



(10) 授权公告号 CN 118917136 B

(45) 授权公告日 2025.02.07

(21) 申请号 202410955518.4

(22) 申请日 2024.07.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118917136 A

(43) 申请公布日 2024.11.08

(73) 专利权人 西南交通大学

地址 610000 四川省成都市二环路北一段

专利权人 中化学交通建设集团第一工程有限公司

中化学交通建设集团有限公司

(72) 发明人 汪波 刘建华 蒋付林 李滔

欧志强 马永飞 蔡金洋 王兴煜

高筠涵

(74) 专利代理机构 成都四合天行知识产权代理有限公司 51274

专利代理师 张超

(51) Int.Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

G01N 3/24 (2006.01)

G01N 3/02 (2006.01)

G01M 13/00 (2019.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 119/02 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 103439200 A, 2013.12.11

CN 104655820 A, 2015.05.27

审查员 刘佳

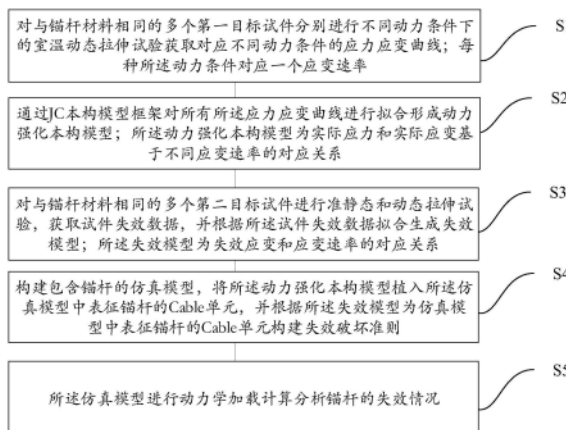
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统,方法包括:进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取应力应变曲线;通过J-C本构模型框架对所有应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;获取试件失效数据,并根据试件失效数据拟合生成失效模型;将动力强化本构模型植入仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;对仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况。本发明一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统,将动力强化材料特性的植入到了数值仿真软件的Cable单元中,填补了目前数值仿真软件针对锚杆的动力强化特性模拟方面的空白。



1. 一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法,其特征在于,包括:

对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线;每种所述动力条件对应一个应变速率;

通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验,获取试件失效数据,并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型;所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

构建包含锚杆的仿真模型,将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;

对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况;

根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则包括:

根据下式构建失效破坏准则:

$$D = \sum \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_f}$$

式中, ε_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑性应变增量, ε_f 为失效应变,当损伤参数 $D < 1$ 时,Cable单元的实际应变小于失效应变,Cable单元正常工作; $D = 1$ 时,即认为Cable单元对应的材料失效。

2. 根据权利要求1所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法,其特征在于,所述动力强化本构模型根据下式构建:

$$\sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\dot{\varepsilon}'}{\varepsilon_0'})$$

式中, σ 为实际应力, ε 为实际应变, $\dot{\varepsilon}'$ 为应变速率, ε_0' 为参考应变速率,取 0.001s^{-1} 。

3. 根据权利要求1所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法,其特征在于,所述失效模型根据下式构建:

$$\varepsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)](1 - 0.017 \ln \dot{\varepsilon}')$$

式中, ε_f 为失效应变, $\dot{\varepsilon}'$ 为应变速率。

4. 根据权利要求1所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法,其特征在于,对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况包括:

对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

5. 一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统,其特征在于,包括:

试验单元,被配置为对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线;每种所述动力条件对应一个应变速率;

本构单元,被配置为通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

失效单元,被配置为对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验,获取试件失效数据,并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型;所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

仿真单元,被配置为构建包含锚杆的仿真模型,将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;

计算单元,被配置为对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况;

所述仿真单元还被配置为,根据下式构建失效破坏准则:

$$D = \sum \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_f}$$

式中, ε_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑性应变增量, ε_f 为失效应变,当损伤参数 $D < 1$ 时,Cable单元的实际应变小于失效应变,Cable单元正常工作; $D = 1$ 时,即认为Cable单元对应的材料失效。

