



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102030086 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 27

(21) 申请号 201010238789. 6

(22) 申请日 2010. 07. 30

(71) 申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037 号

(72) 发明人 杨钢 傅晓云 杜经民 李宝仁
李锦云 方旭

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 方放

(51) Int. Cl.

B63B 35/44 (2006. 01)

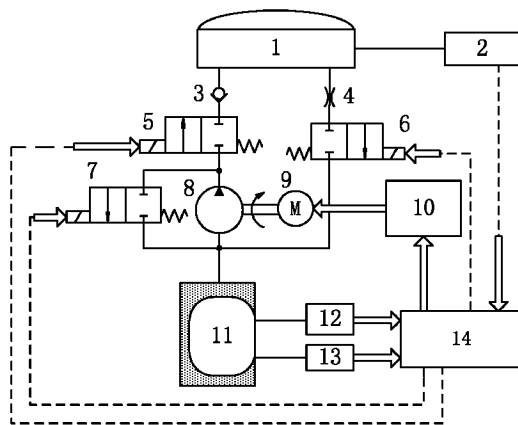
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种浮力调节装置

(57) 摘要

一种浮力调节装置, 本发明属于液压装置, 用于海洋监测及海洋勘探, 解决现有浮力调节装置质量、体积和功耗偏大的问题。本发明中, 油箱分别通过管道连接第一换向阀、液压泵和第三换向阀; 液压泵依次连接第二换向阀、单向阀和油囊进口; 第三换向阀通过节流阀连接油囊出口; 油箱和油囊上分别设置的液体压力传感器、气体压力传感器和温度传感器分别与控制电路电信号连接, 控制电路分别对第一、第二、第三换向阀和电机控制器输出控制信号, 直流电机受电机控制器控制, 驱动液压泵。本发明结构简单、体积小、重量轻、动作可靠、功耗低, 浮力变化范围 0 ~ 50N, 下潜最大深度达到 1800m, 功耗低于 250W, 质量小于 25kg。



1. 一种浮力调节装置,包括油箱(11)、第一换向阀(7)、第二换向阀(5)、第三换向阀(6)、单向阀(3)、节流阀(4)、液压泵(8)、直流电机(9)和油囊(1),其特征在于:

所述油箱(11)分别通过管道连接第一换向阀(7)、液压泵(8)和第三换向阀(6);液压泵(8)依次连接第二换向阀(5)、单向阀(3)和油囊(1)进口;第三换向阀(6)通过节流阀(4)连接油囊(1)出口;

所述油箱(11)上设置气体压力传感器(12)和温度传感器(13),油囊(1)上设置液体压力传感器(2);液体压力传感器(2)、气体压力传感器(12)和温度传感器(13)分别与控制电路(14)电信号连接,控制电路(14)分别对第一、第二、第三换向阀和电机控制器(10)输出控制信号,直流电机(9)受电机控制器(10)控制,驱动液压泵(8)。

2. 如权利要求1所述的浮力调节装置,其特征在于:

所述控制电路根据外部指令决定向油囊充油或排油,充油时,控制电路首先向电机控制器输出电机启动信号,向第一换向阀输出接通信号,待电机空载启动后再分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开和接通信号,同时计算油囊体积 V ,当 V 达到外部指令信号所要求的体积时,控制电路向电机控制器输出电机停止信号,向第二换向阀输出断开信号,停止充油;

排油时,控制电路分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开信号,向第三换向阀输出接通信号,同时计算油囊体积 V ,当 V 达到外部指令信号所要求的体积时,控制电路向第三换向阀输出断开信号,停止排油;

控制电路依据下式计算油囊体积 V :

$$V = \frac{T_1 p_0}{T_0 p_1} V_0 - V_0 + V_1 \quad ,$$

式中, p_0 、 T_0 、 V_0 为气囊内气体初始压力、温度、体积, p_1 、 T_1 为气体压力传感器和温度传感器实时测量气囊内气体压力和温度, V_1 为油囊初始体积。

3. 如权利要求2所述的浮力调节装置,其特征在于:

所述控制电路接受液体压力传感器的油压 p_2 ,计算浮力调节装置所处的深度 h :

$$h = p_2 / \rho g,$$

式中, ρ 为海水密度, g 为重力加速度;

控制电路判断是否 $h >$ 设定的浮力调节装置下潜最大深度,是则先向电机控制器输出电机启动信号,向第一换向阀输出接通信号,待电机空载启动后再分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开和接通信号,同时计算 h ,当 $h \leq$ 设定的浮力调节装置下潜最大深度时,控制电路向电机控制器输出电机停止信号,向第二换向阀输出断开信号,停止充油。

4. 如权利要求1、2或3所述的浮力调节装置,其特征在于:

所述液压泵采用齿轮泵;

所述油箱包括油箱体和气囊,气囊位于油箱体内,气囊和油箱体之间充有液压油;

所述油囊由油囊上盖、保护罩和橡胶膜片构成,油囊上盖和保护罩通过螺钉连接,将橡胶膜片压在保护罩内,橡胶膜片和油囊上盖为形状相同的半球形,油囊上盖和橡胶膜片构成的封闭空间内充有液压油,保护罩上开有透孔。

一种浮力调节装置

技术领域

[0001] 本发明属于液压装置,具体涉及一种浮力调节装置,用于海洋监测及海洋勘探。

背景技术

[0002] 海洋监测是研究海洋、开发和利用海洋的基础,海洋观测仪器和海洋测量平台则是海洋观测的工具和手段,是海洋事业中基础的基础。拥有先进的海洋自动观测仪器和可靠数据采集系统是我国成为海洋强国必要的前提条件之一。在海洋环境监测和资源调查中,经常需要对海洋动力环境进行长期、定点、实时、立体监测,即进行海洋水体中不同剖面参数(如温度、盐度、流速和光学特性量)的测量。传统海洋定点测量主要采用海洋测量船实测方式和潜标测量方式,海洋测量船实测一般由船载仪器配合绞车往返多次完成,如果进行数天的连续观测会耗费大量人力和财力,即使这样仍然无法得到极端风浪条件下的珍贵信息;潜标测量通常由深海锚定的一系列串联 CTD、海流计(或其他观测仪器)组成,只能在离散的几个层次上采样,不能实现连续剖面观测,而且组装而成的锚系系统稳定性较差、投放回收难度大。

[0003] 海洋垂直剖面测量平台是一种具备自动升降功能的锚系剖面升降系统,可沿系留钢索任意移动、进行剖面数据的循环采集。海洋垂直剖面测量平台可搭载多种传感器,观测数据可通过水声通讯机、卫星通讯定期传送。海洋垂直剖面测量平台采用浮力调节装置控制平台升降,它直接关系到测量平台自动升降这一标志性功能的实现,对整套测量平台工作中的安全性、可靠性等关键性能均起到决定性作用。一旦浮力调节装置失效,整套测量平台即报废,造成的损失巨大,因此,要求浮力调节装置可靠性好、精度高、响应快。

[0004] 目前,世界上只有少数几个国家(美国、法国和加拿大)掌握浮力调节装置的研制技术。如美国 Webb Research 公司提供的 APEX 浮标靠单冲程柱塞泵增大油囊体积改变浮力,其质量为 24kg,最大深度可达 2000m;法国 Teklec/MARTEC 公司和 IFREMER/MARTEC 合作生产的 PROVER 使用斜盘式三柱塞泵增大油囊体积,其质量为 37kg,最大深度也可达 2000m。

[0005] 我国在此项技术上起步较晚,中国海洋技术研究所于 2003 年研制了我国第一套自持式剖面浮标样机 COPEX,其整体结构和原理模仿 APEX 浮标,采用高压单冲程液压柱塞泵驱动,但其最大实验水深仅为 300m 左右。

[0006] 目前,国内外 95% 的浮力调节装置使用柱塞泵作为向油囊中充油的工作泵。采用柱塞泵的系统调节能力,亦即油囊的体积变化大多在 2L 左右,对于需要油囊 5L 体积变化,且空间受到限制的系统,若采用柱塞泵结构将造成设计困难。在柱塞直径较小的情况下,柱塞腔细长,长度尺寸将超过空间限制;或者柱塞直径较大,但电机输出力增大,功耗过高。

[0007] 综上所述,国内外现有的海洋垂直剖面测量平台都是通过一套液压系统向装置外部的油囊充油,从而改变系统整体的体积,进而得到相应的浮力来实现在海水中的上浮与下潜动作。国外早期主要是使用各类柱塞泵完成对油囊的充排油,且经过长期的实践,技术已经相当成熟,最深可达水下 4000m。但由于柱塞泵的自身特点,系统的质量和体积都偏大,功耗也一直无法降低,从而大大限制了测量点的连续性。近几年法国等国家开发出了使用

齿轮泵构成的液压系统来完成对油囊的充排油功能,体积和质量都有所减小,功耗也大大降低。但实际使用情况仍有待检测。

发明内容

[0008] 本发明提供一种浮力调节装置,解决现有浮力调节装置质量、体积和功耗偏大的问题。

[0009] 本发明的一种浮力调节装置,包括油箱、第一换向阀、第二换向阀、第三换向阀、单向阀、节流阀、液压泵、直流电机和油囊,其特征在于:

[0010] 所述油箱分别通过管道连接第一换向阀、液压泵和第三换向阀;液压泵依次连接第二换向阀、单向阀和油囊进口;第三换向阀通过节流阀连接油囊出口;

[0011] 所述油箱上设置气体压力传感器和温度传感器,油囊上设置液体压力传感器;液体压力传感器、气体压力传感器和温度传感器分别与控制电路电信号连接,控制电路分别对第一、第二、第三换向阀和电机控制器输出控制信号,直流电机受电机控制器控制,驱动液压泵。

[0012] 所述的浮力调节装置,其特征在于:

[0013] 所述控制电路根据外部指令决定向油囊充油或排油,充油时,控制电路首先向电机控制器输出电机启动信号,向第一换向阀输出接通信号,待电机空载启动后再分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开和接通信号,同时计算油囊体积 V ,当 V 达到外部指令信号所要求的体积时,控制电路向电机控制器输出电机停止信号,向第二换向阀输出断开信号,停止充油;

[0014] 排油时,控制电路分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开信号,向第三换向阀输出接通信号,同时计算油囊体积 V ,当 V 达到外部指令信号所要求的体积时,控制电路向第三换向阀输出断开信号,停止排油;

[0015] 控制电路依据下式计算油囊体积 V :

$$[0016] \quad V = \frac{T_1 p_0}{T_0 p_1} V_0 - V_0 + V_1 \quad ,$$

[0017] 式中, p_0 、 T_0 、 V_0 为气囊内气体初始压力、温度、体积, p_1 、 T_1 为气体压力传感器和温度传感器实时测量气囊内气体压力和温度, V_1 为油囊初始体积。

[0018] 所述的浮力调节装置,其特征在于:

[0019] 所述控制电路接受液体压力传感器的油压 p_2 ,计算浮力调节装置所处的深度 h :

$$[0020] \quad h = p_2 / \rho g,$$

[0021] 式中, ρ 为海水密度, g 为重力加速度;

[0022] 控制电路判断是否 $h >$ 设定的浮力调节装置下潜最大深度,是则先向电机控制器输出电机启动信号,向第一换向阀输出接通信号,待电机空载启动后再分别向第一换向阀和第二换向阀输出断开和接通信号,同时计算 h ,当 $h \leq$ 设定的浮力调节装置下潜最大深度时,控制电路向电机控制器输出电机停止信号,向第二换向阀输出断开信号,停止充油。

[0023] 所述的浮力调节装置,其特征在于:

[0024] 所述液压泵采用齿轮泵;

[0025] 所述油箱包括油箱体和气囊,气囊位于油箱体内,气囊和油箱体之间充有液压

油；

[0026] 所述油囊由油囊上盖、保护罩和橡胶膜片构成，油囊上盖和保护罩通过螺钉连接，将橡胶膜片压在保护罩内，橡胶膜片和油囊上盖为形状相同的半球形，油囊上盖和橡胶膜片构成的封闭空间内充有液压油，保护罩上开有透孔。

[0027] 本发明的浮力调节装置，采用改变物体的体积而质量不变的方式，基于鱼膘控制沉浮的原理进行设计，采用液压传动系统，通过改变油囊体积大小，从而实现测量平台的沉浮。

[0028] 本发明工作过程包括油囊充油和油囊排油两个状态，回路中第一换向阀、第二换向阀和单向阀控制油囊充油过程，第三换向阀和节流阀控制油囊排油过程。

[0029] 油囊充油过程：直流电机刚启动时，第一换向阀接通，液压泵通过第一换向阀与油箱接通，实现空载启动；然后第一换向阀断开，同时第二换向阀接通，液压泵通过第二换向阀以及单向阀与油囊连通，此时第三换向阀断开，将油囊与油箱的回油路截止；系统开始工作，液压泵输出一定压力和流量的液压油，在克服外部海水压力的情况下，将油箱中的液压油泵入油囊中，直至油囊体积增加到设定值。此时第二换向阀断开，液压泵停止工作。

[0030] 油囊排油过程：第三换向阀接通，油囊通过节流阀、第三换向阀与油箱接通，由外部海水的压力使液压油通过节流阀、第三换向阀所设定的最大流量流回油箱。此时，液压泵不启动，液压泵出口压力低于油囊内压力，由于单向阀的作用，油囊与液压泵不相通。

