

ICS 编号
CCS 编号

团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

河湖水系连通水安全保障能力 评价技术导则

Technical guidelines for assessment of water security safeguard
capability of the river and lake network connectivity

（报批稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发 布

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，按照工程建设标准编写规定（建标〔2008〕182 号）的要求，编制本标准。

本标准共分为 7 章和 1 个附录，主要技术内容包括资料收集与调查、河湖水系连通状态分析、河湖水系连通水安全保障能力分析和综合评价等。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本标准主编单位：武汉大学

本标准参编单位：水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

河海大学

黄河水利科学研究院

中国科学院水生生物研究所

中水淮河规划设计研究有限公司

水利部太湖流域管理局

水利部水利水电规划设计总院

本标准主要起草人：程 磊 吴时强 陈森林 武彩萍 刘学勤

徐志成 戴江玉 侯钦耀 陈梦晗 吴修锋

蔡 梅 孟建川 陈界仁 李云玲 鲁春晖

王嘉仪 贾本友 王 蓓 李 庆

本标准主要审查人员：XXX XXX

目 次

1	总 则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	资料收集与调查	4
5	河湖水系连通状态分析	5
5.1	数量特征	5
5.2	质量特征	5
5.3	过程特征	5
5.4	空间特征	6
6	河湖水系连通水安全保障能力分析	7
6.1	一般规定	7
6.2	水资源安全保障能力分析	7
6.3	防洪安全保障能力分析	9
6.4	水生态安全保障能力分析	11
6.5	河湖水系连通水安全保障能力综合分析	13
7	河湖水系连通水安全保障能力综合评价	14
	附录 A 《河湖水系连通水安全保障能力评价报告》编制提纲	15
	标准用词说明	16
	条文说明	17
	制定说明	18

CONTENTS

1 General provisions.....	1
2 Terminology	2
3 Basic regulations	3
4 Data collection and investigation	4
5 Analysis of stream network connectivity state	5
5.1 Quantitative characteristics	5
5.2 Quality characteristics	5
5.3 Process characteristics	5
5.4 Spatial characteristics.....	6
6 Analysis of water security safeguards capability of stream network connectivity	7
6.1 General requirements	7
6.2 Analysis of water resources security safeguards capability.....	7
6.3 Analysis of flood control security safeguards capability	9
6.4 Analysis of hydroecology security safeguards capability.....	11
6.5 Comprehensive analysis of water security safeguards capability of stream network connectivity	13
7 Comprehensive assessment of water security safeguards capability of stream network connectivity	14
Appendix A Outline for the assessment report of water security safeguards capability of stream network connectivity	15
Explanation of provisions.....	16

1 总 则

- 1.0.1 为规范中小尺度区域河湖水系连通水安全保障能力评价工作的内容和方法，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于评价河湖水系的水安全保障能力，也可用于河湖水系连通工程实施方案的比选，判定方案的科学性和合理性。
- 1.0.3 河湖水系应包括天然河湖水系及人工水通道。
- 1.0.4 河湖水系连通水安全保障能力评价工作主要内容应包括资料收集与调查、河湖水系连通状态分析、河湖水系连通水安全保障能力分析和综合评价等四部分。
- 1.0.5 河湖水系连通水安全保障能力评价应对不同来源资料进行资料复核，对收集资料的准确性、可靠性和一致性进行审查。
- 1.0.6 河湖水系连通水安全保障能力综合评价应结合连通状态分析和水安全保障能力分析的结果，识别存在的问题，提出河湖水系连通建议，形成评价报告。
- 1.0.7 河湖水系连通水安全保障能力评价指标选取应遵循代表性、独立性、敏感性和可操作性原则，并结合评价区域实际情况进行选取。
- 1.0.8 本标准引用的主要标准：
 - GB 3838 《地表水环境质量标准》
 - GB 50707 《河道整治设计规范》
 - SL 196 《水文调查规范》
 - SL 219 《水环境监测规范》
 - SL/T 238 《水资源评价导则》
 - SL 257 《水道观测规范》
 - SL 383 《河道演变勘测调查规范》
 - SL 395 《地表水资源质量评价技术规程》
 - SL 733 《内陆水域浮游植物监测技术规程》
 - SL/T 712 《河湖生态环境需水计算规范》
 - HJ 710.7 《生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类》
 - HJ 710.84 《生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物》
- 1.0.9 河湖水系连通水安全保障能力评价除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 河湖水系连通 connectivity of river and lake networks

依靠自然水循环更新能力的天然河湖水系和人工措施构建的水通道（水库、人工湖、运河、引水渠等）共同组成的河湖水系连通状况，其与水资源利用调配、洪水宣泄调节、水质、水生生物迁徙密切相关，对区域内水资源安全、防洪安全和水生态安全等水安全保障能力起到至关重要的作用。

2.0.2 水安全保障能力 water security safeguard capability

水资源安全保障能力、防洪安全保障能力和水生态安全保障能力等方面的综合。

2.0.3 河湖水系连通特征 connectivity characteristics of river and lake networks

河湖水系连通的数量、质量、过程和空间等特征的综合。

2.0.4 水资源安全保障能力 water resource security safeguard capability

通过河湖水系连通保障地表和地下可供人类利用又可更新水的能力。

2.0.5 防洪安全保障能力 flood control safeguard capacity

通过河湖水系连通保障抗击洪水灾害的能力。

2.0.6 水生态安全保障能力 hydroecology safeguard capacity

受河湖水系连通影响，既满足生产和生活的需要，又使水生态环境得到妥善保护的能力。

3 基本规定

3.0.1 本标准评价的中小尺度区域宜结合市域或县域行政区划、水资源分区、主体功能区划、生态功能区划、水功能区划、生态红线范围、水系连通影响区等合理确定。

3.0.2 当基础资料不满足河湖水系连通水安全保障能力评价要求时，应通过实地调查、现场勘测、布置测点观测，或采用无人机摄影测量、卫星遥感、全球定位技术等技术手段开展必要的调查和勘测，查清补齐，以确保河湖水系连通水安全保障能力评价工作数据详实。对于时序变化显著的资料，应搜集长历时资料反映演变情况。

3.0.3 河湖水系连通状态应从数量、质量、过程和空间等四方面特征进行分析，宜反映某阶段河湖水系连通的平均状态，分析指标可依据评价区域实际情况和专家意见进行调整。

3.0.4 除特别说明外，本标准中所提水安全保障能力指水资源安全保障能力、防洪安全保障能力和水生态安全保障能力的综合，可根据具体情况和实际需要有所侧重和适当增加。

3.0.5 河湖水系连通水安全保障能力方面分析应根据评价区域实际情况及数据获取难易程度选取分析指标，宜选用本标准中的主要指标。若评价区域有特殊水安全保障需求，可结合当地情况选取敏感于河湖水系连通特征变化的适宜指标。

3.0.6 应根据评价区域实际情况及数据获取难易程度选取敏感于河湖水系连通水安全保障能力的分析指标，宜选用本标准中的主要指标。若评价区域有特殊水安全保障需求，可结合当地情况选取敏感于河湖水系连通特征变化的适宜指标。

