



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114242556 B

(45) 授权公告日 2023.07.11

(21) 申请号 202111574285.6

(22) 申请日 2021.12.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114242556 A

(43) 申请公布日 2022.03.25

(73) 专利权人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市庐阳区三十岗
乡古城路181号

(72) 发明人 穆磊 丁锐 刘牛先 彭姣 鄢容
张渝 陈俊凌

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

专利代理师 安丽

(51) Int. Cl.

H01J 37/32 (2006.01)

(56) 对比文件

GB 551746 A, 1943.03.08

US 2121067 A, 1938.06.21

US 6297510 B1, 2001.10.02

姜佩贺;周志权;赵占锋.圆柱形离子阱质谱
仪关键技术研究及参数优化.质谱学报.2018,
(第03期),全文.

审查员 姜涛

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种电子倍增管的电流反馈保护方法及系
统

(57) 摘要

本发明涉及一种电子倍增管的电流反馈保
护方法及系统,包括接收、转换、放大、采集电子
倍增管的阳极电流信号,与额定安全电流阈值比
较以控制可编程控制器PLC的输出,生成PLC控制
信号,用来控制电机转动带孔圆形碟片,碟片上
环向均布有不同面积的圆孔以调节粒子接收面
积。该系统包括有采样、控制及调节模块。采样模
块包括前置放大器、数据采集卡;控制模块包括
计算机及PLC;调节模块包括电机及带孔圆形碟
片。本发明通过检测电子倍增管的阳极电流大
小,利用反馈控制的思想实时改变粒子接收面积
以控制入射粒子通量,从而调节阳极电流,使得
在逼近安全阈值的电流以及过载电流出现的情
况下,保护电子倍增管不被损坏。

接收、转换、放大、采集电子倍增管的
测量输出信号

S1

将采集到的电压信号换算回电子倍增管
的阳极电流信号后,与所述电子倍增管
的额定安全电流阈值相比较,控制PLC
的输出,生成PLC控制信号

S2

利用PLC控制信号控制电机转动带孔圆
形碟片,通过改变电子倍增管的粒子接
收面积的方式控制入射粒子通量,实现
阳极电流的实时调节

S3

1. 一种电子倍增管的电流反馈保护方法,其特征在于,所述方法包括:

针对应用于高温等离子体诊断的电子倍增管,采样电子倍增管的阳极电流信号,与所述电子倍增管的额定安全电流阈值相比较,控制PLC的输出,产生PLC控制信号,利用PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,改变遮挡在电子倍增管正前方的圆孔面积,利用反馈控制的思想通过改变电子倍增管的粒子接收面积的方式实现阳极电流大小的实时调节,改变目前高温等离子体诊断领域,等离子体破裂及加料异常等事件发生时电子倍增管易损坏的状况,提高诊断的安全性。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述带孔圆形碟片上环向均布有3个圆孔,定义电子倍增管粒子接收窗口面积为 S_{em} ,则3个圆孔的面积分别为 S_{em} , $0.5S_{em}$, $0.001S_{em}$ 。

3. 一种电子倍增管的电流反馈保护系统,其特征在于,所述系统包括:

采样模块,利用数据采集卡采集电子倍增管输出的,经过前置放大器转换、放大的阳极电流信号;

控制模块,利用计算机将数据采集卡输出的电压信号值换算回电子倍增管阳极电流信号值,并与电子倍增管的额定安全电流阈值比较,将电子倍增管阳极电流与额定安全电流阈值的比值输出给PLC,PLC基于比值以及当前控制模块的工作状态,生成PLC控制信号;

调节模块,基于接收到的PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,改变电子倍增管正前方的圆孔面积,通过调整电子倍增管的粒子接收面积的方式控制入射粒子通量,最终达到调节电子倍增管阳极电流大小,保护电子倍增管的目的。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于:所述控制模块工作状态包括,正常,电流过大,关闭,分别对应带孔圆形碟片上面积为 S_{em} , $0.5S_{em}$ 以及 $0.001S_{em}$ 的3个圆孔,可通过主动控制或者反馈控制的方式进行调节;正常模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 S_{em} 情况下,阳极电流值与其额定安全电流阈值的比值小于或等于0.8的工作状态;电流过大模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 $0.5S_{em}$ 情况下,阳极电流值与其额定安全电流阈值的比值小于或等于0.8的工作状态;关闭模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 $0.001S_{em}$ 情况下的工作状态。

5. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于:所述PLC基于当前控制模块的工作状态及比值,生成PLC控制信号,包括:

当控制模块工作状态为正常且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值的比值大于0.8时,生成的PLC控制信号可控制电机转动带孔圆形碟片,使得面积为 $0.5S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.5S_{em}$,通过减小粒子接收面积达到减小阳极电流的目的,同时调整控制模块工作状态为电流过大;

当控制模块工作状态为电流过大且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值的比值大于0.8时,生成的PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,使得面积为 $0.001S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.001S_{em}$,极少量中性粒子的信号用来判断电子倍增管是否损坏,同时调整控制模块工作状态为关闭。

一种电子倍增管的电流反馈保护方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于高温等离子体诊断技术领域,具体涉及一种电子倍增管的电流反馈保护方法及系统。

背景技术

[0002] 在托卡马克聚变装置中最常见的用于诊断中性粒子的设备是中性粒子分析仪,工作原理是首先将中性粒子电离,然后加上电磁场来偏转离子,分析其能量。但是这种方法只适用于测量能量在keV量级的粒子,而等离子体边界区域产生的中性粒子能量一般没有这么高,因此需要采用基于飞行时间的低能中性粒子分析仪(Low Energy Neutral Particle Analyzer,LENPA),可以准确测量能量低于300eV的中性粒子,飞行时间分析法的基本原理是测量粒子在给定距离里的飞行时间,从而获得粒子的飞行速度、能量及其分布。LENPA的主要结构包括一套斩波器系统(电机、带有极小狭缝的转盘),飞行管道,探测器及数据采集系统,真空泵组及真空检测系统,高压电源及控制系统等。首先,从托卡马克装置中出射的中性粒子被斩波器变成脉宽 $1\sim 2\mu\text{s}$ 左右的脉冲,经过飞行管道后被探测器接收,变成倍增的电流信号,再经过前置放大器转变为电压信号,最后被数据采集系统收集并获得入射粒子的通量。探测器部分目前使用电子倍增管直接面对等离子体,接受中性粒子入射。分别记录中性粒子通过斩波器转盘和到达电子倍增管的时刻即得到飞行时间,再结合固定的飞行距离可获得入射粒子的速度、能量及其分布。电子倍增管接收到的中性粒子多数由电荷交换反应产生,其反应速率与局部中性粒子密度、离子密度和温度等均相关。中性粒子轰击电子倍增管的转换极,激发出二次电子并经过多次倍增后,被阳极收集并输出阳极电流信号。

[0003] 目前国内外托卡马克聚变实验堆的LENPA系统上,并没有为电子倍增管发展可靠的保护方法及系统。而当托卡马克装置进行长脉冲高功率等离子体放电时,入射的中性粒子通量、能量明显增高,这会导致电子倍增管的阳极电流迅速升高,甚至逼近电子倍增管的额定电流安全阈值,带来安全风险。特别的,发现以下两种情形多次发生时,在运行的LENPA系统会出现电子倍增管损坏的情况。第一,等离子体聚变实验过程中破裂发生时,粒子失去约束,极短的时间内大量中性粒子入射电子倍增管,带来较大的阳极电流,可能造成电子倍增管电子学部件的损坏;第二,为了保持聚变反应的持续进行,需要通过充气、弹丸注入或超声分子束注入等方式加料来维持等离子体密度,加料的总量需要根据偏振干涉仪等诊断给出的密度测量结果来进行反馈,但是由于托卡马克装置附近复杂的电磁环境,诊断的测量结果偶尔出现错误,进而导致了加料不够或者加料过剩的后果。在2021年夏季EAST实验中,多次出现了等离子体密度反馈错误导致超声分子束系统大量、高频加料的事件,对电子倍增管的影响表现为中性粒子信号急剧增多,阳极电流迅速增大并超过额定安全电流阈值,而电子倍增管多次受到中性粒子密度过高的等离子体辐照后出现了损坏的情况。因此迫切需要一种可以适当调节电子倍增管阳极电流的,并且在入射中性粒子通量异常增大、阳极电流过载情况下保护电子倍增管不被损坏的方法及系统。

发明内容

[0004] 本发明技术解决的问题:是针对现有的LENPA运行时电子倍增管部分存在的风险,即在托卡马克装置长脉冲高功率运行条件下,电子倍增管阳极电流过大可能影响使用寿命,以及等离子体破裂、密度反馈加料系统出错时电子倍增管易损坏的问题,提供一种电子倍增管的电流反馈保护方法及系统,具有经济、简单可靠的优点,实现对电子倍增管的保护。

