



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118709604 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 05

(21) 申请号 202411186685.3

G16C 60/00 (2019.01)

(22) 申请日 2024.08.28

G06F 113/08 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06F 119/08 (2020.01)

申请公布号 CN 118709604 A

G06F 119/14 (2020.01)

(43) 申请公布日 2024.09.27

(56) 对比文件

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 112014391 A, 2020.12.01

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 112069745 A, 2020.12.11

审查员 张凌

(72) 发明人 戴兰宏 盛冬林 赵子棋 李统
陈艳 汪海英

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G06F 30/28 (2020.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种获得聚能射流稳定性判据的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种获得聚能射流稳定性判据的方法,其首先在多种动态条件下对射流材料进行力学性能测试,获得聚能射流药型罩材料的JC动态本构关系,然后在JC动态本构关系基础上对射流进行稳定性分析,以获得聚能射流药型罩材料的稳定性判据,将JC动态本构参数代入稳定性判据,即可获得射流稳定的临界应变。本发明构思合理,充分考虑了应变硬化与应变率硬化效应对射流稳定性的影响,可以广泛地应用于各种新型药型罩材料,能够低成本、高效、准确地获得聚能射流稳定性判据。

首先在多种动态条件下对射流材料进行力学性能测试,获得聚能射流药型罩材料的JC动态本构关系;

然后在JC动态本构关系基础上对射流进行稳定性分析,以获得聚能射流药型罩材料的稳定性判据;

最后将JC动态本构参数代入稳定性判据,即可获得射流稳定的临界应变。

1. 一种获得聚能射流稳定性判据的方法,其特征在于:首先在多种动态条件下对射流材料进行力学性能测试,获得聚能射流药型罩材料的JC动态本构关系;然后在JC动态本构关系基础上对射流进行稳定性分析,以获得聚能射流药型罩材料的稳定性判据;最后将JC动态本构参数代入稳定性判据,即可获得射流稳定的临界应变;

所述获得聚能射流稳定性判据的方法主要包括以下步骤:

1) 首先,获得聚能射流药型罩材料的动态JC本构关系式:

$$\sigma = (\sigma_0 + B\varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*)(1 - T^{*m}) \quad (7);$$

其中,上式(7)中 σ 为流动应力, σ_0 为参考条件下屈服应力, B 为应变硬化系数, n 为应变硬化指数, ε 为应变, C 为应变率硬化系数, $\dot{\varepsilon}^*$ 为实际应变率比参考应变率, m 为热软化系数;

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}, T \text{ 为实际温度, } T_0 \text{ 为参考温度, } T_m \text{ 为熔化温度};$$

2) 构建射流物质坐标下的动量方程为:

$$\rho_0 A_0 x_{tt} = (\sigma A)_a \quad (3);$$

其中,上述的动量方程(3)中, ρ_0 为射流初始密度, A_0 为射流初始截面积, A 为射流拉伸后的截面积, σ 为射流内流动应力, x 表示射流拉伸方向的空间坐标, tt 表示对时间求二阶导,下标 a 表示对物质坐标求导;

3) 导出射流的拉伸应变作为截面积的函数:

$$\varepsilon = \ln(\rho_0 A_0 / \rho A) = \ln(A_0 / A) \quad (5);$$

上式(5)中, ε 为射流应变, ρ_0 为射流初始密度, A_0 为射流初始截面积, ρ 为射流拉伸后密度, A 为射流拉伸后截面积;

4) 将上述步骤1)中的动态JC本构关系式(7)代入上述步骤2)中的物质坐标下的动量方程(3)中,得到:

$$\rho_0 A_0 x_{tt} = (\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\dot{\varepsilon}) h(T) A_a \quad (8);$$

其中,上式(8)中的 $g(\dot{\varepsilon}) = 1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*$ 表示材料的应变率硬化效应, $h(T) = 1 - T^{*m}$ 表示材料的热软化效应;

5) 考虑有微扰的射流,截面积变化为:

$$A(a, 0) = A_0 [1 + f_0 \cos(ba)] \quad (9);$$

其中,上式(9)中 A_0 为射流初始截面积; f_0 为初始时刻的扰动振幅; λ 为扰动的波长; b 为扰动的波数, $b = 2\pi / \lambda$;