3.0.7 河湖水系连通水安全保障能力指标的评分标准可依据评价区域实际情况，并根据专家意见进行调整。

4 资料收集与调查

4.0.1 资料收集与调查应根据河湖水系连通水安全保障能力评价的需要，收集与调查评价区域内自然地理概况、水文气象、社会经济、河湖水系特征、水利工程、水资源、防洪、水生态等方面的资料。

4.0.2 自然地理概况资料主要包括：面积、地形、地质、气候类型等资料。

4.0.3 水文气象资料主要包括：流量、水位、泥沙、降水量、气温等资料。相关资料的收集与调查应参照《水文调查规范》（SL 196-2015）的有关规定。

4.0.4 社会经济资料主要包括：人口、耕地、地区生产总值等资料。

4.0.5 河湖水系特征资料包括：水系几何特征、河道断流情况、岸线特征等资料。相关资料的收集与调查应参照《河道整治设计规范》（GB 50707-2011）、《水道观测规范》（SL 257-2017）、《河道演变勘测调查规范》（SL 383-2007）的有关规定。

4.0.6 水利工程资料包括：水力发电、防洪排涝、供排水、引调水、农田水利、水土保持、环境水利等不同类型工程的建设情况、工程规模、设计及运行管理情况等资料。

4.0.7 水资源资料包括：水资源量、水资源开发利用情况等资料。相关资料的收集与调查应参照《水资源评价导则》（SL/T 238-1999）、《地表水资源质量评价技术规程》（SL 395-2007）的有关规定。

4.0.8 防洪资料包括：防洪规划、防洪非工程措施、洪水等资料。

4.0.9 水生态资料包括：水质、水生生物、指示性物种、河湖水库生态流量或水位等资料。当需要通过现场监测获取水生态资料时，可遵循《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）的相关规定进行水质监测，根据《内陆水域浮游植物监测技术规程》（SL 733-2016）、《生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类》（HJ 710.7-2014）、《生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物》（HJ 710.8-2014）等进行水生生物调查和鉴定。

5 河湖水系连通状态分析

5.1 数量特征

5.1.1 河湖水系连通数量特征宜采用河网密度和水面率两个指标反映。

5.1.2 河网密度指评价区域内河流总长度与区域总面积之比。

$$R_d = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} L_i}{A_{tot}} \quad (5.1.1)$$

式中：\$R_d\$——河网密度；

\$N_r\$——评价区域内河段总数；

\$L_i\$——第 \$i\$ 河段长度（km）；

\$A_{tot}\$——评价区域总面积（km²）。

5.1.3 水面率指评价区域内多年平均水域面积与区域总面积之比。

$$R_{WA} = \frac{A_w}{A_{tot}} \times 100\% \quad (5.1.2)$$

式中：\$R_{WA}\$——水面率；

\$A_w\$——评价区域多年平均水域面积（km²）；

\$A_{tot}\$——评价区域总面积（km²）。

5.2 质量特征

5.2.1 河湖水系连通质量特征宜采用纵向连通性和横向连通性两个指标反映。

5.2.2 纵向连通性指不同拦河水利工程对鱼类洄游、迁徙等阻隔能力之和与评价区域内河流总长度之比，反映了河道上下游间物质和能量的传递能力。

$$C_{lon} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} N_i a_i}{\sum_{i=1}^{N_r} L_i} \quad (5.2.1)$$

式中：\$C_{lon}\$——纵向连通性；

\$N_s\$——拦河建筑物的种类数量；

\$N_i\$——第 \$i\$ 种拦河建筑物的数量；

\$a_i\$——第 \$i\$ 种拦河建筑物对应的阻隔系数，具体取值见表 5.2.1；

\$N_r\$——评价区域内河段总数；

\$L_i\$——第 \$i\$ 河段长度（km）。

表 5.2.1 拦河水利工程阻隔系数

拦河建筑物类型	对鱼类洄游通道阻隔特征	阻隔系数
水 库	完全阻隔	1
	有过鱼设施	0.5
	有船闸	0.75
水电站	闸坝式水电站	1
	引水式水电站	0.5
水 闸	部分时间段对鱼类洄游造成阻隔	0.25
橡胶坝	对部分鱼类洄游造成阻隔	0.25

5.2.3 横向连通性指评价区域内连通的水域面积（或滨岸带长度）与水域总面积（或滨岸带总长度）之比，反映了评价区域内的水体连接能力。

$$C_{lat} = \frac{A_1}{A_2} \quad (5.2.2)$$

式中：\$C_{lat}\$——横向连通性；

\$A_1\$——连通的水域面积（m²）或滨岸带长度（m）；

\$A_2\$——水域总面积（m²）或滨岸带总长度（m）。

5.3 过程特征

5.3.1 河湖水系连通过程特征宜采用河道断流天数和水流动势两个指标反映。

5.3.2 河道断流天数指评价区域内河段平均断流天数。

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} D_i}{N_r} \quad (5.3.1)$$

式中： D_b ——河道断流天数；
 N_r ——评价区域内河段总数；
 D_i ——第 i 河段断流天数。

5.3.3 水流动势依据河段过水流量、平均水深、河道过水断面面积等计算，反映了水体可能具有的最大势能和河道中水体的流动能力。

$$E_p = \frac{\rho_{\text{水}} \sum_{i=1}^{N_r} \frac{Q_i^2}{S_i^3} B_i h_i}{2A_{\text{tot}}} \quad (5.3.2)$$

式中： E_p ——水流动势（J/ km²）；
 $\rho_{\text{水}}$ ——水的密度（kg/ m³）；
 Q_i ——河段的过水流量（m³/s）；
 B_i ——河段水面面积（m²）；
 h_i ——第 i 河段平均水深（m）；
 S_i ——河段过水断面面积（m²）；
 A_{tot} ——评价区域总面积（km²）。

5.4 空间特征

5.4.1 河湖水系连通空间特征宜采用连通环度和节点连接率两个指标反映。

5.4.2 连通环度指评价区域内水网实际连通环路数与最大可能连通环路数之比，反映了节点之间的物质、能量交换能力。

$$\alpha = \frac{N_r - N_p + 1}{2N_p - 5} \quad (5.4.1)$$

式中： α ——连通环度；
 N_r ——评价区域内河段总数；
 N_p ——评价区域内节点数。

5.4.3 节点连接率指评价区域内河段数与节点数之比，反映了水网中河段间连接的程度。

$$\beta = N_r / N_p \quad (5.4.2)$$

式中： β ——节点连接率；
 N_r ——评价区域内河段总数；
 N_p ——评价区域内节点数。

6 河湖水系连通水安全保障能力分析

6.1 一般规定

6.1.1 河湖水系连通水安全保障能力分析应从水资源安全保障能力、防洪安全保障能力以及水生态安全保障能力三个方面进行分析。

6.1.2 河湖水系连通水资源安全保障能力应从水资源承载能力、水资源调配能力、供水安全保障能力三方面进行分析。

6.1.3 河湖水系连通防洪安全保障能力应从防洪达标度、除涝达标度、湖库调控能力三方面进行分析。

6.1.4 河湖水系连通水生态安全保障能力应从生境维持能力、水质达标程度、生物多样性维持能力三方面进行分析。相关断面的选取和生态流量的计算应参照《水环境监测规范》（SL219-2013）、《河湖生态环境需水计算规范》（SL/T 712-2021）的有关规定。

