



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112958488 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

(21) 申请号 202110185653.1

(22) 申请日 2021.02.11

(71) 申请人 中北大学

地址 030051 山西省太原市尖草坪区学院路3号

(72) 发明人 尹武良 杜月 张志杰

(74) 专利代理机构 太原新航路知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 14112

代理人 王勇

(51) Int. Cl.

B07C 5/344 (2006.01)

B07C 5/36 (2006.01)

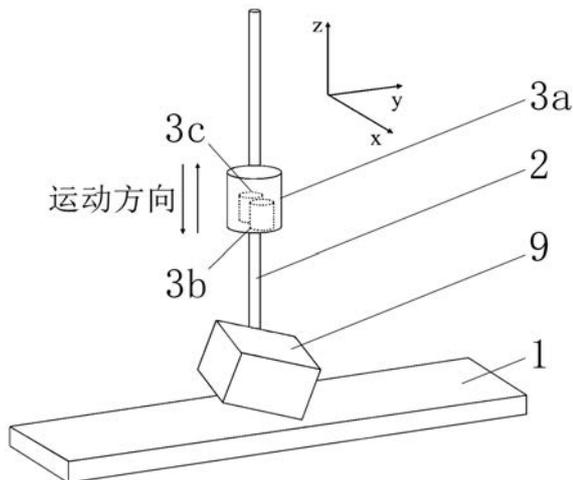
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及有色金属分类技术,具体是一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法。本发明解决了现有有色金属分类技术分类准确率低的问题。一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,包括带式输送机、电动升降柱、电涡流传感器、模拟开关芯片、功率放大器、信号发生器、信号调理器、上位机;其中,带式输送机水平固定于地面上;电动升降柱垂直固定于带式输送机的旁侧地面上;电涡流传感器包括壳体、发射线圈、接收线圈;壳体固定于电动升降柱的柱体的侧面,且壳体位于带式输送机的输送带的正上方;发射线圈、接收线圈均固定于壳体内,且发射线圈的轴线、接收线圈的轴线均与带式输送机的输送带的上表面垂直。本发明适用于有色金属的分类。



1. 一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,其特征在于:包括带式输送机、电动升降柱、电涡流传感器、模拟开关芯片(4)、功率放大器(5)、信号发生器(6)、信号调理器(7)、上位机(8);

其中,带式输送机水平固定于地面上;电动升降柱垂直固定于带式输送机的旁侧地面上;电涡流传感器包括壳体(3a)、发射线圈(3b)、接收线圈(3c);壳体(3a)固定于电动升降柱的柱体(2)的侧面,且壳体(3a)位于带式输送机的输送带(1)的正上方;发射线圈(3b)、接收线圈(3c)均固定于壳体(3a)内,且发射线圈(3b)的轴线、接收线圈(3c)的轴线均与带式输送机的输送带(1)的上表面垂直;发射线圈(3b)的上、下端分别与接收线圈(3c)的上、下端齐平;信号发生器(6)依次通过功率放大器(5)、模拟开关芯片(4)与发射线圈(3b)电连接;接收线圈(3c)依次通过模拟开关芯片(4)、信号调理器(7)与上位机(8)电连接;上位机(8)与信号发生器(6)电连接。

2. 根据权利要求1所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,其特征在于:壳体(3a)为圆筒形壳体;发射线圈(3b)、接收线圈(3c)均为圆柱形空心线圈;发射线圈(3b)的内径为0.75mm、外径为1.25mm、高度为3mm、匝数为160;接收线圈(3c)的内径为0.75mm、外径为1.5mm、高度为3mm、匝数为200;发射线圈(3b)的轴线与接收线圈(3c)的轴线之间的距离为3.5mm。

3. 根据权利要求1所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,其特征在于:所述模拟开关芯片(4)为MAX4656型模拟开关芯片;所述信号发生器(6)为AD7008型DDS芯片。

4. 一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法,该方法是基于如权利要求1所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置实现的,其特征在于:该方法是采用如下步骤实现的:

步骤一:将待分类的有色金属样品(9)置于带式输送机的输送带(1)的上表面,有色金属样品(9)随着带式输送机的输送带(1)进行移动;

