

团 标 准

T/CAMET XXXXX-XXXX

城市轨道交通 地下空间韧性开发利用 评价

Urban rail transit——Resilient development and utilization of underground space——Evaluation

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

中国城市轨道交通协会 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	2
4 基本规定	3
5 评价指标	3
5.1 开发韧性评价	3
5.2 防火韧性评价	4
5.3 防洪韧性评价	6
5.4 抗震韧性评价	7
6 评分计算	9
6.1 打分与权重	9
6.2 评分计算	10
6.3 韧性等级	10
7 评价报告	11
附 录 A (资 料 性) 开发韧性评价指标分级标准	12
附 录 B (资 料 性) 防火韧性评价指标分级标准	14
附 录 C (资 料 性) 防洪韧性评价指标分级标准	17
附 录 D (资 料 性) 地下空间抗震韧性评价流程及参数取值	19
附 录 E (资 料 性) 层次分析法计算指标权重	22
附 录 F (资 料 性) 城市轨道交通地下空间开发利用韧性评价报告	23

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》和GB/T 20001.8-2023《标准起草规则 第8部分：评价标准》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。

本文件由中国城市轨道交通协会设计咨询专业委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国地质大学（武汉）、同济大学、长江科学院、武汉理工大学、中建南方投资有限公司、中铁十一局集团有限公司

本文件主要起草人：雷崇，朱勇，刘修国，孙波，周辉，汤宇卿，黄书岭，芮瑞，曾灿军，刘铮，闫顺，花卫华，谢俊，赫磊，黄康，王智德。

城市轨道交通 地下空间韧性开发利用 评价

1 范围

本文件确立了城市轨道交通地下空间韧性开发利用的评价指标体系，规定了评价指标的取值规则，描述了评价结果形成规则。

本文件适用于相关管理部门、第三方机构开展的城市轨道交通地下空间韧性开发利用评价，也可用于城市轨道交通地下空间建设、运营单位的韧性自评价。

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 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB 18306 中国地震动参数区划图
- GB/T 19666 阻燃及耐火电线电缆通则
- GB/T 28592 降水量等级标准
- GB/T 38591 建筑抗震韧性评价标准
- GB/T 40151 安全与韧性 应急管理 能力评估指南
- GB/T 40947 安全韧性城市评价指南
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
- GB 50736 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- GB/T 50805 城市防洪工程设计规范
- GB 50909 城市轨道交通结构抗震设计规范
- GB 51174 城镇雨水调蓄工程技术规范
- GB 51222 城镇内涝防治技术规范
- GB/T 51238 岩溶地区建筑地基基础技术标准
- GB 51251 建筑防烟排烟系统技术标准
- GB/T 51336 地下结构抗震设计标准
- GB/T 51358 城市地下空间规划标准
- GB 55002 建筑与市政工程抗震通用规范
- RISN-TG041 城市工程系统抗震韧性评价导则
- DL/T 1061 户外电力设备耐火等级标准
- JGJ 476 建筑工程抗浮技术标准
- T/CAMET 00001 城市轨道交通分类

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

韧性开发利用 resilience development and utilization

城市轨道交通地下空间开发利用过程中面对经济衰退、气候变化、火灾、地震等外部冲击时的适应能力、防护能力和恢复能力。

3. 2

开发韧性评价 development resilience

综合考虑城市轨道交通地下空间资源潜力、开发需求与开发能力等多个方面，衡量城市轨道交通地下空间开发韧性的综合评价方法。

3. 3

防灾韧性 disaster resilience

城市轨道交通地下空间开发利用在面对经济、自然灾害、人为灾害等的冲击时，能够有效地抵御、适应和恢复，以保障城市轨道交通地下空间的可持续性和安全性。

3. 4

防火韧性 fire resilience

城市轨道交通地下空间在火灾情况下，能够承受并抵御灾害的能力。

3. 5

防洪韧性 flood resilience

城市轨道交通地下空间在面对洪水灾害时，有效地抵御、适应和恢复，以保障地下空间内人员、资产和环境安全的能力。

3. 6

抗震韧性 seismic resilience

城市轨道交通地下空间结构在设定水准地震作用后，维持与恢复原有建筑功能的能力。

[来源：GB/T 38591，3.1]

3. 7

城市轨道交通地下空间 underground space for urban rail transit

城市行政区域内地表以下，人工开发的用于轨道交通的地下空间，是地面空间的延伸和补充。

[来源：GB/T 51358，2.0.1]

3. 8

工程需求参数 engineering demand parameter

地下空间抗震韧性评价所需的表征建筑抗震性能的参数。

[来源：GB/T 38591，3.8]

4 基本规定

4.1 评价目的

评价城市轨道交通地下空间开发利用韧性，及时发现地下空间规划、设计、运营过程中抵御经济衰退、火灾、洪水与地震等方面存在的问题和薄弱环节，改进城市轨道交通地下空间开发利用韧性管理机制，提高城市轨道交通地下空间应对突发事件的能力和水平。

4.2 评价原则

开展城市轨道交通地下空间韧性开发利用评价，应遵循数据客观性、指标完备性、结论建设性等原则，重在发现问题，加强韧性城市轨道交通地下空间建设。

4.3 评价主体

城市轨道交通地下空间开发利用韧性评价可采用自评价、上级政府评价和第三方评价等方式。其中，开发利用韧性评价的自评价主体为提出城市轨道交通地下空间规划的政府管理部门，防灾韧性评价的自评价主体为城市轨道交通地下的运营管理单位。

4.4 评价内容

根据城市轨道交通地下空间开发利用所处阶段开展韧性评价，规划阶段宜开展开发利用韧性评价，应按线评估，设计、运营阶段宜开展防火、防洪、抗震等防灾韧性评价，应按段评估。

4.5 评价方法

城市轨道交通地下空间开发利用韧性、防火韧性、防洪韧性宜考虑多种因素的影响，建立指标体系、评分规则与指标权重，采用综合评价方法开展韧性评价。城市轨道交通地下空间结构的抗震韧性宜采用弹塑性时程分析方法进行评价。