6.根据权利要求5所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统,其特征在于,所述本构单元还被配置为,根据下式构建所述动力强化本构模型:

$$\sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0'})$$

式中, σ 为实际应力, ε 为实际应变, ε' 为应变速率, ε_0' 为参考应变速率,取 $0.001s^{-1}$ 。

7.根据权利要求5所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统,其特征在于,所述失效单元还被配置为根据下式构建所述失效模型:

$$\varepsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)](1 - 0.017 \ln \varepsilon')$$

式中, ε_f 为失效应变, ε' 为应变速率。

8.根据权利要求5所述的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统,其特征在于,所述计算单元还被配置为:

对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及岩爆智能分析技术,具体涉及一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统。

背景技术

[0002] 在深埋硬质岩体开挖施工过程中,由于隧洞的开挖导致围岩切向应力增加的同时轴向应力大幅减小,导致附近存在的某些原生断层的剪切强度降低。当断层滑动面上的剪切力大于其剪切强度时,断层就会突然产生滑动从而引发地震波。从而诱发形成矿震型岩爆。若不加以防治将会严重危害施工人员、设备的生命财产安全。目前针对岩爆防治的支护材料主要是采用普通静力学材料(钢材、纤维材料等),同时动力强化材料由于在高应变率、动力条件下优异的力学性能,也逐步被岩爆防治领域的工程技术人员所重视。考虑到空间大尺度岩爆模拟在做实际模型实验比较困难也比较危险,目前多采用数值仿真的方式研究不同支护形式的岩爆防治效果。然而传统的数值仿真软件未考虑锚杆材料的动力强化特性,以静态强度应对动态问题,在进行采用动力强化材料的支护形式的研究时,无法有效体现材料的实际工作情况,模拟结果与实际情况差异较大。

发明内容

[0003] 为了至少克服现有技术中的上述不足,本申请的目的在于提供一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析及系统。

[0004] 第一方面,本申请实施例提供了一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法,包括:

[0005] 对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线;每种所述动力条件对应一个应变速率;

[0006] 通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

[0007] 对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验,获取试件失效数据,并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型;所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

[0008] 构建包含锚杆的仿真模型,将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;

[0009] 对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况。

[0010] 本申请实施例实施时,锚杆所使用的材料一般为动力强化材料,所以不同的动力学条件下材料表现出的力学性能有差异,其主要表征在不同的动力条件下应力应变关系会发生变化,其是由于在不同的应变速率下材料本身会出现不同的应变硬化效应和动力强化效应。所以在本申请实施例中,需要进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验,以获取进行本构模型构建的数据。示例的,利用分离式霍普金森拉杆试验装置进行室温动态拉伸试验

以获取不同动力条件下的应力应变曲线。

[0011] 在本申请实施例中,为了保证构建的动力强化本构模型的准确性,需要基于J-C本构模型框架进行拟合生成动力强化本构模型。在动力强化本构模型中,可以将实际应力理解为因变量,而将实际应变和应变速率理解为自变量,从而实现数据的输入和输出。考虑到具有动力强化特性材料的极限强度是随着应变率的变化而变化的,采用传统的静态破坏准则,比如最大应变准则、最大应力准则、摩尔库伦准则等,无法有效描述该材料的动态破坏情况,为此引入了累计损伤准则,在本申请实施例中通过准静态和动态拉伸试验获取相应数据并拟合形成失效模型;失效模型中,可以将失效力表征为因变量,将应变速率表征为自变量,从而实现数据的输入和输出。

[0012] 在本申请实施例中,可以通过动力强化本构模型和失效模型植入仿真模型形成Cable单元的失效破坏准则。目前在各类数值仿真软件中针对于锚杆(索)单元的模拟主要采用结构单元中的Cable单元。Cable单元属于一维线型结构单元,由两个节点和中间具有相同横截面和材料参数的直线段组成。目前Cable单元针对静力条件下锚杆受力破坏模拟已经比较成熟,但是对于动力强化材料模拟分析还处于研究阶段。

[0013] 具体的,基于C++语言进行程序编译,并将本构模型和动力失效模型嵌入到数值模拟软件中进行二次开发,以研究动力强化特性材料在实际工程条件下的工作情况,其中包括

[0014] 利用ModelCable::ModelCable()函数进行变量构造,并进行整体变量和过程变量的初始化;

[0015] 利用StringModelCable::getProperties()函数将定义的变量与数值模拟软件中的参数关键字进行交互;

[0016] 利用Variant ModelCable::getProperty(UInt index)函数返回包含模型属性的字符串并进行赋值;

