



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112160842 B

(45) 授权公告日 2021.12.31

(21) 申请号 202010970535.7

G06N 3/04 (2006.01)

(22) 申请日 2020.09.16

G06N 3/08 (2006.01)

G06K 9/62 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112160842 A

(56) 对比文件

CN 104564483 A, 2015.04.29

US 2010206267 A1, 2010.08.19

CN 111237076 A, 2020.06.05

CN 105143649 A, 2015.12.09

US 2007215102 A1, 2007.09.20

JP 2015057543 A, 2015.03.26

(43) 申请公布日 2021.01.01

(73) 专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72) 发明人 李理光 王金秋 丁伟奇 邓俊
胡宗杰

审查员 边绍平

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 杨宏泰

(51) Int. Cl.

F02D 41/22 (2006.01)

F02D 35/02 (2006.01)

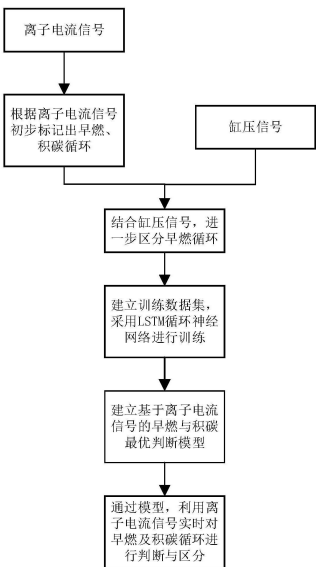
权利要求书1页 说明书4页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法,包括以下步骤:S1:采集发动机各工况下的离子电流信号及缸压信号;S2:利用离子电流信号筛选出发动机的积碳循环和早燃循环,并利用缸压信号对离子电流信号标记早燃循环和早燃时刻;S3:利用标记完成的离子电流信号,构建训练数据集,训练循环神经网络模型;S4:将训练完成的循环神经网络模型移植到发动机ECU中,用于发动机早燃与积碳的实时检测,与现有技术相比,本发明具有检测成功率更高、误判几率更低等优点。



1. 一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1:采集发动机各工况下的离子电流信号及缸压信号,具体为分别采集正常运行工况、早燃工况和积碳工况下发动机的离子电流信号和缸压信号,所述的离子电流信号来自于发动机火花塞正负电极之间施加的电场;

S2:利用离子电流信号筛选出发动机的积碳循环和早燃循环,并利用缸压信号对离子电流信号标记早燃循环和早燃时刻,所述的利用离子电流信号筛选出发动机的积碳循环和早燃循环,具体包括:

通过点燃时刻前早燃检测窗口内的离子电流信号幅值是否高于设定阈值,从所有数据中筛选出早燃循环和积碳循环;

所述的利用缸压信号对离子电流信号标记早燃循环和早燃时刻,具体包括:

通过缸压信号计算放热率及燃烧相位,并通过燃烧起始相位与点火时刻的对比,标记出早燃循环和早燃时刻;

S3:利用标记完成的离子电流信号,构建训练数据集,训练循环神经网络模型,所述的训练数据集包括输入数据和输出数据,所述的输入数据为早燃检测窗口内的离子电流均值按时间排列的数组,所述的输出数据为用于表明当前时刻燃烧类型为正常燃烧、存在积碳或早燃的概率的三元素数组 (x, y, z) ,其中 x 为正常燃烧的概率, y 为积碳的概率, z 为早燃的概率;

S4:将训练完成的循环神经网络模型移植到发动机ECU中,用于发动机早燃与积碳的实时检测,所述的循环神经网络模型用于发动机早燃与积碳的实时检测时,其输入变量为早燃检测窗口内每度曲轴转角内的离子电流信号均值,输出变量为三元素数组 (x, y, z) ,所述的早燃检测窗口为点火线圈蓄能到点火时刻之间的时间;

具体包括以下步骤:

S41:实时获取发动机的离子电流信号,并判断当前是否位于早燃检测窗口,若是,则执行步骤S42,否则继续执行本步骤;

S42:计算每度曲轴转角内的离子电流信号均值,并输入循环神经网络模型;

S43:循环神经网络模型判断是否发生早燃,若是,则执行步骤S44,否则返回执行步骤S45;

S44:采取抑制超级爆震的措施;

S45:判断当前是否仍位于早燃检测窗口,若是,则返回执行步骤S42,否则执行步骤S46;

S46:循环神经网络模型判断是否发生积碳,若是,则执行步骤S47,否则判断发动机燃烧正常;