[0031] 连接油箱的气体压力传感器和温度传感器用于间接检测油囊油液容积的变化。控制电路根据外部指令信号输出控制命令实现测量平台的沉浮。

[0032] 液压泵理论功率可表示为： $P = pQ = pqn$ ；

[0033] 式中， P 为液压泵理论功率， p 为输出压力， q 、 n 分别为液压泵排量 and 输入转速。由上式可知，为了满足 1800m 水深，即系统需要克服负载压力 18MPa 的最大工况，根据能量守恒原理，只有减小液压泵排量，才能尽可能的降低系统功耗。因此，本发明提出液压系统采用齿轮泵。在同样工作压力的液压泵中，齿轮泵的体积小、重量轻，虽然其效率不如柱塞泵高，但在低速工作区也能达到 70% 以上，另外其流量是所有泵中最小的，在同样背压下，其驱动功率较小。

[0034] 油囊和气囊式密闭油箱在浮力调节系统中为油液存储单元，油液在二者之间转换造成油囊体积变化，从而实现系统沉浮。油囊和油箱油液体积变化最大均为 5L。

[0035] 本发明结构简单、体积小、重量轻、动作可靠、功耗低，浮力变化范围 0 ~ 50N，下潜最大深度达到 1800m，功耗低于 250W，质量小于 25kg。为海洋监测技术的发展起到积极的作用，在海洋科学研究、国防建设、海洋勘探等领域具有良好的应用前景。

附图说明

[0036] 图 1 为本发明结构框图；

[0037] 图 2 为本发明外形示意图；

[0038] 图 3(a) 为气囊式密闭油箱外形示意图；

[0039] 图 3(b) 为气囊式密闭油箱剖面示意图；

[0040] 图 4(a) 为油囊外形示意图；

[0041] 图 4(b) 为油囊剖面示意图；

[0042] 图 5 为阀组组装示意图。

具体实施方式

[0043] 如图 1、图 2 所示,本发明包括油箱 11、第一换向阀 7、第二换向阀 5、第三换向阀 6、单向阀 3、节流阀 4、液压泵 8、直流电机 9 和气囊 1,

[0044] 油箱 11 分别通过管道连接第一换向阀 7、液压泵 8 和第三换向阀 6;液压泵 8 依次连接第二换向阀 5、单向阀 3 和气囊 1 进口;第三换向阀 6 通过节流阀 4 连接气囊 1 出口;

[0045] 油箱 11 上设置气体压力传感器 12 和温度传感器 13,气囊 1 上设置液体压力传感器 2;液体压力传感器 2、气体压力传感器 12 和温度传感器 13 分别与控制电路 14 电信号连接,控制电路 14 分别对第一、第二、第三换向阀和电机控制器 10 输出控制信号,直流电机 9 受电机控制器 10 控制,通过连轴器 25 驱动液压泵 8。

[0046] 作为一个实施例,浮力调节装置最大工作压力为 18MPa,同时考虑到功率、体积和质量的要求,液压泵选择 KOMPASS 的定量齿轮泵 HGP-05A-03 型。其参数如下:

[0047]

公称排量	0.35ml/r	额定压力	17.5Mpa
最高压力	21MPa	转速	800 ~ 3500r/min
效率	90%	尺寸	52.6mm×26.3mm
重量	0.43kg		

[0048] 根据最大工作压力 $P = 18\text{MPa}$,最大压力时流量 $Q \approx 0.315\text{L/min}$,则液压泵输出油口功率 $P_0 = P \times Q = 0.0945\text{kW}$,考虑液压泵效率(容积效率和机械效率)为 90%,则电机所需输出功率至少为 $P = 0.115\text{kW}$,若电机效率(同时考虑电机和减速箱效率)为 70%,则所需电源提供功率为 0.160kW。

[0049] 在最大压力时,泵输出转矩 $M_{po} = \frac{qP}{2\pi} = 1.0026 \text{ Nm}$,

[0050] 式中:q- 液压泵排量,P- 泵出口压力

[0051] 选择瑞士 MAXON 公司直流电机在 200W ~ 250W 之间型号,其最大连续转矩在 280Nm ~ 316Nm 之间,额定转速在 4500rpm ~ 10000rpm 之间,而液压泵输入转速范围 800rpm ~ 3500rpm 之间,因此需要选择齿轮箱,一方面是为了降低转速,另一方面需要提高输出转矩。为了满足液压泵最大输入转矩的要求,电机轴转矩 M_{mot} 为:

[0052] $M_{mot} = \frac{M_{po}}{i\eta_p\eta_g} = 287.8 \text{ Nm}$,

[0053] 式中:液压泵效率 η_p -90%,齿轮箱效率 η_g 最大为 90%,齿轮箱减速比 $i = 4.3$ (MAXON 公司提供行星齿轮箱)