[0017] 利用getStrainIncrement()函数获取单元应变增量矩阵,由具体形式如下:

$$[0018] \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$$

[0019] 注: $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$ 分别为x,y,z轴应变增量, $\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21}, \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31}, \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32}$ 分别为xy,xz,yz方向切应变,由于Cable单元属于一维单元,, $\varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$ 以及剪切应变均为零;

[0020] 利用getStrainRate()函数获取单元应变率;

[0021] 将动力强化本构模型植入到程序中,根据应变增量、静态应变率和实际应变率计算得出应力增量,并返回到数值计算软件中;

[0022] 根据实际应变率和应力三轴度计算得出失效应变,结合计算出的实际应变计算损伤参数D,D<1时返回程序继续计算,D>1时通过将单元截面面积返回值为零,实现锚杆断裂失效情况;

[0023] 将程序进行封装测试并嵌入到数值模拟软件中。

[0024] 在一种可能的实现方式中,所述动力强化本构模型根据下式构建:

$$[0025] \quad \sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0})$$

[0026] 式中, σ 为实际应力, ε 为实际应变, ε' 为应变速率, ε'_0 为参考应变速率, 取 0.001s^{-1} 。

[0027] 在一种可能的实现方式中, 所述失效模型根据下式构建:

$$[0028] \quad \varepsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)](1 - 0.017 \ln \varepsilon')$$

[0029] 式中, ε_f 为失效应变, ε' 为应变速率。

[0030] 在一种可能的实现方式中, 根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则包括:

[0031] 根据下式构建失效破坏准则:

$$[0032] \quad D = \sum \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_f}$$

[0033] 式中, ε_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑形应变增量, 当损伤参数 $D < 1$ 时, Cable单元的实际应变小于失效应变, Cable单元正常工作; $D = 1$ 时, 即认为Cable单元对应的材料失效。

[0034] 在一种可能的实现方式中, 对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况包括:

[0035] 对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

[0036] 根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

[0037] 第二方面, 本申请实施例还提供了一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统, 包括:

[0038] 试验单元, 被配置为对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线; 每种所述动力条件对应一个应变速率;

[0039] 本构单元, 被配置为通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型; 所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

[0040] 失效单元, 被配置为对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验, 获取试件失效数据, 并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型; 所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

[0041] 仿真单元, 被配置为构建包含锚杆的仿真模型, 将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元, 并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;

[0042] 计算单元, 被配置为对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况。

[0043] 在一种可能的实现方式中, 所述本构单元还被配置为, 根据下式构建所述动力强化本构模型:

$$[0044] \quad \sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0})$$

[0045] 式中, σ 为实际应力, ϵ 为实际应变, ϵ' 为应变速率, ϵ'_0 为参考应变速率,取 $0.001s^{-1}$ 。

[0046] 在一种可能的实现方式中,所述失效单元还被配置为根据下式构建所述失效模型:

[0047]
$$\epsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)] (1 - 0.017 \ln \epsilon')$$

[0048] 式中, ϵ_f 为失效应变, ϵ' 为应变速率。

[0049] 在一种可能的实现方式中,所述仿真单元还被配置为,根据下式构建失效破坏准则:

[0050]
$$D = \sum \frac{\epsilon_t}{\epsilon_f}$$

[0051] 式中, ϵ_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑形应变增量,当损伤参数 $D < 1$ 时,Cable单元的实际应变小于失效应变,Cable单元正常工作; $D = 1$ 时,即认为Cable单元对应的材料失效。

[0052] 在一种可能的实现方式中,所述计算单元还被配置为:

[0053] 对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

[0054] 根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

[0055] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0056] 本发明一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法及系统,将动力强化材料特性的植入到了数值仿真软件的Cable单元中,填补了目前数值仿真软件针对锚杆的动力强化特性模拟方面的空白。本发明以现有的数值仿真软件中的Cable单元为基础,建立健全了一整套以动力强化特性材料为基石的新型锚杆(索)工作、评价体系。本发明创新性的提出一种植入动力强化特性的Cable单元,采用该单元的锚杆相较于采用原有静力学材料的锚杆,在面临矿震地震波冲击时,新型锚杆可以提供更高的极限强度和极限塑性应变,从而吸收更多的冲击能量,释放岩石中的应变能,以动力学的角度进行矿震型岩爆的有效防治与实施。