S47:调整后续发动机工况消除积碳。

2. 根据权利要求1所述的一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法,其特征在于,所述的循环神经网络为五层结构的LSTM循环神经网络,其第一层和第三层为LSTM层,第二层和第四层为给定神经元舍弃概率的舍弃层,第五层为全连接层,所述的循环神经网络模型采用Adam优化器进行迭代训练,并根据训练结果调整神经网络结构。

一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法

技术领域

[0001] 本发明涉及内燃机技术领域,尤其是涉及一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法。

背景技术

[0002] 当增压发动机工作在低速大负荷区间时,易产生偶发早燃,早燃的出现较为随机,且没有明显的征兆。早燃的主要危害在于其可能会引发超级爆震,由于超级爆震具有极高的峰值缸压(大于20MPa)和极强的缸压振荡(幅度大于2MPa),有可能在单个燃烧循环内损坏发动机。

[0003] 因此,需要一种成本低廉、能够在早燃发生初期即可快速判定的实时诊断策略,从而有利于后续采取措施抑制超级爆震,以获得更好的发动机性能。

[0004] 在已有的研究中,上海汽车集团在专利“用于检测发动机早燃的系统及方法”(CN 103850852 A)中通过检测发动机气缸内的离子电流信号,计算离子电流积分值,同早燃阈值对比,从而判断当前燃烧循环是否发生早燃。但该方法由于采用了计算离子电流积分值的方式,判断速度较慢,无法在早燃发生初期就实现快速诊断。李理光、童孙禹等在专利“一种检测火花塞点火式发动机早燃的检测装置和检测方法”(CN 104564483 A)中公开了一种离子电流检测早燃的方式,通过比较点火前离子电流信号幅值与早燃阈值的方式判断早燃。但是在实际应用中发现,如果缸内尤其是火花塞附近存在积碳,同样会在点火前形成强烈的离子电流信号,两种信号较为相似,简单的阈值判断方式极易引起误判。

发明内容

[0005] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种快速检测且有效区分积碳的基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法,本方法检测成功率更高、误判几率更低,并且可以在早燃发展初期完成诊断,从而为循环内超级爆震的抑制提供充足的时间。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种基于离子电流的发动机早燃和积碳的检测与区分方法,包括以下步骤:

[0008] S1:采集发动机各工况下的离子电流信号及缸压信号;

[0009] S2:利用离子电流信号筛选出发动机的积碳循环和早燃循环,并利用缸压信号对离子电流信号标记早燃循环和早燃时刻;

[0010] S3:利用标记完成的离子电流信号,构建训练数据集,训练循环神经网络模型;

[0011] S4:将训练完成的循环神经网络模型移植到发动机ECU中,用于发动机早燃与积碳的实时检测。

[0012] 进一步地,所述的步骤S1中,分别采集正常运行工况、早燃工况和积碳工况下发动机的离子电流信号和缸压信号。

[0013] 进一步地,所述的离子电流信号来自于发动机火花塞正负电极之间施加的电场。

[0014] 进一步地,所述的利用离子电流信号筛选出发动机的积碳循环和早燃循环,具体包括:

[0015] 通过点燃时刻前早燃检测窗口内的离子电流信号幅值是否高于设定阈值,从所有数据中筛选出早燃循环和积碳循环。

[0016] 进一步地,所述的利用缸压信号对离子电流信号标记早燃循环和早燃时刻,具体包括:

[0017] 通过缸压信号计算放热率及燃烧相位,并通过燃烧起始相位与点火时刻的对比,标记出早燃循环和早燃时刻。

[0018] 进一步地,所述的训练数据集包括输入数据和输出数据,所述的输入数据为早燃检测窗口内的离子电流均值按时间排列的数组,所述的输出数据为用于表明当前时刻燃烧类型为正常燃烧、存在积碳或早燃的概率的三元素数组 (x, y, z) , 其中 x 为正常燃烧的概率, y 为积碳的概率, z 为早燃的概率。

[0019] 进一步地,所述的步骤S4中,所述的循环神经网络模型用于发动机早燃与积碳的实时检测时,其输入变量为早燃检测窗口内每度曲轴转角内的离子电流信号均值,输出变量为三元素数组 (x, y, z) 。

[0020] 更进一步地,所述的早燃检测窗口为点火线圈蓄能到点火时刻之间的时间。

[0021] 进一步优选地,所述的循环神经网络为五层结构的LSTM循环神经网络,其第一层和第三层为LSTM层,第二层和第四层为给定神经元舍弃概率的舍弃层,第五层为全连接层,所述的循环神经网络模型采用Adam优化器进行迭代训练,并根据训练结果调整神经网络结构。

