



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108414230 A

(43)申请公布日 2018.08.17

(21)申请号 201810151812.4

(22)申请日 2018.02.14

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园北京  
100084-82信箱

(72)发明人 范钦灏 王志 齐运亮

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹 吴欢燕

(51)Int.Cl.

G01M 15/05(2006.01)

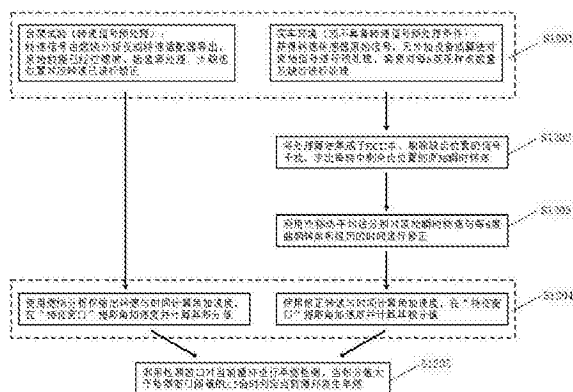
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

## (54)发明名称

一种内燃机早燃检测方法

## (57)摘要

本发明涉及一种内燃机早燃检测方法,包括:将特征窗口中所有瞬时角加速度进行积分得到积分值,根据所述积分值与检测窗口中的早燃阈值判定内燃机是否早燃;所述特征窗口为内燃机的压缩上止点与沿曲轴转动方向所述压缩上止点向后连续3-5个信号齿对应的角度范围;所述瞬时角加速度与所述特征窗口中的信号齿一一对应。本发明的早燃检测方法算法简单,计算量小,只需对特征窗口3-5个数据进行数值积分,无需经过复杂的时频分析、振动信息重构缸压判断异常燃烧;无需改动内燃机结构,市场化周期短,58齿转速传感器是内燃机基本配置之一,不增加任何额外装置,成本低;对于稳态与瞬态工况均有较高检测精度,具有良好的实车环境应用前景。



1. 一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,包括:

将特征窗口中所有瞬时角加速度进行积分得到积分值,根据所述积分值与检测窗口中的早燃阈值判定内燃机是否早燃;所述特征窗口为内燃机的压缩上止点与沿曲轴转动方向所述压缩上止点向后连续3-5个信号齿对应的角度范围;所述瞬时角加速度与所述特征窗口中的信号齿一一对应。

2. 根据权利要求1所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述特征窗口为内燃机的压缩上止点与沿曲轴转动方向所述压缩上止点向后连续4个信号齿对应的角度范围。

3. 根据权利要求1所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述瞬时角加速度获取方法为先通过58齿转速传感器获取内燃机的瞬时转速,再对所述瞬时转速进行预处理得到修正后的包含异常燃烧信息的瞬时转速,最后对所述修正后的瞬时转速进行一阶求导,即得。

4. 根据权利要求3所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述58齿转速传感器的采样频率不小于100kHz。

5. 根据权利要求3所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,利用燃烧分析仪或剔齿法结合双移动平均法进行所述预处理。

6. 根据权利要求5所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述双移动平均法为“插值—移动平均—分组空间平均—移动平均”的处理方法,其中所述移动平均为对包含当前数据及其前后各2个相邻数据进行算术平均,同时用所述双移动平均法对内燃机每6度曲柄转角经历的时间进行修正。

7. 根据权利要求1所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述积分的积分区间为正实数递增等差数列。

8. 根据权利要求1所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述检测窗口中的早燃阈值为当前循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值。

9. 根据权利要求8所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,若当前循环之前10个循环内无早燃发生,则所述早燃阈值为当前循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值;若当前循环之前10个循环内有早燃发生,则所述早燃阈值为早燃循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值。

10. 根据权利要求9所述的一种内燃机早燃检测方法,其特征在于,所述判定的准则为所述积分值超过所述早燃阈值的2.5倍则判定为早燃。

## 一种内燃机早燃检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及内燃机燃烧诊断与控制领域,更具体地,涉及一种内燃机早燃检测方法。

### 背景技术

[0002] 内燃机是车、船、工程机械和国防装备的主导动力。早燃是导致内燃机常规爆震与超级爆震的重要诱因,一旦发生连续早燃,内燃机极有可能损坏。早燃的诱因主要为两方面:1) 结构热点;2) 非结构热点。结构热点主要指燃烧室内的突出结构在缸内燃烧过程中形成热的尖点,成为固定点火源,针对结构热点主要通过优化燃烧系统结构,加强局部冷却,降低缸内热负荷来控制。非结构热点是指缸壁上剥落的机油、金属磨屑与缸内沉积物等,非结构热点在上一循环中受到加热并滞留在缸内,提前引燃下一循环。随着内燃机强化程度的不断提高,早燃问题日益凸显。

[0003] 国内外研究机构与汽车企业关于早燃的检测与抑制方法主要有基于离子电流信号强弱检测、基于爆震传感器或缸压传感器的早燃诱发爆震或超级爆震的压力信号检测、基于瞬时转速多阶求导的早燃时刻检测、基于振动信号检测或基于内燃机实时状态,调整有效压缩比、喷油、点火、冷却强度、废气再循环等控制策略。

