



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104613307 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 13

(21) 申请号 201410654950. 6

F17C 13/02(2006. 01)

(22) 申请日 2014. 11. 17

F17C 13/04(2006. 01)

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

申请人 杭州台连低温设备有限公司

(72) 发明人 李龙 袁涛 范学军 孟令瑾

倪晓磊 谢巍 朱文忠

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

F17C 5/02(2006. 01)

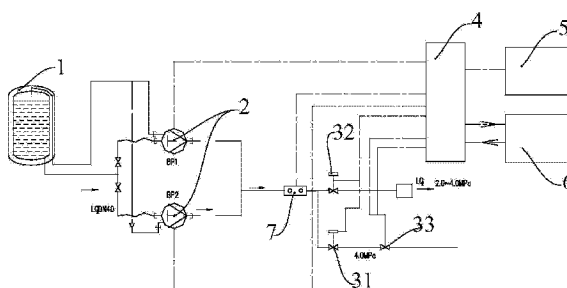
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统

(57) 摘要

本发明提供了一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,液氧储罐、低温液体泵、阀门与管路配件和控制系统;液氧储罐设有进液口、出液口、气相口、回流口、放空口和排污口,还配有用来监测罐内液氧的状态并保证安全的安全阀、液位计、压力表和温度表;低温液体泵连接液氧储罐的出液口;阀门与管路配件包括排放回路和实验回路二个回路;排放回路包括串联的第一阀门和第三阀门,第一阀门为截止阀,用于打开或者关闭液氧排放通道;第三阀门为压力调节阀,通过调整它的关闭度来改变压力;实验回路包括第二阀门,第二阀门为截止阀,用于控制打开或者关闭。解决了氧气的存储、运输和使用问题,及高压氧气容易发生烧毁输运管道和控制阀门的事故问题。



1. 一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于包括:

液氧储罐、低温液体泵、阀门与管路配件和控制系统;

所述液氧储罐设有进液口、出液口、气相口、回流口、放空口和排污口,还配有用来监测罐内液氧的状态并保证安全的安全阀、液位计、压力表和温度表;

所述低温液体泵连接所述液氧储罐的出液口;

所述阀门与管路配件包括排放回路和实验回路二个回路;排放回路包括串联的第一阀门和第三阀门,所述第一阀门为截止阀,用于打开或者关闭液氧排放通道;所述第三阀门为压力调节阀,通过调整它的关闭度来改变压力;实验回路包括第二阀门,所述第二阀门为截止阀,用于控制打开或者关闭。

2. 如权利要求 1 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述控制系统包括 PLC 控制系统、现场就地操作界面和上位机集中控制系统、质量流量计;所述 PLC 控制系统分别电连接所述低温液体泵、第一阀门、第二阀门、第三阀门、质量流量计、现场就地操作界面、上位机集中控制系统;所述质量流量计位于低温液体泵和第一阀门、第二阀门之间的管路上。

3. 如权利要求 2 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述低温液体泵为二个,相互并联。

4. 如权利要求 3 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述低温液体泵为柱塞泵,流量范围分别为:250 ~ 620g/s 和 620 ~ 1200g/s。

5. 如权利要求 4 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所有的管路外面依次包裹有一层用于隔热的发泡剂和一层用于防止辐射散热还能起到保护作用的白铁皮。

6. 如权利要求 5 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述发泡剂厚度为 10cm,所述白铁皮厚度为 0.1mm。

7. 如权利要求 6 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述控制系统分为由控制系统单独完成操作的就地控制模式和由上位机或 DCS 进行操作的远程控制模式;

所述 PLC 控制系统将向上位机发送来自于现场收集的各类信号及双通道的数据传输,信号分为无源触点信号及 MODBUS-RTU 信号,MODBUS 协议的传输采用 RS-485 二线制物理接口进行,可直接通过 PLC 模块进行数据的采集和交换。

8. 如权利要求 7 所述的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,其特征在于:

所述 PLC 的输入信号包括:第二阀门的运行给定、流量范围运行上限给定、流量范围运行下限给定、泵出口压力上限给定、泵出口压力下限给定、泵出口压力超高报警值;

