



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115355193 B

(45) 授权公告日 2023.03.07

(21) 申请号 202211298980.9

(22) 申请日 2022.10.24

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115355193 A

(43) 申请公布日 2022.11.18

(73) 专利权人 中国航发四川燃气涡轮研究院
地址 610500 四川省成都市新都区新都学
府路999号

(72) 发明人 黄志峰 张良 杨锐 夏联
王文俊

(74) 专利代理机构 北京清大紫荆知识产权代理
有限公司 11718
专利代理师 秦亚群

(51) Int. Cl.
F04D 27/00 (2006.01)
F04D 29/051 (2006.01)

(56) 对比文件
US 5141389 A, 1992.08.25
CN 213068195 U, 2021.04.27

CN 2799919 Y, 2006.07.26

RU 2474710 C1, 2013.02.10

CN 109340164 A, 2019.02.15

CN 104314864 A, 2015.01.28

CN 108591066 A, 2018.09.28

CN 108252961 A, 2018.07.06

CN 107991098 A, 2018.05.04

CN 203455168 U, 2014.02.26

WO 0116466 A1, 2001.03.08

JP H0914181 A, 1997.01.14

CN 110966303 A, 2020.04.07

任飞等. 压气机试验器二级增速装置设计与
试验验证.《燃气涡轮试验与研究》.2018, (第01
期),

夏联等. 可调静叶对压气机低速性能影响的
试验研究.《燃气涡轮试验与研究》.2005, (续)

审查员 彭婷

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

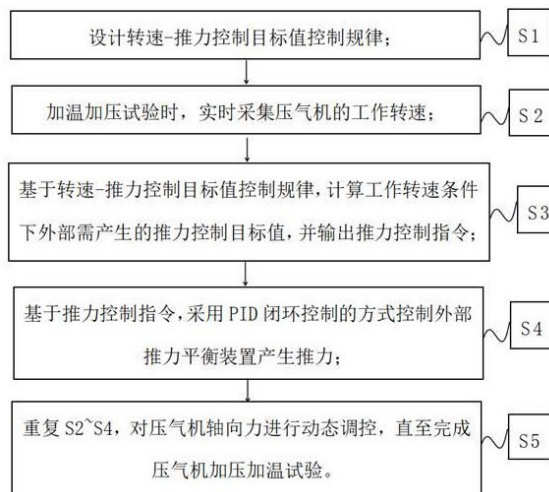
(54) 发明名称

一种加温加压条件下压气机轴向力的动态
调控方法

(57) 摘要

本发明提供了一种加温加压条件下压气机
轴向力的动态调控方法,包括:S1、设计转速-推
力控制目标值控制规律;S2、加温加压试验时,
实时采集压气机的工作转速;S3、基于转速-推
力控制目标值控制规律,计算工作转速条件
下的外部需产生的推力的控制目标值,并输出
推力控制指令;S4、基于推力控制指令,采用
PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置
产生推力;S5、重复S2~S4,对压气机轴向力
进行动态调控,直至完成压气机加温加压试
验。本发明设计的轴向力的动态调控方法是
主动调控方法,能降低操作强度、提高调控
的跟随性、缩短调控时间、降低试验成本、
提高试验运行安全性,具有较大的实际应用

价值。



CN 115355193 B

[接上页]

(56) 对比文件

Cheng Yang等.Comparative study on
off-design characteristics of CHP based

on GTCC under alternative operating
strategy for gas turbine.《Energy》.2018,

1. 一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、设计转速-推力控制目标值控制规律,包括:

S101、定义推力控制目标值为压气机产生的轴向力与轴承给定轴向力或轴承实测轴向力的差值;

S102、依据压气机设计参数,获取轴承轴向力以及压气机在设定转速下的产生的轴向力,计算设定转速下的推力控制目标值;

S103、基于线性插值方法,计算相邻设定转速之间某一转速下的推力控制目标值;

S2、加温加压试验时,实时采集压气机的工作转速;

S3、基于转速-推力控制目标值控制规律,计算工作转速条件下外部需产生的推力控制目标值,并输出推力控制指令;

S4、基于推力控制指令,采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力;

S5、重复S2~S4,对压气机轴向力进行动态调控,直至完成压气机加温加压试验。

2. 根据权利要求1所述的加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其特征在于:步骤S4中,推力平衡装置产生推力前,还对推力平衡装置是否接收到外部应急控制指令进行判断,包括:

当接收到外部应急控制指令时,则执行应急停车操作,结束压气机当前的加温加压试验;

当未接收到外部应急控制指令时,则执行S4控制外部推力平衡装置产生推力。

3. 根据权利要求2所述的加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其特征在于:所述外部应急控制指令由对压气机加温加压试验故障情况或异常情况实时监控产生。

4. 根据权利要求1所述的加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其特征在于:采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

获取试验转速以及该试验转速下推力平衡装置产生的实际推力值;

提取转速-推力控制目标值控制规律中位于该试验转速下的推力控制目标值;

给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$;

判断实际推力值是否在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 内;

若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 内,则推力平衡装置产生推力合理;

若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 外,则推力平衡装置产生推力不合理,对推力平衡装置产生推力进行调整。

5. 根据权利要求1所述的加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其特征在于:采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

获取试验转速以及该试验转速下轴承的实际承受轴向力;

给定一个轴承轴向力的控制目标值;

实时获取压气机产生的轴向力,并计算其与轴承轴向力的控制目标值的差值,获取推力控制目标值;

给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围

[Kmin,Kmax];

判断实际推力值是否在推力控制范围[Kmin,Kmax]内;

若实际推力值在推力控制范围[Kmin,Kmax]内,则推力平衡装置产生推力合理;

若实际推力值在推力控制范围[Kmin,Kmax]外,则推力平衡装置产生推力不合理,对推力平衡装置产生推力进行调整。

一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法

技术领域

[0001] 本发明属于航空发动机或燃气轮机试验技术领域,涉及一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法。

背景技术

[0002] 压气机是航空发动机的三大关键部件之一,为研制高性能的压气机,在航空发动机研制的不同阶段进行地面条件和飞行条件下,压气机部件均采用加温加压压气机试验器进行全尺寸模拟试验和模型考核试验。目前,压气机试验器普遍是在地面大气进气条件下的开展压气机的性能试验研究,还未开展在进气加温加压条件下的试验研究,因此无法对压气机装机后的结构强度和振动特性作出预先评估。

[0003] 航空发动机整机试验过程中发现:压气机部件产生的轴向力大部分由涡轮部件所抵消,其传动系统的轴向力可以有效地控制在轴承的工作范围内;但对于其单一部件全工况的试验验证,叶片产生的轴向力高达80KN,而盘、腔及封严篦齿因压差产生的轴向力则更大,在模拟地面起飞工作点下有可能产生250KN的轴向力。由于目前压气机传动系统的支撑结构均采用滚动轴承的方式,其承受的最大轴向力大约为40KN,因此加温加压压气机试验器在开展试验过程中,必须配置传动系统的轴向力平衡装置,通过动态调节轴向力,解决高速/大功率条件下的运行难题。

[0004] 同时,由于压气机试验器普遍采用电动机、齿轮箱、测扭器作为驱动装置,其整个轴系的传动系统在工作过程中,需要外部提供水、电、油、气等能源,其试验的流程管控及高危试验点的处置难度极高。例如:当外部能源供给出现故障时,都会进行降速或者停车处理,其次在摸索压气机喘振边界时,会导致压气机发生喘振,退喘主要是打开排气和降速,这些操作都会引起压气机产生的轴向力发生变化,因此必须对用于平衡压气机产生的轴向力而施加的外部推力进行动态调节,否则会对整个轴系传动系统带来损坏。

[0005] 因此,对加温加压压气机试验下传动系统轴向力的调控方法研究是极其有必要的。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于设计一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,其能够对加温加压条件下压气机部件产生的巨大轴向力进行动态的、短时高效的调控,可以降低试验成本,也能提高试验运行的安全性。

[0007] 实现本发明目的的技术方案如下:

[0008] 第一方面,本发明提供了一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,包括以下步骤:

[0009] S1、设计转速-推力控制目标值控制规律;

[0010] S2、加温加压试验时,实时采集压气机的工作转速;

[0011] S3、基于转速-推力控制目标值控制规律,计算工作转速条件下外部需产生的推力

控制目标值,并输出推力控制指令;

[0012] S4、基于推力控制指令,采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力;

[0013] S5、重复S2~S4,对压气机轴向力进行动态调控,直至完成压气机加温加压试验。

[0014] 进一步的,上述步骤S1中转速-推力控制目标值控制规律的设计方法为:

[0015] S101、定义推力控制目标值为压气机产生的轴向力与轴承轴向力的差值;

