



T/CECS XXXX-XXXX

中国工程建设标准化协会标准

内涝风险评估标准

Standard for urban flooding risk assessment

(征求意见稿)

中国××出版社

中国工程建设标准化协会标准

内涝风险评估标准

Standard for urban flooding risk assessment

T/CECS XXXX-XXXX

主编单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：

中国××出版社

202× 北京

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]022 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 7 章和 3 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、评估指标体系、指标权重、风险等级划分、成果等。

本标准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。

本标准由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由上海市市政工程设计研究总院（集团）有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给上海市市政工程设计研究总院（集团）有限公司（地址：上海市中山北二路 901 号，邮编：200092，邮箱：smedi@smedi.com）。

主编单位：上海市市政工程设计研究总院（集团）有限公司

参编单位：华东师范大学

同济大学

上海市水务（海洋）规划设计研究院

南开大学

北京建筑大学

中规院（北京）规划设计有限公司

上海市市政工程设计科学研究所有限公司

上海市城市排水系统工程技术研究中心

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.....	4
4 评估指标体系.....	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 致灾因子.....	10
4.3 孕灾因子.....	12
4.4 致灾孕灾因子.....	14
4.5 承灾因子.....	22
4.6 防灾减灾因子.....	25
5 指标权重.....	32
6 风险等级划分.....	34
6.1 内涝灾害风险指数计算.....	34
6.2 内涝灾害风险计算尺度.....	37
6.3 内涝灾害风险等级分类.....	38
7 成果.....	40
7.1 评估报告.....	40
7.2 内涝风险图.....	40
附录 A 因子分析法.....	44
附录 B 层次分析法.....	48
附录 C 信息熵赋权法.....	51
本标准用词说明.....	52
引用标准名录.....	53

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic requirements.....	4
4	Evaluation index system	6
4.1	General rule.....	6
4.2	Hazard	10
4.3	Disaster formation factors.....	12
4.4	Hazard and disaster formation factors	14
4.5	Disaster bearing factors.....	22
4.6	Disaster prevention and reduction factors.....	25
5	Index weight.....	32
6	Risk classification	34
6.1	Risk index calculation.....	34
6.1	Risk calculation scale.....	37
6.3	Risk ranking	38
7	Outcome.....	40
7.1	Assessment report	40
7.2	Urban flooding risk map	40
	Appendix A Factor analysis weight method.....	44
	Appendix B Analytic hierarchy process	48
	Appendix C Entropy weight method	51
	Explanation of wording.....	52
	Lists of quoted standards	53

1 总 则

1.0.1 为贯彻落实海绵城市和韧性城市建设要求，指导各地开展内涝风险评估工作，有效防治城市内涝灾害、提高城市防涝能力，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市内涝风险评估。

1.0.3 城市内涝风险评估除应符合本标准外，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。

【条文说明】城市内涝判定标准与现行国家标准《城乡排水工程项目规范》GB 55027 和《室外排水设计标准》GB 50014 的有关规定保持一致。

2 术 语

2.0.1 内涝灾害风险 flood disaster risk

暴雨导致内涝，对影响区域内生命、财产和社会经济等造成危害的可能性。

2.0.2 致灾因子 hazard factors

引起城市内涝灾害的动力因子，代表内涝灾害风险的危险性。

2.0.3 孕灾因子 disaster formation factors

城市下垫面的自然条件，代表内涝灾害风险的敏感性。

2.0.4 承灾因子 disaster bearing factors

区域可能受到灾害影响的人员和财产等社会经济状况，代表内涝灾害风险的脆弱性。

2.0.5 防灾减灾因子 disaster prevention and reduction factors

区域应对内涝灾害采取的各种措施，代表区域应对内涝灾害风险的抵御和恢复性。

2.0.6 过境客水 foreign water

由过境河流流入的或由外地引进的水，以及由区外高地因降雨产生的滚坡水。

2.0.7 下游顶托 backwater effect

被下游高水位或海水高潮位所阻，形成的雍水现象。

2.0.8 因子分析权重法 factor analysis weight method

利用数据信息浓缩原理，将相同本质的变量归入一个因子，每个因子提取出的信息量（旋转后方差解释率值）进行权重计算。

2.0.9 层次分析法 analytic hierarchy process

将要决策的问题及其有关因素根据关系分类形成一个多层次的
结构模型，进而进行定性和定量分析的决策方法。

2.0.10 信息熵赋权法 entropy weight method

根据各因素的熵值或混乱程度来确定权重的方法。

3 基本规定

3.0.1 城市内涝风险的评估应遵循单元划分合理、数据采集详实、方法选用科学和评估独立客观的原则。

3.0.2 城市内涝风险评估单元应满足不同应用场景下的内涝风险评估对计算空间尺度的要求。

3.0.3 城市内涝防治规划、设计阶段应开展城市内涝风险评估，评估应衔接国土空间规划、排水防涝规划、海绵城市规划，准确分析内涝灾害风险的分布和演变特征。

3.0.4 城市内涝风险评估流程宜包括风险评估区域确定、资料收集、评估指标体系选取、指标指数计算、指标权重确定、内涝风险计算、内涝风险评估报告编制和内涝风险图绘制。

【条文说明】内涝风险评估流程如图 1 所示。

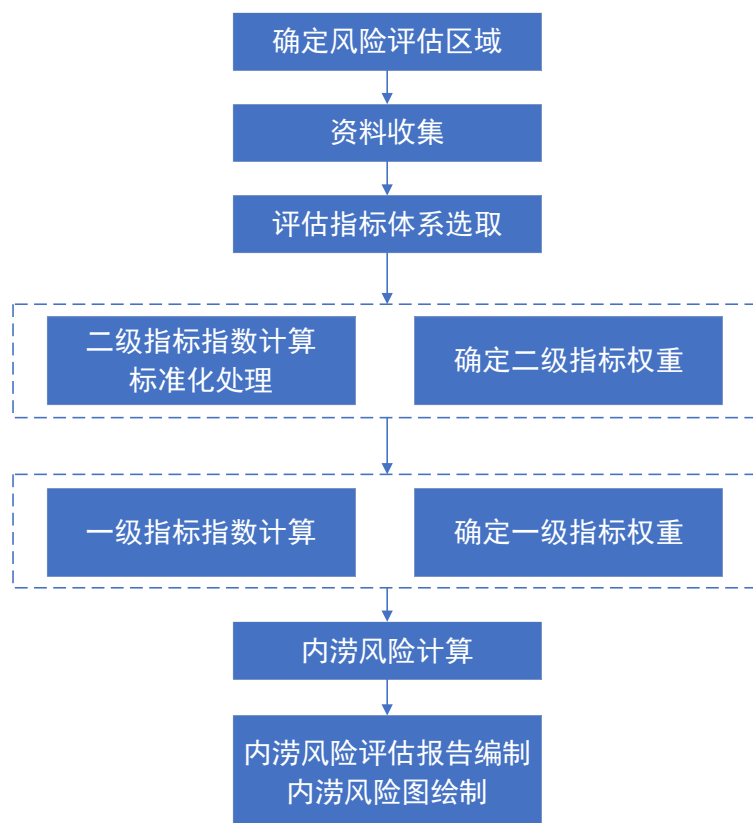


图 1 内涝风险评估流程图

3.0.5 城市内涝风险评估成果应绘制内涝风险图。

4 评估指标体系

4.1 一般规定

4.1.1 城市内涝灾害风险评估可采用指标体系评估法、指标体系评估法与情景模拟评估法相结合的风险评估方法。

【条文说明】城市内涝灾害风险评估常用的方法主要分为历史灾情数理统计法、指标体系评估法、遥感图像与 GIS 技术耦合法以及情景模拟评估法四种，各类方法的优缺点如表 1 所示。

表 1 各类城市内涝灾害风险评估方法优缺点比较

名称	描述	优点	缺点
历史灾情数理统计法	以数理统计为手段,分析研究区域内涝灾害的发生次数、受灾面积、受灾人口等历史灾情数据,建立内涝灾害发生概率与影响因子的统计模型,预测内涝灾害损失程度。	1、计算方法较为简单 2、不需要详尽的土地利用、排水系统、地形等地理信息基础数据	1、长序列的城市内涝历史灾情观测数据较难获取 2、评估结果空间精度较低,无法体现内涝风险的空间差异
指标体系评估法	基于内涝灾害系统的特点和风险成因,构建内涝灾害风险评估的指标体系,利用数学模型对评价指标进行处理和组合计算后,得到区域的内涝灾害风险评估结果。	1、对内涝风险因子的考虑较为全面 2、方法适用的空间尺度范围较广	1、评估指标选取依赖于数据的可获得性 2、对内涝灾害系统的不确定性和动态性反映不足
遥感图像与 GIS 技术	基于 GIS 技术手段提取遥感图像中的内涝灾害信息,然后利用建立的风险分析计算方法评估研究区域的内涝灾害风险大小。	适用于研究区域基础数据较为缺乏的情况	1、计算精度依赖于遥感图像空间分辨率 2、淹没深度的计算往往基于某些

