



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111060321 A

(43)申请公布日 2020.04.24

(21)申请号 202010063675.6

(22)申请日 2020.01.20

(71)申请人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 马宏伟 屈冬平

(51)Int.Cl.  
G01M 15/02(2006.01)  
G01D 21/02(2006.01)

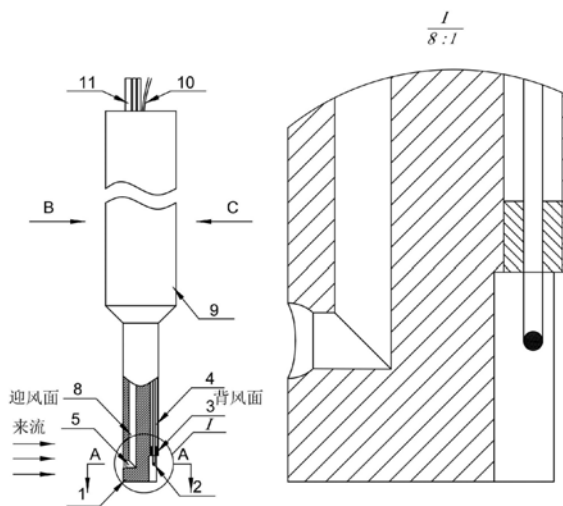
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针

(57)摘要

本发明属于流场测试技术领域,具体涉及一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,包括探针头部、温度传感器、绝热绝缘密封件、温度传感器线缆引出通道、测压孔、引压管通道、探针支杆、温度传感器线缆和引压管。探针头部为圆柱形,迎风面上开有互不相通的测压中孔、测压左孔和测压右孔,背对测压中孔的背风面侧沿轴向开设一梯形槽,温度传感器置于梯形槽内,位于探针头部背风面的低速分离区。本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针可以同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度、密度,具有尺寸小、气流不敏感角大、可靠性高、空间分辨率高、测量精度高、响应时间快的特点。



CN 111060321 A

1. 一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,由探针头部(1)、温度传感器(2)、绝热绝缘密封件(3)、温度传感器线缆引出通道(4)、测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)、引压管通道(8)、探针支杆(9)、温度传感器线缆(10)和引压管(11)组成,其特征在于:探针头部(1)为圆柱形,探针头部迎风面上开有互不相通的测压中孔(5)、测压左孔(6)和测压右孔(7),背对测压中孔(5)的探针头部背风面侧沿轴向切去一梯形槽,温度传感器(2)置于梯形槽内;

探针头部(1)圆柱形的直径为1~6毫米,长度为5~45毫米,沿探针轴向开设有互不相通的三个圆形引压管通道(8)和一个圆形温度传感器线缆引出通道(4),三个圆形引压管通道(8)分别与探针头部顶端的测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)连通,并分别与封装在探针头部与探针支杆连接处的三根引压管连通,引压管(11)通过探针支杆(9)内的引压管通道(8)引出探针支杆(9)尾部;

测压中孔(5)孔口为往里凹进去的半球面形,球面直径为0.3~2.4毫米,测压中孔(5)直径为0.2~2毫米,测压中孔(5)中心线与柱体中心线垂直且相交,且与探针头部(1)顶端距离为0.5~4毫米;测压左孔(6)、测压右孔(7)均为圆形,直径相同均为测压中孔(5)直径的二分之一,测压左孔(6)中心线与测压右孔(7)中心线所在平面与柱体中心线垂直,且相交于柱体中心线上,测压左孔(6)、测压右孔(7)关于测压中孔(5)中心线和柱面中心线形成的平面对称,在探针头部(1)圆柱体表面上的圆周夹角为 $15^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ ,测压左孔(6)、测压右孔(7)中心线与探针头部(1)顶端距离为0.2~1.5毫米;

梯形槽沿探针轴线方向的长度为0.8~6毫米,梯形槽两侧面的夹角为 $90^{\circ}$ ~ $150^{\circ}$ ,梯形槽垂直于测压中孔中心线的面与柱体中心线的距离为0.1~1.5毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线与柱体中心线的距离为0.3~2.5毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线、柱体中心线及测压中孔引压管通道(8)中心线在同一平面,且温度传感器线缆引出通道(4)中心线、测压中孔引压管通道(8)中心线在柱体中心线的两侧,温度传感器头部位于测压中孔(5)中心线与温度传感器线缆引出通道(4)中心线的交点上,温度传感器(2)通过绝热绝缘密封件(3)固定,温度传感器线缆(10)通过探针内的温度传感器线缆引出通道(4)引出探针支杆(9)尾部,探针头部(1)圆柱体轴线与探针支杆(9)圆柱体轴线重合;

测量前,通过校准风洞对本发明探针进行标定,获得探针校准曲线;实际测量中,基于本发明探针三个测压孔和温度传感器测得的数据,再根据标定获得的校准系数曲线及公式,通过数据处理,可同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度;本发明三个测压孔呈“品”字形布置,有效减小了探针头部直径,提高了气流偏转角测量范围;本发明温度传感器(2)背对主流、置于探针头部(1)背风面的布局和结构设计,有效提高了温度传感器(2)的使用寿命;提高了探针空间分辨率;加强了气流与温度传感器(2)的对流换热,提高了测量精度。

## 一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针

### 技术领域

[0001] 本发明属于流场测试技术领域,具体涉及一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,适用于航空发动机进气道、压气机、风扇等机匣内壁附面层内二维复杂流场的测量。

### 背景技术

[0002] 气流沿壁面流动时,受壁面无滑移条件和外流的速度条件控制,气流在近壁面一层较薄区域产生了较强的法向速度梯度,该层区域称之为附面层。航空发动机进气道、压气机、风扇等机匣内壁附面层,受转子旋转、动静叶片排的交错排列以及叶顶间隙泄漏流和附面层的相互作用的影响,其内流动十分复杂,同时由于附面层厚度较薄,因此准确测量机匣内壁附面层内参数十分困难。

[0003] 目前常分开采用附面层压力探针、热线风速仪分别测量附面层内总压及速度参数,也即分开使用单个探针测量单一参数,这样的测量方式一方面会对薄的附面层流场造成较大的干扰,另一方面增加了测试的复杂程度及试验测试的成本,最重要的是不同探针测得的流动参数无法保证来自同一流线,那么组合计算速度等参数时会带来额外的误差,从而降低试验测试的精度。

