



T/CECS XXX-20XX

中国工程建设标准化协会标准

都市圈极端气候综合风险评估导则

**Guideline for comprehensive risk assessment of climate extremes
in metropolitan area**

(征求意见稿)

X X X 出版社

中国工程建设标准化协会标准

都市圈极端气候综合风险评估导则

Guideline for comprehensive risk assessment of climate extremes
in metropolitan area

(征求意见稿)

T/CECS XX-20XX

主编单位：中国城市规划设计研究院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年X月X日

XXX出版社

20XX 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》(建标协字〔2023〕50号)文件要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考国内外有关标准,并在广泛征求意见的基础上,制定了本导则。

本导则共分7章,主要内容包括:总则、术语、基本规定、评估框架与数据、单灾种危险性评估、承灾体风险评估、多灾种多承灾体综合风险评估。

本导则的某些内容可能直接或间接涉及专利,本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本导则由中国工程建设标准化协会城市规划专业委员会归口管理,由中国城市规划设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送至中国城市规划设计研究院(地址:北京市车公庄西路10号;邮政编码:100044,邮箱:)。

主编单位: 中国城市规划设计研究院

参编单位: 北京市气候中心

北京城市气象研究院

中国水利水电科学研究院

清华大学

北京林业大学

福州市规划设计研究院集团有限公司

主要起草人:

主要审查人:

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	评估框架与数据	4
4.1	评估框架.....	4
4.2	评估数据.....	4
5	单灾种危险性评估	6
5.1	一般规定.....	6
5.2	高温.....	6
5.3	暴雨.....	7
5.4	干旱.....	8
5.5	雪灾.....	9
5.6	台风.....	10
5.7	大风.....	11
5.8	风暴潮.....	12
6	承灾体风险评估	13
6.1	一般规定.....	13
6.2	社会经济系统.....	13
6.3	生态系统.....	15
6.4	水系统.....	16
6.5	能源系统.....	16
6.6	交通系统.....	17
7	多灾种多承灾体综合风险评估	18
7.1	灾害链危险性评估.....	18
7.2	多灾种多承灾体风险综合.....	18
附录 A	暴雨孕灾环境影响指数	20
	用 词 说 明	23

引用标准名录	24
附：条文说明	25

Contents

1	General provisions	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirements.....	3
4	Assessment framework and data.....	4
	4.1 Assessment framework	4
	4.2 Assessment data	4
5	Disater hazard assessment	6
	5.1 General requirements	6
	5.2 High temperature.....	6
	5.3 Rainstorm.....	7
	5.4 Drought	8
	5.5 Snow disaster	9
	5.6 Typhoon	10
	5.7 Wind.....	11
	5.8 Storm surge	12
6	Risk assessment of hazard affected bodies	13
	6.1 General requirements	13
	6.2 Socio-economic system.....	13
	6.3 Ecological system	15
	6.4 Water system	16
	6.5 Energy system.....	16
	6.6 Transportation system	17
7	Multi-hazard multi-exposure comprehensive risk assessment	18
	7.1 Disaster chain hazard assessment.....	18
	7.2 Multi-hazard multi-exposure risk integration methodology.....	18
	Appendix A: Rainstorm disaster formative environment index.....	20
	Explanation of wording	23

List of quoted standards	24
Addition: Explanation of provisions	25

1 总则

1.0.1 为加强都市圈应对气候变化与极端气候的能力,规范都市圈极端气候综合风险评估,并为都市圈社会经济发展、空间资源利用、生态环境保护等规划的编制提供科学支撑,制订本导则。

1.0.2 本导则适用于都市圈极端气候的现状与未来的综合风险评估。

1.0.3 都市圈极端气候综合风险评估应遵循科学性、系统性、适用性、可靠性的原则。

1.0.4 开展都市圈极端气候综合风险评估,除应符合本导则外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 都市圈 metropolitan area

都市圈是城市群内部以超大特大城市或辐射带动功能强的大城市为中心、以 1 小时通勤圈为基本范围的城镇化空间形态。

2.0.2 极端气候 climate extremes

极端气候是指相对罕见的、可能对人类社会和生态系统产生严重危害的气候事件。

2.0.3 极端气候阈值 climate extremes threshold

极端气候阈值是用于判断某一气候变量是否属于极端气候的临界值，当超过该值时被认定为极端气候事件。

2.0.4 危险性 hazard

指可能发生的气候事件或趋势对人体造成的生命损失、伤害或其他健康影响，以及对经济、财产、基础设施、生态系统和环境资源造成的损失和损害。

2.0.5 暴露度 exposure

可能受到不利影响的人员、环境资源、生态系统、基础设施、经济社会资产或文化资产的数量、程度或水平。

2.0.6 脆弱性 vulnerability

易受负面影响的倾向或特质，包括易受伤害或对伤害敏感，缺乏抵御和适应的能力等。

2.0.7 综合风险 comprehensive risk

多种极端气候事件对人类系统或生态系统等多种承灾体所产生的综合性不利影响的可能性。

3 基本规定

3.0.1 极端气候阈值的设定,应取评估区域的基准时段内按百分位数或重现期确定的阈值,或相关国家与行业标准的规定值。基准时段应选取现状风险评估的历史时段或距未来风险评估时段较近的历史时段。

3.0.2 极端气候综合风险评估应以都市圈的行政边界为评估范围,以区县或街道乡镇级的行政区域,或以栅格为基本评估单元。都市圈尺度可采用 1km×1km 或更高分辨率的栅格。

3.0.3 极端气候现状风险评估宜选取距现状水平年较近的历史时段;未来风险评估宜选取重点关注的未来时段,宜覆盖规划期内的年份。评估时段宜不少于连续 30 年。

3.0.4 各灾种、各承灾体的风险或脆弱性,可用死亡/受灾人口、经济损失、发生概率等进行表征,综合评估时如有不同量纲则进行归一化处理。

3.0.5 风险评估的灾种应选择所评估都市圈主要的极端气候灾害。如无特殊情况,高温、暴雨为必选灾种,南方沿海城市的必选灾种还应包括台风。可选灾种为干旱、雪灾、大风、风暴潮等。

3.0.6 风险评估的承灾体选择应因地制宜,经济系统、社会系统为必选,生态系统、基础设施(包括水系统、能源系统、交通系统)等为可选。

3.0.7 风险评估中的指标权重可采用专家打分法、层次分析法、熵值赋权法、相关系数法等方法确定。

3.0.8 风险评估中的危险性、暴露度、脆弱性及风险,可按照自然断点法、百分位法或标准差法等方法进行等级划分,等级划分宜符合表 3.0.8 的规定。

表 3.0.8 风险评估等级划分标准

等级值	等级名称	百分位法	标准差法
1	高	$R \geq 95\%$	$R \geq (\text{ave} + \sigma)$
2	较高	$85\% \leq R < 95\%$	$(\text{ave} + 0.5\sigma) \leq R < (\text{ave} + \sigma)$
3	中	$70\% \leq R < 85\%$	$(\text{ave} - 0.5\sigma) \leq R < (\text{ave} + 0.5\sigma)$
4	较低	$50\% \leq R < 70\%$	$(\text{ave} - \sigma) \leq R < (\text{ave} - 0.5\sigma)$
5	低	$R < 50\%$	$R < (\text{ave} - \sigma)$

注: R_e ——危险性、暴露度、脆弱性或风险; ave ——评估区域内非零 R 值的平均值; σ ——评估区域内非零 R 值的标准差。各地可根据实际数据分布特征,对上述分级标准进行适当调整。

4 评估框架与数据

4.1 评估框架

4.1.1 都市圈极端气候风险评估宜采用 IPCC 的“危险性-暴露度-脆弱性”极端气候风险评估框架。风险包含危险性、暴露度与脆弱性三个方面。

4.1.2 评估框架可根据实际的数据情况和研究需求进行适当调整。评估框架中可加入孕灾环境、防护能力等。孕灾环境宜归属于危险性，防护能力宜归属于脆弱性。

4.1.3 都市圈极端气候风险综合评估的流程应符合以下要求：

- 1 确定评估目标与评估对象；
- 2 收集数据资料；
- 3 进行各灾种的危险性评估；
- 4 进行各承灾体的暴露度评估；
- 5 进行各承灾体的脆弱性评估；
- 6 进行各灾种各承灾体的综合风险评估。

4.2 评估数据

4.2.1 都市圈极端气候风险的评估数据应包括气象、社会经济(行政区划、人口、经济等)、生态、自然地理(地形、水系、地质等)、基础设施、历史灾情等方面。

4.2.2 现状风险评估应使用历史及现状的统计或观测数据。当历史观测数据不足或同时进行现状与未来的风险评估时，现状风险评估可采用气候模式模拟的历史数据。

4.2.3 未来风险评估除自然地理、承灾体数据可采用现状数据外，应使用未来规划或预测数据。

4.2.4 历史气象数据应包含评估区域内所有国家气象站长时间序列(连续 30 年以上)的逐日观测资料，以及观测环境较好、观测时间较长(连续 10 年以上)的省级气象站逐日观测资料。降水数据宜有小时观测资料。

4.2.5 历史气象观测数据应符合现行国家标准《地面气象观测规范》GB/T 35221—35237 系列标准的相关要求，并按照气象行业标准《气象观测资料质量控制 地面》QX/T 118—2020 的要求进行质量控制。

4.2.6 都市圈未来气候变化模拟预估的情景宜采用 IPCC 的典型浓度路径(RCP)与共享社会经济路径(SSP)组合形成的情景,可重点考虑中等排放、中等辐射强迫的 SSP2-4.5 情景,以及高排放、极高辐射强迫的 SSP5-8.5 情景这两种常用的典型情景。

4.2.7. 都市圈未来气候变化预估宜采用降尺度方法。降尺度后水平空间分辨率不宜大于 30km,有条件的可到 10km 或更高分辨率;时间精度应到日。

4.2.8. 都市圈未来气候变化预估可采用多模式集合的方式。降尺度模型应通过性能评估后再对未来气候变化进行预估。未来极端气候的风险评估应基于气候模式预估的订正结果进行。

