



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113569312 B

(45) 授权公告日 2023.07.14

(21) 申请号 202110686172.9

(22) 申请日 2021.06.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113569312 A

(43) 申请公布日 2021.10.29

(73) 专利权人 山东大学
地址 250061 山东省济南市历下区经十路
17923号
专利权人 中国石油大学(华东)

(72) 发明人 刘人太 王孟 于婷婷 田嘉伟
张连震 陈新 李鸿钊 潘旭东
闫瑾 白继文 李卫

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221
专利代理师 李琳

(51) Int.Cl.

G06F 30/13 (2020.01)

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 111583067 A, 2020.08.25

CN 111563653 A, 2020.08.21

CN 112593613 A, 2021.04.02

WO 2016169290 A1, 2016.10.27

范昌杰.隧道下穿高速公路施工引起的道路
变形分析.公路.(03),全文.

肖文兴;钱劲松.城市道路路基空洞区演变
分析.交通科技.2016,(02),全文.

审查员 郭悦

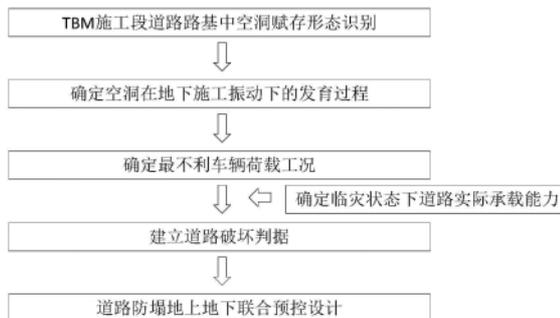
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估和预控方法

(57) 摘要

本发明提供了一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估和预控方法,获取目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量,进而根据结果进行地上、地下的联合预控。本发明保证了地下工程掘进过程中上方路网交通安全。



1. 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,其特征是:包括以下步骤:

获取目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;

利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;

利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程的具体过程包括:依据素描图,建立道路结构离散元模型,使用施工中现场实测振动波作为模型振动源,确定施工过程中振动波速和掘进距离的定量关系,分析振动荷载作用下空洞发育过程,提取破坏形态,进行有限元计算,考虑空洞规模及位置,确定出需要考虑施工振动的临界安全距离;

确定考虑施工振动的临界安全距离的具体过程包括:以隧道与空洞之间的岩土体塑性区贯通情况为依据,针对不同的空洞规模及位置,计算得到的临界安全距离,利用多元回归分析方法分析临界安全距离与各因素之间的函数关系,建立临界安全距离预测数学模型;

基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临界状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量。

2. 如权利要求1所述的一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,其特征是:确定施工段道路路基中空洞赋存形态的具体过程包括:扫描施工段上方道路,探明道路下方的弱区,包括空洞、水囊、不密实部位和裂缝;结合场区工程地质水文地质资料,查明地质特征及地下水分布情况,确定掘进道路下方弱区的展布形态和范围,绘制素描图。

3. 如权利要求1所述的一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,其特征是:基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况的具体过程包括:考虑施工情景下临界安全距离位置处的最终发育形态,将所提取最终发育形态导入有限元软件进行计算;

所述车辆荷载形式包括静载及动载,分别确定其作用下最不利车辆荷载。

4. 如权利要求3所述的一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,其特征是:对于静载,简化车辆荷载及其作用范围,调整荷载布置方式,以地层沉降及路面结构各层层底拉应力为判别指标,确定出静载作用下最不利车辆荷载;

对于动载,通过有限元软件确定冲击荷载、匀速移动荷载、波动荷载下路面结构响应规律,分析动载在道路各层中传递规律,计算交通荷载的影响深度,分析地表道路沉降与层间滑动情况,在此基础上分析车辆荷载诱发道路破坏致灾机制,以路面结构层底拉应力为临界指标,确定动载作用下最不利车辆荷载工况。

5. 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估系统,其特征是:包括:

空洞确定模块,被配置为根据目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;

临界值确定模块,被配置为利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;

