

东海海洋通量关键过程

胡敦欣 杨作升 等著

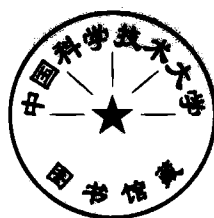


海洋出版社

国家自然科学基金重点项目 No.49636210

东海海洋通量关键过程

胡敦欣 杨作升 等著



海洋出版社

2001年·北京

图书在版编目(CIP)数据

东海海洋通量关键过程/胡敦欣等著. - 北京:海洋出版社, 2001.2

ISBN 7-5027-5219-6

I. 东… II. ①胡… III. 东海-研究 IV. P722.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 08515 号

责任编辑:王小惠

责任印刷:严国晋

<http://www.oceanpress.com.cn>

中国科学院海洋研究所研究报告第 4168 号

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.5

字数: 300 千字 印数: 1~550 册

定价: 48.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序 一

“全球海洋通量联合研究” (JGOFS) 科学指导委员会 1988 年成立, 当时胡敦欣同志是委员。1989 年我任中国海洋科学委员会 (SCOR) 主席的时候, 胡敦欣同志建议成立 JGOFS 中国委员会, 中国 SCOR 当即批准成立, 胡敦欣同志任主任委员。经他们的努力, 海洋通量 (JGOFS) 问题很快为我国海洋界所接受。在国家自然科学基金重点项目支持下, 他们于 1992 年率先在世界上开展陆架边缘海海洋通量研究, 在中国开辟了一个新的海洋学研究领域, 推动了中国海洋学的发展。经过 8 年两个重点基金项目的支持, 通过海上调查和室内研究, 他们对东海海洋通量的有关问题进行了深入研究, 获得了一批重要研究成果, 其中不少已发表。本书是他们最新成果的一部分, 它论及了东海是大气二氧化碳的源、汇问题, 黄海、东海物质输运机理和长江入海物质向大洋输运的问题, 垂直碳通量和冷涡沉积动力学问题等等, 有很多创新的科学思想和成果。我很高兴, 经过大约 10 年的时间, 海洋通量在我国海洋界乃至地学界已成为几乎人人皆知的一个论题。这本书的出版将大大推动今后海洋通量的研究。

曾呈奎

2000 年 12 月

序 二

全球碳循环是国际地圈—生物圈计划 (IGBP) 的三大中心问题之一。“全球海洋通量联合研究” (JGOFS) 是 IGBP 的一项核心计划, 专门研究海洋中碳等生源要素的通量问题。10 年 JGOFS 的研究结果表明, 海洋并没有像原先预计的那样能吸收人类向大气排放二氧化碳的 $1/2$; 目前估计, 最多只有 $1/3$, 近 20 亿吨碳。这样, 全球碳的循环就不能闭合, 人类活动每年向大气排放的二氧化碳约有 $1/4$ 还不知去处。因此, 近年来陆架边缘海成了人们议论的中心: 是大气二氧化碳的汇还是源——这也是近几年 IGBP 对其另一核心计划“沿岸带陆海相互作用” (LOICZ) 提出的第一项要求。JGOFS/LOICZ 联合建立的陆架边缘工作组 (CMTT) 就是以此为已任的。

JGOFS 中国委员会在中国 IGBP 委员会领导下, 很快使海洋通量问题为地学界所认识。在国际上还集中研究大洋海洋通量的时候, 中国海洋学家在国家自然科学基金委员会支持下, 于 1992 年就开始连续以两个重点基金项目在世界上率先开展陆架边缘海洋通量研究, 这不仅在国内是开创性的, 在国际上也是领先的。我们欣慰地看到, 以胡敦欣同志为首的一批中国海洋学家通过两个重点项目的支持, 通力合作, 在东海先后做了 5 个航次的多学科交叉综合性科学考察, 取得了大批物理、化学、生物和地质海洋科学数据, 经综合分析, 取得了一批重要成果。本书是这些成果的一部分, 它论及并回答了东海是大气二氧化碳的源还是汇的问题, 用以估算海气碳通量的科学数据, 其时空代表性当是迄今为止最好的, 其结果对估算全球陆架边缘海在全球碳循环中

