

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2025 年 1 月 9 日 (09.01.2025)



(10) 国际公布号  
WO 2025/007726 A1

- (51) 国际专利分类号:  
G06F 30/20 (2020.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2024/099364
- (22) 国际申请日: 2024 年 6 月 14 日 (14.06.2024)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
202310825839.8 2023年7月6日 (06.07.2023) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY) [CN/  
CN]; 中国山东省济南市历下区经十路 17923  
号, Shandong 250061 (CN)。
- (72) 发明人: 李利平 (LI, Liping); 中国山东省济南市  
历下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。  
周宗青 (ZHOU, Zongqing); 中国山东省济南市历  
下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。高

成路 (GAO, Chenglu); 中国山东省济南市历下  
区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。白  
松松 (BAI, Songsong); 中国山东省济南市历下  
区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。靳  
高汉 (JIN, Gaohan); 中国山东省济南市历下区  
经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。刘洪  
亮 (LIU, Hongliang); 中国山东省济南市历下区  
经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。成帅  
(CHENG, Shuai); 中国山东省济南市历下区经  
十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。商成顺  
(SHANG, Chengshun); 中国山东省济南市历下区  
经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司 (JINAN  
SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY  
CO., LTD.); 中国山东省济南市历下区经十路 17703  
号华特广场 B510 室, Shandong 250014 (CN)。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SIMULATION BASED ON IDENTIFICATION OF ROCK MASS STRUCTURAL PLANE AND PREDICTION OF MECHANICS PARAMETER

(54) 发明名称: 基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统

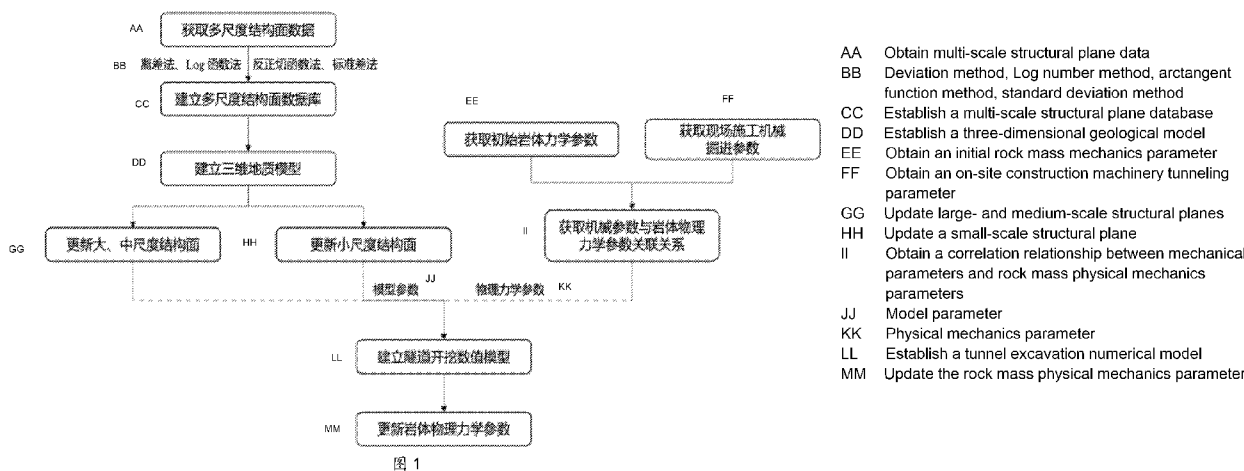


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present invention are a method and system for simulation based on identification of a rock mass structural plane and prediction of a mechanics parameter. The method comprises: obtaining rock mass multi-scale structural plane data and a rock mass physical mechanics parameter at a tunnel construction site; according to the rock mass multi-scale structural plane data, constructing a tunnel construction numerical calculation model; inputting the rock mass physical mechanics parameter into the tunnel construction numerical calculation model, and performing tunnel excavation numerical simulation; during simulation, obtaining a real-time tunneling parameter of construction machinery; according to the real-time tunneling parameter of the construction machinery and a correlation model between tunneling parameters and rock mass physical mechanics parameters, obtaining a predicted physical mechanics parameter of a rock mass in front of a tunneling point; and updating the tunnel construction numerical calculation model by means of the predicted physical mechanics parameter of the rock mass in front of the tunneling point. The accurate simulation of excavation of a tunnel is implemented.

