

多卜勒计程仪

鲍建东

(海鹰企业集团有限责任公司 无锡 214061)

1995 年 1 月 16 日收到

摘要 本文简要回顾了多卜勒计程仪的发展和用途, 分析了多卜勒计程仪作为导航设备的优点、工作原理、主要性能及组成部件, 最后介绍了多卜勒计程仪在我国的设计情况.

关键词 计程仪, 多卜勒效应, 换能器

Doppler Speed Log

Bao Jiandong

(Haiying Enterprise Group Co. LTD, Wuxi 214061)

Abstract Development and uses of Doppler Speed Log are reviewed in this paper. The paper also present the merits, principle, chief characteristics and constituents of the Doppler Speed Log as a navigation guide. The construction of the Doppler Speed Log in this country is mentioned at the end of this paper.

Key words Speed Log, Doppler effect, Transducer

随着航海事业的发展, 船舶的增多, 几十万吨级油轮的出现, 船舶的安全航行日显重要. 需要能测 0.01 节相对于海底的速度, 以保证船只的系留和停靠码头的安全; 海军导弹武器的应用, 需要知道本舰的精确舰位和运动要素; 海洋考察和开发也需要精确的导航及控制设备, 所有这些都迫切要求精确测量船只相对于地球表面的真实速度.

以前, 我国绝大多数船只所测得的航速都是相对于海水而不是相对于地球, 例如, 利用水压式计程仪和电磁式计程仪. 水压式计程仪是第一代计程仪, 电磁计程仪是第二代计程仪, 它们的不足之处是感应元件在船的系流层内, 因而限制了测量精度, 测速灵敏度低(仅 0.5 节), 由海流漂移引起的测速误差无法克服, 所测得的船速只能是相对于海水. 多卜勒计程仪属于第三代计程仪, 测得的船速则是相

对于地球的绝对速度, 测量灵敏度可达 0.01 节, 测量航程精度高, 且能测量水深, 这些性能都优于第一代、第二代计程仪. 因此, 世界上几个航海事业较为发达的国家, 都在大力研制生产多卜勒计程仪. 美国约从 60 年代初开始研制, 1966 年开始装船使用, 法国从 70 年代开始研制, 1972 年研制出第一批产品, 英国、日本、德国和前苏联都有各自的多卜勒计程仪产品.

三种船用测速计程仪性能的比较见表 1.

多卜勒计程仪, 顾名思义, 就是根据多卜勒效应的设计的测速设备. 当信号源发射的信号被一个与它相对运动的目标所反射时, 反射信号的频率出现差异, 这种现象称多卜勒效应^[1]. 当船以速度 v 航行, 若向海底发射一与海底成 α 角, 频率为 f_0 的声波, 则接收回波由于多卜勒效应而产生的频移 Δf , 与船速 v 、频

表1 三种船用测速计程仪性能比较

	水压计程仪	电磁计程仪	多卜勒计程仪
测速门限	1 节以上	0.1 节	0.01 节
参考座标	相对海止	相对海水	相对地球或海水
测速误差	10% 以上	5%	0.5%
可测速矢量	1	1	1—3
测速范围	不能测	2 节	10 节
船纵横摇摆影响	有	有	基本无或很小

率 f_0 ，入射角正弦 $\sin\alpha$ 之积成正比，与声波在海水中的传播速率 C 成反比，多卜勒计程仪就是根据上述原理工作的。多卜勒频移的表达式为

$$\Delta f = \frac{2v\sin\alpha}{C}f_0$$

由于声波在海水中的传播速率 C 随海水的温度、盐度、深度而变化^[2]，必须对海水声速进行补偿。现在世界各国的多卜勒计程仪的声速补偿方法各不相同。对水温变化引起测速误差的补偿有的是在换能器压电元件附近安装一个热敏电阻，测得水温变化，然后通过计算机对海水声速进行补偿。在存在温度梯度时，此方法则不能补偿不同温度层中的声速变化。对盐度变化引起的误差补偿，有的采用测量盐度后用手控补偿，有的采用补偿折射板，后者简单易行，不仅补偿了温度变化影响，又补偿了盐度与压力的影响，但必须明确折射板材料在不同温度情况下所对应的声速。

另外，船舶在海洋中航行，由于受风浪的影响，船舶会出现运动速率的垂直分量，从而引起了测速误差，因此，单波束测速无实用价值，实际使用中普遍采用“双波束原理”，即利用附加第二对称发射波束，消除垂直运动的影响。若向海底发射双波束，其中一个指向船头，一个指向船尾，并以相同的角度偏离垂线。朝前波束的频移与朝后波束的频移之差与船舶垂直速率分量无关。因此，采用双波束原理，不仅消除了船舶上下颠簸引起的测速误差，大大减小纵横摇摆引起的速度误差，而且增大了所测多卜勒频移量，提高了测量频率的灵敏度。

多卜勒计程仪除了提供精确的航行速度和

航程外，还提供深度数据。由于海底反射波的强弱取决于多方面的因素，如声波入射角，发射信号波形及频率，海水介质的吸声性能等。另外，声波在传输过程中，水中气泡、生物、杂质等会散射部分声能，海底也只能反射部分声能，在海洋情况下，还往往在 200—400 米深处存在很强的散射性的由小生物组成的海洋散射层，声波不易穿透此层。所有这些，都限制了多卜勒计程仪的工作深度。现在世界上的多卜勒计程仪通常在一定深度范围内跟踪海底，超过了此深度则自动变为跟踪选定的某一水层，这时也只能测量相对该水层的船速，此水层越稳定越好。