则:

$$A(a, t) = A_0 [1 + f(t) \cos(ba)] / (\eta t + 1) \quad (11);$$

6) 将上式(11)代入上式(8),获得方程:

$$(\eta t + 1) f_{tt} + 2\eta(\eta t + 1) f_t - \left[(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\dot{\varepsilon}) b^2 / \rho_0 \right] f = 0 \quad (12);$$

7) 上式(12)的通解形式为:

$$f(t) = Q(\eta t + 1)^s \quad (13);$$

其中 Q 为任意常数,

$$s = \left[-1 \pm (1 + 4K)^{1/2} \right] / 2$$

$$K = \left[(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\varepsilon) h(T) / \rho_0 \right] (2\pi / \lambda\eta)^2 \quad (14);$$

上式(14)中, s 为通解中的指数; K 为与材料JC本构有关的参数;

8) 当 $s \leq 0$ 时,即 $K \leq 0$ 时,射流不会拉伸失稳,稳定性判据为:

$$\sigma_0 + B\varepsilon^n \leq nB\varepsilon^{n-1} \quad (15)。$$

2. 如权利要求1所述的获得聚能射流稳定性判据的方法,其特征在于,所述步骤2)中构建射流物质坐标下的动量方程的具体过程为:

先定义射流物质坐标:

$$a = \frac{1}{\rho_0 A_0} \int_{x(0,t)}^{x(a,t)} \rho A dx \quad (1);$$

其中,上式(11)中 ρ 为射流密度, $x(a, t)$ 是物质坐标为 a 时间坐标为 t 的射流的空间坐标, $x(0, t)$ 是物质坐标为0时间坐标为 t 的射流的空间坐标, dx 是对空间坐标的微分;

根据质量守恒条件:

$$\rho_0 A_0 da = \rho A dx \quad (2);$$

可得物质坐标下的动量守恒方程(3)。

3. 如权利要求1所述的获得聚能射流稳定性判据的方法,其特征在于,所述步骤2)中的射流空间坐标 x 与射流拉伸后截面积 A 分别表示为:

$$\begin{cases} x = a(\eta t + 1) \\ A = A_0 / (\eta t + 1) \end{cases} \quad (6);$$

其中,上式(6)中 x 为射流空间坐标; a 为射流物质坐标; A 为射流拉伸后截面积; A_0 为初始截面积; η 为射流拉伸应变率, $\eta = V_0 / L_0$, L_0 为射流原长, V_0 为射流头部与尾部速度差。

一种获得聚能射流稳定性判据的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料动态力学行为的试验技术领域,具体涉及一种获得聚能射流稳定性判据的方法。

背景技术

[0002] 聚能射流是一种利用炸药的聚能效应制成的大威力战斗部。具有小锥角的金属药型罩与炸药贴合,当炸药引爆后会驱动金属药型罩向轴线处汇聚形成金属射流,金属射流以每秒8到10公里的速度向前运动,同时又在极高的应变率下拉长。高速运动的射流能对装甲、混凝土等目标都能产生严重毁伤,毁伤效果与射流形成的品质密切相关。当射流凝聚性较好并能保持稳定时,毁伤效果往往较好,而若射流离散或者发生断裂则毁伤效果大打折扣,因此,使射流保持稳定性在提升战斗部威力方面具有重要意义。

[0003] 传统的稳定性判据之一是由Pei Chi Chou于1977年提出的具有线性硬化特性材料的稳定性判据。主要步骤是:首先导出具有一定长度与拉伸应变率的射流物质坐标下的动量方程,然后假设存在一个随时间变化的微扰,再结合线性硬化本构在质量守恒的条件下代入动量方程,最后根据失稳条件得到稳定性判据:

$$[0004] \quad \sigma_0 \leq C \quad (1);$$

[0005] 其中, σ_0 为屈服应力, C 为线性硬化模量。

[0006] 目前,在已发表的文献中可以找到许多该评价方法的应用,然而,原始方法推导出的式(10)要求材料具有线性硬化的本构形式,而实际绝大多数金属及合金材料都是幂硬化而且应变率和温度敏感的,原有判据已严重不适于真实材料。现有的材料在工程应用上多采用JC动态本构的形式,因此如果在JC动态本构的条件下得到射流的稳定性判据将具有重要价值。