[0022] 更进一步地,所述的步骤S4具体包括:

[0023] S41:实时获取发动机的离子电流信号,并判断当前是否位于早燃检测窗口,若是,则执行步骤S42,否则继续执行本步骤;

[0024] S42:计算每度曲轴转角内的离子电流信号均值,并输入循环神经网络模型;

[0025] S43:循环神经网络模型判断是否发生早燃,若是,则执行步骤S44,否则返回执行步骤S45;

[0026] S44:采取抑制超级爆震的措施;

[0027] S45:判断当前是否仍位于早燃检测窗口,若是,则返回执行步骤S42,否则执行步骤S46;

[0028] S46:循环神经网络模型判断是否发生积碳,若是,则执行步骤S47,否则判断发动机燃烧正常;

[0029] S47:调整后续发动机工况消除积碳。

[0030] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0031] 1) 缸压传感器训练过程中使用,用于构建模型训练数据集,而在线上诊断批量应用时,仅需要离子电流传感器而无需缸压传感器,从而大大节省了成本;

[0032] 2) 相比以往使用离子电流积分值判断早燃的方式,本发明所述判断方法的及时性较高,根据神经网络预测模型的输出结果,可以及时判断当前时刻是否发生早燃,可在早燃发生初期做出判断,为后续超级爆震抑制提供了充足的时间,有利于保护发动机结构,大大提高检测效率;

[0033] 3) 相比以往使用离子电流阈值判断早燃的方式,本发明所述方法能够准确区分早燃和积碳,可以大幅度降低早燃的误报率,能够减少为抑制发动机超级爆震而产生的额外排放,另外,若检测到积碳,亦可通过后续调整发动机运行工况从而消除积碳,大大提高检测准确率。

附图说明

[0034] 图1为本发明早燃和积碳检测区分方法的原理示意图;

[0035] 图2为正常工况的离子电流、缸压、放热率曲线;

[0036] 图3为典型积碳工况的离子电流、缸压、放热率曲线;

[0037] 图4为典型早燃工况的离子电流、缸压、放热率曲线;

[0038] 图5为离子电流信号处理方式示意图;

[0039] 图6为模型在实际大批量应用时早燃和积碳的检测流程。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。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的前提下所获得的所有其他实施例,都应属于本发明保护的范围。

[0041] 实施例

[0042] 如图1所示,本发明提供一种基于离子电流的发动机早燃检测方法,包括以下步骤:

[0043] A、采集发动机不同工况(正常、早燃、积碳)下的离子电流信号及缸压信号,其中离子电流信号来自于火花塞正负电极之间施加的电场。;

[0044] B、对采集的信号进行处理,利用离子电流信号初步区分出早燃循环和积碳循环,具体为:通过点燃时刻前一段时间内的离子电流信号幅值从所有数据中区分出早燃和积碳循环;

[0045] C、利用缸压信号标记出其中的早燃循环与早燃时刻,具体为:通过缸压信号计算放热率及燃烧相位,并通过燃烧起始相位与点火时刻的对比,进一步标记出早燃循环;

[0046] D、根据标记结果,建立神经网络的训练数据集,训练LSTM循环神经网络,同时优化神经网络模型结构,其中训练数据集的输入变量为指定时刻内的离子电流均值按时间排列的数组,输出结果通过一个三元素数组表明当前时刻的燃烧类型为正常燃烧、存在积碳的概率或存在早燃的概率;

[0047] E、将训练完成的模型用于发动机线上实时诊断积碳和早燃,具体可将线下训练的模型直接整合进产品电子控制单元(ECU)中,从而在不增加其他控制器的情况下实现早燃及积碳的实时检测与区分。

[0048] 本发明方法首先在发动机台架上对早燃和积碳循环的离子电流及缸压数据进行收集,之后在线下将采集到的信号进行后处理。正常工况、积碳工况及早燃工况的离子电流、缸压信号分别如图2、图3及图4所示。设定点火线圈蓄能到点火时刻之间的时间为早燃检测窗口,根据该窗口内的离子电流信号幅值是否高于设定阈值筛选出早燃循环或积碳循环。通过缸压信号计算放热率并计算燃烧相位,进一步区分出早燃循环,并标记早燃时刻。

根据标记结果划分训练样本,如图5所示进一步对离子电流信号进行处理,并利用样本数据训练基于长短期记忆(LSTM)循环神经网络,从而建立最优的神经网络模型。发动机线上燃烧诊断时,ECU判断发动机曲轴位置进入早燃检测窗口后,将离子电流信号处理并输入神经网络模型,并根据输出结果对正常燃烧、积碳或早燃进行实时判断,如图6所示。

