



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114585421 A

(43) 申请公布日 2022. 06. 03

(21) 申请号 202080053324.5

(22) 申请日 2020.05.08

(30) 优先权数据

16/426,347 2019.05.30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.01.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/032132 2020.05.08

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/242747 EN 2020.12.03

(71) 申请人 海德洛有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 B·史密斯 K·H·雷纳 W·伯克

J·O·穆尔-米兰达

C·O·埃文斯

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

专利代理师 刘新宇 张会华

(51) Int.Cl.

A63B 69/06 (2006.01)

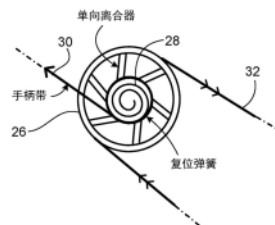
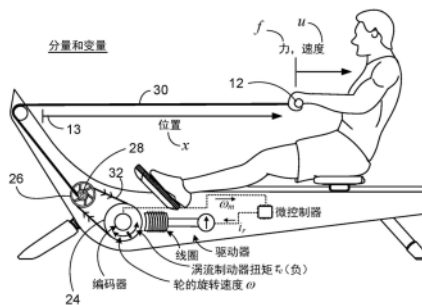
权利要求书2页 说明书15页 附图8页

(54) 发明名称

具有可构建的划船感觉的划船健身机

(57) 摘要

特别地,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在划船行程的驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。目标感觉对应于其他目标划船健身机的划船者的感觉或其它感兴趣的目标感觉。



1. 一种划船健身机,其包括:可移动惯性元件;涡流制动器,其联接至所述可移动惯性元件;划船把手,其联接至所述可移动惯性元件;以及控制电路,其联接至所述涡流制动器以在划船行程的一部分期间对所述划船把手的运动引起阻力,在所述划船行程的驱动阶段期间所述划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉,所述目标感觉对应于其他目标划船健身机的划船者的感觉。

2. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,所述可移动惯性元件包括飞轮,并且所述涡流制动器联接至所述飞轮以在所述划船行程的一部分期间对所述划船把手的运动引起所述阻力。

3. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,所述划船把手包括通过柔性长形元件联接至所述可移动惯性元件的手柄。

4. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,所述控制电路包括用于测量所述可移动惯性元件的位置或速度或两者的传感器。

5. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,所述控制电路包括存储器,所述存储器用于关于所述可移动惯性元件的速度、施加到所述涡流制动器的电流以及对所述划船把手的运动的阻力量之间的关系的信息。

6. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,所述其他目标划船健身机包括机械划船健身机的已识别的模型。

7. 根据权利要求1所述的划船健身机,其特征在于,划船者的所述感觉包括在所述划船行程的一部分期间所述把手的运动的阻力量的分布。

8. 一种划船健身机,其包括:可移动惯性元件;涡流制动器,其联接至所述可移动惯性元件;划船把手,其联接至所述可移动惯性元件;以及控制电路,其联接至所述涡流制动器以在划船行程的一部分期间对所述划船把手的运动引起阻力,在所述划船行程的驱动阶段期间所述划船把手的运动的阻力在预定的感觉精度和感觉准确度内随着时间的推移符合所述划船健身机的划船者的目标感觉并且符合一组划船健身机中的其他划船健身机也符合的目标感觉。

9. 根据权利要求8所述的划船健身机,其特征在于,所述一组划船健身机具有特定的设计或模型。

10. 根据权利要求8所述的划船健身机,其特征在于,所述控制电路包括存储器,所述存储器用于表示所述目标感觉和关于所述可移动惯性元件的速度、施加到所述涡流制动器的电流以及对所述划船把手的运动的阻力量之间的关系的信息。

11. 根据权利要求8所述的划船健身机,其特征在于,所述目标感觉包括在所述驱动阶段的一部分或全部期间所述划船把手的运动的阻力量的分布。

12. 根据权利要求8所述的划船健身机,其特征在于,所述目标感觉包括其他目标划船健身机的感觉。

13. 根据权利要求8所述的划船健身机,其特征在于,在所述驱动阶段期间所述划船把手的所述运动的阻力符合在指定的感觉准确度内的划船者的目标感觉。

14. 根据权利要求13所述的划船健身机,其特征在于,所述目标感觉包括在所述驱动阶段的一部分或全部期间所述划船把手的运动的阻力分布。

15. 根据权利要求14所述的划船健身机,其特征在于,所述控制电路被配置用于在所述

驱动阶段期间将所述划船把手的所述运动的阻力维持在相对于所述目标感觉的划船把手的运动的阻力的预先指定的误差量内。

16. 根据权利要求13所述的划船健身机, 包括用于表示所述目标感觉和涡流制动器模型的信息的存储器。

17. 一种划船健身机, 其包括: 可移动惯性元件; 涡流制动器, 其联接至所述可移动惯性元件; 划船把手, 其联接至所述可移动惯性元件; 以及控制电路, 其联接至所述涡流制动器以在划船行程的一部分期间对所述划船把手的运动引起阻力, 在所述划船行程的驱动阶段期间所述划船把手的所述运动的阻力符合在指定的感觉精度内的划船者的目标感觉。

18. 根据权利要求17所述的划船健身机, 其特征在于, 所述目标感觉包括在所述驱动阶段的一部分或全部期间所述划船把手的运动的阻力分布。

19. 根据权利要求18所述的划船健身机, 其特征在于, 所述控制电路被配置用于在所述驱动阶段期间将所述划船把手的运动的阻力维持在相对于所述目标感觉的划船把手的运动的阻力的预先指定的变化量内。

20. 根据权利要求17所述的划船健身机, 包括用于表示所述目标感觉和涡流制动器模型的信息的存储器。

21. 一种划船健身机, 其包括: 可移动惯性元件; 涡流制动器, 其联接至所述可移动惯性元件; 划船把手, 其联接至所述可移动惯性元件; 以及控制电路, 其联接至所述涡流制动器以在划船行程的一部分或全部期间对所述划船把手的运动引起阻力, 在所述划船行程的驱动阶段期间所述划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉, 并且所述划船健身机还包括存储器, 所述存储器包含定义所述目标感觉的信息并且能由所述控制电路使用以赋予所述划船者所述目标感觉, 所述目标感觉包括任意目标感觉。

22. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 包含在所述存储器中的所述信息是不可改变的。

23. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 包含在所述存储器中的所述信息能被改变为在所述划船健身机处通过互联网接收的信息。

24. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 包含在所述存储器中的所述信息能被改变以响应于来自用户界面的用户界面控件的输入。

25. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 所述目标感觉包括机械测功器的现有的模型或设计的感觉得。

26. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 所述目标感觉与给定的模型或设计的其他划船健身机的目标感觉相同。

27. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 所述目标感觉适用于所述划船者在划船过程期间的所有连续的行程。

28. 根据权利要求21所述的划船健身机, 其特征在于, 在所述划船者的划船过程期间, 不同行程的所述目标感觉是不同的。

具有可构建的划船感觉的划船健身机

技术领域

[0001] 本说明书涉及具有可构建的划船感觉的划船健身机(例如测功器)。

背景技术

[0002] 机械测功器

[0003] 划船(在真实的船上或在划船健身机或测功器上)需要一序列的行程8。图1说明了该序列。每个行程可以被理解为分为两个阶段。

[0004] 第一阶段10是驱动阶段,在该驱动阶段中划船者从初始位置13开始在手柄或其他把手12上(或在真实的船的情况下在桨上)水平地施加拉力11。划船者做功以提高划船健身机的飞轮的旋转速度(或真实的船的质量在水中的速度)并最终到达最终位置15。

[0005] 第二阶段14是恢复阶段,该阶段从最终位置开始,并且在该阶段中,划船者允许手柄(或桨)返回至初始位置。驱动的开始和结束也分别已知为抓握16和完结18。恢复的开始和结束分别是完结和抓握。抓握和完结是瞬间,而驱动和恢复是时间间隔。

[0006] 在驱动阶段期间,划船者施加较大的拉力,而在恢复阶段期间,划船者施加较小的力,允许手柄返回至抓握处的初始位置。在行程结束时,另一行程以新的驱动阶段开始。

[0007] 图2示出了健身机20(诸如被称为Hydrow[™]并且可由CREW by True Rowing of Cambridge, Massachusetts获得的可构建感觉的测功器,和在2018年5月16日提交的美国专利申请序列号15/981,834中进行描述的健身机,其全部内容通过引用并入本文)的部件。图2还说明了可以测量和用于分析和控制健身机的操作的相关变量。

[0008] 在驱动期间,划船者以拉力 f 和拉动速度 u 拉动手柄12。在驱动期间,在手柄位置 x 从初始位置13到完结位置期间,正拉动速度 u 增加。最小(初始)位置 x 位于抓握处,而最大(最终)位置15位于完结处。拉力 f 通过单向离合器26(包括复位弹簧28)传递至具有转动惯量 I 的飞轮24,使得手柄仅在驱动期间通过离合器接合至飞轮。当在驱动期间拉动手柄时,手柄带30顺时针转动离合器并通过皮带32使飞轮顺时针旋转。在驱动期间,划船者施加至手柄的拉力 f 在飞轮上施加正手柄扭矩 τ_h (在图中为顺时针方向)。当飞轮上的净扭矩(包括以飞轮的惯性表示的相反的扭矩中的手柄扭矩)为正时,飞轮的旋转速度 ω 将增加。

[0009] 在恢复期间,离合器使飞轮与手柄脱离接合,允许复位弹簧将手柄拉回抓握位置。由于划船者施加在手柄上的手柄扭矩 τ_h 对应于返回期间飞轮上的零扭矩,因此飞轮速度将以取决于其惯性和作用于其上的其他扭矩的方式降低。

