



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109114012 A

(43)申请公布日 2019.01.01

(21)申请号 201810784866.4

(22)申请日 2018.07.17

(71)申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路
301号

(72)发明人 邓起凡 王文杰 裴吉 袁寿其
曹健 甘星城 蒋伟

(51)Int.Cl.

F04D 15/00(2006.01)

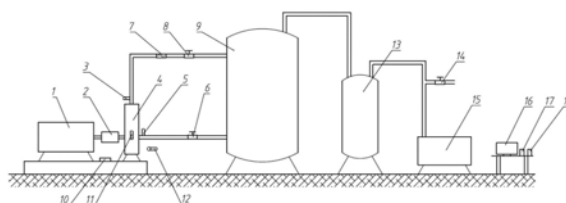
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种叶片泵自动测试装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种叶片泵自动测试装置及方法,涉及叶片泵测试技术领域,本发明提供一种叶片泵自动测试装置,包括计算机、数据采集卡、运动控制卡、流量计、出口压力传感器、进口压力传感器、高频压力传感器、转速转矩传感器、振动传感器、噪声传感器、电动阀和真空泵,基于本发明装置的方法,可实现同时进行多项测试,并自动完成测试过程,可采集大量数据,提高了试验的准确度,程序自动处理、保存数据,减小了后续处理试验数据的难度。



1. 一种叶片泵自动测试装置,其特征在于,包括计算机(16)、数据采集卡(17)、运动控制卡(18)、流量计(7)、出口压力传感器(3)、进口压力传感器(5)、高频压力传感器(11)、转速转矩传感器(2)、振动传感器(10)、噪声传感器(12)、电动阀(8)和真空泵(15)。

2. 根据权利要求1所述的叶片泵自动测试装置,其特征在于,所述电动阀(8)和真空泵(15)与运动控制卡(18)连接;转速转矩传感器(2)、出口压力传感器(3)、进口压力传感器(5)、高频压力传感器(11)、振动传感器(10)和噪声传感器(12)与数据采集卡(17)连接;所述运动控制卡(18)及数据采集卡(17)与计算机(16)连接。

3. 根据权利要求2所述的叶片泵自动测试装置,其特征在于,所述数据采集卡为SmacqUSB-2000系列数据采集卡和运动控制卡为NIPCI-7332运动控制卡。

4. 基于权利要求2所述的叶片泵自动测试装置的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一:搭建闭式试验台,电动机(1)带动待测泵(4),待测泵(4)通过管道与气蚀罐(9)连通;气蚀罐(9)通过管道与汽水分离罐(10)、真空泵(15)连通;将转速转矩传感器(2)安装在电动机(1)的输出端;压力传感器(3)、压力传感器(5)分别安装在待测泵(4)的输出端与输入端;振动传感器(10),高频压力传感器(11)和噪声传感器(12)根据试验需要,选择安装数量和位置;

步骤二:使用LabWindows/CVI2017打开测试程序,设置参数;

步骤三:开启水封阀闸(6),启动待测泵(4),待系统稳定,对比流量计(7)示数与LabWindows/CVI程序显示值是否一致,确定测试程序准确;

步骤四:选择需要进行的试验,并对各试验选择是否在空化条件下测试;

步骤五:运行测试程序;

步骤六:程序判断是否需要空化条件下测试,若是,则开启真空泵(15),若否则不开启真空泵(15);

步骤七:调节工况;

步骤八:采集数据;

步骤九:处理数据,绘制图像,保存数据;

步骤十:判断是否完成测试,若是,则程序停止运行;若否,则返回步骤六;

步骤十一:关闭测试程序,关闭待测泵(4),关闭计算机(16)。

5. 根据权利要求4所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤二中) LabWindows/CVI测试程序包括参数设置、工况调节、测试;所述参数设置用于设置待测泵(4)的几何参数,转速转矩传感器(2)、出口压力传感器(3)、进口压力传感器(5)、流量计(7)、高频压力传感器(11)、振动传感器(10)和噪声传感器(12)的参数以及所需测量的工况点;工况调节部分用于根据设定的工况点,自动控制电动阀(8),调节流量,控制真空泵(15)的开启和关闭;测试部分包括数据采集、数据处理,显示和保存。

6. 根据权利要求4所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤二中) 所需输入的几何参数有:待测泵(4)的进口直径 D_1 、出口直径 D_2 、进口压力传感器(5)到待测泵(4)轴心线竖直距离 h_1 、出口压力传感器(3)到待测泵(4)轴心线竖直距离 h_2 、当地重力加速度 g 、大气压 p_a ;所需设定的工况点参数有:待测最小 Q_{min} 、最大流量 Q_{max} 和待测工况点个数 m ;所需设定的上述传感器参数有:传感器量程上限 y_{max} 、传感器量程下限 y_{min} 和输出信号上限 x_{max} 、输出信号下限 x_{min} ,上述传感器精度 σ ,采样次数 n ;对于压力脉动测试、振动测试和噪声测