利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程的具体过程包括:依据素描图,建立道路结构离散元模型,使用施工中现场实测振动波作为模型振动源,确定施工过程中振动波速和掘进距离的定量关系,分析振动荷载作用下空洞发育过程,提取破坏形态,进行有限元计算,考虑空洞规模及位置,确定出需要考虑施工振动的临界安全距离;

确定考虑施工振动的临界安全距离的具体过程包括:以隧道与空洞之间的岩土体塑性

区贯通情况为依据,针对不同的空洞规模及位置,计算得到的临界安全距离,利用多元回归分析方法分析临界安全距离与各因素之间的函数关系,建立临界安全距离预测数学模型;

安全余量预估模块,基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量。

6. 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量预控方法采用权利要求1-4任一项的城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,其特征是:包括以下步骤:

基于上述城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法获取的道路破坏判据,进行地上道路加固或/和进行地上道路通信车辆移动限制;

依据振动波速与地下工程掘进距离的定量关系,调整掘进参数。

7. 如权利要求6所述的一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量预控方法,其特征是:进行地上道路通信车辆移动限制包括在空洞上方区域限制许可通行车辆类型、车辆间距和车辆速度。

8. 如权利要求6所述的一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量预控方法,其特征是:调整掘进参数包括调整掘进设备的掘进力相关参数,控制掘进速度,使掘进设备因掘进产生的扰动减少至预定量。

城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估和预控方法

技术领域

[0001] 本发明属于地下工程技术领域,具体涉及一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估和预控方法。

背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本发明相关的背景技术信息,不必然构成在先技术。

[0003] 在建地下工程施工致塌事故数量逐年增多,因地下空间扰动引发的路网中断、人车伤亡等时有发生。地下施工对城市路网的影响不可忽视。

[0004] 现有的隧道施工方法中TBM施工具有机械化程度高、施工效率高等优点而广泛用于地铁隧道开挖。然而城市地铁多为浅埋隧道,长期服役状态下的道路路基中存在天然或人工因素形成的土质疏松区、水囊、空洞等形式的弱区(不良地质体)。此时原有空洞在地下施工振动及地上交通荷载反复作用下灾变性发育,地层对道路结构的支撑能力降低,致使道路正常运营期出现病害或塌陷,而道路坍塌突发性强、危害性高,一方面影响下方隧道施工作业进度,另一方面导致地表交通瘫痪,伴随着地下管线破裂,严重影响城市居民日常生活,造成重大经济损失,带来的社会影响极其恶劣,给生产和生活带来极大的安全隐患。

发明内容

[0005] 本发明为了解决上述问题,提出了一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估和预控方法,本发明能够对脱空道路的实际容许承载力可靠评估,并根据评估结果,采取地上地下联合预控的路面防塌措施,有效降低了地上交通安全风险,保障了城市道路运营期服役安全。

[0006] 根据一些实施例,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法,包括以下步骤:

[0008] 获取目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;

[0009] 利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;

[0010] 基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量。

[0011] 作为可选择的实施方式,确定施工段道路路基中空洞赋存形态的具体过程包括:扫描施工段上方道路,探明道路下方的弱区,包括空洞、水囊、不密实部位和裂缝;结合场区工程地质水文地质资料,查明地质特征及地下水分布情况,确定掘进道路下方弱区的展布形态和范围,绘制素描图。

[0012] 作为可选择的实施方式,利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程的具体过程包括:依据素描图,建立道路结构离散元模型,使用施工中现场实测振动波作为模型振动源,确定施工过程中振动波速和掘进距离的定量关系,分析振动荷载作用下空洞

发育过程,提取破坏形态,进行有限元计算,考虑空洞规模及位置,确定出需要考虑施工振动的临界安全距离。

[0013] 作为可选择的实施方式,确定考虑施工振动的临界安全距离的具体过程包括:以隧道与空洞之间的岩土体塑性区贯通情况为依据,针对不同的空洞规模及位置,计算得到的临界安全距离,利用多元回归分析方法分析临界安全距离与各因素之间的函数关系,建立临界安全距离预测数学模型。

[0014] 作为可选择的实施方式,基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况的具体过程包括:考虑施工情景下临界安全距离位置处的最终发育形态,将所提取最终发育形态导入有限元软件进行计算;