[0004] 但是现有早燃诊断方法的算法较为复杂或者实用性差。实车环境由于存在成本、产品设计、传感器布置空间等限制,通常只能基于现有车载传感器进行早燃诊断,如爆震传感器、冷却水温传感器、58齿转速传感器等,但爆震传感器对抗爆燃料(如甲醇、乙醇、天然气)的早燃检测失效,冷却水温传感器的信号响应速度低,不能有效实时监测异常燃烧。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种内燃机早燃检测方法,该方法信号处理量小、算法简单,能有效检测早燃,实用性强,无需额外添加装置,成本低。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用以下的技术方案:

[0007] 一种内燃机早燃检测方法,包括:将特征窗口中所有瞬时角加速度进行积分得到积分值,根据所述积分值与检测窗口中的早燃阈值判定内燃机是否早燃;所述特征窗口为内燃机的压缩上止点与沿曲轴转动方向所述压缩上止点向后连续3-5个信号齿对应的角度范围;所述瞬时角加速度与所述特征窗口中的信号齿一一对应。

[0008] 上述早燃检测方法信号处理量小,算法简单,缺乏压力信号的台架试验与实车环境都可以应用;稳态与瞬态测试中均有较高早燃检测有效性,对工况不敏感,实用性强。

[0009] 所述特征窗口为内燃机的压缩上止点与沿曲轴转动方向所述压缩上止点向后连续4个信号齿对应的角度范围。这样能够最全面更准确地体现早燃循环与正常循环的压力差异特征。

[0010] 优选地,所述瞬时角加速度获取方法为先通过58齿转速传感器获取内燃机的瞬时转速,再对所述瞬时转速进行预处理得到修正后的包含异常燃烧信息的瞬时转速,最后对

所述修正后的瞬时转速进行一阶求导,即得。

[0011] 所述58齿转速传感器采用磁电式或霍尔传感器。

[0012] 上述技术方案中,所述58齿转速传感器是内燃机基本配置之一,所以使用上述检测方法不用增加任何额外装置,也无需改动内燃机结构,成本低,且市场化周期短。其中,所述58齿转速传感器获取的内燃机的瞬时转速会淹没异常燃烧信息,因此要对其进行修正,让其更接近真实的数据结果。

[0013] 优选地,所述58齿转速传感器的采样频率不小于100kHz。

[0014] 上述技术方案中,采样频率高能确保在车用内燃机转速范围内获得足够瞬时转速的角度分辨率,并为使用双移动平均法提供数据基础。

[0015] 优选地,利用燃烧分析仪或剔齿法结合双移动平均法进行所述预处理。

[0016] 在台架测试中,由于没有空间限制等约束,可以利用燃烧分析仪进行预处理获得包含异常燃烧信息的瞬时转速;在实车环境中,为节约成本及空间,不额外增加装置,可以利用剔齿法结合双移动平均法进行预处理获得包含异常燃烧信息的瞬时转速。

[0017] 优选地,所述双移动平均法为“插值—移动平均—分组空间平均—移动平均”的处理方法,其中所述移动平均为对包含当前数据及其前后各2个相邻数据进行算术平均,同时用所述双移动平均法对内燃机每6度曲柄转角经历的时间进行修正。

[0018] 经过剔齿法及上述双移动平均法的修正,所述修正后的瞬时转速包含异常燃烧信息,具有类正弦特性,以及对内燃机每6度曲柄转角经历的时间利用所述双移动平均法进行修正后,才能为后续求得较准确的瞬时角加速度提供基础。

[0019] 优选地,所述积分的积分区间为正实数递增等差数列。积分区间使用正实数递增等差数列能够直观的通过积分提取早燃特征,同时使用等差数列能够消除积分对象增量的不均匀对积分结果的影响。为了计算简便,可以设置为1-5的自然数列。

[0020] 优选地,所述检测窗口中的早燃阈值为当前循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值。

[0021] 上述早燃阈值的规定可以适当调整,按照上述的具体定义,使用该检测方法判断早燃结果比较可靠。

[0022] 优选地,若当前循环之前10个循环内无早燃发生,则所述早燃阈值为当前循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值;若当前循环之前10个循环内有早燃发生,则所述早燃阈值为早燃循环之前10个循环对应所述积分值的算术平均值。

[0023] 上述技术方案中,所述早燃阈值是不断更新的,更新规则为:若当前循环发生早燃,则更新停止,当前循环之后10个循环早燃检测仍采用最后一次更新的早燃阈值;若以上10个循环内无早燃发生,则早燃阈值更新重启,直至检测到下一个早燃循环,依此类推。对所述早燃阈值不断进行更新能保证早燃检测的实时性,剔除早燃循环较为异常的所述积分值。同时控制检测窗口长度不变。

[0024] 优选地,所述判定的准则为所述积分值超过所述早燃阈值的2.5倍则判定为早燃。

[0025] 在稳态与瞬态过程中早燃临界判断依据可以适当调整,2.5倍是可以兼顾不同工况的判断准则,该准则的设置情况会影响对早燃循环的识别准确度。因此,实际应用过程中可适当调整该判断准则以进一步提高早燃检测的有效性。

[0026] 本发明相对于现有技术具有的有益效果:

- [0027] 1) 早燃衡量指标算法简单,计算量小,只需对特征窗口内3-5个数据进行数值积分,无需经过复杂的时频分析、振动信息重构缸压判断异常燃烧;
- [0028] 2) 无需改动内燃机结构,市场化周期短,58齿转速传感器是内燃机基本配置之一,不增加任何额外装置,成本低;
- [0029] 3) 转速修正精度较高,方法简单,可有效还原转速中包含的不正常燃烧信息;
- [0030] 4) 对于稳态与瞬态工况均有较高检测精度,具有良好的实车环境应用前景。

## 附图说明

- [0031] 图1为测试装置布置与特征窗口的示意图;
- [0032] 图2为正常燃烧循环与早燃循环特征窗口内的压力对比图;
- [0033] 图3为燃烧分析仪输出的瞬时转速与剔齿法处理结果对比图;
- [0034] 图4为利用燃烧分析仪输出的瞬时转速基于本发明方法的早燃检测效果图;
- [0035] 图5为稳态工况下使用双移动平均法对剔齿法处理结果的修正效果图;
- [0036] 图6为瞬态工况下使用双移动平均法对剔齿法处理结果的修正效果图;
- [0037] 图7为稳态工况下转速修正前后基于本发明方法的早燃检测效果对比图;
- [0038] 图8为瞬态工况下转速修正前后基于本发明方法的早燃检测效果对比图;
- [0039] 图9为检测窗口及早燃阈值的更新示意图;
- [0040] 图10为稳态工况下根据早燃判定准则进行早燃检测的有效性验证图;
- [0041] 图11为瞬态工况下根据早燃判定准则进行早燃检测的有效性验证图;
- [0042] 图12为实施例中两种测试条件下基于瞬时角加速度特征提取检测早燃的流程图;
- [0043] 图中,1-内燃机,2-飞轮齿圈,3-58齿转速传感器,4-燃烧分析仪,5-录有算法的ECU,6-控制策略,7-压缩上止点,8-特征窗口。

## 具体实施方式

[0044] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例仅用于说明本发明,并不用来限制本发明的保护范围。

### [0045] 实施例1

[0046] 本实施例提供一种内燃机早燃检测方法,其检测装置布置图如图1所示,先通过58齿转速传感器3获得内燃机1中飞轮齿圈2的瞬时转速原始信号,再对所述瞬时转速原始信号进行预处理得到包含异常燃烧信息的瞬时转速,然后对所述瞬时转速进行一阶求导得到瞬时角加速度,提取特征窗口8中所有瞬时角加速度,并进行积分得到积分值,将所述积分值与检测窗口的早燃阈值比对,从而判定是否早燃,该算法集成在ECU5中,若发生早燃则采取控制策略6反馈到内燃机1;

[0047] 其中所述特征窗口8为内燃机1的压缩上止点7与沿着曲轴转动方向所述压缩上止点7向后连续4个信号齿对应的角度范围;

[0048] 在实车环境①中,采用剔齿法结合双移动平均法进行所述预处理;

[0049] 在台架测试②中,利用燃烧分析仪4进行所述预处理。

[0050] 图2示出了特征窗口内早燃与正常燃烧的压力对比结果,可以看出在特征窗口内早燃循环的气缸峰值压力远高于正常循环,以下用气缸峰值压力大小表征当前循环是否发

生早燃。

[0051] 图3示出了燃烧分析仪输出的转速结果和利用剔齿法处理后的转速结果,可以看出仅利用剔齿法处理后的转速中异常燃烧信息缺失,因此,要对基于剔齿法获得的转速进行进一步修正。

[0052] 图4示出了利用燃烧分析仪输出的转速信息,对其使用提取特征窗口瞬时角加速度的方法能准确识别早燃循环,这里积分对象为1-5的自然数列,从图中可以看出高峰值压力处的早燃循环被有效检测。

[0053] 结合图3与图4,也证明了真实还原转速中包含的异常燃烧信息的重要性。故本实施例实车环境中采用剔齿法结合双移动平均法对所述瞬时转速原始信号进行预处理。双移动平均法是指对原始信号进行“插值—移动平均—分组空间平均—移动平均”的处理方法,将该方法应用于瞬时转速原始信号与每6度曲柄转角对应平均时间的修正,改变原始信号中由于角度分辨率较低的缺陷导致的有效燃烧信息丢失的现状。所述移动平均为对包含当前数据及其前后各2个相邻数据进行算术平均,以包含50个元素的数组a为例,移动平均后所得数组为a\*:

$$[0054] \quad a^*(1) = a(1)$$

$$[0055] \quad a^*(2) = \frac{a(1)+a(2)+a(3)}{3}$$

$$[0056] \quad a^*(3) = \frac{a(1)+a(2)+a(3)+a(4)+a(5)}{5}$$

$$[0057] \quad a^*(4) = \frac{a(2)+a(3)+a(4)+a(5)+a(6)}{5}$$

$$[0058] \quad \dots\dots$$

$$[0059] \quad a^*(47) = \frac{a(45)+a(46)+a(47)+a(48)+a(49)}{5}$$

$$[0060] \quad a^*(48) = \frac{a(46)+a(47)+a(48)+a(49)+a(50)}{5}$$

$$[0061] \quad a^*(49) = \frac{a(48)+a(49)+a(50)}{3}$$

$$[0062] \quad a^*(50) = a(50)$$

[0063] 分别在稳态3000r/min工况与瞬态6400r/min至3000r/min工况下验证上述方法的有效性,结果如图5和图6所示。图5示出了稳态3000r/min工况下使用双移动平均法对基于剔齿法获得的原始转速进行修正的效果,通常稳态条件下内燃机转速波动小于100r/min且围绕目标转速呈现类正弦波动,原始转速经过修正后具有了上述特点。图6示出了瞬态工况下使用双移动平均法对基于剔齿法获得的原始转速进行修正的效果,图中为内燃机从6400r/min减速至3000r/min的瞬态过程中的一部分,可以看出修正后的转速较好地体现了减速过程的连续性,符合真实物理情况。