5 单灾种危险性评估

5.1 一般规定

- 5.1.1 风险评估的灾种可包括高温、暴雨、干旱、雪灾、台风、大风、风暴潮等。
- 5.1.2 单灾种危险性评估的步骤应包括确定致灾因子、计算单灾种危险性指数、单灾种危险性指数空间插值，以及单灾种危险性等级划分。
- 5.1.3 各灾种的致灾因子可根据评估区域实际情况和数据的可获取性，作适当增减或调整。
- 5.1.4 单灾种危险性等级划分，应按本导则第 3.0.8 条的规定，对评估区域内危险性指数空间插值的结果进行等级划分。

5.2 高温

- 5.2.1 高温危险性评估的资料应包括评估区域内气象站观测或未来气候变化预估的逐日最高气温数据。
- 5.2.2 高温致灾因子可包括极端最高气温、平均最高气温和高温日数。
- 5.2.3 高温致灾因子的计算应按照以下步骤：
- 1 识别评估区域内各气象站点评估时段内的高温日；
 - 2 统计各站点逐年高温日的极端最高气温、平均最高气温、高温日数等致灾因子，计算各类致灾因子的多年均值。
- 5.2.4 所有气象站点或各网格的各类致灾因子均值应进行归一化处理，得到每类致灾因子的归一化值。
- 5.2.5 评估区域内各气象站点或各网格的高温危险性指数可按下式计算：

$$H_T = \sum_{i=1}^n A_i T_i \quad (5.2.5)$$

式中： H_T ——高温危险性指数；

T_i ——第*i*个高温致灾因子的归一化值；

A_i ——第*i*个高温致灾因子的权重系数；

n ——致灾因子总数。

5.3 暴雨

I 评估资料与致灾因子

5.3.1 暴雨危险性评估的资料应包括：

1 评估区域内气象站观测或未来气候变化预估的逐日降水量数据，有条件的应使用逐时降水量数据。

2 自然环境资料：评估区域内的地形、水系和地质等资料。地形数据分辨率不宜小于 30m。

5.3.2 暴雨灾害的危险性可包括致灾因子和孕灾环境两部分。致灾因子可包括最大小时降水量、最大日降水量、最大 3 日降水量、年暴雨日数、年大暴雨日数、积水深度、积水时间、积水深度与流速乘积等。孕灾环境可包括海拔高度、高程标准差、水体距离、水系密度、地质灾害易发程度等。

5.3.3 暴雨危险性评估方法可采用指标体系法、情景模拟法等方法。

II 指标体系法

5.3.4 指标体系法应根据评估区域的暴雨灾害特点，识别致灾因子和孕灾环境影响因素，计算暴雨致灾因子指数和暴雨孕灾环境影响指数，进而计算暴雨危险性指数，评估暴雨灾害的危险性。

5.3.5 基于小时雨量、日雨量数据的暴雨致灾因子指数可分别按式（5.3.5-1）、（5.3.5-2）计算。

$$IR=A \times I_{1h}+B \times I_{1d}+C \times I_{3d}+D \times I_{day} \quad (5.3.5-1)$$

$$IR=A \times I_{1d}+B \times I_{3d}+C \times I_{day} \quad (5.3.5-2)$$

式中：IR——暴雨致灾因子指数；

I_{1h} ——评估时段内最大小时降水量归一化值；

I_{1d} ——评估时段内最大日降水量归一化值；

I_{3d} ——评估时段内最大3日降水量归一化值；

I_{day} ——评估时段内年大暴雨、暴雨或大雨日数最大值的归一化值；

A、B、C、D——权重系数。

5.3.6 暴雨孕灾环境影响指数可包括地形影响系数、水系影响系数和地质灾害易发系数三部分，计算方法详见附录 A。

5.3.7 指标体系法的暴雨危险性指数可按式(5.3.7-1)或式(5.3.7-2)计算:

$$H_R = (1 + I_e') \times IR \quad (5.3.7-1)$$

$$H_R = A \times I_e' + B \times IR \quad (5.3.7-2)$$

式中: H_R ——暴雨危险性指数;

I_e' ——暴雨孕灾环境影响指数;

IR ——暴雨致灾因子指数;

A 、 B ——权重系数。

III 情景模拟法

5.3.8 情景模拟法应基于洪涝数值模型的模拟结果,开展暴雨危险性评估。

5.3.9 情景模拟法应通过水文、水动力模型,对100年一遇或50年一遇等高重现期情景进行模拟,得到降雨过程中都市圈范围内洪水演进的过程,包括水深、流速等要素的时空分布。模型的构建、率定、验证与应用等可按团体标准《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》T/CECS 647-2019进行。

5.3.10 情景模拟法可根据情景模拟得到的积水深度、积水时间、水流深度与速度乘积等指标,按表5.3.10的规定划分暴雨的危险性等级。

表 5.3.10 暴雨危险性等级划分参考标准

等级	评价因素		
	积水深度(h)	积水时间(t)	水流深度与速度乘积(h×v)
1	$h < 15\text{cm}$	—	—
2	$15\text{cm} \leq h < 30\text{cm}$	$t < 60\text{min}$	$h \times v < 0.4\text{m}^2/\text{s}$
3	$30\text{cm} \leq h < 50\text{cm}$	$60\text{min} \leq t < 90\text{min}$	$0.4\text{m}^2/\text{s} \leq h \times v < 0.8\text{m}^2/\text{s}$
4	$50\text{cm} \leq h < 60\text{cm}$	$90\text{min} \leq t < 120\text{min}$	$0.8\text{m}^2/\text{s} \leq h \times v < 1.2\text{m}^2/\text{s}$
5	$h \geq 60\text{cm}$	$t \geq 120\text{min}$	$h \times v \geq 1.2\text{m}^2/\text{s}$

5.4 干旱

5.4.1 干旱危险性评估的资料应包括评估区域内气象站观测或未来气候变化预估的逐日平均气温、降水量等数据。

5.4.2 干旱致灾因子可选取气象干旱综合指数(MCI)。

5.4.3 气象干旱综合指数(MCI)的计算可参照现行国家标准《气象干旱等级》GB/T 20481-2017。

5.4.4 计算干旱危险性指数前应识别评估区域内各气象站点评估时段内的所有

干旱过程。干旱过程的判定应符合以下规定：

1 当单站连续 15 天及以上出现轻旱（ $-1.0 < MCI \leq -0.5$ ）及以上等级干旱，且至少有一天干旱等级达到中旱（ $-1.5 < MCI \leq -1.0$ ）及以上时，判定为发生一次干旱过程；

2 干旱过程时段内第一次出现轻旱的日期为干旱过程开始日；

3 干旱过程发生后，当连续 5 天干旱等级为无旱（ $MCI > -0.5$ ）时，干旱过程结束。干旱过程结束前最后一天干旱等级为轻旱或以上的日期为干旱过程结束日。

5.4.5 评估区域内各气象站点或各网格的年累积干旱强度可按下式计算：

$$SMCI_s = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n MCI_{ij} \quad (5.4.5)$$

式中： $SMCI_s$ ——第 s 年的年累积干旱强度；

MCI_{ij} ——第 s 年第 j 次干旱过程中第 i 天的MCI值；

n ——第 s 年第 j 次干旱过程持续天数；

m ——第 s 年干旱过程总次数。

5.4.6 评估区域内各气象站点或各网格的干旱危险性指数，可根据评估时段内的年累积干旱强度时间序列求得 5 年、10 年、20 年、50 年和 100 年重现期的年累积干旱强度，再按下式计算：

$$H_{MCI} = A \times SMCI_5 + B \times SMCI_{10} + C \times SMCI_{20} + D \times SMCI_{50} + E \times SMCI_{100} \quad (5.4.6)$$

式中： H_{MCI} ——干旱危险性指数；

$SMCI_i$ ——重现期为5年、10年、20年、50年和100年的年累积干旱强度；

A、B、C、D、E——权重系数。

5.5 雪灾

5.5.1 雪灾危险性评估的资料应包括评估区域内气象站观测或未来气候变化预估的逐日降雪量和积雪深度数据。

5.5.2 雪灾致灾因子可包括最大日降雪量、最大积雪深度、暴雪日数。

5.5.3 雪灾致灾因子的计算应按照以下步骤：

1 识别评估区域内各气象站点评估时段内的降雪日；

2 统计各站点逐年最大日降雪量、最大积雪深度、暴雪日数等致灾因子，计算各类致灾因子的多年均值。

5.5.4 所有气象站点或各网格的各致灾因子均值应进行归一化处理，得到每类致灾因子的归一化值。

5.5.5 评估区域内各气象站点或各网格的雪灾危险性指数可按下式计算：

$$H_S = \sum_{i=1}^n A_i S_i \quad (5.5.5)$$

式中： H_S ——雪灾危险性指数；

S_i ——第*i*个雪灾致灾因子的归一化值；

A_i ——第*i*个雪灾致灾因子的权重系数；

n ——致灾因子总数。

5.6 台风

5.6.1 台风危险性评估的资料应包括评估区域内气象站观测的逐日最大风速、降水量数据。

5.6.2 台风致灾因子的计算应按照以下步骤：

1 识别评估区域内各气象站点统计时段内的所有台风过程；

2 统计各气象站点每次台风过程的过程最大风速（Maximum Wind speed, MW）、过程累积降水量（Accumulative Precipitation, AP）、过程最大日降水量（Maximum Precipitation, MP）。台风引起的风速和降水的判别方法可参照气象行业标准《气候指数 台风》QX/T 574-2020 的相关规定。

5.6.3 风因子、雨因子等致灾因子的权重系数，可参照气象行业标准《气候指数 台风》QX/T 574-2020 的相关规定。

5.6.4 评估区域内各气象站点或各网格的台风危险性指数可按下式计算。

$$H = \alpha \cdot H_{MW} + \beta \cdot \left(\frac{H_{AP} + H_{MP}}{2} \right) \quad (5.6.4 - 1)$$