6.2 水资源安全保障能力分析

6.2.1 水资源承载能力分析宜采用水资源开发利用程度作为主要指标，对于雨洪资源利用需求较大、地下水超采严重的区域，可选用雨洪资源利用能力或地下水开发利用率作为主要指标。

水资源开发利用程度指水资源开发利用量与水资源可开发利用率之比。水资源开发利用程度指评价区域内各类生产与生活用水及河道外生态用水的总量占评价区域内水资源总量的比例。水资源总量可用地表水资源量与地下水资源量之和减重复计量。应按公式（6.2.1-2）计算。

$$C_w = \frac{W_u/W_r}{C_0} \times 100\% \quad (6.2.1-1)$$

式中： C_w ——水资源开发利用程度；

W_u ——水资源开发利用量（ m^3 ）；

W_r ——水资源总量（ m^3 ）；

C_0 ——水资源可开发利用率。

水资源开发利用程度赋分表（建议值）见表 6.2.2-1：

表 6.2.1-1 水资源开发利用程度赋分表

水资源开发利用程度	$0 \leq C_w < 50\%$	$50\% \leq C_w < 80\%$	$80\% \leq C_w < 120\%$	$120\% \leq C_w < 150\%$	$C_w \geq 150\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

雨洪资源利用能力指通过河湖水系连通工程将雨洪转化为可利用的水资源量与雨洪总量的比值。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$F_{yh} = \frac{W_{yh}}{W_{hs}} \times 100\% \quad (6.2.1-2)$$

式中： F_{yh} ——雨洪资源利用能力；

W_{yh} ——通过河湖水系连通工程将雨洪转化为可利用的水资源量（ m^3 ）；

W_{hs} ——雨洪总量（ m^3 ）。

雨洪资源利用能力赋分表（建议值）见表 6.2.1-2：

表 6.2.1-2 雨洪资源利用能力赋分表

雨洪资源利用能力	$F_{yh} \geq 40\%$	$30\% \leq F_{yh} < 40\%$	$20\% \leq F_{yh} < 30\%$	$10\% \leq F_{yh} < 20\%$	$F_{yh} < 10\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

地下水开发利用率指评价区域内地下水的开采量与可开发利用的地下水总量的比值，反映了评价区域的地下水开发利用程度。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$\eta = \frac{W_d}{W_{dt}} \times 100\% \quad (6.2.1-3)$$

式中： η ——地下水开发利用率；

W_d ——评价区域开采的地下水量（ m^3 ）；

W_{dt} ——评价区域可开发利用的地下水总量（ m^3 ）。

地下水开发利用率赋分表（建议值）见表 6.2.1-3：

地下水开发	南方地区	$0 \leq \eta < 20\%$	$20\% \leq \eta < 30\%$	$30\% \leq \eta < 40\%$	$40\% \leq \eta < 50\%$	$\eta \geq 50\%$
-------	------	----------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------

利用率	北方地区	$0 \leq \eta < 60\%$	$60\% \leq \eta < 70\%$	$70\% \leq \eta < 80\%$	$80\% \leq \eta < 90\%$	$\eta \geq 90\%$
赋分		80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

表 6.2.1-3 地下水开发利用率赋分

6.2.2 水资源调配能力分析宜采用水资源调配率作为主要指标，对于关键时间节点或断面有较高水位保证需求的区域，可选用枯季水位保证率或代表站水位满足率作为主要指标。

水资源调配率指多年平均状态下蓄水工程调配率、河湖水系连通工程引水调配率、泵站提水调配率的加权平均值，综合反映了评价区域水资源调配能力。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$A_{\mu} = w_1 \times \gamma_{st} + w_2 \times \gamma_{dr} + w_3 \times \gamma_{lf} \quad (6.2.2-1)$$

式中： A_{μ} ——水资源调配率；

γ_{st} ——蓄水工程调配率；

γ_{dr} ——河湖水系连通工程引水调配率；

γ_{lf} ——泵站提水调配率；

w_{1-3} ——蓄水工程调配率、河湖水系连通工程引水调配率、泵站提水调配率的权重，取值范围为 0~1，且 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 。

蓄水工程调配率应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$\gamma_{st} = \frac{W_{st}}{W_{st}^*} \times 100\% \quad (6.2.2-2)$$

式中： γ_{st} ——蓄水工程调配率；

W_{st} ——蓄水工程实际蓄水量（ m^3 ）；

W_{st}^* ——蓄水工程最大蓄水能力（ m^3 ）。

河湖水系连通工程引水调配率应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$\gamma_{dr} = \frac{W_{dr}}{W_{dr}^*} \times 100\% \quad (6.2.2-3)$$

式中： γ_{dr} ——河湖水系连通工程引水调配率；

W_{dr} ——河湖水系连通工程实际引水量（ m^3 ）；

W_{dr}^* ——河湖水系连通工程最大引水量（ m^3 ）。

泵站提水调配率应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$\gamma_{lf} = \frac{W_{lf}}{W_{lf}^*} \times 100\% \quad (6.2.2-4)$$

式中： γ_{lf} ——泵站提水调配率；

W_{lf} ——泵站实际提水量（ m^3 ）；

W_{lf}^* ——泵站最大提水能力（ m^3 ）。

水资源调配率赋分表（建议值）见表 6.2.2-1：

表 6.2.2-1 水资源调配率赋分表

水资源调配率	$A_{\mu} \geq 80\%$	$70\% \leq A_{\mu} < 80\%$	$60\% \leq A_{\mu} < 70\%$	$50\% \leq A_{\mu} < 60\%$	$A_{\mu} < 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

枯季水位保证率指评价区域内关键河湖断面水位能达到枯季最低要求水位的时段数与总时段数之比，时段步长可选择天、旬或月。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$P_{sw} = \frac{T_S}{T_Z} \times 100\% \quad (6.2.2-5)$$

式中： P_{sw} ——枯季水位保证率；

T_S ——水位达到枯季最低要求水位的时段数；

T_Z ——总时段数。

枯季水位保证率赋分表（建议值）见表 6.2.2-2：

表 6.2.2-2 枯季水位保证率赋分表

枯季水位保证率	$P_{sw} \geq 95\%$	$85\% \leq P_{sw} < 95\%$	$70\% \leq P_{sw} < 85\%$	$50\% \leq P_{sw} < 70\%$	$P_{sw} < 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

代表站水位满足率指评价区域代表站水位达到供水保证水位的时段数与总时段数之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$P_Z = \frac{T_M}{T_Z} \times 100\% \quad (6.2.2-6)$$

式中：\$P_Z\$——代表站水位满足率；
 \$T_M\$——代表站水位达到供水保证水位的时段数；
 \$T_Z\$——总时段数。
 代表站水位满足率赋分表（建议值）见表 6.2.2-3：

表 6.2.2-3 代表站水位满足率赋分表

代表站水位满足率	\$P_Z \geq 98\%\$	\$95\% \leq P_Z < 98\%\$	\$90\% \leq P_Z < 95\%\$	\$80\% \leq P_Z < 90\%\$	\$P_Z < 80\%\$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.2.3 供水安全保障能力分析宜采用供水安全系数作为主要指标，对于战略水源需求较高的评价区域，可选用战略水源应急保障率作为主要指标。

