

(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
2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/181923 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06N 3/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/072864
- (22) 国际申请日: 2020 年 1 月 17 日 (17.01.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910176393.4 2019年3月8日 (08.03.2019) 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: 李术才 (LI, Shucan); 中国山东省济南市
历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。
薛翊国 (XUE, Yiguo); 中国山东省济南市历下区
经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。曲传
奇 (QU, Chuanqi); 中国山东省济南市历下区经
十路17923号, Shandong 250061 (CN)。邱道宏

(QIU, Daohong); 中国山东省济南市历下区经十路
17923号, Shandong 250061 (CN)。陶宇帆 (TAO,
Yufan); 中国山东省济南市历下区经十路17923号,
Shandong 250061 (CN)。李广坤 (LI, Guangkun);
中国山东省济南市历下区经十路17923号,
Shandong 250061 (CN)。苏茂鑫 (SU, Maixin); 中
国山东省济南市历下区经十路17923号, Shandong
250061 (CN)。崔久华 (CUI, Jiuhua); 中国山东省
济南市历下区经十路17923号, Shandong 250061
(CN)。王鹏 (WANG, Peng); 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.); 中国山东省济南市经十路17703号华
特广场B308室, Shandong 250061 (CN)。

(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,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: TUNNEL TUNNELING PREDICTION METHOD AND SYSTEM BASED ON TBM ROCK-MACHINE PARAMETER DYNAMIC INTERACTION MECHANISM

(54) 发明名称: 基于TBM岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法及系统

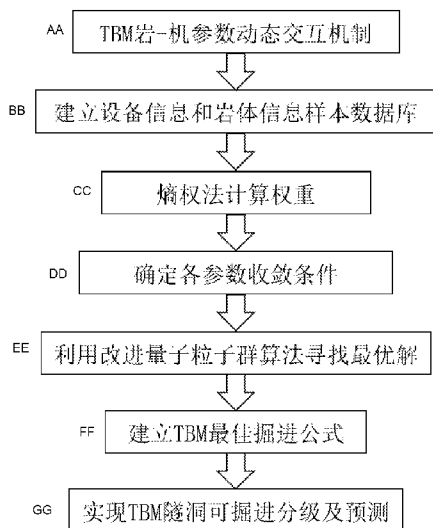


图 1

(57) Abstract: A tunnel tunneling prediction method and system based on a TBM rock-machine parameter dynamic interaction mechanism, comprising: establishing a device information sample database and a rock mass information sample database; analyzing and calculating the rock mass information sample database of an ascending segment of TBM tunneling parameters to obtain rock mass information weights under different device state conditions; determining convergence conditions under different device information states through the rock-machine parameter dynamic interaction mechanism, and obtaining an optimal solution of the tunneling parameters at the stable segment of the TBM tunneling parameters under different rock mass information conditions according to the convergence conditions; establishing an optimal tunneling formula applicable to the TBM tunneling through the obtained weight information and the optimal solution at the stable segment of the tunneling parameters, performing the TBM tunneling feasibility classification according to the tunneling formula, and predicting the TBM tunneling efficiency. The method combines the characteristics of TBM construction to select the device parameters and rock mass parameter indicators, is more accurate, more objective, and can obtain a more accurate result.

AA TBM rock-machine parameter dynamic interaction mechanism
BB Establishing a device information sample database and a rock mass information sample database
CC Calculating weights by an entropy weight method
DD Determining the convergence conditions of the parameters
EE Finding an optimal solution by using improved quantum particle swarm optimization
FF Establishing an optimal TBM tunneling formula
GG Implementing TBM tunnel tunneling classification and prediction



GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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: 一种基于TBM岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法及系统, 包括: 建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库; 对TBM掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算, 得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重; 通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件, 并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下TBM掘进参数稳定段掘进参数的最优解; 通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解, 建立适用于TBM掘进的最佳掘进公式, 根据该掘进公式进行TBM掘进可行性分级, 对TBM掘进效率进行预测。该方法结合TBM施工特点选取设备参数和岩体参数指标, 精确度更高, 客观性更强, 得到的结果也更精确。

