



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108419307 B

(45) 授权公告日 2021.02.05

(21) 申请号 201810343405.3

(22) 申请日 2018.04.17

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108419307 A

(43) 申请公布日 2018.08.17

(73) 专利权人 北京强度环境研究所
地址 100076 北京市丰台区南大红门路1号
专利权人 中国运载火箭技术研究院

(72) 发明人 田玉坤 何钦华 刘佳 刘永清
姚斌 郝道然 刘鹏 乔通

(51) Int. Cl.
H05B 1/02 (2006.01)
H05B 3/14 (2006.01)
H05B 3/02 (2006.01)

审查员 杨颖娜

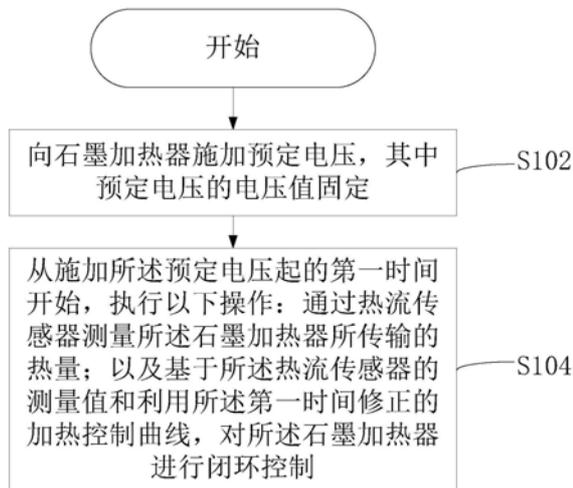
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种石墨加热器的控制方法

(57) 摘要

本发明中提供了一种石墨加热器的控制方法。控制方法包括：向石墨加热器施加预定电压，其中预定电压的电压值固定；从施加所述预定电压起的第一时间开始，执行以下操作：通过热流传感器测量所述石墨加热器所传输的热量；以及基于所述热流传感器的测量值和利用所述第一时间修正的加热控制曲线，对所述石墨加热器进行闭环控制，其中所述第一时间为所述石墨加热器开始对施加的电压进行线性响应的的时间。



1. 一种石墨加热器的控制方法,其特征在于,包括:
向所述石墨加热器施加预定电压,其中所述预定电压的电压值固定;
从施加所述预定电压起的第一时间开始,执行以下操作:
通过热流传感器测量所述石墨加热器所传输的热量;以及
基于所述热流传感器的测量值和利用所述第一时间修正的加热控制曲线,对所述石墨加热器进行闭环控制,其中
所述第一时间为所述石墨加热器开始对施加的电压进行线性响应的时间,
所述预定电压是通过如下操作确定的:
向所述石墨加热器施加第一电压;
确定所述石墨加热器对所述第一电压进行线性响应的第二时间;以及
在所述第二时间与所述第一时间匹配的情况下,确定所述第一电压为所述预定电压。
2. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,还包括:在所述第二时间与所述第一时间不匹配的情况下,重新设定所述第一电压,并根据重新设定的第一电压重复上述确定所述预定电压的操作。
3. 根据权利要求2所述的控制方法,其特征在于,确定所述第二时间的操作包括:
利用红外测温仪和/或热流传感器监测所述石墨加热器对所述预定电压的线性响应;
以及
根据所述红外测温仪和/或所述热流传感器所监测的线性响应的时间,确定所述第二时间。
4. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述控制方法的加热环境为低氧环境,其中,所述低氧环境的氧气浓度不高于2%。
5. 根据权利要求3所述的控制方法,其特征在于,所述测温仪的作用是获取所述石墨加热器的温度。
6. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于,所述传感器的作用是获取所述石墨加热器的辐射热流密度。
7. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,预定电压的电压值固定,其预定电压输出值的装置为算法控制装置。
8. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述石墨加热器由石墨模块、加热装置、冷却装置以及硅电缆构成。
9. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述石墨加热器还设置有加热舱,所述加热舱为密闭环境。

一种石墨加热器的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种试验件加热方法,具体而言,涉及一种石墨加热器的控制方法。

