

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

河道崩岸预警技术导则

Technical guidelines for early-warning of bank erosion

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 录

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本资料收集与分析	1
4.1 资料类型	1
4.2 气象水文资料	2
4.3 地形资料	2
4.4 地质资料	2
4.5 历史崩岸资料	2
4.6 堤防资料	2
4.7 护岸工程资料	3
4.8 涉水工程资料	3
4.9 其他资料	3
4.10 资料分析	3
5 崩岸监测	3
5.1 监测内容	3
5.2 监测范围与频次	4
5.3 监测布置与要求	4
6 崩岸预测	4
6.1 内容与流程	4
6.2 范围与频次	4
6.3 潜在崩岸区域	4
6.4 预测子河段布置	5
6.5 崩岸可能性	5
6.6 崩岸规模	5
7 崩岸预警	5
7.1 崩岸预警等级	5
7.2 崩岸预警报告	6
附录 A（资料性） 冲积平原河道崩岸类型与常见影响因素	7
附录 B（资料性） 崩岸可能性等级评判方法	9
附录 C（资料性） 崩岸严重性等级与预警等级划分表	12
附录 D（资料性） 崩岸预警成果报告提纲	14
附录 E（资料性） 崩岸预警等级划分算例	16
参考文献	18

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，本文件按照 GB/T 1.1—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。

本文件为 7 章和 5 个附录，主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、基本资料收集与分析、崩岸监测、崩岸预测、崩岸预警等。

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这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（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。

本文件主编单位：武汉大学

本文件参编单位：南京水利科学研究所，长江勘测规划设计研究有限责任公司，长江水利委员会长江科学院，长江水利委员会水文局，中国水利水电科学研究所，黄河水利委员会河南黄河河务局，珠江水利委员会珠江水利科学研究所

本文件主要起草人：夏军强，邓珊珊，假冬冬，尚钦，周美蓉，许全喜，陈前海，秦凯，段光磊，张幸农，史红玲，李东阳，张波，扶卿华，冯志勇，刘鑫，黄烈敏，刘佳嘉，严子奇

河道崩岸预警技术导则

1 范围

本标准规定了河道崩岸预警技术的内容与要求。

本标准适用于在崩岸险情发生前开展冲积平原河道的崩岸预警工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过本文件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。

SL 252—2017	水利水电工程等级划分及洪水标准
SL 383—2007	河道演变勘测调查规范
MZ/T 03—2012	自然灾害风险分级方法
T/CHES 57—2021	河道崩岸监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

崩岸 bank erosion

在近岸水沙与河床边界的相互作用下，河岸受到各种因素作用而发生坡脚冲刷与岸坡崩塌的现象。

3.2

崩岸预测 bank erosion prediction

在水文泥沙、地形、气象等监测或预报成果的基础上，对崩岸发生的位置、可能性大小（概率）与规模做出预测。

3.3

崩岸预警 bank erosion early-warning

在崩岸险情发生前，对潜在的崩岸险情提前作出预警。

3.4

崩岸预警等级 early-warning grade of bank erosion

根据崩岸发生的可能性与严重性等级，对不同区域设定相应的预警等级。

4 基本资料收集与分析

4.1 资料类型

4.1.1 收集目标河段的资料类型，包括气象水文、地形、地质、历史崩岸、堤防、护岸工程、涉水工程与其他资料。

4.1.2 气象水文资料包括实测数据与预报数据。

4.1.3 气象水文、地形资料的测量时间与频次能反映短期内气象变化、河道水流泥沙运动与河床冲淤的调整特征。

4.2 气象水文资料

4.2.1 收集目标河段的自然地理、河道特性、水文/水位站网分布、暴雨洪水特性、冰情等资料；采集上下游已有站点的实时与预报流量、输沙率、水位等数据。

4.2.2 当目标河段上下游设有水文站时，充分利用水文站的水文、泥沙观测资料；当调查河段上下游无水文站观测资料时，应开展水文、泥沙调查。水文、泥沙调查按照 SL 383—2007 第 2 章的规定执行。