供水安全系数指评价区域内所有供水工程供水能力之和与近五年平均需水量之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$P_S = W_A / W_N \quad (6.2.3-1)$$

式中：\$P_S\$——供水安全系数；
 \$W_A\$——评价区域所有供水工程供水能力之和（m³）；
 \$W_N\$——评价区域近五年平均需水总量（m³）。
 供水安全系数赋分表（建议值）见表 6.2.3-1：

表 6.2.3-1 供水安全系数赋分表

供水安全系数	\$P_S \geq 1.3\$	\$1.1 \leq P_S < 1.3\$	\$1.0 \leq P_S < 1.1\$	\$0.9 \leq P_S < 1.0\$	\$P_S < 0.9\$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

战略水源应急保障率指战略水源储备量能够满足缺水量的年数与缺水总年数的比值。可通过长系列资料计算得到每年的缺水量。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$K_W = \frac{T_E}{T_{lac}} \times 100\% \quad (6.2.3-2)$$

式中：\$K_W\$——战略水源应急保障率；
 \$T_E\$——战略水源储备量能够满足缺水量的年数；
 \$T_{lac}\$——该地区缺水的总年数。
 战略水源应急保障率赋分表（建议值）见表 6.2.3-2：

表 6.2.3-2 战略水源应急保障率赋分表

战略水源应急保障率	\$K_W \geq 90\%\$	\$80\% \leq K_W < 90\%\$	\$70\% \leq K_W < 80\%\$	\$60\% \leq K_W < 70\%\$	\$K_W < 60\%\$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.3 防洪安全保障能力分析

6.3.1 防洪达标度分析宜采用防洪体系达标率作为主要指标，对于相关资料难以获取的评价区域，可选用防洪堤防达标率作为主要指标。

防洪体系达标率指评价区域内满足预期标准的防洪工程个数与评价区域防洪工程总个数之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$F_A = \frac{N_{fs}}{N_f} \times 100\% \quad (6.3.1-1)$$

式中：\$F_A\$——防洪体系达标率；
 \$N_{fs}\$——评价区域内满足预期标准的防洪工程个数；
 \$N_f\$——评价区域防洪工程总个数。
 评价区域防洪体系达标率赋分表（建议值）见表 6.3.1-1：

表 6.3.1-1 防洪体系达标率赋分表

防洪体系达标率	\$F_A \geq 95\%\$	\$80\% \leq F_A < 95\%\$	\$75\% \leq F_A < 80\%\$	\$60\% \leq F_A < 75\%\$	\$F_A < 60\%\$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

防洪堤防达标率指评价区域内满足防洪要求堤防长度与堤防总长度之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$R_s = \frac{L_s}{L_{tot}} \times 100\% \quad (6.3.1-2)$$

式中： R_s ——防洪堤防达标率；
 L_s ——防洪堤防达标长度（m）；
 L_{tot} ——防洪堤防总长度（m）。

防洪堤防达标率赋分表（建议值）见表 6.3.1-2：

表 6.3.1-2 防洪堤防达标率赋分表

防洪堤防达标率	$R_s \geq 95\%$	$80\% \leq R_s < 95\%$	$70\% \leq R_s < 80\%$	$60\% \leq R_s < 70\%$	$R_s < 60\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.3.2 除涝达标度分析宜采用排涝体系达标率作为主要指标，对于相关资料难以获取的区域，可选用水库排涝达标率作为主要指标。

排涝体系达标率指评价区域内排涝达标面积与规划排涝总面积之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$R_l = \frac{M_c}{M_y} \times 100\% \quad (6.3.2-1)$$

式中： R_l ——排涝体系达标率；
 M_c ——排涝达标面积（m²）；
 M_y ——规划排涝总面积（m²）。

排涝体系达标率赋分表（建议值）见表 6.3.2-1：

表 6.3.2-1 排涝体系达标率赋分表

排涝体系达标率	$R_l \geq 95\%$	$80\% \leq R_l < 95\%$	$70\% \leq R_l < 80\%$	$60\% \leq R_l < 70\%$	$R_l < 60\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

水库排涝达标率指评价区域内水库排涝达标面积与水库规划排涝总面积之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$K_c = \frac{M_{cl}}{M_{yl}} \times 100\% \quad (6.3.2-2)$$

式中： K_c ——水库排涝达标率；
 M_{cl} ——水库排涝达标面积（m²）；
 M_{yl} ——水库规划排涝总面积（m²）。

水库排涝达标率赋分表（建议值）见表 6.3.2-2：

表 6.3.2-2 水库排涝达标率赋分表

水库排涝达标率	$K_c \geq 85\%$	$75\% \leq K_c < 85\%$	$65\% \leq K_c < 75\%$	$55\% \leq K_c < 65\%$	$K_c < 55\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.3.3 湖库调控能力分析宜采用区域滞洪能力作为主要指标，对于水库淤积问题突出的区域，可选用关键水库库容淤积损失率作为主要指标。

区域滞洪能力指评价区域内的蓄洪总量与历史典型洪水或相应频率洪水来水总量之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$R_f = \frac{W_p}{W_f} \times 100\% \quad (6.3.3-1)$$

式中： R_f ——评价区域滞洪能力；
 W_p ——蓄洪总量（m³）；
 W_f ——历史典型洪水或相应频率洪水来水总量（m³）。

区域滞洪能力赋分表（建议值）见表 6.3.3-1：

表 6.3.3-1 区域滞洪能力赋分表

区域滞洪能力	$R_f \geq 95\%$	$85\% \leq R_f < 95\%$	$75\% \leq R_f < 85\%$	$50\% \leq R_f < 75\%$	$R_f \leq 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

关键水库库容淤积损失率指截至评价基准年总计淤积损失库容与建库总库容之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$K_y = \frac{V_{los}}{V} \times 100\% \quad (6.3.3-2)$$

式中： K_y ——关键水库库容淤积损失率；
 V_{los} ——总计淤积损失库容（ m^3 ）；
 V ——建库总库容（ m^3 ）。

关键水库库容淤积损失率赋分表（建议值）见表 6.3.3-2：

表 6.3.3-2 关键水库库容淤积损失率赋分表

关键水库库容淤积损失率	$K_y < 15\%$	$15\% \leq K_y < 20\%$	$20\% \leq K_y < 30\%$	$30\% \leq K_y < 40\%$	$K_y \geq 40\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.4 水生态安全保障能力分析

6.4.1 生境维持能力分析宜采用生态流量（水位）保障率作为主要指标，对于关键时期或水陆交错带有较高生境维持能力需求的区域，可选用水陆交错带面积指数或关键生活史时期流速（水位）适宜度作为主要指标。

生态流量（水位）保障率指满足生态流量（水位）的断面（水体）个数与评价断面（水体）总个数之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$H_F = \frac{D_F}{D_E} \times 100\% \tag{6.4.1-1}$$

式中： H_F ——生态流量（水位）保障率；
 D_F ——满足生态流量（水位）的断面（水体）个数；
 D_E ——评价断面（水体）总个数。

生态流量（水位）保障率赋分表（建议值）见表 6.4.1-1：

表 6.4.1-1 生态流量（水位）保障率赋分表

生态流量（水位）保障率	$H_F \geq 95\%$	$80\% \leq H_F < 95\%$	$70\% \leq H_F < 80\%$	$50\% \leq H_F < 70\%$	$H_F < 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

