

- 2 Slingo A, Schrecker H M. On the shortwave radiative properties of stratiform water clouds. *Quart J R Met Soc*, 1982, 108: 407 ~ 426
- 3 Slingo a. A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *J Atmos Sci*, 1989, 46: 1 419 ~ 1 427
- 4 Hu Y X, Stamnes K. An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models. *J Climate*, 1993, 6: 728 ~ 742
- 5 Asano S, Shiobara M, Nakanishi Y, et al. Western North-Pacific Cloud-Radiation Experiment, Progress Report of WCRP in Japan, 3. Clouds and Radiation, Nagoya Univ Sept, 1992. 19 ~ 49
- 6 Stephens G L. Radiation profiles in extended water clouds. I. Theory *J Atmos Sci*, 1978, 35: 2 111 ~ 2 122
- 7 Welch R M, Cox S K, Davis J M. Solar radiation and clouds. *Meteorological Monograph* 17, American Meteorological Society, 1980. 3 ~ 42
- 8 Chylek P, Damiano P. Polynomial approximation of the optical properties of water clouds in 8 ~ 12  $\mu\text{m}$  spectral region. *J Appl Meteor*, 1992, 31: 1 210 ~ 1 218
- 9 Hunt G E. Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infrared thermal window wavelengths. *Quart J Roy Met Soc*, 1973, 99: 346 ~ 369
- 10 Perez C A, Martinez D, Petrov V V. Microstructure, mixing and turbulence in cumulus clouds over Cuba and the Caribbean sea. Proceedings of WMO Workshop on Cloud Microphysics and Applications to Global Change, WMP Report No. 19, 10 ~ 14 Aug. Toronto, Canada, 1992. 245 ~ 256
- 11 Leitch W R, Johnson D W, Korolev A V. Panel report on data summaries, Proceedings of WMO Workshop on Cloud Microphysics and Applications to Global Change, WMP Report No. 19, 10 ~ 14 Aug. Toronto, Canada, 1992. 301 ~ 307
- 12 谷福印, 马培民, 游来光, 等. 准噶尔盆地低云研究. 见: 全国云物理和人工影响天气会议文集. 北京: 气象出版社, 1989. 18 ~ 23
- 13 吴兑. 宁夏夏季降水性层状云的微物理特征. 见: 全国云物理和人工影响天气会议文集. 北京: 气象出版社, 1989. 24 ~ 34

(1997-11-21 收稿, 1998-03-09 收修改稿)

## 鼎湖山自然保护区森林土壤 $^{14}\text{C}$ 测定 及 $^{14}\text{C}$ 示踪初步研究

沈承德    刘东生    彭少麟    孙彦敏    姜漫涛  
易惟熙    邢长平    高全洲    李志安    周国逸

( 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650;  
中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**摘要** 鼎湖山庆云寺、五棵松两森林土壤剖面有机碳均含快慢变化两组分, 两剖面  $^{14}\text{C}$  值均随深度增加而减少。五棵松剖面  $^{14}\text{C}$  值在 30 ~ 40 cm 层位锐减, 表明大约 1 560 aBP 该剖面附近地质环境发生过大的变动。 $^{14}\text{C}$  表观年龄表明, 五棵松周围针叶阔叶混交林是在 425 aBP 的土壤上发育起来的, 与历史记载吻合。庆云寺、五棵松两剖面核试验产生的  $^{14}\text{C}$  的穿透深度分别为 10 和 20 cm。

**关键词** 鼎湖山 森林土壤  $^{14}\text{C}$  示踪  $^{14}\text{C}$  表观年龄

陆地生态系统由土壤圈和植被组成, 它处于大气圈和岩石圈界面, 不断地与大气圈、岩石

圈进行着物质的和能量的交换. 土壤层是植物残体的归宿和微生物活动的场所, 其中有机质不断地积累, 从而使得土壤圈成为一个极其重要的碳储库. 应用 $^{14}\text{C}$ 和 $^{13}\text{C}$ 等同位素示踪可描述土壤有机碳动态变化. 本文以鼎湖山自然保护区为对象, 对热带亚热带森林土壤剖面总有有机碳、 $^{14}\text{C}$ 分布规律以及 $^{14}\text{C}$ 表观年龄等进行了初步探讨.

