

T/CQSES

重庆市环境科学学会团体标准

T/CQSES XXXX—2026

山地城市重要基础设施内涝风险阈值确定 及应用技术导则

Technical guidelines for determining and applying early warning thresholds for
waterlogging risk of critical infrastructure in mountainous cities

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

重庆市环境科学学会 发布

目次

前言 II

1 总则 1

 1.1 编制目的 1

 1.2 适用范围 1

 1.3 基本原则 1

 1.4 总体要求 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 风险辨识与模型构建 3

 4.1 一般规定 3

 4.2 资料收集与基础调查 3

 4.3 重要基础设施分类分级 3

 4.4 致灾因子识别 4

 4.5 孕灾环境与承灾体分析 4

 4.6 水文水动力模型构建 4

5 内涝风险阈值确定方法 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 风险等级与临界致灾指标 5

 5.3 风险阈值推求 6

6 致灾风险阈值的智慧管理 6

 6.1 数据获取 6

 6.2 数据存储 6

 6.4 风险阈值成果管理 7

 6.5 预警发布与响应应用 7

附录 A（资料性）山地城市地下空间重要基础设施内涝风险阈值表 8

附录 B（资料性）用词说明 9

前 言

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。

编制组经深入调查研究，认真总结山地城市内涝防治实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本导则。

本文件在编制组遵循国家有关法律法规和技术标准规程，经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，充分吸纳山地城市内涝防治与智慧管控方面的科技成果后形成。

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。

本文件由重庆大学提出。

本文件由重庆市环境科学学会归口。

本文件起草单位：重庆大学、北京建筑大学、重庆交通大学、重庆西科水运工程咨询有限公司。

本文件主要起草人：程呈、何强、宫永伟、何进朝、马海元、陈磊、郝银飞、侯少轩、司帅、刘浩、邱周华、卢浩、肖子杰。

山地城市重要基础设施内涝风险阈值确定及应用技术导则

1 总则

本文件规定了山地城市重要基础设施内涝风险预警阈值确定的术语和定义、风险辨识与模型构建、阈值确定方法及智慧管理应用等要求。

1.1 编制目的

为有效应对山地城市极端降雨频发、汇流速度快、地下及低洼重要设施内涝风险突出的问题，规范内涝风险预警阈值确定的技术流程与方法，支撑精准预警、智慧调度与应急响应，保障人民生命财产安全和城市正常运行，制定本文件。

1.2 适用范围

1.2.1 本文件适用于山地城市规划区内下列既有、新建、改建及扩建的重要基础设施的内涝风险阈值确定、校核、更新与智慧管理应用：

- a) 交通基础设施
 - 1) 下穿道路（含下穿隧道、下穿铁路桥、下穿通道）；
 - 2) 轨道隧道（地铁地下区间、地下车站、铁路隧道）；
 - 3) 地下停车库、地下车行环道、地下人行通道。
- b) 公共服务设施
 - 1) 地下商场、地下商业街；
 - 2) 地下医疗设施（医院地下功能区）、人防工程、重要设备机房；
 - 3) 综合管廊、地下变电站等城市生命线节点。

1.2.2 其他类似地形条件的城市（如丘陵城市、河谷城市）可参照执行。

1.2.3 新建及改扩建项目应在设计阶段同步完成内涝风险预警阈值分析，并建立校核与更新机制。

1.3 基本原则

1.3.1 分类分级原则：根据设施类型、功能重要性、人员密度、地形条件等，采用差异化的临界致灾指标与风险阈值等级。

1.3.2 山地适用原则：充分考虑山地城市地形坡度大、产汇流时间短、径流系数高、客水入侵明显、局地暴雨频发等特征，在模型构建、参数选取、阈值推求中予以量化体现。

1.3.3 定量与定性结合原则：以水文水动力模型定量计算为核心，结合历史灾情、专家经验与现场调查进行综合判定。

1.3.4 动态更新原则：阈值成果应随气候变化、城市下垫面改变、排水系统改造、监测数据积累而定期校核与更新，至少每年一次。

1.4 总体要求

1.4.1 内涝风险预警阈值的确定应遵循资料收集与调查、设施分类分级、致灾因子识别、孕灾环境与承灾体分析、水文水动力模型构建、阈值推求、校核与更新、智慧管理应用的技术流程。

