

环境化学教程

邓南圣 吴峰 编著

武汉大学出版社

环境化学教程

邓南圣

吴峰

编著



环境化学教程

邓南圣 吴峰 编著

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境化学教程/邓南圣,吴峰编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2000. 1
ISBN 7-307-02769-0

I. 环… II. ①邓… ②吴… III. 环境化学—教材 IV. X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 20848 号

DW06/8/19

责任编辑: 金丽莉 责任校对: 程小宜 版式设计: 支 笛

出版: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: epd@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

发行: 新华书店湖北发行所

印刷: 武汉市科普教育印刷厂

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.5 字数: 313 千字

版次: 2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-02769-0/X·6 定价: 15.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购买我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本教程共十章，全书内容以自然环境中化合物发生的主要物理、化学和生物化学过程为主线，比较详细地论述了这些过程的基本规律及机制，深入阐述了人为污染物对这些过程的扰动及其机制、所产生的后果及其影响。在介绍较成熟的基本和主要内容的基础上，适当反映环境化学的最新研究成果和进展。

本书是高等院校环境科学专业本科教科书，可作为环境保护和环境科学研究人员、高等院校教师的参考书，亦可作为大学相关专业学生的学习参考用书。

前 言

当前，人类除了面对环境污染问题外，还面临温室效应、臭氧层破坏、酸雨等一系列重大全球性环境问题。这些问题对人类社会的可持续发展构成很大威胁，甚至危及人类的生存。人类只有一个地球，保护全球环境，是全人类的共同责任。

在人类保护全球环境的各种努力中，环境科学起着重要的作用，而环境化学则“是化学学科一个重要分支，也是环境科学的核心组成部分”(中国国家自然科学基金项目指南，1994)。近三十年来，环境化学在不断地进步与发展，1995 年度的 Nobel 化学奖授予了三位环境化学家，这充分表明人类社会对环境化学在解决局部和全球环境问题中所发挥重要作用的肯定，也标志环境化学进入了一个新的发展阶段。

本教程以自然环境中发生的主要物理、化学和生物化学过程为主线进行编排，这与目前国内外的以水、土、气圈层为主线来组织内容是不同的。另外，本教材试图首先阐明一些重要天然产物在全球环境的各圈层中所发生的主要物理、化学和生物化学过程，然后力图阐明人类各种活动产生的污染物对这些过程的影响、干扰、破坏及其原因，以及所产生的后果对生态系统与人类的影响和危害。这是一种尝试，我们认为这一做法符合当前环境科学与环境化学发展的要求。这种思路是在多年的教学中逐步形成的，经几年的实践后，于 1996 年以讲义的形式见诸文字，今年作了进一步修改。由于编写时间紧，再囿于编者的水平与见识，疏漏难免，切盼各位同仁赐教，同时也希望同学们在使用过程中能提出宝贵意见，以使这本教程得以完善。

化学污染物分布在不同的环境介质中，并且含量非常低。目前，在国内外环境化学文献中，为了表征它们对环境介质中的含量，除了采用国际单位制导出的单位外，通常还采用 ppm($1/10^6$)、pphm($1/10^8$)、ppb($1/10^9$)、ppt($1/10^{12}$)等无量纲的单位来表示化学污染物在环境基质所占的份数。为了叙述方便，本教程也采用了这种表征的方法，请读者注意：这些符号本身并不是计量单位。此外，凡是引自外文的表、图、数据，其计量单位均保持原文所用单位，读者可自行换算(如 atm 等)。

本书由邓南圣编写第一、二、四、七、八、九、十章；吴峰编写第三、五、六章，并负责绘图。在教材的编写过程中，得到田世忠教授、韦进宝教授和黄淦泉教授的鼓励与实际的帮助，武汉大学出版社金丽莉编审对书稿进行了细致的编辑加工，在此一并向他们致以衷心的感谢！

编 者

一九九八年七月于珞珈山

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 环境化学	1
一、环境化学的任务及研究内容	1
二、环境化学的分支学科及其研究内容	2
三、环境化学在环境科学中的地位与作用	3
四、大气、水体、土壤环境化学的研究方法	4
第二节 全球变化研究与环境化学	4
一、全球变化与全球变化研究	4
二、全球变化研究中的环境化学	8
复习思考题与习题	9
第二章 全球环境概述	10
第一节 大气圈	10
一、大气圈的结构	10
二、大气的组分	12
三、大气组分对太阳辐射的衰减	17
复习思考题与习题	26
第二节 水圈	26
一、水圈的结构	26
二、天然水的分布	26
三、天然水的化学组成	29
复习思考题与习题	30
第三节 岩石-土壤圈	30
一、土壤	30
二、土壤的矿物质及其结构	33
三、土壤有机质	40
四、土壤的性质	44