[0010] 图3示出了飞轮速度 ω 和手柄扭矩 τ_h 相对于时间的函数,并说明了从一次行程到如图所示的连续行程期间平均飞轮速度增加的情况。图3还说明了,通常,划船者施加至手柄的拉力 f (和对应的手柄扭矩 τ_h)在整个驱动阶段期间不是恒定的,而是可以根据力或扭矩随着时间或位置或两者的分布而变化。

发明内容

[0011] 下面,我们将描述可以赋予测功器可构建的划船感觉的技术。我们有时将这种测

功器称为可构建感觉的测功器。我们广义地使用术语“可构建的划船感觉”来包括,例如,对于给定的一组参数值,通过手柄施加在划船者上的划船力 f 。可以设定、调节或改变以模仿、复制或具有相对于目标划船感觉的特定类似性或差异性的划船感觉。我们广义地使用术语“目标划船感觉”或仅“目标感觉”来包括,例如,划船者、测功器的制造商或供应商期待的、预期的、优选的或以其他方式感兴趣的任何一种或多种划船感觉。目标划船感觉可以是机械或其他测功器的已知设计或模型的感觉、真实船的划船感觉、正在研究的实验划船感觉、建议的划船感觉或任何其他有用的、必要的划船感觉、或感兴趣的划船感觉,或它们的组合。

[0012] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间对划船把手运动引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。目标感觉对应于其他目标划船健身机的划船者的感觉。

[0013] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。可移动惯性元件包括飞轮,并且涡流制动器联接至飞轮以在划船行程的驱动阶段期间对划船把手的运动引起阻力。划船把手包括通过柔性长形元件联接至可移动惯性元件的手柄。控制电路包括用于测量可移动惯性元件的位置或速度或两者的传感器。控制电路包括存储器,存储器用于关于可移动惯性元件的速度、施加到涡流制动器的电流以及对划船把手的运动的阻力量之间的关系的信息。其他目标划船健身机包括机械划船健身机的已识别的模型。划船者的感觉包括在部分或全部驱动阶段期间把手的运动的阻力量的分布。

[0014] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间对划船把手运动引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力在预定的感觉精度和感觉准确度内随着时间的推移符合划船健身机的划船者的目标感觉并且符合一组划船健身机中的其他划船健身机也符合的目标感觉。

[0015] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。划船健身机和一组划船健身机具有特定的设计或模型。控制电路包括存储器,存储器用于表示目标感觉和关于可移动惯性元件的速度、施加到涡流制动器的电流以及对划船把手的运动的阻力量之间的关系的信息。

[0016] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。目标感觉包括在驱动阶段的一部分或全部期间对划船把手的运动的阻力量的分布。目标感觉包括其他目标划船健身机的感觉。

[0017] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间对划船把手运动引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合在指定的感觉准确度内的划船者的目标感觉。

[0018] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。目标感觉包括在驱动阶段的一部分或全部期间对划船把手的运动的阻力分布。控制电路被配置用于在驱动阶段期间将划船把手的运动的阻力维持在相对于目标感觉的划船把手的运动的阻力的预先指定的误差量内。表示目标感觉和涡流制动器模型的信息被存储。

[0019] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间对划船把手运动引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合在指定感觉精度内的划船者的目标感觉。

[0020] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。目标感觉包括在驱动阶段的一部分或全部期间对划船把手的运动的阻力分布。控制电路被配置用于在驱动阶段期间将划船把手的运动的阻力维持在相对于目标感觉的划船把手的运动的阻力的预先指定的变化量内。表示目标感觉和涡流制动器模型的信息被存储。

[0021] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间对划船把手运动引起阻力并且在除驱动阶段之外的划船行程的一部分期间基本上不引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。控制电路基于在除驱动阶段之外的划船行程的一部分期间获取的关于可移动惯性元件的信息来控制驱动阶段期间划船把手的运动的阻力。

[0022] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。控制电路包括用于测量可移动惯性元件的位置或速度的元件,并且在除驱动阶段之外的划船行程的一部分期间获取的关于可移动惯性元件的信息包括移动元件的速度。除驱动阶段之外的划船行程的一部分包括恢复阶段。

[0023] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力并且在除驱动阶段之外的划船行程的一部分期间基本上不引起阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉并且是基于由控制电路获取的关于可移动惯性元件的运动的运动的信息。该信息是在使划船把手的运动的阻力包括划船者不会作为划船健身机的感觉的一部分所体验到的特征时获取的。

[0024] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。控制电路被配置用于通过以划船者不会体验的频率引起对划船把手的运动的阻力来获取信息。该频率包括高于划船者可以体验的频率。该频率包括低于划船者可以体验的频率。具有低于划船者可以体验的频率的阻力也具有低于划船者可以体验的幅度。控制电路被配置用于在除驱动阶段之外的划船行程的一部分期间获取信息。除了驱动阶段之外的划船行程的部分包括恢复阶段。

[0025] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。存储器包含定义目标感觉的信息并且可由控制电路使用以赋予划船者目标感觉。目标感觉包括任意目标感觉。

[0026] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。包含在存储器中的信息是不可改变的。包含在存储器中的信息可被改变为在划船健身机处通过互联网接收的信息。包含在存储器中的信息可被改变以响应于来自用户界面的用户界面控件的输入。目

标感觉包括机械测功器的现有的模型或设计的感觉。目标感觉与给定的模型或设计的其他划船健身机的目标感觉相同。目标感觉适用于划船者在划船过程期间的所有连续的行程。在划船者的划船过程期间,不同行程的目标感觉是不同的。目标感觉包括与可移动惯性元件的速度成正比的项。目标感觉包括与划船者在行程期间拉动划船把手的距离成正比的项。目标感觉包括测功器外部的参数。该参数包括划船者的心跳速率。目标感觉随着划船者在划船过程期间行程的持续时间而变化。

[0027] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。该机器包括存储器,存储器用于可由控制电路执行以确定要施加至划船把手的请求阻力量的指令。该指令包括基于测量结果的线性最小二乘回归,这些测量结果将涡流制动器中的电流、可移动惯性元件的速度和阻力(drag)相关联。

[0028] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。该机器包括用于扭矩表的存储器,该扭矩表可由控制电路使用以通过应用双线性近似来确定要施加至划船把手的请求的阻力量。

[0029] 实施方式可以包括以下特征中的一个或两个或更多个的组合。包含在存储器中的指令可由控制电路执行以重新计算扭矩表以便校正划船健身机的实际感觉与目标感觉的偏差。

[0030] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。该机器包括存储器,存储器用于可由控制电路执行以使用封闭形式计算来确定要施加至划船把手的请求阻力量的指令。

[0031] 一般而言,在一个方面,划船健身机包括可移动惯性元件、联接至可移动惯性元件的涡流制动器、联接至可移动惯性元件的划船把手、以及联接至涡流制动器以在划船行程的一部分期间引起对划船把手运动的阻力的控制电路。在驱动阶段期间划船把手的运动的阻力符合划船者的目标感觉。该机器包括存储器,存储器用于可由控制电路执行以将使用请求扭矩和测量的速度固定的涡流制动器模型应用于确定请求电流并且将比例因子应用于请求阻力、测量的速度和请求电流中的一个或多个的指令。

[0032] 上述的和其他的方面、特征、实施方式和优点(a)可以表示为方法、设备、系统、部件、程序产品、商业方法、执行功能的手段或步骤,以及以其他方式表示,并且(b)将从以下描述和方案中显而易见。

附图说明

[0033] 图1示意性地示出了划船行程的分解。

[0034] 图2示出了划船健身机的示意性侧视图。

[0035] 图3示出了速度和扭矩相对于时间的图表。

- [0036] 图4示出了精度和准确度的图表。
 [0037] 图5是机器的控制系统的框图。
 [0038] 图6示出了测量划船感觉的方法。
 [0039] 图7示意性地说明了测试方法。
 [0040] 图8是具有校准的控制系统的框图。

具体实施方式

[0041] 在机械划船测功器 (mechanical rowing ergometer) 上 (或在船上), 作用在飞轮上的扭矩 (或作用在船的质量上的力) 是由空气阻力施加在飞轮上的拖曳扭矩 (或由水阻力施加在船上的拖曳力) 和相反的手柄扭矩 τ_h 。手柄扭矩由施加到手柄的划船者的拉力 f 机械地传递。拖曳扭矩 (或船上的力) 等于拖曳因子 k 乘以旋转飞轮速度的平方 (或船相对于水的速度的平方)。

[0042] 如上段所述, 如果用飞轮的转动惯量代替船的质量并且用扭矩代替力, 那么水上的船或机械划船测功器的机械模型是相同的。在不损失任何通用性的情况下, 在飞轮和相关联的扭矩的背景下给出以下等式。

[0043] 数学上, 拖曳和手柄扭矩作用于飞轮的转动惯量, 使得

$$[0044] \quad I \frac{d\omega}{dt} = \tau_h - k\omega^2$$

[0045] 因此, 手柄扭矩为

$$[0046] \quad \tau_h = I \frac{d\omega}{dt} + k\omega^2$$

[0047] 由于飞轮上的手柄扭矩与手柄处的拉力 f 在驱动期间成正比 (i.e., $f \propto \tau_h$), 划船者必须对手柄处施加与转动惯量和拖曳扭矩成正比的力 f , 使得

$$[0048] \quad f \propto I \frac{d\omega}{dt} + k\omega^2$$

[0049] 在这种情况下, 在驱动期间施加在手柄处的对抗划船者的拉动的该相反的力 f 由飞轮的速度及其导数唯一地定义。

[0050] 然而, 力 f 可以取决于其它变量, 诸如手柄的位置、温度、以及甚至划船者的心跳。我们将划船感觉 f 定义为对于给定的一组参数值由手柄施加 (impose) 在划船者上的力, 而不是作为人对力的主观感知。例如, 在环境温度下、在训练计划的特定日期和时间下、在特定心跳和皮肤阻力的情况下、并响应于与外部观察者的实时互动地, 我们可以将力 f 定义为随着手柄从抓握的位置移动至完结的位置时的位置 and 时间的函数。