1.4.2 应构建覆盖目标设施及其上游汇水区的一维管网-二维地表耦合水文水动力模型，模型须经实测降雨与内涝事件率定验证。

1.4.3 内涝风险预警阈值成果应纳入城市内涝智慧管理平台，实现与气象预报、交通管控、应急指挥、公众预警等系统的实时联动。

1.4.4 本文件的使用人员应具备水力学、水文学、地理信息系统及模型模拟等相关专业知识。

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 50014 室外排水设计标准
GB 50157 地铁设计规范
GB 51222 城镇内涝防治技术规范
GB 55033 城市轨道交通工程项目规范
GB/T 41925 城市地下空间与地下工程分类
GB/T 51358 城市地下空间规划标准
DBJ50/T-427 山地城市内涝防治技术标准
CJJ 68-2016 城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程
T/CECS 2264-2026 城市地下空间关键基础设施内涝风险预警阈值确定及应用技术导则

3 术语和定义

GB 51222-2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

山地城市 mountainous city

主要分布在地势起伏明显的山地区域（包括山地、丘陵和高原）的城镇，具有汇流路径短、径流峰值高、暴雨时空分布不均匀等特征。

[来源：DBJ50/T-427-2022第2.1.1条，有修改]

3.2

重要基础设施 critical infrastructure

指对城市运行、居民生活、防灾减灾具有关键作用的设施。本导则特指位于山地城市中易受内涝影响的交通基础设施与公共服务设施中的地下或低洼关键节点。

[来源：T/CECS 2264-2026第2.0.1条，有修改]

3.3

积水深度基准点 flooding depth reference point

为衡量重要设施关键部位积水风险而预先设定的固定位置点，如隧道最低点、出入口台阶底部、地下车库起坡点等。该点处的积水深度作为判断风险等级的核心指标。

[来源：T/CECS 2264-2026第2.0.3条，有修改]

3.4

临界水深 critical water depth

在积水深度基准点处，当积水深度达到或超过该值时，将导致设施功能部分或完全丧失、结构安全受损、人员生命健康受到威胁或财产遭受显著损失的积水深度阈值。

[来源：T/CECS 2264-2026第2.0.2条，有修改]

3.5

临界流速 critical flow velocity

在地表漫流区域（如出入口、疏散通道），当水流流速达到或超过该值时，可能导致行人失稳、车辆漂移、设施冲刷破坏的流速阈值。

3.6

临界积水历时 critical flooding duration

在积水深度超过临界水深的条件下，持续积水时间达到或超过该值时，设施损失程度显著上升或应急响应难度急剧增加的时间阈值。

3.7

内涝风险阈值 waterlogging risk threshold

导致重要基础设施积水深度基准点处积水深度等于其临界水深时的降雨参数组合，亦可转化为累积降雨量或雨强。

[来源：T/CECS 2264-2026第2.0.4条，有修改]

3.8

一维-二维耦合模型 1D-2D coupled model

将一维管网水力模型与二维地表漫流模型进行动态耦合，模拟管渠与地表之间的水量交换、溢流路径及积水过程的数学模型。

[来源：GB 51222-2017附录B，有修改]

