(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103162995 A
(43)申请公布日 2013.06.19

(21)申请号 201310039859.9

(22)申请日 2013.02.01

(71)申请人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72)发明人 张亚 陈方

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236
代理人 郭国中

(51)Int.Cl.
G01N 1/24(2006.01)
G05B 19/042(2006.01)

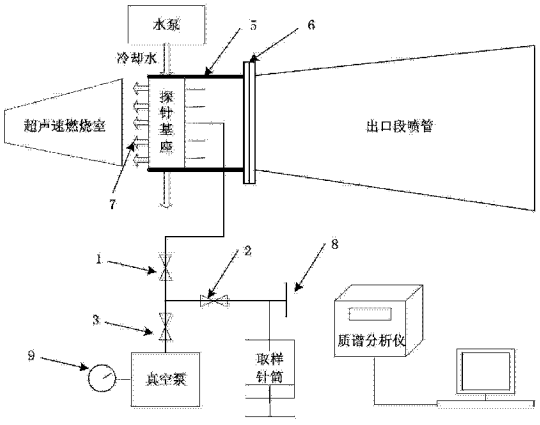
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

直联式超燃试验台燃气取样探针系统及其控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种直联式超燃试验台燃气取样探针系统，包括取样探针、探针基座、水泵、支架、法兰盘、第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀、真空泵、取样针筒。本发明还提供相应的控制方法。本发明能够快速将燃烧室出口尾气化学反应冻结，冷却下来进行采集；并且利用间隙配合和涂耐高温硅胶相结合方式安装探针，方便拆装进行比较实验；通过选定实验测试流程时序，保证了取样系统以及直联式超燃台之间精确的时序控制。



CN 103162995 A

1. 一种直联式超燃试验台燃气取样探针系统，其特征在于，包括取样探针、探针基座、水泵、支架、法兰盘、第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀、真空泵、取样针筒，其中：

探针基座通过支架安装于法兰盘，探针基座内含有冷却腔，冷却腔内穿有贯穿探针基座前端和后端的冷却管，水泵出口通过冷却腔的进口连通至冷却腔的出口，取样探针的后端以可拆卸方式连接冷却管的前端，冷却管的后端连接第一电磁阀的进口端，第一电磁阀的出口端通过第二电磁阀连接取样针筒，第一电磁阀的出口端通过第三电磁阀连接真空泵。

2. 根据权利要求 1 所述的直联式超燃试验台燃气取样探针系统，其特征在于，所述取样探针的内壁从前端向后端方向，孔径由半径 R1 突变增大为半径 R2，形成阶梯状，取样探针的头部为半顶角 30° 的锥形。

3. 根据权利要求 2 所述的直联式超燃试验台燃气取样探针系统，其特征在于，探针基座的冷却腔是前部分为梯形后部分为方形的空腔，冷却管的前端设置有台阶孔，台阶孔从前端向后端方向孔径由直径 D1 突变减小为直径 D2，其中，直径 D1 略大于取样探针后端的外径，取样探针的后部安装在台阶孔直径为 D1 的空腔中，取样探针的头部位于台阶孔之外。

4. 根据权利要求 3 所述的直联式超燃试验台燃气取样探针系统，其特征在于，取样探针的后部与台阶孔之间的安装间隙处填充有耐高温硅胶。

5. 根据权利要求 1 所述的直联式超燃试验台燃气取样探针系统，其特征在于，冷却管由紫铜制成。

6. 一种权利要求 1 至 5 中任一项所述直联式超燃试验台燃气取样探针系统的控制方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 1：利用法兰盘将支架固定于直联式超燃试验台出口段喷管前端的截面上，探针基座的前端正对直联式超燃试验台的超声速燃烧室的出口面；

步骤 2：气体采集开始前，调节直联式超燃试验台的氮气、氧气、氢气和空气的配气比，调节注入的燃油；

步骤 3：使第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀处于关闭状态，打开水泵预先对取样探针进行冷却；

