

文章编号:1002-3682(2015)03-0064-13

海洋温差能驱动的水下监测装置 水动力学特性研究*

梁泽德^{1,2},王树杰²,王庆永¹

(1. 青岛农业大学 建筑工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100)

摘 要:以海洋温差能驱动的垂直运动水下监测装置为研究对象,通过 MATLAB/Simulink 仿真,对运动阶段下的运动基本方程进行了数值求解。结果表明:在设定情况下,水下监测装置从水面下潜到 500 m 所需时间约为 2 900 s;水下监测装置从深约 500 m 上浮到海面所需时间约为 2 890 s;水下监测装置水下运动时间随阻尼盘直径的增大略有增加,这有利于相变材料的相变过程特别是凝固过程顺利完成,但是随着阻尼盘直径的增大,浮力驱动系统的功耗也增大,通过综合比较认为阻尼盘直径为 50 cm 比较合适。

关键词:水下监测装置;海洋温差能;水动力学分析;剖面探测;数值计算

中图分类号: P715

文献标识码: A

传统的水下监测装置如 Argo 浮标多采用电池组作为能量元件^[1-3],而本文的研究对象即海洋温差能驱动的水下监测装置的能量来源是海洋温差能,水下监测装置在海洋温跃层之间垂直上下往复运动,期间低熔点相变材料发生固液相变体积变化,该装置通过由相变材料体积变化蓄积的能量传递液体流经微型液压马达,驱动液压马达和发电机一并旋转,产生电能供给装置所携观测仪器和装置电路控制系统^[4-5],其中相变过程能否顺利进行与水下装置的水动力学特性密切相关。

典型的 Argo 剖面浮标浮力驱动系统多采用单柱塞泵浮力驱动系统和齿轮泵浮力驱动系统^[6-8]。无论是单柱塞泵系统还是齿轮泵系统,都要消耗电能,但本文设计的海洋温差能驱动水下监测装置的浮力驱动系统不需要消耗电能,而是通过蓄积在蓄能器的能量传递液体克服设定水深处压力流入外囊增大水下监测装置排水体积和利用外、内囊压力差驱动能量传递液体从外囊流入内囊减小装置排水体积,从而改变装置浮力,实现水下监测装置自动沉浮。水下监测装置外囊体积增大过程与装置发电过程相耦合,即该过程的水动力学特性受到装置发电过程的影响和制约。

本文在上述研究的基础上,详细分析了水下监测装置各运动阶段,建立并数值求解了 3 种不同工况下各运动阶段的基本方程,并对数值结果进行了分析和比较,为装置的实际水下运动提供理论依据。

* 收稿日期:2015-02-07

作者简介:梁泽德(1977-),男,博士,主要从事可再生能源利用方面研究. E-mail:liangzede1977@126.com

(王佳实 编辑)

1 水下运动基本方程

1.1 坐标系及受力分析

选择静止的海面为水平参考面,海水深度在参考水平面处为 0 m,参考水平面垂直向下为正,装置的受力、速度及加速度和位移的正方向均向下。水下监测装置受力及运动分析是基于以下几个假设^[9]:

1) 运动分析中,由于水下监测装置外形尺寸与水下行程相比可忽略不计,在此把装置当作质点;

2) 受力分析中,忽略监测装置水下运动的横向位移,只分析装置的纵向运动;

3) 认为水下监测装置在整个运动过程中保持竖直姿态,即做垂直运动;

4) 海洋 0~500 m 之间海水密度保持不变。

坐标系及受力分析如图 1 所示。

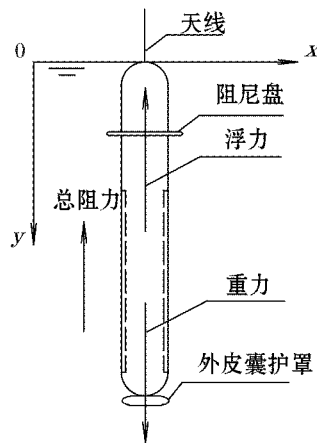


图 1 坐标系及受力分析

Fig. 1 Coordinate system and force analysis

重力:

$$G = m \cdot g \quad (1)$$

式中, m 为水下监测装置的总质量, $m=70$ kg; g 为重力加速度,取 9.8 m/s²。

浮力:

$$F_b = \rho \cdot g \cdot V \quad (2)$$

式中, ρ 为海水平均密度, $\rho=1\ 025$ kg/m³; V 为装置的排水体积。

总阻力包括水下监测装置的摩擦阻力(F_f)、阻尼盘的形状阻力(F_{Dp})以及外皮囊护罩的形状阻力(F_{Ds})三部分。

水下监测装置的摩擦阻力(F_f)为

$$F_f = C_f \cdot \frac{\rho u^2}{2} \cdot A_f \quad (3)$$

式中, u 为装置下潜或上浮速度; A_f 为装置总的湿面积,本文中该值为 1.159 m²; C_f 为摩

擦阻力系数,其计算公式为^[10]

$$C_f = \frac{1.46}{\sqrt{Re}} \quad (4)$$

式中, $Re = \frac{u \cdot l}{\nu}$, 其中 l 为壳体总长, 本文该值取 1.5 m, u 为下潜或上浮速度, ν 为运动黏性系数, 本文该值取 $1.188 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 所以 $Re = \frac{u \cdot l}{\nu} = 1.263 \times 10^6 u$, 则 $C_f = 1.299 \times 10^{-3} u^{-1/2}$ 。装置的摩擦阻力可表示为

$$F_f = C_f \cdot \frac{\rho u^2}{2} \cdot A_f = 0.67 u^{1.5} \quad (5)$$

阻尼盘的形状阻力(F_{Dp})为

$$F_{Dp} = C_{Dp} \cdot A_p \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (6)$$

式中, A_p 为阻尼盘的特征面积, 即 $A_p = \pi \times d_p^2 / 4$, d_p 为阻尼盘直径(m); C_{Dp} 为阻尼盘形状阻力系数, 本文取 $C_{Dp} = 1$ ^[10]。所以基于上述条件下的阻尼盘形状阻力可表示为

$$F_{Dp} = C_{Dp} \cdot A_p \cdot \frac{\rho u^2}{2} = (402.3 d_p^2) u^2 \quad (7)$$

外皮囊护罩的形状阻力(F_{Ds})为

$$F_{Ds} = C_{Ds} \cdot A_s \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (8)$$

式中, A_s 为外皮囊护罩的特征面积, 本文取外皮囊护罩为近似圆盘形直径为 20 cm, 则 $A_s = 0.0314 \text{ m}^2$; C_{Ds} 为外皮囊护罩形状阻力系数, 本文取 $C_{Ds} = 1$ ^[10]。所以基于上述条件下的外皮囊护罩形状阻力可表示为

$$F_{Ds} = C_{Ds} \cdot A_s \cdot \frac{\rho u^2}{2} = 16.09 u^2 \quad (9)$$

1.2 基本方程

$$\begin{cases} \sum F = G + F_b + (F_f + F_{Dp} + F_{Ds}) \\ a = \frac{\sum F}{M} \\ u = \int_0^t a \cdot dt \\ h = \int_0^t u \cdot dt \end{cases} \quad (10)$$

式中, a 为装置 t 时刻的瞬时加速度; h 为 t 时间内装置运动位移。

2 运动过程研究

2.1 水下运动阶段分析

初始状态是水下监测装置漂浮在海面上, 外皮囊保持最大体积油量, 此时装置部分体积暴露在水面以上, 即装置在海表面处储备一定量的浮力。指令发出后, 电磁阀动作, 部分体积的能量传递介质在外、内皮囊压差的驱动下从外皮囊流入装置内部的内皮囊,

