

团 体 标 准

T/CSES□□□□-20□□

水生态承载力评估技术指南

Technical guidelines for hydro-ecological carrying capacity evaluation

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

中 国 环 境 科 学 学 会 发 布

目 次

前 言	3
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 评估指标体系	5
5 评估方法	12
5.1 评估指标赋分.....	12
5.2 指标加权计算.....	13
5.3 水生态承载力综合评估.....	14
5.4 等级判别.....	14
5.5 评估结果.....	14
附录 A 评估指标等级、赋分标准与参考依据	16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1 《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本文件由中国环境科学研究院提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：中国环境科学研究院，北京师范大学，南开大学

本标准主要起草人：

水生态承载力评估技术指南

1 范围

本标准规定了水生态承载力的相关术语和定义、水生态承载力评估指标体系和评估方法等，通过水生态承载力评估科学量化流域或区域水生态系统对人类社会活动的承载状态，为水生态环境综合管控提供决策支持。

本标准适用于以淡水生态系统为主导的流域或行政区域范围，不适用于海湾、咸水湖、河口等区域。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 3838-2002 地表水环境质量标准 2002.6.1
- GB 8978-1996 污水综合排放标准 1998.1.1
- GB/T 50095-98 水文基本术语和符号标准 1999.4.1
- GB/T 12998-91 水质采样技术指导 1992.3.1
- GB/T 12997-91 水质采样方案设计规定 1992.3.1
- GB 50179-93 河流流量测验规范 1994.2.1
- GB/T 26622-2011 畜禽粪便农田利用环境影响评价准则 2011.11.1
- HJ/T91-2002 地表水和污水监测技术规范 2003.1.1
- HJ774-2015 集中式饮用水水源地环境保护状况评估技术规范 2016.3.1
- HJ/T192-2015 生态环境状况评价技术规范 2015.3.13
- SL167-2014 水库渔业资源调查规范 2014.4.13
- SL196-97 水文调查规范 1997.6.1
- 《湖泊生态系统调查观测与分析》 中国标准出版社 2000
- 《湿地生态系统观测方法》 中国环境科学出版社 2005
- 《水域生态系统观测规范》 中国环境科学出版社 2007
- 《流域生态健康评估技术指南（试行）》 环境保护部自然生态保护司 2013
- 《湖泊生态安全调查与评估技术指南》 环境保护部污防司和规财司 2012
- 《河流健康评估指标、标准与方法（试点工作用）》 水利部水资源司 2010

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

淡水生态系统 Freshwater Ecosystem

淡水水体中由水生生物群落与水环境相互制约，通过物质循环和能量流动，共同构成的

具有特定结构和功能的动态平衡系统。一般分为湖泊生态系统（Lentic ecosystem）、河流生态系统（River ecosystem）和湿地生态系统（Wetlands）。

3.2

水生态系统服务功能 Aquatic ecosystem services

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,包括水生态系统自身维持功能和社会服务功能,如生境维持、生物保育、水资源供给、水环境净化等。

3.3

水生态承载力 Hydro-ecological carrying capacity

在一定发展阶段,一定技术水平条件下,某空间范围内的水生态系统在维持自身结构和功能长期稳定、水生态过程可持续运转的基础上,具有的为人类社会活动提供生态产品和服务的能力。水生态承载力是水生态系统自身服务功能的外在表现,承载力大小可由水生态系统的产品和服务供给能力表征,主要涉及水资源供给、水环境净化、水生态维持三个方面。水生态系统产品和服务也一定程度上受到人类活动的影响。

3.4

水生态承载状态 Status of hydro-ecological carrying capacity

在一定发展阶段,一定技术水平条件下,某空间范围内的水生态系统通过提供生态产品和服务支持人类社会活动的状况,是水生态承载力评估的对象,可用最佳承载、安全承载、临界超载、超载、严重超载五个等级表达。

4 评估指标体系

4.1 评估指标及权重

4.1.1 推荐指标及权重

水生态承载力评估推荐指标体系包括水资源（A）、水环境（B）和水生态（C）3个专项指标。每个专项指标由若干分项指标构成,每个分项指标由若干评估指标构成。评估指标体系共包括3个专项指标、6个分项指标、23个评估指标,各推荐指标及权重见表5-1。

表 4-1 水生态承载力评估推荐指标及权重

专项指标	分项指标	权重	评估指标	权重
水资源 (A)	水资源禀赋指数 (A1)	0.5	人均水资源量 (A1-1)	1
	水资源利用指数 (A2)	0.5	万元 GDP 用水量 (A2-1)	0.3
			水资源开发利用率 (A2-2)	0.2
			用水总量控制红线达标率 (A2-3)	0.5
水环境 (B)	水环境纳污指数 (B1)	0.4	工业 COD 排放强度 (B1-1-1)	0.1
			工业氨氮排放强度 (B1-1-2)	0.1

