



(21) 申请号 202410913464.5

(22) 申请日 2024.07.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 119106911 A

(43) 申请公布日 2024.12.10

(73) 专利权人 交通运输部公路科学研究所
地址 100088 北京市海淀区西土城路8号
专利权人 太原理工大学

(72) 发明人 万飞 张念 卢峥 张瑜 张翊
李磊 李雪峰 杜建明 周彩凤
章敏

(74) 专利代理机构 山东济南齐鲁科技专利事务
所有限公司 37108
专利代理师 徐海鹏

(51) Int.Cl.

G06Q 10/0635 (2023.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

G06F 17/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108876184 A, 2018.11.23

黄斌. “华联铟露天矿边坡风险评估”. 中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技I
辑. 2020, 正文第3.3.2-3.4节.

审查员 张倩

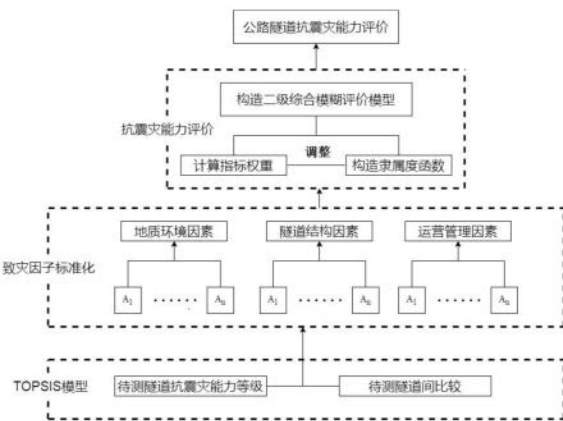
权利要求书2页 说明书17页 附图1页

(54) 发明名称

一种运营期公路隧道震灾风险评价方法

(57) 摘要

本发明涉及隧道震灾风险评价技术领域,具体涉及一种运营期公路隧道震灾风险评价方法,包括如下步骤:(1) 基于历史震灾数据构建公路隧道震灾数据库,所述数据库中,从地质因素引起的震灾风险、结构因素引起的震灾风险及运营管理引起的震灾风险三方面选取参照实例;(2) 基于数据库分析震灾对评价对象的影响特性,选取待量化隧道致灾因子,并构建致灾因子集,本发明的有益效果是:本发明通过分析震灾对隧道的影响特性,获取隧道致灾因子,并通过对致灾因子进行分析,得出不同致灾因子的影响度,从而根据影响度差异化获取隧道震灾的影响指数,通过分级获取该隧道的抗震能力,为后续隧道建设抗震提供数据基础。



1. 一种运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 基于历史震灾数据构建公路隧道震灾数据库,所述数据库中,从地质因素引起的震灾风险、结构因素引起的震灾风险及运营管理引起的震灾风险三方面选取参照实例;

(2) 基于数据库分析震灾对评价对象的影响特性,选取待量化隧道致灾因子,并构建致灾因子集,所述评价对象为公路隧道,致灾因子集以地质因素、结构因素及运营管理因素三方面划分;

(3) 对致灾因子进行赋值,所述赋值包括定性指标及定量指标两种,其中定性指标以致灾因子的结构病害形态赋值,定量指标则以致灾因子的不同影响因素构建隶属度函数赋值;

(4) 赋值后构建标准化加权矩阵,分析致灾因子对隧道震灾的影响度,并以符合影响度范围的致灾因子调整标准化综合加权矩阵;

(5) 对标准化综合加权矩阵进行规范化处理,获取决策矩阵,以TOPSIS模型确定公路隧道震灾风险指数;

(6) 建立震灾风险管理指数分类等级,并根据公路隧道震灾风险指数确定运营期公路隧道震灾风险等级;

分析致灾因子对隧道震灾的影响度包括:

构建隧道震灾数据模型;

基于相同震灾条件,调整震灾数据模型中单一致灾因子参数,获取调整后及调整前震灾数据并生成震灾数据曲线,比对调整前和调整后的震灾数据曲线得出该致灾因子影响度;

所述震灾条件包括地震参数及致灾因子参数,其中,地震参数包括地震等级、震源深度及震源位置,震灾数据模型中单一致灾因子参数为自变量,调整致灾因子参数至最低阈值,所述最低阈值为致灾因子满足隧道承载结构的最低值。

2. 根据权利要求1所述的运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于:地质因素因子集包括围岩特性、边仰坡特性、断层破碎带情况、地基条件及工程环境;

隧道结构因子集包括洞门形式、支护结构、衬砌断面条件及抗震设施;

运营管理因子集包括洞口结构健康状况、衬砌结构健康状况、路面结构健康状况、应急管理水平及养护管理水平。

3. 根据权利要求2所述的运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于:致灾因子中,工程环境及运营管理因子集中的各项致灾因子均为定量指标,其中,工程环境以隧道不良扰动距离作为影响因素,洞口结构健康状况以洞口结构裂缝为影响因素,衬砌结构健康状况以衬砌结构磨损及裂缝为影响因素,路面结构健康状况以路面结构开裂为影响因素,应急管理水平以应急疏散时长为影响因素,养护管理水平以养护人员考核为影响因素。

4. 根据权利要求3所述的运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于,以符合影响度范围的致灾因子调整标准化综合加权矩阵包括:

筛选隧道结构因子集及运营管理因子集中符合影响度范围的致灾因子;

在构建加权矩阵中对该致灾因子的重要度值加1;

所述影响度范围根据隧道震灾历史数据通过比对各致灾因子影响度获取。

5. 根据权利要求1所述的运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于,以TOPSIS模型确定公路隧道震灾风险管理指数包括:

计算权重指定值 v_{ij} ,确定理想解;