[0051] 我们将感觉精度定义为给定的模型或设计的所有机器在所有使用时间下的感觉之间的变化的误差测量 (例如, 均方根误差测量)。以这种方式定义的感觉精度包含可归因于划船健身机的设计或模型、制造工艺、用途和环境以及它们的组合等的变化。在计算确切的感觉精度可能不合理或不可能的情况下, 可以使用适当的统计技术来代替。

[0052] 类似地, 我们将感觉准确度定义为对给定的设计或模型的所有机器在所有使用时间下的感觉和给定的目标感觉之间的差异的误差测量。

[0053] 图4说明了这些定义。单线40表示相对于手柄位置的任意目标感觉。阴影曲线42表

示一个或多个划船者在所有机器的手柄的每个位置处在所有使用时间下所感觉到的实际或测量的感觉 f 的集合,或者由感觉精度定义的任何其他感兴趣的集合。感觉 f 的变化是感觉精度43,并且每个位置处的实际感觉与目标感觉之间的差异是感觉准确度45。

[0054] 机械测功器的每个设计或模型的特征尤其在于特定的感觉以及感觉精度和感觉准确度,这些由机械设计和制造一致性等因素支配。给定的机械测功器的感觉 f 可以随时间(在短周期和长周期中)变化,并且可以不同于相同设计或模型的其他机械测功器。

[0055] 划船健身机感觉的重要性

[0056] 测功器感觉、感觉精度和感觉准确度对于划船者、测功器的制造商和供应商来说是重要的。划船者可能习惯测功器的特定设计或模型的特定感觉,并且可能更喜欢在呈现特定感觉的健身划船机上划船。在一些情况下,划船者可能想在不同的时间和出于不同的目的使用具有不同感觉的机器。例如,划船者可能需要针对在特定环境(其可以包括温度、其他竞争者和欢呼的观察者)下的特定比赛中为在特定船上的峰值表现进行训练。划船者可能需要维持安全的心跳并避免肌肉或关节受伤,这可能是先前受伤的结果并且也可能是康复训练的一部分。划船者可能会在比赛中使用需要谨慎和一致的表现以确保公平的机器。初学者和脆弱的划船者可能需要如下感觉:其避免任何抽搐并可以适应划船的变化或错误而不会导致受伤。制造商和供应商期望提供具有良好的感觉精度和良好的感觉准确度的健身划船机,以满足划船者的期望并创造如前所述的新体验。

[0057] 具有可构建的感觉的测功器

[0058] 在此,我们描述了一种技术,其可以赋予测功器可构建的划船感觉。我们有时将这种测功器称为可构建感觉测功器。我们广义地使用术语“可构建的划船感觉”来包括例如可以被设定、调节或改变以模仿、复制或具有相对于目标划船感觉的特定类似性或差异性的划船感觉。我们广义地使用术语“目标划船感觉”来包括例如划船者、测功器的制造商或供应商期待的、预期的、优选的或以其他方式感兴趣的任何一种或多种划船感觉。目标划船感觉可以是机械或其他测功器的已知设计或模型的感觉、真实船的划船感觉、正在研究的实验划船感觉、建议的划船感觉或任何其他有用的、必要的划船感觉、或感兴趣的划船感觉,或它们的组合。

[0059] 我们在此描述的可构建感觉的测功器的一些实施方式基于Hydrow测功器。图2示出了示例性可构建感觉的测功器(诸如Hydrow)的部件。与机械测功器(或船)不同地,可构建感觉的测功器的飞轮不受基于空气的拖曳力的影响;然而,归因于机械损失,受到小的机械扭矩 τ_m 的影响。可构建感觉的测功器上的飞轮不受空气的拖曳的影响,而是由于其作为涡流制动器44的部件而受到电磁阻力的影响。

[0060] 在我们在此描述的可构建感觉的测功器的涡流制动器中,飞轮24包括导电材料并且由于导电材料与靠近飞轮放置的一个或多个电磁线圈46的相互作用而提供阻力。根据法拉第感应定律,穿过一个或多个线圈的电流使一个或多个线圈在飞轮的导电材料中感应磁场。当飞轮的速度增加时,磁场转而在飞轮的导电材料中感应涡流,涡流根据楞次定律与磁场相反。根据洛伦兹力定律,涡流和磁场配合产生减速涡流制动器扭矩 τ_e (前面提到的电磁阻力的示例)。涡流制动器线圈感应的磁场和得出的涡流制动器扭矩与驱动线圈的电流成正比。因此,涡流制动器扭矩随着飞轮速度和线圈电流两者的增加而增加。这提供了通过控制线圈电流来构建测功器的感觉的机会。

[0061] 假设飞轮具有转动惯量 I_h 并且 τ_h 是与划船者在手柄处感觉到的力成正比的手柄扭矩,则可构建感觉的测功器的飞轮速度的等式为

$$[0062] \quad I_h \frac{d\omega}{dt} = \tau_h - \tau_e - \tau_m$$

[0063] 因此,任何给定的可构建感觉的测功器的划船感觉 f_h (即,划船者在驱动期间在手柄上感觉到的阻力)与扭矩 τ_h 成正比:

$$[0064] \quad f_h \propto I_h \frac{d\omega}{dt} + \tau_m + \tau_e$$

[0065] 特别地,可以使用涡流制动器扭矩 τ_e 调节任何给定的可构建感觉的测功器的感觉 f_h 。因为涡流制动器扭矩横跨宽的范围进行构建,并且可以在高频下进行改变,所以测功器的划船感觉和行程的驱动阶段的每一力矩都可以被构建用于满足宽范围的目标感觉。

[0066] 因为涡流制动器扭矩随着飞轮速度和线圈电流两者的增加而增加,涡流制动器扭矩可以基于飞轮速度的测量和线圈电流的控制来构建。为了测量飞轮速度,可构建感觉的测功器具有速度测量装置,诸如编码器48(例如,轴角编码器)。为了控制线圈电流,测功器具有线圈电流驱动器50,其可以响应于在驱动器的输入端处接收到的来自微控制器52的输出端的电流幅度指令而将电流范围内的任何电流(在驱动器的输出端处)施加至一个或多个线圈。微控制器的输入端以例如240Hz的采样率从编码器或其他速度测量装置接收测量的速度 ω_m ,并且以例如240Hz的指令周期率将电流幅度指令发送到线圈电流驱动器。速度采样的速率可以与发送指令的速率(指令周期速率)不同,并且每个活动的速率可以不是240Hz,可以更低也可以更高。取决于实施方式,该速率可以是大于10Hz的任何数字。

[0067] 每个电流幅度指令携带指定电流 i_r 的数据。因为速度 ω_m 是测量的并且对应于每个电流 i_r 和速度 ω_m 的涡流制动器扭矩是凭经验已知的,所以微控制器可以赋予手柄任何目标感觉。

[0068] 涡流制动器模型

[0069] 为了能够基于期待的涡流制动器扭矩和测量的速度在每个指令周期传送正确的电流幅度指令,微控制器应用涡流制动器模型的逆模型。涡流制动器模型模拟涡流制动器的行为,包括线圈电流、飞轮速度和扭矩之间的关系。该模型可以使用多种建模技术来表达,并且得出的模型的复杂性、大小和处理要求的范围可以从简单到复杂。可能需要在模型的复杂性或准确性与微控制器足够快地存储和处理模型以满足速度测量速率或指令周期率的能力之间进行权衡。在下面讨论权衡的方面。

[0070] 涡流制动器模型可以在制造时安装在控制电路的存储器中,并且可以通过互联网下载到控制电路,或基于实时测量进行计算而不时地进行更新、修正或增强。模型的改变可能源于对涡流制动器或测功器的行为的更好理解,测功器的制造商或供应商所采用方法的改变,涡流制动器、测功器、电流驱动器、微控制器、或计算算法的设计变化,或者改变可以基于使用自适应控制、机器学习或其他统计或预测数学技术或其他因素对来自机器本身的数据进行实时处理后处理。

[0071] 控制系统

[0072] 图5示出了可构建感觉的测功器的控制电路54。微控制器56读取从编码器50接收的测量速度58并且计算请求扭矩 τ_r 64。使用存储的等式57计算给定的指令周期的请求扭

矩,该等式在给定输入测量速度的情况下预期在该指令周期的时间产生目标感觉。

[0073] 目标感觉59可以在制造时存储在与微控制器相关联的存储器中。对于给定的测功器而言,目标感觉可以是固定的且不可改变的,或者可以被改变以定义、更新、编辑或代替给定的目标感觉。当例如通过改动存储的目标感觉可改变目标感觉时,可以通过互联网从中央服务器或者在一些实施方式中通过用户对用户界面控件的操纵来进行改变。在一些情况下,可以存储两个或更多个不同的目标感觉并且可以通过作为测功器的一部分的装置的用户界面给予用户选择期待的目标感觉的机会。

[0074] 微控制器必须计算产生等于请求扭矩的涡流制动器扭矩80所需的请求电流 i_r 87。该计算依赖于涡流制动器的存储的逆制动器模型62。除了请求扭矩之外,还需要飞轮速度作为输入。在每个指令周期中,微处理器向涡流制动器驱动器和涡流制动器86发出包含请求电流值的指令。驱动器和制动器86产生得出的涡流制动器扭矩80。

