

(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 2025/007732 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/13 (2020.01) **G06F 30/27** (2020.01)
E21D 9/093 (2006.01) **G06F 111/06** (2020.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/099553

(22) 国际申请日: 2024 年 6 月 17 日 (17.06.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310826020.3 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)。宋锦铭
(SONG, Jinming); 中国山东省济南市历下区经十路
17923 号, Shandong 250061 (CN)。杨钧岩 (YANG,
Junyan); 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)。李景龙 (LI, Jinglong); 中国山东省
济南市历下区经十路 17923 号, Shandong 250061
(CN)。巴兴之 (BA, Xingzhi); 中国山东省济南市历
下区经十路 17923 号, Shandong 250061 (CN)。

(54) Title: MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION METHOD AND SYSTEM FOR SHIELD CONSTRUCTION PARAMETER

(54) 发明名称: 一种盾构施工参数多目标优化方法及系统

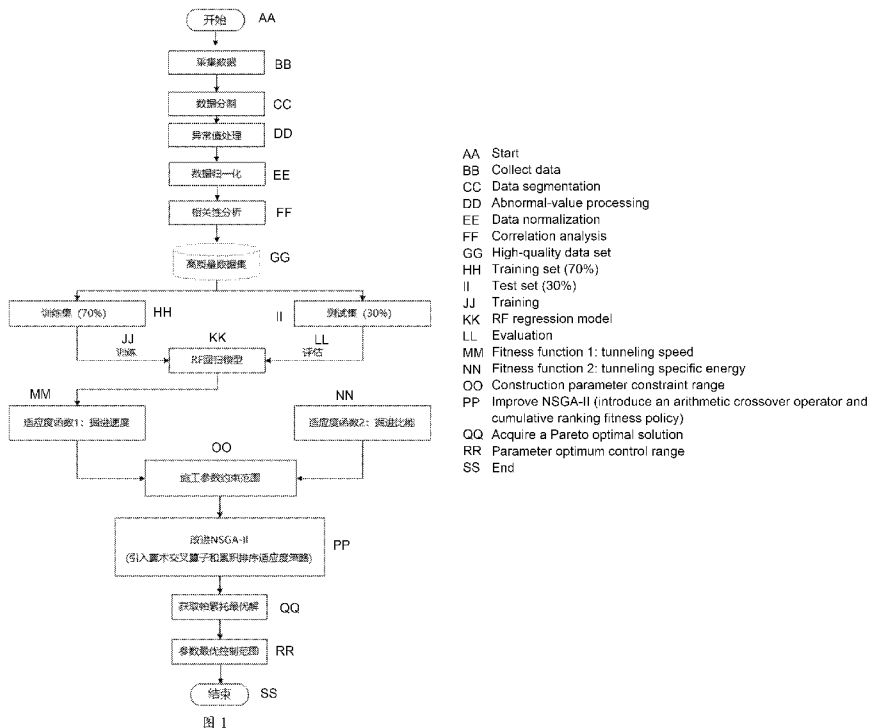


图 1

(57) Abstract: A multi-objective optimization method and system for a shield construction parameter. The method comprises: acquiring an initial shield construction parameter; and optimizing the shield construction parameter by using a multi-objective optimization algorithm, during the optimization of the shield construction parameter, on the basis of the shield construction parameter, obtaining a tunneling speed by means of performing prediction on the basis of random forest, calculating a shield tunneling energy consumption ratio on the basis of the tunneling speed and the shield construction parameter, and taking the maximization of the tunneling speed

(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)。

(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))。

and the minimization of the shield tunneling energy consumption ratio as two fitness functions of the multi-objective optimization algorithm. The multi-objective optimization method and system for a shield construction parameter take construction efficiency into consideration and reduce the construction cost while ensuring construction safety.

(57) 摘要: 一种盾构施工参数多目标优化方法及系统, 包括: 获取初始盾构施工参数; 采用多目标优化算法, 对盾构施工参数进行优化, 且在对盾构施工参数进行优化的过程中, 基于盾构施工参数, 通过随机森林预测得到掘进速度, 基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比, 并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。该盾构施工参数多目标优化方法及系统在保证施工安全的同时考虑了施工效率及减少了施工成本。

一种盾构施工参数多目标优化方法及系统

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 202310826020.3、发明名称为“一种盾构施工参数多目标优化方法及系统”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

