果调整该矩阵，直至达到检验要求(一致性比例 $C.R. < 0.10$) 停止。

各因素对目标 A 的权重如表 2 所示，相应的判断矩阵一致性检验结果如表 3 所示。设置各因素分数区间，通过权重与分数的乘积，即可得到区县某一个排污去向的综合得分，比较各排污去向得分，若差异较大，则拟定分数最高的排污去向为区县的主导排污去向；若差异不大，则将区县按照汇水范围拆分到两个不同控制单元。

表 2 层次分析模型各因素权重与分数取值

Table 2 Weights and scores of impact factors in AHP model

| 目标层 A | 准则层 B | A-B 权重 | 方案层 C | B-C 权重 | A-C 权重 | 分值 |
|----------------|-------|--------|----------|--------|--------|------|
| 筛选区县 主导排污去向 | 汇水特征 | 0.5174 | 汇水面积 | 1.0000 | 0.5174 | 0~12 |
| | | | 城镇人口 | 0.6667 | 0.1631 | 0~10 |
| | 城镇布局 | 0.2446 | 处理设施个数 | 0.3333 | 0.0815 | 0~10 |
| | | | 工业企业个数 | 0.1634 | 0.0200 | 0~6 |
| | 工业布局 | 0.1223 | 重点企业个数 | 0.2970 | 0.0363 | 0~6 |
| | | | 氨氮高排企业个数 | 0.5396 | 0.0660 | 0~6 |
| | | | 耕地面积 | 0.6738 | 0.0779 | 0~6 |
| | 农业布局 | 0.1157 | 畜禽养殖场个数 | 0.2255 | 0.0261 | 0~6 |
| | | | 坡度 | 0.1007 | 0.0116 | 0~5 |

区县排污去向唯一，将单个或多个区县划分在同一控制单元内，具体包括加格达奇、扎兰屯市、阿荣旗等在內的 160 个区县为这一类型。以黑龙江讷河市和五大连池市两个县级市为例，这两个县级市的排污去向均为讷谟尔河，因而将它们都划分到同一控制单元内，如图 3(a) 所示。

区县排污去向不唯一，收集各汇水区数据，经过层次分析模型计算比较，按最终分值高低将其划分到一个控制单元或拆分到多个控制单元内，具体包括莫力达瓦达斡尔族自治旗、鄂伦春自治旗、伊通县等在內的 10 个区县为这一类型。以内蒙古莫力达瓦达斡尔族自治旗为例，自治旗内排水分别流向甘河、嫩江和诺敏河，经过对汇水区数据层次分析综合评分，得到如表 4 的结果，各汇水区评分分值较为接近，因而将莫力达瓦达斡尔族自治旗拆分为 3 个控制单元，如图 3(b) 所示。

表 3 层次分析模型判断矩阵一致性检验结果

Table 3 Consistency test of judgement matrix in AHP model

| 矩阵 | 特征值 λ_{max} | C. I. | R. I. | C. R. | C. R. < 1.0 |
|---------------|---------------------|--------|-------|--------|-------------|
| A-B | 4.0062 | 0.0021 | 0.90 | 0.0023 | 是 |
| B_2-C_{2-3} | 2.0000 | 0 | 0 | 0 | 是 |
| B_3-C_{4-6} | 3.0092 | 0.0046 | 0.58 | 0.0088 | 是 |
| B_4-C_{7-9} | 3.0858 | 0.0429 | 0.58 | 0.0825 | 是 |