[0016] S102、依据压气机设计参数,获取轴承轴向力以及压气机在设定转速下的产生的轴向力,计算设定转速下的推力控制目标值;

[0017] S103、基于线性插值方法,计算相邻设定转速之间某一转速的推力控制目标值。

[0018] 更进一步的,上述轴承轴向力包括轴承给定轴向力或轴承实测轴向力。

[0019] 进一步的,上述步骤S4中,推力平衡装置产生推力前,还对推力平衡装置是否接收到外部应急控制指令进行判断,包括:

[0020] 当接收到外部应急控制指令时,则执行应急停车操作,结束压气机当前的加温加压试验;

[0021] 当未接收到外部应急控制指令时,则执行S4控制推力平衡装置产生推力。

[0022] 更进一步的,上述所述外部应急控制指令由对压气机加温加压试验故障情况或异常情况实时监控产生。

[0023] 进一步的,在一个实施例中,一种采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

[0024] 获取试验转速以及该试验转速下推力平衡装置产生的实际推力值;

[0025] 提取转速-推力控制目标值控制规律中位于该试验转速下的推力控制目标值;

[0026] 给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$;

[0027] 判断实际推力值是否在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内;

[0028] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内,则推力平衡装置产生推力合理;

[0029] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 外,则推力平衡装置产生推力不合理,对推力平衡装置产生推力进行调整。

[0030] 进一步的,在另一个实施例中,采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

[0031] 获取试验转速以及该试验转速下轴承的实际承受轴向力;

[0032] 给定一个轴承轴向力的控制目标值;

[0033] 实时获取压气机产生的轴向力,并计算其与轴承轴向力的控制目标值的差值,获取推力控制目标值;

[0034] 给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$;

[0035] 判断实际推力值是否在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内;

[0036] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内,则推力平衡装置产生推力合理;

[0037] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 外,则推力平衡装置产生推力不合理,对推力平衡装置产生推力进行调整。

[0038] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明设计的加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,能够实现在压气机不同状态下试验过程中,自动平衡压气机产生的轴向力,其是一种主动调控方法,可以降低试验人员的操作强度,提高调控的跟随性,缩短调节时间,降低试验成本,提高试验运行的安全性,是解决如何平衡压气机部件在加温加压状态下产生巨大轴向力的重要手段,具有较大的实际应用价值。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明实施例技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0040] 图1为本发明加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法的流程图;

[0041] 图2为具体实施方式中加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法的流程示意图;

[0042] 图3为具体实施方式中两种PID闭环控制方法结合使用的控制逻辑示意图。

具体实施方式

[0043] 下面结合具体实施例来进一步描述本发明,本发明的优点和特点将会随着描述而更为清楚。但这些实施例仅是范例性的,并不对本发明的范围构成任何限制。本领域技术人员应该理解的是,在不偏离本发明的精神和范围下可以对本发明技术方案的细节和形式进行修改或替换,但这些修改和替换均落入本发明的保护范围内。

[0044] 在本实施例的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明创造和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明创造的限制。

[0045] 此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”等的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明创造的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0046] 本具体实施方式提供了一种加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法,参阅图1和图2所示,压气机轴向力的动态调控方法包括以下步骤:

[0047] S1、设计转速-推力控制目标值控制规律;

[0048] S2、加温加压试验时,实时采集压气机的工作转速;

[0049] S3、基于转速-推力控制目标值控制规律,计算工作转速条件下外部需产生的推力控制目标值,并输出推力控制指令;

[0050] S4、基于推力控制指令,采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推

力；

[0051] S5、重复S2~S4,对压气机轴向力进行动态调控,直至完成压气机加温加压试验。

[0052] 进一步的,上述步骤S1中转速-推力控制目标值控制规律的设计方法为:

[0053] S101、定义推力控制目标值为压气机产生的轴向力与轴承轴向力的差值;

[0054] S102、依据压气机设计参数,获取轴承轴向力以及压气机在设定转速下的产生的轴向力,计算设定转速下的推力控制目标值;

[0055] S103、基于线性插值方法,计算相邻设定转速之间某一转速下的推力控制目标值。

[0056] 更进一步的,上述轴承轴向力包括轴承给定轴向力或轴承实测轴向力。

[0057] 进一步的,上述步骤S4中,推力平衡装置产生推力前,还对推力平衡装置是否接收到外部应急控制指令进行判断,包括:

[0058] 当接收到外部应急控制指令时,则执行应急停车操作,结束压气机当前的加温加压试验;

