

ICS 07.060
CCS A 47

DB51

四川省地方标准

DB51/T 2829—2021

暴雨洪涝灾害风险评估技术规范

Assessment technical specification for rainstorm and flood disaster risk

2021-08-02 发布

2021-09-01 实施

四川省市场监督管理局 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	1
4 资料收集和处理	2
5 区划流程	3
6 区划方法	4
附录 A（规范性） 归一化处理办法	7
附录 B（规范性） 百分位数法	8
附录 C（规范性） 加权综合评价法	9
附录 D（规范性） 层次分析法	10
附录 E（规范性） 自然断点分级法	13
参考文献	14

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。

本文件由四川省气象局提出、归口并解释。

本文件起草单位：四川省气候中心。

本文件主要起草人：郭海燕、卿清涛、徐金霞、马振峰、徐沅鑫、邓国卫、钟燕川、范雄。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——本次为首次发布。

暴雨洪涝灾害风险评估技术规范

1 范围

本文件规定了四川省暴雨气象灾害风险区划的术语、资料收集和处理、流程和方法。

本文件适用于在四川省内开展县级行政级别以上区域内的暴雨气象灾害风险区划。

2 规范性引用文件

本文件没有适用的规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

暴雨 rainstorm

川西高原(包括甘孜、阿坝)日降水量 $\geq 25\text{mm}$ 强降水称为暴雨;四川省内其他地区日降水量 $\geq 50\text{mm}$ 强降水称为暴雨。

3.2

暴雨过程 rainstorm process

出现暴雨的降雨过程,一旦出现无降水(日降水量小于 0.1mm)则认为该过程结束。

3.3

暴雨过程降水量 precipitation during rainstorm

暴雨过程的累计降雨量。

3.4

暴雨洪涝灾害 rainstorm and flood disaster

暴雨引发洪涝、城市内涝等造成人员伤亡和财产损失事件。

3.5

承灾体 hazard bearing body

致灾因子作用的对象,是人类活动及其所在社会中各种资源的集合。

3.6

孕灾环境 disaster-inducing environment

承灾体所处的地质地理环境。

3.7

致灾因子危险性 risk of disaster-inducing factors

当暴雨过程异常或超常变化,对人类社会经济可能造成的危害,主要是由暴雨活动规模(强度)和活动频次(概率)决定的。

3.8

孕灾环境敏感性 sensitivity of disaster-inducing environment

受到气象灾害威胁区域对致灾因子影响的敏感（反应）程度。

3.9

承灾体暴露性 exposure of disaster bearing body

暴露在自然灾害之下的人口、财产经济、农田、基础设施等的数量和价值量。

3.10

暴雨洪涝灾害风险 rainstorm and flood disaster risk

暴雨诱发洪涝，对影响区域内生命、财产和社会经济等造成危害的可能性。

3.11

暴雨洪涝灾害风险评估 assessment of rainstorm and flood disaster risk

综合考虑暴雨诱发洪涝灾害危险性、承灾体暴露度、脆弱性以及防灾减灾能力等，对暴雨灾害风险进行估算评价的过程。

4 资料收集和处理

4.1 资料收集

4.1.1 气象观测资料

宜收集 30 年以上的气象观测站降水资料。

4.1.2 承灾体信息

以县（区）、乡（镇）行政区域为单元，收集土地面积、耕地面积、国民生产总值（GDP）、人口、防洪除涝面积等资料。

4.1.3 灾情资料

宜收集 10 年以上的暴雨灾情资料，包含灾情发生位置、受灾人口、受灾面积、直接经济损失等。

4.1.4 地理信息资料

境界（省界、市界、县界、乡界）、数字高程模型（DEM）数据、地形地貌、土地利用分布、水系分布等资料。

4.2 资料处理

4.2.1 处理方法

4.2.1.1 对收集的资料进行归一化处理，归一化处理方法见附录 A。

4.2.1.2 采用百分位数法对暴雨过程进行等级划分。百分位数法见附录 B。

4.2.2 气象资料

4.2.2.1 统计四川省历年各气象台站 1 天、2 天、3 天、……10 天（含 10 天以上）暴雨过程降水量。

4.2.2.2 盆地和高原分别建立不同时间长度的 10 个降水过程序列。

4.2.2.3 按表 1 将暴雨强度分为 5 个等级。

表1 暴雨强度等级表

等级	百分位数 (P) 区间
1	$P \geq 98\%$
2	$95\% \leq P < 98\%$
3	$90\% \leq P < 95\%$
4	$75\% \leq P < 90\%$
5	$50\% \leq P < 75\%$