的作用是非常重要和有重要参考价值的。书中提出的黄海、东海细颗粒物质的沉积机理，长江入海物质向冲绳海槽的输运机制，黄海、东海间的物质交换速率，东海冷涡区沉积动力学过程以及浮游动植物、浮游细菌在碳的垂直通量过程中的作用等都是陆架边缘海海洋通量的重要问题，这些问题有的在书中作了明确的阐述和回答，有的尽管尚没有确切答案，但提出了关键科学问题和今后深入研究的方向。总之，这本书论述了东海海洋通量的有关关键过程和机理，在海气碳通量估算、细颗粒物质输运沉积机理、冷涡区沉积动力学、浮游生物在垂直碳通量过程中的作用等方面有不少创新成果，是第一部有关海洋通量的中文著作，很有参考价值。值此，我很高兴将本书推荐给大家，我相信它将在今后海洋通量研究中发挥重要作用。

孫枢

2000 年 12 月

前 言

全球碳循环是国际地圈-生物圈计划(IGBP)的核心问题之一,海洋在其中占据非常重要的地位。据目前估算,海洋大约每年可从大气吸收不足人类排放二氧化碳的 1/3,近 20×10^8 t 碳。因此,国际上在 20 世纪 80 年代末设立了“全球海洋通量联合研究”(JGOFS)计划,1990 年开始研究海洋中的碳循环问题。然而,到目前为止观测数据和理论计算模式还闭合不了全球碳的循环,即每年还有约 15×10^8 t 碳找不到去处,叫做碳的丢失项(missing term)。陆架边缘海,尽管只占全球海洋总面积的 7.6%,但其生物生产力比较高,因此,不少学者认为:陆架边缘海可能是这个碳丢失项的主要去处。然而,也有学者研究结果表明:陆架上的初级生产力并不足以支持有机碳由陆架向陆架坡输运的假说,陆架边缘海不可能是碳丢失项的去处。因此,陆架边缘海是大气二氧化碳的源还是汇的问题,不仅是 JGOFS 计划和“沿岸带陆海相互作用”(LOICZ)的核心问题之一,也是 IGBP 全球碳循环研究的焦点之一。

国家自然科学基金委员会及时抓住了这个国际前沿研究方向,率先在东海连续以两个国家重点基金项目资助了陆架边缘海碳通量的研究:“东海陆架边缘海洋通量研究”(1992~1995)和“东海海洋通量关键过程研究”(1996~1999),使中国成为国际 JGOFS 计划中最早开展陆架海洋通量研究的国家。在第一个重点基金项目期间,于 1993 年 10 月(秋季),1994 年 4 月(春季)和 10~11 月(秋季),分别进行过 3 次海上实验考察;在第二个重点基金项目期间,又在 1997 年 2~3 月(冬季)和 1998 年 7 月(夏季)进行过 2 次海上实验考察,取得了春、夏、秋、冬四季包括水温、盐度、风、气压、硝酸盐、氨氮、磷酸盐、硅酸盐、海水总二氧化碳、海水二氧化碳分压、大气二氧化碳分压、pH、总碱度、悬浮体含量、海底表面沉积物、浮游植物、浮游动物、细菌、溶解氧、溶解无机碳、溶解有机碳、颗粒有机碳、海水辐照度、透光度、水色等大量科学数据。结合第一个研究项目的春、秋两季的观测数据,重点对第二个项目夏、冬两季的大量观测数据进行了综合分析和理论研究,取得了一批