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统, 包括: 获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数; 根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型; 将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中, 进行隧道开挖数值模拟; 在模拟过程中, 获取施工机械的实时掘进参数; 根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型, 获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数; 通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。实现了对隧道开挖的准确模拟。

## 基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统

### 相关申请的交叉引用

本发明要求于2023年7月6日提交中国国家知识产权局、申请号为202310825839.8、发明名称为“基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本发明中并构成本发明的一部分，用于所有目的。

### 技术领域

本发明涉及岩土工程建模与数值仿真技术领域，尤其涉及基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统。

### 背景技术

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。

隧道与地下工程中存在大量的断层、软弱夹层、裂隙、节理等结构面，工程结构十分复杂。自然界中的地质体经过漫长的历史演变，在时间和空间上表现出很强的规律性，但是由于断层、褶皱、尖灭等特殊地质现象的存在，地质特征也具有十分明显的复杂性、差异性与不确定性。因此，地质空间是一个非直见、非连续性、非均质、非参数化的三维空间。

岩体多尺度结构面主要通过钻探、物探等方法进行获取，在进行建模时通常需要对不同探测方法获得的多种格式数据进行融合。目前在地质模拟时，往往是基于参数化建模技术、剖切面加平面地质图、多层 DEMs-QTP 面体混合数据等方法，根据获得的结构面数据建立相应的三维地质模型进

行地质模拟。

岩体由岩石与结构面组成，在针对隧道与地下工程的数值模拟中，一种通常只采用一套物理力学参数，或仅根据风化、破碎程度对同一种岩层进行区分，并未考虑到岩体受结构面的影响产生的物理力学参数变化，进而使模拟结果不准确，无法精确反映地质体的真实形态与属性。

## 发明内容

本发明为了解决上述问题，提出了基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法及系统，在隧道开挖数值模拟过程中，获取了掘进点前方岩体的预测物理力学参，并通过预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新，保证了隧道开挖数值模拟的准确性。

为实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

第一方面，提出了基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，包括：

获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数；

根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型；

将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；

在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；

根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；

通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

第二方面，提出了基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟系统，包括：

数据获取模块，用于获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数；

模型构建模块，用于根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型；

隧道开挖数值模拟模块，用于将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

第三方面，提出了一种电子设备，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，完成基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法所述的步骤。

第四方面，提出了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，完成基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法所述的步骤。

与现有技术相比，本发明的有益效果为：

1、本发明在进行隧道开挖数值模拟时，考虑了岩体受结构面的影响产生的物理力学参数变化，通过获取实时掘进参数来预测获取掘进点前方岩体的预测物理力学参数，进而通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新，保证了隧道开挖数值模拟的准确性。

2、本发明在构建隧道施工数值计算模型时，还对多尺度结构面进行了动态更新，保证构建的隧道施工数值计算模型能够更真实的模拟岩体，从而保证隧道开挖数值模拟的准确性。

本发明附加方面的优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本发明的实践了解到。

## 附图说明

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

图1为实施例1公开方法中岩体物理力学参数更新流程图；

图2为实施例1中多尺度结构面更新示意图；

图3为实施例1中公开的掘进参数与岩体物理力学参数关系示意图；

图4为实施例1中公开的岩体物理力学参数更新时机判定示意图。

## 具体实施方式

下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

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

### 实施例1

在该实施例中，公开了基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，如图1-图4所示，包括：

S1：获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数。

多尺度结构面主要包括：断层、层间错动、软弱夹层、层面、节理裂

隙五类，获取方法及数据内容如表 1 所示。

表 1 多尺度结构面数据获取方法

| 类型   | 采集方法<br>(精细程度从低到高) | 数据内容         |
|------|--------------------|--------------|
| 断层   | 卫星遥感>航空瞬变电磁>地质勘探>  | 层位、规模        |
|      | 物探或钻探              | 产状（走向、倾角、宽度） |
| 层间错动 | 航空瞬变电磁>地质勘探>物探或钻探  | 位置、厚度        |
| 软弱夹层 | 地质勘探>物探/钻探         | 埋深、厚度        |
| 层面   | 物探或钻探              | 埋深           |
| 节理裂隙 | 三维激光扫描             | 走向、倾角、密度     |

上述多尺度结构面精度划分如图 2 所示。

获取的岩体物理力学参数包括岩石的密度、弹性模量、泊松比、内聚力和内摩擦角等参数。

S2：根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型，包括：  
根据岩体多尺度结构面数据构建岩体多尺度结构面的三维地质模型；  
对构建的三维地质模型进行网格剖分，构建获得隧道施工数值计算模型。

