



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112113740 B

(45) 授权公告日 2021.02.09

(21) 申请号 202011293976.4

(22) 申请日 2020.11.18

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112113740 A

(43) 申请公布日 2020.12.22

(73) 专利权人 中国空气动力研究与发展中心低速空气动力研究所  
地址 621000 四川省绵阳市二环路南段6号

(72) 发明人 郭奇灵 赵献礼 易贤 刘森云 魏龙涛 李自雨

(74) 专利代理机构 北京劲创知识产权代理事务所(普通合伙) 11589  
代理人 李康

(51) Int. Cl.  
G01M 9/06 (2006.01)  
G01M 9/04 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 209166785 U, 2019.07.26  
CN 209802626 U, 2019.12.17  
CN 110220665 A, 2019.09.10

CN 107091725 A, 2017.08.25  
CN 105865741 A, 2016.08.17  
CN 105258914 A, 2016.01.20  
CN 106092205 A, 2016.11.09  
CN 208458972 U, 2019.02.01  
JP H0359939 A, 1991.03.14  
EP 3171127 A1, 2017.05.24  
US 5929331 A, 1999.07.27  
US 2020249135 A1, 2020.08.06  
US 2018266906 A1, 2018.09.20  
张镨、张士峰. 分布式大规模集成压力测量系统研究与试验应用.《导航与控制》.2015, 110-112页.  
D.P. Aeschliman, W.L. Oberkampff and J.F. Henfling. Fast-Response, Electronically-Scanned Multi-Port Pressure System for Low-Pressure Hypersonic Wind Tunnel Applications.《18th AIAA Aerospace Ground Testing Conference》.1994, 1-20页.

审查员 张珊

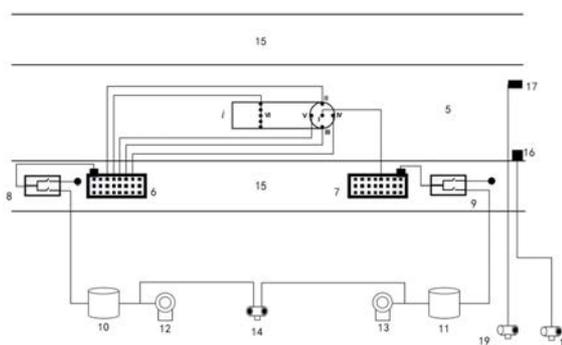
权利要求书4页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

一种测压装置、测压方法及风洞局部气流偏角测量方法

(57) 摘要

本发明适用于风洞测量技术领域, 提供了一种测压装置、测压方法及风洞局部气流偏角测量方法。其中所述测压装置用于测量方向动压探针*i*的测点的相对压力, 所述方向动压探针*i*置于风洞试验段内, 所述方向动压探针*i*的测点包括中心测点、上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点, 其包括: 第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、二位三通阀一、二位三通阀二、第一压力控制器、第二压力控制器、第一绝压传感器、第二绝压传感器; 本发明能够同时保证测量方向动压探针的压力的安全性和精确性及测量效率。



CN 112113740 B

1. 一种测压装置,所述测压装置用于测量方向动压探针( $i$ )的测点的相对压力,所述方向动压探针( $i$ )置于风洞试验段内,所述方向动压探针( $i$ )的测点包括中心测点(I)、上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI),其特征在于,包括:第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、二位三通阀一(8)、二位三通阀二(9)、第一压力控制器(10)、第二压力控制器(11)、第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13);

所述第一电子扫描阀(6)的测压口分别与上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI)连接,所述第二电子扫描阀(7)的测压口与中心测点(I)连接;所述第一电子扫描阀(6)的参考端与二位三通阀一(8)的入口连接,所述第二电子扫描阀(7)的参考端与二位三通阀二(9)的入口连接;

所述二位三通阀一(8)和所述二位三通阀二(9)的第一出口均与风洞驻室(15)连接,所述二位三通阀一(8)的第二出口与所述第一压力控制器(10)的第一端连接,所述二位三通阀二(9)的第二出口与所述第二压力控制器(11)的第一端连接;

所述第一压力控制器(10)的第二端与所述第一绝压传感器(12)连接,所述第二压力控制器(11)的第二端与所述第二绝压传感器(13)连接。

2. 如权利要求1中所述的一种测压装置,其特征在于,还包括风洞静压探针(16)、风洞总压探针(17)、第三绝压传感器(18)、第四绝压传感器(19),所述风洞静压探针(16)与所述第三绝压传感器(18)连接,所述风洞总压探针(17)与第四绝压传感器(19)连接,所述风洞静压探针(16)设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针(17)设置于风洞顶壁或者底壁。

3. 如权利要求2中所述的一种测压装置,其特征在于,还包括差压传感器(14),所述差压传感器(14)的第一端连接于所述第一压力控制器(10)与所述第一绝压传感器(12)之间,所述差压传感器(14)的第二端连接于所述第二压力控制器(11)与所述第二绝压传感器(13)之间。

4. 如权利要求3中所述的一种测压装置,其特征在于:

当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第一状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第一出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第一出口导通,当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第二状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第二出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第二出口导通。

5. 如权利要求4中所述的一种测压装置,其特征在于:所述第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、差压传感器(14)的量程小于所述第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13)的量程。

6. 一种测压方法,利用测压装置进行测量,其特征在于,所述测压装置用于测量方向动压探针( $i$ )的测点的相对压力,所述方向动压探针( $i$ )置于风洞试验段内,所述方向动压探针( $i$ )的测点包括中心测点(I)、上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI),其特征在于,包括:第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、二位三通阀一(8)、二位三通阀二(9)、第一压力控制器(10)、第二压力控制器(11)、第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13);

所述第一电子扫描阀(6)的测压口分别与上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测

点(V)、尾测点(VI)连接,所述第二电子扫描阀(7)的测压口与中心测点(I)连接;所述第一电子扫描阀(6)的参考端与二位三通阀一(8)的入口连接,所述第二电子扫描阀(7)的参考端与二位三通阀二(9)的入口连接;

所述二位三通阀一(8)和所述二位三通阀二(9)的第一出口均与风洞驻室(15)连接,所述二位三通阀一(8)的第二出口与所述第一压力控制器(10)的第一端连接,所述二位三通阀二(9)的第二出口与所述第二压力控制器(11)的第一端连接;

所述第一压力控制器(10)的第二端与所述第一绝压传感器(12)连接,所述第二压力控制器(11)的第二端与所述第二绝压传感器(13)连接;

还包括风洞静压探针(16)、风洞总压探针(17)、第三绝压传感器(18)、第四绝压传感器(19),所述风洞静压探针(16)与所述第三绝压传感器(18)连接,所述风洞总压探针(17)与第四绝压传感器(19)连接,所述风洞静压探针(16)设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针(17)设置于风洞顶壁或者底壁;

还包括差压传感器(14),所述差压传感器(14)的第一端连接于所述第一压力控制器(10)与所述第一绝压传感器(12)之间,所述差压传感器(14)的第二端连接于所述第二压力控制器(11)与所述第二绝压传感器(13)之间;

当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第一状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第一出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第一出口导通,当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第二状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第二出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第二出口导通;

所述第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、差压传感器(14)的量程小于所述第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13)的量程;

所述测压方法包括如下步骤:

步骤S100:使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第一状态,在风速为0的状态下,调节风洞密度;

步骤S200:在保持风洞密度不变的情况下,使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第一状态,读取第三绝压传感器(18)的读数、第四绝压传感器(19)的读数,调节第一压力控制器(10)和第二压力控制器(11)的压力,使第一绝压传感器(12)的读数和第三绝压传感器(18)的读数相同、第二绝压传感器(13)上的读数和第四绝压传感器(19)的读数相同;

步骤S300:使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第二状态,调节风速,同时调节第一压力控制器(10)和第二压力控制器(11)的压力,使第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)的读数不超过其量程;

步骤S400:在风速及风洞内部压力稳定后,使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第二状态,调节第一压力控制器(10)、第二压力控制器(11)的压力,使第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)上的读数均位于量程的设定阈值占比范围 $\sigma$ 之间;

