

海中激光衰减特性与跃层关系的初步探讨*

付 克 付

(国家海洋局第一海洋研究所)

本文讨论了南黄海北部海域及青岛近海海水激光(6328Å)衰减系数的垂直分布与温跃层的相关性。依据三个年度不同季节(春、夏、秋)现场实测结果,叙述了衰减系数垂直分布的季节变化,并对现场测量方法提出了改进方案。

一、本海域的水文特征

观测海域的温、盐结构随季节变化。冬季诸月(12—3月)由于海面冷却和蒸发所致的对流混合达到海底,海水温、盐分布呈垂直均匀或接近垂直均匀状态,夏半年(5—10月)则出现层化现象,即存在着跃层。6—9月尤为显著,4月为开始层化现象,10—11月则为层化渐趋消失的时期^[1]。

在温、盐两类跃层中,对某一具体海区而言,往往其中之一起主导作用。在渤、黄海中温跃层居主导地位。由温跃层所导致的密度跃层现象也极为显著,并且与温度跃层的强度和深度分布及变化趋势一致。本文讨论温跃层与衰减系数的垂直分布关系,其实质是代表了密度跃层与衰减系数垂直分布的相关性。

二、夏季衰减系数的垂直分布与跃层的关系

现场测量站位图如图1。

典型测量结果如图2、图3所示。

实验证明,衰减系数 α 垂直分布均与温跃层相关(A站无跃层除外)。在上均匀层,温度和衰减系数的垂直分布较均匀。在跃层内的上部,衰减系数减小至最小值约 $0.4-0.5m^{-1}$ 左右。在跃层内下部(底部附近),衰减系数急骤增大达最大值约 $0.9-1.2m^{-1}$ 左右。穿过跃层衰减系数趋向减小。接近海底衰减系数又趋向增大。

本文1979年12月8日收到。

* 1977, 1978年资料由国家海洋局一所传输组提供, 1979年资料为作者与本所衰减仪研制组同志共同取得。律志武做了许多现场工作。本文承蒙山东海洋学院于良副教授审阅。在写作过程中曾得到王元培、薛德镛同志热忱帮助, 郑全安、王常才、张绪琴等同志提供宝贵意见, 特致忱谢。

