

ICS 27.140

CCS N762

团 体 标 准

T/ACEF 000—2025

不同类型河流生态流量计算与执行效果 评估导则

Guidelines for Calculation and Effect Evaluation of Ecological Flow in Different
Types of Rivers
(征求意见稿)

2025-00-00发布

2025-00-00实施

中华环保联合会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 技术路线	3
5 资料收集与调查分析	4
6 河流分类原则和分类体系	6
7 河流生态保护目标筛选与确定	7
8 水文-生态响应关系构建方法	9
9 河流生态流量确定	10
10 河流生态流量执行效果监测与评价	13
附录 A	17
附录 B	33
参 考 文 献	34

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件主编单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：

不同类型河流生态流量计算与执行效果评估导则

1 范围

本文件规范了不同河流生态流量的确定原则、确定流程、河流的分类原则和分类体系、生态保护目标的筛选与确定、水文-生态响应关系的构建方法、生态流量执行效果评估监测与评价等技术要求。

本文件主要适用于不同类型河流生态流量确定、评估、效果监测与保障。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 地表水环境质量标准

GB/T 25173-2010 水域纳污能力计算规程

GB50179-2015 河流流量测验规范

HJ 1215-2021 水质 浮游植物的测定 滤膜-显微镜计数法

HJ 1295-2023 水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价（试行）

HJ 710.12-2016 生物多样性观测技术导则 水生维管植物

SC/T 9102.3-2007 渔业生态环境监测规范 第3部分：淡水

SC/T 9429-2019 淡水渔业资源调查规范 河流

SL/T 196-2015 水文调查规范

SL/T 278—2020 水利水电工程水文计算规范

SL 709-2015 河湖生态保护与修复规划导则

SL/T 712—2021 河湖生态环境需水计算规范

SL/T 793—2020 河湖健康评估技术导则

SL/T 800—2020 河湖生态系统保护与修复工程技术导则

SL/T 820-2023 水利水电工程生态流量计算与泄放设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生态流量 Ecological Flow

维持河流生态系统结构和功能以及依赖于这些生态系统的人类宜居环境所需要的流量（水量、水位）或过程，包括生态基流和敏感期生态流量。

[来源：SL/T 820-2023 2.0.2]

3.2

生态基流 ecological baseflow

为保证自然河流的基本功能，用以维持或恢复河道地貌特征和河流生态系统基本结构与功能所需的最小流量（水量、水位），即防止河道断流，避免河流水生生物群落遭受到无法恢复破坏的河道内最小流量（水量、水位）。

[来源：SL 709-2015 2.0.5]

3.3

敏感期生态流量 ecological flow in sensitive time

有保护目标的河流在保护目标敏感期需要的流量（水量、水位）及其过程，为维持河流生态系统中某些组分或功能在特定时段对于流量及其过程的需求。

[来源：SL/T 712-2021 2.0.4]

3.4

生态保护目标 Protection Targets of ecology

在一定时期内，为了保护生态系统的结构、功能和生态服务，维护生态平衡，保障生物多样性，促进生态系统的可持续发展，而设定的具有明确性、可衡量性和可实现性的具体目标。

3.5

水文情势 hydrological regime

水文变量和水文现象等各种水文要素时空变化的态势和趋势。在水文学中常用以下具有生态学意义的参量表示：流量、频率、发生时机、延续时间、流量过程变化和水位变化过程等。

[来源：SL 709-2015 2.0.4]

3.6

水文-生态响应关系 flow-ecology relationship

水文要素的变化（如降水、蒸发、径流、水位、流量等）与生态系统各组成部分（包括生物群落、生态过程、生态系统结构与功能等）之间相互作用、相互影响所呈现出的对应联系。

3.7

水生生态系统 Aquatic ecosystem

在一定的空间和时间范围内，在各种水生生物、水生生物群落与其无机环境之间，通过能量流动和物质循环而相互作用的统一整体。水生生态系统是生物与主要水环境之间进行能量转换和物质循环的基本功能单位之一。

3.8

生态流量保证率 Ecological Flow Guarantee Rate

在一定时段（如多年、多年月平均等）内，河流实际流量等于或大于生态流量的时间概率或历时百分比。

4 技术路线

4.1 基本任务

在资料收集整理和现状补充调查的工作基础上，确定河流类型，筛选河流的生态保护目标，量化水文-生态响应关系，确定生态流量，从河流水文变化、生态保护目标保护情况以及水环境状况等方面进行生态流量效果评价，滚动修正生态流量，为河流生态流量适应性管理、水资源保护与修复等提供支撑。

4.2 评价原则

4.2 工作流程

不同类型河流生态流量计算与执行效果评估的工作流程包含：

- 资料收集与调查分析；
- 河流分类原则和分类体系；
- 河流生态保护目标筛选与确定；
- 水文—生态响应关系构建方法；
- 河流生态流量确定；
- 河流生态流量执行效果监测与评价。

不同类型河流生态流量计算与效果评估工作的技术路线按图 4.1 执行。

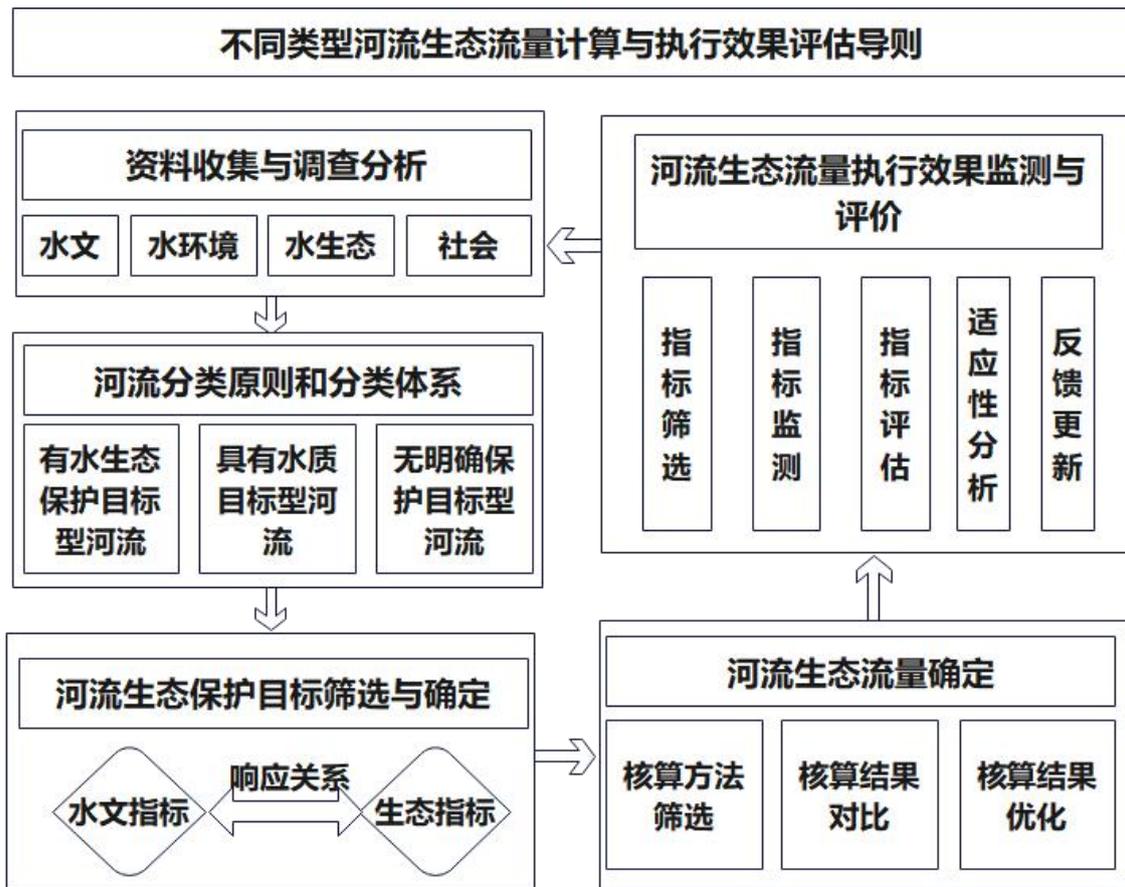


图 4.1 不同类型河流生态流量计算与执行效果评估工作流程图

5 资料收集与调查分析

5.1 一般规定

5.1.1 应收集的基本资料包括河流背景资料、水文水资源资料、水环境资料、生物资料等。

5.1.2 应充分结合行政区划、水资源分区、水功能区划、主体功能分区等规划、研究成果和历史监测数据确定资料收集范围和深度，涵盖各类敏感保护目标，综合考虑上下游和干支流的影响；应反映河流（流域）现状和历史演变，涵盖河流重要的涉水敏感区域。