[0007] 综上所述,有必要对现有技术做进一步创新。

发明内容

[0008] 针对上述背景技术中存在的技术问题,本发明提出了一种获得聚能射流稳定性判据的方法,其构思合理,充分考虑了应变硬化与应变率硬化效应对射流稳定性的影响,可以广泛地应用于各种新型药型罩材料,能够低成本、高效、准确地获得聚能射流稳定性判据。

[0009] 为解决上述技术问题,本发明提供一种获得聚能射流稳定性判据的方法,其首先在多种动态条件下对射流材料进行力学性能测试,获得聚能射流药型罩材料的JC动态本构关系;然后在JC动态本构关系基础上对射流进行稳定性分析,以获得聚能射流药型罩材料的稳定性判据;最后将JC动态本构参数代入稳定性判据,即可获得射流稳定的临界应变。

[0010] 所述获得聚能射流稳定性判据的方法,其中,主要包括以下步骤:

[0011] 1) 首先,获得聚能射流药型罩材料的动态JC本构关系式:

$$[0012] \quad \sigma = (\sigma_0 + B\varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*) (1 - T^{*m}) \quad (7);$$

[0013] 其中,上式(7)中 σ 为流动应力, σ_0 为参考条件下屈服应力, B 为应变硬化系数, n 为应变硬化指数, ε 为应变, C 为应变率硬化系数, $\dot{\varepsilon}^*$ 为实际应变率比参考应变率, m 为热软化系数; $T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$, T 为实际温度, T_0 为参考温度, T_m 为熔化温度;

[0014] 2) 构建射流物质坐标下的动量方程为:

$$[0015] \quad \rho_0 A_0 x_{tt} = (\sigma A)_a \quad (3);$$

[0016] 其中,上述的动量方程(3)中, ρ_0 为射流初始密度, A_0 为射流初始截面积, A 为射流拉伸后的截面积, σ 为射流内流动应力, x 表示射流拉伸方向的空间坐标, tt 表示对时间求二阶导,下标 a 表示对物质坐标求导;

[0017] 3) 导出射流的拉伸应变作为截面积的函数:

$$[0018] \quad \varepsilon = \ln(\rho_0 A_0 / \rho A) = \ln(A_0 / A) \quad (5);$$

[0019] 上式(5)中, ε 为射流应变, ρ_0 为射流初始密度, A_0 为射流初始截面积, ρ 为射流拉伸后密度, A 为射流拉伸后截面积;

[0020] 4) 将上述步骤1)中的动态JC本构关系式(7)代入上述步骤2)中的物质坐标下的动量方程(3)中,得到:

$$[0021] \quad \rho_0 A_0 x_{tt} = (\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\dot{\varepsilon}) h(T) A_a \quad (8);$$

[0022] 其中,上式(8)中的 $g(\dot{\varepsilon}) = 1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*$ 表示材料的应变率硬化效应, $h(T) = 1 - T^m$ 表示材料的热软化效应;

[0023] 5) 考虑有微扰的射流,截面积变化为:

$$[0024] \quad A(a, 0) = A_0 [1 + f_0 \cos(ba)] \quad (9);$$

[0025] 其中,上式(9)中 A_0 为射流初始截面积; f_0 为初始时刻的扰动振幅; λ 为扰动的波长; b 为扰动的波数, $b = 2\pi / \lambda$;

[0026] 则:

$$[0027] \quad A(a, t) = A_0 [1 + f(t) \cos(ba)] / (\eta t + 1) \quad (11);$$

[0028] 6) 将上式(11)代入上式(8),获得方程:

$$[0029] \quad (\eta t + 1) f_{tt} + 2\eta(\eta t + 1) f_t - \left[(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\dot{\varepsilon}) b^2 / \rho_0 \right] f = 0 \quad (12);$$

[0030] 7) 上式(12)的通解形式为:

$$[0031] \quad f(t) = Q(\eta t + 1)^s \quad (13);$$

[0032] 其中 Q 为任意常数,

$$[0033] \quad s = \left[-1 \pm (1 + 4K)^{1/2} \right] / 2$$

$$K = \left[(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1}) g(\dot{\varepsilon}) h(T) / \rho_0 \right] (2\pi / \lambda \eta)^2 \quad (14);$$