装置开始没入水面以下、总排水体积逐渐减小,装置做变加速下潜运动,最终达到一个较稳定的速度(本文设定为约 0.15 m/s),以上为运动阶段一;由于海水压力对水下装置的影响,使得装置的圆柱形外壳体积随深度的增加逐渐减小,装置做加速度极小的缓慢加速运动,直至接近设定深度(本文设定为 500 m),此为运动阶段二;当装置接近设定深度时,电磁阀动作,部分体积的高压能量传递液体从蓄能器流经液压马达进入外皮囊,使装置的排水体积明显增大,装置做减速运动,直至末速度为 0 m/s,此为运动阶段三;装置在设定深度附近作一定时间的停留,其主要目的是保证相变材料能够在在一个运动周期中完全凝固,此为运动阶段四;装置在设定深度附近作一定时间的停留后,电磁阀再次动作,又有部分体积的高压能量传递液体从蓄能器流经液压马达进入外皮囊,从而使装置所受浮力大于重力,装置开始做变加速上浮运动并最终达到一个较稳定的速度(本文也设定为约 0.15 m/s),以上为运动阶段五;同样由于压力对平台的影响,使得平台体积随深度的减小逐渐增大,平台做加速度极小的缓慢加速运动,直至装置最上端到达水面,此为运动阶段六;最后,装置开始浮出水面,最终漂浮在水面上并有部分体积的壳体暴露在水面以上,以保证信息有效的传输,此为运动阶段七,装置在该阶段下停留一定的时间,完成数据传输和相变材料的完全熔化,等待新的指令。

2.2 运动过程中装置壳体体积变化规律的确定

水下监测装置在下潜和上浮各运动模式中,海水压力都会对装置壳体体积在径向和轴向两方面产生一定的影响,影响规律如下^[8]:

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} \left\{ D_{out}^2 - [D_{out} - D_{mdl} \cdot (\frac{P_{out} - D_{mdl}}{2\delta \cdot E})] \right\} \cdot l + \frac{\pi \cdot D_{out}^2}{4} \cdot l \cdot \frac{P_{out} \cdot D_{mdl}}{4\delta \cdot E} \quad (11)$$

式中, ΔV 为装置壳体因海水压力导致的体积变化量; δ 为壳体厚度,该值本文取为 8 mm; D_{out} 为壳体外径,该值本文取 246 mm; l 为壳体长度,该值本文取 1 500 mm; D_{mdl} 为壳体中部直径, $D_{mdl} = (D_{in} + D_{out})/2$; D_{in} 为壳体内径, $D_{in} = D_{out} - 2\delta$; P_{out} 为壳体所受外压,与装置所处深度 h 有关,即 $P_{out} = 101\,325 + \rho \cdot g \cdot h$; E 为装置壳体材料的弹性模量,本文选择 LY12 硬质铝合金作为壳体材料,该值为 7.31×10^{10} Pa。

2.3 各运动阶段下瞬时加速度的建立

根据运动基本方程,建立各运动阶段下瞬时加速度表达式,在此基础上,结合初始条件,通过积分,即可得到相应的装置瞬时速度和位移的表达式。

2.3.1 运动阶段一瞬时加速度的建立

$$M \frac{du}{dt} = G - F_b - (F_f + F_{Dp} + F_{Ds}) \quad (12)$$

则:

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V - 0.01u^{1.5} - (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (13)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V = V' + (V_{o1} - Q \cdot t) + \Delta V$,其中 V' 为装置除外皮囊以外部分的总体积,本文中该值为 67 362 mL, V_{o1} 为本阶段下外皮囊初始体积, ΔV 为由于海水压力使得装置壳体体积变化量, Q 为能量传递液体流经电磁阀的体积流量,其计算公式为^[10]

$$Q = a \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{oil}}} \quad (14)$$

式中, a 为流量系数, 本文中该值取 0.61; A_v 为电磁阀的流通面积, 本文中该值取 $4.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$; ρ_{oil} 为能量传递液体的密度, 本文中取 866 kg/m^3 ; Δp 为外、内皮囊的压差, 本文中内皮囊压力取半个标准大气压的真空度, 所以海平面附近的该压差约为 0.06 MPa。将上述参数代入, 求得 $Q=28.72 \text{ mL/s}$ 。

2.3.2 运动阶段二瞬时加速度的建立

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V - 0.01u^{1.5} - (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (15)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V=V'+V_{02}+\Delta V$, V_{02} 为本阶段下外皮囊初始体积。

2.3.3 运动阶段三瞬时加速度的建立

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V - 0.01u^{1.5} - (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (16)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V=V'+(V_{03}+Q_s \cdot t)+\Delta V$, V_{03} 为本阶段下外皮囊初始体积, Q_s 为能量传递液体从蓄能器流出经液压马达进入外皮囊的瞬时体积流量, 由本阶段的发电系统决定。

