

小流域水环境承载力评估预警分析

王若冰

(伊科凯尔碳减排有限责任公司, 澳大利亚 布雷赛德市 3195)

摘要: 水环境承载力是衡量流域可持续发展的重要指标之一。文章以亮子河流域水环境现状为基础, 建立了基于水资源-水环境-水生态的复合评价体系, 并应用于小尺度优控单元的水环境承载力的评估、预警工作。结果表明, 亮子河流域在 2012 年为临界超载-黄色警情, 2013 年水环境承载力转好, 变为蓝色警情, 2014~2018 年均为超载-橙色重警, 未出现红色巨警。通过预警结果可知, 亮子河流域水环境无法容纳社会经济发展带来的巨大压力, 整个水系统趋于退化状态, 无法协调持续发展, 必须施行相应的排警决策。承载力预警结果与流域内的水质、水量等因素有关, 水资源量不足是制约亮子河流域水环境承载力的主要因素。

关键词: 水环境承载力; 亮子河流域; 预警; 排警决策

中图分类号: X824

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022.01.19

Early warning analysis of water environment carrying capacity assessment in small watershed

WANG Ruobing

(EcoCare Carbon Solutions Pty. Ltd., Bradside 3195, Australia)

Abstract: Water environment carrying capacity is one of the important indicators to evaluate the sustainable development of river basins or regions. Based on the current situation of water environment in Liangzi River Basin, a composite evaluation system based on water resources, water environment and water ecology was established and applied to the assessment and early warning of water environment carrying capacity of the small-scale priority control cell. The carrying capacity of Liangzi River was critical overload with a yellow alarm in 2012, and turned to be blue alarm in 2013. Then the carrying capacity began to decline, and it was overloading with an orange heavy-alarm in 2014~2018, and there was no red giant alarm to now. The warning results showed that the water environment of Liangzi River Basin tended to degenerate and could not develop coordinately and sustainably because of the huge pressure brought by the social and economic development. Some strategies for ridding alarm should be performed. The early warning results of carrying capacity were related to the water quality and water quantity in the basin, and the shortage of water resources was the main factor restricting the carrying capacity of the water environment in Liangzi River Basin.

Keywords: water environment carrying capacity; Liangzi River; early warning; strategy for ridding alarm

CLC number: X824

水环境承载力, 指在某一时期、某种状态下, 某一区域或流域水环境对人口、经济及社会可持续发展的支持能力^[1]。经过长期的研究和发展, 水环境承载力的理论研究和应用得到了不断地丰富和完善, 研究成果已广泛应用于各地的战略规划、政策和计划的制定。党的十八届三中全会审议通过的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》, 提出建立资源环境承载力监测预警机制, 对水土资源、环境容量超载区域实行限制性措施, 以

期实现生态系统和区域经济的良性循环。随后, 由中共中央办公厅 国务院办公厅印发的《关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见》中进一步将承载力预警工作推向规范化、常态化和制度化。随着《水污染防治行动计划》提出“建立水环境承载能力监测评价体系, 实行承载能力监测预警”的要求, “十三五”期间, 水环境承载力的内涵在水生态和水环境容量的基础上得以扩展和延伸, 基于水资源-水环境-水生态的“三水”复合评价体系被

收稿日期: 2021-01-06

作者简介: 王若冰(1994-), 女, 硕士研究生。研究方向: 环境工程、节能环保。E-mail: wangruobing2021@163.com

引用格式: 王若冰. 小流域水环境承载力评估预警分析[J]. 环境保护科学, 2022, 48(1): 115-119.

正式提出^[2],并开始应用于流域水环境承载力的评估、预警工作。

辽河流域为缺水区域,水资源分配极不平衡,由于经济结构升级转型和人民生活质量提高,水资源消耗量巨大,环境资源约束与社会经济发展矛盾显著,水资源、水生态承载能力不足,流域水污染防治形势依然严峻^[3-5]。目前,承载力的研究多集中在城市、区域或者大尺度的流域层面,聚焦在控制单元等小尺度流域的承载力评估、预警则较少涉及^[6-9]。因此,如何构建基于小尺度流域的承载力评估预警体系,使其具有代表性和适用性,是推广水环境承载力亟待解决的问题之一。

本研究选取辽河流域典型的优先控制单元——亮子河流域为研究对象,开展水环境承载力评估预警研究,并以此作为“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”的重要依据之一,促进控制单元污染减排、产业布局优化、社会经济与环境保护协同发展,为整个辽河流域的水环境承载力评估预警提供支撑,进而推广到国内其他类似流域。

