



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112678204 B

(45) 授权公告日 2021.06.25

(21) 申请号 202110262857.0

CN 109383834 A, 2019.02.26

(22) 申请日 2021.03.10

CN 210793681 U, 2020.06.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 112198860 A, 2021.01.08

申请公布号 CN 112678204 A

CN 109110154 A, 2019.01.01

CN 106741987 A, 2017.05.31

(43) 申请公布日 2021.04.20

CN 111619806 A, 2020.09.04

(73) 专利权人 南京纬多科技有限公司

审查员 黄达飞

地址 210000 江苏省南京市南京经济技术

开发区恒泰路汇智科技园B2栋第11层

(72) 发明人 周军 熊攀

(51) Int. Cl.

B64F 5/60 (2017.01)

(56) 对比文件

CN 211139701 U, 2020.07.31

CN 109823570 A, 2019.05.31

CN 111186594 A, 2020.05.22

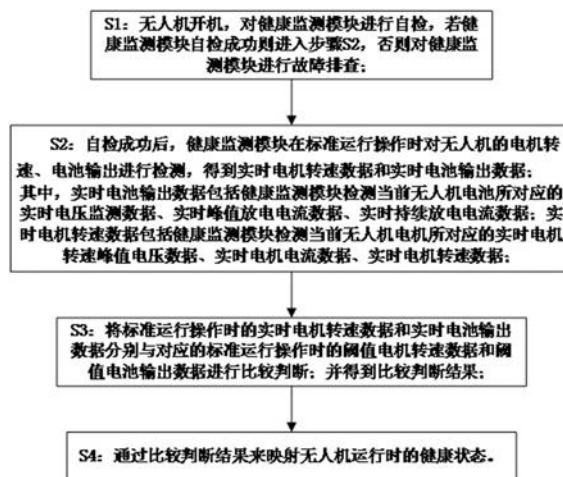
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,包括:无人机开机,对健康监测模块进行自检,若健康监测模块自检成功则进入步骤S2,否则对健康监测模块进行故障排查; S2:自检成功后,健康监测模块在标准运行操作时对无人机的电机转速、电池输出进行检测,得到实时电机转速数据和实时电池输出数据等。本发明可对飞行状态下无人机动力系统的硬件进行健康状态检测,通过一些简单常规动作就可检测,得到的检测数据与已有的标效参数相比较,准确且直接的得知当前电池和电机的健康状态。本发明检测时操作简单便捷,能对处于飞行状态的无人机进行动态物理硬件健康检测,能更准确的检测出无人机飞行时电池和电机的健康状态。



1. 一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1: 无人机开机,对健康监测模块进行自检,若健康监测模块自检成功则进入步骤S2,否则对健康监测模块进行故障排查;

S2: 自检成功后,健康监测模块在标准运行操作时对无人机的电机转速、电池输出进行检测,得到实时电机转速数据和实时电池输出数据;

其中,实时电池输出数据包括健康监测模块检测当前无人机电池所对应的实时电压监测数据、实时峰值放电电流数据、实时持续放电电流数据;实时电机转速数据包括健康监测模块检测当前无人机电机所对应的实时电机转速峰值电压数据、实时电机电流数据、实时电机转速数据;

S3: 将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断;并得到比较判断结果;

S4: 通过比较判断结果来映射无人机运行时的健康状态;

其中,步骤S3中比较判断具体如下:

所述无人机为四轴多旋翼无人机,若电机动力输出异常;

满电压状态下,悬停油门输出百分比为50%,电机转速应达到5500rpm,但某个电机只有5200rpm,由于无人机飞控的自稳功能,使机体达到平稳状态,无人机整体的表现还是正常,各机电、航电、机身结构都通过静地面检测后,进行飞行任务,无人机起飞时,机身平稳无明显抖动,地面站观察到的动力输出量正常,此时,4个电机的电压输出理应相差无几,即电机转速相差无几,实际情况是,某单个电机出现输出不正常的现象,由于飞控的自稳功能,其中改单个电机提高控制输出量,根据无人机动力系统的特性,通过对非线性数据进行标校,得到线性数据进行数据匹配,从而在无人机的实时运动数据中监测无人机动力系统硬件的健康状态;

具体为,通过大量的无人机动力系统运作实验,得到健康电机在不同电压下不同动力输出百分比下无人机做出不同动作时的电机动力输出值及其健康阈值,并将其标校为可检测的线性数据,在无人机执行任务过程中,通过对起飞后的无人机下达一些动作指令,将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断;并得到比较判断结果;如果电机超出或者低于该无人机在该电压该输出百分比该动作下的电机动力输出值及其健康阈值,就能判断出电机存在危患;通过对每个轴出现问题的电机动力系统运作实验及其线性数据进行标校,可以直观的得出具体是哪一个或者多个电机输出健康状态。

2. 如权利要求1所述的一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,其特征在于,在步骤S1中,健康监测模块故障排查具体如下:

步骤1,运行信号开始时,采集初始时健康监测模块的脉冲信号数,记为A1,根据该脉冲信号数A1计算出当前无人机运行数据H1;

步骤2,采集时间周期到来时,采集当前健康监测模块的脉冲信号数,记为A2,根据该脉冲信号数A2计算出当前无人机运行数据H2;

步骤3,根据相邻两次获得的无人机运行数据计算无人机在一个时间周期内的运行数据变化值 $\Delta H$ ,  $\Delta H = |H2 - H1|$ ;

步骤4,判断无人机运行数据变化值 $\Delta H$ 是否小于等于设定的阈值,当无人机运行数据

变化值 $\Delta H$ 小于等于所述阈值时,确定健康监测模块出现故障。

3.如权利要求1所述的一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,其特征在于,步骤S3中,比较判断具体如下:

将实时电压监测数据与阈值电压监测数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电压监测异常报警;

将实时峰值放电电流数据与阈值峰值放电电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行峰值放电电流异常报警;

将实时持续放电电流数据与阈值持续放电电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行持续放电电流异常报警;

将实时电机转速峰值电压数据与阈值电机转速峰值电压数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速峰值电压异常报警;

将实时电机电流数据与阈值电机电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机电流异常报警;

将实时电机转速数据与阈值电机转速数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速异常报警。

## 一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无人机动力测试技术领域,具体涉及一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法。

### 背景技术

[0002] 目前,随着无人机智能化和模块化的演进,无人机开始受到各行各业的青睐,无人机的复杂度和精细度也越来越高,对于无人机硬件的健康检测变得十分重要,特别是针对无人机动力系统硬件的检测。动力系统是无人机能否稳定飞行的核心部分,现有检测方法可在起飞前对无人机硬件进行静态检测,但不能检测无人机飞行状态下的硬件状态;并且,现有技术中的检测方法是无人机启动后,悬停一定时间段,监测下各项指标是否正常,这种检测仅仅是基于一种飞行状态下的检测,缺乏全面性和检测结果准确性。

[0003] 当无人机在友好的环境下进行飞行时,一些问题无法通过直观表象呈现出来,而在极端环境下,问题便暴露无遗,但在日常的实际过程中,无人机无法做到时刻进行健康检测,尤其是在飞行过程中,无法判断物理硬件上的健康状态,或致使无人机任务失败而造成不可控的损失。

[0004] 因此,现阶段需设计一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,来解决以上问题。需要明确的是,本发明主要针对无人机动力系统硬件上的隐藏隐患而研究的一种健康监测方法。

### 发明内容

[0005] 本发明目的在于提供一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,用于解决上述现有技术中存在的技术问题,如:现有检测方法可在起飞前对无人机硬件进行静态检测,但不能检测无人机飞行状态下的硬件状态;并且,现有技术中的检测方法是无人机启动后,悬停一定时间段,监测下各项指标是否正常,这种检测仅仅是基于一种飞行状态下的检测,缺乏全面性和检测结果准确性。也就是说,当无人机在友好的环境下进行飞行时,一些问题无法通过直观表象呈现出来,而在极端环境下,问题便暴露无遗,但在日常的实际过程中,无人机无法做到时刻进行健康检测,尤其是在飞行过程中,无法判断物理硬件上的健康状态,或致使无人机任务失败而造成不可控的损失。