水陆交错带面积指数指满足水陆交错带面积或宽度要求的水体个数与评价水体总个数之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$H_A = \frac{L_O}{L_E} \times 100\% \tag{6.4.1-2}$$

式中： H_A ——水陆交错带面积指数；
 L_O ——满足水陆交错带面积或宽度要求的水体个数；
 L_E ——评价水体总个数。

水陆交错带面积指数赋分表（建议值）见表 6.4.1-2：

表 6.4.1-2 水陆交错带面积指数赋分表

水陆交错带面积指数	$H_A \geq 95\%$	$80\% \leq H_A < 95\%$	$70\% \leq H_A < 80\%$	$50\% \leq H_A < 70\%$	$H_A < 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

关键生活史时期流速（水位）适宜度指评价区域河湖流速（水位）达标断面个数与参与评价的河湖断面总个数之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$H_V = \frac{N_O}{N_E} \times 100\% \tag{6.4.1-3}$$

式中： H_V ——关键生活史时期流速（水位）适宜度；
 N_O ——河湖流速（水位）达标断面个数；
 N_E ——参与评价的河湖总断面个数。

关键生活史时期流速（水位）适宜度赋分表（建议值）见表 6.4.1-3：

表 6.4.1-3 关键生活史时期流速（水位）适宜度赋分表

关键生活史时期流速（水位）适宜度	$H_V \geq 95\%$	$80\% \leq H_V < 95\%$	$75\% \leq H_V < 80\%$	$60\% \leq H_V < 75\%$	$H_V < 60\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.4.2 水质达标程度分析宜采用代表断面水质达标率作为主要指标，也可选用水功能区水质达标率或区域河湖水体交换率作为主要指标。

代表断面水质达标率指评价区域代表断面水质达标个数与评价区域代表断面总个数之比。应按公式

错误!未找到引用源。计算。

$$W_S = \frac{A_O}{A_E} \times 100\% \quad (6.4.2-1)$$

式中： W_S ——代表断面水质达标率；
 A_O ——代表断面水质达标个数；
 A_E ——代表断面总个数。

代表断面水质达标率赋分表（建议值）见表 6.4.2-1：

表 6.4.2-1 代表断面水质达标率赋分表

代表断面水质达标率	$W_S \geq 95\%$	$80\% \leq W_S < 95\%$	$70\% \leq W_S < 80\%$	$50\% \leq W_S < 70\%$	$W_S < 50\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

水功能区水质达标率指评价区域内达标水功能区个数与水功能区总个数之比，水质达标率按全因子评价。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$W_Q = \frac{F_O}{F_E} \times 100\% \quad (6.4.2-2)$$

式中： W_Q ——水功能区水质达标率；
 F_O ——水功能区达标个数；
 F_E ——水功能区总个数。

水功能区水质达标率赋分表（建议值）见表 6.4.2-2：

表 6.4.2-2 水功能区水质达标率赋分表

水功能区水质达标率	$W_Q \geq 95\%$	$80\% \leq W_Q < 95\%$	$60\% \leq W_Q < 80\%$	$40\% \leq W_Q < 60\%$	$W_Q < 40\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

区域河湖水体交换率指年度河湖入库水量与河湖容积之比。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$W_E = \frac{R_Z}{V_h} \times 100\% \quad (6.4.2-3)$$

式中： W_E ——评价区域河湖水体交换率；
 R_Z ——评价区域内年度河湖入库水量（ m^3 ）；
 V_h ——评价区域内河湖容积（ m^3 ）。

河湖水体交换率赋分表（建议值）见表 6.4.2-3：

表 6.4.2-3 区域河湖水体交换率赋分表

区域河湖水体交换率	$200\% \leq W_E < 1200\%$	$100\% \leq W_E < 200\%$	$50\% \leq W_E < 100\%$	$30\% \leq W_E < 50\%$	$W_E < 30\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.4.3 生物多样性维持能力分析宜采用指示性物种多样性作为主要指标，对于指示性物种难以选取的区域，可选用主要类群物种多样性作为主要指标。

指示性物种多样性指评价区域内指示性物种的种类数与参照系统中指示性物种的种类数之比，可将历史状态、其他优良系统或管理预期目标作为参照系统。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$B_I = \frac{M_O}{M_E} \times 100\% \quad (6.4.3-1)$$

式中： B_I ——指示性物种多样性；
 M_O ——指示性物种的种类数；
 M_E ——参照系统中指示性物种的种类数。

指示性物种多样性赋分表（建议值）见表 6.4.3-1：

表 6.4.3-1 指示性物种多样性赋分表

指示性物种多样性	$B_I \geq 90\%$	$70\% \leq B_I < 90\%$	$50\% \leq B_I < 70\%$	$20\% \leq B_I < 50\%$	$B_I < 20\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

主要类群物种多样性为评价区域内主要水生生物类群的种类数量与参照系统主要类群的种类数量比值的算术平均值，可将历史状态、其他优良系统或管理预期目标作为参照系统。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$B_M = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i / JY_i)}{n} \times 100\% \quad (6.4.3-2)$$

式中： B_M ——主要类群物种多样性；

n ——类群总数；
 Y_i ——评价区域内第 i 个类群的物种数；
 JY_i ——评价区域内参照系统第 i 个类群的物种数。
 主要类群物种多样性赋分表（建议值）见表 6.4.3-2：

表 6.4.3-2 主要类群物种多样性赋分表

主要类群物种多样性	$B_M \geq 90\%$	$70\% \leq B_M < 90\%$	$50\% \leq B_M < 70\%$	$20\% \leq B_M < 50\%$	$B_M < 20\%$
赋分	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20

6.5 河湖水系连通水安全保障能力综合分析

6.5.1 河湖水系连通水安全保障能力分析可采用层次分析法，综合水资源安全保障能力、防洪安全保障能力、水生态安全保障能力三方面，依据指标计算得分及权重，逐级加权，综合计算评价区域河湖水系连通水安全保障能力得分。

6.5.2 河湖水系连通水资源安全保障能力、防洪安全保障能力和水生态安全保障能力分析得分为 0~100，分值越高该项保障能力越高。

6.5.3 河湖水系连通水安全保障能力得分（ CI_{ws} ）为 0~100，可分为以下四个等级：

- （1）A： $CI_{ws} > 90$ ，表明评价区域河湖水系连通水安全保障能力高；
- （2）B： $80 < CI_{ws} \leq 90$ ，表明评价区域河湖水系连通水安全保障能力较高；
- （3）C： $60 < CI_{ws} \leq 80$ ，表明评价区域河湖水系连通水安全保障能力中等；
- （4）D： $CI_{ws} \leq 60$ ，表明评价区域河湖水系连通水安全保障能力较低。

7 河湖水系连通水安全保障能力综合评价

7.0.1 河湖水系连通水安全保障能力综合评价应包括水安全保障问题识别、河湖水系连通水安全保障能力评价、河湖水系连通建议和评价报告编制等四部分。

7.0.2 水安全保障问题识别应依据评价区域河湖水系连通水安全保障综合分析结果，对评价区域内存在的水资源安全、防洪安全、水生态安全问题进行识别。

7.0.3 河湖水系连通水安全保障能力评价应依据河湖水系连通对水安全的保障机制，基于河湖水系连通状态分析结果，评估河湖水系连通的水安全保障能力，辨识评价区域水安全保障能力不足的河湖水系连通问题。

