

《绿色流域评估技术指南》

(征求意见稿)

编制说明

《绿色流域评估技术指南》编制组

二〇二六年六月

目 次

1 工作简况	1
1.1 任务来源	1
1.2 协作单位	1
1.3.1 成立标准制订编制组	1
1.3.2 查询国内外相关标准和文献资料、编制大纲及草案	1
1.3.3 编制开题论证报告及标准草案	2
1.3.4 召开立项评审会	2
1.3.5 召开专家组讨论会	2
1.3.6 召开草案稿技术审查会	3
2 标准制定必要性、编制依据、编制原则	4
2.1 制定必要性和重要意义	4
2.2 编制依据	4
2.2.1 政策法律依据	4
2.2.2 技术依据	4
3 国内外相关标准研究	5
4 类似评估标准体系现状调研	6
4.1 综合性生态文明与绿色发展评估体系	6
4.2 流域规划、建设与治理相关技术体系	6
4.3 河湖健康与水生态相关评价体系	7
5 主要技术内容及说明	8
5.1 评估流程	8
5.2 流域分区分类	8
5.3 评估指标体系	9
5.4 评估分级	13
5.5 绿色流域评估报告编制	13
6 标准实施的环境效益与经济技术分析	13
7 标准实施建议	13
8 流域评估案例	13
8.1 长江流域差异化分区分类	13
8.2 丹江口水库及汉江中下游流域评估结果	19
8.2 赣江流域评估结果	22

《绿色流域评估技术指南》编制说明

1 工作简况

1.1 任务来源

本任务来源于国家重点研发计划“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”专项中的项目“绿色流域构建指标体系与评价方法”。为深入推动长江大保护和黄河流域生态保护和高质量发展，通过理论基础研究、关键技术与装备研发、流域管理创新、典型区域和小流域集成示范来支撑长江、黄河等重点流域水安全保障与治理能力的实质性提升，形成流域水系统治理范式，并进行推广应用，国家科技部发布了“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”重点专项 2023 年度项目申报指南。

1.2 协作单位

本标准编写主要由本文件起草单位：北京林业大学、长江水利委员会长江科学院、北京师范大学、中国科学院生态环境研究中心、中国环境科学研究院、中国水利水电科学研究院、郑州大学、中国长江三峡集团有限公司、生态环境部长江流域生态环境监督管理局生态环境监测与科学研究中心、长江水资源保护科学研究所。

1.3 主要工作过程

1.3.1 成立标准制订编制组

2023 年 11 月项目立项之后，项目承担单位北京林业大学即成立标准制订编制组（以下简称编制组）。编制组初步拟定了标准制订的原则、工作目标、工作内容和路线，讨论了在标准过程中可能遇到的问题、标准定位及侧重点，并根据标准编制任务，制定了详细的标准编制计划与任务分工。

1.3.2 查询国内外相关标准和文献资料、编制大纲及草案

2023 年 11 月~2024 年 1 月，编制组根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(国环规科技〔2017〕1 号)等相关规定，检索、查询和收集国内外相关标准和文献资料，对现有关于流域评估体系的研究进展以及存在的问题进行了调研，在整理借鉴的基础上进行归纳和总结，对方法中涉及的评估指标以及评估方法等主要内容的确定和选择进行了初步的探讨和总结，确定了评估技术指南的技术路线。

1.3.3 编制开题论证报告及标准草案

2023年12月~2024年1月，编制组根据拟定的技术路线，开展了典型流域评估流程、评估方法和评估指标等相关论证，并在此基础上编写了开题论证报告及标准草案。

1.3.4 召开立项评审会

2024年1月24日，中华环保联合会组织召开了本标准立项评审会。专家委员会听取了编制汇报，经质询和讨论，通过了本项目的立项审查，并提出以下主要修改意见：

- (1) 适用范围中“其他流域可参考实施”可删除。
 - (2) 术语和定义中“流域”不用定义。
 - (3) 不建议最后划分等级，易引起争议且难度较大。
 - (4) 评估原则部分要加上相关性分析、评估方法的准确性等内容。
 - (5) 技术流程部分加上流程图。
 - (6) 指标分成“必选”指标和“可选”指标。
 - (7) 加上规定计算的章节或体现在其他章节里；
- 会后，编制组根据意见进一步对标准草案进行了修改。

1.3.5 召开专家组讨论会

2024年9月21日，北京林业大学组织召开了专家组讨论会。专家委员会听取了标准编制汇报，经讨论，提出了以下主要修改意见：

- (1) 需要考虑一个标准的假定使用对象；
- (2) 标准要能给出最终的结果，能用于最终的绿色流域的特定的评定方法；
- (3) 标准中的方法要能推广到广泛的区域；

会后，编制组根据专家修改意见对标准初稿进行了进一步修改和完善。

2025年5月19日，北京林业大学组织召开了专家组讨论会。专家委员会听取了标准编制汇报，经讨论，提出了以下主要修改意见：

- (1) 标准应考虑数据的代表性，比如是否能对全国流域适用；
- (2) 指标体系中关于经济的部分较少；
- (3) 建议增加受人类活动强度影响的指标；
- (4) 要突出本标准的特色，与其他涉及评价方法和权重的标准区分开；
- (5) 正文应简洁，较复杂的表格应放到附录中，详细的说明文字放到编制说明中；
- (6) 评估流程后应为调查方案，包括指标分级分类以及每类指标的获取方式；

(7) 建议增加一节解释评价方法；

(8) 准则层也应计算出权重；

会后，编制组根据专家修改意见对标准草案进行了进一步修改和完善。

2026年1月11日，北京林业大学组织召开了专家组讨论会。专家委员会听取了标准中指标体系的构建过程和结果，经讨论，提出了以下主要修改意见：

(1) 两套指标体系需要突出异质性并明确各指标体系的目的；

(2) 应确定指标体系和方法适用的流域范围；

(3) 建议直接用部委的官方文件中已经有的评价整体单元作为一个部分，没有的指标再进行补充，用已有的指标体系更科学；打散之后再重组的指标体系不一定成体系，可行性和可达性不一定好；

(4) 指标体系应体现可操作性、可复制性；

(5) 底层指标需要再修改，能体现进步的指标需要增加，有些指标是包含关系，应做到指标的独立性；

会后，编制组根据专家修改意见对标准草案进行了进一步修改和完善。

1.3.6 召开草案稿技术审查会

2026年6月18日，中华环保联合会组织召开了本标准草案稿技术审查会。专家委员会听取了编制汇报，经质询和讨论，提出以下主要修改意见：

(1) 用语修改，使用叙述性语言。

(2) 复核规范性引用文件和参考文献。

(3) 减少术语和定义至3-5个。

(4) “评估流程”一节的结构和流程图优化。

(5) “流域分区分类”一节的结构和流程图优化。

(6) “评价指标体系”一节的内容精简。

(7) “评估分级”一节确定绿色指数计算方法，流域分级优化。

会后，编制组根据意见进一步对标准草案进行了修改，形成了征求意见稿，报送中华环保联合会秘书处发布公开征求意见。

2 标准制定必要性、编制依据、编制原则

2.1 制定必要性和重要意义

2023年7月，习近平总书记在全国生态环境保护大会上指出，我国经济社会发展已转向加快绿色化、低碳化的高质量发展阶段，但生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期。

近年来，我国“生态优先，绿色发展”理念的大力推行和“双碳”目标的提出，正推动流域治理保护向水资源保障提升、减污降碳、水质改善和生态健康等方向发生全面绿色转型。此外，随着生态文明建设内涵的丰富，流域绿色转型所涉及的标准类型更多、目标要求更高。然而，目前国内对绿色流域如何评估的认知不够深入，相关技术体系尚未建立。为此，本标准将瞄准国际科技前沿，以支撑国内行业部门管理为导向，开展科学研究，确立绿色流域的评估指标和方法体系，以促进流域高质量发展和美丽中国建设。