步骤S500:读取第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)上的读数。

7.如权利要求6所述的一种测压方法,其特征在于,所述设定阈值占比范围 $\sigma$ 为: $1/3 \leq \sigma \leq 4/5$ 。

8. 一种风洞局部气流偏角的测量方法,其特征在于,利用测压装置进行测量,所述测压装置用于测量方向动压探针( $i$ )的测点的相对压力,所述方向动压探针( $i$ )置于风洞试验段内,所述方向动压探针( $i$ )的测点包括中心测点(I)、上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI),其特征在于,包括:第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、二位三通阀一(8)、二位三通阀二(9)、第一压力控制器(10)、第二压力控制器(11)、第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13);

所述第一电子扫描阀(6)的测压口分别与上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI)连接,所述第二电子扫描阀(7)的测压口与中心测点(I)连接;所述第一电子扫描阀(6)的参考端与二位三通阀一(8)的入口连接,所述第二电子扫描阀(7)的参考端与二位三通阀二(9)的入口连接;

所述二位三通阀一(8)和所述二位三通阀二(9)的第一出口均与风洞驻室(15)连接,所述二位三通阀一(8)的第二出口与所述第一压力控制器(10)的第一端连接,所述二位三通阀二(9)的第二出口与所述第二压力控制器(11)的第一端连接;

所述第一压力控制器(10)的第二端与所述第一绝压传感器(12)连接,所述第二压力控制器(11)的第二端与所述第二绝压传感器(13)连接;

还包括风洞静压探针(16)、风洞总压探针(17)、第三绝压传感器(18)、第四绝压传感器(19),所述风洞静压探针(16)与所述第三绝压传感器(18)连接,所述风洞总压探针(17)与第四绝压传感器(19)连接,所述风洞静压探针(16)设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针(17)设置于风洞顶壁或者底壁;

还包括差压传感器(14),所述差压传感器(14)的第一端连接于所述第一压力控制器(10)与所述第一绝压传感器(12)之间,所述差压传感器(14)的第二端连接于所述第二压力控制器(11)与所述第二绝压传感器(13)之间;

当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第一状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第一出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第一出口导通,当所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)处于第二状态时,二位三通阀一(8)的入口与二位三通阀一(8)的第二出口导通,二位三通阀二(9)的入口与二位三通阀二(9)的第二出口导通;

所述第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)、差压传感器(14)的量程小于所述第一绝压传感器(12)、第二绝压传感器(13)的量程;

所述测量方法包括如下步骤:

步骤M100:测量方向动压探针( $i$ )在风洞试验段内的位置 $nk$ 处相对于风洞的安装角,包括安装角俯仰角

$$\Delta\alpha_i^{nk} \text{ 和安装}$$

角偏航角  $\Delta\beta_i^{nk}$ ;

步骤S100:使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第一状态,在风速为0的状态下,调节风洞密度;

步骤S200:在保持风洞密度不变的情况下,使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第一状态,读取第三绝压传感器(18)的读数、第四绝压传感器(19)的读数,调节

第一压力控制器(10)和第二压力控制器(11)的压力,使第一绝压传感器(12)的读数和第三绝压传感器(18)的读数相同、第二绝压传感器(13)上的读数和第四绝压传感器(19)的读数相同;

步骤S300:使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第二状态,调节风速,同时调节第一压力控制器(10)和第二压力控制器(11)的压力,使第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)的读数不超过其量程;

步骤S400:在风速及风洞内部压力稳定后,使所述二位三通阀一(8)和二位三通阀二(9)均处于第二状态,调节第一压力控制器(10)、第二压力控制器(11)的压力,使第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)上的读数均位于量程的设定阈值占比范围 $\sigma$ 之间;

步骤S500:读取第一电子扫描阀(6)、第二电子扫描阀(7)上的读数;

步骤M200:测量方向动压探针( $i$ )在风洞试验段内的位置 $nk$ 处的中心测点(I)、上测点(II)、下测点(III)、左测点(IV)、右测点(V)、尾测点(VI)的相对压力,分别表示为 $P_{i1}^{nk}$ 、 $P_{i2}^{nk}$ 、 $P_{i3}^{nk}$ 、 $P_{i4}^{nk}$ 、 $P_{i5}^{nk}$ 、 $P_{i6}^{nk}$ ;然后读取差压传感器(14)的读数,表示为 $P_{id}^{nk}$ ;

步骤M300:计算方向动压探针( $i$ )在风洞试验段内的位置 $nk$ 处的风洞局部气流偏角。

9.如权利要求8中所述一种风洞局部气流偏角的测量方法,其特征在于,所述风洞局部气流偏角包括风洞局部气流偏角俯仰角 $\alpha_i^{nk}$ 和风洞局部气流偏角偏航角 $\beta_i^{nk}$ ,其中,

$$\alpha_i^{nk} = \frac{P_{i2}^{nk} - P_{i3}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\alpha_i^{nk},$$

$$\beta_i^{nk} = \frac{P_{i4}^{nk} - P_{i5}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\beta_i^{nk}.$$

## 一种测压装置、测压方法及风洞局部气流偏角测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于风洞测量技术领域,尤其涉及一种测压装置、测压方法及风洞局部气流偏角测量方法。

### 背景技术

[0002] 局部气流偏角是风洞流场品质最重要的指标之一,是指风洞试验段内气体流线与风洞基准线的夹角,分解为铅垂面内与风洞轴线的夹角(即俯仰角)和水平面内与风洞轴线的夹角(即偏航角)。局部气流偏角指标的高要求,使得对其测量的方法和仪器要求很高。

[0003] 目前的局部气流偏角测量方法中,首先需要测量出各个探针的名义局部气流偏角,再利用高度尺、高精度水平仪、铅垂等仪器测出各个探针的安装角,实际气流偏角即为名义局部气流偏角减去探针的安装角。

[0004] 对于名义局部气流偏角而言,其有赖于探针上的测点的压力测量,而对于风洞而言,风洞压力会随着风速的调节而发生变化,尤其对于变密度风洞,风洞压力变化范围极大,测量设备极易因此造成损坏;

[0005] 为了避免测量设备被损坏,有的现有技术选用大量程的测量设备或根据不同的测压工况选取相应量程的测量设备,但存在压力测量精度不高、测量效率低、测量设备要求高的缺点。

[0006] 总之,现有技术中在测量局部气流偏角时,尤其是测量名义局部气流偏角时,不能同时满足安全性、高精度和高效率的需求。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种测压装置、测压方法及风洞局部气流偏角测量方法,旨在解决现有技术中的测量方向动压探针的压力时容易造成设备损坏以及测量精度较差、测量效率低的技术问题。

[0008] 本发明提供了一种测压装置,所述测压装置用于测量方向动压探针  $i$  的测点的相对压力,所述方向动压探针  $i$  置于风洞试验段内,所述方向动压探针  $i$  的测点包括中心测点、上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点,其包括:第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、二位三通阀一、二位三通阀二、第一压力控制器、第二压力控制器、第一绝压传感器、第二绝压传感器;

[0009] 所述第一电子扫描阀的测压口分别与上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点连接,所述第二电子扫描阀的测压口与中心测点连接;所述第一电子扫描阀的参考端与二位三通阀一的入口连接,第二电子扫描阀的参考端与二位三通阀二的入口连接;

[0010] 所述二位三通阀一和所述二位三通阀二的第一出口均与风洞驻室连接,所述二位三通阀一的第二出口与所述第一压力控制器的第一端连接,所述二位三通阀二的第二出口与所述第二压力控制器的第一端连接;

[0011] 所述第一压力控制器的第二端与所述第一绝压传感器连接,所述第二压力控制器

的第二端与第二绝压传感器连接。

[0012] 进一步地,还包括风洞静压探针、风洞总压探针、第三绝压传感器、第四绝压传感器连接,所述风洞静压探针与所述第三绝压传感器连接,所述风洞总压探针与第四绝压传感器连接,所述风洞静压探针设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针设置于风洞顶壁或者底壁。

[0013] 进一步地,还包括差压传感器,所述差压传感器的第一端连接于所述第一压力控制器与所述第一绝压传感器之间,所述差压传感器的第二端连接于所述第二压力控制器与所述第二绝压传感器之间。

[0014] 进一步地,当所述二位三通阀一和二位三通阀二处于第一状态时,二位三通阀一的入口与二位三通阀一的第一出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第一出口导通,当所述二位三通阀一和二位三通阀二处于第二状态时,二位三通阀一的入口与二位三通阀一的第二出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第二出口导通。