本发明属于盾构参数多目标优化技术领域，尤其涉及一种盾构施工参数多目标优化方法及系统。

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。

盾构法是建设城市地下隧道的首选工法，它具有环保、安全、高效等特点，这种方法在中国城市隧道施工中得到了广泛的应用。盾构法是将盾构机械在地层中沿着设计轴线推进，通过盾构外壳和管片支撑四周围岩防止隧道坍塌。与常规的 6 米左右的隧道相比，大直径盾构隧道的刀盘顶部与底部的泥水压力差进一步增大，其与地层水土压力的匹配性降低，从而降低了对开挖面的有效支护。同时，随着盾构直径的增大，盾构穿越复合地层的概率也大幅提高，从而对盾构适应性配置和相应地施工技术提出更高的要求。

盾构的安全、高效掘进是当前地下空间开发的迫切需求，为了能够使盾构掘进过程中实时维持掌子面的稳定，在泥浆舱内提供足够的支护压力，但是不同的掘进参数组合将产生不同的掘进效果，其中值得关注的一个问题就是盾构机的掘进耗能，它决定了盾构施工的成本消耗。此外，盾构机掘进速度是盾构

安全、高效掘进重要参数，明确指导工程进度规划、成本控制。过快的掘进速度，盾构姿态越不易控制，地表起伏偏大，而过慢的掘进速度，则会影响施工效率。

当前研究发现，盾构施工参数的优化目标较为单一，而在实际工程项目中，无法在保证施工安全的同时考虑施工效率及减少施工成本。

发明内容

为了解决上述背景技术中存在的技术问题，本发明提供一种盾构施工参数多目标优化方法及系统，采用随机森林算法和多目标优化算法相结合，将基于随机森林预测的掘进速度作为多目标优化算法第一个适应度函数，将盾构掘进耗能比作为第二个适应度函数，对盾构施工参数实现多目标优化，在保证施工安全的同时考虑了施工效率及减少施工成本。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

本发明的第一个方面提供一种盾构施工参数多目标优化方法。

一种盾构施工参数多目标优化方法，包括：

获取初始盾构施工参数；

采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在对盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

进一步地，通过斯皮尔曼相关系数识别与目标掘进速度的相关性最高的若干个盾构施工参数，基于识别出的盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度。

进一步地，所述识别出的盾构施工参数包括：总推力、刀盘转速、刀盘扭矩、刀盘挤压力、切口压力、贯入度、隧道埋深、粘聚力和内摩擦角。

进一步地，所述盾构掘进耗能比与所述掘进速度以及盾构施工参数中的总推力、刀盘转速、刀盘扭矩和盾构机刀盘半径相关。

进一步地，所述随机森林的训练步骤包括：

获取盾构施工参数及掘进速度，并分割为空推段、上升段、稳定段和建环段后，选取稳定段和建环段的盾构施工参数及掘进速度；

对于选取的数据，利用孤立森林进行异常值的检测，将检测出来的异常值替换为缺失值，再使用平均值法进行缺失值数据填充后，进行归一化处理；

利用归一化处理后的数据，训练随机森林。

进一步地，所述多目标优化算法采用非支配遗传算法，且所述非支配遗传算法在种群交叉时采用算数交叉算子。

进一步地，所述非支配遗传算法在帕累托排序时引入累积排序适应度策略。

本发明的第二个方面提供一种盾构施工参数多目标优化系统。

一种盾构施工参数多目标优化系统，包括：

数据获取模块，其被配置为：获取初始盾构施工参数；

优化模块，其被配置为：采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在对盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

本发明的第三个方面提供一种计算机可读存储介质。

一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该程序被处理器执行

时实现如上述第一个方面所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

本发明的第四个方面提供一种计算机设备。

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，所述处理器执行所述程序时实现如上述第一个方面所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

本发明考虑了盾构掘进参数的多目标优化算法，因为盾构施工过程中，不仅要考虑施工效率还要考虑施工成本，盾构的施工参数众多，采用 RF 算法和 NSGA-II 相结合，将基于 RF 预测的掘进速度作为 NSGA-II 第一个适应度函数，将盾构掘进耗能比作为第二个适应度函数，对盾构施工参数实现多目标优化，在满足多个目标的同时给出最佳参数控制范围，在保证施工安全的同时考虑了施工效率及减少施工成本，相较于单一的目标优化更加符合工程实际意义。

本发明改进了 NSGA-II 算法，使用算术交叉算子代替 NSGA-II 中的 SBX 交叉算子，提高该算法的搜索性能；同时，引入累积排序适应度策略，提高算法的全局搜索能力和帕累托前沿的均匀性，从而最后得到多目标下的最优解集。根据最优解得到掘进参数的优化范围，辅助盾构施工，从而使盾构安全高效掘进。