基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法及系统

技术领域

本公开涉及隧道工程技术领域，特别是涉及基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法及系统。

背景技术

近年来，TBM 法已成为我国长大隧道特别是山岭隧道的首选工法。目前，TBM 施工岩体信息如抗压强度、完整性等参数是通过人工现场素描、取样并进行室内试验得到，获取手段比较落后，无法实时感知和预测岩体状态。

TBM 施工中掘进参数的选择和控制基本上完全依靠人为经验作出判断和调整，掘进参数与岩体状态参数匹配性差，一旦遭遇地层变化或复杂地质条件，难以及时有效地调整掘进方案和控制参数，容易发生卡机、地质灾害，甚至人员伤亡等事故。

因此，TBM 智能掘进分级及预测已成为隧道工程领域的重大技术挑战和前沿热点问题。

发明内容

为了解决现有技术的不足，本公开实施例提供了基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法，进行 TBM 掘进可行性分级，并结合 TBM 岩-机参数动态交互机制对 TBM 掘进效率进行预测。

为了实现上述目的，本申请采用以下技术方案：

本公开实施例公开了基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法，包括：

根据 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律，建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库；

对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；

通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解；

通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式，根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，对 TBM 掘进效率进行预测。

本公开实施例子该方法结合 TBM 施工特点选取设备掘进指标和岩体信息指标，并收集大量数据组成样本数据库。该方法所采用的熵权法相对其他主观赋权重方法来说，精确度更高，客观性更强，得到的结果也更精确。所采用的量子粒子群算法避免了传统粒子群算法全局寻优能力差、收敛速度慢等现象，极大地提高了粒子群算法的全局寻优能力和优化效率，本发明对量子粒子群算法进行了进一步改进，使其在计算后期避免陷入局部最优，且极大地增加了种群多样性，得到的结果质量更高、更准确。因此，本方法评价信息非常丰富，效率高，结果准确率高。

本公开另一实施例子公开了基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测系统，包括：

数据库建立单元，被配置为：根据 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律，建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库；

岩体信息权重计算单元，被配置为：对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本

数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；

最优解计算单元，被配置为：通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解；

预测单元，被配置为：通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式，根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，对 TBM 掘进效率进行预测。

与现有技术相比，本公开的有益效果是：

1、本公开该方法结合 TBM 施工特点选取设备参数和岩体参数指标，紧密切合工程实际需求，并从实际工程中选取大量的样本数据，选用熵权法作为指标权重的确定方法，熵权法相对其他主观赋权重方法来说，精确度更高，客观性更强，得到的结果也更精确。

2、本公开该方法采用的改进量子粒子群方法，不仅极大地提高了粒子群算法的全局寻优能力和优化效率，还避免其计算后期陷入局部最优，且极大地增加了种群多样性，得到的结果质量更高、更准确。

附图说明

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

图 1 为本公开具体实施例子的评价步骤流程图。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的

普通技术人员通常理解的含义。

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公开的示例性实施方式。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。

TBM施工中掘进参数的选择和控制在基本上完全依靠人为经验作出判断和调整，掘进参数与岩体状态参数匹配性差，一旦遭遇地层变化或复杂地质条件，难以及时有效地调整掘进方案和控制参数，容易发生卡机、地质灾害，甚至人员伤亡等事故。因此，TBM智能掘进分级及预测已成为隧道工程领域的重大技术挑战和前沿热点问题。

实施例子一

本公开的一种典型的实施方式中，参见附图1所示，提供了一种适用于TBM智能掘进分级及预测方法。本公开通过TBM岩-机参数动态交互机制研究，建立考虑TBM机器参数、围岩指标参数的TBM掘进效率综合评价指标体系，获取以掘进效率最优为决策目标的机器参数决策准则。

该指标评价体系包括了TBM设备参数、岩体指标参数。设备参数主要包括刀盘推力(F)、刀盘转矩(T)、贯入度(P)、推进速度(R)；岩体参数信息包括岩体单轴抗压强度、岩体完整性、岩石硬度、岩石耐磨性、岩石石英含量、断层破碎带、地应力状态、特殊岩土组合、地下水、岩体优势结构面走向与隧道线夹角 θ 。