4.6 评价流程

城市轨道交通地下空间韧性开发利用评价应遵循图1的工作流程。

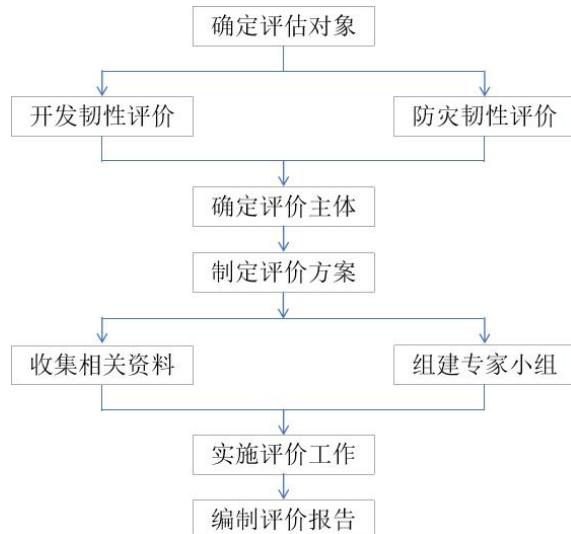


图1 城市轨道交通地下空间韧性开发利用评价流程图

5 评价指标

5.1 开发韧性评价

5.1.1 开发韧性评价适用于新规划的用于轨道交通的城市地下空间。

5.1.2 开发韧性评价应包括地下空间资源潜力、开发需求和开发能力评价，指标体系可按表1构建。

表1 城市轨道交通地下空间开发韧性评价指标

一级评价指标	二级评价指标	指标定义及数据来源	
		指标定义	数据来源
资源潜力	地质灾害	影响城市地下空间开发的地质灾害种类及其严重程度	城市地质调查报告
	地形地貌	城市地表形貌特征，主要是坡度与地表高程相对高差	
	构造地质	城市与全新世活动断裂的距离	
	水文地质	地下水地质赋存及其年变化特征	
	工程地质	地层岩土性质及其岩体质量	
	岩溶	城市地下岩溶发育程度	
	沙土液化指标	沙土地层遇震液化情况	
	水土腐蚀性	水土腐蚀特征	
	土体污染	土体污染情况	
开发需求	市区常住人口	全年经常在家或在家居住6个月以上，包括流动人口	中国城市统计年鉴
	城市人口密度	市区常住人口除以城市面积	
	常住人口城镇化率	常住人口中的城镇居民比例	
	城市第三产业占比	服务业产值占GDP的比重	
	地铁日均客流	已建成地铁的日均客流量	
	地面通勤高峰交通拥堵指数	综合反映道路网畅通或拥堵的概念性指数值	
	城市汽车千人保有量	城市汽车总量×1000/城市常住人口数	
	人均地铁乘车里程	已建成地铁里程/城市常住人口数	
开发能力	城市生产总值	城市各产业的生产总值	地方统计年鉴
	城市一般公共财政预算收入	地方财政上缴完国家、省级财政收入后留给自己的部分收入，主要包括地方税收、行政事业收费、转移收入等	地方统计年鉴
	已建地铁盈利情况	已建成地铁运营年度盈利情况	国家或地方统计部门的统计年鉴
	债务率	债务率=(地方政府债务余额+隐性债务)/地方综合财力,其中,地方综合财力主要包括本级一般公共预算收入、本级政府性基金收入、上级政府补助收入以及上年结余收入和国有资本经营预算收入等	财政部

5.1.3 城市地下空间资源潜力评价指标分级标准参见附录A表A.1。

5.1.4 城市轨道交通地下空间开发需求评价指标分级标准参见附录A表A.2。

5.1.5 城市地下空间开发能力评价指标分级标准参见附录A表A.3。

5.1.6 开发韧性评价也可纳入其他必要性指标，其他指标的纳入可考虑地下空间开发利用所属城市的特殊性，并遵循4.2条的原则选取指标，厘定分级标准和取值规则，做到科学、客观、有据。

5.2 防火韧性评价

5.2.1 城市地下空间防火韧性评价适用于在建或已投入运营的城市轨道交通地下空间。

5.2.2 防火韧性评价包括城市地下空间火灾适应力、防护力与恢复力评价，指标体系参见表2构建。

表2 城市地下空间防火韧性评价指标

一级评价指标	二级评价指标	三级评价指标	取值规则	
			指标定义	数据来源
火灾适应力	材料	装饰材料防火性能	装饰材料防火性能，按GB8624分级	地铁设计报告
		结构耐火等级	地铁车站或隧道结构的耐火等级，按GB50016分级	
		电线缆线阻燃级别	电线缆线的阻燃级别，按GB/T 19666分级	
	乘客	客流风险系数	综合考虑地铁静态能力与动态输送客流能力的系数，按DB51/T 2802—2021中的规定取值	地铁运营方工作报告
	工作人员	人员培训	地铁负责消防安全责任人员的职责、培训及实施情况	地铁运营方工作报告
	设备	机电设备防火等级	机电设备的防火性能，按DL/T 1061分级	地铁设计报告
		通风设备防火等级	通风设备的防火性能，按GB 51298分级	
火灾防护力	警报	监控系统	监控系统的配备情况	实地调查
		报警系统	自动报警系统的配备情况	
		广播系统	可用于紧急疏散的广播系统配备情况	
	疏散	疏散时间	地铁设计疏散时间	地铁设计报告
		疏散通道间距	地铁设计疏散通道之间的间距	
	灭火	灭火装置	灭火装置的配备情况	根据实际情 况取值
		消防设施	消防设施的配备情况	
火灾恢复力	排烟	防烟分区面积	防烟分区设计面积	
	组织响应	责任部门响应	地铁运营管理单位的应急预案，责任分工，消防演练等	地铁运营方 工作报告
		万人消防员数	城市消防人员数×10000/城市常住人口数	城市统计年 鉴
		救援人员响应时间	119救援人员到达现场的平均时间	根据实际情 况取值
	人员救治	医疗物资	地铁运营管理单位紧急医疗物资配备情况	地铁运营方 工作报告
		万人卫生技术人员数	城市卫生技术人员数×10000/城市常住人口数	城市统计年 鉴
		万人医疗卫生床位数	城市医疗卫生床位数×10000/城市常住人口数	
	设备修复	应急设备	应急设备的日常检修及人员配置情况	地铁运营方 工作报告
		运营设备	运营设备的修复时间	
	功能恢复	功能恢复时间	地铁火灾后恢复运营所需时间	

