



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110110346 B

(45) 授权公告日 2022. 10. 25

(21) 申请号 201910124488.1

(22) 申请日 2019.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110110346 A

(43) 申请公布日 2019.08.09

(73) 专利权人 成都理工大学
地址 610059 四川省成都市成华区二仙桥
东三路1号

(72) 发明人 刘清友 朱海燕

(74) 专利代理机构 成都金英专利代理事务所
(普通合伙) 51218
专利代理师 袁英

(51) Int. Cl.
G06F 30/23 (2020.01)
G06F 30/28 (2020.01)
G06F 30/17 (2020.01)
G06F 111/10 (2020.01)
G06F 113/08 (2020.01)
G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 108804808 A, 2018.11.13
US 2010030527 A1, 2010.02.04
US 2018088552 A1, 2018.03.29
US 2012152624 A1, 2012.06.21

况雨春等. 钻柱-钻头-岩石系统动态行为仿真.《石油学报》.2001,第22卷(第03期),第81-85页.

黄志强等. 基于LS-DYNA的冲旋钻头牙齿破岩机理仿真研究.《天然气工业》.2007,第27卷(第04期),第76-78页.

范永涛等. 物探冲旋钻头破岩机理仿真研究.《石油钻探技术》.2011,第39卷(第03期),第110-113页.

Haiyan Zhu等. "A 3D FEM methodology for air hammer bit design".《Advanced Materials Research》.2010,第156-157卷 (续)

审查员 刘洛

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

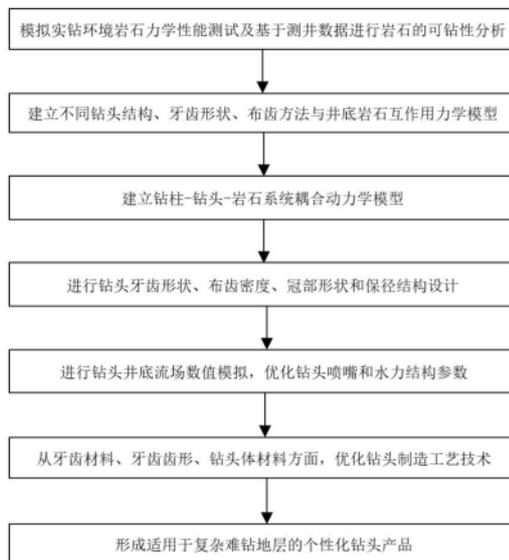
(54) 发明名称

一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,它包括以下步骤:S1、获取所钻地层的岩石可钻性指标;S2、进行钻头牙齿破岩数字仿真分析和齿圈及钻头复合破岩实验,建立井底岩石互作用力学模型;S3、建立钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型;S4、针对复杂难钻地层的岩石力学性能,进行牙齿形状、布齿密度、冠部形状和保径结构设计;S5、利用计算流体动力学理论与数值模拟方法,优化钻头喷嘴和水力结构参数;S6、采用牙齿材料脱钻强化技术、高强度钻头体材料技术和特殊齿形牙齿技术,优化钻头的制造工艺;本发明的优点是提出一种针对复杂难钻地层的个性化钻头设计方法,从而缩

短钻头开发周期,降低开发成本。



CN 110110346 B

[接上页]

(56) 对比文件

Tianheng Feng等.“A Finite Element Method with Full Bit-Force Modeling to

Analyze Drillstring Vibration”.《Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control》.2017,第139卷(第9期),

1. 一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,其特征在于:它包括以下步骤:

S1、模拟井下的高温高压环境,进行复杂难钻地层的岩石力学性能测试与分析,获取所钻地层的岩石可钻性指标,同时基于岩屑微硬度实验和测井数据进行岩石的可钻性分析;

S2、进行钻头牙齿破岩数字仿真分析和齿圈及钻头复合破岩实验,分析复杂难钻地层岩石力学性能特征和牙齿破岩机理,建立不同钻头结构、布齿方法、牙齿尺寸与不同井底岩石互作用力学模型;

S3、采用有限元方法和能量法,考虑钻柱结构、钻柱振动、井深、井径参数对钻头-岩石相互作用的影响,将钻柱离散为n个单元,钻头作为钻柱最下端的一个单元,建立钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型;