计算TOPSIS模型中最优指标 S_i^+ 和最劣指标 S_i^- 如下:

$$S_i^+(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^+ - v_{ij})^2}$$

$$S_i^-(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^- - v_{ij})^2}$$

隧道震灾评价对象与最优指标的距离为隧道震灾风险指数。

6. 根据权利要求1所述的运营期公路隧道震灾风险评价方法,其特征在于,震灾风险管理指数分类等级包括:

当隧道震灾风险指数大于0,小于0.25时,发生灾害的可能性大,隧道的抗震能力弱;

当隧道震灾风险指数大于0.25,小于0.5时,发生灾害的可能性中等,隧道抗震能力中等;

隧道震灾风险指数大于0.5,小于0.75时,发生灾害的可能性较小,隧道抗震能力较强;

当隧道震灾风险指数大于0.75,小于1时,发生灾害的可能性小,隧道抗震能力强。

一种运营期公路隧道震灾风险评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及隧道震灾风险评价技术领域,具体涉及一种运营期公路隧道震灾风险评价方法。

背景技术

[0002] 隧道是交通运输的重要组成部分,我国的西南地区地震频发,在此区域的隧道一旦受到破坏直接影响交通效率。大部分隧道建成时期较早,此时由于施工工艺的落后和抗震措施的缺陷导致大量隧道抗震性能不足,在地震发生时产生结构破坏严重危害人民的生命财产完全和影响交通效率,因此我国开始对运营期的隧道进行加固处理来提高抗震灾能力。

[0003] 但是我国未颁布关于隧道运营期抗震的相关规范,无法判断识别运营期的隧道是否需要加固处理,在抗震灾的评价中仍是空白,现有隧道结构安全大多从围岩环境及隧道衬砌自身状况判断,并没有针对震灾特性所考虑的特定影响因素,而直接采用其他安全评价形式,增加了人力物力成本,同时也影响隧道运营。

[0004] TOPSIS模型是一种综合分析模型,其用于隧道震灾中可对不同隧道综合评价,但在隧道震灾评价中,不同隧道因素在震灾中所体现的影响程度不同,因此,单纯将隧道因素放入震灾体系评价时,得出的评价结果并不准确,且评价因素采用何种评价标准在TOPSIS模型中应用,如何得出隧道震灾风险的精确判断,也是本申请所要解决的问题。

[0005] 因此,开发一种运营期公路隧道震灾风险评价方法,不但具有迫切的研究价值,也具有良好的经济效益和工业应用潜力,这正是本发明得以完成的动力所在和基础。

发明内容

[0006] 为了克服上述所指出的现有技术的缺陷,本发明人对此进行了深入研究,在付出了大量创造性劳动后,从而完成了本发明。

[0007] 具体而言,本发明所要解决的技术问题是:提供一种隧道震灾风险评价方法,通过对隧道震灾可能性及致灾因子的分析,为后续隧道安全防护提供依据。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0009] 一种运营期公路隧道震灾风险评价方法,包括如下步骤:

[0010] (1) 基于历史震灾数据构建公路隧道震灾数据库,所述数据库中,从地质因素引起的震灾风险、结构因素引起的震灾风险及运营管理引起的震灾风险三方面选取参照实例;

[0011] (2) 基于数据库分析震灾对评价对象的影响特性,选取待量化隧道致灾因子,并构建致灾因子集,所述评价对象为公路隧道,致灾因子集以地质因素、结构因素及运营管理因素三方面划分;

[0012] (3) 对致灾因子进行赋值,所述赋值包括定性指标及定量指标两种,其中定性指标以致灾因子的结构病害形态赋值,定量指标则以致灾因子的不同影响因素构建隶属度函数赋值;

[0013] (4)赋值后构建标准化加权矩阵,分析致灾因子对隧道震灾的影响度,并以影响度调整标准化综合加权矩阵;

[0014] (5)对标准化综合加权矩阵进行规范化处理,获取决策矩阵,以TOPSIS模型确定公路隧道震灾风险指数;

[0015] (6)建立震灾风险管理指数分类等级,并根据公路隧道震灾风险指数确定运营期公路隧道震灾风险等级。

[0016] 在本发明中,作为一种改进,地质因素因子集包括围岩特性、边仰坡特性、断层破碎带情况、地基条件及工程环境;

[0017] 隧道结构因子集包括洞门形式、支护结构、衬砌断面条件及抗震设施;

[0018] 运营管理因子集包括洞口结构健康状况、衬砌结构健康状况、路面结构健康状况、应急管理水平和养护管理水平。

[0019] 在本发明中,作为一种改进,致灾因子中,工程环境及运营管理因子集中的各项致灾因子均为定量指标,其中,工程环境以隧道不良扰动距离作为影响因素,洞口结构健康状况以洞口结构裂缝为影响因素,衬砌结构健康状况以衬砌结构磨损及裂缝为影响因素,路面结构健康状况以路面结构开裂为影响因素,应急管理水平和养护管理水平以养护人员考核为影响因素。

[0020] 在本发明中,作为一种改进,分析致灾因子对隧道震灾的影响包括:

[0021] 构建隧道震灾数据模型;

[0022] 基于相同震灾条件,调整震灾数据模型中单一致灾因子参数,获取调整后及调整前震灾数据,并生成震灾数据曲线,比对调整前和调整后的震灾数据曲线得出该致灾因子影响度。

[0023] 在本发明中,作为一种改进,所述震灾条件包括地震参数及各致灾因子参数,其中,地震参数包括地震等级、震源深度及震源位置,调整震灾数据模型中单一致灾因子参数包括将致灾因子参数调整至最低阈值,所述最低阈值为致灾因子满足隧道承载结构的最低值。

[0024] 在本发明中,作为一种改进,以符合影响范围的致灾因子调整标准化综合加权矩阵包括:

[0025] 筛选隧道结构因子集及运营管理因子集中符合影响范围的致灾因子;

[0026] 在构建加权矩阵中对该致灾因子的重要度值加1;