[0015] 所述车辆荷载形式包括静载及动载:对于静载,简化车辆荷载及其作用范围,调整荷载布置方式,以地层沉降及路面结构各层层底拉应力为判别指标,确定出静载作用下最不利车辆荷载;

[0016] 对于动载,通过有限元软件确定冲击荷载、匀速移动荷载、波动荷载下路面结构响应规律,分析动载在道路各层中传递规律,计算交通荷载的影响深度,分析地表道路沉降与层间滑移情况,在此基础上分析车辆荷载诱发道路破坏致灾机制,以路面结构层底拉应力为临界指标,确定动载作用下最不利车辆荷载工况。

[0017] 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估系统,包括:

[0018] 空洞确定模块,被配置为根据目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;

[0019] 临界值确定模块,被配置为利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;

[0020] 安全余量预估模块,基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量。

[0021] 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量预控方法,包括以下步骤:

[0022] 基于上述城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法获取的道路破坏判据,进行地上道路加固或/和进行地上道路通信车辆移动限制;

[0023] 依据振动波速与地下工程掘进距离的定量关系,调整掘进参数。

[0024] 作为可选择的实施方式,进行地上道路通信车辆移动限制包括在空洞上方区域限制许可通行车辆类型、车辆间距和车辆速度。

[0025] 作为可选择的实施方式,调整掘进参数包括调整掘进设备的掘进力相关参数,控制掘进速度,使掘进设备因掘进产生的扰动减少至预定量。

[0026] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0027] 本发明联系地下工程建设下穿路网场景,围绕“不良地质探测——掘进振动影响机制——风险防控联动组织”主线,首次提出了地下施工振动作用下脱空道路安全余量评估方法,形成了基于地上地下联合预控的路面防塌思路,实现了安全风险主动防控,有效保障城市路网交通安全,创造了良好的社会效益和经济效益。

[0028] 本发明提供了地下施工情景下脱空道路安全余量评估方法。通过数值模拟、模型试验等方法从力学角度分析掘进振动波对空洞扩展的作用机制,以塑性区贯通情况为临界安全距离的确定指标,从而得到需要考虑施工振动的临界安全距离,通过多元回归分析方

法建立最小安全距离预测数学模型,为地下施工设计提供有效指导。以路面结构层底拉应力为评价指标,确定动载、静载作用下最不利车辆荷载工况,建立道路结构破坏判据,准确判断道路结构临灾状态,得到临灾状态下道路实际承载能力,从而准确评估含空洞道路安全余量,为道路交通联动组织提供科学依据。

[0029] 本发明首次将脱空道路的结构安全余量与道路交通组织联系起来,从地下施工扰动控制方面,提高路网运行可靠性和韧性。通过地质雷达探测识别了道路下方弱区分布范围,为道路防塌预控方案设计提供有效指导。建立了基于道路安全余量的精准交通组织方案,提出了地上地下交通安全协同控制策略,从地上交通与地下施工两个层面开展道路防塌预控设计,形成地下地上交通空间安全风险预控与交通联动组织体系。运用流量管控、车道封闭、交通诱导等措施,提升地下、地上的交通联动组织防控能力,有助于生成应急调度方案,提升城市灾害快速处治能力。解决了地下交通空间与城市交通网安全衔接及联动组织问题,从而保障城市路网安全和提升路网韧性。

[0030] 本发明针对施工期地下空间下穿城市路网典型工况,集成研发地下空间施工振动对地上交通影响模拟试验系统,实现了振动的集中加载、分布加载,实现地下空间施工过程及对地上交通道路影响的连续动态模拟。

[0031] 为使本发明的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

附图说明

[0032] 构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0033] 图1是本发明安全余量评估方法及预控策略流程图。

[0034] 图2是装有集中力加载装置的模型箱正面示意图;

[0035] 图3为装有集中力加载装置的模型箱侧面示意图;

[0036] 图4为装有分布力加载装置的模型箱正面示意图;

[0037] 图5为装有分布力加载装置的模型箱侧面示意图;

[0038] 图6为监测断面传感器布设示意图;

[0039] 图7为边长为30mm的电阻应变砖示意图;