绿色流域构建是推动我国社会经济高质量发展和生态文明建设的重要前提和基本保障，确立绿色流域的评估指标和方法体系可以填补我国绿色流域评估技术体系的短板，引领国际绿色流域构建与评估领域，为开展分区分类绿色流域构建、长江流域水生态考核试点和美丽中国建设评估、绿色流域差异化评估提供技术支撑，为推进我国绿色流域建设提供评估方法。

2.2 编制依据

2.2.1 政策法律依据

- 《中华人民共和国环境保护法》
- 《中华人民共和国水污染防治法》
- 《中华人民共和国水法》
- 《中华人民共和国长江保护法》
- 《中华人民共和国黄河保护法》

2.2.2 技术依据

- | | |
|-----------------|----------------|
| GB 18918 | 城镇污水处理厂污染物排放标准 |
| GB 31962 | 污水排入城镇下水道水质标准 |
| GB 3838 | 地表水环境质量标准 |
| GB/T 43467 | 水生态健康评价技术指南 |
| GB/T 44056-2024 | 美丽中国建设评估技术指南 |

GB/T 46336.1-2025	幸福河湖评价导则 第1部分：流域面积3000 km ² 以下（含）河流
HJ 166	土壤环境监测技术规范
HJ 192	生态环境状况评价技术规范
HJ 1173	全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估
HJ 1218-2021	规划环境影响评价技术导则 流域综合规划
SL 219	水环境监测规范
SL/T 534-2023	生态清洁小流域建设技术规范
SL/T 793-2025	河湖健康评价规范

中共中央办公厅 国务院办公厅 2025 关于全面推进江河保护治理的意见

2.3 编制原则

1) 规范性原则

本标准按照 GB/T 1.1-2020 有关规定，确定标准的结构和内在关系，标准条文层次的划分符合 GB/T 1.1 的规定。

2) 统一性原则

本标准的编写和表达方式在三个方面实现统一：一是标准结构的统一，即标准中的章、条、段、表、图和附录的排列顺序与 GB/T 1.1 的要求统一；二是文体的统一，即类似的条款由类似的措辞来表达，相同的条款由相同的措辞来表达；三是术语的统一，即同一个概念使用同一个术语，每一个术语尽可能只有唯一的含义。

3) 协调性原则

按照 GB/T 1.1-2020 有关规定，本标准的协调性主要体现在：针对一个标准化对象的规定集中在一个文件中；通用的内容规定在一个文件中，形成通用标准或通用部分；文件的起草遵守基础标准和领域内通用标准的规定，如有适用的国际文件尽可能采用；需要使用文件自身其他位置的内容或其他文件中的内容时，采取引用或提示的表述形式。

3 国内外相关标准研究

在水生态环境现状评价方法方面，国内外已形成一些评估指标体系及方法，如 GB/T 46336.1-2025《幸福河湖评价导则 第1部分流域面积 3000 km²以下（含）河流》、水利部发布的 SL/T 534-2023《生态清洁小流域建设技术规范》、SL/T 793-2025《河湖健康评价规范》、《河湖健康评价指南（试行）》和《幸福河湖建设成效评估工作方案（试行）》，生态环境部发布的《生态保护修复成效评估技术指南（试行）》《长江流域水生态考核指标评分细则（试

行)》，美国环境保护署发布的《健康流域识别与保护》和《快速生物评价协议》等。这些评价方法部分以小流域为对象，部分仍以河湖水体、特定生态系统为对象，尚未形成流域视域下系统的评价体系。针对我国生态文明建设和绿色发展的需求，上述标准缺乏视距之外的、具有“绿色”内涵的重要指标，包括：零污染、碳中和、生态完整和数字流域等，无法满足当前我国生态文明建设和绿色发展的客观需求。

4 类似评估标准体系现状调研

国内与绿色流域评估相关的标准主要包括综合性生态文明与绿色发展评估体系、流域规划、建设与治理相关技术体系、河湖健康与水生态相关评价体系等类型。这些标准为本指南的评估流程、指标选取、数据调查、结果分级和报告编制提供了重要参考，但在评估对象、指标覆盖和方法适用范围上与本标准仍有差异。

4.1 综合性生态文明与绿色发展评估体系

目前，国内已有部分标准从生态文明建设和绿色发展角度构建综合评价体系。其中，GB/T 44056-2024《美丽中国建设评估技术指南》以国家级、省级和地级行政区域为适用对象，从降碳、减污、扩绿、增长四个方面构建美丽中国建设评估体系，内容包括评估目的与基本原则、评估工作流程、指标体系与分级方法、数据采集与评估方法、评估结果分析和成果输出等。该标准通过降碳指数、减污指数、扩绿指数、增长指数以及综合指数反映美丽中国建设进展，并对指标标准化、指数计算、分级评价、公众满意度调查和评估报告编制提出了系统要求。但是，该标准主要以行政区域为评估单元，重点反映区域生态文明建设水平，未针对流域水系联系、上下游关系、流域分区、河湖生态过程以及行政区尺度数据向流域尺度折算等问题提出专门方法。因此，绿色流域评估需要在综合性绿色发展评价基础上，进一步突出流域单元、流域过程和流域治理需求。

4.2 流域规划、建设与治理相关技术体系

在流域规划、建设与治理相关技术体系方面，HJ 1218-2021《规划环境影响评价技术导则 流域综合规划》适用于流域综合规划环境影响评价，规定了流域综合规划环境影响评价的评价原则、工作程序、重点内容、主要方法和要求。该标准强调现状调查与评价、环境影响识别与评价指标体系构建、资源环境承载状况分析、生态风险评价、规划方案环境合理性论证和优化调整建议等内容，体现了流域规划与生态环境保护相衔接的技术要求。该标准对

本文件中流域现状调查等内容具有参考价值。

SL/T 534-2023《生态清洁小流域建设技术规范》适用于生态清洁小流域的建设与评价，主要内容包括基本规定、调查、建设布局、防治措施、管护及评价指标等。该标准提出宜以小流域为单元，结合自然资源与人文禀赋、土地利用、社会经济等条件，因地制宜、统筹规划、系统治理，在水土流失综合治理的基础上配置水利、农业农村、林草、乡村振兴等相关行业措施，推进生态、生产、生活协同发展。其技术内容覆盖水土保持调查、人居环境调查、旅游资源调查、绿色产业调查、污染源调查，以及预防保护区、综合治理区、生态修复区的措施布局。

总体来看，HJ 1218-2021 更侧重流域综合规划的环境影响评价，重点服务于规划方案环境合理性论证和优化调整；SL/T 534-2023 更侧重生态清洁小流域建设，主要服务于小流域水土保持、农村环境治理和生态修复工程布局。二者均体现了流域单元和系统治理理念，但尚未形成面向不同类型流域、兼顾水资源利用、水环境治理、水生态保护、低碳发展、绿色产业和数字化管理的综合评估体系。因此，本标准在上述标准基础上进一步拓展绿色流域内涵，形成适用于流域绿色状态评价和差异化管理的技术方法。

4.3 河湖健康与水生态相关评价体系

在河湖状态评价方面，水利部在 2020 年 6 月和 8 月分别发布了《河湖健康评估技术导则》（SL/T 793-2020）和《河湖健康评价指南（试行）》，主要从四个方面对河湖健康情况进行评估：河湖的水质水量、河湖形态结构的完整性、河湖生物完整性、河湖的社会服务功能。在此基础上，SL/T 793-2025《河湖健康评价规范》进一步规定了河湖健康评价的总体要求、河湖分类与评价指标体系、指标确定方法与赋分标准、河湖健康调查、河湖健康评价和报告编制等内容，将评价内容扩展到水域岸线、连通性、生态流量、水质状况、水生生物、公众满意度及防洪、供水等指标。