[0005] 本发明采用的技术方案是:一种电子倍增管的电流反馈保护方法,包括:

[0006] 针对应用于高温等离子体诊断的电子倍增管,采样电子倍增管的阳极电流信号,与所述电子倍增管的额定安全电流阈值相比较,控制PLC的输出,产生PLC控制信号,利用PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,改变遮挡在电子倍增管正前方的圆孔面积,利用反馈控制的思想通过改变电子倍增管的粒子接收面积的方式控制入射粒子通量,实现阳极电流大小的实时调节,改变目前高温等离子体诊断领域,等离子体破裂及加料异常等事件发生时电子倍增管易损坏的状况,提高诊断的安全性。

[0007] 所述带孔圆形碟片上环向均布有3个圆孔,定义电子倍增管粒子接收窗口面积为 S_{em} ,则3个圆孔的面积分别为 S_{em} , $0.5S_{em}$, $0.001S_{em}$ 。

[0008] 一种电子倍增管的电流反馈保护系统,包括:

[0009] 采样模块,利用数据采集卡采集电子倍增管输出的,经过前置放大器转换、放大的阳极电流信号;

[0010] 控制模块,利用计算机将数据采集卡输出的电压信号值换算回电子倍增管阳极电流信号值,并与电子倍增管的额定安全电流阈值比较,将电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值的比值输出给PLC,PLC基于当前控制模块的工作状态及比值,生成PLC控制信号;

[0011] 调节模块,基于接收到的PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,改变电子倍增管正前方的圆孔面积,通过调整电子倍增管的粒子接收面积的方式控制入射粒子通量,最终达到调节电子倍增管阳极电流大小,保护电子倍增管的目的。

[0012] 所述控制模块工作状态包括,正常,电流过大,关闭,分别对应带孔圆形碟片上面积为 S_{em} , $0.5S_{em}$ 以及 $0.001S_{em}$ 的3个圆孔,可以通过主动控制或者反馈控制的方式进行调节。正常模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 S_{em} 情况下,阳极电流值与其额定安全电流阈值的比值小于或等于0.8的工作状态;电流过大模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 $0.5S_{em}$ 情况下,阳极电流值与其额定安全电流阈值的比值小于或等于0.8的工作状态;关闭模式对应电子倍增管在粒子接收面积为 $0.001S_{em}$ 情况下的工作状态。

[0013] 所述PLC基于当前控制模块的工作状态及比值,生成PLC控制信号,包括:

[0014] 当控制模块工作状态为正常且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值大于0.8时,生成的PLC控制信号可控制电机转动带孔圆形碟片,使得面积为 $0.5S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.5S_{em}$,通过减小粒子接收面积达到减小阳极电流的目的,同时调整控制模块工作状态为电流过大;

[0015] 当控制模块工作状态为电流过大且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值大于0.8时,生成的PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,使

得面积为 $0.001S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.001S_{em}$,同时调整控制模块工作状态为关闭。在目前主流托卡马克等离子体运行参数条件下,工作状态为关闭时,入射中性粒子通量极少,约为 $10^{14}\sim 10^{16}\text{atom m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$,平均阳极电流极小,约在 $10^{-2}\sim 10^{-1}\mu\text{A}$ 量级,远远低于电子倍增管的额定安全电流阈值,非常安全,极少量中性粒子的信号用来判断电子倍增管是否损坏。

[0016] 本发明的有益效果体现在:

[0017] 本发明提供的一种电子倍增管的电流反馈保护方法及系统,通过前置放大器配合数据采集卡获得电子倍增管阳极电流信号,与电子倍增管的额定安全电流阈值相比较,利用反馈控制的思想,通过调节电子倍增管的粒子接收面积控制入射粒子通量,实现电子倍增管的阳极电流的实时调节,比如在较大阳极电流情况下缩小电子倍增管粒子接收面积以减小阳极电流,在过载阳极电流情况下,将电子倍增管粒子接收窗口近乎遮挡。相比于目前国内主流托卡马克装置上LENPA系统中电子倍增管无保护方法及系统的状态,本发明可以在长脉冲高参数等离子体运行、以及破裂或者密度反馈错误导致过量加料等情况发生时,有效保护电子倍增管不被过量中性粒子入射而导致损坏,提高系统可靠性。

附图说明

[0018] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式,下面将对具体实施方式描述中所需要使用的附图作简单地介绍。