耦合法			特定假设条件，常导致与实际情况存在较大差异
情景模拟评估法	使用较为成熟的水文水力学模型,通过对内涝灾害形成机理的数学描述,对灾害发展演化过程进行模拟推演,从而对内涝灾害风险进行评估。	1、可直观反映内涝灾害事件的影响范围、影响程度 2、风险评估在时间和空间上更精细化,可以实现内涝灾害风险的动态评估	对于地理基础信息、管网等资料的要求较高,计算专业性强且工作量大

综合考虑城镇内涝风险评估的应用场景以及各方法的适用性条件,根据评估地区是否具有数学建模条件分别考虑。对于没有数学建模条件的地区,采用指标体系评估法;对于有数学建模的地区,采用指标体系评估法与情景模拟相结合的风险评估方法。

4.1.2 对于不具备建立数学模型条件的地区,应采用指标体系评估法,指标体系应包括致灾因子、孕灾因子、承灾因子、防灾减灾因子四类。

【条文说明】气候变化和城市化是城市内涝灾害最主要的驱动因素。结合自然灾害风险的定义,城市内涝风险主要可从致灾因子危险性、孕灾环境暴露性、承灾体脆弱性以及应对灾害风险的恢复性四方面进行分析。

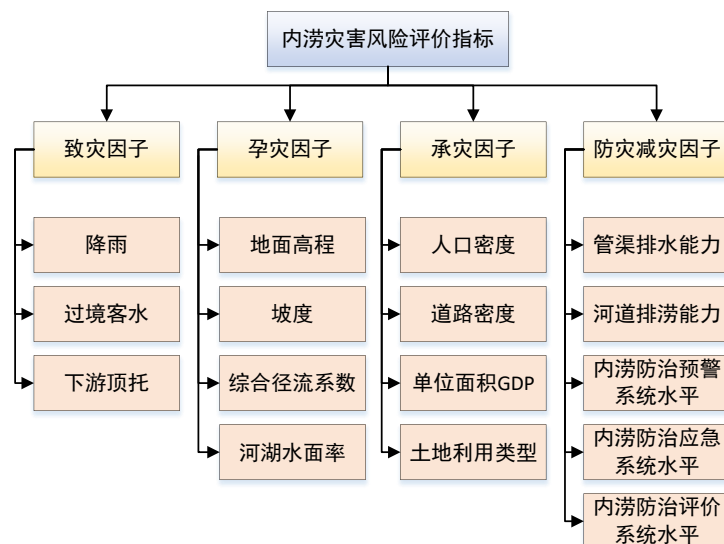


图2 内涝灾害风险评估指标体系（不具备建立数学模型条件）

4.1.3 对于具备建立数学模型条件的地区，应采用指标体系评估法与情景模拟相结合的风险评估方法；指标体系应包括应致灾孕灾因子、承灾因子、防灾减灾因子三类。

【条文说明】有数学建模条件的地区应通过构建雨水排水系统数学模型来获取不同情景下的积水模拟结果，并调整一级指标为致灾孕灾因子、承灾因子、防灾减灾因子。

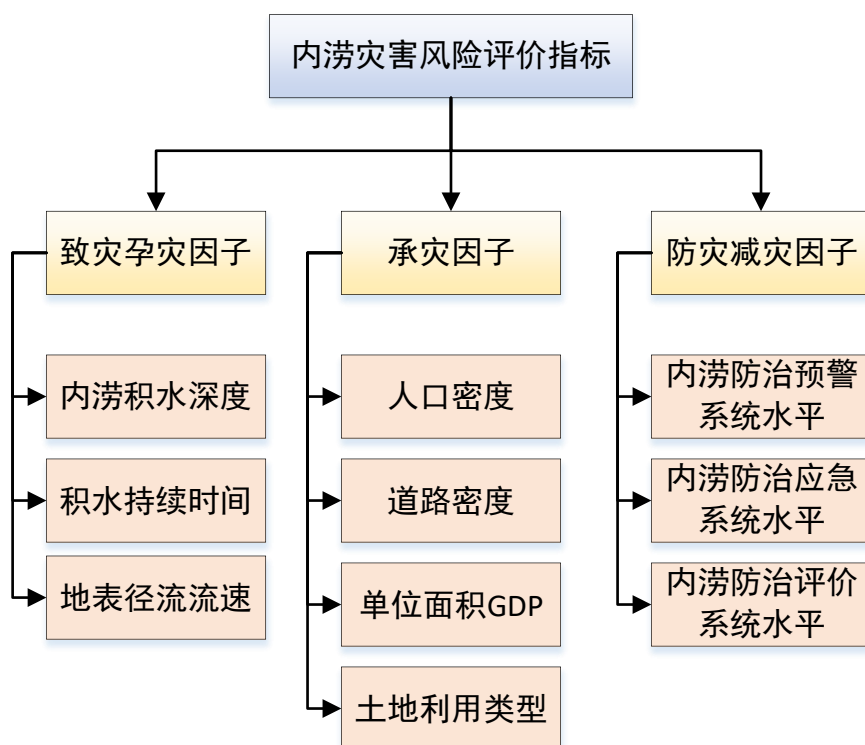


图 3 内涝灾害风险评估指标体系（具备建立数学建模条件）

4.1.4 资料宜包括基础地理信息资料、水文与气象资料、历史内涝灾情资料、工程及构筑物资料、社会经济资料、内涝应急管理资料等。并宜符合下列规定：

1 基础地理信息资料宜包括河网水系、道路、房屋、植被等的矢量地图、行政区划图、土地利用分类图、DEM 地形高程数据、高空航拍影像图等；

2 水文与气象资料宜包括降雨、水位、流量、潮汐等实测资料，设计暴雨、设计洪水、设计潮位等规划设计资料，水文控制站水位-流量关系、水位-面积-容积关系等反映河道、湖泊、水库、蓄滞洪区特征的资料，排涝(水)分区，水文站、水位站、潮位站和雨量站的空间位置信息等；

3 历史内涝灾情资料宜包括历史典型内涝灾害发生当时的水文

特征、受灾情况等；

4 工程及构筑物资料宜包括排水管渠、排水泵站、调蓄设施以及河道水闸、排涝泵站等；

5 社会经济资料宜包括人口数量、道路长度、GDP 等；

6 内涝应急管理资料宜包括雨水管渠覆盖程度、排水管网达标情况、雨水泵站达标情况，内河调蓄规模、内涝防治预警系统建设情况、内涝防治应急系统建设情况、内涝防治评价系统建设情况等。

4.2 致灾因子

4.2.1 致灾因子应包括降雨、过境客水、下游顶托，并宜分别对历史、现状和规划进行分析。

【条文说明】降雨是最重要的内涝致灾因子，其时空分布特征直接影响了内涝发生强度、位置和演进特征，气候变化背景下极端降雨出现频次和强度增加更加剧了这一影响；过境客水流量，下游洪水位和沿海地区高潮位造成的顶托作用会增加当地的行洪排涝压力。

4.2.2 根据各地实测历史降雨资料，宜采用时段累积最大降雨量的多年平均值来表征降雨的致灾风险。宜根据各地相关规划、地方标准采用的长历时或短历设计降雨的降雨历时选取统计时段，如多年平均最大 1 日降雨量、场次降雨的多年平均最大 1h 降雨量等。

【条文说明】降雨事件主要包括降雨量、降雨历时、降雨强度等特征指标。目前国内外在推求设计暴雨时多采用单变量时段降雨频率分析的方法，降雨量是重点关注的指标，但在降雨的统计时段上国内外的取值差异较大，美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and

Atmospheric Administration, NOAA) 推求了 1h、2h、3h、6h、12h、24h、48h 以及 4h、7h、10h、20h、30h、45h、60h 共 14 种时段的设计暴雨。加拿大的相关规范中推荐使用的时段略少, 共有 5min、10 min、15 min、30 min 和 1h、2h、6h、12h、24h。国内设计暴雨计算中习惯以 1d 为分界。暴雨历时超过 1 日的为长历时暴雨, 短于 1 日的称为短历时暴雨。短历时暴雨的统计时段一般取 1h、3h、6h、12h 和 24h, 长历时暴雨的统计时段一般取 1d、3d、7d、15d、30d 等。短历时强降雨和长历时降雨与内涝发生的相关性较高, 通过文献调研, 在已有内涝风险评估研究中选取的降雨特征指标包括: 时段累积最大降雨量(如多年平均最大 3d 降雨量、场次降雨的 1h 最大降雨量等); 暴雨日数、暴雨日降水均值; 年降水量、降雨天数、暴雨次数、暴雨强度等。也有根据历史灾情统计数据, 通过降雨和内涝的相关性来反映暴雨内涝灾害致灾特征的指标, 例如年均暴雨内涝频次、内涝发生的雨强临界值等。

4.2.3 根据各地实测水位数据, 宜采用区域所在流域上游的水文(位)站多年平均超警戒水位的天数来表征过境客水的致灾风险。

4.2.4 根据各地实测潮(水)位数据, 宜采用区域所在流域下游沿江沿海水文(位)站多年平均超警戒潮(水)位的天数来表征下游顶托的致灾风险。

【条文说明】过境客水和顶托作用是洪水演进过程中的一个复杂的水文现象, 涉及到水文、水动力学等多方面内容。目前运用研究方法主要有实测资料分析法以及水动力学模型模拟分析法。