在健康河湖的基础上，全国各地也开始制定幸福河湖的实施方案并开展部署和实施，如安徽省、福建省、云南省、广东省、呼和浩特市、西藏自治区等的相关单位根据上述标准及各地方政府相关部门出台的地方规范和评价方法（如淮河流域水利委员会制定的《淮河流域幸福河湖建设成效评估指标体系（试行）》）对管辖区内河湖开展了评价，为我国幸福河湖评定和河湖健康评估等具体工作提供了实践经验。针对河湖健康评价结果为二类河湖（健康）及以上等级的实施了幸福河湖建设的河湖，2023 年 8 月水利部发布了《幸福河湖建设成效评估工作方案（试行）》，其中指标涵盖安澜、生态、宜居、智慧、文化、发展、公众满意度七个

方面。GB/T 46336.1-2025《幸福河湖评价导则 第1部分：流域面积 3000 km²以下（含）河流》进一步面向流域面积 3000 km²以下且流经城镇的河流，构建了安澜、健康、美丽、文化、发展 5 个一级指标和 14 项二级指标组成的幸福河湖评价体系，并区分通用指标和差异化指标，规定了河湖幸福指数的取值规则、数据采集、评价结果形成规则和评价报告编制要求。该标准不仅关注防洪、排涝、用水总量和强度双控、生态流量、水土保持、水质和鱼类保有等自然与工程属性，也纳入居民亲水指数、河流文化载体、居民人均可支配收入、长效运行管护机制和公众满意度等社会文化与管理指标，体现了河湖保护治理从“健康”向“幸福”和“人水和谐”拓展的评价趋势。

在水生态相关评价方面，生态环保部在 2022 年 12 月发布了《生态保护修复成效评估技术指南（试行）》，其中提出了山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施的生态环境成效评估方法，并按照工程实施不同阶段（实施前、实施中、实施后、实施后长期成效）分别规定了评价指标和内容，也可对流域管理提供方法支撑。由于现有应用上述指南的实践案例的缺乏，其各评价指标及其阈值仍存在一定的局限性，后期还需积累实践应用经验并根据实际工程需要调整指标及阈值。

此外，生态环境部、国家发展改革委、水利部和农业农村部于 2023 年 6 月联合印发了《长江流域水生态考核指标评分细则（试行）》，以将长江流域 17 省（自治区、直辖市）具有重要生态功能或社会关注度高的长江干流、主要支流、重点湖泊和水库等 50 个水体为评价对象，考核其水生态系统健康、水生境保护、水环境保护和水资源保障等 4 个一级指标。再按照河流、湖泊和水库分类细分 6-11 个二级指标。该标准将于 2022-2024 年开展试点并确定考核基数，2025 年开展第一次考核。

5 主要技术内容及说明

5.1 评估流程

评估工作按照流域分区分类、评估计算与分级和评估报告编制这一流程开展。

5.2 流域分区分类

根据评估对象流域的功能性、系统性和完整性的差异性，将其划分为若干区域进行差异化评估。该分区方法突破了传统方法中分区依据单一的情况，形成了融合流域管控功能性、山水林田湖草系统性及生态完整性的流域分区分类方法，能够多角度、多维度展示不同流域的单类特征及多类特征异同的空间聚集情况，为差异化的流域合理评估提供理论支撑。分区

依据和分区步骤按照正文 5.1 和 5.2 条进行。

5.3 评估指标体系

本标准提出绿色流域评估指标体系，注重绿色流域构建的四大目标：节水减污、优能降碳、宜境扩绿和数智赋能增长，旨在对需要规划建设绿色流域的流域进行构建指导。所构建的指标体系全面覆盖流域生态系统的关键要素和环节，综合分析考量流域的自然禀赋与社会经济活动，体现“山水林田湖草”生命共同体的整体性。指标体系包含一组反映绿色流域共性特征的共性指标，同时提供一组针对不同流域特征和主要矛盾的个性指标，以实现评估的普适性与针对性相统一。

正文 6.1 条规定了评估指标体系，包括共性指标和个性指标。其中，共性指标是基于大量文献的 Meta 分析和实证研究筛选出的、与流域绿色水平具有稳定强相关性的核心指标，对各类型流域具有普遍适用性和关键表征意义，具体指标见正文 6.1.2 条和表 1。个性指标则是用于体现不同流域在地形地貌、气候水文、社会经济和主导生态环境问题等方面的差异性。应依据待评估流域的自然地理特征（如地貌类型、气候区、河流特征等）、社会经济特征（如发展阶段、主导产业、人口密度等）、主要生态环境问题（如水土流失、水体富营养化、干旱缺水、生物多样性下降等）和发展瓶颈等特征并结合专家咨询结果来选取。个性指标的选取步骤见正文 6.1.3 条。

正文 6.2 条，目标层中各指标的权重可采用层次分析法（AHP）计算主观权重，指标层中各指标的权重可采用 AHP 和熵权法相结合的主观-客观组合赋权法计算组合权重。其中主观权重依赖专家对指标重要性的主观逻辑判断，主观性较强。客观权重根据指标信息熵值判断各指标的离散程度，信息熵值越小，离散程度越大，则指标权重越大，其客观性较强。组合权重可兼顾专家经验和决策者的主观性与数据的客观性，减少单一赋权方法对计算结果产生的影响，进一步提高赋权的准确性和可信度。指标权重的具体计算步骤如下。

5.3.1 计算指标层指标权重

a) 专家咨询

邀请领域内专家对各评估指标的重要程度采用 Satty1-9 标度法进行两两比较打分，标度取值说明见表 1。当 A 指标与 B 指标比较时，若被赋予以上某个分值，则 B 指标与 A 指标比较时的分值就是上述分值的倒数。

表 1 标度取值说明

标度	标度含义
----	------

1	对比两指标元素，两指标具有相同重要程度
3	对比两指标元素，前一指标稍微重要于后一指标
5	对比两指标元素，前一指标明显重要于后一指标
7	对比两指标元素，前一指标比后一指标强烈重要
9	对比两指标元素，前一指标比后一指标绝对重要
2, 4, 6, 8	对比两指标元素，重要性介于上述两标度之间

b) 构建判断矩阵

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中：

a_{ij} ——第 i 个指标与第 j 个指标相比的重要程度。

c) 计算特征向量

根据专家填写的各判断矩阵，按照公式 (2)、(3) 进行特征向量 W 的计算。

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{M_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{M_i}} \quad (2)$$

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_i)^T \quad (3)$$

式中：

M_i ——该判断矩阵每一行元素的乘积。

d) 计算最大特征根

对于每一个判断矩阵，按照公式 (4) 计算最大特征根 λ 。

$$\lambda = \frac{AW}{W_i} \quad (4)$$

式中：

A ——该判断矩阵。

e) 一致性检验

对于每一个判断矩阵，计算单排序权向量并做一致性检验，按照公式 (5) 计算一致性指标。

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

式中：

CI ——一致性指标；

λ ——最大特征根；

n ——唯一非零特征根。

按照公式（6）计算一致性比率。最终计算出如果 $CR < 0.1$ ，认为判断矩阵通过一致性检验。若检验通过，特征向量归一化后即为主观权重 α_j 。若不通过，需要重新构造判断矩阵。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

式中：

CR——一致性比率；

RI——Saaty 的随机一致性指标，取值见表 2。

表 2 不同矩阵阶数（n）对应的 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

5.3.2 计算目标层或维度层指标权重

采用上述方法与公式（1）-（6）计算各目标层指标权重（ β_j ）。

5.3.3 计算各指标对最上层的相对总主观权重

按照公式在（7）计算各指标对最上层（绿色指数）的相对总权重（ δ_j ），即为该指标的主观权重。

$$\delta_j = \alpha_j \times \beta_j \quad (7)$$

5.3.4 指标客观权重确定

采用熵权法计算各评估指标的客观权重，具体步骤如下。

a) 原始数据矩阵进行标准化

设 m 个评估对象， n 个评估指标得到的原始数据矩阵为：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中：

x_{mn} ——第 n 个指标下第 m 个被评估对象的值。

b) 无量纲化处理

对于正向指标，即值越大越好的指标，按照公式（9）进行计算。

$$x_{ij} = \frac{x_j - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (9)$$

对于负向指标，即值越小越好的指标，按照公式（10）进行计算。

$$x_{ij} = \frac{x_{max} - x_j}{x_{max} - x_{min}} \quad (10)$$

式中：

x_{ij} ——第 i 个样本第 j 项评估指标的数值 ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$)；

x_j ——第 j 项指标值；

x_{max} ——第 j 项指标的最大值；

x_{min} ——第 j 项指标的最小值。

c) 得到指标特征比重

按照公式（11）计算第 j 项指标中在第 i 个样本中占该指标的比重，即该指标的变异大小。

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad 0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad (11)$$