5.1.3 应对资料进行代表性、可靠性和一致性分析。

5.2 资料收集

5.2.1 河流背景资料应包括：

a) 河流所在地理位置、流域面积、河流水系分布、水资源开发利用状况、土地利用状况等；

b) 河流长度、比降、河流地形地貌特征、重点点位横断面、河床底质、河岸形状等；

c) 河流上各类水利工程建设与运行情况，所在流域综合规划、水资源保护规划、防洪规划、河湖长制“一河一策”方案等水利相关规划资料。

5.2.2 水文及水资源资料应包括：

a) 所在河流水文站气象降水、蒸发等基本资料，长序列实测流速、水位、流量系列，长序列还原水位、流量系列等；

b) 河流上各类型取水口位置、规模、取水过程，河道中的生态用水情况等。

5.2.3 水环境资料应包括：

a) 所在河水环境相关规划，水功能区划、水环境保护目标及分布、国（省）控制断面分布及水质目标等；

b) 水质资料，河流主要污染物、单站历年水质实测数据，沉积物污染数据和污染源历史和现状分布数据等。

5.2.4 生物资料应包括：

a) 生态环境敏感保护目标，珍稀、濒危、特有物种名录，各级自然保护区、水产种质资源保护区、湿地公园等生态敏感与脆弱区等基本情况；

b) 所在河流的浮游植物、浮游动物、底栖动物等水生生物类群的组成、密度、生物量、时空分布特征、生物多样性等相关指标研究成果和关键物种水文需求等；

c) 所在河流鱼类的种类组成、数量、资源时空分布，鱼类的产卵场、索饵场、越冬场及迁徙通道等重要生境的分布及特征，渔获量，关键物种水文需求等；

d) 河流历史生态功能定位, 历史水生物种资料, 水生入侵物种的种类、组成、数量、时空分布特征, 水文需求等。

5.2.5 社会经济及历史文化资料包括河流水系范围内的行政区分布、人口、产业结构等社会经济发展情况, 涉水历史文化、民俗民风、水系景观等。

5.3 调查分析

5.3.1 应根据需要开展必要的调查。可通过实地勘察、典型调查与监测等方式进行, 调查工作应符合相应规范和标准的要求。

5.3.2 无水文水资源资料河流或缺水文水资源资料河流, 应调查收集邻近流域(区域)或水文气象相似流域(区域)水文资料、流域(区域)综合分析图表、相关研究资料等成果。必要时补充监测河流流速、水位、水量等数据, 监测按照 GB50179、SL/T 196 规定执行, 监测点位应与生物监测点位匹配。

5.3.3 无水质资料河流或缺水质资料河流, 应补充监测河流水质指标, 监测按照 GB 3838 规定执行, 监测点位应与生物监测点位匹配。

5.3.4 无生物资料或生物资料缺乏河流, 应根据河流现状调查分析下列内容:

a) 浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生植物等水生生物类群组成、密度、分布、生物量, 监测按照 HJ 1215、HJ 1295、HJ710.12 等规定执行, 分析优势度指数、多样性指数、均匀度等, 存在水华的河流应重点监测藻类指标, 监测时间应集中在藻类爆发时期;

b) 鱼类的种类组成、数量、资源时空分布, 鱼类的产卵场、索饵场、越冬场及迁徙通道等重要生境的分布及特征, 监测按照 SC/T 9429、SC/T 9102.3、HJ 1295 等规定执行。

5.3.5 社会经济及历史文化资料补充调查分析应包括涉水社会经济、文化景观种类、数量、特点、空间关系、观赏方式、水系连通方式、水文水资源需求和水力需求等, 调查方式包括遥感分析、走访和问卷调查等。

5.3.6 应对监测资料与现有资料进行整理, 并进行合理性分析。

6 河流分类原则和分类体系

6.1 一般规定

6.1.1 应以流域或区域的自然禀赋条件为基准, 参考经济社会特点, 以生态系统的保护、修复为目标, 结合现状河流水生态环境本底状况进行河流分类。

6.1.2 应在资料收集的基础上, 并通过历史资料对比或流域调查等方法, 结合河流的功能定

位，确定河流类型。

6.1.3 河流类型应反映河流功能定位，一条河流可以包括几种河流类型。

6.2 河流分类原则

6.2.1 河流分类应优先体现河流水生态功能。

6.2.2 河流分类应体现河流生态流量计算的可操作性和便利性。

6.2.3 河流分类应按照 1 级分类指标为保护目标类型，2 级分类指标为河流生态水文特征差异的原则划分。

6.3 河流分类体系

6.3.1 河流按照保护目标不同可分为具有水生态保护目标型河流、具有水质保护目标型河流、无明确保护目标型河流三类。

6.3.2 具有水生态保护目标型河流按照保护目标的等级分为 3 类：

a) 高优先级生态目标河流。河流中含有《中国濒危动物红皮书》中规定的野生绝迹、绝迹和濒危保护等级的水生生物；含有《中国物种红色名录》中规定的野生灭绝、绝迹、濒危保护等级的水生生物；含有《国家重点保护野生动物名录》中规定的一级保护水生动物；

b) 中等优先级生态目标河流。河流中含有《中国濒危动物红皮书》中规定的渐危、稀有保护等级的水生生物；含有《中国物种红色名录》中规定的易危和稀有保护等级的水生生物；含有在《国家重点保护野生动物名录》中规定的二级保护动物。河流处于重要自然景观分布区或河流承担景观娱乐功能，需水流维持独特的涉水自然景观；

c) 低优先级生态目标河流。河流中含有《中国濒危动物红皮书》规定的易危保护等级的水生生物；含有《中国物种红色名录》中规定的未定保护等级的水生生物；河流历史上或现状具有重要生态功能定位，河流中分布有经济物种和特色物种的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道、栖息地等。

6.3.3 具有水质保护目标型河流，河流存在水质污染，水质不达标。

6.3.4 无明确保护目标型河流分为 2 类：

a) 季节型河流。河流流量具有季节性变化特征；有自然断流现象，无特殊保护物种；

b) 常流型河流。河流常年有水。河流无特殊或重要地理特征或处在重要地理位置，无特殊保护物种。

7 河流生态保护目标筛选与确定

7.1 一般规定

7.1.1 应按照流域、区域相关规划和流域环境管理的有关要求，结合区域经济社会发展及其对河流生态流量的需求，根据河流水生态保护的相关要求和河流的开发利用现状，合理确定河流生态保护目标。

7.1.2 河流生态保护目标应根据河流类型、工程性质、水文分期合理确定。

7.1.3 河流可有一个以上的生态保护目标，且生态保护目标随河流的生态恢复状况变化。

7.2 河流生态保护目标确定依据

7.2.1 国家或地方法律法规已确定并提出需要优先保护的生态目标（含白皮书中规定的物种名录、优先保护区）是确定河流生态保护目标的依据之一。

7.2.2 依据生态系统中主要水生生物群落结构及其生态功能的分析，基于其优势度、对生态系统的指示性，确定河流生态功能的重要性。

7.2.3 依据河流（河段）主要生态服务功能的用水需求和现状满足程度，如饮用水源区、景观娱乐用水区、农业灌溉区等不同的功能区，确定保护目标。

7.2.4 已有保护对象的河流，应结合实地勘察、典型调查与补充监测等水生态状况调查资料，统筹考虑河流生态环境功能和河道内、外用水需求、水文现状，最终确定生态保护目标。