步骤 4：控制第一电磁阀、第三电磁阀工作 t1 时间，同时开启真空泵对气体管路内和取样针筒内进行抽真空；

步骤 5：在直联式超燃试验台中点火开始时，开启第一电磁阀、第三电磁阀，同时通过真空泵抽真空 t2 时间，然后关闭第三电磁阀并开启第二电磁阀 t3 时间后，关闭所有电磁阀。

直联式超燃试验台燃气取样探针系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空航天领域的一种燃气采集实验方法，特别是涉及一种在直联式超燃试验台中用于燃气采集的取样探针系统。

背景技术

[0002] 发展高超声速飞行器是人类长久以来的梦想，这并非是充满想象力的科学工作者求新求异的追求，而是速度的提高所能带来的实际益处所决定的。发展高超声速飞行器，首要抓住一点是推进技术，即“动力先行”。因此，超燃冲压发动机也成了如今高超声速推进技术的代名词。

[0003] 燃烧室作为超燃冲压发动机的核心部件，对燃烧室性能的评估就显得尤为重要了。燃烧室的性能决定因素很多，评定的方法也不完全一致，常见的燃烧效率评价方法有如下几种：压力测量，通过测量燃烧室压力再经过一定的换算最终求得燃烧效率；热量计法，温度传感器测得的燃料燃烧引起的实际温升与数值计算得到的理论温升之间的比值；红外线法，利用红外线测量燃烧室出口气流某种成分在特定波段的红外线谱，获得该成分在出口气流中得分压和温度，计算出燃烧效率；取样探针法，应用气体采集探头对燃烧室出口的气体成分进行分析，获得燃烧室出口截面上的气体成分分布，从而计算燃烧效率。其中，取样探针法因为有着结构简单、材料易寻、价格低廉、可对产物进行分析等特点得到了广泛的关注。

[0004] 探针取样，进而对样品气进行成分分析，是进行气体成分分析时常用的一种分析手段。气体成分取样时，最重要的准则就是要保持样品气成分不变。在有化学反应进行的情况下，化学反应的冻结就成为取样分析中的关键性问题。同时也要避免探针头部附近复杂的流场对样品气成分带来影响，这样才能保证取样分析的可靠性。如何保证这两点，尽快对采集气体进行冷却，并通过合理时序采集到燃气产物，成为取样系统的关键几个点。

[0005] 为了对超燃冲压发动机燃烧室进行性能评估，设计了一套直联式超燃试验台燃气取样探针系统并进行实验；设计取样探针采用膨胀冷却和对流冷却相结合的方法，快速将燃烧室出口尾气化学反应冻结，并成功收集到采样针筒中；设计将取样探针与探针基座分离，利用间隙配合和涂耐高温硅胶相结合方式安装探针，方便拆装进行比较实验；通过选定实验测试流程时序，保证了取样系统以及直联式超燃台之间精确的时序控制。

发明内容

[0006] 本发明的目的是，给出一种直联式超燃试验台的燃气取样系统，使得直联式超燃试验台的燃烧室出口尾气可快速化学反应冻结，通过时序控制收集到取样针筒中，并由质谱仪对采集到的气体进行分析，得到较为准确的气体组分情况。

[0007] 根据本发明的一个方面，提供一种直联式超燃试验台燃气取样探针系统，包括取样探针、探针基座、水泵、支架、法兰盘、第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀、真空泵、取样针筒，其中：

[0008] 探针基座通过支架安装于法兰盘，探针基座内含有冷却腔，冷却腔内穿有贯穿探针基座前端和后端的冷却管，水泵出口通过冷却腔的进口连通至冷却腔的出口，取样探针的后端以可拆卸方式连接冷却管的前端，冷却管的后端连接第一电磁阀的进口端，第一电磁阀的出口端通过第二电磁阀连接取样针筒，第一电磁阀的出口端通过第三电磁阀连接真空泵。

[0009] 优选地，所述取样探针的内壁从前端向后端方向，孔径由半径 R1 突变增大为半径 R2，形成阶梯状，取样探针的头部为半顶角 30° 的锥形。

[0010] 优选地，探针基座的冷却腔是前部分为梯形后部分为方形的空腔，冷却管的前端设置有台阶孔，台阶孔从前端向后端方向孔径由直径 D1 突变减小为直径 D2，其中，直径 D1 略大于取样探针后端的外径，取样探针的后部安装在台阶孔直径为 D1 的空腔中，取样探针的头部位于台阶孔之外。