附图说明

[0057] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0058] 图1为本申请实施例方法步骤示意图;

[0059] 图2为本申请实施例采用植入动力强化特性Cable单元的锚杆在矿震条件下的模拟示意图;

[0060] 图3为本申请实施例采用植入动力强化特性Cable单元的锚杆在矿震条件下的模拟示意图。

[0061] 附图中标记及对应的零部件名称:

[0062] 1-原生断层;2-地震波发射源;3-支护锚杆;4-开挖洞室;5-原始岩体。

具体实施方式

[0063] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,应当理解,本申请中附图

仅起到说明和描述的目的,并不用于限定本申请的保护范围。另外,应当理解,示意性的附图并未按实物比例绘制。本申请中使用的流程图示出了根据本申请实施例的一些实施例实现的操作。应该理解,流程图的操作可以不按顺序实现,没有逻辑的上下文关系的步骤可以反转顺序或者同时实施。此外,本领域技术人员在本申请内容的指引下,可以向流程图添加一个或多个其它操作,也可以从流程图中移除一个或多个操作。

[0064] 另外,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。因此,以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围,而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施例,都属于本申请保护的范围。

[0065] 请结合参阅图1为本发明实施例所提供的一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法的流程示意图,进一步地,所述一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析方法具体可以包括以下步骤S1-步骤S5描述的内容。

[0066] S1:对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线;每种所述动力条件对应一个应变速率;

[0067] S2:通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

[0068] S3:对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验,获取试件失效数据,并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型;所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

[0069] S4:构建包含锚杆的仿真模型,将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则;

[0070] S5:所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况。

[0071] 本申请实施例实施时,锚杆所使用的材料一般为动力强化材料,所以不同的动力学条件下材料表现出的力学性能有差异,其主要表征在不同的动力条件下应力应变关系会发生变化,其是由于在不同的应变速率下材料本身会出现不同的应变硬化效应和动力强化效应。所以在本申请实施例中,需要进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验,以获取进行本构模型构建的数据。示例的,利用分离式霍普金森拉杆试验装置进行室温动态拉伸试验以获取不同动力条件下的应力应变曲线。

[0072] 在本申请实施例中,为了保证构建的动力强化本构模型的准确性,需要基于J-C本构模型框架进行拟合生成动力强化本构模型。在动力强化本构模型中,可以将实际应力理解为因变量,而将实际应变和应变速率理解为自变量,从而实现数据的输入和输出。考虑到具有动力强化特性材料的极限强度是随着应变率的变化而变化的,采用传统的静态破坏准则,比如最大应变准则、最大应力准则、摩尔库伦准则等,无法有效描述该材料的动态破坏情况,为此引入了累计损伤准则,在本申请实施例中通过准静态和动态拉伸试验获取相应数据并拟合形成失效模型;失效模型中,可以将失效应力表征为因变量,将应变速率表征为自变量,从而实现数据的输入和输出。

[0073] 在本申请实施例中,可以通过动力强化本构模型和失效模型植入仿真模型形成

Cable单元的失效破坏准则。目前在各类数值仿真软件中针对于锚杆(索)单元的模拟主要采用结构单元中的Cable单元。Cable单元属于一维线型结构单元,由两个节点和中间具有相同横截面和材料参数的直线段组成。目前Cable单元针对静力条件下锚杆受力破坏模拟已经比较成熟,但是对于动力强化材料模拟分析还处于研究阶段。

[0074] 具体的,基于C++语言进行程序编译,并将本构模型和动力失效模型嵌入到数值模拟软件中进行二次开发,以研究动力强化特性材料在实际工程条件下的工作情况,其中包括

[0075] 利用ModelCable::ModelCable()函数进行变量构造,并进行整体变量和过程变量的初始化;

[0076] 利用String ModelCable::getProperties()函数将定义的变量与数值模拟软件中的参数关键字进行交互;

[0077] 利用Variant ModelCable::getProperty(UInt index)函数返回包含模型属性的字符串并进行赋值;

[0078] 利用getStrainIncrement()函数获取单元应变增量矩阵,由具体形式如下:

$$[0079] \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$$

[0080] 注: $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$ 分别为x,y,z轴应变增量, $\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21}, \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31}, \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32}$ 分别为xy,xz,yz方向切应变,由于Cable单元属于一维单元,, $\varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$ 以及剪切应变均为零;