[0075] 例如,如果我们想要可构建感觉的测功器感觉像具有特定目标感觉的机械测功器,我们可以设定

$$[0076] \quad \tau_r = (I - I_h) \frac{d\omega}{dt} - \tau_m + k\omega^2$$

[0077] 如果逆制动器模型是准确的,则得出的涡流制动器扭矩将等于请求扭矩(即, $\tau_e = \tau_r$),对于可构建感觉的测功器的感觉,我们可以将上面的表达式替换为等式中的涡流制动器扭矩。在这种情况下,

$$[0078] \quad f_h \propto I_h \frac{d\omega}{dt} + \tau_m + (I - I_h) \frac{d\omega}{dt} - \tau_m + k\omega^2$$

[0079] 简化,

$$[0080] \quad f_h \propto I \frac{d\omega}{dt} + k\omega^2$$

[0081] 图5分别用三角形70、72和74示出了速度、扭矩和电流的比例因子。如元件76所示,净扭矩 τ 78是由用户施加的手柄扭矩79并且被相反的涡流制动器扭矩80抵消。该净扭矩78施加到机械系统(例如,飞轮和任何相关联的机械损失 τ_m)82。连接线84表示飞轮的速度将会影响涡流制动器产生的涡流制动器扭矩。

[0082] 因此,只要逆制动器模型被设计为使控制电路能够正确地计算请求扭矩的请求电流,并且涡流制动器能够基于请求电流产生请求扭矩作为涡流制动器扭矩,可构建感觉的测功器的感觉就可以被构建用于匹配任何目标感觉59。

[0083] 设定目标感觉

[0084] 可以使用多种方法来设定一个或多个测功器的一个或多个目标感觉。在一些实施方式中,给定设计或模型的所有测功器都可以预设特定的固定目标感觉,例如,与机械测功器的特定模型的感觉相对应的目标感觉。在一些情况下,可以将给定设计或模型的测功器组织成子集,并且可以为给定的子集的所有测功器加载共同的固定目标感觉。不同的固定目标感觉可以应用于不同子集的测功器。

[0085] 通过选择目标感觉可以实现多种目的。在一些情况下,可以选择目标感觉来模仿现有的测功器,以使用户在使用熟悉的目标感觉时感到舒适。在一些应用中,可以创建目标感觉用于实验或提供具有预期特征的划船体验。为了一组划船者训练或联合划船的目的,

或者用于竞赛或其他目的可以应用特定的目标感觉。

[0086] 一个或多个目标感觉可以由可以包括测功器的制造商的来源提供。可以开发一个市场,其中新的目标感觉的创建者可以将它们分配给测功器的所有者。在一些实施方式中,可以向给定测功器的用户提供测功器上的装置或无线连接的移动装置的用户界面控件,其使用户能够选择可用的目标感觉或创建全新的目标感觉。在一些示例中,可以向用户呈现关于目标感觉的信息,诸如示出手柄力相对于位置的图表。除此之外,用户能够通过用户界面编辑或改动目标感觉以创建新的目标感觉,然后将新的目标感觉应用到测功器的操作。

[0087] 在一些实施方式中,目标感觉可以是与划船感觉不同但相关联的事物,诸如划船者的心跳速率、皮肤阻力或任何其他可测量的量。

[0088] 使用可构建感觉的测功器的划船者的每次行程的目标感觉不需要保持固定。目标感觉可能从一次行程到另一次行程而变化(例如随机地变化),或者在划船过程中以刻意的方式改变目标感觉。

[0089] 例如,要模拟与举起一组重物相关联的恒定力,目标感觉可以是手柄上的恒定力。可以用于定义目标感觉的其他真实或假设的力可以包括与距离成正比的、模仿桨的灵活性条件(term),与速度成正比以模拟桨对船的线性摩擦的条件,或在极限位置 x 以模仿船桨的行进(travel)极限的高力。如果划船者佩戴心跳监测器,目标感觉可以被动态调节以维持恒定的心跳,或在以间歇进行训练期间剧烈变化。目标感觉也可以随着行程的周期而变化,以便训练划船者可以具有每分钟恒定的行程。

[0090] 次要因子

[0091] 虽然如前所述涡流制动器扭矩主要由线圈电流和飞轮速度决定,但也存在影响涡流制动器扭矩的次要因子。一些次要因子是次要变量,其比线圈电流和飞轮速度更难测量,并且也会对得出的涡流制动器扭矩产生重大影响。

[0092] 这些次要变量包括飞轮的绝对温度、飞轮上的温度梯度、机械公差和制造变化等。例如,飞轮中钢的绝对温度和构成线圈的材料都会影响材料的导磁率和导电率。温度的变化导致涡流制动器扭矩偏离基本预期的涡流制动器模型的变动。轴承和轴以及支撑元件的膨胀和收缩也会改变运动部件的应力和动力学。制造、维修和组装的变化也会影响机器的应力和动力学。

[0093] 次要因子还可以包括对控制电路获得良好测量和足够快地完成复杂和处理器密集型计算的能力的限制。例如,微控制器不可避免地具有有限的处理速度、存储器和其他计算资源。

[0094] 机械公差、制造变化和磨损也会导致编码器摆动,这影响了传送至微控制器的速度测量结果。

[0095] 这些次要因子可以在下述情况下改变可构建感觉的测功器的感觉:从一次行程到另一次行程和在机器的整个生命周期中、以及从一个机器到另一个机器、和从任何机器到任何目标感觉。因此,次要因子会降低可构建感觉的测功器的感觉准确度和感觉精度。

[0096] 为了改善给定模型的每个可构建感觉的测功器的准确度和精度以及每个可构建的测功器从一次行程到另一次行程和在其的整个生命周期中的准确度和精度,我们提出了与感觉偏差测量、计算和校正相关的多个方法。

[0097] 计算的简化

[0098] 首先,我们描述与由测功器上的微控制器完成的计算相关的特定细节。

[0099] 具有下述形式的涡流制动器函数

$$[0100] \quad \tau = e^{p_1} i^{p_2} \omega^{p_3} (\omega + \omega_0)^{p_4} = \text{fun}(i, \omega)$$

[0101] 可以被用于通过定义函数所需的相对少量的参数 p_i 来表达涡流制动器的行为。此外,为了减少计算负担,可以在给定与电流、速度和扭矩相关的一组测量结果的情况下如下取对数地使用线性最小二乘回归计算参数 p_i :

$$[0102] \quad \ln \tau = p_1 + p_2 \ln i + p_3 \ln \omega + p_4 \ln (\omega + \omega_0)$$

[0103] 多个这些测量结果可以表达为如下矩阵形式:

$$[0104] \quad \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln i & \ln \omega & \ln(\omega + \omega_0) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \ln \tau \\ \vdots \end{bmatrix}$$

[0105] 然而,微控制器需要逆转该函数,以便基于请求扭矩和测量的速度找到要包含在对涡流制动器的指令中的请求电流 i_r 。例如,微控制器可能不具备在240Hz下执行这些计算所需的计算能力。将该函数的近似值存储为与微控制器相关联的存储器中的扭矩表使得可以使用双线性近似进行快速逆转(根据请求扭矩计算必要的电流):

$$[0106] \quad \begin{bmatrix} \omega_1 & \omega_2 & \cdots \\ i_0 \\ i_1 \\ \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_{0,0} & \tau_{0,1} & \cdots \\ \tau_{1,0} & \tau_{1,1} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

[0107] 在划船恢复期间,飞轮速度等式简化为

$$[0108] \quad I_h \frac{d\omega}{dt} = -\tau_e - \tau_m$$

[0109] 可以使用仿射模型捕获由于机械损失引起的机械扭矩 τ_m ,特别是因为它的贡献远小于涡流制动器扭矩的贡献,

$$[0110] \quad \tau_m = a_m \omega + b_m$$

[0111] 假设电流是恒定的,来自双线性近似的涡流制动器扭矩也将是仿射的,

$$[0112] \quad \tau_e = a_e \omega + b_e$$

[0113] 得出的速度等式是可分离的,并且可以以封闭形式计算:

$$[0114] \quad \frac{d\omega}{a\omega + b} = -\frac{dt}{I_h}, \quad a = a_m + a_e, \quad b = b_m + b_e$$

$$[0115] \quad \omega(t) = \left(\omega_0 + \frac{b}{a} \right) e^{-\frac{a(t-t_0)}{I_h}} - \frac{b}{a}, \quad \omega(t_0) = \omega_0$$

[0116] 封闭形式的解法更精确且计算效率更高,并且无需使用导数来估计扭矩。

[0117] 此外,如果我们假设可构建感觉的测功器模仿具有转动惯量 I 和拖曳因子 k 的机械测功器,则在恢复期间,速度等式简化为

$$[0118] \quad I \frac{d\omega}{dt} = -k\omega^2 \Rightarrow \frac{d\omega}{k\omega^2} = -\frac{1}{I} dt$$

[0119] 使得

$$[0120] \quad \omega(t) = \frac{\omega_0}{1 + \omega_0 \frac{k}{T}(t - t_0)}, \quad \omega(t_0) = \omega_0$$

[0121] 同样地,封闭形式的解法更精确并且计算效率更高,并且无需估计导数的需要。

[0122] 图5示出了扭矩 G_t 、电流 G_c 和速度 G_s 的比例因子,使得

$$[0123] \quad G_t \tau_r = \text{fun} \left(\frac{i_r}{G_c}, G_s \omega_m \right) \Rightarrow i_r = G_c \text{fun}^{-1}(G_t \tau_r, G_s \omega_m)$$

