

# PAGES 计划与 CLIVAR 计划中的交叉科学问题\*

王绍武

(北京大学地球物理系, 北京, 100871)

## 摘 要

过去全球变化(PAGES)是国际地圈、生物圈计划(IGBP)的一个核心计划,从1991年开始预计施行到2010年。气候变率与可预报性研究(CLIVAR)是世界气候研究计划(WCRP)新设的一个子计划,从1996年开始也是施行到2010年。两个计划有不少交叉的科学问题:(1)低纬气候变化动力学,(2)全球海洋温盐环流,(3)区域到全球尺度水的变率,(4)气候突变动力学,(5)气候模式发展及改进,(6)气候变化的检测,本文对以上问题作了扼要介绍。

关键词: 过去全球变化, 气候变率与可预报性研究, 交叉科学问题。

## 1 引 言

PAGES 为 Past Global Changes 的缩写,即过去全球变化。这是国际地圈、生物圈计划(IGBP)下设的10个子计划中的一个核心计划,是目前IGBP中十分活跃的一支。CLIVAR 即气候变率与可预报性研究(A Study of Climate Variability and Predictability),是世界气候研究计划(WCRP)新设的一个子计划。WCRP原设有6个子计划,其中热带海洋与全球大气计划(TOGA)在实施10a之后,已于1994年12月正式结束。世界大洋环流试验(WOCE)的观测阶段亦将于1997年结束,而进入分析阶段。这两个子计划的完成或阶段性完成给研究气候变率与可预报性打下了坚实的基础,因此才建立了CLIVAR。

PAGES 计划着重利用代用资料研究古气候,CLIVAR 则更多利用观测资料用模式研究气候变率。虽然两个计划侧重面不同,但有许多交叉的内容。所以IGBP与WCRP的科学家于1994年11月在意大利的威尼斯召开了联合工作会,并决定成立联合工作组(P/CWG)。同时,确定了6个共同关心的中心问题:

- (1) 低纬气候变化动力学
- (2) 全球海洋温盐环流
- (3) 区域到全球尺度水的变率
- (4) 气候突变动力学
- (5) 气候模式发展及改进
- (6) 气候变化的检测

\* 初稿时间: 1996年9月23日; 修改稿时间: 1997年2月24日。

资助课题: 自然科学基金(49475261)项目《气候预测的可预报性及不确定性研究》。

在1996年出版的报告<sup>[1]</sup>中,对上述6个问题作了阐述。整个报告虽不长,但包含了不少新思想,很有启发性。因此,本文结合其它有关材料,对这方面的内容作个简介,相信这将有助于了解当前国际上气候学研究的热点问题。

## 2 PAGES 计划

为了使读者能了解这些交叉问题形成的背景,本节及下一节先扼要介绍一下这两个计划。PAGES 是 IGBP 计划中的一个子计划。IGBP 计划于1987-1990年间制定,预计将进行20a 观测,即到2010年。这期间大体上包括2个太阳活动11a 周期,可能发生2-5个较强的厄尔尼诺事件,也可能有5-10次火山爆发。这样人们就有可能为研究全球变化积累必要的资料。下面介绍的 PAGES 计划主要是根据其1994-1998年的工作计划<sup>[2]</sup>写成的。PAGES 的主要任务是定量地了解地球过去环境,并确定环境自然变率的轮廓,以判断人类活动对地球生物圈、地圈大气的影响。为此,一方面要建立系统的古环境资料系统,一方面要利用这个资料系统对各种模式的能力作出评价。

PAGES 计划将集中研究以下4个问题:

(1) 全球气候及地球自然环境过去是如何变化的?其原因何在?又如何利用这些知识预测未来气候与环境的变化?