[0040] 图8为40cm×1.5cm的电阻应变条示意图;

[0041] 其中,1、砂土体;2、模型箱系统;3、激振器;4、空洞;5、刚性板;6、振动台;7、土压力计;8、加速度计;9、电阻应变砖或应变条;10、导线;11、立方体砖块;12、应变片;13、铝片。

具体实施方式:

[0042] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0043] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的相同含义。

[0044] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式

也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0045] 本实施例以TBM掘进施工为实施场景进行说明,但并不代表,本发明仅能适用在该场景。

[0046] 地下TBM施工下穿含空洞道路场景存在极大的安全隐患,针对上述问题,本实施例提出了一种TBM施工情景下脱空道路安全余量评估方法及地上地下联合预控策略。

[0047] 如图1所示,一种TBM施工情景下脱空道路安全余量评估方法,包括以下步骤:

[0048] 步骤1:采用地质雷达确定TBM施工段道路路基中空洞赋存形态,在本实施例中,具体为:

[0049] 通过地质雷达扫描TBM施工段上方道路,探明道路下方的弱区,包括空洞、水囊、不密实部位、裂缝。结合场区工程地质水文地质资料,查明地质特征及地下水分布情况,确定掘进道路下方弱区的展布形态、范围及具体位置,绘制素描图。通过地质雷达探测识别了道路下方弱区分布范围,为道路防塌预控方案设计提供有效指导。

[0050] 步骤2:确定空洞在地下施工振动下的发育过程及需考虑TBM施工振动的临界安全厚度,具体为:

[0051] 通过数值模拟及室内模型试验的方法研究振动波对空洞扩展的作用机制。

[0052] 依据素描图,使用离散元软件PFC建立道路结构离散元模型,使用TBM施工中现场实测振动波作为模型振动源,确定施工过程中振动波速和TBM掘进距离的定量关系。通过离散元软件PFC研究振动荷载作用下空洞发育过程,探究振动波的影响,之后提取破坏形态后导入有限元软件FLAC中计算。

[0053] 确定振动波速和TBM掘进距离的定量关系的方法为对工程现场实测TBM振动波速和日掘进距离进行数据拟合。离散元软件PFC中施加不同振动波速确定空洞发育规律,统计空洞扩展形态及体积,建立TBM掘进距离与空洞发育之间的关系,为地下预控策略的制定提供理论支撑。

[0054] PFC中振动波采用FISH语言编程,加载竖向振动波,考虑空洞规模及位置,确定出需要考虑施工振动的临界安全距离。临界安全距离的确定以有限元软件FLAC中隧道与空洞之间的岩土体塑性区贯通情况为依据,塑性区完全贯通说明岩土体完全失稳。

[0055] 之后针对不同因素下(不同的空洞规模及位置)得到的临界安全距离,对每种因素下所对应的临界安全距离开展一元回归分析,回归形式包括线性函数、幂函数、指数函数等,选取相关系数较大的函数形式进行拟合。利用多元回归分析方法分析最小安全距离与各因素之间的函数关系,得到多因素综合作用下的最小安全距离多元回归方程,建立最小安全距离预测数学模型,为隧道施工与空洞之间安全距离的预留提供理论指导。

[0056] 通过室内模型试验方法验证数值模拟结果,分别使用激振器及振动台从模型箱下方加载,研究振动作用下地层空洞发展规律,确定空洞长度、空洞跨度、空洞与振动源间距、空洞与振动源相对位置等因素对空洞周围土层稳定性的影响。

[0057] 开展模型试验装置搭建,由模型箱系统2、加载系统3和6、空洞系统4、监测系统等四部分构成。拟模拟长度为10米、宽度为3.5米的道路,填土路堤为2m,按照相似比原理,模型尺寸与实际道路尺寸为1:10,即图2中模型箱长度为1m,宽度为0.35m,砂土层高度为0.2m。通过埋设传感元件测试出空洞周围土体应力应变情况、路基顶部沉降时变规律、道路