4.2.3 条件允许时，收集流场、主流位置数据；条件受限时，可通过历史资料分析法、经验法、数学模型计算等方法确定目标河段的流场情况与主流位置。

4.2.4 条件允许时，收集近岸地下水位资料；条件受限时，可通过历史资料分析法、经验法、数学模型计算等方法确定地下水位变化情况。

4.2.5 收集降雨、冻融与气温数据。

4.3 地形资料

4.3.1 收集目标河段的河道地形资料，包括平面控制测量、高程控制测量、数字地形测量、航空摄影测量、卫星遥感测量等资料。

4.3.2 统一地形资料坐标和高程系统，并明确与水文站高程系统的转换关系。

4.3.3 河道地形包括水下地形与岸上地形，地形图的比尺能充分反映近岸河床冲刷与河岸坡比变化。

4.4 地质资料

4.4.1 收集河岸的地质勘探资料。

4.4.2 收集河床与河岸土体组成资料，包括床沙级配、河岸土体垂向分层情况、河岸土体级配。

4.4.3 收集河岸土体的物理力学特性资料，包括干密度、含水率、液塑性指数、抗冲与抗剪特性。必要时，可开展现场或室内土工试验确定土体物理力学参数。

4.5 历史崩岸资料

4.5.1 收集历史崩岸时间与频次、类型与规模、影响范围。

4.5.2 收集历史崩岸期间的水文泥沙、地形及气象数据。

4.5.3 收集历史崩岸巡查成果、崩岸监测成果、河床演变分析成果。

4.5.4 河床演变分析成果包括对目标河段及上下游控制节点范围内河床冲淤变化、河势调整等说明。

4.6 堤防资料

4.6.1 收集堤防的空间布置和设计标准资料。

4.6.2 收集临河侧滩地宽度、滩地工农业生产等资料。

4.7 护岸工程资料

4.7.1 收集目标河段与上下游一定范围内护岸工程的平面布置与断面布置图。

4.7.2 收集护岸工程的结构型式、实施年份、损毁与修复资料。

4.8 涉水工程资料

4.8.1 收集港口、码头、涵闸、桥隧、河势控导工程等重要涉水基础设施的空间布置和设计标准资料。

4.8.2 收集河道采砂、大型涉水工程建设与运行、岸边水塘开挖、大型钻孔施工、坡面荷载等人类活动资料。

4.9 其他资料

4.9.1 收集临河侧滩地植被类型与覆盖密度数据。

4.9.2 收集地震等自然灾害资料。

4.10 资料分析

4.10.1 分析目标河段近期内的河床演变情况，包括河势调整、河床冲淤变化、纵剖面与横断面变化等。

4.10.2 确定目标河段崩岸的主要类型与主要影响因素，参见附录 A。

4.10.3 采用层次分析法、熵权法、机器学习等手段确定崩岸主要影响因素的贡献度，根据其贡献度从高到低进行排序。

5 崩岸监测

5.1 监测内容

5.1.1 崩岸监测包括崩岸巡查、常规监测与特别监测。

5.1.2 崩岸巡查的内容应按 T/CHES 57—2021 第 6.1 节的规定执行。

5.1.3 崩岸常规监测包括以下内容：

- (a) 水位监测；
- (b) 流量监测；
- (c) 流场监测；
- (d) 河岸地形监测；
- (e) 河岸变形监测；
- (f) 泥沙监测；
- (g) 护岸工程水毁情况监测；
- (h) 冰情监测 (季节性冰冻河流)。