7.0.4 应根据评价工作目的，结合评价区域河湖水系连通水安全保障能力分析结果，针对评价区域水安全保障能力不足的河湖水系连通问题提出连通建议，或针对多种河湖水系连通工程实施方案提供对比评价结果。

7.0.5 河湖水系连通水安全保障能力评价报告应详述评价工作方案、评价区域概况、指标选取及数据、河湖水系连通状态分析结果、河湖水系连通水安全保障能力分析结果、河湖水系连通水安全保障能力综合评价结果等内容，具体见附录 A《河湖水系连通水安全保障能力评价报告》编制提纲。

附录 A 《河湖水系连通水安全保障能力评价报告》编制提纲

- 1 评价工作方案
 - 1.1 评价工作目的
 - 1.2 评价范围
 - 2 评价区域概况
 - 2.1 评价区域自然地理情况
 - 2.2 水文气象条件及社会经济状况
 - 2.3 河湖水系演变历史
 - 2.4 评价区域水安全特点及存在问题
 - 3 指标选取及数据
 - 3.1 指标选取依据
 - 3.2 指标体系
 - 2.3 数据收集与调查
 - 4 河湖水系连通状态分析
 - 4.1 数量特征
 - 4.2 过程特征
 - 4.3 质量特征
 - 4.4 空间特征
 - 5 河湖水系连通水安全保障能力分析
 - 5.1 指标计算过程
 - 5.2 赋分结果
 - 5.3 指标权重选取
 - 5.4 水安全保障能力分析
 - 6 河湖水系连通水安全保障能力综合评价
 - 6.1 水安全保障问题识别

河湖水系连通水安全保障能力评价

河湖水系连通问题及建议

综合评价结果
- 专题附图
- 评价区域位置图
- 评价区域河湖水系图
- 评价区域水资源分区图
- 评价区域水功能区划图
- 评价区域重要水工程布置图

标准用词说明

- 1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

团体标准

河湖水系连通水安全保障能力评价技术导则

T/CHES XXX—20XX

条 文 说 明

制定说明

《河湖水系连通水安全保障能力评价技术导则》T/CHESXXX-20XX（以下简称本标准），经中国水利学会 20XX 年 X 月 XX 日发布。

本标准编制过程中，编制组参考了大量国内外已有的相关法规、技术标准，征求了专家、相关部门和社会各界对原规范以及规范修订的意见，并与相关国家标准、规范相衔接。

为便于广大规划设计、管理、科研、学校等有关单位人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由作出了解释。但是，条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则.....	20
3	基本规定.....	21
4	资料收集与调查.....	22
5	河湖水系连通状态分析.....	23
6	河湖水系连通水安全保障能力分析.....	24
7	河湖水系连通水安全保障能力综合评价.....	27

1 总 则

1.0.1 河湖水系是水资源的重要载体和生态环境的重要组成部分，对经济社会发展有重要支撑作用。人类文明的出现、社会的进步和发展，都与河湖水系密不可分。同时，河湖水系连通对水安全保障的影响存在综合性、复杂性和不确定性，亟待从“水资源-水灾害-水生态”多角度筛选对河湖水系连通特征变化敏感的水安全保障能力指标，构建河湖水系连通水安全保障能力评价体系，为制定河湖水系连通方案提供科学指导。

1.0.5 河湖水系连通水安全保障能力评价涉及多方面资料，存在来源多、跨度长及不确定性大等问题，在开展评价前，需要进行准确性、可靠性和一致性审查，以保证结果合理。

1.0.7 指标设置的合理性直接影响着评价结果的可信度，指标的选择应遵从以下原则，以保证评价结果的合理性。

（1）代表性原则：用于评价的各项指标宜少而精，并具有很好的代表性，可较好地反映河湖水系连通水安全保障能力；

（2）独立性原则：用于评价的各项指标宜相对独立，指标间不宜存在含义重复；

（3）敏感性原则：用于评价的各项指标宜敏感于河湖水系连通特征的变化；

（4）可操作性原则：用于评价的各项指标可从现有观测统计成果中搜集整理，或可通过合理的补充监测手段获取，便于操作。

3 基本规定

3.0.1 本条规定河湖水系连通状态分析应从数量、质量、过程以及空间四方面开展。河湖水系连通数量特征，如河网密度与水面率，一定程度上反映了过水通道的多少与和水资源调蓄库容的大小，与水资源储存调配、洪水宣泄等水安全保障问题密切相关；质量特征反映河道的水环境、水生态服务功能，一些河道闸坝工程在增强水资源利用率的同时存在降低河道水质、水生态质量的问题；过程特征反映河湖水系中物质、能量等在时间维度的迁移动态，与河道水动力特征密切相关，适宜的河道水动力能够更好地调配水资源、宣泄洪水、提高水生态承载能力；空间特征，如节点连接率，反映了河湖水系河段间在空间分布上的联系程度，与水资源分配、生境保护和修复、水环境质量改善等密切相关，适宜的河湖连通状态可为物质及能量在空间上的迁移及转换提供条件。

3.0.2 河湖水系连通工程主要用来解决水资源、防洪和水生态等三方面的水安全问题，同时其与水安全三方面的影响相互关联，密不可分。因此，本标准规定区域河湖水系连通水安全保障能力分析应从水资源安全保障能力、防洪安全保障能力和水生态安全保障能力三方面展开。

4 资料收集与调查

4.0.2 自然地理概况资料要采用最新资料，准确反映评价区域当前自然地理条件的各方面特征，收集与调查评价区域面积及评价区域内河道、湖泊、水库、湿地和消落带等面积资料，地貌类型、岩石和土壤性质等地形地质资料，所属气候类型资料。

4.0.3 水文气象资料要收集评价区域内水文站的流量、水位、流速和含沙量资料以及气象站的降水量、气温资料，对于冬季水面会冻结的评价区域还应收集水文站的冰情资料。

4.0.4 社会经济资料要以国家公布的数据源为准，采用权威机构发布的最新统计资料（如统计年鉴）。对资料相对匮乏的地区，可仅收集与调查地区生产总值等宏观经济数据。

4.0.5 河湖水系特征资料要能反映评价区域河湖水系多年平均状态下的连通特征，收集与调查评价区域水系图、河流比降、河流横断面面积和水位、各级河道长度等水系几何特征资料，断流位置和天数等河道断流情况资料以及滨岸带长度和面积等岸线特征资料。

4.0.6 水利工程资料要充分反映评价区域引-蓄-调-供水的能力，收集与调查各类水利工程的位置、规模、建设时间、设计及运行管理情况等资料，包括水库的特征库容、蓄泄特征曲线和淤积库容资料，水电站水库调度图，堤防的长度、等级、保护范围和现状防洪能力资料，蓄滞洪区的蓄洪容积、蓄洪水位资料，闸坝工程的过流能力资料，分洪道、河道整治工程的泄流能力资料，泵站的排水和提水能力资料，供排水工程年供排水量、应急备用水源工程水资源储备量、引调水工程年引调水量资料等。