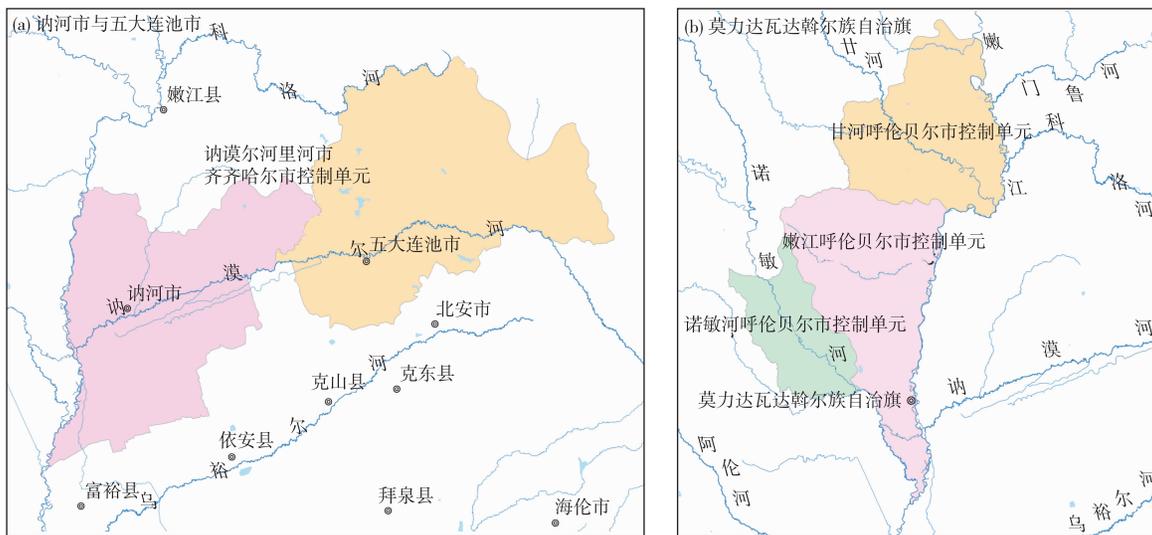


图 3 水污染控制单元划分

Fig. 3 Water pollution control units

表 4 莫力达瓦达斡尔族自治旗各排污去向比较
 Table 4 Pollutant discharge direction comparison in Morin Dawa Daur

| 汇水区 | 汇水面积/ km ² | 城镇人口/ 万人 | 处理设施 个数 | 工业企业 个数 | 重点企业 个数 | 氨氮高排 企业个数 | 耕地面积/ km ² | 畜禽养殖场 个数 | 坡度 | 综合得分 |
|--------|--------------------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|--------------------------|-------------|---------|-------|
| 甘河汇水区 | 3 716. 30 | 6. 27 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 186. 61 | 1 | 318. 80 | 3. 31 |
| 嫩江汇水区 | 4 436. 38 | 6. 65 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 426. 24 | 0 | 320. 76 | 3. 73 |
| 诺敏河汇水区 | 1 925. 41 | 4. 08 | 1 | 12 | 0 | 11 | 967. 18 | 1 | 338. 06 | 3. 02 |