5.1.4 在地震等突发自然灾害情况下，尽可能开展特别监测，监测内容应根据自然灾害类型、发展情况、环境条件与技术条件等综合确定。

5.2 监测范围与频次

5.2.1 崩岸监测的范围依据实际需求进行确定。

5.2.2 崩岸巡查的频次应按 T/CHES 57—2021 第 6.2 节的规定执行。

5.2.3 崩岸常规监测的频次应按 T/CHES 57—2021 第 7 章对重点岸段的规定执行，在有条件时，可适当增加监测频次或开展实时监测。

5.2.4 崩岸特别监测的频次根据实际需求、自然灾害的发展情况、环境条件与技术条件等综合确定。

5.3 监测布置与要求

5.3.1 崩岸巡查与常规监测的布置与要求应按 T/CHES 57—2021 第 7 章的相关规定执行。

5.3.2 崩岸特别监测的布置与要求根据实际需求、自然灾害的发展情况、环境条件与技术条件等综合确定。

5.3.3 尽可能采用卫星遥感影像解译、低空摄影、机器人水下探测等先进的测量方法与技术开展监测。

6 崩岸预测

6.1 内容与流程

6.1.1 对目标河段潜在崩岸区域、可能性与规模进行预测。

6.1.2 预测流程如下：

- (a) 选取崩岸预测的范围与频次；
- (b) 选取潜在崩岸区域；
- (c) 将各潜在崩岸区域划分成多个预测子河段；
- (c) 确定各子河段的崩岸可能性；
- (d) 确定各子河段的崩岸规模。

6.1.3 充分利用监测数据，及时更新预测结果。

6.2 范围与频次

6.2.1 崩岸预测范围根据实际需求确定。

6.2.2 崩岸预测频次应至少在汛前开展一次，有条件时宜汛前、汛中、汛后各一次。

6.3 潜在崩岸区域

6.3.1 潜在崩岸区域选取以下区域：

- (a) 历史上曾经发生过重要崩岸险情的区域；
- (b) 主流顶冲或近岸河床冲刷下切明显的区域；
- (c) 护岸工程明显水毁的区域；
- (d) 临河侧滩地宽度较窄，崩岸直接影响堤防安全的区域；
- (e) 重大涉水工程所在区域；
- (f) 湿陷或膨胀等特殊土质的区域；

(g) 重点险工险段；

(h) 新建整治工程上下游未护岸段或守护薄弱岸段。

6.3.2 当近期河势调整比较显著时，根据河势调整情况适当扩大潜在崩岸区域的范围。

6.3.3 潜在崩岸区域不易过少，在有条件情况下，尽量多选。

6.4 预测子河段布置

6.4.1 预测子河段的间距根据实际需求确定，若潜在崩岸区域内水沙、地形与地质条件沿程变化较小，子河段的间距宜适当增大，反之宜适当减小，但不可小于河岸地形监测的间距。

6.4.2 预测子河段的布置应兼顾崩岸监测的布置情况，尽可能保证监测点在各子河段之间均匀分布。

6.5 崩岸可能性

6.5.1 根据 4.10.3 条确定的贡献度排序，从主控因素中选取排序靠前的多个因素作为变量。选取因素的贡献度之和不低于 80%。

6.5.2 根据 6.5.1 条确定的变量监测或预报数据，按 7.1.3 条的规定预测崩岸可能性。

6.6 崩岸规模

6.6.1 崩岸规模应预测崩岸长度、宽度与崩塌土方量。崩塌土方量取崩岸宽度、长度与河岸高度的乘积。

6.6.2 崩岸规模预测的步骤如下：

(a) 列出潜在崩岸区域的历史崩岸规模，计算最大值；

(b) 条件允许时，构建崩岸数学模型，开展率定与验证，然后依据监测或预报数据，利用数学模型开展预测；条件受限时，可直接采用历史崩岸规模的最大值作为预测值。

6.6.3 崩岸数学模型可利用经验函数关系、动力学模型、机器学习等方法构建，也可集成多种方法。

6.6.4 崩岸数学模型的精度根据实际需求进行设定。

6.6.5 崩岸数学模型的输入变量按第 6.5.1 条的规定执行。

7 崩岸预警

7.1 崩岸预警等级

7.1.1 崩岸预警等级划分的基本原则按 MZ/T 03—2012 第 3 章的规定执行。

7.1.2 崩岸可能性等级分为高、中、低三级，采用综合赋分法、数值分析法等确定，参见附录 B。

7.1.3 崩岸严重性等级依据堤防、河势控导、重要涉水工程等情况综合确定，分为高、中、低三级。

7.1.4 根据堤防情况确定崩岸严重性等级时，参见附表 C.1。

7.1.5 根据河势控导情况确定崩岸严重性等级时，参见附表 C.2。

7.1.6 根据港口、码头、涵闸、桥隧等重要涉水工程位置确定崩岸严重性等级时，参见附表 C.4。

7.1.7 崩岸预警等级由高到低划分为 I 至 III 级，根据崩岸可能性等级与崩岸严重性等级确定，参见附表 C.6。

7.2 崩岸预警报告

7.2.1 工作过程中，及时整编相关资料，形成崩岸预警简报与成果报告。

7.2.2 起草崩岸预警报告前，对各项内容的一致性、完整性和规范性进行控制与检验。

7.2.3 崩岸预警简报应包括以下内容：

- (a) 时间；
- (b) 河段概况；
- (c) 来水来沙情况；
- (d) 河床冲淤情况；
- (e) 预警有效期；
- (f) 预警位置与等级分布图；
- (g) 崩岸防治建议。