背景技术

[0002] 针对临近空间飞行器的研究是航天发展的一个重要方向,飞行器使用冲压式发动机和火箭发动机,在能接近太空的大气层边缘处飞行,其主要特点是高超声速($Ma > 5$),结构气动加热严重。飞行器在飞行过程中会面临低氧、高温等恶劣环境,对热防护系统与结构设计提出了较高的要求。通过地面试验,模拟飞行过程中在低氧状态下的热载荷环境,复现各个时刻结构中的温度、应力和形变状态,对考核热防护系统与结构设计有着重要的作用与意义。

[0003] 传统的石英灯加热能力受到本体材料的耐温限制,一般使用在加热温度不超过 1300°C 的试验条件下。在临近空间飞行器的飞行全程中,热环境严酷。在试验中,飞行器的局部加热要求需要加热系统的加热能力达到 2000°C 以上。同时,为了适应飞行器不同的曲面形状,需要加热模块便于组装、连接和扩展。而特种石墨具有高热稳定性、良好的导电性、高热传导性、高抗热冲击性、强耐腐蚀性和高机械强度等优点。针对以上试验需求,石墨加热器的不可替代作用逐渐显现。

[0004] 然而,特种石墨也存在一些不足,在高温环境下容易氧化,因此更适合在氮气舱内,一个低氧环境下使用,用来进行高温热试验。同时,材料本身在热启动阶段热惯性较大,迟滞现象严重,对输入电压的响应较慢,无法在试验初始阶段有效地跟随试验要求的热载荷曲线,容易形成较大的控制偏差。而现行对石墨加热器的控制方法研究较少,使用石墨加热在热启动阶段热惯性大这一问题亟待解决。解决这些问题以后,才可以使石墨加热器在实际应用过程中更加符合试验要求,降低加热控制偏差,与其大功率的加热优点相得益彰。

[0005] 针对上述的问题,目前尚未提出有效的解决方案。

发明内容

[0006] 根据本发明实施例本发明提供了一种石墨加热器的控制方法包括:向石墨加热器施加预定电压,其中预定电压的电压值固定;从施加所述预定电压起的第一时间开始,执行以下操作:通过热流传感器测量所述石墨加热器所传输的热量;以及基于所述热流传感器的测量值和利用所述第一时间修正的加热控制曲线,对所述石墨加热器进行闭环控制,其中所述第一时间为所述石墨加热器开始对施加的电压进行线性响应的的时间。

[0007] 可选地,预定电压是通过如下操作确定的:向所述石墨加热器施加第一电压;确定石墨加热器对第一电压进行线性响应的第二时间;以及在第二时间与所述第一时间匹配的情况下,确定第一电压为预定电压。

[0008] 可选地,在所述第二时间与所述第一时间不匹配的情况下,重新设定所述第一电压,并根据重新设定的第一电压重复上述确定所述预定电压的操作。

[0009] 可选地,确定所述第二时间的操作包括:利用红外测温仪和/或热流传感器监测所

述石墨加热器对所述预定电压的线性响应;以及根据所述红外测温仪和/或所述热流传感器所监测的线性响应的的时间,确定所述第二时间。

[0010] 可选地,控制方法的加热环境为低氧环境,其中,所述低氧环境的氧气浓度不高于2%。

[0011] 可选地,所述测温仪的作用是获取所述石墨加热器的温度。

[0012] 可选地,所述传感器的作用是获取所述石墨加热器的辐射热流密度。

[0013] 可选地,所述设置固定电压输出值的装置为算法控制装置。

[0014] 可选地,所述石墨加热器由石墨模块、加热装置、冷却装置以及硅电缆构成。

[0015] 可选地,所述石墨加热器还设置有加热舱,所述加热舱为密闭环境。

[0016] 在本发明实施例中,通过在石墨加热器加热过程中增加第一时间,该第一时间为石墨加热器施加电压时的非线性响应时间,在第一时间之后石墨加热器的电压能够进行线性响应,这样在石墨加热器工作的时间段内控制偏差,增加实验数据的准确性。

[0017] 本发明通过在低氧环境下,合理设置热试验流程和控制算法,解决了石墨加热器启动阶段,热惯性较大,响应较慢,无法有效跟随设定的热载荷的问题;显著降低了大功率石墨加热器热载荷初始阶段控制偏差。

附图说明

[0018] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0019] 图1是根据本发明实施例所述的石墨加热器的控制方法的流程图;

[0020] 图2是根据本发明实施例所述的正式测试阶段的流程图;

[0021] 图3是根据本发明实施例所述的调试阶段的流程图;

[0022] 图4是根据本发明实施例所述的传统方法下的石墨加热控制曲线;