[0006] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:

[0007] 一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,包括以下步骤:

[0008] S1:无人机开机,对健康监测模块进行自检,自检方法如下:系统给予健康监测模块一段特定的信号波,监测模块对该信号波进行处理并给出反馈值,若反馈值在正常阈值区间内,则自检成功,若健康监测模块自检成功则进入步骤S2,否则对健康监测模块进行故障排查;S2:自检成功后,健康监测模块在标准运行操作时对无人机的电机转速、电池输出进行监测,得到实时电机转速数据和实时电池输出数据;

[0009] 其中,实时电池输出数据包括健康监测模块检测当前无人机电池所对应的实时电

压监测数据、实时峰值放电电流数据、实时持续放电电流数据；实时电机转速数据包括健康监测模块检测当前无人机电机所对应的实时电机转速峰值电压数据、实时电机电流数据、实时电机转速数据；

[0010] S3:将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断；并得到比较判断结果；

[0011] S4:通过比较判断结果来映射无人机运行时的健康状态；

[0012] 其中，步骤S3中比较判断具体如下：

[0013] 当无人机电机为四轴多旋翼无人机时，若电机动力输出异常；

[0014] 满电压状态下，悬停油门输出百分比为50%，电机转速应达到5500rpm，但某个电机只有5200rpm，由于无人机飞控的自稳功能，使机体达到平稳状态，无人机整体的表现还是正常，各机电、航电、机身结构都通过静地面检测后，进行飞行任务，无人机起飞时，机身平稳无明显抖动，地面站观察到的动力输出量正常，此时，4个电机的电压输出理应相差无几，即电机转速相差无几，实际情况是，某单个电机出现输出不正常的现象，由于飞控的自稳功能，其中改单个电机提高控制输出量，根据无人机动力系统的特性，通过对非线性数据进行标校，得到线性数据进行数据匹配，从而在无人机的实时运动数据中监测无人机动力系统硬件的健康状态；

[0015] 具体为，通过大量的无人机动力系统运作实验，得到健康电机在不同电压下不同动力输出百分比下无人机做出不同动作时的电机动力输出值及其健康阈值，并将其标校为可检测的线性数据，在无人机执行任务过程中，通过对起飞后的无人机下达一些动作指令，将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断；并得到比较判断结果；如果电机超出/低于该无人机在该电压该输出百分比该动作下的电机动力输出值及其健康阈值，就能判断出电机存在隐患；通过对每个轴出现问题的电机动力系统运作实验及其线性数据进行标校，可以直观的得出具体是哪一个或者多个电机输出健康状态。

[0016] 进一步的，在步骤S1中，健康监测模块故障排查具体如下：

[0017] 步骤1，运行信号开始时，采集初始时健康监测模块的脉冲信号数，记为A1，根据该脉冲信号数A1计算出当前无人机运行数据H1；

[0018] 步骤2，采集时间周期到来时，采集当前健康监测模块的脉冲信号数，记为A2，根据该脉冲信号数A2计算出当前无人机运行数据H2；

[0019] 步骤3，根据相邻两次获得的无人机运行数据计算无人机在一个时间周期内的运行数据变化值 $\Delta H$ ， $\Delta H = |H2 - H1|$ ；

[0020] 步骤4，判断无人机运行数据变化值 $\Delta H$ 是否小于等于设定的阈值，当无人机运行数据变化值 $\Delta H$ 小于等于所述阈值时，确定健康监测模块出现故障。

[0021] 进一步的，步骤S3中，比较判断具体如下：

[0022] 将实时电压监测数据与阈值电压监测数据进行比较判断，若二者不匹配，则进行电压监测异常报警；

[0023] 将实时峰值放电电流数据与阈值峰值放电电流数据进行比较判断，若二者不匹配，则进行峰值放电电流异常报警；

[0024] 将实时持续放电电流数据与阈值持续放电电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行持续放电电流异常报警;

[0025] 将实时电机转速峰值电压数据与阈值电机转速峰值电压数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速峰值电压异常报警;

[0026] 将实时电机电流数据与阈值电机电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机电流异常报警;

[0027] 将实时电机转速数据与阈值电机转速数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速异常报警。

[0028] 与现有技术相比,本发明所具有的有益效果为:

[0029] 本方案的一个创新点在于,本方法可对飞行状态下无人机动力系统的硬件进行健康状态检测,通过一些简单常规动作(如升降、横滚、俯仰、青蛙跳、巡航等动作)就可检测,得到的检测数据与已有的标效参数相比较,准确且直接的得知当前电池和电机的健康状态。本发明检测时操作简单便捷,能对处于飞行状态的无人机进行动态物理硬件健康检测,能更准确的检测出无人机飞行时电池和电机的健康状态。根据无人机的飞行特性,使无人机在正常环境、复杂环境和特殊环境下进行飞行实验,得出四轴四桨多旋翼无人机、四轴八桨多旋翼无人机、六轴十二桨多旋翼无人机动力系统的动力余量阈值,并将不同动力余量下的电机电压输出、电机电流输出、电机转速输出、姿态改变状态进行标校。无人机在起飞离地后较低高度,通过自动检测程序,控制无人机进行快速的机动动作(俯仰、滚转和偏航),无人机的控制响应数据和标定数据进行对比,自动检测动力系统的健康状态,从而快速的给出健康状态判据。降低对操作人员的经验要求,更利于无人机系统实现全自主的飞行控制。

## 附图说明

[0030] 图1是本发明具体实施例的步骤流程示意图。

[0031] 图2是本发明具体实施例的四轴多旋翼无人机示意图。

[0032] 图3是本发明具体实施例的有风和无风状态下的表象示意图。

[0033] 图4是本发明具体实施例的无人机水平前进时油门输入比从70%逐渐上升到80%示意图。

[0034] 图5是本发明具体实施例的4个电机的转速值示意图。

[0035] 图6是本发明具体实施例的4个电机的转速值出现了4次的阶跃示意图。

[0036] 图7是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机的转速示意图。

[0037] 图8是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机示意图。

[0038] 图9是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机正常悬停正常情况示意图。

[0039] 图10是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机向前飞行正常情况示意图。

[0040] 图11是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机正常悬停异常情况示意图。

[0041] 图12是本发明具体实施例的四轴八桨多旋翼无人机向前飞行异常情况示意图。

[0042] 图13是本发明具体实施例的某个电机动力输出异常而无人机表象正常示意图。

[0043] 图14是本发明具体实施例的悬停时正常而高功率时异常示意图。

[0044] 图15是本发明具体实施例的偏转速率偏差会越大或者整体随着降低示意图。

## 具体实施方式

[0045] 下面结合本发明的附图1-15,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅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。

[0046] 实施例:

[0047] 如图1所示,因此提出一种针对无人机动力系统硬件的健康监测方法,包括以下步骤:

[0048] S1:无人机开机,对健康监测模块进行自检,若健康监测模块自检成功则进入步骤S2,否则对健康监测模块进行故障排查;

[0049] S2:自检成功后,健康监测模块在标准运行操作时对无人机的电机转速、电池输出进行检测,得到实时电机转速数据和实时电池输出数据;

[0050] 其中,实时电池输出数据包括健康监测模块检测当前无人机电池所对应的实时电压监测数据、实时峰值放电电流数据、实时持续放电电流数据;实时电机转速数据包括健康监测模块检测当前无人机电机所对应的实时电机转速峰值电压数据、实时电机电流数据、实时电机转速数据;

[0051] S3:将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断;并得到比较判断结果;

[0052] S4:通过比较判断结果来映射无人机运行时的健康状态。

[0053] 上述方案中,本方法可对飞行状态下无人机动力系统的硬件进行健康状态检测,通过一些简单常规动作(如侧面飞过、垂直升降、直线穿越、俯仰等动作)就可检测,得到的检测数据与已有的标效参数相比较,准确且直接的得知当前电池和电机的健康状态。本发明检测时操作简单便捷,能对处于飞行状态的无人机进行动态物理硬件健康检测,能更准确的检测出无人机飞行时电池和电机的健康状态。

[0054] 进一步的,在步骤S1中,健康监测模块故障排查具体如下:

[0055] 步骤1,运行信号开始时,采集初始时健康监测模块的脉冲信号数,记为A1,根据该脉冲信号数A1计算出当前无人机运行数据H1;

[0056] 步骤2,采集时间周期到来时,采集当前健康监测模块的脉冲信号数,记为A2,根据该脉冲信号数A2计算出当前无人机运行数据H2;

[0057] 步骤3,根据相邻两次获得的无人机运行数据计算无人机在一个时间周期内的运行数据变化值 $\Delta H$ ,  $\Delta H = |H2 - H1|$ ;

[0058] 步骤4,判断无人机运行数据变化值 $\Delta H$ 是否小于等于设定的阈值,当无人机运行数据变化值 $\Delta H$ 小于等于所述阈值时,确定健康监测模块出现故障。

[0059] 上述方案中,当健康监测模块故障时,即报警停止。通过本发明能够快速检测出健康监测模块出现了故障,有利于节省工作人员的故障排查时间。

[0060] 进一步的,步骤S3中,比较判断具体如下:

[0061] 将实时电压监测数据与阈值电压监测数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电压监测异常报警;

[0062] 将实时峰值放电电流数据与阈值峰值放电电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行峰值放电电流异常报警;

[0063] 将实时持续放电电流数据与阈值持续放电电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行持续放电电流异常报警;

[0064] 将实时电机转速峰值电压数据与阈值电机转速峰值电压数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速峰值电压异常报警;

[0065] 将实时电机电流数据与阈值电机电流数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机电流异常报警;

[0066] 将实时电机转速数据与阈值电机转速数据进行比较判断,若二者不匹配,则进行电机转速异常报警。

[0067] 飞控(飞行控制系统)能对无人机内部的元器件和大多带电设备进行健康监测,但无法做到对物理硬件的实时健康监测,像螺旋桨(形变,裂痕),机体结构(松动)等物理硬件,需要单独额外进行专门的地面测试,无论是时间成本还是经济成本都很高,本方法能对处于飞行状态的无人机物理硬件进行动态的健康检测,相较于地面检测,具备以下优点:①实时,无人机每次执行任务时都能实时的反馈物力硬件的健康状态;②操作简单,只需几个简单的常规动作,便能完成健康检测;③无损无人机寿命,电机和电池是有使用寿命的,如果无人机在每次执行任务前额外进行物理硬件的健康检测,那无人机的飞行寿命直接减少了一半。

[0068] 硬件健康监测方法,该方法包含一个硬件健康监测模块:该模块能监测电池的实时输出数据(即当前无人机每块电池所对应的实时电压监测数据、实时峰值放电电流数据、实时持续放电电流数据);该模块能监测电机的实时转速数据(即当前无人机每个电机所对应的实时电机转速峰值电压数据、实时电机电流数据、实时电机转速数据)。

[0069] 实例一:

[0070] 以四轴多旋翼无人机为例(图2),理想状态下(即不考虑环境因素,不考虑电池降压),给定50%油门输入比,使无人机起飞并处于悬停状态(即升力=重力),4个电机的电压输出理应相差无几,即电机转速相差无几,无人机处于悬停状态时,每个电机的转速为5000转。在实际飞行时,飞控为了使无人机达到自稳状态,飞控会根据实际情况给各个电机一个转速补偿,使无人机的总升力稳定不变,假定电机转速波动为 $\pm 500$ 转,即4个电机的转速范围为4500r-5500r。

[0071] 实际飞行,无人机悬停时,4个电机的转速为5000r,此时有一阵风,从无人机的上方往下吹,飞控为了保证无人机不掉高,会给每个电机一个转速补偿,即4个电机转速会提升到5500r,使升力=重力+风力,但实际体现出来,无人机依旧是悬停状态,和无风状态下的表象相似(图3)。

[0072] 实例二:

[0073] 实际飞行,无人机水平前进时,油门输入比从70%逐渐上升到80%(图4),飞控未报有异常(针对元器件、传感器和部分带电设备的监测),人为观察,无人机处于正常作业状态,但从硬件健康监测模块测得的4个电机的转速值(图5),可以发现在无人机水平前进的过程中,4个电机的转速值出现了4次的阶跃(电机①④异常增高,电机②③异常降低)(图6),最后一次①④号电机甚至达到了100%的转速,远远超过了电机正常工作时的转速阈值,



由此刻判断无人机的处于健康异常状态。再根据其他异常数据( $\Delta H = |H_2 - H_1| > \text{阈值的数值}$ ),可以进一步判断是哪部分硬件异常。

[0074] 实例三:

[0075] 以四轴八桨多旋翼无人机为例(图8),无人机悬停状态下(油门输入50%和油门输入为70%),8个电机的转速应在一个区间内波动(假定波动范围 $\pm 5$ ),在这个区间内波动,为正常数据,无人机水平前进时,1-4号电机转速降低,5-8号电机转速增高,无人机姿态向前倾斜,使水平方向上有个向前的分力。其波动区间如图9和10所示。

[0076] 接下来,我们以1号桨损坏为例,看一看电机的转速(图7),如图11和图12所示。1号桨损坏,2号桨需要提供更多的推力,以弥补1号桨损失的推力,在做常规机动(升降、横滚、俯仰、青蛙跳、巡航,前进属于巡航中的一种)时,其他七个螺旋桨的推力都明显异常与正常值,故此可以判断1号螺旋桨出现异常。

[0077] 实例四:

[0078] 电机动力输出异常,需要提及的是这里的动力输出异常,并不是电机故障或者损坏,而是不符合应有的动力输出值。如,以四轴四桨多旋翼无人机为例,满电压状态下,悬停油门输出百分比为50%,电机转速应达到5500rpm,但某个电机只有5200rpm,由于无人机飞控的自稳功能,飞控系统会提高转速较低的油门控制输入量(比如可能提高到70%以上),以提高电动机转速,以使机体达到平稳状态,无人机整体的表现还是正常,由于一般控制器都是现实平均油门,所以无法在静地面检测时和飞行过程中通过地面站发现该问题,如图13。例如汽车的螺丝松动,汽车在短时间内是不会表现出来的,且汽车的自我检测系统无法检测出某个螺丝的松动情况。该相同情况下,无人机能够在短时间内友好环境下正常飞行,但长续航或者特殊环境下飞行就会出现异常,如,螺丝松动的汽车在平稳的道路上可以正常行驶,但是在坑洼的道路上行驶,松动的汽车车身比正常的汽车车身更加不稳定,如果该螺丝是汽车上某个关键零件,甚至会使车身散架。

[0079] 如果动力系统硬件不健康,单电机输出不正常情况,由于无人机飞控有自调节的功能,在友好的环境下,正常短时飞行过程中,无人机不会出现机身不稳定等明显的表现,但在极端环境或者不可控因素下,无人机会因为单电机输出不正常出现失稳甚至坠机而造成不可预估的损失。而现有的技术,除了静地面的初始检测,更多的是通过无人机在飞行过程中人眼观察到的表现进行的无人机健康状态判断,而在无人机飞行过程中,地面站监测的也仅针对元器件,无法做到针对动力系统硬件上的监测。

[0080] 以四轴多旋翼无人机为例,各机电、航电、机身结构都通过静地面检测后,进行飞行任务,无人机起飞时,机身平稳无明显抖动,地面站观察到的动力输出量正常,此时,4个电机的电压输出理应相差无几,即电机转速相差无几,但实际情况是,某单个电机出现输出不正常的现象,由于飞控的自稳功能,其中一个电机提高了控制输出量,确保了无人机的稳定,且这一现象无法从人眼和地面站上进行观察到,此现象在越多翼的多旋翼无人机上表现越为明显。该四轴多旋翼无人机结束平稳飞行,开始进行特殊任务时,单电机输出不正常致使动力系统无法提供给无人机足够的动力导致了坠机。

[0081] 基于此,我们根据无人机动力系统的特性,通过对非线性数据进行标校,得到线性数据进行数据匹配,从而能在无人机的实时运动数据中监测无人机动力系统硬件的健康状态。