7.2.4 崩岸预警成果报告的基本内容，参见附录 D。

附录 A
(资料性)
冲积平原河道崩岸类型与常见影响因素

A.1 冲积平原河道崩岸的类型通常按平面形态可分为窝崩、条崩和洗崩，不同类型崩岸的主要特征参见附表 A.1。

表 A.1 冲积平原河道崩岸类型与特征

崩岸类型	特征
窝崩	河岸大面积土体的崩塌，崩岸长度和宽度相当。其形成与河岸土质分布不均及特殊水流结构等密切相关
条崩	长距离河岸土体的大幅度崩塌，多出现在沿岸水流强度大、河岸土体抗冲性能较差且分布均匀的河段
洗崩	局部河岸表层或小范围土体受风浪或船行波等淘刷形成的剥落

A.2 崩岸影响因素分为以下五类：

- (a) 水沙条件变化；
- (b) 河岸边界条件；
- (c) 近岸河床调整；
- (d) 河势变化；
- (e) 其他人类活动；
- (f) 地震等自然灾害。

A.2 水沙条件变化包括：

- (a) 流量变化；
- (b) 输沙率变化；
- (c) 水位变化，尤其是漫滩历时与涨退水速率；
- (d) 河流冰情变化（季节性冰冻河流）；
- (e) 流场，尤其是局部复杂流态；
- (f) 风浪与船行波的影响；
- (g) 降雨。

A.3 近岸河床调整包括：

- (a) 近岸河床冲刷深度；
- (b) 近岸深槽的发展情况；
- (c) 河岸水下坡比的变化情况。

A.3 河岸边界条件包括：

- (a) 护岸工程的水毁情况；
- (b) 河岸土体组成与物理力学特性；
- (c) 冻融情况；
- (d) 河岸渗流情况；
- (e) 岸边植被类型与覆盖情况。

A.4 河势变化包括：

- (a) 主流或深泓位置及摆动过程；
- (b) 上、下游涉水工程的影响。

A.5 其他人类活动包括但不限于以下内容：

- (a) 河道采砂；
- (b) 岸边开挖水塘蓄水；
- (c) 岸边大型钻孔施工；
- (d) 坡面荷载。

A.6 风浪与船行波的影响只针对洗崩，对于条崩与窝崩可不考虑。

A.7 降雨主要考虑降雨强度、降雨历时。

A.8 近岸深槽的发展情况主要包括目标河段近岸深槽位置、面积与高程的变化情况。

A.9 河岸水下坡比的变化情况主要包括水下坡比的增减幅度、水下坡比与稳定坡比的对比情况。稳定坡比可采用统计法、经验法等手段进行确定。

A.10 护岸工程的水毁情况包括滩顶工程、护坡工程、护脚工程的完好程度。

A.11 河岸土体组成情况主要包括河岸土体的垂向分层情况、各层厚度、各层土体的类型与物理力学特性。河岸土体的力学特性主要包括抗冲性与抗剪性等。

A.12 冻融情况主要考虑冻融循环次数及其对河岸土体特性的影响。仅季节性冰冻河流需要考虑冻融情况。

A.13 河岸渗流发展情况包括地下水位、渗流比降的变化。

A.14 岸边植被类型与覆盖情况主要包括植被类型、覆盖面积、根系发育情况。对于河岸高度较小、植被茂密且根系深度相对较大的中小型河流，要考虑植被的影响；对于大型河流，植被影响较小，通常可忽略。