[0049] 具体的实施步骤可以如下:

[0050] 第一步,在测功机台架上安装离子电流和缸压采集装置,使发动机运转于易早燃工况和易积碳工况,收集数据并记录。

[0051] 第二步,线下对第一步收集到的数据进行分析处理。首先设定点火线圈蓄能到点火时刻之间的时间为早燃检测窗口,并根据窗口内的离子电流信号幅值是否高于设定阈值筛选出早燃或积碳循环。再通过缸压信号计算放热率并计算燃烧相位,进一步区分出早燃循环,并标记早燃时刻。

[0052] 第三步,进一步处理数据,从离子电流在检测窗口内的峰值开始,计算每度曲轴转角内的信号均值作为输入数组,每10个采集点求一次均值,输入数组的长度事先指定,若未达到指定长度则在数组左侧进行零值填充。目标输出构成一个三元素数组(x,y,z),分别表示当前为正常燃烧、积碳或早燃的概率。训练数据中x,y,z根据实际结果填充1或0。生成的数据库按比例随机划分为训练组和验证组。

[0053] 第四步,设定神经网络结构,第一层和第三层为LSTM层,第二层和第四层为给定神经元舍弃概率的舍弃层,第五层为全连接层。采用Adam优化器进行迭代训练,并且根据训练结果适当调整神经网络结构,从而获得最优区分效果。

[0054] 第五步,将第四步训练完成的神经网络预测模型移植到ECU中。实际工作过程中,ECU一旦检测当前发动机曲轴位置进入早燃检测窗口,即开始对离子电流信号进行实时处理,并输入神经网络预测模型。模型根据输出的三元素数组判定当前最可能的燃烧状况。如果模型判定当前发生早燃,则中止判定并采取措施抑制超级爆震,包括但不限于额外的缸内喷油或喷水降温等。如果发动机曲轴位置超出检测区间仍未超过设定的概率阈值,则根据最后一组输出状态判定当前循环为正常燃烧或积碳。若检出积碳,则在后续循环可以通过调整发动机工况,包括但不限于高转速、稀薄燃烧等措施,从而消除积碳。检测流程如图6所示。

[0055] 针对第五步所述的ECU,需要说明的是,ECU为现有产品,当前的产品ECU基本都具有一定的开放功能,在本发明中只需将本方法所述逻辑及方法整合进产品ECU即可。

[0056] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的工作人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