[0081] 利用getStrainRate()函数获取单元应变率;

[0082] 将动力强化本构模型植入到程序中,根据应变增量、静态应变率和实际应变率计算得出应力增量,并返回到数值计算软件中;

[0083] 根据实际应变率和应力三轴度计算得出失效应变,结合计算出的实际应变计算损伤参数D,D<1时返回程序继续计算,D>1时通过将单元截面积返回值为零,实现锚杆断裂失效情况;

[0084] 将程序进行封装测试并嵌入到数值模拟软件中。

[0085] 在一种可能的实现方式中,所述动力强化本构模型根据下式构建:

$$[0086] \sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0})$$

[0087] 式中, σ 为实际应力, ε 为实际应变, ε' 为应变速率, ε'_0 为参考应变速率,取 $0.001s^{-1}$ 。

[0088] 本申请实施例实施时,为了充分体现该材料动力强化特性,需要通过对不同应变率下的光滑圆棒试件的进行室温动态拉伸试验,从而获取一系列不同动力条件下的应力-应变曲线。为了充分考虑材料的应变硬化效应和动力强化效应,引用J-C本构模型框架对实验结果进行拟合,从而确定了具有动力强化特性的本构方程。

[0089] 在一种可能的实现方式中,所述失效模型根据下式构建:

$$[0090] \varepsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)] (1 - 0.017 \ln \varepsilon')$$

[0091] 式中, ε_f 为失效应变, ε' 为应变速率。

[0092] 本申请实施例实施时,考虑到具有动力强化特性材料的极限强度是随着应变率的

变化而变化的,采用传统的静态破坏准则,比如最大应变准则、最大应力准则、摩尔库伦准则等,无法有效描述该材料的动态破坏情况。为此引入了累计损伤准则,通过光滑圆棒试样和缺口试样的准静态和动态拉伸试验,建立了材料的失效模型。

[0093] 在一种可能的实现方式中,根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable单元构建失效破坏准则包括:

[0094] 根据下式构建失效破坏准则:

[0095]
$$D = \sum \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_f}$$

[0096] 式中, ε_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑形应变增量,当损伤参数 $D < 1$ 时,Cable单元的实际应变小于失效应变,Cable单元正常工作; $D = 1$ 时,即认为Cable单元对应的材料失效。

[0097] 在一种可能的实现方式中,对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况包括:

[0098] 对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

[0099] 根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

[0100] 本申请实施例实施时,为了分析植入动力强化特性的Cable单元在动力条件下的性能表现以及对于岩爆的防治效果,在数值仿真软件中建立有限元计算模型,进行隧道矿震岩爆模拟。如图2,通过人工输入地震波模拟开挖导致的断层滑移产生的地震波,分析采用植入动力强化特性的Cable单元锚杆和原锚杆在不同动力条件下的破坏状态从而确定岩爆的防治效果。最终结果如图3所示,采用原Cable单元的锚杆由于是静力材料,在面对不同应变率下的表现没有差别,而采用植入动力强化特性的Cable单元锚杆的在面对高应变率条件下相较于静力材料锚杆具有更高的极限强度与应变,符合动力强化材料的实际特性。从能量角度来看,治理岩爆的关键是把造成岩爆的那部分能量吸收掉,通过支护构件(锚杆)吸能是耗散这部分能量的重要途径。采用植入动力强化材特性的Cable单元的锚杆在面临岩爆时能够依靠自身高强度和高延性的特性吸收更多的能量,从而降低岩石中的应变能聚集程度,达到相比静力材料锚杆更好的岩爆防治效果。

[0101] 第二方面,本申请实施例还提供了一种矿震型岩爆条件下锚杆失效分析系统,包括:

[0102] 试验单元,被配置为对与锚杆材料相同的多个第一目标试件分别进行不同动力条件下的室温动态拉伸试验获取对应不同动力条件的应力应变曲线;每种所述动力条件对应一个应变速率;

[0103] 本构单元,被配置为通过J-C本构模型框架对所有所述应力应变曲线进行拟合形成动力强化本构模型;所述动力强化本构模型为实际应力和实际应变基于不同应变速率的对应关系;