试,输入对应的采样时长 t_s 和传感器采样频率 f_s 。

7. 根据权利要求4所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤七通过运动控制卡(18)控制电动阀(8),通过数据采集卡(17)控制输入流量,程序自动对比采集到的流量值 Q 与设定工况点流量值 Q_i ,若流量 Q 的范围均在 $0.99Q_i \sim 1.01Q_i$ 范围内,则判断工况调节完成,若 $Q > 1.01Q_i$,则程序输出控制信号,减小电动阀(8)开度,若 $Q < 0.99Q_i$,则增大电动阀(8)开度。

8. 根据权利要求4所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤八中,通过流量计(7)采集流量信号 Q ,通过出口压力传感器(3)采集出口压力 p_d ,通过进口压力传感器(5)采集出口压力 p_s 、通过高频压力传感器(11)采集压力脉动信号 p_i ,通过转速转矩传感器(2)采集转速信号 N 和转矩信号 M ,通过振动传感器(10)采集振动信号、通过噪声传感器(12)采集噪声信号。

9. 根据权利要求4所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤四中)的试验包括外特性测试或者空化性能测试或者压力脉动测试或者振动测试或者噪声测试中的一种或者几种。

10. 根据权利要求8所述的叶片泵自动测试方法,其特征在于,所述步骤九中程序自动拟合并绘制待测泵外特性曲线及其误差线图;程序绘制压力脉动测试、振动测试和噪声测试中各传感器信号的时域、频域和功率谱图像。

一种叶片泵自动测试装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于叶片泵测试技术领域,具体涉及一种叶片泵自动测试装置及方法。

背景技术

[0002] 目前,叶片泵测试通常由人工进行操作,其主要方法是:泵运行后,手动调节阀门开度,或人工调节电动阀开度,以改变流量,从而改变叶片泵运行工况,每次调节流量后,带流量计示数平稳后,记录相应的进出口压力、扭矩、转速等,计算得到泵的扬程、功率、效率等参数。由于叶片泵内流动复杂,所以传统的人工测量方法准确度低,各个参数随时间变化幅度大,人工难以记录并处理大批量数据,且对测试人员要求较高。

[0003] 为了克服人工测试的缺点,开发了多种叶片泵自动测试方法。如专利CN201710286211.X,“水泵闭式试验台测控系统与测试方法”,提出使用工控机和计算机软件实现泵性能测试。但测试方法集成度低,无法同时对叶片泵外特性、空化、压力脉动、振动、噪声等性能进行测量,并且现有方法信号即时分析、处理的能力差,大批量数据分析、处理能力弱,给叶片泵测试带来困难。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有叶片泵闭式试验台测试方法中所存在的集成度低,信号处理困难等缺陷,为达到上述目的,本发明提供以下测试装置及方法:

[0005] 本发明提供一种叶片泵自动测试装置,包括计算机、数据采集卡、运动控制卡、流量计、出口压力传感器、进口压力传感器、高频压力传感器、转速转矩传感器、振动传感器、噪声传感器、电动阀和真空泵。

[0006] 使用本测试装置的方法包括以下步骤:

[0007] 步骤一:搭建闭式试验台,布置传感器。

[0008] 步骤二:使用LabWindows/CVI2017打开测试程序,设置参数;

[0009] 步骤三:开启水封阀闸,启动待测泵,待系统稳定,对比流量计示数与

[0010] LabWindows/CVI程序显示值是否一致,确定测试程序准确;

[0011] 步骤四:选择需要进行的试验,并对各试验选择是否在空化条件下测试;

[0012] 步骤五:运行测试程序;

[0013] 步骤六:程序判断是否需要进行空化条件下测试,若是,则开启真空泵,若

[0014] 否则不开启真空泵;

[0015] 步骤七:调节工况;

[0016] 步骤八:采集数据;

[0017] 步骤九:处理数据,绘制图像,保存数据;

[0018] 步骤十:判断是否完成测试,若是,则程序停止运行;若否,则返回步骤六;

[0019] 步骤十一:关闭测试程序,关闭待测泵,关闭计算机。

[0020] 所述步骤一搭建的闭式试验台中电动机带动待测泵,待测泵通过管道与气蚀罐连

通;气蚀罐通过管道与汽水分离罐、真空泵连通;将转速转矩传感器安装在电动机的输出端;压力传感器、压力传感器分别安装在待测泵的输出端与输入端;振动传感器,高频压力传感器和噪声传感器,各传感器根据实际需求确定数量和安装位置。所述流量计、出口压力传感器、进口压力传感器、高频压力传感器、转速转矩传感器、振动传感器和噪声传感器与所述数据采集卡连接,所述电动阀和真空泵和运动控制卡连接,所述数据采集卡和运动控制卡与所述计算机连接。所述数据采集卡为SmacqUSB-2000系列数据采集卡和运动控制卡为NIPCI-7332运动控制卡,所述