[0015] 进一步地,所述第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、差压传感器的量程小于所述第一绝压传感器、第二绝压传感器的量程。

[0016] 本发明还提供了一种测压方法,利用测压装置进行测量,其特征在于,所述测压装置用于测量方向动压探针  $i$  的测点的相对压力,所述方向动压探针  $i$  置于风洞试验段内,所述方向动压探针  $i$  的测点包括中心测点、上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点,其特征在于,包括:第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、二位三通阀一、二位三通阀二、第一压力控制器、第二压力控制器、第一绝压传感器、第二绝压传感器;

[0017] 所述第一电子扫描阀的测压口分别与上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点连接,所述第二电子扫描阀的测压口与中心测点连接;所述第一电子扫描阀的参考端与二位三通阀一的入口连接,所述第二电子扫描阀的参考端与二位三通阀二的入口连接;

[0018] 所述二位三通阀一和所述二位三通阀二的第一出口均与风洞驻室连接,所述二位三通阀一的第二出口与所述第一压力控制器的第一端连接,所述二位三通阀二的第二出口与所述第二压力控制器的第一端连接;

[0019] 所述第一压力控制器的第二端与所述第一绝压传感器连接,所述第二压力控制器的第二端与所述第二绝压传感器连接;

[0020] 还包括风洞静压探针、风洞总压探针、第三绝压传感器、第四绝压传感器,所述风洞静压探针与所述第三绝压传感器连接,所述风洞总压探针与第四绝压传感器连接,所述风洞静压探针设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针设置于风洞顶壁或者底壁;

[0021] 还包括差压传感器,所述差压传感器的第一端连接于所述第一压力控制器与所述第一绝压传感器之间,所述差压传感器的第二端连接于所述第二压力控制器与所述第二绝压传感器之间;

[0022] 当所述二位三通阀一和二位三通阀二处于第一状态时,二位三通阀一与二位三通阀一的第一出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第一出口导通,当所述二位三通阀一和二位三通阀二处于第二状态时,二位三通阀一与二位三通阀一的第二出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第二出口导通;

[0023] 所述第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、差压传感器的量程小于所述第一绝压传

感器、第二绝压传感器的量程；

[0024] 所述测压方法包括如下步骤：

[0025] 步骤S100:使所述二位三通阀一和二位三通阀二均处于第一状态,在风速为0的状态下,调节风洞密度；

[0026] 步骤S200:在保持风洞密度不变的情况下,使所述二位三通阀一和二位三通阀二均处于第一状态,读取第三绝压传感器的读数、第四绝压传感器的读数,调节第一压力控制器和第二压力控制器的压力,使第一绝压传感器的读数和第三绝压传感器的读数相同、第二绝压传感器上的读数和第四绝压传感器的读数相同；

[0027] 步骤S300:使所述二位三通阀一和二位三通阀二均处于第二状态,调节风速,同时调节第一压力控制器和第二压力控制器的压力,使第一电子扫描阀、第二电子扫描阀的读数不超过其量程；

[0028] 步骤S400:在风速及风洞内部压力稳定后,使所述二位三通阀一和二位三通阀二均处于第二状态,调节第一压力控制器、第二压力控制器的压力,使第一电子扫描阀、第二电子扫描阀上的读数均位于量程的设定阈值占比范围 $\sigma$ 之间；

[0029] 步骤S500:读取第一电子扫描阀、第二电子扫描阀上的读数。

[0030] 进一步地,所述设定阈值占比范围 $\sigma$ 为: $1/3 \leq \sigma \leq 4/5$ 。

[0031] 进一步地,本发明还提供了一种风洞局部气流偏角的测量方法,利用测压装置进行测量,其特征在于,所述测压装置用于测量方向动压探针  $i$  的测点的相对压力,所述方向动压探针  $i$  置于风洞试验段内,所述方向动压探针  $i$  的测点包括中心测点、上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点,其特征在于,包括:第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、二位三通阀一、二位三通阀二、第一压力控制器、第二压力控制器、第一绝压传感器、第二绝压传感器；

[0032] 所述第一电子扫描阀的测压口分别与上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点连接,所述第二电子扫描阀的测压口与中心测点连接;所述第一电子扫描阀的参考端与二位三通阀一的入口连接,所述第二电子扫描阀的参考端与二位三通阀二的入口连接；

[0033] 所述二位三通阀一和所述二位三通阀二的第一出口均与风洞驻室连接,所述二位三通阀一的第二出口与所述第一压力控制器的第一端连接,所述二位三通阀二的第二出口与所述第二压力控制器的第一端连接；

[0034] 所述第一压力控制器的第二端与所述第一绝压传感器连接,所述第二压力控制器的第二端与所述第二绝压传感器连接；

[0035] 还包括风洞静压探针、风洞总压探针、第三绝压传感器、第四绝压传感器,所述风洞静压探针与所述第三绝压传感器连接,所述风洞总压探针与第四绝压传感器连接,所述风洞静压探针设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针设置于风洞顶壁或者底壁；

[0036] 还包括差压传感器,所述差压传感器的第一端连接于所述第一压力控制器与所述第一绝压传感器之间,所述差压传感器的第二端连接于所述第二压力控制器与所述第二绝压传感器之间；

[0037] 当所述二位三通阀一和二位三通阀二处于第一状态时,二位三通阀一与二位三通阀一的第一出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第一出口导通,当所述二位

三通阀一和二位三通阀二处于第二状态时,二位三通阀一与二位三通阀一的第二出口导通,二位三通阀二的入口与二位三通阀二的第二出口导通;

[0038] 所述第一电子扫描阀、第二电子扫描阀、差压传感器的量程小于所述第一绝压传感器、第二绝压传感器的量程;

[0039] 所述测量方法包括如下步骤:

[0040] 步骤M100:测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  处相对于风洞的安装角,包括俯仰角  $\Delta\alpha_i^{nk}$  和偏航角  $\Delta\beta_i^{nk}$ ;

[0041] 步骤M200:根据上述所述的测量方法,测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  处的中心测点、上测点、下测点、左测点、右测点、尾测点的相对压力,分别表示为

$P_{i1}^{nk}$ 、 $P_{i2}^{nk}$ 、 $P_{i3}^{nk}$ 、 $P_{i4}^{nk}$ 、 $P_{i5}^{nk}$ 、 $P_{i6}^{nk}$ ;然后读取差压传感器的读数,表示为  $P_{id}^{nk}$ ;

[0042] 步骤M300:计算方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  处的风洞局部气流偏角。

[0043] 进一步地,所述风洞局部气流偏角包括俯仰角  $\alpha_i^{nk}$  和偏航角  $\beta_i^{nk}$ ,其中,

$$[0044] \quad \alpha_i^{nk} = \frac{P_{i2}^{nk} - P_{i3}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\alpha_i^{nk},$$

$$\beta_i^{nk} = \frac{P_{i4}^{nk} - P_{i5}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\beta_i^{nk}.$$

[0045] 本发明相对于现有技术至少具有如下技术效果:

[0046] 1.本发明中,在风洞内部压力稳定前,可将二位三通阀一和二位三通阀二的入口和其第一出口导通,在风洞内部压力稳定后,再将二位三通阀一和所述二位三通阀二的入口和其第二出口导通,因而本发明实施例具有较高的安全性;另外,二位三通阀一的第二出口与第一压力控制器的第一端连接,二位三通阀二的第二出口与第二压力控制器的第一端连接,因此,在风洞内部压力稳定后,如果风洞内部压力较大/较小,则可以调节第一压力控制器、第二压力控制器的压力,使第一电子扫描阀和第二电子扫描阀的测量值的绝对量变小,因而进一步保障了安全性;

[0047] 2.本发明中,第一电子扫描阀和第二电子扫描阀的测量值为测点与压力控制器的相对压力,其小于绝对压力,因此,可以将第一电子扫描阀和第二电子扫描阀选定为较小的量程,以提高测量精度;

[0048] 3.本发明中,在风洞内部压力稳定后,调节第一压力控制器、第二压力控制器的压力,使第一电子扫描阀、第二电子扫描阀上的读数均位于量程的设定阈值占比范围  $\sigma$  之间,

因此,本发明能够同时满足安全性和精确性的需求;