(2) 人类活动在多大程度上改变了气候与全球环境?如何区分人类活动引起的变化以及对外部强迫及系统内部动力学的响应?在人类活动进行干预之前,地球系统的初始状

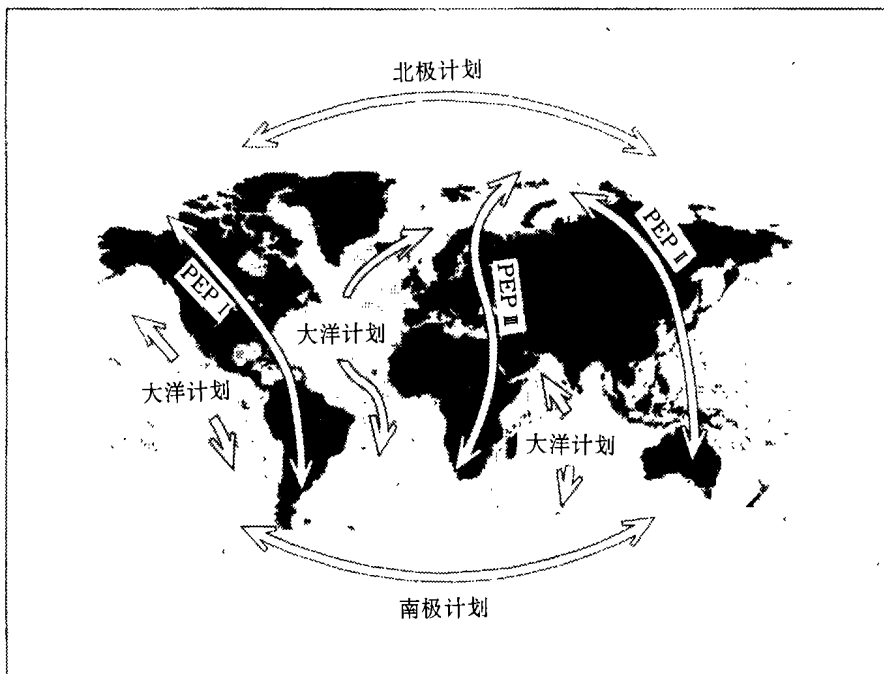


图1 北半球与南半球古气候计划示意图

态是什么样的?

(3) 温室气体的自然变化有多大?对全球气候系统的自然反馈有多大?环境变化中温室气体、地面气候、以及生态系统的变化如何?

(4) 导致历史时期气候变化的外界因子是什么?气候与环境突变,以及在十年到百年尺度上从一种准稳定状态转变到另一种准稳定状态的原因是什么?

为了研究这些问题,共建立了5个中心点(focus),每个中心点包括若干个活动(activity),每个活动包括1个或几个任务(task)。5个中心点是: . 全球古气候与环境变率; . 极区古气候与环境变率; . 过去环境变化中人类的作用; . 气候系统的敏感度与模拟; . 计划之间的分析及解释活动。其中前3个中心点保证了高质量的古资料。特别是中心点I中的前3个活动是建立3个北极到赤道再到南极的断面,缩写 PEP。这3个以陆地为基础的断面,加上属于 IMAGES 的海洋断面称为北半球与南半球古气候(PANASH)计划。图1为 PANASH 的示意图<sup>[3]</sup>。

### 3 CLIVAR 计划

如上所述,CLIVAR 计划是当前 WCRP 的最重要子计划之一。WCRP 自1979年至今已实施了17a,并卓有成效。其目标十分明确,即:(1)确定在多大程度上气候是可以预测的,(2)确定人类对气候影响的程度。当然,CLIVAR 的最终目标也离不开这个大方向。有一点需要说明的就是,CLIVAR 是 WCRP 实施了十几年之后才提出来的。当初人们认识到热带海洋对气候系统的影响有十分重要的意义,所以才在1985年制定了热带海洋和全球大气(TOGA)十年计划。后来,越来越多的研究显示全球大洋的重要作用,同时也暴露出对大洋认识的不足,特别是观测资料的缺乏。因此,在1990年开始了世界大洋环流试验(WOCE)计划。这个计划的观测阶段预计于1997年完成,1997-2002年为分析阶段。虽然这两个计划大大增加了海洋及海气相互作用的认识,但是,大量的研究表明,海冰、积雪,及陆面特征在气候系统的变化中也有重要意义。特别是认识到时间尺度的重要。因此,设立了CLIVAR 计划,专门研究包括海洋、海冰积雪及陆面特征在内“慢变”气候系统的变率。同时,于1990年设立的全球能量与水循环实验(GEWEX)则以研究能量与水的“快变”通量为主。新设立的两个计划分工明确,但最后均指向 WCRP 的最终目标。