2.3.4 运动阶段四瞬时加速度的建立

此阶段下瞬时加速度 $\frac{du}{dt}=0$ 。

2.3.5 运动阶段五瞬时加速度的建立

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V + 0.01u^{1.5} + (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (17)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V=V'+(V_{05}+Q_s \cdot t)+\Delta V$, V_{05} 为本阶段下外皮囊初始体积, Q_s 为能量传递液体从蓄能器流出经液压马达进入外皮囊的瞬时体积流量, 由本阶段的发电系统决定。

2.3.6 运动阶段六瞬时加速度的建立

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V + 0.01u^{1.5} + (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (18)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V=V'+V_{06}+\Delta V$, V_{06} 为本阶段下外皮囊初始体积。

2.3.7 运动阶段七瞬时加速度的建立

$$\frac{du}{dt} = 9.8 - 143.5V + 0.01u^{1.5} + (5.75d_p^2 + 0.23)u^2 \quad (19)$$

式中, V 为水下装置排水体积, $V=V'+V_{07}-\Delta V'$, V_{07} 为本阶段下外皮囊初始体积, $\Delta V'$ 确定方法如下: 当 $h \geq 0$ 时, $\Delta V'=0$; $-0.123 \text{ m} < h < 0$ 时, $\Delta V' = \frac{\pi}{3}(3 \times 0.123 + h) \cdot h^2$; $h \leq$

-0.123 m 时, $\Delta V' = \frac{2\pi}{3}(0.123)^3 + 0.123^2 \pi \times (h + 0.123)$ 。

3 数值求解及分析

以上各阶段的瞬时加速度表达式为一阶非线性微分方程,无法求得解析解,本文通过 MATLAB/Simulink 仿真,数值求解 3 种工况下各模式的加速度、速度和位移等运动参数,并对不同直径阻尼盘的影响进行比较分析,设定的 3 种工况如表 1 所示。

表 1 三种工况的设定

Table 1 Settings of 3 working conditions

工况设定	各运动阶段中外皮囊初始体积 V_{oi}/mL			各运动阶段中外皮囊初始体积 V_{oi}/mL			
	阶段一/ V_{01}	阶段二/ V_{02}	阶段三/ V_{03}	阶段四/ V_{04}	阶段五/ V_{05}	阶段六/ V_{06}	阶段七/ V_{07}
阻尼盘直径 $d_p=45\text{ cm}$	1 334	708	708	1 118	1 118	1 334	1 334
阻尼盘直径 $d_p=50\text{ cm}$	1 377	665	665	1 118	1 118	1 377	1 377
阻尼盘直径 $d_p=55\text{ cm}$	1 424	618	618	1 118	1 118	1 424	1 424

3.1 下潜过程分析

装置在下潜中主要分两个过程:第一个过程是从水面加速下潜到设定深度;第二个过程是到达设定深度后迅速减速下潜直至停止。

3.1.1 加速下潜过程分析

各工况下水下装置下潜速度和位移随时间变化曲线如图 2 和图 3 所示,该过程最重要的信息是从水面下潜到设定深度所需时间以及下潜过程的速度分布。

从图 2 和图 3 可以看出:设定情况下,装置从水面下潜到 500 m 所需时间,随阻尼盘直径的增大略有增加,分别从 2 840 s 增加到 2 900 s 和 2 955 s,相应的平均下潜速度分别从 0.176 m/s 下降到 0.172 m/s 和 0.169 m/s;该下潜过程主要经历了两个阶段:第一阶段为加速度较大的加速下潜阶段。在这个阶段初期,外皮囊中的部分能量传递液体较快的压入装置壳体内的内皮囊,使得装置所受浮力减小较快,该阶段持续时间 3 种工况相近约为 30 s,速度从 0 m/s 增加到约 0.15 m/s,这一阶段即为运动阶段一过程;第二阶段为加速度极小的缓慢加速下潜阶段,这一阶段是该过程的主体阶段,因为随着装置的下潜,水压力逐渐升高,装置总的排水体积缓慢减小,净浮力缓慢增加,这一阶段即为阶段二过程。