[0054] 由于提供的电源电压为 24V,因此在同时考虑转矩和转速两方面情况下,选择一款 MAXON 公司提供的 250W 电机,由电机性能参数可知,液压泵低转速时要求电机输出转速降低,为了实现电机转速降低,需要配置相应电机的驱动器,根据电机最大工作电流

$$[0055] \quad I_{mot} = I_0 + \frac{M_{mot}}{k_M} = 7.08 \text{ A}$$

[0056] 式中： I_{mot} -最大工况下电机电流， k_M -转矩常数

[0057] 选择 MAXON 公司所配置的驱动器为 DEC 70/10 4-Q-EC,其性能参数为：

[0058]

电源电压 V_{cc}	10 ~ 70VDC	最大输出电压	0.9 V_{cc}
最大输出电流	20A	连续输出电流	10A
输入设定值	-10 ~ +10V (分辨率 1024)		
尺寸	120×103×27mm	质量	400g

[0059] 上述选定的电机所能获得的最大转速为 $n_{max} = 0.9V_{cc} \times \text{速度常数} = 0.9 \times 24 \times 221 = 4773\text{rpm}$, 减速箱输出转速为 1100rpm, 此时液压泵流量为 388mL/min。

[0060] 若提供电压为 48V 时, 在整个浮力调节装置所消耗功率不变的情况下电机减速箱输出的最大转速可达到 1800rpm, 液压泵流量最大可达 620mL/min。

[0061] 如图 3(a)、图 3(b) 所示, 油箱包括油箱体 21 和气囊 24, 气囊 24 位于油箱体 21 内, 气囊和油箱体之间充有液压油; 油箱体 21 底部安装有油箱油口 22, 油箱上盖 23 采用 24×M4 螺钉压紧气囊 24 进行连接密封, 油箱上盖 23 安装有充气阀 20 向气囊 24 内充气, 充气阀选用 FESTO 公司球阀, 尺寸小, 质量为 12g。温度传感器 13 用于检测气囊内部气体温度。

[0062] 油箱外形尺寸直径要求为 $\phi 230\text{mm}$, 考虑到油箱气囊密封安装的尺寸空间, 确定油箱直径为 $\phi 200\text{mm}$, 则其高度为 340mm。油箱体 21 采用不锈钢材料, 壁厚 1mm, 油箱体 21 底板厚度 4mm, 为了减轻重量, 油箱上盖 23 采用铝合金 6061T, 其厚度为 6mm。

[0063] 通过充气阀 20 在气囊 24 内充入一定预压力的空气, 可以充分保证液压泵吸入的背压, 减少对泵自吸能力的要求, 且保证液压系统管路中不会吸入混合空气。

[0064] 若要保证在油箱排出最大 5L 油液时气囊内压力为大气压, 气囊内气体变化过程根据气体状态方程 $pV = C$, 并考虑液压泵吸油口的承压能力, 气囊被压缩至 3L 时, 气囊内绝对压力为 0.4MPa, 则油箱总的体积为 10L。

[0065] 如图 4(a)、图 4(b) 所示, 油囊由油囊上盖 16、保护罩 17 和橡胶膜片 19 构成, 油囊上盖 16 和保护罩 17 通过 32 个 M6 和 8 个 M8 不锈钢螺钉连接, 将橡胶膜片 19 压在保护罩内, 橡胶膜片和油囊上盖为形状相同的半球形, 油囊上盖和橡胶膜片构成的封闭空间总容积为 5.2L, 内充有液压油, 保护罩上开有透孔。

[0066] 油囊上盖 16 内径为 $\phi 216\text{mm}$, 材料为铝合金 6061T651, 该铝合金具有优良的耐腐蚀性能和一定的强度, 按其最大耐压 20MPa 进行计算, 厚度 12mm, 壳体外径为 $\phi 240\text{mm}$ 。油囊上盖 16 具有油囊油口 18, 并可安装液体压力传感器 2, 油囊上盖法兰上端面与外部壳体轴向连接, 采用 265×5.3mm 的 O 形圈密封。

[0067] 橡胶膜片 19 内径与上盖内径相同, 材料为耐油、耐海水、抗磨损橡胶。

[0068] 在工作中, 橡胶膜片 19 内外同时受到液压油和海水压力作用, 受力平衡; 在海水

中,若油囊内部没有液压油液,橡胶膜片 19 在外部海水的作用下将紧贴于油囊上盖内壁,此时油囊体积最小,装置浮力最小。当启动液压泵向油囊内注油,液压油克服外部海水压力通过油囊油口 18 进入到油囊体内,使橡胶膜片 19 向外膨胀,体积增加,其体积最大变化为 5L。当希望油囊体积减小时,油囊内油液在外部海水压力作用下排入油箱,油囊体积减小。

[0069] 第一、第二、第三换向阀均为两位两通电磁换向阀,电磁换向阀主要根据流量和压力选择。最大压力为 18MPa,最大流量 Q_{\max} :