4.0.7 水资源特征资料要从水资源公报、水利普查、水文年鉴、水资源规划等文件中收集地表水资源量、地下水资源量和水资源总量等水资源量资料，地表及地下水开发利用量、评价区域工农业和生活用水总量及需水量、输水和用水过程中的耗水量、水资源可开发利用率等水资源开发利用资料。

4.0.8 防洪资料要收集防洪标准、现状防洪能力、防洪总体布局、防洪规划方案等防洪规划资料，洪水调度方案、超标洪水防御及应急预案、洪水风险图等防洪非工程措施资料以及历史典型洪水的洪水过程线、洪峰流量和洪量等洪水资料。

4.0.9 水生态资料要从评价区域环保部门和政府发布的水质公报以及水产研究机构、农业农村局、生态环境局等水生态管理机构相关生态报告中收集，或通过现场调查获取相关信息，充分掌握评价区域水生态现状。收集与调查河流断面及水功能区污染情况、水生生物和指示性物种及主要类群的种类和数量、河湖水库生态流量和水位、水陆交错带面积等资料。

5 河湖水系连通状态分析

5.1 数量特征

5.1.1~5.1.3 河湖水系连通数量特征可从长度和面积两方面表征，宜采用河网密度和水面率两个指标衡量。这两个指标一定程度上反映了评价区域水网疏密程度和水量滞蓄能力。河网密度和水面率越大，表明评价区域内过水通道越多，流域蓄水容量和水生物承载能力越大，有利于保障区域水资源、防洪以及水生态安全。

5.2 质量特征

5.2.1 河湖水系连通质量特征可通过河道上下游间以及水陆间的物质、能量交换能力表征，宜采用纵向连通性和横向连通性两个指标衡量。

5.2.2 由于受到拦河水利工程的干扰，计算纵向连通性时须考虑不同拦河水利工程阻隔能力的差异。纵向连通性越趋近 0，表明纵向连通性越好；其值越大，表明河湖水系连通被阻隔程度越大，纵向连通性越差。

5.2.3 横向连通性的值域为 0~1，其值的大小表征了河湖水系横向连通性的高低。针对不同的水安全保障需求，可基于水域面积或滨岸带长度计算横向连通性。

5.3 过程特征

5.3.1~5.3.3 河湖水系连通过程特征可从水流的连续性和流动性两方面表征，宜采用河道断流天数和水流动势两个指标衡量。河道断流天数可反映河湖水系在时间过程上的连通程度，断流天数越少表明时间过程上的连通程度越高。水流动势很大程度上决定了河湖水系中水体的流动速度，水流动势较大的河流通常具有较快的流速，更能促进水体流动和洪水宣泄，有利于保障区域水安全。

5.4 空间特征

5.4.1~5.4.3 依据景观生态学，可将河湖水系起源、交汇点和断头点概化为节点，各节点之间的部分概化为廊道，位于同一河段上的湖泊和水库宜与河道视为整体，水闸、节制闸和涵管等水利工程措施宜在纵向连通性中进行考虑，不宜概化为节点。河湖水系连通使得水系在空间上相互交错，形成网络结构（如图 1 所示），其空间特征宜采用连通环度和节点连接率两个指标衡量。连通环度值域为 0~1，节点连接率值域为 0~3。连通环度和节点连接率值越大，表明水网空间连通程度越高，断头河数量越少，有利于洪水宣泄和物质、能量在空间上的迁移。

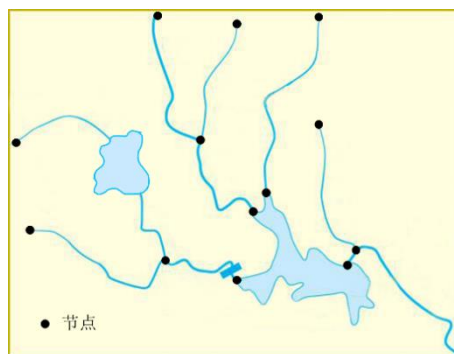


图 1 区域河湖水系概化示意图

6 河湖水系连通水安全保障能力分析

6.1 一般规定

6.1.1 河湖水系连通是优化水资源战略配置、提高水灾害抵御能力、促进水生态文明建设的有效举措，在水安全保障中起到了举足轻重的作用。水资源安全、防洪安全和水生态安全仅是水安全的一部分，各评价区域实际情况各不相同，依据评价区域的实际情况可增加受河湖水系连通影响的其他水安全方面。

6.1.2 河湖水系是区域内取用水来源和输送通道，其连通特征的变化可影响区域内水资源开发、输送及调配。因此，选取水资源承载能力、水资源调配能力、供水安全保障能力三方面反映河湖水系连通特征下的水资源安全保障能力。改善河湖水系连通的数量、质量、过程和空间特征，可提高水资源安全保障能力。

6.1.3 河湖水系可为洪水提供宣泄通道和蓄滞空间，其连通特征的变化可影响区域内分洪过流能力、行洪通道和蓄滞容积。因此，选取防洪达标度、除涝达标度、湖库调控能力三方面反映河湖水系连通特征下的防洪安全保障能力。改善河湖水系连通的空间、过程和数量特征，可提高防洪安全保障能力。

6.1.4 河湖水系是重要的生物栖息地和生态系统物质、能量交换输送通道，其连通特征的变化可影响生物的生存环境、水环境质量和生物多样性。因此，选取生境维持能力、水质达标程度、生物多样性维持能力三方面反映河湖水系连通特征下的水生态安全保障能力。改善河湖水系连通的数量、质量、过程和空间特征，可提高水生态安全保障能力。

6.2 水资源安全保障能力分析

6.2.1 河湖水系连通可优化区域输水通道，充分开发利用水源地相对丰富的水资源，提高区域整体的水资源开发利用水平，改善地区水资源承载能力。水资源承载能力可依据评价区域实际情况通过水资源开发利用程度、雨洪资源利用能力或地下水开发利用等指标反映。

水资源开发利用程度指标中各流域水资源总量在全国水资源评价中都有权威数据以备查用。国际上公认的水资源可开发利用率为 30%~50%，要依据评价区域实际情况及水资源综合规划有关成果，确定区域水资源可开发利用率。

雨洪资源利用能力指标中雨洪资源利用是指保证防洪和生态安全的前提下，综合利用工程和非工程措施，将雨水和洪水适时适度地转化为可供利用的水资源。

6.2.2 通过增强河湖水系之间的连通性，可提高地区水资源输送能力，增加地区的可供水量，从而有效提升水资源利用能力和调配能力。

对水资源调配率进行计算时，要首先计算各子项的值，然后根据评价区域内各工程调配率的重要程度分配权重，通过加权求和得到水资源调配率的值。

6.2.3 通过建立不连通水系之间的连通通道，可实现区域内水资源的合理引调，实现对缺水地区的水资源补给，提高区域供水保障能力。

6.3 防洪安全保障能力分析

6.3.1 通过改善河湖水系连通状况，可恢复和建立河流、湖泊、湿地等水体之间的水力联系，疏通行洪通道，有助于形成引排顺畅、蓄泄得当、丰枯调剂、多源互补、可调可控的江河湖库水网体系，进而提高防洪能力。

