

中国科学院
南京地理与湖泊研究所集刊

MEMOIRS OF NANJING INSTITUTE
OF GEOGRAPHY AND LIMNOLOGY
ACADEMIA SINICA

第 7 号

科学出版社

中国科学院 南京地理与湖泊研究所集刊

MEMOIRS OF NANJING INSTITUTE
OF GEOGRAPHY AND LIMNOLOGY
ACADEMIA SINICA

第 7 号

科学出版社

1990

内 容 简 介

本集收入关于区域规划、城市规划、地图编制、湖泊水文化学、历史气候变化、水资源利用、鱼类放养等方面的论文共14篇，尤其对江苏长江沿岸发展规划、太湖流域气候与环境的历史状况及太湖本身的物理化学状况作了较多的分析和论述。这些文章均有一定的理论和实践意义。

本集刊可供从事地理与湖泊研究和教学工作者，及有关规划、生产和管理工作人员参考。

中国科学院 南京地理与湖泊研究所集刊 第 7 号

*

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

北京怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年8月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1990年8月第一次印刷 印张：8 3/4

印数：001—800 字数：197,000

ISBN 7-03-002039-1/P·393

定价：8.70元

目 录

太湖水体光学特性的理论计算.....	蔡启铭 杨 平 (1)
太湖地区晚更新世以来孢粉组合和古环境演变.....	蒋新禾 (10)
从太湖流域历史冷暖变化看CO ₂ 增加的气候效应.....	陈家其 (26)
东太湖围网区悬移质状况及其对鱼类的影响.....	季 江 (35)
太湖大浦口湖水化学状况.....	潘红玺 黄漪平 (46)
青海湖水位下降与水量平衡.....	秦伯强 王洪道 (52)
盐碱低洼地鱼塘养鱼时期浮游生物的变化.....	刘桂英 谷孝鸿 (60)
江苏沿江地区区域发展分析和规划设想.....	虞孝感 (72)
江苏省长江沿岸地区水资源利用问题.....	杨桂山等 (81)
宜兴市城市性质分析.....	洪昌仕等 (91)
厦门特区供水研究.....	孙志方 (98)
论DTM在国土大地貌研究和制图中的应用.....	刘振东等 (107)
农业自然条件和资源地图的编制.....	张龙生 (117)
厦门特区与闽南经济综合开发图集编制特点.....	赵 锐 (127)

CONTENT

Theoretical Study of Optical Properties of Taihu Lake Water	<i>Cai Qiming</i> and <i>Yang Ping</i> (8)
Late Pleistocene Spore Pollen Assemblage and Paleoenviron- mental Changes in Taihu Lake Region.....	<i>Jiang Xinhe</i> (25)
Analysis of the Climatic Effect of CO ₂ Increasing Based on Historical Cold/Warm Variation in Taihu Lake Catchment	<i>Chen Jiaqi</i> (34)
The Regime of Suspended Substance in Pen Culture Region of East Taihu Lake and Its Effect on Fish growth.....	<i>Ji Jiang</i> (45)
Hydrochemical Characteristics of the Dapukou Inlet, Taihu Lake	<i>Pan Hongxi</i> and <i>Huang Xiping</i> (51)
Water Level Fluctuation and Water Balance of the Qinghai Lake.....	<i>Qin Boqiang</i> and <i>Wang Hangdao</i> (59)
Changes of Planktons During Fish Culture Period in Fish Pond of Low-Lying Saline-Alkali Wetland.....	<i>Liu Guiying</i> and <i>Gu Xiaohong</i> (70)
Analysis and Planning Consideration of Regional Development of the Changjiang River Basin Area in Jiangsu Province	<i>Yu Xiaogan</i> (80)
On the Water Resources Utilization Along the Bank Area of the Changjiang River, Jiangsu Province	<i>Yang Guishan et al.</i> (90)
Analysis of Urban Character of Yixing City.....	<i>Hong Changshi et al.</i> (96)
Study on Water Supply of Xiamen Special Economic Zone.....	<i>Sun Zhifang</i> (106)
On Application of Digital Terrain Model (DTM) System in Me- gamorphological Study and Mapping.....	<i>Liu Zhendong et al.</i> (116)
Compilation of Maps of Agricultural Natural Conditions and Resources.....	<i>Zhang Longsheng</i> (126)
The Characteristics of Compilation of Atlas of Comprehensive Economic Development in Xiamen Special Economic Zone and Area of Southern Fujian Province.....	<i>Zhao Rui</i> (133)

太湖水体光学特性的理论计算*

蔡启铭 杨 平

太阳辐射是湖泊的主要能量来源,也是影响湖泊生态系统的重要物理环境因子。研究水体对辐射的影响所涉及的最基本的物理量是湖面反照率和水体吸收率,它们直接反映了入射辐射被水体反射和吸收的多少。辐射在湖面上的反射和在水体中的吸收也是水体遥感研究所关心的基本问题。

入射的太阳辐射,少部分经水面反射返回大气,大部分经折射后进入水体。进入水体的光,一方面为光合作用提供能量,直接影响到湖泊的生产力;另一方面入射光转化为热能,改变了湖水的温度。因此无论从物理湖泊学还是生态学角度来看,水体对太阳辐射的反射、吸收和光在湖水中的传输状况,在研究水面蒸发、水团热状况和运动特征等湖水热力和动力过程以及水体生态环境变化方面,都是必须深入考虑的因素。关于这方面的论述和观测,虽然国际上已有不少报道,但在国内,从物理学基本定律出发,定量地研究水体光学及水中各种因素对它的影响的理论工作尚不多见。本文是在这方面做的一个初步尝试。