[0027] 所述影响范围根据隧道震灾历史数据通过比对各致灾因子影响度获取。

[0028] 在本发明中,作为一种改进,以TOPSIS模型确定公路隧道震灾风险管理指数包括:

[0029] 计算权重指定值 v_{ij} ,确定理想解;

[0030] 计算TOPSIS模型中最优指标 S_i^+ 和最劣指标 S_i^- 如下:

$$S_i^+(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^+ - v_{ij})^2}$$

[0031]

$$S_i^-(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^- - v_{ij})^2}$$

[0032] 评价对象与最优指标的距离为隧道震灾风险指数。

- [0033] 在本发明中,作为一种改进,震灾风险管理指数分类等级包括:
- [0034] 当隧道震灾风险指数大于0,小于0.25时,发生灾害的可能性大,隧道的抗震能力弱;
- [0035] 当隧道震灾风险指数大于0.25,小于0.5时,发生灾害的可能性中等,隧道抗震能力中等;
- [0036] 隧道震灾风险指数大于0.5,小于0.75时,发生灾害的可能性较小,隧道抗震能力较强;
- [0037] 当隧道震灾风险指数大于0.75,小于1时,发生灾害的可能性小,隧道抗震能力强。
- [0038] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:
- [0039] (1) 本发明通过分析震灾对隧道的影响特性,获取隧道致灾因子,并通过对致灾因子进行分析,得出不同致灾因子的影响度,从而根据影响度差异化获取隧道震灾的影响指数,通过分级获取该隧道的抗震能力,为后续隧道建设抗震提供数据基础。
- [0040] (2) 本发明所应用的震灾风险评价方法可同时对多个隧道进行评价,且评价更加准确,通过横向对比,明确隧道之间差异。
- [0041] (3) 本发明建立的指标体系中分析致灾因子的影响特性,从而确定不同致灾因子的不同评审标准,并由此进行赋值,不同与以往对隧道结构的整体性赋值,可以更加明确隧道的抗震能力。

附图说明

- [0042] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。在所有附图中,类似的元件或部分一般由类似的附图标记标识。附图中,各元件或部分并不一定按照实际的比例绘制。
- [0043] 图1为本发明评价方法的流程示意图;
- [0044] 图2为本发明致灾因子示意图。

具体实施方式

- [0045] 下面将结合附图对本发明技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,因此只作为示例,而不能以此来限制本发明的保护范围。
- [0046] 一种运营期公路隧道震灾风险评价方法,包括:
- [0047] 1、基于历史公路隧道震灾数据构建数据库,所述数据库中,从地质因素引起的震灾风险、结构因素引起的震灾风险及运营管理引起的震灾风险三方面选取参照实例;
- [0048] 2、基于数据库分析震灾对评价对象的影响特性,所述评价对象为公路隧道,其中,震灾评价基础为隧道震灾影响因素,并不是所有对隧道结构造成影响的因素都可以作为致灾因子,基于震灾对隧道的影响特性选取,选取后构建指标因子集;
- [0049] 3、对致灾因子进行赋值,赋值可采用现有赋值方法,包括定性指标及定量指标两种,但每个致灾因子需根据震灾与致灾因子的关联性选取赋值指标,其中定性指标以致灾因子的结构病害形态赋值,定量指标则以致灾因子的不同影响因素构建隶属度函数赋值;
- [0050] 4、赋值后构建标准化加权矩阵,分析致灾因子对隧道震灾的影响度,并以影响度

调整标准化加权矩阵；

[0051] 5、对加权标准化矩阵进行规范化处理,获取决策矩阵,以TOPSIS模型确定公路隧道震灾风险指数；

[0052] 6、建立震灾风险管理指数分类等级,并根据公路隧道震灾风险管理指数确定运营期公路隧道震灾风险等级。

[0053] 隧道致灾因子选取包括：

[0054] 基于历史隧道震灾数据构建数据库；

[0055] 分析数据库中震灾破坏因素,并比对震前隧道环境及结构性状,区分震灾对隧道环境及结构影响程度；

[0056] 基于影响程度获取隧道震灾的致灾因子。

[0057] 待量化隧道致灾因子包括三个方向,分别是地质因素、隧道结构及运营管理,通过对数据库内震灾案例分析,其中,地质因素因子集包括围岩特性、边仰坡特性、断层破碎带情况、地基条件及工程环境,围岩特性中,岩体强度及破碎程度影响隧道结构受力和稳定情况,边仰坡指隧道出入口处边仰坡,在隧道震灾中会造成边坡滑塌,从而堵塞洞口、砸毁洞门结构,断层破碎带在震灾中大概率会发生结构垮塌这类致命灾害,地基条件指地基在含水率较高的情况下遇到地震极易出现土体液化现象,此时承载力大大降低,工程环境指隧道周边的其他工程对隧道的扰动。

[0058] 隧道结构因子集包括洞门形式、支护结构、衬砌断面条件及抗震设施,洞门结构的类型及尺寸影响地震力中洞门结构的破坏和砸毁程度,支护结构的选材及连接强度以及衬砌断面条件可抵抗相应强度的地震灾害,抗震设施则在震前具有相应的防护水平。

[0059] 运营管理因子集包括洞口结构健康状况、衬砌结构健康状况、路面结构健康状况、应急管理水平和养护管理水平,洞口段是地震发生后隧道的主要变形段,若损坏超过一定程度,在发生地震时降低自身抵抗外力的能力,使得隧道更易受损,同时洞口段直接影响震灾发生后隧道内的疏散,衬砌结构是隧道主要受力部位且存在位置隐秘,直接作用于岩体在隧道全寿命周期中磨损程度最大的结构,地震灾害属于突发性灾害,对洞内人员和车辆的疏散快慢决定着灾害的损失程度,隧道在运营过程中应对正常使用的磨损进行修复,面对结构突变的破坏应及时作出响应。