本发明使用斯皮尔曼相关系数在数据中选取模型所需参数，通过数据预处理提高数据质量和可用性。

附图说明

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。

图 1 是本发明实施例一示出的一种盾构施工参数多目标优化方法的流程图；

图 2 是本发明实施例一示出的 RF 模型对掘进速度的预测效果图；

图 3 是本发明实施例一示出的改进 NSGA-II 算法模型流程图。

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。

需要注意的是，附图中的流程图和框图示出了根据本公开的各种实施例的方法 and 系统的可能实现的体系架构、功能和操作。应当注意，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段、或代码的一部分，所述模块、程序段、或代码的一部分可以包括一个或多个用于实现各个实施例中所规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为备选的实现中，方框中所标注的功能也可以按照不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行，或者它们有时也可以按照相反的顺序执行，这取决于所涉及的功能。同样应当注意的是，流程图和/或框图中的每个方框、以及流程图和/或框图中的方框的组合，可以使用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以使用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

实施例一

本实施例提供了一种盾构施工参数多目标优化方法。

本实施例提供的一种盾构施工参数多目标优化方法，包括：获取初始盾构施工参数；采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

其中，初始盾构施工参数可以随机生成，也可以人为设定。

本实施例提供的一种盾构施工参数多目标优化方法，在数据中选取模型所需参数，通过数据预处理提高数据质量和可用性；采用随机森林（RF）进行预测，通过调整其超参数，提高预测精度可以作为多目标优化的适应度函数；基于 RF 预测掘进速度作为 NSGA-II（非支配遗传算法，Non-dominated Sorting Genetic Algorithms, NSGA）第一个适应度函数；将盾构掘进耗能比作为第二个适应度函数，从而获取多目标的解集；将 NSGA-II 算法引入算术交叉算子策略和累积排序适应度策略，从而更快收敛和保持种群多样性，最后基于 pareto 前沿得到多目标下的最优解集，给出参数控制的合理范围，从而辅助盾构施工。

本实施例提供的一种盾构施工参数多目标优化方法，具体包括以下步骤：

步骤 1：获取盾构施工参数及掘进速度，并进行数据分割：传感器获取每环数据主要是四部分，由空推段、上升段、稳定段、建环段四部分组成，空推段与建环段大部分数值为 0，其分析无意义，选取 10 环上升段与稳定段数据进行分析，即选取稳定段和建环段的盾构施工参数及掘进速度。

其中，盾构挖掘过程中涉及较多参数，有盾构掘进参数、隧道几何参数、地质参数。传感器获取数据每时每刻都在记录；选取盾构运行时所记录数据，停机时所记录数据分析是无意义的。

步骤 2：异常值处理：对于选取的数据，利用孤立森林进行异常值的检测，将孤立森林检测出来的异常点替换为缺失值，再使用平均值法进行缺失值数据填充。

孤立森林是基于决策树的无监督学习算法，算法的思想是将分布在高密度群体之外的样本判为异常点：抽取一部分样本放入单颗树的根结点，设置切割值进行裂树，直到树已无法分割或树长到了所设定的高度，将最先被孤立的一批样本判为异常样本；对森林的每棵树都执行上述操作，再将整个森林的切分结果进行集合，根据如下公式计算每个样本的异常得分：

$$s(x, n) = 2^{-\frac{E(h(x))}{c(n)}}$$

其中， $h(x)$ 为样本在树的深度， $c(n) = 2H(n-1) - (\frac{2(n-1)}{n})$ ， n 为样本个数， H 为谐波常数，将得分高的样本判为异常值。

由于突然停机或传感器监测数据异常会获取到一些异常值，将其剔除以免影响后续模型预测。

步骤 3：数据的归一化计算公式：

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

对数据进行归一化，消除数据之间的量纲，能更好的放入到模型中进行预测。将处理好的数据中的 70%作为训练集，30%作为测试集。

步骤 4：使用斯皮尔曼相关系数来识别所述数据集中的盾构参数与目标掘进速度的相关性，斯皮尔曼相关系数的计算如下：

$$\rho_s = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2]^{\frac{1}{2}}}$$

式中， R_i ， S_i 是观测值 i 取值的等级， $\bar{R}$ ， $\bar{S}$ 是变量 x, y 的实际值， n 是参数总数。

步骤 5：通过相关性分析得到与掘进速度目标相关变量将其作为合理控制盾构施工的主要参数，总推力、刀盘转速、刀盘扭矩、刀盘挤压力、切口压力、贯入度、隧道埋深、粘聚力、内摩擦角等作为输入参数，将掘进速度输出参数来预测。