4.2.5 致灾因子的等级划分可采用自然间断点法、相等间隔法、分位数法、均值-标准差法等方法。

4.3 孕灾因子

4.3.1 孕灾因子应包括地面高程、坡度、综合径流系数、河湖水面率。

【条文说明】地面高程是体现地区地形的重要参变量，可以精确反映区域洪水滞留状态、识别出主要的低洼易涝点，地面高程越低，越容易引起水流阻滞，形成内涝灾害；坡度主要影响产汇流和排水过程中的水流速度，坡度较大的地区产汇流速度较快，坡度较缓的地区排水速度较慢，这两种情况均易引起水流阻滞、在暴雨时发生城市内涝灾害；城市地区的径流系数反映了降雨和径流之间关系，径流系数值越高，越容易发生内涝；河湖水面率为区域内常水位下河湖面积占该区域面积的百分比，河湖面积越大，能够承载的暴雨与积水越多，雨水的行泄能力和调蓄空间越大，对于缓解城市内涝具有积极作用。

4.3.2 根据地面高程资料，可运用 GIS 等地理信息软件，采用自然间断点法、相等间隔法、分位数法、均值-标准差法等数学分类排序方法对区域的地面高程直接进行风险等级划分，宜划分为四个等级。

4.3.3 宜结合地面高程综合评估坡度对地区产汇流和排水过程的影响，并采用自然间断点法、相等间隔法、分位数法、均值-标准差法等数学分类排序方法对区域的坡度直接进行风险等级划分。

4.3.4 综合径流系数应按各用地类型面积占比加权平均计算，不同用地类型的径流系数可按现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 中的有关规定取值。综合径流系数的风险等级划分可按表 4.3.4 确定。

表 4.3.4 综合径流系数指标的风险等级划分

综合径流系数	<0.45	[0.45,0.6)	[0.6,0.8)	≥0.8
风险分级	低	中	较高	高

4.3.5 河湖水面率应按照各地的规定和水体分类情况将河道、湖泊、水库、湿地以及其他水面等计入，并应符合下列规定：

1 可根据现状河湖水面率与规划河湖水面率的比值，按表 4.3.5-1 划分风险等级；

表 4.3.5-1 河湖水面率指标的风险等级划分

现状河湖水面率/规划河湖水面率	<0.1	[0.1,0.2)	[0.2,0.4)	>0.4
风险分级	低	中	较高	高

2 无规划河湖水面率要求时，宜参考现行行业标准《城市水系规划导则》SL 431 的有关规定确定。

表 4.3.5-2 不同城市适宜水面面积率

城市分区	适宜水面面积率（%）	备注
I	≥10	现状水面面积比例很大的城市应保持现有水面，不应按此比例进行侵占和缩小
II	[5,10)	
III	[1,5)	
IV	[0.1,1)	可设计一些景观水域
V	<0.1	非汛期可不人为设计水面比例

具体城市分区可参考《城市水系规划导则》附录。

【条文说明】

1 区域除涝能力取决于河网蓄排水能力，而河湖水面率与区域河湖的调蓄能力息息相关，不同地区本底条件不同，对河湖水面率的要求也不同，因此以区域内常水位下河湖面积占该区域面积的百分比表征河湖水面率。水面面积随着水位的变化而变化，丰水期、常水期和枯水期的水面面积均不一样，常水位下的水面面积比较具有代表性，

因此取常水位下水面面积作为城市水面率的计算依据。

2 不同地区计入河湖水面率的水体类型存在差异，应考虑地区实际情况确定。例如上海主要包括河道、湖泊、小微水体（主要包括面宽小于 3m 的灌排沟渠和公园、绿地、小区或单位等范围内面积小于 1 亩的水体）、其它河道（公园、绿地、小区或单位内自管的河道）。

3 城市水面面积率的大小取决于多种因素，它与城市的经济、社会、自然条件及资源可供量等有密切关系。总体上呈现以下规律：在我国水资源丰富的长江以南地区多数城市，水面面积要大些，可达 10%以上，这些城市经济水平、公众期望和自然条件可以实现这样的水面比例；在水资源一般的长江与淮河之间的中东部地区多数城市，水面面积可规划在 5%~10%左右；在水资源较为短缺的黄河与淮河之间的中东部地区以及东北地区城市，水面面积建议在 1%~5%左右；在水资源短缺的华北地区城市可设计一些景观水域，水面面积建议在 0.1%~1%左右；而在我国水资源特别短缺的西北干旱地区城市，非汛期可不人为设计水面比例。因此应根据实际情况设定不同区域的水面率标准。

4.4 致灾孕灾因子

4.4.1 具备数学建模条件的地区，致灾孕灾因子应包括内涝积水深度、积水持续时间、地表径流速度。

【条文说明】按照国内外洪涝风险分析经验，淹没范围、淹没水深、淹没历时和径流流速是最直观的洪涝风险典型危险性指标，现行行业标准《洪水风险图编制导则》SL 483 中也将这四者作为洪水风险主要

要素。综合考虑内涝风险评估研究和实践经验，有数学建模条件的地区，致灾孕灾因子以内涝积水深度、积水持续时间、地表径流速度三项指标表征；内涝积水深度为评价单元内的所有内涝点在某场降雨下的最大积水深度，积水持续时间为评价单元内的内涝点发生积水深度超过 0.15m 的积水事件的持续时间，地表径流速度为评价单元内的内涝点的最大涝水行进速度。

4.4.2 致灾和孕灾因子评估宜根据雨水排水系统数学模型对不同情景下的积水模拟计算结果确定，并应符合下列规定：

- 1** 宜采取一维和二维耦合模型，并宜包括地表产汇流模型、管网水力模型和地表漫溢模型；
- 2** 模型构建与应用的基本流程宜包括建模类型和范围精度的确定、基础数据收集与整理、数学模型构建和测试、参数率定和模型验证、模型分析和应用；
- 3** 模型模拟结果应能反映地表内涝积水情况，并能用于内涝风险评估指标计算，宜挑选反映管网流态、水位变化、积水范围、积水深度和积水历时等信息的指标进行内涝风险统计评估；
- 4** 模型计算单元精度应高于评价单元的尺度。

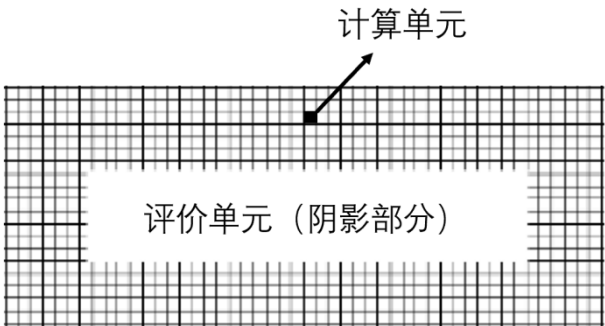


图 4.4.1 评价单元-计算单元示意图

【条文说明】

- 1 数学建模方法应参照相关模型手册或规范执行。
- 2 指标精度主要取决于模型网格大小、时间步长等参数，有计算条件的情况下可适当提高计算精度。
- 3 采用设计暴雨重现期和内涝防治设计重现期对应的设计降雨进行内涝风险模拟。根据排水系统服务范围、特点和项目需求，必要时应增加其他重现期设计降雨和历史降雨进行复核。重现期的选取应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 或地方标准的有关规定。
- 4 排水管渠计算应用短历时设计暴雨，内涝防治系统计算应采用长历时设计暴雨。短历时降雨步长应采用 5min，长历时降雨步长可采用 5min 或 1h。短历时设计暴雨历时通常取 2h~3h，长历时降雨分为 6h、12h、24h，地市平坦地区可选择 24h 降雨历时，坡度大的地区，可依据当地实际情况，选择 6h 或 12h 的降雨历时。
- 5 短历时设计暴雨采用各地区新编的暴雨强度公式计算得出，可采用芝加哥雨型，也可经对比分析后选用其他雨型。
- 6 长历时设计暴雨计算采用年最大值法选样，经计算经验频率、选择线型、确定频率曲线参数、计算出不同重现期的设计暴雨。
- 7 采用数学模型法计算时应考虑区域降雨和地面渗透性能的差异、降雨在时空分布的不均匀性和管网汇流过程等因素。
- 8 地表漫流过程可根据运动波方程进行演算，内涝防治工程应采用动力波方程计算，采用圣.维南方程进行管、渠汇流计算。

4.4.3 致灾孕灾因子评价可采用综合风险度法或指标评分法。

【条文说明】基于数值模拟的内涝风险评估多是对内涝模拟得到的水文水动力学要素进行统计分析，并采用一定的评判标准划分风险范围，主要有基于淹没水深和时间的阈值法、基于流速和水深的经验公式法和基于受力分析的物理机制法等。