[0124] 这些因子允许对涡流制动器模型进行实时调节,而无需重新计算扭矩表。

[0125] 测量

[0126] 图5示出了手柄79上的实际划船感觉等于施加到机械系统78的扭矩,其被涡流制动器扭矩80抵消。可构建感觉的测功器的控制电路的目标是最小化手柄上的实际划船感觉和控制电路的每个指令周期中的预期目标感觉59之间的偏差。出于此目的,能够测量实际的划船感觉将是有益的。但是,可构建感觉的测功器可能没有称重传感器或其他力测量装置来直接测量手柄上的实际划船感觉。

[0127] 在一些实施方式中,机器的实际划船感觉可以主要使用飞轮速度来间接测量。图6说明了用于直接测量实际划船感觉的方法,如下所述。在确定实际划船感觉时,也可以使用两种或更多种所描述的方法的组合。

[0128] 在一些实施方式中,没有必要确切地计算测量的感觉和目标感觉之间的差异,而只需要获得如果测量的感觉与目标感觉匹配时将趋向于零的代表性测量。在非线性控制中,这被称为李雅普诺夫函数。我们将此称为“量化感觉差异”,与始终精确测量手柄上的力之间的差异相反。

[0129] 下面描述的多个方法适用于划船行程的恢复阶段期间。在恢复期间,划船者施加到飞轮上的扭矩为零。这种方法的优点之一是,如果划船者在恢复期间不知道或不关心飞轮的速度,则可以对恢复期间的飞轮制动进行“测试”,这可以改善这些方法的准确度。

[0130] 其他方法依赖于划船者可以感知改变的频率和幅度。特别地,手柄处的力的改变可能比划船者能感觉到的更快,但是可以通过控制系统进行测量。替选地,划船者也可能无法察觉低于特定幅度的改变,但仍会通过多次测量提供具有统计意义的数据。

[0131] 恢复期间相对于目标的速度改变速率(方法1)

[0132] 如上所述,如果可构建感觉的测功器模仿机械测功器,则恢复期间的速度的预期的改变速率或时间导数(即,速度导数)由下式给出

$$[0133] \quad \frac{d\omega}{dt} = -\frac{k}{I} \omega^2$$

[0134] 在可构建感觉的测功器的速度测量结果在240Hz下更新的示例中,我们可以将速度导数实时估计为

$$[0135] \quad \frac{d\omega_m}{dt} \approx (\omega_m - \omega_{m-1}) \cdot 240 \text{ Hz}$$

[0136] 其中 ω_{m-1} 是先前的速度测量结果。我们可以使用这些导数之间的差异来量化实际感觉与目标感觉的偏差,使得

$$[0137] \quad \frac{d\omega_m}{dt} - \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega_m}{dt} + \frac{k}{I} \omega^2$$

[0138] 该计算对高频噪声敏感,并携带导数估计的误差。

[0139] 作为示例,如果实际拖曳因子为 $k + \Delta k$,我们可以计算估计的和预期的速度导数之间的预期差异:

$$[0140] \quad \frac{d\omega_m}{dt} + \frac{k}{I} \omega^2 = -\frac{\Delta k}{I} \omega^2$$

[0141] 然而,实际感觉和目标感觉之间的差异可能由其他变化引起(除了 $k + \Delta k$ 形式的拖曳因子的线性差异),这些变化可能会影响除恢复期间的导数之外的变量。特别地,变化可能同时影响多个变量,或者变化和测量结果之间的关系可能是非线性的。

[0142] 恢复期间相对于目标的速度(方法1a)

[0143] 代替计算速度导数之间的差异,我们可以在恢复期间利用机械测功器的速度的封闭形式解法

$$[0144] \quad \omega(n) = \frac{\omega_0}{1 + \omega_0 \frac{k}{I} \frac{n}{240}}$$

[0145] 其中 n 是自 ω_0 以来进行的测量次数。我们可以将实际感觉与目标感觉的偏差量化为

$$[0146] \quad \omega_m - \omega(n) = \omega_m - \frac{\omega_0}{1 + \omega_0 \frac{k}{I} \frac{n}{240}}$$

[0147] 该方法避免了与计算导数相关联的噪声和导数的近似值的误差。然而,以此方法计算的误差是在很大的速度范围内积分的,考虑到后续误差被添加到所有先前误差的总和中,测量偏差的意义不大。此外,此测量结果在很大程度上取决于我们在初始时间后等待测量速度的时长。

[0148] 恢复期间相对于制动器的速率(方法2)

[0149] 该方法类似于速度导数之间差异的测量,但在这种情况下,我们使用涡流制动器模型以计算 τ_e 和使用损失模型以计算 τ_m 来计算预期的速度导数

$$[0150] \quad \frac{d\omega}{dt} = -\frac{f_{OOEB}(i_r, \omega_m)}{I_h} - \tau_m$$

[0151] 并将该差异量化为

$$[0152] \quad \frac{d\omega_m}{dt} - \frac{d\omega}{dt}$$

[0153] 在基于速度导数相对于目标速度导数的差异的情况下,该计算对噪声敏感并且包括导数近似值的误差。然而,它将感觉差异的量化与目标分离,使得可构建感觉的测功器的该测量结果独立于目标感觉。

[0154] 在恢复期间相对于制动器的速度(方法2a)

[0155] 在测量的速度和目标速度之间存在差异的情况下,在涡流制动器模型预测的扭矩给定的情况下,速度的封闭形式解法为

$$[0156] \quad \omega_m - \omega(n) = \omega_m - \left(\omega_0 + \frac{b}{a} \right) e^{-\frac{a}{T_h} \frac{n}{240 \text{ Hz}}} - \frac{b}{a}$$

[0157] 如预期的,该方法将实际感觉的测量与目标感觉分离,避免了噪声和导数误差,但误差仍然是累积的并且取决于时间间隔。

[0158] 利用测试在恢复期间相对于制动器的速率或速度(方法3和3a)

[0159] 在我们计算实际速度导数相对于涡流制动器模型预测的速度导数的差异的两种方法中,电流 i_r 通常仍由目标感觉给定。该电流在恢复期间的范围通常小于驱动期间的范围。

[0160] 然而,假设划船者在恢复期间不知道或不关心飞轮的速度,那么对划船者来说唯一重要的速度就是下一次抓握时的速度。图7示出了,如果我们根据目标感觉持续跟踪速度的值应该是多少,我们可以暂时忽略目标感觉给定的电流并为电流设置更大或更小的值,只要速度在下次抓握之前返回到使用目标感觉预测的值。我们将此称为“测试”。

[0161] 在该方法中,可以使用速度导数或速度来量化实际感觉和预期感觉之间的差异,但其优点是测试的电流范围可以类似于驱动期间施加的电流范围并且处于划船者所感觉到的可构建感觉的测功器的响应的范围中。

[0162] 与方法1和方法2一样,方法3可以以类似的方式分成两个单独的方法3和3a。

[0163] 整个行程的功率计算(方法4)

[0164] 如果涡流制动器扭矩在整个行程中实际上等于请求扭矩,则划船者在行程中传送的能量预期为

$$[0165] \quad \sum_n \tau_r \omega_m \frac{1}{240 \text{ Hz}}$$

[0166] 其中总和是行程期间一连串的所有指令周期的所有值的总和。同样地,假设可构建感觉的测功器模仿机械测功器,划船者在行程时传送的能量可以测量为

$$[0167] \quad \sum_n k \omega_m^3 \frac{1}{240 \text{ Hz}} + \frac{1}{2} \omega_{\text{next_catch}}^2 - \frac{1}{2} l \omega_{\text{catch}}^2$$

[0168] 其中总和又为相同的行程中的总和,速度是行程开始和结束时的速度。可以使用整个行程中预期和测量的能量之间的差异来量化实际感觉与目标感觉的偏差。

[0169] 该测量结果相对于噪声非常稳健(robust),但只能每次行程提供一个值,并假设请求扭矩的惯性分量是准确的。它也是更加计算和存储器密集型。

[0170] 高频干扰(方法5)

[0171] 功率计算方法4允许我们量化整个行程中(包括驱动期间)的实际感觉与目标感觉的偏差。为了增加测试的电流和速度的范围,我们可以在高于划船者感知能力的频率下向请求扭矩添加零平均扭矩信号。

[0172] 低频干扰(方法6)

[0173] 与先前的方法5类似,我们也可以注入低频扭矩信号,只要其幅度低于划船者的感知能力即可。该方法可用于使用统计分析、机器学习或其他应用于多次行程的数据的数学技术来检查长期偏差。

[0174] 恢复期间的最小二乘法(方法7)

[0175] 代替试图立即计算实际感觉的扭矩和目标感觉的扭矩之间的偏差,我们可以使用以下方法估计恢复期间的瞬时扭矩

$$[0176] \quad \tau_e = I_h \frac{d\omega_m}{dt} \approx I_h(\omega_m - \omega_{m-1}) \cdot 240 \text{ Hz}$$

[0177] 然后存储多次行程的速度、电流和扭矩估计结果。如计算部分所述,涡流制动器模型等式已经被设计为允许使用线性最小二乘法,以便使用该数据计算新的扭矩表。然而,该方法是最存储器密集型的,因为它需要在处理之前存储大量的原始测量结果。

[0178] 感觉校正

[0179] 一旦对实际感觉与目标感觉的偏差有了可靠的量化,就有几种方法可以改变可构建感觉的测功器的行为,以提高其模仿目标感觉的感觉准确度和感觉精度。可以使用以下方法中的一种或两种或更多种的任意组合:

[0180] 调节目标感觉

[0181] 图8示出了由反馈回路(图中粗线所示)组成的方法,在该方法中基于实际感觉和目标感觉之间的差异来调节实际感觉。在反馈回路中可以使用多种控制转移函数。然而,可以选择简单的PID控制,甚至只选择比例控制,因为这些控制不是计算密集型的,并且可以轻松地完成。