[0023] 图5是根据本发明实施例所述的修正后的石墨加热控制曲线;

具体实施方式

[0024] 下面将结合本发明实施例中的附图,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。以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的,决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作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。

[0025] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0026] 除非另外具体说明,否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。同时,应当明白,为了便于描述,附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论,但在适当情况下,技术、方法和设备应当被视为授权说明书的

一部分。在这里示出和讨论的所有示例中,任何具体值应被解释为仅仅是示例性的,而不是作为限制。因此,示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0027] 实施例

[0028] 结合本发明附图1和2所示,本发明提供了一种石墨加热器的控制方法。包括:

[0029] S102:向石墨加热器施加预定电压,其中预定电压的电压值固定;

[0030] S104:从施加所述预定电压起的第一时间开始,执行以下操作:通过热流传感器测量所述石墨加热器所传输的热量;基于所述热流传感器的测量值和利用所述第一时间修正的加热控制曲线,对所述石墨加热器进行闭环控制。

[0031] 其中第一时间为所述石墨加热器开始对施加的电压进行线性响应的的时间。

[0032] 参考附图4所示,传统方法下的石墨加热控制曲线中,材料本身在热启动阶段热惯性较大,迟滞现象严重,对输入电压的响应较慢,无法在试验初始阶段有效地跟随试验要求的热载荷曲线,容易形成较大的控制偏差。因此,如图5所示,在本发明实施例中,通过在石墨加热器加热过程中增加第一时间,该第一时间之前的时间为石墨加热器施加电压时的非线性响应时间,在第一时间之后石墨加热器的电压能够进行线性响应,这样在石墨加热器工作的时间段内控制偏差,增加实验数据的准确性。

[0033] 具体地说,所述第一时间可以通过调试的方法获得。其中通过调试电压的设置值,是的石墨加热器开始工作。测量石墨加热器的石墨模块的表面温度以及辐射热流密度,记录二者开始线性响应的的时间,当开始线性响应的的时间记为第二时间,正常的情况下,每一个热载荷曲线都会有一个最佳的响应时间,当第二时间与最佳响应时间相等的情况下,第二时间就是第一时间,第一时间也就因此确定了。

[0034] 此外,从图4和图5的曲线可以发现,修正后的曲线对于试验的测试更为准确,本发明通过在低氧环境下,合理设置热试验流程和控制算法,解决了石墨加热器启动阶段,热惯性较大,响应较慢,无法有效跟随设定的热载荷的问题;显著降低了大功率石墨加热器热载荷初始阶段控制偏差。

[0035] 此外在本实施例中采用的石墨加热器,石墨具有高热稳定性、良好的导电性、高热传导性、高抗热冲击性、强耐腐蚀性和高机械强度等优点。其耐热程度能到达2000℃,远远高于普通的石英灯加热系统。

[0036] 结合本发明的附图3所示,可选地,预定电压是通过如下操作确定的:向石墨加热器施加第一电压;确定石墨加热器对所述第一电压进行线性响应的第二时间;以及在所述第二时间与所述第一时间匹配的情况下,确定所述第一电压为所述预定电压。

[0037] 具体地,在发明中预定电压的设置是依靠调试阶段来完成的,在调试阶段可以先对石墨加热器设置第一电压,让此第一电压的数值下能够进行线性响应,此时的响应时间为第二时间,第二时间和第一时间相等的情况下,则此时的第一电压就是正式测试实验中的预定电压。

[0038] 在本发明中,通过第一时间与第二时间的比对,从而能够确定预定电压,预定电压确定的情况下,就能进行下一步,这样的情况下能够减小因预定电压的设置错误而造成试验不准确。

[0039] 结合本发明中的附图3所示,可选地,在所述第二时间与所述第一时间不匹配的情况下,重新设定所述第一电压,并根据重新设定的第一电压重复上述确定所述预定电压的操作。

[0040] 可选地,确定所述第二时间的操作包括:利用测温仪和/或热流传感器监测所述石墨加热器对所述预定电压的线性响应;以及根据所述红外测温仪和/或所述热流传感器所监测的线性响应的的时间,确定所述第二时间。

[0041] 具体地,本发明中利用测温仪和/或热流传感器对于预定电压的响应时间确定所述第二时间,正常情况下,测温仪对于预定电压的响应时间应该与热流传感器对于预定电压的响应时间相等。这就是所述的第二时间。并且第二时间与第一时间相同,在这样的情况下,才能进一步得出预定电压。