1 基于淹没水深和时间的阈值法一般采用淹没水深和淹没时间的组合来判定风险水平，既体现了洪水淹没深度的直接作用，也考虑了淹没时间的持续性作用所带来的影响。该方法一定程度上可归为基于指标叠加的风险分析方法。例如《上海市防汛工作手册》中对道路积水事件的定义为：路面积水深度 $\geq 15\text{cm}$ ，积水范围 $\geq 50\text{m}$ ，积水时间 $\geq 1\text{h}$ ；《城市内涝防治规划标准（征求意见稿）》中对内涝风险等级的划分如下表所示。

表 2 内涝风险等级划分

风险等级	划分依据		
	积水深度	积水时间	危险程度
红 I	大于 0.4m	--	城市交通、基础设施和各类建筑物受到威胁
橙 II	大于 0.3m， 小于 0.4m	大于 15min	城市交通受到严重影响
黄 III	大于 0.15m， 小于 0.3m	大于 30min	城市交通不便
蓝 IV	小于 0.15m		一般积水

基于淹没水深和时间阈值的风险分区方法对于平坦低洼地区较为适用，灾害多因过度积水而造成淹没损失。

2 对于地形坡度较大的地区，如山区、山前平原和山地城市等，

涝水所产生的危害还包含高速水流冲击可能造成的人或物的损失，可认为涝水对人、车辆、建筑物等的危害程度与积水深度和涝水流速相关。英国的经验计算公式（HR）采用积水深度和流速进行危险性的表征；而《洪水风险区划技术导则》采用当量水深（H）指标整体反映计算单元在某一量级洪水频率下的风险程度大小，最大淹没水深为主要因子，综合考虑最大行进流速、最大淹没历时风险要素的影响，并按下式计算：

$$H=\alpha_1\alpha_2h \quad (1)$$

式中： α_1 ——最大行进流速（v）的修正系数；当 $v \geq 3.0\text{m/s}$ 时， α_1 取值 1.5， $3.0\text{m/s} > v \geq 1.5\text{m/s}$ 时， α_1 取值 1.2； $v < 1.5\text{m/s}$ 时， α_1 取值 1.0；

α_2 ——最大淹没历时（t）的修正系数；当 $t \geq 7\text{d}$ 时， α_2 取值 1.5；
 $7\text{d} > t \geq 3\text{d}$ 时， α_2 取值 1.2； $t < 3\text{d}$ 时， α_2 取值 1.0；

h——积水深度。

3 基于物理机制的行人风险分区是以行人为分析对象，采用人体工程学分析方法，对行人在洪水中因水深和流速造成的受力失稳状态进行分析计算，进而对研究区行人受到洪涝风险进行分区。在城市排水和暴雨管理领域中将暴雨事件中产生的水力变量（水深和流速）作为一个危险程度，针对危险程度进行等级划分，从而评估内涝对城市中行人潜在的风险。英国建筑行业研究与咨询协会(CIRIA)在 2006 年出版的手册 *Designing for exceedance in urban drainage-good practice* 中提出行人发生滑移失稳时采用 $h \times v$ 作为安全泄洪标准，发生冲倒失

稳时采用 $h \times v^2$ 作为安全泄洪标准；澳大利亚的降雨与径流指南上规定，为了防止行人在暴雨条件下被道路上的水流冲倒，在街道和主要径流通道的流速和深度的乘积一般不超过 0.4；国内学者研究发现，成人在行走时，失稳的临界 $h \times v$ 值在 $0.33\text{m}^2/\text{s} \sim 0.5\text{m}^2/\text{s}$ 之间。

表 1 试验研究参数对比
Tab.1 Comparison of experimental parameters

数据来源	水深 d/m	试验流速 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$d \cdot v$ 安全阈值 $/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
Foster	0.09~0.41	0.76~3.12	0.16~0.52
AR&R Guideline			≤ 0.4
Keller	0.55		0.12~0.55(儿童) 0.35~1.4(成人)
Jonkman	0.26~0.35	2.4~3.1	0.78~0.91
Cox	0.5(儿童) 1.2(成人)	≤ 3.0	≤ 0.4 (儿童) ≤ 0.6 (成人)
Russo	0.11~0.16	1.17~3.17	0.09~0.44
Martínez-Gomariz	0.49~0.12	0.36~3.05	≤ 0.22

4.4.4 综合风险度法宜采取最大淹没水深、最大行进流速、最大淹没历时，并宜按《洪水风险区划技术导则》规定的风险要素分析方法计算不同重现期下的综合风险度 R ，确定风险等级。

4.4.5 指标评分法宜采取内涝积水深度、积水持续时间、涝水行进流速 3 项指标，并应符合下列规定：

1 内涝积水深度应根据模型所有计算网格在降雨过程中出现的最大积水深度确定，并宜按表 4.4.5-1 确定内涝积水深度的风险等级；

表 4.4.5-1 内涝积水深度的风险等级

内涝积水深度 (m)	(0,0.15)	[0.15, 0.27)	[0.27, 0.4)	≥ 0.4
风险分级	低	中	较高	高

2 积水持续时间应根据模型所有计算网格在降雨过程中出现高于 0.15m 地面积水的全部时间，并宜按表 4.4.4-2 确定积水持续时间的风险等级；

表 4.4.5-2 积水持续时间的风险等级

积水持续时间 (min)	(0, 60)	[60,120)	[120,360)	≥360
风险分级	低	中	较高	高

3 地表径流流速应根据二维地表漫流模型所有计算网格在降雨过程中的最大涝水行进流速确定，并宜按表 4.4.5-3 确定地表径流流速的风险等级；

表 4.4.5-3 地表径流流速的风险等级

涝水行进流速 (m/s)	(0, 0.6)	[0.6,1.5)	[1.5,3)	≥3
风险等级	低	中	较高	高

【条文说明】

1 积水深度是影响人行、车行及一层建筑物进水的主要因素。以北京城市积水内涝风险地图的风险等级划分标准为例，其判断阈值制定为 15cm、27cm、40cm 和 60cm，主要是基于几个方面的考虑。

将 15cm 作为积水和内涝区分的界限。积水深度小于 15cm 的判定为轻微积水，大于等于 15cm 的判定为内涝，因为市政道路路缘石的高度通常约 15cm~20cm 左右，积水不超过 15cm 时不影响行人和机动车辆通行，基本不会对公众出行产生灾害，积水大于 15cm 时，行人和汽车驾驶员难以辨别地面情况和车道位置，容易造成行人安全和驾驶隐患，因此定义为内涝，这也与现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 的规定保持一致。

将 27cm 作为中风险和较高风险区分的界限。普通轿车排气口距地面的高度为 20cm~30cm，SUV 汽车为 30cm~40cm，积水深度超过 27cm 时会淹没排气管造成车辆熄火，造成局部交通节点（如：下凹桥、交叉路口等）拥堵，根据《道路交通防汛专项分指挥部工作方案》

（京交安全发〔2022〕539号）文件要求，下凹式立交桥区积水线达到 27cm 及时封闭交通，并通过新闻媒体及网络向广大市民发布绕行路线的提示。

将 40cm 作为较高风险和高风险区分的界限。因为积水深度超过 40cm 可能造成部分一层建筑进水。现行国家标准《民用建筑设计统一标准》GB50352 规定：民用建筑场地设计标高一般高出道路 20cm，一层建筑踏步距离地面不宜超过 15cm，加上路缘石 15cm~20cm 的高度，基本上高于道路最低处 40cm 以上。因此积水深度超过 40cm 时一层建筑有进水风险。

积水深度超过 60cm 可能对人身安全造成威胁，造成汽车进气口进水、地铁进水。一般情况下，水深超过 60cm 成年人难以站稳，摔倒坐立时口鼻位于水面以下，导致人身安全受到极大威胁。汽车行驶安全方面，普通轿车进气口高度为 65cm~80cm 左右，考虑到行驶过程中产生的水浪，水深超过 60cm 时进气口容易进水，会导致车辆熄火，甚至将水吸进发动机而造成永久性损坏；另有研究认为水深超过 60cm 时，车会被水流裹挟移动，增加逃生困难。此外，现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 规定地铁出入口地面标高应高出该处室外地面 30cm~45cm，加上人行道高度高于道路 15cm~20cm，当积水深度高于 60cm 时，地铁存在进水风险。

3 地表径流流速指标主要适用于地形坡度较大的地区。例如上海地势较平缓，对中心城区部分区域的模型模拟结果进行分析，约 90% 以上积水区域的涝水行进流速在 0.6m/s 以下，最大流速在

1m/s~1.3m/s 左右。

3 积水的分布形式有零星点状、局部片状等，现有研究中，面积计算多用于统计风险等级评价结果，而不是作为指标之一。部分将积水面积列为相关指标的研究中，多为通过模拟得到研究区域不同情景、不同空间单元的积水面积变化区间，而后通过相等间隔法、分位数法、均值-标准差法、自然间断点法、隶属度函数法等数学排序方法进行有针对性的等级划分，而没有较为普适性的等级划分标准。