式中： H ——台风危险性指数；

α ——风因子权重系数；

β ——雨因子权重系数；

H_{MW} ——MW因子危险性指标归一化值；

H_{AP} ——AP因子危险性指标归一化值；

H_{MP} ——MP因子危险性指标归一化值。

其中，危险性指标 H_{MW} 、 H_{AP} 和 H_{MP} 可分别按下式计算：

$$H_i = \sum_{l=1}^L (w_{i,l} \cdot P_{i,l}) \quad (5.6.4-2)$$

式中： H_i ——致灾因子 i 的危险性指标；

L ——致灾因子的分级区间个数；

$w_{i,l}$ ——致灾因子 i 第 l 区间权重系数；

$P_{i,l}$ ——致灾因子 i 第 l 区间出现的累积概率。

5.7 大风

5.7.1 大风危险性评估的资料应包括评估区域内气象站观测或未来气候变化预估的逐日最大风速和极大风速数据。

5.7.2 大风致灾因子可包括极大风速、最大风速和大风日数。

5.7.3 大风致灾因子的计算应按照以下步骤：

1 识别评估区域内各气象站点评估时段内的所有大风日；

2 统计各站点逐年大风日的极大风速最大值、最大风速最大值和大风日数等致灾因子，计算各类致灾因子的多年均值。

5.7.4 所有气象站点或各网格的各类致灾因子均值应进行归一化处理，得到每类致灾因子的归一化值。

5.7.5 评估区域内各气象站点或各网格的大风危险性指数可按下式计算：

$$H_W = \sum_{i=1}^n A_i W_i \quad (5.7.5)$$

式中： H_W ——大风危险性指数；

W_i ——第 i 个大风致灾因子的归一化值；

A_i ——第 i 个大风致灾因子的权重系数；

n ——致灾因子总数。

5.8 风暴潮

5.8.1 风暴潮危险性评估的资料应包括评估区域内观测站观测或未来气候变化预估的逐日潮位数据。

5.8.2 风暴潮的危险性评估可按照海洋行业标准《海洋灾害风险评估和区划技术导则 第1部分：风暴潮》HY/T 0273—2019规定的方法进行。

6 承灾体风险评估

6.1 一般规定

6.1.1 风险评估的承灾体可包括社会经济系统、生态系统、水系统、能源系统、交通系统等。

6.1.2 各承灾体的风险等于危险性、暴露度与脆弱性的乘积。危险性、暴露度与脆弱性可用归一化值或等级值，可按下式计算：

$$R = H \times E \times V \quad (6.1.2)$$

式中：R——风险；

H——危险性；

E——暴露度；

V——脆弱性。

6.1.3 水系统、能源系统、交通系统各设施的脆弱性等于重要度和易损性的乘积，可按下式计算：

$$V = M \times U \quad (6.1.3)$$

式中：V——设施的脆弱性；

M——设施的重要度；

U——设施的易损性。

6.1.4 各承灾体在不同灾种下的易损性、脆弱性宜取不同数值。

6.2 社会经济系统

6.2.1 社会经济系统风险评估应包括对人口和经济产出的风险评估，宜重点分析评估高温、暴雨、干旱、雪灾、台风、风暴潮等对社会经济系统所产生的风险。

6.2.2 社会经济系统风险评估的资料应包括：

- 1 评估区域内的各级行政边界数据；
- 2 人口数据应到区县层级，宜到街道乡镇层级，包括人口总数、人口密度、人口年龄结构、性别比、受教育程度等；
- 3 经济数据应到区县层级，包括地区生产总值（GDP）、居民收入、减灾资金投入等；

- 4 房屋建筑空间分布和属性、医疗卫生条件；
- 5 历史灾情数据等。

6.2.3 社会系统的暴露度指标可用常住人口密度来表征。

6.2.4 经济系统的暴露度指标可用单位面积地区生产总值（GDP）来表征。

6.2.5 社会经济系统的脆弱性分析可采用指标分析法、脆弱性曲线法。

6.2.6 社会系统的脆弱性指标可包括人口年龄结构、受教育程度、房屋结构、医疗条件、经济实力等方面的指标。推荐指标如表 6.2.6 所示。

表 6.2.6 社会系统的脆弱性指标

脆弱性指标	指标含义	计算方式
人口年龄结构脆弱性	儿童和老人的人口占比	(0岁-14岁人数 + 65岁(含)以上年龄人数) / 区域总人数
受教育程度脆弱性	受教育程度不超过义务教育的人口占比	(15岁及以上的文盲人口数 + 受教育程度为小学的人口数 + 受教育程度为初中的人口数) / 区域总人数
房屋结构脆弱性	较安全结构的房屋建筑面积占比	房屋安全鉴定评为A级、B级,或1980年以来经过专业设计或抗震加固过的房屋
医疗条件脆弱性	万人医护人员比例	区域卫生技术人员数/区域总人口×10000
经济实力脆弱性	人均地区生产总值	区域地区生产总值/区域总人数

6.2.7 经济系统的脆弱性指标可包括人均可支配收入、人均防灾减灾投入、第三产业比重等指标。

6.2.8 社会经济系统的指标分析法可根据表 6.2.6 和第 6.2.7 条推荐的脆弱性指标,按下式进行计算:

$$V = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i \quad (6.2.8)$$

式中, V——社会、经济系统的脆弱性指数;

V_i ——社会、经济系统的脆弱性指标归一化值;

w_i ——社会、经济系统的脆弱性指标的权重;

n——社会、经济系统的脆弱性指标个数。

6.2.9 社会经济系统的脆弱性曲线法可按表 6.2.9 的方法得到脆弱性曲线,计算社会经济系统的脆弱性。

表 6.2.9 社会经济系统的脆弱性曲线法表格

致灾因子强度	承灾体损失（受灾人口/死亡人口）	承灾体损失（经济损失）
强度组 1	人口损失 1	经济损失 1
强度组 2	人口损失 2	经济损失 2
...
强度组 n	人口损失 n	经济损失 n

6.3 生态系统

6.3.1 生态系统的风险评估，宜重点分析评估高温、暴雨、干旱、雪灾、台风、风暴潮等对生态系统所产生的风险。

6.3.2 生态系统的风险评估的资料应包括评估区域内多年的净初级生产力（NPP）、最近年份的土地利用与覆被分类数据等。

6.3.3 生态系统的暴露度指标可用单位面积净初级生产力（NPP）来表征。

6.3.4 生态系统的脆弱性可包括功能脆弱性和结构脆弱性两方面，按下式进行计算：

$$V = A \times V_F + B \times V_S \quad (6.3.4)$$

式中：V——生态系统脆弱性；

V_F ——生态系统功能脆弱性的归一化值；

V_S ——生态系统结构脆弱性的归一化值；

A、B——权重系数。

6.3.5 生态系统的功能脆弱性可基于多年NPP值的变异系数，按下式进行计算：

$$V_F = \frac{\sigma_{NPP}}{NPP} \times 100\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (NPP_i - \overline{NPP})^2}{n-1}}}{NPP} \times 100\% \quad (6.3.5)$$

式中： V_F ——生态系统的功能脆弱性；

σ_{NPP} ——多年NPP的标准差；

\overline{NPP} ——多年NPP的平均值；

NPP_i ——第i年NPP观测值；

n——评估的年数。

6.3.6 生态系统的结构脆弱性可基于景观香农-维纳（Shannon-Wiener）多样性指

数，按下式进行计算：

$$V_S = 1/SHDI = -\frac{1}{\sum P_i \ln P_i} \quad (6.3.6)$$

式中： V_S ——生态系统的结构脆弱性；

$SHDI$ ——景观香农-维纳多样性指数；

P_i ——第*i*类斑块在景观中的面积比例。

6.4 水系统

6.4.1 水系统的风险评估，宜重点分析评估暴雨、高温、干旱等极端气候对供水系统所产生的风险，以及暴雨、高温、台风等极端气候对排水系统所产生的风险。

6.4.2 水系统风险评估的资料应包括水系统的设施分布、设施数量、设施规模、设施等级、设施服务人口、设施服务面积、设施防护情况等。

6.4.3 供水系统的暴露度，可用单位用地面积的水源、水厂、泵站数量，及单位用地面积的输水管、供水管网长度等指标来表征。

6.4.4 污水系统的暴露度，可用单位用地面积的污水处理厂、污水泵站数量，及单位用地面积的污水管网长度等指标来表征。雨水系统的暴露度，可用单位用地面积的雨水泵站、坝、闸门数量，及单位用地面积的雨水管渠长度等指标来表征。

6.4.5 供水、排水设施的重要度可根据其服务人口、服务面积或设施规模所占比重，以及服务区域重要性等因素加以确定。供水、排水设施的易损性可根据其牢固程度、防护程度等因素加以确定。

6.5 能源系统

6.5.1 能源系统的风险评估，宜重点分析评估暴雨、高温、大风等极端气候对电力系统所产生的风险，以及暴雨、台风等极端气候对燃气系统所产生的风险。

6.5.2 能源系统风险评估的资料应包括能源系统的设施分布、设施数量、设施规模、设施等级、设施服务人口、设施服务面积、设施防护情况等。

6.5.3 电力系统的暴露度，可用单位用地面积的发电厂、变电站数量，及单位用地面积的电力线路等级、线路长度等指标来表征。

6.5.4 燃气系统的暴露度，可用单位用地面积的分输站、门站、调压站、储气设施数量，及单位用地面积的燃气线路等级、线路长度等指标来表征。

6.5.5 电力、燃气设施的重要度可根据其服务人口、服务面积或设施规模所占比重，以及服务区域重要性等因素加以确定。电力、燃气设施的易损性根据其牢固程度、防护程度等因素加以确定。

6.6 交通系统

6.6.1 交通系统的风险评估，宜重点分析评估暴雨、雪灾、台风等极端气候对道路、轨道和对外交通系统所产生的风险。

6.6.2 极端气候对交通系统影响评估的资料应包括交通系统的设施等级、设施形式（高架、下穿隧道、桥梁、高边坡、半敞式地下等）、使用年限与历史损耗记录、设施服务人口、历史交通流量等。

6.6.3 交通系统的暴露度，可基于城市道路交通、城市轨道交通、城市对外交通设施在暴雨、冰雪等极端气候灾害中的暴露数量和暴露程度进行评估。

6.6.4 交通系统在暴雨和冰雪灾害中的重要度评估指标可基于城市道路交通、城市轨道交通及城市对外交通设施所处区域的人口密度、交通流量、与重要应急设施点的连通性、交通设施在所处区域的稀缺性与唯一性进行表征。