由于湖水中悬浮质和水分子对入射光的多次散射以及底泥的反射效应,湖面反照率将不同于用Fresnel定律的计算结果。本文着重讨论利用Monte Carlo方法模拟光子的飞行过程,从理论上研究水中悬浮质的散射和吸收对湖面反照率和水体吸收率的影响。计算中使用了实测的太湖悬浮质粒度资料,考虑了悬浮质浓度沿垂直方向的变化以及分子散射和吸收的贡献,因此可以认为,得到的结果将会较合乎实际的湖泊物理性质。在本文的数值计算中,湖面视为平面。至于风浪,其影响主要体现在掠角入射情况,将另文专门讨论。

一、太湖悬浮质实测资料的处理

湖水中悬浮质的浓度和粒径分布直接影响着水体的光学性质,是数值计算中必须考虑的变化因素。1987年中日太湖-琵琶湖合作研究期间,曾对太湖悬浮质百分重量随粒径的分布 $P(\phi)$ 进行了较详细的观测(粒径 $\phi = -\log_2 D$, D 为悬浮粒子的等效球体直

* 龚晖同志提供了太湖悬浮质的实测资料,并给予热情指导,在此表示诚挚的感谢。

径,以mm为单位),观测位置有近湖底处和水面下0.5m二个深度。仔细分析观测资料表明, $P(\phi)$ 随季节、时间和采样位置变化很大,但总的说来,可用多段正态分布来拟合。即对每份资料,设 $P(\phi)$ 有 m 个分段点 $\phi_1 < \phi_2 < \dots < \phi_m$, 分段点间的资料可用正态分布拟合,即

$$P_k(\phi) = \int_{-\infty}^{\phi_1} N_1(x) dx + \sum_{i=2}^k \int_{\phi_{i-1}}^{\phi_i} N_i(x) dx + \int_{\phi_k}^{\phi} N_k(x) dx \quad (1)$$

其中

$$N_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-(x-\mu_i)^2/2\sigma_i^2}$$

上式中 μ_i 和 σ_i 分别为分段正态分布函数的平均值和方差值。可以证明,拟合的 $P_k(\phi)$ 满足分段点处分布函数的连续性,即:

$$P_{k-1}(\phi_k) = P_k(\phi_k)$$

根据实际资料的情况,本文采用了三段正态分布对实测资料进行拟合。图1是正态概率纸上绘出的拟合曲线及实测数据点,其中曲线1为利用7月月平均资料所拟合的曲

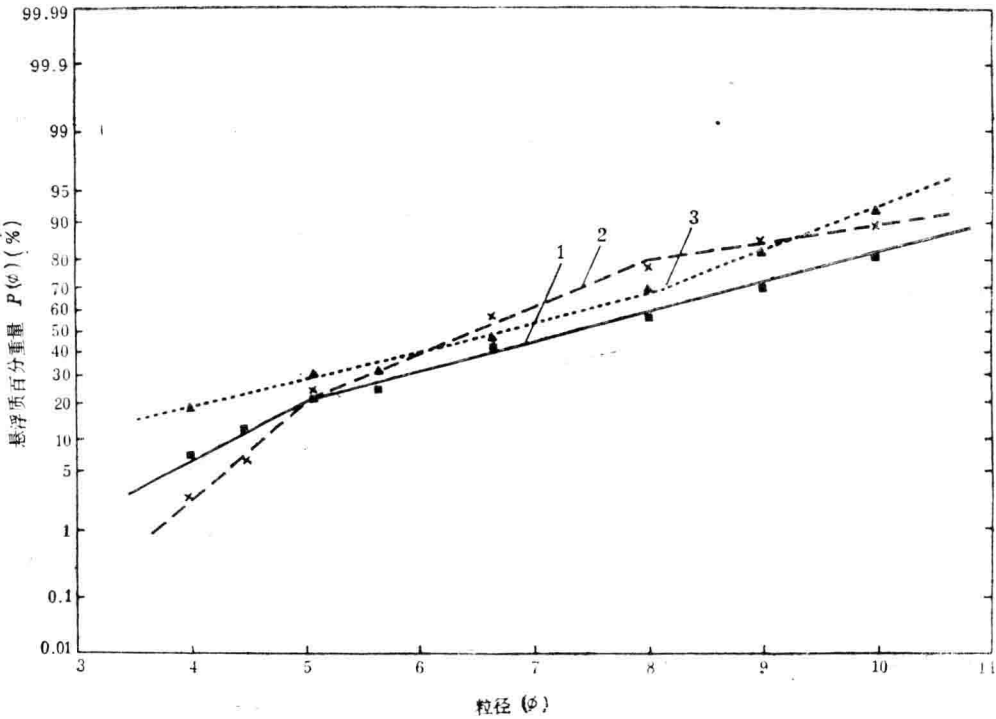


图1 太湖悬浮质粒径分布拟合曲线

1、2和3分别为谱1、2和3的拟合曲线; ■, × 和 ▲ 表示相应的实测数据点

线(以下简称谱1),曲线2和3分别为利用7月18日和24日资料所拟合的曲线(以下简称谱2和谱3)。可见,拟合曲线与资料吻合得较好。表1给出了三种谱条件下的三段正态分布的拟合参数值 (σ_i, μ_i), $i = 1, 2, 3$ 。