[0064] 图7和图8分别示出了上述稳态与瞬态工况在转速修正前后,利用瞬时角加速度特征提取进行早燃诊断的效果对比情况。可以看出转速修正前,不能识别任何早燃信息,早燃特征被淹没,这表明原始转速信号的信噪比较低。利用双移动平均法进行修正后,早燃循环在两种工况条件下被准确找出。另外,还可以看出,稳态与瞬态工况中出现早燃导致气缸峰

值压力达到150bar,远远超过正常燃烧时的峰值压力,若早燃连续发生将严重威胁内燃机结构稳定性,因此无压力信号条件下(如:实车环境)在线识别早燃并采取限扭措施十分必要。

[0065] 以下将利用滑动检测窗口在无压力信号条件下验证本方法对早燃循环的识别能力。图9为滑动检测窗口与早燃阈值更新的示意图,检测窗口的长度为10,早燃阈值为当前循环之前10个循环的瞬时角加速度积分值的算术平均。检测窗口随循环进行而不断移动,早燃阈值不断更新。若当前循环为早燃循环,则更新停止,早燃循环后10个循环的早燃检测均使用最后一次更新的早燃阈值,若在此期间未发生早燃则早燃阈值更新重启,直至再次遇到早燃。

[0066] 基于上述检测窗口生成方法,取2.5倍早燃阈值作为判断准则对稳态3000r/min工况与瞬态6400r/min至3000r/min工况进行无压力信号下的早燃检测有效性验证,结果见图10和图11。图10和图11分别示出了无气缸压力条件下利用图9定义的检测窗口与早燃阈值对早燃的检测效果,可以看出本方法在稳态与瞬态工况具有较好的早燃识别力,但以积分值超过2.5倍早燃阈值作为判断准则对稳态工况裕度较大,而刚刚满足瞬态工况早燃检测需求。因此,实际应用过程中可适当调整该判断准则以进一步提高早燃检测的有效性。

[0067] 图12为两种测试条件下基于瞬时角加速度特征提取检测早燃的流程图。图3与图4示出了图12中S1201步骤中具备预处理条件时本方法的有效性,同时证明不具备预处理条件时转速修正的必要性;图5和图6示出了稳态3000r/min工况与瞬态6400r/min至3000r/min工况下完成图12中S1202-S1203两步骤的结果,获得符合真实物理特性的瞬时转速;图4与图7、图8示出了根据本发明实施例完成图12中S1204步骤的结果;利用图9中检测窗口与早燃阈值的定义与更新,图10和图11示出了根据本发明实施例完成图12中S1205步骤的结果,在无压力信号时仍可有效捕捉早燃循环。综上所述,图12中检测早燃的流程每一步都得到了验证,证明了本发明的准确性、简易性,无需改动内燃机,无任何装置增加,为实车环境检测早燃循环提供参考,具有良好的产业化前景。

[0068] 最后,以上仅为本发明的较佳实施方案,并非用于限定本发明的保护范围。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。