[0019] 图1为本发明提供的一种电子倍增管的电流反馈保护方法流程图;

[0020] 图2为本发明提供的一种电子倍增管的电流反馈保护系统示意图。其中,1.电子倍增管;2.电极法兰;3.高压电源;4.前置放大器;5.诊断专用接地端;6.数据采集卡;7.计算机;8.PLC;9.电机;10.转动轴;11.带孔圆形碟片;12.真空腔体;

[0021] 图3为带孔圆形碟片示意图,其中环向均布3个圆孔,定义电子倍增管粒子接收窗口面积为 S_{em} ,则3个圆孔的面积分别为 S_{em} , $0.5S_{em}$, $0.001S_{em}$ 。

具体实施方式

[0022] 下面将结合附图对本发明技术方案的实施例进行详细描述。本文中实施例仅用于辅助说明本发明的技术方案,只作为示例,并不能以此来限制本发明的保护范围。

[0023] 如图1所示,本发明具体实施方式提供一种电子倍增管的电流反馈保护方法,包括:

[0024] 步骤S1接收、放大、转换、采集电子倍增管输出的阳极电流信号;

[0025] 步骤S2将采集到的电压信号值换算回电子倍增管的阳极电流信号值后,与电子倍增管的额定安全电流阈值相比较,控制PLC的输出,生成PLC控制信号;

[0026] 步骤S3利用PLC控制信号控制电机的旋转以转动带孔圆形碟片,改变遮挡在电子倍增管正前方的圆孔面积,通过调节电子倍增管的粒子接收面积的方式控制入射粒子通量,实现阳极电流大小的实时控制。

[0027] 步骤S1接收、放大、转换、采集电子倍增管的阳极电流输出信号包括:

[0028] 将电子倍增管的信号输出端与前置放大器的信号输入端连接,通过前置放大器将电子倍增管输出的阳极电流信号放大并转换成电压信号;

[0029] 将前置放大器的信号输出端与数据采集卡的输入端连接,通过数据采集卡接收并采集电压信号;

[0030] 步骤S2中,控制PLC的输出,生成PLC控制信号包括:

[0031] 在计算机中将前置放大器输出的电压信号值除以前置放大器当前转换系数,换算回电子倍增管阳极电流信号;

[0032] 将计算机输出端与PLC输入端连接,将电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值输出给PLC;

[0033] PLC基于接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值及当前控制模块工作状态,反馈输出PLC控制信号;

[0034] 控制模块工作状态有3个,正常,电流过大,关闭,分别对应带孔圆形碟片上面积为 S_{em} , $0.5S_{em}$ 以及 $0.001S_{em}$ 的3个圆孔,如图3所示,可以通过主动控制或者反馈控制的方式进行切换;

[0035] 所述PLC反馈输出的控制信号有2个,具体如下:

[0036] 当控制模块工作状态为正常且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值大于0.8时,输出PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,使得面积为 $0.5S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.5S_{em}$,同时调整控制模块工作状态为电流过大;

[0037] 当控制模块工作状态为电流过大且PLC接收到的电子倍增管阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值大于0.8时,输出PLC控制信号控制电机转动带孔圆形碟片,使得面积为 $0.001S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管粒子接收窗口前方,调节电子倍增管粒子接收面积为 $0.001S_{em}$,同时调整控制模块工作状态为关闭;

[0038] 实施例1:

[0039] 首先,等离子体放电实验即将开始时,可以通过计算机7主动控制PLC生成PLC控制信号,使控制模块的状态变为正常,也即通过电机9旋转使得带孔圆形碟片11的面积为 S_{em} 的圆孔位于电子倍增管1正前方;

[0040] 如图2所示,电子倍增管的高压极、信号极、接地极均通过电极法兰2分别与高压电源3、前置放大器4以及诊断专用接地端5连接;

[0041] 等离子体放电实验开始后,如图2所示,中性粒子通过带孔圆形碟片11后入射进电子倍增管1,转换成二次电子,二次电子经过倍增后形成阳极电流信号,最终通过信号极输入到前置放大器4;

[0042] 如图2所示,前置放大器4的输出端与数据采集卡6的输入端相连,前置放大器4将阳极电流信号转换并放大为电压信号,输出到数据采集卡6;

