

# 悬浮泥沙遥感定量的统一模式 及其在珠江口中的应用\*

黎 夏

(广州地理研究所遥感应用室)

1991年4月4日收稿

## 摘 要

本文推导出来悬浮泥沙遥感定量的统一式,其形式包含了 Gordon 关系式和负指数关系式,其它各悬浮泥沙的关系式可看作是该统一式的近似。由多个例子的计算表明统一式的相关性和精度要高于目前国内外使用的悬浮泥沙定量的遥感模式。该统一式被成功地应用于珠江口伶仃洋的遥感定量分析中。

**关键词** 悬浮泥沙 遥感 统一模式 珠江口

## 一、引 言

卫星遥感在大面积水域的悬浮泥沙定量研究中有很大的优势。常规的调查需要在水域布置大量的测点才能得到准确的悬浮泥沙分布情况;这些调查受到一定的人力、物力和气候条件的约束,若要获得不同季节、不同潮情的悬浮泥沙分布则困难性更大。卫星遥感则能大面积、迅速地提供悬浮泥沙含量的准确数据。

国内外学者经过多年的努力,获得了悬浮泥沙定量的最佳波段和定量的相关模式的有关研究成果;国内学者在渤海湾、黄河口和长江口进行了悬浮泥沙的研究。我们也于1985年开始在珠江口伶仃洋进行了有关悬浮泥沙定量方面的遥感研究。国外学者开始工作较早,Williams<sup>[5]</sup>于1973年就对切萨比克湾(Chesapeake)进行了悬浮泥沙的遥感定量工作,发现了悬浮泥沙含量与卫星遥感数据呈线性关系。1974年Klemas等人<sup>[6]</sup>将遥感资料应用于特拉华湾(Delaware Bay),发现悬浮泥沙含量与陆地卫星MSS亮度值呈对数关系。1979年Munday和Alfoldi等人<sup>[8]</sup>研究了芬地湾(The Bay of Fundy),认为对数定量模式要比线性定量模式好。1981年Philpot<sup>[9]</sup>提出了非均一水层辐射传导遥感模式。同时,这些研究结果还一致表明,在选择遥感悬浮泥沙定量的最佳波段方面,陆地卫星的MSS 5和TM 3波段的数据与悬浮泥沙的相关系数最高,达90%以上,其对应的波段范围为0.6—0.8  $\mu\text{m}$ 。至于遥感定量模式,至今还没有统一看法。众多的学者提出了不同的模式来模拟悬浮泥沙的含量与遥感数据的关系。这些模式的特点一般都是半理论半经验,即从理论出发,推导出一定的数学模式,再由实测的数据来确定一

\* 本文是在广东省自然科学基金课题“伶仃洋定量遥感研究”、“遥感在伶仃洋规划整治中的应用”基础上成文的。

些参数。这些模式很多,但影响较大的有:

### 1. 线性关系式

$$R = A + BS$$

(式中  $R$  为反射率,  $S$  为悬浮泥沙含量,  $A$ 、 $B$  为系数)该式是最早被学者提出来作为模拟悬浮泥沙含量与遥感数据关系的最简单的关系式。该式有很大的缺陷,与实测数据不太相符,是很粗略的近似式。

### 2. 对数关系式

$$R = A + B \log S$$

该关系式 ( $A$ 、 $B$  为系数)它比较接近于实际情况。特别是在悬浮泥沙浓度不高的情况下,该式能较真实地反映悬浮泥沙与卫星数据的相关关系。但当悬浮泥沙浓度很高时,该式有很大的误差。该关系式被广泛地应用在悬浮泥沙的定量研究中。主要原因就是它形式简单,计算方便,又能满足一般的要求。

### 3. Gordon 关系式:

$$R = C + S/(A + BS)$$

$$\text{或 } \frac{1}{R - C} = B + A/S$$

该式 ( $A$ 、 $B$ 、 $C$  为系数)它是根据准单散射近似公式得到,在实际应用中用得不多,但较有名。

### 4. 负指数关系式:

$$R = A + B(1 - e^{-DS})$$

$$\text{或 } \ln(D - L) = A + BS$$

该式 ( $L$  为亮度值,  $A$ 、 $B$ 、 $D$  为系数)它由北京大学李京提出,其克服了以上模式在高浓度悬浮泥沙定量中误差较大的缺点。但由于式中采用了一些近似条件,也带来了一些缺陷。