1 资料与评价方法

1.1 数据来源

本研究所涉及到的数据主要来源于 2012~2018 年的《铁岭市统计年鉴》、《铁岭市水资源公报》、铁岭市环境统计数据以及《辽宁省水污染防治工作方案》、《关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见》等文件。

1.2 亮子河流域概况

亮子河属于辽河一级支流,发源于昌图县,经开原市庆云镇后汇入辽河,全长 114 km。亮子河流域是我国北方的畜禽污染严重、水生态系统遭到破坏的典型地区。流域内污染源包括城镇生活污染、工业污染、畜禽养殖业污染和农业面源污染等,致使河流水质变差,2014 和 2015 年连续 2 年为劣 V 类水质。根据铁岭市环境质量公报以及地方环保局所提供的环统数据,计算出流域内的 COD 和氨氮等废水污染物的排放情况。亮子河流域内近年来污染物和水资源量的变化情况,见图 1。

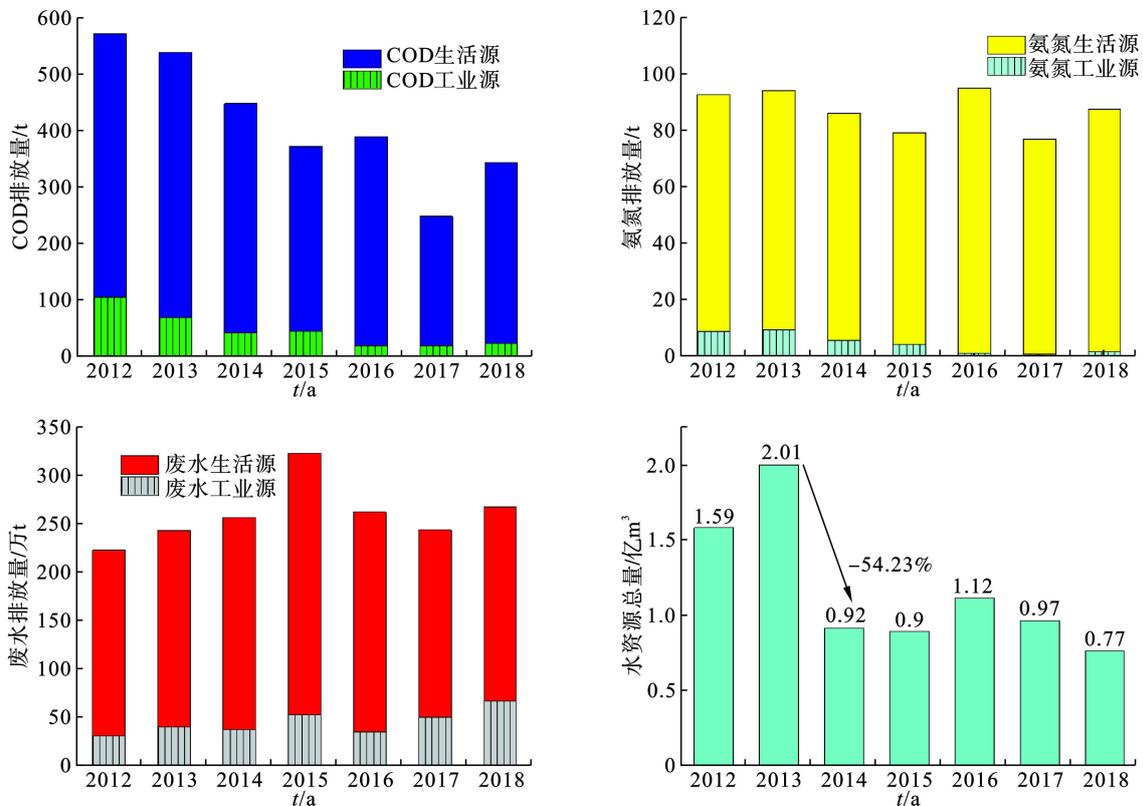


图 1 亮子河流域污染物排放及水资源量

图 1 可知,流域内 COD 和氨氮的排放总量逐年降低,2018 年有所反弹;生活源 COD 和氨氮的变化不大,但工业源 COD 和氨氮排放量明显降低;农

村及城镇生活污染源所占比重较大,工业污染源所占比重较小,这与重污染企业的关停、污染治理水平的提高密切相关。废水排放量呈逐年上升的趋

势, 2015 年达到峰值。2014 年, 水资源总量大幅下降 54.23%, 加剧了流域内水资源短缺的现状。虽然 COD 和氨氮排放总量略有下降, 但以生活源为主的污染物排放量呈现上升趋势, 农业农村面源污染仍未得到有效遏制, 流域水污染防治形势依然十分严峻。