式中：

p_{ij} ——评估指标的特征比重。

d) 得到指标熵值

建立数据的比重矩阵：

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

按照公式（13）计算第 j 项指标的熵值。

$$e_j = -k \sum_i^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad 0 \leq e_j \leq 1 \quad (13)$$

式中：

e_j ——第 j 个指标的熵值；

k ——待定常数， >0 ， $k = \frac{1}{\ln m}$ 。

e) 得到指标客观权重

按照公式（14）计算第 j 项指标的客观权重。

$$\gamma_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (14)$$

5.3.5 组合权重

采用将层次分析法和熵权法相结合的组合赋权方法，可以弥补单一赋权法带来的不足，按照公式（15）计算各指标层的指标的组合权重。

$$W_j = \frac{\delta_j}{\sum_{j=1}^n \delta_j \gamma_j} \quad (15)$$

式中：

W_j ——第 j 个指标的组合权重；

δ_j ——第 j 个指标的主观权重；

γ_j ——第 j 个指标的客观权重。

5.4 评估分级

正文 7.1 和 7.2 条分别规定了待评估流域绿色指数的计算方法和流域分级。

5.5 绿色流域评估报告编制

正文 8.1 和 8.2 条分别规定了绿色流域评估报告内容和附录资料。

6 标准实施的环境效益与经济技术分析

本标准的实施将有助于提高我国乃至全世界绿色流域建设的时效，减少实现流域可持续发展的社会总成本。还能够对我国绿色流域的构建成效进行科学、客观和准确的评估，有助于识别和量化我国重点流域的生态环境整体状况，对提高我国重点流域生态环境质量，推进我国绿色流域建设，实现生态保护、绿色可持续发展和环境健康提供有力支撑，有重要的经济和环境效益。

7 标准实施建议

本标准考虑到不同流域山水林田湖草地貌、功能和完整性等的各异性，提出了流域分区分类的方法，提供了共性和个性化指标库，可为差异化的绿色流域建设成效的合理评估提供技术依据。建议标准发布后，作为行业的一种推荐标准实施。

8 流域评估案例

8.1 长江流域差异化分区分类

8.1.1 长江流域三性特征

8.1.1.1 生态系统性特征

流域生态系统性指流域作为“山水林田湖草生命共同体”所体现出的整体性与关联性，

强调不同生态要素在空间上的共存状态及其构成完整生态系统的基本结构属性。因此，本研究以长江流域土地利用/覆盖数据为基础，将“山—水—林—田—湖—草”作为流域生态系统的基本要素，通过判定各子流域内不同用地类型的共存情况，识别生态要素是否齐全，从而表征流域生态系统性特征。在流域分区分类中，生态系统性被作为分区的基础准入条件，用以剔除生态要素缺失或结构高度单一的区域，确保每一个流域控制单元在空间上具备相对完整的生态系统构成。

如图 1 所示，长江流域山要素主要分布在流域中西部，占流域总面积的 3.33%，林、田、草均成片分布。其中，林占地面积最大，占流域总面积的 46.17%，分布在长江流域除西北部外的大部分区域；田聚集分布在流域中部和东部区域，占流域总面积的 28.7%；草主要分布在长江流域西北部，占流域总面积的 17.9%。水贯穿整个流域，以河湖形式为主，占流域总面积的 1.41%，沙主要分布在流域东北西北部，占流域总面积的 2.5%。

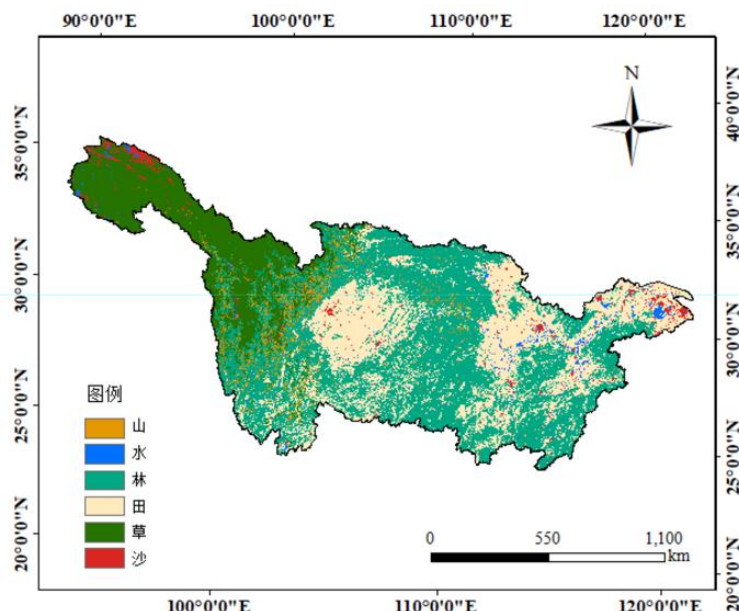


图 1 生态系统性（基于长江流域 2023 年土地利用/覆盖）

8.1.1.2 生态完整性特征

流域生态完整性侧重反映生态系统结构、过程与环境条件的连续性和稳定性，是维持流域生态系统正常运行的重要条件。相较于生态系统性关注“要素是否齐全”，生态完整性更强调生态过程是否顺畅、生态环境是否适宜。本研究从物理、生物和化学三个方面综合刻画流域生态完整性特征。以流域年径流量表征流域水文过程及水循环条件，反映其物理完整性；以植被覆盖度刻画生物生存环境，反映其生物完整性；以河流水质状况表征污染负荷及自净能力，反映其化学完整性。通过上述指标的综合判断，识别子流域是否具备维持基本生态过程和一般生物生存的环境条件。在分区过程中，只有在物理、生物和化学完整性均达到基本

要求的流域单元,才被认定为生态完整性达标区域,从而为后续生态功能发挥和可持续运行提供保障(图2)。

如图2所示,长江流域年径流量约142881毫米(分区统计计算的总和)。从空间上看,年径流量高值区主要分布在流域东部,高值达到145.734毫米/年。植被覆盖度在流域西北部低,整体小于0.5,其他区域植被覆盖度均较高,整个长江流域平均植被覆盖度约0.72。