所述 PLC 的输出信号包括：第一阀门的现场运行状态、第二阀门的现场运行状态、第三阀门的现场运行状态、质量流量计瞬时参数、第三阀门的开启度状态、泵总出口压力数值、泵超压力报警停机；

泵的出口压力上下限给定值与第三阀门的开启度状态为反线性关系，即越接近下限给定值时第三阀门的开启角度就越大；越接近上限给定值时第三阀门的开启角度就越小，直至关闭。

一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统

技术领域

[0001] 本发明属于超声速燃烧技术领域,具体涉及一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统。

背景技术

[0002] 为了能够在地面进行高超声速飞行器的实验模拟研究,需要建立一套高超声速飞行器的实验设备,该设备能够为高超声速飞行器或者超燃冲压发动机提供模拟飞行状态中的总焓、马赫数以及组分相似的空气流场。高超声速飞行器在高空的飞行中,空气来流具有高焓、高马赫数、高压等特点,其马赫数通常在 6 以上,总温可达 1800K。目前针对高超声速飞行的超燃冲压发动机的研究实验平台主要自由射流实验系统与直联式超声速燃烧实验系统,二者都需要提供一个能够模拟高焓、高压、高马赫数的组分类似的空气来流。其中,高马赫数的气流可通过超声速喷管将气流加速获得,高焓气流需要对空气进行加热。常见的空气加热方法有电阻电热、电弧加热、燃烧加热、激波加热与蓄热式加热等。在这些加热方式中,激波加热的实验时间非常短。电阻加热能够连续加热,得到纯净空气,但是加热温度较低,通常在 1000K 以下。电弧加热受限制于加热功率而无法获得高温、大流量的空气。蓄热式加热能够获得纯净空气但是的温度较低且无法持续加热。燃烧加热的方法常见的有氢气燃烧、酒精燃烧等。目前,中科院力学所拥有多套成熟的氢气和氧气燃烧加热空气的直联式超声速燃烧实验台。

[0003] 鉴于目前实验需求,我们需要开展长时间的超声速燃烧实验,为此我们需要大量的氢气和氧气进行燃烧来持续对空气加热。但是,由于氧气密度很小,并且通常氧气用钢瓶存储,通过计算发现一次长时间实验需要准备的氧气钢瓶数量约为 200 瓶,如此巨大的数目对于氧气的存储、运输和使用都带来很大的不便。并且高压氧气在快速流动过程中与管道摩擦生热,容易对阀门等关键零件造成氧化甚至燃烧,在类似的大型超声速燃烧实验设备上发生过多次高压氧气烧毁输运管道和控制阀门的事故。考虑到以上原因,我们考虑采用液氧来替代氧气。为了将直联式超声速燃烧实验台加热系统使用的氧气替换成液氧,我们专门研发了一套液氧供给系统。

发明内容

[0004] 本发明的目的是要解决氢气和氧气燃烧加热空气的直联式超声速燃烧实验台长时间使用时,氧气的存储、运输和使用问题,以及高压氧气容易发生烧毁输运管道和控制阀门的事故问题。

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,包括:

[0006] 液氧储罐、低温液体泵、阀门与管路配件和控制系统;

[0007] 所述液氧储罐设有进液口、出液口、气相口、回流口、放空口和排污口,还配有用来监测罐内液氧的状态并保证安全的安全阀、液位计、压力表和温度表;