研究成果,本书是这些成果的重要组成部分。全书共分四章。第一章主要论述长江入海物质及陆架物质的输运过程,包括黄海、东海细颗粒物质的输运沉积机理,悬浮体的区域分布和沉积物的分布格局,有关物质输运沉积的环流动力学条件和黄海、东海物质交换的数值模拟等;给出了黄海、东海细颗粒沉积区与上升流区一致性的动力学机制和长江入海物质向冲绳海槽的输运机理(冬季再悬浮与风生垂直环流输运联合作用),模拟发现在黑潮左、右两侧分别存在气旋式回流和反气旋式涡旋,估算了黄海每年向东海输运的悬浮物质的量(每年 $2 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$ t)和长江物质每年进入冲绳海槽的量级(10^7 t)。第二章论及东海冷涡区和中陆架区碳等生源要素的垂直通量过程,包括浮游植物的组成和叶绿素的垂直分布特征,浮游植物和浮游细菌的固碳能力及其物理环境的变化,指出冷涡区和东海中陆架区夏、冬季的初级生产力比世界其他陆架海域的平均值要高,特别是东海中陆架区要比世界其他陆架区高出4倍,达 $1.4 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ C左右,同时,发现了浮游细菌在固碳过程中的重要作用:冬、夏季东海异养细菌生产力相当于初级生产力的30%~40%;并首次研究了微型浮游动物对浮游植物的摄食压力。第三章主要论及东海冷涡区细颗粒物质沉积动力学过程,一方面研究了冷涡区沉积物中碳酸盐和有机质的物源和搬运过程,揭示了冷涡区颗粒无机碳及沉积物的主要来源(依次来自黄河、长江和周边再悬浮),提出了冷涡区有机物来源的5种生物标志物,指出河流入海物质只有小于 $16 \mu\text{m}$ 的细颗粒才会输运至陆架和深海;另一方面,通过上升流与细颗粒物质沉积间的理论关系,得出了由细颗粒沉积通量推算上升流速的方法,并由数值模拟和环流与细颗粒沉积关系的分析指出,细颗粒沉积过程主要发生在冬季和夏季,物源来自黄河、长江。第四章以东海的固碳能力为中心,依据春、夏、秋、冬四季现场观测数据,重点分析了东海二氧化碳分压的分布,计算了东海的固碳能力:东海,每年从大气吸收约 430×10^4 t 碳,是大气二氧化碳的汇,中陆架区基本上是二氧化碳的汇,河口近岸区几乎终年是源,黑潮附近也有一个几乎终年的源区;同时,还对卫星水色遥感反演估计东海初级生产力的方法进行了尝试,并对确定海气二氧化碳通量的两个关键问题——海-气界面二氧化碳交换系数的估算和海洋二氧化碳分压测量方法进行了探讨,提出了改进方案。

本书所用数据资料主要是由“科学1号”、“东方红”和“金星2号”三条考

察船共 5 个航次取得的;研究工作受国家自然科学基金重点项目(No. 49136130 和 No. 49636210)支持;海上考察得到中国科学院海洋研究所和青岛海洋大学的支持,其中有的航次得到中国科学院重大基础项目“中国海陆海相互作用及其环境效应”(No. KZ951-B1-403)共同支持,谨此对国家自然科学基金委员会、中国科学院、中国科学院海洋研究所、青岛海洋大学和上述各考察船船员及出海参与观测的同事们表示衷心的感谢。另外,还有不少同志,如靳朝晖、杜湄山等为本书的出版工作付出了辛勤劳动,在此一并表示谢忱。