以上得到的分布 $P(\phi)$ 是百分重量随粒径的分布,在计算悬浮质光学参量时,需要知道其数密度随粒径的分布 $n(\phi)$, 但 $n(\phi)$ 可由 $P(\phi)$ 导出。

表1 水中悬浮质百分重量拟合曲线的参数

	曲线的参数	粒径区间		
		$\phi \leq 5.059$	$5.059 < \phi \leq 7.966$	$\phi > 7.966$
谱1	σ	1.481	2.849	2.947
	μ	6.261	7.372	7.351
谱2	σ	0.919	1.805	4.212
	μ	5.802	6.519	4.590
谱3	σ	4.119	2.878	1.994
	μ	7.487	6.755	7.127

设悬浮质的密度为 ρ_a ，悬浮质在水中的浓度为 ρ_s 。（单位体积水所含悬浮质的总重量），则单位体积水中，在粒径 $\phi - \phi + d\phi$ 间隔内所含悬浮质的质量可同时用 $P(\phi)$ 和 $n(\phi)$ 表示，且二者相等，即有

$$\rho_s \frac{dP(\phi)}{d\phi} d\phi = \frac{\pi}{6} 2^{-3\phi} \rho_a \frac{dn(\phi)}{d\phi} d\phi$$

于是

$$\frac{dn(\phi)}{d\phi} = \frac{6}{\pi} \frac{\rho_s}{\rho_a} 2^{3\phi} \frac{dP(\phi)}{d\phi} \quad (2)$$

根据太湖实测结果， $\rho_a = 2.56 \text{ g/cm}^3$ 。湖中 ρ_s 沿水平方向梯度较小，可只考虑其垂直变化。水中悬浮质浓度 ρ_s 随水深的变化可用下述指数关系表示¹⁾：

$$\rho_s = \rho_o e^{KZ} \quad (3)$$

式中 Z 是水深， $Z = 0$ 为湖面；系数 $K = 0.006 \text{ cm}^{-1}$ ， $\rho_o = 30.6 \text{ ppm}$ 。

二、太湖光学特性的计算

在水体光学中，通常描述水中悬浮粒子的重要光学参量是体散射函数、散射系数和消光系数，它们表示了单位体积水中粒子光散射所产生的能量角分布、散射能量损失和衰减损失。为了计算它们，首先需要知道单个粒子的相应的物理量（对单个粒子相应地称为散射函数、散射截面和消光截面）。在物理学上，对于球形粒子散射，可以通过Mie散射理论来计算^[1]。根据Mie理论，单个粒子的光学特性由粒子的大小和折射率决定（为了简单起见，这里不给出具体的数学表达式），体散射函数、散射系数和消光系数则是单位体积内各种粒子贡献的总和，即：

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\beta}(\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \beta(\theta, \phi) \frac{dn(\phi)}{d\phi} d\phi \\ \sigma_{s, e} = \int_{-\infty}^{+\infty} Q_{s, e}(\phi) \frac{dn(\phi)}{d\phi} d\phi \end{array} \right. \quad (4)$$

需要指出的是，尽管湖水中悬浮粒子的几何形状和折射率各不相同，但作为群体效应，它们的散射参量可用等效球形粒子来计算，而折射率则可取各种悬浮粒子的综合平

1) 焦春萌，太湖水动力学和悬移质输移的三维模型，中国科学院南京地理与湖泊研究所硕士研究生毕业论文，39—40，1980年。

均值。一般说来,以二氧化硅这类矿物质构成的悬浮粒子的折射率较大,而藻类、有机碎屑的折射率较小,但光的吸收效应则主要由有机质决定。由于太湖悬浮质的折射率尚无实测资料^[2, 3],计算中取如下综合平均折射率数值(相对于水介质):

$$m = 1.15 - i0.001, i = \sqrt{-1}$$

根据式(3), $\bar{\beta}(\theta)$ 和 $\sigma_{s,e}$ 随水深也同样呈指数变化:

$$\begin{cases} \bar{\beta}(\theta, Z) = \bar{\beta}(\theta, 0) e^{KZ} \\ \sigma_{s,e}(Z) = \sigma_{s,e}(0) e^{KZ} \end{cases} \quad (5)$$

图2是当入射波长为 $0.55 \mu m$ 、悬浮质取湖面处谱1分布时,计算所得的太湖悬浮质的体散射函数。由图可见, $\bar{\beta}(\theta)$ 的前向散射很强,说明太湖悬浮质中有相当数量的大粒子(相对于入射波长)。同时,由于在散射角 $100^\circ - 120^\circ$ 范围, $\bar{\beta}(\theta)$ 仅出现不太强的“Rainbow”峰区,说明悬浮质中远大于入射光波长的粒子的比例不大。图中还同时给出美国圣地亚哥湾和清洁海水的实测 $\bar{\beta}(\theta)$ 曲线^[4],比较它们可以发现,这些曲