所述钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型为:

$$M^e U^{\ddot{e}} + C^e U^{\dot{e}} + K_L^e U^e + K_N^e U^e = F^e$$

$$M^e = \begin{bmatrix} M_{11(6 \times 6)}^e & M_{12(6 \times 6)}^e \\ M_{21(6 \times 6)}^e & M_{22(6 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

$$C^e = C_D^e + C_N^e$$

$$K^e = K_L^e + K_N^e$$

$$F^e = \begin{bmatrix} f_{1(1 \times 6)}^e & f_{2(1 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

组集单元模型后得到系统的整体动力学模型: $MU'' + CU' + KU = F$

式中, M^e 是单元质量矩阵, C^e 是单元阻尼矩阵, C_D^e 是单元耗散阻尼矩阵, C_N^e 是单元非耗散性质阻尼矩阵, K^e 是单元刚度矩阵, K_L^e 是单元刚度矩阵的线性部分, K_N^e 是单元刚度矩阵的非线性部分, F^e 是单元载荷阵列, $U^{\ddot{e}}$ 是单元的加速度阵列, $U^{\dot{e}}$ 是单元的速度阵列, U^e 是单元的位移阵列; M 是整体质量矩阵, C 是整体阻尼矩阵, K 是整体刚度矩阵, F 是整体载荷阵列, U'' 是系统的加速度阵列, U' 是系统的速度阵列, U 是系统的位移阵列;

S4、针对复杂难钻地层的岩石力学性能,根据钻头不同部位牙齿的冲击、刮切和保径的功能,采用锥形、球形、楔形不同牙型齿和不等间距、扭转、螺旋的非均匀布齿方法,进行牙齿形状、布齿密度、冠部形状和保径结构设计;

S5、利用计算流体动力学理论与数值模拟方法,分析在不同钻压、转速、泥浆流量的钻井参数条件下,钻头的井底流场分布,优化钻头喷嘴和水力结构参数;

S6、采用牙齿材料脱钴强化技术、高强度钻头体材料技术和特殊齿形牙齿技术,优化钻头的制造工艺;

S7、形成适用于复杂难钻地层的个性化钻头产品。

2. 根据权利要求1所述的一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,其特征在于:所述步骤S1中基于岩屑微硬度实验进行岩石的可钻性分析时,分井段采集现场岩屑,进行微硬度测试,利用岩石可钻性与微硬度的关系模型,建立所分析井段的可钻性剖面;根据测井数据进行全井段岩石力学性质分析和钻进难易程度评判,建立全井的可钻性剖面。

3. 根据权利要求1所述的一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,其特征在于:

所述步骤S2中,所述的力学模型为:

$$F_z(t) = \sum_{i,j,k} F_{vijk}^*(t)$$

$$F_{lx}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lijk}^*(t) \cos(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$F_{ly}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lijk}^*(t) \sin(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$M_R(t) = \sum_{i,j,k} l_{xijk}(t) f_{lxijk}^*(t) + \sum_{i,j,k} l_{yijk}(t) f_{lyijk}^*(t)$$

式中, $F_z(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的岩石的纵向反作用力,单位为N; $F_{vijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的纵向反作用力,单位为N; $F_{lx}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在X方向上的分解,单位为N; $F_{ly}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在Y方向上的分解,单位为N; $F_{lijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿受到的横向力,单位为N; $\alpha_{ijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿的工作角度,单位为($^{\circ}$); $M_R(t)$ 是钻头在任一时刻与岩石互作用的扭转力矩,单位为N·m; $f_{lxijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在X方向上的分解,单位为N; $f_{lyijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在Y方向上的分解,单位为N; $l_{xijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿与X轴的距离,单位为m; $l_{yijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿与Y轴的距离,单位为m。

4. 根据权利要求1所述的一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,其特征在于:所述步骤S1中岩石可钻性指标包括岩石硬度、强度、泊松比、地应力。

一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及石油天然气勘探开发技术领域,特别是一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法。

背景技术

[0002] 随着油气田勘探开发工作的不断深入,油气开发的重点逐渐转向深部地层的油气资源,因而所钻遇的地层构造越来越复杂,钻井难度越来越大,包括深井、超深井和复杂结构井等。深层油气资源埋藏条件复杂(包括高温、高压、高含硫和低渗透等),具有埋藏深、岩石致密、地层岩性变化大、可钻性差以及石英含量高研磨性强等特点,常规的钻头在这类地层中钻进时,单只钻头的寿命低、进尺小,平均机械钻速很低。因此,开展专门针对复杂难钻地层的钻头技术研究,将能够提高该类钻头的使用寿命,降低钻头开发成本,提高钻井效率,从而实现高效地开发深部复杂地层油气藏资源。