- [0008] 所述低温液体泵连接所述液氧储罐的出液口；
- [0009] 所述阀门与管路配件包括排放回路和实验回路二个回路；排放回路包括串联的第一阀门和第三阀门，所述第一阀门为截止阀，用于打开或者关闭液氧排放通道；所述第三阀门为压力调节阀，通过调整它的关闭度来改变压力；实验回路包括第二阀门，所述第二阀门为截止阀，用于控制打开或者关闭。
- [0010] 进一步，所述控制系统包括 PLC 控制系统、现场就地操作界面和上位机集中控制系统、质量流量计；所述 PLC 控制系统分别电连接所述低温液体泵、第一阀门、第二阀门、第三阀门、质量流量计、现场就地操作界面、上位机集中控制系统；所述质量流量计位于低温液体泵和第一阀门、第二阀门之间的管路上。
- [0011] 进一步，所述低温液体泵为二个，相互并联。
- [0012] 进一步，所述低温液体泵为柱塞泵，流量范围分别为：250 ~ 620g/s 和 620 ~ 1200g/s。
- [0013] 进一步，所有的管路外面依次包裹有一层用于隔热的发泡剂和一层用于防止辐射散热还能起到保护作用的白铁皮。
- [0014] 进一步，所述发泡剂厚度为 10cm，所述白铁皮厚度为 0.1mm。
- [0015] 进一步，所述控制系统分为由控制系统单独完成操作的就地控制模式和由上位机或 DCS 进行操作的远程控制模式；
- [0016] 所述 PLC 控制系统将向上位机发送来自于现场收集的各类信号及双通道的数据传输，信号分为无源触点信号及 MODBUS-RTU 信号，MODBUS 协议的传输采用 RS-485 二线制物理接口进行，可直接通过 PLC 模块进行数据的采集和交换。
- [0017] 进一步，所述 PLC 的输入信号包括：第二阀门的运行给定、流量范围运行上限给定、流量范围运行下限给定、泵出口压力上限给定、泵出口压力下限给定、泵出口压力超高报警值；
- [0018] 所述 PLC 的输出信号包括：第一阀门的现场运行状态、第二阀门的现场运行状态、第三阀门的现场运行状态、质量流量计瞬时参数、第三阀门的开启度状态、泵总出口压力数值、泵超压力报警停机；
- [0019] 泵的出口压力上下限给定值与第三阀门的开启度状态为反线性关系，即越接近下限给定值时第三阀门的开启角度就越大；越接近上限给定值时第三阀门的开启角度就越小，直至关闭。
- [0020] 相对于现有技术，本发明具有下列技术效果：
- [0021] 通过液氧代替氧气，能够解决氢气和氧气燃烧加热空气的直联式超声速燃烧实验台长时间使用时，氧气的存储、运输和使用问题，以及高压氧气容易发生烧毁输运管道和控制阀门的事故问题。

附图说明

[0022] 图 1 为本发明的液氧供给系统示意图。

图 2 为实验测量液氧流量与电压关系曲线。

具体实施方式

[0023] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0024] 实施例一:

[0025] 本发明提供了如附图 1 所示的一种用于直联式超声速燃烧实验台的液氧供给系统,包括:

[0026] 液氧储罐 1、低温液体泵 2、阀门与管路配件和控制系统;

[0027] 液氧储罐 1 设有进液口、出液口、气相口、回流口、放空口和排污口,还配有用来监测罐内液氧的状态并保证安全的安全阀、液位计、压力表和温度表;液氧储罐容积为 5m^3 。

[0028] 低温液体泵 2 连接液氧储罐 1 的出液口;低温液体泵选用的是杭州台连气体设备有限公司生产的柱塞泵,综合考虑实验时液氧流量和液氧泵的工作范围我们配备了两台液氧泵,相互并联,流量范围分别为: $250 \sim 620\text{g/s}$ (双泵头) 和 $620 \sim 1200\text{g/s}$ (双泵头)。

[0029] 阀门与管路配件包括排放回路和实验回路二个回路;排放回路包括串联的第一阀门 31 和第三阀门 33,第一阀门 31 为截止阀,用于打开或者关闭液氧排放通道;第三阀门 33 为压力调节阀,通过调整它的关闭度来改变压力;实验回路包括第二阀门 32,第二阀门 32 为截止阀,用于控制打开或者关闭。

[0030] 由于液氧的沸点极低 (-183°C),为了防止液氧在管道输运过程中发生蒸发,我们对液氧管路进行了保温设计。所有的管路外面依次包裹有一层用于隔热的发泡剂和一层用于防止辐射散热还能起到保护作用的白铁皮。发泡剂厚度为 10cm ,白铁皮厚度为 0.1mm 。