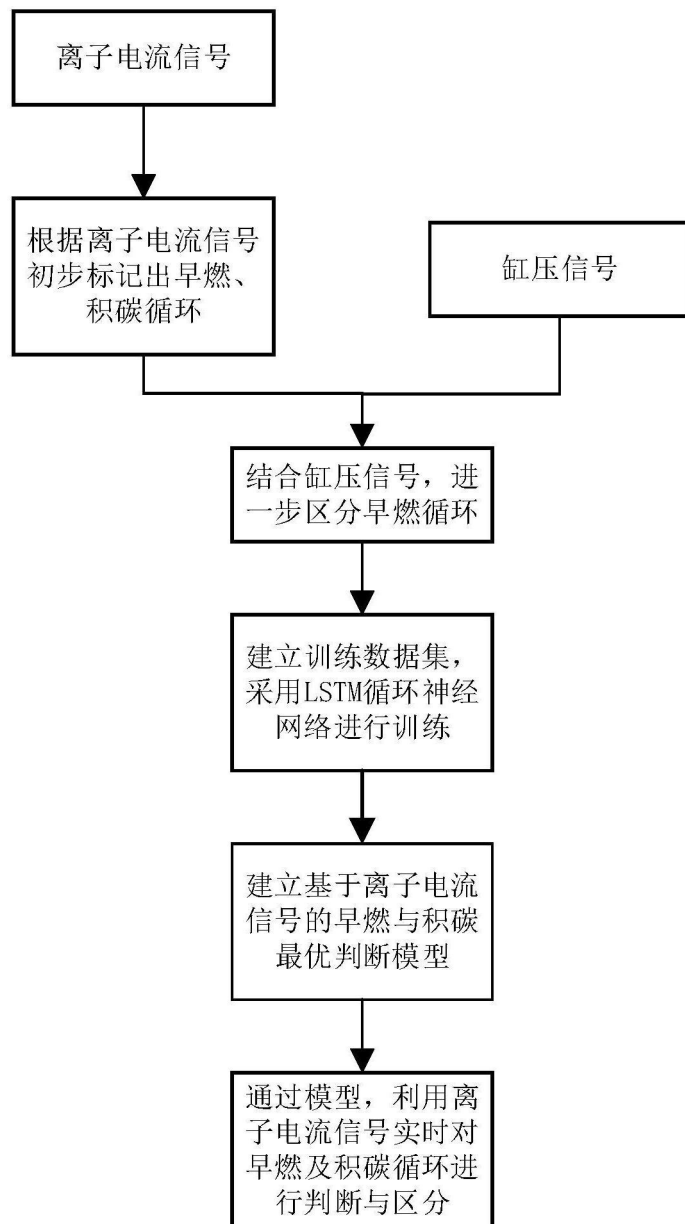


图1

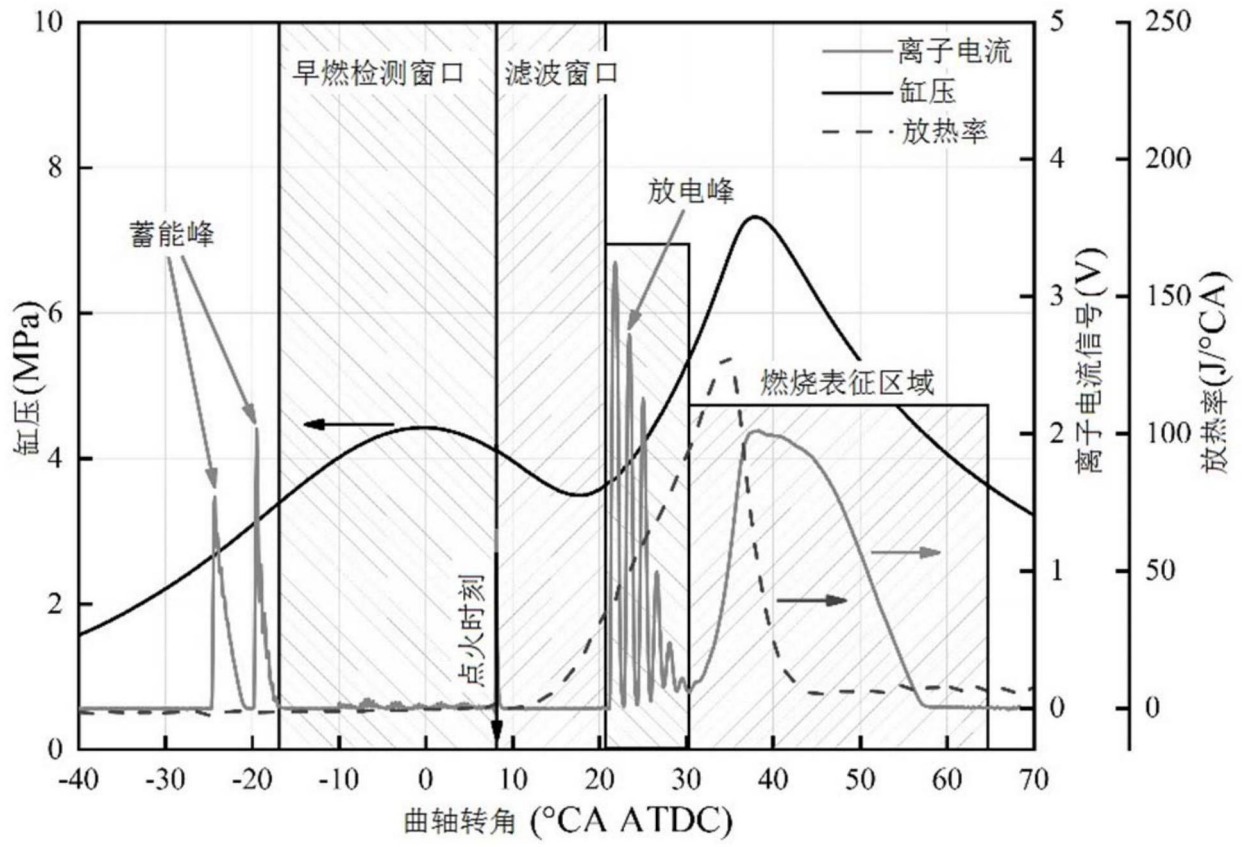