A.15 主流或深泓摆动主要考虑目标河段及其上下游控制节点范围内的主流或深泓摆动情况。

A.16 上、下游涉水工程的影响主要包括涉水工程的类型、涉水工程对水流条件的影响。

附录 B
(资料性)
崩岸可能性等级评判方法

B.1 崩岸可能性等级评判可采用数值分析、综合赋分等方法。

B.2 数值分析方法按下列步骤进行：

1 确定崩岸可能性等级评判指标。

2 确定不同崩岸可能性等级下各指标的值域，见表 B.2.1。一个定量指标的不同等级值域即为该指标分为 3 级时相应级的上下限值，定性指标的不同等级指标值域从数量上都统一为[6, 9]、[3, 6)、(0, 3)，分别对应表 B.2.1 中的[c, d]、[b, c)、(a, b)。指标的设计需保证等级越高时指标取值越大。

表 B.2.1 崩岸可能性等级与分级指标值域表

等级	高	中	低
指标值域	[c, d]	[b, c)	(a, b)

3 根据崩岸成因分析中各主控因素的贡献度，确定崩岸可能性等级评判指标体系中各分级指标的重要性系数 α_i ($i=1, 2, \dots, n$, 其中 n 为指标数)。

$$\alpha_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (\text{B.2-1})$$

式中 ω_i ——第 i 项指标的贡献度。

4 确定崩岸可能性等级评判指标体系中各分级指标的数值及其所属值域。

5 单个分级指标评判矩阵 R 中的各个元素数值按式 (B.2-2) ~ 式 (B.2-5) 计算。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} \end{bmatrix} \quad (\text{B.2-2})$$

$$r_{i1}(x_i) = \begin{cases} 1 & (x_i \geq c) \\ \frac{x_i - b}{c - b} & (b < x_i < c) \\ 0 & (x_i \leq b) \end{cases} \quad (\text{B.2-3})$$

$$r_{i2}(x_i) = \begin{cases} 0 & (x_i \geq c) \\ \frac{c-x_i}{c-b} & (b < x_i < c) \\ 1 & (x_i = b) \\ \frac{x_i-a}{b-a} & (a < x_i < b) \\ 0 & (x_i \leq a) \end{cases} \quad (\text{B.2-4})$$

$$r_{i3}(x_i) = \begin{cases} 0 & (x_i \geq b) \\ \frac{b-x_i}{b-a} & (a < x_i < b) \\ 1 & (x_i = a) \\ \frac{x_i}{a} & (0 < x_i < a) \end{cases} \quad (\text{B.2-5})$$

式中 x_i ——第 i 项分级指标值；

a 、 b 、 c 、 d ——第 i 项分级指标值相应各等级的界值；

n ——崩岸可能性等级评判指标数。

6 根据各项分级指标的重要性系数和单个分级指标评判矩阵，可按式(B.2-6)、式(B.2-7)计算得到崩岸可能性分级综合决策向量。

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{R} \quad (\text{B.2-6})$$

$$[B_1, B_2, B_3] = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} \end{bmatrix} \quad (\text{B.2-7})$$