			工业总氮排放强度 (B1-1-3)	0.1			
			工业总磷排放强度 (B1-1-4)	0.1			
			农业污染强度指数 (B1-2)	单位耕地面积化肥施用量 (B1-2-1)	0.15		
				单位土地面积畜禽养殖量 (B1-2-2)	0.15		
			生活污染强度指数 (B1-3)	城镇生活污水 COD 排放强度 (B1-3-1)	0.075		
				城镇生活污水氨氮排放强度 (B1-3-2)	0.075		
				城镇生活污水总氮排放强度 (B1-3-3)	0.075		
				城镇生活污水总磷排放强度 (B1-3-4)	0.075		
			水环境净化指数 (B2)	0.6	水环境质量指数 (B2-1)	0.5	
					集中式饮用水源地水质达标率 (B2-2)	0.5	
			水生态 (C)	水生生境指数 (C1)	0.5	岸线植被覆盖度 (C1-1)	0.25/0.35/0.3
						水域面积指数 (C1-2)	0.15/0.25/0.35
						河流连通性 (C1-3)	0.25/0.15/0.15
						生态基流保障率 (C1-4)	0.35/0.25/0.2
水生生物指数 (C2)	0.5	鱼类完整性指数 (C2-1)		0.4			
		藻类完整性指数 (C2-2)		0.25			
		大型底栖动物完整性指数 (C2-3)		0.35			

注：水生生境指数的评估指标权重分山区河流、高原与平原区河流、河口 3 类（依次以“/”隔开）。

4.1.2 优化调整

在推荐指标体系和权重（表 5-1）基础上，考虑评估区自然地理特征、生态环境管理实际，依据以下原则进一步优化调整：

（1）可量化原则。评估指标计算的基础数据应易于收集，或采用合理（时间和经费）的补充监测手段可获取。对于依靠现有条件不可量化的评估指标可取消。

（2）代表性原则。评估指标应是能反映评估区域人类活动对生态环境影响的代表性指标。对于主要由自然原因导致的区域生态环境问题，可调整相关指标或降低相应权重。

（3）一致性原则。对同一行政区域或同一条河流集水区的评估指标体系和权重需保持一致。

（4）系统性原则。评估指标及其权重调整后应形成完整的层级体系，其中水资源、水环境和水生态的专项-分项-评估三层指标框架固定不变，各专项指标下的各层级权重加和均为 1.0（权重的调整可采用同行专家咨询、层次分析法、主成分分析法、熵权法等主客观赋权方法）。

4.2 评估指标含义与数据来源

4.2.1 水资源专项指标 (A)

水资源专项指标包含 2 个分项指标、4 个评估指标。

(1) 水资源禀赋指数分项指标 (A1)

人均水资源量 (A1-1)

含义：评估区内水资源总量与评估区总人口的比值 ($\text{m}^3/\text{人}$)。

计算方法：

$$A1-1 = \frac{\text{评估区水资源总量}}{\text{评估区总人口}} \quad (\text{式 4-1})$$

数据来源：地区统计年鉴、水资源公报。

(2) 水资源利用指数分项指标 (A2)

万元 GDP 用水量 (A2-1)

含义：评估区用水总量与万元国内生产总值 (GDP) 之比 ($\text{m}^3/\text{万元}$)。

计算方法：

$$A2-1 = \frac{\text{评估区用水总量}}{\text{评估区生产总值 (GDP)}} \quad (\text{式 4-2})$$

数据来源：地区统计年鉴、水资源公报。

水资源开发利用率 (A2-2)

含义：评估区用水总量与水资源量的百分比 (%)。

计算方法：

$$A2-2 = \frac{\text{评估区用水总量}}{\text{评估区水资源量}} \times 100\% \quad (\text{式 4-3})$$

数据来源：地区统计年鉴、水资源公报。

用水总量控制红线达标率 (A2-3)

含义：评估区所涉辖区用水总量控制达标县 (市) 与辖区县 (市) 总数的百分比 (%)。

计算方法：

$$A2-3 = \frac{\text{评估区用水总量控制达标县 (市) 数}}{\text{评估区县 (市) 总数}} \times 100\% \quad (\text{式 4-4})$$

数据来源：评估区水资源公报。

4.2.2 水环境专项指标 (B)

水环境专项指标包含水环境纳污指数和水环境净化指数 2 个分项指标。其中水环境纳污指数分项指标下包括工业污染强度指数、农业污染强度指数和生活污染强度指数 3 类评估指标 (共 10 个指标)；水环境净化指数分项指标包含 2 个评估指标。

(1) 水环境纳污指数分项指标 (B1)

工业 COD 排放强度 (B1-1-1)

含义：工业 COD 排放量与工业增加值之比 ($\text{kg}/\text{万元}$)。

计算方法：

$$B1-1-1 = \frac{\text{工业 COD 排放量}}{\text{工业增加值}} \quad (\text{式 4-5})$$

数据来源：地区统计年鉴、生态环保部门统计数据。

工业氨氮排放强度 (B1-1-2)