下方不同深度处的竖向压应力、距离路面不同深度处的水平剪应力。

[0058] 模型箱系统2由亚克力板粘接而成,为了保证在振动荷载作用下模型箱安全,外边使用钢桁架予以加固。模型箱2中分层压实砂土层1,在这个过程中埋设传感器,通过改变砂土层1的厚度来调整空洞4与振动源3和6的间距,通过改变空洞位置调整空洞4与振动源3相对位置。道路结构相对于含空洞地层来讲可视为刚体,因此为了研究空洞在振动作用下发育形态,道路采用刚性板5模拟。空洞4采用橡胶气囊模拟,通过一个橡胶小管实现充气或放气。图2及图3中激振器3可以对模型箱底部加载集中力,图4及图5中振动台6可以对模型箱底部加载分布力,实现均匀加载。

[0059] 空洞系统共有10种形态,如表所示。一类空洞和二类空洞的设置是为了研究振动作用下多个小孔洞连通作用对道路实际承载力的影响。一类空洞、三类空洞和四类空洞的设置是为了研究振动作用下空洞长度对道路实际承载力的影响。一类空洞、五类空洞和六类空洞的设置是为了研究振动作用下空洞跨度对道路实际承载力的影响。一类空洞、七类空洞和八类空洞的设置是为了研究振动作用下空洞形状对道路实际承载力的影响。七类空洞、九类空洞和十类空洞的设置是为了研究振动作用下空洞埋深对道路实际承载力的影响。

类别	空洞参数
[0060]	1 一个长方体空洞,长*宽*高=0.1*0.05*0.05 m,路面下方埋深 0m
[0061]	2 两个长方体空洞,长*宽*高=0.11*0.05*0.05 m,间距为 0.05m,路面下方埋深 0m
	3 一个长方体空洞,长*宽*高=0.2*0.05*0.05 m,路面下方埋深 0m
	4 一个长方体空洞,长*宽*高=0.3*0.05*0.05 m,路面下方埋深 0m
	5 一个长方体空洞,长*宽*高=0.1*0.1*0.05 m,路面下方埋深 0m
	6 一个长方体空洞,长*宽*高=0.1*0.15*0.05 m,路面下方埋深 0m
	7 一个半球形空洞,半径=0.025 m,路面下方埋深 0m
	8 一个半球形空洞,半径=0.05 m,路面下方埋深 0m
	9 一个半球形空洞,半径=0.025 m,埋深为路面结构层下方 0.05m
	10 一个半球形空洞,半径=0.05 m,埋深为路面结构层下方 0.1m

[0062] 监测系统包括静态应变仪、分布式光纤应变解调仪、土压力计、加速度计、应变片、分布式光纤。共设置5个总监测断面,每个总监测断面测试内容包括应变、应力、位移、加速度,如图6。应变测量选用边长为30mm的立方体砖块及40cm×1.5cm应变条,制作完成电阻应变砖如图7,应变条如图8。岩土体位移采用分布式光纤测量,测量路基沉降时光纤粘结在路基,使光纤本身与路基同步变形。测量岩土体内部位移时,光纤随砂土体填筑时随之埋入其中。

[0063] 步骤3:基于空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,具体为:

[0064] 空洞的扩展形态为考虑TBM施工情景下最小安全距离位置处的最终发育形态,将所提取最终发育形态导入有限元软件FLAC中计算。

[0065] 车辆荷载形式包括静载及动载。对于静载,简化车辆荷载及其作用范围,调整荷载布置方式,以地层沉降及路面结构各层层底拉应力为判别指标,确定出静载作用下最不利车辆荷载。

[0066] 对于动载,通过有限元软件FLAC研究冲击荷载(垂直振动荷载)、匀速移动荷载、波动荷载(振动移动荷载)下路面结构响应规律,研究动载在道路各层中传递规律,计算交通荷载的影响深度,分析地表道路沉降与层间转移情况。在此基础上分析车辆荷载诱发道路破坏致灾机制,以路面结构层底拉应力为临界指标,确定动载作用下最不利车辆荷载工况。