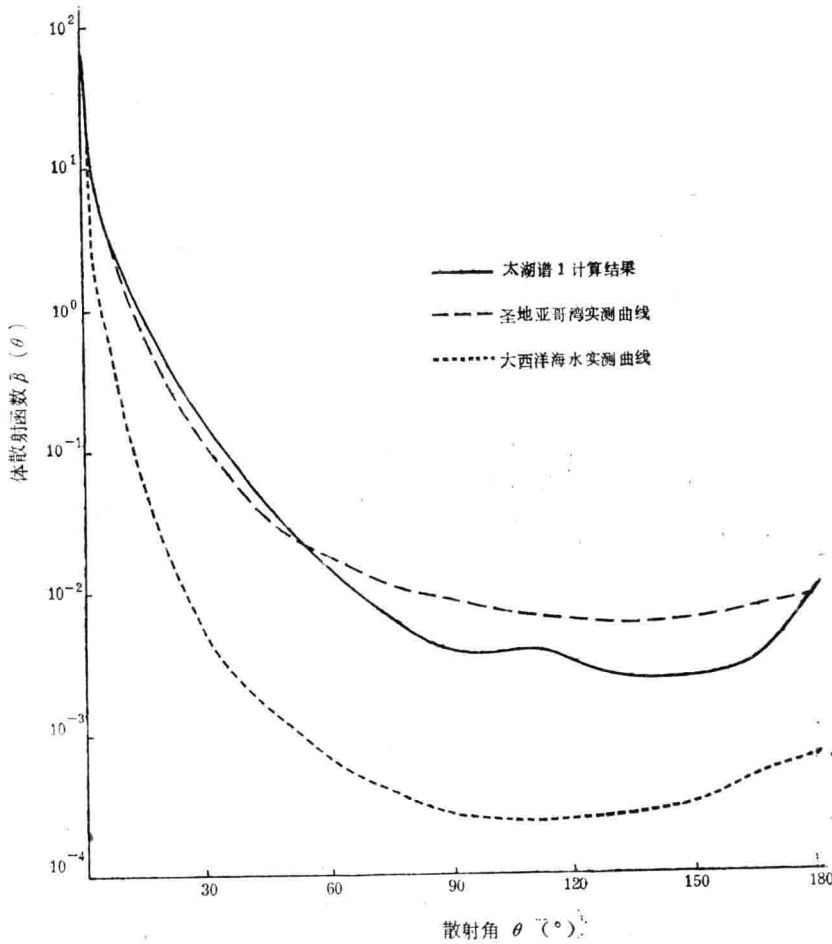


图2 太湖悬浮质平均体散射函数随散射角的变化

线的总趋势是一致的,太湖的 $\bar{\beta}(\theta)$ 与圣地亚哥湾的较接近,但前者的前向散射较强,后向散射较弱,说明太湖含悬浮大粒子更多些,小粒子则较少。实际上由表2可以看出,

太湖的水更混浊。

为了计算湖面反照率 R 和水体对入射光通量的吸收率 A ，首先作如下定义：

$$\begin{cases} R = F_{\mu} / F_i \\ A = F_a / F_i \end{cases} \quad (6)$$

表2 几种水体光学系数的比较

光 学 系 数	$\sigma_e(\text{m}^{-1})$	$\sigma_s(\text{m}^{-1})$
太湖谱1	9.77	9.47
太湖谱2	7.18	6.81
美国圣地亚哥湾		1.58
澳洲金宁德拉湖		4.4—21.6
大西洋巴哈马岛海水	0.08	0.037

上式中 F_i 和 F_{μ} 分别为水面入射光通量和向上光通量， F_a 为水体吸收光通量。对于包括水-气界面的水体光学问题，由于水面存在而导致的复杂性，一般难以用解析辐射传输理论求解。为此，本文采用Monte Carlo方法。

Monte Carlo方法实质上就是随机试验方法。把光的传输过程视为相继的光子与水分子、悬浮粒子以及水面或底泥发生随机碰撞事件所组成的马尔科夫链。也即是根据光子随机碰撞事件发生的概率，用计算机模拟大量光子的运动状况，再现光的传输统计规律^[5]。下面作一些简单的说明。

首先，入射到湖面上的光子可能被反射回大气，也可能进入水体，发生反射的概率为：

$$r = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_1^i - \theta_1^t)}{\sin^2(\theta_1^i + \theta_1^t)} + \frac{\text{tg}^2(\theta_1^i - \theta_1^t)}{\text{tg}^2(\theta_1^i + \theta_1^t)} \right] \quad (7)$$

式中 θ_1^i 为入射角， θ_1^t 为折射角。

进入水体的光子可能与水分子或悬浮粒子碰撞而发生能量衰减，利用 $(0, 1)$ 上均匀分布的随机数模拟光子飞越距离 ΔZ 的几率，显然它与水的消光系数有密切关系，可写为：

$$-\ln \xi = \int_{\Delta Z} (\sigma_{es} + \sigma_{ew}) dZ / \mu \quad (8)$$

式中 $\mu = \cos \alpha$ ， α 为光子运动方向与铅直方向之夹角。 ξ 为随机数， σ_{es} 和 σ_{ew} 分别为悬浮质和水分子的消光系数。

由抽样理论不难知道，光子发生碰撞时，如果

$$\xi \leq (\sigma_{ss} + \sigma_{sw}) / (\sigma_{es} + \sigma_{ew}) \quad (9)$$

则碰撞为散射事件，否则为吸收事件。上式中 σ_{ss} 和 σ_{sw} 分别表示悬浮质和水分子的散射系数。发生水分子散射事件的条件则由下式决定：

$$\xi \leq \sigma_{sw} / (\sigma_{sw} + \sigma_{ss}) \quad (10)$$

在计算中，水分子的体散射函数采用如下的形式^[8]：

$$\beta_w(\theta) = 7.02829 \lambda^{-4.32} (1 + 0.835 \cos^2 \theta) \times 10^{-6} (\text{m}^{-1}) \quad (11)$$