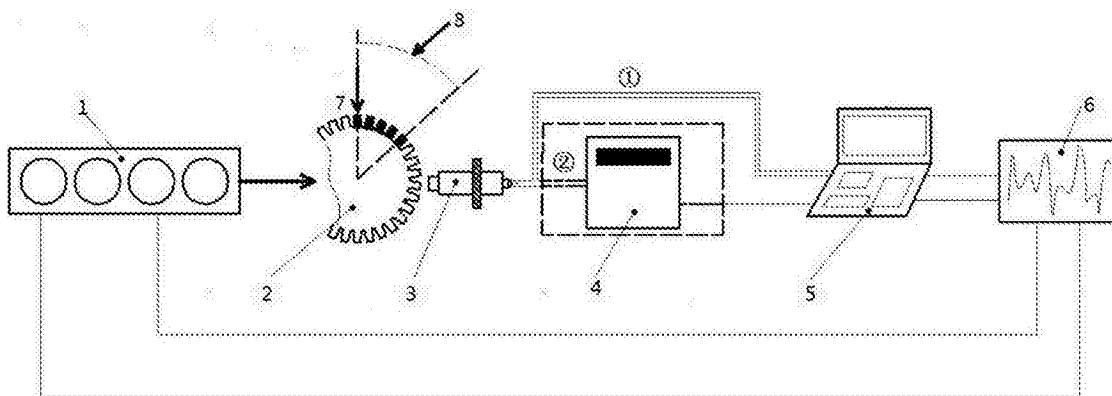


图1

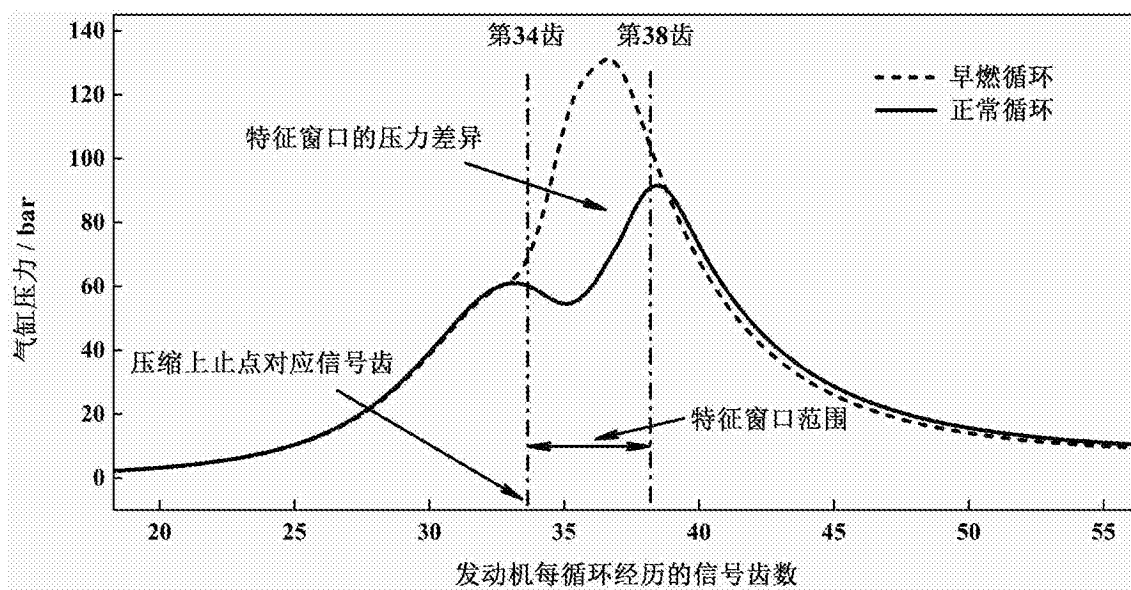


图2



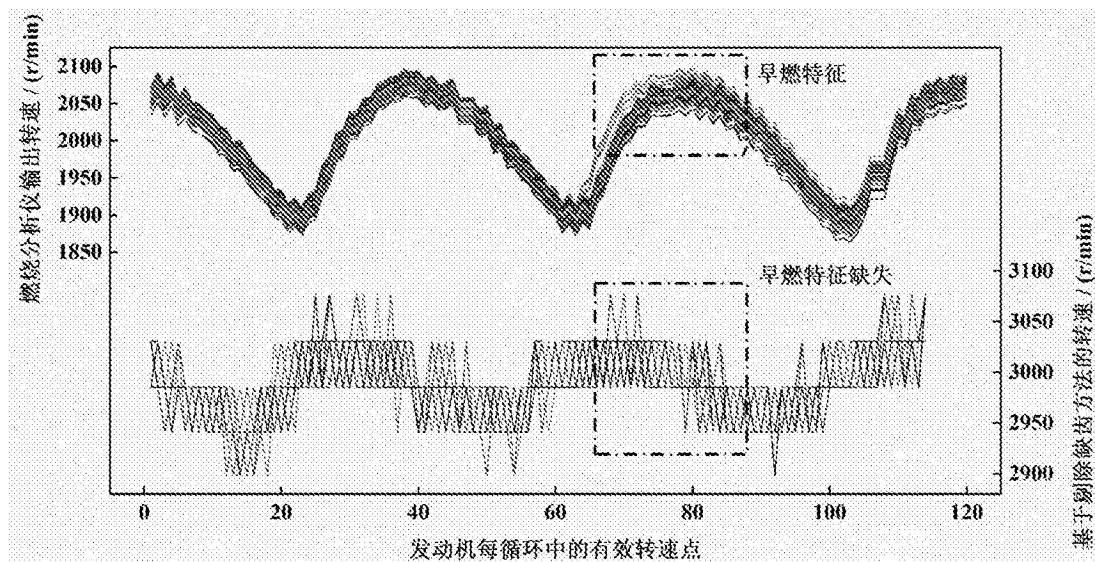


图3