[0060] 对致灾因子赋值,赋值采用常规的定性和定量两种赋值方式。

[0061] 致灾因子中,工程环境及运营管理因子集中的各项致灾因子均为定量指标,剩余为定性指标,定性指标可根据致灾因子的工程状况结合工程标准赋值,具体赋值标准如下所示：

[0062] 围岩特性为定性指标,以隧道所处区域围岩完整性,围岩软化情况及节理断层裂隙围岩状态作为赋值标准；

[0063] 边仰坡特性为定性指标,以隧道洞口边仰坡的稳定性,边仰坡的坡角、土质、防坍塌滑坡措施作为赋值标准；

[0064] 断层破碎带为定性指标,以发生地震后隧道内部的剪切破坏,断层的夹角、地质运动情况、隧道穿越情况作为赋值标准；

[0065] 地基条件为定性指标,以地基承载力和地基土体液化可能性作为赋值标准；

[0066] 洞门形式为定性指标,以洞门类型、洞门结构强度和尺寸作为赋值标准；

[0067] 支护结构为定性指标,以衬砌结构材料的选取,衬砌结构厚度和施工缝链接强度作为赋值标准;

[0068] 断面条件为定性指标,以断面的形状和尺寸作为赋值标准;

[0069] 抗震措施为定性指标,以减震构件数量,现场检测构件磨损老化程度作为赋值标准。

[0070] 定量指标中,工程环境以隧道不良扰动距离作为影响因素,洞口结构健康状况以洞口结构裂缝为影响因素,衬砌结构健康状况以衬砌结构磨损及裂缝为影响因素,路面结构健康状况以路面结构开裂为影响因素,应急管理水平以应急疏散时长为影响因素,养护管理水平以养护人员考核为影响因素。

[0071] 赋值后,分析致灾因子对隧道震灾的影响度包括:采用有限元分析软件构建隧道震灾数据模型,模型初始构建相同的震灾条件,所述震灾条件包括地震等级、震源深度及震源位置等地震参数以及各致灾因子参数;

[0072] 基于相同震灾条件,调整震灾数据模型中单一致灾因子参数,调整至最低阈值,获取调整后及调整前震灾数据并生成震灾数据曲线,震灾数据曲线与单一致灾因子参数的函数关系式为:

$$[0073] \quad b=f(a, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$$

[0074] 其中, a 为某一致灾因子参数。

[0075] 调整前和调整后震灾数据曲线比对显示单一致灾因子对震灾的影响度,筛选符合影响度范围的致灾因子,对符合影响度范围的致灾因子在构建加权矩阵中增加重要度,影响度筛选范围根据隧道震灾历史数据通过比对各致灾因子影响度获取,具体调整如下:筛选隧道结构因子集及运营管理因子集中下属的致灾因子,比对调整前及调整后震灾数据曲线,得出各致灾因子影响度,基于震灾数据库中地震对隧道的影响特性,通过专家评审方式比对各致灾因子影响度获取需要调整的致灾因子,其中包括洞口结构健康状况、衬砌结构健康状况、断层破碎带及地基条件,对以上致灾因子二级因素构造权重矩阵时,取值加1。

[0076] 具体计算如下:

[0077] 致灾因子的二级指标:

$$[0078] \quad \begin{matrix} 1 & a^2 & a^4 \\ a^{-2} & 1 & a^3 \\ a^{-4} & a^{-3} & 1 \end{matrix};$$

[0079] 增加重要度转化为:

$$[0080] \quad \begin{matrix} 1 & a+1^2 & a^4 \\ a+1^{-2} & 1 & a^3 \\ a^{-4} & a^{-3} & 1 \end{matrix}$$

[0081] 赋值后采用层次分析方法构建致灾因子评价矩阵并计算因子指标权重,判断矩阵如下:

$$[0082] \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

[0083] 对矩阵进行归一化处理并一致性检验后得出指标权重,由指标权重构建加权矩阵并标准化处理,得到标准化加权矩阵,具体如下:

[0084] 确定相关系数矩阵:

$$[0085] \quad R = (r_{jk})_{np}$$

[0086] 式中:

$$[0087] \quad r_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \cdot y_{jk} \quad (j=1, 2, \dots, p)$$

[0088] 求出R的特征值:

$$[0089] \quad \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p > 0$$

[0090] 计算贡献率及累计贡献率,第k项指标的贡献率:

$$[0091] \quad W_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \quad (k=1, 2, \dots, p)$$

[0092] 累计贡献率:

$$[0093] \quad W = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j}$$

[0094] 根据累计贡献率大于85%的原则确定主成分的个数m,建立主成分方程:

$$[0095] \quad F_j = e_j^T Y_j \quad (j=1, 2, \dots, p);$$

[0096] 代入TOPSIS模型。

[0097] TOPSIS模型中,通过公式计算权重指定值v,确定理想解:

$$[0098] \quad v_{ij} = w_{ij} \cdot R = \begin{pmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & w_n r_{mn} \end{pmatrix}$$

[0099] 计算最优目标 S^+ 和最劣目标 S^- :

$$[0100] \quad S^+ = \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} t_{i1}, \max_{1 \leq i \leq n} t_{i2}, \max_{1 \leq i \leq n} t_{i3}, \dots, \max_{1 \leq i \leq n} t_{ij} \right\} = \{S_1^+, S_2^+, S_3^+, \dots, S_n^+\}$$

$$[0101] \quad S^- = \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} t_{i1}, \max_{1 \leq i \leq n} t_{i2}, \max_{1 \leq i \leq n} t_{i3}, \dots, \max_{1 \leq i \leq n} t_{ij} \right\} = \{S_1^-, S_2^-, S_3^-, \dots, S_n^-\}$$