[0034] 上式(14)中, s 为通解中的指数; K 为与材料JC本构有关的参数;

[0035] 8) 当 $s \leq 0$ 时,即 $K \leq 0$ 时,射流不会拉伸失稳,稳定性判据为:

[0036] $\sigma_0 + B\varepsilon^n \leq nB\varepsilon^{n-1}$ (15)。

[0037] 所述获得聚能射流稳定性判据的方法,其中,所述步骤2)中构建射流物质坐标下的动量方程的具体过程为:

[0038] 先定义射流物质坐标:

[0039]
$$a = \frac{1}{\rho_0 A_0} \int_{x(0,t)}^{x(a,t)} \rho A dx$$
 (1);

[0040] 其中,上式(11)中 ρ 为射流密度, $x(a,t)$ 是物质坐标为 a 时间坐标为 t 的射流的空间坐标, $x(0,t)$ 是物质坐标为0时间坐标为 t 的射流的空间坐标, dx 是对空间坐标的微分;

[0041] 根据质量守恒条件:

[0042] $\rho_0 A_0 da = \rho A dx$ (2);

[0043] 可得物质坐标下的动量守恒方程(3)。

[0044] 所述获得聚能射流稳定性判据的方法,其中,所述步骤2)中的射流空间坐标 x 与射流拉伸后截面积 A 分别表示为:

[0045]
$$\begin{cases} x = a(\eta t + 1) \\ A = A_0 / (\eta t + 1) \end{cases}$$
 (6);

[0046] 其中,上式(6)中 x 为射流空间坐标; a 为射流物质坐标; A 为射流拉伸后截面积; A_0 为初始截面积; η 为射流拉伸应变率, $\eta = V_0 / L_0$, L_0 为射流原长, V_0 为射流头部与尾部速度差。

[0047] 采用上述技术方案,本发明具有如下有益效果:

[0048] 本发明获得聚能射流稳定性判据的方法构思合理,基于广泛使用的材料动态JC本构,充分考虑了应变硬化、应变率硬化效应与热软化效应对稳定性判据的影响,克服了以往方法无法应用于实际材料的缺陷,可以广泛地应用于各种新型药型罩材料,不仅能够低成本、高效、准确的获得聚能射流的稳定性判据,也可以对先进武器材料的设计提供指导方向,对于发展高性能聚能破甲武器具有重要意义。

附图说明

[0049] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0050] 图1为本发明获得聚能射流稳定性判据的方法的流程图。

具体实施方式

[0051] 下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0052] 下面结合具体的实施方式对本发明做进一步的解释说明。

[0053] 如图1所示,本实施例提供了一种获得聚能射流稳定性判据的方法,是首先在多种动态条件下对射流材料进行力学性能测试,获得聚能射流药型罩材料的JC动态本构关系,然后在JC动态本构关系基础上对射流进行稳定性分析,以获得聚能射流药型罩材料的稳定性判据,将JC动态本构参数代入稳定性判据,即可获得射流稳定的临界应变。

[0054] 本发明获得聚能射流稳定性判据的方法,具体包括以下步骤:

[0055] 首先假设射流的原长为 L_0 ,初始截面积为 A_0 ,射流头部与尾部速度差为 V_0 ,射流密度为 ρ ,定义物质坐标:

$$[0056] \quad a = \frac{1}{\rho_0 A_0} \int_{x(0,t)}^{x(a,t)} \rho A dx \quad (1);$$

[0057] 其中,上式(1)中 $X(a, t)$ 是物质坐标为 a 时间坐标为 t 的射流的空间坐标, $x(0, t)$ 是物质坐标为 0 时间坐标为 t 的射流的空间坐标, dx 是对空间坐标的微分;

[0058] 质量守恒条件有:

$$[0059] \quad \rho_0 A_0 da = \rho A dx \quad (2);$$

[0060] 则物质坐标下的动量守恒方程可以写作:

$$[0061] \quad \rho_0 A_0 x_{tt} = (\sigma A)_a \quad (3);$$

[0062] 其中,上式(3)中 σ 为射流材料应力, x 为射流空间坐标,下标 t 表示对时间求导,下标 tt 表示对时间求二阶导,下标 a 表示对物质坐标求导。