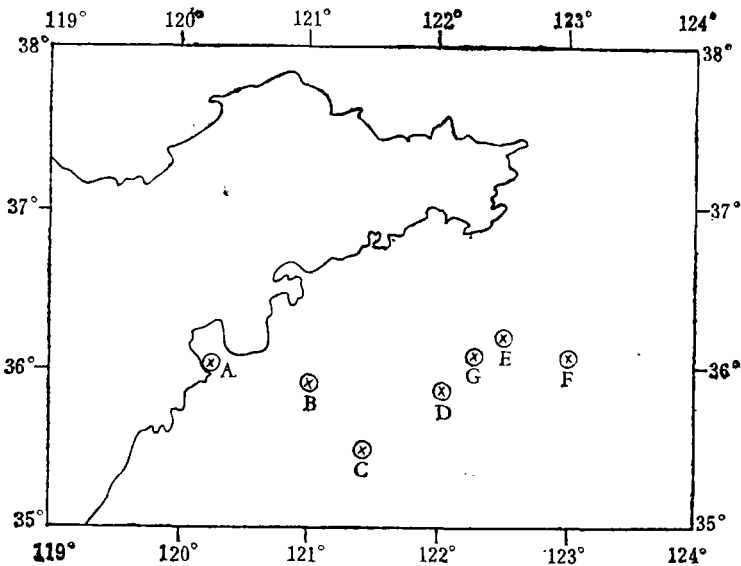


图1 现场测量站位

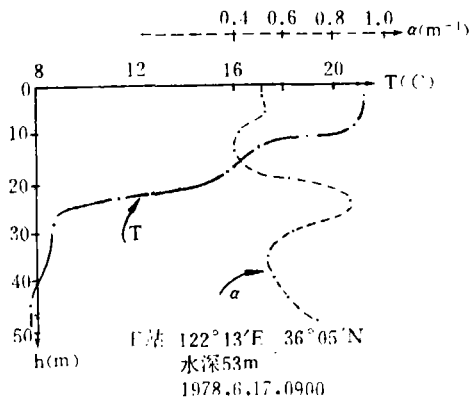


图2

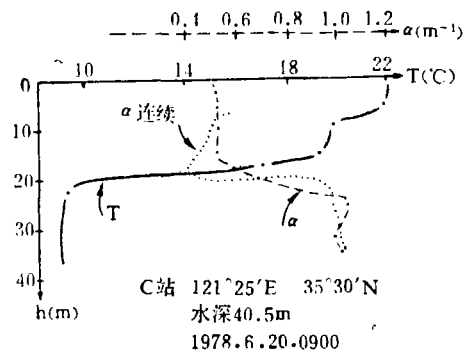


图3

对以上这种现象可以解释为：夏季是跃层强盛期，跃层以上水层，由于风、浪等作用使水层混合均匀，衰减系数垂直分布同样应该均匀。在跃层中，水的温、盐梯度很大，即密度梯度很大，水层的稳度 $(E = \frac{g}{\rho} \frac{\delta\rho}{\delta Z})$ 大。当稳定度值增大时，垂直涡动混合系数 K_z 减小。跃层对涡动热传导起“抑制”作用^[1]。跃层内海水垂直混合作用减弱。因此跃层内下部水对上部水影响小。上部水的悬浮物由重力作用下沉。在下部（接近跃层底部，水的密度梯度大处）当悬浮物的密度等于该处水的密度时，悬浮物不易下沉，形成积累。特别浮游生物死亡下沉在这里容易高度集中。在今年春季现场测量中，对 E 站的各层海水取

样,并用显微镜分析水中悬浮物含量及种类¹⁾,发现水中的悬浮物中有机碎片(主要为浮游植物的残体)的含量大于无机砂粒。在30米水层(α 为 $1.4m^{-1}$)中有机碎片的总个数约为无机砂粒总体个数的7倍。30米水层中有机碎片总体个数约为上均匀层(α 为 $0.9m^{-1}$)中有机碎片总体个数的3—4倍。而各层之间无机砂粒含量无显著的差别。表明有机碎片的比重接近于水的比重,在水中沉降缓慢。夏季在跃层底部密度梯度大处,有机碎片的密度近似等于水的密度,其本身重力近似等于浮力,上部沉降的颗粒在此形成积累,产生了跃层内上部衰减系数小,下部衰减系数急骤增大。

上均匀层中,海水由于涡动混合不断地上下搅拌,该层水中的悬浮物沉降较慢。另外,观测海区离岸较近,混浊的沿岸水由于海流,潮流,侧向混合等作用被带入观测海区。该沿岸水高温,低盐,处于观测海区跃层上方。综合的效果使上均匀层的衰减系数较跃层内上部大。

图3是C站0900实测结果,图中点划线显示出在分层测量中(每层间隔5米),衰减系数垂直分布在跃层上部未出现极小值,似乎该站分布规律不同于各站,但在查阅仪器匀速提升连续读数记录中(图中点虚线),发现15—20米之间有一衰减系数极小值(α 为 $0.4m^{-1}$)被漏测,并发现衰减系数从接近极小值变化到极大值(α 为 $1.0m^{-1}$ 左右)仅在约2米厚度之间,显示出衰减系数在跃层底部变化急骤。从而表明在进行现场测量时,连续测量非常必要。

实验中同一测站,在一天内的几次测量数据中,衰减系数垂直分布曲线的形状和位置不尽相同,这与潮汐有关。某些曲线衰减系数极大值的垂直位置处在跃层以下,这可能是温跃层和衰减系数跃层在深度测量上不同步(测量时BT与衰减仪使用两个不同吊杆沉放)及测量时间不同步(跃层的内振动)造成的。表明BT与衰减仪在沉放深度及时间两方面同步测量的必要性。

三、秋季衰减系数的垂直分布与跃层的关系

秋季典型测量结果如图4、图5所示。

B站(图4)跃层已消失,衰减系数垂直分布较均匀, α 约为 $1.5m^{-1}$ 左右。

E站仍存在跃层,衰减系数垂直分布规律类似夏季。由于跃层位置较夏季深,衰减系数垂直分布的变化位置相应下移,因接近海底,衰减系数不再减小。

值得注意的是,E站在测量过程中,当仪器由深处升到g点深度时,该处衰减系数由沉放测量的 $0.9m^{-1}$ 增大至 $1.1m^{-1}$ 。对应于g点以上3米多处的 α 值。表明海中跃层的垂直位置不稳,在几分钟内垂直移动达3米多。这可能是温跃层位置在上下移动,水文学中称为温跃层的内振动即内波。图6^[5]表示了跃层中等温线的振动。