[0042] 可选地,所述控制方法的加热环境为低氧环境,其中,所述低氧环境的氧气浓度不高于2%。

[0043] 具体地,石墨加热器在高于2000℃的情况下易于氧化,那么为保证试验的进行,本发明中将石墨加热模块设置于低氧环境下,可以防止石墨在高温情况氧化,能够进一步保证高温试验的准确性。同时,在测试环节又可以保持开放环境,不必保持低氧环境,在这种情况下就有效节约了低氧环境需要的时间,从而降低了经济成本。

[0044] 可选地,测温仪的作用是获取石墨加热模块的温度。

[0045] 利用测温仪测试石墨加热模块的温度,当温度开始响应则能记下时间,从而确定第二时间。

[0046] 可选地,所述传感器的作用是获取石墨加热器表面的辐射热流密度。

[0047] 具体地,利用测温仪测试石墨加热模块的温度,当温度开始响应则能记下时间。

[0048] 可选地,所述设置固定电压输出值的装置为算法控制装置。

[0049] 可选地,石墨加热器由石墨模块、加热装置、冷却装置以及硅电缆构成。

[0050] 具体地,石墨加热器还包括多个石墨加热模块,石墨加热模块可以根据被测件的实际情况实际安装以适应被测件要求的大小,形状。

[0051] 可选地,石墨加热器还设置有加热舱,所述加热舱为密闭环境。

[0052] 具体地,加热舱的密闭环境可以保证被测试件在进行测试时的低氧环境。

[0053] 本发明通过在低氧环境下,合理设置热试验流程和控制算法,解决了石墨加热器启动阶段,热惯性较大,响应较慢,无法有效跟随设定的热载荷的问题;显著降低了大功率石墨加热器热载荷初始阶段控制偏差。

[0054] 本发明的技术方案如下:

[0055] 首先是对石墨加热器进行组装,包括石墨加热模块、算法控制装置、冷却装置、冷却装置、红外测温仪、加热舱、温度传感等一系列装置。

[0056] 在正式试验之前,首先对石墨加热器进行调试。调试过程如下:

[0057] 将试验件替代品放入石墨加热器,对石墨加热器施加第一电压(即第一D/A值),从施加第一电压开始,获取石墨加热模块的温度和石墨加热器的辐射热流密度,并加以计时。至上述两种参数开始响应,记录第一电压的响应时间为第二时间。比对第二时间与第一时间,若第二时间与第一时间相同,则调试完成,将此时的第一电压记录下来,此第一电压将是正式试验的时候的预定电压。如果第二时间与第一时间不相等,则开始重新设置第一电

压,重复上述过程,直至第二时间与第一时间相等。记下此时的第一电压为预定电压。

[0058] 取出试验件替代品,将试验件放置在石墨加热器中,此时关闭加热舱的舱门使得加热环境为低氧环境。低氧环境的准备可以用氮气置换,也可以是其它惰性气体。

[0059] 开始正式试验,其步骤如下:

[0060] 在控制算法装置中输入预定电压以及第一时间。使得第一电压的线性响应时间在第一时间之后。当加热时间在第一时间之后,算法控制装置自动控制石墨加热器闭环加热,直至试验完成。

[0061] 在本发明的描述中,需要理解的是,方位词如“前、后、上、下、左、右”、“横向、竖向、垂直、水平”和“顶、底”等所指示的方位或位置关系通常是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和简化描述,在未作相反说明的情况下,这些方位词并不指示和暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位或者以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明保护范围的限制;方位词“内、外”是指相对于各部件本身的轮廓的内外。

[0062] 为了便于描述,在这里可以使用空间相对术语,如“在……之上”、“在……上方”、“在……上表面”、“上面的”等,用来描述如在图中所示的一个器件或特征与其他器件或特征的空间位置关系。应当理解的是,空间相对术语旨在包含除了器件在图中所描述的方位之外的在使用或操作中的不同方位。例如,如果附图中的器件被倒置,则描述为“在其他器件或构造上方”或“在其他器件或构造之上”的器件之后将被定位为“在其他器件或构造下方”或“在其他器件或构造之下”。因而,示例性术语“在……上方”可以包括“在……上方”和“在……下方”两种方位。该器件也可以其他不同方式定位(旋转90度或处于其他方位),并且对这里所使用的空间相对描述做出相应解释。