[0063] 自然应变增量可定义为:

$$[0064] \quad d\varepsilon = dL / L \quad (4);$$

[0065] 其中,上式(4)中 $d\varepsilon$ 为射流自然应变增量, dL 为射流伸长量, L 为射流拉伸后长度。

[0066] 则应变可表示为:

$$[0067] \quad \varepsilon = \ln(\rho_0 A_0 / \rho A) = \ln(A_0 / A) \quad (5);$$

[0068] 其中,材料被假设为不可压缩;上式(5)中 ε 为射流应变, ρ_0 为射流初始密度, A_0 为射流初始截面积, ρ 为射流拉伸后密度, A 为射流拉伸后截面积。

[0069] 射流空间坐标 x 与射流拉伸后截面积 A 分别表示为:

$$[0070] \quad \begin{cases} x = a(\eta t + 1) \\ A = A_0 / (\eta t + 1) \end{cases} \quad (6);$$

[0071] 其中,上式(6)中 x 为射流空间坐标; a 为射流物质坐标; A 为射流拉伸后截面积; A_0 为初始截面积; η 为射流拉伸应变率, $\eta = V_0 / L_0$, L_0 为射流原长, V_0 为射流头部与尾部速度差。

[0072] 根据JC动态本构,材料的本构关系可表示为:

$$[0073] \quad \sigma = (\sigma_0 + B\varepsilon^n) (1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*) (1 - T^{*m}) \quad (7);$$

[0074] 其中,上式(7)中 σ 为流动应力, σ_0 为参考条件下屈服应力, B 为应变硬化系数, n

为应变硬化指数, ε 为应变, C 为应变率硬化系数, $\dot{\varepsilon}^*$ 为实际应变率比参考应变率, m 为热软化系数; $T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$, T 为实际温度, T_0 为参考温度, T_m 为熔化温度;

[0075] 将上式(7)代入式(3), 得:

$$[0076] \quad \rho_0 A_0 x_{tt} = \left(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1} \right) g(\dot{\varepsilon}) h(T) A_a \quad (8);$$

[0077] 其中, 上式(8)中的 $g(\dot{\varepsilon}) = 1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*$ 表示材料的应变率硬化效应, $h(T) = 1 - T^{*m}$ 表示材料的热软化效应;

[0078] 现在考虑射流的初始微扰, 截面积的变化为:

$$[0079] \quad A(a, 0) = A_0 [1 + f_0 \cos(ba)] \quad (9);$$

[0080] 其中, 上式(9)中 A_0 为射流初始截面积; f_0 为初始时刻的扰动振幅; λ 为扰动的波长; b 为扰动的波数, $b = 2\pi n / L_0 = 2\pi / \lambda$;

[0081] 则:

$$[0082] \quad A(a, t) = A_0 [1 + f(t) \cos(ba)] / (\eta t + 1) \quad (11);$$

[0083] 将上式(11)结合上式(8)有:

$$[0084] \quad (\eta t + 1) f_{tt} + 2\eta(\eta t + 1) f_t - \left[\left(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1} \right) g(\dot{\varepsilon}) b^2 / \rho_0 \right] f = 0 \quad (12);$$

[0085] 通解为:

$$[0086] \quad f(t) = Q(\eta t + 1)^s \quad (13);$$

[0087] 其中, Q 为任意常数,

$$[0088] \quad s = \left[-1 \pm (1 + 4K)^{1/2} \right] / 2$$

$$K = \left[\left(\sigma_0 + B\varepsilon^n - nB\varepsilon^{n-1} \right) g(\dot{\varepsilon}) h(T) / \rho_0 \right] (2\pi / \lambda \eta)^2 \quad (14);$$