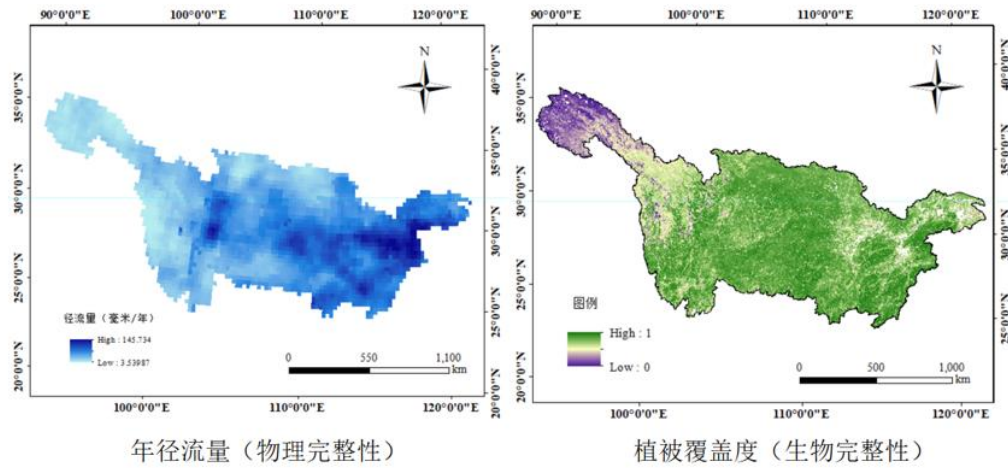


图2 生态完整性

8.1.1.3 生态功能性特征

流域生态功能性是指流域通过生态系统过程持续提供生态系统服务的能力,是流域生态价值的体现。本研究选取碳储量、水源涵养和土壤保持三项关键生态系统服务指标,综合反映流域在碳汇调节、水资源调蓄和水土保持方面的功能水平(图3)。为避免仅依据单项功能进行分区导致功能冲突或管理目标不一致的问题,进一步引入生态系统服务之间的权衡—协同关系,对不同功能之间的相互作用进行量化分析,要求分区内部生态功能协同效应占优,即协同作用强于权衡效应。在此基础上,生态功能性作为分区类型划分和分区命名的核心依据,用以确定各流域单元的主导生态功能属性,如固碳功能区、水源涵养区、水土保持区或多功能区。

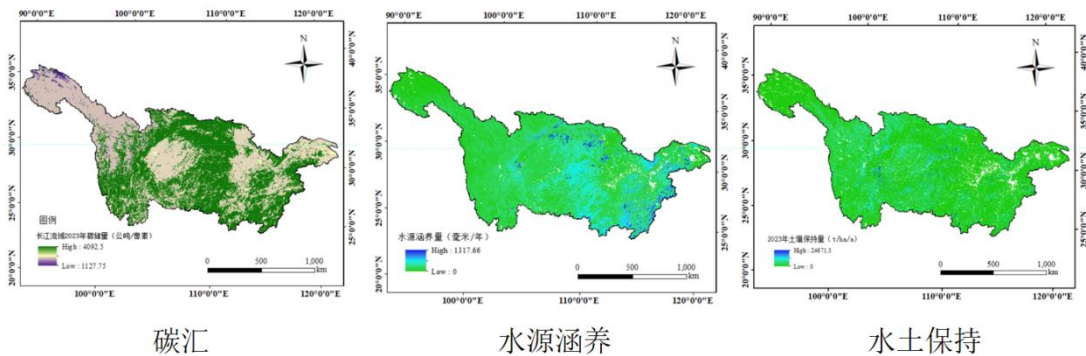


图 3 生态功能性

8.1.2 流域分区分类依据

本标准基于我国大江大河流域水系划分，同时参照行政区分布、地形地貌、国民经济发展、流域面积大小等因素，融合生态系统性、生态完整性、生态功能性，形成多性融合的流域分区分类，以精准识别各分类单元的流域功能特性及管理需求，助力解决流域生态系统碎片化及普适化管理问题。具体地，参照以下依据：

- a) 以我国大江大河一级流域集水区为最大分区面积，分区不超过这个面积；
- b) 参照行政区域的边界，以保持行政区域与流域分区的统分性、组合性与完整性，有助于地方政府在流域管理和保护方面发挥积极作用；
- c) 分析地形地貌条件对河流的流向、流速和流域面积等特征的影响，以确保流域分区的科学性和合理性；
- d) 划定的流域分区面积参照国土/生态宏观管控尺度，一般在一万平方公里以上，保证分区后各区域内部均一化、外部差异化；
- e) 每个分区中所有功能以协同关系为主，确保分区内功能服务的可持续性；
- f) 每个分区中包含山水林田湖草各个要素，保障分区后各分区对象中生态系统的要素完整性；
- g) 每个分区中至少涵盖该区域中主要生物所需的物理、化学条件，保证主要生物的生存环境。

基于以上七条，以 DEM（数字高程模型）创建的子流域为分区分类的基本单元，以分区面积为约束，以生态系统性、生态完整性、生态功能性为条件，考虑流域的网络拓扑关系，形成流域自动分区分类方法。

8.1.3 流域分区分类方法

流域分区分类的具体步骤见图 4，具体如下。

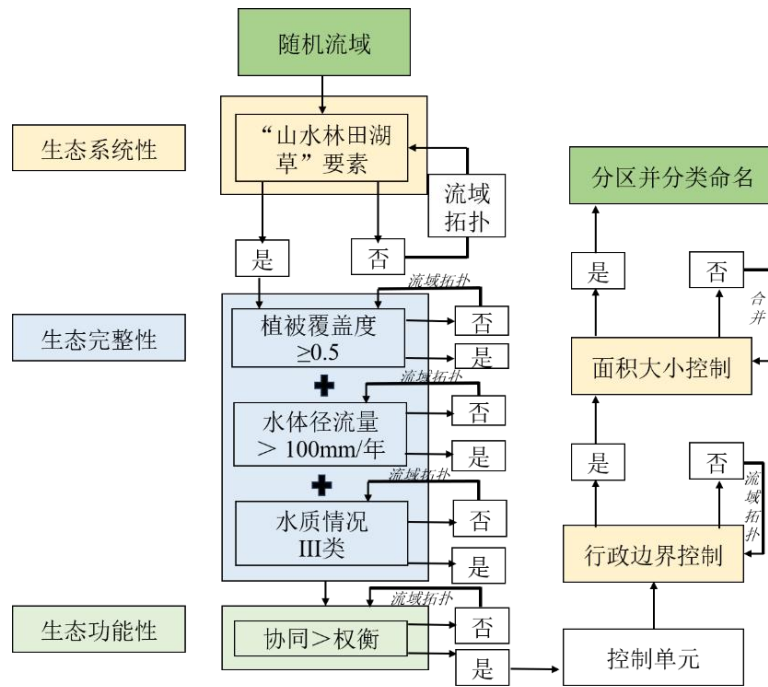


图 4 融合三性的分区分类流程图

a) 随机选取某一子流域作为起始算子，分析该子流域的山水林田湖草组分特征；若子流域中各要素均有，则进入步骤 b；否则加入邻近流域，继续判断此条件，直到满足；邻近流域的选择为起始算子流域的邻接流域，即存在公共边，且加入顺序以公共边由长到短进行；

b) 在步骤 a 得到的子流域中分析生态系统完整性特征，其中，物理完整性通过年水体径流量表征（本标准建议分区内年径流量 $>100\text{mm}$ ），生物完整性通过植被覆盖度表征（本标准建议分区内植被覆盖度 ≥ 0.5 ），化学完整性通过水质表征（本标准建议分区内水质在 III 类及以上），若满足这些，进入步骤 c，否则继续加入邻近流域，继续判断此条件，直到满足；

c) 在步骤 b 得到的子流域中分析生态系统功能的权衡协同关系占比；若协同关系占比大于权衡关系，则认为满足条件，否则加入邻近流域，继续判断此条件，直到满足；

d) 步骤 c 得到的子流域集合认为是一个分区；以步骤 c 判断后的邻近流域为起始算子，继续从步骤 a 开始判断，直到所有流域判断完毕；

e) 分区后的流域结果计算面积，若满足流域面积（一万平方公里以上，但小于我国大江大河一级流域集水区）的约束条件，则分区结束，否则对小面积分区流域进行聚合。

f) 对分区结果进行分类命名，命名规则为区位-地貌特征-生态功能/生态属性。

8.1.4 长江流域分区分类结果

根据以上自动分区分类方法，在 DEM 获得的 76 个小流域基础上，结合地貌类型和三

性特征，最终共获得 7 个分区，各区域在生态系统性和主导功能及地理位置上呈现出明显差异（图 5）。参考《全国主体功能区规划》、《长江流域国土空间规划》、《长江经济带发展规划纲要》、《长江经济带生态环境保护规划》、《全国生态功能区划》、《长江保护法》等政策文件，并针对各个分区特征进行分类命名。