[0011] 优选地，取样探针的后部与台阶孔之间的安装间隙处填充有耐高温硅胶。

[0012] 优选地，冷却管由紫铜制成。

[0013] 根据本发明的另一个方面，还提供一种所述直联式超燃试验台燃气取样探针系统的控制方法，包括如下步骤：

[0014] 步骤 1：利用法兰盘将支架固定于直联式超燃试验台出口段喷管前端的截面上，探针基座的前端正对直联式超燃试验台的超声速燃烧室的出口面；

[0015] 步骤 2：气体采集开始前，调节直联式超燃试验台的氮气、氧气、氢气和空气的配气比，调节注入的燃油；

[0016] 步骤 3：使第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀处于关闭状态，打开水泵预先对取样探针进行冷却；

[0017] 步骤 4：控制第一电磁阀、第三电磁阀工作 t1 时间，同时开启真空泵对气体管路内和取样针筒内进行抽真空；

[0018] 步骤 5：在直联式超燃试验台中点火开始时，开启第一电磁阀、第三电磁阀，同时通过真空泵抽真空 t2 时间，然后关闭第三电磁阀并开启第二电磁阀 t3 时间后，关闭所有电磁阀。

[0019] 本发明提供了用于对超燃冲压发动机燃烧室进行性能评估的直联式超燃试验台燃气取样探针系统，主要包括取样探针的总体系统方案，膨胀冷却和对流冷却相结合的取样探针设计方案，取样探针和探针基座分离的安装方案和取样探针试验测试流程时序。探针基座引出来的采集气体，通过电磁阀控制，用真空表对气路进行抽真空，用取样针筒存储气体。取样针筒采集到的气体，注入到质谱分析仪中。本发明能够快速将燃烧室出口尾气化学反应冻结，冷却下来进行采集；并且利用间隙配合和涂耐高温硅胶相结合方式安装探针，方便拆装进行比较实验；通过选定实验测试流程时序，保证了取样系统以及直联式超燃台之间精确的时序控制。

附图说明

[0020] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

[0021] 图 1 直联式超燃试验台燃气取样探针系统布置方式；

[0022] 图 2 取样探针系统详细示意图；

[0023] 图 3 取样探针剖面示意图；

[0024] 图 4 取样探针和探针基座安装完成实物图；

[0025] 图 5 取样实验流程时序图。

[0026] 图中：

[0027] 1 为第一电磁阀；

[0028] 2 为第二电磁阀；

[0029] 3 为第三电磁阀；

[0030] 4 为数据分析计算机；

[0031] 5 为支架；

[0032] 6 为法兰盘；

[0033] 7 为取样探针；

[0034] 8 为手动截止阀；

[0035] 9 为真空表。

具体实施方式

[0036] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0037] 本发明提供的直联式超燃试验台燃气取样探针系统布置方式如图 1 所示，图中，加热器、喷管和超声速燃烧室为直联式超燃台系统。取样探针系统布置在超声速燃烧室出口和出口段喷管之间，用法兰盘和支架固定在出口段喷管前端的截面上。探针基座引出来的采集气体，通过第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀控制，用真空表对气路进行抽真空，用取样针筒存储气体。取样针筒采集到的气体，注入到质谱分析仪中。图 2 为取样探针系统详细示意图，其主要由取样探针，探针基座、法兰盘、支架、水泵、真空表、取样针筒、质谱分析仪和第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀组成。

[0038] 本发明中设计了一种取样探针，采用膨胀冷却和对流冷却相结合的方法，快速将超声速燃烧室出口尾气化学反应冻结，并成功收集到取样针筒中。取样探针的头部是半顶角 30° 的锥形，保证高速的来流在取样探针头部形成吞入激波，减少激波前后温升造成的化学反应继续进行的影响。取样探针入口段(即前段)是 0.8mm 直径针孔管，前段管长 2mm，后段管直径突增变为 2mm，后段管长大于 5mm，通过管面积突变形成膨胀冷却效果，对进入管内气流进行冷却。2mm 的管壁外还通有高速高压的水流对管壁进行冷却，进一步对采集气体进行冷却，保证化学反应快速冻结。取样探针剖面示意图如图 3 所示，其中，R1 为取样探针前段孔壁的半径，R2 为取样探针后段孔壁的半径，L1 为取样探针前段孔壁的长度，L2 为取样探针后段孔壁的长度。