1)海洋学院钱树本老师代为分析,特此致谢。

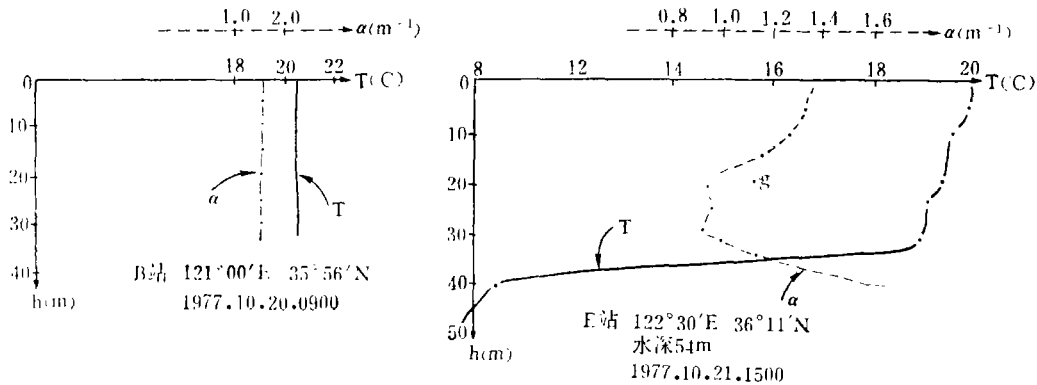


图4

图5 秋季海水温度与衰减系数垂直分布

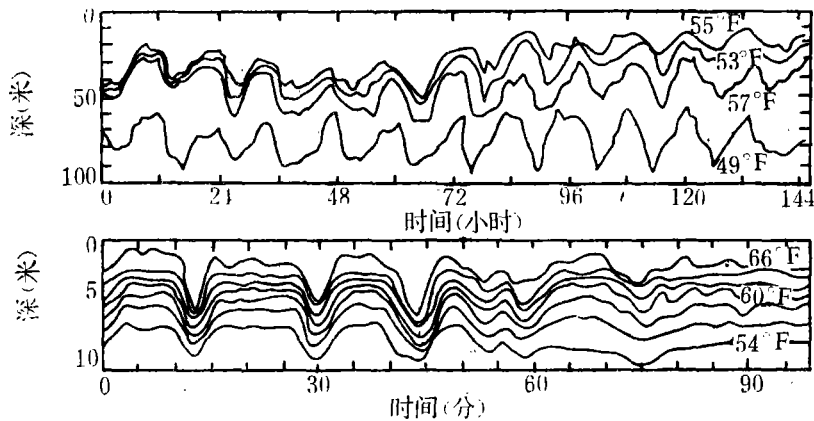


图6 跃层中等温线的振动

图中上图表明主要分量具有潮汐频率，振幅大约 15 米 (Reid 1956)。下图表明在浅温跃层中，一个具有高频率的振动 (La Fond 1962)。可见内波能导致某一固定水层温、盐、密度的变化十分复杂。

如前所述，光在海中的衰减特性与跃层相关，衰减系数的垂直分布必然随跃层振动而发生复杂的变化。反过来把跃层中的悬浮物看作“天然中性浮子”，当跃层振动时，“天然中性浮子”在水中的垂直位置也随着起伏。我们利用光学方法测量衰减系数的垂直变化并与其它观测方法相配合，可能作为光学方法实时动态观测海水跃层振动手段。为实时动态探索跃层的微细结构提供可能。

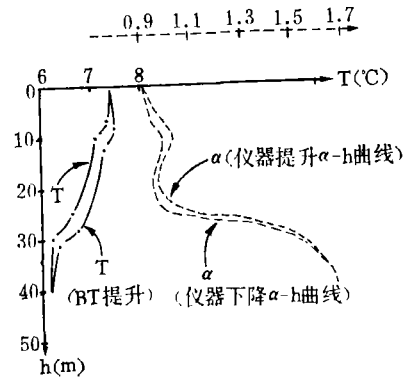
四、春季衰减系数的垂直分布与跃层的关系

春季测量中，为克服 BT 与衰减仪沉放深度、时间不同步以及分层测量中漏测的缺陷，这次现场测量中采取了两项措施：1. 重点测站采用 x—y 函数记录仪，连续记录衰减系数深度的垂直分布(仪器匀速沉放)。2. 将衰减仪与 BT 挂在一起同步沉放，可测出衰减系数垂

直分布与温跃层的相关性, 也可消除因海流影响钢丝绳倾斜带来的深度误差。E 站连续记录结果如图 7 所示。

自表层至 25 米衰减系数变化不大。25 米至 30 米间出现下跃层 (强度 0.1)¹⁾, 衰减系数急骤增大, α 值从 $0.94m^{-1}$ 增至 $1.43m^{-1}$ 。30 米至 40 米为温度均匀的下层水, 衰减系数缓慢增至 $1.68m^{-1}$ 。在弱跃层中衰减系数不出现极小值。

E 站各水层取样分析表明, 衰减系数大的水中所含悬浮粒子多, 主要是有机碎片 (浮游植物的残体)。30 米水层 (α 为 $1.4m^{-1}$) 悬浮粒子中的有机碎片总体个数约为 10 米水层 (上均匀层 α 约为 $0.6m^{-1}$) 有机悬浮物含量的 3—4 倍。而各层水中无机砂粒的含量无显著差别。表明春季该站引起各层水之间衰减系数明显差别的主要因素是水中含有有机颗粒的多寡。