为了保证岩体多尺度结构面的三维地质模型的准确性，在构建岩体多尺度结构面的三维地质模型时，首先，根据岩体多尺度结构面数据构建岩体多尺度结构面的初始三维地质模型；其次，采用递进式探测方法，获取隧道掘进过程中岩体大中尺度结构面参数；获取岩体的结构面产状信息；最后，通过岩体大中尺度结构面参数和岩体的结构面产状信息，对初始三维地质模型进行修正，获得最终的岩体多尺度结构面的三维地质模型。

在具体实施时，基于离差法、Log 函数法、反正切函数法、标准差法

等方法对步骤 1 中获取的岩体多尺度结构面数据进行标准化处理，建立多尺度结构面、多类型数据源的标准化数据库。

基于工程的基本地形地貌等信息，引入建立的标准化数据库，导入 EVS (Earth Volumetric Studio) 软件中，建立涵盖多尺度结构面的岩体多尺度结构面的初始三维地质模型。

针对断层、层间错动、软弱夹层等大尺度结构面，采取地质勘查、综合物探与钻孔电视等递进式探测方法，动态获取形态、位置和规模等信息，依据探测精度的优先级，即根据探测方法的精细化程度逐渐对地质模型中大尺度结构面的空间位置及产状进行修正，例如对断层，先由遥感确定大致区域范围，再通过航空瞬变电磁确定断层层位、产状，通过物探或钻探最终确定断层的边界。

针对层面、节理裂隙等小尺度结构面，采取激光扫描、钻孔电视等方法，随隧道施工循环探测，获取包括倾角、倾向、迹长、间距和组数等的结构面产状信息，采用聚类分析方法获得各结构面区域的结构面优势组，基于结构面优势组，获得该结构面区域的产状参数，通过该产状参数对该结构面区域的小尺度结构面进行更新。

岩层内的节理裂隙错综复杂，因此需要统计学方法（聚类分析）获得占比最大的裂隙组，即为结构面优势组，基于这个组可以统计出岩层中能代表绝大部分节理裂隙的产状参数，即可作为该区域节理裂隙的数据。

对岩体多尺度结构面的初始三维地质模型进行网格剖分，建立隧道施工数值计算模型，网格可以为四面体或六面体。通过调整网格单元的大小，使结构面区域网格较稠密、非结构面的完整岩体区域结构面较稀疏。在根

据岩体大中尺度结构面参数和岩体的结构面产状信息，对初始三维地质模型进行实时修正时，对修正后模型的网格进行重剖分，获得更新后的数值计算模型。

S3：将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

其中，掘进参数与岩体物理力学参数间的关联模型，以施工机械的掘进参数为输入，以掘进点前方岩体的预测物理力学参数为输出，基于XGBoost模型构建获得，如图3所示。

施工机械可以为隧道施工现场所用的凿岩台车、TBM、盾构机等施工机械。

当施工机械为凿岩台车时，施工参数包括回转压力、推进压力、冲击压力、水压力和水流量。

当施工机械为TBM时，施工参数包括推进力、刀盘扭矩和刀盘转速。

当施工机械为盾构机时，施工参数包括推进力、刀盘扭矩、刀盘转速和工作舱压力。

获取已有的施工机械的施工参数及对应掘进点前方的岩体物理力学参数，作为训练数据，对构建的以施工机械的掘进参数为输入，以岩体的预测物理力学参数为输出的XGBoost模型进行训练，训练好的模型为掘进参数与岩体物理力学参数间的关联模型。

在隧道开挖数值模拟过程中，实时获取施工机械的掘进参数，将获取的施工机械的实时掘进参数输入掘进参数与岩体物理力学参数间的关联模型中，获得对应时刻掘进点前方岩体的预测物理力学参数。

将掘进点前方岩体的预测物理力学参数对构建的隧道施工数值计算模型中掘进点前方岩体的物理力学参数进行替换，实现对隧道施工数值计算模型的修正。

通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新时：

利用掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新，利用更新后模型进行隧道开挖数值模拟，获取数值模拟结果；

计算利用更新后模型获取的数值模拟结果与利用未更新的模型获取的数值模拟结果之间的差值；

当差值大于等于设定的误差阈值时，利用掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新；

当差值小于设定的误差阈值时，不对隧道施工数值计算模型进行更新。

确定隧道施工数值计算模型中物理力学参数是否通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数进行更新的具体过程，如图 4 所示，分别计算如下三种工况，如图 4 所示：

① 对隧道进行第  $i$  次开挖数值模拟后，获得第  $i$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数  $B$ ；