[0039] 本发明采用取样探针与探针基座分离的方式安装，便于取样探针的拆装，利于下一步更换进行比较实验。探针基座是 2mm 厚紫铜板弯曲形成的前部分梯形后部分方形的空腔，上下用带管的方板焊接密封住。探针基座正对超声速燃烧室出口面方向打通焊接若干

内径 2mm，壁厚 2mm 的紫铜管，紫铜管前段开出一段约 5mm 长，直径 3mm 的台阶孔，与探针后端尺寸配合。取样探针通过间隙配合放置在紫铜管前端，为保证安装稳定不因高速来流而松动，还使用耐高温硅胶涂在安装间隙处。取样探针和探针基座安装完成实物图如图 4 所示。

[0040] 本发明确定了取样实验的一套流程时序，并与直联式超燃台时序配合，完成对燃气采集的精确控制。第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀通过单片机编程控制，分为两个动作，分别为实验前和实验中。实验前，控制第一电磁阀、第三电磁阀工作 5s，同时真空泵开启对气体管路内和取样针筒内进行抽真空。实验过程中，在直联式超燃试验台中点火开始时，开启第一电磁阀、第三电磁阀，同时抽真空 2.5s，然后关闭第三电磁阀并开启第二电磁阀 1s 后，关闭所有电磁阀。具体的阀门工作时间，根据真空泵抽气速率、管路内气体体积和取样针筒体积计算决定。取样实验流程时序图如图 5 所示。

[0041] 气体采集开始前，需调节直联式超燃试验台的氮气、氧气、氢气和空气的配气比，调节注入的燃油，设置好超燃台实验的流程时序。取样探针系统，需将各设备安装到位，线路连接正常并调试完毕。

[0042] 实验前，第一电磁阀、第二电磁阀、第三电磁阀都处于关闭状态，打开水泵预先对取样耙进行冷却。打开第二电磁阀、第三电磁阀，真空泵对气体管路和取样针筒进行抽真空，以保持比较低的背压，同时避免取样针筒中的空气对测量结果带来的影响。当取样针筒内压力达到所需值时，关闭第二电磁阀、第三电磁阀，取样针筒处于待取样状态。

[0043] 实验中，与直联式超燃试验台实验时序配合，在直联式超燃试验台点火后 1 ～ 2 秒，超声速流场建立，随后喷入燃料，1 ～ 2 秒后，整个燃烧流场基本稳定；在燃烧流场基本稳定前 t2 时间，开启取样针筒的作为上游阀的第一电磁阀，对探针段至第一电磁阀段进行抽真空；关闭第三电磁阀，关闭真空泵，后立即开启第二电磁阀，约 t3 时间后关闭第二电磁阀、第一电磁阀。

[0044] 待直联式超燃试验台实验结束后，取样探针实验系统冷却完毕后，将在第二电磁阀之前气体管路取下，以保证取样针筒内气体不泄漏。采集到的气体注入到质谱分析仪中，对采集到的气体进行分析。