[0104] 失效单元,被配置为对与锚杆材料相同的多个第二目标试件进行准静态和动态拉伸试验,获取试件失效数据,并根据所述试件失效数据拟合生成失效模型;所述失效模型为失效应变和应变速率的对应关系;

[0105] 仿真单元,被配置为构建包含锚杆的仿真模型,将所述动力强化本构模型植入所述仿真模型中表征锚杆的Cable单元,并根据所述失效模型为仿真模型中表征锚杆的Cable

单元构建失效破坏准则；

[0106] 计算单元,被配置为对所述仿真模型进行动力学加载计算分析锚杆的失效情况。

[0107] 在一种可能的实现方式中,所述本构单元还被配置为,根据下式构建所述动力强化本构模型:

$$[0108] \quad \sigma = [192 + 218.3\varepsilon^{0.37056}](1 + 0.015 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0})$$

[0109] 式中, σ 为实际应力, ε 为实际应变, ε' 为应变速率, ε'_0 为参考应变速率,取 $0.001s^{-1}$ 。

[0110] 在一种可能的实现方式中,所述失效单元还被配置为根据下式构建所述失效模型:

$$[0111] \quad \varepsilon_f = [0.806 - 2.308 \times 10^{-5} \exp(6.344)](1 - 0.0171 \ln \varepsilon')$$

[0112] 式中, ε_f 为失效应变, ε' 为应变速率。

[0113] 在一种可能的实现方式中,所述仿真单元还被配置为,根据下式构建失效破坏准则:

$$[0114] \quad D = \sum \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_f}$$

[0115] 式中, ε_t 为所述仿真模型中计算出的等效塑形应变增量,当损伤参数 $D < 1$ 时,Cable单元的实际应变小于失效应变,Cable单元正常工作; $D = 1$ 时,即认为Cable单元对应的材料失效。

[0116] 在一种可能的实现方式中,所述计算单元还被配置为:

[0117] 对所述仿真模型输入地震波进行动力学模拟计算;

[0118] 根据计算中锚杆对应的Cable单元的失效情况进行锚杆失效分析。

[0119] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0120] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另外,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口、装置或单元的间接耦合或通信连接,也可以是电的,机械的或其它的形式连接。

[0121] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显然本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术

人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0122] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以是两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0123] 所述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分,或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0124] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