7.3 河流生态保护目标确定原则

7.3.1 河流生态保护目标应符合以下条件之一：

- a) 重要物种或生境对水文情势变化敏感；
- b) 重要物种或生境对水力学要素有明确要求；
- c) 社会服务功能或生态功能受特定水文情势影响。

7.3.2 依据相关法律法规，明确河流（河段）的水功能定位，确定重点保护河段。

7.3.3 结合已有河流生态资料，必要时可补充水生生物多样性调查，参考珍稀濒危物种名录，确定优先保护的物种。

7.3.4 基于河流生态资料，确定河流水生生物多样性状况，分析群落结构特征，参考生态系统演替和演化等特征，确定需保护的重要优势物种。

7.3.5 结合供水、景观娱乐服务、水质净化、水产品供给等分析河流的生态服务功能，确定因水量或流量导致的生态服务功能发挥的短板，确定保护类型。

7.3.6 生态保护目标表征指标包括：

- a) 维持水生生物性状、物种多样性、功能特性等指标；

- b) 水质、水量、河床形态等系统状态指标;
- c) 河流自净功能、调节功能、文化功能等社会服务功能指标。

8 水文-生态响应关系构建方法

8.1 一般规定

8.1.1 应针对河流的生态保护目标进行水文-生态响应关系分析。

8.1.2 水文-生态响应关系可分为定性响应关系和定量响应关系，具备条件时应优先构建定量响应关系。

8.1.3 应对构建的水文-生态响应关系进行合理性分析。

8.2 水文特征分析

8.2.1 具有水生态保护目标型河流宜采用天然径流系列和实测径流系列分析河流基准期和变化期的水文特征，数据尺度以日尺度为宜，数据系列长度应不少于 20 年为宜。

8.2.2 已有资料不能满足长序列水文特征分析要求时，应根据 SL/T 278、SL/T 712 等相关技术标准规定插补延长，或通过建立水文模型，模拟生成河流的天然和现状日流量过程。河流应采取两种以上方法进行插补延长，综合比选确定采用值，并从径流系数、径流模数和上下游水量平衡等方面进行合理性检查。

8.2.3 水文特征分析应涉及天然或现状水文变化的所有范畴，包括流量大小、频率、发生时机、延续时间、流量过程，宜使用特定软件计算日平均流量以及洪峰流量序列数据，以得到与生态有关的水文指标。

8.2.4 应使用特定软件确定特定区域内河流的水文基准期，评估统计意义上显著的水文指标在变化期较基准期的变化程度，评价过去和未来可能出现的水文变化。

8.2.5 当河流不具备长系列水文变化特征分析条件时，至少应包括多年平均流量、枯水径流或断流特征分析。

8.2.6 河流内存在支流汇入时，应分析支流汇入点与生态流量控制断面的相对位置，并统计分析汇入支流的水文特征参数。

8.3 生态特征分析

8.3.1 应分析河流生态系统的现状及存在的主要问题，包括河湖健康状况、水生生物资源、生物完整性等，分析方法可参考 SL/T 793，SL/T 800 和 HJ 710。

8.3.2 当生态保护目标为水生物种时，应分析物种的数量、空间分布、优势种等生态指标，

明确主要影响因素。

8.3.3 当生态保护目标为生态功能时，应分析具体生态功能特点，年内和年际变动以及主要影响因素。

8.3.4 社会服务功能应作为特殊生态特征进行分析，必要时可用指标表征社会服务功能，量化社会服务功能的大小。

8.3.5 水质应作为特殊生态特征进行分析，明确水质指标年内和年际变动、易超标指标。

8.4 响应关系构建

8.4.1 宜分析天然水文情势对维持河流生态系统完整性的生态学意义，以及对河湖生态系统演变的驱动机制。

8.4.2 宜分析水文情势改变对河流生态系统稳定性和脆弱性的影响。

8.4.3 对于难以构建定量水文-生态响应关系的河流，宜采用定性的水文-生态响应关系，可采用专家经验结合已有成果综合确定。

8.4.4 定量水文-生态响应关系可采用室内实验模拟、室外原位实验方式获取。

8.4.5 定量水文-生态响应关系包括以下几种形式：

- a) 生态指标与水文指标的量化响应关系；
- b) 生态指标变化与水文指标变化的量化响应关系；
- c) 满足水生生物某些关键生活史或栖息地等的水力学或水文指标阈值或发生频次；
- d) 维持某些生态功能的水力学指标、水文指标阈值或发生频次。

9 河流生态流量确定

9.1 一般规定

9.1.1 河流生态流量应包括生态基流和敏感期生态流量两个组分，一般无明确保护目标型河流可只计算生态基流。

9.1.2 应针对受人类活动影响的河流进行生态流量计算，河流生态流量总水量不应超过河流天然径流量。

9.1.3 生态流量可根据河流水文条件和生态保护目标特点以流量、水量、水位或水文过程表征。

9.1.4 应综合考虑河流类型、生态保护目标、河流干支流特点以及控制断面的影响范围，确定河流生态流量计算范围。

9.1.5 河流生态流量应选择控制断面作为计算节点计算，控制断面的确定应结合水文、生态数据，结合生态保护目标综合确定。

9.1.6 生态流量计算方法宜在本文件附录 A 中选取，并应符合本文件附录 A 的规定。

9.2 生态基流计算

9.2.1 生态基流宜用流量表征，开发利用程度高，无支流汇入、长期断流河流的生态基流宜用水量表征，平原河网地区河流的生态基流宜用流量或水位表征。

9.2.2 河流控制断面的生态基流计算方法，应根据河流的类型、现有资料、生态保护目标、水文-生态响应关系、管理需求综合确定。

9.2.3 生态基流确定应明确计算时间尺度，时间尺度以日尺度为宜。

9.2.4 应针对规划河段重要控制断面，选择符合地区实际的方法分析计算生态基流，结合水文特点、工程调控能力等因素，确定生态基流的设计保证率，对水资源丰沛、工程具备调控能力、具有水生态保护目标型河流，生态基流设计保证率宜设定为 100%；对于水资源紧缺、无工程调控能力、无明确保护目标型的河流，生态基流设计保证率可适当降低。

9.2.5 具有水生态保护目标型河流生态基流计算应符合下列要求：

a) 高优先级生态目标河流宜采用以整体法和栖息地法为主，以水文学法和水力学法为辅综合计算，其中数据资料较全、大型河流应优先采用整体法计算，重点针对物种生命史全过程的最低的水文需求，生态基流设计保证率应达到 100%；

b) 中等优先级生态目标河流宜采用以栖息地法为主，以水文学法和水力学法为辅综合计算，重点针对物种栖息、繁殖或某类特殊行为模式、景观功能维持所需的最低水文需求，生态基流设计保证率应达到 90%；

c) 低优先级生态目标河流宜采用以栖息地法或水力学法为主，以水文学法为辅综合计算，重点针对经济物种和特色物种的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道、栖息地或生态功能维持所需的最低水文需求，生态基流设计保证率应达到 90%。

9.2.6 具有水质保护目标型河流宜将水体基本自净能力维持所需的流量或水位作为河段的生态基流，可结合工程下游河段特征和代表断面与概化后污染源的位置关系，采用 GB/T 25173 计算纳污能力的设计水文条件作为生态基流。

9.2.7 无明确保护目标型河流生态基流计算应符合下列要求：

a) 季节性河流宜采用水文学法计算，针对丰、平、枯特点，分季节或水期计算确定生态基流，存在断流的河流，可只计算分析非断流期的生态基流，宜采用剔除零值项的天然径

流系列为计算依据；

b) 常流型河流宜采用水力学法或水文学法计算，应保证河道常年有水，重点针对维持河道基本形态所需的最低水文需求，生态基流设计保证率应达到 90%。

9.2.8 水文资料系列少于 20 年的，可采用近 10 年最枯月平均流量（水位）法、原型观测法等方法综合确定生态基流。也可选取河流同一流域、相近流域或自然地理特征及生态环境相似的水文站作为参证水文站，采用水文比拟法确定生态基流。

9.2.9 应注意各种生态基流计算方法的特点和限制条件。应注意河流大小的差异、气候和河床形态的差异。

9.3 敏感期生态流量计算

9.3.1 敏感期生态流量宜优先采用流量表征，河岸带植被或鱼类产卵刺激可用特殊水文事件发生频次表征，平原河网地区河流的可用水位表征。

9.3.2 当河流涉及到两种以上保障目标时，应分别计算控制断面不同保障目标的敏感期生态流量，并按照取外包线的方法确定河流的敏感期生态流量。

9.3.3 具有水生态保护目标型河流，敏感期生态流量的敏感期应根据保护目标确定，包括河岸带重要植物水分临界期，珍稀特有鱼类的繁殖期等。

9.3.4 具有水生态保护目标型河流敏感期生态流量应结合水文-生态响应关系，计算应符合下列要求：

a) 高优先级生态目标河流宜优先采用整体法进行计算，结合栖息地法、水文学法或水力学法综合计算，重点针对物种生命史全过程的适宜的水文需求；

b) 中等优先级生态目标河流宜采用以栖息地法为主，结合水文学法或水力学法综合计算，重点针对物种栖息、繁殖、某类特殊行为或景观功能模式维持的适宜水文需求；

c) 低优先级生态目标河流宜采用栖息地法或水力学法，结合水文学法综合计算，重点针对经济物种和特色物种的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道、栖息地、生态功能或某类行为模式维持所需的适宜水文需求。