图2

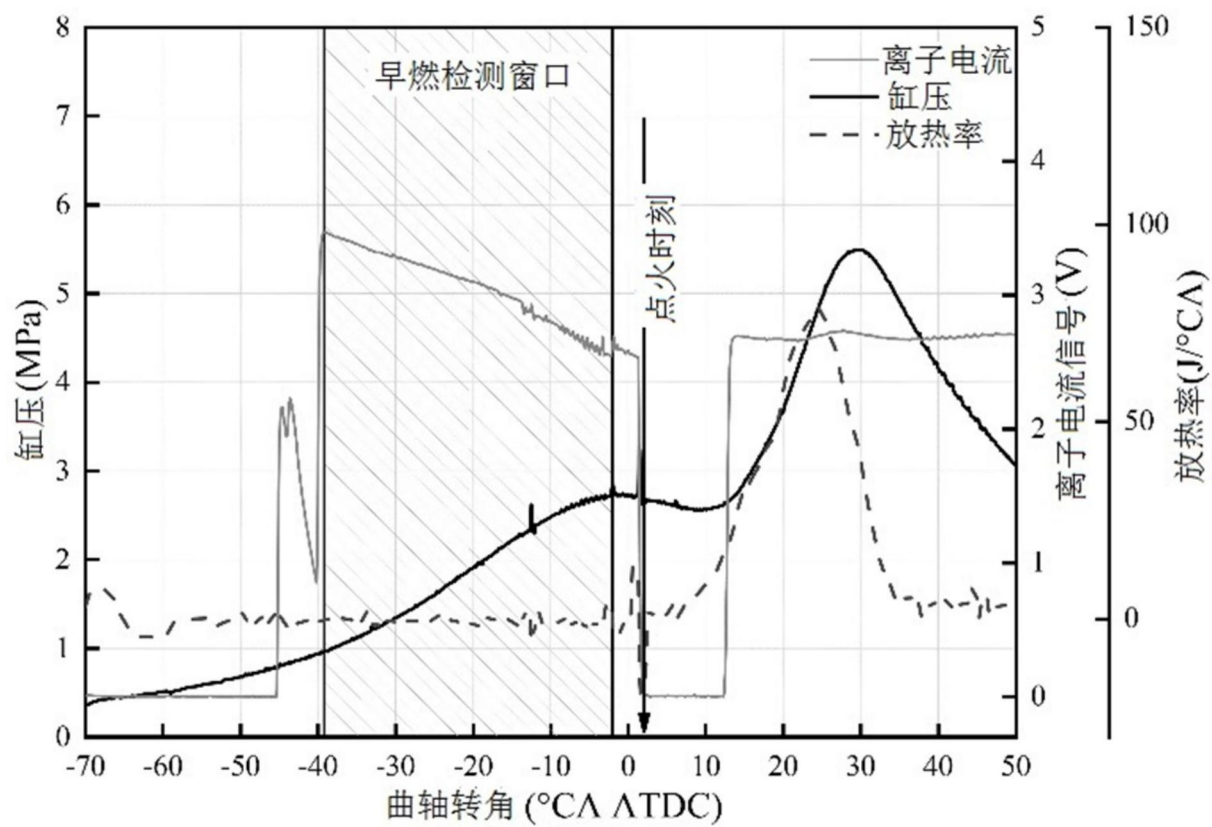


图3