[0067] 对于FLAC中荷载工况的说明:静载及其布设方式对应着现实中不同轴重、轴距的车辆停驶在空洞上方,动载中的匀速移动荷载代表着现实中不同类型的车辆分别以5m/s, 10m/s, 20m/s, 30m/s, 40m/s, 50m/s, 60m/s, 70m/s, 80m/s, 90m/s的速度匀速通过。动载中的冲击荷载代表着车辆通过空洞位置处发生跳车现象。波动荷载代表着空洞上方的路面具有一定的不平整度,车辆轮胎实际上是以一定的振幅和频率在路面上跳动前进。

[0068] 以路面结构层底拉应力为评判指标,统一动载、静载作用下最不利车辆荷载工况,建立道路结构破坏判据,得到临灾状态下道路实际承载能力。

[0069] 实施例二:

[0070] 一种TBM施工情景下地上、地下联动预控方法,除了实施例一提供的上述步骤,还包括步骤4:从地上交通与地下施工两个层面开展道路防塌预控设计,具体如下:

[0071] 针对地表交通,依据所建立的道路结构破坏判据,确定地上交通预控策略,包括道路加铺铁板的基础上控制许可通行车辆类型、车辆间距、车辆速度。

[0072] 在这里说明层底拉应力如何与实际防塌设计相联系:道路结构破坏判据以路面结构层底拉应力超过允许拉应力为标准,当抗拉强度不足时路面结构会逐层拉裂破坏,道路塌陷。路面各层产生的层底拉应力是道路上方加载后的结果,在静载及动载各个工况下会产生不同大小的层底拉应力。根据步骤1中的道路下方弱区分布范围素描图,在空洞上方区域预设车辆限速、限重标志,确保在道路实际承载能力范围内安全通行。当车辆通过弱区后,恢复正常的行驶速度。

[0073] 针对地下交通,依据振动波速与TBM掘进距离的定量关系,确定地下预控措施。在通过道路下方弱区时调整TBM掘进参数,控制掘进速度。在本实施例中,可以进行上述处理,使得TBM日掘进量调整为原来的百分之五十,降低机器振动对地层的扰动。

[0074] 实施例三:

[0075] 一种城市地下施工情景下脱空道路安全余量评估系统,包括:

[0076] 空洞确定模块,被配置为根据目标地下工程区域的探测结果,确定施工段道路路基中空洞赋存形态;

[0077] 临界值确定模块,被配置为利用模拟方法,模拟空洞在地下施工振动下的发育过程,基于模拟出的空洞规模及位置,确定考虑施工振动的临界安全距离;

[0078] 安全余量预估模块,基于模拟出的空洞扩展形态,确定行车最不利荷载工况,建立

道路破坏判据,确定临灾状态下道路实际承载能力,计算脱空道路安全余量。

[0079] 实施例四:

[0080] 一种电子设备,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成上实施例一或者实施例二的方法中的步骤。

[0081] 实施例五:

[0082] 一种计算机可读存储介质,用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成上实施例一或者实施例二的方法中的步骤。

[0083] 上述实施例中,各参数和具体装置的型号、参数均可以根据具体情况进行调整,均应属于本领域技术人员容易想到的。

[0084] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0085] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0086] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0087] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0088] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