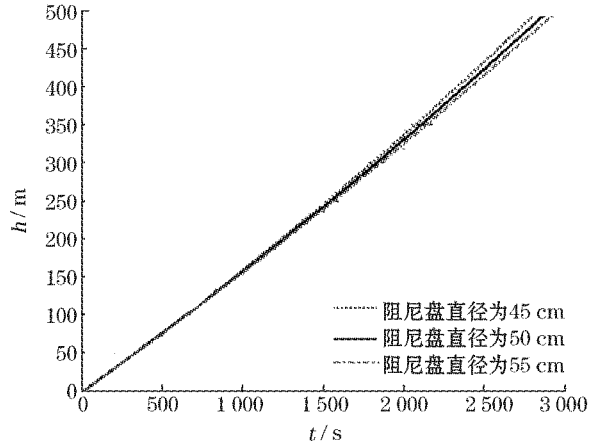


图2 运动阶段一和阶段二中位移随时间变化曲线

Fig. 2 Changes of displacement with time during movement stage 1 and 2

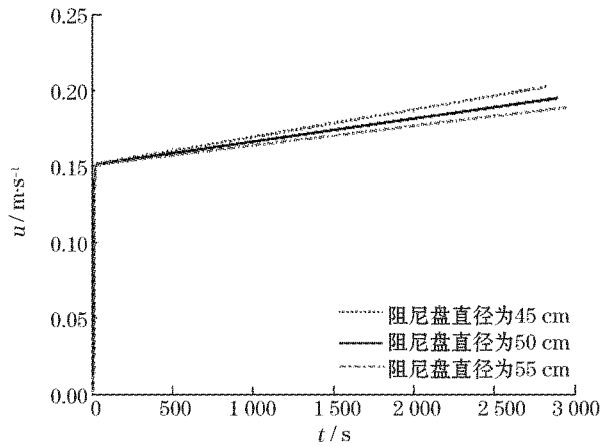


图3 运动阶段一和阶段二中速度随时间变化曲线

Fig. 3 Changes of speed with time during movement stage 1 and 2

3.1.2 减速下潜过程分析

各工况下装置下潜速度和位移随时间的变化曲线如图4和图5所示,该过程受到发电过程的影响,最重要的信息是装置从设定深度处减速下潜直到停止所需时间以及该下潜过程的位移。

从图4和图5可见:设定情况下,装置从减速下潜直到停止所需时间,随着阻尼盘直径的增大略有减小,分别从83 s减小到78 s和72 s;此过程的下潜位移也从2.93 m减小到2.75 m和2.67 m。

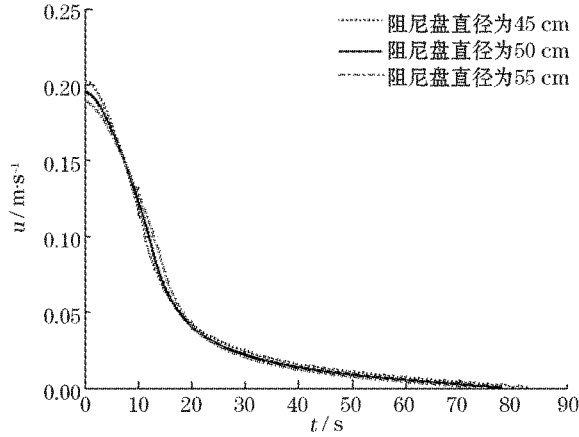


图 4 运动阶段三中速度随时间变化曲线

Fig. 4 Changes of speed with time during movement stage 3

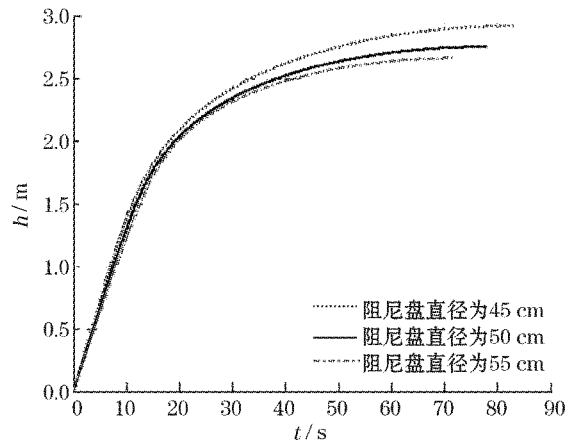


图 5 运动阶段三中位移随时间变化曲线

Fig. 5 Changes of displacement with time during movement stage 3

3.2 上浮过程分析

装置在上浮中主要分两个过程:第 1 个过程是装置从水下停留处加速上浮到水面,该过程又由 2 个阶段组成,分别是初速度为 0 m/s 较快加速到 0.15 m/s 阶段和从速度 0.15 m/s 缓慢加速到约 0.19 m/s 阶段;第 2 个过程是装置开始浮出水面直到漂浮在水面上。