该评价指标体系建立后，就可以进行TBM掘进效率的综合评价，继而可以

得到 TBM 在某一岩层的掘进最优解以及可掘进预测。

在该实施例子中，对已有的 TBM 掘进岩机信息进行搜集总结并建立样本数据库，通过对 TBM 正常掘进过程中的掘进循环进行分析，得到 TBM 掘进参数分为 TBM 掘进参数上升段和 TBM 掘进参数稳定段；对 TBM 掘进参数上升段使用熵权法对岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件利用改进的量子粒子群方法得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段的最优解；通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式。

该方法结合 TBM 施工特点选取设备掘进指标和岩体信息指标，并收集大量数据组成样本数据库。该方法所采用的熵权法相对其他主观赋权重方法来说，精确度更高，客观性更强，得到的结果也更精确。所采用的量子粒子群算法避免了传统粒子群算法全局寻优能力差、收敛速度慢等现象，极大地提高了粒子群算法的全局寻优能力和优化效率，本发明对量子粒子群算法进行了进一步改进，使其在计算后期避免陷入局部最优，且极大地增加了种群多样性，得到的结果质量更高、更准确。因此，本方法评价信息非常丰富，效率高，结果准确率高。

下面对 TBM 岩-机动态交互机制进行解释说明，TBM 岩-机动态交互机制即为 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律，根据该规律建立隧道围岩参数-TBM 机器参数反馈模型。

在具体实施例子中，模拟不同地层，不同岩石，不同机器参数的 TBM 掘进过程，获得 TBM 掘进过程中围岩参数和机器参数的相关关系，得到 TBM 掘进过

程中输出扭矩、转速、掘进速度、推进力等机器参数和岩石的单轴抗压强度、岩石抗拉强度、岩石硬度、结构面间距、洞轴线与主要结构面夹角等围岩参数之间的相关性。

TBM 在掘进过程中会自动记录其在掘进过程中的各项机器参数以及围岩参数。获取 TBM 机器参数（扭矩、转速、掘进速度、推进力等）和围岩参数（岩石单轴抗压强度、岩石抗拉强度、岩石硬度、结构面间距、洞轴线与主要结构面夹角）之间的相关关系，建立 TBM 围岩参数-机器参数的掘进模型，计算在不同 TBM 工况和围岩参数组合下 TBM 的掘进速度，分析 TBM 机器参数和围岩参数的相关关系，其中 TBM 工况包括不同的 TBM 输出扭矩和推进力，围岩参数条件包括不同的岩石抗压强度、抗拉强度、弹性模型、节理间距、倾角及地应力组合。

利用已得到的岩-机参数动态交互机制，建立隧道围岩参数-TBM 机器参数反馈模型，以此来确定不同设备信息状态下的收敛条件。

其中，在 TBM 掘进循环中，从滚刀接触岩石开始，贯入度、推力、转矩 TBM 掘进参数均逐渐增大至稳定值，该阶段称为 TBM 掘进参数上升段；TBM 各掘进参数保持平稳略有小波动的阶段称为 TBM 掘进稳定段。

该实施例子中的该机制反应了 TBM 岩-机动态交互规律，是建立 TBM 掘进效率综合评价指标体系，获取以掘进效率最优为决策目标的机器参数决策准则的基础。

该评价指标体系是在 TBM 岩-机参数动态交互机制的基础上，通过综合评价方法建立的，本公开实施例子所采用的综合评价方法包括熵权法和量子粒子群法。

在具体实施例子中，通过熵权法计算不同岩体参数的权重，计算过程为熵权法的常规计算过程。

在具体实施例子中，设备参数主要包括刀盘推力 (F)、刀盘转矩 (T)、贯入度 (P)、推进速度 (R)；岩体参数信息包括岩体单轴抗压强度、岩体完整性、岩石硬度、岩石耐磨性、岩石石英含量、断层破碎带、地应力状态、特殊岩土组合、地下水、岩体优势结构面走向与隧道线夹角 θ 。

其中，岩石完整性用 RQD 值来衡量，岩石硬度用凿碎比功 z 来衡量，岩石耐磨性用岩石耐磨指数 CAI 来衡量，断层破碎带用宽度 w 来反映其影响程度，地应力状态用应力指数 d 来衡量，特殊岩土组合包括花岗岩蚀变带和上下软硬岩石不同两种情况，采用两种岩石强度差值 σ 来衡量其影响程度，地下水用单位涌水量 q 来表示。