本文在李京的负指数模式基础上,提出了新的统一模式。它基本上由 Gordon 关系式和负指数关系式构成,还可以分解成其它各式。该式比至今报道过的所有模式都更精确。下面介绍其推导过程及其应用效果。

## 二、悬浮泥沙遥感定量的统一模式及其推导

设进入海水的向下辐射强度为  $E_d(z, \lambda)$ 。 $E_d(z, \lambda)$  随海水深度  $z$  增加而减小。衰减系数为  $K(z, \lambda)$ , 由水体吸收系数  $\alpha(z, \lambda)$  和向后散射系数  $\beta_b(z, \lambda)$  组成。辐射在水中以漫入射形式向下传输,则有:

$$\frac{\partial E_d(z, \lambda)}{\partial z} = -K(z, \lambda)E_d(z, \lambda)$$

$$E_d(z, \lambda) = E_d(0, \lambda) \exp \left\{ - \int_0^z K(h, \lambda) dh \right\}$$

在海面处的向上辐射强度  $E_u(0, \lambda)$  是由后向辐射造成。设透视深度为  $h_0$ , 根据

whiltlock 的研究结果,悬浮泥沙浓度超过 10mg/l 时,  $h_0$  的变化就很小,可视为常数<sup>[9]</sup>,有

$$\begin{aligned} E_s(0, \lambda) &= E_d(0, \lambda) \int_0^{h_0} \beta(h, \lambda) \exp \left[ -2 \int_0^h K(\xi, \lambda) d\xi \right] dh \\ &= E_d(0, \lambda) \int_0^{h_0} \beta(h, \lambda) \exp[-2\bar{K}(\lambda)h] dh \\ &= -E_d(0, \lambda) \frac{\bar{\beta}(\lambda)}{2\bar{K}(\lambda)} \exp[-2\bar{K}(\lambda)h] \Big|_0^{h_0} \\ &= E_d(0, \lambda) \frac{\bar{\beta}(\lambda)}{2\bar{K}(\lambda)} \{1 - \exp[-2\bar{K}(\lambda)h_0]\} \end{aligned}$$

反射率

$$R = \frac{E_s(0, \lambda)}{E_d(0, \lambda)}$$

即

$$R = \frac{\bar{\beta}(\lambda)}{2\bar{K}(\lambda)} \{1 - \exp[-2\bar{K}(\lambda)h_0]\} \quad (1)$$

这里  $\bar{\beta}(\lambda)$ ,  $\bar{K}(\lambda)$  分别为  $\beta(h, \lambda)$  和  $K(h, \lambda)$  在垂向  $h$  上的平均值。水体的散射由水分子的散射和悬浮泥沙的散射造成<sup>[10]</sup>。

$$\bar{\beta}(\lambda) = a + bS$$

式中 ( $a, b$  为系数)

水体的吸收由水分子的吸收和悬浮泥沙的吸收造成:

$$\bar{\alpha}(\lambda) = a' + b'S$$

式中 ( $a', b'$  为系数)而衰减系数  $\bar{K}(\lambda)$  为

$$\bar{K}(\lambda) = \bar{\alpha}(\lambda) + \bar{\beta}(\lambda)$$

代入(1)式得

$$\begin{aligned} R &= \frac{a + bS}{2(a + a') + 2(b + b')S} \{1 - e^{-2[(a+a')+(b+b')S]h_0}\} \\ &= \frac{a + bS}{a'' + b''S} [1 - e^{-a''h_0} \cdot e^{-b''h_0S}] \\ &= [C + S/(A + BS)][1 - ke^{-DS}] \\ &= \text{Gordon}(S) \cdot \text{Index}(S) \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $A, B, C, D, k$  为系数,

$$\begin{aligned} A &= \frac{a''^2}{a''b - ab''}, \quad B = \frac{a''b''}{a''b - ab''}, \quad C = \frac{a}{a''}, \quad D = b''h_0, \\ k &= e^{-a''h_0}, \quad a'' = 2(a + a'), \quad b'' = 2(b + b') \end{aligned}$$

