

团 体 标 准

T/JSCTS XXXX—XXXX

城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害 风险评估指南

Guidelines for risk assessment of flood disasters during the operation of urban rail
transit

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

江苏省综合交通运输学会 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 评估流程 2

5 资料收集和处理 2

6 风险评估 4

7 风险管控 6

8 报告编制 7

附 录 A （规范性） 百分位数法 8

附 录 B （规范性） 层次分析法 9

参 考 文 献 11

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。

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专利的责任。

本文件由苏交科集团股份有限公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：徐州地铁运营有限公司、苏交科集团股份有限公司、常州地铁集团有限公司运营分公司、无锡地铁运营有限责任公司、苏州地铁运营有限公司、南京铁道职业技术学院。

本文件主要起草人：张猛、吴凤山、岳远刚、彭玲云、王辉、黎星光、游玉石、凌世清、俞太亮、叶智锐、单辉、赵晴晴、王永顺、武林、赵德生、朱洪涛、张宁、金梦洁、张绪雨、李鹏翔、陈晨、徐文野、祝清。

城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害风险评估指南

1 范围

本文件提出了城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害风险评估的术语和定义、评估流程、资料收集和处理、风险评估、风险管控以及报告编制的方法和内容。

本文件适用于城市轨道交通运营期间直接影响乘客出行的场所的暴雨洪涝灾害风险评估工作。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

暴雨 rainstorm

小时降雨量大于等于 16 毫米、或连续 12 小时降雨量大于等于 30 毫米以及 24 小时降雨量大于等于 50 毫米。

3.2

暴雨过程 rainstorm process

一次持续性的强降雨事件，一旦出现无降水（日降雨量小于 0.1 毫米）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