4.5 承灾因子

4.5.1 承灾因子应包括人口密度、道路密度、单位面积 GDP、土地利用类型。

【条文说明】承灾因子的选取范围应从城市人口、交通、经济、土地功能等方面考虑，涵盖受内涝影响的主要对象。人口密度能反映受灾区域在不同空间位置上的人口数量，人口密度越大，内涝灾害直接受到影响的人数就会越大；道路密度能定量反映内涝对道路的影响，道路越复杂的区域，内涝风险越高；单位面积 GDP 能反映受灾区域内不同空间位置上的 GDP，用于可衡量灾害造成的财产损失，单位面积 GDP 越高的地区，其遭受内涝灾害时所造成的经济损失越严重；不同类型用地对内涝积水的脆弱敏感程度不同，例如，公共服务设施、商业中心等人们活动频繁地区对内涝积水较为敏感，而绿地、农田等由于人类活动较少而对内涝积水不敏感。

承灾因子各二级指标与不具备数据建模条件地区的指标体系保持一致。

4.5.2 人口密度应按下式计算，并应根据表 4.5.2 确定人口密度的风险等级。

$$P_d = \frac{POP}{S} \tag{4.5.2}$$

式中： P_d ——人口密度（人/km²）；

POP ——评价单元内人口总数（人）；

S ——评价单元总面积（km²），空间分辨率不应低于 100m×100m。

表 4.5.2 人口密度的风险等级

百分位	≥10%	(5%, 10%)	(1%, 5%]	≤1%
风险分级	低	中	较高	高

【条文说明】

1 可通过当地管理部门获取评价的人口调查数据，在数据不足的情况下，可通过如 worldpop 网站（<https://www.worldpop.org>）等公开数据源获取评价单元人口分布情况；

2 由于不同城市人口密度相差悬殊，不宜使用固定数值进行风险等级的划分。

4.5.3 道路密度可按下式计算：

$$D = \frac{L}{A} \tag{4.5.3}$$

式中： D ——道路密度（km/km 或 m/m²）

L ——评价单元总道路长度（km 或 m）

A ——评价单元面积（km² 或 m²）

【条文说明】可根据区域管理部门获取道路数据，当数据不足时，可通过 open street map 网站（<https://www.openstreetmap.org>）等公开数

据源获取道路分布情况。

4.5.4 单位面积 GDP

1 应采用最新的 GDP 空间分布数据，在有可能的情况下，宜采用精度最高的分辨率(如珞珈一号夜间遥感卫星的最高分辨率为 130m)。

2 可通过管理部门的调查数据进行核定。对于范围较大的区域，可通过夜间灯光等数据拟合的方式，间接获取区域的 GDP 分布情况，但应进行验证以保证精度。

【条文说明】GDP 与夜间灯光存在显著的线性关系，夜间灯光数值越大的区域 GDP 水平越高。夜间灯光数据可通过：珞珈一号夜间遥感卫星（<http://59.175.109.173:8888/app/login.html>）（分辨率≤130m）或者国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)获取。GDP 与夜间灯光关系可通过查阅文献获取（不同地区系数不同）；例：海南岛的 GDP 估计值可通过公式 $G^* = 229.935 \times TNL - 63384.794$ 计算，式中：G*为 GDP 估计值（万元）；TNL 为夜间灯光总强度(total night-time light)。

4.5.5 土地利用类型及其风险等级划分，应符合下列规定：

1 土地利用类型至少包括林地、草地、旱地、水域、公共设施用地、商业用地、居住用地、工业用地、城镇用地、交通用地，对于区域内重要性差异较大的单一土地利用类型，应逐一区分；

2 不同土地利用类型的风险等级应根据表 4.5.5 确定。

表 4.5.5 土地利用类型的风险等级

土地利用类型	草地、林地、	公共设施用	居住用地、工	城镇用地、
--------	--------	-------	--------	-------

	旱地、水域、 水田	地、商业用地	业用地	交通用地
分数	1	2	3	4
风险分级	低	中	较高	高

【条文说明】

土地利用类型数据可通过区域管理部门获取，或者从资源环境科学与数据中心或中国土地利用遥感监测数据等公开渠道获取。

4.6 防灾减灾因子

4.6.1 防灾减灾因子应包括内涝防治预警系统水平、内涝防治应急系统水平、内涝防治评价系统水平；不具备数学建模条件的地区，防灾减灾因子还应包括管渠排水能力和河道排涝能力。

【条文说明】防灾减灾因子是指区域应对内涝灾害采取的各种措施，该类因子代表区域应对内涝灾害风险的抵御和恢复性，有条件建立数学模型的地区可通过设定上、下游边界条件将雨水管网的过流能力和外部水体的水位考虑在内，因此需要从内涝防治预警系统水平、内涝防治应急系统水平和内涝防治评价系统水平三个角度对城市的防汛应急管理能力和评价。对于没有条件建立数学模型行评估的地区，对城市防汛应急管理能力和评价之外，还应添加管渠排水能力因子、河道排涝能力因子。

有条件建立数学模型的地区可通过设定上、下游边界条件将雨水管网的过流能力和外部水体的水位考虑在内，防灾减灾因子二级指标中不再考虑管渠排水能力和河道排涝能力。防灾减灾因子二级指标为内涝防治预警系统水平、内涝防治应急系统水平、内涝防治评价系统

水平。

4.6.2 没有数学建模条件地区，还应考虑管渠排水能力、河道排涝能力两方面进行评价。

4.6.3 管渠排水能力评价应将排水防涝设施普查作为前置工作，评价应以普查成果作为数据基础。

4.6.4 管渠排水能力宜对包括雨水管渠覆盖程度、排水管网达标率、雨水泵站达标率三项指标进行打分评价，并应符合下列规定：

1 雨水管渠覆盖程度应根据排水体制和建设情况，按表 4.6.4-1 确定分数；

表 4.6.4-1 雨水管渠覆盖程度的分数

雨水管渠覆盖程度	排水体制为分流制，雨水管网实现全覆盖	排水体制总体为分流制，雨水管网仍未实现全覆盖	部分地区排水体制为分流制	区域未建立雨水排水系统
分数	1	2	3	4

2 应根据雨水管渠达标率计算结果按表 4.6.4-2 确定分数；

表 4.6.4-2 排水管网达标率分数

排水管网达标率	≥95%	[90%,95%)	[85%,90%)	<85%
分数	1	2	3	4

3 应根据雨水泵站达标率计算结果按表 4.6.4-2 确定分数；

表 4.6.3 雨水泵站达标率的分数

雨水泵站达标率	≥95%	[90%,95%)	[85%,90%)	<85%
分数	1	2	3	4

4 管渠排水能力总体评价分数应为雨水管渠覆盖程度、排水管网达标率、雨水泵站达标率的分数加和，并按表 4.6.4-4 确定管渠排水能力的风险等级。

表 4.6.4-4 管渠排水能力的风险等级

总分	[3,6)	[6,9)	[9,12)	12
风险等级	低	中	较高	高
x_{VR} 数值	2.5	5	7.5	10

【条文说明】本条与住房和城乡建设部颁发的《城市排水（雨水）防涝规划编制大纲》要求规划编制时要进行排水现状能力的评估的内容保持基本一致。

4.6.5 河道排涝能力的风险等级应根据河道调蓄规模按表 4.6.5 确定。

表 4.6.5 河道排涝能力的风险等级

风险等级	备注	x_{VR} 取值
低	中心城区河道调蓄规模达到 50 年 1 遇标准；非中心城区河道调蓄规模达到 30 年 1 遇标准；	2.5
中	中心城区河道调蓄规模达到 30 年 1 遇标准；非中心城区河道调蓄规模达到 20 年 1 遇标准；	5
较高	中心城区河道调蓄规模达到 20 年 1 遇标准；非中心城区河道调蓄规模达到 10 年 1 遇标准；	7.5
高	中心城区河道调蓄规模未达到 20 年 1 遇标准；非中心城区河道调蓄规模未达到 10 年 1 遇标准；	10

【条文说明】城市河道是城市主要的涝水行泄通道和调蓄空间，是城市防涝体系的重要组成部分，因此风险评估时将河道排涝能力考虑在内也十分重要。城市河道包括城镇内河和过境河道。城镇内河的主要功能是汇集、接纳和储存城镇区域的雨水，并将其排放至城镇过境河流中；城镇过境河流承担接纳外排境内雨水和转输上游来水的双重功能。水面率和防洪设计标准是衡量城镇河流的调蓄能力地重要指标。城镇规划和设计过程中水面率是调蓄容量的重要体现。根据《城镇内涝防治技术规范》中相关规定，城镇河道应按当地内涝防治设计标准

统一规划，与防洪标准相协调。内河调蓄规模参照《城镇排水防涝技术标准》进行考虑。

4.6.6 内涝防治预警系统水平应根据防汛排涝重点点位梳理情况、防汛及城市雨水管理办法编制情况、数字化内涝防治预警系统建设情况和信息化监测感知设备部署情况，按表 4.6.6-1 确定各单项评价因素分数；内涝防治预警系统水平总体评价分数应为各单项因素的分数加和，并按表 4.6.6-2 确定内涝防治预警系统的风险等级。