② 利用物理力学参数为  $A$  时的隧道施工数值计算模型，进行第  $j$  次隧道开挖数值模拟，获得第  $j$  次数值模拟结果和第  $j$  次开挖掘进点前方岩体的

预测物理力学参数；

③ 通过第  $i$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数  $B$  对隧道施工数值计算模型中的物理力学参数进行更新，使得更新后模型的物理力学参数为  $B$ ，利用更新后模型进行第  $j$  次隧道开挖数值模拟，获得第  $j$  次数值模拟结果；

④ 计算③获取的数值模拟结果与②获取的数值模拟结果的差值，当该差值小于设定的误差阈值时，采用没有更新物理力学参数的模型进行下一次开挖的数值模拟，即采用物理力学参数为  $A$  时的隧道施工数值计算模型进行第  $j$  次隧道开挖数值模拟；如果差值大于等于设定的误差阈值，则采用第  $i$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数  $B$  对隧道施工数值计算模型中的物理力学参数进行更新，采用更新后的模型进行第  $j$  次隧道开挖数值模拟；

⑤ 采用物理力学参数为  $A$  时的隧道施工数值计算模型，进行第  $k$  次隧道开挖数值模拟，获得第  $k$  次数值模拟结果和第  $k$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数；

⑥ 通过第  $j$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数  $B$  对隧道施工数值计算模型中的物理力学参数进行更新，使得更新后模型的物理力学参数为  $B$ ，利用更新后模型进行第  $k$  次隧道开挖数值模拟，获得第  $k$  次数值模拟结果；

⑦ 计算⑤获取的数值模拟结果与⑥获取的数值模拟结果的差值，当该差值小于设定的误差阈值时，采用没有更新物理力学参数的模型进行下一次开挖的数值模拟，即采用物理力学参数为  $A$  时的隧道施工数值计算模型

进行第  $k$  次隧道开挖数值模拟；如果差值大于等于设定的误差阈值，则采用第  $j$  次开挖掘进点前方岩体的预测物理力学参数  $B$  对隧道施工数值计算模型中的物理力学参数进行更新，采用更新后的模型进行第  $k$  次隧道开挖数值模拟，继续计算后续开挖步。

通过将参数更新前和更新后的计算结果进行对比，分析计算结果的差异性。并设置了误差阈值，确定合理的前序计算步长以及岩体的物理力学参数更新标准，获取岩体物理力学参数更新最佳时机，既能保证隧道开挖数值模拟的准确性，又能保证隧道开挖数值模拟的时效性，而不用像传统方法，需在开挖完成或者有了较为完善的地质资料后才开展模拟。

本实施例公开的方法，在进行隧道开挖数值模拟时，考虑了岩体受结构面的影响产生的物理力学参数变化，通过获取实时掘进参数来预测获取掘进点前方岩体的预测物理力学参数，进而通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新，保证了隧道开挖数值模拟的准确性。且在构建隧道施工数值计算模型时，还对多尺度结构面进行了动态更新，保证构建的隧道施工数值计算模型能够更真实的模拟岩体，进一步的保证隧道开挖数值模拟的准确性。

## 实施例 2

在该实施例中，公开了基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟系统，包括：

数据获取模块，用于获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数；

模型构建模块，用于根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计

算模型；

隧道开挖数值模拟模块，用于将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

### 实施例 3

在该实施例中，公开了一种电子设备，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，完成实施例 1 公开的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法所述的步骤。

### 实施例 4

在该实施例中，公开了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，完成实施例 1 公开的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法所述的步骤。

最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换，而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换，其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

1、基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，包括：

获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数；

根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型；

将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；

在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；

根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；

通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

2、如权利要求1所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，根据岩体多尺度结构面数据构建岩体多尺度结构面的三维地质模型；

对构建的三维地质模型进行网格剖分，构建获得隧道施工数值计算模型。

3、如权利要求2所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，构建三维地质模型的过程为：

根据岩体多尺度结构面数据构建岩体多尺度结构面的初始三维地质模型；

采用递进式探测方法，获取隧道掘进过程中岩体大中尺度结构面参数；

获取岩体的结构面产状信息；

通过岩体大中尺度结构面参数和岩体的结构面产状信息，对初始三维地质模型进行修正，获得最终的岩体多尺度结构面的三维地质模型。

4、如权利要求3所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，依据探测精度的优先级，对地质模型中大尺度结构面的空间位置及产状进行修正。