[0102] 其中:J为 $J=1, \dots, n$ |j为最优型目标属性,J'为 $J=1, \dots, n$ |j为最劣型目标属性,每个评估对象到 S^+ 和 S^- 的距离可以计算如下:

$$S_i^+(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^+ - v_{ij}^-)^2}$$

[0103]

$$S_i^-(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^- - v_{ij}^+)^2}$$

[0104] 其中,物体离目标越近,S值越低。

[0105] 待评估目标与最优目标的接近度为公路隧道震灾风险指数,公路隧道震灾风险管理指数 c_i *计算如下:

$$C_i^* = \frac{s_i^-(i)}{s_i^+(q) + s_i^-(q)}, i = 1, 2, \dots, m$$

[0107] 其中,数值与评价效果负相关,即数值越低,震灾风险可能性越大,震灾风险可能越大,隧道抗震灾能力越弱。

[0108] 建立震灾风险管理指数分类等级包括:

[0109] 公路隧道震灾风险指数取值范围为0-1,其中,

[0110] 当 $0 \leq c_i^* < 0.25$,发生灾害的可能性大,隧道的抗震能力弱;[0111] 当 $0.25 \leq c_i^* < 0.50$,发生灾害的可能性中等,隧道抗震能力中等;[0112] 当 $0.50 \leq c_i^* < 0.75$,发生灾害的可能性较小,隧道抗震能力较强;[0113] 当 $0.75 \leq c_i^* < 1.00$,发生灾害的可能性小,则隧道抗震能力强。

[0114] 实施例一:

[0115] 本实施例中,处于同一地震活动带区域内存在四条运营期公路隧道,对四条运营期公路隧道分别进行抗震灾能力评定,为了评定出四条隧道抗震灾能力的强弱,通过上述方法进行计算分析。

[0116] 构建指标因子集后,根据以下赋值标准对指标因子进行赋值:

[0117] 围岩特性为定性指标,要体现为隧道所处区域围岩完整性,围岩软化情况,监测方法采用现场地质雷达结合地质勘察报告,对隧道的危险部位进行检测,将监测结果赋值如下:

致灾因子	描述	赋值标准
围岩特性 A_1	围岩无裂隙、节理、断层。	0
	高完整度,岩体较坚硬、完整,裂隙、节理较少。	0.4
	中等完整度,围岩存在一定数量的裂隙、节理较少。	0.6
	低完整度,围岩裂隙、节理较多,岩体不稳定。	0.8

[0118] 边仰坡特性为定性指标,主要体现为隧道洞口边仰坡的稳定性,监测对象为边仰坡的坡角、土质、防坍塌滑坡措施,将边仰坡等级划分并对应分值,现场情况通过定性指标赋值:

[0119]	致灾因子	描述	赋值标准
	边仰坡特性 A ₂	完好, 无破坏现象	0
		山体及岩体、挡土墙、护坡等有轻微裂缝产生, 排水设施存在轻微破坏	0.2
		山体及岩体裂缝发育, 存在滑坡、崩塌的初步迹象, 坡面树木或电线杆轻微倾斜, 挡土墙、护坡等产生开裂、变形、土石零星掉落, 排水设施存在一定裂损、阻塞	0.4
		山体及岩体严重开裂, 坡面树木或电线杆明显倾斜, 挡土墙、护坡等产生严重开裂、明显的永久变形, 墙角或坡面有土石堆积, 排水设施完全堵塞、破坏, 排水功能失效。	0.6

[0120] 断层破碎带为定性指标, 主要体现为发生地震后隧道内部的剪切破坏, 监测对象为断层的夹角、地质运动情况、隧道穿越情况, 通过地质勘察报告和施工图对工程进行赋值:

[0121]	致灾因子	描述	评定标度
	断层破碎带 A ₃	未穿越断层破碎带, 且距离断层破碎带超过 500m	0
		未穿越断层破碎带, 但距离断层破碎带小于 500m	0.2
		穿越断层破碎带, 夹角小于 30°, 属于较安全的范围, 对隧道的抗震影响较小。	0.4
		穿越断层破碎带, 夹角介于 30° ~60°, 属于中等范围, 对隧道的抗震能力有一定程度的影响。	0.6
		穿越断层破碎带, 夹角大于 60°, 属于较高风险范围, 对隧道的抗震能力影响较大。	0.8

[0122] 地基条件为定性指标, 主要考虑为地基承载力和地基土体液化可能性, 赋值如下:

致灾因子	描述	评定标 度
地基条件 A ₅	原始地基承载力强, 土体天然含水率低。	0
	原始地基承载力强, 土体天然含水率适中。	0.2
	原始地基承载力符合要求, 土体天然含水率适中。	0.4
	原始地基承载力弱, 经处理后符合要求, 土体天然含水率适中。	0.6
	原始地基承载力弱, 经处理后符合要求, 土体天然含水率高。	0.8

[0123] 洞门形式为定性指标, 主要体现为监测对象为洞门类型、洞门结构强度和尺寸, 通过考察结构类型、现场取样检测和施工图对工程进行赋值:

致灾因子	描述	评定标 度
洞门形式 A ₆	洞门类型严格按照抗震推鉴形式设计, 结构强度高, 尺寸符合抗震要求。	0
	洞门类型不满足推荐要求, 结构强度高, 尺寸符合抗震要求。	0.2
	洞门类型不满足推荐要求, 结构强度低, 尺寸符合抗震要求。	0.4
	洞门类型不满足推荐要求, 结构强度低, 尺寸不符合抗震要求。	0.6

[0124] 支护结构为定性指标, 主要体现为衬砌结构材料的选取, 衬砌结构厚度和施工缝链接强度:

[0125]	致灾因子	描述	评定标 度
[0126]	支护结构 A ₇	衬砌材料强度高、衬砌厚度大、施工缝处理效果好。	0
		衬砌材料强度适中、衬砌厚度适中、施工缝处理效果适中。	0.4
		衬砌材料强度低、衬砌厚度低、施工缝处理效果差。	0.8