4.2.2.4 统计各台站在不同暴雨等级中的暴雨过程频次。

4.2.3 承灾体资料

4.2.3.1 以人口除以土地面积，得到人口密度，并进行归一化处理，形成分辨率不低于 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的人口密度网格数据。

4.2.3.2 以 GDP 除以土地面积，得到地均 GDP 密度，并进行归一化处理，形成分辨率不低于 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的地均 GDP 网格数据。

4.2.3.3 以 GDP 除以人口，得到人均 GDP 密度，并进行归一化处理，形成分辨率不低于 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的人均 GDP 网格数据。

4.2.4 灾情资料

统计单位面积上的暴雨灾害次数、造成的人员伤亡数和经济损失数，并进行归一化处理。

4.2.5 地理信息资料

4.2.5.1 在 GIS 平台，从 DEM 中提取高程和高程标准差，将地形高程和地形标准差组合赋值获得地形影响指数，原则是高程越低、高程标准差越小，影响值越大，表示越有利于形成涝灾。地形影响指数赋值参见表 2。

表2 地形影响指数赋值

高程/m	高程标准差		
	一级 ($\leq 1\text{m}$)	二级 (1-10m)	三级 ($\geq 10\text{m}$)
一级 (≤ 400)	1.0	0.9	0.8
二级 (400-800]	0.9	0.8	0.7
三级 (800-1500]	0.8	0.7	0.6
四级 (> 1500)	0.7	0.6	0.5

4.2.5.2 在 GIS 平台，计算河流密度，并进行归一化处理，形成河网密度指数栅格数据。

4.2.5.3 按照一级河流、二级河流、湖泊水库的水域面积，计算一级缓冲区和二级缓冲区，并赋予适当的影响因子，原则是一级河流和大型水体的一级缓冲区内赋值最大，二级河流和小型水体的二级缓冲区赋值最小。表3和表4给出了缓冲区划分参考值。

表3 河流缓冲区等级和宽度的划分标准

缓冲区宽度/km			
一级河流		二级河流	
一级缓冲区	二级缓冲区	一级缓冲区	二级缓冲区
8	12	6	10

表4 湖泊和水库缓冲区等级和宽度的划分标准

水域面积 $\times 10^4 \text{km}^2$	缓冲区宽度/km	
	一级缓冲区	二级缓冲区
0.1-1	0.5	1
1-10	2	4
10-20	3	6
>20	4	8

4.2.5.4 河网密度和缓冲区影响经归一化处理，各取权重，采用加权综合评价法求得水系影响指数，加权综合评价法参见附录C。

5 评估流程

暴雨灾害风险评估遵循自然灾害风险系统理论，从致灾因子危险性、承灾体暴露度和脆弱性方面综合评估气象灾害风险程度的地区差异，以综合的暴雨灾害风险指数作为指标，对暴雨灾害进行评估。评估流程见图1。

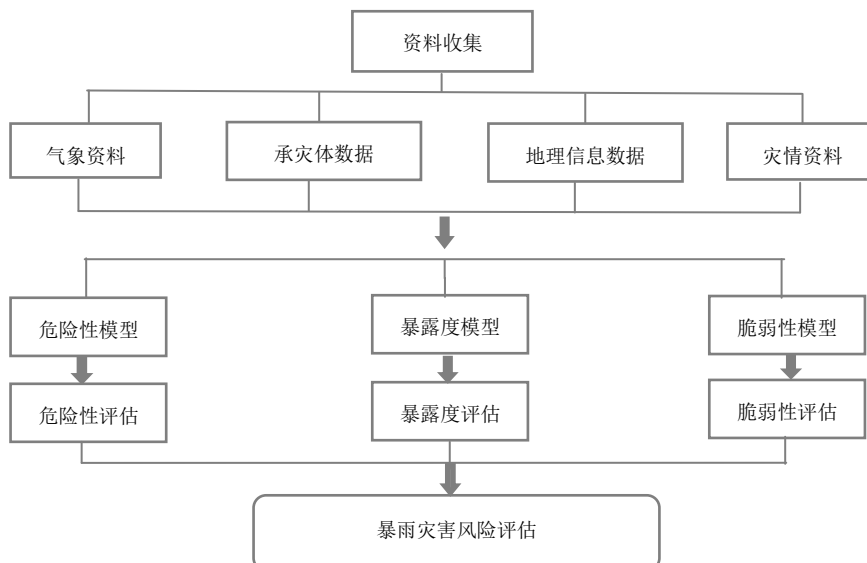


图1 暴雨洪涝灾害风险评估流程

6 评估方法

6.1 暴雨洪涝灾害风险评估指数

根据暴雨灾害风险形成原理及评价指标体系，分别将致灾危险性、承灾体暴露度和承灾体脆弱性各指标进行归一化，再加权综合，建立暴雨灾害风险评估指数模型，公式按式（1）计算：

$$FDRI = (VE^{we})(VS^{ws})(VH^{wh}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$FDRI$ ——暴雨洪涝灾害风险评估指数；