[0182] 然而,该反馈回路方法将调节后的目标感觉与每个指定的可构建感觉的测功器联系起来。因此,调节给定模型或设计的所有测功器的目标感觉可能对每个给定测功器的感觉精度和感觉准确度产生影响,这是不希望的。即,特定可构建感觉的测功器的感觉精度和感觉准确度应该独立于目标感觉。

[0183] 调节扭矩、电流和/或速度增益

[0184] 图8示出了可以使用扭矩增益值、电流增益值或速度增益值、或它们中两个或更多的组合调节涡流制动器模型。调节任何这些增益值都有可以在数学上进行预测也可以使用数据来演示的优点和缺点。可以基于这种数学预测和数据演示来选择使用这些调节中的任何一个或它们中两个或更多的组合。

[0185] 这些调节均使用反馈回路来实施,并且可以实施多种控制转移函数。然而,简单的PID(或甚至只是比例控制)不是计算密集型的,并且可以轻松地完成。

[0186] 此外,该方法保留可构建感觉的测功器的内部涡流制动器模型与目标感觉之间的抽象屏障。

[0187] 重新计算扭矩表

[0188] 该方法是最精确的,因为它会改变由扭矩表表示的扭矩函数的形状,以反映涡流制动器和机械系统的其余部分的实际行为。

[0189] 然而,虽然微控制器能够执行线性最小二乘回归(包括对数计算),但该计算可能会将微控制器的计算资源推向其极限。特别地,该技术需要以更高的精度来存储值,并且(取决于微控制器的性质)在收集数据后至少需要几秒钟才能完成计算。因此,在一些示例中,它不能实时完成,因为它只有在至少几次行程已经存储在存储器中之后才能可靠地完成。

[0190] 此外,该技术不代表渐进式调节,如先前的校正方法。数据或计算中的误差可能导致步进偏差,从而导致实际感觉的突然变化。可以使用其他保护措施来减轻这种担忧,诸如

逐渐地转向新感觉或拒绝具有很大进改变或它们的组合的结果,但这些保护措施增加了复杂性和计算成本。

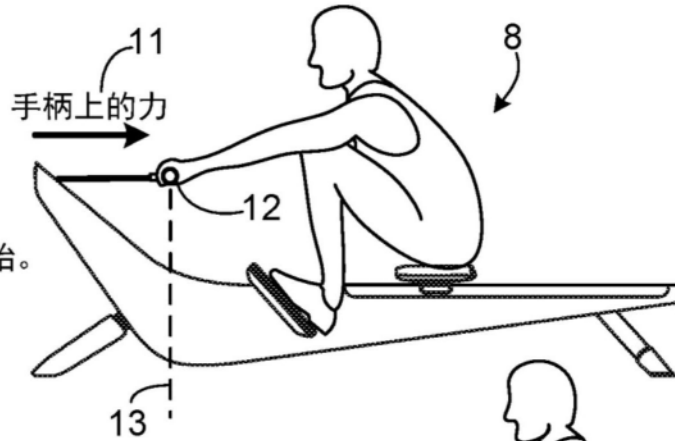
[0191] 其他实施方式

[0192] 其他实施方式也在权利要求的范围内。

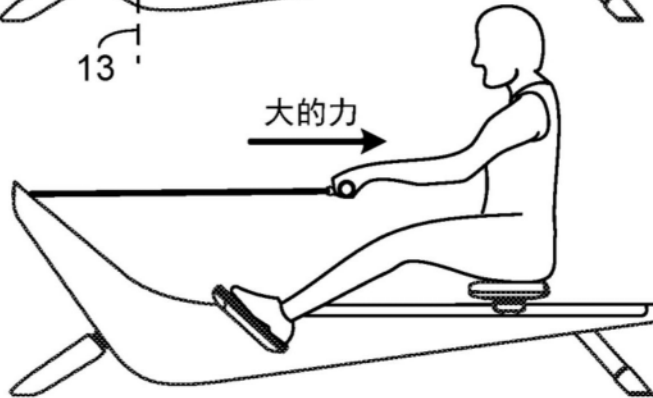
[0193] 例如,尽管上面讨论的示例适用于具有旋转飞轮作为可移动惯性元件的测功器,但也可以使用其他可移动惯性元件和相关联的电磁致动器,诸如线性电阻元件及其相关联的涡流制动器,或其他电磁致动器。我们广义地使用术语“可移动惯性元件”以包括例如联接至手柄或其他把手并且与涡流制动器协作以施加期望的力作为测功器的预期划船感觉的一部分的任何可移动装置。