1.3 研究方法

采用加权求和的向量模法计算水环境承载力^[10], 见式(1)。

$$|\bar{E}| = \sum_{i=1}^n W_i \times \bar{E}_i \quad (1)$$

式(1)中: $|\bar{E}|$ 为水环境承载力评价值; \bar{E}_i 为评价对象第 i 个指标的标准值; W_i 为第 i 个指标的权重; n 为指标的个数。

水环境承载力的数值越接近 1, 表明承载力状态越好。指标权重是指标在评价过程中不同重要程度的反映, 根据权重的计算方法, 可分为主观赋权法和客观赋权法两大类。主观赋权法由专家根据经验进行主观判断而得到权重, 该方法易受到评价者个人主观制约, 不能够真实可靠的体现出客观性。客观赋权法是根据指标之间的相关关系或各指标的变异系数来确定权重, 以数学理论为基础, 能够减少主观性带来的制约, 但对于异常的数据较敏感, 也存在着某些不足。本研究采用主观与客观相结合的方法, 对层次分析法和熵值法得到的权重进行 1:1 的比例分配, 进而确定全局权重^[1, 10-11]。

1.4 预警等级的判定

依据《关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见》, 按照“三级五色法”对亮子河流域的承载力进行评估预警, 即: 超载、临界超载、不超载 3 个等级, 预警等级从高到低依次为红色、橙色、黄色、蓝色和绿色 5 种颜色。结合承载力的计算结果, 确定水环境承载预警划分标准和信号颜色。

(1) 承载力数值介于 $[0, 0.20)$: 超载-巨警, 表明水环境承载力供需矛盾特别突出, 生态、资源破坏严重, 水环境系统功能丧失, 难以自然恢复, 资源环境约束对流域社会经济发展造成严重限制, 以红色示警。

(2) 承载力数值介于 $[0.20, 0.40)$: 超载-重警, 表明水体环境受到明显破坏, 流域内生态系统自我修复困难较大, 水资源、水环境与经济社会关系失衡, 对流域可持续发展具有明显限制, 以橙色示警。

(3) 承载力数值介于 $[0.40, 0.60)$: 临界超载-中

警, 表明流域内水环境受到较大破坏, 生态系统功能受较大影响, 水资源、水环境对社会经济发展的约束较为明显, 对流域可持续发展具有一定影响, 以黄色示警。

(4) 承载力数值介于 $[0.60, 0.80)$: 临界超载-轻警, 表明水环境承载力受到一定破坏, 流域内生态系统受一定影响但可以维持功能性, 水资源、水环境与社会经济的协调发展面临一定威胁, 以蓝色示警。

(5) 承载力数值介于 $[0.80, 1.00]$: 不超载-无警, 表明水环境受到破坏程度较轻, 或基本未受破坏, 流域内生态系统功能完整, 污染现象较少或得到控制和预防, 水资源、水环境与社会经济发展的关系较为协调, 以绿色示警。

2 结果与分析

2.1 指标体系与权重

流域水环境承载能力受到社会经济状况、水资源情况、水污染治理和水生态环境等多种因素的影响, 是这些因素彼此联系、彼此制约和彼此耦合的结果。基于水资源-水环境-水生态的“三水”复合评价体系, 构建了亮子河流域水环境承载力指标体系, 该指标体系由“水环境、水生态、水资源承载力”3 个子系统构成, 下设 15 个评估指标^[2]。指标体系及其定义、权重, 见表 1。

利用污染物的现状入河量与环境容量的比值, 环境容量利用率, 来反映流域内污染物的纳污能力与可污染控制能力。水、气和土壤等自然环境都有承受污染物的最高限值, 如果污染物存在的数量超过最大容纳量(环境容量), 此时环境系统的生态平衡和正常功能将被破坏。固定源在线监测达标率是指项目评价期内, 流域内重点排污源的在线监测指标的达标情况。计算方法为每天达标个数/总个数。该指标简单、直观、易获取, 可直接反映出亮子河流域的水污染控制情况。水资源开发利用率是指流域内的供水总量与水资源总量的比值, 本文中体现的是水资源开发利用的程度。

2.2 亮子河流域水环境承载力承载状态和预警等级的确定

利用离差标准化法对原始数据进行归一化处理, 按照加权求和法, 计算出亮子河控单元的水环境承载力评价, 将预警等级的划分分别应用到 COD 和氨氮为污染物的承载力计算结果中, 见图 2。