5、如权利要求3所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，采用聚类分析方法获得各结构面区域的结构面优势组，基于结构面优势组，获得该结构面区域的产状参数，通过该产状参数对该结构面区域的小尺度结构面进行更新。

6、如权利要求1所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，掘进参数与岩体物理力学参数间的关联模型基于XGBoost模型构建获得。

7、如权利要求1所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法，其特征在于，通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新时：

利用掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新，利用更新后模型进行隧道开挖数值模拟，获取数值模拟结果；

计算利用更新后模型获取的数值模拟结果与利用未更新的模型获取的数值模拟结果之间的差值；

当差值大于等于设定的误差阈值时，利用掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新；

当差值小于设定的误差阈值时，不对隧道施工数值计算模型进行更新。

8、基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟系统，其特征在于，包括：

数据获取模块，用于获取隧道施工处的岩体多尺度结构面数据和岩体物理力学参数；

模型构建模块，用于根据岩体多尺度结构面数据构建隧道施工数值计算模型；

隧道开挖数值模拟模块，用于将岩体物理力学参数输入隧道施工数值计算模型中，进行隧道开挖数值模拟；在模拟过程中，获取施工机械的实时掘进参数；根据施工机械的实时掘进参数和掘进参数与岩体物理力学参数的关联模型，获得掘进点前方岩体的预测物理力学参数；通过掘进点前方岩体的预测物理力学参数对隧道施工数值计算模型进行更新。

9、一种电子设备，其特征在于，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，完成权利要求 1-7 任一项所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法的步骤。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，用于存储计算机指令，所述计算机指令被处理器执行时，完成权利要求 1-7 任一项所述的基于岩体结构面识别与力学参数预测的模拟方法的步骤。