[0089] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

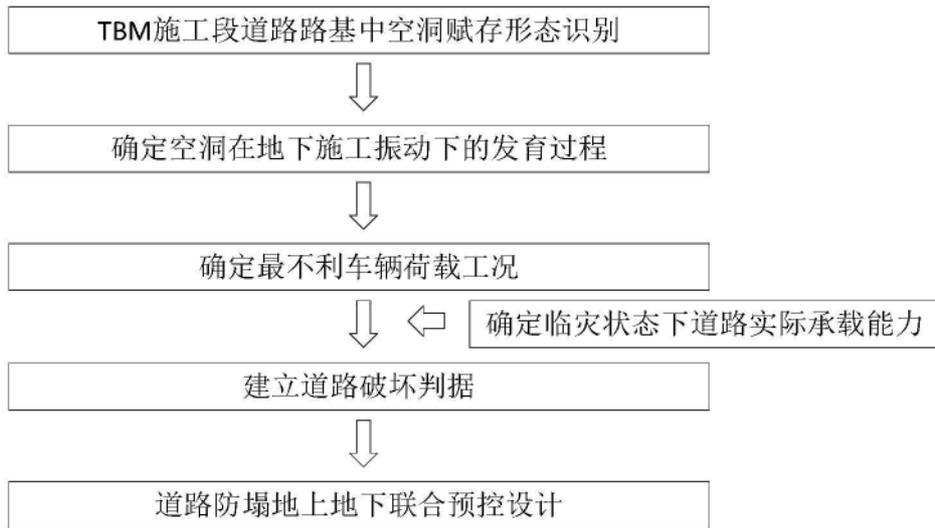


图1

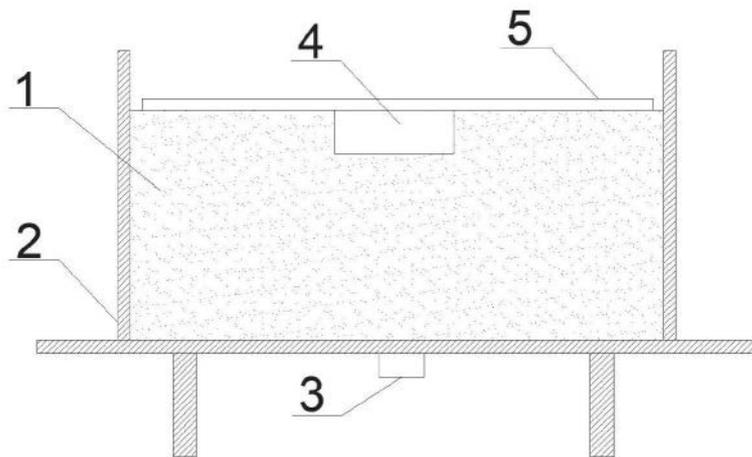


图2

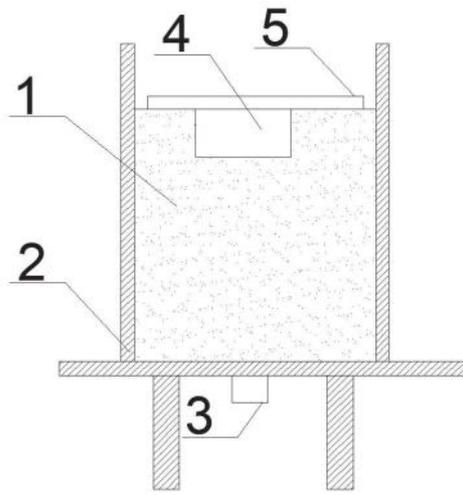


图3