步骤 6：将步骤 1-3 处理好的数据输入到 RF 回归模型中，RF 算法训练样本时，需要调整模型重要超参数。通过调整决策树的数量、最大特征数及最大深度，从而提高模型的回归拟合性能。

调整 RF 超参数的设置，其设置直接影响模型的预测精度，包括决策树数量 $n_estimators$ 、最大特征数量 $max_features$ 、最大深度 max_depth ；其在测试集上的预测效果如图 2 所示。通过其模型量化指标得出训练集的决定系数 R^2 为 0.9057，测试集 R^2 为 0.8991，证明该模型具有很高的泛化能力。

为了验证 RF 模型的预测性能，选择一个量化指标决定系数 R^2 。性能指标的计算公式如下：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

式中， y_i 是目标值的实际值， $\hat{y}_i$ 是目标值的预测值， $\bar{y}$ 是目标值的实际平均值。

步骤 7：盾构掘进比能是盾构机掘进单位体积所消耗的能量，一部分是刀具开挖土体的消耗 W_T ，另一部分是盾壳与土体之间摩擦力的消耗，其公式如下：

$$SE = \frac{(W_F + W_T)}{V} = \frac{Fv\Delta t + 2\pi nT\Delta t}{\pi R^2 v \Delta t} = \frac{Fv + 2\pi nT}{\pi R^2 v}$$

其中 F 为总推力 (kN)， v 为掘进速度 (mm/min)， n 为刀盘转速 (r/min)， T 为刀盘扭矩 (MN·m)， R 为盾构机刀盘半径。

从 RF-NSGA-II 优化的角度来看，特定工程项目的土壤参数和几何参数是固定的。为了实现盾构施工中掘进比能最小和掘进速度最大的目标，应优化施工参数。

步骤 8：通过 RF 训练后得到盾构掘进参数和掘进速度的关系，并建立第一个目标函数，决定掘进速度的目标函数 $\max F_2$ ；然后，建立第二个目标函数，决定盾构掘进比能的目标函数 $\min F_1$ 。

具体地，用 RF 对掘进速度进行精准预测，将盾构参数与该目标之间的非线性关系构造 NSGA-II 的第一个适应度函数。

具体地，将经验公式盾构掘进耗比能作为第二个适应度函数，为了确保生成方案能够合理实施，需要在生成方案时设置每个变量的进行限制，并形成变量的约束条件。为了防止优化的盾构机参数与实际盾构参数之间存在较大差异，从而导致较大的调整范围和潜在的安全隐患。

步骤 9：当施工参数优化时，必须设定种群的决策范围，对其变量进行约束，以确保初始种群具有实际意义。

步骤 10：运行 NSGA-II 算法。

在其他领域研究中多目标优化中，有用到各种算法如 MODE、MOGA 等，相对较多的是 NSGA-II 算法，其可生成最优解，帮助决策者进行决策，然而其采用的交叉算子搜索性能较弱，该算法在种群多样性和收敛速度上也有一定的局限。

本实施例中，为使 NSGA-II 算法获得解更加均匀，在种群交叉时采用算数交叉算子代替 NSGA-II 中的 SBX 交叉算子，保留父代个体优良性状，提高交叉后个体的质量，提高该算法的搜索性能；在帕累托排序时引入累积排序适应度策略，保留优秀个体的适应度值不被稀释，从而更快收敛和保持种群多样性，

最后得到多目标下的帕累托前沿最优解集。算法流程图如图 3 所示，根据该目标的复杂程度设置种群规模、锦标赛规模、交叉概率、进化代数获取帕累托前沿。

其中，算数交叉算子是将两个父代个体的对应基因进行加权平均得到的子代个体对应基因。具体地，两个父代个体 P1 和 P2，假设它们的某个基因分别为 $g(1)$ 和 $g(2)$ ，则子代个体的对应基因为 $g(c) = \lambda g(1) + (1 - \lambda)g(2)$ ，式中 λ 为随机生成权重因子，通常在 $[0,1]$ 之间取值。其优势是保留父代个体信息，同时引入新的变异信息，增加遗传算法的搜索空间。

步骤 11：以 NSGA-II 算法获得最优解，在满足两个目标的同时，将盾构施工参数控制在优化范围内，从而使盾构掘进更加安全、高效。

实施例二

本实施例提供了一种盾构施工参数多目标优化系统。

一种盾构施工参数多目标优化系统，包括：

数据获取模块，其被配置为：获取初始盾构施工参数；

优化模块，其被配置为：采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在对盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