E 站 $122^{\circ}12'54''$ E $36^{\circ}05'42''$ N

1979.4.11.0380

图7 春季海水温度与衰减系数垂直连续分布

五、衰减系数的季节变化

表 1 列出了衰减系数的季节变化。

表中列出上均匀层、跃层上部、跃层下部、底层 (实测中仪器沉放最大深度) 四个位置衰减系数的数值。夏季实测海区一般衰减系数最小。以上均匀层为例 (除胶州湾 A 站处), α 约为 $0.43m^{-1}$ 至 $0.6m^{-1}$, D 站大些约 $0.78m^{-1}$ 。秋季海水衰减系数最大, α 约 $1.2m^{-1}$ 至 $1.5m^{-1}$ 左右。秋季降雨量多, 由陆地流入海中营养盐丰富, 浮游生物大量繁殖以及藻类大量死亡, 使水中有机悬浮粒子浓度高。降雨使沿岸水混浊, 观测海区受沿岸水影响较大。总的效果使海水光的衰减系数比夏、春季都大。夏季由于浮游生物旺盛的春季刚过, 海中的营养盐减少等原因, 浮游植物较少, 水的衰减系数小。

胶州湾内的 A 站 (无跃层), 衰减系数受季节、潮汐影响显著。夏季衰减系数为 $2.2m^{-1}$, 秋季为 $2.7m^{-1}$, 春季测量一天内, 高潮时衰减系数为 $6.7m^{-1}$, 平潮时为 $5.5m^{-1}$, 低潮时为 $5.0m^{-1}$ 。

六、结 论

根据该海域三个年度不同季节的海上实测资料分析, 得到初步结论:

1. 衰减系数垂直分布与跃层相关。夏 (6 月中旬)、秋 (10 月中旬) 季上均匀层衰

1) 海洋水文调查规范规定浅海强度 0.2 以上为跃层, 深海强度 0.1 为跃层。为讨论方便作者把强度 0.1 的水层统称为跃层。

减系数垂直分布较均匀。跃层内上部衰减系数达极小值, 夏季约为 $0.4-0.5m^{-1}$ 左右, 秋季约为 $0.8-0.9m^{-1}$ 左右。跃层下部(垂直梯度大处)衰减系数急剧增大, 夏季约为 $0.9-1.1m^{-1}$, 秋季约为 $1.8-1.9m^{-1}$ 。接近海底衰减系数大;

2. 衰减系数的数值随季节变化, 秋季大, 夏季最小, 胶州湾春季最大。春季弱跃层中, 衰减系数不出现极小值, 而是随深度增加急剧增加;

3. 实测海域造成各水层之间衰减系数相差较大的主要因素, 根据春季水样分析结果: 各层水中含有机悬浮粒子数量相差悬殊;

4. 把跃层中的悬浮物看作“天然中性浮子”, 利用光学方法测量衰减系数分布的垂直变化并与其它观测手段相配合, 可能作为光学方法实时动态观测海水跃层振动(内波)的手段, 为实时探索跃层的微细结构提供可能;

5. 今后测量光的衰减特性时, BT 与衰减仪应同步沉放, 记录仪作连续记录。

参 考 文 献

- (1) 管秉贤, 黄海冷水团的水温变化及环流特征的初步分析, 海洋与湖沼, 5 (1963), 4, 257, 283.
- (2) 三浦秀一等レーザー光の海中伝搬特性(田子港), 电波研究所季报, 22 (1976), 118, 143-149.
- (3) 佐佐木忠义, 海洋光学, Journal of the Oceanographical Society of Japan, 20th anniversary volume, 1962.
- (4) 松生治等, 夏季バ—リング海における天空および海中の分光太陽工木エネルギー分布と海水の光学的性質。ラミ。Tome 17 N° 1, 1979, 1-10.
- (5) Phillips, O. M., The dynamics of the upper ocean, Internal waves, Cambridge, University Press. P. 283.

THE PRELIMINARY INVESTIGATIONS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LASER BEAM ATTENUATION PROPERTIES AND THE THERMOCLINE LAYER IN THE SEA

Fu Kecun

(First Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography)

ABSTRACT

The relationship between vertical distribution of laser beam ($6328\overset{\circ}{\text{Å}}$) attenuation and thermocline layer in the North Part of the Southern Yellow Sea and the offshore near Qingdao is discussed. Based on the in-situ measurements obtained in

spring, summer and autumn during three years, the seasonal variations of the vertical distribution of the attenuation coefficient are described. Some improvements in the method of in-situ measurement are proposed.