[0059] 当未接收到外部应急控制指令时,则执行S4控制推力平衡装置产生推力。

[0060] 更进一步的,上述所述外部应急控制指令由对压气机加温加压试验故障情况或异常情况实时监控产生。由于压气机旋转是靠电动机来驱动的,整个轴系传动系统在工作过程中,需要外部提供水、电、油、气等能源,当外部能源供给出现故障时,都会进行降速或者停车处理;还有摸索压气机喘振边界时,会导致压气机发生喘振,喘振主要是打开排气和降速,因此需要对压气机的试验过程进行监控。

[0061] 在一个实施例中,一种采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

[0062] 获取试验转速以及该试验转速下推力平衡装置产生的实际推力值;

[0063] 提取转速-推力控制目标值控制规律中位于该试验转速下的推力控制目标值;

[0064] 给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$;

[0065] 判断实际推力值是否在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内;

[0066] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内,则推力平衡装置产生推力合理;

[0067] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 外,则推力平衡装置产生推力不合理,对推力平衡装置产生推力进行调整。

[0068] 在另一个实施例中,另一种采用PID闭环控制的方式控制外部推力平衡装置产生推力的方法,包括:

[0069] 获取试验转速以及该试验转速下轴承的实际承受轴向力;

[0070] 给定一个轴承轴向力的控制目标值;

[0071] 实时获取压气机产生的轴向力,并计算其与轴承轴向力的控制目标值的差值,获取推力控制目标值;

[0072] 给定一个推力控制阈值,将推力控制目标值减去推力控制阈值作为推力控制下限值 K_{min} ,将推力控制目标值加上推力控制阈值作为推力控制上限值 K_{max} ,产生推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$;

[0073] 判断实际推力值是否在推力控制范围 $[K_{min},K_{max}]$ 内;

[0074] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 内, 则推力平衡装置产生推力合理;

[0075] 若实际推力值在推力控制范围 $[K_{min}, K_{max}]$ 外, 则推力平衡装置产生推力不合理, 对推力平衡装置产生推力进行调整。

[0076] 在此需要特别强调的是: 上述两种PID闭环控制方法可以单独使用, 也可以结合使用, 当两种PID闭环控制方法一起使用时, 其能够解决传动系统受力非线性问题, 由于压气机在旋转过程中产生的轴向力, 一部分作用在轴承上, 一部分通过机匣传递到设备的安装底座, 这些力都是非线性的。虽然作用在轴承上的力可以通过应力环(即轴承的实际承受轴向力由设置在轴承上的应力环测量)进行测量, 但是其他的受力情况则无法测量, 因此通过双闭环的控制方式来实现传动系统轴向力的动态调控, 两种PID闭环控制方法结合使用的控制逻辑参见图3所示。

[0077] 本具体实施方式的一个实施例中, 公开了一种电子设备, 包括存储器及处理器, 存储器用于存储在处理器上运行的逻辑控制程序; 处理器用于执行逻辑控制程序时实现加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法。

[0078] 本具体实施方式的一个实施例中, 公开了一种计算机存储介质, 存储有计算机可执行指令, 计算机可执行指令用于执行加温加压条件下压气机轴向力的动态调控方法。

[0079] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 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。

[0080] 此外, 应当理解, 虽然本说明书按照实施方式加以描述, 但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案, 说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见, 本领域技术人员应当将说明书作为一个整体, 各实施例中的技术方案也可以经适当组合, 形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