含义：工业氨氮排放量与工业增加值之比 (kg/万元)。

计算方法：

$$B1-1-2 = \frac{\text{工业氨氮排放量}}{\text{工业增加值}} \quad (\text{式 4-6})$$

数据来源：地区统计年鉴、生态环保部门统计数据。

工业总氮排放强度 (B1-1-3)

含义：工业总氮排放量与工业增加值之比 (kg/万元)。

计算方法：

$$B1-1-3 = \frac{\text{工业总氮排放量}}{\text{工业增加值}} \quad (\text{式 4-7})$$

数据来源：地区统计年鉴、生态环保部门统计数据。

工业总磷排放强度 (B1-1-4)

含义：工业总磷排放量与工业增加值之比 (kg/万元)。

计算方法：

$$B1-1-4 = \frac{\text{工业总磷排放量}}{\text{工业增加值}} \quad (\text{式 4-8})$$

数据来源：地区统计年鉴、生态环保部门统计数据。

农业污染强度指数 (B1-2)

单位耕地面积化肥施用量 (B1-2-1)

含义：单位耕地面积实际用于农业生产的化肥数量 (kg/hm²)。农用化肥施用量是当年内实际用于农业生产的化肥数量，包括氮肥、磷肥、钾肥和复合肥。化肥施用量要求按折纯量计算。折纯量是指将氮肥、磷肥、钾肥分别按含氮、含五氧化二磷、含氧化钾的百分之百成份进行折算后的数量。复合肥按其所含主要成份折算。折存量为实物量与某种化肥有效成份含量的百分比之积。

计算方法：

$$B1-2-1 = \frac{\text{评估区内化肥施用总量 (折纯)}}{\text{评估区耕地面积}} \quad (\text{式 4-9})$$

数据来源：地区统计年鉴、农业统计年鉴。

单位土地面积畜禽养殖量 (B1-2-2)

含义：评估区内单位土地面积的畜禽的养殖数量 (头/km²)。畜禽粪便是面源污染物的主要来源之一，在一定技术水平下，畜禽养殖污染物产生量决定于畜禽养殖规模，而畜禽养殖量属于常规社会经济统计数据，较容易获得。

计算方法：

$$B1-2-2 = \frac{\text{评估区内畜禽养殖总量}}{\text{评估区土地面积}} \quad (\text{式 4-10})$$

式中，畜禽总量为当年的存栏数+出栏数。不同类型畜禽根据产污量按如下系数统一折算成猪：1头牛=10头猪=25头羊=150只禽类。

数据来源：地区统计年鉴、农村统计年鉴。

生活污染强度指数（B1-3）

城镇生活污水 COD 排放量（B1-3-1）

含义：城镇生活污水 COD 排放量与第三产业增加值之比（kg/万元）。

计算方法：

$$B1-3-1 = \frac{\text{城镇生活污水 COD 排放量}}{\text{第三产业增加值}} \quad (\text{式 4-11})$$

数据来源：生态环保部门统计数据、地区统计年鉴。

城镇生活污水氨氮排放量（B1-3-2）

含义：城镇生活污水氨氮排放量与第三产业增加值之比（kg/万元）。

计算方法：

$$B1-3-2 = \frac{\text{城镇生活污水氨氮排放量}}{\text{第三产业增加值}} \quad (\text{式 4-12})$$

数据来源：生态环保部门统计数据、地区统计年鉴。

城镇生活污水总氮排放量（B1-3-3）

含义：城镇生活污水总氮排放量与第三产业增加值之比（kg/万元）。

计算方法：

$$B1-3-3 = \frac{\text{城镇生活污水总氮排放量}}{\text{第三产业增加值}} \quad (\text{式 4-13})$$

数据来源：生态环保部门统计数据、地区统计年鉴。

城镇生活污水总磷排放量（B1-3-4）

含义：城镇生活污水总磷排放量与第三产业增加值之比（kg/万元）。

计算方法：

$$B1-3-4 = \frac{\text{城镇生活污水总磷排放量}}{\text{第三产业增加值}} \quad (\text{式 4-14})$$

数据来源：生态环保部门统计数据、地区统计年鉴。

（2）水环境净化指数分指标（B2）

水环境质量指数（B2-1）

含义：按照单因子评价法对断面每月监测值进行评价，以不达考核目标的监测次数与监测总次数之比（%）表征水环境质量指数。

计算方法：

$$B2-1 = \frac{\text{不达标次数}}{\text{监测总次数}} \times 100\% \quad (\text{式 4-15})$$

数据来源：生态环保部门监测数据。

集中式饮用水源地水质达标率（B2-2）

含义：评估区集中式饮用水源地的水质监测中，达到或优于《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水质标准的监测次数占全年监测总数的比例（%）。