[0004] 现有的三孔压力探针其三个测压孔大多在探针头部的同一横截面上,且测压孔的直径相同,左右两测压孔的沿探针头部表面周向夹角较大,故探针头部横向尺寸也即探针头部直径较大,空间分辨率较低,且气流偏转角测量范围较小。

[0005] 现有的温度探针大多数都是按照温度传感器正对主流的要求设计的,温度探针头部采用滞止罩结构,收集来流,温度传感器放在滞止罩内,其缺点是,第一,温度传感器直接被流体冲刷,易受气流中夹杂的油滴、灰尘等的影响,易损坏;第二,通常通过增大温度传感器的尺寸来提高传感器的强度,再加上滞止罩的尺寸,故探针尺寸较大,这样会使得其空间分辨率较差;第三,气流不敏感角较小,当待测来流的偏转角较大时,气流无法实现充分滞止;同时温度传感器表面热交换不充分,总温测量误差较大。

[0006] 也有采用单根温度压力组合探针同时测量流场的温度和压力,现有的温度压力组合探针其温度传感器均正对主流,存在上述温度探针的缺点,难以满足测量附面层内流场对空间分辨率的要求,不适用附面层内二维流场全参数的精确测量,因此,急需一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,用于航空发动机进气道、压气机、风扇等机匣内壁附面层内二维复杂流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度、密度等全参数的测量。

### 发明内容

[0007] 本发明的一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,探针头部为圆柱形,探针头部迎风面上开有互不相通的测压中孔、测压左孔和测压右孔,相较于传统三孔压力探针三个测压孔布置在探针头部同一横截面上,也即呈“一”字形布置,本发明创造性

地提出了三个测压孔呈“品”字形布置,有效减小了探针头部横向尺寸也即探针头部直径,其中相较于测压左孔和测压右孔,测压中孔与探针头部顶端的距离较大,尤其适用于航空发动机进气道、压气机、风扇等机匣内壁面附面层内二维稳态流场参数的测量,同时测压左孔、测压右孔中心线在探针头部圆柱体表面上的圆周夹角较小,有效提高了气流偏转角测量范围。本发明摒弃了传统的总温探针设计理念,没有按照温度传感器正对主流、采用滞止罩使气流滞止以实现总温测量的方法进行设计,而是基于申请人多年的研究,创造性地提出了温度传感器背对主流、置于探针头部背风面的布局 and 结构设计,并且温度传感器位于测压中孔的中心轴线上,能够保证同一流线上全参数的测量,同时,有效减小了气流对温度传感器的冲刷及气流中夹杂的油滴、灰尘等对温度传感器的影响,提高了温度传感器的使用寿命;有效减小了探针头部尺寸,提高了探针空间分辨率;加强了气流与温度传感器的对流换热,使得在较大的偏转角范围内温度恢复系数高且稳定。最重要的是,本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,采用单根探针即可同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度、密度。

[0008] 本发明提供了一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,要解决的技术问题是:第一,现有的探针无法同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度、密度等全参数的问题;第二,现有的温度探针温度传感器易损坏、寿命短的问题;第三,现有的探针尺寸大、空间分辨率差、响应慢的问题;第四,现有的温度探针气流不敏感角小的问题;第五,现有的压力探针测量偏转角范围较小的问题。

[0009] 本发明解决的技术方案是:

[0010] 1、一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,由探针头部(1)、温度传感器(2)、绝热绝缘密封件(3)、温度传感器线缆引出通道(4)、测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)、引压管通道(8)、探针支杆(9)、温度传感器线缆(10)和引压管(11)组成,其特征在于:探针头部(1)为圆柱形,探针头部(1)迎风面上开有互不相通的测压中孔(5)、测压左孔(6)和测压右孔(7),背对测压中孔(5)的探针头部(1)背风面侧沿轴向切去一梯形槽,温度传感器(2)置于梯形槽内。

[0011] 2、进一步,探针头部(1)圆柱形的直径为1~6毫米,长度为5~45毫米,沿探针轴向开设有互不相通的三个圆形引压管通道(8)和一个圆形温度传感器线缆引出通道(4),三个圆形引压管通道(8)分别与探针头部(1)顶端的测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)连通,并分别与封装在探针头部(1)与探针支杆(9)连接处的三根引压管连通,引压管(11)通过探针支杆(9)内的引压管通道(8)引出探针支杆(9)尾部。

[0012] 3、进一步,测压中孔(5)孔口为往里凹进去的半球面形,球面直径为0.3~2.4毫米,测压中孔(5)直径为0.2~2毫米,测压中孔(5)中心线与柱体中心线垂直且相交,且与探针头部(1)顶端距离为0.5~4毫米;测压左孔(6)、测压右孔(7)均为圆形,直径相同均为测压中孔(5)直径的二分之一,测压左孔(6)中心线与测压右孔(7)中心线所在平面与柱体中心线垂直,且相交于柱体中心线上,测压左孔(6)、测压右孔(7)关于测压中孔(5)中心线和柱面中心线形成的平面对称,在探针头部(1)圆柱体表面上的圆周夹角为 $15^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ ,测压左孔(6)、测压右孔(7)中心线与探针头部(1)顶端距离为0.2~1.5毫米。

[0013] 4、进一步,梯形槽沿探针轴线方向的长度为0.8~6毫米,梯形槽两侧面的夹角为 $90^{\circ}$ ~ $150^{\circ}$ ,梯形槽垂直于测压中孔(5)中心线的面与柱体中心线的距离为0.1~1.5毫米,

温度传感器线缆引出通道(4)中心线与柱体中心线的距离为0.3~2.5毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线、柱体中心线及测压中孔引压管通道(8)中心线在同一平面,且温度传感器线缆引出通道(4)中心线、测压中孔引压管通道(8)中心线在柱体中心线的两侧,温度传感器(2)头部位于测压中孔(5)中心线与温度传感器线缆引出通道(4)中心线的交点上,温度传感器(2)通过绝热绝缘密封件(3)固定,绝热绝缘密封件(3)起到绝热、绝缘、密封、固定的作用,温度传感器线缆(10)通过探针内的温度传感器线缆引出通道(4)引出探针支杆(9)尾部,探针头部(1)圆柱体轴线与探针支杆(9)圆柱体轴线重合。

[0014] 5、本发明探针经过校准后,可同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度。

[0015] 本发明的有益效果是:

[0016] 本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针使用单个探针即可同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度,有效减少了对被测流场的干扰,提高了试验测试精度,同时简化了试验操作,降低了试验测试成本。

[0017] 相较于测压左孔和测压右孔,测压中孔与探针头部顶端的距离较大,尤其适用于航空发动机进气道、压气机、风扇等机匣内壁面附面层内二维稳态流场参数的测量,同时测压中孔直径较大,测压左孔、测压右孔中心线在探针头部圆柱体表面上的圆周夹角较小,因此有效提高了气流偏转角测量范围,减小了探针头部尺寸。

[0018] 温度传感器背对主流,位于探针头部背风面的低速分离区,首先减小了气流对温度传感器的冲刷,同时减少了气流中夹杂的油滴、灰尘等对温度传感器的影响,有效提高了温度传感器的使用寿命;第二,对温度传感器的强度要求较低,温度传感器的尺寸可以较小,同时无需滞止罩收集来流,故探针的尺寸较小,其空间分辨率高;第三,分离低速区的范围较大,分离区内的对涡有效加强了气流与温度传感器的换热,因此测量时在较大的偏转角范围内温度恢复系数高且稳定;第四,温度传感器直接置于流场中,其响应时间快。同时本发明将温度传感器放置在探针头部背风面,温度传感器位于测压中孔的中心线上,由此保证了同一流线全参数的同时测量。

[0019] 本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针可同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场的全参数,具有尺寸小、气流不敏感角大、可靠性高、空间分辨率高、测量精度高、响应时间快的特点。

## 附图说明

[0020] 图1是本发明实施例一中的一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针的结构示意图。

[0021] 图2是图1的A向视图。

[0022] 图3是图1的右视图。

[0023] 图4是图1的左视图。

[0024] 其中:1-探针头部,2-温度传感器,3-绝热绝缘密封件,4-温度传感器线缆引出通道,5-测压中孔,6-测压左孔,7-测压右孔,8-引压管通道,9-探针支杆,10-温度传感器线缆,11-引压管。

[0025] 图5本发明探针用于测量压气机级间机匣内壁附面层二维流场的安装示意图。

[0026] 其中:1-机匣壁面,2-第一级转子,3-第一级静子,4-第二级转子,5-第二级静子,6-第三级转子,7-第三级静子,8-轮毂壁面,9-本发明探针,10-附面层速度型。

[0027] 图6是本发明实施例二中的一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针的结构示意图。

[0028] 图7图6的A向视图。

[0029] 图8图6的右视图。

[0030] 图9图6的左视图。

[0031] 其中:1-探针头部,2-温度传感器,3-绝热绝缘密封件,4-温度传感器线缆引出通道,5-测压中孔,6-测压左孔,7-测压右孔,8-引压管通道,9-探针支杆,10-温度传感器线缆,11-引压管。

[0032] 图10发明探针用于测量航空发动机进气道机匣内壁附面层二维流场的安装示意图。

[0033] 其中:1-机匣壁面,2-本发明探针,3-附面层速度型。

### 具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明的较佳实施例进行详细阐述,以使本发明的优点和特征能更易于被本领域技术人员理解,从而对本发明的保护范围做出更为清楚明确的界定。

[0035] 实施例一:

[0036] 对于叶轮机级间机匣内壁附面层的测量,其测量空间狭窄、附面层较薄、来流二维性较强、偏转角较大,但是速度相对较低。为了保证空间分辨率,应选择较小的探针头部横向尺寸及测压孔直径,温度感传感器可采用尺寸更小的裸丝热电偶,以保证精细化测量,提高测量精度,因此可采用下述实施方式:

[0037] 如图1~4所示为应用于测量压气机级间机匣内壁附面层的本发明探针示意图,图5为本发明探针用于测量压气机级间机匣内壁附面层的安装示意图。本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,由探针头部(1)、温度传感器(2)、绝热绝缘密封件(3)、温度传感器线缆引出通道(4)、测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)、引压管通道(8)、探针支杆(9)、温度传感器线缆(10)和引压管(11)组成,其特征在于:探针头部(1)为圆柱形,探针头部(1)迎风面上开有互不相通的测压中孔(5)、测压左孔(6)和测压右孔(7),背对测压中孔(5)的探针头部(1)背风面侧沿轴向切去一梯形槽,温度传感器(2)置于梯形槽内,温度传感器为裸丝热电偶。

[0038] 探针头部(1)圆柱形的直径为1毫米,长度为5毫米,沿探针轴向开设有互不相通的三个圆形引压管通道(8)和一个圆形温度传感器线缆引出通道(4),三个圆形引压管通道(8)分别与探针头部(1)顶端的测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)连通,并分别与封装在探针头部(1)与探针支杆(9)连接处的三根引压管连通,引压管(11)通过探针支杆(9)内的引压管通道(8)引出探针支杆(9)尾部。

[0039] 测压中孔(5)孔口为往里凹进去的半球面形,球面直径为0.3毫米,测压中孔(5)直径为0.2毫米,测压中孔(5)中心线与柱体中心线垂直且相交,且与探针头部(1)顶端距离为0.5毫米;测压左孔(6)、测压右孔(7)均为圆形,直径相同均为测压中孔(5)直径的二分之

一,测压左孔(6)中心线与测压右孔(7)中心线所在平面与柱体中心线垂直,且相交于柱体中心线上,测压左孔(6)、测压右孔(7)关于测压中孔(5)中心线和柱面中心线形成的平面对称,在探针头部(1)圆柱体表面上的圆周夹角为 $15^\circ$ ,测压左孔(6)、测压右孔(7)中心线与探针头部(1)顶端距离为0.2毫米。

[0040] 梯形槽沿探针轴线方向的长度为0.8毫米,梯形槽两侧面的夹角为 $90^\circ$ ,梯形槽垂直于测压中孔(5)中心线的面与柱体中心线的距离为0.1毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线与柱体中心线的距离为0.3毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线、柱体中心线及测压中孔引压管通道(8)中心线在同一平面,且温度传感器线缆引出通道(4)中心线、测压中孔引压管通道(8)中心线在柱体中心线的两侧,温度传感器(2)头部位于测压中孔(5)中心线与温度传感器线缆引出通道(4)中心线的交点上,温度传感器(2)通过绝热绝缘密封件(3)固定,温度传感器线缆(10)通过探针内的温度传感器线缆引出通道(4)引出探针支杆(9)尾部,探针头部(1)圆柱体轴线与探针支杆(9)圆柱体轴线重合。