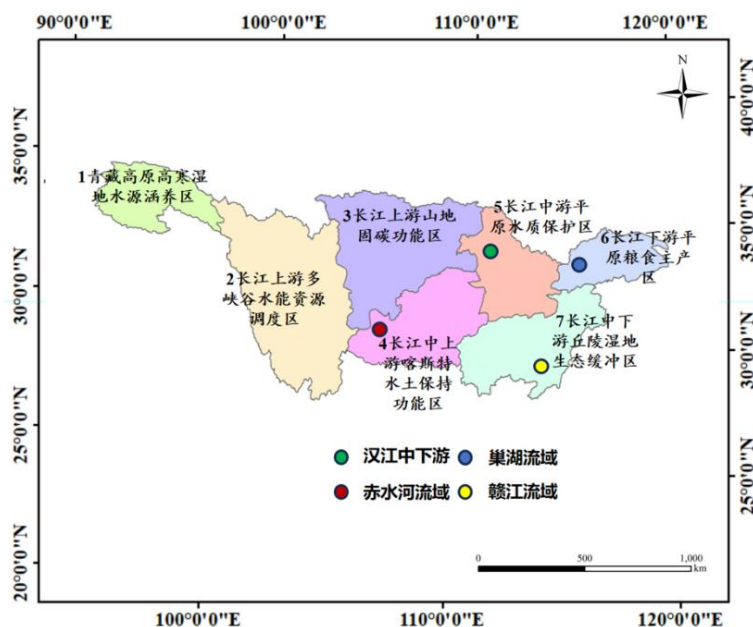


图 5 融合三性的长江流域分区分类结果

分区 1：青藏高原高寒湿地水源涵养区（166,945.2 km²，包含 5 个子流域）

该分区位于青藏高原腹地，覆盖海西蒙古族藏族自治州、玉树藏族自治州等地区，面积约 16.7 万平方公里。水体比例高，水源涵养功能强，在水文过程调节与上游水源输送中作用显著。

分区 2：长江上游多峡谷水能资源调度区（491,288.2 km²，包含 9 个子流域）

该分区位于长江上游，是面积最大的分区，覆盖甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州、雅安、成都、眉山、乐山、凉山彝族自治州、迪庆藏族自治州、攀枝花、昆明、丽江、昭通、曲靖、楚雄彝族自治州等地区，面积约 49.1 万平方公里。森林覆盖广且降水条件相对较好，其核心生态功能为水电供给与生态调节，由于上游地形陡峭、植被良好，该区对全流域的径流调节、防洪减灾和生态补水具有重要战略意义。

分区 3：长江上游山地固碳功能区（366,592.6 km²，包含 12 个子流域）

该分区位于上游，覆盖阿坝藏族羌族自治州、甘南藏族自治州、陇南、汉中、天水、宝鸡、安康、商洛、十堰、神农架林区、宜昌、重庆、达州、广安、泸州、宜宾、自贡、内江、资阳、遂宁、德阳、南充、巴中、广元、绵阳、三门峡等地区，面积约 36.7 万平方公里。

在高海拔林区，植被覆盖度高、干扰程度弱，碳储存功能占优，是整个长江固碳能力最强的空间单元，该区域在维持区域生态稳定性方面具有基础性作用。

分区 4：长江中上游喀斯特水土保持功能区（244,983 km²，包含 11 个子流域）

该分区位于中游丘陵与山地接合部，覆盖恩施土家族苗族自治州、张家界、常德、湘西土家族苗族自治州、铜仁、怀化、遵义、泸州、毕节、贵阳、黔东南苗族侗族自治州、邵阳、益阳、娄底等地区，面积约 24.5 万平方公里。在地形条件的影响下，该分区水土保持功能突出，丰富的林地增强了枯落物覆盖和根系固土作用。该区对减少中游到下游的泥沙输送具有关键生态意义，是区域水土流失防控的重点单元。

分区 5：长江中游平原水质保护区（187,771.9 km²，包含 10 个子流域）

该分区位于长江中游，覆盖南阳、襄阳、十堰、神农架林区、荆门、潜江、岳阳、咸宁、仙桃、天门、孝感、武汉、黄冈、鄂州、黄石、随州等地区，面积约 18.8 万平方公里。该分区植被生长状况一般、局部破碎化较明显，水体污染严重，其核心生态功能为洪水调蓄与水质保护，该区域是生态修复或生态质量提升的重点区域。

分区 6：长江下游平原粮食主产区（122,683.7 km²，包含 12 个子流域）

该分区位于长江中下游，覆盖安庆、芜湖、合肥、滁州、南京、镇江、南通、苏州、上海、嘉兴、宣城、池州、铜陵、马鞍山、无锡、常州、苏州、杭州等城市，面积约 12.3 万平方公里。耕地分布广泛，人类活动强度高，其核心生态功能为耕地河网生态调节与供给服务，该分区对水资源调度与农业可持续具有关键管理价值。

分区 7：长江中下游丘陵湿地生态缓冲区（257,342 km²，包含 17 个子流域）

该分区分布于流域中下游，覆盖长江中下游城市群，包括黄山、景德镇、上饶、鹰潭、南昌、九江、宜春、抚州、新余、吉安、赣州、株洲、萍乡、长沙、湘潭、衡阳、郴州、永州、桂林、邵阳、娄底等城市，总面积约 25.7 万平方公里。以连续林地为主要土地覆盖类型，其核心生态功能为湿地调节与城市支持服务，既承担上游来水的调蓄功能，又对下游生态安全具有缓冲意义，是区域生态服务的“协调区”和“过渡带”。

总体来看，分区结果反映了生态功能性、生态系统性等多种特征在上、中、下游的自然梯度差异与聚集特征。分区边界符合自然分水线与汇流结构，同时保持了主导功能判定的稳定性与协同性。分区结果为流域分区管理、生态修复优先级制定提供了科学依据。

8.2 丹江口水库及汉江中下游流域评估结果

从长江流域分区 5，即长江中游平原水质保护区中选取子流域丹江口水库及汉江中下游

开展评估。首先根据区域特性确定个性指标。丹江口水库作为南水北调中线水源地，该区域侧重调水水源地安全与水量保障，首要目标是水量调蓄（库容保有率、水体面积）与水质安全（湿地保留率）；同时，选取“恩格尔系数”与“人均综合用水量”，旨在评估调水外送压力下，库区社会经济发展与节水型社会建设的协调性。因此，选取库容保有率、水体面积、恩格尔系数、人均综合用水量和湿地保留率为个性指标，构建评估体系（图6）。

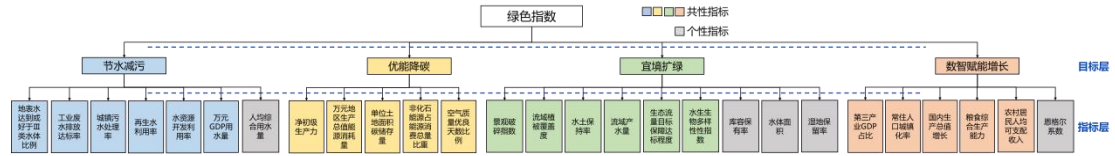


图 6 丹江口水库及汉江中下游评估指标体系

对 12 位来自于高校、企业和事业单位的专家开展了绿色流域构建指标体系目标层的问卷调查。专家们的研究方向涉及流域污染治理、环境管理、水工程生态效应和水处理等，主要研究流域包括长江、海河、黄河、辽河、雅鲁藏布江等。经计算，目标层四个指标的重要性遵循以下顺序：节水减污>宜境扩绿>数智赋能增长>优能降碳。具体权重见表 3。

表 3 目标层指标主观权重

指标	节水减污	优能降碳	宜境扩绿	数智赋能增长
权重	0.358	0.163	0.314	0.165

接下来针对丹江口水库及汉江中下游指标层各指标的重要性开展专家咨询并据此计算主观权重。各专家在该区域主要开展的研究工作包括流域环境评价、流域污染防治及溯源、水生态保护和生态系统服务评估等。基于 2010-2024 年数据对该区域开展客观和组合权重的计算，各指标具体主观权重见表 4。