6.6.5 交通系统的易损性应针对不同灾种分情况进行评估。交通系统在暴雨和冰雪灾害中的易损性评估指标可基于设施等级、建设型式、高程、年限等因素进行表征。交通设施的建设形式可分为高架、地面、开敞式半地下和地下等。交通系统的易损性也可因地制宜地考虑桥隧、高边坡、道路坡度等因素。

7 多灾种多承灾体综合风险评估

7.1 灾害链危险性评估

7.1.1 极端气候灾害链的危险性评估，可重点针对“暴雨-地质灾害-洪涝”灾害链展开，沿海地区可重点针对“台风-风暴潮-暴雨-地质灾害-洪涝”灾害链展开。

7.1.2 极端气候灾害链的危险性评估，可采用风险矩阵法、情景分析法等方法。

7.1.3 用风险矩阵法对灾害链的危险性进行分析评估时，应合理设定耦合规则，建立触发关系。危险性指数的调整可按式(7.1.3-1)或式(7.1.3-2)进行计算：

$$H' = H + \Delta H \quad (7.1.3-1)$$

$$H' = a \cdot H \quad (7.1.3-2)$$

式中，H——调整前的危险性指数；

H'——调整后的危险性指数；

ΔH ——危险性指数的调整量；

a——危险性指数的调整系数。

7.1.4 用情景分析法对灾害链的危险性进行分析评估时，应结合历史观测数据或气候模式预估结果，综合考虑相关联灾种的联合概率分布，对 100 年一遇或 50 年一遇等高重现期情景，采用相关专业的数学模型进行模拟分析。

7.2 多灾种多承灾体风险综合

7.2.1 多灾种多承灾体风险的综合，可采用考虑灾害链的过程式综合、各灾种加权的累加式综合，也可采用分级分类区划的综合方式。

7.2.2 过程式综合以灾害链的危险性分析为基础，可采用风险矩阵法、情景分析法等方法。

7.2.3 累加式综合可按两种路径进行加权累加。第一种侧重评估单灾种的综合风险，先对某灾种各承灾体的风险进行加权，再对各灾种的风险进行加权。第二种侧重评估单承灾体的综合风险，先对某承灾体各灾种的风险进行加权，再对各承灾体的风险进行加权。两种路径的综合可分别按式（7.2.3-1）、（7.2.3-2）计算：

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{i,j} \cdot P_{i,j} \quad (7.2.3-1)$$

$$P = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w'_{i,j} \cdot P_{i,j} \quad (7.2.3 - 2)$$

式中，P——极端气候综合风险；

$P_{i,j}$ ——第 i 种极端气候灾害对第 j 种承灾体产生的风险；

$w_{i,j}$ 、 $w'_{i,j}$ ——第 i 种极端气候灾害对第 j 种承灾体产生的风险的权重，且

满足 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{i,j} = 1$ 或 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w'_{i,j} = 1$ ；

m——承灾体的种数；

n——极端气候灾害的种数。

7.2.4 分级分类区划的综合方式，按各灾种的危险性、各承灾体的风险高低进行分级分类，并作聚类分析，进行综合风险区划，形成最终的风险综合形式。

附录 A 暴雨孕灾环境影响指数

A.0.1 地形影响系数可包括高程和地形变化两方面因素，根据海拔高度和高程标准差确定，按表 A.0.1 进行赋值。高程数据可从基础地理信息数据中直接提取，地形变化可用高程标准差表示。对任一评估点，可利用以该点为中心、其周围 8 个格点的高程值，按下式计算高程标准差。

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (h_j - \bar{h})^2}{n}} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： h_j ——周围第 j 个点的海拔高度，m；

\bar{h} ——评估点的海拔高度，m；

n ——8。

表 A.0.1 地形影响系数赋值表

高程标准差	海拔高度/m				
	<100	[100, 300)	[300, 500)	[500, 800)	≥800
<1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
[1, 10)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
[10, 20)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
≥20	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

A.0.2 水系影响系数可根据评估点距离水体的远近和所在区域的水网密度确定，分别用水体距离系数和水网密度系数表示。水体距离系数可根据距离水体（河流、湖泊、水库）的远近取相应的数值，按表 A.0.2-1 进行赋值。水网密度系数为单位面积内自然和人工河道的总长度，可按表 A.0.2-2 进行赋值。水系影响系数可按下式计算。

$$P_r = A \times P_{rd} + B \times P_{rm} \quad (\text{A.0.2})$$

式中： P_r ——水系影响系数；

P_{rd} ——水体距离系数；

P_{rm} ——水网密度系数；

A, B ——权重系数， $A, B \geq 0$ 且 $A+B=1$ 。

表 A.0.2-1 水体距离系数赋值表

水体面积/km ²	距离水体距离/km	水体距离系数	距离水体距离/km	水体距离系数	距离水体距离/km	水体距离系数	距离水体距离/km	水体距离系数
(0, 50)	<0.3	0.9	[0.3, 0.5)	0.8	[0.5, 1)	0.6	≥1	0-0.4
[50, 200)	<0.5	0.9	[0.5, 1)	0.8	[1, 2)	0.6	≥2	0-0.4
≥200	<1	0.9	[1, 2)	0.8	[2, 3)	0.6	≥3	0-0.4

表 A.0.2-2 水网密度系数赋值表

水网密度/km·km ⁻²	水网密度系数
<0.01	0
[0.01, 0.24)	0.1
[0.24, 0.41)	0.2
[0.41, 0.57)	0.3
[0.57, 0.74)	0.4
[0.74, 0.91)	0.5
[0.91, 1.08)	0.6
[1.08, 1.24)	0.7
[1.24, 1.41)	0.8
≥1.41	0.9

A.0.3 地质灾害易发系数可根据地质灾害的易发程度加以确定，按表 A.0.3 进行赋值。

表 A.0.3 地质灾害易发系数赋值表

地质灾害易发程度	不易发	低易发	中易发	高易发
地质灾害易发系数	0	0.3	0.6	0.9

A.0.4 综合考虑地形、水系、地质灾害易发程度，评估点的暴雨孕灾环境综合系数可按下式进行计算。

$$I_e = w_h \times P_h + w_r \times P_r + w_d \times P_d \quad (\text{A.0.4})$$

式中：I_e——暴雨孕灾环境综合系数；

P_h——地形影响系数；

P_r——水系影响系数；

P_d——地质灾害易发系数；

w_h、w_r、w_d——权重系数，且w_h+w_r+w_d=1。

A.0.5 各评估点的暴雨孕灾环境影响指数，可按下式对评估区域内各点的暴雨孕灾环境综合系数进行规范化处理后得到。

$$I_e' = -c + 2c \left(\frac{I_e - I_{emin}}{I_{emax} - I_{emin}} \right) \quad (\text{A.0.5})$$

式中： I_e' ——暴雨孕灾环境影响指数；

I_e ——暴雨孕灾环境综合系数；

I_{emin} ——评估区域内最小的暴雨孕灾环境综合系数；

I_{emax} ——评估区域内最大的暴雨孕灾环境综合系数；

c ——常数，取值在0.2~0.4之间。

用 词 说 明

为便于在执行本导则条款时区别对待,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”。

引用标准名录

本导则引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本导则；不注日期的，其最新版适用于本导则。

气象干旱等级 GB/T 20481-2017

气候指数 台风 QX/T 574-2020

海洋灾害风险评估和区划技术导则 第1部分：风暴潮 HY/T 0273—2019

城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程 T/CECS 647-2019

中国工程建设标准化协会标准

都市圈极端气候综合风险评估导则

T/CECS XX-20XX

条文说明

制定说明

本导则编制过程中，编制组关于极端气候风险评估开展了广泛的调查研究，总结了国际国内气候风险评估的理论研究与实践经验，并在广泛征求意见的基础上，确定了都市圈极端气候风险评估的方法。

为便于广大技术和管理人员在使用本导则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等进行了说明。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	30
3	基本规定	31
4	评估框架与数据	33
4.1	评估框架.....	33
4.2	评估数据.....	33
5	单灾种危险性评估	36
5.1	一般规定.....	36
5.2	高温.....	36
5.3	暴雨.....	36
5.4	干旱.....	39
5.5	雪灾.....	39
5.6	台风.....	39
5.7	大风.....	40
6	承灾体风险评估	41
6.1	一般规定.....	41
6.2	社会经济系统.....	41
6.3	生态系统.....	42
6.4	水系统.....	43
6.5	能源系统.....	43
6.6	交通系统.....	44
7	多灾种多承灾体综合风险评估	45
7.1	灾害链危险性评估.....	45
7.2	多灾种多承灾体风险综合.....	46
	附录 A 暴雨孕灾环境影响指数.....	48
	参考文献	49

1 总则

1.0.1 本条规定了导则的编制目的。

以全球变暖和极端气候事件频发为特征的全球气候变化已经对城市社会经济和环境的可持续发展带来了严峻挑战。未来全球气候变化将使极端高温、洪涝、干旱、冰冻、风暴潮等各种极端气候灾害的强度与频率进一步增加，将给我国带来趋势性、复合型、极端性的灾害影响，影响范围与程度将加大加深。

统筹发展和安全是中国式现代化的重要战略部署，党和国家高度重视安全问题。都市圈社会经济发展、空间资源利用、生态环境保护等规划的编制需要考虑气候变化背景下多种极端气候灾害产生的综合风险，优化都市圈空间布局，从源头规避或在过程与末端减轻极端气候灾害风险，从而提高都市圈应对气候变化、抵御极端气候灾害的能力，保障人民生活生产安全，实现可持续发展。

1.0.2 本条规定了导则的适用范围。在都市圈的各类规划中，很重要的一项内容是对未来的极端气候状况进行预估，对其风险进行预判，做好事先规避、预防和减缓，从而更好地指导规划的编制。本导则既可用于对都市圈现状的极端气候综合风险评估，也可以用于都市圈在未来气候变化背景下的极端气候综合风险评估。