表 1 水环境承载力指标体系的构成及权重

子系统	指标	单位	层次分析法	熵值法	全局权重	效应
水环境	A1 工业增加值排污强度	kg·万元 ⁻¹	0.070 6	0.025 4	0.048 0	-
	A2 农业增加值排污强度	kg·万元 ⁻¹	0.053 9	0.044 6	0.049 3	-
	A3 第三产业排污强度	kg·万元 ⁻¹	0.047 4	0.066 6	0.057 0	-
	A4 环境容量利用率	%	0.073 1	0.050 9	0.062 0	-
	A5 固定源在线监测达标率	%	0.088 2	0.110 9	0.099 5	+
	A6 断面水质年达标率	%	0.165 9	0.075 5	0.120 7	+
水生态	A7 生态流量	万m ³	0.126 8	0.046 2	0.086 5	+
	A8 藻类多样性指数	/	0.036 1	0.067 0	0.051 5	+
	A9 河岸带植被覆盖率	%	0.025 3	0.043 3	0.034 3	+
	A10 大型底栖动物BI指数	/	0.030 8	0.048 5	0.039 7	+
水资源	A11 人均水资源量	m ³ ·人 ⁻¹	0.085 6	0.105 3	0.095 5	+
	A12 水资源模数	m ³ ·km ⁻²	0.056 2	0.106 1	0.081 1	+
	A13 水资源开发利用率	%	0.049 2	0.034 9	0.042 1	+
	A14 万元GDP用水量	m ³ ·万元 ⁻¹	0.047 8	0.074 2	0.061 0	-
	A15 降水变异系数	/	0.043 2	0.100 4	0.071 8	+

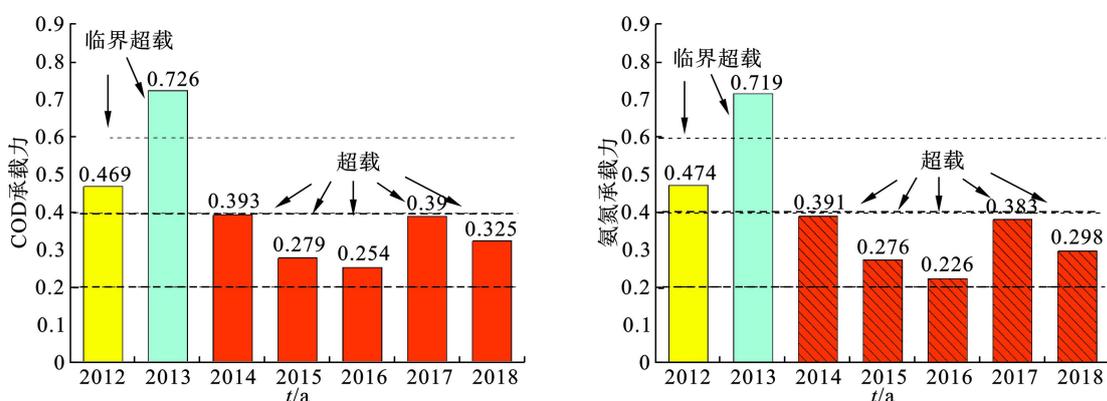


图 2 亮子河流域水环境承载力与预警等级

图 2 可知,以不同污染物计算的承载力呈现出相同的变化趋势,即 2012 和 2013 年承载力较好,预警等级为临界超载,2012 年为黄色警情,2013 年水环境承载力转好,变为蓝色警情,其他年份均为超载-橙色,未出现红色重警。从亮子河流域内的各项评价指标来看,2012~2013 年的水资源量较为丰富,社会经济状况良好,水环境的承载状况较好。2014 年之后,承载力出现较为明显的下降趋势,2014~2018 年变为超载-橙色警情。承载力最差的年份为 2016 年,评估数值仅为 0.25,已经接近超载-红色预警。承载力的结果与流域内的水质、水量等因素有关,也与流域内的经济、人口等因素密切相

关,2013 年以后承载力的下降与预警等级的提高,与这些年份中水资源的减少和经济的下滑密不可分。

2.3 水环境承载力报警原因分析

通过分析可知,亮子河流域的水环境承载力数值在 0.27~0.75 之间,差距较为明显。对承载力超载的原因进行分析,结合指标权重,计算子系统目标层的贡献比例,见表 2。对目标层专项承载状态分析可知,亮子河评估单元水环境子系统得分最高,其贡献率也最高(平均分 45.65%),水生态的平均评分 0.119 6,贡献率排名第二;水资源平均评分为 0.121 4,贡献率最低,为 23.74%。