9.3.5 具有水质保护目标型应根据水功能区划或水环境功能区划确定河流的水质目标，或结合河流中某些物种某一时期生存繁殖所需要的水质条件，将满足这一类水质条件或水质目标的水文条件作为敏感期生态流量。

9.3.6 无明确保护目标型河流生态流量计算应符合下列要求：

a) 季节性河流宜采用水文学法计算，如 RVA 法、Tessman 法、月流量变动法、基本流

量法、Lyons 法等，分水期（丰水期、平水期和枯水期）以改善河流生态状况为目标设定敏感期生态流量；

b) 常流型河流宜采用水文学法或水力学法综合计算，可采用蒙大拿法、流量历时曲线法、排频法、7Q10 法、Smakhtin 法、Q90-Q50 法、Tessman 法、NGPRP 法、湿周法、R2-CROSS 法等，应以改善河流生态状况为目标设定敏感期生态流量。

9.4 计算结果合理性分析

9.4.1 当河流内水量条件较好或调度能力较强时，应有目的性、针对性的还原天然状态。

9.4.2 河流生态流量的计算结果应采用两种以上计算方法，对计算成果进行分析对比，当计算方法得出的结果差异较大的时候，应对计算方法的适用性、合理性和计算过程进行分析检查。

9.4.3 应基于典型水文控制站基准期的流量过程，结合流域区域水资源配置方案、工程措施、社会用水情况和气候条件，设置取用水情景，分析河流生态流量计算结果的可达性，根据可达性及保障效果，优化控制断面生态流量。

10 河流生态流量执行效果监测与评价

10.1 一般规定

10.1.1 生态流量监测与评价应当与河流已开展的监测与评价一致，参照河流的生态保护目标和河流水文、水环境和生态本底状况等选择评价指标。

10.1.2 生态流量监测与评价应当采用定量方法进行描述和分析。

10.1.3 应根据生态流量监测与评价结果修正河流生态流量计算结果。

10.2 监测

10.2.1 生态流量监测对象应包括控制断面生态流量泄放过程和生态保护目标状态，涵盖水文监测、水环境监测和水生态监测，监测标准按照 GB 3838、GB50179、SL/T 58 和 SC/T 9102.3 执行。

10.2.2 生态流量监测站点布设充分利用河流已有的相关监测基础条件，兼顾经济、安全、便利等因素，水文监测、水生态监测、水环境监测布点应具有控制性、代表性和一致性。

10.2.3 生态流量监测要素设置应符合以下规定：

- a) 水文监测要素宜选取水位、流速、流量、水文、泥沙等；
- b) 水环境监测要素宜选取水质、盐度等；

c) 水生态监测要素宜选取浮游动物、浮游植物、鱼类、底栖动物种类、分布、优势种、生物多样性指标等。

10.2.4 生态流量监测频次设置应符合以下规定：

- a) 水文监测中水位、流量监测宜 1 小时 1 次；
- b) 水环境监测频次可根据河流水环境状况综合确定，原则上每月 1 次；
- c) 水生态监测频次应根据生态流量保障对象特点综合确定，原则上每年不少于 1 次。

10.2.5 生态流量监测数据应及时上传，及时汇编，进行系统整理。

10.2.6 当河流发生重大水污染事件、重大水生态灾害或洪旱灾害后，宜增加监测频次，调整监测要素。

10.3 生态流量效果评价

10.3.1 生态流量效果评价应从生态流量保证率、水环境改善、水生态修复三个方面开展评价，评价指标宜参考附录 B 选取。

10.3.2 效果评价分析步骤如下：

- a) 确定效果评价指标的最低标准值要求；
- b) 根据保护目标确定效果评价指标的目标值；
- c) 计算实测指标与目标值的偏离程度；
- d) 当实测指标大于等于目标值时，评价结果为“良好”；当实测指标大于等于最低标准值小于最低标准值时，评价结果为“一般”；当实测指标小于最低标准值时，评价结果为“差”。

10.3.3 不同类型河流生态流量执行效果评估应符合以下要求：

- a) 所有类型河流均需评估生态流量保证率，其中生态基流的保证率应与设计保证率对比分析；
- b) 具有水生态保护目标型河流应系统评估河流的水环境改善、水生态修复状态；
- c) 具有水质保护目标型河流应系统评估河流的水环境改善状况，可依据河流基础设施状态和人员经费情况，增加水生态修复评价内容；
- d) 无明确保护目标型河流可依据河流基础设施状态和人员经费情况，增加水环境改善和水生态修复评价内容，季节型河流还应对比分析河流现状节律与自然节律的偏离程度。

10.3.4 当生态流量表征指标为流量或水位时，生态流量保证率按公式（1）计算：

$$E_{fl} = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

E_{fl} —表征指标为流量或水位时的生态流量保障率（%）；

n —评估期内满足生态流量保障目标的时间，尺度与生态流量泄放方案匹配；

N —评估期总时间，尺度与生态流量泄放方案匹配。

10.3.5 当生态流量表征指标为水量时，宜采用水量百分比法，按公式（2）计算：：

$$\begin{cases} E_q = \frac{q}{Q} \times 100\%, q \leq Q \\ 100\%, q > Q \end{cases} \quad (2)$$

式中：

E_q —表征指标为水量时的生态流量保证率（%）；

q —评估期内河流来水总量，单位为立方米（ m^3 ）；

Q —评估期内确定的生态流量值，单位为立方米（ m^3 ）。

10.3.6 当河流生态流量保证率不达标时，应具体分析生态流量保证率不达标的原因，评估生态影响，提出相应的保障措施。

10.3.7 河流水环境改善评估应对比分析实施生态流量保障措施前后同一时段河流水环境指标，如水质达标率、水体自净能力等，优化水文和水环境响应关系曲线。

10.3.8 当评估结果为水环境改善效果为“差”时，应综合分析生态流量对水环境改善作用以及效果未能达到目标的原因。

10.3.9 水生态修复评估应符合以下要求：

a) 水生态修复影响评价应结合监测数据，宜采用生态机理分析法、类比分析法和对比分析法进行评估；

b) 水生态修复影响评价应结合制定生态流量时考虑的生态指标，宜分析其动态变化，预测其变化趋势；

c) 具有水生态保护目标型河流应重点分析实施生态流量保障措施前后保护物种数量、生活史、生境变化，宜分析河流中的生物多样性指标、优势类群时空分布特征变化，宜分析河流生态系统结构和功能的变化等。

10.3.10 当水生态评估结果为“差”时，应综合分析生态流量对水生态修复的作用及未能达到保护目标要求的原因，优化水文-生态响应关系。

10.3.11 河流生态流量计算结果执行 5 年后，应结合生态流量监测与评价结果，对生态流量方案进行系统性的修正。

附录 A
(资料性)
生态流量计算方法

河流生态流量计算方法包括水文学法、水力学法、栖息地法和整体法四类。河流生态流量计算参考方法见表 A.1。

表 A.1 河流生态流量计算参考方法表

序号	方法名称	方法分类	数据需求	适用河流类型
1	蒙大拿法 (Tennant Methods)	水文学法	长序列(≥10年)天然 年流量数据	常流型河流、低优先级生态 目标河流
2	流量历时曲线 法(Flow Duration Methods)	水文学法	长序列(≥30年)天然 月流量数据	常流型河流
3	RVA法(Range of Variability Approach)	水文学法	长序列(≥20年)天然 日流量数据	季节型河流、低优先级生态 目标河流
4	近10年最枯月 平均流量(水 位)法	水文学法	近10年实际月平均流 量、月平均水位或径流量	常流型河流
5	水质模型法	水文学法	水质、流量数据	具有水质保护目标型河流
6	最小稀释流量 法	水文学法	水质、流量数据	具有水质保护目标型河流
7	7Q10法	水文学法	长序列天然日流量数据	常流型河流
8	Smakhtin法	水文学法	长序列天然月流量数据	常流型河流
9	Q90-Q50法	水文学法	长序列(≥30年)天然 日流量数据	常流型河流
10	Tessman法(改 进的蒙大拿法)	水文学法	长序列天然月流量数据	季节型河流
11	月流量变动法 (VMF法)	水文学法	长序列天然月流量数据	季节型河流
12	Texas法	水文学法	长序列天然月流量数据	季节型河流
13	Lyons法	水文学法	长序列天然月流量数据	季节型河流
14	NGPRP法	水文学法	长序列天然(≥30年) 年流量数据	常流型河流
15	基本流量法	水文学法	长序列天然(≥30年) 日流量数据	季节型河流
16	逐月最小生态 径流法	水文学法	长序列天然(≥30年) 月流量数据	常流型河流
17	水文比拟法	水文学法	相似流域的水文数据	无明确保护目标型河流