4 风险辨识与模型构建

4.1 一般规定

4.1.1 内涝风险阈值确定前，应完成基础资料收集、重要基础设施分类分级、致灾因子识别、孕灾环境与承灾体分析、水文水动力模型构建等工作。

4.1.2 各阶段成果应形成书面或电子文档，作为阈值成果的支撑材料。

4.2 资料收集与基础调查

4.2.1 基础资料收集应覆盖以下类别：

- a) 气象水文资料：近 30 年以上的分钟或 5 分钟间隔连续降雨数据、暴雨强度公式及参数、当地已发布或经认可的山地典型雨型、主要受纳河道的水位过程线；
- b) 地形与下垫面资料：目标设施及周边至少 1 km 半径范围内的高精度数字高程模型（DEM），网格精度不应低于 5m，山地复杂区域宜采用 2 m 或 1 m 精度；土地利用/覆盖类型图；不透水率分区数据；
- c) 排水系统资料：排水管网图（含管径、管材、坡度、长度、上下游节点高程）、检查井与雨水口与排放口的位置及高程、泵站设计参数及运行曲线、调蓄设施容积曲线及进出水口参数；
- d) 重要基础设施资料：设施总平面图及竖向设计图、各出入口台阶高度及坡道坡度、挡水板或防汛沙袋的设计高度及实际安装情况、内部重要设备的最低安装高程、历史内涝记录；
- e) 上游客水调查资料：设施上游区域的山洪沟渠及截洪沟及自然冲沟的位置与断面尺寸与汇水面积、上游道路纵坡及路面径流流向。

4.2.2 当资料缺失时，应采用现场测绘、水位监测、无人机航拍等方式补充采集，并记录数据来源及精度。

4.2.3 对于可能同时发生滑坡、泥石流等地质灾害的区域，应收集地质灾害隐患点分布、历史灾害记录及上游水土流失状况等资料。

4.3 重要基础设施分类分级

4.3.1 重要基础设施应按设施类型、功能重要性、人员密度、服务范围等进行分类分级。

4.3.2 交通基础设施

4.3.2.1 下穿道路：按道路等级、设计车速、日均交通量、纵坡坡度等，分为三类，详见表 1。

表 1 下穿道路类别

类别	特征描述
I类	城市快速路、主干路，日均交通量 ≥ 20000 pcu/d，纵坡 $\geq 3\%$
II类	城市次干路，日均交通量 $5000\sim 20000$ pcu/d，纵坡 $2\%\sim 3\%$
III类	城市支路、小区通道，日均交通量 < 5000 pcu/d

4.3.2.2 下穿道路的积水深度基准点应设置在道路内部最低点处。

4.3.2.3 轨道隧道应按客运量、换乘功能分为：

- a) 特级站：多条线路换乘枢纽、日进出站客流 ≥ 20 万人次；
- b) 一级站：重要换乘站或位于中心城区核心区；
- c) 二级站：一般地下车站。

4.3.2.4 轨道隧道的积水深度基准点应设置在每个出入口的台阶最低点处、风亭及垂直电梯口及无障碍坡道口的最低点处、区间隧道内的最低点处。

4.3.2.5 地下停车库应按泊位数分为：

- a) 大型： ≥ 500 泊位，或服务机场、火车站等枢纽；
- b) 中型：100~500 泊位；
- c) 小型： < 100 泊位。

4.3.2.6 地下停车库的积水深度基准点应设置在车库出入口起坡点（挡水槛处）、内部最低点、重要设备机房门口。

4.3.3 公共服务设施

4.3.3.1 公共服务设施按人员密度、经济价值、应急重要性分为：

- a) I 类：地下商业街、大型地下综合体、医院地下功能区；
- b) II 类：中型地下商场、重要人防工程；
- c) III 类：小型地下商铺、普通设备间。

4.3.3.2 公共服务设施的积水深度基准点应设置在出入口最高台阶底部、通风口底部、主要疏散通道起点。

4.4 致灾因子识别

4.4.1 应对每一处重要基础设施识别下列致灾因子：

- a) 降雨因子：短历时强降雨、长历时连续降雨、雨峰位置靠前的雨型；
- b) 汇流因子：上游大坡度路面径流、山洪沿道路或冲沟直冲设施口部、相邻地块涝水溢流；
- c) 排水因子：雨水口数量不足或堵塞、下游管道过载或顶托、泵站故障或能力不足；
- d) 地形因子：设施口部位于低洼区、周边道路高程高于设施口部形成汇水；
- e) 管理因子：挡水板或沙袋未及时安装、预警响应滞后。