[0082] 通过大量的无人机动力系统运作实验,得到健康电机在不同电压下不同动力输出百分比下无人机做出不同动作时的电机动力输出值及其健康阈值,并将其标校为可检测的线性数据,在无人机执行任务过程中,通过对起飞后的无人机下达一些动作指令(转圈,急刹,反复升降,绕S等动作),将标准运行操作时的实时电机转速数据和实时电池输出数据分别与对应的标准运行操作时的阈值电机转速数据和阈值电池输出数据进行比较判断;并得到比较判断结果;如果电机超出/低于该无人机在该电压该输出百分比该动作下的电机动力输出值及其健康阈值,就能判断出电机存在危急。进一步的,通过对每个轴出现问题的电机动力系统运作实验及其线性数据进行标校,可以直观的得出具体是哪一个或者多个电机输出健康状态,以降低无人机飞行风险。

[0083] 实例五:

[0084] 电机高功率状态异常。无人机在动力输出时,会保留一定的输出余量以供飞控调配处理突发应急情况,如,以四轴四桨多旋翼无人机为例,满电压情况下,油门输出百分比为100%,各电机转速为8000rpm,悬停状态需要的油门为50%,电机转速为5500rpm,多出的2500rpm称为电机的动力输出余量,该余量是为了保证飞控在实施无人机飞行指令的前提下,有一定的额外动力应对突发应急情况,如在上述情况下,一阵大风刮来,电机能有动力余量进行抗风动作,或者被某物体击中后能实现自我调节并稳定。

[0085] 如果动力系统硬件不健康,可能会出现某个或多个电机动力输出余量不足的问题,即,在悬停状态,电机的输入控制与实际输出处于正常状态,但在高功率输入状态(比如90%以上油门),在相同电压情况下,个别电机的转速远小于正常值,上述的四轴四桨多旋翼无人机,满电压情况下,实际的动力输出百分比为100%时,个别电机转速只能达到7000rpm甚至更少,致使无人机缺少自我调稳的能力,在做机动动作时不能进行有效控制,甚至危及无人机的安全。如图14。

[0086] 以四轴四桨多旋翼无人机的某次飞行实例为例,该无人机在无风环境下正常起飞-飞行,一切参数表现良好,可以进行实现的动作指令,人眼观察机身行为良好,并且地面站未显示出任何异常。由于无人机采用对称设计,向左和向右的机动能力应该基本相同,但在单个电机高功率输出故障的情况下,无人机向左和向右的机动能力差别会比较大。比如左侧电机有高功率输出故障,无人机向左机动能力不受影响,但无法实施正常的向右侧机动。向前和向后的机动类似。

[0087] 在现有的技术中,多是通过无人机的动力消耗及电池电压的损耗,人为的估算动力余量,无法做到实时监测。一般无人机的操作为无人机操作员人工操作无人机进行水平方向机动,通过无人机的水平运动响应来判断无人机的健康状态。这种方式对无人机操作员的要求较高,一般只能做较小的输入检查,无法进行边界状态检查。此外人工操作运动无人机很容易在水平方向机动,需要的起降范围更宽,不能快速检测,会消耗大量的能源,缩短飞行航时。

[0088] 在多次实验研究中,我们发现,无人机动力高功率状态与无人机自身的控制响应速率有关,即,给无人机一个姿态改变指令,无人机机体的偏转速率会因为动力余量而受影响。如,无人机动力系统动力余量足够的情况下,飞控会根据设置好的姿态偏转速率进行偏转,但无人机动力系统动力余量不足时,偏转速率会略微降低。

[0089] 一架正常的多旋翼无人机,动力余量至少为其总动力的10%,飞控的偏转速率设置

采用默认值(Roll:P=0.135 I=0.09 D=0.0036 F=20.00,Pitch:P=0.135 I=0.09 D=0.0036 F=20.00,Yaw:P=0.180 I=0.18 D=0.00 F=5.00)。实际实验中,满电压情况下,打满横滚摇杆,测得飞机的左右偏转(横滚)速率平均约为 $30^{\circ}/s$ ,左侧单电机高功率输出故障时,满电压情况下,打满横滚摇杆,测得飞机的向左偏转(横滚)速率平均约为 $30^{\circ}/s$ ,向右偏转(横滚)的速率平均值约为 $15^{\circ}/s$ ,左右两侧的运动响应速率偏差了 $15^{\circ}/s$ 。在实际飞行过程中还会表现出无人机向左的最大水平飞行速度会远大于向右侧的水平飞行速度(无风情况)。并且,余量越是不足,偏转速率偏差会越大或者整体随着降低。如图15。

[0090] 综上所述,基于此,我们根据无人机的飞行特性,使无人机在正常环境、复杂环境和特殊环境下进行飞行实验,得出四轴四桨多旋翼无人机、四轴八桨多旋翼无人机、六轴十二桨多旋翼无人机动力系统的动力余量阈值,并将不同动力余量下的电机电压输出、电机电流输出、电机转速输出、姿态改变状态进行标校。无人机在起飞离地后较低高度,通过自动检测程序,控制无人机进行快速的机动动作(俯仰、滚转和偏航),无人机的控制响应数据和标定数据进行对比,自动检测动力系统的健康状态,从而快速的给出健康状态判据。降低对操作人员的经验要求,更利于无人机系统实现全自主的飞行控制。