计算方法：

$$B2 - 2 = \frac{\text{评估区监测断面达标次数之和}}{\text{评估区监测断面监测总次数}} \times 100\% \quad (\text{式 4-16})$$

数据来源：生态环保部门监测数据或者实地调查数据。

4.2.3 水生态专项指标（C）

水生态专项指标包含水生生境指数和水生生物指数2个分项指标，共涉及7个评估指标。

（1）水生生境指数分项指标（C1）

岸线植被覆盖度（C1-1）

含义：河流（流域面积>50km²）或湖库（水面面积>1 km²）的植被覆盖（>3m）岸线占总岸线的比例（%）。

计算方法：

$$\begin{cases} C1 - 1 = \frac{\text{植被覆盖岸线长度}}{\text{河流总长} \times 2} \times 100\% & (\text{河流}) \\ C1 - 1 = \frac{\text{植被覆盖岸线长度}}{\text{湖库岸线长度}} \times 100\% & (\text{湖库}) \end{cases} \quad (\text{式 4-17})$$

数据来源：遥感影像解译数据。

水域面积指数（C1-2）

含义：水域面积与评估区总面积之比（%）。

计算方法：

$$C1 - 2 = \frac{\text{水域面积}}{\text{评估区总面积}} \times 100\% \quad (\text{式 4-18})$$

数据来源：地区统计年鉴、水资源公报、土地利用数据。

河流连通性（C1-3）

含义：河流连通性不仅指地理空间上的连续也包括生态系统中生物学过程及其物理环境的连续，具体包括水文-水力学过程空间连通性、营养物质流和能量流空间连通性、生物群落结构空间连通性以及信息流空间连通性等方面。水利工程建设将河流拦腰斩断，改变了其连续性规律，从而破坏河流连通性；因此，闸坝及水电站越多，江河纵向连通性越差。河流连通性可由河流（流域面积>50km²）单位长度修建闸坝个数表征，闸坝越少河流纵向连通性越好。

计算方法：

$$C1 - 3 = 100 - 100 \times \frac{\text{闸坝个数}}{\text{河段长度 (km)}} \quad (\text{式 4-19})$$

公式中常数100的选取依据：调研表明，在流经农田及林地的河流上，修建拦河闸（坝）作用为防洪、灌溉、防涝等，布置间距从数十公里甚至上百公里不等；在流经城镇或周边的

河流上修建拦河闸（坝），既考虑防洪、供水等因素，又考虑水生态、水环境、水景观等因素，布置间距从十几公里甚至几公里不等。

数据来源：水利工程统计数据、水资源公报、遥感影像解译。

生态基流保障率（C1-4）

含义：生态基流是为保证水生态服务功能，用以维持或恢复河流生态系统基本结构与功能所需的最小流量。生态基流保障率指基准年月实际流量占最小生态基流百分比（%）。

计算方法：

$$C1-4 = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_m}{W_{Eb}} \times 100\% \quad (\text{式 4-20})$$

式中， Q_m 为基准年第 m 个月实际流量； W_{Eb} 为最小生态基流流量（ m^3 ）。 W_{Eb} 可利用 Tennant 法计算，该方法属于水文学算法的一种，以年平均流量的 10% 作为水生生物生长最低标准下限，年平均流量的 30% 作为水生生物的满意流量，即以多年平均流量的 10% 作为最小生态基流，该法适用于流量比较大且水文资料系列较长的河流。本方法中的多年平均流量要求为近 10 年的水文站资料平均值，计算公式为：

$$W_{Eb} = \text{近 10 年年均流量} \times 10\% \quad (\text{式 4-21})$$

数据来源：数据取自评估区河段内各监测站点数据。

（2）水生生物指数分项指标（C2）

鱼类完整性指数（C2-1）

含义：综合反映评估区鱼类群落的物种组成、多样性和功能等的稳定能力，由物种数、耐污类群相对丰度以及 Berger-Parker 指数（BP 指数）计算而来。物种数即每个监测样点所鉴定出来的全部物种数，能反映群落中的丰度程度。耐污类群相对丰度即群落中耐污能力（专家经验判断）较高的分类单元个体数占总个体数的比例，能反映群落中的受干扰程度，数值越大表明水质受到污染越严重。BP 指数即生态优势度指数，反映了各物种种群数量的变化情况，生态优势度指数越大，说明群落内物种数量分布越不均匀，优势种的地位越突出。

BP 指数计算如下：

$$d = \frac{N_{max}}{N_T} \quad (\text{式 4-22})$$

式中：d 为优势指数， N_{max} 为优势种的种群数量 N_T 为全部种的种群数量总和。

$$C2-1 = \frac{\text{物种数BI值} + \text{耐污类群相对丰度BI值} + \text{BP指数BI值}}{3} \quad (\text{式 4-23})$$