[0021] 所述步骤二所述测试程序采用LabWindows/CVI2017编写,安装在所述计算机中,包括参数设置、工况调节和测试3个部分,可进行包括外特性测试或者空化性能测试或者压力脉动测试或者振动测试或者噪声测试中的一种或者几种。

[0022] 进一步的,所述步骤二中所需输入的参数有:泵几何参数:待测泵的进口直径D1、出口直径D2、进口压力传感器到待测泵轴心线竖直距离h1、出口压力传感器到待测泵轴心线竖直距离h2、当地重力加速度g、大气压pa;工况点参数:待测最小 Q_{\min} 、最大流量 Q_{\max} 和待测工况点个数m;上述各传感器参数:传感器量程上限 y_{\max} 、传感器量程下限 y_{\min} 和输出信号上限 x_{\max} 、输出信号下限 x_{\min} ,上述传感器精度 σ ,采样次数n;对于压力脉动测试、振动测试和噪声测试,输入对应的采样时长 t_s 和传感器采样频率 f_s 。

[0023] 对于上述各个传感器,被测量 y 与传感器输出信号 x 之间函数关系式为 $y=kx+b$, k 、 b 为常数,其中 $k=(y_{\max}-y_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$, $b=y_{\max}-x_{\max}(y_{\max}-y_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$ 。工况参数为:测试流量范围 Q_{\min} 、 Q_{\max} ,所需测量工况点个数m。程序自动计算各待测工况点流量 Q_i , $i=1,2,3\cdots m$,其中 $Q_1=Q_{\min}$, $Q_m=Q_{\max}$, $Q_{i+1}-Q_i=(Q_{\max}-Q_{\min})/(m-1)$,试验中从 Q_1 开始,按顺序测量各个工况点。

[0024] 所述步骤四中选择需要进行的试验,未选择的试验,程序不进行测试。不同类型的测试均可选择是否在空化条件下进行测试。程序优先进行非空化条件下的测试,待所有选择了非空化条件的测试完成,程序自动关闭未选择空化的测试,开启真空泵,完成空化条件下的试验。

[0025] 所述步骤七自动调节况中,测试程序通过运动控制卡控制电动阀连续运行,通过数据采集卡动态输入流量 Q ,程序自动对比采集到的流量值 Q 与设定工况点流量值 Q_i ,若 $Q>Q_i$,则程序输出控制信号,减小电动阀开度,反之增大电动阀开度。由于叶片泵内流量会有微小的波动,为保准工况调节准确且高效,当最新采集到的n个流量 Q 的范围均在 $0.99Q_i\sim 1.01Q_i$ 范围内,则完成工况调节,其中n为步骤二中输入的传感器采样次数n。

[0026] 所述步骤八中,通过流量计采集流量信号 Q ,通过出口压力传感器采集出口压力 p_d ,通过进口压力传感器采集出口压力 p_s 、通过高频压力传感器采集压力脉动信号 p_i ,通过转速转矩传感器采集转速信号 N 和转矩信号 M ,通过振动传感器采集振动信号、通过噪声传感器采集噪声信号。

[0027] 进一步的,在数据采集,压力脉动等动态数据直接按时序保存测量值。对于流量 Q ,转速 N ,进口压力 p_s 、出口压力 p_d 等性能参数,为减小实验测量误差,采用多次采样取平均值以减小误差。共采样n次,采样均值 $\bar{y}=\frac{\sum y}{n}$,用平均值 \bar{y} 进行后续数据处理。计算被测量 y 的标准误差 $SE=\bar{y}/\sqrt{n-1}$,计算被测量 y 的不确定度 $u_y=(SE+\sigma)/\bar{y}$, σ 为步骤二中输入的相

应传感器的精度。

[0028] 所述步骤九中数据处理方法,外特性测试中的各性能参数计算方法如下:

[0029] 扬程: $H = (p_d - p_s)/(\rho g) + (v_2^2 - v_1^2)/(2g) + h_2 - h_1$;

[0030] 其中: $v_1 = Q/(\pi D_1^2/4)$, $v_2 = Q/(\pi D_2^2/4)$;

[0031] 功率: $P_H = \rho g Q H$;

[0032] 轴功率: $P = MN/9550$;

[0033] 效率: $\eta = P_H/P$;

[0034] 空化性能测试中,开启真空泵,当扬程H减小3%后,程序计算NPSHr。

[0035] 空化性能参数: $NPSHr = NPSHa = (p_a - p_v - |p_s|)/\rho g + v_1^2/(2g)$ 。

[0036] 式中:重力加速度g,进口压力传感器到泵轴心线竖直距离 h_1 ,出口压力传感器到泵轴心线竖直距离 h_2 ,泵进口直径 D_1 ,泵出口直径 D_2 ,大气压 p_a 为输入的参数值;进口压力 p_s ,出口压力 p_d ,转矩M,转速N,流量Q为测量值; ρ 为密度, p_v 为液体汽化压力,其值由程序根据温度T确定。