4.4.2 山地城市应重点识别客水入侵与陡坡汇流加速两类致灾因子，并绘制客水汇流路径图。

4.4.3 应考虑降雨叠加滑坡、泥石流的复合灾害工况，在致灾因子识别中纳入上游地质灾害对排水系统及径流路径的耦合影响。

4.5 孕灾环境与承灾体分析

4.5.1 孕灾环境分析应包括下列内容：

- a) 地形坡度分析：计算设施上游汇水区平均坡度、最大坡度；
- b) 汇水面积与产流计算：采用 SCS-CN 法或扣损法计算不同重现期下的净雨量；
- c) 地表漫流路径模拟：利用 GIS 水文分析模块或二维模型初步识别径流路径是否经过设施口部；
- d) 排水系统能力评估：采用推理公式或模型计算现状管道在设计重现期下的过流能力及超载程度。

4.5.2 承灾体分析应包括下列内容：

- a) 功能重要性：设施在城市交通、出行、商业、医疗中的角色及可替代性；
- b) 人员暴露性：高峰时段人流量、脆弱人群比例、疏散通道宽度及长度；
- c) 财产价值：建筑装修、机电设备、车辆、商品的价值估算；
- d) 应急能力：防汛物资储备情况、应急预案完善程度。

4.6 水文水动力模型构建

4.6.1 应采用一维管网-二维地表耦合水文水动力模型，模拟不同降雨情景下积水深度基准点的水深过程线、最大水深、积水历时、地表漫流流速。

4.6.2 模型参数率定应采用现场实测数据和调研数据，应满足至少两场独立降雨事件的模拟结果与实测数据的积水深度峰值相对误差在 20% 以内。

4.6.3 模型模拟至少应包括以下降雨情景：

- a) 重现期：5 年、10 年、20 年、50 年、100 年、200 年、500 年或可能最大降雨。
- b) 降雨历时：10 min、15 min、30 min、60 min、90 min、120 min、180 min、360 min、720 min、1440 min。
- c) 降雨雨型：短历时采用芝加哥雨型（雨峰系数 r 宜取 0.35~0.45），长历时采用当地水文手册推荐雨型或同频率缩放雨型。

4.6.4 应详细记录模型建立、参数率定、计算过程和结果分析。

5 内涝风险阈值确定方法

5.1 一般规定

- 5.1.1 内涝风险阈值应针对每一类设施分别计算，不得简单套用相邻设施的结果。
- 5.1.2 同一设施可存在多个内涝风险阈值。成果应按附录 A 的格式整理成表。
- 5.1.3 临界致灾指标的确定应兼顾山地城市动态冲击特征，并考虑设施实际防汛能力。
- 5.1.4 新建项目缺乏历史内涝数据时，可采用类比法或区域综合参数法进行阈值初步估算，并在项目投运后两年内完成实测校核。

5.2 风险等级与临界致灾指标

5.2.1 风险等级

- 5.2.1.1 内涝风险等级按其对设施运行和人员安全的危害程度划分为一级和二级：
 - a) 一级风险：积水深度达到或超过一级临界水深时，设施运行功能开始受损、人员安全受到威胁。应发布预警，启动应急排水，并采取现场巡查、预置防汛物资等前置处置措施；
 - b) 二级风险：积水深度达到或超过二级临界水深时，设施功能部分或完全丧失、人员安全面临严重威胁。应立即封闭设施、疏散人员、启动应急强排。
- 5.2.1.2 风险等级的适用应与第 4.3 条规定的设施分类分级对应衔接。I 类、II 类设施及特级站、一级站、大型、中型地下停车库、I 类、II 类公共服务设施应设置一级和二级风险阈值；III 类设施及二级站、小型地下停车库、III 类公共服务设施可仅设置一级风险阈值。