洪涝灾害 pluvial flood disaster

暴雨引发城市内涝造成人员伤亡和财产损失的事件。

3.5

承灾体 exposed element

致灾因子的作用对象，是人类活动及其所在社会中各种资源的集合。

3.6

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

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

3.7

脆弱性 vulnerability

承灾体遭受灾害侵袭时发生破坏的可能性。

3.8

暴露性 exposure lever

暴露在自然灾害之下的人口、财产经济、基础设施等的数量和价值量。

3.9

兴趣点 point of interest

一切可以抽象为点的地理对象，尤其是一些与人们生活密切相关的地理实体，如学校、银行、餐馆、加油站、医院、超市等，简称POI。

3.10

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

综合考虑暴雨诱发洪涝灾害的风险性、承灾体暴露性、脆弱性以及运营企业安全管理能力等，对暴雨洪涝灾害风险进行评估的过程。

4 评估流程

遵循自然灾害风险系统理论，从致灾因子危险性、承灾体暴露性、承灾体脆弱性和承灾体安全管理等方面综合评估暴雨洪涝灾害风险等级的过程。评估流程见图1所示。

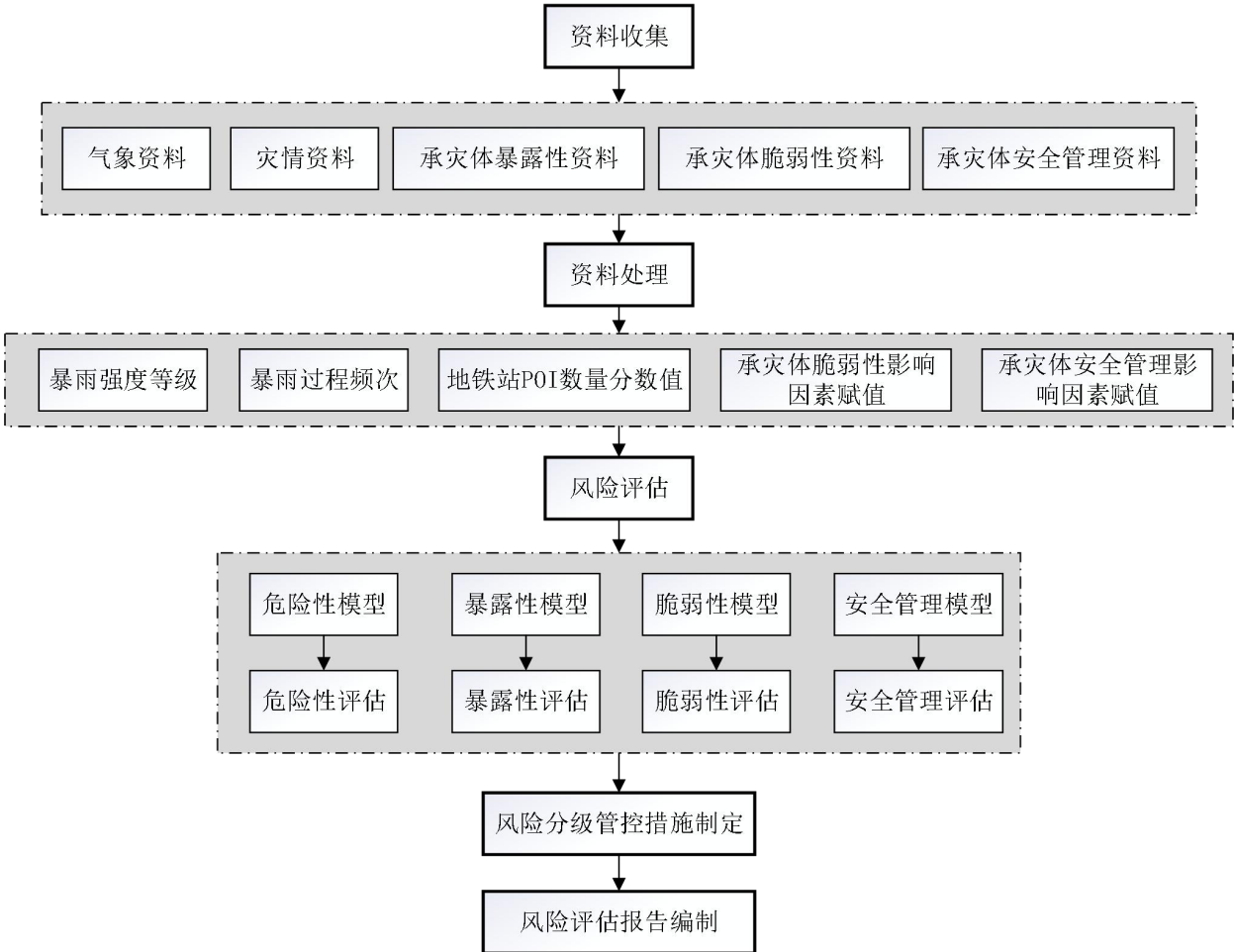


图 1 暴雨洪涝灾害风险评估过程

5 资料收集和处理

5.1 资料收集

5.1.1 气象资料

宜收集车站所在地区10年以上的气象观测站降水资料。

5.1.2 承灾体资料

5.1.2.1 以城市轨道交通运营车站为评估对象，收集车站高峰小时客流量，车站 POI、地形地貌、防汛涝设备设施、土建设计以及周边市政管网等信息资料。

5.1.2.2 运营企业应提供安全与应急管理相关工作制度、应急组织、应急机制、应急装备物资、应急资金投入、应急救援队伍等暴雨洪涝灾害风险评估相关资料。

5.1.3 灾情资料

宜收集被评估对象所在地区10年以上的暴雨洪涝灾情资料，包含灾情发生位置、受灾人口、受灾面积、直接经济损失等。

5.2 资料处理

5.2.1 气象资料

5.2.1.1 统计被评估对象最近气象台站历年1天、2天、3天……10天及以上的暴雨过程降水量，建立不同时间长度的10个降水过程序列，并采用百分位数法对暴雨过程进行等级划分，按表1分为5个等级。百分位数法见附录A。