[0049] 4. 本发明中,仅利用两个较小量程的电子扫描阀就可实现风洞密度、风速大范围变动下多个实验工况点的高精度压力测量,节省了因测量精度的高要求而反复更换电子扫描阀的步骤,提高了风洞实验的效率和经济性;

[0050] 5. 本发明中,风洞局部气流偏角的名义局部气流偏角的计算中,所有参数均通过小量程的仪器获得,具有较高的精确性。

### 附图说明

[0051] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对本发明实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面所描述的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0052] 图1是本发明实施例提供的一种测压装置示意图;

[0053] 图2是本发明实施例提供的一种测压方法示意图;

[0054] 图3是本发明实施例提供的一种风洞局部气流偏角的测量方法示意图;

[0055] 图4是本发明实施例提供的一种方向动压探针安装角的测量装置示意图;

[0056] 图5是本发明实施例提供的一种方向动压探针安装角的测量方法示意图一;

[0057] 图6是本发明实施例提供的一种方向动压探针安装角的测量方法示意图二。

### 具体实施方式

[0058] 在下文中将参考附图对本发明的各方面进行更充分的描述。然而,本发明可以具体化成许多不同形式且不应解释为局限于贯穿本发明所呈现的任何特定结构或功能。相反地,提供这些方面将使得本发明周全且完整,并且本发明将给本领域技术人员充分地传达本发明的范围。基于本文所教导的内容,本领域的技术人员应意识到,无论是单独还是结合本发明的任何其它方面实现本文所公开的任何方面,本发明的范围旨在涵盖本文中所公开的任何方面。例如,可以使用本文所提出任意数量的装置或者执行方法来实现。另外,除了本文所提出本发明的多个方面之外,本发明的范围更旨在涵盖使用其它结构、功能或结构和功能来实现的装置或方法。应可理解,其可通过权利要求的一或多个元件具体化本文所公开的任何方面。

[0059] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例,而并非意在限制本公开。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了所述特征、步骤、操作和/或部件的存在,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

[0060] 在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有本领域技术人员通常所理解的含义,除非另外定义。应注意,这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义,而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

[0061] 对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0062] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0063] 如图1所示,本发明实施例提供了一种测压装置,所述测压装置用于测量方向动压探针  $i$  的测点的相对压力,所述方向动压探针  $i$  置于风洞试验段内,所述方向动压探针  $i$  的测点包括中心测点I、上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI;

[0064] 本发明实施例提供了一种测压装置,其包括:第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7、二位三通阀一8、二位三通阀二9、第一压力控制器10、第二压力控制器11、第一绝压传感器12、第二绝压传感器13;

[0065] 所述第一电子扫描阀6的测压口分别与上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI连接,所述第二电子扫描阀7的测压口与中心测点I连接;所述第一电子扫描阀6的参考端与二位三通阀一8的入口连接,所述第二电子扫描阀7的参考端与二位三通阀二9的入口连接;

[0066] 所述二位三通阀一8和所述二位三通阀二9的第一出口均与风洞驻室15连接,所述二位三通阀一8的第二出口与所述第一压力控制器10的第一端连接,所述二位三通阀二9的第二出口与所述第二压力控制器11的第一端连接;

[0067] 所述第一压力控制器10的第二端与所述第一绝压传感器12连接,所述第二压力控制器11的第二端与所述第二绝压传感器13连接。

[0068] 对于中心测点I、上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI而言,中心测点I的压力远大于上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI的压力,而本发明实施例中,利用第一电子扫描阀6测量上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI处的与第一压力控制器10的相对压力,利用第二电子扫描阀7测量中心测点I处与第二压力控制器11的相对压力,由于压力控制器的压力可在实验过程中调节,因此,可以将第一电子扫描阀6和第二电子扫描阀7选定为较小的量程,以提高测量精度;而现有技术中,通常通过一个电子扫描阀来测量所有测点与外界大气的相对压力,如果需要高精度测量多个实验工况点,便需要反复更换电子扫描阀,增加了更换时间,测量效率降低;本发明中,仅利用两个较小量程的电子扫描阀就可实现风洞密度、风速大范围变动下多个实验工况点的高精度压力测量,节省了因测量精度的高要求而反复更换电子扫描阀的步骤,提高了风洞实验的效率和经济性。

[0069] 进一步地,还包括风洞静压探针16、风洞总压探针17、第三绝压传感器18、第四绝压传感器19连接,所述风洞静压探针16与所述第三绝压传感器18连接,所述风洞总压探针17与第四绝压传感器19连接,所述风洞静压探针16设置于风洞左侧壁或者右侧壁,所述风洞总压探针17设置于风洞顶壁或者底壁。

[0070] 对于变密度风洞,风洞内部压力稳定前,其内的压力变化较大,现有技术中测量时,小量程电子扫描阀极易超其量程,发生损坏,缺乏足够的安全性;而本发明实施例中,所述二位三通阀一8和所述二位三通阀二9的第一出口均与风洞驻室15连接,而风洞驻室15与风洞试验段连通,风洞驻室15与外界隔绝,故风洞驻室15与风洞试验段5内的压力接近,因此,在风洞内部压力稳定前,可将所述二位三通阀一8和所述二位三通阀二9的入口和其第一出口导通;而本发明实施例中,中心测点I与风洞总压探针17所测压力接近,上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI与风洞静压探针16所测压力接近,在风洞内部压力稳定后,根据风洞静压探针16和风洞总压探针17所连第三绝压传感器18和第四绝压传感器19的读数分别调节所述第一压力控制器10和所述第二压力控制器11的压力,再将所述二位

三通阀一8和所述二位三通阀二9的入口和其第二出口导通；在风速调节过程中，读取第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7上的读数，同时调节第一压力控制器10第二压力控制器11的压力，使第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7的所测压力不超过其量程；因而本发明实施例具有较高的安全性。

[0071] 再者，本发明实施例中，并不测量中心测点I、上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI与外界大气的相对压力，而是测量其与压力控制器的相对压力，具体地，将所述二位三通阀一8的第二出口与所述第一压力控制器10的第一端连接，将所述二位三通阀二9的第二出口与所述第二压力控制器11的第一端连接，因此，在风洞内部压力稳定后，如果风洞内部压力较大/较小，则可以调整所述第一压力控制器10、所述第二压力控制器11的压力，使第一电子扫描阀6和第二电子扫描阀7的测量值的绝对量变小，因而进一步保障了安全性，同时，第一电子扫描阀6和第二电子扫描阀7的测量值分别为其与所述第一压力控制器10、所述第二压力控制器11的相对压力，可人为调节，因此，可以将第一电子扫描阀6和第二电子扫描阀7选定为较小的量程，以提高测量精度。

[0072] 进一步地，在计算风洞局部气流偏角时，需要计算所述第一压力控制器10、所述第二压力控制器11的读数之差，一方面，可以直接读取第一压力控制器10、所述第二压力控制器11的读数，再进行减法运算；另一方面，本发明实施例中的一种测压装置，还包括差压传感器14，所述差压传感器14的第一端连接于所述第一压力控制器10与所述第一绝压传感器12之间，所述差压传感器14的第二端连接于所述第二压力控制器11与所述第二绝压传感器13之间；如果采用差压传感器14来获取第一压力控制器10、第二压力控制器11之间的压力差，由于第一压力控制器10、第二压力控制器11之间的压力差通常不会很大，因而，差压传感器14同样可以采用小量程。

[0073] 进一步地，当所述二位三通阀一8和二位三通阀二9处于第一状态时，二位三通阀一8的入口与二位三通阀一8的第一出口导通，二位三通阀二9的入口与二位三通阀二9的第一出口导通，当所述二位三通阀一8和二位三通阀二9处于第二状态时，二位三通阀一8的入口与二位三通阀一8的第二出口导通，二位三通阀二9的入口与二位三通阀二9的第二出口导通。通常，在风洞内部压力稳定前，所述二位三通阀一8和二位三通阀二9处于第一状态；在风洞内部压力稳定后，所述二位三通阀一8和二位三通阀二9处于第二状态。

[0074] 进一步地，所述第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7、差压传感器14的量程小于所述第一绝压传感器12、第二绝压传感器13的量程。