CLIVAR 的目标有4个<sup>[4]</sup>:

(1) 通过收集与分析观测资料,发展与应用耦合气候系统模式,描述与认识决定季节、年际、年代际以及世纪尺度气候变化及可预报性的物理过程。

(2) 通过对高质量古气候资料及仪器观测资料的同化,延长气候变率记录。

(3) 通过发展全球耦合预报模式,增加季到年际气候预测的时效与精度。

(4) 认识并预测气候系统对温室气体及气溶胶增加的响应,并把预测与观测比较,以检测人类活动对自然气候信号的改变。

CLIVAR 的3个子计划及研究重点如下:CLIVAR- GOALS,全球海洋、大气、陆地系统季到年际气候变率与可预报性研究,CLIVAR- DecGen,年代到世纪尺度气候变率与可预报性研究,CLIVAR- ACC 人类活动造成的气候变化的模拟与检测。

## 4 PAGES 与 CLIVAR 的交叉科学问题

如上所述,这两个计划有许多交叉点,显然,如果能组织好,可以相辅相成,彼此促进。在文献[1]中列举出来的交叉点共有6个。当然,也可能这并不完备,或者随着科学研究的发展会有改变,但是至少反映了当前大气科学与有关地学分支发展的情况。下面就对这6个问题分别作一个扼要介绍。

### 4.1 低纬气候变化动力学

热带海洋大气系统决定了世界范围年到十年时间尺度的气候变率,热带海洋是全球大气的主要能源及水汽源。然而,热带气候观测资料一般只有几十年,本世纪之前只有很少的一点记录。而当前的预报模式就是在这有限基础上建立的。但是珊瑚、年轮、冰芯、沉积等代用资料可提供大量古气候信息。一方面可以向前延长观测序列,从而了解这个系统固有的变率,另一方面可以检查这个系统对外界强迫的敏感度,评价模式对全球及区域气候的模拟能力。图2给出西印度洋珊瑚  $\delta^{18}\text{O}$  的曲线,图中下部的曲线为 SST,这充分显示了向前延长热带海洋序列的可能性。

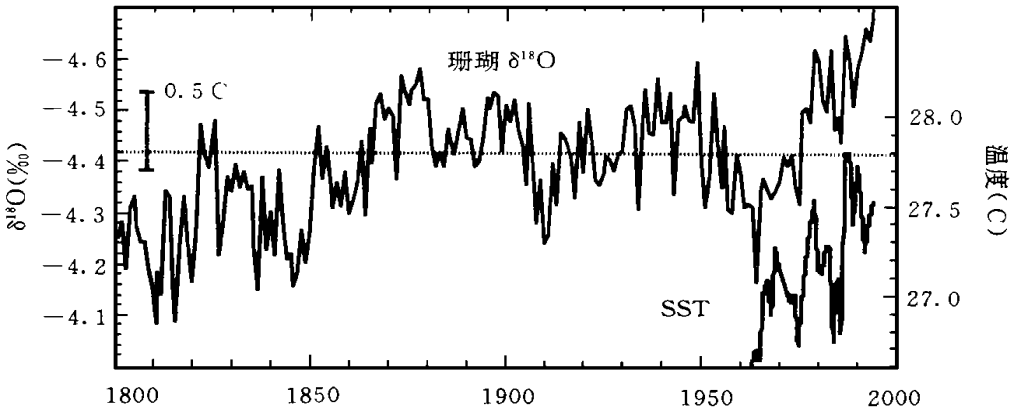


图2 西印度洋氧同位素(上)及海面温度观测(下)年平均值

对这个问题有5个研究重点:

(1) 热带气候内部变率的时空特征。例如: ENSO、亚洲季风、非洲季风。这种系统内部的气候变率是气候预测的主要障碍。古气候资料可以证实,是否古代有同现代类似的时空特征。

(2) ENSO 及其遥相关的长期变化。珊瑚资料已经可以提供几百年的 ENSO 信息。初步分析表明 ENSO 的频率有明显的长期变化。

(3) 年际到十年季风变率的成因。一种观点认为亚洲季风变率与欧亚大陆雪盖有关。另一种观点则强调赤道印度洋 SST 高使季风减弱。古气候资料揭示出水文变化与表层海水密度变化的一致性(图3)。这对任何一种季风变化理论都是一种挑战。

(4) 热带系统的敏感度。过去对外强迫所导致的平均状态的变化作了许多观测及模拟研究,但是对变率的研究注意不够。现在已有可能得到近二万年,分辨率到月的序列。当可研究最后冰期及全新世下边界完全不同情况下 ENSO 的变率。

(5) 热带变率对热带以外气候影响。对于热带太平洋对热带以外地区十年尺度气候变率的影响有不同的见解,一些作者强调热带太平洋有作用。另一些作者则认为中高纬度海气相互作用更重要。延长中纬度的序列也有助于阐明这个问题。

#### 4.2 全球海洋温盐环流变率

温盐环流是整个大洋环流的一部分,受海面热通量及注入的淡水控制。古气候资料已经表明,温盐环流的强度及类型不仅在冰期、间冰期之间有巨大的变化,在最后冰期与全新世也有变化。北大西洋漂流所带向北方的热量约相当北大西洋吸收太阳辐射量三分之一。2万年以来这个热量输送的量就有很大变化。因此,温盐环流的变化对十年到千年尺度长期气候变化有重要意义。

这个问题有4个研究重点:

(1) 海洋参数的直接信息。从珊瑚可以得到分辨率达到季的 SST、盐度、含氧量、营养物记录。由佛罗里达巴哈马群岛及百慕大的珊瑚可以研究近千年墨西哥湾流及藻海(北大西洋北部)洋流变化。海底沉积则可以提供更长时间海面及海底的信息,如 SST、海面盐度、深水  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、Cd(磷酸盐)及水底动物群的记录。

(2) 直接受北大西洋变化影响的大气参数信息。格陵兰及加拿大北极地区的冰芯可以提供长期气候变化的代用资料,分辨率可以达到年。由这些资料可以重建大气温度、海温、降水量,并可用以研究气团运动轨迹。树木年轮宽度、密度及同位素资料亦可以反映气温、降水量。而湖泊沉积则可以反映气温及风强度。

(3) 温盐环流变化的原因。高纬大洋盐度分布对深水之形成及半球间洋流的变化有重要作用。在现代条件下只有北大西洋高纬及环南极大陆有深水对流。冰期-间冰期大西洋高纬地区由于溶冰淡水变化改变了表层海水的盐度使深水环流产生变化。

(4) 温盐环流对盐度变化的敏感性。2维海洋环流模式的试验表明,大西洋底水的翻转决定于南北盐度对比,40°N 以北盐度减少,45°S 以南盐度增加使温盐环流减弱。反之,则温盐环流加强。但是,这需要古气候资料进一步证实。

#### 4.3 区域到全球水文变率

如上所述,在第1个问题中已经提出在海洋、特别热带海洋古气候重建问题。自然陆地古气候资料也非常重要。利用年轮及史料人们已经着手建立区域到次大陆尺度季到年的水文序列,如北美、西欧、中国、日本、以及一些更小的地区。序列一般可长达数百年。冰芯则可以提供更长时间的积雪量资料。图4给出近2000年中国古里雅(Guliya)及秘鲁奎耳