$$\mathbf{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$$

式中 \mathbf{A} ——向量；

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——指标重要性系数；

\cdot ——模糊关系合成算子。

采用最大隶属度原则，参照式(B.2-8)和式(B.2-9)，找出 \mathbf{B} 向量中分量最大者。

$$G = i \quad \text{如果 } B_i = \max(B_1, B_2, B_3) \quad (\text{B.2-8})$$

式中 G ——崩岸可能性等级的隶属类别。隶属类别 1、2、3 分别对应崩岸可能性等级的 I、II、III。

当向量 \mathbf{B} 中出现两个相等最大分量 B_i 、 B_j 时，有

$$B_i = B_j = \max(B_1, B_2, B_3) \quad (j > i) \quad (\text{B.2-9})$$

则取 $G=i$ 。

B.3 崩岸可能性等级评判的综合赋分法，按以下步骤进行：

1 建立崩岸预测指标的评分赋值细则，各指标的赋分范围可参考表 B.3.1。

表 B.3.1 崩岸主控因素赋分参考表

类别	具体影响因素	赋分
河岸边界条件	河岸土体组成	0~9
	护岸工程完好程度	0~9
	植被类型与覆盖情况	-1~1
	冻融	-2~0
	河岸渗流	-2~0
近岸河床调整情况	近岸河床冲刷冲刷深度	-7~0
	河岸水下坡比变化	-3~0
	近岸深槽发展过程	-9~3
水沙条件	来水来沙总量	-5~5
	来水来沙过程	-5~5
	降雨	-2~0
	漫滩历时与涨退水速率	-2~0
	近岸水流流态	-2~0
	河流冰情	-7~0
	风浪与船行波	-7~0
河势变化	主流或深泓位置及其变化	-3~0
	上、下游涉水工程的影响	-1~1
其他人类活动	河道采砂	-7~0
	岸边开挖水塘蓄水	-3~0
	岸边大型钻孔施工	-3~0
	坡面荷载	-7~0
自然灾害	地震等	-7~0

2 根据崩岸成因分析中各因素的贡献度，确定不同因素的重要性系数；

3 计算各因素分值加权平均后的综合分值；

4 依据综合分值的不同区间划分可能性等级，可参考表 B.3.2。

表 B.3.2 崩岸可能性等级与综合分值阈值的参考表

等级	高	中	低
指标值域	<-3	-3~0	>0

附录 C
(资料性)
崩岸严重性等级与预警等级划分表

C.1 依据堤防布置情况确定崩岸严重性等级时，参考表 C.1。

表 C.1 依据堤防布置情况的崩岸严重性等级划分表

临水侧滩地宽度	堤防等级		
	1 级	2-3 级	4-5 级
<5 倍的崩岸宽度	高	高	中
5~10 倍的崩岸宽度	高	中	低
>10 倍的崩岸宽度	中	低	低

注：表 C.1 第一列的临水侧滩地宽度与崩岸宽度的倍数关系，可依据目标河段河床演变特征与地形地貌条件适当调整。

C.2 根据河势控导工程划分崩岸严重性等级时，参考表 C.2。当没有修建河势控导工程时，可直接采用河势调整剧烈程度等级。河势控导工程建筑物级别按照 SL 252—2017 的规定执行。

表 C.2 依据河势控导工程的崩岸严重性等级划分表

河势调整剧烈程度	建筑物级别		
	1 级	2-3 级	4-5 级
高	高	高	中
中	高	中	低
低	中	低	低

C.3 河势调整剧烈程度的等级分为高、中、低三级，参考表 C.3。

表 C.3 河势调整剧烈程度等级划分表

河势调整剧烈程度	崩岸可能引起的现象			
	弯道段	顺直段	分汊段	游荡段
高	主流摆幅 ≥ 0.2 倍平滩河宽	边滩面积变化 $\geq 30\%$	分流比变化 $\geq 10\%$	主流摆幅 ≥ 0.2 倍平滩河宽
中	0.2 倍平滩河宽 $>$ 主流摆幅 ≥ 0.1 倍平滩河宽	$30\%>$ 边滩面积变化 $\geq 10\%$	$10\%>$ 分流比变化 $\geq 5\%$	0.2 倍平滩河宽 $>$ 主流摆幅 ≥ 0.1 倍平滩河宽
低	主流摆幅 < 0.1 倍平滩河宽	边滩面积变化 $< 10\%$	分流比变化 $< 5\%$	主流摆幅 < 0.1 倍平滩河宽

C.4 根据重要涉水工程确定崩岸严重性等级时，考虑涉水工程的距离、崩岸规模等级进行确定，参考表 C.4。崩岸规模等级的确定方法如下：

- (a) 列出目标河段内历史崩岸险情的崩塌土方量，并从大到小进行排序；
- (b) 确定前 1/3、2/3 位数处的崩塌土方量数值 $M_{1/3}$ 、 $M_{2/3}$ ；
- (c) 按表 C.5 确定崩岸规模等级。