## 1 地质环境与土壤剖面

鼎湖山自然保护区是联合国教科文组织“人与生物圈计划”(MAB)生态系统定位站, 位于广东肇庆东北郊, 即 $23^{\circ}09'21''\sim 23^{\circ}11'30''\text{N}$ ,  $112^{\circ}30'39''\sim 112^{\circ}33'41''\text{E}$ 范围. 全区分布众多低山和丘陵, 地势从西北向东南倾斜, 西北缘鸡笼山最高峰海拔 $1\,000.3\text{ m}$ . 多数山坡斜度为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ , 极其陡峭者 $>60^{\circ}$ , 形成明显的V型山谷. 岩性主要为泥盆纪沙页岩. 森林土壤为赤红壤, pH值在 $4.5\sim 5.0$ 之间, 腐殖质丰富. 全区年均温度约 $21.4^{\circ}\text{C}$ , 年均降雨量约 $1\,927.3\text{ mm}$ ,  $5\sim 9$ 月降雨量约为全年的 $69\%$ , 构成明显的雨季. 地带性植被为热带季雨林和亚热带季风常绿阔叶林<sup>[1~3]</sup>.

本工作以庆云寺、五棵松两土壤剖面为主要研究对象. 庆云寺剖面位于山麓平缓地带, 海拔 $190\text{ m}$ , 坡度 $22^{\circ}$ , 厚土层为中、高度有机质赤红壤, 植被为季风常绿阔叶林; 五棵松剖面位于山腰地带, 海拔 $315\text{ m}$ , 坡度 $28^{\circ}$ , 中土层为中度有机质赤红壤, 植被为针叶阔叶混交林. 详细情况见表1和表2<sup>[4]</sup>.

庆云寺剖面土体的基本特点是: 土层深厚, 有明显可分的土壤剖面发生层次, 心土层淋溶淀积现象明显(出现有机胶膜), 在干湿交替作用下形成了块状或柱状结构; 五棵松剖面土体的基本特点是: 有明显的土壤剖面发生层次, 心土层较薄, 淋溶淀积现象不明显, 根系集中于表层 $25\text{ cm}$ 内, 其下几乎再无根系出现, 两土壤剖面表层都有良好的团粒结构, 质地较为适中, 一般为壤质.

表1 庆云寺土壤剖面描述

距表层深度/cm	发生层	详细描述
0~20	A层	润, 棕灰色, 中粒土, 有团粒结构, 较松, 多根孔, 含大量草根
20~40	A/B层	潮, 浅棕灰色, 粘土, 有小块结构, 较紧实, 有根孔, 含少量草根
40~60	B <sub>1</sub> 层	潮, 黄棕色, 粘土, 有有机胶膜块状结构, 紧实, 有少量根孔, 含少量根系
60~100	B <sub>2</sub> 层	潮, 棕黄色, 轻粘质, 有有机胶膜块状, 坚实, 无根孔, 极少根系
100~160	B/C层	潮, 黄色, 砂壤土, 块状, 结实, 无根系

表2 五棵松土壤剖面描述

距表层深度/cm	发生层	详细描述
0~10	A层	干, 棕灰色, 中壤土, 团粒结构, 较紧实, 多草根
10~30	B <sub>1</sub> 层	润, 棕黄色, 重壤土, 小块状结构, 较紧实, 少根系
30~60	B <sub>2</sub> 层	润, 棕黄色, 重壤土, 柱状结构, 紧实, 无根系, 有紫色小石块
60~160	C/B层	润, 棕黄间白, 轻壤, 核块结构, 紧实, 无根系

## 2 实验及结果

庆云寺土壤剖面系广东省科学院广州地理研究所1994年开挖的人工剖面, 深 $160\text{ cm}$ , 剖面现场一直得到妥善保护. 本工作於1996年5月将原剖面顶端厚土层剥落 $10\text{ cm}$ 至新鲜表面出露, 再自下向上依次取样: 深度 $160\sim 80\text{ cm}$ 段, 取样间隔 $20\text{ cm}$ ; 深度 $80\sim 40\text{ cm}$ 段, 取样