VE ——致灾危险性指数；

VS ——承灾体暴露度指数；

VH ——承灾体脆弱性指数；

we ——致灾危险性指数权重；

ws ——承灾体暴露度指数权重；

wh ——脆弱性指数权重；

权重的确定可采用层次分析法，参见附录 D

6.2 暴雨洪涝灾害致灾危险性指数计算

暴雨灾害致灾危险性指数按式（2）计算：

$$VE = f(\text{暴雨过程频次}) = \sum_1^i V_i E_i (i = 1, 2, 3, \dots) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

VE ——暴雨灾害危险性指数；

V_i ——标准化处理的不同等级的暴雨强度频次；

i ——暴雨等级；

E_i —— i 级暴雨的影响权重。

权重的确定可采用层次分析法，参见附录 D

6.3 暴雨洪涝承灾体暴露度指数计算

暴雨造成的危害程度与承受暴雨气象灾害的载体有关，它造成的损失大小取决于发生地的经济、人

口密集程度。暴雨灾害承灾体易损性指数按式（3）计算：

$$VS = f(\text{地均GDP, 人口密度, 耕地比重.....}) = \sum_1^i V_i S_i (i = 1, 2, 3, \dots) \dots \dots \dots (3)$$

式中：

VS ——暴雨气象灾害承灾体暴露性指数；

V_i ——经标准化处理的当地 GDP，人口，耕地比重等；

i ——承灾体易损性指标因子数；

S_i ——对应的权重。权重的确定可采用层次分析法，参见附录 D

6.4 暴雨洪涝灾害承灾体脆弱性指数计算

暴雨灾害承灾体脆弱性指数按式（4）计算：

$$VH = \sum_1^i V_i H_i + wp (10 - P_c) \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \dots \dots \dots (4)$$

式中：

VH ——暴雨灾害孕灾环境脆弱性指数；

V_i ——经标准化处理的地形因子、水系因子、受灾比重等；

i ——地形因子、水系因子、受灾比重等脆弱性指标因子数；

H_i ——地形因子、水系因子、受灾比重等因子对应的权重；

P_c ——防灾减灾措施能力指数；

wp ——防灾减灾措施能力对应权重；

权重的确定可采用层次分析法，参见附录 D。

6.5 暴雨洪涝灾害风险等级划分

依据暴雨洪涝灾害风险指数大小，按自然断点法，将暴雨灾害风险分为高、较高、中、较低和低 5 个等级，各等级色系参见表 5。自然断点法见附录 E。

表 5 暴雨灾害区划等级表

风险等级	颜色 RGB 值
低 (V 级)	绿色 RGB (0:255:0)
较低 (IV 级)	蓝色 RGB (0:102:255)
中 (III 级)	黄色 RGB (255:250:0)
较高 (II 级)	橙色 RGB (255:126:0)
高 (I 级)	红色 RGB (255:0:0)

附 录 A
(规范性)
归一化处理方法

由于气象灾害风险区划指标量纲不同，必须对其初始值进行标准化处理,得到相对统一的量纲,才能参与区域最终风险度的运算。

标准化处理用以下公式：

$$Y_{ij} = 10 \times \left(0.5 + 0.5 \times \frac{X_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i} \right) \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中：

Y_{ij} ——第*i*个站第*j*个指标的归一化值；

X_{ij} ——第*i*个站第*j*个指标的初始值；

\min_i ——第*j*个指标初始化值中的最小值；

\max_i ——第*j*个指标初始化值中的最大值。

附 录 B
(规范性)
百分位数法

百分位数是一种位置指标，常用于描述一组样本值在某百分位置上的水平，多个百分位结合使用，可以更全面地描述资料的分布特征。百分位数的计算采用以下经验公式：

$$\hat{Q}_i(p) = (1-\gamma)X_{(j)} + \gamma X_{(j+1)} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$j = \text{int}(p \times n + (1+p)/3) \dots\dots\dots (B.2)$$

$$\gamma = p \times n + (1+p)/3 - j \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$\hat{Q}_i(p)$ ——第 i 个百分位数；

p ——百分位数；

γ ——对应第 j 位的中间计算量

X ——升序排列后的样本序列

j ——第 j 个序列

n ——序列总数

附 录 C
(规范性)
加权综合评价法

加权综合评价法综合考虑各个具体指标对评价因子的影响程度,是把各个具体指标的作用大小综合起来,用一个数量化指标加以集中,计算公式为:

$$V = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_i \dots\dots\dots (C. 1)$$