步骤二:当有色金属样品(9)移动至电涡流传感器的下方时,电动升降柱的柱体(2)驱动电涡流传感器进行上下往复运动,由此使得电涡流传感器与有色金属样品(9)之间的距离发生变化;与此同时,信号发生器(6)输出正弦激励信号;正弦激励信号先经功率放大器(5)进行放大,再经模拟开关芯片(4)传输至发射线圈(3b),由此使得有色金属样品(9)中感应产生电涡流,从而使得接收线圈(3c)中感应产生互感信号;互感信号先经模拟开关芯片(4)传输至信号调理器(7),再经信号调理器(7)进行调理后传输至上位机(8);上位机(8)对互感信号进行解调处理,由此得到互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ;

步骤三:根据互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ,计算出互感信号的幅值 $\Delta M$ 和相位 $p$ ;具体计算公式如下:

$$\Delta M = \sqrt{M_R^2 + M_I^2};$$

$$p = \tan^{-1} \frac{M_I}{M_R};$$

步骤四:对互感信号的幅值 $\Delta M$ 和相位 $p$ 进行归一化处理,由此得到互感信号的归一化幅值 $M$ 和归一化相位 $\theta$ ,从而得到二者的关系曲线;关系曲线具体表示如下:

$$\frac{\Delta M}{\max(\Delta M)} e^{ip} = Me^{i\theta};$$

式中： $i$ 表示虚数单位；

步骤五：将互感信号的归一化幅值 $M$ 的取值范围设定为 $0.2 \leq M \leq 0.8$ ，并利用最小二乘法对关系曲线进行线性拟合，由此得到一次拟合曲线；然后，将一次拟合曲线与 $y$ 轴交点的纵坐标确定为有色金属样品(9)的特征截距 $b$ ；

步骤六：根据有色金属样品(9)的特征截距 $b$ ，判定有色金属样品(9)的材料，由此将有色金属样品(9)进行分类；具体判定规则如下：

当 $1.61 \leq b \leq 1.64$ 时，将有色金属样品(9)的材料判定为Cu；

当 $1.70 \leq b \leq 1.72$ 时，将有色金属样品(9)的材料判定为Al；

当 $1.77 \leq b \leq 1.80$ 时，将有色金属样品(9)的材料判定为Zn；

当 $1.92 \leq b \leq 1.94$ 时，将有色金属样品(9)的材料判定为Sn；

当 $2.35 \leq b \leq 2.38$ 时，将有色金属样品(9)的材料判定为Ti。

5. 根据权利要求4所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法，其特征在于：所述步骤二中，电涡流传感器与有色金属样品(9)之间的距离变化范围为 $1 \sim 14\text{mm}$ 。

6. 根据权利要求4所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法，其特征在于：所述步骤二中，正弦激励信号的频率为 $20 \sim 100\text{KHz}$ 。

7. 根据权利要求4所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法，其特征在于：所述步骤二中，通过上位机(8)可以调节正弦激励信号的幅值和相位。

## 一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及有色金属分类技术,具体是一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法。

### 背景技术

[0002] 有色金属被广泛地应用于工业中,是国民经济发展的重要材料与关键性战略物资。除矿石冶炼获得有色金属外,有色金属的分类、回收与再生是原材料的一大重要来源。同时,有色金属的分类与回收是地球资源再利用工业的重要一环,在全世界及我国的可持续发展战略中均有着重要的位置,是现代化经济转型所面临的一项重要挑战。

[0003] 目前,有色金属的分类普遍采用涡电流分选机进行。但在实际应用中,涡电流分选机由于采用电涡流分布情况作为分类依据,存在如下问题:当待分类的有色金属样品存在倾斜角时,倾斜角会导致电涡流分布情况发生变化,由此导致分类结果出现错误,从而导致分类准确率低。基于此,有必要发明一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法,以解决现有有色金属分类技术分类准确率低的问题。

### 发明内容

[0004] 本发明为了解决现有有色金属分类技术分类准确率低的问题,提供了一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法。

[0005] 本发明是采用如下技术方案实现的:

[0006] 一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,包括带式输送机、电动升降柱、电涡流传感器、模拟开关芯片、功率放大器、信号发生器、信号调理器、上位机;