(2)式包含了 Gordon 式和负指数式,其它各式也可以由此进一步简化而得。

1) 当不考虑透视深度  $h_0$  时,即遥感传感器可以接收无穷水深的信息,  $h_0 \rightarrow \infty$ , 亦即  $D \rightarrow \infty$ , 有  $e^{-DS} \rightarrow 0$ , 即  $\text{Index}(S) \rightarrow$  常数,得

$$R = \text{Gordon}(S) \quad (3)$$

2) 当不考虑水体的吸收和散射作用,即  $a' = 0, a = 0$ , 有

$$\frac{a + bS}{a'' + b''S} \rightarrow \text{常数}, \text{即 } \text{Gordon}(S) \rightarrow \text{常数}, \text{得}$$

$$R = \text{Index}(S) \quad (4)$$

不难发现,将负指数  $e^{-Ds}$  按级数展开,选其不同的近似项,则可得到线性式和对数式。李京的研究已证明了这一点<sup>[4]</sup>。因此,该统一式可以概括现有的所有模式,这些模式都是统一式在一定条件下的近似应用。故统一式比它们更精确,更接近实际情况。

遥感传感器接收到的辐射亮度  $L$  与水体反射率  $R$  有下列关系<sup>[4]</sup>

$$L = L_p + \frac{E_{sd}}{\pi} \cdot R \cdot T \quad (5)$$

式中  $L_p$  为大气程辐射亮度,  $T$  为大气透射率,  $E_{sd}$  为水面上的向下辐照度,三者在同一图像上均可视为常数。将 (5) 代入 (2), 即可将反射率  $R$  换为遥感图像的亮度值  $L$ , 公式的形式如下:

$$L = A + B[S/(G + S)] + C[S/(G + S)]e^{-Ds} \quad (6)$$

其中  $A, B, C$  为相关式的待定系数,  $G, D$  为待定的参数。 $S/(G + S)$  和  $[S/(G + S)]e^{-Ds}$  为相关项。在应用中, 利用多元相关的回归程序, 进行计算机运算, 选取合适的  $G, D$  值, 使得相关系数最高。具体步骤是: 先暂时固定  $D$  值, 寻找  $G$  值, 使相关系数最高; 然后固定  $G$  值, 寻找  $D$  值, 使相关系数最高。反复进行, 很快就能得到最佳的  $G, D$  参数, 并能同时确定相关项的待定系数  $A, B, C$ 。实践证明, 该统一式的精度和相关系数要比其它关系式高。

### 三、珠江口伶仃洋悬浮泥沙的遥感定量与统一式的应用

我们自 1985 年开始在伶仃洋进行悬浮泥沙的定量研究; 前期的工作是利用 MSS5 波段进行悬浮泥沙的定量研究。由于南方多云, 很难获得较理想的同步数据。我们根据伶仃洋具有明显周期性的水文特征, 在潮情、上游来水和风况相似条件下选用了准同步数据, 并结合部分的水文站的实测数据建立起相关模式。当时选用了计算较简单的对数模式, 计算结果为:

$$L = -0.3663 + 32.3885 \log S$$

其相关系数为  $r = 0.992$ , 平均相对误差  $\bar{\sigma} = 2.71\%$ 。后来改用推导出来的统一式来计算伶仃洋的悬浮泥沙, 计算结果为:

$$L = 22.2848 + 696.5389 \cdot S/(S + 52) - 631.1757[S/(S + 52)]e^{-0.00008S}$$

相关系数  $r = 0.996$ , 平均相对误差  $\bar{\sigma} = 2.03\%$ 。计算原始数据均见表 2, 由此可计算出伶仃洋悬浮泥沙分布状况。根据实际情况, 我们将悬浮泥沙按密度分割成 8 级, 绘出伶仃洋悬浮泥沙等值线图, 并据此制成影像 (见封 4 图 1)。

表 1 伶仃洋悬浮泥沙分类

Table 1 Classification of Suspended Sediment in Lingdingyang Estuary

类 别	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
含沙量 mg/l	≤30	31—50	51—100	101—150	151—200	201—300	301—400	≥401

后期的工作是利用 88 年 12 月 10 日 TM 的卫星磁带数据, 在 ARIES-II 图像处理系统上进行相关分析。我们得到了该天的悬浮泥沙同步采样实测数据。这是首次利用同