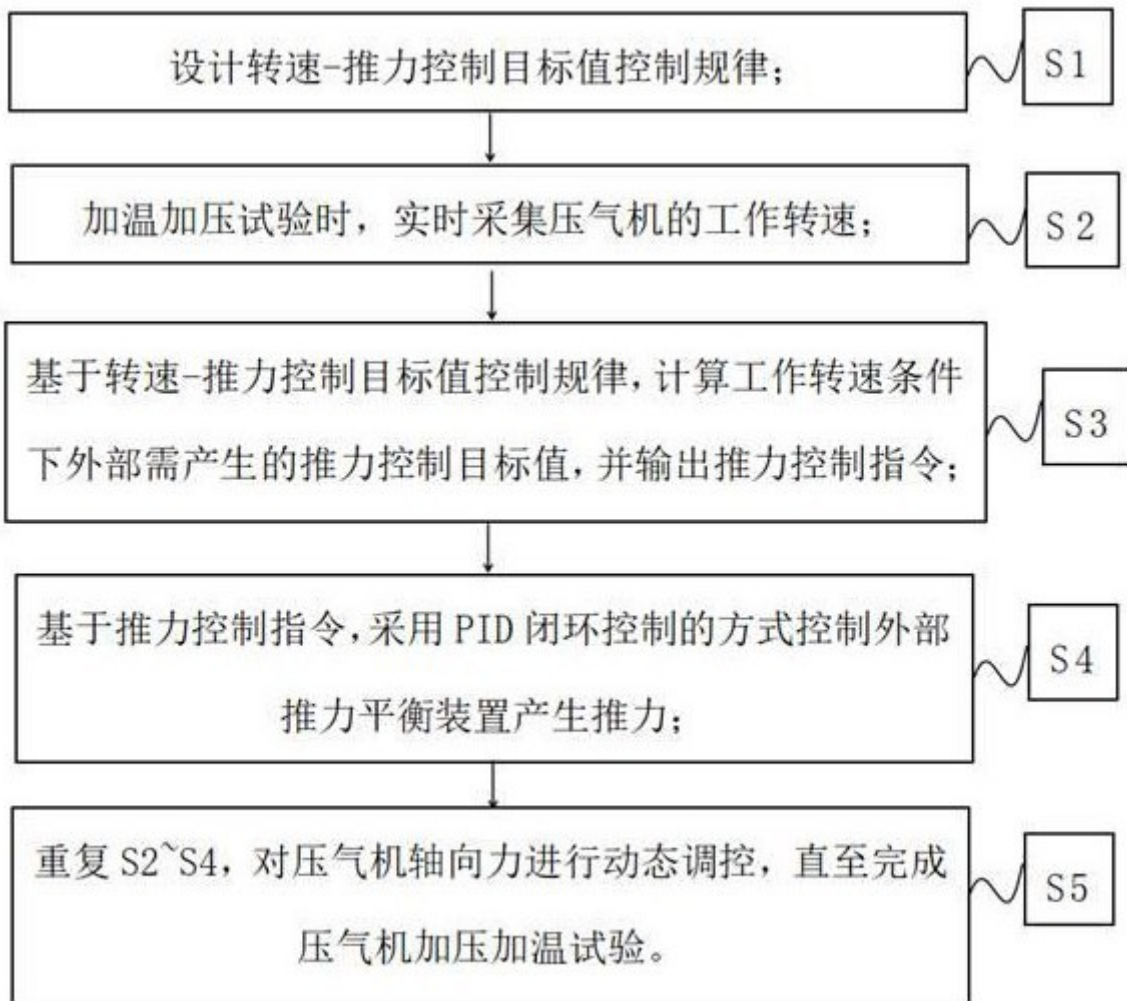


图 1

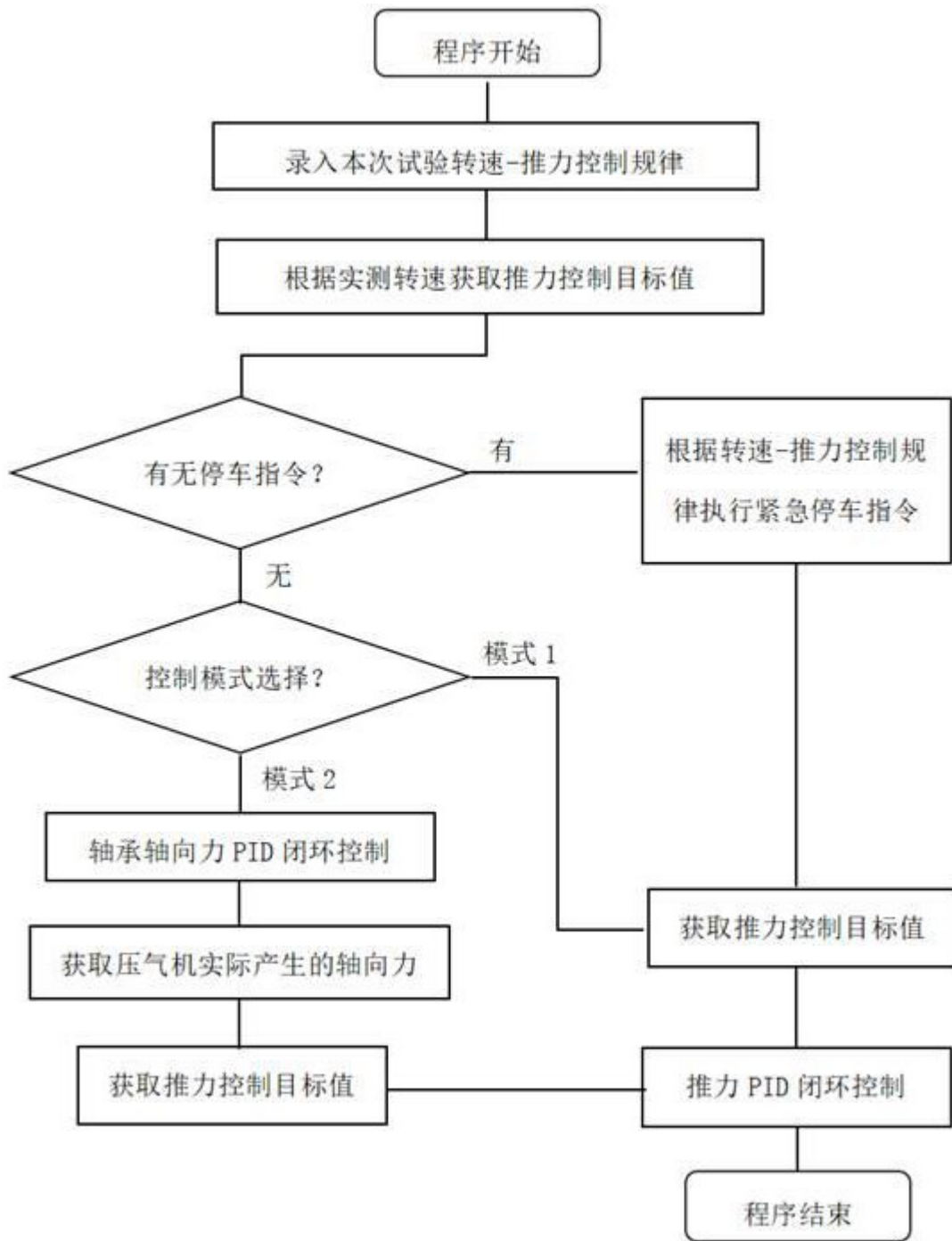