1.0.3 本条规定了开展都市圈极端气候综合风险评估应遵循的原则。

1.0.4 本条规定了导则与现行标准的关系。

3 基本规定

3.0.1 高温、暴雨等各种极端气候的阈值设定,有相对阈值和绝对阈值两种方式。极端气候的相对阈值一般根据一个时间段内的 90 分位数、95 分位数、99 分位数等,或 50 年一遇、100 年一遇等高重现期确定,不同地区、不同时段相对阈值不同。对现状的极端气候风险评估,一般选取评估时段为基准期。未来极端气候风险评估的基准期,一般选取离未来评估时段较近的某一段历史时期,如未来评估时段为 2015-2100 年,则基准期可选为 1985-2014 年。极端气候的绝对阈值往往与其影响相关联,不同地区、不同时段绝对阈值相同。极端气候的绝对阈值应当根据相关国家标准与行业标准的规定值确定,如高温取 35℃,等。

本导则不对阈值的设定方式作统一规定,可以根据不同地区及实际需求加以确定。如部分寒冷地区,高温可以取绝对阈值 35℃,这种情况下该地区的高风险区可能很少或不存在,这符合一般认知。但当地极少出现的高温(可能低于 35℃),也可能会对人体或生态系统产生不利影响,因此高温也可以取相对阈值。

3.0.2 本条规定风险评估的空间范围和基本单元。风险评估的基本单元可以是行政区划。人口数据可以到街道乡镇级,经济数据一般只到区县级。风险评估的基本单元也可以是栅格,在都市圈的尺度上可以采用 1km×1km 或更精细的栅格。地形数据可以到 30m×30m 栅格甚至更高分辨率。

3.0.3 本条规定风险评估的时段选取与时段长度。气候的年际波动较大,要反映一个区域气候的基本规律,通常以一个气候态(连续 30 年)进行考察评估。但在都市圈的风险评估中,当考虑到空间分辨率的要求时,往往存在气象数据年份不足的情况,如省级站点一般只有十几年的数据,有些高分辨率的未来预估只有连续 20 年的数据。因此,在气象数据年份不足的情况下,可以适当放宽要求。未来随着时间的推移和数据的不断积累,将逐步能够满足连续 30 年气象数据的要求。

3.0.4 本条规定各灾种、各承灾体的风险或脆弱性表征的单位。在表征风险或脆弱性时,可以用不同的衡量方式和单位,常用的有死亡或受灾人数、经济损失或发生概率等。当不同灾种、承灾体表征的单位出现不同量纲时,在加权得到综合风险时就需要先进行归一化处理。

3.0.5 本条规定风险评估的灾种选择。我国大部分地区为大陆季风气候，经常遭受暴雨、高温侵袭。2001~2020年，暴雨引发的洪涝灾害造成直接经济损失占全部气象灾害损失的39.5%，死亡人口占比超过一半，是对我国社会经济影响最为严重的自然灾害之一。因此，除了部分干燥或寒冷地区等特殊情况之外，暴雨、高温为都市圈极端气候风险评估必选的灾种。在南方沿海城市，台风的灾害也非常严重，因此这些城市的必选灾种还包括台风。

3.0.6 本条规定风险评估的承灾体选择。各种极端气候灾害对社会经济造成的影响最大，可能会产生较大的人员伤亡和经济损失，是最主要的承灾体，因此社会系统、经济系统为必选。都市圈的主体是城市部分，因此农业与农作物不作为承灾体进行风险评估。评价极端气候对都市圈产生的综合风险，如果只评价社会系统和经济系统还不够全面。生态系统和基础设施（包括水、能源、交通）虽然并不是最主要的承灾体，但也是都市圈生产生活正常运转的重要组成部分，纳入风险评估将使评估更为全面和完整。生态系统和基础设施可以全部进行评估，也可以根据评估区域的特点、数据的可得性，以及评估工作量和时间要求等，有选择地进行评估。

3.0.7 本条规定指标权重的确定方法。权重对于评估结果有较大的影响，科学确定各指标的权重对于评估的科学性有着重要意义。常用的权重确定方法有专家打分法、层次分析法、熵值赋权法等，均可用于极端气候风险评估。

3.0.8 本条规定风险评估等级划分的方法。风险评估中的危险性、暴露度、脆弱性及风险的等级划分方法类似，都可以采用自然断点法、百分位法或标准差法等方法进行等级划分。都市圈极端气候综合风险评估中通常使用 ArcGIS 进行等级划分和风险区划，其中自然断点法的使用较为普遍。

4 评估框架与数据

4.1 评估框架

4.1.1 本条规定风险评估的基本框架。2012年，IPCC发布了特别报告《管理极端天气气候事件和灾害风险，推进气候变化适应》(Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, SREX)，提出了“危险性—暴露度—脆弱性”这一极端气候风险评估框架。并且规定了风险包含危险性、暴露度与脆弱性三个方面。本导则推荐都市圈极端气候风险评估采用IPCC这一评估框架。

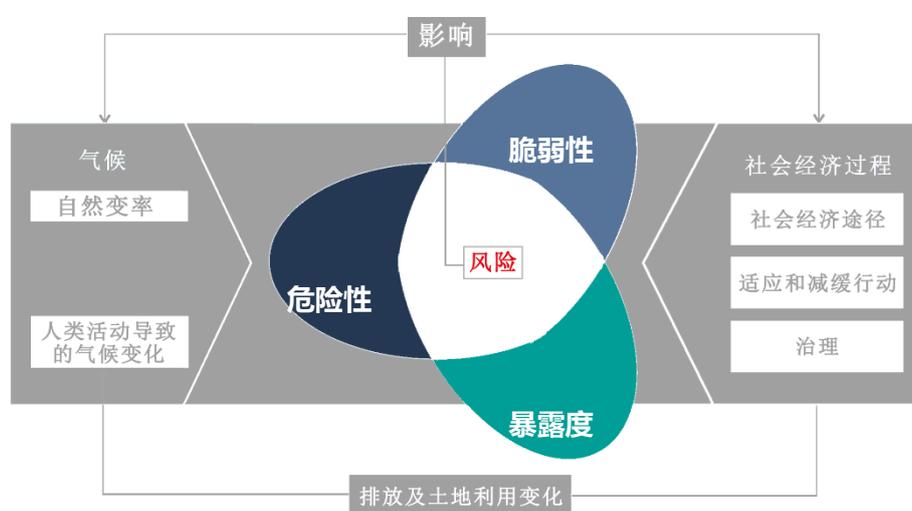


图 4.1.1 IPCC 极端气候风险评估框架

4.1.2 极端气候风险评估仍是一个不断发展的领域，不同的地区、不同的灾种、不同的承灾体，有着不同的特点，不同的研究机构和学者也提出了不同的评估框架和评估方法。因此，可根据实际的数据情况和研究需求，对评估框架进行适当调整。在研究与实践中出现比较多的是孕灾环境和防护能力。本导则推荐将孕灾环境归属于危险性，将防护能力归属于脆弱性。

4.2 评估数据

4.2.1 都市圈极端气候风险的评估数据包括较多种类。气象、自然地理（地形、水系、地质等）主要用于各灾种的危险性评估，社会经济（人口、行政区划、经济）、生态、基础设施、历史灾情等主要用于各承灾体的暴露度、脆弱性和风险评估。

4.2.2 进行现状的都市圈极端气候风险评估时，应采用历史统计或观测数据。如

果同时进行现状与未来的风险评估，现状风险评估也可以采用气候模式模拟的历史数据，以增加现状与未来风险评估结果之间的可比性。此外，在现状数据缺乏的情况下，气候模式模拟的历史数据也可作为一种补充。

4.2.3 进行未来的都市圈极端气候风险评估时，应采用气候变化预估数据和其它规划预测数据。自然地理的未来变化相对较小，且较难进行预测，因此可采用现状数据。人口、经济、生态、基础设施等承灾体一般用规划预测数据，但用未来气候变化预估数据对现状承灾体的风险进行评估也是有意义的。因此，各类承灾体可根据需要，使用现状或规划数据。

4.2.4 国家气象站一般有连续 30 年以上的逐日观测数据，一般每个区县有一个观测站点。因此，从时间长度和空间跨度上考虑，历史的气象观测数据应包括评估区域内所有国家站。考虑到国家气象站的空间分布还不能完全满足都市圈极端气候风险评估的空间分辨率要求，因此可以考虑采用省级气象站进行补充。但省级气象站的观测时间相对较短，而且观测条件和数据质量不能完全得到保障，因此需要选择观测时间较长（连续 10 年以上）且数据质量较好的省级站点。

4.2.5 历史的气象观测数据需要符合相关国家和行业标准的观测要求，并经过质量控制，包括气候极值检查、内部一致性检查、时变检查、持续性检查等。

4.2.6 温室气体排放情景是对未来气候变化预估的基础，目前主要使用的有 RCP 情景和 SSP 情景。“典型浓度路径(Representative Concentration Pathways, RCP)”于 2010 年由 Moss 等人提出。名称中的 representative 表示只是许多可能性中的一种，用 concentration 而不用辐射强迫是要强调新的情景设计以浓度为目标，pathways 则不仅是指未来的某一个量，而且包括到达这个量的过程即路径。“共享社会经济路径(Shared Socio-economic Pathways, SSPs)”在 RCP 情景之后提出，描绘了未来社会经济系统发展的不同轨迹，能够反映社会经济发展模式与气候变化风险之间的关联，统一综合评估模型、气候模式，以及影响、适应与脆弱性 3 大研究团体间关于人口、经济和能源消费等的不同预测和设定，从而促进气候变化影响、脆弱性、适应和减缓的综合分析。

RCP 情景主要有 RCP2.6、RCP4、RCP6 和 RCP8.5。SSP 情景主要有 SSP1、SSP2、SSP3、SSP4 和 SSP5。目前普遍的做法是采用 IPCC 的典型浓度路径(RCP)与共享社会经济路径(SSP)组合形成的情景。根据都市圈极端气候未来预估的

