

实验
技术

25厘米透光度仪的使用*

乐肯堂

(中国科学院海洋研究所)



我们在中美联合长江口考察(1981)和中美联合南黄海考察(1983)的三个航次中,与美方科学家共同使用美国海洋技术公司(Sea Tech, Inc.)生产的25厘米光束的透光度仪(25cm beam transmissometer)来测量海水的浊度。这种仪器是目前国际上的一种新产品。笔者根据使用这种仪器的体会,对此仪器的使用报道如下。

一、设计原理

本仪器测量中等混浊度水中光束的穿透性。在水中,对光分布的变化起作用的基本物理过程是吸收和散射。水对光的吸收作用,使光的能量转变成其它形式,而散射作用则使光线改变其方向,但其能量却不发生变化。这样,光在水中的衰减可由下式表示:

$$I(z) = I(0)e^{-Cz} \quad (1)$$

其中, C 称为光束衰减系数,或:

$$T(z) = I(z)/I(0) = e^{-Cz} \quad (2)$$

这里, T(z) 为在距离 z 处的光的百分比量。当然,上述关系仅适用于单色光。在本仪器中,由于使用了波长为 660 毫微米 (10⁻⁹米) 的发光二极管光源 (光波带宽为 10Å)。光束衰减系数 C 为三项之和:

$$C = C_w + C_p + C_y \quad (3)$$

其中, C 表示水的衰减系数, C_p 为水中悬浮体微粒的衰减系数, C_y 表示水中溶解物质的衰减系数。在上述三个分量中,每个分量都有不同的光谱特征。由于取 λ = 660 毫微米,一般情况下,可以忽略 C_y, 故 C = C_w + C_p。再则,根据 Peterson (1977) 的发现,质点浓度与光束衰减之间的关系是线性的,那么可把

(2) 式写为:

$$T(z) = e^{-C_w z} e^{-VC_p^* z} \quad (4a)$$

这里, VC_p^{*} 表示单位体积内含有 V 个质点的衰减系数。又,对于波长固定的仪器,由于 e^{-C_wz} 为常量,故可取它等于 w, 那么就有:

$$\ln T = \ln w - VC_p^* z \quad (4b)$$

因为 C_p^{*} 为一常量,令 ln w = k₁ C_p^{*} z = k₂ 得:

$$\ln T = k_1 - k_2 V \quad (5)$$

这样,透光率的对数是质点体积的线性函数。

二、标定分析

本仪器的光源和接收过程可由图 1 表示。



图 1

图中, I₀ 表示光源强度, I₁ = I₀F₁; I₂ = I₁e^{-αx}; I₃ = I₂F₂; 而 x = 0.25m, F₁, F₂ ≤ 1 为光通过窗孔处的损耗系数。于是:

$$I_3 = F_1 F_2 I_0 e^{-αx} \quad (6)$$

假定 F₁F₂I₀ 为一常量,通过标定来求得,而 I₃ 由标准设备测得。由于 x = 0.25 米,故有:

$$\ln \frac{I_3}{(F_1 F_2 I_0)} = -0.25α$$

其中, ln F₁F₂ 可用空气或水来标定。据笔者所知,美国伍兹霍尔海洋研究所通常用蒸馏水

* 本文承钱正绪、赵保仁提宝贵意见,致谢。

来标定。当然，如果光通过窗孔时其能量没有损耗，即 $F_1 = F_2 = 1$ ，或 $\ln F_1 F_2 = 0$ ，那么，

$$\ln(I_3/I_0) = -0.25\alpha$$

即：

$$\alpha = -4 \ln(I_3/I_0) \quad (7)$$

如用频率表示，设 $I_0 = K_1 f_0$ ， $I_3 = K_2 f$ ， f_0 为光源的频率， f 为待测频率，得：

$$(f/640) \times 100 = \text{透光率} \% \times (I_3/I_0) \quad (8)$$

其中取 $f_0 = 640$ 。

这里讨论标定分析问题是指在现场观测前（或后）在实验室中进行的标定分析工作。对 α 值进行标定分析的目的在于便于与实测悬浮体浓度 ss 进行比较。

三、使用方法

在中美联合考察的三个航次中，把它与 MARK III 型的 CTD 连接起来同时使用（见图 2）。

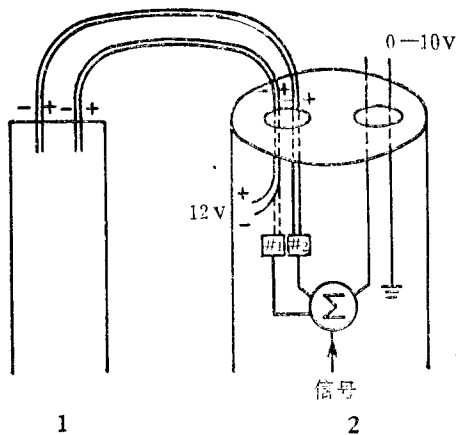


图 2

1 为 Transmissometer；2 为 CTD。

四、测量误差

这种仪器的测量误差主要来自如下两方面。

第一，向前散射光线的杂乱性。不过，通过对向前散射的订正，可以在某种程度上使这

种误差减小。如设 $\beta(\theta)$ 为体积散射函数，它被定义为沿着给定方向 (θ) 上单位辐照率 (瓦/米²)，单位体积从一体积元上发出的发光强度 (瓦/球面度)；且 γ 为此透光度仪的接收器的半角，那么总散射光为：

$$b_f = 2\pi \int_0^\gamma \beta(\theta) \sin\theta d\theta$$

在这里，体积散射函数 $\beta(\theta)$ 在向前散射的近区内可近似地取为常量：

$$b_f = 2\pi\beta(\theta)(1 - \cos\gamma) \quad (9)$$

这样，由式 (2) 可知，理论的透光率为：

$$T_{\text{理论}} = e^{-C}$$

故实测的透光率应为：

$$T_{\text{实测}} = e^{-(C+b_f)}$$

这样

$$T_{\text{实测}} = T_{\text{理论}} e^{-b_f} \quad (10)$$

设 C_t 和 C_m 分别为理论和实测的光束衰减系数，那么，使用这种透光度仪时，由于发射器与接收器之间的距离为 0.25 米，故可得：

$$C_t = C_m - 8\pi\beta(\theta)(1 - \cos\gamma) \quad (11)$$

即用本仪器测得的透光率，须按上述公式对实测的透光率和衰减系数进行订正。

第二，本仪器在设计中忽略了黄色物质即腐殖酸的衰减作用。由于本仪器只适用于中等混浊度水中的透光率，故在长江冲淡水近岸段这种高度混浊的海水中进行测量时，在不少测站和不少层次中，仪器记录均为 0.00%。笔者认为，如果在这些海区中，使用 8 厘米光束的同样性质的透光度仪，那么对于海水浊度的分辨力就会有明显的提高。

为了对这种仪器的观测结果作出合乎实际的判断分析，笔者建议在分析用这种仪器测得的数据时，最好进行下列工作：(1) b_f 订正；(2) 标定 α ；(3) 测量 ss ；(4) 画出 α 与 ss 之间的关系图；(5) 确定 α 与 ss 之间的回归曲线。需要指出， b_f 订正是一项工作量较大的工作，因为需要对研究海区的悬浮体颗粒性质及分布作出测定。但是对于近岸河口区来说，这一订正却是十分重要的。