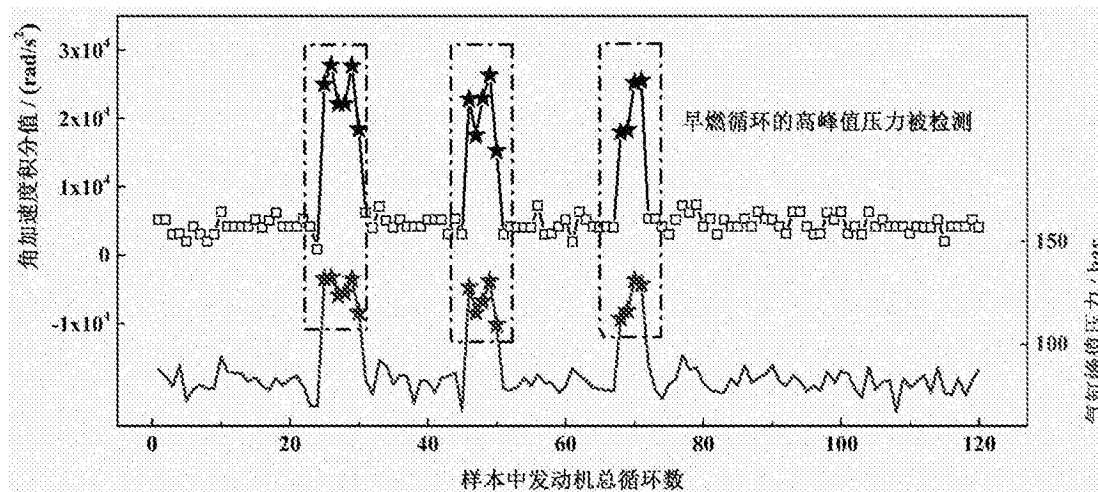


图4

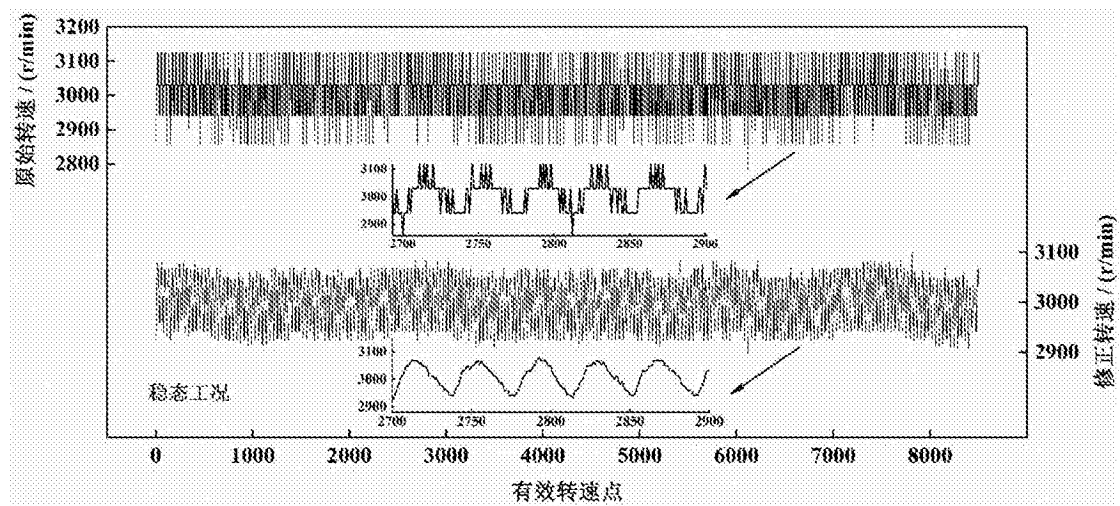


图5

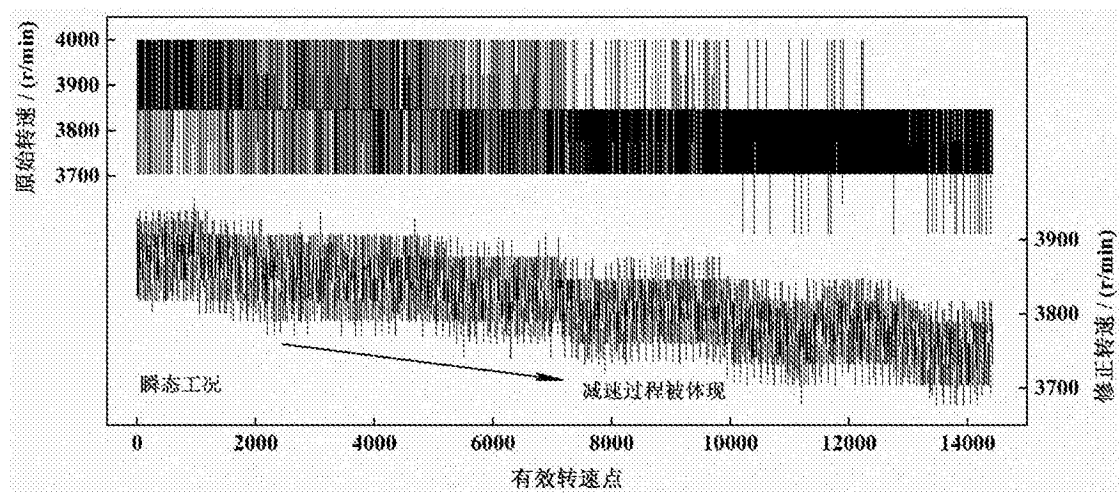


图6