[0075] 如图2所示，本发明实施例还提供了一种测压方法，其利用如上所述的测压装置进行测量，其包括如下步骤：

[0076] 步骤S100：使所述二位三通阀一8和二位三通阀二9均处于第一状态，在风速为0的状态下，调节风洞密度；这一步骤的主要目的是调节风洞内部压力，使风洞内部压力尽快提升到目标压力附近；在这一过程中，二位三通阀一8的入口与二位三通阀一8的第一出口导通，二位三通阀二9的入口与二位三通阀二9的第一出口导通，而二位三通阀一8和所述二位三通阀二9的第一出口均与风洞驻室15连接，因而不会对第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7造成损坏；

[0077] 步骤S200：在保持风洞密度不变的情况下，使所述二位三通阀一8和二位三通阀二9均处于第一状态，读取第三绝压传感器18的读数、第四绝压传感器19的读数，调节第一压

力控制器10和第二压力控制器11的压力,使第一绝压传感器12的读数和第三绝压传感器18的读数相同、第二绝压传感器13上的读数和第四绝压传感器19的读数相同;这一步骤的主要目的是为了让第一电子扫描阀6所测压力、第二电子扫描阀7所测压力分别和所述第一压力控制器10,所述第二压力控制器11的相对压力不超过第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7的量程,从而保护第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7在所述二位三通阀一8和二位三通阀二9切换状态过程中不会损坏;

[0078] 步骤S300:使所述二位三通阀一8和二位三通阀二9均处于第二状态,调节风速,同时调节第一压力控制器10和第二压力控制器11的压力,使第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7的读数不超过其量程;这一步骤的主要目的是为了满足试验时的气流条件,使气体流速达到目标流速,同时保证风速调节过程中第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7不超量程。

[0079] 步骤S400:在风速及风洞内部压力稳定后,使所述二位三通阀一8和二位三通阀二9均处于第二状态,调节第一压力控制器10、第二压力控制器11的压力,使第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7上的读数均位于量程的设定阈值占比范围 $\sigma$ 之间;这一步骤的目的为了使安全性和精确性均得到保证,具体地,如果不进行此步骤,那么读数可能非常接近第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7可以测量的最大值,尽管这样的读数精确性相对较高,但容易对安全性构成威胁;而读数也可能非常接近第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7可以测量的最小值,尽管这样的读数安全性相对较高,但精确性较差。

[0080] 步骤S500:读取第一电子扫描阀6、第二电子扫描阀7上的读数。

[0081] 具体地,所述设定阈值占比范围 $\sigma$ 为: $1/3 \leq \sigma \leq 4/5$ 。该设定阈值占比范围 $\sigma$ 能够较好地安全性和精确性之间得到平衡。

[0082] 如图3所示,本发明实施例还提供了一种风洞局部气流偏角的测量方法,其包括如下步骤:

[0083] 步骤M100:测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置 $nk$ 处相对于风洞的安装角,包括俯仰角 $\Delta\alpha_i^{nk}$ 和偏航角 $\Delta\beta_i^{nk}$ ;

[0084] 步骤M200:根据上述中的测压方法,测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置 $nk$ 处的中心测点I、上测点II、下测点III、左测点IV、右测点V、尾测点VI的相对压力,分别表示为 $P_{i1}^{nk}$ 、 $P_{i2}^{nk}$ 、 $P_{i3}^{nk}$ 、 $P_{i4}^{nk}$ 、 $P_{i5}^{nk}$ 、 $P_{i6}^{nk}$ ;然后读取差压传感器14的读数,表示为 $P_{id}^{nk}$ ;

[0085] 步骤M300:计算方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置 $nk$ 处的风洞局部气流偏角。

[0086] 具体地,所述风洞局部气流偏角包括俯仰角 $\Delta\alpha_i^{nk}$ 和偏航角 $\beta_i^{nk}$ ,其中,

$$[0087] \quad \alpha_i^{nk} = \frac{P_{i2}^{nk} - P_{i3}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\alpha_i^{nk},$$

$$\beta_i^{nk} = \frac{P_{i4}^{nk} - P_{i5}^{nk}}{P_{i1}^{nk} - P_{id}^{nk} - P_{i6}^{nk}} - \Delta\beta_i^{nk}.$$

[0088] 可以看到,本发明实施例中,  $P_{i1}^{nk}$ 、 $P_{i2}^{nk}$ 、 $P_{i3}^{nk}$ 、 $P_{i4}^{nk}$ 、 $P_{i5}^{nk}$ 、 $P_{i6}^{nk}$ 、 $P_{id}^{nk}$  的测量,均通过小量程的仪器获得,具有较高的精确性,而且  $P_{i2}^{nk}$ 、 $P_{i3}^{nk}$ 、 $P_{i4}^{nk}$ 、 $P_{i5}^{nk}$ 、 $P_{i6}^{nk}$  均为与第一压力控制器的相对压力,  $P_{i1}^{nk}$  为该测点与第二压力控制器的相对压力,因而不容易对第一电子扫描阀、第二电子扫描阀造成损坏。

[0089] 如下将对如何测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  处相对于风洞的安装角进行介绍。

[0090] 方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  包括  $n1$  和  $n_j$ , 其中:

[0091]  $n1$  为首次测量方向动压探针安装角时方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置;

[0092]  $n_j$  为第二次以后测量方向动压探针安装角时方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置,其中  $j$  为风洞试验段内的除去  $n1$  位置的位置序号,  $j \geq 2$ 。

[0093] 在测量方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nk$  处相对于风洞的安装角时,需利用如图4所示的方向动压探针安装角的测量装置。

[0094] 该方向动压探针安装角的测量装置用于测量方向动压探针  $i$  相对于风洞的安装角,其包括排管架2,所述排管架2包括支撑杆  $p$  和基准直杆  $l$ ,所述支撑杆  $p$  呈长条形,在实际测量时,将所述支撑杆  $p$  的两端分别抵靠在风洞试验段5的顶部和底部,所述基准直杆  $l$  位于所述支撑杆的纵剖面  $ax$  的一侧;

[0095] 所述支撑杆  $p$  的纵剖面  $ax$  的另一侧设置有方向动压探针  $i$ ;

[0096] 由于将方向动压探针  $i$  和基准直杆  $l$  设置在支撑杆  $p$  的不同侧,因此,当将本发明实施例中的测量装置安装在风洞试验段内时,可使基准直杆  $l$  面向风洞的背风侧,所述方向动压探针  $i$  面向风洞的迎风侧;

[0097] 所述基准直杆  $l$  上标记有两个基准点  $A_0$  和  $B_0$ ,所述方向动压探针  $i$  上标记有两个基准点  $A_i$  和  $B_i$ ,其中  $i$  为方向动压探针的序号,  $i \geq 1$ 。所有的方向动压探针  $i$  组成了方向动压探针组合1。

[0098] 进一步地,所述基准直杆  $l$  和/或所述方向动压探针  $i$  与所述支撑杆  $p$  垂直。

[0099] 进一步地,所述基准直杆  $l$  呈长方体。

[0100] 本发明实施例中的方向动压探针安装角的测量装置,在第一次测量时,需要测量方向动压探针  $i$  相对于基准直杆  $l$  的角度和基准直杆  $l$  相对于风洞轴线的角度,而且方向动压探针  $i$  和基准直杆  $l$  均设置在支撑杆  $p$  上,因此,方向动压探针  $i$  相对于基准

直杆  $l$  具有固定的角度,因此,在下次测量时,便仅仅需要测量基准直杆  $l$  相对于风洞轴线的角度即可;然而现有技术中,是直接测量方向动压探针相对于风洞轴线的角度,而方向动压探针的数量通常为多个,因此,每次均需要测量每个方向动压探针相对于风洞轴线的角度;以10个方向动压探针为例,本发明实施例中,在第一次测量时,需要测量10个方向动压探针相对于基准直杆  $l$  的角度和基准直杆  $l$  相对于风洞轴线的角度,因此,需要测量11个角度值,在第二次测量时,则仅需要再次测量基准直杆  $l$  相对于风洞轴线的角度即可,也就是说,本发明实施例中的方向动压探针安装角的测量装置在进行第二次以后的测量时,仅仅需要测量一个角度值即可。反观现有技术,无论是第一次测量还是第二次以后的测量,均需要测量10个角度值,测量效率较低。