序号	方法名称	方法分类	数据需求	适用河流类型
17	湿周法	水力学法	现场调查不同断面湿周、流量数据	常流型河流、低优先级生态目标河流
18	R2-CROSS 法	水力学法	实测河宽、水深、湿周、流速数据	常流型河流、低优先级生态目标河流
19	生态水力学法	水力学法	实测水深、流速、河宽、湿周等水力参数	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
20	RCHARC 法	水力学法	实测水深、流速、河宽、湿周等水力参数	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
21	Basque 法	水力学法	实测水深、流速、河宽、湿周等水力参数、生物调查数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
22	生态水力半径法	水力学法	实测水深、流速、河宽、湿周等水力参数	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
23	IFIM 法	栖息地法	流速, 最小水深、底质、水温、溶解氧、总碱度、浊度、透光度等生态水文数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
24	PHABSIM 法	栖息地法	鱼类调查、地形、水文等数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
25	UW 法	栖息地法	生物调查、河道地形、流速、水深等数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
26	WUW 法	栖息地法	生物调查、河道地形、流速、水深等数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
27	生物空间最小需求法	栖息地法	鱼类调查、流量等数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
28	流量事件法	栖息地法	长序列天然、实际日流量、生物调查等数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
29	水生生物量法	栖息地法	鱼类调查、水质、流量数据	低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流
30	BBM 法	整体法	水文、水质、地形、生物调查数据	中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流
31	DRIFT 法	整体法	水文、水质、地形、生物调查数据	中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流
32	HEA 法	整体法	水文、水质、地形、生物调查数据	中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流
33	ELOHA 法	整体法	水文、水质、地形、生物调查数据	中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流

A.1. 水文学法

1.1 蒙大拿法

a.计算方法。蒙大拿法建立了河流流量和水生生物、河流景观及娱乐之间的关系，见表 A.1.1。它将年平均流量的百分比作为生态流量。

表 A.1.1 河流流量与鱼类、野生动物、娱乐及相关环境资源关系

栖息地等定性描述	推荐的流量标准（占年平均流量百分比，%）	
	一般用水期（10月至次年3月）	鱼类产卵育幼期（4~9月）
最大	200	200
最佳流量	60~100	60~100
极好	40	60
非常好	30	50
好	20	40
开始退化的	10	30
差或最小	10	10
极差	<10	<10

获取目标河流断面至少 10 年以上的日流量数据，计算多年平均流量（Mean Annual Flow, MAF），根据栖息地的保护等级选择对应百分比计算生态流量，计算公式为：

$$Q=MAF \times \text{推荐百分比}$$

蒙大拿法适用于水文资料较全的常流型河流或低优先级生态目标河流。

1.2 流量历时曲线法

将流量数据按从大到小排序，计算各流量对应的累积频率（即流量 \geq 某值的概率）。以流量为纵轴、累积频率为横轴绘制流量历时曲线，划分不同保证率区间（如高流量、中流量、低流量区）。 Q_p 的频率 P 可取 90%，也可根据需要作适当调整。 Q_{90} 为通常使用的枯水流量指数，是水生栖息地的最小流量，为警告水资源管理者的危险流量条件的临界值。流量历时曲线法适用于水文资料较全的常流型河流。

1.3 RVA 法

RVA 法是最常用的水文指标变化范围法，其目的是提供河流系统与流量相关的生态综合统计特征，识别水文变化在维护生态系统中的重要作用。RVA 法主要用于确定保护天然生态系统和生物多样性的河道天然流量的目标流量。从流量数据中提取 32 个水文改变指标（IHA），涵盖流量大小、频率、持续时间、变化率及时机等五类，如最小 1 日流量、月平均流量、高低脉冲频率等。以人类活动干扰前的天然流量数据为基准，计算各 IHA 指标的第 25%~75%分位数作为阈值范围（RVA 目标范围）。计算水文变动范围，设定一定范围内

的阈值为生态流量。RVA 法适用于水文资料较全，有日尺度数据的季节型河流、低优先级生态目标河流。

1.4 近 10 年最枯月平均流量（水位）法

缺乏长序列水文资料时，可用近 10 年每年最枯月平均流量、月平均水位或径流量的最小值作为生态基流。近 10 年最枯月平均流量（水位）法适用于常流型河流。

1.5 水质模型法

基于质量守恒原理，通过建立水质模型来模拟污染物在水体中的迁移、转化过程。在确定水质目标（如特定污染物的浓度标准）后，通过调整流量参数，使模型输出的水质结果达到标准，从而确定满足水质达标的生态流量。水质模型法适用于具有水质保护目标型河流。

1.6 最小稀释流量法

当存在点源污染排放时，需要一定的流量来稀释污染物，使其在混合后的浓度达到水质标准。计算方法为：

$$Q_d = \frac{Q_p(C_p - C_s)}{C_s - C_b}$$

式中： Q_d 为所需的稀释流量， Q_p 为点源污染排放流量， C_p 为点源污染排放浓度， C_s 为水质标准规定的污染物浓度， C_b 为背景污染物浓度（如果有）。最小稀释流量法适用于具有水质保护目标型河流。

1.7 7Q10 法

7Q10 法采用 90% 保证率最枯连续 7d 的平均水量为河流最小流量设计值，宜按下式计算：

$$Q = \max(Q_i)$$

式中： Q 为计算河段最小设计流量（ m^3/s ）； Q_i 为第 i 个代表断面 90% 保证率最枯连续 7 天的平均流量（ m^3/s ）。7Q10 法适用于常流型河流。

1.8 Smakhtin 法

将计算时间序列分成枯水月份和丰水月份，其中枯水月份（月均流量 \leq 年均流量），Q90；丰水月份（月均流量 $>$ 年均流量）， $(0 \sim 0.2) \times$ 年均流量。Smakhtin 法适用于常流型河流。

1.9 Q90-Q50 法

将计算时间序列分成枯水月份和丰水月份，其中枯水月份（月均流量 \leq 年均流量），

Q90；丰水月份（月均流量 $>$ 年均流量），Q50。该方法计算结果与河流流量的年内变异程度相关，一般的，计算结果在常流性、年内变异小的河流偏高，在季节性、年内变异大的河流偏低。Q90-Q50法适用于常流型河流。

1.10 Tessman 法（改进的蒙大拿法）

将计算时间序列分成枯水月份、丰水月份和平水月份。其中枯水月份（月均流量 $\leq 0.4 \times$ 年均流量），月均流量；丰水月份（月均流量 $>$ 年均流量）， $0.4 \times$ 月均流量；平水月份（ $0.4 \times$ 年均流量 $<$ 月均流量 \leq 年均流量）， $0.4 \times$ 年均流量。Tessman 法适用于季节型河流。

1.11 月流量变动法（VMF 法）

将计算时间序列分成枯水月份、丰水月份和平水月份。其中枯水月份（月均流量 $\leq 0.4 \times$ 年均流量）， $0.6 \times$ 月均流量；丰水月份（月均流量 $> 0.8 \times$ 年均流量）， $0.3 \times$ 月均流量；平水月份（ $0.4 \times$ 年均流量 $<$ 月均流量 $\leq 0.8 \times$ 年均流量）， $0.45 \times$ 月均流量。月流量变动法适用于季节型河流。

1.12 Texas 法

确定的生态流量为特定百分比（通常考虑需求） $\times 50\%$ 保证率下月流量值。Texas 法适用于季节型河流。

1.13 Lyons 法

确定的生态流量为 10 月-2 月， $0.4 \times$ 月中值流量；3 月-9 月， $0.6 \times$ 月中值流量。Lyons 法适用于季节型河流。

1.14 NGPRP 法

该法将年份分为干旱年、湿润年、标准年，取标准年组 90%保证率流量作为最小流量，NGPRP 法适用于气候变化较大区域的常流型河流。

1.15 基本流量法

该法是根据河流流量变化状况确定所需流量，具体方法是根据平均年的 1、2、…、100 天的最小流量序列，计算 1 和 2、2 和 3、…、99 和 100 点之间的流量变化情况，将相对流量变化最大处点的流量设定为河流所需基本流量。该法计算容易，能反映出年平均流量相同的季节性河流和非季节性河流在生态流量上的差别。基本流量法适用于季节型河流。