[0007] 其中,带式输送机水平固定于地面上;电动升降柱垂直固定于带式输送机的旁侧地面上;电涡流传感器包括壳体、发射线圈、接收线圈;壳体固定于电动升降柱的柱体的侧面,且壳体位于带式输送机的输送带的正上方;发射线圈、接收线圈均固定于壳体内,且发射线圈的轴线、接收线圈的轴线均与带式输送机的输送带的上表面垂直;发射线圈的上、下端分别与接收线圈的上、下端齐平;信号发生器依次通过功率放大器、模拟开关芯片与发射线圈电连接;接收线圈依次通过模拟开关芯片、信号调理器与上位机电连接;上位机与信号发生器电连接。

[0008] 壳体为圆筒形壳体;发射线圈、接收线圈均为圆柱形空心线圈;发射线圈的内径为0.75mm、外径为1.25mm、高度为3mm、匝数为160;接收线圈的内径为0.75mm、外径为1.5mm、高度为3mm、匝数为200;发射线圈的轴线与接收线圈的轴线之间的距离为3.5mm。

[0009] 所述模拟开关芯片为MAX4656型模拟开关芯片;所述信号发生器为AD7008型DDS芯片。

[0010] 一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法(该方法是基于本发明所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置实现的),该方法是采用如下步骤实现的:

[0011] 步骤一:将待分类的有色金属样品置于带式输送机的输送带的上表面,有色金属

样品随着带式输送机的输送带进行移动；

[0012] 步骤二：当有色金属样品移动至电涡流传感器的下方时，电动升降柱的柱体驱动电涡流传感器进行上下往复运动，由此使得电涡流传感器与有色金属样品之间的距离发生变化；与此同时，信号发生器输出正弦激励信号；正弦激励信号先经功率放大器进行放大，再经模拟开关芯片传输至发射线圈，由此使得有色金属样品中感应产生电涡流，从而使得接收线圈中感应产生互感信号；互感信号先经模拟开关芯片传输至信号调理器，再经信号调理器进行调理后传输至上位机；上位机对互感信号进行解调处理，由此得到互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ；

[0013] 步骤三：根据互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ，计算出互感信号的幅值 $\Delta M$ 和相位 $p$ ；具体计算公式如下：

$$[0014] \quad \Delta M = \sqrt{M_R^2 + M_I^2} ;$$

$$[0015] \quad p = \tan^{-1} \frac{M_I}{M_R} ;$$

[0016] 步骤四：对互感信号的幅值 $\Delta M$ 和相位 $p$ 进行归一化处理，由此得到互感信号的归一化幅值 $M$ 和归一化相位 $\theta$ ，从而得到二者的关系曲线；关系曲线具体表示如下：

$$[0017] \quad \frac{\Delta M}{\max(\Delta M)} e^{ip} = M e^{i\theta} ;$$

[0018] 式中： $i$ 表示虚数单位；

[0019] 步骤五：将互感信号的归一化幅值 $M$ 的取值范围设定为 $0.2 \leq M \leq 0.8$ ，并利用最小二乘法对关系曲线进行线性拟合，由此得到一次拟合曲线；然后，将一次拟合曲线与 $y$ 轴交点的纵坐标确定为有色金属样品的特征截距 $b$ ；

[0020] 步骤六：根据有色金属样品的特征截距 $b$ ，判定有色金属样品的材料，由此将有色金属样品进行分类；具体判定规则如下：

[0021] 当 $1.61 \leq b \leq 1.64$ 时，将有色金属样品的材料判定为Cu；

[0022] 当 $1.70 \leq b \leq 1.72$ 时，将有色金属样品的材料判定为Al；

[0023] 当 $1.77 \leq b \leq 1.80$ 时，将有色金属样品的材料判定为Zn；

[0024] 当 $1.92 \leq b \leq 1.94$ 时，将有色金属样品的材料判定为Sn；

[0025] 当 $2.35 \leq b \leq 2.38$ 时，将有色金属样品的材料判定为Ti。

[0026] 所述步骤二中，电涡流传感器与有色金属样品之间的距离变化范围为1~14mm。

[0027] 所述步骤二中，正弦激励信号的频率为20~100KHz。

[0028] 所述步骤二中，通过上位机可以调节正弦激励信号的幅值和相位。

[0029] 与现有有色金属分类技术相比，本发明所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置及方法不再采用电涡流分布情况作为分类依据，而是采用特征截距作为分类依据，由此具备了如下优点：由于特征截距受倾斜角的影响极小（特征截距主要受电导率的影响），即使待分类的金属样品存在倾斜角，分类结果也不会出现错误，由此大幅提高了分类准确率。