依据上述三级分区方法, 将松花江流域划分为 3 个控制区、33 个控制单元, 结果如图 4 所示。

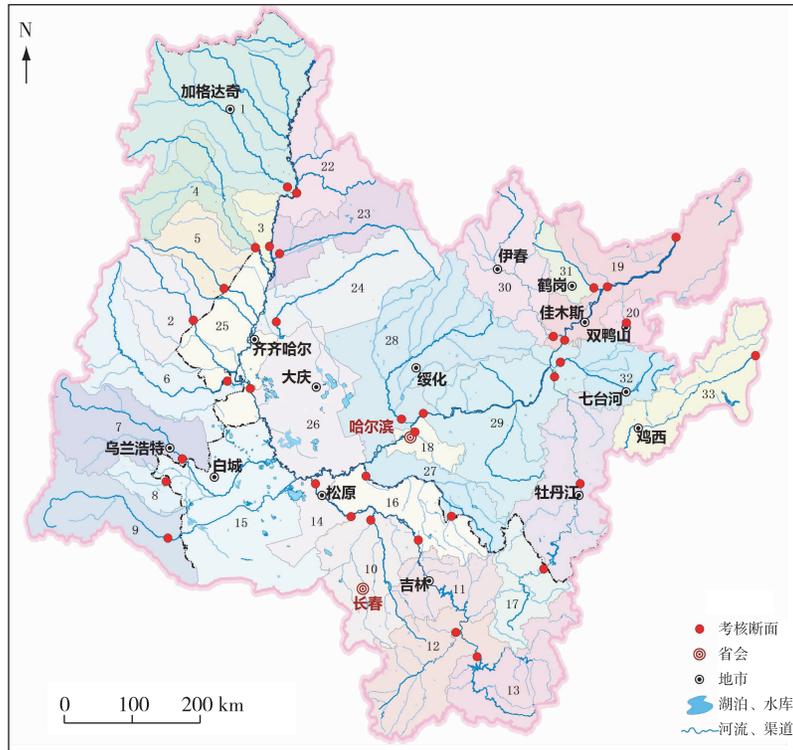


图 4 松花江流域水污染控制单元划分

Fig. 4 Water pollution control units in Songhua River watershed

4 结 论

(1) 针对中国“九五”至“十二五”时期流域水污染控制分区方法的演变历程进行了系统分析, 中国的流域水污染控制分区方法呈现出由差异化向标准化方向演变, 分区目标由流域、区域管理向流域和区域管理相结合演变, 划分依据由单一指标向综合指标演变等 3 个主要特征。

(2) 提出了“流域—控制区—控制单元”三级分区体系, 流域层面, 需把握水污染防治的宏观格局, 明确流域水污染防治重点和方向; 控制区层面, 需落实地方政府治污目标、责任和任务; 控制单元层面, 需建立污染源与水质目标间的输入响应关系, 制定控制单元水污染防治方案。

(3) 提出的分区方法已经在重点流域水污染防治“十二五”规划编制中开始应用。以松花江流域为例, 全流域划分为 3 个控制区, 分别为内蒙古控制区、吉林控制区和黑龙江控制区, 将全流域划分为 33 个控制单元, 除内蒙古莫力达瓦达斡尔族自治旗等 10 个区县被拆分到两个或两个以上的单元, 其余区县均被划分到单一控制单元内。分区方法的应用为松花江流域有效落实污染防治提供了技术支撑。

(4) 目前中国流域水污染控制分区与水功能区划、水环境功能区划间的衔接不强, 建议加强这三者间

的衔接,不仅需要区划“线形”水体控制单元,同时还需划分出对应的陆域区域,形成“水资源-用水-水污染”一体、水体和陆域共同组成的流域控制单元,并在此基础上积极构建“水资源-水环境-水生态”三位一体的综合管理目标体系,通过对控制单元的有效预防和治理,实现环境改善、生态修复的功能目标。

参考文献:

- [1] 吴舜泽,夏青,刘鸿亮. 中国流域水污染分析[J]. 环境科学与技术, 2000, 23(2): 1-6. (WU Shunze, XIA Qing, LIU Hongliang. The analysis of water pollution in Chinese watershed [J]. Environmental Science and Technology, 2000, 23(2): 1-6. (in Chinese))
- [2] 环境保护部. 2011年中国环境状况公报[R]. 北京:环境保护部, 2011: 4-13. (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China environmental status bulletin in 2011 [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2011: 4-13. (in Chinese))
- [3] 孟伟. 中国流域水环境污染综合防治战略[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 712-716. (MENG Wei. The strategy of comprehensive pollution prevention and cure of water environment in Chinese watershed [J]. China Environmental Science, 2007, 27(5): 712-716. (in Chinese))
- [4] 金陶陶. 流域水污染防治控制单元划分研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011: 4-13. (JIN Taotao. Research on dividing control unit of water pollution prevention and control for river basin[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011: 4-13. (in Chinese))
- [5] 王彩艳,彭虹,张万顺,等. TMDL技术在东湖水污染控制中的应用[J]. 武汉大学学报:工学版, 2009, 42(5): 665-668. (WANG Caiyan, PENG Hong, ZHANG Wanshun, et al. Application of total maximum daily load technology to water pollution control for East Lake [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(5): 665-668. (in Chinese))
- [6] 柯强,赵静,王少平,等. 最大日负荷总量技术在农业面源污染控制与管理中的应用与发展趋势[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 85-91. (KE Qiang, ZHAO Jing, WANG Shaoping, et al. Application of total maximum daily load in control of agricultural non-point source pollution and its developmental trend [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2009, 25(1): 85-91. (in Chinese))
- [7] 惠婷婷. 水污染控制单元划分方法及应用[D]. 沈阳:辽宁大学, 2011. (HUI Tingting. Method and application of water pollution control unit-A case study of Qing River basin[D]. Shenyang: Liaoning University, 2011. (in Chinese))
- [8] CROWLY J M. Biogeography[J]. Canadian Geographer, 1967, 11(4): 312-326.
- [9] OMERNIK J M. Ecoregions of the conterminous United States[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77(1): 118-125.
- [10] 孟伟,张远,郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 293-300. (MENG Wei, ZHANG Yuan, ZHENG Binghui. Aquatic ecological region approach and its application in China [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 293-300. (in Chinese))
- [11] 阳平坚,郭怀成,周丰,等. 水功能区划的问题识别及相应对策[J]. 中国环境科学, 2007, 27(3): 419-422. (YANG Pingjian, GUO Huaicheng, ZHOU Feng, et al. Problems identification of water function zoning and harmonious countermeasures [J]. China Environmental Science, 2007, 27(3): 419-422. (in Chinese))
- [12] 阳平坚,吴为中,孟伟,等. 基于生态管理的流域水环境功能区划:以浑河流域为例[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 944-952. (YANG Pingjian, WU Weizhong, MENG Wei, et al. Ecosystem management oriented water environmental function zoning at watershed scale: Hun River basin as a case study [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(6): 944-952. (in Chinese))
- [13] 李云生,王东,徐敏. 中国流域水污染防治规划方法体系与展望[C]//中国环境科学学会环境规划专业委员会 2008 年学术年会论文集. 北京:中国环境科学出版社, 2008: 231-239. (LI Yunsheng, WANG Dong, XU Min. Method system and prospect for Chinese water pollution prevention and control planning at watershed scale [C]//The Annual Conference of Chinese Society for Environmental Planning in 2008. Beijing: China Environmental Science Press, 2008: 231-239. (in Chinese))
- [14] 国家环境保护总局环境规划院. 重点流域水污染防治“十一五”规划编制技术细则[R]. 北京:国家环境保护总局环境规划院, 2005: 1-10. (Chinese Academy for Environmental Planning. Technical details of “Eleventh-Five-Year” water pollution prevention and control planning for key watershed [R]. Beijing: Chinese Academy for Environmental Planning, 2005: 1-10. (in Chinese))

Chinese))