行程的分解

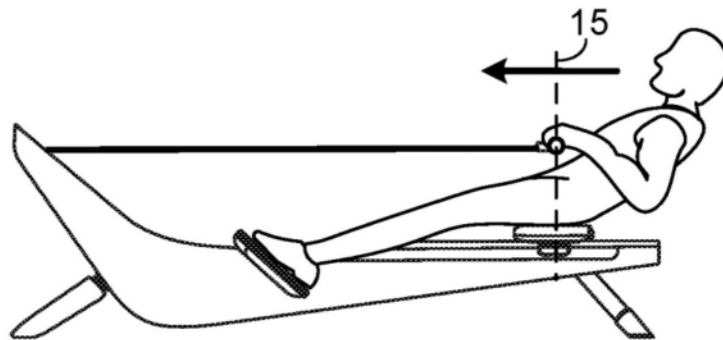
① 行程和驱动阶段的开始。
在此是抓握。



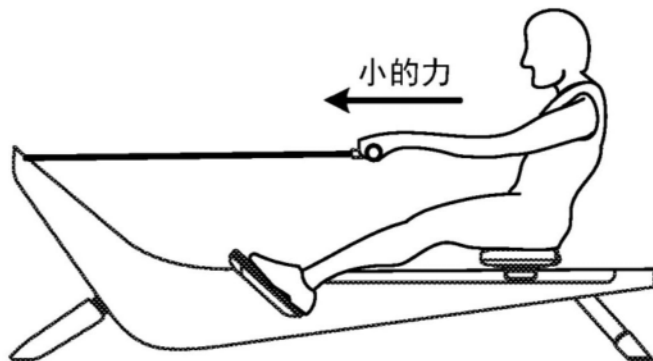
② 驱动阶段的中途。



③ 行程中途。
驱动结束。
恢复开始。
在此是完结。



④ 恢复阶段的中途。



⑤ 与 ① 相同

行程结束；下一次行程开始。
恢复结束；下一次驱动开始。
在此是下一次抓握。

图1

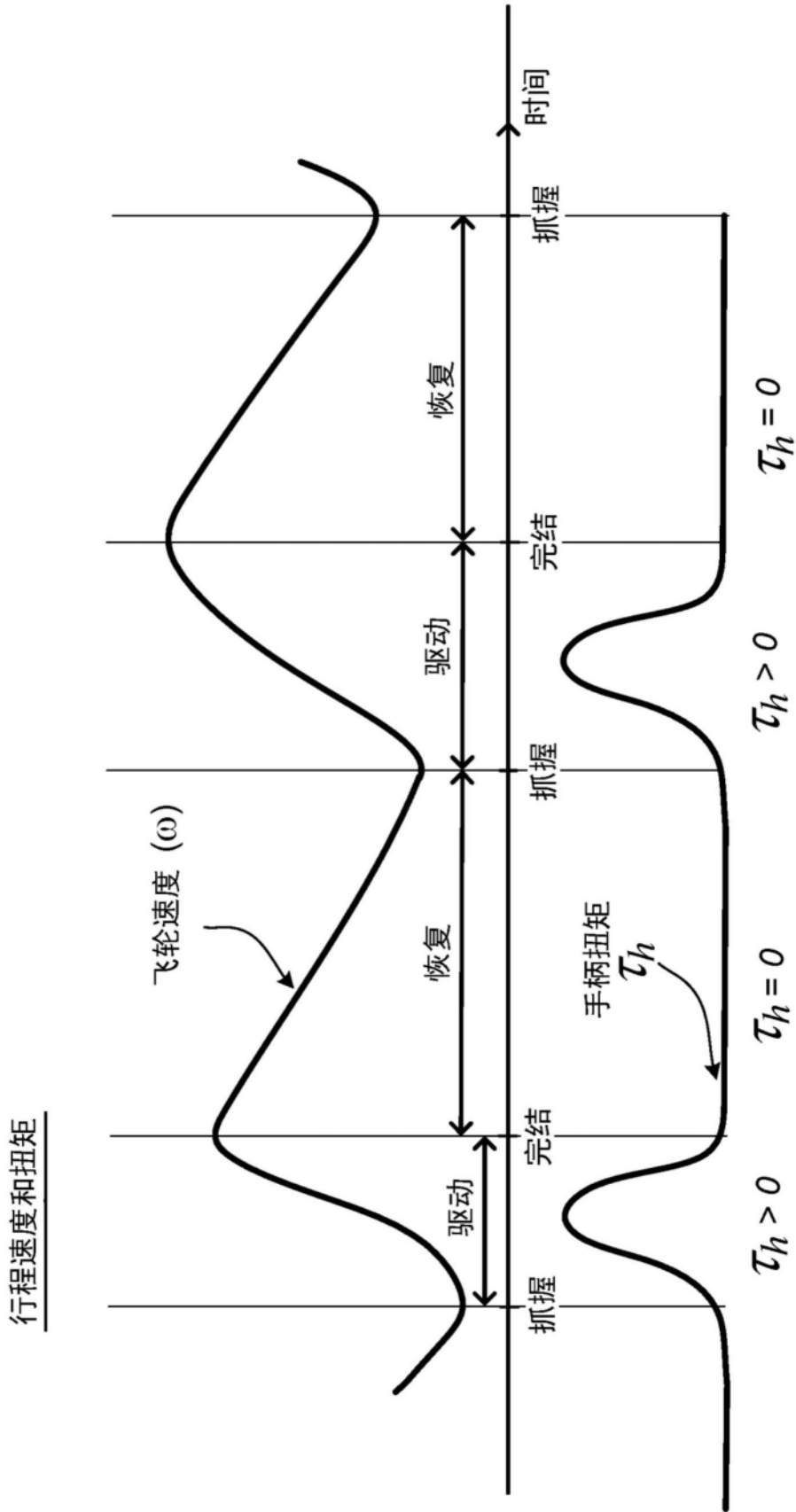