[0031] 在实验过程中需要精确控制液氧流量和实时改变液氧流量,为此我们开发了一套控制程序。

[0032] 控制系统包括 PLC 控制系统 4、现场就地操作界面 5 和上位机集中控制系统 (DCS) 6、质量流量计 7;PLC 控制系统 4 分别电连接低温液体泵 2、第一阀门 31、第二阀门 32、第三阀门 33、质量流量计 7、现场就地操作界面 5、上位机集中控制系统 6;质量流量计 7 位于低温液体泵 2 和第一阀门 31、第二阀门 32 之间的管路上。

[0033] 控制系统分为由控制系统单独完成操作的就地控制模式和由 DCS 进行操作的远程控制模式。就地控制模式是指泵及现场设备的运行与监控由我们提供的控制系统单独完成操作。远程控制模式是指现场设备的运行与监控由设备的上位机或 DCS 进行操作,现场 PLC 控制系统将向上位机发送来自于现场收集的各类信号及双通道的数据传输,传输信号分为无源触点信号及 MODBUS-RTU 信号,MODBUS 协议的传输采用 RS-485 二线制物理接口进行,用户可直接通过 PLC 模块进行数据的采集和交换。

[0034] PLC 的输入信号包括:第二阀门 32 的运行给定、流量范围运行上限给定、流量范围运行下限给定、泵出口压力上限给定、泵出口压力下限给定、泵出口压力超高报警值;具体见下表。

[0035] 现场 PLC 的输入信号

[0036]

数字量	第二阀门的运行给定	PLC 输入端	
寄存器	流量范围运行上限给定	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	流量范围运行下限给定	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	泵出口压力上限给定	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	泵出口压力下限给定	MODBUS-RTU	二线制

寄存器	泵出口压力超高报警值	MODBUS-RTU	二线制
-----	------------	------------	-----

[0037] PLC 的输出信号包括：第一阀门 31 的现场运行状态、第二阀门 32 的现场运行状态、第三阀门 33 的现场运行状态、质量流量计 7 瞬时参数、第三阀门 33 的开启度状态、泵总出口压力数值、泵超压力报警停机；具体见下表。

[0038] 现场 PLC 的输出信号

[0039]

传输信号类别	传输信号说明	PLC 地址	其它
寄存器	第一阀门的现场运行状态	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	第二阀门的现场运行状态	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	第三阀门的现场运行状态	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	质量流量计瞬时参数	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	第三阀门的开启度状态	MODBUS-RTU	二线制

[0040]

寄存器	泵总出口压力数值	MODBUS-RTU	二线制
寄存器	泵超压力报警停机	MODBUS-RTU	二线制

[0041] 泵的出口压力上下限给定值与第三阀门 33 的开启度状态为反线性关系，即越接近下限给定值时第三阀门 33 的开启角度就越大；越接近上限给定值时第三阀门 33 的开启角度就越小，直至关闭。

[0042] 控制综合逻辑说明

[0043] 1、瞬时流量控制上下限设定值和线性运行频率的关系

[0044] 瞬时流量被 PLC 采集后，我们将对流量进行处理，直接通过运算转换成质量流量。

[0045] 我们必须对瞬时值转换后的质量流量的控制上限及下限的数值进行设置（无论是本地或是远程控制模式均需设置），其中质量流量设置的上限值为变频电机运行对应的 0HZ（电机运行的最低频率设定一般我们可以设置为 0），下限质量流量设置值为变频电机对应的 50HZ（电机运行的最高频率可以在变频器的内部参数进行组态设定）。为了大幅度提高变频器的运行精度，我们将在 PLC 的程序编辑中将输入的上限和下限数值扩大 100 倍或以上进行逻辑线性的运算，这样线性的输出精度将比直接输入数值运行精度提高 100 倍，线性输出将更加细化。

[0046] 2、第三阀门现场管路系统压力保值运行控制

[0047] 在管路的系统控制中，除了保证质量流量在一定范围内输出到用户端的同时我们将对输出管线内介质的压力进行保值待命控制，控制系统将由通过控制现场的执行机构第三阀门（防爆）排放开闭的角度或行程进行控制。