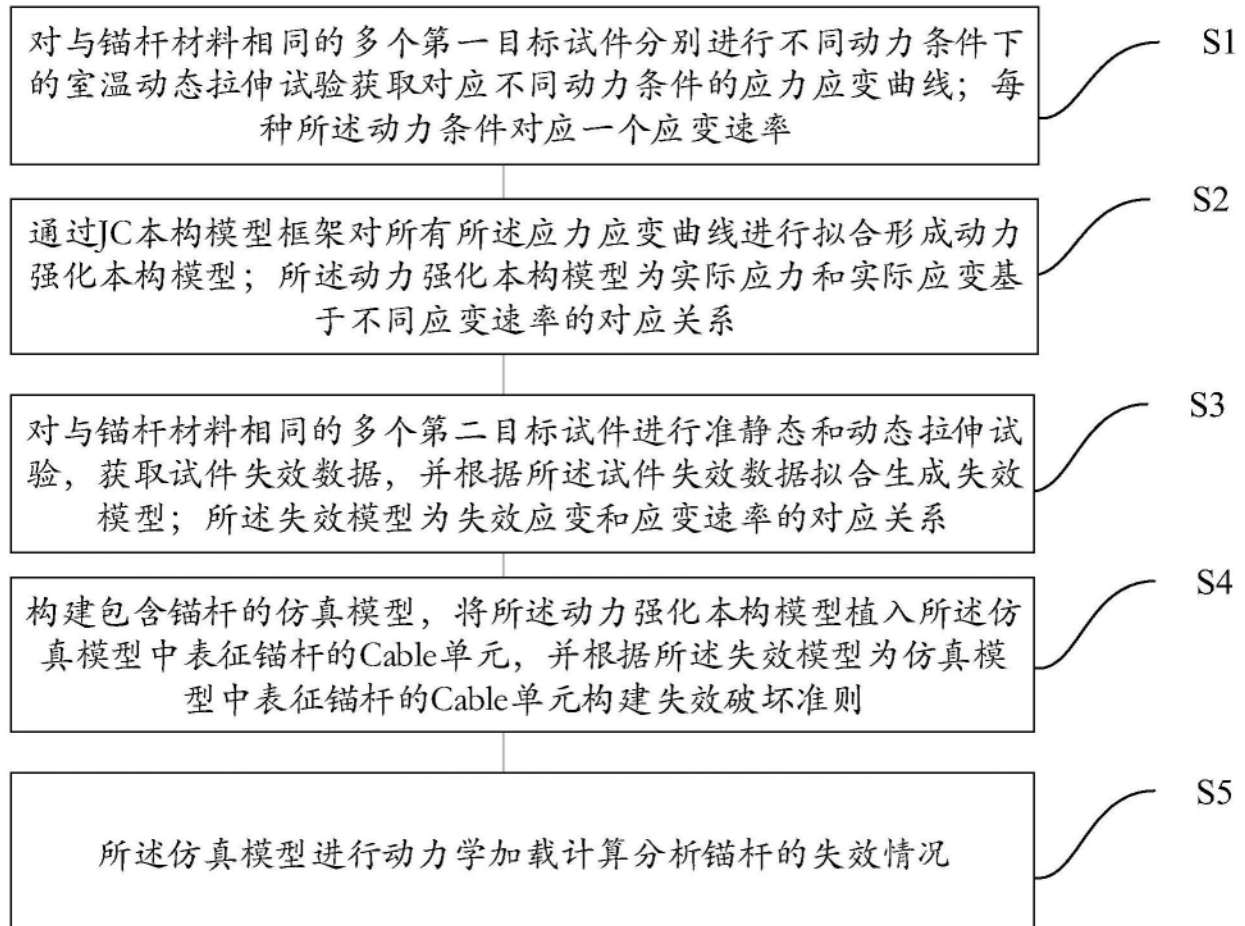


图1

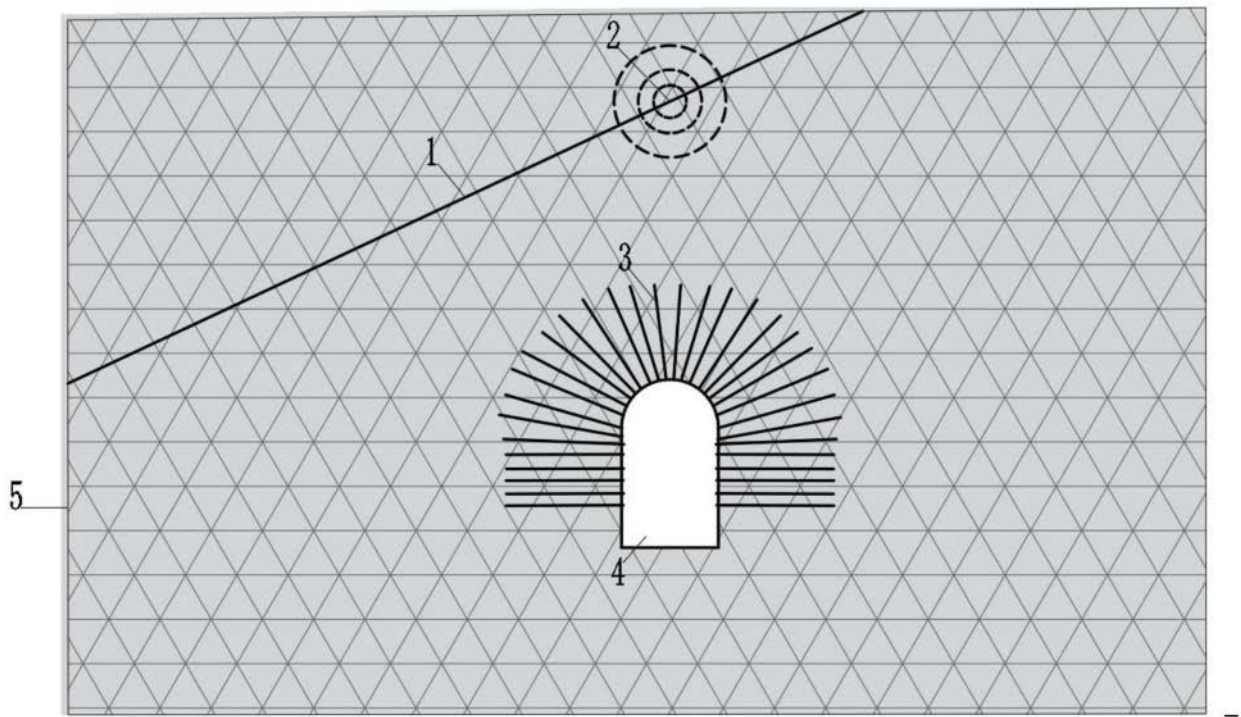