[0003] 专利CN201510484868.8发明了PDC钻头的设计方法、装置及PDC钻头,该专利从钻井平均钻速、钻头井下转速和钻头刀翼的个数等方面分析,获得钻头前排切削齿与后排切削齿之间的高度差。专利CN201010500274.9发明了金刚石钻头金刚石颗粒分布的分形设计方法,提出了一种对金刚石钻头的金刚石颗粒的尺寸、数量及分布的设计方法。以及专利CN201010500309.9发明了牙轮钻头轮齿结构的分形设计方法,提出了一种对牙轮钻头轮齿的尺寸、数量及分布的设计方法。以上专利均只从钻井参数、金刚石颗粒和牙轮轮齿等某个单因素方面出发,来研究钻头的设计方法,忽略了钻柱振动和地层岩石性质变化对钻头工作状态的影响,因而所设计的钻头性能很难有大的突破。

[0004] 早期的钻头设计常采用“试凑经验法”:只考虑钻压对钻头静强度影响,即单因素,没有考虑钻柱振动、岩性变化的影响,因而设计出的钻头主要用于浅井、低钻速钻井。钻头通过牙齿破碎井底岩石实现钻进,因而钻头钻速和寿命与井底岩石性能直接相关;同时钻头是靠钻柱提供运动和动力来实现钻井,钻柱的振动(包括纵向、横向和扭转振动)会直接影响钻头使用性能。此前,钻头设计均假设岩石为均质平井底,没有考虑钻头的结构、牙齿形状、布齿方法与地层岩石(硬度、强度、泊松比、地应力等)作用对钻头设计的影响,不能满足钻头个性化设计的要求。目前,鲜少有针对深井复杂难钻地层的个性化钻头设计方法的研究。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的缺点,提供一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法。

[0006] 本发明的目的通过以下技术方案来实现:一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,它包括以下步骤:

[0007] S1、模拟井下的高温高压环境,进行复杂难钻地层的岩石力学性能测试与分析,获取所钻地层的岩石可钻性指标,包括岩石硬度、强度、泊松比、地应力,同时基于岩屑微硬度

实验和测井数据进行岩石的可钻性分析；

[0008] S2、进行钻头牙齿破岩数字仿真分析和齿圈及钻头复合破岩实验，分析复杂难钻地层岩石力学性能特征和牙齿破岩机理，建立不同钻头结构、布齿方法、牙齿尺寸与不同井底岩石互作用力学模型；

[0009] S3、采用有限元方法和能量法，考虑钻柱结构、钻柱振动、井深、井径参数对钻头-岩石相互作用的影响，将钻柱离散为n个单元，钻头作为钻柱最下端的一个单元，建立钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型；

[0010] S4、针对复杂难钻地层的岩石力学性能，根据钻头不同部位牙齿的冲击、刮切和保径的功能，采用锥形、球形、楔形不同牙型齿和不等间距、扭转、螺旋的非均匀布齿方法，进行牙齿形状、布齿密度、冠部形状和保径结构设计；

[0011] S5、利用计算流体动力学理论与数值模拟方法，分析在不同钻压、转速、泥浆流量的钻井参数条件下，钻头的井底流场分布，优化钻头喷嘴和水力结构参数；

[0012] S6、采用牙齿材料脱钴强化技术、高强度钻头体材料技术和特殊齿形牙齿技术，优化钻头的制造工艺；

[0013] S7、形成适用于复杂难钻地层的个性化钻头产品。

[0014] 具体地，所述步骤S1中基于岩屑微硬度实验进行岩石的可钻性分析时，分井段采集现场岩屑，进行微硬度测试，利用岩石可钻性与微硬度的关系模型，建立所分析井段的可钻性剖面；根据测井数据进行全井段岩石力学性质分析和钻进难易程度评判，建立全井的可钻性剖面。

[0015] 具体地，步骤S2中所述的力学模型为：

$$[0016] \quad F_z(t) = \sum_{i,j,k} F_{vij}^*(t)$$

$$[0017] \quad F_{lx}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lij}^*(t) \cos(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$[0018] \quad F_{ly}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lij}^*(t) \sin(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$[0019] \quad M_R(t) = \sum_{i,j,k} l_{xijk}(t) f_{lxijk}^*(t) + \sum_{i,j,k} l_{yijk}(t) f_{lyijk}^*(t)$$