[0091] 以上是本发明的较佳实施例,凡依本发明技术方案所作的改变,所产生的功能作用未超出本发明技术方案的范围时,均属于本发明的保护范围。

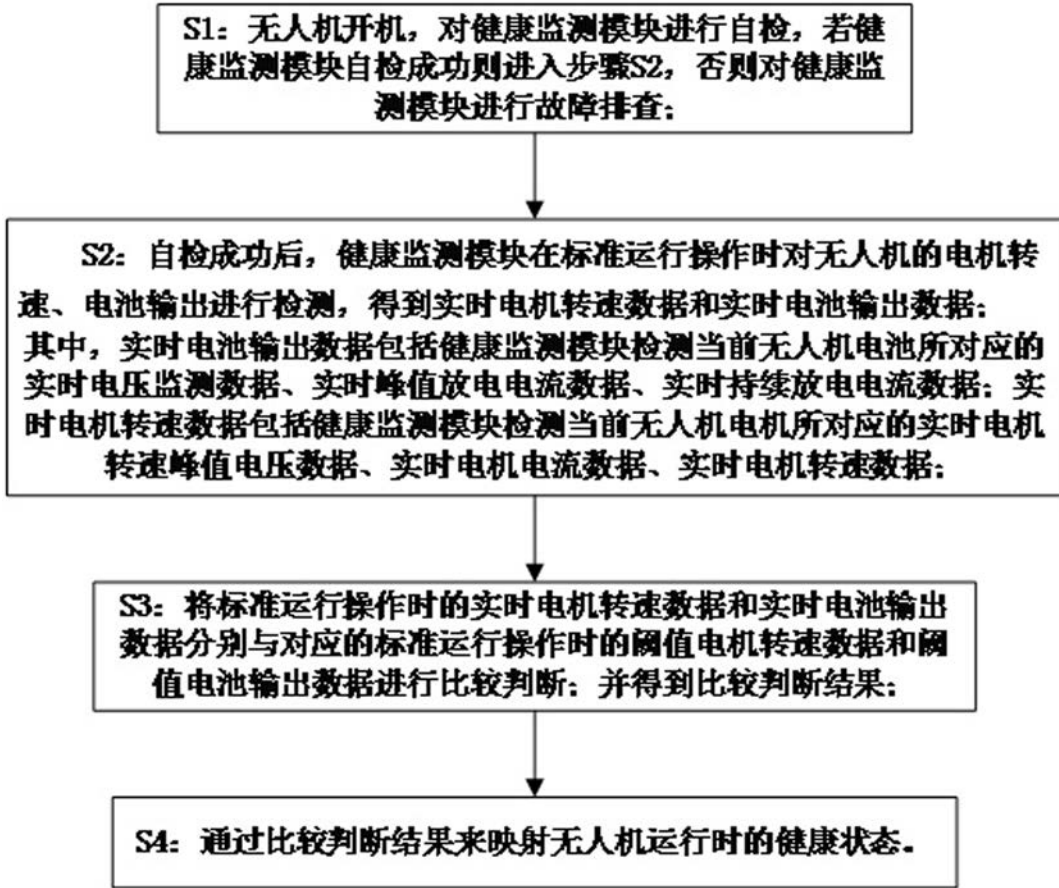


图1

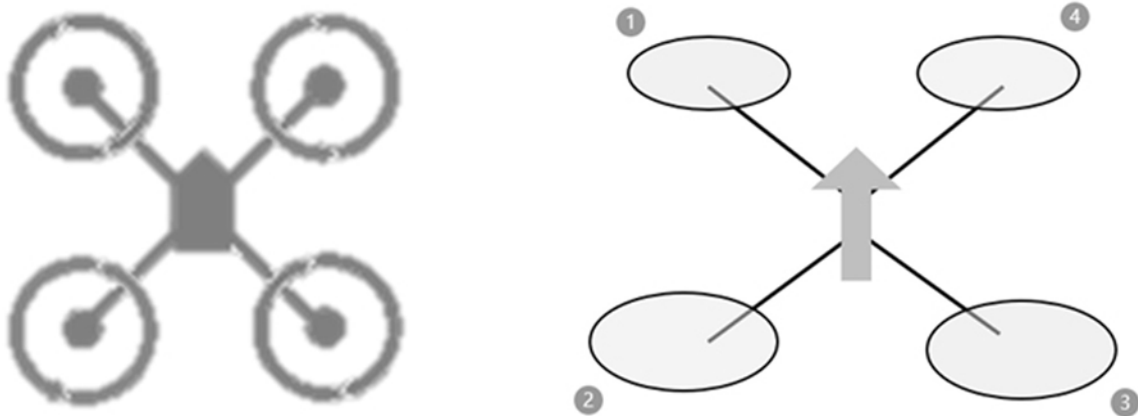


图2

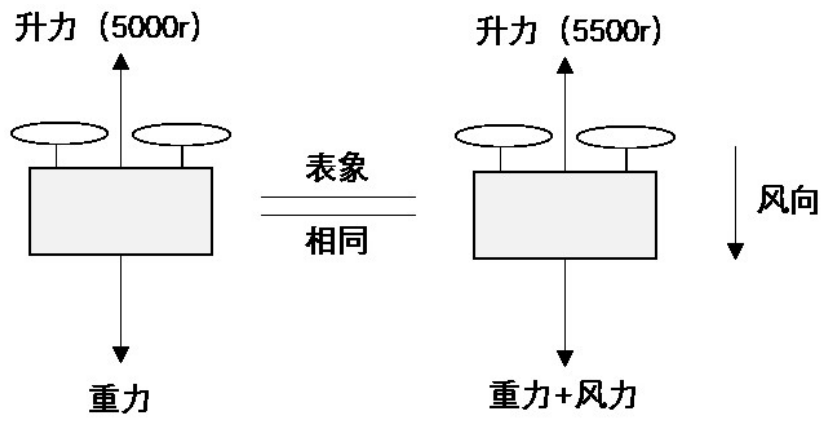


图3

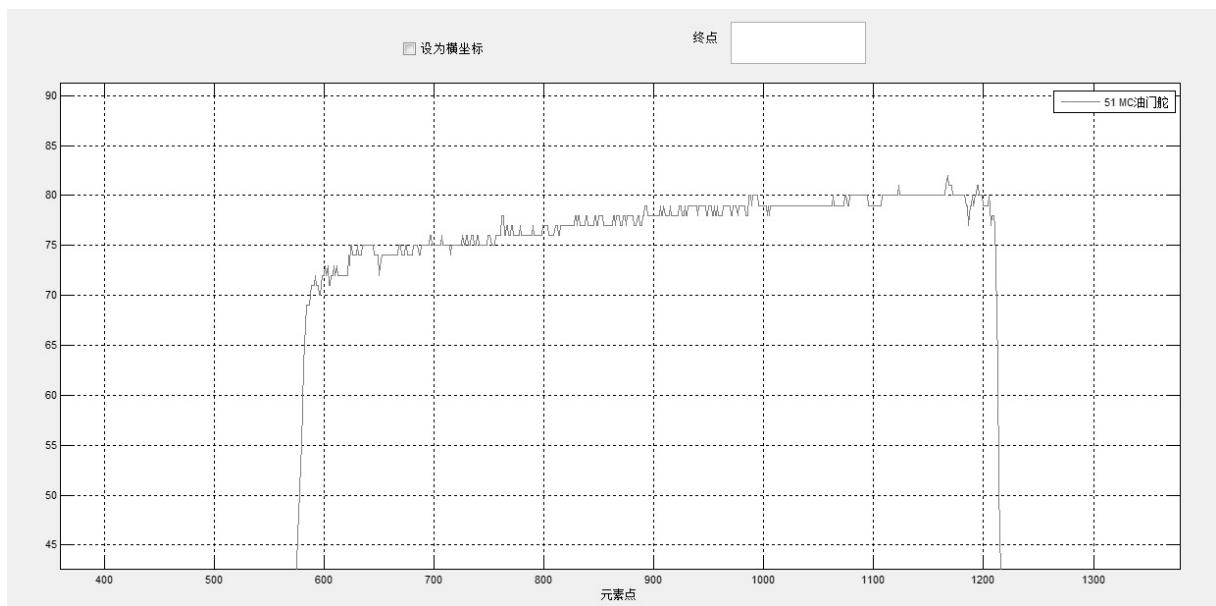