[0127] 断面条件为定性指标, 主要体现为断面的形状和尺寸, 通过现场观察确定。

[0128] 断面条件检测分级赋值标准

	致灾因子	描述	评定标 度
[0129]	断面条件 A ₈	断面形状符合抗震需求, 尺寸与工程环境相适应。	0
		断面形状较符合抗震需求, 尺寸与工程环境相适应。	0.4
		断面形状不符合抗震需求, 尺寸与工程环境相适应。	0.6
		断面形状不符合抗震需求, 尺寸与工程环境适应性较差。	0.8

[0130] 抗震措施为定性指标, 通过查阅施工专项方案查阅施工中采用的减震构件数量, 现场检测构件磨损老化程度。

[0131] 防震措施分级赋值标准

	致灾因子	描述	评定标 度
[0132]	洞内防震 措施 A ₉	设施配备齐全, 磨损程度小	0
		设备配备较少, 磨损程度一般	0.2
		无设备	0.4

[0133] 工程环境为定量指标, 主要体现为附近的其他工程施工对评价的隧道进行不良扰动, 通过现场调查, 以距离为依据, 代入隶属度函数:

	震灾可能性等 级	隶属度函数	说明
[0134]	I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8x - 7D}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 1, & x > D \end{cases}$	X 为扰动源 距隧道的距 离单位 m, D 为安全距离

[0135]

II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{8x - 5D}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 1, & \frac{3D}{4} < x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8D - 8x}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 0, & x > D \end{cases}$	单位 m
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{8x - 3D}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 1, & \frac{D}{2} < x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{6D - 8x}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 0, & x > \frac{3D}{4} \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{8x - D}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 1, & \frac{D}{4} < x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{4D - 8x}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 0, & x > \frac{D}{2} \end{cases}$	
V	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{2D - 8x}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 0, & x > \frac{D}{4} \end{cases}$	

[0136] 洞口结构健康状况为定量指标,其主要体现于结构的磨损情况,建立隶属度函数,通过结构裂缝得出其所得分值。

[0137] 洞口结构健康状况隶属度函数

[0138]

震灾可能性等级	隶属度函数	说明
---------	-------	----

[0139]

I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8x - 7D}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 1, & x > D \end{cases}$	X 为裂缝宽度, D 为裂缝宽度阈值单位 mm
II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{8x - 5D}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 1, & \frac{3D}{4} < x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8D - 8x}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 0, & x > D \end{cases}$	
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{8x - 3D}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 1, & \frac{D}{2} < x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{6D - 8x}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 0, & x > \frac{3D}{4} \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{8x - D}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 1, & \frac{D}{4} < x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{4D - 8x}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 0, & x > \frac{D}{2} \end{cases}$	
V	$\mu_5(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{2D - 8x}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 0, & x > \frac{D}{4} \end{cases}$	

[0140] 衬砌结构健康状况为定量指标,其主要体现于结构的磨损情况,建立隶属度函数,通过结构裂缝得出其所得分值。

[0141] 衬砌结构隶属度函数

[0142]	震灾可能性等	隶属度函数	说明
--------	--------	-------	----

[0143]

级		
I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 45 \\ \frac{x-45}{5}, & 45 < x \leq 50 \\ 1, & x > 50 \end{cases}$	X 为裂缝长度 l(m) 与宽度 d(mm) 的乘积
II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 25 \\ \frac{x-25}{10}, & 25 < x \leq 35 \\ 1, & 35 < x \leq 45 \\ \frac{50-x}{5}, & 45 < x \leq 50 \\ 0, & x > 50 \end{cases}$	
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{5}, & 15 < x \leq 20 \\ 1, & 20 < x \leq 25 \\ \frac{35-x}{10}, & 25 < x \leq 35 \\ 0, & x > 35 \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.5 \\ \frac{2x-5}{5}, & 2.5 < x \leq 5 \\ 1, & 5 < x \leq 15 \\ \frac{20-x}{5}, & 15 < x \leq 20 \\ 0, & x > 20 \end{cases}$	
V	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2.5 \\ \frac{10-2x}{5}, & 2.5 < x \leq 5 \\ 0, & x > 5 \end{cases}$	

[0144] 路面结构健康状况为定量指标,其主要体现于结构的磨损情况,建立隶属度函数,通过结构裂缝得出其所得分值。

[0145] 路面结构健康状况隶属度函数

[0146]

震灾可能性等级	隶属度函数	说明
---------	-------	----

[0147]

I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8x - 7D}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 1, & x > D \end{cases}$	X 为裂缝宽度, D 为裂缝宽度阈值单位 mm
II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{8x - 5D}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 1, & \frac{3D}{4} < x \leq \frac{7D}{8} \\ \frac{8D - 8x}{D}, & \frac{7D}{8} < x \leq D \\ 0, & x > D \end{cases}$	
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{8x - 3D}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 1, & \frac{D}{2} < x \leq \frac{5D}{8} \\ \frac{6D - 8x}{D}, & \frac{5D}{8} < x \leq \frac{3D}{4} \\ 0, & x > \frac{3D}{4} \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{8x - D}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 1, & \frac{D}{4} < x \leq \frac{3D}{8} \\ \frac{4D - 8x}{D}, & \frac{3D}{8} < x \leq \frac{D}{2} \\ 0, & x > \frac{D}{2} \end{cases}$	
V	$\mu_5(x) = \begin{cases} 1, & x \leq \frac{D}{8} \\ \frac{2D - 8x}{D}, & \frac{D}{8} < x \leq \frac{D}{4} \\ 0, & x > \frac{D}{4} \end{cases}$	

[0148] 应急管理水平为定量指标,通过运营期管理人员的测评主要内容有突发震害应急管理人员将业务能力,将测评分值代入隶属度函数。

[0149] 应急管理水平隶属度函数

[0150]