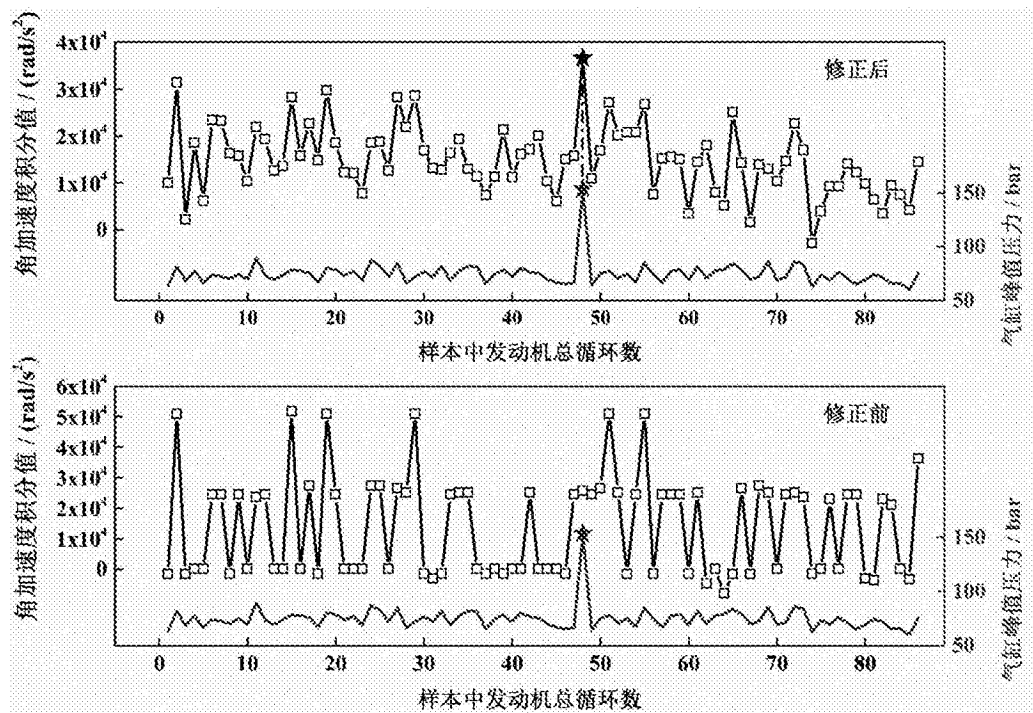


图7

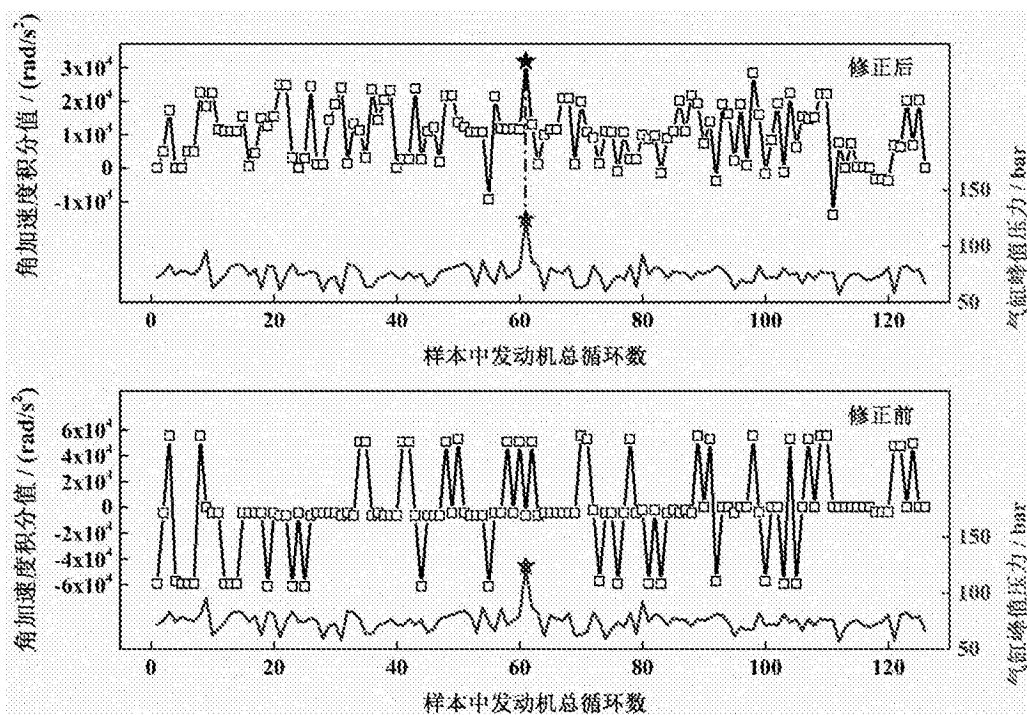


图8

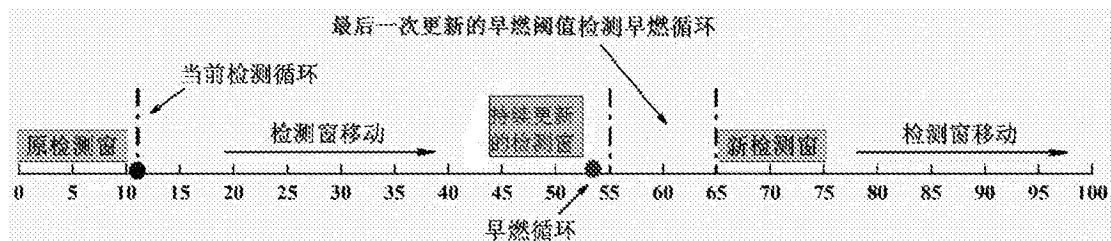


图9