需求，推荐重点考察中等排放、中等辐射强迫的 SSP2-4.5 情景，以及高排放、极高辐射强迫的 SSP5-8.5 情景。

4.2.7. 全球气候模式的水平空间分辨率一般在 50-200km，尚难满足都市圈的风险评估需求，因此需要采用降尺度方法，对都市圈未来的气温、降水等气象要素进行高分辨率的模拟预估。降尺度方法包括统计降尺度和动力降尺度，也可以将这两种方法结合使用。动力降尺度采用全球气候模式驱动区域气候模式。统计降尺度包含多元线性回归、典型相关分析等线性模型，以及人工神经网络、随机森林等非线性算法。

用降尺度方法进行未来气候预估，应当选择合适的空间和时间精度。在水平空间精度上，建议都市圈的风险评估一般不大于 30km，如果能达到 10km 甚至更高的精度，更有利于评估结果的准确性。在时间精度上，将预估的气象要素数据定为逐日数据，以平衡极端气候风险评估的数据需求与气候模式预估结果的不确定性。

4.2.8. 为降低单个气候模式预估的不确定性，可以采用多模式集合的方式。在气候模式预估前，需要用历史气象观测数据对气候模式的性能进行评估。在气候模式通过性能评估之后，才能够对未来气候变化进行模拟预估。性能评估可以采用均方根误差、空间相关系数等指标进行评估。气候模式预估的结果往往存在系统性偏差，直接用于极端气候风险评估会影响评估结果，因此需要进行订正，并根据气候模式预估的订正结果，进行未来极端气候的风险评估。

5 单灾种危险性评估

5.1 一般规定

5.1.2 本条规定单灾种危险性评估的一般步骤，各灾种进行危险性评估时，均应遵循这一步骤进行操作。

5.1.3 本导则推荐了各灾种较为合适的致灾因子用于进行风险评估。不同区域的实际情况不同，数据的可获得性也不同，并且随着研究和实践的发展，致灾因子可以根据实际需求加以调整和增减。

5.1.4 本条规定单灾种危险性等级的划分，不是直接对各气象站或各网格的危险性指数进行划分，而是对上述指数进行空间插值后的结果进行划分。

5.2 高温

5.2.1 根据高温危险性评估的特点，所需资料包括气象站观测的逐日最高气温数据，未来危险性评估则采用气候变化预估的逐日最高气温数据，用于高温危险性指数计算。

5.2.2 本导则推荐高温致灾因子选取极端最高气温、平均最高气温和高温日数，分别从极端强度、累积强度和发生频率三个维度反映高温的致灾潜力。

5.2.3 对各类高温致灾因子进行统计与计算。

5.2.4 对各类高温致灾因子进行归一化处理，以消除量纲差异。

5.2.5 高温危险性指数由极端最高气温、平均最高气温、高温日数等致灾因子的归一化值及其权重决定。

5.3 暴雨

5.3.1 根据暴雨危险性评估的特点，所需资料包括气象方面的降雨数据和自然环境方面的地形、水系和地质数据，分别用于致灾因子和孕灾环境的相关计算。

使用逐时或更高精度的降水量数据，能更全面准确地评估暴雨危险性。在指标体系法中，推荐使用逐时降水量数据；在情景模拟法中，推荐使用分钟级降水量数据。但考虑到现实中数据的可获得性，很多情况下特别是在未来气候变化预估中，只能得到日降水量数据，因此提出使用逐日降水量数据，有条件时使用逐时降水量数据。

评估区域内的地形、水系、地质条件，会对形成洪涝、城市内涝、泥石流、滑坡、塌陷等次生灾害起到一定的影响作用，这些资料可以通过历史文献检索法、成果调研法、实地调查法、遥感和地理信息分析法以及多媒体大数据采集处理法等方法获取。

5.3.2 暴雨灾害的危险性既跟降雨的致灾因子有关，也跟地形、水系、地质等孕灾环境有关。致灾因子包括最大小时降水量、最大日降水量、最大3日降水量、年暴雨日数、年大暴雨日数、积水深度、积水时间、积水深度与流速乘积等。孕灾环境包括海拔高度、高程标准差、水体距离、水系密度、地质灾害易发程度等。

指标体系法从暴雨的强度和频率两方面来构建指标。暴雨致灾有雨强致灾和雨量致灾两种类型，雨强致灾主要是指由短历时的强降雨引起，雨量致灾主要是指由长历时的累积降雨引起。因此，在致灾因子的选择上，选择短历时的最大小时降水量，长历时的最大日降水量和连续3日最大降雨量表征暴雨的强度。另一方面，暴雨发生的频率用暴雨日数来表征。我国各地降雨情况差异较大，可根据当地情况选取不同的暴雨阈值。对于降雨量大的地区，可用暴雨（日降水量大于等于50mm，或用分位数法得到的阈值）日数、大暴雨（日降水量大于等于100mm）日数，对于降雨少的地区如西北地区，也可用大雨（日降水量大于等于25mm）日数。

在情景模拟法中，通常用模型模拟得到的积水深度、积水时间、积水深度与流速乘积等指标来衡量暴雨的危险程度。

暴雨孕灾环境影响指数包括地形影响系数、水系影响系数和地质灾害易发系数三部分。地形可以用海拔高度、高程标准差这两个指标，水系可以用水体距离、水系密度这两个指标，地质可以用地质灾害易发程度这一指标。

5.3.3 暴雨危险性评估有指标体系法、情景模拟法、遥感影像法等多种评估方法，最常用的是指标体系法和情景模拟法。指标体系法的计算方法相对简单，但需要长时间序列的大量降雨数据作为支撑。情景模拟法所需的降雨数据相对较少，模拟结果的精度较高，但需要构建专业的数值模型，耗时较多，成本较大。在实际的危险性评估中，可以根据实际情况选择合适的评估方法。

5.3.4 本条对指标体系法的步骤加以规定。指标体系法先分别统计致灾因子和孕灾环境的相关指标，在此基础上计算得到暴雨致灾因子指数和暴雨孕灾环境影响

指数，再将两者加权计算得到致灾危险性指数。

5.3.5 考虑到数据可获得性，很多情况下特别是在未来气候变化预估中，只能得到日降雨数据，因此提供了基于小时雨量数据和日雨量数据的两种暴雨致灾因子指数计算公式。

5.3.6 暴雨孕灾环境的计算方法较为复杂，在附录 A 中给出详细的计算方法。

5.3.7 暴雨危险性指数可以根据实际需求选择本条文中给出的两种计算方法中的一种进行计算。权重系数可以根据区域特点，采用专家打分法、层次分析法、信息熵赋权法、相关系数法等方法加以确定。

5.3.8 目前有多种成熟的商业软件，如 ICM、MIKE 软件等，在排水防涝规划中得到普遍应用，可以对暴雨洪涝进行数值模拟，用于情景模拟法对暴雨危险性的评估。

5.3.9 考虑到极端气候发生频率较低的特点，规定选择 100 年一遇或 50 年一遇等高重现期的情景进行模拟。通过水文、水动力模型，模拟得到降雨过程中都市圈范围内洪水演进过程水流的深度、流速等要素的时空分布，为下一步计算暴雨危险性的评估指标奠定基础。团体标准《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》T/CECS 647-2019 对相关模型的构建、率定、验证与应用作了规定，可以参照执行。

5.3.10 暴雨的危险性也常称为内涝风险，可用积水深度、积水时间、水流深度与速度乘积三个指标来进行评估。基于行人和汽车安全，借鉴国内外相关标准规范成果，在积水深度、积水时间的基础上，增加了水流深度与速度乘积作为指标。澳大利亚降雨与径流指南规定，为了防止暴雨时道路上的水流将行人冲倒，在街道和主要径流通道的水流流速和深度的乘积一般不应超过 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 。通过大量的试验发现，对于儿童，水流深度与速度乘积小于 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 时处于低危险性，对于成年人，水流深度与速度乘积小于 $0.6\text{m}^2/\text{s}$ 时处于低危险性；当水流深度与速度乘积达到 $0.6\sim 0.8\text{m}^2/\text{s}$ 时，对所有儿童和大部分成年人都将产生危险；当水流深度与速度乘积达到 $1.2\text{m}^2/\text{s}$ 时，对所有人都将极度危险。因此将流速和深度的乘积 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 、 $0.8\text{m}^2/\text{s}$ 和 $1.2\text{m}^2/\text{s}$ 作为分级界限。

5.4 干旱

5.4.1 根据干旱危险性评估的特点，所需资料包括气象观测站观测的平均气温、降水量等逐日数据，未来危险性评估则采用气候变化预估的平均气温、降水量等逐日数据，用于气象干旱综合指数（MCI）、干旱危险性指数计算。

5.4.2 干旱致灾因子选取气象干旱综合指数（MCI），可综合反映干旱致灾潜力。

5.4.4 基于 MCI 指数判别逐日干旱强度，根据逐日干旱强度统计干旱过程。规定干旱过程开始日和结束日的判定方法。

5.4.5 计算干旱危险性指数需先计算评估时段内的逐年累积干旱强度 $SMCI_t$ 。

5.4.6 基于评估时段内的年累积干旱强度 $SMCI_t$ 序列，计算得到重现期为 5 年、10 年、20 年、50 年和 100 年的年累积干旱强度，最后加权计算得到干旱危险性指数。

5.5 雪灾

5.5.1 根据雪灾危险性评估的特点，所需资料包括气象观测站观测的逐日降雪量和积雪深度数据，未来危险性评估则采用气候变化预估的逐日降雪量和积雪深度数据，用于雪灾危险性指数计算。

5.5.2 雪灾致灾因子选取最大日降雪量、最大积雪深度和暴雪日数，分别从极端强度、累积强度和发生频率三个维度反映雪灾的致灾潜力。

5.5.3 对各类雪灾致灾因子进行统计与计算。

5.5.4 对各类雪灾致灾因子进行归一化处理，以消除量纲差异。

5.5.5 雪灾危险性指数的计算由最大日降雪量、最大积雪深度和暴雪日数等致灾因子的归一化值及其权重决定。

5.6 台风

5.6.1 根据台风危险性评估的特点，所需资料为气象观测站观测的台风过程最大风速和降水量数据，用于台风致灾危险性指数计算。由于目前还较难对未来气候变化情景下的各场次台风进行详细预估，因而较难用未来气候变化预估数据进行未来台风危险性预估。因此，主要使用气象观测数据开展历史和当前的台风危险性评估。