式中波长 λ 以 μm 为单位。

本文在随机试验时，还考虑了光子透射到湖底时底泥的反射效应和投射到水面时可

能发生的全反射事件。

根据上述原则，对一连串入射光子进行追踪，直到光子被吸收或射出水面，便可得到入射光通量被反射和吸收的情况，从而得到 R 和 A 。为了提高精度，数值计算中，本文还采用了减少方差的技巧，例如对入射光子赋以能量统计权重因子，强迫光子每次碰撞为散射事件。

三、计算结果和讨论

由大气入射到湖面上的辐射分为两部分，一部分来自太阳的直接辐射，另一部分是由于天空散射效应产生的漫射辐射。漫射辐射的比例取决于大气分子、尘埃和云的分布，通常云和气溶胶粒子会使漫射辐射增加。

当天空全部被云遮挡时，天空的漫射亮度可用心脏形分布来描写，于是入射角抽样方程为^[7]：

$$\xi = (3\cos^2\theta_1^i + 4\cos^3\theta_1^i) / 7 \quad (12)$$

比较简单的天空漫射辐射为各向同性分布，此时抽样方程为：

$$(\xi)^{1/2} = \cos\theta_1^i \quad (13)$$

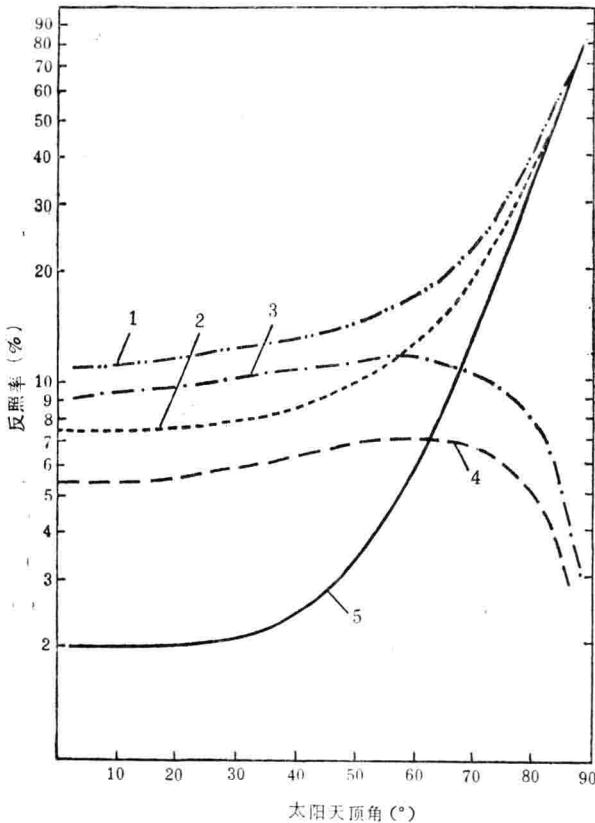


图3 太湖湖面反照率随太阳天顶角的变化

1、2分别为谱1和谱2的 R 值；3、4为相应的水分子和悬浮质的多次散射的贡献；5为Fresnel反射的贡献。

R 有明显的影响，在谱1的情况下，大粒子较多，散射系数和消光系数都比谱2情况的大

在这两种情况下湖面反照率和水体吸收率都与太阳高度角无关，所以计算比较简单。当入射波长 $\lambda = 0.55\mu\text{m}$ ，水中悬浮质为谱1分布和底泥无反射时两种天空亮度情况的计算结果分别为 $R = 16.8\%$ 和 15.6% ， $A = 82.4\%$ 和 83.5% 。可见漫射辐射部分的反射率和吸收率与入射辐射的分布关系不大。

湖水对直接太阳辐射的作用则明显地取决于太阳高度角。图3是波长为 $0.55\mu\text{m}$ ，假设底泥为全反射时计算得到的结果。由图可见，在太阳天顶角小时，水中悬浮质的多次散射贡献很大，实际上直到太阳天顶角 50° ，甚至 60° ，多次散射的贡献都较大；太阳天顶角大于 60° ，Fresnel表面反射急剧增大，多次散射的贡献迅速减小。仔细分析图3可以看出，悬浮质的粒径分布对反射率

(图1, 表2), 多次散射的贡献也就比较大。

图4是 $\lambda = 0.55\mu\text{m}$, 悬浮质粒径分布为谱1分布、无底泥反射以及悬浮质浓度取不同数值时, 计算所得的湖面反照率 R 和水体吸收率 A 。可以看出, 当悬浮质浓度较小时, R 和 A 对浓度变化反应比较敏感, 而随着浓度的增加, 它们似乎逐渐趋于一定的极限曲线。