图4

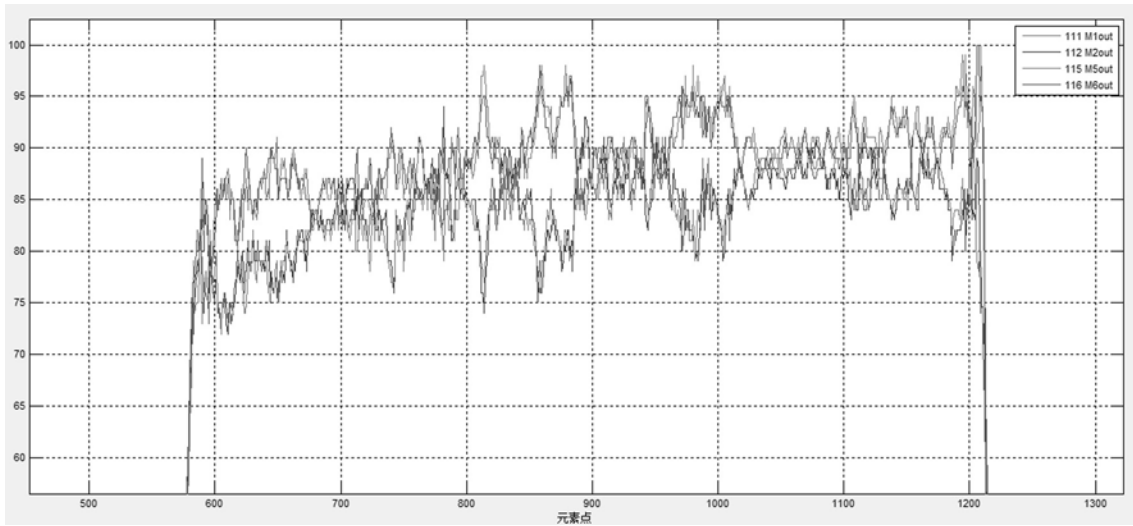


图5

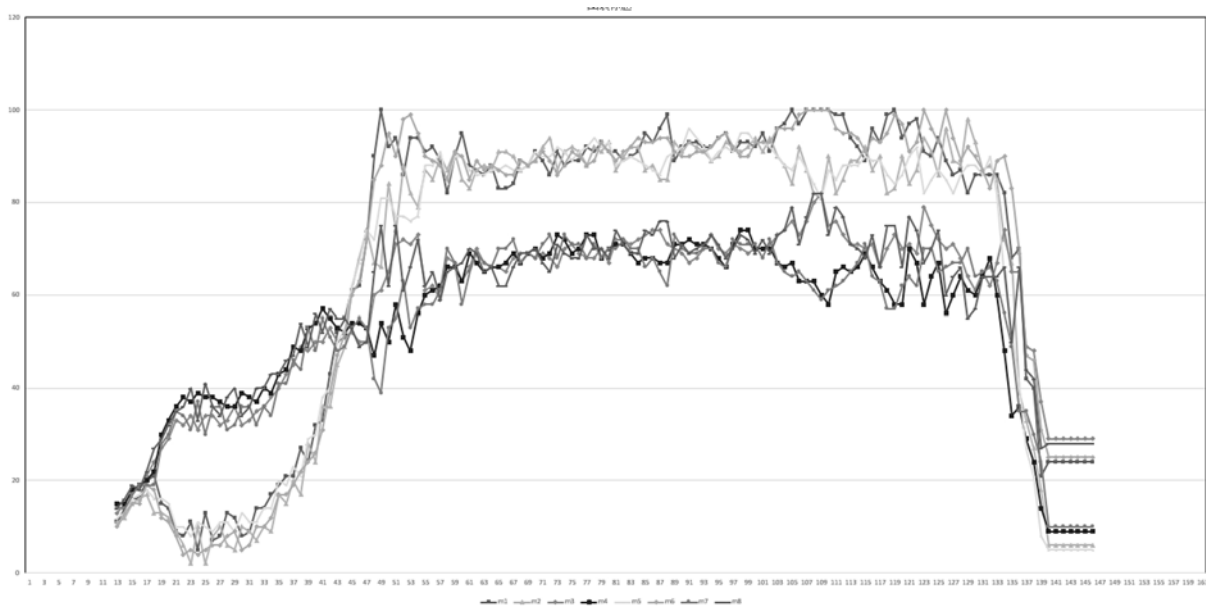


图6

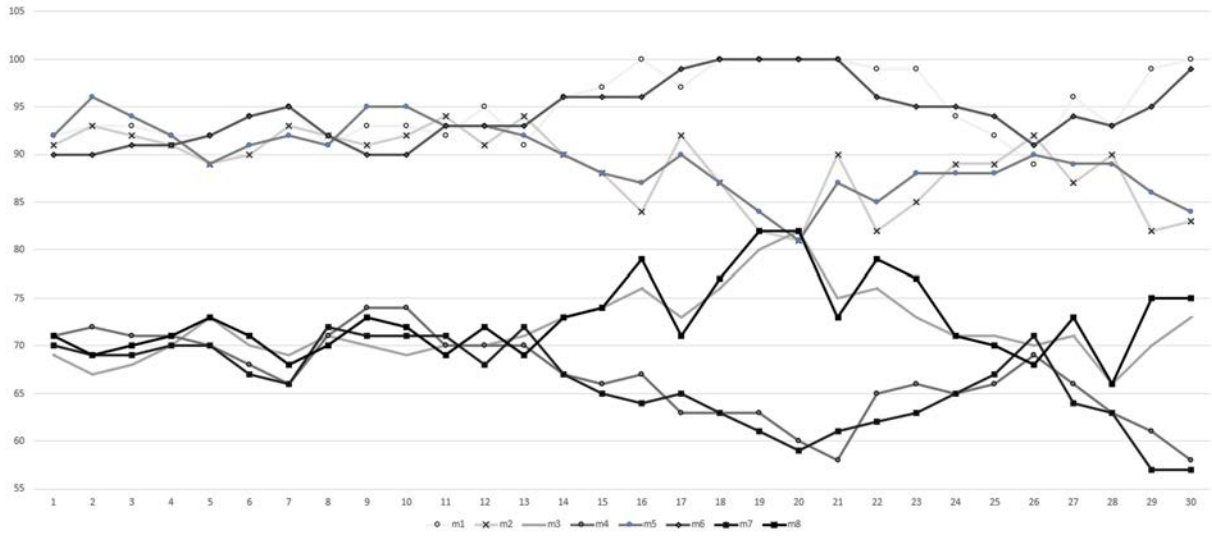


图7

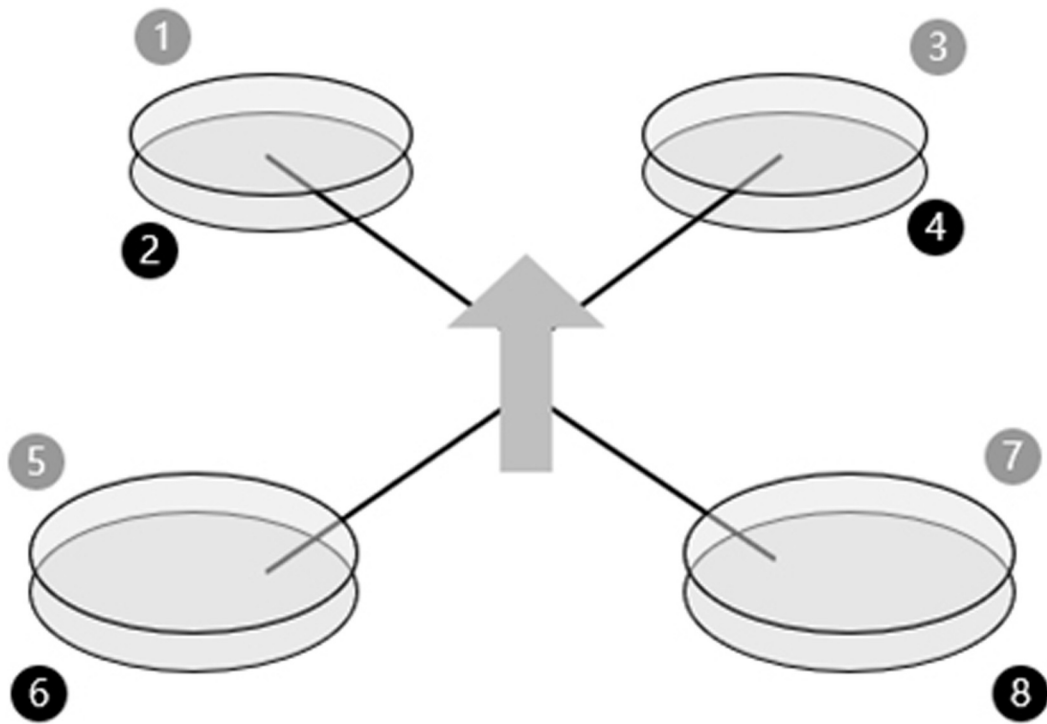
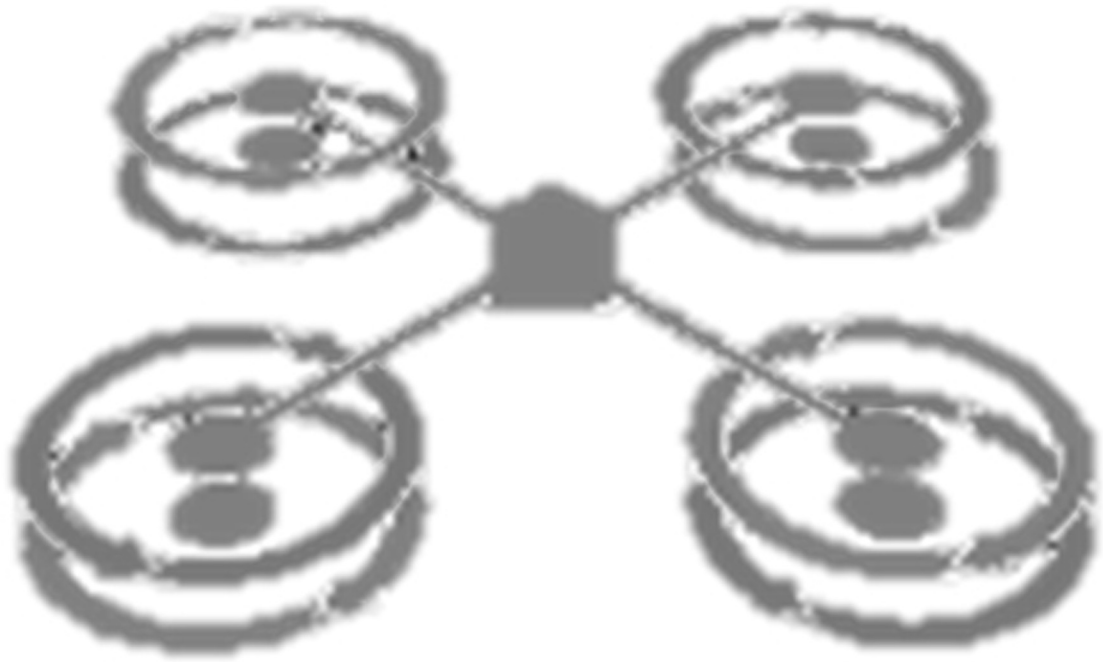