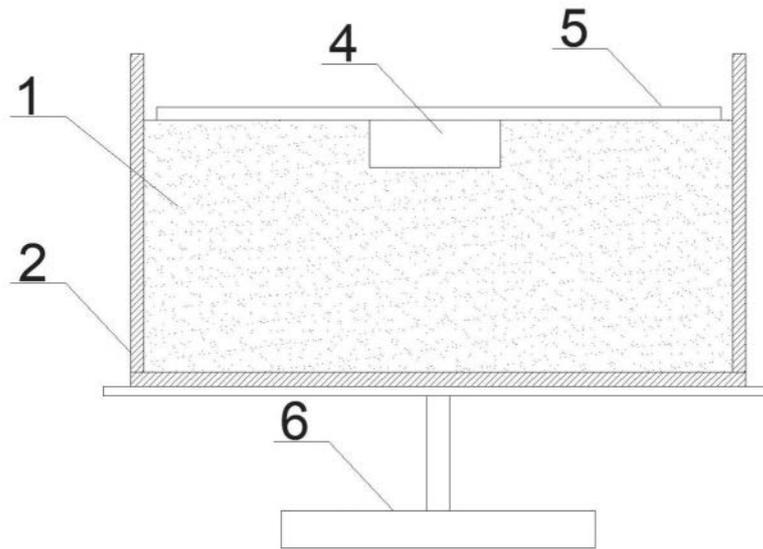


图4

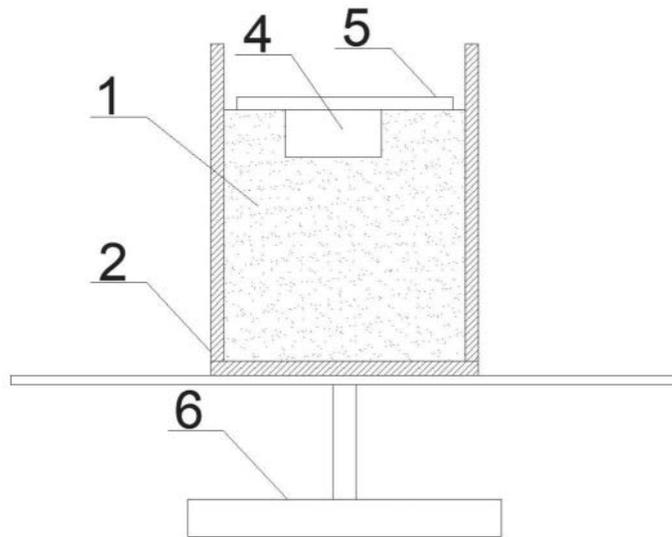


图5

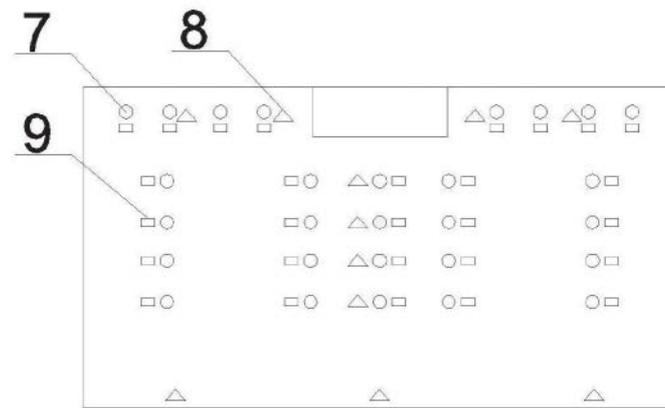


图6

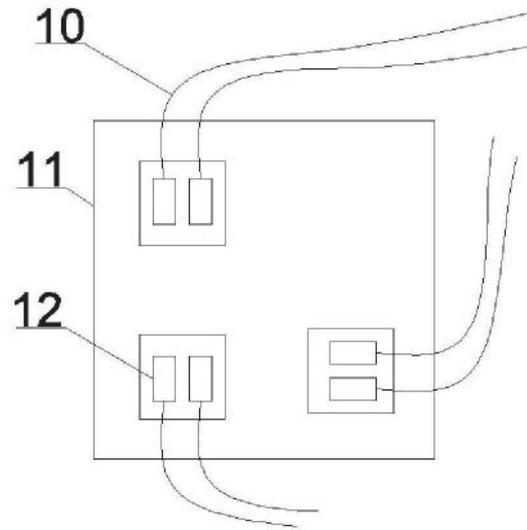


图7

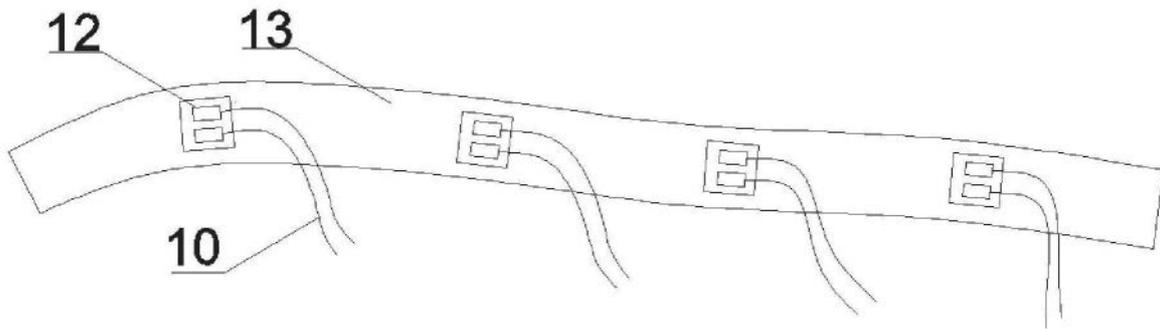


图8