[0041] 本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针基于流体绕流探针头部的特性,利用探针头部迎风面的测压孔测量得到的压力分布,及探针头部背风面的温度传感器测量得到气流总温,再利用标准风洞校准得到的校准系数曲线,计算得到机匣内壁附面层内二维流场的全参数。具体使用方法如下:

[0042] 使用前需对本发明探针进行校准,获得探针的气动校准曲线。所述的探针校准在校准风洞中进行,在校准范围内,分别在不同马赫数下,改变探针偏转角,经气动校准可得各校准系数随偏转角和马赫数的变化曲线;所述的校准系数,包括偏转角系数、总压系数、静压系数及温度恢复系数,其定义如下:

$$[0043] \quad C_{py} = \frac{P_2 - P_3}{P_1 - 0.5(P_2 + P_3)}$$

$$[0044] \quad C_{pt} = \frac{P_t - P_1}{P_1 - 0.5(P_2 + P_3)}$$

$$[0045] \quad C_{ps} = \frac{P_t - P_s}{P_1 - 0.5(P_2 + P_3)}$$

$$[0046] \quad C_T = \frac{T_p - T_s}{T_t - T_s}$$

[0047] 其中, $C_{py}$ 为偏转角系数, $C_{pt}$ 为总压系数, $C_{ps}$ 为静压系数, $C_T$ 为温度恢复系数, $P_t$ 、 $P_s$ 、 $T_t$ 和 $T_s$ 分别为校准风洞来流总压、静压、总温和静温, $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_3$ 分别为测压中孔、测压左孔和测压右孔测得的压力值, $T_p$ 为温度传感器测得的温度值。

[0048] 使用时将本发明探针插入被测流场,获得三个测压孔测得的压力及探针头部背风面温度传感器测得的温度,基于三个测压孔测得的压力及探针头部背风面温度传感器测得的温度,根据已知的校准系数曲线,结合如下公式,得到二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度。

$$[0049] \quad \frac{P_t}{P_s} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} Ma^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$[0050] \quad \frac{T_t}{T_s} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} Ma^2$$

[0051]  $Ma = \frac{v}{c}$

[0052]  $c^2 = \gamma RT_s$

[0053]  $P_s = \rho RT_s$

[0054] 其中,  $P_t$ 和 $P_s$ 是流场总压和静压,  $\gamma$  是流场的绝热指数,  $T_t$ 和 $T_s$ 是流场总温和静温,  $Ma$ 是流场马赫数,  $v$ 是流场速度,  $\rho$ 是密度,  $c$ 是流场当地声速,  $R$ 是气体常数。

[0055] 也即采用单根本发明探针即可同时获得机匣内壁附面层内二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度。

[0056] 实施例二:

[0057] 对于航空发动机进气道附面层的测量,其流道较长、附面层较厚、来流较均匀,但是由于进气道内速度较大,易含有灰尘、雨水等杂质。故应选择较大的探针头部横向尺寸以保证强度和刚度,测压孔应选择较大直径以防止被灰尘、雨水等杂质污染,温度传感器可采用铠装热电偶以保证寿命。因此可采用下述实施方案:

[0058] 如图6~9所示为应用于测量进气道内壁附面层的本发明探针示意图,图10为本发明探针用于测量进气道内壁附面层的安装示意图。本发明一种测量机匣内壁附面层内二维稳态流场全参数的探针,由探针头部(1)、温度传感器(2)、绝热绝缘密封件(3)、温度传感器线缆引出通道(4)、测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)、引压管通道(8)、探针支杆(9)、温度传感器线缆(10)和引压管(11)组成,其特征在于:探针头部(1)为圆柱形,探针头部(1)迎风面上开有互不相通的测压中孔(5)、测压左孔(6)和测压右孔(7),背对测压中孔(5)的探针头部(1)背风面侧沿轴向切去一梯形槽,温度传感器(2)置于梯形槽内,温度传感器为铠装热电偶。

[0059] 探针头部(1)圆柱形的直径为6毫米,长度为45毫米,沿探针轴向开设有互不相通的三个圆形引压管通道(8)和一个圆形温度传感器线缆引出通道(4),三个圆形引压管通道(8)分别与探针头部(1)顶端的测压中孔(5)、测压左孔(6)、测压右孔(7)连通,并分别与封装在探针头部(1)与探针支杆(9)连接处的三根引压管连通,引压管(11)通过探针支杆(9)内的引压管通道(8)引出探针支杆(9)尾部。

[0060] 测压中孔(5)孔口为往里凹进去的半球面形,球面直径为2.4毫米,测压中孔(5)直径为2毫米,测压中孔(5)中心线与柱体中心线垂直且相交,且与探针头部(1)顶端距离为4毫米;测压左孔(6)、测压右孔(7)均为圆形,直径相同均为测压中孔(5)直径的二分之一,测压左孔(6)中心线与测压右孔(7)中心线所在平面与柱体中心线垂直,且相交于柱体中心线上,测压左孔(6)、测压右孔(7)关于测压中孔(5)中心线和柱面中心线形成的平面对称,在探针头部(1)圆柱体表面上的圆周夹角为 $60^\circ$ ,测压左孔(6)、测压右孔(7)中心线与探针头部(1)顶端距离为1.5毫米。

[0061] 梯形槽沿探针轴线方向的长度为6毫米,梯形槽两侧面的夹角为 $150^\circ$ ,梯形槽垂直于测压中孔(5)中心线的面与柱体中心线的距离为1.5毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线与柱体中心线的距离为2.5毫米,温度传感器线缆引出通道(4)中心线、柱体中心线及测压中孔引压管通道(8)中心线在同一平面,且温度传感器线缆引出通道(4)中心线、测压中孔引压管通道(8)中心线在柱体中心线的两侧,温度传感器(2)头部位于测压中孔(5)中心线与温度传感器线缆引出通道(4)中心线的交点上,温度传感器(2)通过绝热绝缘密封