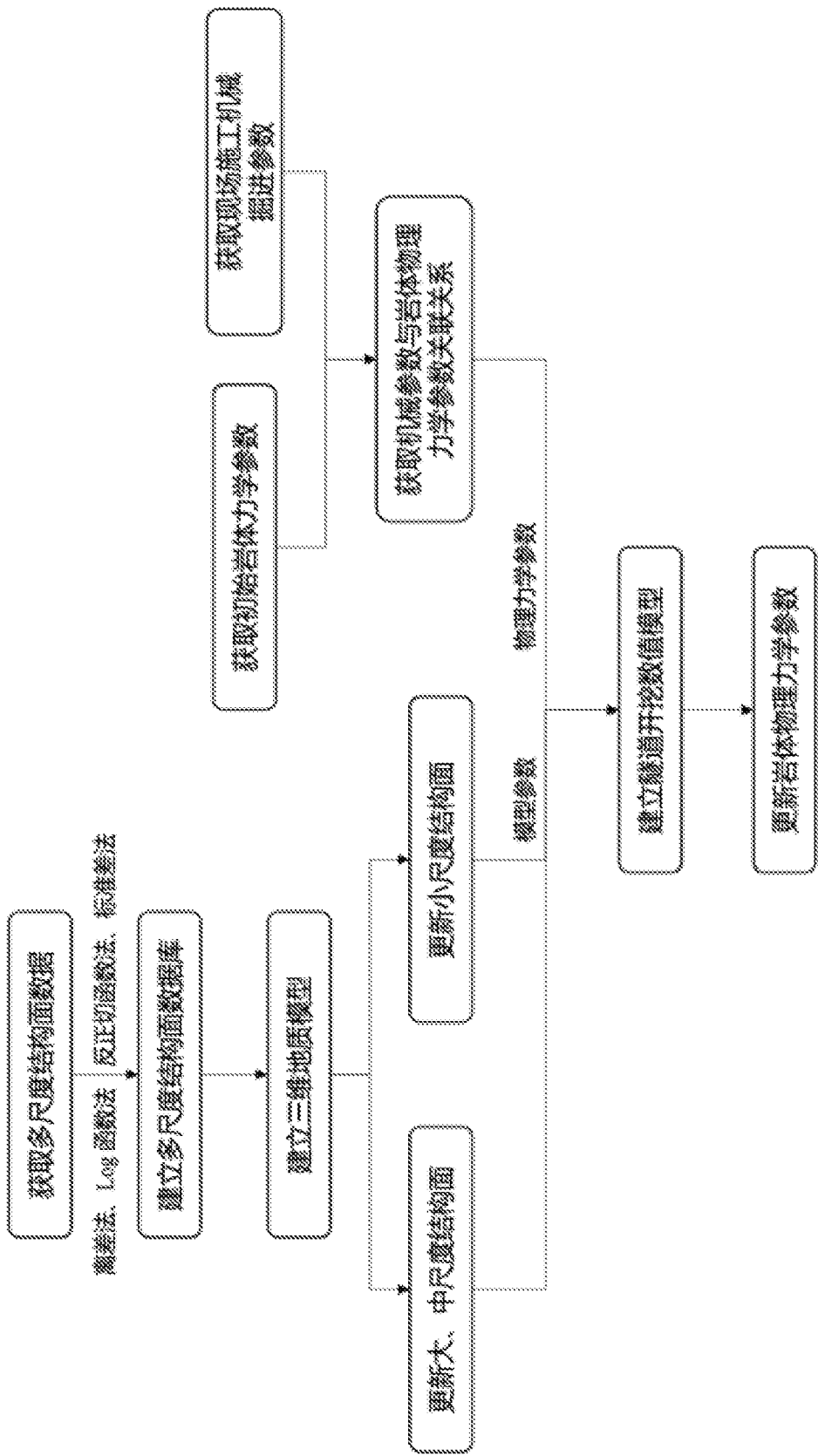
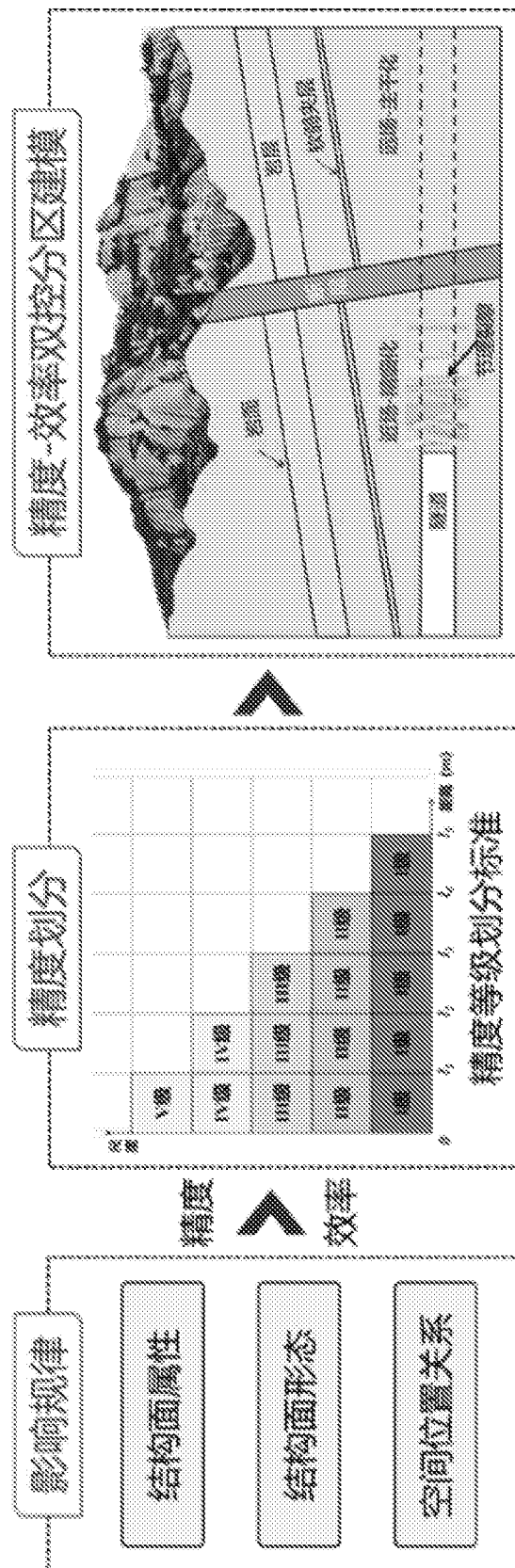