间隔 10 cm; 深度 40 cm 至表层段, 取样间隔 5 cm, 同时也采集了覆盖于表土之上的部分枯枝落叶. 五棵松土壤剖面系本工作 1996 年 5 月开挖的人工剖面, 深 160 cm, 采样方法和取样间隔同上. 每个样品约取 1 kg. 所有土壤样品均在天然风干后剔除肉眼可见的根块和碎石, 再通过 1 mm 网筛除去根系和粗砂粒, 通过 0.1 N 的 HCl 溶液浸泡去除碳酸钙, 随后用蒸馏水反复洗涤直至中性并烘干. 每样均分作 4 份: 1 份用作  $^{14}\text{C}$  测定; 1 份用作  $^{13}\text{C}$  测定; 一份用作有机碳等常规分析; 1 份留存备用. 本工作将用作  $^{14}\text{C}$  测定的土壤样品进一步磨细后置入石英管, 样品有机碳在加热通氧条件下转化为  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  经过干冰-液氮冷阱反复纯化, 最后在 Li 反应器 650 真空条件下生成  $\text{Li}_2\text{C}_2$ .  $\text{Li}_2\text{C}_2$  首先被水解成乙炔 ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), 继而在催化剂作用下被合成为  $\text{C}_6\text{H}_6$ . 并通过 1220 Quantulus 超低本底液体闪烁计数仪对  $^{14}\text{C}$  放射性进行精确测定、通过硫酸-重铬酸钾法对土壤有机碳百分含量进行精确测定.

表3、表4分别给出庆云寺、五棵松两土壤剖面有机碳百分含量、 $^{14}\text{C}$ 值以及相应的 $^{14}\text{C}$

表3 庆云寺土壤剖面有机碳、 $^{14}\text{C}$ 及 $^{14}\text{C}$ 表观年龄结果

样品 实验室编号	样品 野外编号	发生层	深度/cm	有机碳/ %	$^{14}\text{C}/ \text{‰}$	$^{14}\text{C}$ 表观年龄/a(BP)
96036	2889 II-1	A	0~5	4.73	61	
96037	2890 II-2	A	5~10	3.63	30	
96038	2891 II-3	A	10~15	2.58	- 96.33	769
96039	2892 II-4	A	15~20	2.06	- 62.53	474
96040	2893 II-5	A/B	20~25	2.02	- 98.47	788
96041	2894 II-6	A/B	25~30	1.87	- 90.92	721
96042	2895 II-7	A/B	30~35	1.78	- 140.23	1 169
96043	2896 II-8	A/B	35~40	1.54	- 161.79	1 373
96044	2897 II-9	B <sub>1</sub>	40~50	1.26	- 218.23	1 933
96045	2898 II-10	B <sub>1</sub>	50~60	1.29	- 228.86	2 043
96046	2899 II-11	B <sub>2</sub>	60~70	1.15	- 276.21	2 552
96049	2900 II-12	B <sub>2</sub>	70~80	1.39	- 234.79	2 105
96050	2901 II-13	B <sub>2</sub>	80~100	0.89	- 279.63	2 590
96051	2902 II-14	B/C	100~120	0.91	- 271.51	2 500
96052	2903 II-15	B/C	120~140	0.68	- 477.13	5 164
96053	2904 II-16	B/C	140~160	0.75	- 665.40	8 750

表4 五棵松土壤剖面有机碳、 $^{14}\text{C}$ 及 $^{14}\text{C}$ 表观年龄结果

样品 实验室编号	样品 野外编号	发生层	深度/cm	有机碳/ %	$^{14}\text{C}/ \text{‰}$	$^{14}\text{C}$ 表观年龄/a(BP)
960017	2876 I-0	A	0~5	4.19	111	
960016	2877 I-1	A	5~10	2.40	71	
960015	2878 I-2	B <sub>1</sub>	10~15	1.79	29	
960014	2879 I-3	B <sub>1</sub>	15~20	1.57	7	
960013	2880 I-4	B <sub>1</sub>	20~30	1.05	- 56.80	425
960012	2881 I-5	B <sub>2</sub>	30~40	0.86	- 455.81	4 843
960011	2882 I-6	B <sub>2</sub>	40~50	0.93	- 249.98	2 266
960010	2883 I-7	B <sub>2</sub>	50~60	0.76	- 181.48	1 564
96009	2884 I-8	B/C	60~70	0.63	- 206.66	1 815
96008	2885 I-9	B/C	70~80	0.76	- 291.54	2 724
96007	2886 I-10	B/C	80~00	0.69	- 373.92	3 717
96006	2887 I-11	B/C	100~120	0.61	- 402.48	4 092
96005	2888 I-12	B/C	120~140	0.48	- 438.96	4 598
96004	2925 I-13	B/C	140~160	0.52	- 503.02	5 572

表观年龄. 庆云寺剖面顶部2个样品以及五棵松剖面顶部4个样品  $^{14}\text{C}$  值均大于零, 故无相应的  $^{14}\text{C}$  表观年龄.