[0030] 本发明有效解决了现有有色金属分类技术分类准确率低的问题，适用于有色金属的分类。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明所述装置的部分结构示意图。

[0032] 图2是本发明所述装置的另一部分结构示意图。

[0033] 图3是本发明中一次拟合曲线的示意图。

[0034] 图中:1-带式输送机的输送带,2-电动升降柱的柱体,3a-壳体,3b-发射线圈,3c-接收线圈,4-模拟开关芯片,5-功率放大器,6-信号发生器,7-信号调理器,8-上位机,9-有色金属样品。

## 具体实施方式

[0035] 一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置,包括带式输送机、电动升降柱、电涡流传感器、模拟开关芯片4、功率放大器5、信号发生器6、信号调理器7、上位机8;

[0036] 其中,带式输送机水平固定于地面上;电动升降柱垂直固定于带式输送机的旁侧地面上;电涡流传感器包括壳体3a、发射线圈3b、接收线圈3c;壳体3a固定于电动升降柱的柱体2的侧面,且壳体3a位于带式输送机的输送带1的正上方;发射线圈3b、接收线圈3c均固定于壳体3a内,且发射线圈3b的轴线、接收线圈3c的轴线均与带式输送机的输送带1的上表面垂直;发射线圈3b的上、下端分别与接收线圈3c的上、下端齐平;信号发生器6依次通过功率放大器5、模拟开关芯片4与发射线圈3b电连接;接收线圈3c依次通过模拟开关芯片4、信号调理器7与上位机8电连接;上位机8与信号发生器6电连接。

[0037] 壳体3a为圆筒形壳体;发射线圈3b、接收线圈3c均为圆柱形空心线圈;发射线圈3b的内径为0.75mm、外径为1.25mm、高度为3mm、匝数为160;接收线圈3c的内径为0.75mm、外径为1.5mm、高度为3mm、匝数为200;发射线圈3b的轴线与接收线圈3c的轴线之间的距离为3.5mm。

[0038] 所述模拟开关芯片4为MAX4656型模拟开关芯片;所述信号发生器6为AD7008型DDS芯片。

[0039] 一种基于电涡流传感器的有色金属分类方法(该方法是基于本发明所述的一种基于电涡流传感器的有色金属分类装置实现的),该方法是采用如下步骤实现的:

[0040] 步骤一:将待分类的有色金属样品9置于带式输送机的输送带1的上表面,有色金属样品9随着带式输送机的输送带1进行移动;

[0041] 步骤二:当有色金属样品9移动至电涡流传感器的下方时,电动升降柱的柱体2驱动电涡流传感器进行上下往复运动,由此使得电涡流传感器与有色金属样品9之间的距离发生变化;与此同时,信号发生器6输出正弦激励信号;正弦激励信号先经功率放大器5进行放大,再经模拟开关芯片4传输至发射线圈3b,由此使得有色金属样品9中感应产生电涡流,从而使得接收线圈3c中感应产生互感信号;互感信号先经模拟开关芯片4传输至信号调理器7,再经信号调理器7进行调理后传输至上位机8;上位机8对互感信号进行解调处理,由此得到互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ;

[0042] 步骤三:根据互感信号的实部 $M_R$ 和虚部 $M_I$ ,计算出互感信号的幅值 $\Delta M$ 和相位 $p$ ;具体计算公式如下:

$$[0043] \quad \Delta M = \sqrt{M_R^2 + M_I^2};$$

$$[0044] \quad p = \tan^{-1} \frac{M_I}{M_R};$$

[0045] 步骤四：对互感信号的幅值  $\Delta M$  和相位  $p$  进行归一化处理，由此得到互感信号的归一化幅值  $M$  和归一化相位  $\theta$ ，从而得到二者的关系曲线；关系曲线具体表示如下：

$$[0046] \quad \frac{\Delta M}{\max(\Delta M)} e^{ip} = M e^{i\theta};$$

[0047] 式中： $i$  表示虚数单位；

[0048] 步骤五：将互感信号的归一化幅值  $M$  的取值范围设定为  $0.2 \leq M \leq 0.8$ ，并利用最小二乘法对关系曲线进行线性拟合，由此得到一次拟合曲线；然后，将一次拟合曲线与  $y$  轴交点的纵坐标确定为有色金属样品 9 的特征截距  $b$ ；