[0037] 各性能参数的不确定度计算方法如下:

[0038] 进口压力 p_s 、出口压力 p_d 、流量Q、转速N、转矩M对应的不确定度 u_{p_d} 、 u_{p_s} 、 u_Q 、 u_N 、 u_M 为直接测量不确定度,采用前述数据处理方法计算得到。

[0039] 扬程H,功率 P_H ,效率 η 为间接测量不确定度,其计算方法如下:

[0040] 扬程: $u_H = \sqrt{u_{p_d}^2 + u_{p_s}^2 + u_Q^2}$;

[0041] 功率: $u_{P_H} = \sqrt{u_H^2 + u_Q^2}$;

[0042] 效率: $u_\eta = \sqrt{u_{P_H}^2 + u_M^2 + u_N^2}$

[0043] 进一步的,在测试过程中,程序自动绘制图像。通过自动调节流量,测得不同工况下 p_d , p_s , M, N, Q, 计算得相应的H-Q, P-Q, η -Q值,绘制三者的图像,并采用最小二乘法进行曲线拟合。计算相应的不确定度,以误差线图显示H-Q, P-Q, η -Q三条曲线,以*.xls文件保存试验测量数据。

[0044] 在压力脉动测试、振动测试和噪声测试中,根据设置的采样时长 t_s ,传感器采样频率 f_s ,则测量得到的数据个数为 $t \times f_s$,将各传感器测量数据按时序以*.xls文件分别保存;在波形图上显示幅值A关于时间t的图像;计算功率谱PSD,用波形图显示功率谱关于频率f的图像PSD-f;对采集到的时域数据进行短时傅里叶变换,得到其时频特征f-t,以强度图的显示。将相应的PSD-f、f-t数据以*.xls文件分别保存。

[0045] 本发明的有益效果是:本方法可同时进行多项测试,并自动完成测试过程,可采集大量数据,提高了试验的准确度,程序自动处理、保存数据,减小了后续处理试验数据的难度。同时,本方法对测试人员要求低,改善了测试人员的工作环境,减小了劳动强度。数据采集卡采用SmacqUSB-2000系列数据采集卡,运动控制卡采用NIPCI-7332运动控制卡,两者接口均为插头、插座形式,便于拆卸,精度高,能够满足试验需求,且价格相对较低,降低了试验成本。

附图说明

- [0046] 图1为本测试装置的原理框图；
- [0047] 图2为使用本测试装置的方法流程图；
- [0048] 图3为工况调节流程图；
- [0049] 图4为泵闭式试验台示意图；
- [0050] 图5为高频压力传感器布置示意图；
- [0051] 图6为试验得到的扬程-流量拟合曲线；
- [0052] 图7为试验得到的扬程-流量误差线图。
- [0053] 附图标记如下：
- [0054] 1-电动机,2-转速转矩传感器,3-出口压力传感器,4-待测泵,5-进口压力传感器,6-水封闸阀,7-流量计,8-电动阀,9-气蚀罐,10-振动传感器,11-高频压力传感器,12-噪声传感器,13-汽水分离罐,14-球阀,15-真空泵,16-计算机,17-数据采集卡,18-运动控制卡。I-1号高频压力传感器,II-2号高频压力传感器,III-3号高频压力传感器,IV-4号高频压力传感器。

具体实施方式

[0055] 为对本发明做进一步的了解,现结合附图做进一步的描述:本装置及方法为一台设计流量 $Q_{des}=20\text{m}^3/\text{h}$,设计扬程 $H_{des}=50\text{m}$,设计转速 $N_{des}=1480\text{rpm}$ 的单级单吸离心泵为例,同时进行性能测试、压力脉动测试和空化测试3种测试。

[0056] 使用本测试装置方法的流程结合附图2所示,本方法的步骤为:

[0057] 步骤一:搭建闭式试验台,布置传感器;其中,试验所采用的传感器有:流量计7、进口压力传感器5、出口压力传感器3、转速转矩传感器2、温度传感器和高压压力传感器(I-1号高频压力传感器,II-2号高频压力传感器,III-3号高频压力传感器,IV-4号高频压力传感器);上述所有传感器按照标准和要求布置。流量计7测量流量 Q ;进口压力传感器5、出口压力传感器3测量进口压力 p_s ,出口压力 p_a ,以及4个布置于待测泵4泵体用于压力脉动测试的高频压力传感器(II-1号高频压力传感器,III-2号高频压力传感器,IV-3号高频压力传感器,V-4号高频压力传感器),测量各测点压力 p_j , $j=1,2,3,4$,高频压力传感器布置结合附图5所示;转速转矩传感器2测量待测泵4的转速 N 和扭矩 M 。

[0058] 步骤二:使用LabWindows/CVI 2017打开测试程序,设置参数。

[0059] 试验所需输入的参数如下:

[0060] (1) 测试泵参数:输入待测泵4的进口直径 $D_1=50\text{mm}$,待测泵4的出口直径 $D_2=50\text{mm}$,进口压力传感器5到待测泵4轴心线竖直距离 $h_1=0\text{mm}$,出口压力传感器3到待测泵4轴心线竖直距离 $h_2=250\text{mm}$,当地重力加速度 $g=9.81\text{m}^2/\text{s}^2$,大气压 $p_a=0.0973\text{MPa}$,温度 $T=26^\circ\text{C}$ 。

[0061] (2) 工况:测试流量范围 $Q_{min}=16\text{m}^3/\text{h}$ 、 $Q_{max}=26\text{m}^3/\text{h}$,所需测量工况点个数 $m=6$ 。程序自动计算得到所需测量的工况点流量 $Q_1=16\text{m}^3/\text{h}$, $Q_2=18\text{m}^3/\text{h}$, $Q_3=20\text{m}^3/\text{h}$, $Q_4=22\text{m}^3/\text{h}$, $Q_5=24\text{m}^3/\text{h}$, $Q_6=26\text{m}^3/\text{h}$ 。

[0062] (3) 传感器参数输入各传感器量程上下限:流量计 $Q_{max}=40\text{m}^3/\text{h}$, $Q_{min}=0\text{m}^3/\text{h}$,进口压力传感器5、出口压力传感器3和4个高频压力传感器的量程均为 $p_{max}=10\text{MPa}$, $p_{min}=0\text{MPa}$;

所有传感器输出信号均为电压信号,上下限均为 $x_{\max}=5V$, $x_{\min}=0V$,各传感器精度均为 $\sigma=0.01$ 。

[0063] (4) 输入采样数 $n=1000$,采样时长 $t_s=10s$,高频传感器采样频率 $f_s=10000Hz$ 。

[0064] 步骤三:开启水封闸阀6,启动待测泵4,对比流量计示数与LabWindows/CVI程序显示的流量值是否一致,确定测试程序准确;

[0065] 步骤四:选择性能测试,空化测试,压力脉动测试,并在压力脉动测试中选择需要在非空化和空化两种条件下进行测试,不选择振动测试和噪声测试,运行测试程序。

[0066] 步骤五:运行测试程序。

[0067] 步骤六:程序判断是否需要空化条件下测试,若是,则开启真空泵,若否则不开启真空泵;

[0068] 步骤七:调节工况;

[0069] 步骤八:采集数据;

[0070] 步骤九:绘制图像,保存数据;

[0071] 步骤十:判断是否完成测试,若是,则程序停止运行;若否,则返回步骤六。

[0072] 步骤十一:关闭测试程序,关闭待测泵4,关闭计算机。

[0073] 程序自动绘制的图像结合附图6、图7所示,结合附图6为H-Q拟合曲线,图7为H-Q误差线图。

[0074] 所述实施例为本发明的优选的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的情况下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