震灾可能性等级	隶属度函数	说明
I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 12.5 \\ \frac{25-x}{12.5}, & 12.5 < x \leq 25 \\ 0, & x > 25 \end{cases}$	X 为疏散完成用时（分钟）
II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12.5 \\ \frac{x-12.5}{12.5}, & 12.5 < x \leq 25 \\ 1, & 25 < x \leq 37.5 \\ \frac{50-x}{12.5}, & 37.5 < x \leq 50 \\ 0, & x > 50 \end{cases}$	
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 37.5 \\ \frac{x-37.5}{12.5}, & 37.5 < x \leq 50 \\ 1, & 50 < x \leq 62.5 \\ \frac{75-x}{12.5}, & 62.5 < x \leq 75 \\ 0, & x > 75 \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 62.5 \\ \frac{x-62.5}{12.5}, & 62.5 < x \leq 75 \\ 1, & 75 < x \leq 87.5 \\ \frac{100-x}{12.5}, & 87.5 < x \leq 100 \\ 0, & x > 100 \end{cases}$	
V	$\mu_5(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 87.5 \\ \frac{x-87.5}{12.5}, & 87.5 < x \leq 100 \\ 1, & x > 100 \end{cases}$	

[0151] 养护管理水平为定量指标,通过考察维护人员的业务素质,将其代入隶属度函数。

[0152] 养护管理水平隶属度函数

[0153]

震灾可能性等级	隶属度函数	说明
---------	-------	----

[0154]

I	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 125 \\ \frac{25-x}{125}, & 125 < x \leq 25 \\ 0, & x > 25 \end{cases}$	X 为维护人员考核成绩 (百分制)
II	$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12.5 \\ \frac{x-12.5}{12.5}, & 12.5 < x \leq 25 \\ 1, & 25 < x \leq 37.5 \\ \frac{50-x}{12.5}, & 37.5 < x \leq 50 \\ 0, & x > 50 \end{cases}$	
III	$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 37.5 \\ \frac{x-37.5}{12.5}, & 37.5 < x \leq 50 \\ 1, & 50 < x \leq 62.5 \\ \frac{75-x}{12.5}, & 62.5 < x \leq 75 \\ 0, & x > 75 \end{cases}$	
IV	$\mu_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 62.5 \\ \frac{x-62.5}{125}, & 62.5 < x \leq 75 \\ 1, & 75 < x \leq 87.5 \\ \frac{100-x}{125}, & 87.5 < x \leq 100 \\ 0, & x > 100 \end{cases}$	
V	$\mu_5(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 87.5 \\ \frac{x-87.5}{125}, & 87.5 < x \leq 100 \\ 1, & x > 100 \end{cases}$	

[0155] 根据以上赋值标准对甲、乙、丙、丁四条隧道的14项指标赋值结果如下：

[0156]

隧道	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄
甲	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	0.6	0.8	0	0.4	0.6	0.2	0.4	0.2	0.4
乙	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.2	0.4	0.8	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.6
丙	0.6	0.2	0.8	0.2	0.2	0.4	0.4	0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.6
丁	0.6	0.6	0.8	0.6	0.2	0.2	0.8	0.2	0	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2

[0157] 标准化处理,得到标准化矩阵如下：

[0158]

0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0.5	0	0.5
1	0.5	0	0.5	1	0	0	1	0.5	0	0	0.5	0	1
1	0	1	0	0	0.5	0	0	1	0	0.5	0	0	1
1	1	1	1	0	0	1	0.25	0	1	1	1	1	0

[0159] 通过构建模型对比曲线后得出若洞口结构健康状况、衬砌结构健康状况及路面结

构健康状况赋值超过0.8,在二级指标确定中重要度增加1

$$[0160] \quad \begin{array}{ccc} 1 & a^2 & a^4 \\ a^{-2} & 1 & a^3 \\ a^{-4} & a^{-3} & 1 \end{array}$$

[0161] 转化为

$$[0162] \quad \begin{array}{ccc} 1 & a+1^2 & a^4 \\ a+1^{-2} & 1 & a^3 \\ a^{-4} & a^{-3} & 1 \end{array}$$

[0163] 其中甲隧道洞口结构健康状况A10赋值超过0.8须对权重判别矩阵进行调整,调整后综合加权矩阵为:

[0164]	0	0.11 95	0	0	0	0.06 14	0.09 62	0	0.02 78	0.01 55	0	0.02 03	0	0.03 19
	0.11 68	0.05 98	0	0.07 50	0.09 42	0	0	0.04 3	0.01 39	0	0	0.02 03	0	0.06 28
	0.11 68	0	0.14 59	0	0	0.03 07	0	0	0.02 78	0	0.00 94	0	0	0.06 28
	0.11 68	0.11 95	0.14 59	0.14 99	0	0	0.09 62	0.01 08	0	0.01 55	0.01 87	0.04 06	0.00 72	0

[0165] 利用下式计算正负理想距离:

$$S_i^+(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^+ - v_{ij})^2}$$

[0166]

$$S_i^-(q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v^- - v_{ij})^2}$$

[0167] 由下式计算与最优目标的相对接近度:

$$[0168] \quad C_i^* = \frac{s_i^-(i)}{s_i^+(q) + s_i^-(q)}, i = 1, 2, \dots, m$$

[0169] 该数值越大,震灾风险可能性越小,隧道抗震灾能力越强,四条隧道带入的计算结果如下:

[0170]	隧道	正理想解距离 D^+	负理想解距离 D^-	安全管理指数 C_i^*	抗震灾能力
	甲	0.632	0.621	0.495	中等
	乙	0.588	0.601	0.505	较强
	丙	0.632	0.655	0.509	较强
	丁	0.598	0.633	0.514	较强