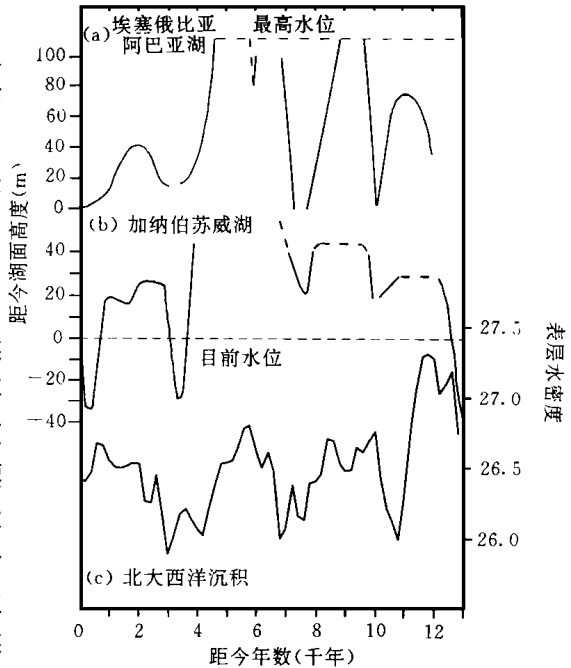


图3 一万多年以来东非(上)、西非(中)湖水水位及北大西洋表层海水密度(下)变化

卡亚(Quelccaya)冰芯的积雪量十年平均值。可以明显地看出十年到百年尺度降水量的变化。

这个问题有以下3个研究重点:

(1) 古气候与水文变率的时空分布的重建。建立分辨率为季到年的水文变化分布图是 PAGES 的一个优先考虑的任务。这可以在很大程度上补充 CLIVAR 观测网序列的不足。

(2) 气候系统相互作用及外强迫的研究。例如在美洲、非洲及中国人们已经利用观测资料对气候与水文的相互作用进行了许多研究。当前的任务是扩大研究时间范围。这样就能看到许多观测资料时期未曾出现过的极端事件。这也有利于与海洋、太阳活动、火山活动及温室效应进行联系。

(3) 发展预测气候及水文的模式。利用模式模拟过去特别是最后一次冰期及全新世水文变率显然是对模式的一个挑战。

#### 4.4 气候突变动力学

古环境与古气候资料表明仪器观测的记录只是反映了气候系统活动的一小部分,同时证明最后一次冰期以来,气候系统经常在几十年内从一种气候状态迅速转变为另一种状态。图5给出1-5万年前气温(上)与海温(下)变化序列。这期间至少发生了8次突然变