[0048] 现场二个低温液体泵的总管出口我们配置有压力变送器（防爆），我们除了在控制柜上监控到管路内压力的同时将可以对出口管路内的压力上限或下限的数值进行设置。当实际的检测压力值接近趋向于压力的上限设定值时，第三阀门将阀门全部关闭；当实际的检测压力接近趋向于压力的下限设定数值时，第三阀门将全部开启，当运行在上下限的设定值之间时，第三阀门的开启运行逻辑跟管路内压力的关系定义为反线性关系。

[0049] 泵的运行将受到该压力的保护，当管路内的压力数值高于超压报警值时，低温液体泵将无条件终止运行。同样，我们在这套保压力的“第三阀门-压力”的控制运行线性逻辑运算时，采用跟上述的质量流量控制一样的进行线性逻辑运算放大来提高控制精度。

[0050] 3、运行控制

[0051] 上述的设置完成后,我们可以对系统进行操作。

[0052] 3.1、首先启动完毕,第一阀门将直接开启。

[0053] 3.2、第一阀门开启后 2S 运行所选择的低温液体泵,此时第二阀门是关闭状态,这时泵将根据实际的流量反馈进行反线性运行,即流量接近上限设定值时泵的运行频率接近“0Hz”;当流量的实际值接近上限的设定值时泵的运行频率接近“50Hz”,其中流量的实际控制数值的范围约在 $\pm 2.5\%$ 。

[0054] 3.3、泵运行的同时,“第三阀门-压力”线性控制将直接启动,该控制组合作用就是控制管路系统中的压力保持在一定的范围之内。以上的控制逻辑运行后,泵便运行,第一阀门将直接开启,第三阀门将控制管路中的压力,变频电机控制管路内的质量流量,系统整体运行进入待命状态。

[0055] 3.4、用户启动点火的信号(第二阀门的开启信号)被 PLC 接受后,系统将延时 20ms 关闭第一阀门,同时完全关闭第三阀门。

[0056] 3.5、停机控制

[0057] 控制系统选择停机后,首先将停止低温液体泵的运行,开启第一阀门和第三阀门,此时第三阀门开启为最大,10S 延时后关闭第二阀门,停机程序结束。

[0058] 设备测试结果

[0059] 超声速燃烧试验中,需要对液氧的流量进行精确控制。实验证明,液氧的控制系统能够精确的对液氧流量进行控制,使得液氧的流量与控制的模拟电压信号呈线性关系,即 $Q = \alpha E$

[0060] 上面的表达式中,Q 为液氧流量,单位为 kg/s,E 为用于控制的模拟信号的电压,单位为 V, α 为一个常数。

[0061] 如图 2 所示为实验测试的液氧的流量与电压的关系曲线,其中带点折线为实验点连线,直线为线性拟合线,可以看到,二者能够保持良好的线性关系。

[0062] 超声速燃烧试验中的液氧系统的运行方法

[0063] 1. 打开液氧罐,利用液氧的自然流动,对液氧泵进行预冷,使得整个泵体的温度降下来,这个过程大概需要 15 分钟,等到泵头处开始出现结霜现象,液氧泵预冷完毕;

[0064] 2. 打开第一阀门与第三阀门,启动液氧泵,泵头开始供给液氧,对排放管路进行预冷,排放管开始排放液氧气体,等到排放管开始完全出液后,排放管预冷完成,停止液氧泵;

[0065] 3. 关闭第一阀门,打开第二阀门,启动液氧泵,对实验管路进行预冷,实验管路对预冷精度要求较高,管路上安装了温度测量传感器,管路温度下降到 -150°C 时,温度不再下降,预冷完成,停止液氧泵;

[0066] 4. 所有管路预冷完成后,为了防止管路温度缓慢自然回升,应该马上开始试验,启动液氧泵,关闭第一阀门,打开第二阀门,通过控制系统设定液氧流量,向超声速燃烧试验台供给液氧,进行实验。