步实测数据在伶仃洋进行相关分析。值得一提的是,在伶仃洋进行同步采样十分困难,以往我们花了不少人力和物力,都没有成功。珠江三角洲天气晴朗的时间一般在9—12月,而卫星过境的时间为26天重复一次,可选择的机会很少。这次同步采样的数据也不十分理想,其悬浮泥沙浓度值的动态范围不大,不利于外推到整个伶仃洋的悬浮泥沙分布。我们也利用推导出来的统一式对得到的同步数据(原始数据见表4)进行回归运算,计算结果如下:

$$L = 29.8556 + 687.8587S/(S - 30) - 690.0400[S/(S - 30)]e^{-0.0001S}$$

相关系数  $r = 0.91$ , 平均相对误差  $\bar{\sigma} = 3.16\%$ 。利用推导出来的模式对伶仃洋悬浮泥沙可以进行大面积的遥感定量估算,得到伶仃洋的悬浮泥沙分布(见图1)。通过对不同潮情、不同季节的多时相图像,还可以分析出伶仃洋悬浮泥沙的运移和淤积规律。定量分析结果表明,伶仃洋西部浅滩悬浮泥沙浓度较大,含沙量一般在洪季为  $40 \text{ mg/l}$  以上,而东部一般在  $20 \text{ mg/l}$  以下;枯季西部浅滩悬浮泥沙含量只有  $10\text{--}20 \text{ mg/l}$  左右,东部则小于  $5 \text{ mg/l}$ 。

#### 四、统一式与其它式的比较

由于其它式是统一式的近似,由此统一式要比其它式要准确,相关性要高。我们对这些关系式进行了比较。为了全面起见,我们还选用了已公开发表的实测数据进行验证。下面是比较的结果。

##### 1. 珠江口伶仃洋准同步数据

###### 1) 原始数据<sup>[2]</sup>

表 2 伶仃洋卫星遥感图像亮度值与悬浮泥沙含量准同步数据

Table 2 Brightness Value of Landsat and Quasi-synchronous Data of Suspended Sediment in Lingdingyang Estuary

亮度值 $L$	46	54	55	58	70	72	78	83
悬浮泥沙含量 $S(\text{mg/l})$	29	54	50	60	120	175	248	430

###### 2) 各关系式对比结果

表 3 各关系式计算结果

Table 3 Calculation of Each Equations

结果 关系式	运 算 式	相关系数 $r$	误差(%) $\Delta L/L$
线性式	$L = 51.9526 + 0.0861S$	0.902	9.44
对数式	$L = -0.3663 + 32.3885\log S$	0.992	2.71
Gordon 式	$\frac{1}{L-26} = 0.0152 + 1.0090/S$	0.996	2.32
负指数式	$\ln(84.5 - L) = 3.8052 - 0.0079S$	0.996	2.98
统一式	$L = 22.2848 + 696.5389 \cdot S/(S + 52) - 631.1757 \cdot S/(S + 52) \cdot e^{-0.00008S}$	0.996	2.03

2. 伶仃洋实测同步数据

1) 原始数据

表 4 伶仃洋卫星遥感图像亮度值与悬浮泥沙含量同步数据

Table 4 Brightness Value of Landsat and Synchronous Data of Suspended Sediment in Lingdingyang Estuary

亮度值 $L$	39.13	37.43	35.31	35.02	32.23	32.24
悬浮泥沙含量 $S(\text{mg/l})$	114	111	111	74	41	41

2) 各关系式对比结果

表 5 各关系式计算结果

Table 5 Calculation of Each Equations

结果 关系式	运 算 式	相关系数 $r$	误差 $\Delta L/\bar{L}(\%)$
线性式	$L = 29.3670 + 0.0715S$	0.907	3.68
对数式	$L = 13.3495 + 11.6757\log S$	0.905	3.72
Gordon 式	$\frac{1}{L-1000} = -0.001042 + 0.000349/S$	0.895	3.54
负指数式	$\ln(7000 - L) = 8.8495 - 0.00001S$	0.907	3.66
统一式	$L = 29.8556 + 687.8587 \cdot S/(S - 30) - 690.0400 \cdot S/(S - 30) \cdot e^{-0.0001S}$	0.911	3.16