[0043] 如图2所示,数据采集卡6的输出端与计算机7相连,数据采集卡6将电压信号采集后,输出到计算机7中并存储,计算机7将电压信号值除以前置放大器4的当前转换系数换算回电子倍增管1的阳极电流信号值,进而得到电子倍增管1的阳极电流与所述的电子倍增管1的额定安全电流阈值的比值,并将该比值输出到PLC8;

[0044] 当控制模块工作状态为正常且PLC8接收到的电子倍增管1阳极电流信号与其额定安全电流阈值信号的比值小于或者等于0.8时,PLC8不输出控制信号;

[0045] 当控制模块工作状态为正常且PLC8接收到的电子倍增管1阳极电流信号与其额定

安全电流阈值信号的比值大于0.8时,PLC8输出控制信号控制电机9转动带孔圆形碟片11,使得面积为 $0.5S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管1粒子接收窗口前方,调节电子倍增管1粒子接收面积到 $0.5S_{em}$,同时调整控制模块工作状态为电流过大;

[0046] 当控制模块工作状态为电流过大且PLC8接收到的电子倍增管1阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值小于或者等于0.8时,PLC8不输出控制信号;

[0047] 当控制模块工作状态为电流过大且PLC8接收到的电子倍增管1阳极电流信号与额定安全电流阈值信号的比值大于0.8时,PLC8输出控制信号控制电机9转动带孔圆形碟片11,使得面积为 $0.001S_{em}$ 的圆孔转到电子倍增管1粒子接收窗口前方,调节电子倍增管1粒子接收面积到 $0.001S_{em}$,同时调整控制模块工作状态为关闭。

[0048] 实施例2:

[0049] 基于具体实施方式中的电流反馈保护方法,本实施例2提供一种电子倍增管的电流反馈保护系统,包括:

[0050] 采样模块,用于接收、转换、放大、采集阳极电流信号;

[0051] 控制模块,用于将电子倍增管1的阳极电流信号与所述电子倍增管1的额定安全电流阈值相比较,控制PLC8的输出,生成PLC控制信号。计算机7接收数据采集卡6输出的电压信号,并除以前置放大器4的当前转换系数,换算回电子倍增管1的阳极电流信号,计算阳极电流信号与所述的电子倍增管1的额定安全电流阈值的比值,并输出给PLC8,PLC8根据接收到的比值及当前控制模块工作状态,生成PLC控制信号;

[0052] 调节模块,利用PLC8输出的PLC控制信号控制电机9的旋转,通过传动轴10转动带孔圆形碟片11改变遮挡在电子倍增管1正前方的圆孔面积,通过调节电子倍增管1的粒子接收面积控制入射粒子通量,调节其阳极电流大小;

[0053] 其中,采样模块包括:

[0054] 转换模块,用于转换并放大阳极电流信号的前置放大器4;

[0055] 采集模块,用于采集前置放大器4输出电压信号的数据采集卡6。

[0056] 以上虽然描述了本发明的具体实施方法,但是本领域的技术人员应当理解,这些仅是举例说明,在不背离本发明原理和实现的前提下,可以对这些实施方案做出多种变更或修改,因此,本发明的保护范围由所附权利要求书限定。