式中:

式中:

V ——评价因子的值;

W_i ——指标 i 的权重;

D_i ——指标 i 的规范化值;

N ——评价指标的个数。

权重 W_i 的确定可由各评价指标对所属评价因子的影响程度重要性,根据专家意见,结合当地实际情况讨论确定。

附 录 D
(资料性)
层次分析法

D.1 基本原理

层次分析法根据问题的性质和要达到的总目标，将问题分解为不同的组成因素，并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合，形成一个多层次的分析结构模型，从而最终使问题归结为最低层（供决策的方案、措施等）相对于最高层（总目标）的相对重要权值的确定或相对优劣的排序。

D.2 步骤

D.2.1 构造判断矩阵

把每一个复杂系统中的每个指标都分解为若干个有序层次，每一层次中的元素具有大致相等的地位，设某层有 n 个因素， $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，要比较它们对上一层某一目标的影响程度，确定在该层中相对于某一目标所占的比重，即把 n 个因素对上层某一目标的影响程度排序，采用 1-9 尺度标准（如表 D.1）对这 n 个因素进行两两比较。

表D.1 1-9 尺度标准

尺度	含义
1	第 i 个因素与第 j 个因素的影响相同
3	第 i 个因素比第 j 个因素的影响稍强
5	第 i 个因素比第 j 个因素的影响强
7	第 i 个因素比第 j 个因素的影响明显强
9	第 i 个因素比第 j 个因素的影响绝对地强
2、4、6、8	第 i 个因素比第 j 个因素的影响介于上述两个相邻等级之间

上述过程得到成对比较矩阵A为：

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (D. 1)$$

矩阵中： a_{ij} 表示第*i*个因素相对于第*j*个因素的比较结果，其中， $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ 。

D. 2. 2 层次单排序

对应于判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 的特征向量，经归一化（使向量中各元素之和等于1）后记为W。W的元素为同一层次因素对于上一层次因素某因素相对重要性的排序权值，这一过程称为层次单排序。能否确认层次单排序，则需要进行一致性检验。

D. 2. 3 一致性检验

一致性指标用CI计算，CI越小，说明一致性越大。定义一致性指标公式为：

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \dots \dots \dots (D. 2)$$

CI=0，有完全的一致性；CI接近于0，有满意的一致性；CI越大，不一致越严重。

为衡量CI的大小，引入随机一致性指标RI:

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \dots + CI_n}{n} \dots \dots \dots (D. 3)$$

根据判断矩阵阶数，按照表D. 2找出对应的RI。

表D. 2 平均随机一致性指标值

矩阵阶数	RI
1	0
2	0
3	0. 58
4	0. 9
5	1. 12
6	1. 24
7	1. 32
8	1. 41
9	1. 45
10	1. 49

根据CI和RI的值，计算一致性比例，得出检验系数CR：

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots (D. 4)$$

当CR<0.1，则判断矩阵通过一致性检验，否则就不具有满意一致性，要重新构造成对比较矩阵，直至通过一致性检验。

D. 2. 4 计算合成权重

计算某一层次对应于最高层（总目标）相对重要性的权重，称为层次总排序。当所有层次的相对权重计算得出后，利用各层次指标的层次单排序结果，进一步计算递阶层次结构模型中最底层指标相对于总目标的组合权重，由下而上逐层进行层次总排序。

附 录 E
(规范性)
自然断点分级法

自然断点分级法是一种地图分级算法。该算法认为数据本身有断点，可利用数据这一特点进行分类。算法的功能就是减少同一级中的差异、增加级间的差异。统计公式见式 (E.1)。

$$SSD_{i-j} = \sum_{k=1}^j A[k] - \frac{\left(\sum_{k=1}^j [k]\right)^2}{j-i-1} \quad (1 \leq i \leq j \leq N) \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

SSD ——方差；

i 、 j ——第 i 、 j 个元素；

A ——长度为 N 的数组

K —— i 、 j 中间的数，表示 A 组中的第 k 个元素。

参 考 文 献

- [1] MZ/T 027-2011 自然灾害风险管理基本术语
- [2] 章国材. 自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014
- [3] 章国材. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京: 气象出版社, 2010