5.2.3 火灾适应力评价指标分级标准参见附录C表C.1。

5.2.4 火灾防护力评价指标分级标准参见附录C表C.1。

5.2.5 火灾恢复力评价指标分级标准参见附录C表C.1。

5.3 防洪韧性评价

5.3.1 城市地下空间防洪韧性评价适用于在建或已投入运营的城市轨道交通地下空间。

5.3.2 防洪韧性评价包括评价对象所在城市的降水压力及其适应力，以及洪灾防护力与恢复力评价，指标体系参见表3构建。

表3 城市地下空间防洪韧性评价指标

一级评价指标	二级评价指标	取值规则	
		指标含义	数据来源
洪灾危险性	年降雨量	城市年降雨量	国家气象信息中心网站
	24小时最大降雨量	城市有数据记载以来的24小时最大降雨量	
	洪涝区分级	城市所处洪涝区分级	地方水务部门
	内涝气象风险等级	城市内涝气象风险等级，按DB12/T 1315的规定评价	
洪灾适应力	城市防洪设计标准	城市设计防洪等级	按GBT 50805标准取值
	城市内涝防治标准	城市内涝防治设计等级	
	城市路面设计排水能力	城市路面设计排水能力	中国城市统计年鉴
	城市排水管网长度	城市排水管总长度	
	城市人均公园绿地面积	城市绿地总面积/城市常住人口	
	城镇内涝调蓄工程	城市配备的内涝调蓄工程建设情况	
洪灾防护力	防水等级	地铁结构的防水等级	地铁设计报告
	设计水位	地铁的设计水位	
	地层透水性	地铁所处地层的透水性	
	混凝土结构防渗等级	地铁车站、隧道结构混凝土防渗等级	
	抗浮设计安全系数	地铁车站、隧道结构抗浮设计标准	
洪灾恢复力	24小时暴雨预报TS评分	$TS = H/(H + F + M)$ 式中： H——预报有雨且实际确实下了雨的次数； F——预测有雨但实际没有下雨次数； M——预测无雨但实际下了雨	根据实际情况取值
	暴雨应急预案	暴雨、超常规暴雨等的应急预案	
	责任、救援部门响应	责任单位分工，防洪演练，119救援人员到达现场的平均时间	
	防洪物资储备	地铁专用防洪物资储备情况	
	紧急排水能力	地铁紧急排水设施的配备情况	
	医疗物资	地铁运营管理单位紧急医疗物资配备情况	
	万人卫生技术人员数	城市卫生技术人员数×10000/城市常住人口数	
		中国城市统计年	

	万人医疗卫生床位数	城市医疗卫生床位数×10000/城市常住人口数	鉴
地铁运营方工作 报告	电力修复时间	电力系统修复时间	地铁运营方工作 报告
	设备修复时间	照明、机电、通风等设备的修复时间	
	功能恢复时间	地铁洪灾后恢复运营所需时间	

5.3.3 城市洪灾危险性评价指标分级标准参见附录D表D.1。

5.3.4 城市洪灾适应力评价指标分级标准参见附录D表D.2。

5.3.5 洪灾防护力评价指标分级标准附录D表D.3。

5.3.6 洪灾恢复力评价指标分级标准附录D表D.4。

5.4 抗震韧性评价

5.4.1 城市轨道交通地下空间结构抗震韧性评价应包括以下内容：

- a) 建立评价对象的土层-结构模型，模型根据相关专业图纸建立。对于既有地下空间，应对实际建筑进行复核，材料参数宜采用振动测试等方式进行校核，结构模型中材料强度取标准值；
- b) 进行设定水准地震作用下的弹塑性时程分析；
- c) 根据弹塑性时程分析结果提取评价对象的工程需求参数；
- d) 根据计算得到的工程需求参数，结合地下空间结构整体损伤状态判别标准，确定评价对象的损伤状态；
- e) 根据评价对象的损伤状态计算其在设定水准地震作用下的韧性指标；
- f) 根据评价对象在设定水准地震作用下的韧性指标，评价其抗震韧性等级。

5.4.2 地下空间结构抗震韧性评价流程见图2，详细流程见附录D.1。

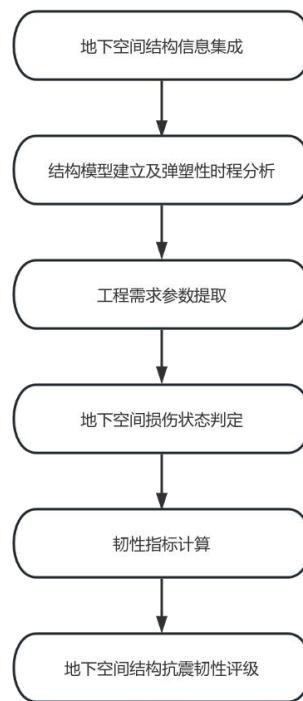


图 2 地下空间结构抗震韧性评价流程图

5.4.3 采用时程分析法进行地震响应分析时, 所选取地震波的数量, 以及持时、幅值和频谱等参数应符合 GB50011 的相关规定。要求按建筑场地类别和设计地震分组选用不少于 11 组的实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线, 其中实际强震记录时程的数量不应少于总数的 2/3。

5.4.4 地下空间结构的原始工程需求参数矩阵，应按 5.4.3 弹塑性时程分析方法计算确定。每次时程分析可得到一组工程需求参数，将 11 次时程分析得到的工程需求参数组装为原始工程需求参数矩阵 $E_{(原始)}$ 。
 $E_{(原始)}$ 每列表示一个特定的工程需求参数的取值，每行表示一次时程分析的结果。

5.4.5 原始工程需求参数的分布取联合对数正态分布。

5.4.6 原始工程需求参数矩阵应采用 GB/T 38591 的方法进行工程需求参数矩阵的扩充，形成扩充后工程需求参数矩阵 $E_{(\text{扩充})}$ 。扩充后的工程需求参数矩阵 $E_{(\text{扩充})}$ 与原始工程需求参数矩阵 $E_{(\text{原始})}$ 具有同样的联合概率分布，相同的均值和方差。

5.4.7 地下空间结构的损伤状态应由其依赖的工程需求参数，结合结构损伤状态判别标准确定。

5.4.8 地下空间结构的损伤状态宜分为 5 级，包括：

- a) 无损伤（0 级）：未发生任何损伤；
 - b) 轻微损伤（1 级）：地震之后能够保持正常使用功能；
 - c) 中等损伤（2 级）：地震之后在短期之后修理，可以恢复其正常使用功能；
 - d) 严重损伤（3 级）：地震后可能会产生较大的破坏，不会整体坍塌；
 - e) 垮塌（4 级）：地震损坏后可能整体垮塌。