[0070] $Q_{\max} = qn \leq 1\text{L}/\text{min}$,式中 : q 为液压泵排量, n 为转速 ;

[0071] 同时考虑体积、质量和电磁功率,选择德国 HAWE 公司 GR2-0-G24 两位两通电磁换向阀,该阀无泄漏。具体参数为 :

[0072]

最大流量	6lpm	最大工作压力	50Mpa
电压	24V	电磁铁功率	16W
尺寸	48.5mm×36mm×90.5mm	重量	0.4kg

[0073] 选择单向阀和节流阀时主要考虑压力和流量,同样考虑安装空间和质量要求,选择 HAWE 公司 ER01 嵌入式单向阀和 EB0 嵌入式节流阀,单向阀为无泄漏密封。具体参数如下 :

[0074]

	ER01 单向阀	EB0 节流阀
最大工作压力	70MPa	50MPa
最大流量	6lpm	6lpm
质量	0.5g	2g
尺寸	Φ6.1mm×5.6mm	Φ6.1mm×1.8mm

[0075] 将第一换向阀 7、第二换向阀 5、第三换向阀 6、单向阀和节流阀组装在一起,装在阀块 26 上,其组装效果图如图 5 所示,单向阀 3 和节流阀 4 分别嵌入第二换向阀 5、第三换向阀 6 的阀口,节约了空间。

[0076] 本发明的浮力调节装置安装了气体压力传感器,液体压力传感器和温度压力传感器,总质量约为 0.75kg。气体压力传感器为绝压传感器,由于需要比较精确的测量气囊内部压力以判断油液容积变化,因此精度要求较高,选用西特公司 Z270,其参数如下 :

[0077]

测量范围 (绝压)	0 ~ 100psi	精度	±0.05% FS
温度误差	0.18% FS	工作温度	-18 ~ 80°C

电源电压	22 ~ 32V	输出电压	0 ~ 5V
功率	0.2W	质量	0.25kg

[0078] 温度传感器选用武汉超宇测控公司 CYW, 其参数如下 :

[0079]

测量范围	-10 ~ 40℃	精度	0.2%
电源电压	24V	输出电压	4 ~ 20mA
公称压力	10MPa		

[0080] 液体压力传感器为表压传感器, 选用武汉超宇测控公司 CY3018, 其参数为 :

[0081]