[0101] 更为重要的是,本发明中,在正式试验前,可以提前测量方向动压探针  $i$  相对于基准直杆的角度,在正式进行实验时,直接利用该角度即可,因此,在正式进行实验时,仅需测量一个角度即可,同样提升了测量效率;

[0102] 另外,对于同一个方向动压探针安装角的测量装置,方向动压探针  $i$  相对于基准直杆角度是不会变化的,因此,仅需测量一次方向动压探针  $i$  相对于基准直杆的角度即可,在以后的试验中,均无需再次测量该角度,因而大幅度提升了测量效率。

[0103] 值得说明的是,每次测量时,所在的风洞试验段内的位置通常不同。

[0104] 同时,如图5所示,本发明实施例还提供了如下的一种方向动压探针安装角的测量方法,该测量方法能够大幅提高第一次测量时的精度,同时也为第二次以后的测量提供了精度保证和效率保证。

[0105] 具体地,第一次测量时,方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $n1$  处,第二次以后的测量,方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nj$  处,其中  $j$  为风洞试验段内的除去  $n1$  位置的位置序号,  $j \geq 2$ 。

[0106] 本发明实施例提供了一种方向动压探针安装角的测量方法,用于测量方向动压探针相对于风洞的安装角,其包括如下步骤:

[0107] 步骤S10:将上述的方向动压探针安装角的测量装置安装于风洞试验段内的位置  $n1$  处,其中,所述支撑杆  $p$  的两端分别抵靠在风洞试验段内的顶部和底部,所述基准直杆  $l$  面向风洞的背风侧,所述方向动压探针  $i$  面向风洞的迎风侧,  $n1$  为测量装置首次安装于风洞试验段内的位置;

[0108] 步骤S20:在现有风洞基准平面3上标记三个基准点C、D和E,在现有风洞基准平面内的现有风洞轴线4上标记两个基准点F和G,测量C、D、E、F、G的坐标  $C^{n1}$ 、 $D^{n1}$ 、 $E^{n1}$ 、 $F^{n1}$ 、 $G^{n1}$ ,并以  $C^{n1}$ 、 $D^{n1}$ 、 $E^{n1}$  建立当前风洞基准平面、以  $F^{n1}$ 、 $G^{n1}$  建立当前风洞基准平面内的当前风洞轴线,以当前风洞基准平面、当前风洞基准平面内的当前风洞轴线为基础建立当前坐标系;

[0109] 步骤S30:测量  $A_0$ 、 $B_0$ 、 $A_i$ 、 $B_i$  在当前坐标系内的坐标  $A_0^{n1}$ 、 $B_0^{n1}$ 、 $A_i^{n1}$ 、 $B_i^{n1}$ ;

[0110] 步骤S40:计算  $\overline{A_i^{n1} B_i^{n1}}$  和  $\overline{A_0^{n1} B_0^{n1}}$  的夹角  $\theta_i^{n1}$ , 将  $\theta_i^{n1}$  分解为铅垂面内与当前风洞轴线的夹角  $\Delta\alpha_{i1}^{n1}$  和水平面内与当前风洞轴线的夹角  $\Delta\beta_{i1}^{n1}$ ; 计算  $\overline{F^{n1} G^{n1}}$  和  $\overline{A_0^{n1} B_0^{n1}}$  的夹角  $\gamma_{n1}$ , 将  $\gamma_{n1}$  分解为铅垂面内与当前风洞轴线的夹角  $\Delta\alpha_{i2}^{n1}$  和水平面内与当前风洞轴线的夹角  $\Delta\beta_{i2}^{n1}$ ;

[0111] 步骤S50:计算方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $n1$  处相对于风洞的安装角, 包括俯仰角  $\Delta\alpha_i^{n1}$  和偏航角  $\Delta\beta_i^{n1}$ , 其中  $\Delta\alpha_i^{n1} = \Delta\alpha_{i1}^{n1} + \Delta\alpha_{i2}^{n1}$ ,  $\Delta\beta_i^{n1} = \Delta\beta_{i1}^{n1} + \Delta\beta_{i2}^{n1}$ 。

[0112] 一方面, 本发明实施例中, 测量的维度仅仅包括坐标, 而现有技术中需要依赖于多种测量维度 (也就是需要多种测量设备), 因而, 本发明实施例中的测量精度较高; 另一方面, 首次测量中的  $\Delta\alpha_{i1}^{n1}$  和  $\Delta\beta_{i1}^{n1}$  还可以在第二次以后的测量中得到利用, 为提高第二次以后的测量的效率, 提供了基础。

[0113] 如图6所示, 本发明实施例还提供了一种方向动压探针安装角的测量方法, 其用于计算方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nj$  处相对于风洞的安装角, 其中  $j$  为风洞试验段内的除去  $n1$  位置的位置序号,  $j \geq 2$ , 包括如下步骤:

[0114] 步骤S60: 测量  $A_0$ 、 $B_0$  的坐标  $A_0^{nj}$ 、 $B_0^{nj}$ ;

[0115] 步骤S70: 计算  $\overline{F^{n1} G^{n1}}$  和  $\overline{A_0^{nj} B_0^{nj}}$  的夹角  $\gamma_{nj}$ , 将  $\gamma_{nj}$  分解为铅垂面内与风洞轴线的夹角  $\Delta\alpha_{i2}^{nj}$  和水平面内与风洞轴线的夹角  $\Delta\beta_{i2}^{nj}$ ;

[0116] 步骤S80: 计算方向动压探针  $i$  在风洞试验段内的位置  $nj$  处相对于风洞的安装角, 包括俯仰角  $\Delta\alpha_i^{nj}$  和偏航角  $\Delta\beta_i^{nj}$ , 其中  $\Delta\alpha_i^{nj} = \Delta\alpha_{i1}^{n1} + \Delta\alpha_{i2}^{nj}$ ,  $\Delta\beta_i^{nj} = \Delta\beta_{i1}^{n1} + \Delta\beta_{i2}^{nj}$ 。

[0117] 可见, 由于  $\Delta\alpha_{i1}^{n1}$  和  $\Delta\beta_{i1}^{n1}$  已经在首次测量中得到, 因此, 本发明实施例中的方向动压探针安装角的测量装置在进行第二次测量以及第二次以后的测量时, 仅仅需要测量一个角度值  $\gamma_{nj}$  即可。

[0118] 为了提高坐标的测量精度, 所述步骤S30和步骤S60中, 通过绝对关节臂来测量坐

标。

[0119] 另外,当 $k=1$ 时,俯仰角 $\Delta\alpha_i^{nk}$ 即为 $\Delta\alpha_i^{n1}$ ,偏航角 $\Delta\beta_i^{nk}$ 即为 $\Delta\beta_i^{n1}$ ;当 $k\geq 2$ 时,俯仰角 $\Delta\alpha_i^{nk}$ 即为 $\Delta\alpha_i^{nj}$ ,偏航角 $\Delta\beta_i^{nk}$ 即为 $\Delta\beta_i^{nj}$ 。