此处需要说明的是，上述模块与实施例一中的步骤所实现的示例和应用场景相同，但不限于上述实施例一所公开的内容。需要说明的是，上述模块作为系统的一部分可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行。

实施例三

本实施例提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该程

序被处理器执行时实现如上述实施例一所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

实施例四

本实施例提供了一种计算机设备，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，所述处理器执行所述程序时实现如上述实施例一所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

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。

权利要求书

1、一种盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，包括：

获取初始盾构施工参数；

采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在对盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

2、根据权利要求1所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，通过斯皮尔曼相关系数识别与目标掘进速度的相关性最高的若干个盾构施工参数，基于识别出的盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度。

3、根据权利要求2所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，所述识别出的盾构施工参数包括：总推力、刀盘转速、刀盘扭矩、刀盘挤压力、切口压力、贯入度、隧道埋深、粘聚力和内摩擦角。

4、根据权利要求1所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，所述盾构掘进耗能比与所述掘进速度以及盾构施工参数中的总推力、刀盘转速、刀盘扭矩和盾构机刀盘半径相关。

5、根据权利要求1所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，所述随机森林的训练步骤包括：

获取盾构施工参数及掘进速度，并分割为空推段、上升段、稳定段和建环段后，选取稳定段和建环段的盾构施工参数及掘进速度；

对于选取的数据，利用孤立森林进行异常值的检测，将检测出来的异常值替换为缺失值，再使用平均值法进行缺失值数据填充后，进行归一化处理；

利用归一化处理后的数据，训练随机森林。

6、根据权利要求1所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，所述多目标优化算法采用非支配遗传算法，且所述非支配遗传算法在种群交叉时采用算数交叉算子。

7、根据权利要求6所述的盾构施工参数多目标优化方法，其特征在于，所述非支配遗传算法在帕累托排序时引入累积排序适应度策略。

8、一种盾构施工参数多目标优化系统，其特征在于，包括：

数据获取模块，其被配置为：获取初始盾构施工参数；

优化模块，其被配置为：采用多目标优化算法，对盾构施工参数进行优化，且在对盾构施工参数进行优化的过程中，基于盾构施工参数，通过随机森林预测得到掘进速度，基于掘进速度和盾构施工参数计算盾构掘进耗能比，并将掘进速度最大化和盾构掘进耗能比最小化作为多目标优化算法的两个适应度函数。

9、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如权利要求1-7中任一项所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

10、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如权利要求1-7中任一项所述的盾构施工参数多目标优化方法中的步骤。