[0063] 此外,需要说明的是,使用“第一”、“第二”等词语来限定零部件,仅仅是为了便于对相应零部件进行区别,如没有另行声明,上述词语并没有特殊含义,因此不能理解为对本发明保护范围的限制。

[0064] 此外,上述本申请实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。在本申请的上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述的部分,可以参见其他实施例的相关描述。

[0065] 以上仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。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。

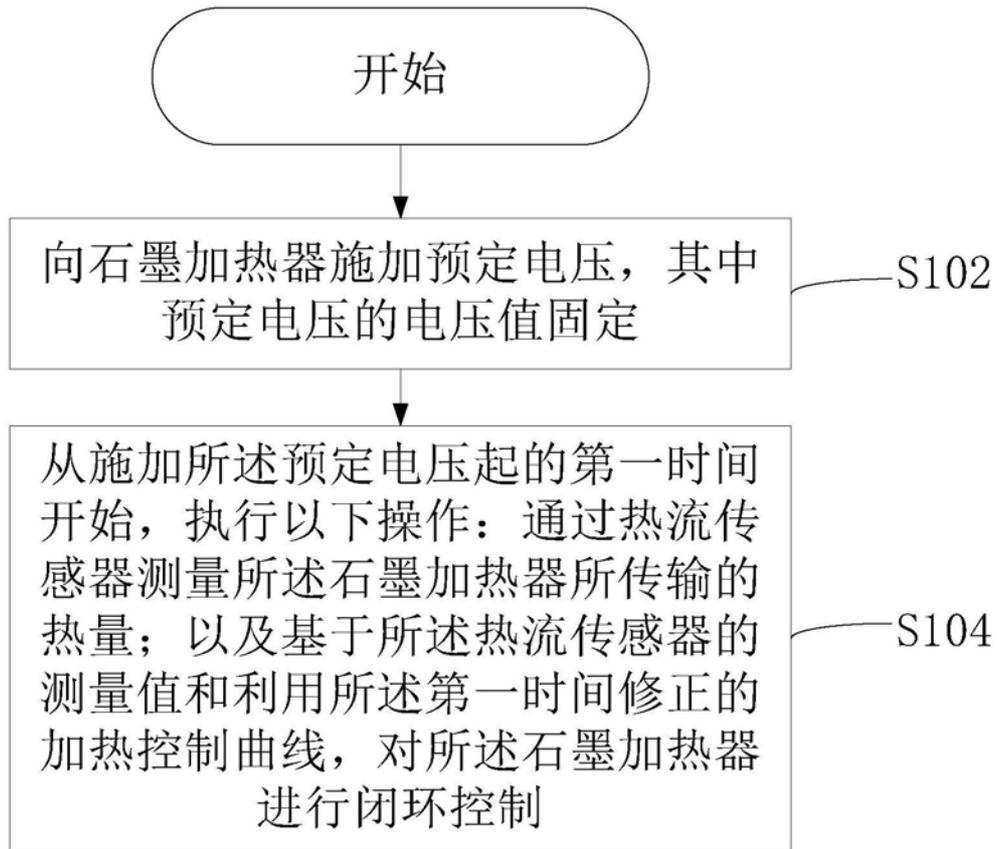