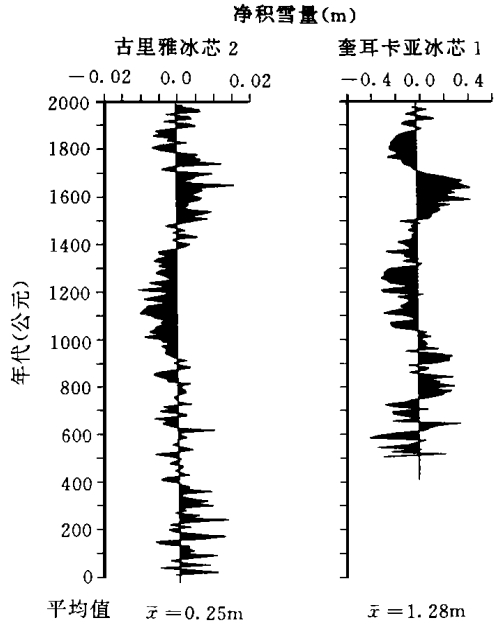


图4 古里雅及奎耳卡亚积雪量的变化

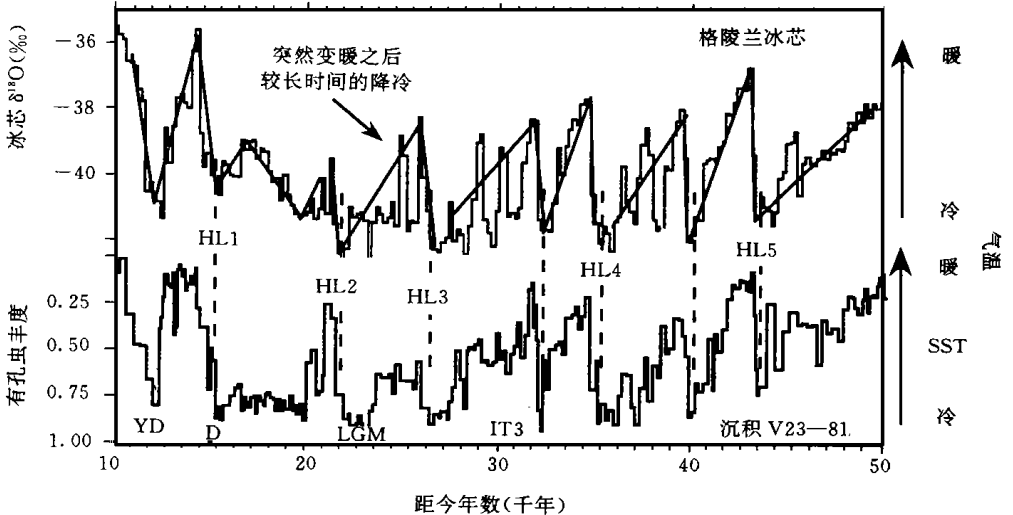


图5 1-5万年前格陵兰冰芯  $\delta^{18}O$  (上) 与北大西洋沉积中有孔虫丰度(下)

(YD: 新仙女木时期; D: 冰消期; LGM: 最后一次冰期极大;

IT3: 第3间冰段; HL: 海恩里希层, 指冰川崩溃事件)

暖。而且在两种不同的古气候序列中有几乎完全相同的反映。最近的资料表明在全新世,特别在中、低纬度存在类似的气候突变。显然不可能仅只用仪器观测资料来研究这种气候突变。但研究这个问题对预测未来气候变化十分重要。

这个问题有以下3个研究重点:

(1) 过去与海洋有关的气候突变事件。人们已经知道过去一些气候突变与海洋的变化有关。例如大约1万年前对全球有重要意义的仙女木事件即可能与海洋-冰雪圈-大气的相互作用有关。另外,8千年前北半球及2千年前南半球类似的事件已得到广泛的承认。这些事件也可能同海洋环流的变化有关。

(2) 过去原因不明的气候突变事件。20世纪之前的冷期及相应的水文异常已得到广泛的代用资料证实。必须加强对火山活动、太阳活动、气溶胶、与温室效应代用资料的研究,以使用这些记录去解释过去1千年的气候变化。特别要注意如何在外强迫没有突变的情况下模拟出气候突变事件。

(3) 最后间冰期中可能存在的突变事件。格陵兰冰芯证实在最后一次间冰期中可能出现过突然变冷事件。研究这个问题对预测未来气候变化有重要意义。这对于认识间冰期气候稳定性及是否可能由于人类活动影响而造成不稳定有参考价值。