[0045] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。

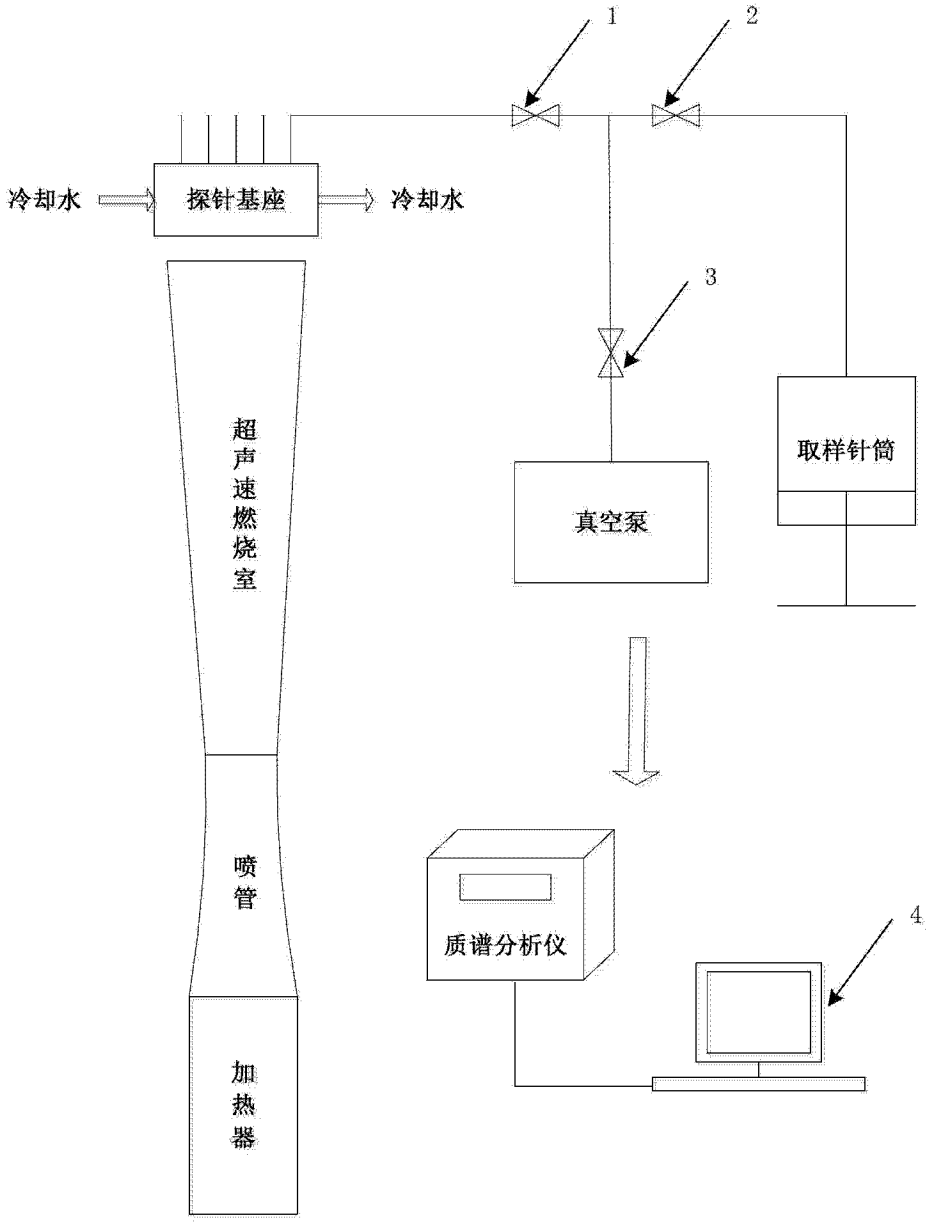


图 1

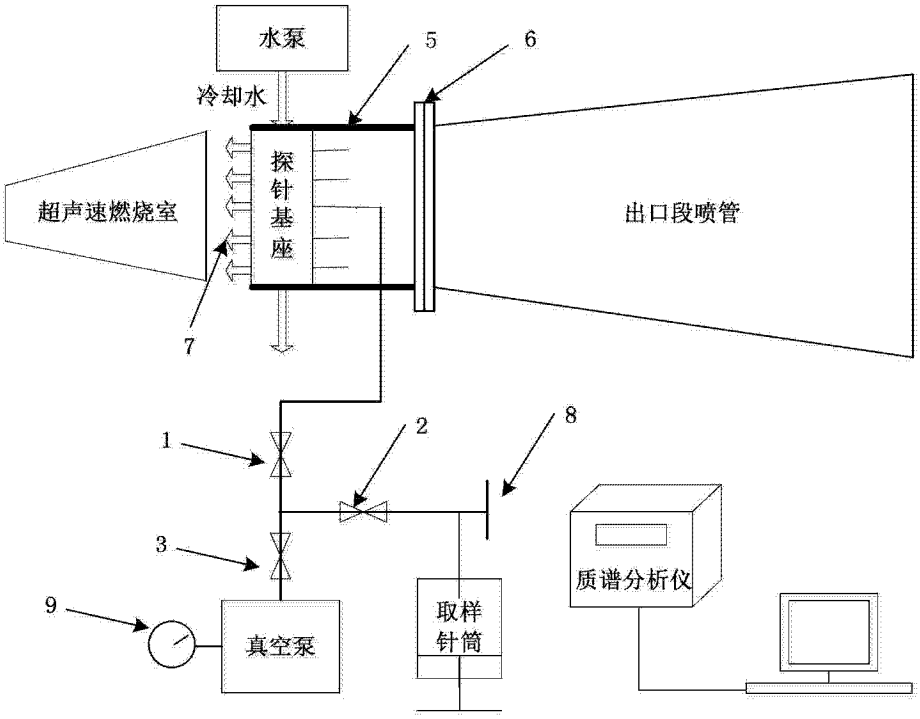

水泵
冷却水
5
6
探针基座
超声速燃烧室
出口段喷管
7
1
2
8
3
9
真空泵
取样针筒
质谱分析仪

图 2