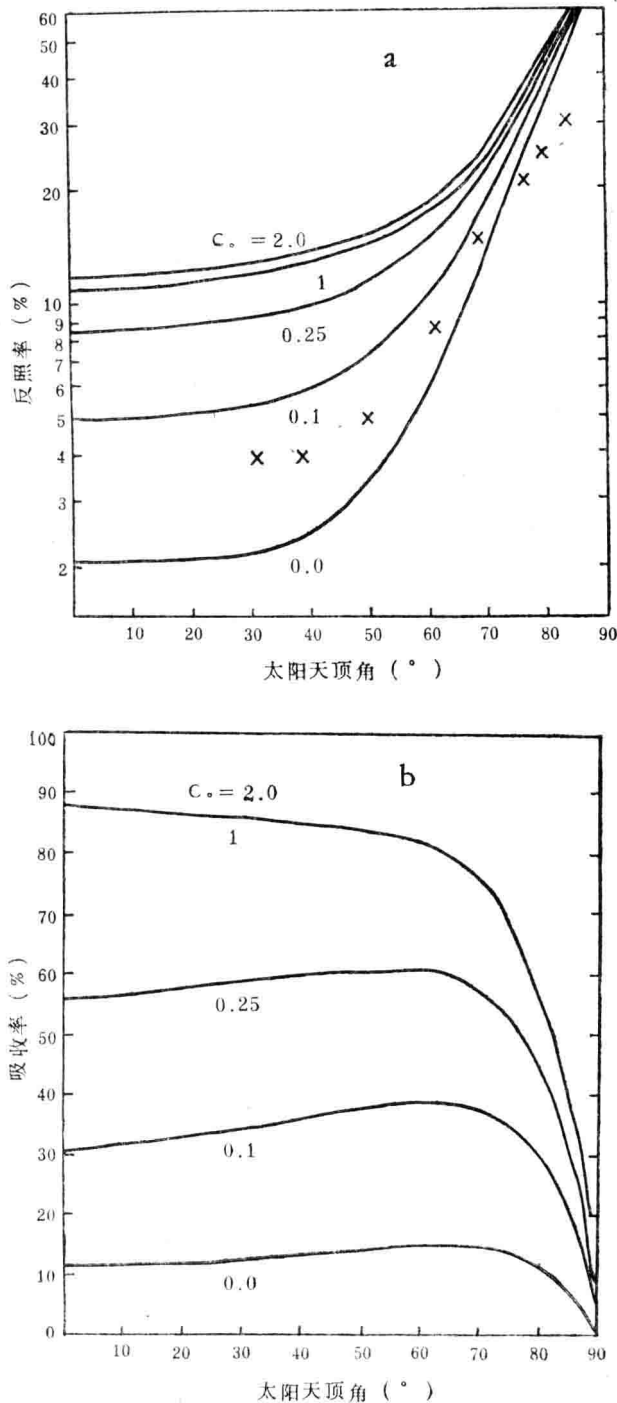


图4 不同悬浮质浓度时湖面反照率和吸收率随太阳天顶角的变化

C_o 为浓度因子; 计算采用浓度 $=C_o \times$ 实际湖水浓度

这说明对于悬浮质浓度较大的水体,很快地出现一深度,在这深度以下的水体对湖面反照率的影响很小。自然,这个深度及其以上水体对湖面反照率的贡献与悬浮质浓度有关。另一方面,当浓度较小时,水体的吸收率 A 在太阳天顶角约为 50° — 70° 范围出现最大值;而当浓度较大时, A 变为随天顶角增加而单调减小。这可能是因为当悬浮质浓度增加时,光子在水中受到更频繁的碰撞和吸收,使其传输路程长度对入射方向不敏感,同时,随着天顶角增加,湖面反照率受到 Fresnel 反射的影响迅速加大,而使进入水体的能量变小的缘故。图 4 中的 $\times$ 表示苏联贝加尔湖观测到的太阳总辐射的湖面反照率^[8]。可以看出,该反照率数据随太阳天顶角变化的总趋势与本文计算结果十分一致。而且可以明显地判断出:贝加尔湖的悬浮质浓度远小于太湖的悬浮质浓度。显然,这一结论是与事实相符的。至于太阳高度角为 80° 时,贝加尔湖观测到的反照率数据小于根据 Fresnel 定律计算的结果,这一现象可能与湖面受风浪影响而变得粗糙有关。

参 考 文 献

- [1] Liou, K.N., 1980, An introduction to atmospheric radiation, Academic, New York, 122—175.
- [2] Jonasz, M. and Prandke, H., 1986, Comparison of measured and computed light scattering in the Baltic, *Tellus*, 38B, 144—157.
- [3] Gordon, H.R. and Brown, O.B., 1972, A theoretical model of light scattering by Sargasso sea particulates, *Limnol. Oceanogr.*, 17, 826—832.
- [4] Kirker, J.T.O., 1983, Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge University Press, Britain, 12—20, 84.
- [5] 裴鹿成、张孝泽, 1980, 蒙特卡罗方法及其在粒子输运问题中的应用, 科学出版社, 56—78, 85—87, 163—213.
- [6] Smith, R.C. and Baker, K.S., 1981, Optical properties of the clearest natural waters (200—800 nm), *Appl. Opt.*, 20, 177—184.
- [7] Jerlov, N.G., 赵俊生、吴曙初译, 1981, 海洋光学, 科学出版社, 8, 29, 33—51, 83.
- [8] Погемкин, В.Л. 1985, Радиационные процессы в озерных котловинах, «наука», Сибирское отделение, 132 стр.