表 C.4 依据重要涉水工程的崩岸严重性等级划分表

涉水工程的距离	崩岸规模等级		
	大	中	小
<5 倍的平滩河宽	高	高	中
5~10 倍的平滩河宽	高	中	低
>10 倍的平滩河宽	中	低	低

注：表 C.4 第一列的涉水工程的距离与平滩河宽的倍数关系，可依据目标河段河床演变特征与地形地貌条件适当调整。

表 C.5 崩岸规模等级划分表

崩塌土方量 M	$>M_{1/3}$	$M_{1/3} \geq M > M_{2/3}$	$M_{2/3} \geq M$
等级	大	中	小

C.5 崩岸预警等级确定参考表 C.6。

表 C.6 崩岸预警等级划分表

崩岸可能性	崩岸影响严重性等级		
	高	中	低
高	I 级	I 级	II 级
中	I 级	II 级	III 级
低	II 级	III 级	III 级

附录 D
(资料性)
崩岸预警成果报告提纲

1 前言

- 1.1 任务来源
- 1.2 必要性及目的
- 1.3 主要依据标准
- 1.4 仪器安装埋设情况
- 1.5 监测实施情况
- 1.6 主要技术及分析方法

2 河段概况

- 2.1 地理位置
- 2.2 气象水文条件
- 2.3 地质地貌条件
- 2.4 河道平面形态
- 2.5 河岸边界条件
- 2.6 河道堤防布置
- 2.7 涉水设施布置
- 2.8 其他人类活动
- 2.9 自然灾害情况

3 河床演变

- 3.1 来水来沙变化
- 3.2 河床冲淤分布
- 3.3 主流与深槽变化
- 3.4 汊道与弯道等演变
- 3.5 纵剖面变化
- 3.6 横断面变化

4 历史崩岸情况

- 4.1 崩岸时间及频次
- 4.2 崩岸类型与规模
- 4.3 崩岸险情与应急处置情况
- 4.4 崩岸影响范围
- 4.5 崩岸期间的水沙条件
- 4.6 崩岸的主要因素与贡献度

5 崩岸监测

- 5.1 崩岸巡查
 - 5.1.1 巡查时间与范围
 - 5.1.2 巡查结果
- 5.2 常规监测
 - 5.2.1 监测时间与范围
 - 5.2.2 水位过程
 - 5.2.3 流量过程
 - 5.2.4 输沙率过程

- 5.2.5 主流走向
- 5.2.6 近岸流场
- 5.2.7 冰情（若有）
- 5.2.8 断面地形变化
- 5.2.9 局部地形变化
- 5.2.10 河岸变形情况
- 5.2.11 护岸工程水毁情况
- 5.3 特别监测（若有）
 - 5.3.1 突发自然灾害情况
 - 5.3.2 监测内容与数据

6 崩岸预测

- 6.1 预测范围与频次
- 6.2 预测时段
- 6.3 潜在崩岸区域
- 6.4 预测子河段布置
- 6.5 崩岸可能性
- 6.6 崩岸规模

7 崩岸预警

- 7.1 预警有效期
- 7.2 预警位置与等级分布情况

8 崩岸防护措施与治理方案建议

附录 E
(资料性)
崩岸预警等级划分算例

某子河段位于急弯河段，崩岸可能导致裁弯等现象的发生，河势控导工程建筑物的级别为 1 级；平滩河宽 2 km，近 10 年内的最大年崩退宽度 300 m。根据崩岸成因分析，该处崩岸主控因素从贡献度高到低包括流量、深泓位置、冲刷坑发育情况、河岸水下坡比、护岸工程、河岸土体组成、退水速率、输沙率、植被覆盖，且贡献度如表 E.1。结合河流动力学与土力学方法，构建了崩岸数学模型，并在该处开展了率定与验证，模型精度满足需求。

根据资料分析与监测成果，该处深泓离岸距离不超过 100 m；冲刷坑面积有较为明显的增大；河岸水下坡比 0.35；护岸工程守护情况良好，无明显破损；河岸土体组成为上部薄黏土层与下部厚沙土层组成的二元结构河岸。此外，该处堤外滩地宽度 1.0 km；临江堤防为 1 级堤防；附近未有重要涉水工程。根据气象水文预报情况，该年为丰水年，最大洪峰流量预计约为 35000 m³/s，日退水速率预计约 0.6 m/d。根据构建的崩岸数学模型预测得该年内该处的崩退宽度约 220 m，分析其崩岸预警等级。

表 E.1 某子河段崩岸主控因素的贡献度

指标	流量	深泓位置	冲刷坑发育情况	河岸水下坡比	护岸工程	河岸土体组成	退水速率	输沙率	植被覆盖
贡献度	0.20	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.05	0.02