件(3)固定,温度传感器线缆(10)通过探针内的温度传感器线缆引出通道(4)引出探针支杆(9)尾部,探针头部(1)圆柱体轴线与探针支杆(9)圆柱体轴线重合。

[0062] 也即采用单根本发明探针即可同时获得机匣内壁附面层内二维稳态流场的总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度及密度,有效减少了对被测流场的干扰,提高了试验测试精度,同时简化了试验操作,降低了试验测试成本;本发明三个测压孔呈“品”字形布置,有效减小了探针头部直径,提高了气流偏转角测量范围;本发明温度传感器(2)背对主流、置于探针头部(1)背风面的布局 and 结构设计,有效减小了气流对温度传感器(2)的冲刷及气流中夹杂的油滴、灰尘等对温度传感器(2)的影响,提高了温度传感器(2)的使用寿命;有效减小了探针头部(1)尺寸,提高了探针空间分辨率;加强了气流与温度传感器(2)的对流换热,使得在较大的偏转角范围内温度恢复系数高且稳定;并且温度传感器(2)位于测压中孔的中心轴线上,能够保证同一流线的多参数测量。本发明有效解决了现有的探针无法同时测量机匣内壁附面层内二维稳态流场总温、总压、静温、静压、马赫数、偏转角、速度、密度等全参数的问题;解决了现有的温度探针温度传感器易损坏、寿命短的问题;解决了现有的探针尺寸大、空间分辨率差、响应慢的问题;解决了现有的温度探针气流不敏感角小的问题;解决了现有的压力探针测量偏转角范围较小的问题。