表1 暴雨强度等级表

等级	百分位数（P）区间
1（极端暴雨）	$P \geq 98\%$
2（强暴雨）	$95\% \leq P < 98\%$
3（较强暴雨）	$90\% \leq P < 95\%$
4（一般暴雨）	$75\% \leq P < 90\%$
5（弱暴雨）	$50\% \leq P < 75\%$

5.2.1.2 统计被评估对象在不同暴雨等级中的暴雨过程频次。

5.2.2 承灾体资料

5.2.2.1 承灾体资料包括承灾体敏感性和防灾抗灾能力。其中，承灾体敏感性包括车站出入口类型、出入口外地面坡度、车站类型、周边水系、历史灾情等指标。防灾抗灾能力包括车站排水能力、车站防洪设施、市政管网设计重现期、水位监控覆盖率、出入口台阶高度等指标。

5.2.2.2 定性指标通过赋值法进行定量化处理，原则是指标取值越大，表示越有可能导致洪涝险情。表2给出了赋值参考值。

5.2.2.3 同一被评估对象存在多个出入口时，出入口类型、出入口外地面坡度及出入口台阶高度的取值以赋值最大的指标为计算取值。

表2 脆弱性指数影响因素取值表

目标层	因子层	指标层	指标取值		
承灾体脆弱性	承灾体敏感性	出入口类型	敞口式	半封闭式	全封闭式
			2	1	0
		局部地形	出入口位置处为局部洼地或连接下沉式广场	出入口位置地坪与周边地面基本持平	出入口位置处为地坪高于周边场地、道路标高
			2	1	0
		车站类型	地下式	半地下式	高架式
			2	1	0
		车站周边水系	大型水系	中型水系	小型水系及以下
			2	1	0
	防灾抗灾能力	历史灾情	过去发生过3次及以上积淹水事件	过去发生过1~2次积淹水事件	过去未发生过积淹水事件
			2	1	0
		地铁站雨水泵房排水能力设计重现期能力	等于20 a	20a~50 a	50a~100 a
			2	1	0
		地铁站防洪设施	防洪设施设备不完善或较多损坏	防洪设施基本完善	防洪设施配备完善且保持完好

			2	1	0
		周边市政管网设计重现期	小于2a	2a~5a	大于5a
			2	1	0
		水位监控覆盖率	各出入口、垂直电梯、风亭未设有水位监测传感器	各出入口、垂直电梯、风亭少数设有水位监测传感器	各出入口、垂直电梯、风亭均设有水位监测传感器
			2	1	0
		出入口台阶高度	无台阶	1~2层台阶	3层及以上
			2	1	0

6 风险评估

6.1 灾害风险指数

城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害风险指数按式（1）计算：

$$R = H \times E \times V \times \gamma \quad (1)$$

式中：

R ——城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害风险指数；

H ——洪涝致灾因子危险性指数；

E ——承灾体暴露性指数；

V ——承灾体脆弱性指数；

γ ——承灾体安全管理修正系数。

6.2 危险性指数

洪涝致灾因子危险性指数按式（2）计算：

$$H = \sum_1^i V_i W_i (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

式中：

H ——洪涝致灾因子危险性指数；

V_i ——不同等级的暴雨强度频次；

i ——暴雨强度等级；

W_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 B。

6.3 暴露性指数

承灾体暴露性指数按式（3）计算：

$$E = POI \times w_{poi} + DAP \times w_{dap} \quad (3)$$

式中：

E ——承灾体暴露性指数；

POI ——地铁站 POI 数量分数值；

DAP ——地铁站等级取值；

w_{poi} ——地铁站 POI 数量的影响权重；

w_{dap} ——地铁站等级的影响权重；

权重的确定可采用层次分析法，参见附录 B。

表 3 地铁站 POI 数量分值

地铁站 POI 数量	POI>800	800≥POI>400	400≥POI>150	150≥POI>50	POI≤50
分数值	10	6	3	2	1

注：1. POI数量检索以被评估对象为中心，采取1000m半径的圆形区域检索；

表 4 地铁站等级取值

车站类型	特大型车站	大型车站	中型车站	小型车站
客流量	高峰小时客流量 ≥ 3 万人次	1.5 万 ≤ 高峰小时客流量 < 3 万人次	0.5 万 ≤ 高峰小时客流量 < 1.5 万人次	高峰小时客流量 < 0.5 万人次
取值	10	7	5	3