THEORETICAL STUDY OF OPTICAL PROPERTIES OF TAIHU LAKE WATER

Cai Qiming and Yang Ping

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica)

Abstract

Solar radiation is an important energy source for lakes, and also one of the key factors which affect the lake ecosystems. When penetrating into water, the sunlight provides photosynthetic energy for chloroplast and, moreover, a fraction of the solar radiation energy is converted into heat which leads to a change of water temperature. Consequently, all these will affect the thermal and dynamical structure of water body ecosystem. There-

fore, either from the viewpoint of physical limnology or ecology, the study of the transferring of solar radiation in water body and its effects on lake ecosystem is very important. In this paper, a theoretical model is developed to study the surface albedo and light absorption in Taihu Lake. The effects of light scattering and absorption of suspending particulates and water molecules, the reflection of lake surface and bottom are taken into consideration in the model. In the computation, the observed data of suspending particles are used, hence, the computed results may be expected to be reasonable.

In the model, the distribution of suspending particles in the water can be well fitted by the normal probability function, and then, on the basis of the parameters of the fitted curves, the light scattering phase function, extinction and scattering coefficients of the particles are computed by means of Mie theory. Finally, by using Monte Carlo method, the lake albedo and light absorption of water body are computed for various solar altitude, concentration and size distribution of the particles.

The results show that when the solar altitude is high, the effects of light scattering by suspending particles are larger and cannot be ignored. Actually, under this circumstance the major contribution of surface albedo comes from the multiscattering of suspending particles. On the contrary, when solar altitude is very low, the scattering effects of suspending particles on surface albedo can be ignored. In the latter case, the surface albedo can be simply computed by means of Fresnel's formula. The results also show that most of the incident light will be absorbed by water body in Taihu Lake as the solar zenith angle is between $0-70^\circ$, and the concentration as well as size distribution have remarked effects on the surface albedo and absorption of incident light.

太湖地区晚更新世以来孢粉组合和 古环境演变

蒋新禾

太湖地区位于长江下游坦荡的平原之上,东临大海,北濒长江,南至钱塘江,西达茅山、天目山,总面积达35 272.4km²。在地质历史时期,太湖地区曾随全球自然环境重大变化而产生过气候变迁,生物演替,海面升降,海水消长,湖水涨落等多种变化。这些变化,特别是晚更新世以来自然界的巨变,无疑深刻影响到本地区的植被演替、沉积相变、环境变迁等。同时太湖平原地势坦荡,除少数蚀余残岭外,平均海拔多在4m以下,高海面时极可能为海水浸淹或沦为海滨沼泽。因此,深入研究太湖地区的环境演变规律,将对我国整个东部平原和沿海地区的海陆发展,河湖演化和环境预测,在理论和实践上都是很有意义的。本文通过对太湖地区近年来几个剖面的孢粉分析,结合现有的研究资料,初步总结太湖地区晚更新世以来孢粉、古生物特征。同时,探讨植被演替、气候变化、环境变迁的自然演变过程,以期为我国东部和沿海地区进一步开展第四纪研究提供资料。

一、地层剖面及孢粒分析

(一) 太湖TQ₂孔

钻孔位于东太湖水域中心,水深1.13m,孔深2.5m,埋深1.70m处,¹⁴C测年为6 500 ± 190aB.P.。

本剖面根据孢粉组合特征,可以划出4个孢粉组合带(图1)。

1. *Pinus-Quercus-Gramineae*组合带

埋深2.2m以下。组合带以木本植物花粉为主,占孢粉总数的54.89%,其中以松为主的裸子植物花粉含量为总数的13.54%,以栎(含量为31%)为主的阔叶植物花粉占41.35%。草本植物花粉占39.72%,有禾本科(27.1%)、藜科、莎草科(6.02%)和香蒲属。水生植物花粉为8.27%。蕨类植物占4.89%,有蕨属、凤尾蕨属、紫萁属等孢子,但数量不多。