3.2.1 加速上浮过程分析

加速上浮的第 1 阶段,各工况下装置上浮速度和位移随时间的变化曲线如图 6 和图 7 所示,该过程受到发电过程的影响和制约。从图中可以看出:设定情况下,装置从静止状态加速到 0.15 m/s,3 种不同工况所需时间相近均为 25 s,上浮位移约为 2.75 m,该阶段即为运动阶段五过程。

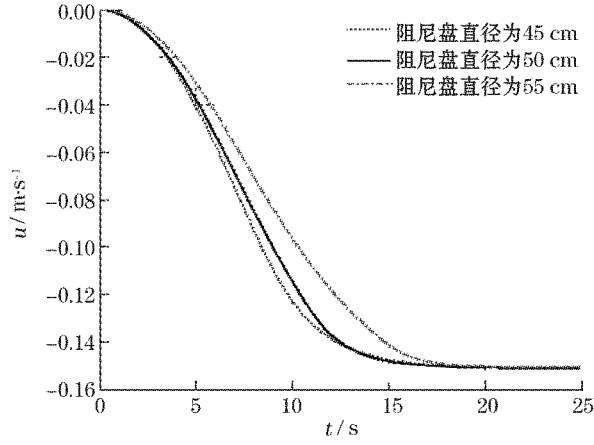


图6 运动阶段五中速度随时间变化曲线

Fig. 6 Changes of speed with time during movement stage 5

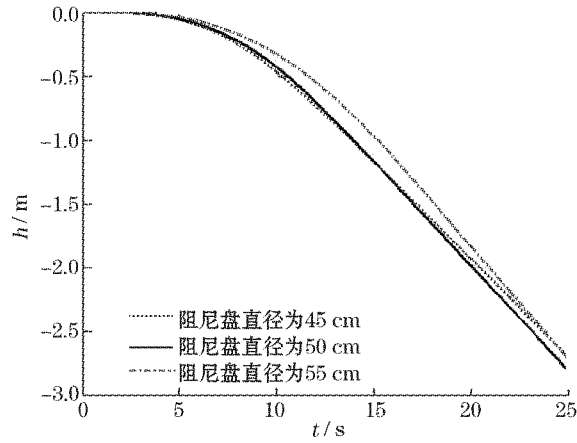


图7 运动阶段五中位移随时间的变化曲线

Fig. 7 Changes of displacement with time during movement stage 5

加速上浮的第2阶段,即为加速度极小的缓慢加速上浮阶段,这一阶段是整个加速上浮过程的主体阶段,这是因为随着装置的上浮,装置所受水压力逐渐减小,其总的排水体积缓慢增加,这一阶段即为阶段六过程。该阶段各工况的上浮速度和位移随时间变化曲线如图8和图9所示。