1 首先，采用数值分析法评判该处崩岸可能性等级，其步骤包括：

(1) 确定崩岸可能性等级评判指标，选取贡献度靠前的 7 个主控因素指标，包括流量、深槽位置、冲刷坑发育情况、河岸水下坡比、护岸工程、河岸土体组成、退水速率。总贡献率为 93%，满足大于 80% 的要求。

(2) 根据该子河段所在河段的历史情况，确定崩岸可能性不同等级下各指标的值域，见表 E.2。

表 E.2 某子河段崩岸可能性等级与分级指标值域表

指标	等级 值域	评判方法	高	中	低
流量		数值 (m ³ /s)	[25000, 45000]	[10000, 25000)	(3300, 10000)
深泓位置		1-离岸距离/河宽	[0.85, 1.0]	[0.7, 0.85)	(0.5, 0.7)
冲刷坑发育情况		定性	[6, 9]	[3, 6)	(0, 3)
河岸水下坡比		数值	[0.5, 1)	[0.33, 0.5)	(0.05, 0.33)
护岸工程		定性	[6, 9]	[3, 6)	(0, 3)
河岸土体组成		定性	[6, 9]	[3, 6)	(0, 3)
退水速率		数值 (m/d)	[0.5, 2)	[0.25, 0.5)	(0, 0.25)

(3) 根据主控因素指标的贡献度，计算崩岸可能性等级评判指标中各分级指标的重要性系数 α_i 。结果见表 E.3。

表 E.3 某子河段崩岸可能性等级评判指标中各分级指标的重要性系数

指标	流量	深泓位置	冲刷坑发育情况	河岸水下坡比	护岸工程	河岸土体组成	退水速率
重要性系数 α_i	0.215	0.172	0.161	0.140	0.118	0.108	0.086

即， $\mathbf{A} = (0.215, 0.172, 0.161, 0.140, 0.118, 0.108, 0.086)$

(4) 确定崩岸可能性等级评判指标中各分级指标的数值及其所属值域。结果见表 E.4。

表 E.4 某子河段崩岸可能性等级评判指标中各分级指标的数值及其所属值域

指标	流量	深泓位置	冲刷坑发育情况	河岸水下坡比	护岸工程	河岸土体组成	退水速率
数值	35000	0.95	5	0.35	1	9	0.6
所属值域	[25000, 45000]	[0.85, 1.0]	[3, 6)	[0.33, 0.5)	(0, 3)	[6, 9]	[0.5, 2)

(5) 根据隶属函数，按式 (B.2-2)~式 (B.2-5)计算分级指标评判矩阵 \mathbf{R} 为：

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.667 & 0.333 & 0 \\ 0.118 & 0.882 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0.667 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(6) 按式(B.2-6)、式(B.2-7)计算得到分级综合决策向量 \mathbf{B} 为：

$$B = [0.7047 \quad 0.2164 \quad 0.0789]$$

采用最大隶属度原则，参照式(B.2-8)和式(B.2-9)，找出 \mathbf{B} 向量中分量最大者 $B_i=0.7047$ 。则崩岸可能性等级的隶属类别 $G=i=1$ ，对应崩岸可能性等级为 I 级（高）。

2 其次，评判该处崩岸严重性等级，其步骤为：

(1) 该处临水侧滩地宽度为预测崩退宽度的 9 倍，堤防等级为 1 级，查附表 C.1 可知根据堤防布置情况的崩岸严重性等级为高。

(2) 该处位于急弯河段，崩岸可能导致裁弯等现象的发生，届时主流摆动很大，查附表 C.3 可知该处河势调整剧烈程度等级为高。河势控导工程建筑物的级别为 1 级，查附表 C.2 可知根据河势控导情况的崩岸严重性等级为高。

(3) 该处附近无重要涉水工程。

取三者的最高等级，确定该处崩岸严重性等级为高。

(4) 最后，确定崩岸预警等级：

崩岸可能性等级为高，崩岸严重性等级为高，查附表 C.6 可知该子河段崩岸预警等级为 I 级。

参考文献

[1] SL/ T 450—2021 堰塞湖风险等级划分与应急处置技术规范

[2] SL767—2018 山洪灾害调查与评价技术规范