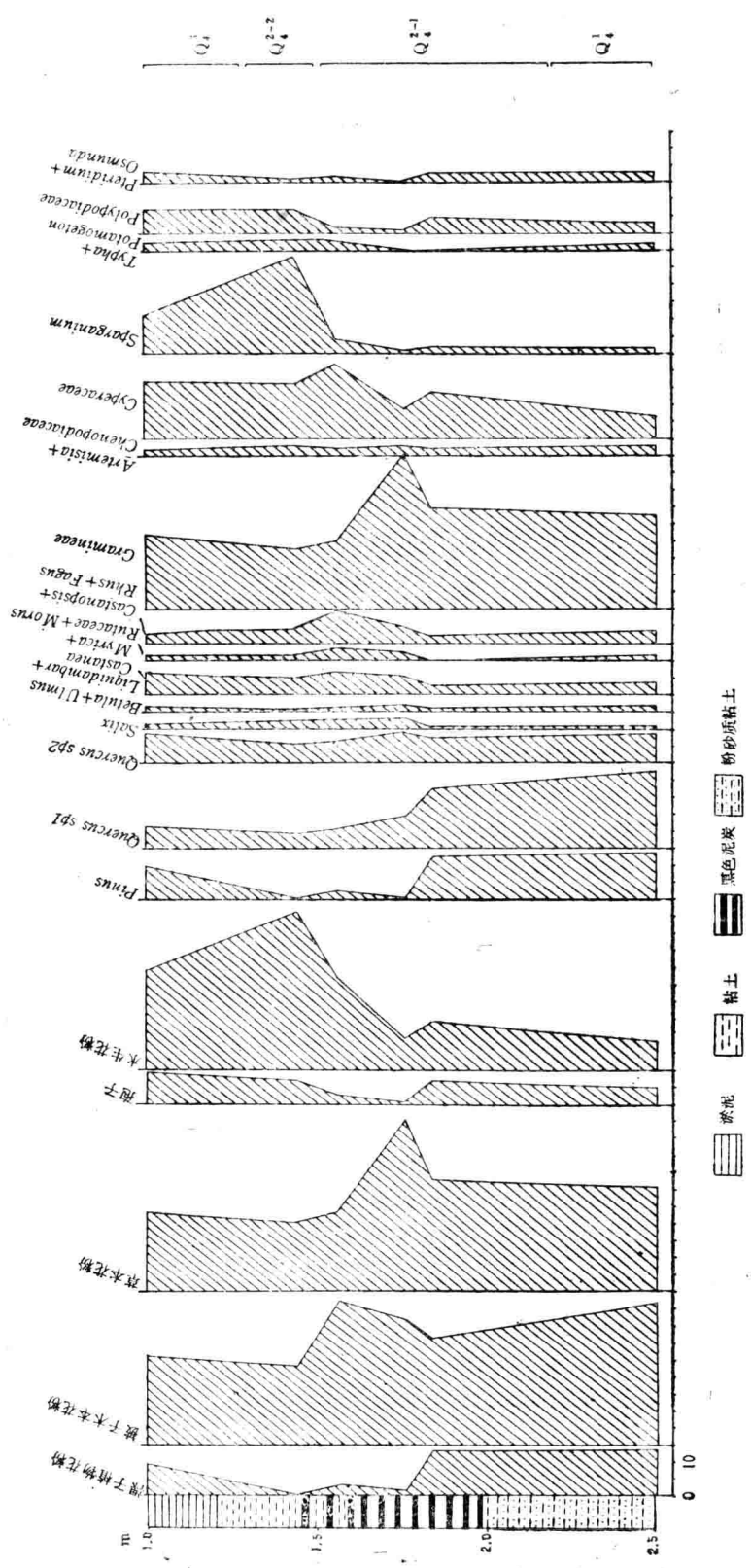


图1 太湖TQ₂孔孢粉图式

2. *Quercus-Q. glauca-Castanea-Castanopsis-Gramineae* 组合带

本组合带可以分为二个亚带。

(1) *Quercus-Q. glauca-Castanea-Gramineae*组合亚带

埋深1.7—2.2m。本亚带的特点是木本植物花粉含量减少,占41.33%。其中松属花粉含量减少到6.72%,栎属比例也有所下降。组合中还见有栗、柳、枫香、栲、漆树等阔叶树种。草本植物花粉增加,占54.5%,其中禾本科花粉含量呈增长趋势,最高时达总数的45%。蕨类孢子显著减少,仅占孢粉总数的3.84%。

(2) *Quercus glauca-Castanopsis-Cyperaceae*组合亚带

埋深1.5—1.7m。本亚带仍以草本植物为多,占总数的51.31%,其中喜水生、湿生成分增加,达到孢粉总数的27.45%,常见的草本植物花粉有莎草科、禾本科、香蒲属、眼子菜科、黑三棱科、藜科、蒿属、菊科等。木本的裸子植物花粉较少,阔叶植物花粉有所增加,见有多种亚热带树种,如青冈栎、栲、柳、枫香、桑、枫杨、栗、杨梅、芸香、漆树、山矾等。蕨类孢子数量不多。

3. *Quercus-Q. glauca-Castanea-Sparganium*组合带

埋深1.3—1.5m,为栎、青冈栎、栗、黑三棱优势带。组合带水生草本花粉极为丰富,占孢粉总数的46.33%。木本植物花粉中针叶树成分极少,阔叶树花粉除栎、青冈栎、栗以外,还有柳、漆、榆、桦、枫香、芸香、桤木、枫杨、杨梅、栲等出现。禾本科花粉较多。蕨类植物孢子逐渐增加。

4. *Pinus-Quercus-Q. glauca-Gramineae*组合带

埋深1.00—1.3m。组合带以松(9.89%)、栎(6.92%)、青冈栎(8.42%)为主要的木本植物,花粉百分含量仍较低,为36.26%,有一定数量的针叶植物成分。禾本科为主的草本植物花粉占孢粉总数的52.74%,其中水生草本成分仍相当丰富,为总数的29.30%。蕨类成分有凤尾蕨、紫萁,水龙骨等。

(二) 太湖东山孔

该钻孔地面标高约4m,孔深42.5m。在剖面埋深3.35m处, ^{14}C 测年为 $19\,750 \pm 75$ aB.P.。根据剖面孢粉图式(图2)中主要孢粉成分曲线的差异变化,全剖面自下而上可以划分为4个孢粉组合带。

1. *Pinus-Quercus-Gramineae*组合带

埋深42.5—38m。组合带木本植物花粉含量占孢粉总数的58.49%,居于首位,以松属(20.6%),栎属(18%)为主,并有较多的青冈栎(5.4%),枫香(最多为3.17%),栗(2.13%),还见有桦、榆、柳、枫杨、山核桃、栲、桤木等树种。草本植物花粉为32.13%,除禾本科(最多达21.72%)外,还有蒿、藜、菊、毛茛以及一定数量的水生