建立 TBM 掘进循环设备信息和岩体信息样本数据库，通过熵权法对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重。

TBM 掘进循环分为参数上升段和参数稳定段，通过熵权法计算参数上升段不同岩体信息的权重，即可通过 TBM 参数上升段岩-机响应规律，并结合 TBM 岩-机交互机制，得到 TBM 参数稳定段的最优掘进解。

关于熵权法，熵权法是一种为指标进行赋权的办法，熵能够表示数据显示的有效信息量。若待评事物某个指标量值变化轻微时，熵值比较高，表示这个指标给出的有效信息量比较少，所占权重相对较低；反之则相反。熵权法优越性在于它是一种客观赋权办法，大大降低了人为因素对指标权重的影响；对于多个评价对象的赋权问题，采用熵权法只需要进行一次计算就能得到适用于

各评价对象的指标权重极大的简化了计算过程;通过熵权法对评价指标进行赋权将多个评价对象联系起来,降低了出现偶然情况的影响,让评价结果更为合理。

具体的计算步骤:(1)原始数据归一化处理。根据得到的数据资料,构建原始数据矩阵,然后将该矩阵原始数据无量纲化操作。(2)计算信息熵。(3)计算熵权,根据得出的信息熵,可计算出对应指标的权重。

根据得到的 TBM 相关数据,研究 TBM 掘进过程中围岩参数-机器参数动态交互规律,建立隧道围岩参数-TBM 机器参数反馈模型,根据得到的反馈模型,可以知道在一定的围岩条件下,TBM 的最佳掘进速度。

通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件,并根据此收敛条件利用改进的量子粒子群方法得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解。

量子粒子群算法为全局寻优算法,即掌握了不同的岩体信息以后,通过 TBM 岩-机交互机制和利用熵权法求得的权重,量子粒子群算法可以得到在此种岩体信息工况下,TBM 的最佳掘进速度。

采用概率幅作为量子粒子群算法的编码方式,避免了直接采用二进制编码带来的繁琐解码方式。在量子计算中,采用 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 表示微观粒子的两种基本状态,称为量子比特。符号“ $|>$ ”为狄拉克符号,在量子粒子群算法(QPSO)中,最小单元是量子位,量子位具有两个基本态, $|0\rangle$ 态和 $|1\rangle$ 态,任意时刻量子位的状态可以使基本态的线性组合,称为叠加态。

本公开实施例子中,对量子粒子群算法进行改进,结合混沌搜索、加权更新种群最优位置中心和邻域变异 3 个方面进行,利用混沌思想初始化种群,可

有效提高初始种群多样性与分布均衡性，增强算法收敛速度和搜索精度；采用加权更新种群最优位置中心改进种群进化方式，可有效降低落后粒子干扰，增强精英个体在种群进化中的导向作用，提高种群搜索能力以加速收敛；对种群最优个体在逐代缩小的邻域范围内随机变异，开展局部精细化搜索，若变异得到的新个体适应度有所提升，则直接替换变异前种群全局最优个体，否则以一定概率随机替换种群中个体。

通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式。根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，并结合 TBM 岩-机参数动态交互机制对 TBM 掘进效率进行预测。

具体的，最佳掘进公式主要是对某一工况条件下的可掘进问题有一个整体的把握，进行总体评分，其次进行可掘进分级，根据不同地区的不同围岩参数，对其掘进可行性进行分级，从而根据掘进可行性分级给出最佳的施工方法和支护结构设计。并进行科学管理及正确评价经济效益、制定劳动定额、材料消耗标准等的基础，具有重大意义。

建立 TBM 最佳掘进公式，公式为 $E = C_1^F + C_2^T + C_3^P + C_4^R$ ，其中 E 为 TBM 最佳掘进总得分，依据工程实际和专家经验，对得分进行等级划分，确定 TBM 隧洞可掘进分级。其中， $C_1^F, C_2^T, C_3^P, C_4^R$ 为各项设备参数包括刀盘推力 (F)、刀盘转矩 (T)、贯入度 (P)、推进速度 (R) 得分。各项设备参数得分公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} C_i^F = \sum_{i=1}^n w_i e_i \\ C_j^T = \sum_{j=1}^n w_j e_j \\ C_k^P = \sum_{k=1}^n w_k e_k \\ C_m^R = \sum_{m=1}^n w_m e_m \end{array} \right.$$