图2

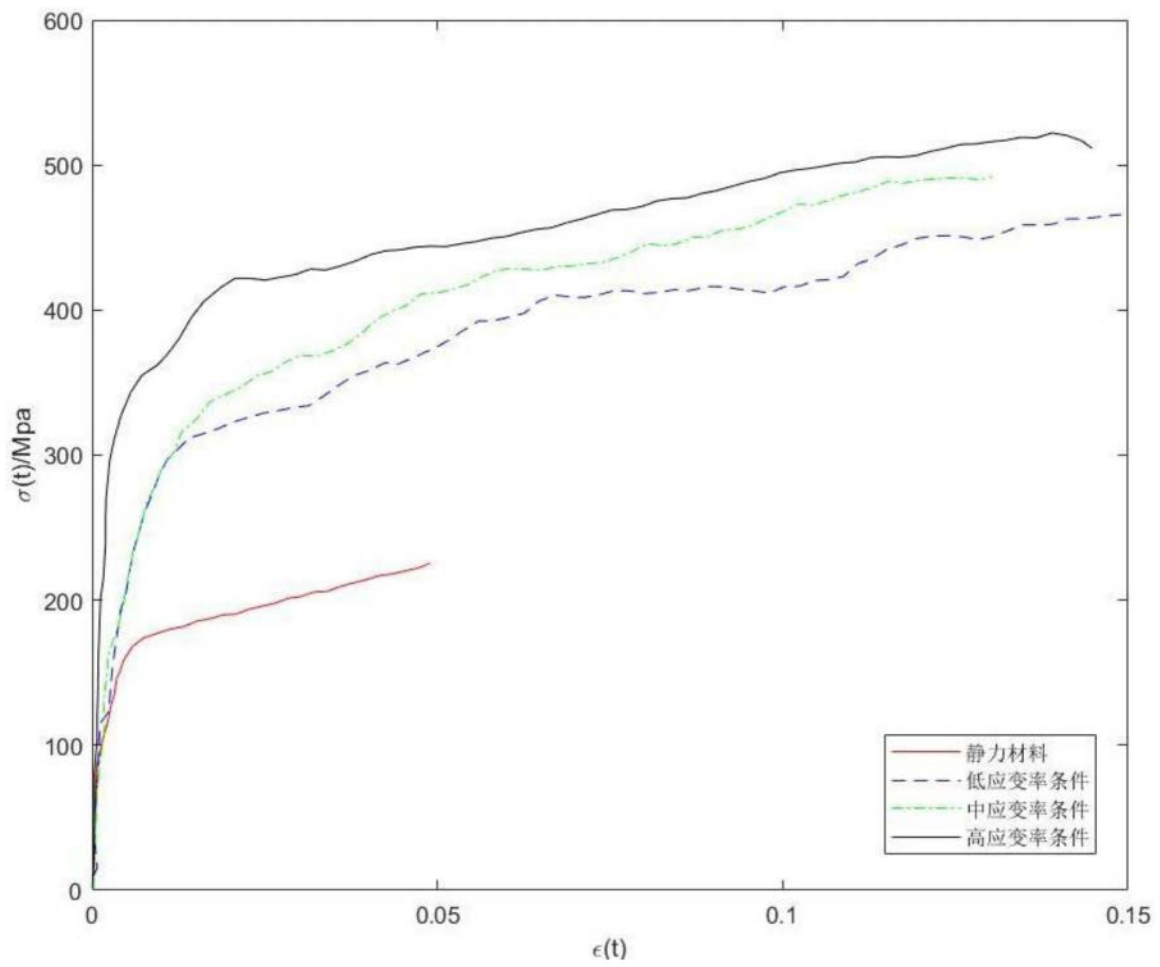


图3