[0020] 式中， $F_z(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的岩石的纵向反作用力，单位为N； $F_{vij}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的纵向反作用力，单位为N； $F_{lx}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在X方向上的分解，单位为N； $F_{ly}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在Y方向上的分解，单位为N； $F_{lij}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿受到的横向力，单位为N； $\alpha_{ijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿的工作角度，单位为(°)； $M_R(t)$ 是钻头在任一时刻与岩石互作用的扭转力矩，单位为N·m； $f_{lxijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在X方向上的分解，单位为N； $f_{lyijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在Y方向上的分解，单位为N； $l_{xijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿与X轴的距离，单位为m； $l_{yijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿与

Y轴的距离,单位为m。

[0021] 具体地,所述步骤S3中钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型为:

$$[0022] \quad M^e U^{\ddot{e}} + C^e U^{\dot{e}} + K_L^e U^e + K_N^e U^e = F^e$$

$$[0023] \quad M^e = \begin{bmatrix} M_{11(6 \times 6)}^e & M_{12(6 \times 6)}^e \\ M_{21(6 \times 6)}^e & M_{22(6 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

$$[0024] \quad C^e = C_D^e + C_N^e$$

$$[0025] \quad K^e = K_L^e + K_N^e$$

$$[0026] \quad F^e = \begin{bmatrix} f_{1(1 \times 6)}^e & f_{2(1 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

[0027] 组集单元模型后得到系统的整体动力学模型: $MU'' + CU' + KU = F$

[0028] 式中, M^e 是单元质量矩阵, C^e 是单元阻尼矩阵, C_D^e 是单元耗散阻尼矩阵, C_N^e 是单元非耗散性质阻尼矩阵, K^e 是单元刚度矩阵, K_L^e 是单元刚度矩阵的线性部分, K_N^e 是单元刚度矩阵的非线性部分, F^e 是单元载荷阵列, $U^{\ddot{e}}$ 是单元的加速度阵列, $U^{\dot{e}}$ 是单元的速度阵列, U^e 是单元的位移阵列; M 是整体质量矩阵, C 是整体阻尼矩阵, K 是整体刚度矩阵, F 是整体载荷阵列, U'' 是系统的加速度阵列, U' 是系统的速度阵列, U 是系统的位移阵列。

[0029] 具体地,所述步骤S1中岩石可钻性指标包括岩石硬度、强度、泊松比、地应力。

[0030] 本发明具有以下优点: 1、本发明针对复杂难钻地层的特征,深入的进行岩石的可钻性测试与分析,能够更加全面的掌握所钻地层岩石的真实性质参数,为钻头设计提供前期的技术支撑,克服了之前钻头设计假设均质平井底的问题;

[0031] 2、本发明建立钻柱-钻头-岩石系统耦合动力学模型,能够真实地模拟钻柱振动对钻头与岩石相互作用的影响,建立基于实际钻井条件下的钻头动态设计新方法,实现钻头设计从单因素到多因素、从静态到动态的突破,从而提高钻头设计的可靠性和可行性;

[0032] 3、采用锥形、球形、楔形等不同牙型齿和不等间距、扭转、螺旋的非均匀布齿方法,进行牙齿形状、布齿密度和保径结构设计,提升牙齿的侵入岩石能力和钻头破岩效率;

[0033] 4、本发明进行钻头制造工艺技术的研究,从牙齿材料、牙齿尺寸、牙齿形状和冠部形状等方面考虑,实现针对复杂难钻地层的个性化钻头设计制造

附图说明

[0034] 图1为本发明的设计流程示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明做进一步的描述,但本发明的保护范围不局限于以下所述。

[0036] 如图1所示,一种复杂难钻地层的个性化钻头动态设计方法,它包括以下步骤:

[0037] S1、模拟井下的高温高压环境,进行复杂难钻地层的岩石力学性能测试与分析,获取所钻地层的岩石可钻性指标,包括岩石硬度、强度、泊松比、地应力,同时基于岩屑微硬度

实验和测井数据进行岩石的可钻性分析；

[0038] S2、进行钻头牙齿破岩数字仿真分析和齿圈及钻头复合破岩实验,分析复杂难钻地层岩石力学性能特征和牙齿破岩机理,建立不同钻头结构、布齿方法、牙齿尺寸与不同井底岩石互作用力学模型；