### 3 讨论

#### 3.1 土壤有机碳分布特征

根据表3, 4分别作出庆云寺、五棵松两土壤剖面有机碳百分含量随深度变化曲线, 如图1(a)、(b)所示. 两曲线有着大致相近的变化趋势: 表层至20 cm段, 变化迅速; 20~60 cm段, 变化缓慢; 60~160 cm段, 变化甚微. 上述变化趋势明显表明: 土壤有机碳中含有两类截然不同组分, 一类随深度增加迅速分解, 另一类分解速率极其缓慢. 为此, 作者将有机碳曲线分解成相应的两条直线  $L_F$  和  $L_S$ ,  $L_F$  代表快变化组分,  $L_S$  代表慢变化组分, 它们的线性方程如下所述. 对于庆云寺剖面:  $L_F = 3.46 - 0.18D$ ;  $L_S = 1.61 - 0.0063D$ . 对于五棵松剖面:  $L_F = 3.31 - 0.17D$ ;  $L_S = 0.88 - 0.0026D$ . 直线  $L_F$  的截距为土壤有机碳快变化组分可能延伸的最大深度. 庆云寺、五棵松两剖面的这一深度分别为19.2和19.5 cm. 直线斜率为土壤有机碳组分变率. 两剖面  $L_S$  斜率几乎均比相应的  $L_F$  斜率小2个数量级, 可视为近似稳定的组分. 庆云寺、五棵松两剖面有机碳百分含量分别约为1.61%和0.88%.

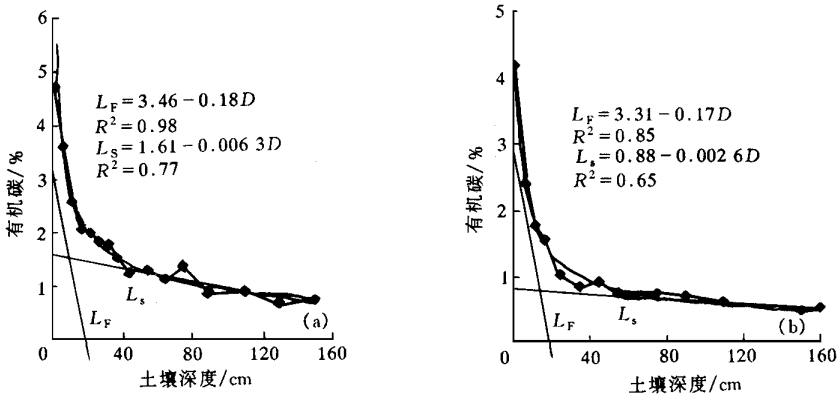


图1 有机碳含量-土壤深度变化曲线

(a) 庆云寺剖面; (b) 五棵松剖面

土壤植物残体在微生物作用下转变为氨基化合物、酚类、糖类和木质素等, 继而转化为腐殖质. 土壤腐殖质是土壤有机碳的主要成分. 鼎湖山庆云寺、五棵松土壤剖面有机碳分布特征反映了腐殖质在土壤中的积累规律. 通常, 20 cm 深度以上的土层结构松, 通气性较好, 根系发育, 生物活动强烈, 因而植物残体分解较快, 加之表土潜育水分, 可溶性腐殖质极易被带走; 剖面60 cm 以下深部, 土壤的物理、化学性质以及生物地球化学作用都比较稳定, 因而有机碳的含量也趋于稳定.