5.4.9 地下空间结构损伤状态判别标准可参见附录 D.2。

5.4.10 地下空间结构的抗震韧性指标 R_e 按式(1)计算:

式中：

R_e —表征地下空间结构的抗震韧性指标；

t_{OE} —为地震发生的时间点;

T_{RE} —表示为地震破坏到结构修复所需的修复时间，取值见附录 D.3；

$Q(t)$ —表示系统功能函数，反应系统实现使用功能的能力。 $Q(t)$ 按式（2）计算：

$$Q(t) = 1 - \left[L(I) \times \left\{ H(t - t_{OE}) - H(t - (t_{OE} + T_{RE})) \right\} \times f_{rec}(t, t_{OE}, T_{RE}) \right] \dots \quad (2)$$

式中：

L(I)——表示地下空间结构在地震强度 I 作用下的归一化功能损失函数，在此处简化为结构的直接经济损失。

济损失率 L ，即为结构的直接经济损失与结构总重置成本的比值，取值见附录 D.4；

$f_{rec}(t, t_{OE}, T_{RE})$ —为结构在一次地震作用下的功能恢复函数，计算方法详见附录 D.5；

$H(x)$ —表示海维赛德（Heaviside）阶梯函数，表达式为（3）：

$$H(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

5.4.11 地下空间结构抗震韧性指标 R_e 的计算应采用蒙特卡洛方法。

5.4.12 对于一次蒙特卡洛模拟，应取一组工程需求参数($E_{(扩充)}$ 中一行)作为输入，进行损伤状态判断，进而计算出相应的抗震韧性指标 R_{ei} 。

5.4.13 根据多次蒙特卡洛模拟得到的地下空间结构抗震韧性指标值 R_{ei} 集合，进行对数正态分布模拟拟合，并采用具有 84% 保证率的拟合值作为地下空间结构抗震韧性评价的依据。

5.4.14 地下空间结构抗震韧性评价采用韧性等级表达，分为四级，分别为高抗震韧性（四星）、较高抗震韧性（三星）、中等抗震韧性（二星）、低抗震韧性（一星）。地下空间结构抗震韧性等级应按表 4 评定。

表 4 地下空间结构抗震韧性等级划分标准

等级	地震水准	抗震韧性指标 R_e
高抗震韧性（四星）	罕遇地震	$R_e \geq 0.98$
较高抗震韧性（三星）	罕遇地震	$0.95 \leq R_e < 0.98$
中等抗震韧性（二星）	设防地震	$R_e \geq 0.95$
低抗震韧性（一星）	设防地震	$0.9 \leq R_e < 0.95$

5.4.15 地下空间结构抗震韧性评价等级应分为以下两个阶段判定：

- a) 第一阶段，根据地下空间结构在设防地震作用下所得到的抗震韧性指标 R_e ，对照 5.4.14 中所列一星和二星的标准进行判定，若符合二星的要求，则可进行下一阶段的评价，如仅满足一星的要求，则无需进行下一阶段评价。
- b) 第二阶段，根据地下空间结构在罕遇地震作用下所得到的抗震韧性指标 R_e ，对照 5.4.14 中所列三星和四星的标准进行判定，若符合，则将地下空间抗震韧性等级提升至新的等级；如不符合，则仍维持原二星的判定结果。

6 评分计算

6.1 打分与权重

6.1.1 城市地下空间开发利用韧性宜采用分级打分然后综合评价的方法进行评价，打分分值确定区间为：I 级档取值 90 分~100 分，II 级档取值 76 分~89 分，III 级档取值 60 分~75 分，IV 级档取值 60 分以下。

6.1.2 一级指标权重可采用均等权重，也可采用层次分析法进行计算。二级指标宜采用层次分析法进行计算。层次分析法权重计算方式参见附录 E。

6.2 评分计算

6.2.1 将各指标得分按照公式（4）计算综合得分：

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N w_i P_i}{N} \dots \quad (4)$$

式中：

P——韧性评分。

w_i ——一级指标权重。

P_i ——一级指标得分。

N ——一级指标数量。

6.2.2 累计每位专家给出的韧性综合评分值，取其平均值为最终的韧性综合评分结果。

6.3 韧性等级

6.3.1 根据综合评分计算结果及其所属开发利用阶段，按表4对城市地下空间韧性开发利用进行评价。其中，防灾韧性评价可按防火韧性、防洪韧性、抗震韧性三项综合评分相加后取均值，防灾韧性分级与分项韧性分级标准相同。

6.3.2 根据韧性综合评价结果，有针对性地提出城市地下空间韧性开发利用建议。

表 5 城市地下空间韧性开发利用分级评价标准

开发利用阶段	分项评价	等级	定义
规划阶段	开发韧性评价	高开发韧性	开发韧性综合评分（90~100）
		中等开发韧性	发韧性综合评分（75~89）
		低开发韧性	发韧性综合评分（60~74）
		开发韧性不足	发韧性综合评分（<60）
设计、运营阶段	防火韧性	高防火韧性	防火韧性综合评分（90~100）
		较高防火韧性	防火韧性综合评分（75~89）
		中等防火韧性	防火韧性综合评分（60~75）
		低防火韧性	防火韧性综合评分（<60）

开发利用阶段	分项评价	等级	定义
评价	防洪韧性	高防洪韧性	防洪韧性综合评分（90~100）
		较高防洪韧性	防洪韧性综合评分（75~89）
		中等防洪韧性	防洪韧性综合评分（60~74）
		低防洪韧性	防洪韧性综合评分（<60）
	抗震韧性	高抗震韧性	详见5.4节
		较高抗震韧性	
		中等抗震韧性	
		低抗震韧性	

7 评价报告

7.1.1 根据评价实施的实际情况，对评价结果可以分别以评价分数、文字描述和图表等方式深入分析，针对不足之处，提出改进意见，出具评价报告。

7.1.2 评价报告包含如下内容：

- a) 评价任务来源：说明任务来源、目的、意义；
- b) 评价过程：说明评价小组成员情况、评价方法的确立、评价指标体系的构建等；
- c) 评价结果计算与分析：说明各独立指标的评分结果、总体评分的计算、评分结果横向及纵向对比分析等；
- d) 结论与建议：在分析评价结果的基础上，提出评价中发现的问题和薄弱环节。

7.1.3 评价报告包含附录，附录包含如下内容：

- a) 评价小组人员名单及签字：负责评价工作的专家组人员的名字、单位、职务/职称、联系方式和签字等信息；
- b) 评价过程文件、调研问卷、单项分析报告等；
- c) 数据来源说明。