图 1



2

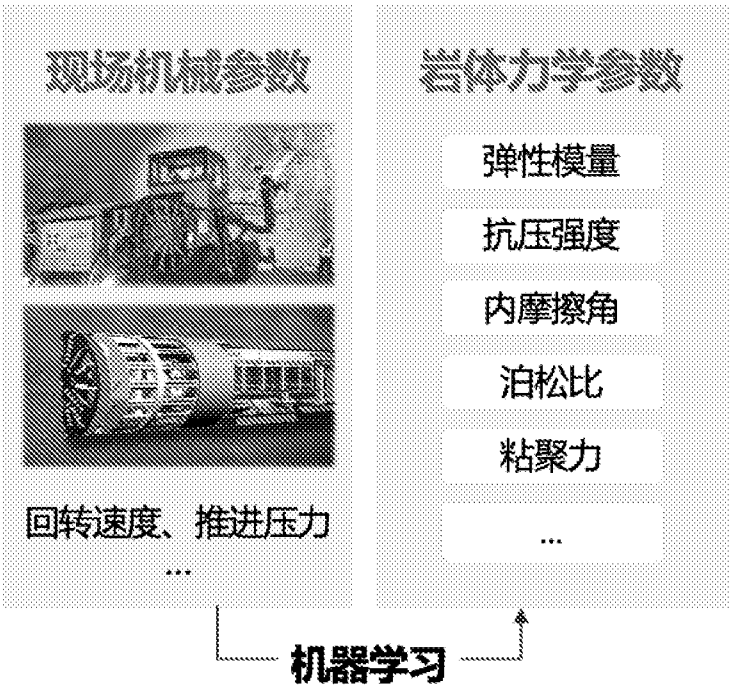
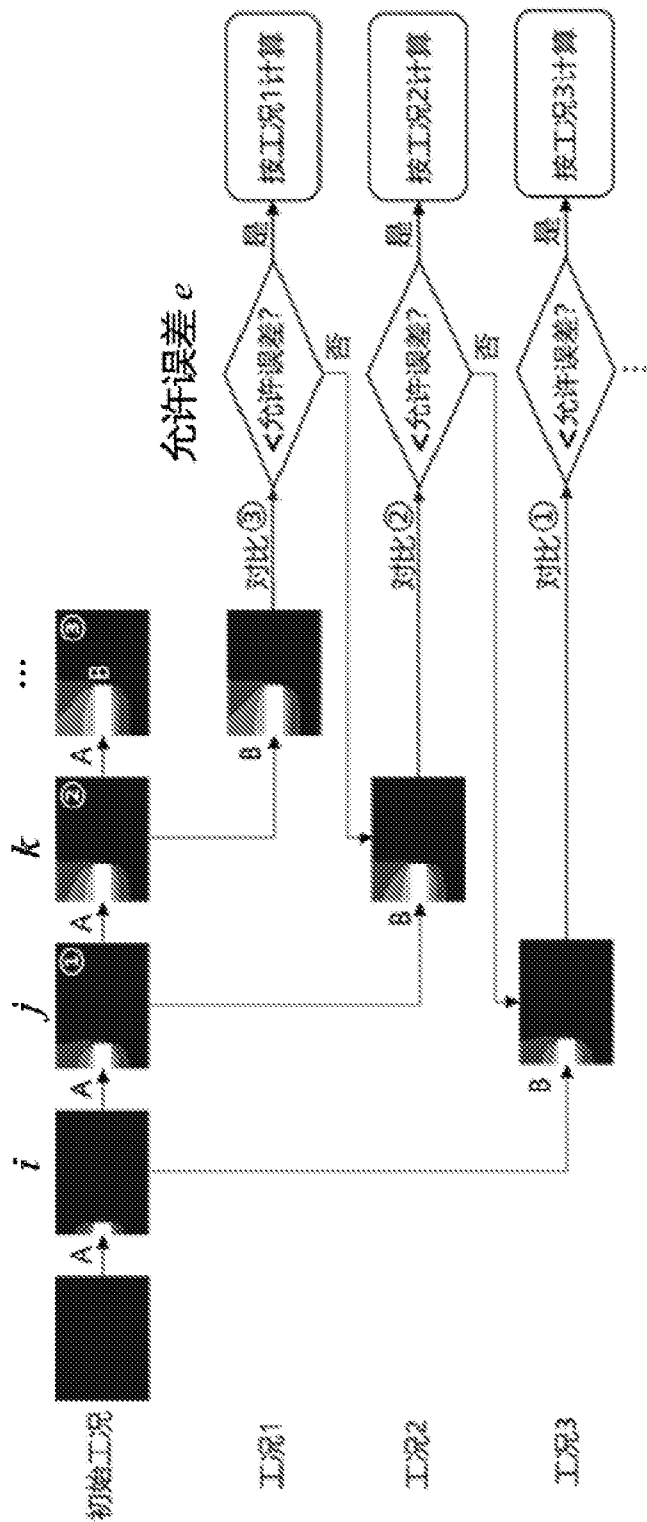