多卜勒计程仪由电子机柜，显示装置，换能器组件及水门阀组成。电子机柜包括频率基准产生，射频发射/接收电路，多卜勒频移信息提取及处理，速度、温度、深度的计算显示装置包括工作模式选择与显示，数据单位选择与液晶显示，多种接口形成信息生成与输出，故障检测与显示。换能器组件由压电元件、补偿折射板、匹配电路、热敏电阻等组成。电路和显示单元结构合理紧凑，使该系统易于安装，且操作简单；数字显示快速易读；换能器体积小，重量轻，它不直接与船壳连接，而是装在一升降阀中，此阀固定在船底上，换能器可在阀中升降，关闭阀门后，海水不会进入船内，这种结构在换能器出故障时可在航行过程中检修更换，而无需进坞，方便了维修。

多卜勒计程仪有单轴、双轴和三轴之分。单轴计程仪比较简单，只能测量船舶的纵向速度，即船的前进和后退速度。双轴计程仪可以测量船的纵向和横向速度，可广泛应用于各种舰船及大型油轮。三轴计程仪可测量船的横向、纵向和垂直方向的速度，主要用于核潜艇。美国、德国、俄罗斯都相继研制出了三轴多卜勒计程仪，并严禁向他国出口或技术转让。

总而言之，现在装备的多卜勒计程仪主要用途为：

(下转第 26 页)

15 卷 4 期

位是完全随机的,从而将声振动直接线性叠加,如此分析得到的结果比较成功地解释了阈值提前的现象.其实在较低声强作用下,液面仍然很平静,类似于镜面反射,即可以在换能器与液面之间形成驻波,严格地说是准驻波,换言之,在低声强下这种混响场中有准驻波成分.这种准驻波效应将影响空化泡的溃灭过程:在驻波场中存在着波腹和波节,速度波腹恰好是声压波节,驻波场会对场内质点形成较自由声场大得多的辐射压力,力的指向是速度腹点即压力节点^[9],如此会使声场中产生的空化气泡运动到压力节点处,由于压力节点处的声压值相对比较较小,所以空化泡的溃灭时间要延迟,崩溃的猛烈程度也要减弱,甚至有的气泡可以一直存留到声场作用停止而不溃灭.即削弱了空化效应.

液面的振动,使其对声波的镜面反射效果相应程度地减弱,反射波的相位随机性亦加强了,从而削弱准驻波效应.当液面共振时,其振动最强烈,准驻波效应削弱到最低水平,这样就使空化产量明显高于其它非共振情形,而产生了“空化峰”现象.上述讨论自然可以推知,混响场中随着声强的增加,亦会使液面振动加强,当这种振动足以使准驻波效应作用不明显时,混响场中“空化峰”现象自然会消失.即混响场中“空化峰”现象只有在较低声强下才

能观察到.

5 结语

本文研究了脉冲超声的空化效应,观察到了混响场中脉冲超声“空化峰”现象,并对它产生的机制作了探讨,由此对原有混响场模式作出必要的补充,指出了准驻波成分的存在及准驻波效应对空化产量的影响.分析得出,液面共振能通过削弱准驻波效应来提高空化产量,从而得出混响场中“空化峰”现象源于液面共振的结论.

参考文献

- [1] 王双维,冯若,史群等. 自然科学进展, 1991, 1(5): 459—462.
- [2] 王双维,冯若,史群. 自然科学进展, 1992, 2(3): 267—268.
- [3] 王双维,莫喜平,冯若等. 声学学报, 1993, 18(2): 122—129.
- [4] 史群,钱钺,冯若. 生物物理学报, 1990, 6(4): 485—489.
- [5] Feng Ruo, Qian Yue, Xu Jianyi et al. *Chinese J. of Acoustics*, 1991, 10(2): 131—136.
- [6] Mo Xiping, Feng Ruo, Zhou Hui et al. *Acoustics Letters*, 1992, 15(12): 257—259.
- [7] 范百刚著. 超声原理与应用. 南京: 江苏科学技术出版社, 1985. 91.
- [8] 易家训著. 流体力学. 北京: 高等教育出版社, 1982. 141—142.
- [9] 马大猷,沈峰编著. 声学手册. 北京: 科学出版社, 1983. 391.

(上接第 48 页)

(1) 精确测定船的绝对速率,向雷达、卫星导航设备提供航速,是自动驾驶和综合导航系统的重要组成部分.

(2) 大型船只,特别是大型油轮的安全靠岸、进坞和锚泊.

(3) 特殊船只如电缆船、远洋考察船和其它工程船只的导航和水下作业控制.

(4) 军用舰只如航母、潜艇和水面舰艇的导航和定位.

多卜勒计程仪在我国航海业有着广泛的应用前景.自行设计高精度的多卜勒计程仪任重而道远.目前已试制出的双轴多卜勒计程仪原理样机,经过海上试验,获得了满意的结果,其性能达到或超过了国外同类产品的水平.

参考文献

- [1] 应崇福. 超声学, 科学出版社, 1990, 278—278.
- [2] 乌立克 R J. 工程水声原理, 国防工业出版社, 1972, 102—104.