式中，物种数属于随干扰增强而下降的指标，耐污类群相对丰度和 BP 指数属于随干扰增强而上升的指标。对于下降类型指标计算公式如下：

$$\text{下降类型指标BI值} = \frac{\text{样点观测值} - \text{样点观测值的5\%分位数}}{\text{样点观测值的95\%分位数} - \text{样点观测值的5\%分位数}} \times 100 \quad (\text{式 4-24})$$

式中，下降类型指标 BI 值在 0~100 范围之间，>100 时下降类型指标 BI 值视为 100 处理，<0 时下降类型指标 BI 值视为 0 处理。

对于上升类型指标计算公式如下：

$$\text{上升类型指标BI值} = \frac{\text{样点观测值的95\%分位数} - \text{样点观测值}}{\text{样点观测值的95\%分位数} - \text{样点观测值的5\%分位数}} \times 100 \quad (\text{式 4-25})$$

式中，上升类型指标 BI 值在 0~100 范围之间，>100 时上升类型指标 BI 值视为 100 处

理, <0 时上升类型指标 BI 值视为 0 处理。

数据来源: 水生态调查或监测数据。

藻类完整性指数 (C2-2)

含义: 综合反映一个地区藻类群落的物种组成、多样性和功能等的稳定能力, 由固着藻类密度、总分类单元数以及 BP 指数计算而来。固着藻类担负着物质循环和能量流动的重要任务, 其密度和水体污染之间存在较大的相关性联系。总分类单元数即每个监测样点所鉴定出来的全部物种数, 能反映群落中的丰度程度。BP 指数计算同鱼类完整性指数部分。

计算方法:

$$C2-2 = \frac{\text{固着藻类密度BI值} + \text{总分类单元数BI值} + \text{BP指数BI值}}{3} \quad (\text{式 4-26})$$

式中, 固着藻类密度和总分类单元数属于随干扰增强而下降的指标, BP 指数属于随干扰增强而上升的指标。其中, 上升和下降类型指标的计算方法参照式 4-24 和式 4-25。

数据来源: 水生态调查或监测数据。

大型底栖动物完整性指数 (C2-3)

含义: 综合反映一个地区大型底栖动物群落的物种组成、多样性和功能等的稳定能力, 由总分类单元数、Biological Monitoring Working Party (BMWP) 指数以及 BP 指数计算而来。总分类单元数即每个监测样点所鉴定出来的全部物种数, 能反映群落中的丰度程度。BMWP 指数是基于科级分类单元上各物种出现与否, 考虑出现物种的敏感值, 以所有出现物种敏感值之和代表环境的情况。BP 指数计算同鱼类完整性指数部分。

计算方法:

$$C2-3 = \frac{\text{总分类单元数BI值} + \text{BMWP指数BI值} + \text{BP指数BI值}}{3} \quad (\text{式 4-27})$$

式中, 总分类单元数和 BMWP 指数属于随干扰增强而下降的指标, BP 指数属于随干扰增强而上升的指标。其中, 上升和下降类型指标的计算方法参照式 4-24 和式 4-25。

BMWP 指数计算公式如下:

$$BMWP = \sum t_i \quad (\text{式 4-28})$$

式中: t_i 是样点中出现物种 i 的科一级敏感值, 该指标根据大型底栖动物耐污特性的差异, 从最不敏感至最敏感依次给予 1~10 的分值, 对样点中所出现物种的科级敏感值求和即为该样点 BMWP 得分。

数据来源: 水生态调查或监测数据。

5 评估方法

水生态承载力评估采用指标综合评价法, 通过指标赋分和逐级加权对水生态承载状态开展评估。主要包括评估指标赋分、加权综合评估与等级判别 3 个步骤。

5.1 评估指标赋分

根据评估指标实际数值和附录 A 中赋分标准, 运用公式计算得到评估指标的分值。评估指标赋分值均在 0~100 范围之内。

评估指标类型分为 3 种, 其赋分方法如下:

- (1) 对于评价值是固定值的指标, 赋值时直接取该级别的中值:

$$P_k = \frac{V_{kl} + V_{kh}}{2} \quad (\text{式 5-1})$$

(2) 对于越大越好型指标, 赋值时考虑:

① 分段指标:

$$P_k = V_{kl} + \frac{V_{kh} - V_{kl}}{I_{kh} - I_{kl}} \times (I_k - I_{kl}), \quad I_k \in (I_{kl}, I_{kh}] \quad (\text{式 5-2})$$

② 无上限指标:

$$P_k = 80 + \frac{I_k - I_{kl}}{I_{kl}} \times 10, \quad I_k \in (I_{kl}, +\infty) \quad (\text{式 5-3})$$

当 $P_k > 100$ 时, 取 100 作为 P_k 值。

(3) 对于越小越好型指标, 赋值时考虑:

① 分段指标:

$$P_k = V_{kl} + \frac{V_{kh} - V_{kl}}{I_{kh} - I_{kl}} \times (I_{kh} - I_k), \quad I_k \in (I_{kl}, I_{kh}] \quad (\text{式 5-4})$$

② 无下限指标:

$$P_k = 20 - \frac{I_k - I_{kl}}{I_{kl}} \times 10, \quad I_k \in (I_{kl}, +\infty) \quad (\text{式 5-5})$$

当 $P_k < 0$ 时, 取 0 作为 P_k 值。

上述式中, P_k 代表评估指标 k 的分值; V_{kl} 为评估指标 k 所在类别标准下限分值; V_{kh} 为评估指标 k 所在类别标准上限分值; I_k 为评估指标 k 原始数据, I_{kl} 为原始数据 I_k 所在分级的下限; I_{kh} 为原始数据 I_k 所在分级的上限。

5.2 指标加权计算

指标加权计算采用“自下而上”加权方式, 从评估指标向分项指标和专项指标逐级开展加权评估。计算方法步骤如下:

根据单个评估指标赋分值, 使用加权求和法分别计算得到相应各分项指标值。计算公式为:

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^n w_{ijk} \times P_{ijk} \quad (\text{式 5-6})$$

式中, F_{ij} 为第 i 个专项指标的第 j 个分项指标的分值; w_{ijk} 为第 i 个专项指标的第 j 个分项指标中第 k 个评估指标的权重; P_{ijk} 为第 i 个专项指标的第 j 个分项指标中第 k 个评估指标的分值; n 为第 j 个分项指标中评估指标的个数。

根据各分项指标分值计算结果, 进一步使用加权求和法计算准则层各专项指标的分值。计算公式为:

$$Z_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} \times F_{ij} \quad (\text{式 5-7})$$

式中, Z_i 为第 i 个专项指标的分值; w_{ij} 为第 i 个专项指标的第 j 个分项指标的权重; m 为第

i 个专项指标下涉及分项指标个数。

5.3 水生态承载力综合评估

根据各专项指标分值计算结果,进一步计算水生态承载力状态综合评分值。计算公式为:

$$HECC = \frac{\sum_{i=1}^4 Z_i}{3} \quad (\text{式 5-8})$$

式中, HECC为评估区水生态承载力状态综合评分值。

5.4 等级判别

依据表 5-1 水生态承载状态分类标准, 统筹兼顾水环境质量达标情况和 HECC 值判别评估区水生态承载状态 (如水环境质量指数小于 90% 则一票否决, 认为呈超载状态), 评判方法如下:

$$\text{水生态承载状态} = \begin{cases} \text{超载} & (\text{HECC} > 40 \text{ 且 } B2 - 1 < 90\%) \\ \text{按分类标准判别} & (\text{其他情况}) \end{cases} \quad (\text{式 5-9})$$

表5-1 水生态承载状态分类标准

HECC得分	[0, 20]	(20, 40]	(40, 60]	(60, 80]	(80, 100]
承载状态	严重超载	超载	临界超载	安全承载	最佳承载

依据式 5-9 和表 5-1 可将评估区水生态承载状态分为五级: 最佳承载、安全承载、临界承载、超载和严重超载。同样, 对评估指标体系中的 3 个专项指标和 6 个分项指标, 均可依据表 5-1 和相应得分判别各自承载状态等级。

依据各评估指标赋分值, 初步识别对评估区水生态承载状态产生不利影响的主要指标。识别标准为评估指标赋分值小于等于 40。

5.5 评估结果

水生态承载力评估结果以雷达图形式呈现, 雷达图常用于多指标的全面分析, 具有完整、清晰和直观的优点。承载力评估结果以分项的形式呈现, 分别为: HECC 综合、水资源、水环境以及水生态承载状态得分值 (如示图 5-1); 同时参照式 5-9 和表 5-1 判别承载状态如列表 5-2 所示。