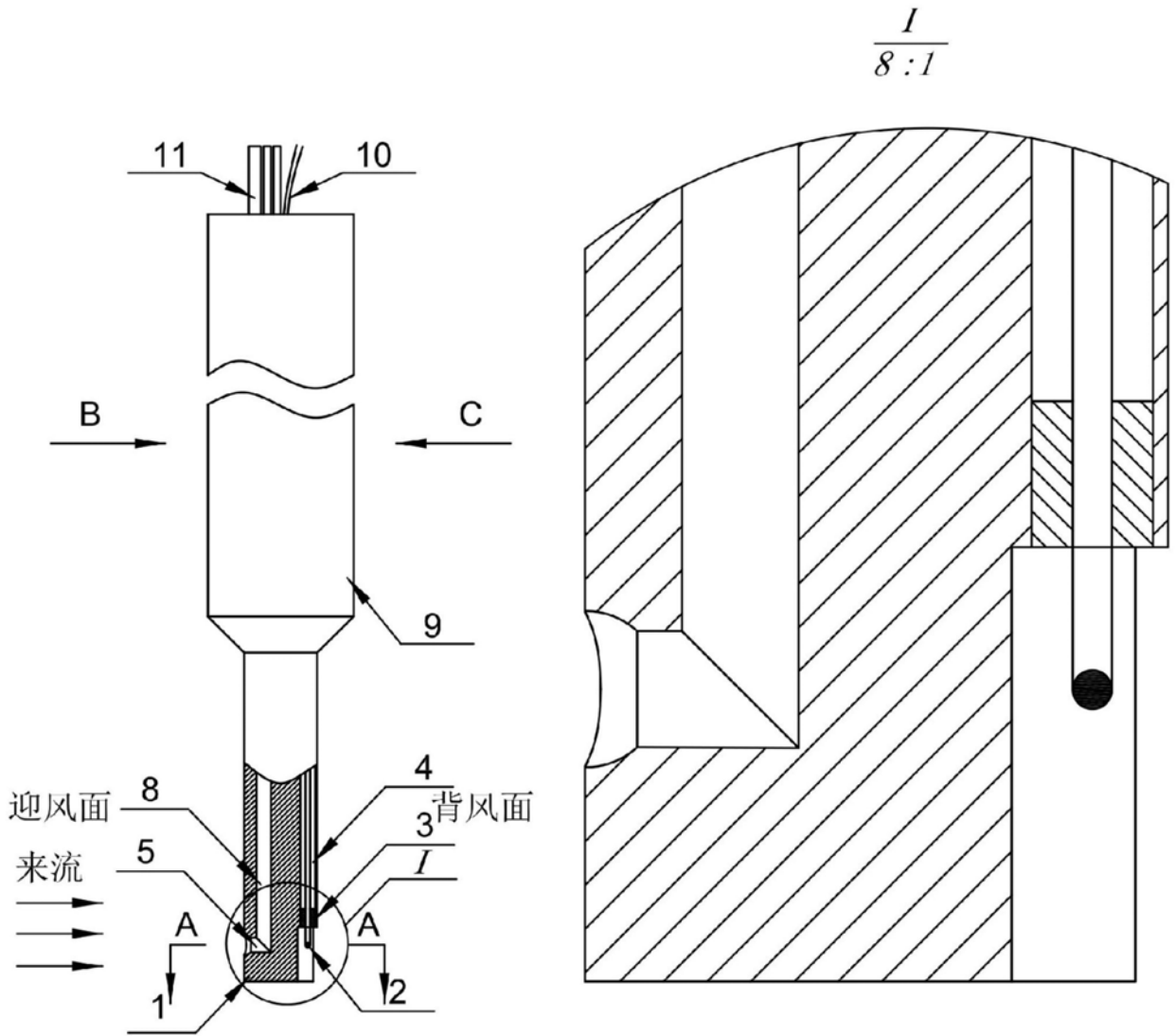


图1

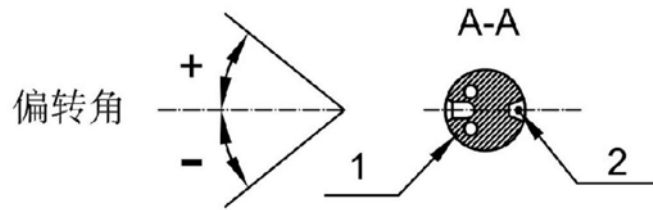


图2

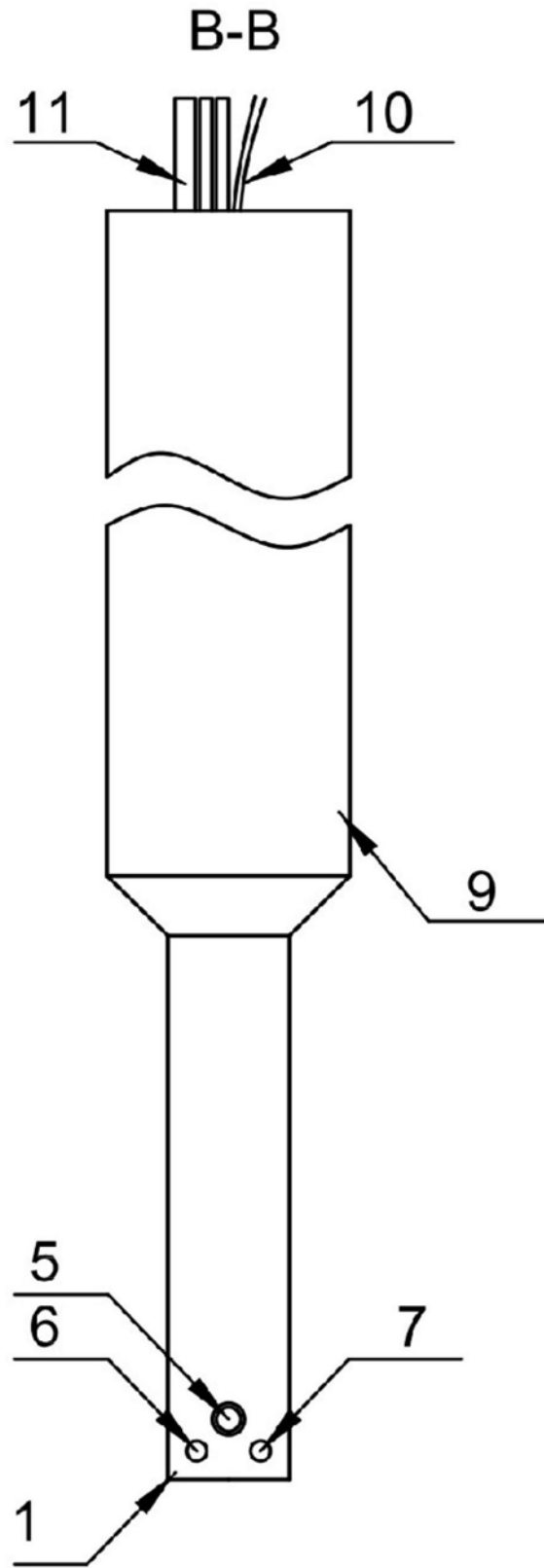


图3