图8



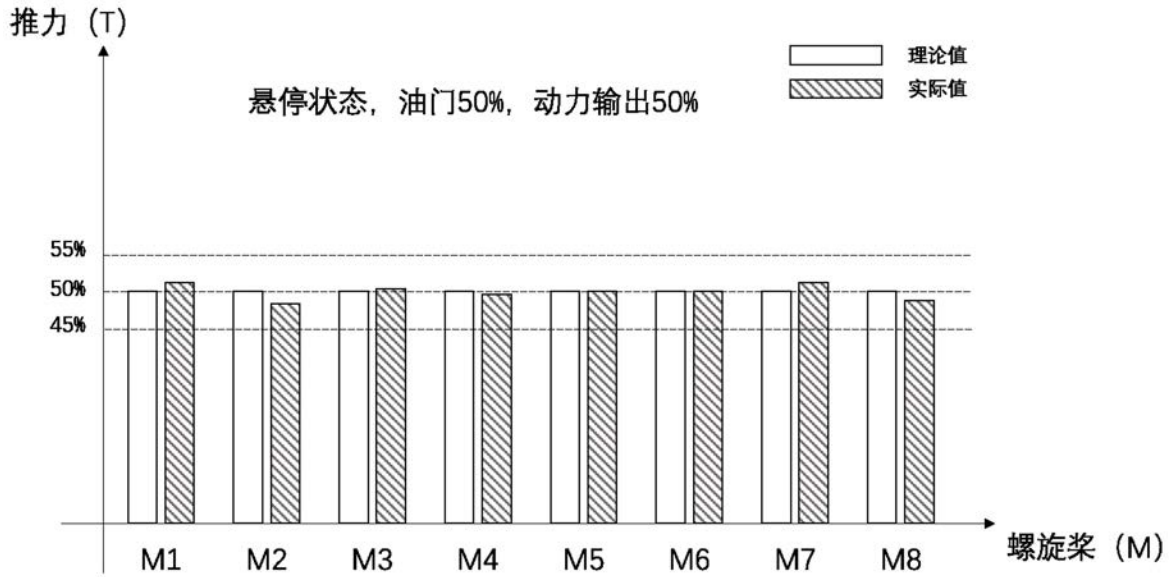


图9

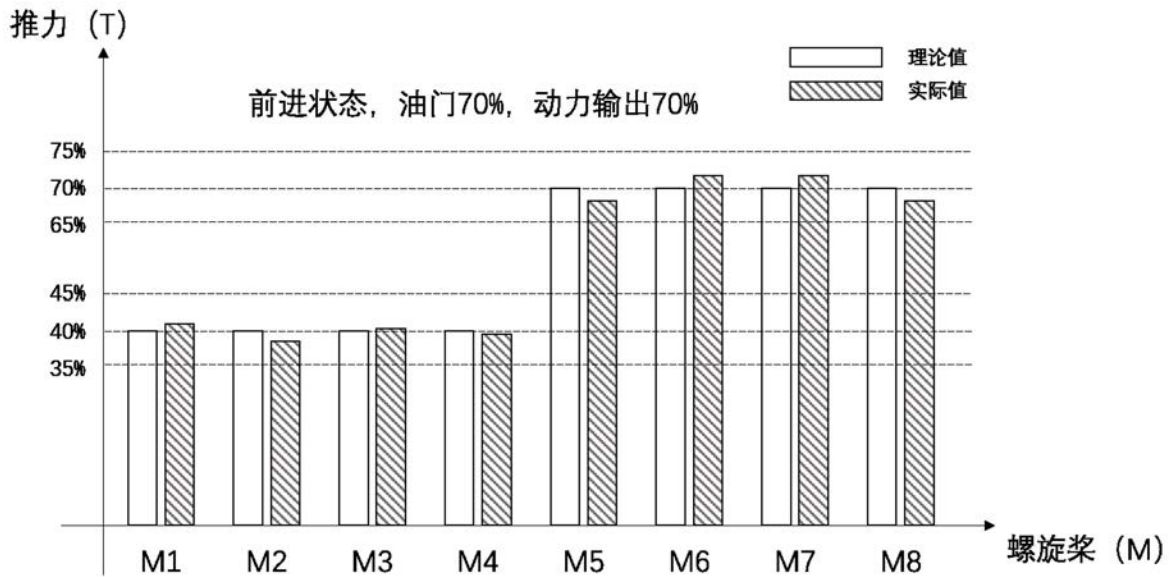


图10

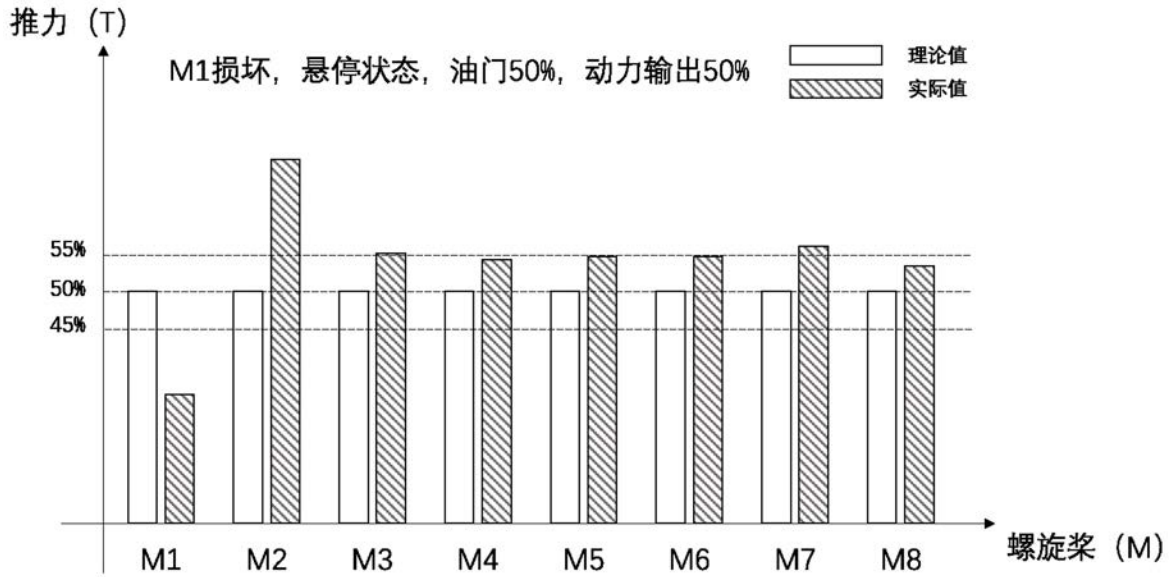


图11

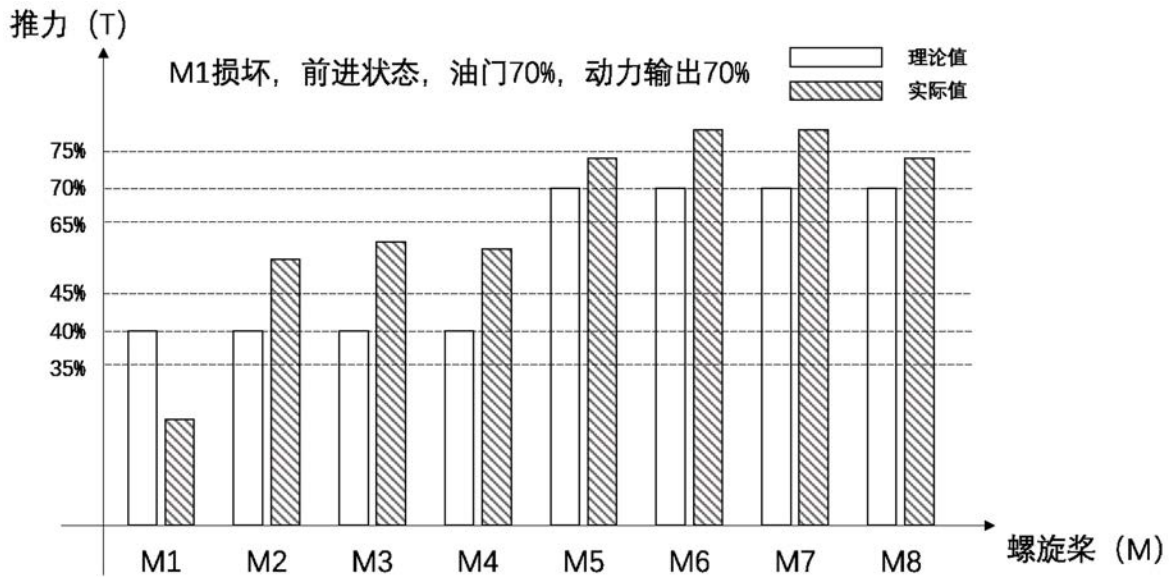