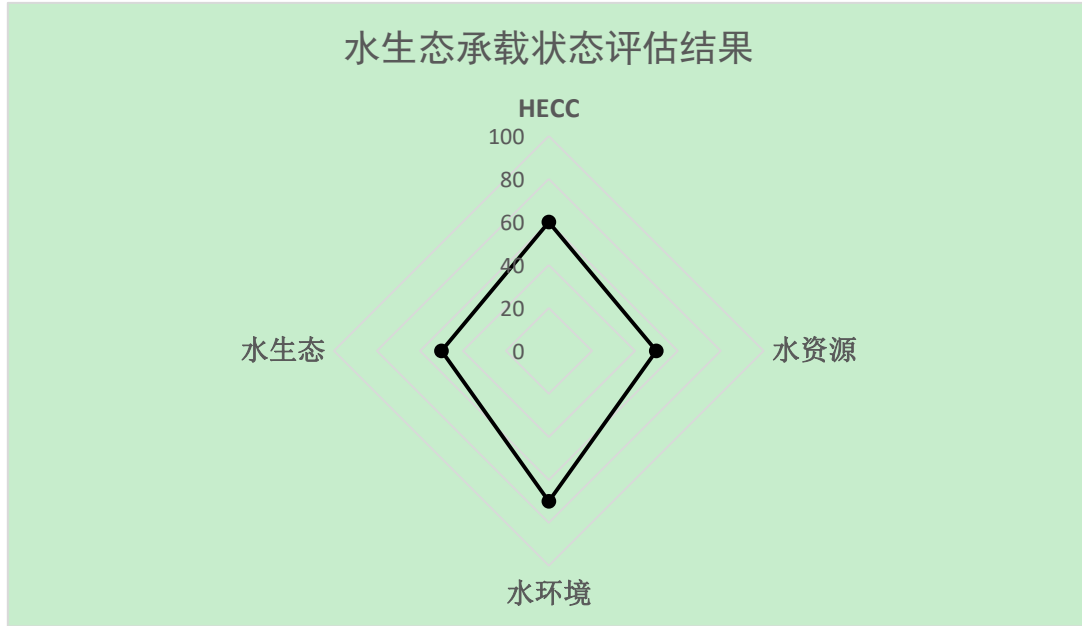


图 5-1 水生态承载力评估结果图示例

表5-2 水生态承载状态判别结果

项目	HECC综合	水资源	水环境	水生态
承载状态	临界超载	临界超载	安全承载	临界超载

进一步，依据水生态承载力评估指标赋分结果，识别评估区水生态承载力主要限制指标（如示图 5-2）。由如图 5-2 可知，影响评估区水生态承载力状态的主要指标包括万元 GDP 用水量、河流连通性和生态基流保障率 3 个（指标赋分值均小于 40）。

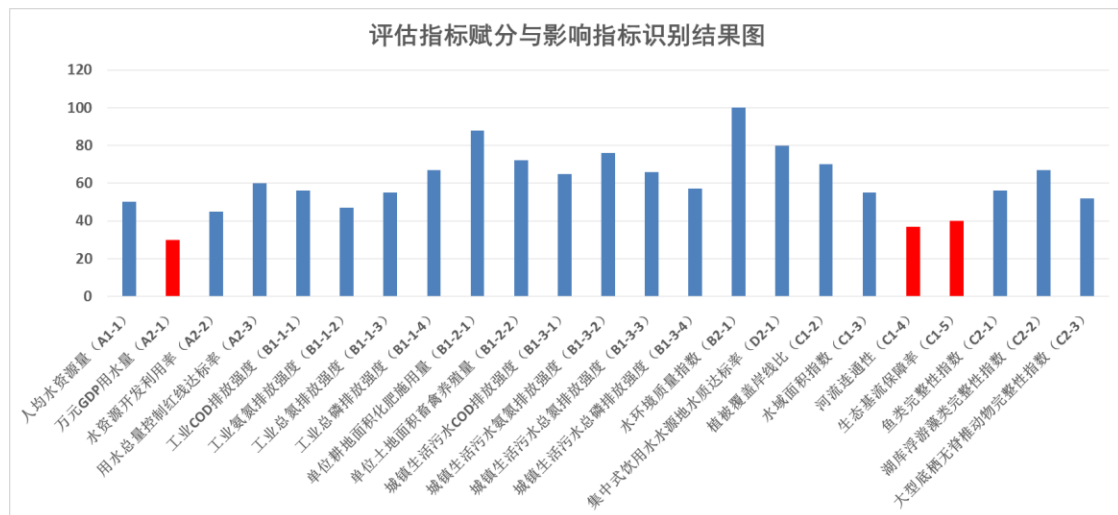


图 5-2 评估区水生态承载力评估指标赋分与主要影响指标识别结果图示例

附录 A 评估指标等级、赋分标准与参考依据

1 水资源

1.1 评估指标等级与赋分标准

附表A-1 水资源评估指标等级与赋分标准

评估指标	单位	指标等级与赋分				
		一级	二级	三级	四级	五级
		80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
人均水资源量	m ³ /人	>3000	2000~3000	2000~1000	1000~500	<500
万元 GDP 用水量	m ³ /万元	<20	20~80	80~140	140~200	>200
水资源开发利用率	%	<10	10~20	20~30	30~40	≥40
用水总量控制红线达标率	%	>90	80~90	70~80	50~70	<50

1.2 评估指标等级划分的参考依据

- 1) 人均水资源量：国际公认标准。
- 2) 万元GDP用水量：专家咨询
- 3) 水资源开发利用率：《流域生态健康评估技术指南》，环境保护部自然生态保护司，2013年3月。
- 4) 用水总量控制红线达标率：张盛，王铁宇，张红，等. 多元驱动下水生态承载力评价方法与应用——以京津冀地区为例[J]. 生态学报. 2017(12): 4159-4168