[0067] 5. 实验完成后,停止液氧泵,关闭第二阀门,打开第一阀门,将管路中剩余的液氧排放出去,最后关闭所有的阀门,整套液氧系统运行完毕。

[0068] 以上所述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。

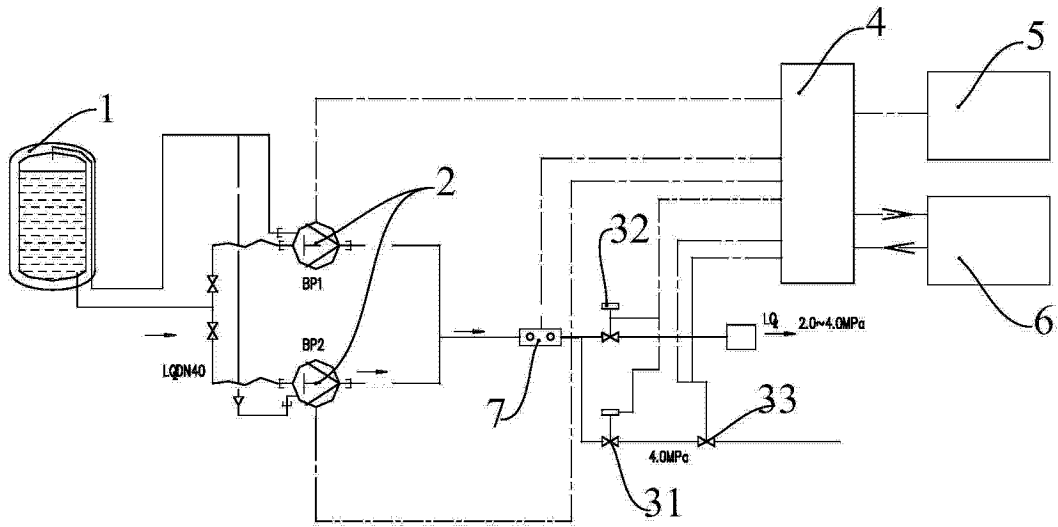


图 1

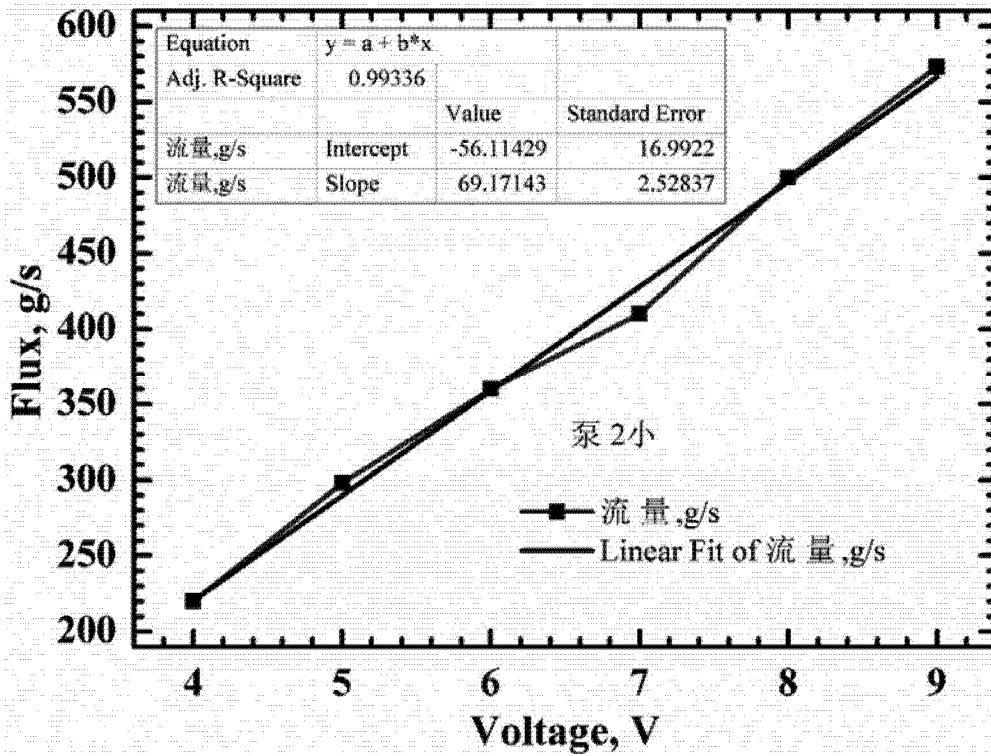


图 2