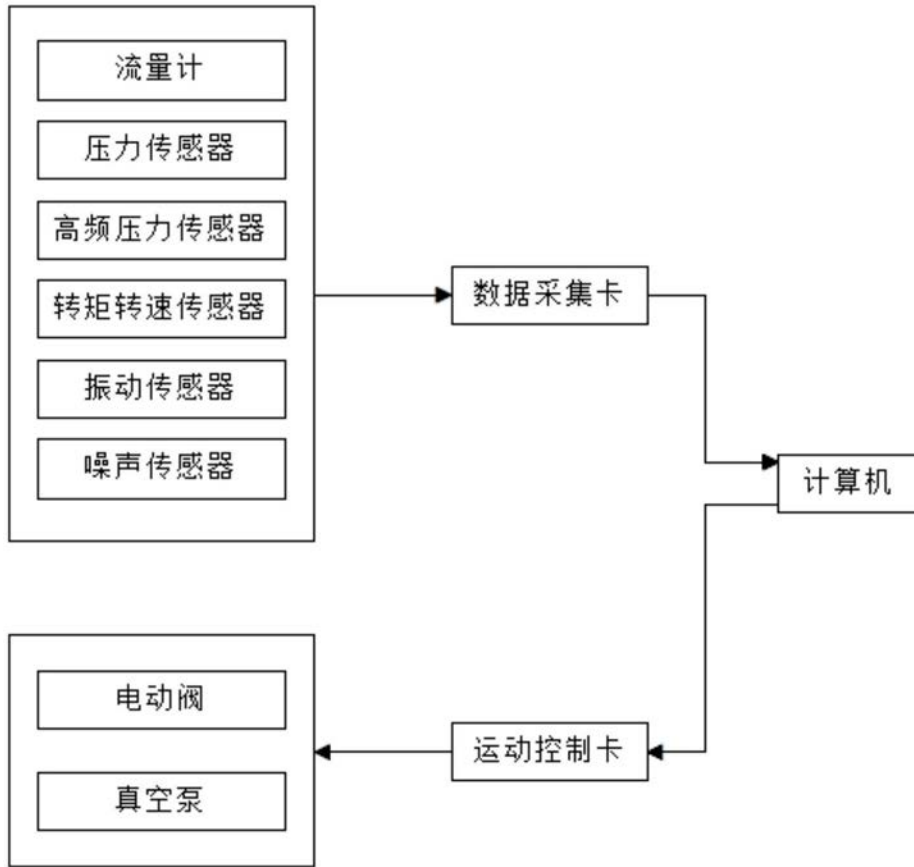


图1

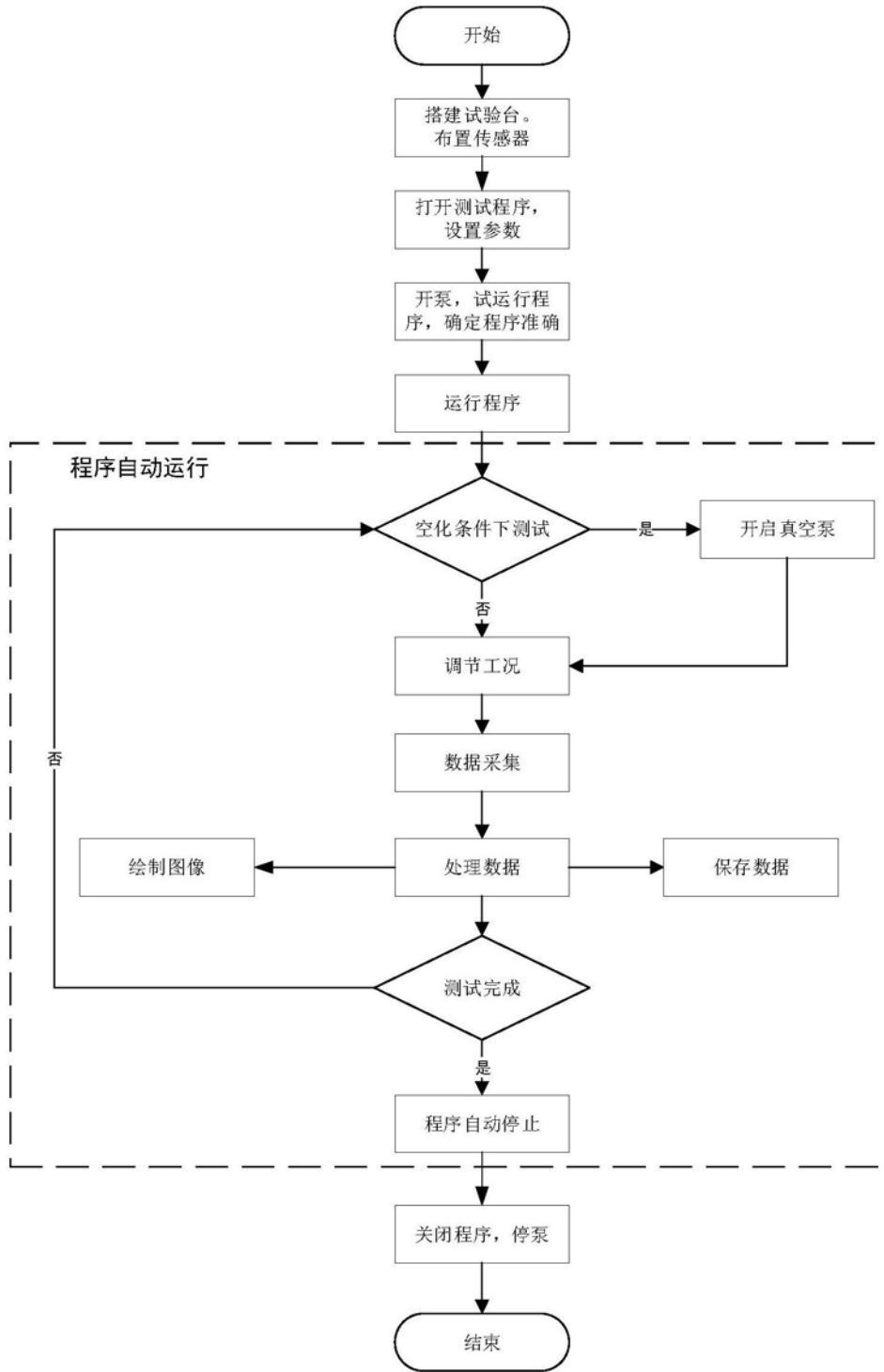


图2