7.1.4 评价报告的具体格式见附录 F。

附录 A

(资料性)

开发韧性评价指标分级标准

地下空间资源潜力、开发需求、开发能力评价指标可分别参考表 A.1、A.2、A.3 的标准分级评分。

A.1 地下空间资源潜力评价指标可按表 A.1 的进行分级评分。

表 A.1 地下空间资源潜力指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级		
		I (85~100)	II (65~84)	III (<65)
资源潜力	地质灾害	地质灾害一般不发育：现状地质灾害1种或无，个别地质灾害规模小，危害小	地质灾害发育中等：现状地质灾害2种~3种，或单种地质灾害规模为中小型，危害中等	地质灾害发育强烈：现状地质灾害3种或以上，或单种地质灾害规模达到大型，危害较大
	地形地貌	地形简单，地貌类型单一：平原(盆地)和丘陵。地面坡度小于8°，区内相对高差小于50m	地形较简单，地貌类型单一：地面坡度以8°~25°的为主，区内相对高差50m~200m	地形复杂，地貌类型多样：地面坡度以大于25°为主，区内相对高差大于200m
	构造地质	与全新世活动断裂带的距离大于3000m；非全新世断裂不发育	与全新世活动断裂带的距离1000m~3000m；非全新世断裂较发育	与全新世活动断裂带的距离小于1000m；非全新世断裂发育
	水文地质	含水层为单层结构，地下水位年际变化小	含水层为2层~3层结构且地下水位年际变化较大	含水层为多层结构且地下水位年际变化大
	工程地质	地层以岩层为主，岩体质量IV级以上	地层以岩层为主，岩体质量介于V级和IV级之间	地层以土层为主，力学性质差，土层中间布孤石
	岩溶	岩溶微发育：地表无岩溶塌陷、漏斗，溶沟、溶槽较发育相邻钻孔间存在临空面、且基岩面相对高差小于2m钻孔见洞隙率小于10%、线岩溶率或延米线岩溶率小于5%	岩溶发育中等：介于强发育和微发育之间	岩溶发育强：地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼溶沟、溶槽、石芽密布，相邻钻孔间存在临空面、且基岩面高差大于5m地下有暗河、伏流钻孔见洞隙率大于30%、线岩溶率或延米线岩溶率大于20%溶槽或串珠状竖向溶润发育深度达20m以上
	沙土液化指标	>18	6≤指标<18	≥18
	水土腐蚀性	弱或微弱	中	强
	土体污染	轻微污染	中等污染	严重污染

A.2 开发需求评价指标可按表 A.2 的进行分级评分。

表 A.2 开发需求指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
需求分析	市区常住人口	≥2000万人	1000万人≤市区常住人口<2000万人	500万人≤市区常住人口<1000万人	300万人≤市区常住人口<500万人
	城市人口密度	≥2000人/km ²	1000人/km ² ≤人口密度<2000人/km ²	700人/km ² ≤人口密度<1000人/km ²	500人/km ² ≤人口密度<700人/km ²
	常住人口城镇化率	≥90%	80%≤城镇化率<90%	70%≤城镇化率<80%	60%≤城镇化率<70%
	城市第三产业占比	≥70%	60%≤第三产业占比<70%	50%≤第三产业占比<60%	40%≤第三产业占比<50%
	地铁日均客流	≥300万人次	150万人次≤日均客流<300万人次	50万人次≤日均客流≤150万人次	<50万人次
	地面通勤高峰交通拥堵指数	≥1.8	1.6≤指数<1.8	1.4≤指数<1.6	<1.4
	城市汽车千人保有量	≥300辆	200≤保有量<300	100≤保有量<200	<100
	人均地铁乘车里程	≥15	12≤里程<15	9≤里程<12	<9

A.3 开发能力评价指标可按表 A.3 的进行分级评分。

表 A.3 开发能力评价指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
能力分析	城市生产总值	≥20000亿	10000亿≤GDP≤20000亿	5000亿≤GDP<10000亿	3000亿≤GDP<5000亿
	城市一般公共财政预算收入	≥2000亿	1000亿≤市区常住人口<2000亿	500亿≤市区常住人口<1000亿	300亿≤市区常住人口<500亿
	已建地铁盈利情况	无补助盈利	亏损, 但亏损额不大, 补助后账面盈利	亏损, 亏损额大, 补助后账面盈利	补助后亏损
	债务率	绿	黄	橙	红

附录 B

(资料性)

防火韧性评价指标分级标准

B.1 火灾适应力评价指标可按表 B.1 的进行分级评分。

表 B.1 火灾适应力指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	三级评价指标	指标分级			
			I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
火灾适应力	材料防火性能	装饰材料防火性能	A	B1	B2	B3
		结构耐火等级	一级	二级	三级	四级
		电线电缆阻燃级别	A	B	C	D
	乘客	客流风险系数	<0.8	0.8~0.9	0.9~1.0	>1
	工作人员	工作人员	责任分工明确，上次接受安全培训和消防演练在半年以内，日常巡视到位	责任分工明确，上次接受安全培训和消防演练超过半年，但在1年以内，日常巡视到位	责任分工明确，上次接受安全培训和消防演练超过1年，但在2年以内，日常巡视到位	责任分工明确，上一次接受安全培训和消防演练在2年以前，未按规定进行日常巡视
	设备	机电设备防火等级	A	B	C	D
		通风设备防火性能	风管在火灾条件下能够保持完整，不漏风、不漏烟，风机具有耐火性，火灾时能继续正常工作，保持通风和排烟功能	风管在火灾条件下可有少量烟气泄漏和风漏，但不影响防火分区，风机正常使用的火灾温度大于280°C，小于400°C	风管在火灾条件下可有大量烟气泄漏和风漏，但不影响建筑物整体的防火性能，风机正常使用的火灾温度低于280°C。	风管在火灾条件下可有大量烟气泄漏和风漏，但不影响建筑物整体的防火性能，风机正常使用的火灾温度低于280°C。

B.2 火灾防护力评价指标可按表 B.2 的进行分级评分。

表 B.2 火灾防护力指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	三级评价指标	指标分级			
			I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
火灾防护力	警报	监控系统	监控全面覆盖	监控部分覆盖	监控较少覆盖	无监控
		报警系统	有报警系统和视频监控，有人值守	有报警系统和视频监控，无人值守	有报警系统，无视频监控，无人值守	无报警系统