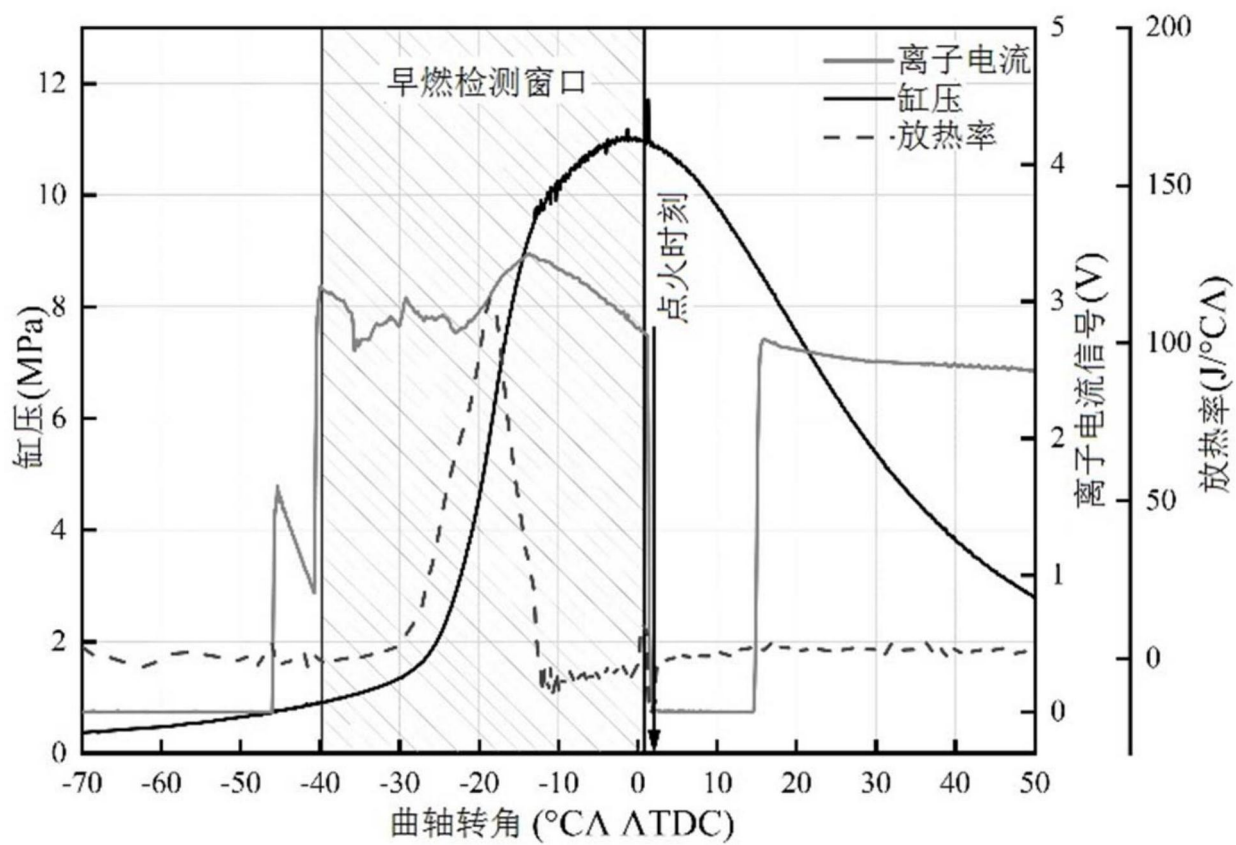


图4

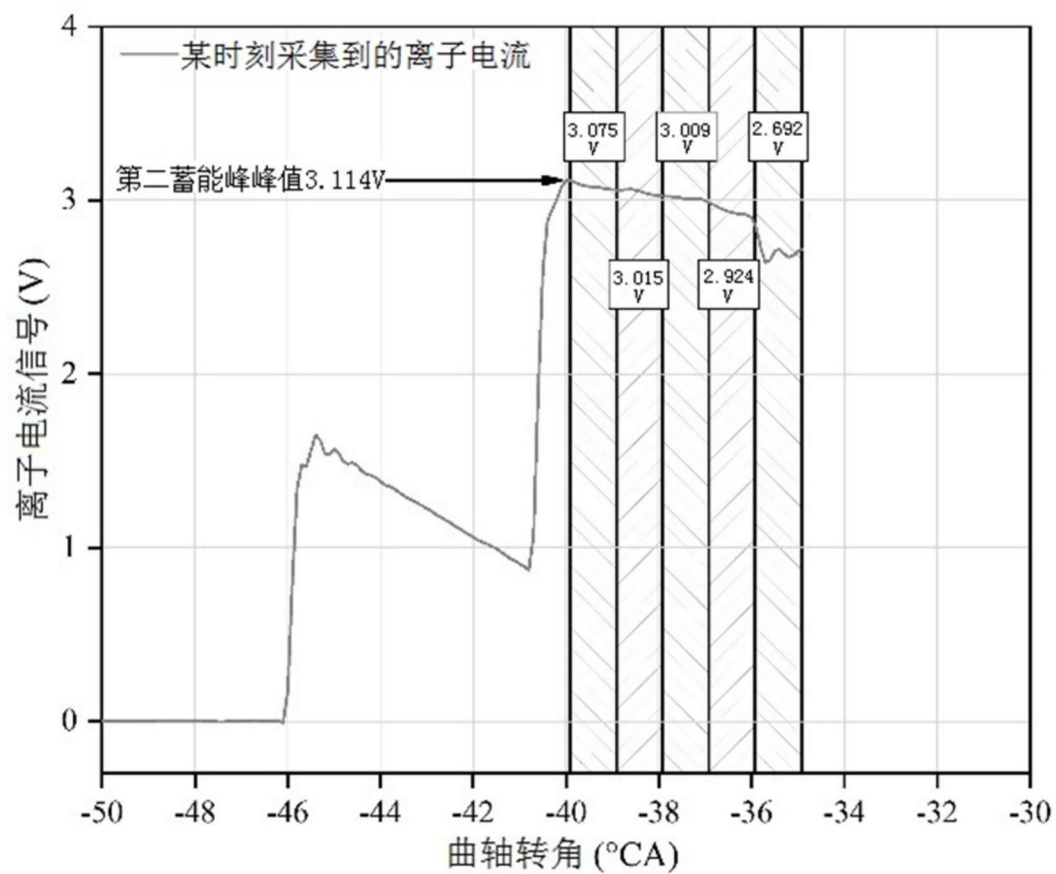