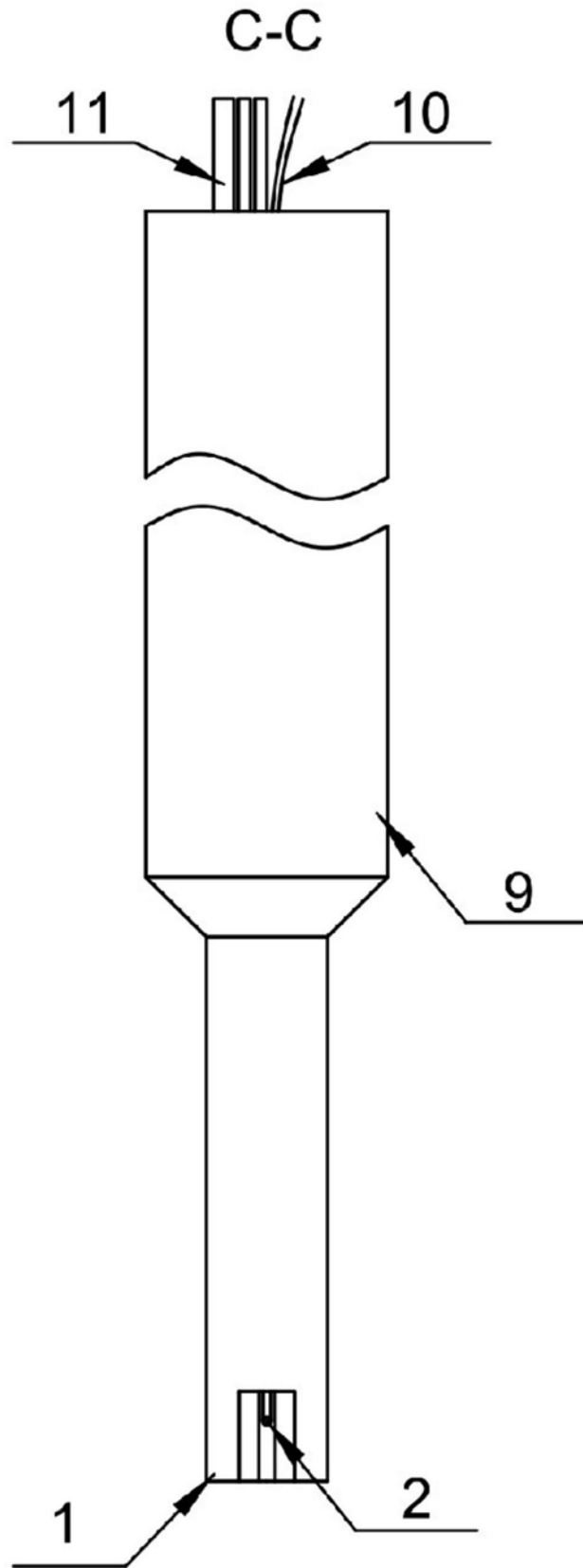


图4

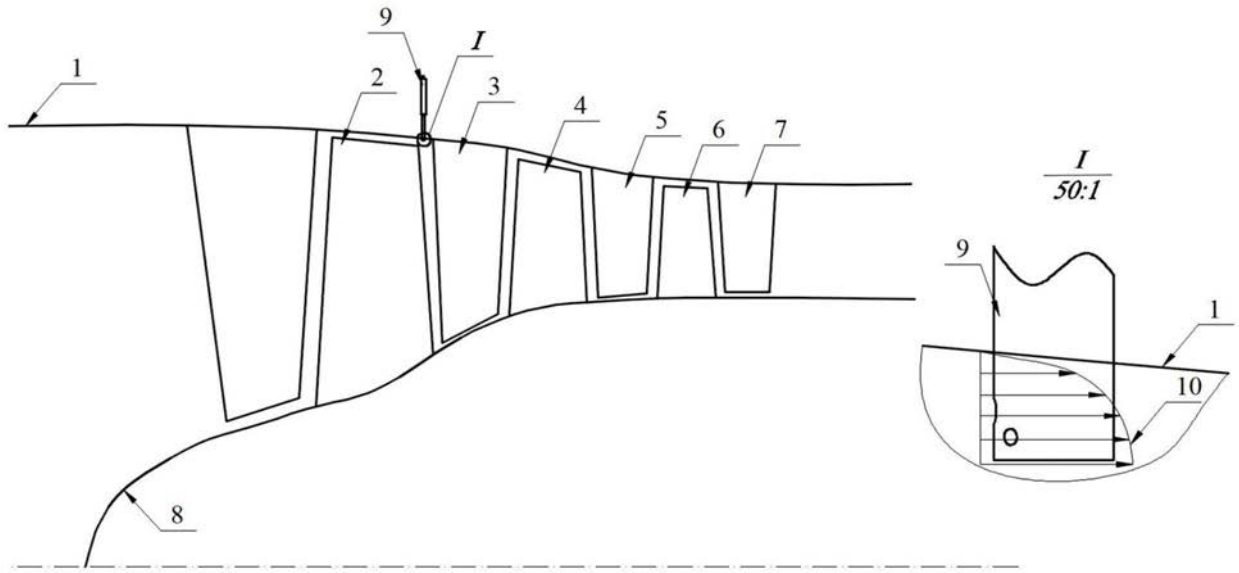


图5

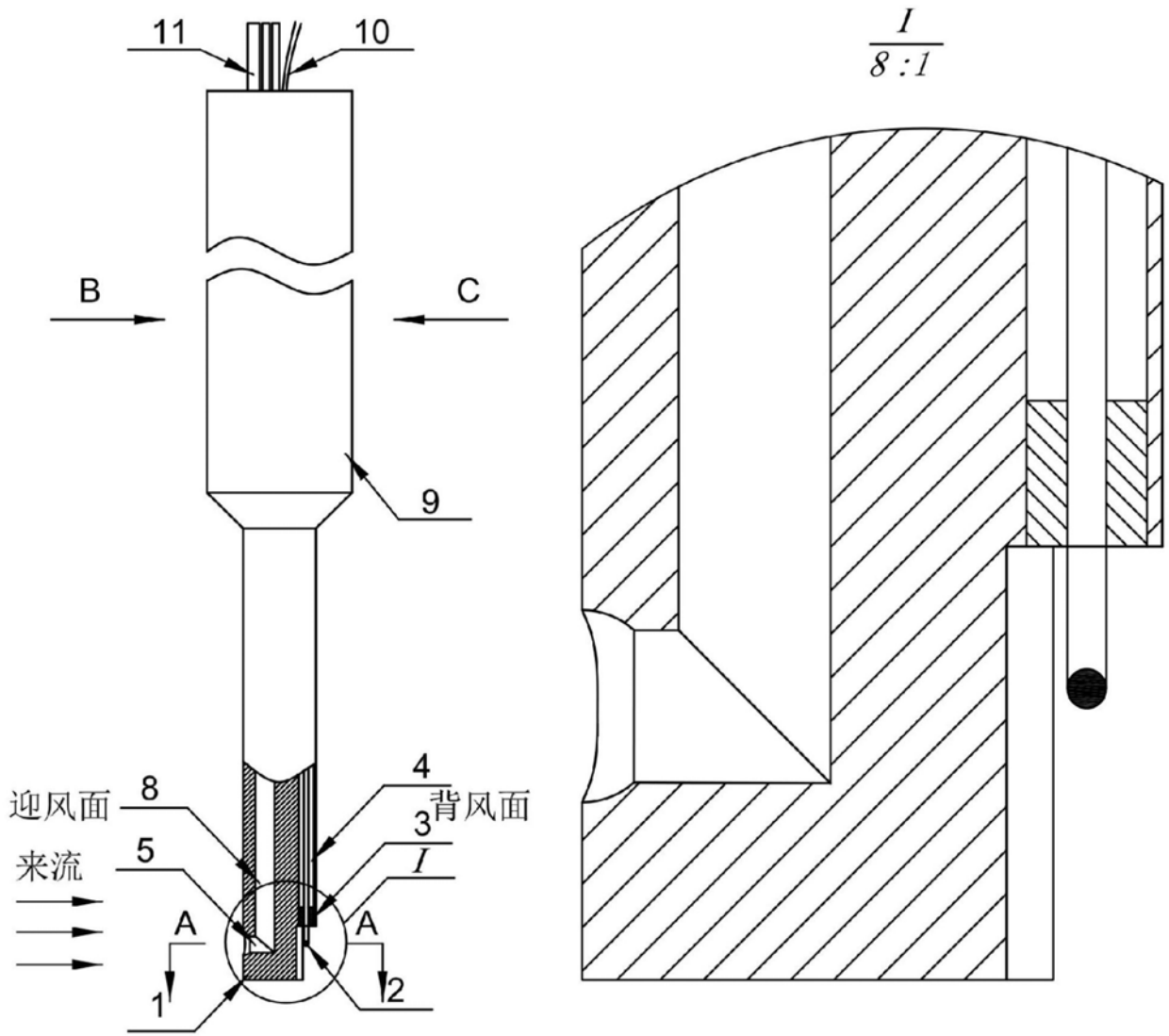


图6

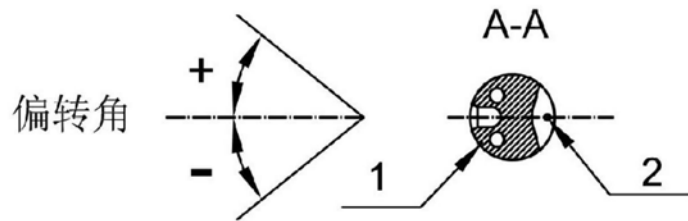