在本书出版之际,我们不禁想起第二个重点基金项目原第二项目负责人陆贤昆教授,他不幸于 1997 年谢世,我们感谢他在项目的立项和组织过程中做出的重要贡献。

胡敦欣 杨作升

2000 年 12 月

站 位 图

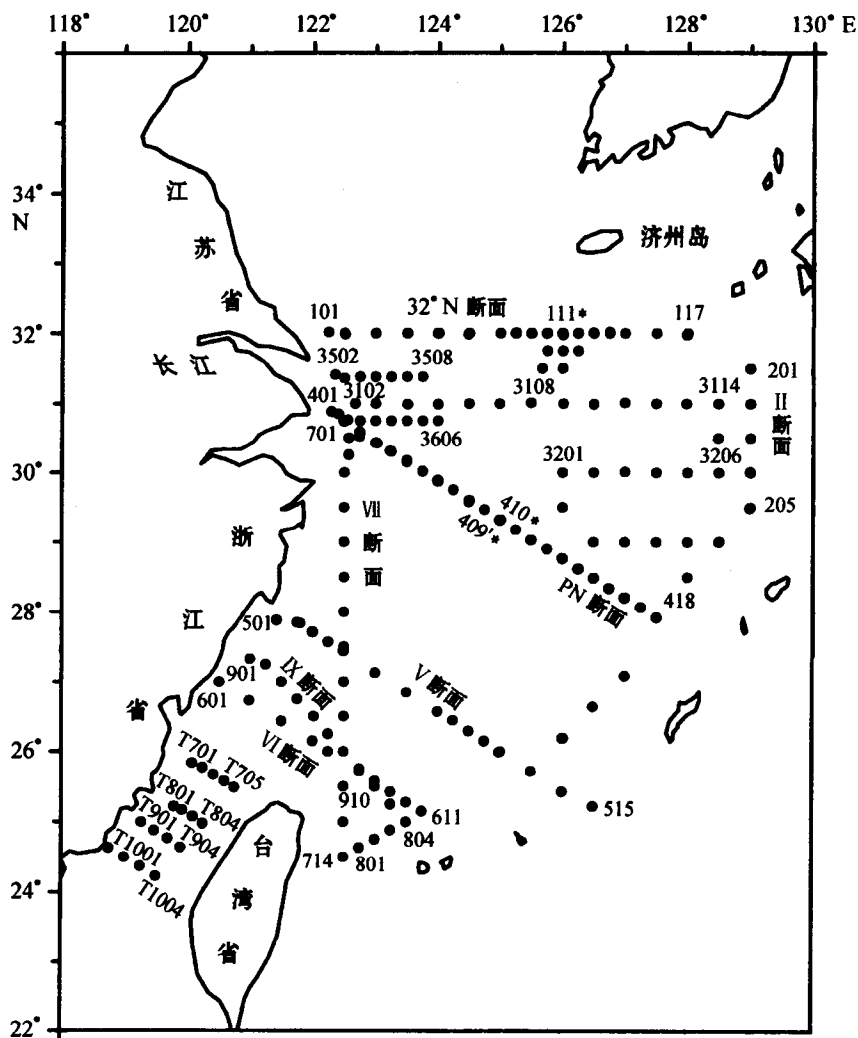


图 1 1993~1998 年水文观测站位图

* 表示连续观测站 (站号、站位及观测时间见附表)