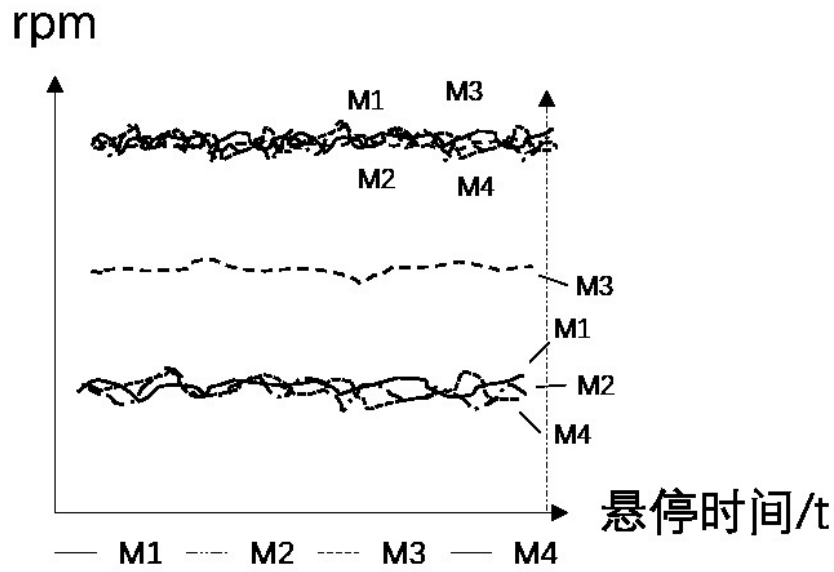


图12

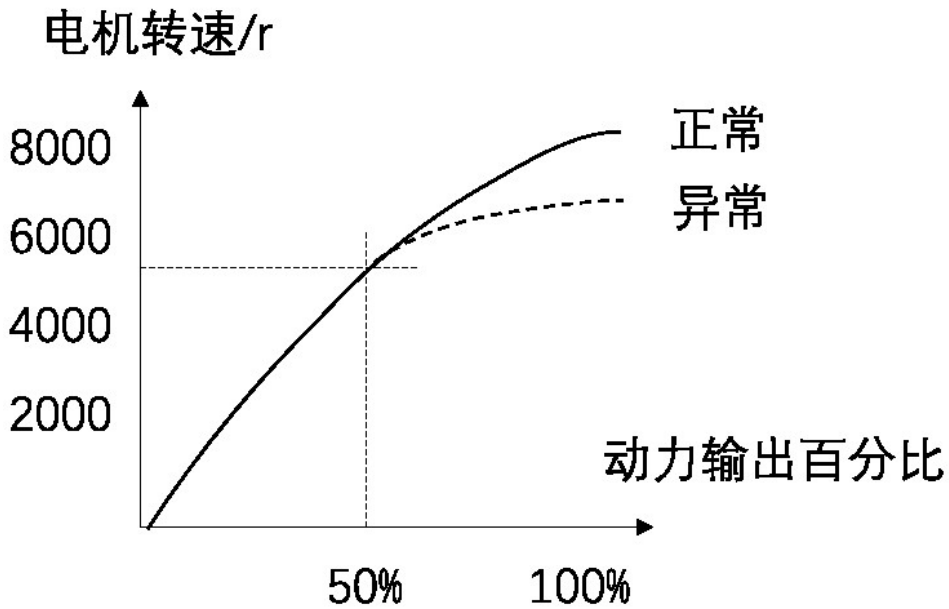
电机动力输出异常。



某个电机动力输出异常，整体却表象正常。

图13

电机高功率状态异常。



悬停时正常，高功率运作时异常。

图14

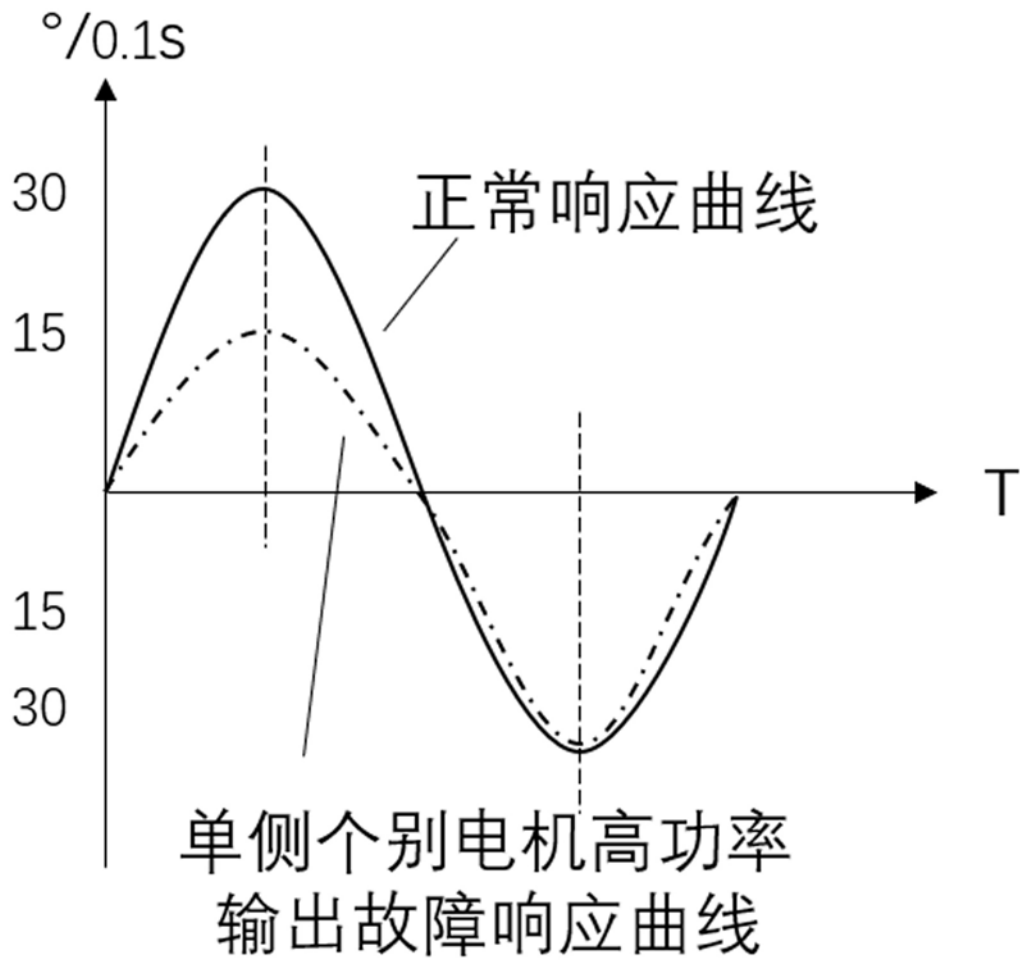


图15