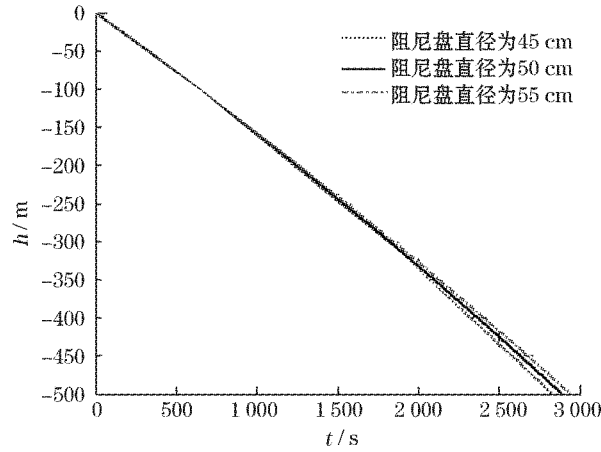


图 8 阶段六中位移随时间变化曲线

Fig. 8 Changes of displacement with time during movement stage 6

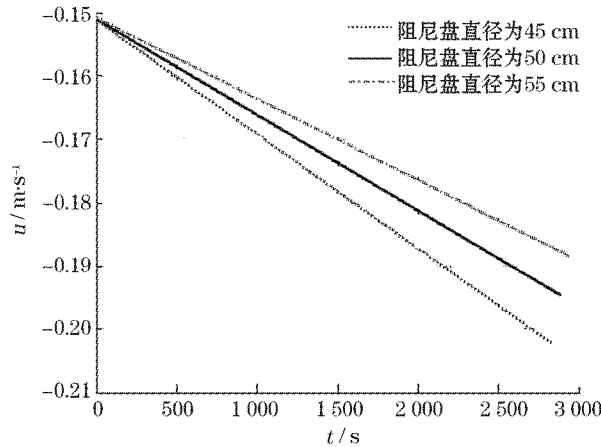


图 9 阶段六中速度随时间变化曲线

Fig. 9 Changes of speed with time during movement stage 6

从图 8 和图 9 可以看出:设定情况下,阶段从 500 m 左右水深处上浮到海面所需时间,随阻尼盘直径的增大略有增加,分别从 2 830 s 增加到 2 890 s 和 2 945 s,平均上浮速度分别从 0.177 m/s 下降到 0.173 m/s 和 0.170 m/s。

3.2.2 浮出水面并稳定漂浮在水面过程分析

各工况下装置位移随时间变化曲线如图 10 所示。从图中可以得出:装置在 3 个不同工况下的运动情况非常接近,3 条曲线几乎重合在一起,其位移均为振荡衰减,经过约 300 s 后装置基本稳定在水面以上 0.03~0.04 m,即监测装置壳体最高部分在水面以上约 3~4 cm 处,这一阶段即为阶段七过程,这样可以保证监测装置最顶端长约 1 m 的天线全部露出水面,这对监测装置信号的发送与接收是十分有利和必要的。

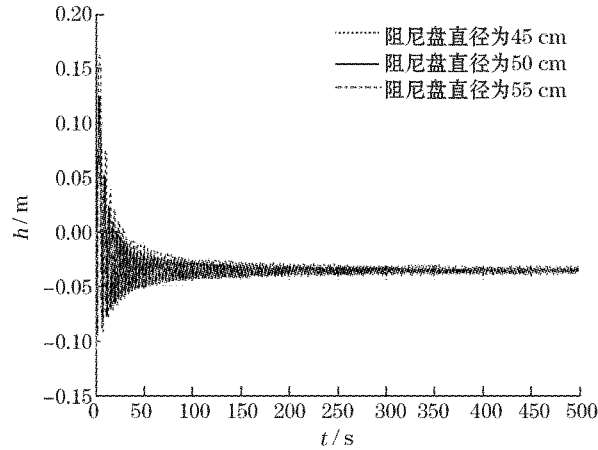


图10 运动阶段七中位移随时间变化曲线

Fig. 10 Changes of displacement with time during movement stage 7

3.3 三工况影响对比分析

通过上面的结果不难看出:装置无论是从水面下潜到设定深度,还是从设定深度上浮到水面,所需时间均随阻尼盘直径的增大而有所增大,但增加的幅度不大。水下停留时间的增大,更有利于相变材料的相变过程特别是凝固过程顺利完成;但是随着阻尼盘直径的增大,外皮囊的体积变化量(即流入或流出外皮囊的液压油量)增大,本文设定的3种工况中,该值从626 mL增大到712 mL和806 mL,这显著地增大了装置浮力驱动系统的功耗,是十分不利的。相关研究发现,当垂直运动水下检测装置如自持式漂流浮标体积变化率大于1%本文条件下即674 mL,可以有效的保证水下装置顺利上浮到水面^[11],所以通过综合比较可以确定,在其他条件相同的前提下,阻尼盘直径为50 cm比较合适。