5.2.2 临界致灾指标构成

- 5.2.2.1 临界致灾指标包括临界水深、临界流速、临界积水历时三类。

5.2.3 临界水深

- 5.2.3.1 下穿道路的临界水深应按表 2 的规定确定。

表 2 下穿道路临界水深

等级	临界水深	响应要求
一级	15 cm	发布警示信息，引导车辆减速或绕行，启动应急排水
二级	27 cm	立即封闭交通，持续应急排水

- 5.2.3.2 下穿道路的积水深度基准点应设置在内部最低点处。

- 5.2.3.3 轨道隧道的临界水深应按表 3 的规定确定。

表 3 轨道隧道临界水深

等级	临界水深	判定基准	响应要求
一级	出入口最高台阶高度	积水接近口部，尚未进入站内	启动挡水板，加强站内广播
二级	挡水板顶部高度或风亭通风口底部高度	积水开始涌入站内或风亭进水	立即关闭车站，疏散人员

- 5.2.3.4 地铁区间隧道内最低点积水深度达到 10cm 时应限速运行，达到 15cm 时应中断行车。

- 5.2.3.5 地下停车库的临界水深应按表 4 的规定确定。

表 4 地下停车库临界水深

等级	临界水深	判定基准	响应要求
一级	起坡点与外部道路高程差	积水即将漫上坡道	通知车主移车，布置沙袋
二级	挡水板/沙袋顶部高度	积水开始涌入车库内部	封闭入口，启动排水泵

- 5.2.3.6 地下商场的临界水深应参照地下停车库的规定确定，一级阈值宜取台阶高度的 80%。

5.2.4 临界流速

- 5.2.4.1 在设施出入口、疏散通道等人员通行区域，地表漫流流速应作为辅助判定指标：
当 $h \cdot v \geq 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ 时，存在行人失稳风险；

当 $h \cdot v^2 \geq 1.23 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 时，存在行人滑倒风险。

（式中 h 为水深，单位 m ； v 为流速，单位 m/s ）

5.2.4.2 在车辆通行区域，当 $v \geq 1.0 \text{ m/s}$ 且 $h \geq 0.2 \text{ m}$ 时，存在车辆漂移风险。

5.2.4.3 流速超过上述临界值时，即使水深尚未达到临界水深，宜提前发布预警或采取临时管控措施。

5.2.5 临界积水历时

5.2.5.1 各类设施允许的最大积水历时（从积水超过一级阈值到完全退水）不应超过表 5 的规定。

表 5 最大允许积水历时

设施类型	最大允许积水历时
下穿道路	1.0 h
轨道隧道（重要站点）	0.5 h
地下停车库	1.5 h
地下商场	0.5 h

5.2.5.2 积水深度超过二级阈值时，应立即启动最高级别应急响应，不计时。

5.2.5.3 实际退水时间超过临界积水历时，应评估是否需要改造排水设施或增加调蓄容量。

5.3 风险阈值推求

5.3.1 应从模型模拟结果中提取每一降雨情景下积水深度基准点的最大积水深度，绘制重现期-积水深度曲线或累积降雨量-积水深度曲线。

5.3.2 当模拟最大积水深度达到或超过该设施某一等级的临界水深时，对应的降雨参数组合即为该等级的内涝风险阈值。

5.3.3 风险阈值应以“设计重现期 P — 降雨历时 t — 降雨雨型”的形式表达，并附对应的累积降雨量 H 和临界水深等级。

5.3.4 同一设施可存在多个风险阈值，应选取最不利组合作为预警触发依据。

5.3.5 未直接模拟的降雨情景（如未计算降雨历时 45min），可采用线性插值或邻近情景法估算，成果表中应注明“估算”。

6 致灾风险阈值的智慧管理

6.1 数据获取

6.1.1 每一处积水深度基准点应布设电子水尺、压力式水位计或雷达水位计，测量精度不应大于 $\pm 1\text{cm}$ ，数据采集频率不应低于 1 次/分钟，内涝高风险期应加密至 1 次/10 秒。监测设备防护等级不应低于 IP68。