表 4.6.6-1 内涝防治预警系统水平的单项评价因素分数

防汛排涝重点 点位梳理情况 分数	防汛及城市雨水管 理办法编制情况分 数	数字化内涝防 治预警系统建 设情况分数	信息化监测 感知设备部 署情况分数	单 项 评 价 因 素 分 数
全面掌握防汛 排涝重点点 位，并实现清 单化管理	已有法规效力的防 汛及城市内涝灾害 管理办法	已建立全域数 字化内涝防治 预警系统，实 现灾情实时监 测	信息化监测 感知设备实 现易涝点位 全覆盖	1
对部分防汛排 涝重点点位进 行了梳理，每 年定期更新	水务、自然资源、 交通运输、公安、 交警、电力、建立 了防御应对内涝灾 害的专项预案	已在重点区域 建立内涝防治 预警系统	信息化监测 感知设备覆 盖部分易涝 点位	2
已对少数防汛 排涝重点点位 进行梳理	少数部门建立了防 汛及城市内涝管理 办法	初步搭建区域 暴雨内涝模型 及数字化内涝 预警系统	信息化监测 感知设备覆 盖少量易涝 点位	3
未对防汛排涝 重点点位进行 梳理	暂无防汛及城市雨 水管理办法	未建立内涝防 治预警系统	信息化监测 感知设备未 布置	4

表 4.6.6-2 内涝防治预警系统的风险等级

风险等级	内涝防治预警系统水平总体评价分数	X _{VR} 取值
------	------------------	--------------------

低	[4,8)	2.5
中	[8,12)	5
较高	[12,16)	7.5
高	16	10

【条文说明】此条参考 GB51222-2017《城镇内涝防治技术规范》中有关内涝防治预警系统的相关规定，并在此基础上进行修改。

4.6.7 内涝防治应急系统水平应根据内涝应急预案编制情况、应急信息发布渠道通畅程度、应急处置物防措施完善程度和应急强排能力，按表 4.6.7-1 确定各单项评价因素分数；内涝防治应急系统水平总体评价分数应为单项因素的分数加和，并应按表 4.6.7-2 确定内涝防治应急系统的风险等级。

表 4.6.7-1 内涝防治应急系统水平的单项评价因素分数

内涝应急预案编制情况	应急信息发布渠道通畅程度	应急处置物防措施完善程度	应急强排能力	单项评价因素分数
已制定多部门综合协调、职责明确的内涝应急预案	有权威性的内涝信息发布平台及渠道，信息发布及时、渠道通畅	出台专门的应急保障物资管理办法，定期、专人进行管理	城市建成区每平方公里应急排涝能力不低于 100m ³ /h	1
基本制定多部门综合协调内涝应急预案	有权威性的内涝信息发布平台及渠道，信息发布较为及时	有较为全面的应急保障物资管理办法	城市建成区每平方公里应急排涝能力不低于 85m ³ /h	2
初步制定内涝应急预案	内涝信息发布存在延迟	有基本的应急保障物资管理办法	城市建成区每平方公里应急排涝能力不低于 60m ³ /h	3

暂未制定内涝应急预案	无权威性的灾害信息发布平台及渠道	暂未出台应急保障物资管理办法	城市建成区每平方公里应急排涝能力小于 60m ³ /h	4
------------	------------------	----------------	--	---

表 4.6.7-2 内涝防治应急系统的风险等级

风险等级	内涝防治应急系统水平总体评价分数	x _{VR} 取值
低	[4,8)	2.5
中	[8,12)	5
较高	[12,16)	7.5
高	16	10

【条文说明】应急抢险能力表现为是否建立水利、公安、消防、交警、电力等排涝应急抢险队伍，配备足量抽水泵、移动泵车等，同时配套自主发电设备，该因素用城市建成区每平方公里应急排涝能力来表征。

4.6.8 内涝防治评价系统水平应根据内涝防治预警系统评价方案情况、内涝防治应急系统评价方案情况和内涝防治设施评价方案情况，按表 4.6.8-1 确定各单项评价因素分数；内涝防治评价系统水平总体评价分数应为单项因素的分数加和，并应按表 4.6.8-2 确定内涝防治评价系统的风险等级。

表 4.6.8-1 内涝防治评价系统水平的单项因素分数

内涝防治预警系统评价方案情况	内涝防治应急系统评价方案情况	内涝防治设施评价方案情况	单项评价因素分数
已制定所有内涝防治预警子系统运行效果的评价方案，并能够针对存在问题提出改进建议	已制定所有内涝防治应急子系统运行效果的评价方案，并能够针对存在问题提出改进建议	已制定所有内涝防治设施的运行效果的评价方案，并能够针对存在问题提出改进建议	1
已制定所有内涝防	已制定所有内涝防治应	已制定所有内涝防治	2

治预警子系统运行效果的评价方案	急子系统运行效果的评价方案	应急设施运行效果的评价方案	
已制定部分内涝防治预警子系统运行效果的评价方案	已制定部分内涝防治应急子系统运行效果的评价方案	已制定部分内涝防治应急设施运行效果的评价方案	3
暂无内涝防治预警系统的评价方案	暂无内涝防治应急系统的评价方案	暂无内涝防治设施的评价方案	4

表 4.6.8-2 内涝防治评价系统的风险等级

风险等级	内涝防治评价系统水平总体评价分数	x_{VR} 取值
低	[3,6)	2.5
中	[6,9)	5
较高	[9,12)	7.5
高	12	10

【条文说明】内涝防治评价系统的建设应符合现行国家标准《城镇内涝防治技术规范》GB51222 的有关规定，包括对内涝防治预警系统、内涝防治应急系统和内涝防治设施运行效果的综合评价。内涝防治评价系统的水平评价应考虑内涝防治预警系统、内涝防治应急系统和内涝防治设施评价方案的完善情况，具体表现为是否根据本标准第 4.6.6 条和第 4.6.7 条针对各个子系统和单向因素建立评价方案，能否针对各系统运行效果存在的问题提出改进建议。

5 指标权重

5.0.1 指标权重应能衡量各项指标对指标体系贡献程度，可根据因子分析法、层次分析法、信息熵赋权法、专家打分法等方法的要求，并结合当地实际情况讨论确定。

5.0.2 根据因子的客观数据的差异而确定各指标的权重时可采用因子分析法；需要基于决策者的知识经验偏好和数字的相对大小信息对各指标进行计算时可采用层次分析法。

5.0.3 因子分析法中各共性因子之间以及各共性因子与所有内涝风险因子之间应是相互独立的。

5.0.4 因子分析法应符合下列规定：

1 应利用累计方差贡献率代表综合变量信息含量进行指标筛选，并应保留累计方差贡献率不低于 90%的指标；

2 应利用保留下的指标方差相加所得的结果在原始指标方差之和中所占的比例，判定选取指标的合理性；

3 因子分析法计算过程应符合附录 A 的规定。

5.0.5 层次分析法应根据内涝问题的性质和要达到的总目标，将内涝风险问题分解为不同层次分析体系，并构造判断矩阵，确认层次单排序，通过一致性检验，最终计算指标合成权重，并应符合本标准附录 B 的规定。

5.0.6 构造判断矩阵时各因子两两之间的相对重要性应按下表规定。

表 5.0.6 层次分析法重要性等级含义

重要性等级	含义
-------	----

1	前者风险因子与后者风险因子的重要性相同
3	前者风险因子比后者风险因子稍重要
5	前者风险因子比后者风险因子明显重要
7	前者风险因子比后者风险因子强烈重要
9	前者风险因子比后者风险因子极端重要
2、4、6、8	前者风险因子与后者风险因子的重要性介于上述两个相邻等级之间

5.0.7 在内涝灾害的多指标综合评价中，熵权法可以客观的反映各评价指标的权重。一个系统的有序程度越高，则熵值越大，权重越小；反之，一个系统的无序程度越高，则熵值越小，权重越大，确定权重的过程应符合本标准附录 C 的规定。

5.0.8 专家打分法通过匿名方式征询有关专家的意见，对专家意见进行统计、处理、分析和归纳，客观地综合多数专家经验与主观判断，对大量难以采用技术方法进行定量分析的因素做出合理估算，经过多轮意见征询、反馈和调整，来确定各因子的权重系数，该方法确定的权重系数能较好的反映出实际情况下各因子在灾害形成过程的作用，但存在一定的主观因素。

【条文说明】专家打分法的实施步骤如下：1) 确定问题，组建若干个专家组；2) 编制第一轮专家意见调查表；3) 发放调查表至各专家组成员并按时收回；4) 汇总和分析专家匿名反馈的意见信息，再次发放问卷使专家比较自己和他人不同的意见，修改或完善意见或判断；5) 专家组成员重新作出答复；6) 循环以上过程，直至各位专家意见达成共识。

6 风险等级划分

6.1 内涝灾害风险指数计算

6.1.1 内涝灾害风险应考虑各灾害因子综合的作用结果，同时各风险评估因子对风险的构成作用不同，应考虑为每个风险评估因子分别赋予不同的权重。

6.1.2 内涝灾害风险评估因子应进行初始值的标准化处理，应按下列式计算：

$$Y_{ij} = 10 \times \left(0.5 + 0.5 \times \frac{X_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i} \right) \quad (6.1.2)$$