2 水环境

2.1 评估指标等级与赋分标准

附表A-2 水环境评估指标等级与赋分标准

评估指标	单位	指标等级与赋分				
		一级	二级	三级	四级	五级
		80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
工业 COD 排放强度	kg/ 万元	≤1	2~1	3~2	4~3	≥4
工业氨氮排放强度	kg/ 万元	<0.1	0.2~0.1	0.3~0.2	0.4~0.3	>0.4
工业总氮排放强度	kg/ 万元	<0.15	0.15~0.3	0.45~0.3	0.45~0.6	>0.6
工业总磷排放强度	kg/ 万元	<0.05	0.1~0.05	0.15~0.1	0.2~0.15	>0.2
单位耕地面积化肥施用量	kg/hm ²	<400	400~500	500~600	600~700	>700 (1000)
单位土地面积畜禽养殖量	头/ km ²	<200	200~250	250~300	300~350	>350 (500)

城镇生活污水 COD 排放强度	kg/ 万元	≤1.5	3~1.5	4.5~3	6~4.5	≥6
城镇生活污水氨氮排放强度	kg/ 万元	≤0.2	0.3~0.2	0.4~0.3	0.5~0.6	≥0.6
城镇生活污水总氮排放强度	kg/ 万元	≤0.25	0.5~0.25	0.75~0.5	1~0.75	≥1
城镇生活污水总磷排放强度	kg/ 万元	≤0.05	0.15~0.05	0.25~0.15	0.35~0.25	≥0.35
水环境质量指数	%	100	95~100	90~95	85~90	<85
集中式饮用水源地水质达标率	%	100	95~100	90~95	85~90	<85

注：括号内数值表示当指标大于或等于括号内数值时赋分为 0

2.2 评估指标等级划分的参考依据

- 1) 单位工业产值COD排放量：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 2) 单位工业产值氨氮排放量：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 3) 单位工业产值总氮排放量：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 4) 单位工业产值总磷排放量：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 5) 单位耕地面积化肥施用量：《湖泊生态安全调查与评估技术指南》，良好湖泊生态环境保护专项，环境保护部污染防治司，2012年4月。
- 6) 单位土地面积畜禽养殖量：《湖泊生态安全调查与评估技术指南》，良好湖泊生态环境保护专项，环境保护部污染防治司，2012年4月。
- 7) 城镇生活污水COD排放强度：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 8) 城镇生活污水氨氮排放强度：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 9) 城镇生活污水总氮排放强度：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。
- 10) 城镇生活污水总磷排放强度：中华人民共和国国家标准《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。

11) 水环境质量指数：专家咨询。

12) 集中式饮用水源地水质达标率：《地表水环境质量标准》GB3838-2002。

3 水生态

3.1 评估指标等级与赋分标准

附表 C-3 水生态评估指标等级与赋分标准

指标	单位	指标等级与赋分				
		一级	二级	三级	四级	五级
		80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
岸线植被覆盖度	%	>80	60~80	40~60	20~40	<20
水域面积指数	%	>0.5	0.4~0.3	0.3~0.2	0.2~0.1	<0.1
河流连通性指数	-	>100	90~80	80~70	70~60	≤60
生态基流保障率	%	100	90~100	80~90	70~80	<70
鱼类完整性指数	-	以各生物类群完整性指标数值的 95%分位数作为一级和二级间的临界值，以 5%分位数作为四级和五级间的临界值；将 95%分位数和 5%分位数之间范围进行三等分，以确定其他相邻级别间的临界值。				
浮游藻类完整性指数	-					
大型底栖无脊椎动物完整性指数	-					
鱼	-	>79	79~56	56~33	33~23	<23
藻	-	>78	78-59	59-40	40-21	<21
底栖	-	>74	74-51	51-28	28-5	<5

3.2 评估指标等级划分的参考依据

1) 年生态基流满足率：郭维东，王丽，高宇等. 辽河中下游水文生态完整性模糊综合评价. 长江科学院院报, 2013, 30(5): 13-16.

2) 河流连通性指数：熊文，黄思平，杨轩. 河流生态系统健康评价关键指标研究. 人民长江, 2010, 41(12):7-12.

3) 岸线植被覆盖度：①王惠，齐实. 山西沁河源头河岸植被带建设、评价及设计. 北京林业大学学位论文，2008. ②杜洋，徐慧. 基于生态系统服务功能需求的城市河流健康评价. 中国环境与生态水力学, 2008. 416-422.

4) 水域面积指数：专家咨询。

5) 藻类完整性指数：《流域生态健康评估技术指南》，环境保护部自然生态保护司，2013年3月。

6) 大型底栖动物完整性指数：《流域生态健康评估技术指南》，环境保护部自然生态保护司，2013年3月。

7) 鱼类完整性指数：《流域生态健康评估技术指南》，环境保护部自然生态保护司，2013年3月。