- [15] 中华人民共和国水利部. 中国水功能区划[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2002: 2-8. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Water function zoning in China [R]. Beijing: The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, 2002: 2-8. (in Chinese))
- [16] 中华人民共和国水利部. 水功能区划技术大纲[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2000: 1. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Technical outline of water function zoning [R] Beijing: The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, 2000: 1. (in Chinese))
- [17] 国家环境保护总局. 中国地表水环境功能区划[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2002: 1-10. (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Water environmental function zoning in China [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2002: 1-10. (in Chinese))
- [18] 国家环境保护总局环境规划院. 水环境功能区划分技术导则[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2002: 1-2. (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Technical guide of water environmental function zoning [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2002: 1-2. (in Chinese))
- [19] 程声通. 水污染防治规划原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 41-46, 55-57. (CHENG Shengtong. Principle and method for water pollution prevention and control planning [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 41-46, 55-57. (in Chinese))
- [20] 孟伟, 苏一兵, 郑丙辉. 中国流域水污染现状与控制策略的探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(4): 242-246. (MENG Wei, SU Yibing, ZHENG Binghui. Analysis of current situation of water pollution and its control strategy for Chinese river basins [J]. Journal of China Institute of Water, 2004, 2(4): 242-246. (in Chinese))
- [21] 王金南, 张惠远, 蒋洪强. 关于我国环境区划体系的探讨[J]. 环境保护, 2010(10): 29-33. (WANG Jinnan, ZHANG Huiyuan, JIANG Hongqiang. The discussion on the framework of China's environmental zoning system [J]. Environmental Protection, 2010(10): 29-33. (in Chinese))
- [22] 袁宝招, 陆桂华, 李原园, 等. 水资源需求驱动因素分析[J]. 水科学进展, 2007, 18(3): 404-409. (YUAN Baozhao, LU Guihua, LI Yuanyuan, et al. Analysis of driving factors for water demand [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(3): 404-409. (in Chinese))
- [23] 来海亮, 汪党献, 吴涤非. 水资源及其开发利用综合评价指标体系[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 95-101. (LAI Hailiang, WANG Dangxian, WU Difei. Comprehensive assessment indicator system for water resources and its development and use [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 95-101. (in Chinese))
- [24] 王先甲. 水资源持续利用的多目标分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3): 128-135. (WANG Xianjia. Multiobjective analysis method for sustaining water resources utilization [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2001, 21(3): 128-135. (in Chinese))
- [25] 金菊良, 张礼兵, 魏一鸣. 水资源可持续利用评价的改进层次分析法[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 227-232. (JIN Juliang, ZHANG Libing, WEI Yiming. Improved analytic hierarchy process for evaluating water resources sustaining utilization [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(2): 227-232. (in Chinese))
- [26] 刘万里, 雷治军. 关于 AHP 中判断矩阵校正方法的研究[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(6): 30-34. (LIU Wanli, LEI Zhijun. Study on rectification method for the judgment matrix in AHP [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1997, 17(6): 30-34. (in Chinese))
- [27] 陈华友, 刘春林. 组合判断矩阵的相容性与一致性关系[J]. 系统工程理论方法应用, 2004, 13(4): 377-380. (CHEN Huayou, LIU Chunlin. Research on relations between compatibility and consistency of combination judgement matrices [J]. Systems Engineering-Theory Methodology Application, 2004, 13(4): 377-380. (in Chinese))

Zoning methodology and application to China's watersheds for water pollution control *

WANG Jinnan^{1,2}, WU Wenjun^{1,2}, JIANG Hongqiang¹, XU Min¹, XIE Yangcun¹, ZHAO Kangping¹

(1. *State Environment Protecting Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China;*

2. *State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract: The existing methods for watershed zoning have tended to be very subjective in China. This is especially true for the zoning of the water pollution control-unit, resulting from the lack of unified zoning methodologies and regulations. Aiming at this problem, a three-level zoning system or the watershed-control regions-control units system is proposed in the study. The system adopts a combined approach of qualitative and quantitative methods for the zoning study of watershed pollution control. An Analytic Hierarchy Process (AHP) model will be constructed at the control-unit level, which is the central piece of the system. Based on four factors, i. e. catchment characteristics, urban distribution, industrial distribution and agricultural distribution, a watershed is divided into various control units according to the main direction of various discharge sources. The system is applied to the Songhua River watershed as a study case. The whole watershed is ultimately divided into three control regions and thirty-three control-units. It is noted that ten counties including Morin Dawa Daur Autonomous Banner, are divided into two or more control units. The proposed system for the zoning study of watershed pollution control in China is based on the nature of basin catchments and fully embodies the focus and direction for the management of watershed pollution control. It sets up the implementing targets and spells out the responsibilities and missions for local governments. It thus could provide the basis and guarantee for scientifically planning and implementing watershed pollution control plans in China.

Key words: water pollution; zoning; control-unit; Songhua River; watershed management

* The study is financially supported by the National Water Pollution Control and Management S&T Specific Projects of China (No. 2012ZX07601002).