6.1.2 在重要设施上游区域及设施周边应布设雨量计，时间分辨率不应大于 5min。

6.1.3 在可能入侵的山洪沟渠、截洪沟出口、上游道路低点等位置应布设水位或流量监测设备。

6.1.4 应建立数据质量管理流程，包括数据清洗、异常值剔除、缺失值插补，监测数据可用率不应低于 95%。每季度应对监测设备进行现场比对校准。

6.2 数据存储

6.2.1 应建立内涝风险预警阈值专题数据库，包括下列数据：

- 基础地理与设施信息数据；
- 模型输入输出数据（降雨、管网、DEM、参数率定结果）；
- 阈值成果表及版本记录；
- 实时监测数据（降雨、积水、客水）；
- 历史内涝事件记录。

6.2.2 数据应至少保存 10 年，重要事件数据应永久保存。

6.2.3 数据安全应符合网络安全等级保护要求，关键数据应异地备份。

6.3 模型与平台建设

6.3.1 宜建立集成三维地形、管网系统、实时监测数据、风险阈值与设施状态的可视化平台。

6.3.2 模型应支持以下运行模式：

- a) 实时模式：以实测降雨为输入，模拟当前积水态势；
- b) 预报模式：以气象预报降雨为输入，滚动预测未来 0~3 h 内涝风险；
- c) 情景模式：人工设定降雨参数，查询对应风险阈值或模拟结果。

6.3.3 平台应具备模型参数自动率定或半自动率定工具。

6.4 风险阈值成果管理

6.4.1 按照附录 A 格式，针对每一设施编制内涝风险预警阈值成果表，并附技术报告（包括模型构建说明、参数率定结果、校核验证记录、阈值计算过程）。

6.4.2 经校核确认的阈值成果正式入库，标注版本号及生效日期。每次更新后旧版本应保留作为对照，并记录变更原因。

6.4.3 阈值成果应以标准化数据接口对外提供，并接入城市运行管理平台、交通指挥中心、应急指挥中心、轨道交通控制中心。

6.5 预警发布与响应应用

6.5.1 预警分级推送应符合下列规定：

- a) 一级阈值触发时，应推送至设施管理单位及运维人员及街道或社区防汛责任人，启动现场巡查、预置防汛物资；
- b) 二级阈值触发时，应推送至城市内涝防汛指挥部及交管及消防及轨道交通控制中心及应急局，启动设施封闭、交通管制、人员疏散、应急强排。

6.5.2 预警发布方式应包括平台自动推送短信及 APP 通知及电话语音、联动道路诱导屏及交通信号灯及地铁 PIS 系统显示警示信息、向公众手机发送区域预警信息。

6.5.3 实际或预报降雨参数未在阈值表中明确对应时，应采用最邻近情景法或启动动态模型模拟，结果应标注“估算”。

6.5.4 每次内涝事件结束后，应进行复盘评估，分析阈值触发准确性与响应及时性，提出阈值调整建议。

6.5.5 内涝风险预警阈值应作为重要基础设施防汛预警体系启动与应急响应级别判定的核心量化依据。对于不同等级的阈值，应预先制定相应的应急预案，明确响应流程、责任主体与处置措施。

附 录 A
(资料性)

山地城市地下空间重要基础设施内涝风险阈值表

表A.1为内涝风险阈值填报表，用于记录山地城市各类地下空间重要基础设施的内涝风险阈值信息。请按实际评估情况填写基础设施名称、风险等级、临界积水深度及相应的降雨特征值，并注明数据来源与更新时间。

表 A. 1 山地城市地下空间重要基础设施内涝风险阈值表

基础设施名称	内涝风险阈值等级	临界积水深度 (cm)	内涝风险阈值		
			降雨量 (mm)	降雨历时 (min)	最大雨强 (mm/h)
XX下穿隧道					
XX地铁站					
XX地下停车场					
XX地下商场					
数据来源说明					
最后更新时间					

附 录 B
(资料性)
用词说明

为便于在执行本文件条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- a) 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”；
 - b) 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”；
 - c) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - d) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
-