[0171] 四条隧道抗震灾能力排序由强到弱依次为丁、丙、乙、甲。

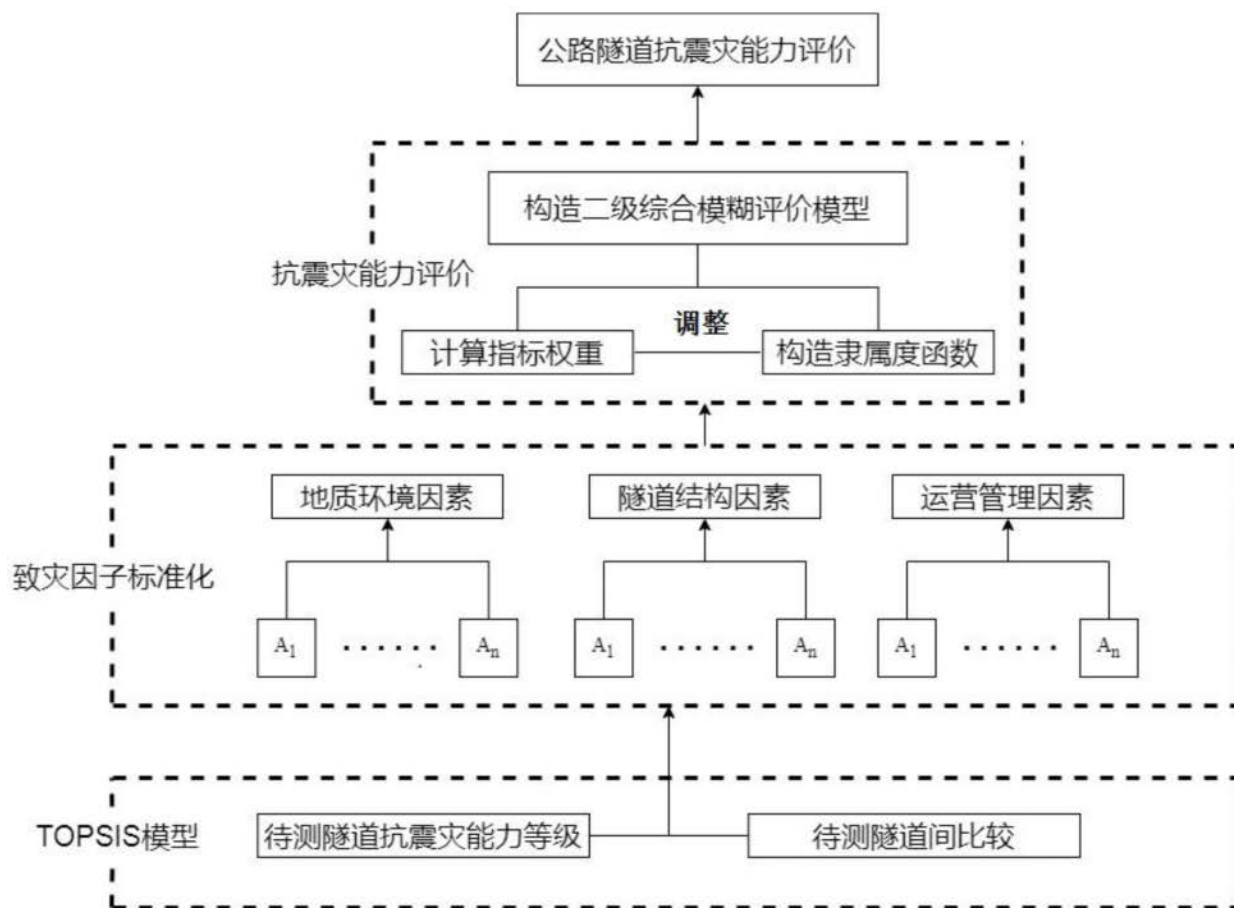


图1

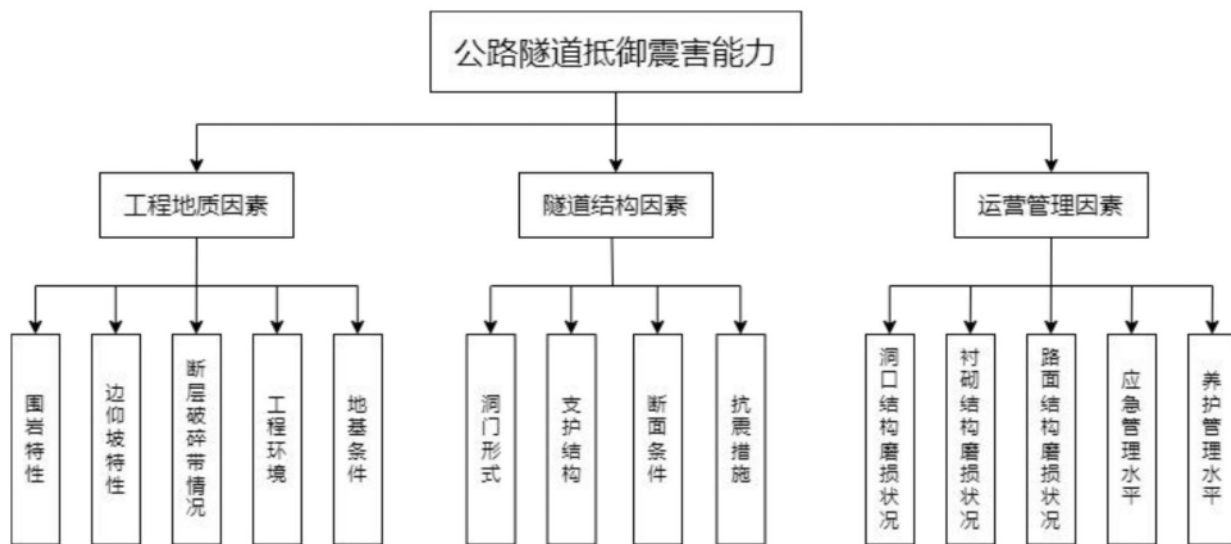


图2