6.4 脆弱性指数

承灾体脆弱性指数按式（4）计算：

$$V = SI \times W_s + SO \times W_o$$
（4）

式中：

- V——承灾体脆弱性指数；
- SI——承灾体敏感性指数；
- SO——防灾抗灾能力指数；
- W_s——承灾体敏感性指数的权重值；
- W_o——防灾抗灾能力的权重值；
- 权重的确定可采用层次分析法，参见附录 B

6.5 安全管理修正系数

承灾体安全与应急管理修正系数可以从城市轨道交通运营企业灾前防灾管理、灾中救灾减灾管理、灾后恢复管理三个方面进行计算，按式（5）计算：

$$M = M_1 + M_2 + M_3$$
（5）

式中：

- M——承灾体安全与应急管理评估值；
- M₁——灾前防灾管理；
- M₂——减灾救灾管理；
- M₃——灾后恢复管理；

- （1）根据M值对照表6找出对应的修正系数γ，即管理对风险影响的大小（Mγ=γ）。M值越大，管理越不规范，对应的修正系数越高，对风险影响越大，反之影响就较小。
- （2）管理对应的修正系数是对致险因子引发风险事件可能性大小进行修正，根据专家经验法取得。

表 5 安全管理评估（M 值）

评价指标			分类	分值
灾前防灾能力 (M ₁)	安全管理规章制度		未制定全员安全生产责任制、双重预防机制、人员教育培训制度、应急管理、防汛设施设备维护保养等防汛防涝相关工作制度	3
			制定防汛防涝等管理制度，但制度与实际结合不紧密，人员执行不到位	2
			制定防汛防涝等管理制度，且制度相对完善、人员执行基本到位	0
	洪涝灾害监控预警能力		无关键点位水位监控预警设备或监控预警设备覆盖范围不全面	3
			水位监控预警机制不健全或监测机制执行不到位	2
			水位监控预警设备设置全面且预警机制执行到位	0
减灾救灾能力 (M ₂)	应急保障	应急预案	未编制暴雨洪涝灾害应急预案或“一站一预案”中未涵盖车站洪涝灾害事故应急相关内容	3
			应急预案内容与实际情况不符或未定期开展应急演练	2
			暴雨洪涝灾害应急演练发现问题整改不到位	1
			暴雨洪涝灾害应急预案符合实际要求，定期组织演练且及时对演练发现的问题进行整改	0
		应急	未配备防汛抢险专业应急人员或人员应急能力不满足需求	2

		人员	未定期组织防汛抢险专业应急人员开展训练	1
			配备防汛抢险专业应急人员且应急能力基本满足需求	0
		物资设备	未配置防汛设备或无固定的防汛设备租赁供应商	3
			防汛设备类型少、规格不满足防汛抢险需求	2
			未定期对防汛设备设施进行维护保养保持性能良好	1
			防汛物资设备设施性能良好，满足防汛抢险需求	0
		资金投入	无应急抢险专项费用	2
			应急抢险费用不足或使用不规范	1
			减灾救灾费用充足且使用规范	0
	应急救援	应急职责	应急救援人员职责分工不明确	2
			应急救援人员分工职责明确	0
		应急组织	无完善的应急组织机构，信息处置、决策不及时，部门协调配合效率低	3
			应急组织完善，但信息处置与部门协调配合效率不高	2
应急			组织机构高效运转，可及时应对汛情	0
灾后恢复能力 (M_3)	运营恢复		灾情信息未及时发布，舆情发酵，未及时进行设备设施修复	2
			灾害信息发布、舆情控制滞后，设备设施修复工作进展缓慢，运营恢复秩序混乱	1
			灾害信息发布、舆情控制迅速，并有序组织开展基础设施设施修复工作，逐步恢复运营	0