其中, w_i 、 w_j 、 w_k 、 w_m 为各项岩体参数在不同设备参数条件下利用熵权法得到的权重, e_i 、 e_j 、 e_k 、 e_m 为各项岩体参数在不同设备参数条件下根据岩-机交互关系得到的分数, n 为岩体参数的个数。

本公开实施例子以 TBM 岩-机参数动态交互机制为理论基础获取 TBM 掘进参数, 对依托工程穿越典型不良地质段(断层、岩性突变、富水岩体等)的 TBM 机器参数进行收集整理, 包括 TBM 穿越不良地质段的前、中、后数据, 研究 TBM 穿越不良地质机器参数的变化规律。建立以掘进效率最佳为评判标准的隧道不良地质 TBM 机器参数表征方法, 采用熵权法、量子粒子群算法建立不同不良地质体的判别指标体系, 分析不良地质判别指标在 TBM 穿越不良地质段的变化规律和特征, 建立 TBM 临近不良地质体的超前判识准则, 实现 TBM 掘进过程中不良地质实时超前判识及预警。

实施例子二

该实施例子公开了基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测系统, 包括:

数据库建立单元, 被配置为: 根据 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律, 建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库;

岩体信息权重计算单元，被配置为：对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；

最优解计算单元，被配置为：通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解；

预测单元，被配置为：通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式，根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，对 TBM 掘进效率进行预测。

应当注意，尽管在上文的详细描述中提及了设备的若干模块或子模块，但是这种划分仅仅是示例性而非强制性的。实际上，根据本公开的实施例，上文描述的两个或更多模块的特征和功能可以在一个模块中具体化。反之，上文描述的一个模块的特征和功能可以进一步划分为由多个模块来具体化。

实施例三

该实施例公开了一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述程序时实现上述所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法的步骤。

实施例四

该实施例公开了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，该程序被处理器执行时实现上述所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法的步骤。

在本实施例中，计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质，其上载有

用于执行本公开的各个方面的计算机可读程序指令。计算机可读存储介质可以是可以保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以是一一但不限于一一电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。

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

1. 基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法，其特征是，包括：

根据 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律，建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库；

对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；

通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解；

通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式，根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，对 TBM 掘进效率进行预测。

2. 如权利要求 1 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法，其特征是，根据适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式计算 TBM 最佳掘进总得分，依据工程实际和专家经验，对得分进行等级划分，确定 TBM 隧洞可掘进分级；

TBM 最佳掘进总得分，具体为：

$E = C_1^F + C_2^T + C_3^P + C_4^R$ ，其中 E 为 TBM 最佳掘进总得分，其中， C_1^F 、 C_2^T 、 C_3^P 、 C_4^R 为各项设备参数包括刀盘推力 F 、刀盘转矩 T 、贯入度 P 、推进速度 R 得分。

3. 如权利要求 2 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法，其特征是，各项设备参数得分公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} C_i^F = \sum_{i=1}^n w_i e_i \\ C_j^T = \sum_{j=1}^n w_j e_j \\ C_k^P = \sum_{k=1}^n w_k e_k \\ C_m^R = \sum_{m=1}^n w_m e_m \end{array} \right.$$

其中, w_i 、 w_j 、 w_k 、 w_m 为各项岩体参数在不同设备参数条件下利用熵权法得到的权重, e_i 、 e_j 、 e_k 、 e_m 为各项岩体参数在不同设备参数条件下根据岩-机交互关系得到的分数, n 为岩体参数的个数。

4. 如权利要求 1 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法, 其特征是, TBM 岩-机参数动态交互机制为 TBM 掘进过程中输出扭矩、转速、掘进速度、推进力机器参数和岩石的单轴抗压强度、岩石抗拉强度、岩石硬度、结构面间距、洞轴线与主要结构面夹角围岩参数之间的相关性。

5. 如权利要求 2 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法, 其特征是, 对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算, 得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重, 所述各岩体信息权重通过熵权法计算获得。

6. 如权利要求 2 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法, 其特征是, 通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件, 并根据此收敛条件利用改进的量子粒子群方法得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解。