3. 舒守荣测量数据

1) 原始数据<sup>[3]</sup>

表 6 悬浮泥沙浓度值及其反射率

Table 6 Concentration of Suspended Sediment and Its Reflectance

反射率 $R$	12.54	16.74	21.69	27.96	29.10	32.45	35.56	37.26	37.41	39.01	39.70	40.72	42.09	43.03	43.12
悬浮泥沙 $S(\text{mg/l})$	9.2	12.8	25.2	57.8	80.1	101.3	141.4	163.2	133.3	241.4	296.3	350.0	406.4	454.8	510.6

2) 各关系式对比结果

表 7 各关系式计算结果

Table 7 Calculation of Each Equations

结果 关系式	运 算 式	相关系数 $r$	误差( $\%$ ) $\Delta R/\bar{R}$
线性式	$R = 23.5118 + 0.0488S$	0.842	16.36
对数式	$R = -2.8093 + 17.4333\log S$	0.992	3.76
Gordon 式	$\frac{1}{R-2} = -0.0248 + 0.6209/S$	0.993	7.30
负指数式	$\ln(43.8 - R) = 3.2350 - 0.0070S$	0.983	7.26
统一式	$R = 7.6448 + 85.4495 \cdot S/(S + 45) - 49.2464 \cdot S/(S + 45) \cdot e^{-0.0001S}$	0.995	3.27

## 4. 李京测量数据

## 1) 原始数据\*[4]

表 8 悬浮泥沙浓度值及其遥感图像亮度值

Table 8 Concentration of Suspended Sediment and Its Brightness Value in Remote Sensing Image

亮度值 $L$	0.4789	0.4398	0.4398	0.3978	0.3978	0.2436	0.1985
悬浮泥沙含量 $S(\text{mg/l})$	624.0	153.7	177.3	139.0	61.3	18.0	11.5

## 2) 各关系式对比结果

表 9 各关系式计算结果

Table 9 Calculation of each equations

结果 关系式	运 算 式	相关系数 $r$	误差(%) $\Delta L/L$
线 性 式	$L = 0.3131 + 0.0003S$	0.675	23.33
对 数 式	$L = 0.0453 + 0.1691 \log S$	0.956	9.22
Gordon 式	$\frac{1}{L-0.06} = 2.3021 + 56.3263/S$	0.997	4.27
负指数式	$\ln(0.479 - L) = -1.1688 - 0.0129S$	0.994	5.83
统 一 式	$L = \frac{0.3683 + 0.1596 \cdot S/(S + 270)}{-14.9764 \cdot S/(S + 270) \cdot e^{-0.1080S}}$	0.994	3.99

由上面的各个例子的计算结果可以看出,线性式的相关系数最小,误差最大;而统一式的计算结果最令人满意,其相关系数一般都是最大的(除最后一个例子中的 Gordon 式略比其高一点外),其误差为最小。对数式较简单,相关效果也较好,但有时会造成较大的误差(最后一例)。Gordon 式和负指数式的相关效果也较好,但也不太稳定,其原因可以由统一式的形式来解译。前面已说过,统一式可以表达为  $L = \text{Gordon}(S) \cdot \text{Index}(S)$ 。即其由 Gordon 式和负指数式组成,综合了它们各自的优点。Gordon 式和负指数式可以看作是统一式在一定条件下的近似,当其各自的近似条件得以满足时,它们的相关效果就会很好。否则,它们甚至会比对数式差。因此,有时负指数式比 Gordon 式好,但有时 Gordon 式比负指数式好。而线性式和对数式可以看作是负指数式的近似,它们的相关效果一般都较负指数式差。特别线性式是所有模式中最简单、误差最大的关系式。

我们同时也发现,除了使用不同的相关式会得到不同的相关效果外,不同的数据来源也会导致相关系数和误差大小的变化。这主要原因在于数据本身带来的误差。因为悬浮泥沙的采样受到多方面条件的限制,在采样过程中可能会产生一系列的误差,如采样点与卫星图像的对应像元不吻合,采样深度不一致等。

统一式也不是最完美的关系式。我们可以看出,在统一式的推导过程中,我们接受了

\* 辐射亮度值由李京论文中提供的  $S$  值和关系式反推出来,该值可能会与原始数据略有微小出入,但不影响本文的对比。

一些近似条件。因此,悬浮泥沙的定量模式是十分复杂的,我们只是用一定的模式来逼近它的真实情况。其形式必然会逐步得到深化,更加准确。

## 五、结 论

1. 本文推导出来了悬浮泥沙遥感定量的统一式

$$L = \text{Gordon}(S) \cdot \text{Index}(S) = A + B[S/(G + S)] + C[S/(G + S)] \cdot e^{-DS}$$