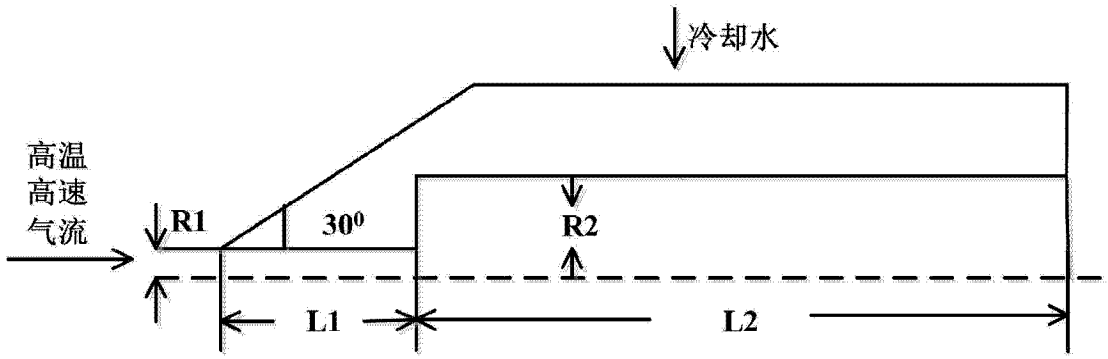

冷却水
高温
高速
气流
R1
30⁰
R2
L1
L2

图 3

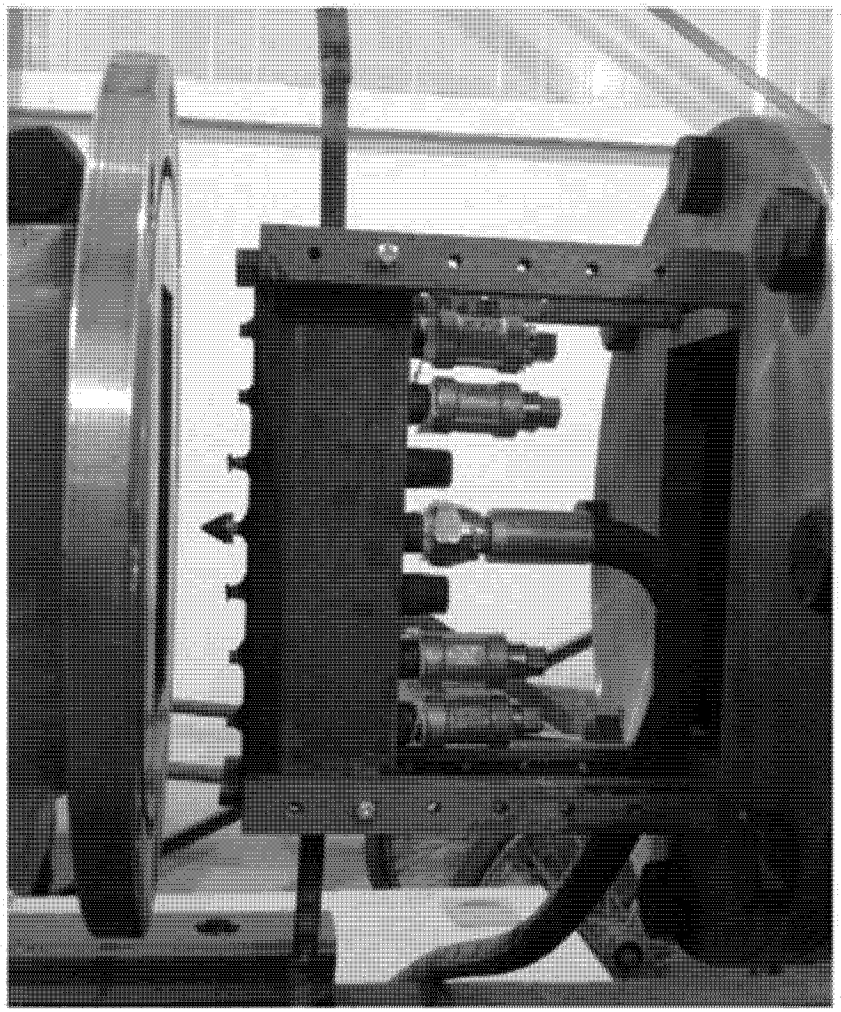


图 4

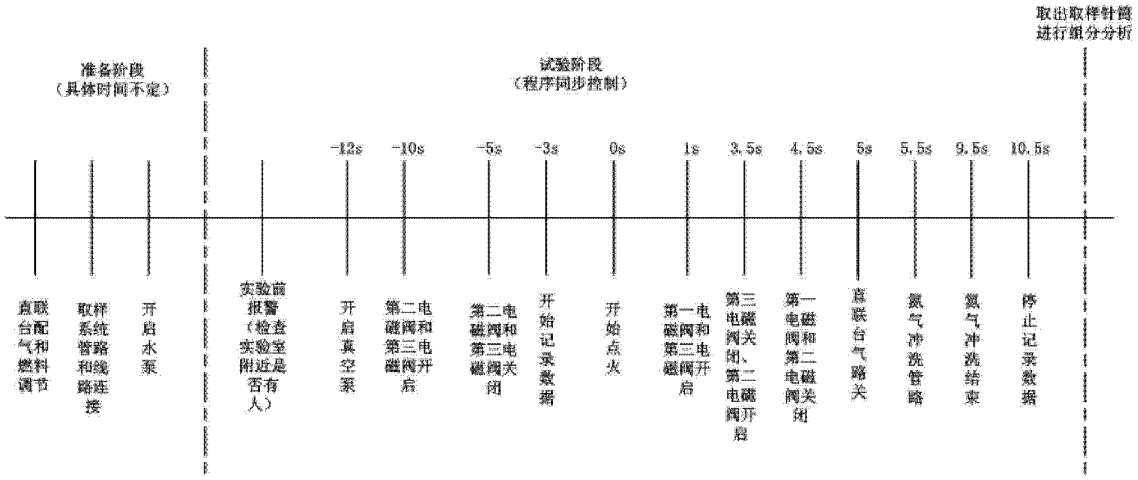

准备阶段
（具体时间不定）
试验阶段
（程序同步控制）
取出取样针筒
进行组分分析
-12s
-10s
-5s
-3s
0s
1s
3.5s
4.5s
5s
5.5s
9.5s
10.5s
直联台配气和燃料调节
取样系统管路和线路连接
开启水泵
实验前报警（检查实验室附近是否有人）
开启真空泵
第二电磁阀和第三电磁阀开启
第二电磁阀和第三电磁阀关闭
开始记录数据
开始点火
第一电磁阀和第三电磁阀开启
第三电磁阀关闭、第二电磁阀开启
第一电磁阀和第二电磁阀关闭
直联台气路关
氮气冲洗管路
氮气冲洗结束
停止记录数据

图 5