#### 4.5 气候模式

气候模拟是 PAGES 与 CLIVAR 的重要较差部分。PAGES 着重于重建古环境资料,而 CLIVAR 重点在应用各种气候模式进行气候模拟。但是,两个计划的最终目标是一致的,即对各种时间尺度的气候变化的动力学进行理论性的探讨,并最大限度地提高气候预测水平。不过,目前距这个目标还有相当大距离。例如对 ENSO 虽有一些成功的预测经验,但仍不能模拟出 ENSO 动力学的全部特征。对更长一些如10万年尺度的冰期循环,虽然能模拟出周期性的变化。但是气候敏感度等问题尚存在很大不确定性。至于 PAGES 与 CLIVAR 共同感兴趣的年到百年时间尺度,则需要用古气候资料与气候模式结合进行深入研究。一方面用统计方法对观测及模拟的气候变率进行分析,一方面要建立年际、十年及百年尺度气候变化的理论。为此要更好地认识大气与上层海洋的相互作用、海冰的作用及温盐环流动力学。

这个问题有以下3个研究重点:

(1) 模拟“极端”气候事件。主要模拟近150年观测资料未曾反映的“极端”事件。已有18个3维模式参加了古气候模式比较计划(PMIP)。特别注意模拟6千年前的全新世最暖期及2.1万年前最后冰期极大期。

(2) 自然变率的模拟。如上所述,目前还没有理论能解释十年到百年尺度自然气候变率。模式代替不了理论。近来的模拟工作表明,在某些地区,模式能够模拟出自然变率的几种模态,但是尚不了解其形成过程。除了低纬海洋资料高纬陆地资料之外,高纬海洋如拉布拉多海就应该特别注意,1970-1980年期间那里发生了很大盐度异常。

(3) 气候突变的模拟。研究气候突变及其可预报性有重要意义。古环境资料可以证实气候突变的真实性,并且告诉人们突变是由于气候的扰动,如冰盖崩溃引起的或激发的,还是自然的但速度较快的变化的一种表现。由于 GCM 对初始条件的敏感,作时间变化模拟可能更合适。不同层次的模式亦可用来确定模式的敏感度,以及对变率与突变的模拟能

力。

#### 4.6 气候变化的检测

这主要是 CLIVAR-ACC 任务。但是两个计划的许多分支都与此有关。对温室气体增加影响检测, 目前盛行“指纹法”(fingerprints)。对自然气候变率的研究也有助于分离出人类活动的影响。

### 5 结束语

目前已建立了 PAGES 及 CLIVAR 联合工作组, 协调两个计划中的相关研究, 预计这个合作将进行 10a, 联合召开工作会、短期讲学、交流研究成果, 特别是交换资料。PAGES 已在美国 Boulder 建立了一个很强的国际资料中心, World Data Center-A (WDC-A)。今后许多资料将可以通过联网取得。

#### 参考文献

- [ 1 ] Duplessy J C and Overpeck J (Edited). The PAGES/CLIVAR Intersection. Report of a joint IGBP-WCRP Workshop. Venice, Italy, PAGES, CLIVAR, IGBP. November 1994.
- [ 2 ] PAGES Project Status and Work Plan (1994- 1998). PAGES, IGBP. November, 1994.
- [ 3 ] Paleoclimates of the Northern and Southern Hemispheres, The PANASH Project, The Pole-Equator- Pole Transects. PAGES Series 95- 1. ISSN 1023- 9421. 1995.
- [ 4 ] CLIVAR. A Study of Climate Variability and Predictability. Science Plan, August 1995 WCRP- 89, WMO/ TD No. 690. 1996.

## SCIENTIFIC INTERSECTION OF PAGES AND CLIVAR

Wang Shaowu

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing, 100871*)

### Abstract

PAGES is a core project of IGBP, which will cover twenty years from 1991 to 2010 AD. CLIVAR, which was initiated in 1996 and will last to 2010 AD, is a new sub-project of WCRP. Scientific intersection problems between these two projects are outlined as following: (1) dynamics of low-latitude climate change, (2) global ocean thermohaline variability, (3) regional-to global-scale hydrologic variability, (4) dynamics of abrupt climate change, (5) climate model evaluation and improvement, and (6) climate change detection.

**Key words:** PAGES, CLIVAR, Scientific intersection.