		广播系统	有车站音响系统、警示设施和多媒体设备	有车站音响系统、警示设施，无多媒体设备	有车站音响系统，无警示设施和多媒体设备	无广播设施
疏散	疏散时间	<4min	<4min~5min	5min~6min	≥6min	
	疏散通道间距	<20m	20m~23m	23m~25m	≥25m	
灭火	灭火装置	自动喷淋覆盖全面且采用快速响应喷头，有智能灭火装置	自动喷淋覆盖全面，部分喷头采用隐蔽喷头，无智能灭火装置	自动喷淋覆盖不全，喷头采用隐蔽喷头，无智能灭火装置	无自动喷淋，无智能灭火装置	
	消防设施	有大容量水池，补水可靠，公共区域有2股水柱覆盖	有大容量水池，大部分公共区域有2股水柱覆盖	无消防水池，消防栓达标，供水压力达标	无消防水池，消防栓数量不满足要求，供水压力不达标	
排烟	防烟分区面积	<100m ²	100m ² ~250m ²	250m ² ~500m ²	≥500m ²	
逃生指示	紧急照明与导向标志设置	紧急照明全覆盖，导向标志较多，设置间距≤10m	大部分区域照明覆盖，导向标志设置间距大于10m，小于等于15m	部分区域照明较差，导向标志设置数量不达标，间距15m	部分区域无照明，未设置导向标志	

B.3 火灾恢复力评价指标可按表 B.3 的进行分级评分。

表 B.3 火灾恢复力指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	三级评价指标	指标分级			
			I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
火灾恢复力	组织响应	责任单位响应	依据国家和地方有关法律法规，制定了有针对性的应急预案，分工明确，人员定期组织演练，责任机构和人员响应迅速	依据国家和地方有关法律法规，制定了有针对性的应急预案，分工明确，有接受过培训，但组织演练频次少于2年一次	依据国家和地方有关法律法规，制定了有针对性的应急预案，分工明确，但未培训、演练	无火灾应急预案，人员未接受培训演练
		万人消防员数	≥3万人	<3万人，≥2万人	<2万人，≥1万人	<1万人
		救援人员响应时间	≤5min	>5min，≤10min	>10min，≤15min	>15min
	人员救治	医疗物资	有医疗物资、医疗救助方案和救助站	有医疗物资、医疗救助方案，无救助站	有医疗物资，无医疗救助方案和救助站	无医疗物资和救助方案
		万人卫生技术人员数	≥50人/万人	<50人/万人，≥40人/万人	<40人/万人，≥30人/万人	<30人/万人
		万人医疗卫生床位数	≥40张/万人	<40张/万人，≥30张/万人	<30张/万人，≥20张/万人	<20张/万人

设备 修复	应急设备	配备专业工作人员,定期 检修	未配备专业工作人员,有 定期检修	为配备专业工作人 员,定期检修落实 不足	未配备专业工 作人员,无定期 检修安排
	运营设备	<1天	1~3天	3~7天	>7天
功能 恢复	恢复时间	<1天	1~3天	3~7天	>7天

附录 C

(资料性)

防洪韧性评价指标分级标准

C.1 洪灾危险性评价指标可按表 C.1 的进行分级评分。

表 C.1 洪灾危险性评价指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
洪灾危险性	年降水量	<400mm	400mm~800mm	800mm~1200mm	>1200mm
	洪涝区分级	最少洪涝区	少洪涝区	次多洪涝区	最多洪涝区
	历史最大降雨	大雨	暴雨	大暴雨	特大暴雨
	城市内涝气象风险等级	蓝	黄	橙	红

C.2 洪灾适应力评价指标可按表 C.2 的进行分级评分。

表 C.2 洪灾适应力评价指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
洪灾适应力	城市防洪设计标准	一级防洪标准：重现期≥100年	二级防洪标准：50年≤重现期<100年	三级防洪标准：20年≤重现期<50年	四级防洪标准：重现期<20年
	城市内涝防治标准	100	50	30	20
	城市路面设计排水能力	十年一遇	五年一遇	三年一遇	一年一遇
	城市排水管网长度	≥20000km	10000km≤长度<20000km	5000km≤长度<10000km	<5000km
	城市人均公园绿地面积	≥20m ²	16m ² ≤面积<20m ²	12m ² ≤面积<16m ²	<12m ²
	城镇内涝调蓄工程	市区建有水体调蓄、隧道调蓄、雨水调蓄池等调蓄工程，绿地广场覆盖面积大	市区建有水体调蓄、隧道调蓄、雨水调蓄池中的两种，另建有较大面积绿地广场覆盖面积较大	市区建有水体调蓄、隧道调蓄、雨水调蓄池中的一种，绿地广场覆盖面积一般	市区仅有绿地广场调蓄工程，覆盖面积一般

C.3 洪灾防护力评价指标分级标准

表 C.3 洪灾防护力评价指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
洪灾防护力	防水等级	一级	二级	三级	四级
	设计水位	一级设计水位：设计水位低于地下空间最低点1米以上。	二级设计水位：地下空间最低点≤设计水位低于地下空间平均高度。	三级设计水位：设计水位接近地下空间平均高度。	四级设计水位：设计水位高于地下空间平均高度。

	透水性指标	土体渗透系数 $K \leq 10^{-6}$, 或岩体透水率 $q < 0.1$	渗透系数 $10^{-6} \leq K \leq 10^{-4}$, 或岩体透水率 $0.1 < q < 10$	渗透系数 $10^{-4} \leq K \leq 10^{-2}$, 或岩体透水率 $10 < q < 100$	渗透系数 $K \geq 10^{-2}$, 或岩体透水率 $q > 100$
	混凝土结构防渗等级	P12	P10	P8	P6
	抗浮设计安全系数	>2	$1.5 \leq f < 2$	$1.2 \leq f < 1.5$	$1.0 \leq f < 1.2$