5.6.2 台风的危险性与台风所带来的大风和强降水两类要素有关，因此，危险性

评估首先需要统计气象站观测的每次台风过程的风速极值和降水极值。致灾因子包括台风过程的最大风速（MW）、过程累积降水量（AP）、过程最大日降水量（MP）。台风过程期间的大风和降水并不完全由台风引起，因此需要判别台风引起的风速和降水，其判别方法可以参照气象行业标准《气候指数 台风》QX/T 574-2020 的相关规定。

5.6.3 台风危险性评估中风因子（MW）和雨因子（AP、MP）权重系数的确定，可以按照已有的气象行业标准《气候指数 台风》（QX/T 574—2020）的相关规定执行。

5.6.4 台风危险性指数的计算由风因子危险性指标归一化值及其权重，以及雨因子危险性指标（过程累积降水量和过程最大日降水量）归一化值及其权重决定。其中，权重系数的计算方法在本导则第 5.6.3 条中已给出。危险性指标的计算则采用标准中列出的方法，考虑致灾因子的分级区间个数、不同区间权重系数和不同区间出现的累积概率。致灾因子的分级区间个数，根据统计区域内因子特征进行确定。

5.7 大风

5.7.1 根据大风危险性评估的特点，所需资料包括气象站观测的逐日最大风速、极大风速数据，未来危险性评估则采用气候变化预估的最大风速数据，用于大风危险性指数计算。

5.7.2 大风致灾因子选取极大风速、最大风速和大风日数，分别从瞬时强度、持续强度和发生频率三个维度反映大风的致灾潜力。极大风速体现短时最强风力的破坏能力，最大风速反映一段时间内风力的持续作用，大风日数则体现大风发生的频繁程度。

5.7.3 对各类大风致灾因子进行统计与计算。

5.7.4 对各类大风致灾因子进行归一化处理，以消除量纲差异。

5.7.5 大风危险性指数由极大风速、最大风速和大风日数等致灾因子的归一化值及其权重决定。

6 承灾体风险评估

6.1 一般规定

6.1.2 根据 IPCC 推荐的极端气候风险评估框架，各承灾体的风险等于危险性、暴露度与脆弱性的乘积。危险性、暴露度与脆弱性可以直接使用各自计算得到的归一化值，也可以用各自等级划分后的等级值，以消除归一化值之间可能存在相差若干个数量级的问题。

6.1.3 水系统、能源系统、交通系统的脆弱性评估方法类似，各设施的脆弱性等于重要度和易损性的乘积。

6.2 社会经济系统

6.2.1 社会系统风险评估的对象是人口，经济系统风险评估的对象是经济产出。

6.2.5 社会经济系统的脆弱性分析可以采用指标分析法或脆弱性曲线法。当能够估算出极端气候造成的灾情损失时，可以用脆弱性曲线法进行脆弱性分析。当无法估算出灾情损失时，可以采用指标分析法进行脆弱性分析。

6.2.6 社会系统的脆弱性指标为人口年龄结构、受教育程度、房屋结构、医疗条件、经济实力 5 方面的指标，参考了《第一次全国自然灾害综合风险普查技术规范 自然灾害人口综合风险 FXPC/YJP-12》的相关指标。采用宏观指标对脆弱性进行表征，且暂不区分死亡失踪脆弱性和受灾脆弱性之间的差异。人口年龄结构方面，一般认为老人、儿童为敏感人群，易受极端气候影响。受教育程度方面，总体上受教育程度较高的，认知水平与风险防范能力较高，受极端气候影响较低。

人口年龄结构和受教育程度是正向指标，值越大脆弱性越高；房屋结构、医疗条件、经济实力是负向指标，值越大脆弱性越低。因此，在对这几个指标进行归一化时，要注意根据其特点选择正确的方法。

6.2.7 经济系统的脆弱性指标为人均可支配收入、人均防灾减灾投入、第三产业比重这 3 项指标。指标的选择参考了《第一次全国自然灾害综合风险普查技术规范 自然灾害经济综合风险 FXPC/YJP-10》的相关指标，并增加了第三产业比重这一指标。选择第三产业比重，是因为受极端气候影响较大的产业主要为第一、第二产业，第三产业受的影响相对较轻，因此第三产业比重越大，脆弱性相对越低。

6.2.9 脆弱性曲线是一种定量精确评估承灾体脆弱性的方法。当承灾体的脆弱性侧重于因灾造成的灾情水平方面时，通常可用致灾(h)与成害(d)之间的关系曲线或方程式表示，即 $V=f(h, d)$ ，又叫脆弱性曲线(Vulnerability Curve)或灾损(率)曲线(函数)(Damage/Loss Curve)，用来衡量不同灾种的强度与其相应损失(率)之间的关系，主要以曲线、曲面或表格的形式表现。本导则推荐用表格的方式计算得到脆弱性曲线，评估社会经济系统的脆弱性。

6.3 生态系统

6.3.3 生态系统的暴露度指标选择单位面积净初级生产力(NPP)。净初级生产力是植物通过光合作用合成的有机物总量减去呼吸作用消耗量后的净积累。生态系统的暴露度指标选取是基于NPP能够反映生态系统生产力资源的积累能力以及生态系统质量水平。通过单位面积的NPP值来衡量，能够直观地体现生态系统在特定区域内的生态功能和资源供给能力。

6.3.4 生态系统的脆弱性计算公式(6.3.4)设计原理是基于生态空间功能与结构的双重特性。功能脆弱性反映生态空间在提供生态系统基础服务(如支持供给功能、环境调节)时的易受损程度，结构脆弱性则体现其生态要素宏观格局结构的稳定性。生态空间功能与结构相互依存、相互影响，功能受损可能源于结构破坏，反之亦然。将二者结合能全面评估生态空间的脆弱性。通过赋予功能脆弱性和结构脆弱性不同的权重，可根据实际情况突出重点，更全面精准地评估生态空间的脆弱性。

6.3.5 生态系统的功能脆弱性基于多年净初级生产力(NPP)值的变异系数来计算，即通过衡量NPP值的离散程度(标准差)与平均值的比值，反映生态空间在多年时间尺度上的功能稳定性。变异系数越大，说明NPP值波动越大，生态系统的功能稳定性越差，功能脆弱性越高。

6.3.6 生态系统的结构脆弱性基于景观香农-维纳(Shannon-Wiener)多样性指数(SHDI)进行计算。根据生态系统“投资组合效应”可知，生态系统的结构稳定性与景观多样性密切相关，多样性对维持稳定性起到促进作用。景观香农-维纳多样性指数综合考虑了生态空间中不同斑块的种类数和面积比例，能够全面反映生态系统中不同生态系统类型的丰富度和分布均匀性，是衡量生态系统结构稳

定性的有效指标。结构脆弱性与景观香农-维纳多样性指数成反比，即多样性越高，结构越稳定，脆弱性越低；多样性越低，结构越脆弱。

6.4 水系统

6.4.3 供水系统由水源、输水管、给水处理厂、加压泵站、供水管网等组成。因此，供水系统的暴露度，可用单位用地面积的水源、水厂、泵站数量，及单位用地面积的输水管、供水管网长度等指标来表征。

6.4.4 污水系统由污水处理厂、污水泵站、污水管网等组成。雨水系统由雨水管渠、雨水泵站、闸门、坝等组成。因此，污水系统的暴露度，可用单位用地面积的污水处理厂、污水泵站数量，及单位用地面积的污水管网长度等指标来表征。雨水系统的暴露度，可用单位用地面积的雨水泵站、坝、闸门数量，及单位用地面积的雨水管渠长度等指标来表征。

6.4.5 本条规定水系统各设施的重要度及易损性的确定方法，从而可以根据公式（6.1.3）确定其脆弱性。各类供水、排水设施一般都有一定的服务范围，对应着相应的服务人口和服务面积，其重要度就可以根据设施所服务的人口或面积占全部服务人口或服务面积的比重确定。各设施也有一定的规模，重要度也可以用各设施的规模占该类设施总规模的比重确定，特别是在因缺少数据或其它原因无法确定设施的服务人口和服务面积的情况下。另外，各设施所服务区域的重要性也可以作为重要度的一项考虑因素，适当增加权重。供水、排水设施易损性的确定，主要考虑设施本身的牢固程度和所采取的防护措施等因素。

6.5 能源系统

6.5.3 电力系统由发电厂、输电线、变电站、配电线等组成。因此，电力系统的暴露度，可用单位用地面积的发电厂、变电站数量，及单位用地面积的电力线路等级、线路长度等指标来表征。

6.5.4 燃气系统由分输站、门站、调压站、储气设施、输配管道等组成。因此，燃气系统的暴露度，可用单位用地面积的分输站、门站、调压站、储气设施数量，及单位用地面积的燃气线路等级、线路长度等指标来表征。

6.5.5 本条规定能源系统各设施的重要度及易损性的确定方法，从而可以根据公式（6.1.3）确定其脆弱性。能源系统跟水系统类似，各设施也有一定的服务范围，

有一定的规模，因此重要度的确定方法与水系统的相似。易损性的确定方法也与水系统的相似。

6.6 交通系统

6.6.1 交通系统受多种极端气候灾害扰动，致灾程度随地区变化扰动风险不同，需要因地制宜进行极端气候针对交通该系统的致灾分析与风险评估。

6.5.2 交通系统的极端气候风险评估因素包括设施等级、设施形式、设施使用年限与历史损耗、设施服务人口、交通流量、与医疗、应急等灾时重要设施的联通能力等。不同城市基础设施建设的应灾方式不同，应因地制宜进行交通系统应对气象灾害的风险评估。

6.5.3 本条规定交通系统设施暴露度的确定方法。交通系统主要由道路交通系统、轨道交通系统和对外交通系统组成，受暴雨、冰雪灾害的影响较大，交通系统的暴露度可通过道路交通、轨道交通、对外交通等城市交通设施在暴雨、冰雪等极端气候灾害中的暴露数量和暴露程度指标进行评估。暴露数量可通过交通设施在受灾范围内的暴露数量、暴露里程等指标进行表征，暴露程度可通过灾害等级、致灾程度等指标进行表征。