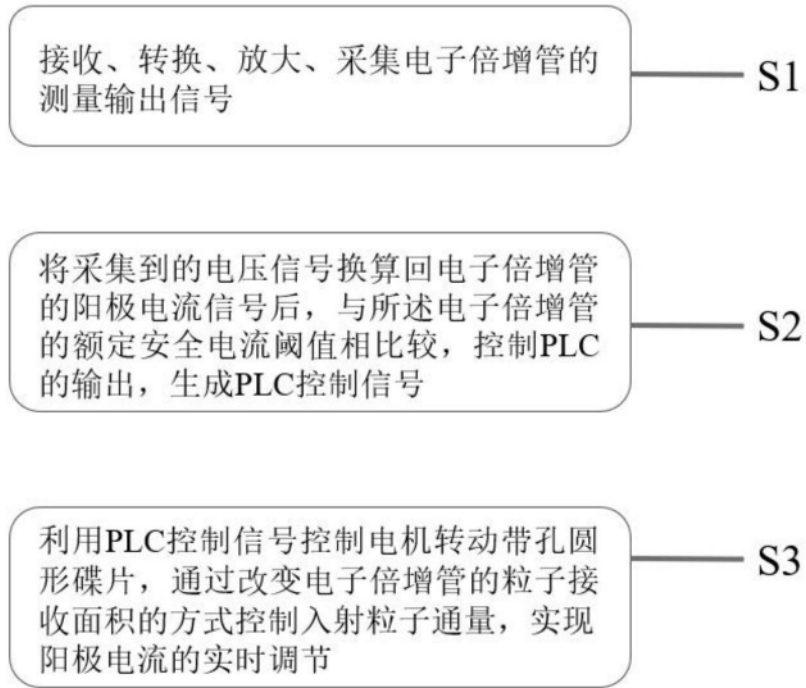


图1

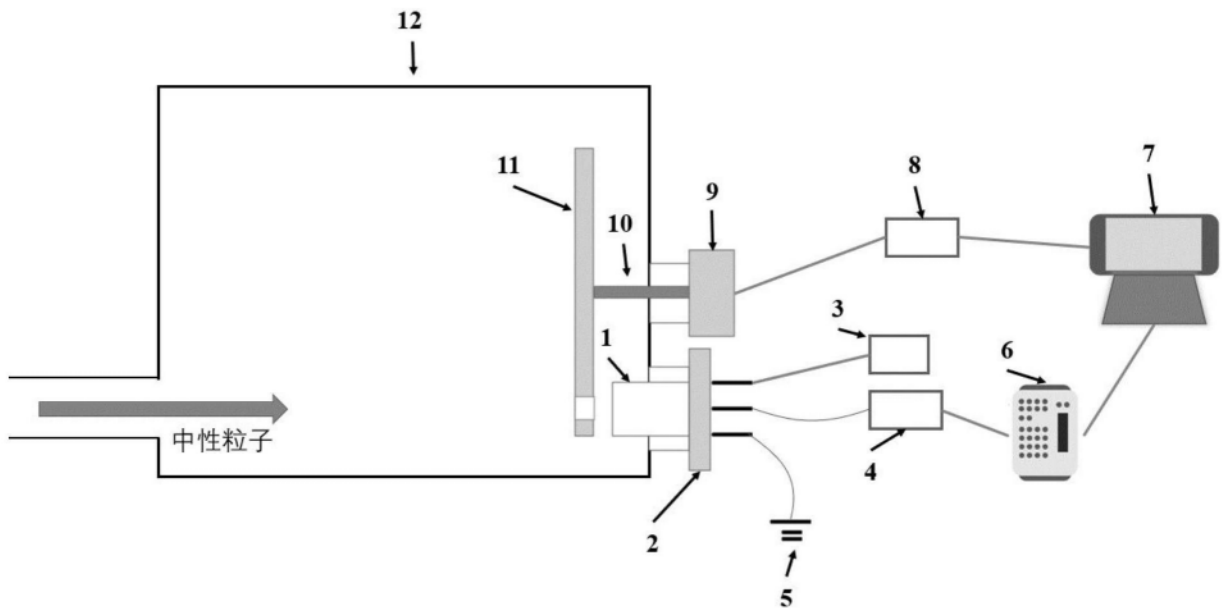


图2

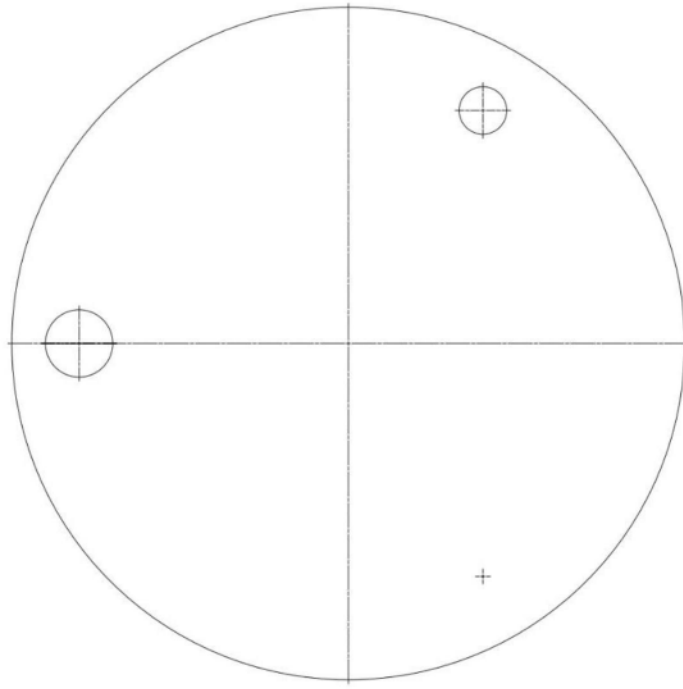


图3