1.16 逐月最小生态径流法

逐月最小生态径流法是将最小生态流量逐月计算，逐月最小生态径流法适用于水流和水质条件改变较小的常流型河流。

1.17 水文比拟法

水文比拟法的应用需要注意参证流域和研究流域的相似性，以及数据的可靠性和代表性。水文比拟法适用于水文资料缺乏的无明确保护目标型河流。具体操作步骤如下：

1) 数据收集

选择一个与研究流域具有相似自然地理条件和水文特征的参证流域。参证流域应具有较长时间序列的水文观测资料，包括流量、降水、蒸发等数据。收集参证流域的水文数据，包括多年平均流量、不同频率的设计流量、流量历时曲线等。同时，收集研究流域的基本水文资料，如流域面积、河道长度、坡度等。

2) 参证流域分析

对参证流域的水文数据进行分析，确定其水文特征，如年径流量、汛期和枯期径流量、径流年内分配等。根据参证流域的水文数据，建立流量与其他水文要素（如降水、蒸发）之间的关系。

3) 生态流量计算

根据参证流域的多年平均流量和研究流域的面积，采用面积比法或其他合适的方法，计算研究流域的多年平均年径流量。直接移用参证流域各种设计代表年的月径流量分配比，乘以研究流域的年径流量，得到研究流域年径流量的年内分配。根据研究流域的生态需求和保护目标，结合计算得到的年径流量及其年内分配，确定满足生态需求的最小流量，即生态流量。

4) 结果验证与调整

对计算结果进行合理性检查，确保生态流量的计算结果符合研究流域的实际情况和生态需求。根据实际情况和新的资料，对计算结果进行调整和优化，以提高生态流量计算的准确性和可靠性。

A.2. 水力学法

2.1 湿周法

利用湿周作为水生生物栖息地指标，该方法基于以下假设：保护好临界区域（通常为浅滩）的水生物栖息地的湿周，也将对非临界区域的栖息地提供足够的保护。具体步骤包括：

1) 确定研究河段与水文数据收集

确定目标河段，收集其多年的日均或月均流量、水位、断面形态等水文数据，时间跨度最好超过 10 年，以涵盖不同水文年份的变化情况，确保数据的代表性。

2) 计算湿周

湿周是指河流过水断面的湿周,即过水断面的周长。根据收集到的水位和断面形态数据,计算不同流量下的湿周。湿周与流量呈非线性关系,初始阶段流量增加湿周增长较快,达到一定值后增长趋缓。

3) 绘制湿周-流量关系曲线

以湿周为纵坐标、流量为横坐标,绘制散点图并拟合关系曲线。曲线通常先陡后平,拐点位置即为湿周变化显著减缓的起始点。拐点不明显时,可采用 80%湿周率(某个流量对应的湿周占多年平均流量对应湿周的百分比)对应的流量,作为生态基流。

4) 确定生态流量

拐点对应的流量即为河流的最小生态流量。在此流量下,继续增加流量对湿周的贡献变小,说明河道内的水生生态系统已得到一定程度的满足,流量的边际生态效益降低。

湿周法适用于河道形态相对稳定、水流受河道边界控制明显的无明确保护目标型河流或低优先级生态目标河流。

2.2 R2-CROSS 法

R2-CROSS 法以河流平均水深、流速及湿周率等水力生境参数评估鱼类生境状况,可用于计算分析小型河流的生态流量。水力生境参数应按下列公式计算:

$$Q = AC\sqrt{RJ}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

式中: Q 为流量 (m^3/s); A 为过水断面面积 (m^2); R 为水力半径 (m); J 为水力坡度 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$); n 为糙率,原则上根据实测资料率定。

河宽为 0.3m~30.5m 的非季节性小型河流水力生境参数可按表 A.2.1 的标准进行判别。

表 A.2.1 R2-CROSS 法评估标准

河宽 (m)	平均水深 (m)	湿周率 (%)	流速 (m/s)
0.3~6.3	≥ 0.06	≥ 50	≥ 0.30
6.3~12.3	0.06~0.12	≥ 50	≥ 0.30
12.3~18.3	0.12~0.18	50~60	≥ 0.30
18.3~30.5	0.18~0.30	≥ 70	≥ 0.30

湿周率指某一过水断面在某一流量时的湿周占多年平均流量对应的湿周的百分比。适用于河床形状稳定的宽浅型河流, R2-CROSS 法适用于常流型河流、低优先级生态目标河流。

2.3 生态水力学法

以水生生物对河流水深、流速等水力生境参数及急流、缓流、浅滩、深潭等水力心态指标的要求评估河流生境状况，可用于计算分析各类河流的水生生态流量。水力生境参数按下列公式计算：

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_\varepsilon$$

式中 A_1 为上游过水断面面积 (m^2)； v_1 为上游断面平均流速 (m/s)； A_2 为下游过水断面面积 (m^2)； v_2 为下游断面平均流速 (m/s)； H_1 为上游水位 (m)； α_1 为上游动能修正系数； H_2 为下游水位 (m)； α_2 为下游动能修正系数； g 为重力加速度 (m/s^2)； h_ε 为水头损失 (m)。

水力生境参数的计算结果宜按表 A.2.2 的标准进行判别。多年平均流量小于 $150\text{m}^3/\text{s}$ 的河流可根据天然情况适当降低评估标准。适用于河床形状稳定的宽浅型河流，生态水力学法适用于常流型河流。

表 A.2.2 生态水力学法评估标准

生境参数	指标标准	
	最低标准	累计河段长段的百分比
最大水深	性成熟鱼类体长的 2 倍~3 倍	$\geq 95\%$
平均水深	$\geq 0.3\text{m}$	$\geq 95\%$
平均流速	$\geq 0.3\text{m/s}$	$\geq 95\%$
水面宽度	$\geq 30\text{m}$	$\geq 95\%$
湿周率	$\geq 50\%$	$\geq 95\%$
过水断面面积	$\geq 30\text{ m}^2$	$\geq 95\%$
水域水面面积	$\geq 70\%$	不同流量情况下水面面积及占枯水期多年平均流量情况下水面面积的百分比
水温	适合鱼类生存、繁殖	
水力形态指标	概念界定	
急流	$Fr > 1$	各流态的段数无较大变化，急流段累计河段长度减少小于 20%
缓流	$Fr < 1$	

注：Fr 为弗劳德数。

2.4 RCHARC 法

根据水深和流速与鱼类种群变化的关系，确定河流可接受的生态流量。RCHARC 法适

用于受人类活动影响相对较小的河流，低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

2.5 Basque 法

基于河流连续统概念的生物学方法，它认为河流上中游的物种多样性随着流量的增加而增加，该法首先是依据曼宁公式建立湿周与流量的变化关系，然后利用河流生物多样性与湿周的变化关系确定最小和最优流量。Basque 法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

2.6 生态水力半径法

该法是一种同时考虑河道信息（水力半径、糙率、水力坡度）和维持某一生态功能所需河流流速的水力学方法，它不仅能分析鱼类适宜的流速，还能确定输沙与环境自净的水流流速，而且可以避免像湿周法确定突变点而引起的不确定性。

根据河道内满足水生生物的流速 V （基于鱼类的生活习性、鱼类所处的生育期、河流等级来确定，一般都为 0.4~2.5）。利用 n 、 j 计算出河道过水断面的生态水力半径 R 。再用生态水力半径 R 来计算过水断面面积 A ，得出 A 于 R 的关系，然后计算出流量，即含有水生生物与河道断面两方面信息的生态流量，以此来估算出某一过水断面一段时间的生态流量。生态水力半径法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

A.3. 栖息地法

3.1 IFIM 法（河道内流量增量法）

河道内流量增加法（Instream flow incremental methodology, IFIM）最初是 20 世纪 70 年代末由美国科罗拉多州的渔业与野生服务部和河道内流量服务小组共同提出的，主要是为了优化某个特定的重要鱼类（如鲑鱼）的栖息地。该方法具体步骤包括：

1) 数据收集

收集研究区域的水文、水力学、水质、生物等相关数据，包括河流的流量、流速、水深、水温、水质参数、水生生物种类及其栖息地偏好等信息。

2) 栖息地模拟

根据收集的数据，建立水力学模型和生物栖息地模型，模拟不同流量条件下的水力条件和栖息地变化。常用的模型有 PHABSIM（Physical Habitat Simulation System）等。