图1

正式试验

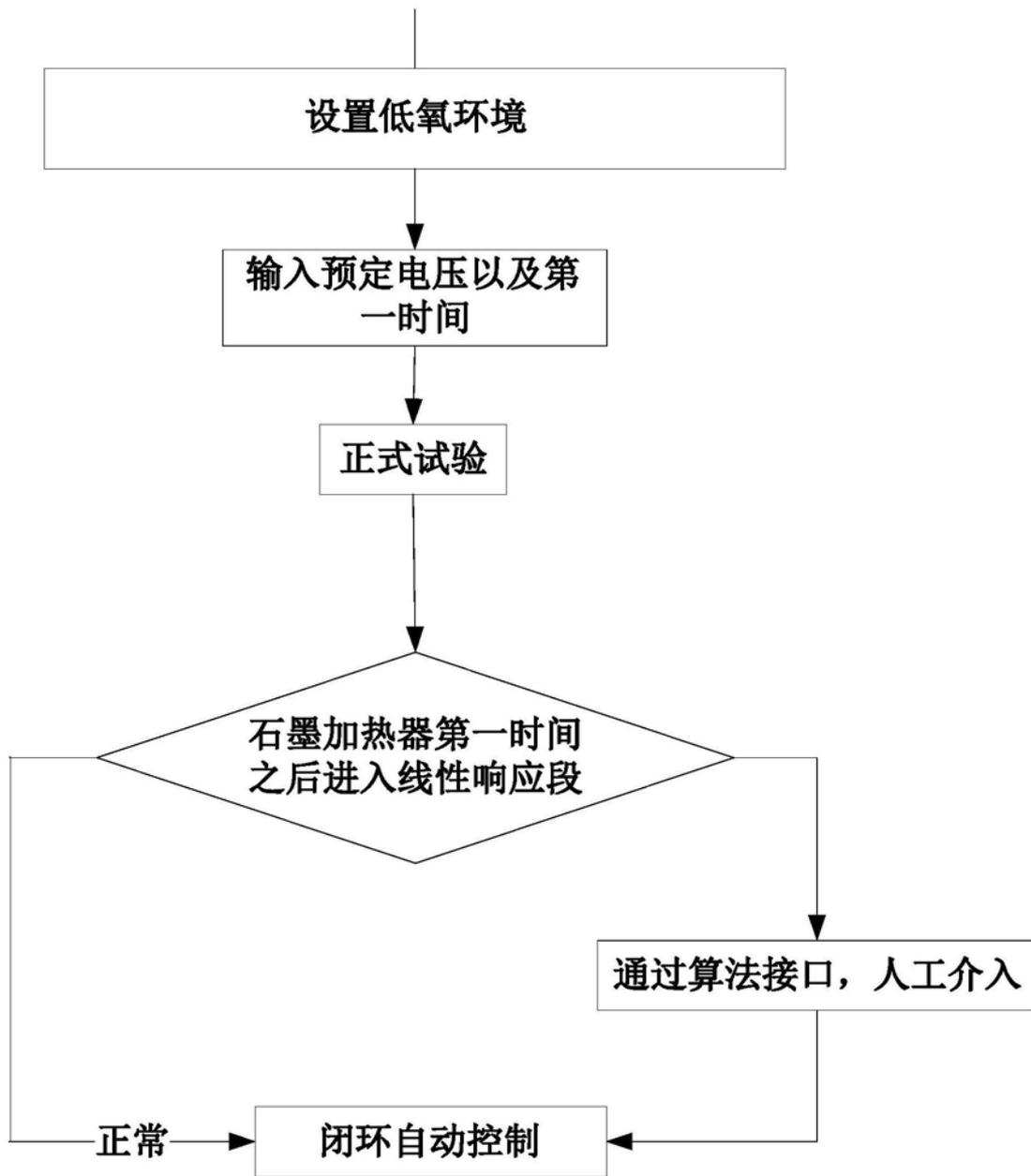


图2

调试环节

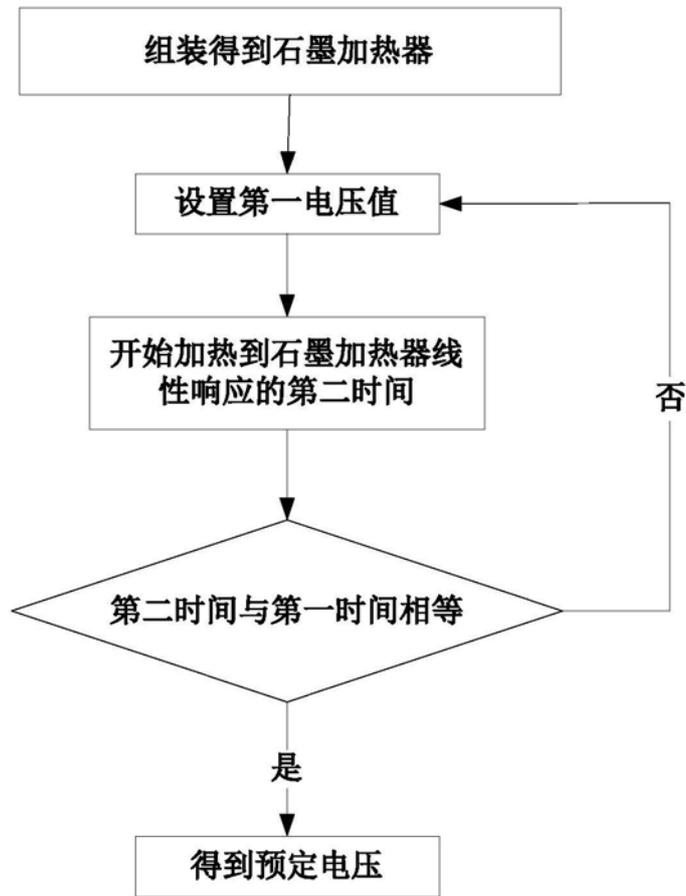


图3

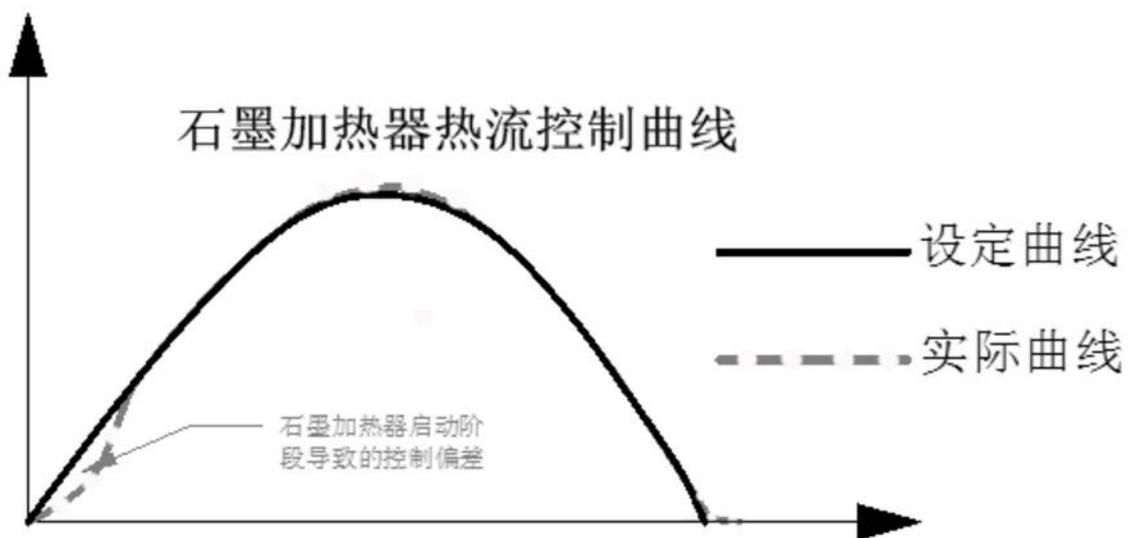


图4

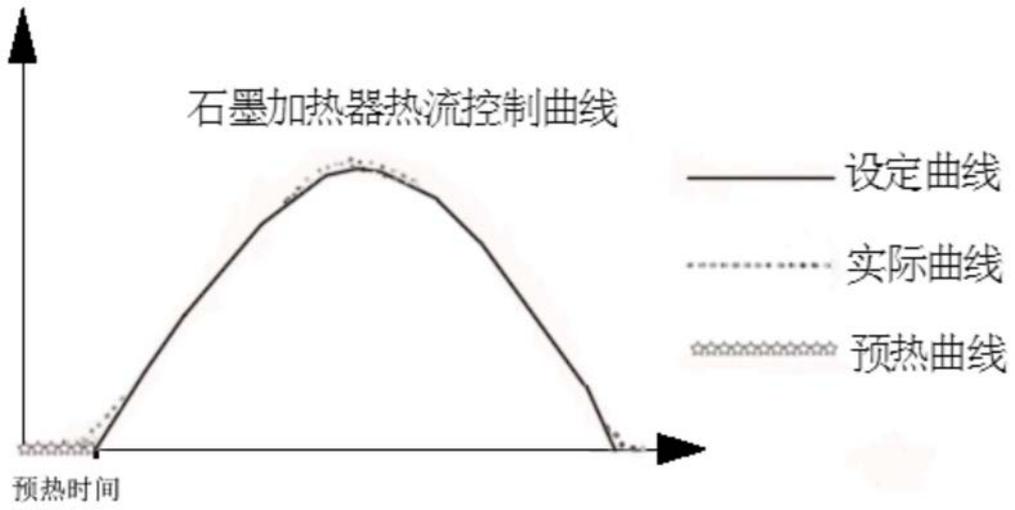


图5