[0039] S3、采用有限元方法和能量法,考虑钻柱结构、钻柱振动、井深、井径参数对钻头-岩石相互作用的影响,将钻柱离散为n个单元,钻头作为钻柱最下端的一个单元,建立钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型；

[0040] S4、针对复杂难钻地层的岩石力学性能,根据钻头不同部位牙齿的冲击、刮切和保径的功能,采用锥形、球形、楔形等不同牙型齿和不等间距、扭转、螺旋的非均匀布齿方法,进行牙齿形状、布齿密度、冠部形状和保径结构设计,提升牙齿的侵入岩石能力、破岩效率和钻头工作的稳定性；

[0041] S5、利用计算流体动力学理论与数值模拟方法,分析在不同钻压、转速、泥浆流量的钻井参数条件下,针对单相流、液固两相流(常规泥浆钻井)、气固两相流(气体钻井)、气液固三相流(泡沫钻井),进行钻头井底流场仿真分析,优化钻头喷嘴和水力结构参数；

[0042] S6、采用牙齿材料脱钻强化技术、高强度钻头体材料技术和特殊齿形牙齿技术,优化钻头的制造工艺；

[0043] S7、形成适用于复杂难钻地层的个性化钻头产品。

[0044] 进一步地,所述步骤S1中基于岩屑微硬度实验进行岩石的可钻性分析时,分井段采集现场岩屑,进行微硬度测试,利用岩石可钻性与微硬度的关系模型,建立所分析井段的可钻性剖面；根据测井数据进行全井段岩石力学性质分析和钻进难易程度评判,建立全井的可钻性剖面。进一步地,步骤S2中所述的力学模型为：

$$[0045] \quad F_z(t) = \sum_{i,j,k} F_{vijk}^*(t)$$

$$[0046] \quad F_{lx}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lij}(t) \cos(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$[0047] \quad F_{ly}(t) = \sum_{i,j,k} F_{lij}(t) \sin(\pi + \alpha_{ijk}(t))$$

$$[0048] \quad M_R(t) = \sum_{i,j,k} l_{xijk}(t) f_{lxijk}^*(t) + \sum_{i,j,k} l_{yijk}(t) f_{lyijk}^*(t)$$

[0049] 式中, $F_z(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的岩石的纵向反作用力,单位为N; $F_{vijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的纵向反作用力,单位为N; $F_{lx}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在X方向上的分解,单位为N; $F_{ly}(t)$ 是钻头在任一时刻所受到的横向力在Y方向上的分解,单位为N; $F_{lij}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿受到的横向力,单位为N; $\alpha_{ijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿的工作角度,单位为($^{\circ}$); $M_R(t)$ 是钻头在任一时刻与岩石互作用的扭转力矩,单位为N·m; $f_{lxijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在X方向上的分解,单位为N; $f_{lyijk}^*(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿所受到的横向力在Y方向上的分解,单位为N; $l_{xijk}(t)$

是钻头在该时刻触底牙齿与X轴的距离,单位为m; $l_{yijk}(t)$ 是钻头在该时刻触底牙齿与Y轴的距离,单位为m。

[0050] 进一步地,所述步骤S3中钻柱-钻头-岩石系统耦合整体动力学模型为:

$$[0051] \quad M^e U^{\ddot{e}} + C^e U^{\dot{e}} + K_L^e U^e + K_N^e U^e = F^e$$

$$[0052] \quad M^e = \begin{bmatrix} M_{11(6 \times 6)}^e & M_{12(6 \times 6)}^e \\ M_{21(6 \times 6)}^e & M_{22(6 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

$$[0053] \quad C^e = C_D^e + C_N^e$$

$$[0054] \quad K^e = K_L^e + K_N^e$$

$$[0055] \quad F^e = \begin{bmatrix} f_{1(1 \times 6)}^e & f_{2(1 \times 6)}^e \end{bmatrix}$$

[0056] 组集单元模型后得到系统的整体动力学模型: $MU''+CU'+KU=F$

[0057] 式中, M^e 是单元质量矩阵, C^e 是单元阻尼矩阵, C_D^e 是单元耗散阻尼矩阵, C_N^e 是单元非耗散性质阻尼矩阵, K^e 是单元刚度矩阵, K_L^e 是单元刚度矩阵的线性部分, K_N^e 是单元刚度矩阵的非线性部分, F^e 是单元载荷阵列, $U^{\ddot{e}}$ 是单元的加速度阵列, $U^{\dot{e}}$ 是单元的速度阵列, U^e 是单元的位移阵列; M 是整体质量矩阵, C 是整体阻尼矩阵, K 是整体刚度矩阵, F 是整体载荷阵列, U'' 是系统的加速度阵列, U' 是系统的速度阵列, U 是系统的位移阵列。