#### 3.2 土壤 $^{14}\text{C}$ 分布规律

3.2.1  $^{14}\text{C}$  分布特征 土壤样品  $^{14}\text{C}$  含量可通过  $^{14}\text{C}$  值表示,  $^{14}\text{C} = [(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样}} / (^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标}} - 1] \times 1000$ . 其中  $(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样}}$  是土壤样品的碳同位素比值,  $(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标}}$  是现代碳

标准的碳同位素比值。图2(a)、(b)分别为庆云寺和五棵松两剖面  $^{14}\text{C}$  深度变化曲线。两曲线也有着大致相似的变化趋势： $^{14}\text{C}$  值随深度增加而递减，并在某些层位如五棵松剖面 30~40 cm 层位、庆云寺剖面 120~160 cm 层位出现锐减。假定每一层土壤都是一个均匀混合的碳库， $T$  时刻测得的土壤样品的  $^{14}\text{C}$  放射性则为： $A_T = A_0 \times e^{-T}$ 。其中， $A_0$  为大气圈天然  $^{14}\text{C}$  放射性浓度， $T$  为土壤碳库平均年龄，又称  $^{14}\text{C}$  表观年龄， $\lambda$  为  $^{14}\text{C}$  衰变常数。一般说来，对于未受扰动的土壤层，较深层位对应较老年龄。但若土壤层经受过扰动，如经受过地质环境变化造成的土体迁移以及耕作等，外来物质中“老碳”便可能加入，从而使得土壤碳库平均年龄变老。由表4可见，五棵松剖面中深度分别为30和40 cm 两相邻层位所对应的  $^{14}\text{C}$  表观年龄十分悬殊，前者为425 aBP，后者为4843 aBP。越深层位年龄越显年轻，直至深度为60 cm 层位（相应年龄约为1564 aBP）以下，才呈现层位越深年龄越老的状况。上述情况反映了1560 aBP前40~60 cm 深度段也许经受过较严重扰动，即地质环境发生过大变动。由表3可见，庆云寺剖面中深度分别为120和160 cm 两层位所对应的  $^{14}\text{C}$  表观年龄也十分悬殊，前者为2500 aBP，后者为8750 aBP，这一地层段也许也经受过较严重“老碳”扰动。本工作  $^{14}\text{C}$  测量结果还表明：五棵松剖面周围的针叶阔叶混交林是在425 aBP 发育起来的，历史记载也表明鼎湖山针叶阔叶混交林已有0.4 ka 以上历史，两者相符甚好。<sup>[5]</sup>为了探讨植被类型变化与土壤碳循环关系，还将开展孢粉分析及植物硅酸体分析。

**3.2.2 核试验  $^{14}\text{C}$  穿透深度** 自50年代初期进行大气层核试验以后，产生的  $^{14}\text{C}$  不断进入大气圈， $^{14}\text{C}$  浓度迅速增加。1963~1964年期间，大气圈  $^{14}\text{C}$  浓度几乎增加了1倍<sup>[6,7]</sup>。禁止大气层核试验之后， $^{14}\text{C}$  浓度开始减少，现已降低至核试验前数值的1.1倍左右<sup>[8~10]</sup>。

$^{14}\text{C} > 0$  的土壤层必定含有核试验产生的  $^{14}\text{C}$ 。由图2可见，核试验  $^{14}\text{C}$  在庆云寺、五棵松两土壤剖面的穿透深度分别达到10和20 cm。核试验  $^{14}\text{C}$  的穿透深度与诸多因素有关，如有机碳积累速率、生物活动和土壤结构等。如上述，五棵松剖面有机碳快变化组分达到的最大深度为19.5 cm，与该剖面核试验  $^{14}\text{C}$  的穿透深度十分接近。但庆云寺剖面有机碳快变化组分达到的最大深度与核试验  $^{14}\text{C}$  穿透深度却相差很大，前者为19.2 cm，后者仅有10 cm，两者差异的原因可能是40年代之前庆云寺剖面附近曾发生土体迁移，在10~15 cm 层位有外来物质中的“老碳”加入，“老碳效应”使得核试验  $^{14}\text{C}$  穿透深度变浅。核试验产生的  $^{14}\text{C}$  以及宇宙射线产