图7

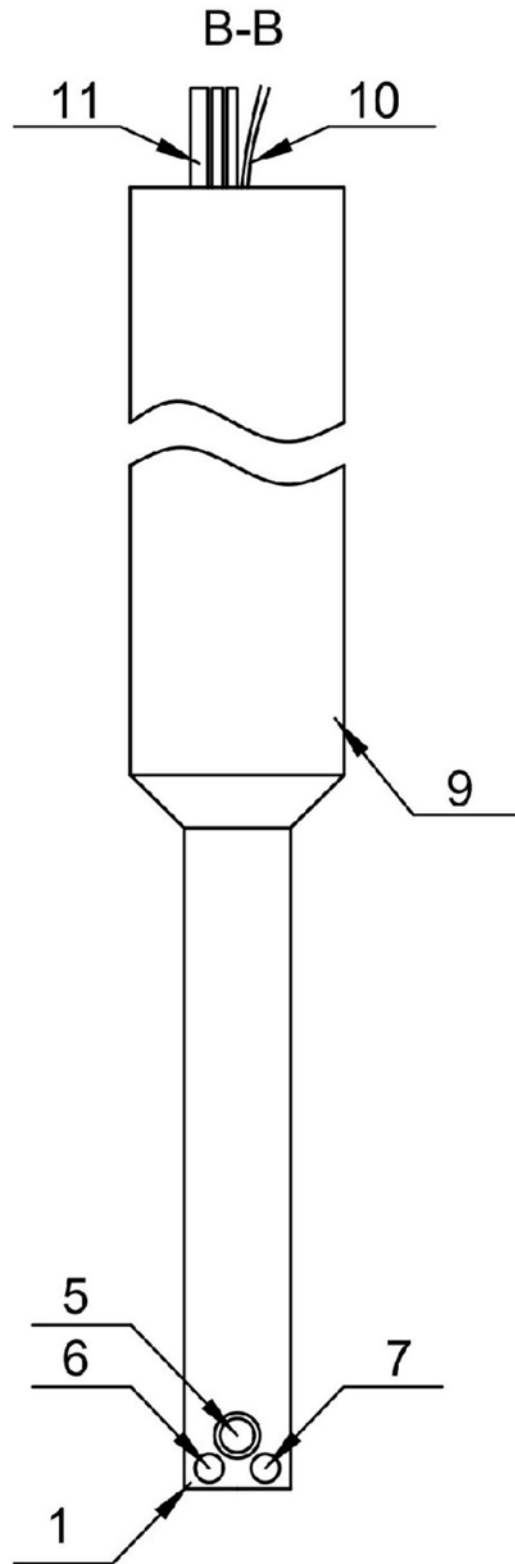


图8

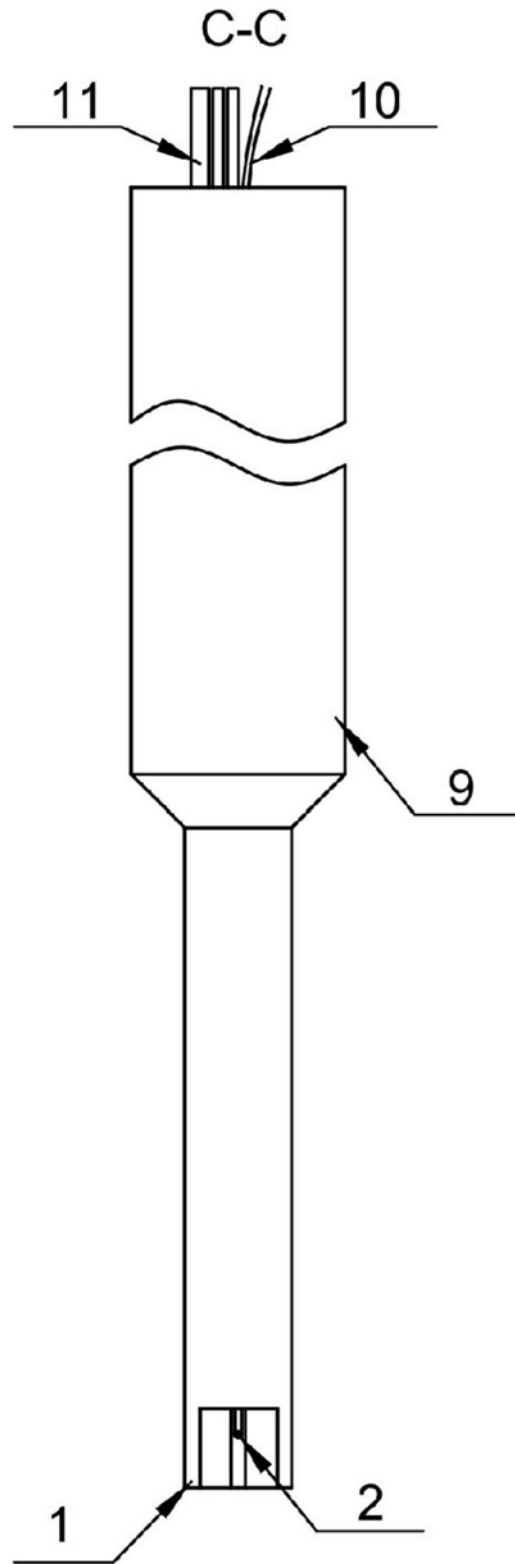


图9

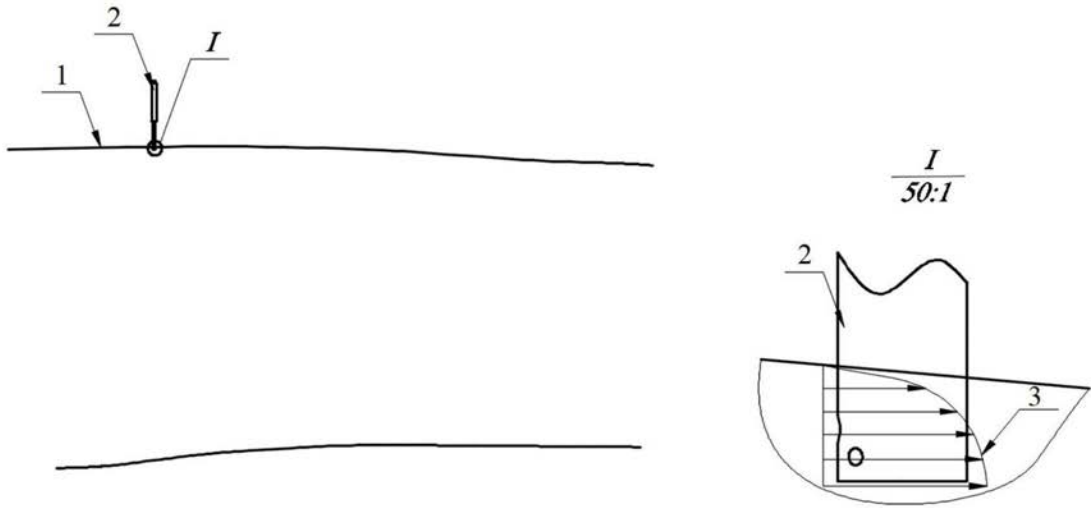


图10