图3

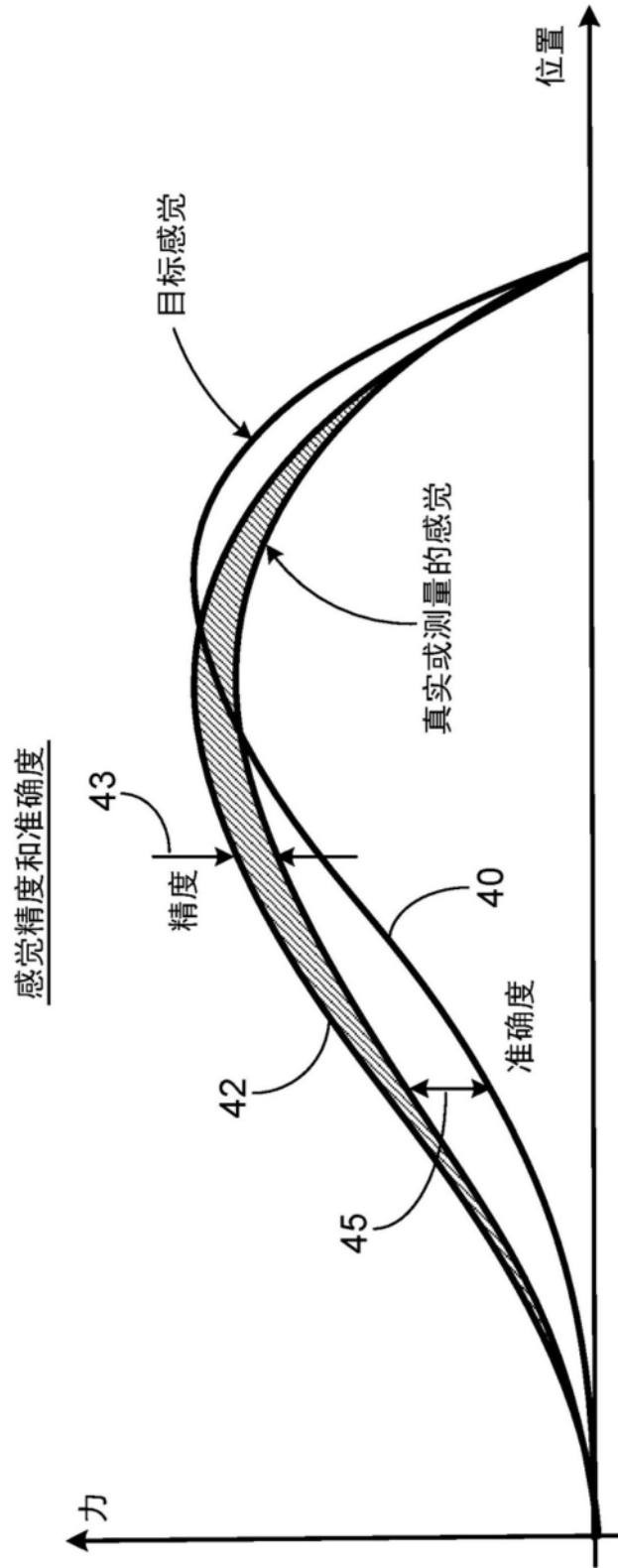


图4

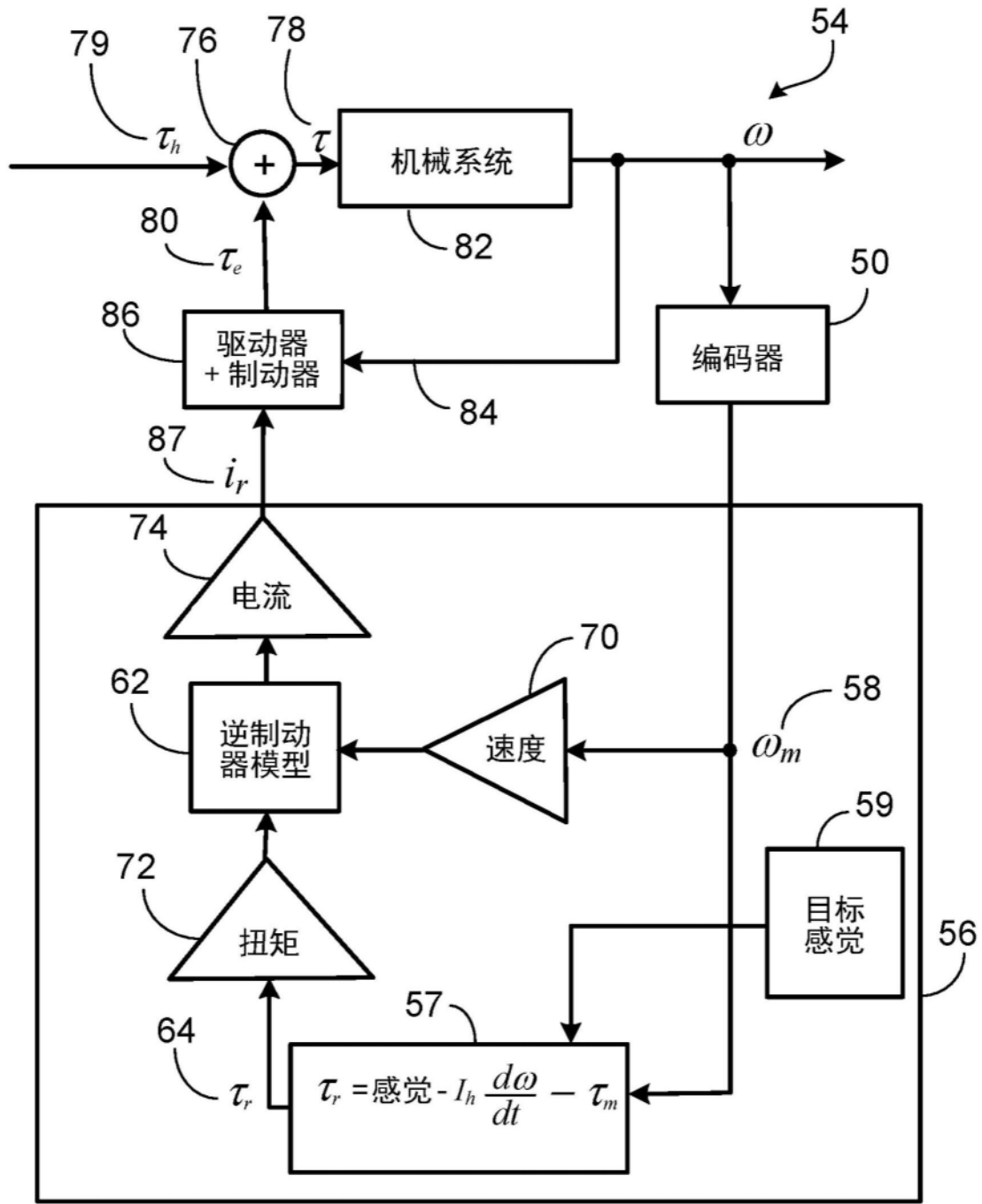


图5

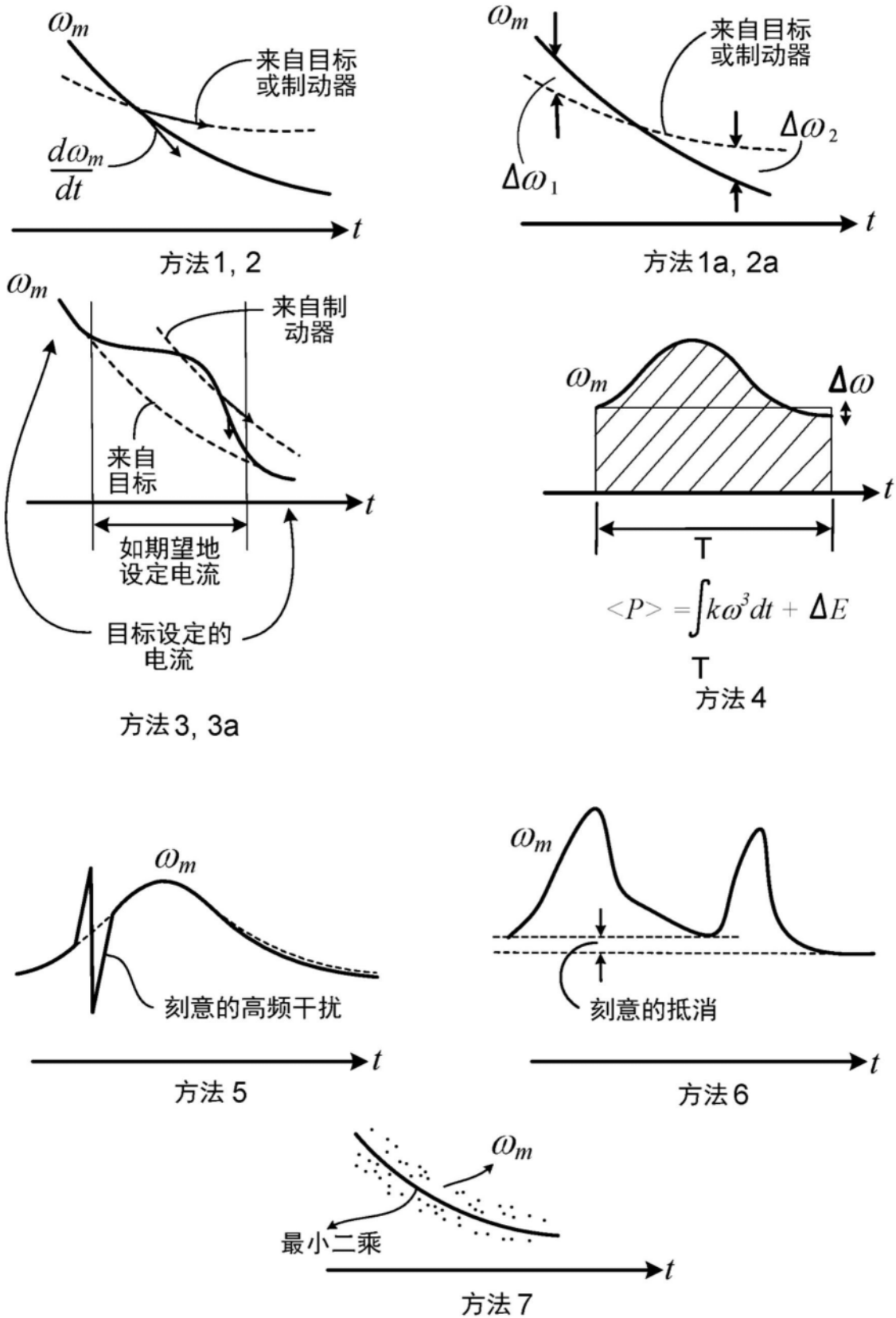


图6

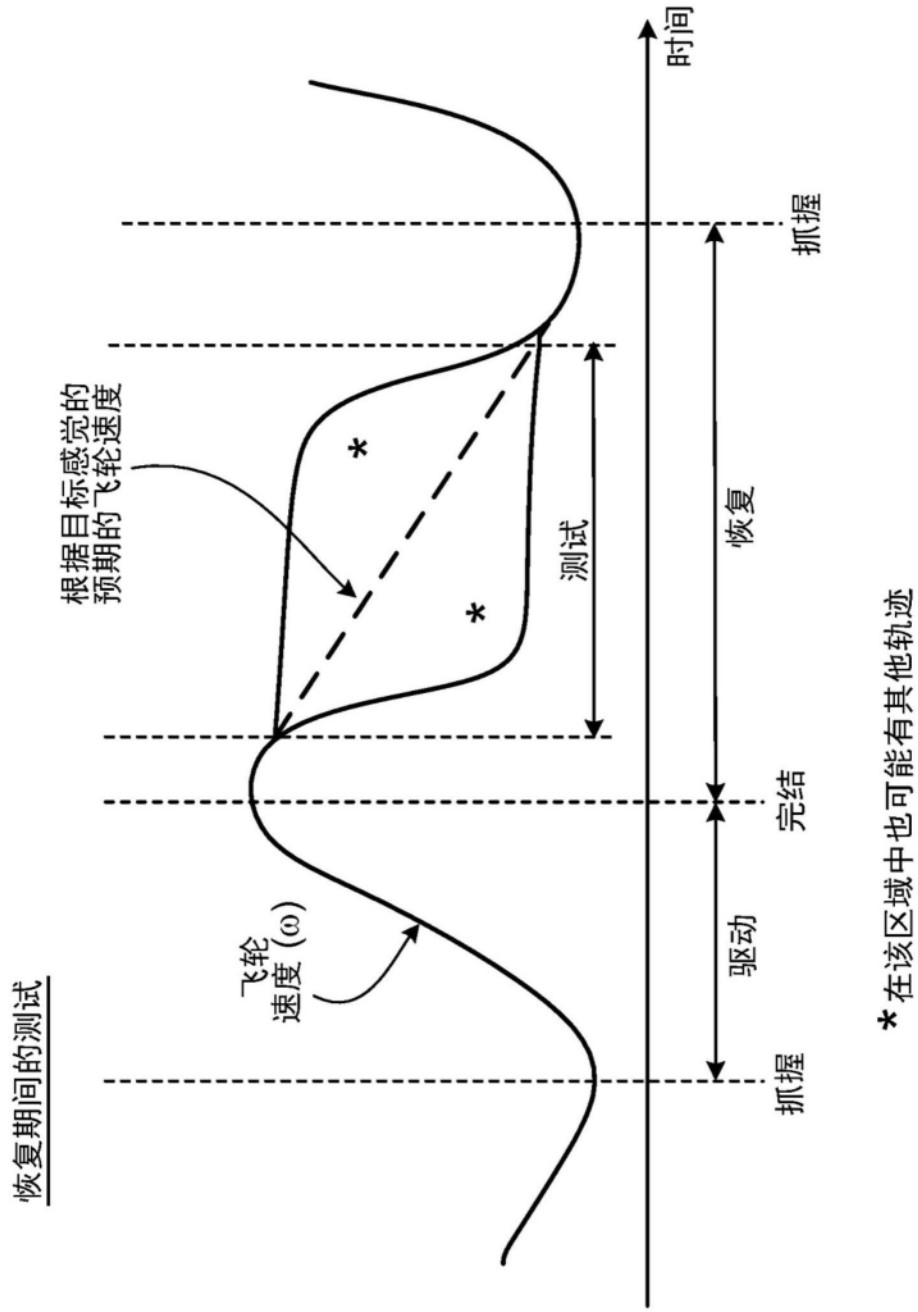


图7

具有校准的控制系统

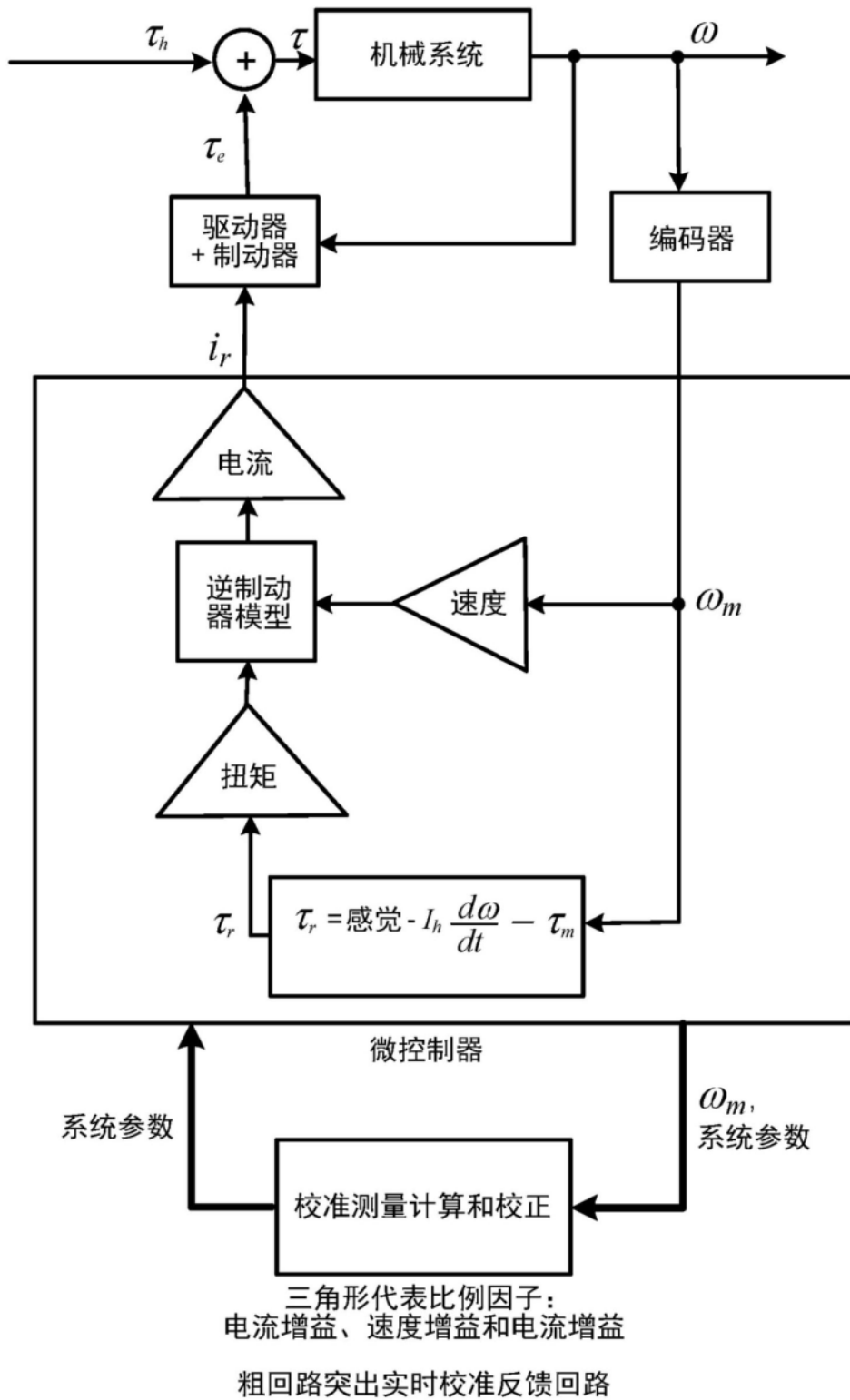


图8