图 3



备注：A代表掌子面前方局部围岩初始参数，B代表掌子面前方局部围岩真实参数

图 4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/099364

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>G06F30/20(2020.01)i<br><br>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>IPC:G06F<br><br>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br><br>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 岩体, 隧道, 结构, 面, 层, 物理, 力学, 参数, 模拟, 模型, 计算, 施工, 掘进, 预测, 更新, rock bodies, tunnels, structures, faces, layers, physics, mechanics, parameters, simulations, models, calculations, construction, excavation, prediction, updates                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
| Category*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                              | Relevant to claim No.                                                          |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CN 117113625 A (SHANDONG UNIVERSITY) 24 November 2023 (2023-11-24)<br>claims 1-10                                                                               | 1-10                                                                           |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CN 103559372 A (CHINA RAILWAY 13TH BUREAU GROUP 1ST ENGINEERING CO., LTD.) 05 February 2014 (2014-02-05)<br>description, paragraphs [0002]-[0030], and abstract | 1, 2, 6-10                                                                     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CN 114969897 A (SINOHYDRO BUREAU 6 CO., LTD.) 30 August 2022 (2022-08-30)<br>entire document                                                                    | 1-10                                                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CN 115408926 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 29 November 2022 (2022-11-29)<br>entire document                                                                   | 1-10                                                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | US 2023144184 A1 (SHANDONG UNIVERSITY) 11 May 2023 (2023-05-11)<br>entire document                                                                              | 1-10                                                                           |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
| <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“D” document cited by the applicant in the international application</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p> |                                                                                                                                                                 |                                                                                |
| Date of the actual completion of the international search<br><b>09 September 2024</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                 | Date of mailing of the international search report<br><b>19 September 2024</b> |
| Name and mailing address of the ISA/CN<br><b>China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)<br/>China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,<br/>Beijing 100088</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                 | Authorized officer<br><br><br>Telephone No.                                    |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.  
**PCT/CN2024/099364**

| Patent document cited in search report |            |    | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) |           |   | Publication date (day/month/year) |
|----------------------------------------|------------|----|-----------------------------------|-------------------------|-----------|---|-----------------------------------|
| CN                                     | 117113625  | A  | 24 November 2023                  | None                    |           |   |                                   |
| CN                                     | 103559372  | A  | 05 February 2014                  | None                    |           |   |                                   |
| CN                                     | 114969897  | A  | 30 August 2022                    | None                    |           |   |                                   |
| CN                                     | 115408926  | A  | 29 November 2022                  | None                    |           |   |                                   |
| US                                     | 2023144184 | A1 | 11 May 2023                       | CN                      | 113779690 | A | 10 December 2021                  |

A. 主题的分类

G06F30/20(2020.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

VEN,CNABS,CNTEXT,WOTXT,EPTXT,USTXT,CNKI,IEEE:岩体, 隧道, 结构, 面, 层, 物理, 力学, 参数, 模拟, 模型, 计算, 施工, 掘进, 预测, 更新, rock bodies, tunnels, structures, faces, layers, physics, mechanics, parameters, simulations, models, calculations, construction, excavation, prediction, updates

C. 相关文件

| 类型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                     | 相关的权利要求  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| PX  | CN 117113625 A (山东大学) 2023年11月24日 (2023 - 11 - 24)<br>权利要求1-10                        | 1-10     |
| X   | CN 103559372 A (中铁十三局集团第一工程有限公司) 2014年2月5日 (2014 - 02 - 05)<br>说明书第[0002]-[0030]段, 摘要 | 1-2,6-10 |
| A   | CN 114969897 A (中国水利水电第六工程局有限公司) 2022年8月30日 (2022 - 08 - 30)<br>全文                    | 1-10     |
| A   | CN 115408926 A (北京交通大学) 2022年11月29日 (2022 - 11 - 29)<br>全文                            | 1-10     |
| A   | US 2023144184 A1 (SHANDONG UNIVERSITY) 2023年5月11日 (2023 - 05 - 11)<br>全文              | 1-10     |

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

\* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年9月9日

国际检索报告邮寄日期

2024年9月19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局  
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

吴媛媛

电话号码 (+86) 010-53961351

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号  
PCT/CN2024/099364

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 | 公布日<br>(年/月/日)          |
|-------------|------------|----|----------------|------|-------------------------|
| CN          | 117113625  | A  | 2023年11月24日    | 无    |                         |
| CN          | 103559372  | A  | 2014年2月5日      | 无    |                         |
| CN          | 114969897  | A  | 2022年8月30日     | 无    |                         |
| CN          | 115408926  | A  | 2022年11月29日    | 无    |                         |
| US          | 2023144184 | A1 | 2023年5月11日     | CN   | 113779690 A 2021年12月10日 |