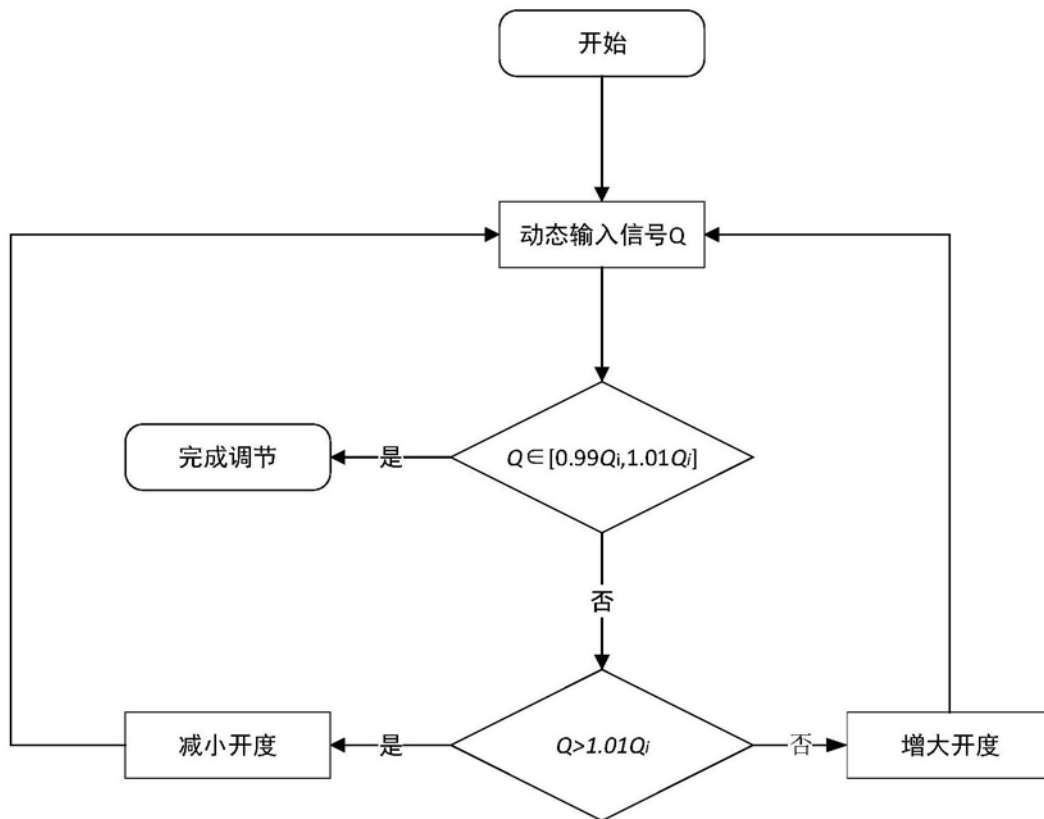


图3

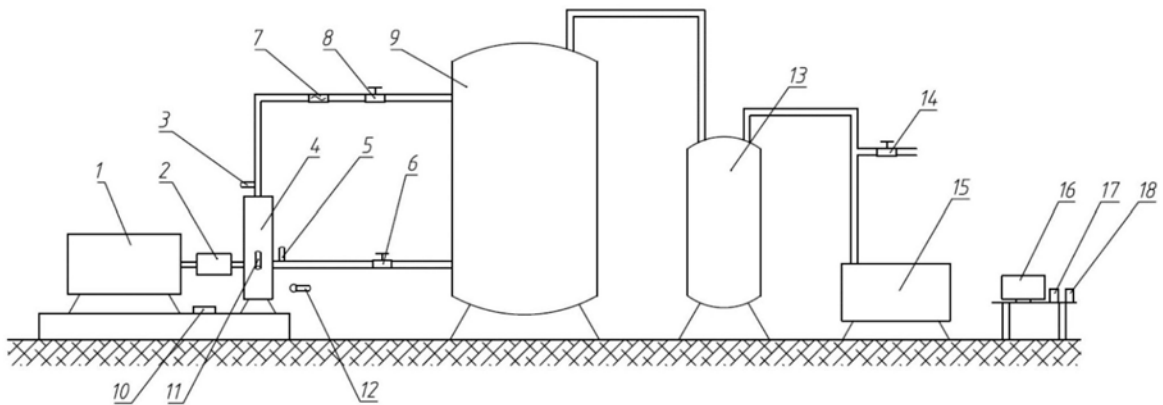


图4