式中： Y_{ij} ——第 i 站第 j 个指标的归一化值；

X_{ij} ——第 i 站第 j 个指标的初始值；

$\min_i$ ——第 j 个指标初始值中的最小值；

$\max_i$ ——第 j 个指标初始值中的最大值。

【条文说明】反应城市内涝风险的各项指标之间的量纲不统一，缺乏可比性，常用的一种方法是对指标直接进行等级划分后再赋分，主要需要确定等级划分的标准或划分方法；另外，也可根据不同评价指标的具体数值，对指标进行标准化处理，解决指标之间无可比性的问题。

6.1.3 内涝灾害风险评估应构建一级指标指数模型，并应符合下列规定：

1 不具备建立数学模型条件的地区，应分别建立致灾因子、孕灾因子、承灾因子和防灾减灾因子的指数模型，并按下列公式计算：

$$VH = \sum_{i=1}^n W_{VHi} x_{VHi} \quad (6.1.3-1)$$

$$VS = \sum_{i=1}^n W_{VSi} x_{VSi} \quad (6.1.3-2)$$

$$VE = \sum_{i=1}^n W_{VEi} x_{VEi} \quad (6.1.3-3)$$

$$VR = \sum_{i=1}^n W_{VRi} x_{VRi} \quad (6.1.3-4)$$

式中： VH ——致灾因子指数；

VS ——孕灾因子指数；

VE ——承灾因子指数；

VR ——防灾减灾因子指数；

W_{VHi} ——致灾因子第 i 个指标的权重；

W_{VSi} ——孕灾因子第 i 个指标的权重；

W_{VEi} ——承灾因子第 i 个指标的权重；

W_{VRi} ——防灾减灾因子第 i 个指标的权重；

x_{VHi} ——致灾因子中第 i 个指标的标准化值；

x_{VSi} ——孕灾因子第 i 个指标的标准化值；

x_{VEi} ——承灾因子第 i 个指标的标准化值；

x_{VRi} ——防灾减灾因子第 i 个指标的标准化值；

n ——评价指标总数。

2 具备建立数学模型条件的地区，应分别建立致灾孕灾因子、承灾因子和防灾减灾因子指数模型，并按下式计算：

$$VC = \sum_{i=1}^n W_{VCi} x_{VCi} \quad (6.1.3-5)$$

式中： VC ——致灾孕灾因子指数；

W_{VCi} ——致灾孕灾因子第 i 个指标的权重；

x_{VCi} ——致灾孕灾因子中第 i 个指标的标准化值；

n ——评价指标总数。

6.1.4 内涝灾害风险评估应建立内涝评估指数模型，并应符合下列规定：

1 不具备建立数学模型条件的地区，应按下式计算：

$$FDRI = (VH^{WH})(VS^{WS})(VE^{WE})[0.1(1 - a)VR + a] \quad (6.1.4-1)$$

式中： $FDRI$ ——内涝灾害风险指数；

VH ——致灾因子指数；

VS ——孕灾因子指数；

VE ——承灾因子指数；

VR ——防灾减灾因子指数；

WH ——致灾因子权重；

WS ——孕灾因子权重；

WE ——承灾因子权重；

WR ——防灾减灾因子权重；

a ——常数， $0 \leq a \leq 1$ ，可取值为 0.75。

2 具备建立数学模型条件的地区，应按下式计算：

$$FDRI = (VC^{WC})(VE^{WE})[0.1(1 - a)VR + a] \quad (6.1.4-2)$$

式中： $FDRI$ ——内涝灾害风险指数；

VC ——致灾孕灾因子指数；

VE ——承灾因子指数；

VR ——防灾减灾因子指数；

WC ——致灾孕灾因子权重；

WE——承灾因子权重；

WR——防灾减灾因子权重；

a ——常数， $0 \leq a \leq 1$ ，可取值为 0.75。

6.2 内涝灾害风险计算尺度

6.2.1 内涝灾害风险评估的计算空间尺度应区分广度和精度，并应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 内涝风险评估空间尺度

尺度类型	广度	精度
行政区域空间	国家	省、市、1~10km 网格
	省级	市、县、0.5~1km 网格
	地级	县、乡、1~500m 网格
	县级	乡、村、1~500m 网格
	乡级	村、0.1~50m 网格
	村	0.1~10m 网格
	街道	0.1~10m 网格
	小区	0.1~10m 网格
自然流域空间	>20 万 km ²	省、市、县、1~50km 网格
	>8 万 km ²	省、市、县、1~100km 网格
	>3 万 km ²	市、县、0.5~1km 网格
	>1 万 km ²	县、乡、0.3~0.5km 网格
	≤1 万 km ²	1~300m 网格

【条文说明】计算空间尺度可采用广度和精度两个指标进行表示，空间尺度中的广度是指研究区域的空间范围大小，精度是指风险研究的最小空间单元，及评价单元，反映了风险空间评价对象的粗细和角度上的不同。选取合适的尺度可提高风险区划结果的准确性，常用的洪涝灾害风险空间尺度可参考下表。

对于城市洪涝灾害风险而言，不同时空尺度下的风险区划会呈现出不同的风险时空差异特征。由于时间尺度上的资料获取具有一定难度，目前的洪涝风险区划尺度差异主要体现在空间尺度上，如全球、

大洲、国家级、省级等。空间尺度可分为行政区域、自然流域两种类型，前者以政治、历史等因素进行划分，后者以分水岭进行划分，虽然两者的本质不同，但两者与研究区域的社会经济特性均有着密切的关系。洪涝灾害风险的广度和精度之间存在密切的关系，单元的选择受广度的影响，两者在一定程度上呈正比关系，即评估对象的广度越大，则评估的时间和空间单元也会越大。

6.2.2 内涝灾害风险评估应根据地方管理需求绘制城市内涝风险图，并应以排水分区为空间单元；不具备条件的情况下，应以县（区）为空间单元统计致灾因子、承灾因子等评价因子相关指标。

6.2.3 采用数学模型进行内涝风险评估时，计算空间尺度应符合下列规定：

- 1 河道洪水、农田内涝和风暴潮洪水的二维计算网格面积应不大于 0.05km^2 ；
- 2 城市内涝二维计算网格面积应不大于 0.01km^2 ；
- 3 城市干道的网格边长应不大于道路宽度，并沿道路走向布置。

6.3 内涝灾害风险等级分类

6.3.1 内涝灾害风险评估可采用自然断点法对内涝灾害风险评估结果进行分级区划，以减少同级指标差异并增加级间指标差异。

6.3.2 风险等级的分级量化应在对内涝风险指数分级的基础上得到判定阈值，并应结合实际情况进行细分。

6.3.3 自然断点法风险宜划分为高风险区、较高风险区、中等风险区、低风险区 4 个等级，并应按下式计算：

$$SSD_{i-j} = \sum_{k=1}^j A[k]^2 - \frac{(\sum_{k=1}^j [k])^2}{j-i-1} (1 \leq i \leq j \leq N) \quad (6.3.3)$$

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。

7 成果

7.1 评估报告

7.1.1 评估报告宜包括下列内容：

1 评估地区的基本情况，包括区位条件、地形地貌、河湖（库）水系及历史演变、水文气象及经济社会状况、历史内涝情况、排水防涝设施存在的主要问题、相关规划和工程设施概况等；

2 各项评估指标的数据来源和指标量化方式，各项评估指标数据代表性、准确性、可靠性和客观性分析；采用数学模型进行指标量化的地区，还应说明模型概化、模型率定验证、方案设计和模拟等建模过程；

3 内涝风险评估方案，包括评估指标体系、评估方法和评估标准、评价范围，评价单元划分方案和依据。

4 内涝风险评估结果，包括评估方法和标准、各项指标的计算过程和赋分结果、各评估单元的内涝风险指数、评估地区的内涝风险等级划分结果；

5 问题分析和对策，包括评估地区内涝风险的整体特征、空间差异和主要问题、改进对策和建议方案。

7.2 内涝风险图

7.2.1 内涝风险图命名应包括流域或行政区名称、编制区域名称和基本图类型。

【条文说明】内涝风险图命名示例：××市××区××年一遇降雨×××图。

7.2.2 内涝风险图应包含基础地理信息、排水防涝信息、内涝风险要素及其他相关信息，并应符合下列规定：

1 基础地理信息宜包括河网水系、道路、房屋、植被等的矢量地图、行政区划图、土地利用分类图、DEM 地形高程数据、高空航拍影像图等，并应保证基础地理基础信息的时效性；