7. 如权利要求 6 所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预

测方法，其特征是，对量子粒子群算法进行改进，结合混沌搜索、加权更新种群最优位置中心和邻域变异 3 个方面进行，利用混沌思想初始化种群；采用加权更新种群最优位置中心改进种群进化方式；对种群最优个体在逐代缩小的邻域范围内随机变异，开展局部精细化搜索，若变异得到的新个体适应度有所提升，则直接替换变异前种群全局最优个体，否则以一定概率随机替换种群中个体。

8. 基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测系统，其特征是，包括：

数据库建立单元，被配置为：根据 TBM 掘进过程中的围岩参数-机器参数动态交互规律，建立设备信息样本数据库及岩体信息样本数据库；

岩体信息权重计算单元，被配置为：对 TBM 掘进参数上升段的岩体信息样本数据库进行分析计算，得到不同设备状态条件下的各岩体信息权重；

最优解计算单元，被配置为：通过岩-机参数动态交互机制确定不同设备信息状态下的收敛条件，并根据此收敛条件得到不同岩体信息条件下 TBM 掘进参数稳定段掘进参数的最优解；

预测单元，被配置为：通过得到的权重信息和掘进稳定段参数最优解，建立适用于 TBM 掘进的最佳掘进公式，根据该掘进公式进行 TBM 掘进可行性分级，对 TBM 掘进效率进行预测。

9. 一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述程序时实现权利要求 1-7 任一所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法的步骤。

10. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，该

程序被处理器执行时实现权利要求 1-7 任一所述的基于 TBM 岩-机参数动态交互机制的隧洞可掘进预测方法的步骤。

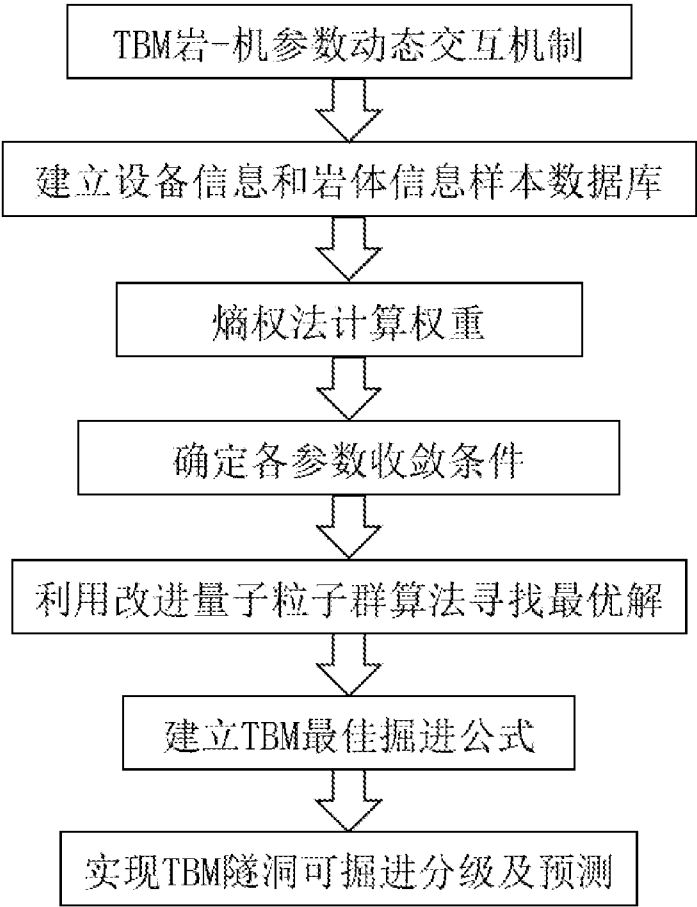


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/072864

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; G06N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI; EPODOC; CNKI; CNPAT: 隧道, 掘进, 岩, 权重, 熵权法, 粒子群, 量子, 预测, 效率, tunnel, rock, entropy, weight, particle, quanta, forecast, efficiency