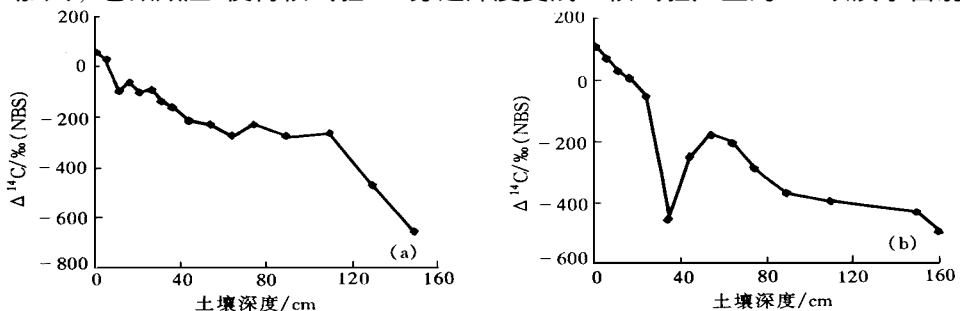


图2  $^{14}\text{C}$  土壤深度变化曲线  
(a) 庆云寺剖面；(b) 五棵松剖面

生的 $^{14}\text{C}$ 都可用来确定土壤有机质更新周期,此问题以及土壤 $^{14}\text{C}$ 年代学待进一步深入研究。

根据以上讨论可知,鼎湖山自然保护区庆云寺、五棵松两森林土壤剖面有机碳均含快慢变化两组分,快变化组分最大深度分别为19.2和19.5 cm。两剖面 $^{14}\text{C}$ 值均随深度增加而减少。五棵松剖面 $^{14}\text{C}$ 值在30~40 cm层位锐减,表明大约1560 aBP前该剖面附近地质环境发生大变动。 $^{14}\text{C}$ 表观年龄还表明,五棵松周围针叶阔叶混交林是在425 aBP的土壤上发育起来的,与历史记载吻合。庆云寺、五棵松两剖面核试验人为 $^{14}\text{C}$ 的穿透深度为10和20 cm。

致谢 孔昭宸先生给予本工作十分有益的讨论和建议,在此表示感谢。本工作为广东省自然科学基金(批准号:950686)和中国科学院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-A1-402-08-01)部分资助。

## 参 考 文 献

- 1 余作岳,彭少麟. 热带亚退化生态系统的植被恢复及其效应. 生态学报, 1995, 15(A): 1~17
- 2 屠梦照. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984(2): 18~23
- 3 邓邦权,吕禄成,王德琼. 鼎湖山自然保护区林地土壤微生物呼吸代谢量与土壤碳素平衡的概算. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990(6): 41~46
- 4 吴厚水,邓汉增,陈华堂,等. 鼎湖山自然特征及其动态分析. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982(1): 1~10
- 5 何金海,陈兆其,梁永天. 鼎湖山自然保护区之土壤. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982(1): 25~38
- 6 沈承德,易惟熙,刘东生.  $\text{CO}_2$ 全球循环及其同位素示踪研究. 第四纪研究, 1995(1): 53~62
- 7 Scharpenseel H W, Becker-Heidmann P. Twenty-five years of radiocarbon dating soil: paradigm of erring and learning. Radiocarbon, 1992, 34(3): 541~549
- 8 Wang Y, Amundson R. Radiocarbon dating of soil organic matter. Quaternary research, 1996, 45: 282~288
- 9 Becker-Heidmann P, Scharpenseel H W. Carbon isotope dynamics in some tropical soil. Radiocarbon, 1989, 31(3): 672~679
- 10 Harkness D D, Harrison A F, Bacon P J. The temporal distribution of bomb  $^{14}\text{C}$  in a forest soil. Radiocarbon, 1986, 28(2A): 328~337

(1997-11-04 收稿, 1998-03-02 收修改稿)

# 用卫星数据确定固体潮相位滞后

吴斌 朱耀仲 彭碧波

(中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077)

**摘要** 由固体潮、海潮和大气潮产生的地球引力场变化可以从卫星轨道摄动中求解。利用近10年的卫星跟踪数据求解出地球引力场的潮汐变化,结合由Topex/Poseidon卫星测高得出的海潮模型,并顾及大气潮模型改正,求解出了在固体潮波 $M_2$ 和 $K_1$ 上的相位滞后,分别为 $0.12$ 和 $0.13^\circ$ 。这一结果与Ray最近用卫星数据得到的结果 $0.16$ 和Zschau约束的理论解 $0.21$ 相符。而地面的重力潮汐方法结果则较离散。

**关键词** 固体潮 海潮 相位滞后

固体潮是固体地球对日月引潮力的响应,它对地球引力位的时变影响可通过勒夫数和相