6.3.2 河道淤积、排水通道堵塞是造成洪水引排不畅，涝水淤积的重要原因。河湖水系连通可优化排涝体系布局和排水方式，进而提高排涝能力。

6.3.3 由于垦殖等原因，区域水系空间被压缩，许多湖泊淀洼调蓄能力大幅降低，通过改善河湖水系连通状况可维系洪水蓄滞空间，降低灾害风险，提高湖库调控能力。

6.4 水生态安全保障能力分析

6.4.1 河湖水系连通状态改变可导致水文节律和水动力特征发生变化,影响栖息地环境及分布,进而对水生态系统产生直接或间接的影响。

生态流量(水位)可直接采用水利部或地方政府部门的核算值,若核算值难以获取,可参考该评价区域内大小相近(年均径流量或容积在同一个数量级)河流(湖库)的生态流量(水位)值。选取河流的主要控制断面及湖库的代表性水位站进行评价,若分析资料中出现不满足生态流量(水位)的情况,则认为不达标。

水陆交错带指水体与陆地之间的过渡带。适宜的左、右岸河岸宽度通常均大于河槽宽度的 40%;对于浅水湖泊,适宜的水陆交错带面积通常为湖泊面积的 10%~50%。

生活史指个体从出生、生长发育、繁殖直到死亡的全部生命过程。关键生活史时期是指水生生物繁殖和幼体生长的主要时期。通常 3 至 6 月是大部分物种的关键生活史时期。当评价水体流速(水位)达到主要水生生物类群或重要物种繁殖和幼体生长的需求时,该水体的流速(水位)被认为是适宜的。

6.4.2 连通通道的增减可对水体的水质产生影响,水质达标程度可综合反映水体的水质情况。

区域河湖水体交换率可参考评价区域内水质达标河流或湖库的换水周期,确定水体交换率的适宜范围。

6.4.3 生物多样性维持能力能够反映河湖水系连通状态改变对生物多样性的影响。

指示性物种多样性可将历史状态、其他优良系统或管理预期目标作为参照系统。指示性物种是指可以反映环境质量信息的生物体,具有分类明确、生态学特征明显、易于量化、对环境压力高度敏感等特征,要选取对河湖水系连通响应敏感的生物类群,如洄游性鱼类、底栖动物中的双壳类和 EPT(蜉蝣目、襀翅目及毛翅目)、硅藻等。

主要类群物种多样性可将历史状态、其他优良系统或管理预期目标作为参照系统。依据水体类型选取主要水生生物类群,河流生态系统可选择鱼类、底栖动物和硅藻,湖泊可选择鱼类、底栖动物和大型水生植物,水库可选择鱼类、底栖动物和浮游植物。

6.5 河湖水系连通水安全保障能力综合分析

6.5.3 层次分析法将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础之上进行定性和定量分析,形成一个多层次的评价分析模型。依据评价区域河湖水系水安全保障需求及专家意见确定指标相应重要程度,形成判断矩阵,计算出每个评价指标对上一级指标的影响权重。若评价区域内只有某一方面的水安全问题突出,可将其他方面的权重设置为 0。通过逐层计算得到评价得分,其主要步骤如下:

(1) 构造判断矩阵:针对某一个评价指标的下一级,有 n 个同级指标, a_{ij} 为第 i 个指标对第 j 个指标的相对重要性,根据专家意见通过 9 标度方法确定。构成的判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 处理判断矩阵:对判断矩阵 A 的每列进行归一化处理,计算判断矩阵的特征向量与最大特征值,并计算随机一致性比率进行一致性检验。

$$B = (b_{ij})_{n \times n}, \quad b_{ij} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

$$C = (C_1, C_2, \dots, C_n)^T, \quad C_{ij} = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (3)$$

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T \quad (4)$$

$$W_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (5)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{W_i} \quad (6)$$

$$CR = CI/RI \quad (7)$$

$$CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \tag{8}$$

式中： W ——矩阵近似特征向量；
 λ_{max} ——最大特征值；
 AW_i —— AW 的第*i*个分量；
 CR ——判断矩阵的随机一致性比率；
 CI ——判断矩阵的一般一致性指标；
 RI ——通过查表获得。

表 1 层次分析法一致性 RI 表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45
n	10	11	12	13	14	15			
RI	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59			

若 $CR<0.1$ ，则认为判断矩阵通过一致性检验。最大特征值 λ_{max} 所对应的特征向量 W 的各个分量代表了该层各指标对于上一级指标的相对权重。

(3) 按照上述过程计算每一级指标权重，自下而上逐级相乘得到每个评价指标相对总目标的权重，并最终将各指标按其权重逐级加权对目标进行综合评价。应按公式错误!未找到引用源。计算。

$$CI_{ws}=\sum_{i=1}^3\sum_{j=1}^3w_i^*w_{ij}I_{ij} \tag{9}$$

式中： CI_{ws} ——河湖水系连通水安全保障能力得分；
 w_i^* ——分别为水资源安全、防洪安全和水生态安全三方面保障能力的权重；
 w_{ij} ——第*i*方面保障能力中第*j*个方面的权重；
 I_{ij} ——第*i*方面保障能力第*j*个分析指标得分。

7 河湖水系连通水安全保障能力综合评价

7.0.3 河湖水系连通数量、质量、过程以及空间特征与水安全保障能力之间存在复杂的驱动关系，水资源、防洪和水生态安全同时受多个河湖水系连通特征的影响，要基于河湖水系连通状态分析结果，依据二者之间的作用机制，识别可能引起水安全问题的河湖水系连通特征，为提出评价区域河湖水系连通建议提供依据。

7.0.4 在提出河湖水系连通建议时需要综合考虑河湖水系连通状态变化可能带来的水资源、防洪、水生态等多方面的水安全风险。

7.0.5 河湖水系连通水安全保障能力评价报告要包含以下部分：

- (1) 评价工作方案：明确评价工作的目的，说明评价的范围；
- (2) 评价区域概况：概要说明评价区域的自然地理、水文气象及经济社会状况和河湖水系演变历史，分析评价区域水安全的主要特点及存在问题；
- (3) 指标选取及数据：说明指标选取的依据，确定评价指标体系，并对所需数据的来源和调查过程进行详细说明；
- (4) 河湖水系连通状态分析：收集和复核河湖水系连通特征资料，分析评价区域河湖水系数量、质量、过程及空间特征，明确评价区域河湖水系连通状态；
- (5) 河湖水系连通水安全保障能力分析：收集和复核水安全保障能力分析资料，计算各指标值，并依据建议赋分表进行赋分。按照层次分析法，逐一说明各指标的权重设置、计算过程，最终计算得到评价区域河湖水系连通水安全保障能力得分，并进行评级；识别水安全保障存在的问题；
- (6) 河湖水系连通水安全保障能力综合评价：综合河湖水系连通状态分析和水安全保障能力分析结果，依据河湖水系连通对水安全保障的作用机制，针对评价区域水安全保障能力不足的河湖水系连通问题提出连通建议，或针对不同河湖水系连通实施方案的水安全保障能力分析结果，给出实施方案选择建议；
- (7) 专题图：包括评价区域位置图、河湖水系分布图、水资源分区图、水功能区区划图、重要水利工程布置图等。