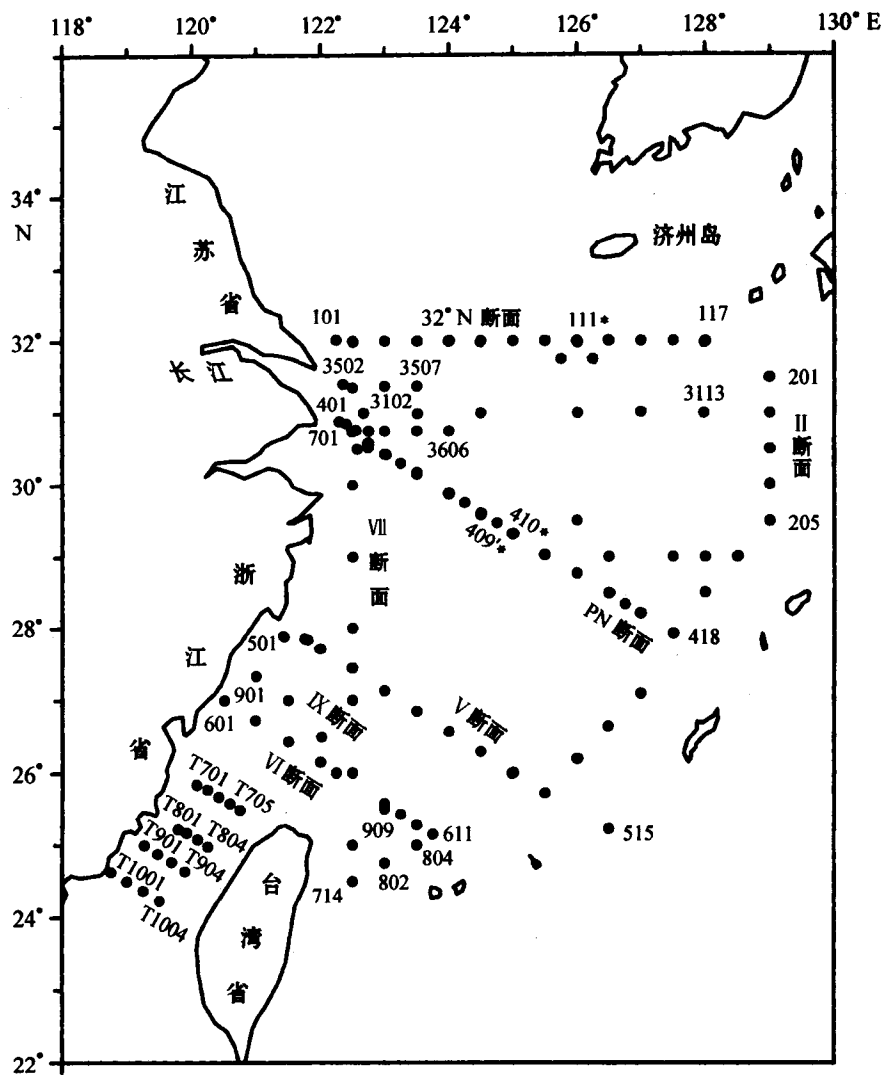


图2 1993~1998年化学、生物、地质和海洋光学观测站位图

*表示连续观测站 (站号、站位及观测时间见附表)

1993~1998 年东海海上观测站号、站位和时间对照表

站 号	站 位		观 测 时 间				
	纬度(N)	经度(E)	1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月
101	32°00′	122°15′					√ + △
102	32°00′	122°30′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
103	32°00′	123°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
104	32°00′	123°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
105	32°00′	124°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
106	32°00′	124°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
107	32°00′	125°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
108	32°00′	125°15′	√	√		√	√
109	32°00′	125°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
110	32°00′	125°45′	√ + △	√ + △		√ + △	√ + △
111 *	32°00′	126°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
112	32°00′	126°15′	√	√		√	√
113	32°00′	126°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
114	32°00′	126°45′	√	√		√	√
115	32°00′	127°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
116	32°00′	127°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
117	32°00′	128°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
110′	31°45′	125°45′				√ + △	√ + △
111′	31°45′	126°00′				√	√
112′	31°45′	126°15′				√ + △	√ + △
201	31°30′	129°00′		√ + △	√ + △		√ + △
202	31°00′	129°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√

续 表							
站 号	站 位		观 测 时 间				
	纬度(N)	经度(E)	1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月
203	30°30′	129°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
204	30°00′	129°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√
205	29°30′	129°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
206	29°00′	128°30′				√ + △	√ + △
207	28°30′	128°00′				√ + △	√ + △
401	30°52′	122°24′	√ + △				√ + △
402	30°43′	122°30′	√ + △				√ + △
403	30°35′	122°45′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
404	30°26′	123°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
405	30°18′	123°15′	√	√	√	√ + △	√ + △
406	30°10′	123°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
407	30°01′	123°45′	√	√	√	√	√
408	29°53′	124°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
408′	29°45′	124°15′				√	√ + △
409	29°36′	124°30′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
409′ *	29°28′	124°45′				√ + △	√ + △
410 *	29°19′	125°00′	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
410′	29°11′	125°15′				√	√
411	29°02′	125°30′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
411′	28°54′	125°45′				√	√
412	28°46′	126°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
413	28°37′	126°15′		√	√	√	√
414	28°29′	126°30′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △
415	28°20′	126°45′		√	√	√	√ + △
416	28°12′	127°00′		√ + △	√ + △	√ + △	√ + △

站 号	站 位		观 测 时 间				
	纬度(N)	经度(E)					
			1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月
417	28°04′	127°15′		✓	✓	✓	✓
418	27°55′	127°30′				✓ + △	✓ + △
501	27°53′	121°25′		✓ + △	✓ + △		
502	27°50′	121°48′		✓ + △	✓ + △		
503	27°42′	121°59′		✓ + △	✓ + △		
504	27°34′	122°14′		✓	✓		
505	27°26′	122°29′		✓ + △	✓ + △		
506	27°08′	123°00′		✓ + △	✓ + △		
507	26°51′	123°30′		✓ + △			
508	26°34′	124°00′		✓ + △	✓ + △		
509	26°26′	124°15′		✓			
510	26°17′	124°30′		✓ + △			
511	26°09′	124°45′		✓			
512	25°59′	124°59′		✓ + △	✓ + △		
513	25°43′	125°30′		✓ + △			
514	25°26′	126°00′		✓			
515	25°13′	126°30′		✓ + △			
516	26°11′	126°00′		✓ + △	✓ + △		
517	26°38′	126°29′		✓ + △			
518	27°05′	127°00′		✓ + △			
3108a	31°30′	125°40′		✓			
3108b	31°30′	126°00′		✓			
601	27°00′	120°31′		✓ + △			
602	26°44′	120°59′		✓ + △			
603	26°26′	121°30′		✓ + △			