3) 流量与栖息地关系建立

通过模拟结果，分析流量与栖息地质量之间的定量关系，确定不同生物物种在不同生长阶段对流量的需求。

4) 生态流量计算

根据栖息地质量与流量的关系，结合保护目标，确定满足生态需求的最小流量，即生态流量。

IFIM 法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

3.2 PHABSIM 法（自然栖息地模拟法）

物理栖息地模拟模型法是 IFIM 法的核心模块，通过物种栖息地偏好、水力模拟和栖息地模拟对某目标物种不同生命阶段的栖息地随流量的变化进行定量评价。方法将代表性河段或者临界河段的断面数据、水力模型和栖息地适宜度曲线结合起来，预测物理栖息地参数，如平均流速、水深和底质，最终计算代表栖息地条件的加权可利用面积(Weighted usable area, WUA)。PHABSIM 模拟可以求得 WUA 随流量变化关系，假设 WUA 与鱼类生物量之间有正相关关系，则可取最大 WUA 所对应的流量作为生态流量，对应的栖息地即可以生产最大的生物量。

PHABSIM 模型法基于以下假设：（1）水深、流速、基质和覆盖物是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要因素；（2）这些因素相互影响，共同确定河流微生物境条件；（3）河床形状不随流量变化而改变；（4）WUA 与物种数量之间存在一定比例关系。

PHABSIM 模型首先将河道断面分隔成间隔为 w 的 n 个部分，确定每个部分的平均垂直流速 (v)，水位高程 (h)、基质属性 (s) 和河面覆盖类型 (c) 等；然后调查分析指示物种对这些参数的适宜要求，绘制环境参数的适宜性曲线，根据该曲线确定每个分隔部分的环境喜好度，即水位喜好度 (S_h)、流速喜好度 (S_v)、基质喜好度 (S_s)、河面覆盖喜好度 (S_c)，它们都被表示为 0~1 之间的值；最后计算每个断面、每个指示物种的总生境适宜性，将其称作权重可利用面积 (WUA)，见公式：

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i (S_h \times S_v \times S_s \times S_c)_i$$

式中 A_i 为宽度为 w 、长度为两个相邻断面距离的每个单元的水平面积。

重复计算不同流量下的 WUA，绘制成 WUA~流量曲线，它能显示出流量变化对指示物种的某个生活期的影响，代表性曲线在低流量处具有一个最大值，其常作为水资源规划的依据而使用。

PHABSIM 也存在一定的缺点，其基本假设 WUA 与鱼类生物量之间有正相关关系在一些情况下可能不成立；而将所有单元的适宜性集成单个指标即栖息地可利用面积 (WUA)

并没有考虑到断面位置信息，掩盖了河段中断面间的差异。PHABSIM 法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

3.3 UW 法（有效宽度法）

建立河道流量和某个物种有效水面宽度的关系，以有效宽度占总宽度的某个百分数相应的流量作为最小可接受流量。有效宽度是指满足某个物种需要的水深、流速等参数的水面宽度。不满足要求的部分则为无效宽度。UW 法适用于低优先级生态目标河流。

3.4 WUW 法（加权有效宽度法）

在 UW 法的基础上，将一个断面分为几个部分，每个部分乘以该部分的平均流速、平均深度和相应的权重系数，从而得出加权后的有效水面宽度，权重参数取值范围从 0-1。WUW 法适用于低优先级生态目标河流。

3.5 生物空间最小需求法

以鱼类为河道内生态系统的指示生物，从鱼类对生存空间的最小需求来确定最小生态流量。由于缺乏鱼类对生存空间的需求资料，该方法采用的鱼类最小需求空间参数粗糙，导致方法的精度有限。生物空间最小需求法适用于低优先级生态目标河流。

3.6 流量事件法

流量事件是在 RVA 理论的基础上，由澳大利亚流域研究中心提出，以考察在一定的空间尺度上物理栖息地随时间的变化情况。该方法通过了解流量事件对生物和地貌过程的影响，表征用于生态流量研究的流量变化性。这种方法的优点在于对生态流量的生态意义进行解释。

一个生态时间可以视为流量状况影响地貌或者生物过程的一个离散的时间段。这些事件使利用收集多领域的专家意见选择出来的。流量事件的一个案例是河床的干涸，它可以表征为河道湿地面积。水力学模型用于将选中的栖息地参数与流量联系起来，接着从流量记录中可以得出这些参数的时间序列（通常是比较当前的、天然的和未来建议流量状况）。这些时间序列用于与这些事件的时间分布有关的统计学分析。这些分析的形式类似于对于流量记录的分析，利用年均和局部持续时间序列来表征洪水频率或者产生流量持续时间曲线。流量事件法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

3.7 水生生物量法

鱼类是河流生态系统中的顶级生物，其多样性的变化能反映整个河流系统的健康状况，因此可建立鱼类多样性和流量之间的相关关系，进而计算适宜生态流量。以鱼类的多样性作为评判的指标，分析鱼类多样性变化与水流条件的关系，通过建立流量与鱼类多样性的相关

关系，确定满足大部分鱼类生长繁殖的河流适宜生态流量。

通过历年水文、水生生物实验观测，获得鱼类多样性指数序列 $(d_1, d_2, d_3 \dots)$ ，其平均值为 d ，建立流量和鱼类多样性的关系

$$D = f(Q, C)$$

式中， Q 为流量； C 为对应的河流水质条件。

在历史记录或对比试验分析的基础上，根据水生态系统的保护目标，确定鱼类多样性可接受的最大损失值为 d^* ，以 $(1 - d^*/d)$ 为多样性指数所对应的水流条件，确定为适宜生态流量。此时，水体中鱼的种类多，鱼类多样性高，当低于这个条件时，敏感鱼种消失，导致鱼种单纯，鱼类生物多样性大幅度降低，水生态系统恶化。

在缺乏实测资料的条件下，以鱼类生物量与流量间的关系来代替，前者采用鱼类捕捞量变化来代替。水生生物量法适用于低优先级生态目标河流、中等优先级生态目标河流。

A.4. 整体法

4.1 BBM 法（建筑堆块法）

南非的建筑堆块法（BBM）：为将 BBM 法应用于某一个具体的流域，来自不同学科领域的科学家们被召集在一起。具体的工作方法如下：

1) 数据收集与准备，收集河流流域的地理位置、流域面积、坡度、土地利用类型等基本信息。收集气象数据，包括降水量、蒸发量、温度等。同时，收集河流的流量数据，如日、月、年的流量数据，以及流量过程线，这些数据可以从水文监测站获取，若无实测数据，可利用水文模型模拟。此外，调查河流生态系统的生物多样性和群落结构，包括鱼类、水生植物、底栖生物等的种类、数量、分布和生态习性，收集关键生物物种的生态需水要求，如鱼类的产卵期、幼鱼生长阶段等对流量、水位的需求。

2) 确定敏感期：根据生物物种的生态习性和生命周期，确定河流生态系统的生态需水关键期，例如，鱼类的繁殖期、越冬期、索饵期等。分析不同生态需水关键期内生态系统对流量的需求特征，包括流量大小、持续时间、变化过程等。

3) 确定关键水文条件：选择适合当地河流特点的水文情势指标，如年均流量、月均流量、最小流量、最大流量、流量变化率等。根据收集的水文数据，计算各水文情势指标的长期平均值、变差系数等统计参数。

4) 构建生态流量需求模型：利用统计分析或生态模型，建立水文情势指标与生态系统

关键要素（如生物多样性、生物量、物种分布等）之间的定量关系，确定关键水文情势阈值，即生态系统维持正常功能所需的流量条件。

5) 计算生态流量：根据生态需水关键期和生态流量需求特征，结合水文-生态关系模型，确定满足生态系统健康需求的目标流量。可以使用多种方法计算生态流量，并进行对比分析。根据流域特点和数据情况，选择最合理的方法确定最终的生态流量。

6) 生态流量的验证与调整：在实地监测河流的生态状况，如鱼类的种类、数量、分布，水质达标率等。观察在按照计算出的生态流量下，生态系统是否能够正常维持其功能。根据实地验证结果和模型模拟反馈，对生态流量的计算结果进行调整优化，以确保其合理性和可行性。

7) 生态流量的管理和实施：根据确定的生态流量，制定相应的管理措施，如水库调度方案、取水限制、生态补水等。建立监测与评估体系，持续进行生态监测和评估。

BBM 法适用于中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流。

4.2 DRIFT 法

DRIFT 法由四个模块构成。主要包括：

1) 生物物理模块，全面剖析河流生态系统各组分与流量的关联，涵盖河流地貌形态、湿地演化等物理层面，以及水温、溶解氧等水质因子对生物的影响。再通过实地调查、文献综述和模型模拟（如水文模型、生态模型等）收集相关数据，识别关键生态要素。运用统计分析或生态模型，构建生物与流量的定量关系模型，如鱼类栖息地与流量、水位、流速等的关系曲线，进而确定不同流量条件下生态系统的响应特征。