6.5.4 本条规定交通系统设施重要度的确定方法，从而可以根据公式（6.1.3）确定其脆弱性。交通设施根据其所在区位、使用效益、设施能级、功能定位的不同，产生不同的服务范围、服务规模和承灾功能，其重要度可根据设施所处地区的人口密度、交通流量、与重要应急设施点的连通性、交通设施在所处区域的稀缺性与唯一性等指标进行表征。

6.5.5 本条规定交通系统设施易损性的确定方法，从而可以根据公式（6.1.3）确定其脆弱性。交通设施的易损性可根据设施等级、设施使用年限与历史损耗、设施建设形式、设施高程等因素进行确定，设施建设形式与设施高程的差异在应对不同极端气候灾害中的易损性不同。除上述因素外，部分地区存在桥隧、高边坡、近水系、易结冰路段，以及道路坡度易造成事故路段等情况，易在极端气候灾害中影响交通系统的正常运行，需要因地制宜地在易损性评估指标中进行表征。

7 多灾种多承灾体综合风险评估

7.1 灾害链危险性评估

7.1.1 在我国的各种极端气候中，暴雨的危险性及造成的损失最大，而且引起的次生地质灾害也危害极大。因此，极端气候灾害链的危险性评估，可重点针对“暴雨-地质灾害-洪涝”灾害链展开。在我国沿海地区，还常出现台风、风暴潮灾害，当遭遇“风-雨-潮-洪”的“四碰头”时，危害更加巨大。因此，沿海地区可重点针对“台风-风暴潮-暴雨-地质灾害-洪涝”灾害链展开。

7.1.2 极端气候灾害链的危险性评估，可以采用风险矩阵法、情景分析法等方法。风险矩阵法相对比较灵活，易于建模，但结果的精度相对不如情景分析法。情景分析法基于数值模型，高质量的耦合数值模型的模拟结果精度较高，但建模及模型运行的成本及耗时极大。

7.1.3 用风险矩阵法对灾害链的危险性进行分析评估时，需要合理设定耦合规则，可以通过构建灾害触发矩阵建立起相关灾种之间的触发关系。灾害触发矩阵的示例如图 7.1.3 所示。

		次生灾害																
		地震	暴雨	洪水	滑坡	海啸	台风	干旱	高温	寒潮	火灾	爆炸	有毒物质泄漏	放射性物质泄漏				
一级灾害	地震																	
	暴雨																	
	洪水																	
	滑坡																	
	海啸																	
	台风																	
	干旱																	
	高温																	
	寒潮																	
	火灾																	
	爆炸																	
	有毒物质泄漏																	
	放射性物质泄漏																	

图 7.1.3 灾害触发矩阵示例

7.1.4 用情景分析法对灾害链的危险性进行分析评估,主要采用数学模型进行模拟分析。数学模型包括洪涝模型、潮汐模型、波浪模型、大气模型等。各类模型可根据本专业的相关要求建模与模拟分析。在情景设定上,考虑到极端气候发生频率较低的特点,应当考虑 100 年一遇或 50 年一遇等高重现期情景。在模拟未来极端气候情景时,应当结合气候模式的预估结果,综合考虑相关联灾种的联合概率分布所产生的影响。

7.2 多灾种多承灾体风险综合

7.2.2 过程式综合考虑灾种之间的耦合关系,以灾害链的危险性分析结果为基础,进而考虑对各承灾体产生的风险。

7.2.3 累加式综合可分两种角度、按两种路径进行加权。

第一种侧重评估单灾种的综合风险,先考虑某一灾种下各承灾体的风险,全面综合地反映该灾害对各个承灾体的风险,进而反映对都市圈整体的风险,如暴雨对都市圈的社会经济、生态系统、基础设施等各方面的综合风险。在具体操作上,先对某一灾种各承灾体风险进行加权,再对各灾种的风险进行加权。

第二种侧重评估单承灾体的综合风险,先分别考虑同一承灾体承受各灾种的风险,全面综合地反映某个承灾体遭受各种灾害所受到的风险,如人口承受高温、暴雨、干旱、台风等各种极端气候的综合风险。在具体操作上,先对某一承灾体的各灾种风险进行加权,再对各承灾体的风险进行加权。

7.2.4 分级分类区划的综合方式,先按各灾种的危险性、各承灾体的风险高低进行分级分类,然后作聚类分析,在此基础上进行综合风险区划,形成最终的风险综合形式,如下图所示。

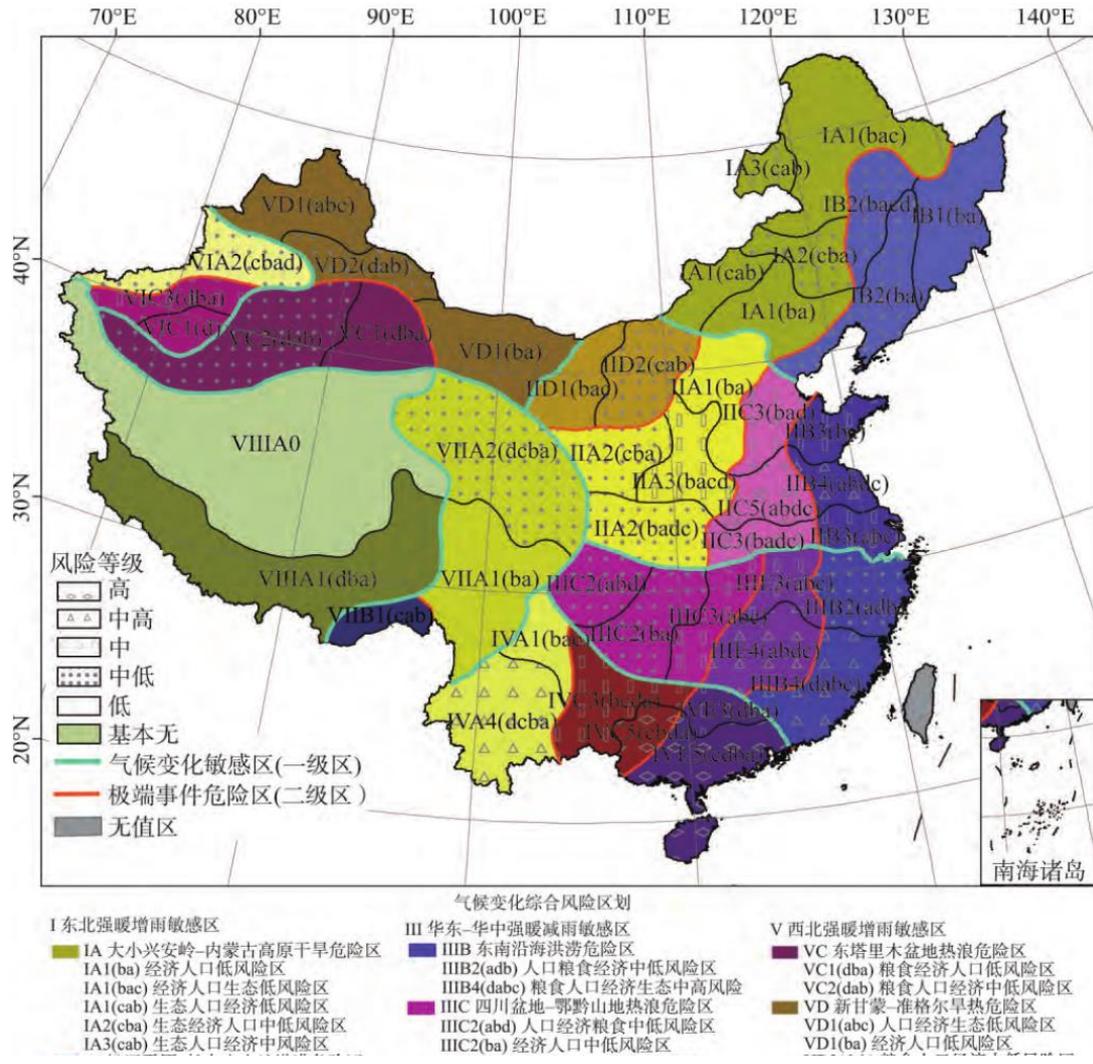


图 7.2.4 分级分类区划的风险综合方式示例

附录 A 暴雨孕灾环境影响指数

A.0.1 地形的影响因素包括高程和地形变化两方面。一般高程越高，越有利于排水。地形变化方面，一般坡度越大，越有利于排水。

A.0.2 水系的影响因素包括评估点距离水体的远近和所在区域的水网密度两方面。一般地，离水体越近，漫堤的危险性就越大。水网密度越大，排水管道入河道距离就越短，汇水面积也越小，在没有下游顶托的情况下，也更容易排除涝水。

A.0.3 暴雨容易诱发滑坡、泥石流、塌陷等次生地质灾害，对人民生命财产、交通出行、供水供电、经济正常运行等产生影响。因此，将地质灾害易发程度也作为孕灾环境的一部分加以考虑。

A.0.4 综合考虑地形、水系、地质灾害易发程度，评估点的暴雨孕灾环境综合系数可以通过地形影响系数、水系影响系数和地质灾害易发系数的加权平均得到。权重系数可以结合评估地区地形地貌对暴雨灾害的影响情况确定。

A.0.5 考虑评估区域一致性，计算完区域内各点暴雨孕灾环境综合系数后，对其进行规范化处理，得到评估点的暴雨孕灾环境影响指数。计算得到的暴雨孕灾环境影响指数如为负值，则表示孕灾环境对致灾危险性起消减作用，为正值则表示加重致灾危险性。

参考文献

[1] 吴绍洪, 潘韬, 刘燕华, 等. 中国综合气候变化风险区划[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 3-17.

[2] 卢颖, 郭良杰, 侯云玥, 等. 多灾种耦合综合风险评估方法在城市用地规划中的应用[J]. 浙江大学学报 (工学版), 2015, 49(3): 538-546.

[3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[R]. IPCC, 2012.

[4] Baoyin Liu, Xueyuan Han, Lianjie Qin, et al. Multi-hazard risk mapping for coupling of natural and technological hazards[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2021, 12(1): 2544-2560.