[0058] 以上所述,仅为本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制。任何熟悉本领域的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述所述技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术对以上实施例所做的任何改动修改、等同变化及修饰,均属于本技术方案的保护范围。

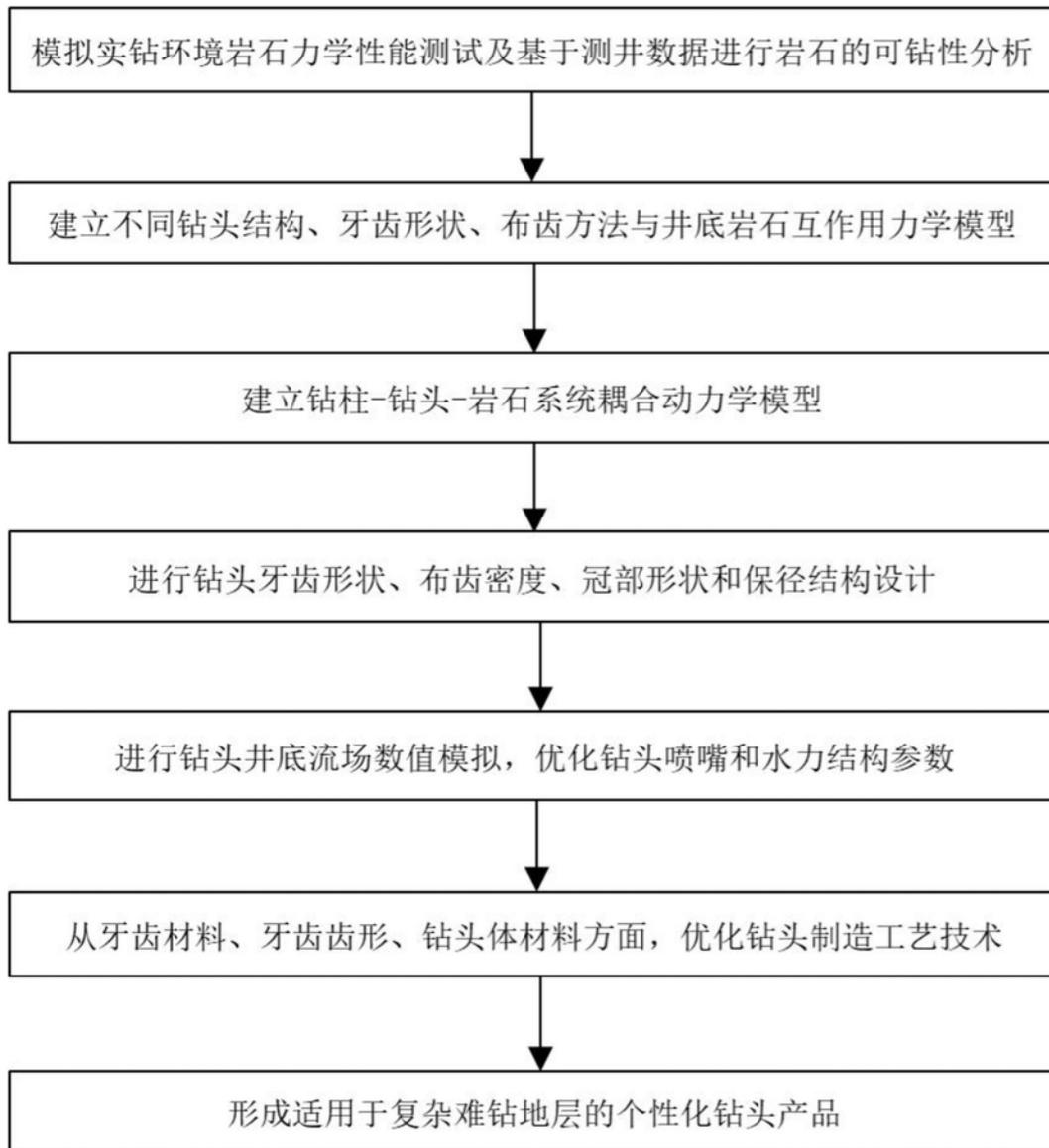


图1