C. 4 洪灾恢复力评价指标分级标准

表 C.4 洪灾恢复力评价指标分级评分表

一级评价指标	二级评价指标	指标分级			
		I (90~100)	II (75~89)	III (60~74)	IV (<60)
洪灾恢复力	24小时暴雨预报TS评分	≥ 0.5	$0.5 \leq TS \text{评分} < 1$	$0.1 \leq TS \text{评分} < 0.25$	< 0.1
	暴雨应急预案	应急预案全面、细致，覆盖所有关键环节，具有高度的实用性和可操作性，配套资源充足，定期演练，更新机制完善，能够有效应对洪灾。	应急预案较为完整，基本涵盖了主要风险点，具备一定的实用性和操作性，资源与协调机制较为健全，定期进行部分关键环节的演练，但在某些细节或特定领域存在改进空间。	应急预案基本满足要求，明确了主要响应流程，但在资源分配、协调机制、培训与演练等方面不够充分，存在一定的风险应对漏洞，需要进一步细化和完善。	应急预案存在明显不足，缺少关键环节，操作性不强，资源配置不充分，缺乏有效的协调与演练机制，难以有效应对紧急情况，需要立即进行大幅度的修订和加强。
	责任、救援部门响应	启动响应机制时间极短 ($< 10\text{min}$)，指挥体系清晰，具备跨部门协调能力，物资调配迅速，人员充足且分工明确，信息透明，公众服务到位	启动响应机制时间较短 ($10\text{min} \leq t < 15\text{min}$)，指挥体系良好，偶有指挥不畅，协调能力基本满足要求，物资调配基本通畅，人员紧张但基本够用，信息基本透明	启动响应机制时间适中 ($15\text{min} \leq t < 20\text{min}$)，指挥体系较为混乱，跨部门协调存在一定的障碍，物资调配不足，人员不足，公众信息沟通不足导致出现负面舆情	启动响应机制迟缓 ($> 20\text{min}$)，指挥混乱，部门间缺乏协调，物资调配迅速，人员不足且分工不明确，信息缺乏透明度，导致重大负面舆情
	防洪物资储备	具备国家级(或省级)储备，储备量大，能够支持跨区域的应急响应和支援。	具备市级储备，物资储备满足一个县(市、区)的应急保障需求	具备县级储备，物资储备只能满足两个乡镇(街道)的应急保障需要	乡(镇)级及村级储备，适合应对较小规模的洪水或作为等待上级援助前的临时措施。
	排水能力	排水系统设计完善，设备先进，状态良好，自动化程度高，排水量大，能够迅速启动并高效运转。配有备用电源及排水队伍，可确保不间断排水。	排水系统基本满足要求，设备常规，状态良好，排水量大，应急响应速度基本满足要求。配有备用电源，应急排水队伍人员数量紧张。	排水系统设备老旧，响应时间较长，个别设备不能有效启动，排水能力有限，设备持续运转能力保障有限。	排水系统严重老化，多台设备无法正常工作，排水能力严重不足，设备亟需更新，运行保障能力严重不足。
	医疗物资	有医疗物资、医疗救助方案和救助站	有医疗物资、医疗救助方案，无救助站	有医疗物资，无医疗救助方案和救助站	无医疗物资和救助方案
	万人卫生技术人员数	$\geq 50\text{人}/\text{万人}$	$< 50\text{人}/\text{万人}, \geq 40\text{人}/\text{万人}$	$< 40\text{人}/\text{万人}, \geq 30\text{人}/\text{万人}$	$< 30\text{人}/\text{万人}$
	万人医疗卫生床位数	$\geq 40\text{张}/\text{万人}$	$< 40\text{张}/\text{万人}, \geq 30\text{张}/\text{万人}$	$< 30\text{张}/\text{万人}, \geq 20\text{张}/\text{万人}$	$< 20\text{张}/\text{万人}$
	电力修复	$< 8\text{小时}$	$8 \leq TS \text{评分} < 12$	$12 \leq TS \text{评分} < 24$	≥ 24
	设备修复	$< 1\text{天}$	1天~3天	3天~7天	$> 7\text{天}$
	功能修复	$< 3\text{天}$	$3\text{天} \leq t < 7\text{天}$	$7\text{天} \leq t < 15\text{天}$	$> 15\text{天}$

附录 D

(资料性)

地下空间抗震韧性评价流程及参数取值

D.1 地下空间结构抗震韧性评价按照图 D.1 所示抗震韧性评价流程确定。

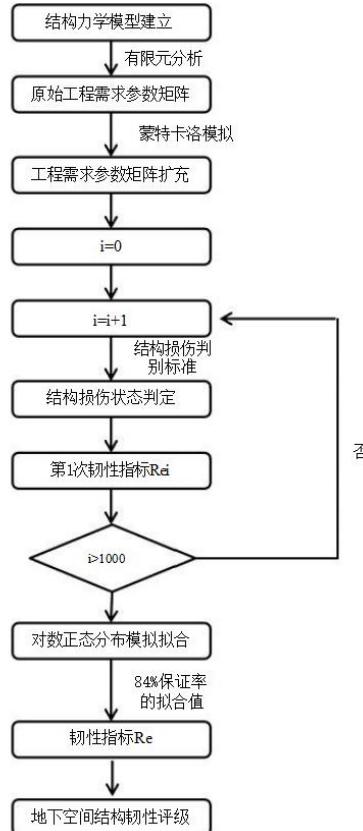


图 D.1 地下空间结构抗震韧性评价详细流程图

D.2 对于明挖法地下车站，工程需求参数可采用层间位移角 θ ，损伤状态判别标准应由试验或由经过试验验证的计算确定，在无相关数据时，可参考表 D.1。对于盾构法隧道，工程需求参数可采用直径收敛率 s ，损伤状态判别标准应由试验或由经过试验验证的计算确定，在无相关数据时，可参考表 D.2。

表 D.1 明挖法地下车站损伤状态判别标准参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	轻度损伤	中度损伤	重度损伤
层间位移角 θ	$\theta < 0.08\%$	$0.08\% \leq \theta < 0.29\%$	$0.29\% \leq \theta < 0.62\%$	$0.62\% \leq \theta < 0.95\%$	$0.95\% \leq \theta$

注： θ — 明挖法地下车站层间位移角；

表 D.2 盾构法隧道损伤状态判别标准参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	轻度损伤	中度损伤	重度损伤
直径收敛率 s	$s < 2.5\%$	$2.5\% \leq s < 4\%$	$4\% \leq s < 6\%$	$6\% \leq s < 12\%$	$12\% \leq s$

注: s —盾构法隧道直径收敛率, $s = \frac{d}{d_0}$, d 为区间隧道的直径收敛值, d_0 为隧道直径。

D.3 地下空间结构的损失率 L 应为整体结构处于某一损伤状态时, 其经济损失与造价的相对比值。在无相关取值依据时, 明挖法地下车站结构的损失率可参考表 D.3, 盾构法隧道的损失率可参考表 D.4。