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109933577 A (SHANDONG UNIVERSITY) 25 June 2019 (2019-06-25) claims 1-10	1-10
X	CN 107632523 A (CHINA RAILWAY ENGINEERING EQUIPMENT GROUP CO., LTD.) 26 January 2018 (2018-01-26) description, paragraphs [0057]-[0097] and [0106]-[0112], and figures 1-6	1-4, 8-10
Y	CN 107632523 A (CHINA RAILWAY ENGINEERING EQUIPMENT GROUP CO., LTD.) 26 January 2018 (2018-01-26) description, paragraphs [0057]-[0097] and [0106]-[0112], and figures 1-6	5-7
Y	CN 109345029 A (SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY) 15 February 2019 (2019-02-15) description, paragraph [0107]	5
Y	冯仲恺等 (FENG, Zhongkai et al.). "改进量子粒子群算法在水电站群优化调度中的应用 (Non-official translation: Improved Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization and its Application in Optimal Operation of Hydropower Stations)" 水科学进展 (Advances in Water Science), Vol. 26, No. 3, 31 May 2015 (2015-05-31), abstract, section 2.4	6, 7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2020

Date of mailing of the international search report

26 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/072864

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106481344 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 08 March 2017 (2017-03-08) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/072864

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	109933577	A	25 June 2019	None		
CN	107632523	A	26 January 2018	WO	2019063024	A1 04 April 2019
CN	109345029	A	15 February 2019	None		
CN	106481344	A	08 March 2017	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/072864

A. 主题的分类 G06N 3/00 (2006.01) 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) G06F; G06N 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)) WPI; EPDOC; CNKI; CNPAT: 隧道, 掘进, 岩, 权重, 熵权法, 粒子群, 量子, 预测, 效率, tunnel, rock, entropy, weight, particle, quanta, forecast, efficiency																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109933577 A (山东大学) 2019年 6月 25日 (2019 - 06 - 25) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6</td> <td>1-4, 8-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6</td> <td>5-7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109345029 A (石家庄铁道大学) 2019年 2月 15日 (2019 - 02 - 15) 说明书第[0107]段</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>冯仲恺 等. "改进量子粒子群算法在水电站群优化调度中的应用" 水科学进展, 第26卷, 第3期, 2015年 5月 31日 (2015 - 05 - 31), 摘要、第2.4部分</td> <td>6-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106481344 A (华中科技大学) 2017年 3月 8日 (2017 - 03 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109933577 A (山东大学) 2019年 6月 25日 (2019 - 06 - 25) 权利要求1-10	1-10	X	CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6	1-4, 8-10	Y	CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6	5-7	Y	CN 109345029 A (石家庄铁道大学) 2019年 2月 15日 (2019 - 02 - 15) 说明书第[0107]段	5	Y	冯仲恺 等. "改进量子粒子群算法在水电站群优化调度中的应用" 水科学进展, 第26卷, 第3期, 2015年 5月 31日 (2015 - 05 - 31), 摘要、第2.4部分	6-7	A	CN 106481344 A (华中科技大学) 2017年 3月 8日 (2017 - 03 - 08) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 109933577 A (山东大学) 2019年 6月 25日 (2019 - 06 - 25) 权利要求1-10	1-10																					
X	CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6	1-4, 8-10																					
Y	CN 107632523 A (中铁工程装备集团有限公司) 2018年 1月 26日 (2018 - 01 - 26) 说明书第[0057]-[0097], [0106]-[0112]段、图1-6	5-7																					
Y	CN 109345029 A (石家庄铁道大学) 2019年 2月 15日 (2019 - 02 - 15) 说明书第[0107]段	5																					
Y	冯仲恺 等. "改进量子粒子群算法在水电站群优化调度中的应用" 水科学进展, 第26卷, 第3期, 2015年 5月 31日 (2015 - 05 - 31), 摘要、第2.4部分	6-7																					
A	CN 106481344 A (华中科技大学) 2017年 3月 8日 (2017 - 03 - 08) 全文	1-10																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td> * 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 "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 </td> <td> "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 </td> </tr> </table>			* 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 "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																			
* 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 "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		国际检索报告邮寄日期																					
2020年 3月 17日		2020年 3月 26日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																					
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		冯婷霆 电话号码 86-(10)-53961364																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/072864

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109933577	A	2019年 6月 25日	无	
CN	107632523	A	2018年 1月 26日	W0 2019063024 A1	2019年 4月 4日
CN	109345029	A	2019年 2月 15日	无	
CN	106481344	A	2017年 3月 8日	无	