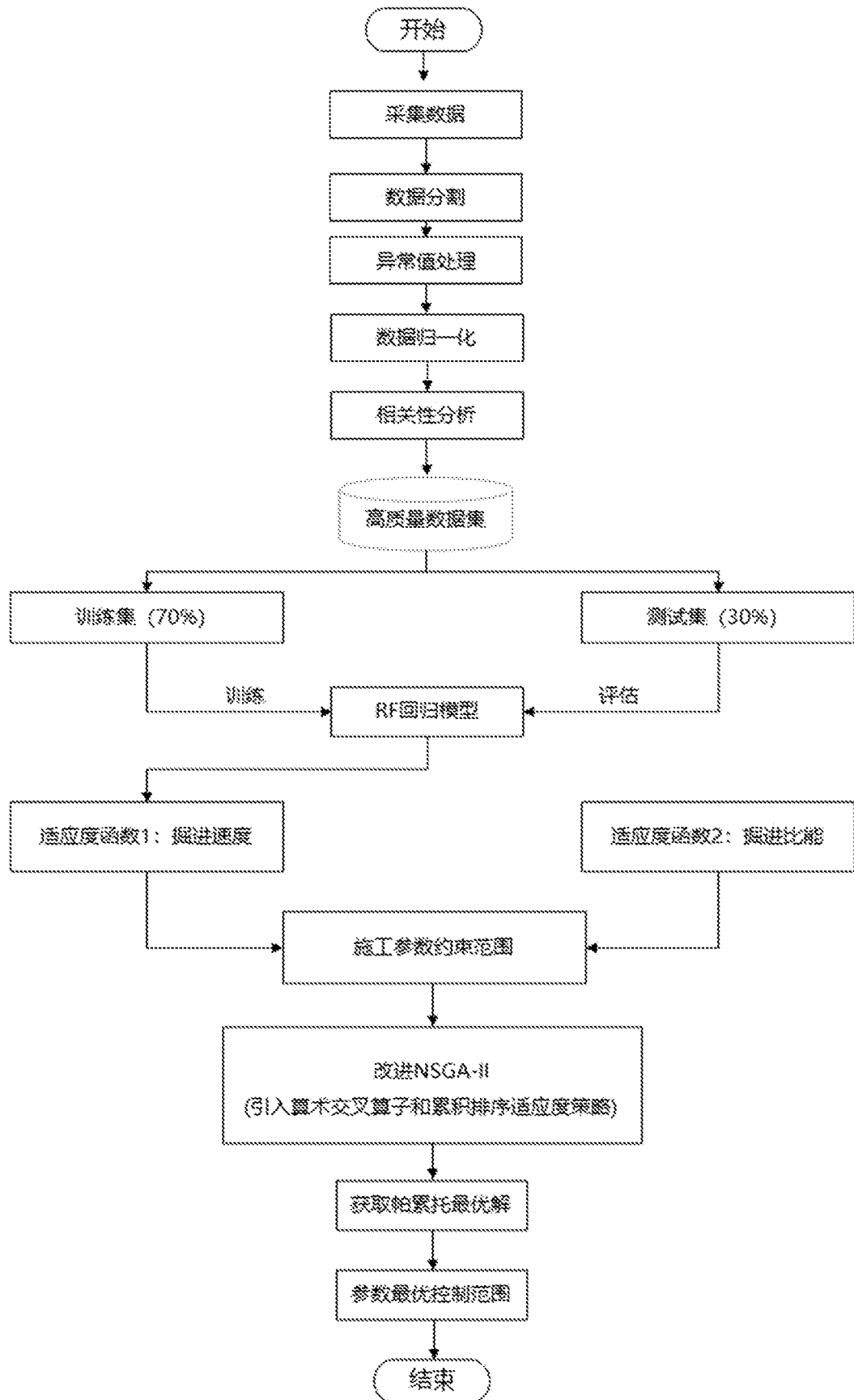


图 1

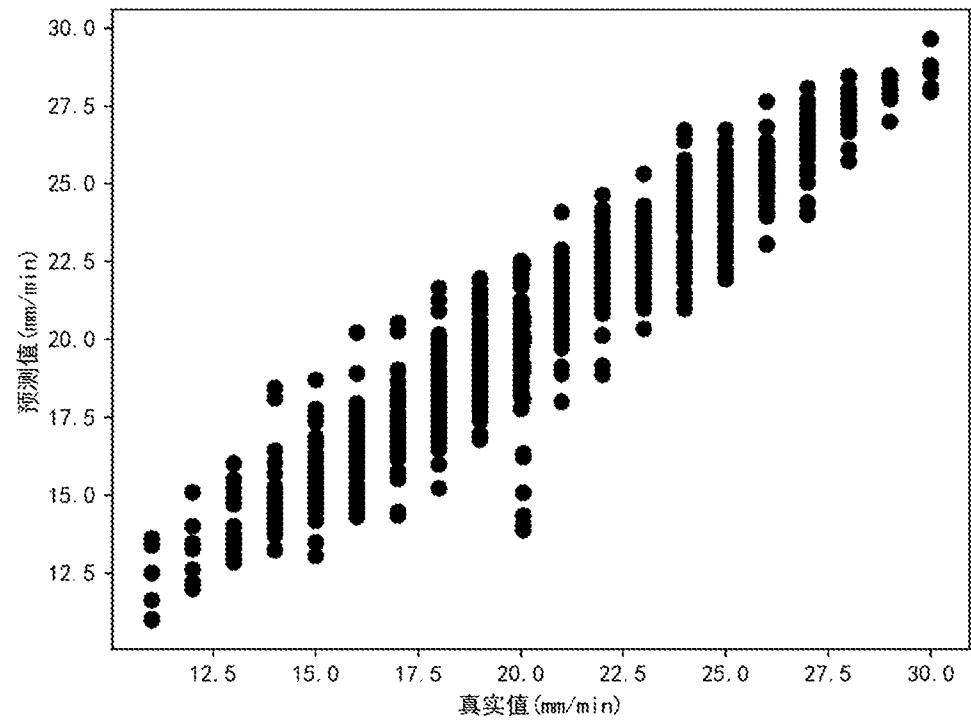


图 2

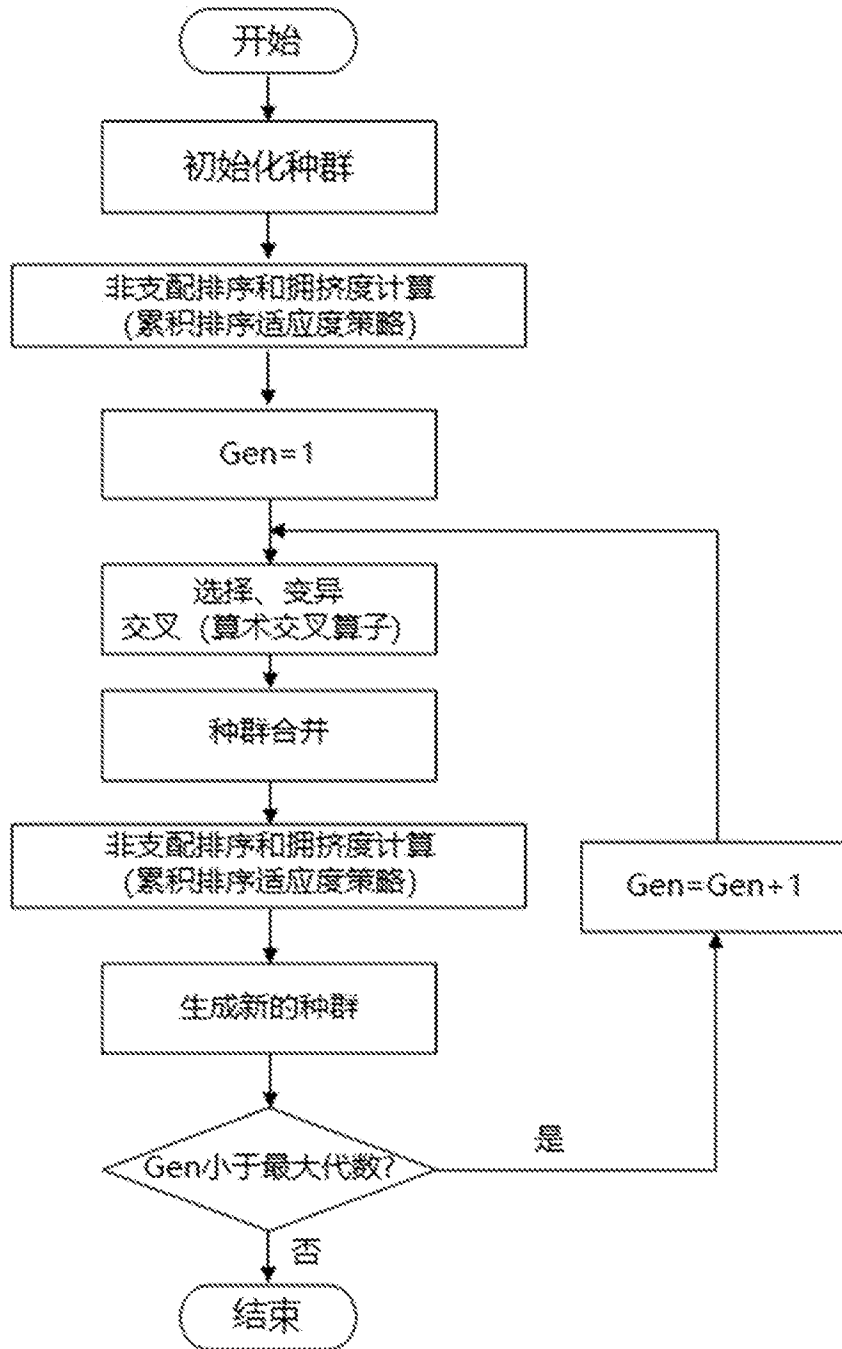


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/099553

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F30/13(2020.01)i; E21D9/093(2006.01)i; G06F30/27(2020.01)i; G06F111/06(2020.01)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) IPC: G06F; E21D 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) CNTXT, WPABSC, ENTXTC, WPABS, ENTXT, DWPL, 中国期刊网全文数据库, China Journal Network Full-text Database (CJFD), ISI_Web of Science: 山东大学, 齐鲁工业大学, 李利平, 周宗青, 高成路, 宋锦铭, 杨钧岩, 成帅, 李景龙, 巴兴之, 盾构, 施工, 参数, 优化, 随机森林, 预测, 掘进, 推进, 挖掘, 速度, 能耗, 耗能, 遗传, 非支配, 函数, 斯皮尔曼, 交叉算子, TBM, shield, construction, tunnel+, RF, random forest, NSGA, rate of penetration, speed, energy, ratio, algorithm, function?		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116933363 A (QILU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (SHANDONG ACADEMY OF SCIENCES) et al.) 24 October 2023 (2023-10-24) claims 1-10	1-10
A	AU 2021101920 A4 (GUIYANG URBAN RAIL TRANSIT CO., LTD. et al.) 03 June 2021 (2021-06-03) description, page 9 last paragraph-page 22 paragraph 1, and figures 1-7	1-10
A	CN 110874512 A (LIAONING SHIHUA UNIVERSITY) 10 March 2020 (2020-03-10) entire document	1-10
A	CN 113486463 A (CHINA RAILWAY ENGINEERING EQUIPMENT GROUP CO., LTD. et al.) 08 October 2021 (2021-10-08) entire document	1-10
A	CN 113935546 A (GUANGDONG YUEHAI PEARL RIVER DELTA WATER SUPPLY CO., LTD. et al.) 14 January 2022 (2022-01-14) entire document	1-10