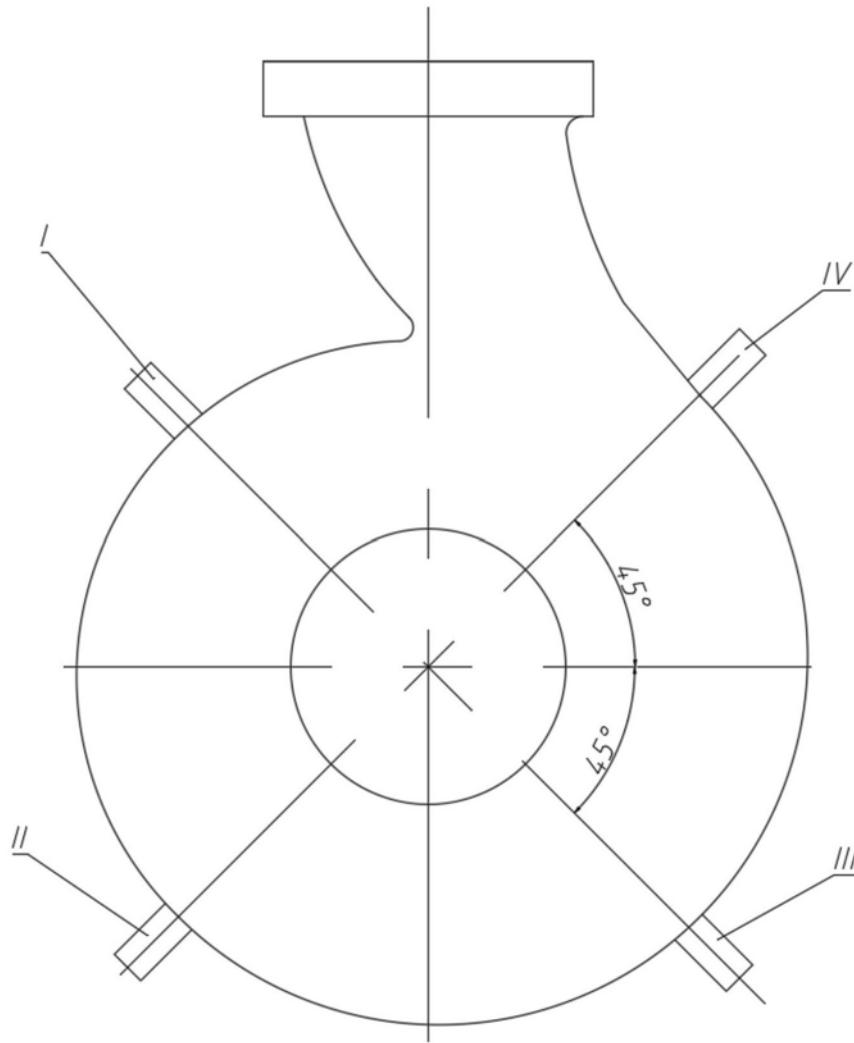


图5



图6

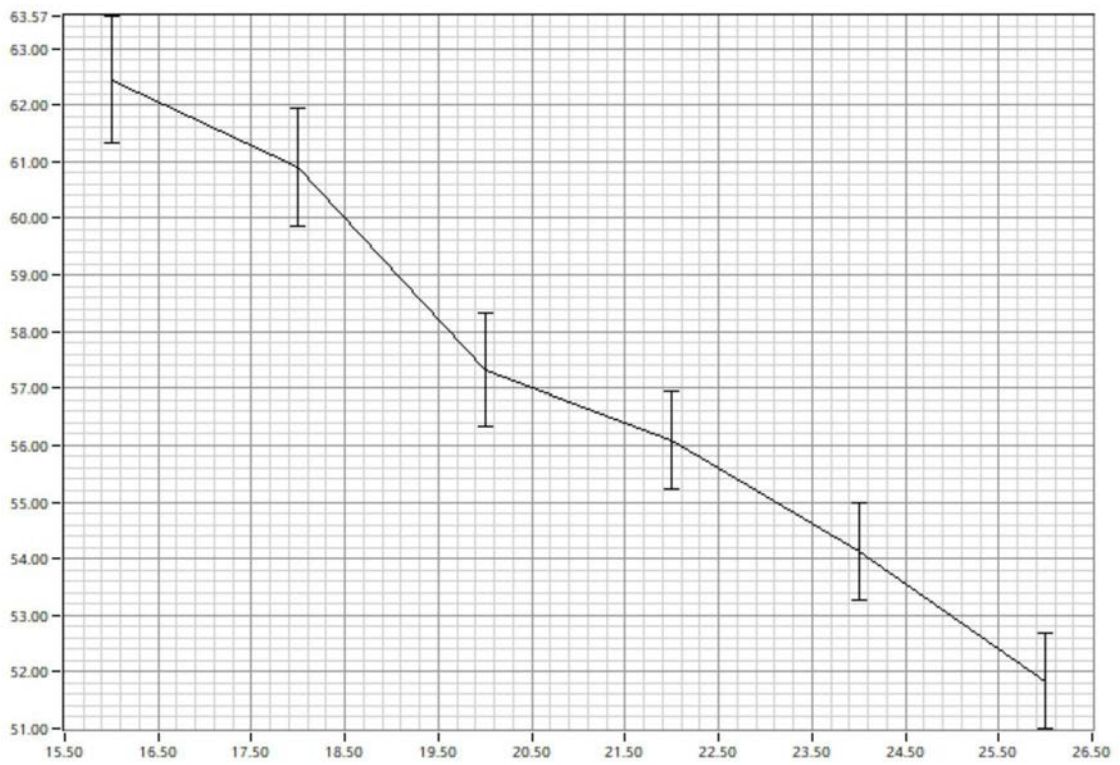


图7