[0120] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

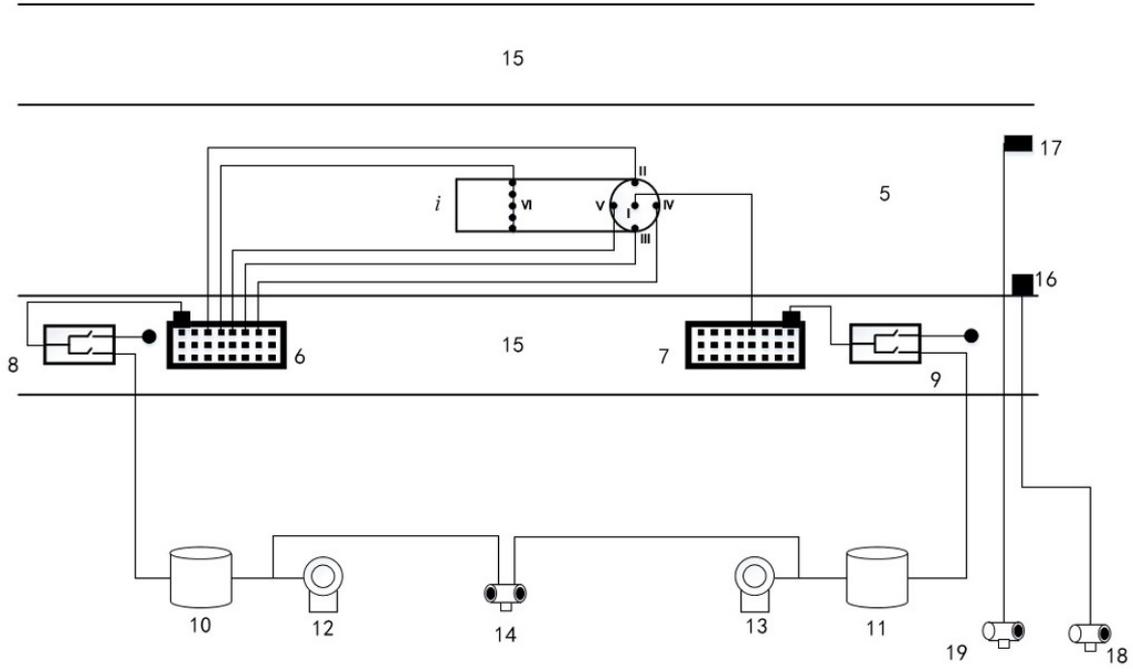


图1

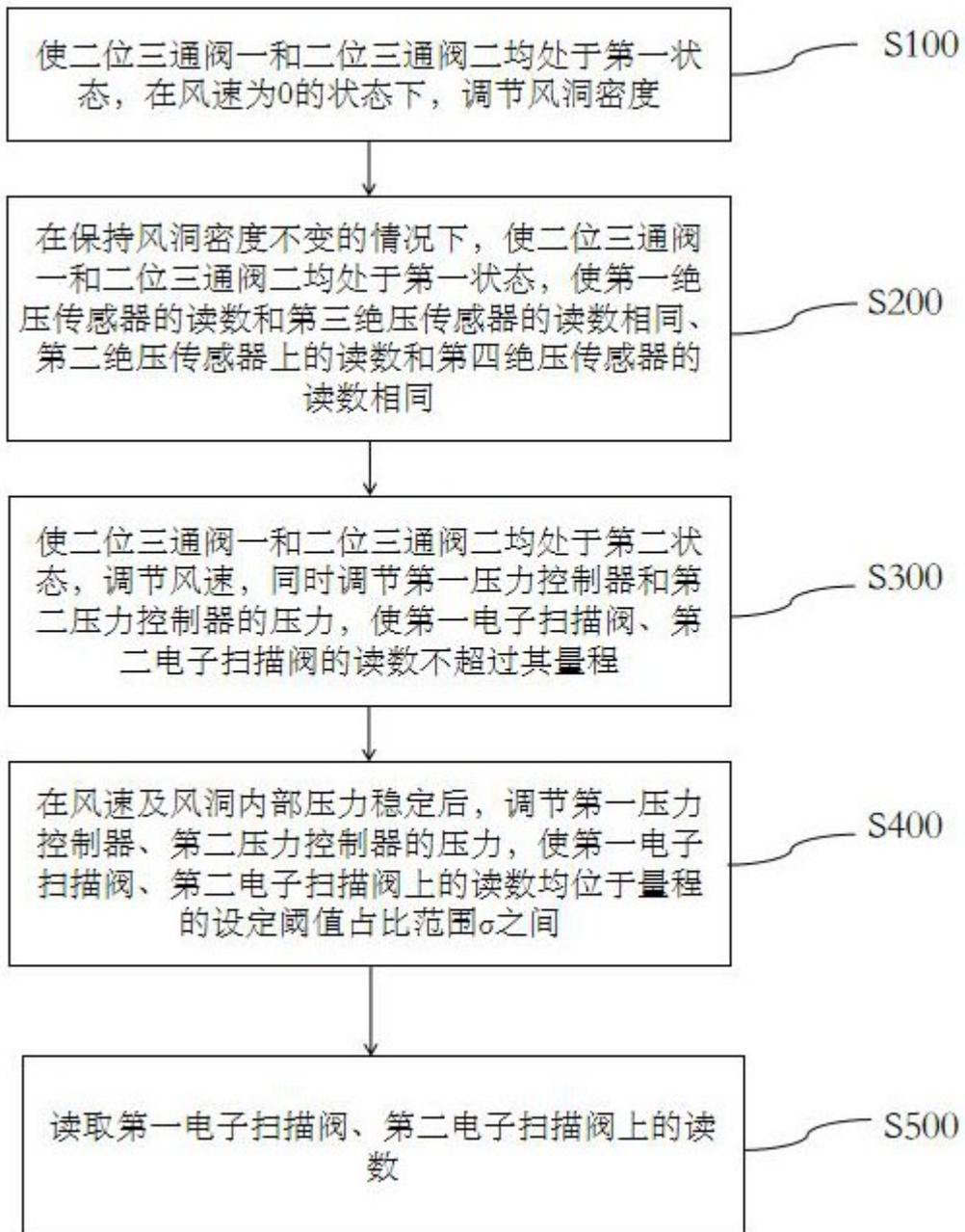


图2