2) 社会经济模块，着眼于河流周边的社会因素。首先识别依赖河流资源的河滨居民和其他利益相关者，了解其用水需求、生活方式及对河流的依赖程度。接着评估不同流量变化对河滨居民生活的影响，如低流量时居民的饮用水供应、农业灌溉、渔业捕捞等活动受到的限制，以及可能引发的健康和生计问题。同时评估流量变化对社会功能的影响，如对文化、娱乐、经济等方面的作用。最后综合考虑河流的社会价值，分析流量变化对这些社会功能的影响，为生态流量的确定提供社会依据。

3) 情景开发模块，基于前两模块的结果，构建多未来流量情景。利用水文模型模拟不同降水、蒸发等气象条件下的流量过程，考虑人类活动（如水库调度、引水、排水等）的影响，构建一系列不同流量大小、持续时间和变化过程的潜在未来流量情景。然后通过模型模拟或专家咨询，预测每个情景下河流生态系统和河滨居民的响应结果。运用多标准分析（MCA）方法，综合生态、社会和经济因素，对不同流量情景进行评估和比较，筛选出满

足生态需求和社会可接受的流量情景，为生态流量的确定提供多种备选方案。

4) 补偿经济模块，此模块主要涉及经济因素考量。根据情景开发模块筛选出的流量情景，列出实现特定流量目标所需的补偿和缓解措施，如为下游居民提供替代水源、改善水利设施、调整产业结构等，并估算相应的成本。同时评估不同流量情景下的经济效益，包括水资源利用效益、农业灌溉效益、渔业经济效益、旅游经济效益等，以及生态保护效益。进行成本效益分析，权衡生态流量实施的成本与效益，分析不同流量情景的经济可行性和成本效益比，为生态流量的实施提供经济依据和决策支持。

DRIFT 法适用于中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流。

4.3 HEA 法

HEA 法与南非的 BBM 法相似，是针对澳大利亚河流提出的。这个方法要求评估整个河流系统，包括源区、河道、河岸带、洪泛区、地下水、湿地和河口地区，其基本原则是保持河流流量的完整性、天然季节性和变化性。主要步骤包括：

1) 数据收集与准备

收集河流流域的地理位置、流域面积、坡度、土地利用类型等基本信息。收集河流的流量数据，包括日、月、年的流量数据，以及流量过程线。收集水位数据，包括不同时段的水位变化情况，以及与流量的对应关系。调查河流生态系统的生物多样性和群落结构，包括鱼类、水生植物、底栖生物等的种类、数量、分布和生态习性。收集关键生物物种的水文需求，如鱼类的产卵期、幼鱼生长阶段等对流量、水位的需求。

2) 分析河流生态系统的特点和需求

根据生物物种的生态习性和生命周期，确定河流生态系统的需水关键期。例如，鱼类的繁殖期、越冬期、索饵期等。分析不同关键期内生态系统对流量的需求特征，包括流量大小、持续时间、变化过程等。

3) 确定水文情势指标

选择适合当地河流特点的水文情势指标，如年均流量、月均流量、最小流量、最大流量、流量变化率等。根据收集的水文数据，计算各水文情势指标的长期平均值、变差系数等统计参数。

4) 建立水文情势与生态响应的关系

利用统计分析或生态模型，建立水文情势指标与生态系统关键要素（如生物多样性、生物量、物种分布等）之间的定量关系。通过模型模拟或历史数据分析，分析不同流量条件下的生态响应，确定关键水文情势阈值。

5) 计算生态流量

根据需水关键期和生态流量需求特征，结合水文-生态关系模型，确定满足生态系统健康需求的目标流量。使用多种方法计算生态流量，并进行对比分析。根据流域特点和数据情况，选择最合理的方法确定最终的生态流量。

6) 生态流量的验证与调整

在实地监测河流的生态状况，如水生生物的种类、数量、分布，水质达标率等。观察在按照计算出的生态流量下，生态系统是否能够正常维持其功能。根据实地验证结果和模型模拟反馈，对生态流量的计算结果进行调整优化，以确保其合理性和可行性。

7) 生态流量的管理和实施

根据确定的生态流量，制定相应的管理措施，如水库调度方案、取水限制、生态补水等。持续进行生态监测和评估，定期对生态流量的实施效果进行评估，根据评估结果及时调整管理措施。

HEA 法适用于中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流。

4.4 ELOHA 法（Ecological limits of hydrologic alteration，水文变化的生态限度法）

水文变化的生态限度法，即 ELOHA 框架（Ecological limits of hydrologic alteration）是美国大自然保护协会 TNC（The Nature Conservancy）于 2010 年组织 19 位河流科学家完成的一份框架报告。ELOHA 法计算生态流量的主要步骤包括：

1) 建立水文基础

收集和整理研究区域内河流的历史自然水文情势数据，包括流量、水位、降雨量等。水文数据可通过实测数据或水文模型模拟获得。没有实测站点的河段，可利用水文模型（如 WEAP、PRMS 等）模拟水文数据。

2) 分类河流类型

根据水文情势的特征和河流的地貌特征，将研究区域内的河流进行分类。不同类型的河流在水文变化与生态响应的关系上具有相似性，因此分类可以提高分析的效率和准确性。

3) 分析水文情势的改变

通过对比河流开发前后的水文数据，计算水文情势的偏离程度。包括计算流量的频率曲线、水文变量的百分比偏差等，以评估水文变化的幅度和方向。

4) 建立水文情势改变与生态响应的关系

利用现有的生态水文文献、专家知识和现场调查，建立水文情势改变与生态响应之间的关系。这通常需要构建一个水文-生态数据库，并通过统计学方法拟合水文-生物函数关系和

曲线。

5) 评估生态风险并决策

各利益相关者共同协商,评估水文变化引起的生态风险,并确定可接受的生态风险水平。

根据这一评估结果,结合水文-生态曲线,确定生态流量标准。

6) 生态流量标准的执行与监测

制定相应的管理措施,如取水限制、水库调度方案调整等,并将其纳入水资源配置规划中。同时,持续进行生态调查和监测,验证或调整水文-生态关系,修正生态流量标准,形成适应性管理过程。

ELOHA 法适用于中等优先级生态目标河流、高优先级生态目标河流。

附录 B
(资料性)
生态流量执行效果评价指标

针对河流类型生态流量执行效果表征特点，宜参考下表结合可操作性等确定指标，也可根据河流实际生态功能情况增选指标。

表 B.1 河流生态流量执行效果评价指标体系

河流类型	评价指标	指标类型
季节型河流	生态流量满足程度	生态流量保证率指标，必选指标
	流量变异程度	水环境改善指标，必选指标
	水生生境状况	水生态修复，备选指标
	水质达标率	水环境改善指标，备选指标
常流型河流	生态流量满足程度	生态流量保证率指标，必选指标
	水生生境状况	水生态修复，备选指标
	水质达标率	水环境改善指标，备选指标
具有水质保护目标型河流	生态流量满足程度	生态流量保证率指标，必选指标
	水功能区达标率	水环境改善指标，必选指标
	水质达标率	水环境改善指标，必选指标
	水体自净能力	水环境改善指标，必选指标
	底泥污染状况	水环境改善指标，必选指标
	富营养化指数	水生态修复，备选指标
	水生生境状况	水生态修复，备选指标
具有水生态保护目标型河流	生态流量满足程度	生态流量保证率指标，必选指标
	水功能区达标率	水环境改善指标，必选指标
	水质达标率	水环境改善指标，必选指标
	水体自净能力	水环境改善指标，必选指标
	底泥污染状况	水环境改善指标，必选指标
	水生生境状况	水生态修复，必选指标
	生态保护目标状况	水生态修复，必选指标
	鱼类保有指数	水生态修复，备选指标
	生物多样性（鱼类、底栖动物等）	水生态修复，备选指标
	生物完整性指数（鱼类、底栖等）	水生态修复，备选指标
	河岸带指标覆盖率	水生态修复，备选指标

参 考 文 献

- [1] SL/T 712-2021 河湖生态环境需水计算规范
 - [2] SL/T 793-2020 河湖健康评估技术导则
 - [3] SL/T 820-2023 水利水电工程生态流量计算与泄放设计规范
 - [4] 河湖生态流量监测预警技术指南（试行），水利部，2022.1
-