2 宜标识地下车库、地下室、下穿通道、地铁等地下空间出入口等重点低洼地以及易涝区段；

3 内涝风险要素宜包括内涝积水深度、积水持续时间、地表径流流速等；

4 其他相关信息宜包括方案说明、内涝淹没区内的人口和资产、土地利用等社会经济特征的空间分布信息，以反映防涝措施特征或内涝风险的产生和管理；

7.2.3 内涝风险图应采用积水深度、积水持续时间、地表径流流速、内涝风险指数分别绘制，并应符合下列规定：

1 积水深度图的等级宜取“ <0.15 、 $0.15\sim0.27\text{m}$ 、 $0.27\sim0.4$ 和 $\geq 0.4\text{m}$ ”，可用浅蓝偏紫至深蓝偏紫色系面状填充表示不同等级积水水深。

2 积水持续时间图的等级宜取“ $<60\text{min}$ 、 $1\text{h}\sim2\text{h}$ 、 $2\text{h}\sim6\text{h}$ 、 $\geq 6\text{h}$ ”，可用浅棕至深棕色系面状填充表示不同等级积水持续时间。

3 地表径流流速图的等级宜取“ $<0.6\text{m/s}$ 、 $0.6\sim1.5\text{m/s}$ 、 $1.5\sim3\text{m/s}$ 、 $\geq 3\text{m/s}$ ”，可用浅橙红至饱和红色系面状填充表示不同等级地表径流流速。

4 内涝风险图的等级应在对内涝风险指数分级的基础上得到判定阈值,可用红色表示高风险、橙色表示较高风险、黄色表示中风险、绿色表示低风险。

5 各地可根据实际应用需要调整各要素的等级划分区间,但等级数及各等级要素的充填色系宜与以上要求一致。

7.2.4 应急预案图式应符合下列规定:

1 应根据地图比例尺和数据情况,将行政区界、居民地、主要河流、交通道路等基础地理要素作为背景图层;

2 应以内涝积水深度分布表示危险区范围,积水深度等级宜取“ <0.15 、 $0.15\sim0.27\text{m}$ 、 $0.27\sim0.4$ 和 $\geq 0.4\text{m}$ ”四个等级,分为低风险、中风险、较高风险和高风险,取内涝积水深度图较浅的五级颜色面状填充,表示不同等级。

3 应急转移方向和路线宜分别采用带指示箭头的弧状曲线或沿道路方向的折线符号表示,同时宜标明距离,以便能够掌握到达避难场所的移动距离。

4 应急转移路线沿程的危险点宜根据实际情况添加,并用文字说明危险类型。当其他图形要素的符号或注记影响到应急预案主题符号或注记的表达时,应采取避让或弱化等调整手段,确保应急预案信息清晰、突出表现。

7.2.5 内涝风险图应标示风险图图名、指北针、图例、比例尺、编制单位、编制日期等信息,并应以附表形式列出不同风险要素在不同等级区间的内涝影响分析和损失评估结果。

【条文说明】风险图图名应遵循命名规则，图名置于图框上边界之外。指北针应为黑白色，形态简明朴素，置于图幅右上角，大小可根据图面尺寸确定。内涝风险信息统计宜以文字形式对内涝造成的总体影响和损失进行表现，置于方案说明正下方。风险图编制单位、编制日期等辅助信息应以文字方式表现，置于图框下边界之上。附表置于图框内不影响地图信息表达的位置。

7.2.6 内涝风险图应优先采用 CGCS2000 坐标系，宜采用高斯克吕格投影，比例尺可取 1: 500、1: 1000。

【条文说明】内涝风险图采用的比例尺需能够辨别住房、疏散地点和其他疏散路线。

附录 A 因子分析法

A.0.1 因子分析法应选取假想变量作为因子。

【条文说明】因子分析法通过研究众多变量之间的内部依赖关系，探求观测数据中的基本结构，并用少数几个假想变量来表示其基本的数据结构。这几个假想变量能够反映原来众多变量的主要信息。原始的变量是可观测的显在变量，而假想变量是不可观测的潜在变量称为因子。

A.0.2 因子分析法，应按下列步骤进行计算：

1、数据标准化

样本观测数据矩阵为 $X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$ ，数据标准化的方法为：

计算各变量的平均值和标准差，将每一变量值减去平均值所得的结果，与其标准差相除。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\text{Var}(x_j)}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, p) \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$\text{其中，} \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \text{Var}(x_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, j = 1, 2, \dots, p$$

2、计算样本相关系数矩阵 $P_{p \times p}$ 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{p1} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad (\text{A.0.2-2})$$

样本相关系数的计算公式为：

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{A.0.2-3})$$

式中：n——样本个数；

X，Y——指标统计值。

继续用 X 表示标准化后的数据矩阵，相关系数为

$$r_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_{ti} x_{tj} \quad i, j = 1, 2, \dots, p \quad (\text{A.0.2-4})$$

3、计算上述矩阵 R 的非负特征值 λ_i ($i = 1, 2, \dots, p$) 并按从大到小的顺序排序。

4、上述方法可以得到 p 个主成分，在实际分析时无需全部选取，只需依据每个主成分累计贡献率的多少保留 k 个主成分，即 k 个公因子。

某一主成分的方差在所有主成分的方差中所占的比例，称为该主成分的贡献率，即对应的特征值在所有主成分对应特征值中所占的比例。

$$\text{贡献率} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (\text{A.0.2-5})$$

通常累计贡献率大于或等于 85% 时，可认为选取的综合变量可以包含原始变量的 90% 以上的信息。 λ_i 与因子载荷 a_{ij} 的关系为： $\lambda_i = \sum_{j=1}^p a_{ij}^2$ 。

5、因子旋转

初始因子载荷矩阵 A 并不唯一。设 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 是初始公共因子，可通过构建不同线性组合，得出另外一组公共因子 $F'_1, F'_2, \dots, F'_m$ ，也可以对原始变量间的关系作出满意的解释，且满足公共因子间相互独立。线性组合为：

$$\begin{aligned} F'_1 &= d_{11}F_1 + d_{12}F_2 + \dots + d_{1m}F_m \\ F'_2 &= d_{21}F_1 + d_{22}F_2 + \dots + d_{2m}F_m \\ &\dots \\ F'_m &= d_{m1}F_1 + d_{m2}F_2 + \dots + d_{mm}F_m \end{aligned} \quad (\text{A.0.2-6})$$

构建因子分析模型的目标，不仅仅在于找出公共因子，最终目标是研究实际问题，因此理解每个公共因子的含义十分必要。根据得出的初始因子解，有时难以直接找出能够较好代表每个主因子的变量，导致主因子的意义模糊，难以进一步研究具体问题。可通过因子旋转，在不改变公共因子贡献率的前提下，改变载荷矩阵，导致公共因子内部可能发生较大改变，对原始变量的贡献也随之变化。经过因子旋转可使公共因子的含义易于理解，得出更加合适的公共因子。仅通过一次因子旋转难以得到满意的结果，一般需多次旋转。载荷矩阵每一列二次方的相对方差之和随着旋转次数的增加呈逐渐增大趋势，当方差之和变化较小即可认为达到最大值时，不再旋转，得出最终的公共因子和载荷矩阵。

6、指标筛选

因子载荷的绝对值 $|a_{ij}|$ 反映第 i 个指标与公因子 F_i 的相关程度， $|a_{ij}|$ 越大说明指标 i 对公因子的作用越明显。对每一个公因子 F_i ，选取该类中因子载荷最大的指标，删除其他指标，将保留的指标作为最终的评价指标，构建评价指标体系。

根据因子分析利用累计方差贡献率代表综合变量信息含量的做法，保留方差大的指标，并利用保留下的指标方差相加所得的结果在原始指标方差之和中所占的比例，判定选取指标的合理性。

$$I_n = \frac{\text{tr}S_m}{\text{tr}S_n} \quad (\text{A.0.2-7})$$

式中： m ——经过因子分析后保留的指标个数；

N ——原始所有指标个数；

$\text{tr}S_m$ —— m 个指标的方差总和;

$\text{tr}S_n$ —— n 个指标的方差总和。

附录 B 层次分析法

B.0.1 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。计算步骤如下：

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（如下表）对这 n 个因素进行两两比较。

表. 1 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 个因素的影响强烈强
9	第 i 个因素与第 j 个因素的影响极端强
2、4、6、8	第 i 个因素与第 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：

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{B.0.1-1})$$

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

2、层次单排序

对应于判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$ 的特征向量，经标准化（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。

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：

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (\text{B.0.1-2})$$

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：

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \cdots + CI_n}{n} \quad (\text{B.0.1-3})$$

根据判断矩阵阶数，按照下表找出对应的 RI。

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:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (B.0.1-4)$$

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。

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 C 信息熵赋权法

C.0.1 设评价体系是由 m 个指标 n 个对象构成的系统，首先计算第 i 项指标下第 j 个对象的指标值 r_{ij} 所占指标比重 P_{ij} ：

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{C.0.1-1})$$

由熵权法计算第 i 个指标的熵值 S_i

$$S_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$w_i = \frac{1-S_i}{\sum_{i=1}^m (1-S_i)} (i = 1, 2, \dots, m) \quad (\text{C.0.1-3})$$

计算第 i 个指标的熵权，确定该指标的客观权重 w_i 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”。

引用标准名录

《城乡排水工程项目规范》 GB 55027

《室外排水设计标准》 GB50014

《城市水系规划导则》 SL431