☒ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 26 August 2024		Date of mailing of the international search report 02 September 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 114418469 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 29 April 2022 (2022-04-29) entire document	1-10
A	CN 115481565 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY et al.) 16 December 2022 (2022-12-16) entire document	1-10
A	CN 115796019 A (CCCC SECOND HARBOUR ENGINEERING CO., LTD. et al.) 14 March 2023 (2023-03-14) entire document	1-10
A	KR 20190061302 A (INHA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 05 June 2019 (2019-06-05) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/099553

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116933363	A	24 October 2023	None			
AU	2021101920	A4	03 June 2021	None			
CN	110874512	A	10 March 2020	CN	110874512	B	08 March 2024
CN	113486463	A	08 October 2021	CN	113486463	B	02 May 2023
CN	113935546	A	14 January 2022	None			
CN	114418469	A	29 April 2022	CN	114418469	B	19 July 2022
CN	115481565	A	16 December 2022	None			
CN	115796019	A	14 March 2023	None			
KR	20190061302	A	05 June 2019	KR	102003612	B1	01 October 2019

A. 主题的分类

G06F30/13(2020.01)i; E21D9/093(2006.01)i; G06F30/27(2020.01)i; G06F111/06(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; E21D

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))

CNTEXT,WPABSC,ENTXTC,WPABS,ENTXT,DWPI,中国期刊网全文数据库,ISI_Web of Science: 山东大学,齐鲁工业大学,李利平,周宗青,高成路,宋锦铭,杨钧岩,成帅,李景龙,巴兴之,盾构,施工,参数,优化,随机森林,预测,掘进,推进,挖掘,速度,能耗,耗能,遗传,非支配,函数,斯皮尔曼,交叉算子,TBM,shield,construction,tunnel+,RF,random forest,NSGA,rate of penetration,speed,energy,ratio,algorithm,function?