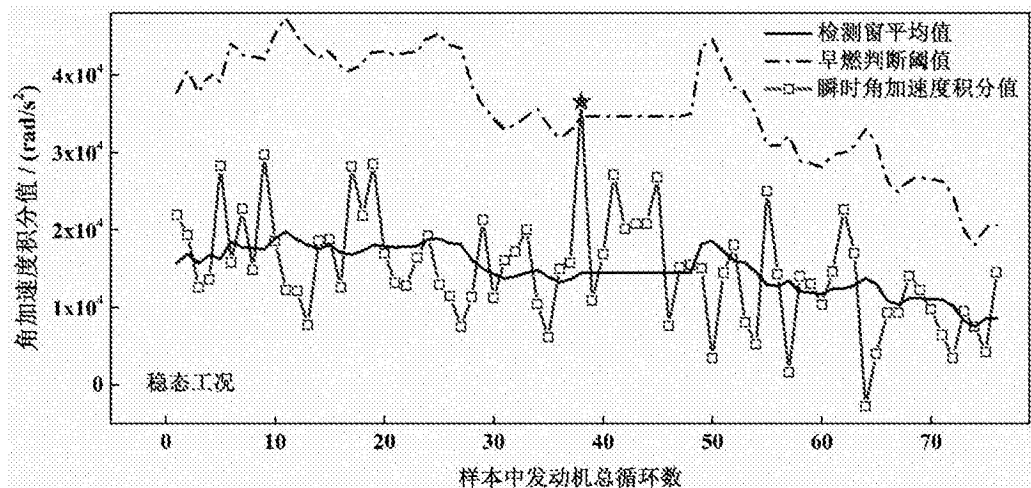


图10

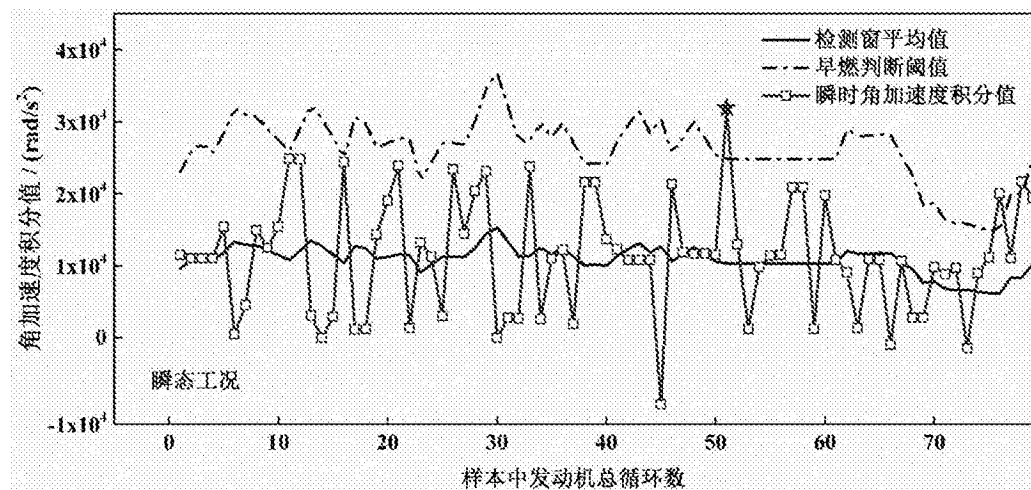


图11

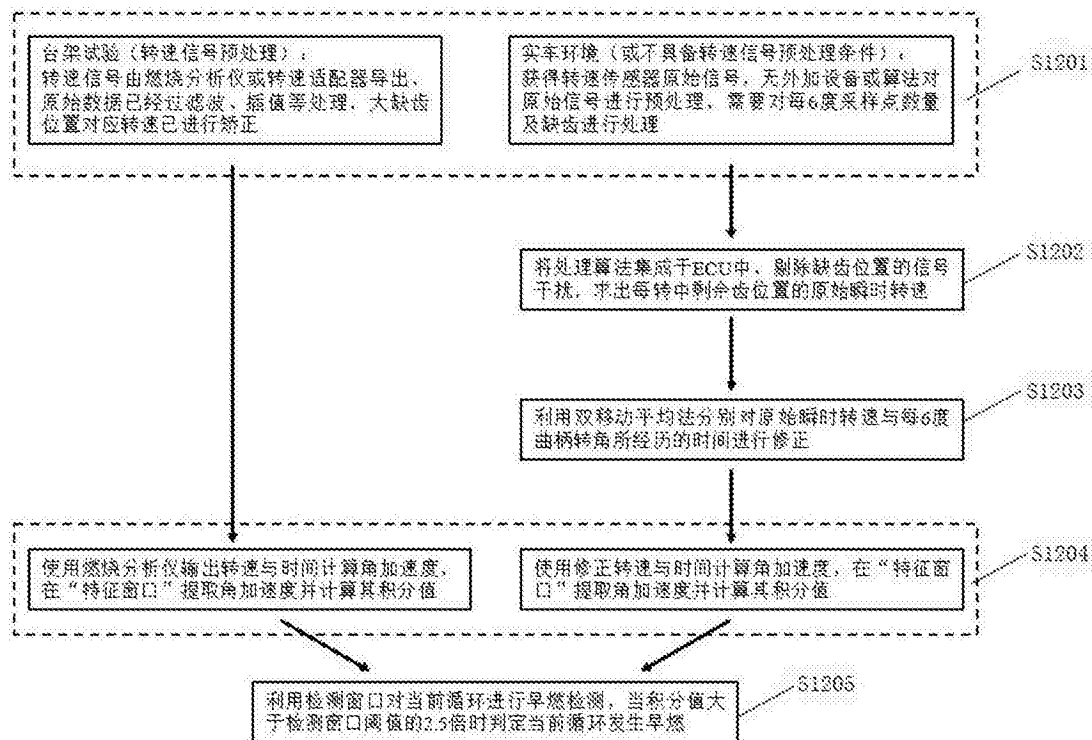


图12