表 4 丹江口水库及汉江中下游评估指标权重

目标层	指标层	主观权重	客观权重	组合权重
节水减污	工业废水排放达标率（%）	0.072	0.023	0.043
	城镇污水处理率（%）	0.052	0.041	0.057
	再生水利用率（%）	0.040	0.023	0.024
	万元 GDP 用水量 （立方米/万元）	0.047	0.068	0.084
	水资源开发利用率（%）	0.035	0.034	0.032
	地表水达到或好于III类水体 比例（%）	0.081	0.036	0.078
	人均综合用水量（立方米）	0.033	0.028	0.024
优能降碳	净初级生产力（克干重/m ² ·a）	0.031	0.029	0.023

	单位土地面积碳储存量 (吨/公顷)	0.033	0.058	0.050
	万元地区生产总值能源 消耗量 (吨标准煤/万元)	0.034	0.027	0.024
	空气质量优良天数比例 (%)	0.028	0.029	0.022
	非化石能源占能源消费总量 比重 (%)	0.037	0.023	0.022
宜境扩绿	景观破碎指数 (无量纲)	0.025	0.038	0.025
	流域植被覆盖度 (%)	0.041	0.027	0.030
	水土保持率 (%)	0.046	0.027	0.032
	流域产水量 (亿立方米)	0.034	0.035	0.032
	生态流量目标保障达标程度 (%)	0.047	0.108	0.134
	水生生物多样性指数 (无量纲)	0.038	0.046	0.046
	库容保有率 (%)	0.024	0.035	0.023
	水体面积 (平方公里)	0.027	0.042	0.030
	湿地保留率 (%)	0.032	0.039	0.033
		第三产业 GDP 占比 (%)	0.034	0.037
数智赋能增长	常住人口城镇化率 (%)	0.026	0.028	0.020
	国内生产总值增长 (%)	0.033	0.022	0.019
	粮食综合生产能力 (万吨)	0.023	0.038	0.023
	农村居民人均可支配收入 (元)	0.026	0.029	0.020
	恩格尔系数 (%)	0.024	0.031	0.019

根据赋权结果开展绿色指数 (WGI) 计算, 2010-2024 年丹江口水库及汉江中下游绿色流域构建的 4 个目标的达成成效趋势相差明显。节水减污方面改善最为突出, WGI 从 2010 年起快速提高, 尤其是 2019 年以后长期保持在较高水平, 说明水环境质量、污水处理、再生水利用和水资源利用相关指标对流域绿色状态的支撑作用明显增强。

优能降碳方面波动较大, 未形成稳定上升趋势。研究期内虽有阶段性高值, 但整体未形成持续上升趋势, 这表明能源消耗强度、碳储存、非化石能源利用和空气质量等指标之间变化不同步, 优能降碳仍是影响年度评估结果稳定性的波动因素。

宜境扩绿方面前期表现较好, 但中后期波动下降。2010-2012 年其 WGI 保持在 0.66 以上, 随后多次回落。该结果说明流域生态空间和水生态过程类指标对综合评估形成一定约束, 特别是水生生物完整性、湿地保留、库容保有和水体面积等指标仍需持续改善。

数智赋能增长方面整体处于中等水平, 研究期内呈阶段性波动, 尤其是近年支撑作用有所减弱。产业结构、城镇化、经济增长、粮食生产和居民收入等指标虽具有一定基础, 但尚未形成持续稳定的综合拉动效应。

综合来看，丹江口水库及汉江中下游流域总 WGI 在 2010-2024 年呈现出前期低位波动、2019 年后明显提升、近年保持相对稳定的阶段性变化特征（图 7）。2010-2018 年，总 WGI 多处于 0.32-0.44 之间，表明该阶段流域绿色状态整体提升有限。2019 年后，随着节水减污等关键方面改善，总 WGI 显著提高，并在 2021 年达到最高值 0.70。2022-2024 年，总 WGI 稳定在 0.63-0.65 左右，较前期已有明显提升。总体而言，丹江口水库及汉江中下游流域绿色状态在研究期内有所改善，但提升过程主要依赖节水减污能力增强，综合协调性仍需进一步提高。宜境扩绿下降、优能降碳波动以及数智赋能增长支撑不足，仍是制约流域绿色状态进一步提升的重要因素。后续应在持续巩固水环境治理、水资源利用和污染减排成效的基础上，重点加强水生态系统修复、湿地与水体生态空间维护、库区生态调蓄能力提升、能源结构优化和高质量发展支撑，以提高流域绿色状态的稳定性和协调性。

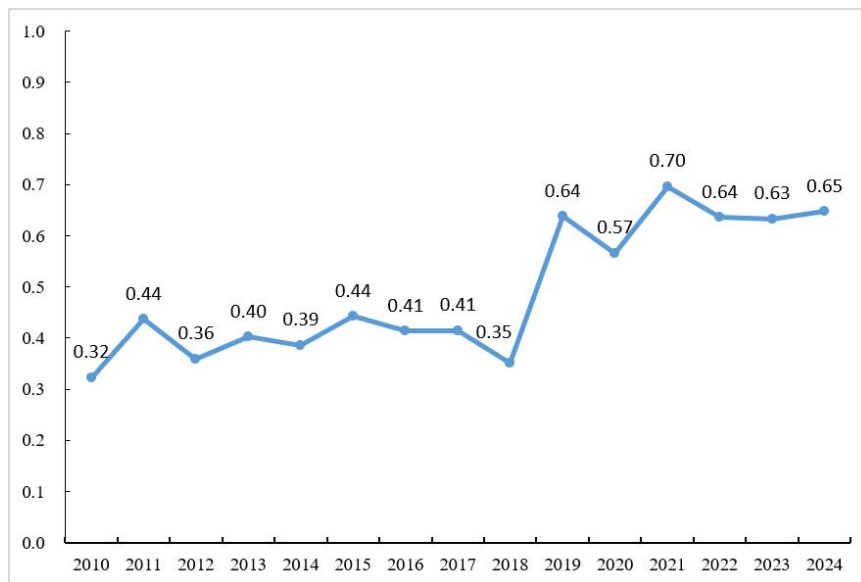


图 7 丹江口水库及汉江中下游 2010-2024 年绿色指数变化

8.2 赣江流域评估结果

从长江流域分区 7，即长江中下游丘陵湿地生态缓冲区中选取子流域赣江流域开展评估。首先根据区域特性确定个性指标。赣江作为鄱阳湖最大补给水源，该区域侧重关注江湖关系演变与湿地缓冲功能，核心指标定位于水文支撑能力（流量过程变异程度）；结合丘陵与城镇化特征，选取“城镇建成区绿地率”与“水华面积比例”，反映流域作为生态缓冲区在过滤污染物、调节江湖关系中的关键作用。因此，选取人均综合用水量、城镇建成区绿地率、湿地保留率、水华面积比例和流量过程变异程度为个性指标，构建评估体系（图 8）。

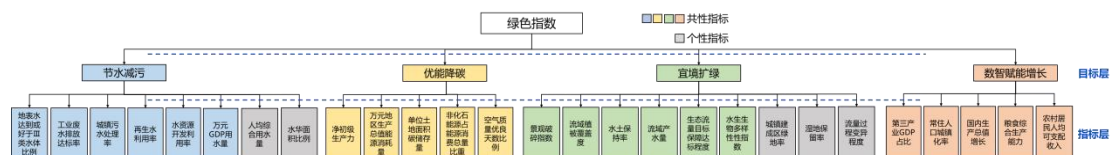


图 8 赣江流域评估指标体系

对 12 位来自于高校、企业和事业单位的专家开展了绿色流域构建指标体系目标层的问卷调查。专家们的研究方向涉及流域污染治理、环境管理、水工程生态效应和水处理等，主要研究流域包括长江、海河、黄河、辽河、雅鲁藏布江等。经计算，目标层四个指标的重要性遵循以下顺序：节水减污>宜境扩绿>数智赋能增长>优能降碳。具体权重见表 5。