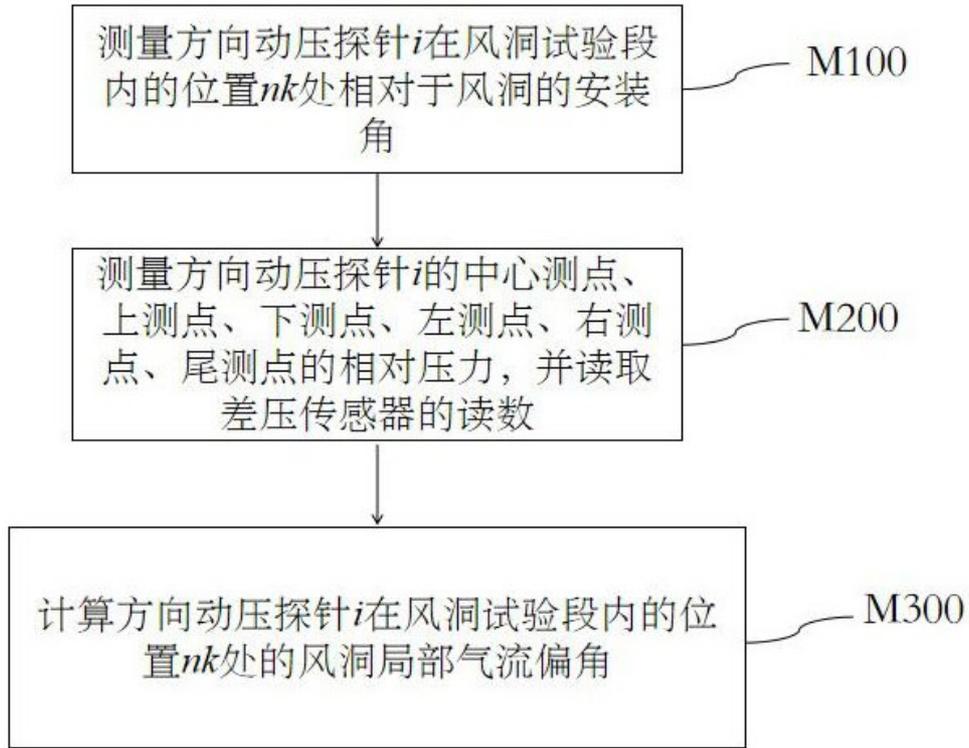


图3

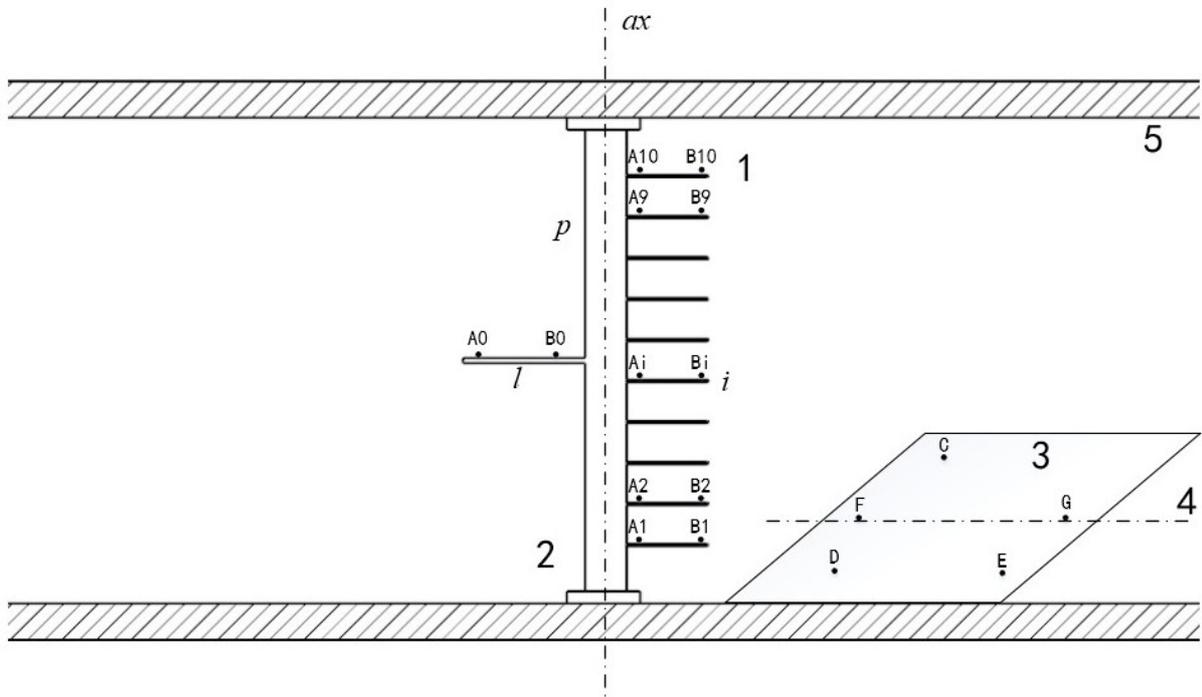


图 4

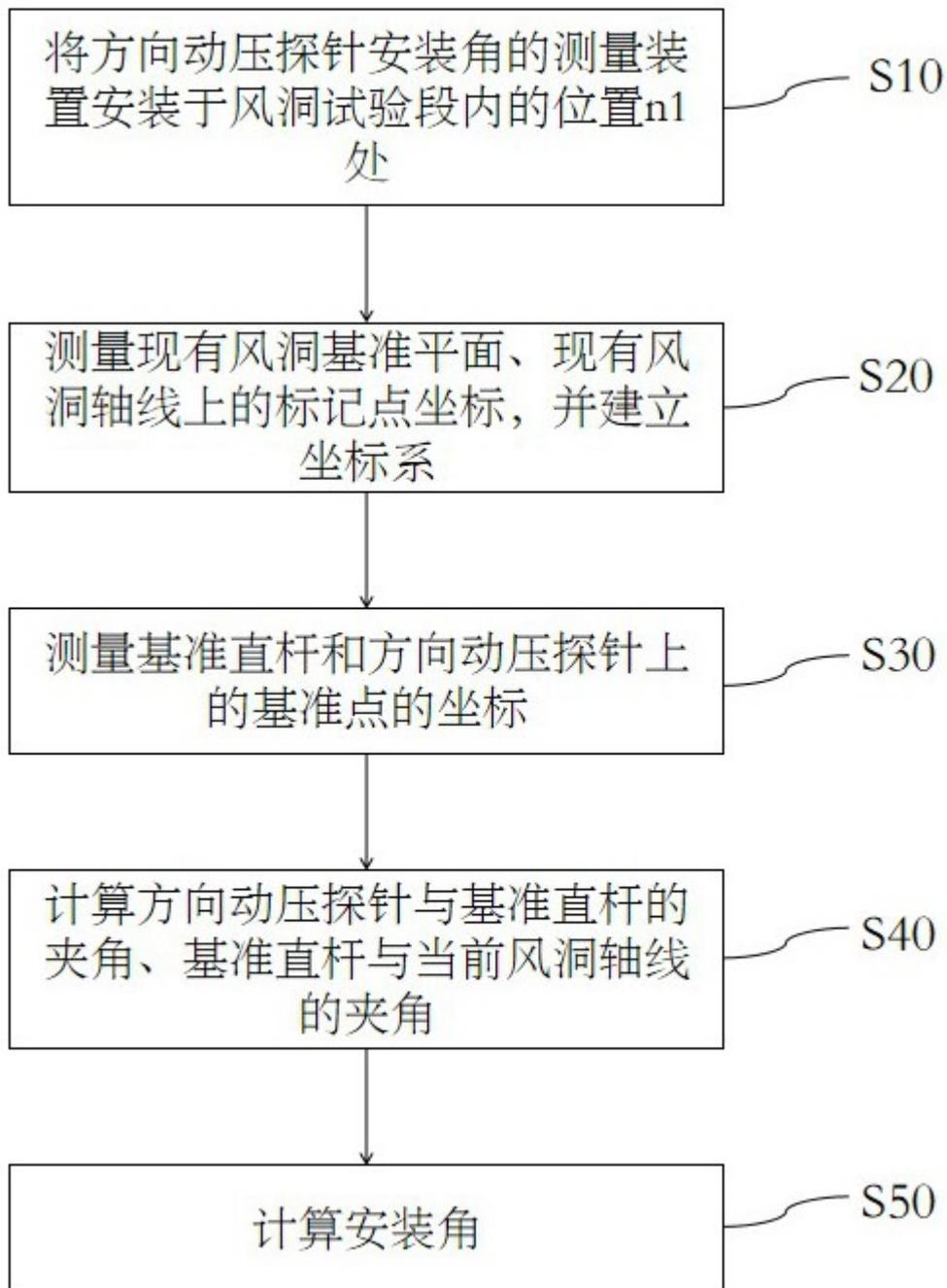


图5

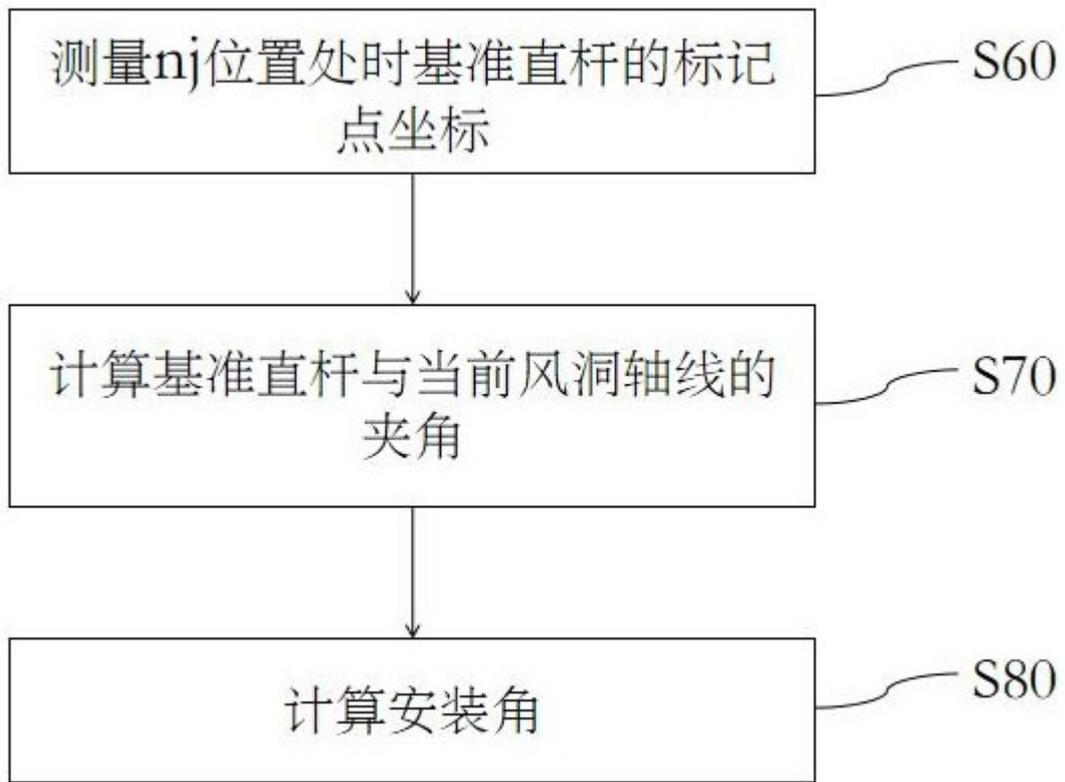


图6