4 结论

1) 本文设定情况下,水下监测装置从海面下潜至设定深度主要由两个下潜过程组成:①加速下潜过程,持续时间约为2900 s,平均下潜速度约为0.17 m/s。该过程主要分两个阶段,第1个阶段持续时间很短,加速度相对较大;第2阶段是加速度极小的缓慢加速下潜阶段,是该过程的主体阶段。②减速下潜直到停止过程,该过程受装置发电系统的影响和制约。

2) 水下监测装置从深水停留位置上浮直到稳定漂浮在海面上主要由两个过程组成:①加速上浮过程,所需时间约为2890 s,平均上浮速度约为0.17 m/s。该上浮过程也主要分两个阶段:第1个阶段持续时间很短,加速度相对较大,本阶段受装置发电系统的影响和制约;第2阶段是加速度极小的缓慢加速上浮阶段,是该过程的主体阶段。②浮出水面直到稳定漂浮在水面上,各工况非常接近,装置最上端高出水面约3~4 cm,保证了装置最上端的天线全部至少是部分露出水面,有利于信号传递的顺利进行。

3) 水下监测装置下潜和上浮时间,随阻尼盘直径的增大略有增加,这有利于相变材料的相变过程特别是凝固过程顺利完成;此外随阻尼盘直径的增大,外皮囊的体积变化量增

大,这显著地增大了浮力驱动系统的功耗,综合比较认为阻尼盘直径为 50 cm 比较合适。

参考文献:

- [1] 孙朝辉,刘增宏,朱伯康,等. 全球海洋中 Argo 剖面浮标运行状况分析[J]. 海洋技术,2006,25(3): 127-134.
- [2] DAVIS R E, WEBB D C, REGIER L A, et al. The autonomous lagrangian circulation explorer (ALACE)[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1992,9(1):264-285.
- [3] SHERMAN J, DAVIS R E, OWENS W B. The autonomous underwater glider "spray"[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2001,26(4):437-446.
- [4] ERIKSEN C C, JAMES OSSE T, LIGHT R D, et al. Seaglider: A long range autonomous underwater vehicle for oceanographic research[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2001, 26(4): 424-436.
- [5] WEBB, D C. SLOCUM: An underwater glider propelled by environmental energy[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2001, 26(4): 447-452.
- [6] 王世明, 吴爱平. 液压技术在 ARGO 浮潜标中的应用[J]. 流体传动与控制, 2010, (1): 37-40.
- [7] HUSSAIN NA A, ARSHAD M R, MOHD-MOKHTAR R. Underwater glider modelling and analysis for net buoyancy, depth and pitch angle control[J]. Ocean Engineering, 38(2011):1782-1791.
- [8] 孙秀军. 混合驱动水下滑翔器动力学建模及运动控制研究[D]. 天津:天津大学,2011.
- [9] 董涛, 杨庆保. 自持式剖面循环探测漂流浮标水下运动过程实例分析[J]. 海洋技术, 2006, 25(1): 20-23.
- [10] 龙天渝,蔡增基. 流体力学(第一版)[M]. 北京:中国建筑工业,2004:5.
- [11] 朱光文. 海洋剖面探测浮标技术的发展[J]. 气象水文海洋仪器, 2004, (2): 1-6.

Hydrodynamic Characteristics of Underwater Monitoring Devices Driven by Ocean Thermal Energy

LIANG Ze-de^{1,2}, WANG Shu-jie², WANG Qing-yong¹

(1. *College of Architecture Engineering, Qingdao Agriculture University, Qingdao 266109, China;*

2. *College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China*)

Abstract: The underwater monitoring devices moving vertically and driven by ocean thermal energy are taken as the research object and numerical solution has been done for basic motion equations at different movement stages through MATLAB/Simulink simulation. The results show that under the given conditions it takes about 2 900 s for the underwater monitoring devices submerging from the surface down to 500 m deep, and it takes about 2 890 s for the underwater monitoring devices rising from the 500 m deep upward to the surface. The time for the underwater monitoring devices moving in water increases slightly with the increase of the diameter of damping plate, which is beneficial to the phase transition of phase-change material, particularly to the completing of solidification. With the enlargement of the damping plate diameter, however, the power consumption of buoyancy system increases. Through a comprehensive comparison, 50 cm is considered to be suitable for the damping plate diameter.

Key words: underwater monitoring device; ocean thermal energy; hydrodynamic analysis; profile detection; numerical calculation