它包含了 Gordon 式和负指数式,其它目前使用得较多的式子都可以看作是统一式的近似。

2. 线性式在悬浮泥沙定量遥感中效果最差,统一式是目前使用的模式中效果最好的。负指数式和 Gordon 式效果次于统一式。

3. 在实际应用中被广泛使用的对数式有时会产生较大的误差,并不是最佳的悬浮泥沙遥感定量模式,建议在精度要求较高的遥感定量研究中尽量少使用。

4. 统一式在珠江口悬浮泥沙遥感定量应用中取得成功。它也成功地被其它公开发表的数据所验证。

5. 统一式也有近似条件,其形式还可以进一步得到深化。

## 参 考 文 献

- [1] 吕斯骅,科学通报,29(6),1984。
- [2] 古秋森,饶开燕,黎夏等,伶仃洋遥感应用,科学出版社,1990。
- [3] 舒守荣,陈健,邓仁达,遥感反射光谱测试与应用研究,科学出版社,1988。
- [4] 李京,水域悬浮固体含量的遥感定量研究,环境科学学报,6(2),1986。
- [5] Williams, A. N. and Grabau, Sediment Concentration mapping in tidal estuaries, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Sym. NASA SP-351, pp. 1347—1386, 1973.
- [6] Klemas, V., Bartlett, D., Philpot, W., Rogers, R., Reed, L., Coastal and estuarine studies with ERTS-1 and Skylab, Remote sensing of Environment, Vol. 3, pp. 153—174, 1974.
- [7] Whitlock, C. H., NASA TMX-73906, 1976.
- [8] Munday, J. C., and Alfoldi, T. T., Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, pp. 169—189, 1979.
- [9] Philpot, W., A radiative transfer model for remote sensing of vertically inhomogeneous water, Ph. D dissertation, University of Delaware, 1981.
- [10] Cracknell, A. P., Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology, Wiley and Sons, New York, 1981.

## An United Equation for Remote Sensing Quantitative Analysis of Suspended Sediment and Its Application at Zhujiang River Estuary

Li Xia

*(Guangzhou Institute of Geography)*

### Abstract

The paper presents an united equation for remote sensing quantitative analysis of suspended sediment, of which Gordon equation and negative index equation are included. Other popular equations approximate to it. Many cases show the correlativity and precision of the united equation are higher than those of others. The united equation succeeds in quantitative application of remote sensing in Lingdingyang Ocean of Zhujiang River Estuary.

**Key words** Suspended sediment, Remote sensing, United equation, Zhujiang river estuary

黎 夏: 悬浮泥沙遥感定量的统一模式及其在珠江口中的应用

Li Xia: An United Equation for Remote Sensing Quantitative Analysis of Suspended Sediment and its Application at Zhujiang River Estuary



图1 伶仃洋悬浮泥沙分类影像图

REMOTE SENSING OF  
ENVIRONMENT  
CHINA  
(Quarterly)

环境遥感

(季刊)

Vol. 7 No. 2 1992

1992年 第7卷 第2期

**Editor:** The Geographical Society of  
China, Sub-Commission on Environ-  
mental Remote Sensing  
P. O. Box 775, Beijing, 100101 China

主 办

中国地理学会环境遥感分会  
(北京市德胜门外北沙滩 917 大楼)  
邮政编码 100101

**Chief editor:** Tong Qingxi

主 编  
出 版

童 庆 禧  
科 学 出 版 社  
(北京东黄城根北街 16 号)  
邮政编码 100707

**Publisher:** Science Press  
16, Donghuangchenggenbeijie Street,  
Beijing, 100707, China

印刷装订  
总发行处  
订购处  
国外总发行

中国科学院印刷厂  
北京报刊发行局  
全国各邮电局  
中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
北京 399 信箱

**Distributed Abroad:** China Interna-  
tional Book Trading Corporation  
(Guoji Shudian)  
P. O. Box 399, Beijing, China

公开发行 国内统一刊号: CN11-1833 邮发代号: 82-324 国外刊号: Q1002