表 5 目标层指标主观权重

指标	节水减污	优能降碳	宜境扩绿	数智赋能增长
权重	0.358	0.163	0.314	0.165

接下来，针对赣江流域指标层各指标的重要性开展专家咨询，并据此计算主观权重。各专家在该区域主要开展的研究工作包括流域完整性评价、流域生态系统服务评估、水生态修复和水环境污染防治等。基于 2010-2024 年数据对该区域开展客观和组合权重的计算，各指标具体主观权重见表 6。

表 6 赣江流域评估指标权重

目标层	指标层	主观权重	客观权重	组合权重
节水减污	工业废水排放达标率 (%)	0.055	0.015	0.019
	城镇污水处理率 (%)	0.043	0.015	0.016
	再生水利用率 (%)	0.045	0.038	0.041
	万元 GDP 用水量 (立方米/万元)	0.033	0.018	0.014
	水资源开发利用率 (%)	0.039	0.029	0.027
	地表水达到或好于III类水体比例 (%)	0.052	0.179	0.227
	人均综合用水量 (立方米)	0.027	0.022	0.015
优能降碳	水华面积比例 (%)	0.064	0.027	0.042
	净初级生产力 (克干重/m ² ·a)	0.032	0.041	0.031
	单位土地面积碳储量 (吨/公顷)	0.032	0.037	0.029
	万元地区生产总值能源消耗量 (吨标准煤/万元)	0.027	0.023	0.015
	空气质量优良天数比例 (%)	0.031	0.028	0.020
	非化石能源占能源消费总量比重 (%)	0.041	0.015	0.015

宜境扩绿	景观破碎指数（无量纲）	0.023	0.041	0.023
	流域植被覆盖度（%）	0.032	0.022	0.017
	水土保持率（%）	0.039	0.024	0.023
	流域产水量（亿立方米）	0.038	0.030	0.028
	生态流量目标保障达标程度（%）	0.051	0.179	0.222
	水生生物多样性指数（无量纲）	0.036	0.023	0.020
	城镇建成区绿地率（%）	0.027	0.017	0.011
	湿地保留率（%）	0.035	0.020	0.017
	流量过程变异程度（%）	0.032	0.033	0.026
数智赋能增长	第三产业 GDP 占比（%）	0.041	0.029	0.029
	常住人口城镇化率（%）	0.032	0.023	0.018
	国内生产总值增长（%）	0.048	0.025	0.029
	粮食综合生产能力（万吨）	0.020	0.022	0.010
	农村居民人均可支配收入（元）	0.024	0.027	0.016

根据赋权结果开展赣江流域绿色指数（WGI）计算，2010-2024 年赣江流域绿色流域构建的 4 个目标之间表现出明显的差异。节水减污方面改善最为显著，是支撑赣江流域 WGI 提升的主要因素。该目标 WGI 在 2010—2012 年处于较低水平，表明早期污染治理和水资源利用相关指标与理想状态差距较大。2013 年后，该指数快速提高，并在 2015-2024 年长期保持在 0.80 以上。这说明随着城镇污水处理率提高、万元 GDP 用水量下降、水质达标状况改善以及相关污染控制指标优化，赣江流域节水减污能力已由早期短板逐步转变为综合评估中的优势方面。

优能降碳方面波动最为明显，说明该方面尚未形成稳定提升趋势。2010 年和 2011 年该方面 WGI 处于较低水平，随后在 2012 年、2015 年、2017 年和 2020 年出现阶段性升高，其中 2020 年达到 0.94，为评估期内最高值。但 2021 年后该指数持续回落，2024 年降至 0.38。该变化表明，赣江流域在能源消耗强度降低、空气质量改善、碳储存和非化石能源利用等方面虽有一定基础，但不同年份之间受能源结构、生态生产力和区域发展过程影响较大，优能降碳仍是波动性较强的评估方面。

宜境扩绿方面前期较稳定，2010-2019 年间该项 WGI 基本维持在 0.60—0.70 之间，表明流域景观格局、植被覆盖、水土保持、产水量、生态流量保障和湿地保留等指标总体处于中等偏上水平。2020-2022 年，该指数进一步提高，说明该阶段流域生态空间保护和生态过程维持状况较好。但 2023 年后开始下降，成为近年综合 WGI 回落的重要原因。结合指标结果看，生态流量目标保障达标程度下降、水生生物多样性指数波动以及部分水生态过程

指标变化，是宜境扩绿方面由优势转为约束的重要原因。

数智赋能增长方面整体处于中等水平，且年际波动较明显。2010-2012年该项 WGI 相对较高，2013-2019年小幅波动，2020年降至阶段低值后2021年短暂回升，2022-2024年再次回落。表明虽然产业结构、城镇化水平和农村居民收入总体改善，但 GDP 增长率阶段性放缓、粮食综合生产能力相对稳定以及社会经济指标之间变化不同步，使该方面未能形成持续增强的拉动作用。

综合来看，赣江流域总 WGI 在 2010-2024 年呈现出由低水平向较高水平提升、并在近年出现一定回落的阶段变化特征（图 9）。2010-2012 年，总 WGI 由 0.37 降至 0.30，主要受节水减污和优能降碳低值制约。2013 年后，随着节水减污等关键方面改善，总 WGI 快速提升并在 2015-2022 年总体维持较高水平，其中 2021 年达到最高值 0.83。2023-2024 年，总 WGI 回落至 0.69，主要与宜境扩绿明显下降、优能降碳持续走低以及数智赋能增长支撑不足有关。总体而言，赣江流域绿色状态在研究期内明显改善，但提升过程并非线性增强。节水减污已成为较稳定的优势方面，而生态过程、水生态健康、能源结构和发展质量等方面的波动，仍是影响流域绿色状态稳定提升的重要因素。后续赣江流域绿色建设在继续巩固污染治理和水资源利用效率提升的基础上，还应重点加强生态流量保障、水生态系统修复、湿地与植被生态空间维护、能源结构优化和发展质量提升，以提高流域绿色状态的稳定性。

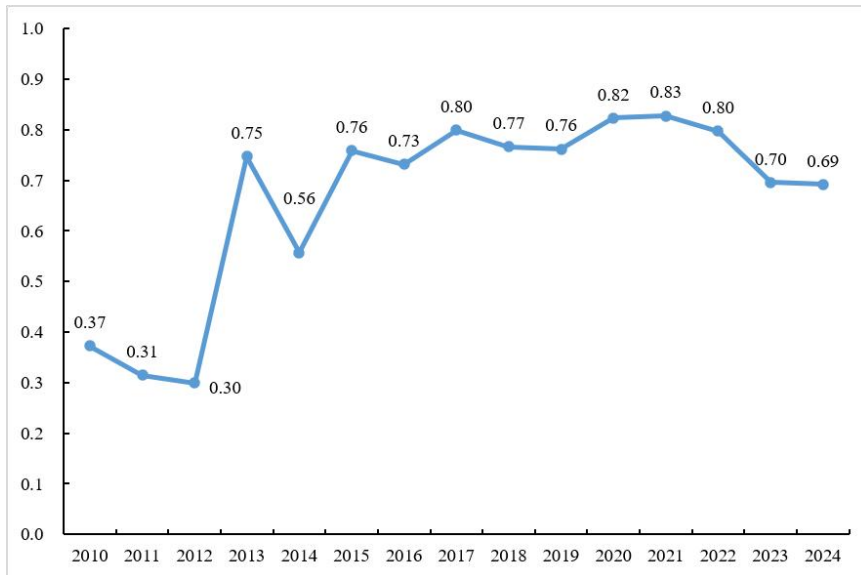


图 9 赣江流域 2010-2024 年绿色指数变化