图 2

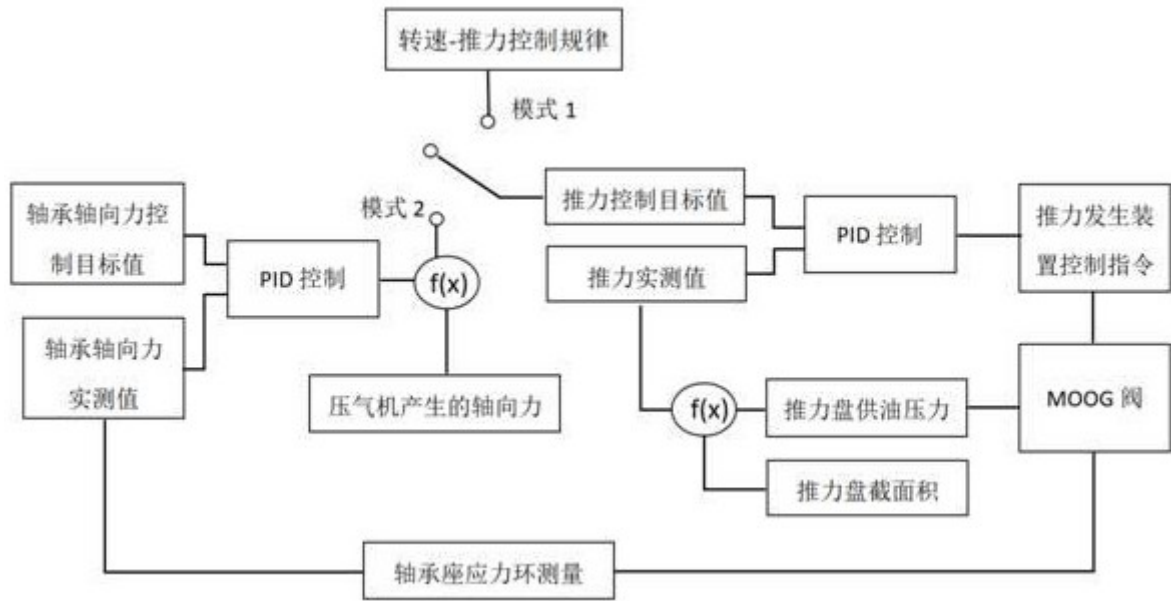


图3