表 6 安全管理评估（M 值）与修正系数对照表

安全管理评估值 M	修正系数 γ
$M > 15$	1.2
$10 < M \leq 15$	1.1
$4 < M \leq 10$	1
$2 < M \leq 4$	0.9
$0 \leq M \leq 2$	0.8

6.6 风险等级

城市轨道交通运营期间暴雨洪涝灾害风险等级参照表6。

表 7 风险等级划分标准

风险指数	$R \geq 320$	$320 > R \geq 160$	$160 > R \geq 80$	$R < 80$
风险程度	重大风险	较大风险	一般风险	低风险
风险等级	I	II	III	IV

7 风险管控

根据风险评估结果与可接受水平，提出风险管控措施，如表8所述。

表 8 风险管控措施

风险等级	可接受水平	风险管控措施
I 级（重较大风险）	不可接受	必须采取可行的风险管控措施；加强监测预警，进行全面整治，做好应急抢险

II级（中风险）	不期望	应采取风险管控措施；做好监测预警，进行部分或全面专项整治
III级（一般风险）	可接受	宜采取风险管控措施，做好管控预警，进行部分专项整治
IV级（低风险）	可接受	不采取特别的管理措施，做好日常管理

8 报告编制

风险评估报告内容需全面、文字简练、数据完整、客观公正，提出的风险管控措施具有针对性和可操作性。风险评估报告正文由下列部分组成：

- 前言；
- 目录；
- 编制说明；
- 被评估对象概况；
- 评估评估资料分析；
- 风险评估；
- 风险分级；
- 风险管控；
- 结论与建议；
- 附件。

附录 A
(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个百分位置上的水平,多个百分位结合使用,可以更全面地描述资料的分布特征。

$$\widehat{Q}_i(p) = (1 - \gamma)X_{(j)} + \gamma X_{(j+1)} \quad (\text{A.1})$$

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

$$\gamma = p \times n + (1 + p)/3 - j \quad (\text{A.3})$$

式中:

$\widehat{Q}_i(p)$ ——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 B
(规范性)
层次分析法

B.1 基本原理

层次分析法是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，并按照因素的相互关联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。

B.2 计算步骤

B.2.1 构造判断矩阵

把每一个复杂系统中的每个指标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 个元素， $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，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 C.1）对 n 个元素进行两两比较。

表 C.1 尺度标准

尺度	含义
1	第 <i>i</i> 个因素与第 <i>j</i> 个因素的影响相同
3	第 <i>i</i> 个因素比第 <i>j</i> 个因素的影响稍强
5	第 <i>i</i> 个因素比第 <i>j</i> 个因素的影响强
7	第 <i>i</i> 个因素比第 <i>j</i> 个因素的影响明显强
9	第 <i>i</i> 个因素比第 <i>j</i> 个因素的影响绝对地强
2、4、6、8	第 <i>i</i> 个因素比第 <i>j</i> 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：

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

矩阵中： a_{ij} 表示第*i*个因素比第*j*个因素的比较结果，其中，

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \tag{C.2}$$

B.2.2 层单次排序

对应于判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$ 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。

B.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：

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{C.3}$$

$CI = 0$ ，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 ：

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \dots + CI_n}{n} \tag{C.4}$$

表 C. 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 ：

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{C.5}$$

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。

B. 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。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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 27921-2023 风险管理 风险评估技术
 - [2] DB51/T 2829-2021 暴雨洪涝灾害风险评估技术规范
 - [3] ISO 14091 适应气候变化—脆弱性、影响和风险评估指南
 - [4] 公路水路行业安全生产风险辨识评估管控基本规范（试行）（交办安监〔2018〕135号）
-