测量范围	0 ~ 21MPa	精度	0.5% FS
电源电压	24V	输出电压	0 ~ 5V

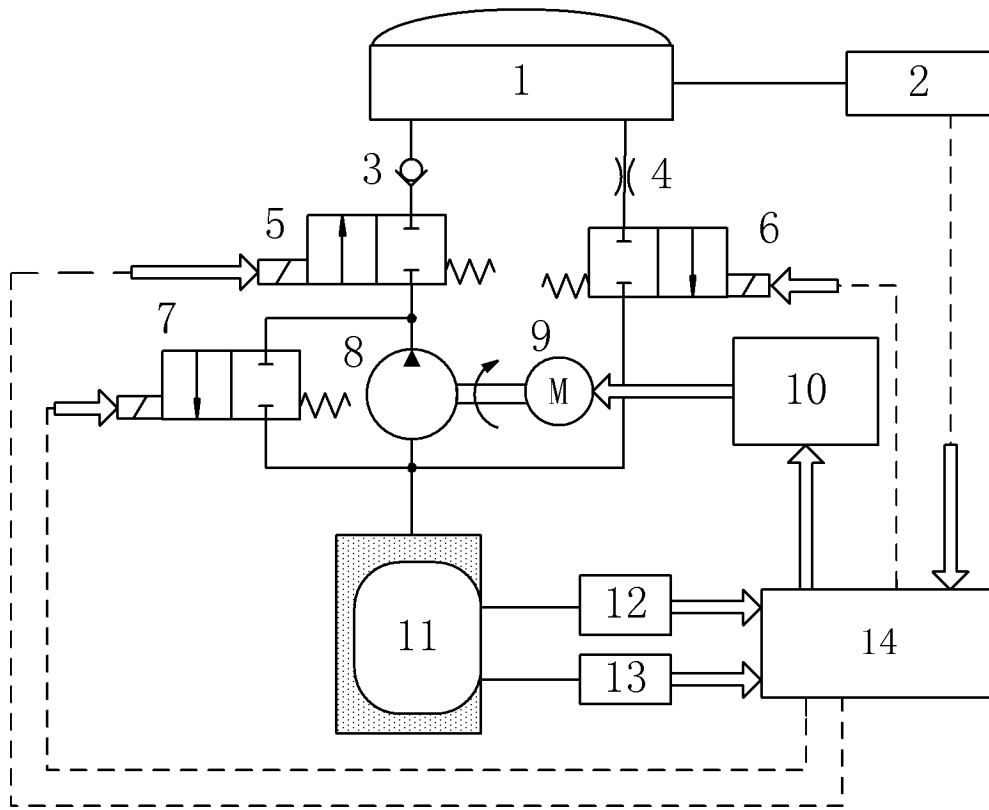


图 1

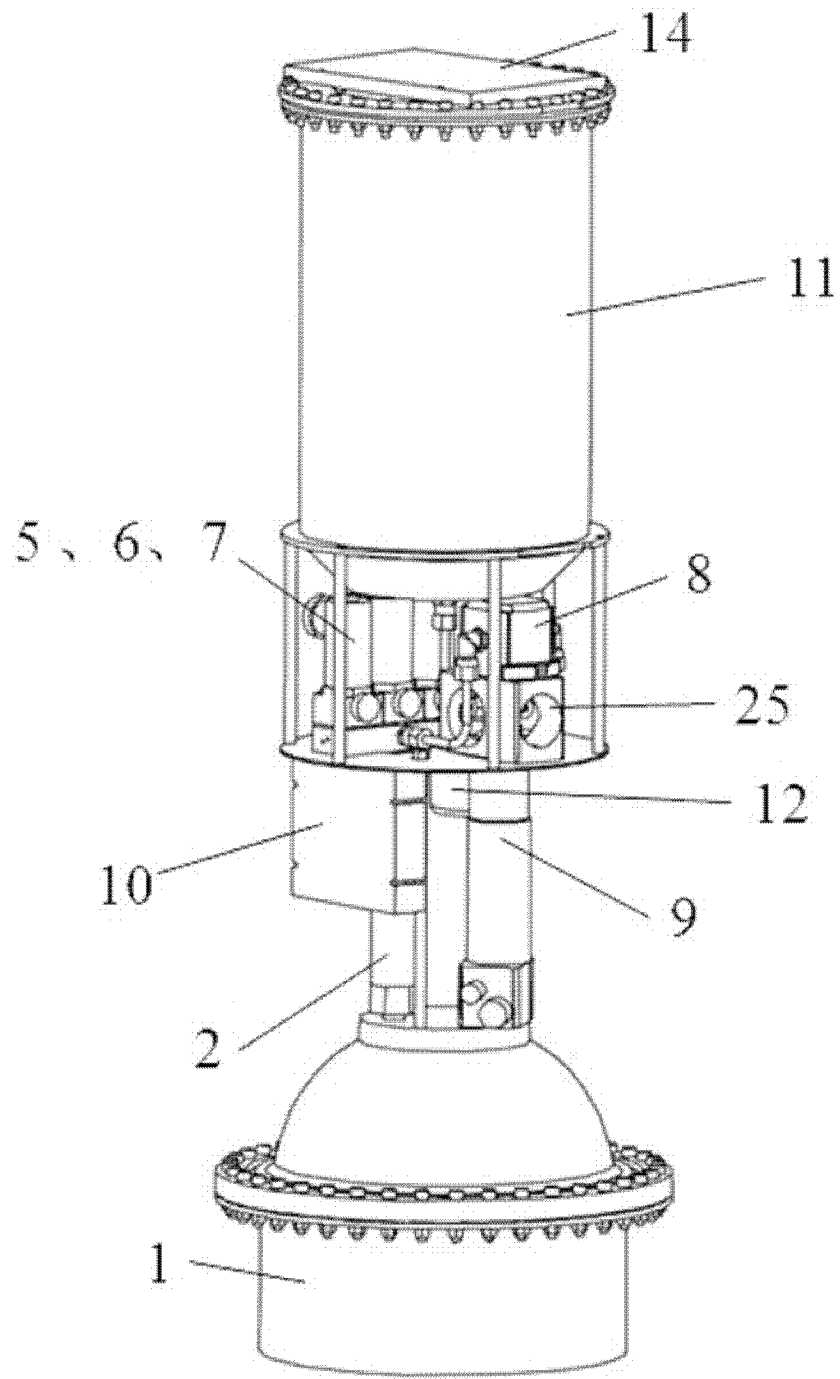


图 2

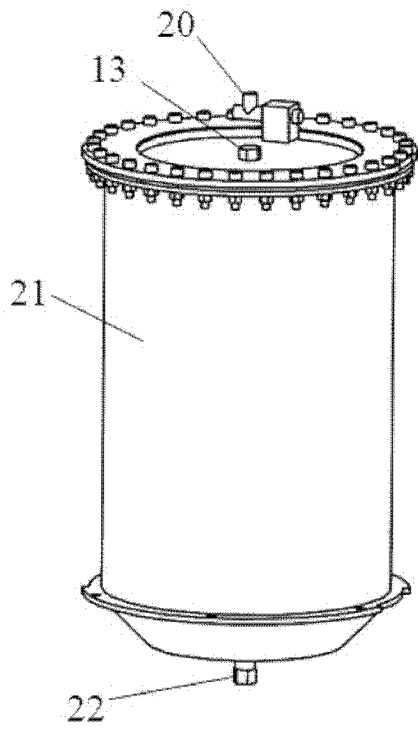


图 3(a)