[0049] 步骤六：根据有色金属样品 9 的特征截距  $b$ ，判定有色金属样品 9 的材料，由此将有色金属样品 9 进行分类；具体判定规则如下：

[0050] 当  $1.61 \leq b \leq 1.64$  时，将有色金属样品 9 的材料判定为 Cu；

[0051] 当  $1.70 \leq b \leq 1.72$  时，将有色金属样品 9 的材料判定为 Al；

[0052] 当  $1.77 \leq b \leq 1.80$  时，将有色金属样品 9 的材料判定为 Zn；

[0053] 当  $1.92 \leq b \leq 1.94$  时，将有色金属样品 9 的材料判定为 Sn；

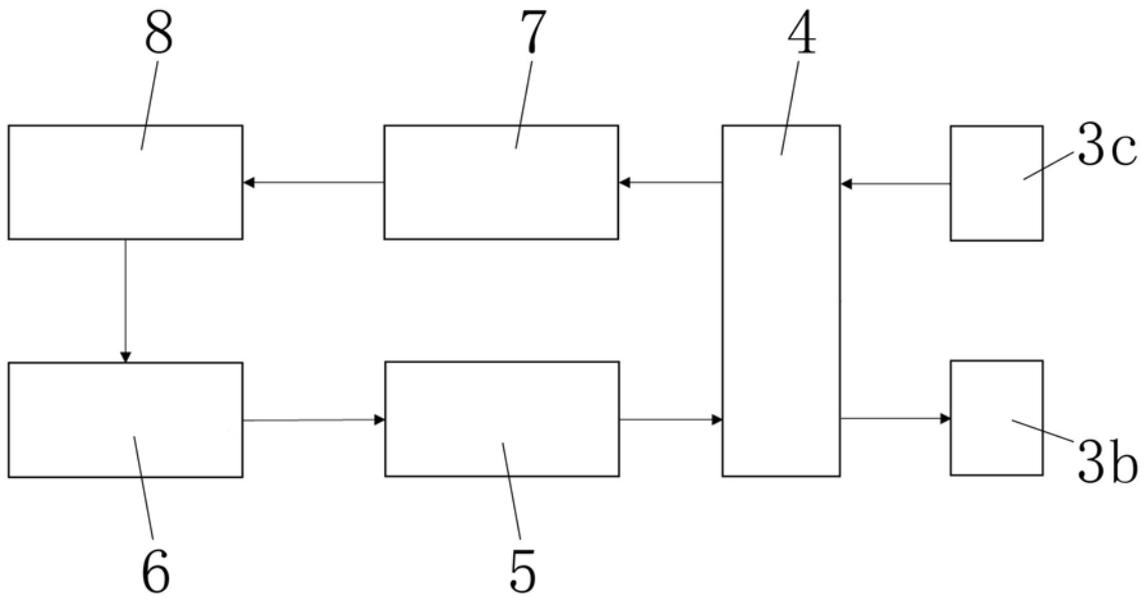
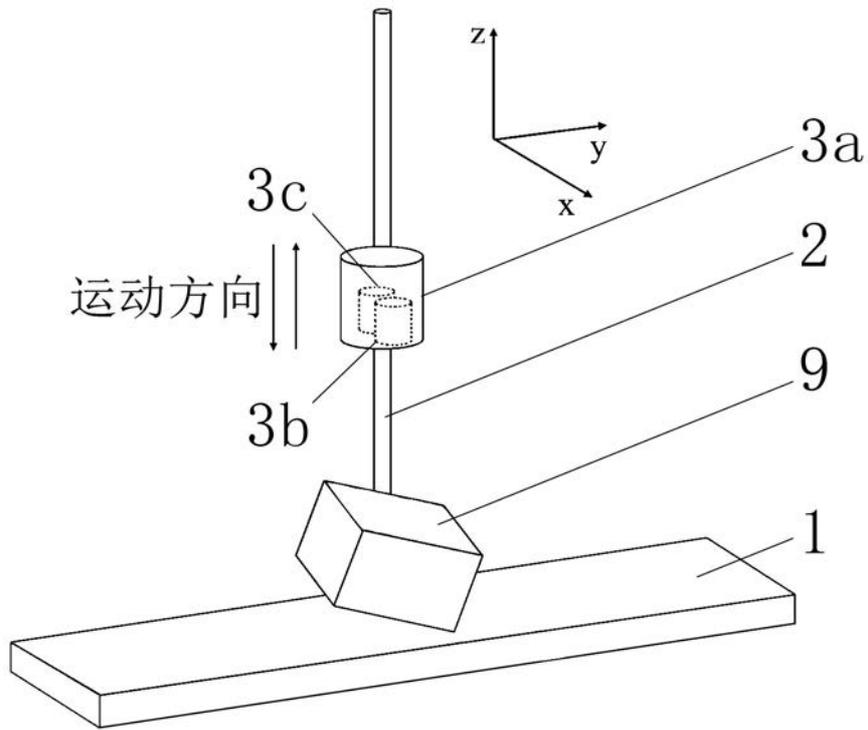
[0054] 当  $2.35 \leq b \leq 2.38$  时，将有色金属样品 9 的材料判定为 Ti。