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 116933363 A (齐鲁工业大学(山东省科学院)等) 2023年10月24日 (2023 - 10 - 24) 权利要求1-10	1-10
A	AU 2021101920 A4 (GUIYANG URBAN RALL TRANSIT CO., LTD.等) 2021年6月3日 (2021 - 06 - 03) 说明书第9页最后1段至第22页第1段, 附图1-7	1-10
A	CN 110874512 A (辽宁石油化工大学) 2020年3月10日 (2020 - 03 - 10) 全文	1-10
A	CN 113486463 A (中铁工程装备集团有限公司等) 2021年10月8日 (2021 - 10 - 08) 全文	1-10
A	CN 113935546 A (广东粤海珠三角供水有限公司等) 2022年1月14日 (2022 - 01 - 14) 全文	1-10
A	CN 114418469 A (华中科技大学) 2022年4月29日 (2022 - 04 - 29) 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8月26日

国际检索报告邮寄日期

2024年9月2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

王俊德

电话号码 (+86) 010-53962834

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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
A	CN 115481565 A (中南大学等) 2022年12月16日 (2022 - 12 - 16) 全文	1-10
A	CN 115796019 A (中交第二航务工程局有限公司等) 2023年3月14日 (2023 - 03 - 14) 全文	1-10
A	KR 20190061302 A (UNIV INHA RES & BUSINESS FOUND) 2019年6月5日 (2019 - 06 - 05) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/099553

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	116933363	A	2023年10月24日	无	
AU	2021101920	A4	2021年6月3日	无	
CN	110874512	A	2020年3月10日	CN	110874512 B 2024年3月8日
CN	113486463	A	2021年10月8日	CN	113486463 B 2023年5月2日
CN	113935546	A	2022年1月14日	无	
CN	114418469	A	2022年4月29日	CN	114418469 B 2022年7月19日
CN	115481565	A	2022年12月16日	无	
CN	115796019	A	2023年3月14日	无	
KR	20190061302	A	2019年6月5日	KR	102003612 B1 2019年10月1日