表 2 亮子河流域水环境承载力子系统评价价值变化趋势

t/a	子系统承载力			子系统占比/%		
	水环境	水生态	水资源	水环境	水生态	水资源
2012	0.205 6	0.060 9	0.219 7	42.29	12.52	45.19
2013	0.293 1	0.129 8	0.333 3	38.76	17.17	44.07
2014	0.196 0	0.066 0	0.176 3	44.72	15.05	40.23
2015	0.138 4	0.121 4	0.062 0	43.01	37.73	19.26
2016	0.099 7	0.153 4	0.026 0	35.71	54.98	9.31
2017	0.276 9	0.148 4	0.017 2	62.59	33.53	3.88
2018	0.190 9	0.157 4	0.015 5	52.47	43.27	4.26
平均分	0.200 1	0.119 6	0.121 4	45.65	30.61	23.74

各目标层评估结果如下。

(1)水环境: 历年得分介于 0.099 7~0.293 1 分之间, 除去评分较低的 2016 年之外, 其他年份差距较小。从贡献率角度分析, 水环境子系统对于整体承载力的贡献率最高, 2017 年高达 62.59%。水环境子系统的历年评分变化不大, 说明从水环境纳污和水环境净化角度看, 亮子河流域水环境专项承载状况没有明显的恶化趋势, 并不是承载力变差的主要原因。虽然 2016 年的 COD 和氨氮排污量低于 2013 年, 受到辽宁老工业地区经济下降的影响, 2013 年的经济情况要好于 2016 年, 综合比较下, 2013 年的污染物排放强度低于 2016 年, 因此, 2013 年水环境子系统的承载力较高。分析亮子河水质超载的原因, 除了工业污染源的排放外, 一些小支流农村生活、养殖污水污染也对水功能区水质产生一定影响, 导致水功能区超载。由于水环境子系统的评分和贡献率较大, 需要在现状基础上加强环境保护与治理, 防止水环境质量变差。

(2)水生态: 水生态子系统的评价价值没有大幅度变化, 从 2013 年开始呈下降趋势, 但 2016 年后出现回升现象。表明亮子河流域水生生态维持和水生生物保育状况维持状况较好, 水生态子系统不是承载力变差的直接原因。

(3)水资源: 水资源子系统从 2013 年后, 评价价值快速下降, 到 2017 年与 2018 年时, 已经降至 0.015 左右, 对承载力的贡献度也从 40% 下降到 5% 以下。2013 年以后亮子河流域的水资源量大幅度下降, 导致子系统内其他指标也随之降低, 因此承载力呈现出下降的趋势。根据数据分析可知, 水资源量不足是亮子河流域水环境承载力报警的主要原因。

2.4 流域承载力的排警决策

从预警结果来看, 近年来, 亮子河流域水环境无法容纳社会经济发展带来的巨大压力, 整个水系

统趋于退化状态, 无法协调持续发展, 必须施行相应的排警决策。

(1)水环境管控措施。对流域内涉及地区, 执行排放标准的特别排放限值, 规定更加严格的排污许可要求, 加大新建、改建、扩建项目重点污染物排放的减量置换, 暂缓实施区域性排污权交易。推进污水处理及再生利用设施提标改造, 增加高品质再生水利用规模。橙色警情解除后, 应继续实施严格的排污许可管理, 实行建设项目的重点污染物排放减量置换。

(2)水生态管控措施。加强对流域内自然生态系统的保护, 划定管控红线, 实施最严格的保护措施, 最大程度地保障整体生态安全。针对河道周边垃圾和畜禽散养会对河流水质造成面源性的污染, 进行河道清淤和底泥修复工程, 增强河流自我修复的生态功能。

(3)水资源管控措施。对流域内涉及地区, 应全方位节约用水、提高用水效率。提高再生水、矿井水和雨水等非常规水源的利用率, 增加供水总量。优化调整产业结构, 推广使用节水新工艺、新技术、新设备。制定并严格实施用水总量削减方案, 对主要耗水领域实施严格的节水标准, 落实水资源费差别化征收政策, 积极推进水资源税改革试点。橙色警情解除后, 应严格管控用水总量, 加大节水和非常规水源利用力度, 强化水资源保护和入河排污监管。

3 结论

以亮子河优先控制单元为研究区域, 对其水环境承载力进行评估、预警, 得到了以下结论: 2012 年和 2013 年承载力为临界超载, 2012 年为黄色警情, 2013 年水环境承载力转好, 变为蓝色警情,

(下转第 134 页)