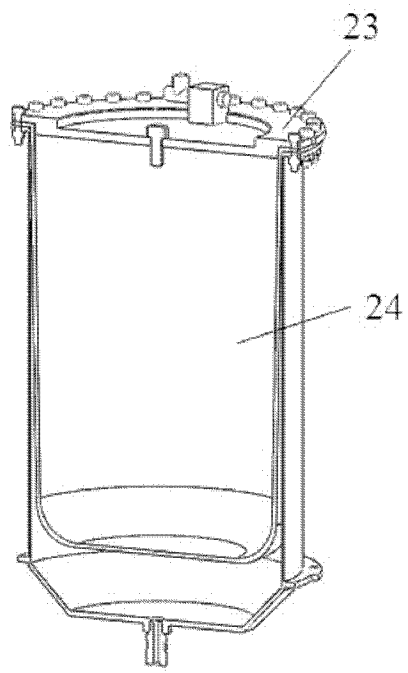


图 3(b)

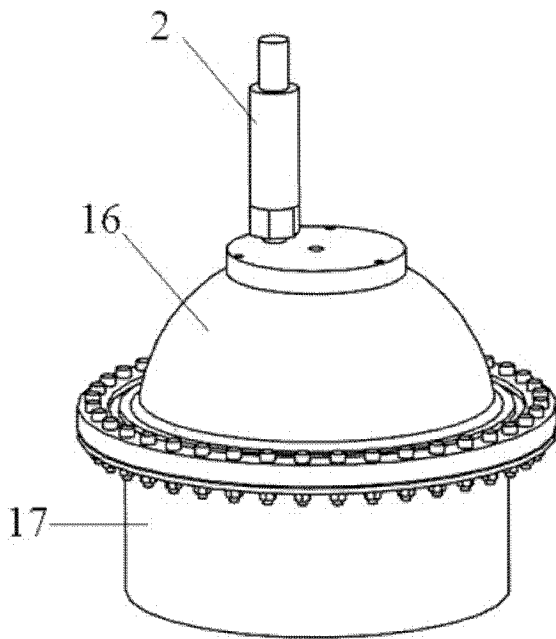


图 4(a)

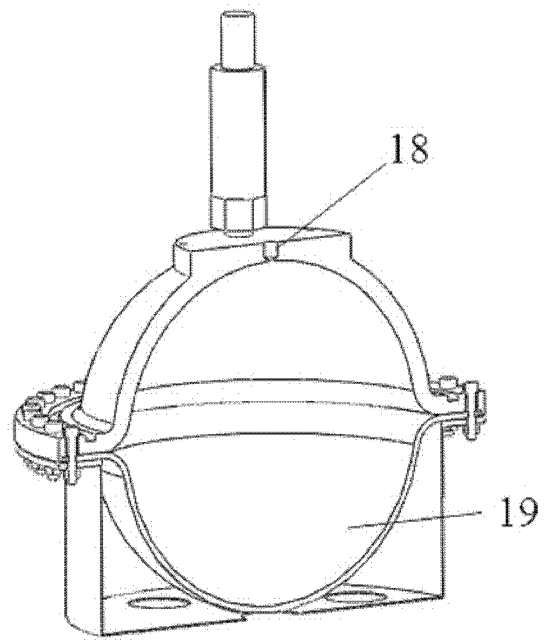


图 4(b)

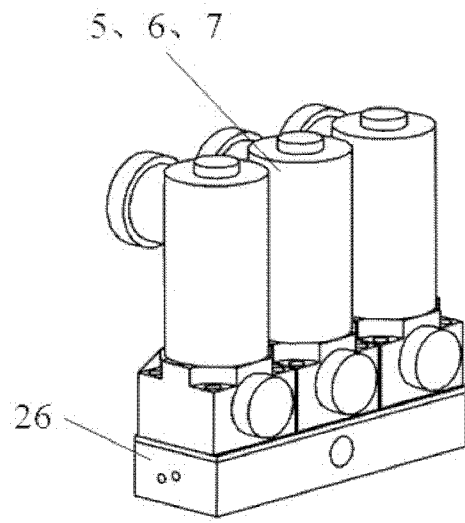


图 5