[0055] 所述步骤二中，电涡流传感器与有色金属样品 9 之间的距离变化范围为  $1 \sim 14$  mm。

[0056] 所述步骤二中，正弦激励信号的频率为  $20 \sim 100$  KHz。

[0057] 所述步骤二中，通过上位机 8 可以调节正弦激励信号的幅值和相位。

[0058] 虽然以上描述了本发明的具体实施方式，但是本领域的技术人员应当理解，这些仅是举例说明，本发明的保护范围是由所附权利要求书限定的。本领域的技术人员在不背离本发明的原理和实质的前提下，可以对这些实施方式作出多种变更或修改，但这些变更和修改均落入本发明的保护范围。



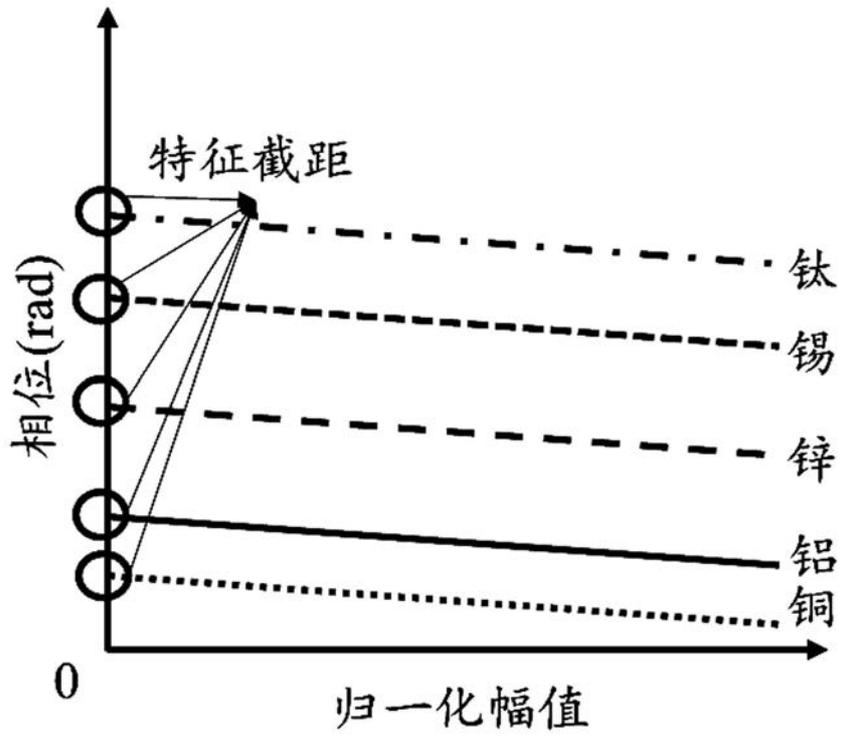


图3