表 D.3 明挖法地下车站结构损失率参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	中等损伤	严重损伤	垮塌
损失率	0	0.1	0.25	0.75	1.0

表 D.4 盾构法隧道损失率参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	中等损伤	严重损伤	垮塌
损失率	0	0.1	0.4	0.8	1.0

D.4 地下空间结构修复时间 T_{RE} 受多种因素影响, 如地震危险性、建筑重要性、社会灾害组织和应对能力、施工技术水平等。在无相关取值依据时, 明挖法地下车站结构在各个损伤状态下的修复时间 T_{RE} 可参考表 D.5, 盾构法隧道在各个损伤状态下的修复时间 T_{RE} 可参考表 D.6。

表 D.5 明挖法地下车站结构各个损伤状态下的修复时间 T_{RE} 参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	中等损伤	严重损伤	垮塌
修复时间(天)	0	7	24	77	270

表 D.6 盾构法隧道各个损伤状态下的修复时间 T_{RE} 参考取值

损伤状态	无损伤	轻微损伤	中等损伤	严重损伤	垮塌
修复时间(天)	0	0.5	2.4	45	210

D.5 功能恢复函数 $f_{rec}(t, t_{OE}, T_{RE})$ 根据恢复效率、恢复进度等, 有以下几种类型, 可根据实际恢复情况进行选择。

a) 线性恢复函数, 假定修复效率为常数 (见图 D.2), 适用于震后能够迅速展开修复的情况, 其解析表达式见 (D.1) :

$$f_{rec}(t) = 1 - \frac{t - t_{OE}}{T_{RE}} \quad \dots \dots \dots \quad (D.1)$$

b) 三角恢复函数, 假定修复效率随时间变化 (见图 D.3), 适用于因公路破坏或其他原因导致震后

无法迅速开展修复的情况，其解析表达式见（D.2）：

$$f_{rec}(t) = \frac{1}{2} \cdot \{1 + \cos[\pi(t - t_{OE})/T_{RE}]\} \quad \dots \dots \dots \quad (D.2)$$

c) 指数恢复函数，假定修复效率随时间变化（见图 D.4），适用于因结构或系统十分重要，需要震后对其进行抢修以快速恢复其功能的情况，其解析表达式见（D.3）：

$$f_{rec}(t) = \exp[-(t - t_{OE}) \ln 200/T_{RE}] \quad \dots \dots \dots \quad (D.3)$$

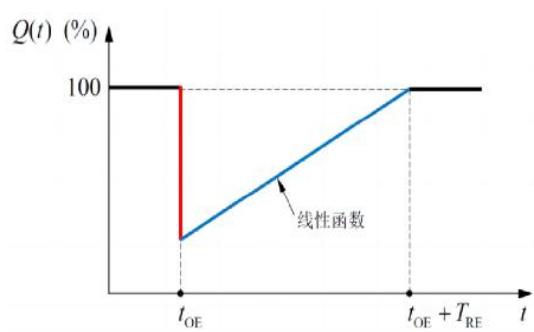


图 D.2 线性恢复函数

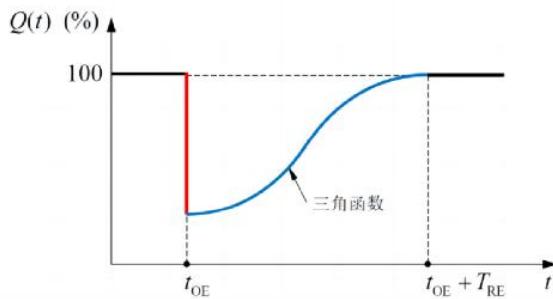


图 D.3 三角恢复函数

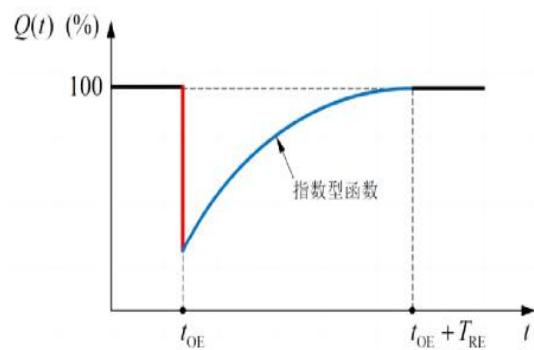


图 D.4 指数恢复函数

附录 E

(资料性)

层次分析法计算指标权重

E.1 层次分析法计算指标权重的基本流程见图 E.1 所示



图 E.1 层次分析法流程

E.2 计算步骤

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 计算步骤如下：

- 构建层次结构模型：首先，将决策问题分为目标层、准则层、方案层等多层次结构。目标层位于最顶层，代表最终决策目标；准则层位于中间，包含影响决策的各个评价准则或因素；方案层位于底层，包含待选的各种决策方案。
- 构建成对比较矩阵：针对每一层次的元素，构建成对比较矩阵来量化各元素之间的相对重要性。这通常通过专家打分或集体讨论的方式进行，采用1-9标度（Saaty量表），其中1表示两个元素同等重要，9表示一个元素极端重要于另一个。
- 一致性检验：由于人的判断可能存在一定的主观性和不一致性，AHP要求对成对比较矩阵进行一致性检验。通过计算一致性指标CI（Consistency Index）和一致性比率CR（Consistency Ratio），确保比较矩阵的一致性在可接受范围内（一般CR小于0.1被认为是可接受的）。
- 计算权重：如果成对比较矩阵通过了一致性检验，就可以通过计算得到各元素的权重。这一过程通常包括求解特征根和归一化，得到各个准则或方案相对于上一层的相对权重。
- 综合评价与决策：将各层次的权重逐级向上汇总，最终计算出每个决策方案相对于目标层的总权重，据此选择最优或较优的决策方案。

附录 F

(资料性)

城市轨道交通地下空间开发利用韧性评价报告

评价对象: _____ 评价类型: _____

评价时间: 年 月 日 至 年 月 日

一、任务来源

(说明任务来源、目的、意义等)

二、评价过程

(说明评价专家组成员情况、评价方法的确立、评价指标体系的构建等)

三、评价结果计算与分析

(说明各独立指标的评分结果、城市总体评分的计算、评分结果横向及纵向对比分析等)

四、结论与建议

(在分析评价结果的基础上, 提出评价中发现的问题和薄弱环节)

T/CAMET XXXXX-XXXX