续 表

站 号	站 位		观 测 时 间				
	纬度(N)	经度(E)	1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月
604	26°09′	122°00′		√ + △			
605	26°00′	122°15′		√ + △			
607	25°43′	122°45′		√			
608	25°35′	123°00′		√ + △			
609	25°26′	123°15′		√ + △			
610	25°17′	123°30′		√ + △			
611	25°09′	123°45′		√ + △			
T1001	24°38′	118°45′		√ + △			
T1002	24°30′	119°00′		√ + △			
T1003	24°22′	119°15′		√ + △			
T1004	24°14′	119°30′		√ + △			
T701	25°50′	120°05′		√ + △			
T702	25°46′	120°15′		√ + △			
T703	25°40′	120°25′		√ + △			
T704	25°35′	120°35′		√ + △			
T705	25°29′	120°45′		√ + △			
T801	25°13′	119°47′		√ + △			
T802	25°10′	119°55′		√ + △			
T803	25°05′	120°05′		√ + △			
T804	24°59′	120°15′		√ + △			
T901	25°00′	119°16′		√ + △			
T902	24°53′	119°28′		√ + △			
T903	24°46′	119°41′		√ + △			
T904	24°38′	119°53′		√ + △			
3102	31°00′	122°40′		√ + △			

续 表

站 号	站 位		观 测 时 间				
	纬度(N)	经度(E)	1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月
3103	31°00′	123°00′		√			
3104	31°00′	123°30′		√ + △			
3105	31°00′	124°00′		√			
3106	31°00′	124°30′		√ + △			
3107	31°00′	125°00′		√			
3108	31°00′	125°30′		√ + △			
3109	31°00′	126°00′		√ + △			
3110	31°00′	126°30′		√			
3111	31°00′	127°00′		√ + △			
3112	31°00′	127°30′		√			
3113	31°00′	128°00′		√ + △			
3114	31°00′	128°30′		√			
3115	30°30′	128°30′		√			
3201	30°00′	126°00′		√			
3202	30°00′	126°30′		√			
3203	30°00′	127°00′		√			
3204	30°00′	127°30′		√			
3205	30°00′	128°00′		√			
3206	30°00′	128°30′		√			
3301	29°30′	126°00′		√ + △			
3302	29°00′	126°30′		√ + △			
3303	29°00′	127°00′		√			
3304	29°00′	127°30′		√ + △			
3305	29°00′	128°00′		√ + △			
3306	29°00′	128°30′		√ + △			

站 号	站 位		观 测 时 间					续 表
	纬度(N)	经度(E)	1993 年 10 月	1994 年 4 月	1994 年 10~11 月	1997 年 2~3 月	1998 年 7 月	
3502	31°25′	122°21′					√ + △	
3503	31°22′	122°30′					√ + △	
3504	31°23′	122°45′					√	
3505	31°23′	123°00′					√ + △	
3506	31°23′	123°15′					√	
3507	31°23′	123°30′					√ + △	
3508	31°23′	123°45′					√	
3601	30°45′	122°45′					√ + △	
3602	30°45′	123°00′					√ + △	
3603	30°45′	123°15′					√	
3604	30°45′	123°30′					√ + △	
3605	30°45′	123°45′					√	
3606	30°45′	124°00′					√ + △	
701	30°30′	122°34′					√ + △	
702	30°15′	122°34′					√	
703	30°00′	122°30′					√ + △	
704	29°30′	122°30′					√	
705	29°00′	122°30′					√ + △	
706	28°30′	122°30′					√	
707	28°00′	122°30′					√ + △	
708	27°30′	122°30′					√	
709	27°00′	122°30′					√ + △	
710	26°30′	122°30′					√	
711	26°00′	122°30′					√ + △	