图5

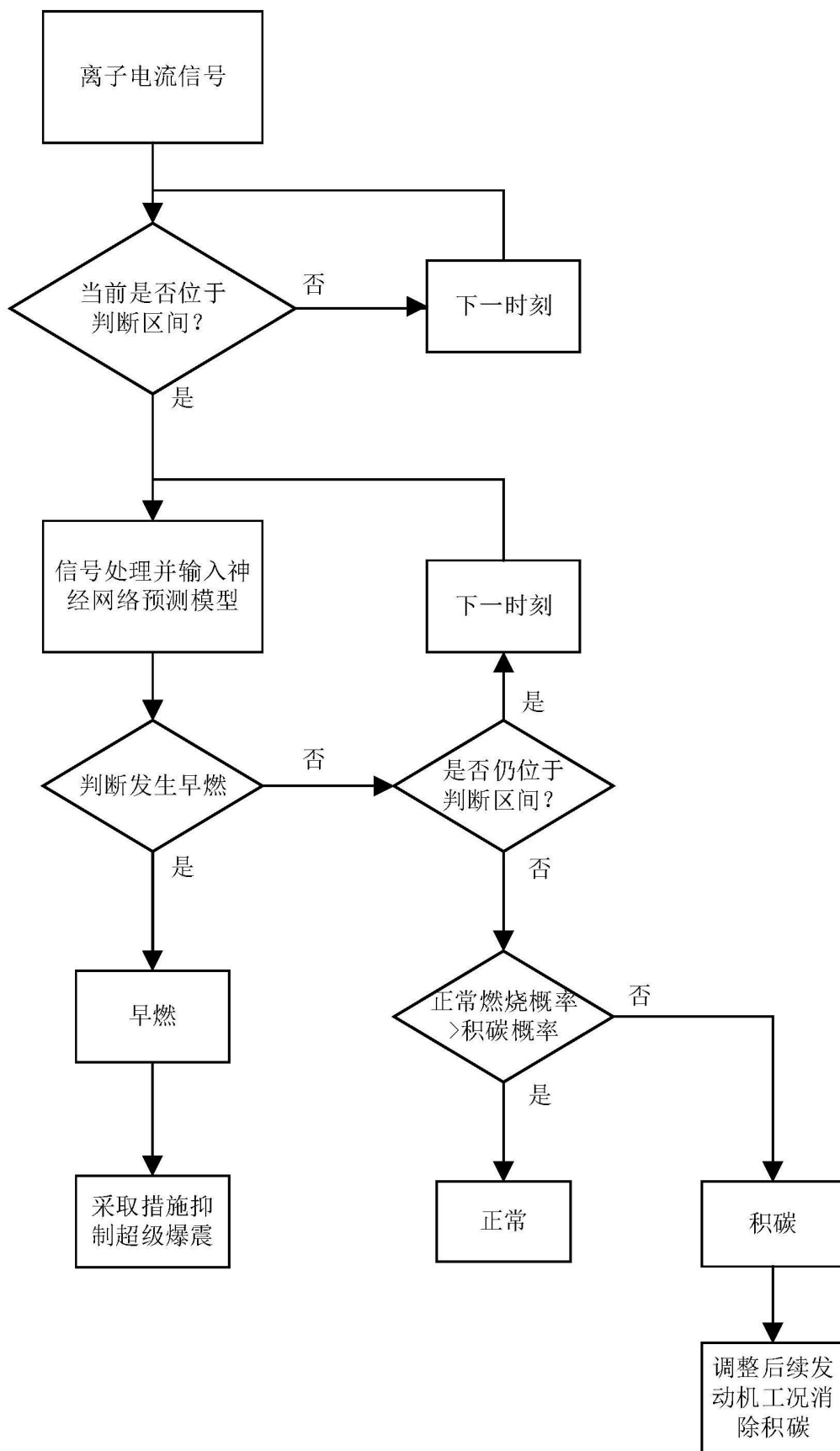


图6