[0089] 上式(14)中, s 为通解中的指数; K 为与材料JC本构有关的参数; 当 $s \leq 0$ 时, 即 $K \leq 0$ 时, 射流不会拉伸失稳, 稳定性判据为:

$$[0090] \quad \sigma_0 + B\varepsilon^n \leq nB\varepsilon^{n-1} \quad (15);$$

[0091] 从上式(15)可以看到, 应变硬化会影响稳定性判据, 对是否失稳有决定性影响。在确定了是否失稳的问题后, 应变率硬化与热软化部分会对失稳速度有影响, 当 K 越小时, s 越小, 扰动增长越慢, 失稳速度变慢, 即硬化效应有助于射流的稳定性。

[0092] 下面结合具体实施例对本发明做进一步的解释说明。

[0093] 紫铜由于较好的延展性, 几十年来一直是药型罩材料的首选, 本发明以此为例给出紫铜射流的稳定性判据。

[0094] 首先根据文献查阅紫铜的JC本构参数:

[0095]

σ_0 (MPa)	B (MPa)	n	C	m
90	292	0.31	0.025	1.09

[0096] 根据式(24)可知,判据转化为应变:

[0097] $\varepsilon \leq 0.206$ (16)。

[0098] 本发明构思合理,基于材料动态JC本构,充分考虑了应变硬化、应变率硬化效应与热软化效应对稳定性判据的影响,能够低成本、高效、准确的获得聚能射流的稳定性判据。

[0099] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

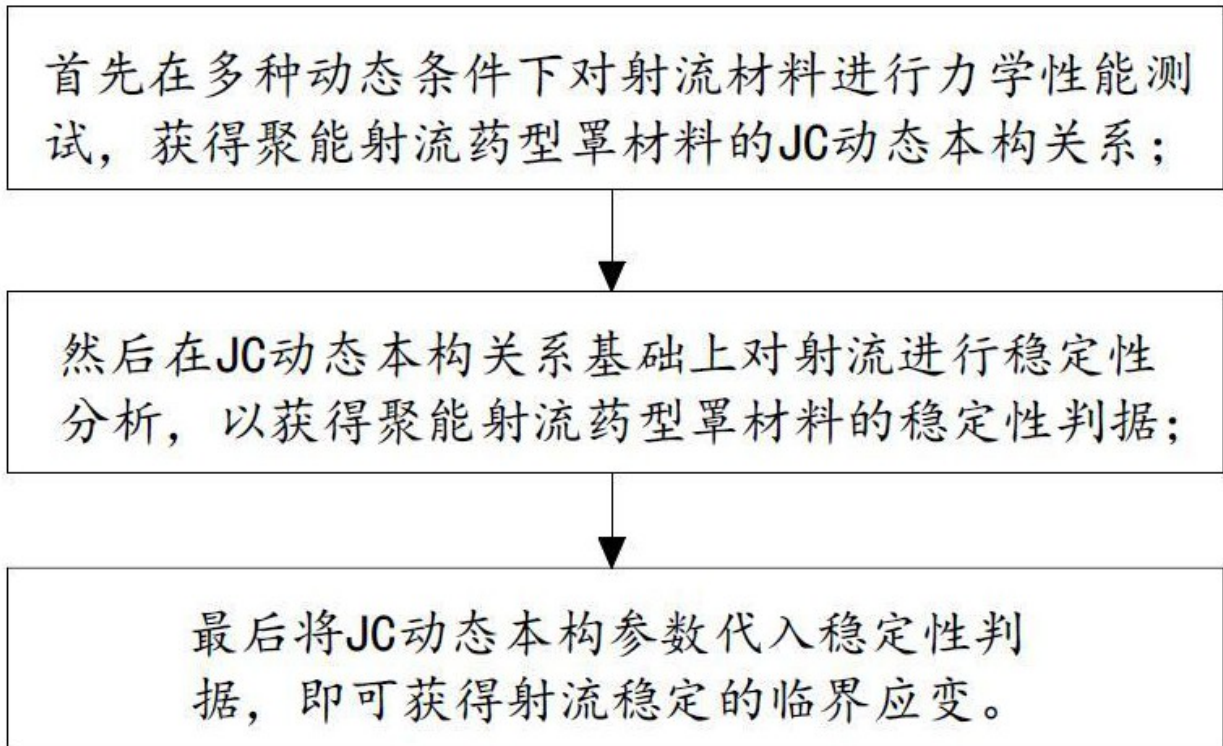


图 1