复习思考题与习题	46
第四节 生物圈	46
一、生物圈概念及化学组成	46
二、生物圈与生物地球化学循环	46
复习思考题与习题	52
第五节 全球系统的相互作用	52
一、地球系统的组成及特点	53
二、地球系统状态演变的控制因素	54
复习思考题与习题	56
第三章 化合物在环境介质间的分配	57
第一节 化合物在环境介质间的分配平衡	57
第二节 化合物在大气-水之间的分配	58
一、亨利定律常数(HLC)的表达式	58
二、影响亨利定律常数的因素	59
三、亨利定律常数的测定和估算方法	61
第三节 化合物在水-悬浮物(沉积物)之间的分配	61
一、水-悬浮物分配系数	61
二、标化的分配系数 K_{oc}	62
三、悬浮物颗粒大小对 K_p 的影响	62
四、 K_{oc} 、 K_{ow} 与水溶解度之间的关系	62
第四节 化合物在水-生物之间的分配	63
一、生物富集	63
二、生物富集系数及其测定与估算	63
第五节 有机化合物在大气-颗粒物之间的分配	64
复习思考题与习题	65
第四章 环境中的界面过程	66
第一节 概述	66
第二节 天然水体中胶体粒子的表面性质	66
第三节 天然水体中液-固界面的物理化学过程	70

一、表面配位模型	70
二、羟基化表面的物理化学过程	71
三、粘土矿胶体粒子表面的配位作用	74
第四节 天然水体中胶体粒子的吸附作用	75
一、吸附等温线和等温式	75
二、胶体粒子对有机物的吸附	76
三、胶体粒子对金属离子的吸附	76
复习思考题与习题	76
 第五章 环境介质中的化学平衡	 77
第一节 环境介质中的酸碱平衡	77
一、天然水中的碳酸盐平衡及 pH 的影响	77
二、大气液相中 SO_2 的平衡	80
三、含氮无机物的酸碱平衡	83
复习思考题与习题	85
第二节 环境介质中的氧化还原平衡	85
一、氧化还原平衡	85
二、天然水 pE	87
三、天然水中重要的氧化还原反应	88
四、水中氧化反应对化合物存在形态的影响	89
第三节 环境介质中的水解平衡	93
一、有机化合物的水解平衡及其动力学原理	93
二、影响水解速率的因素	94
复习思考题与习题	95
第四节 环境介质中的配位平衡	95
一、配位平衡的基本概念	96
二、羟基对重金属离子的配位作用	97
三、NTA 的配合作用	99
四、天然有机配位体的配合作用	101
复习思考题与习题	104
第五节 环境介质中的离子交换平衡	104
一、土壤的离子交换	104
二、土壤的阳离子交换	104
三、土壤的阴离子交换	107

复习思考题与习题	108
第六章 环境中元素的化学形态	109
第一节 土壤中金属元素的形态	109
一、土壤中汞的形态	109
二、土壤中镉的形态	109
三、土壤中铜的形态	110
四、土壤中锌的形态	111
五、土壤中铬的形态	111
六、土壤中砷的形态	111
第二节 天然水中金属元素的形态	112
一、金属元素形态的划分	112
二、颗粒态金属元素的形态	112
三、溶解态金属元素的形态	113
复习思考题与习题	114
第七章 环境中的光化学过程	115
第一节 光化学基础	115
一、光化学概念及光化学定律	115
二、光对分子的作用	117
三、光物理与光化学过程	123
复习思考题与习题	124
第二节 对流层中的光化学过程	125
一、对流层清洁大气中的光化学过程	125
二、对流层污染大气的光化学过程	135
三、大气中化合物的半衰期和寿命	147
四、光化学烟雾	148
复习思考题与习题	151
第三节 平流层的光化学过程	152
一、平流层化学	152
二、南极“臭氧洞”形成的化学机制	158
复习思考题与习题	158
第四节 水生系统中的光化学过程	158
一、水生系统中活性物质生成的光化学过程	158

二、天然水中化合物的直接光解·····	163
三、天然水中化合物的光氧化降解·····	167
复习思考题与习题·····	169
第八章 酸沉降的化学过程 ·····	170
第一节 降水中酸性物质形成的化学过程·····	170
一、二氧化硫的化学转化过程·····	170
二、氮氧化物的化学转化过程·····	174
三、有机化合物转化为有机酸的过程·····	176
复习思考题与习题·····	177
第二节 降水的化学组成与酸度·····	177
一、降水的化学组成·····	178
二、降水中离子成分的相关性·····	178
三、降水的酸度·····	179
复习思考题与习题·····	180
第九章 环境中化学物质的微生物转化 ·····	181
第一节 C_1 化合物的微生物转化·····	181
一、环境中 C_1 化合物的来源·····	181
二、利用 C_1 化合物的微生物·····	183
三、 C_1 化合物的微生物转化·····	184
第二节 有机化合物的微生物降解·····	186
一、脂肪烃的微生物降解·····	186
二、卤代苯的细菌氧化·····	188
三、芳香烃的微生物降解·····	188
四、多环芳烃的微生物降解·····	189
五、多氯联苯的微生物降解·····	190
第三节 金属元素的生物甲基化·····	192
一、环境中金属元素甲基化的机理·····	192
二、环境中汞的甲基化·····	195
复习思考题与习题·····	196
第十章 化学物质的大气-水界面迁移 ·····	197

第一节 双膜理论	197
一、双膜理论的基本要点	197
二、双膜理论的计算	199
第二节 双膜理论应用举例	202
复习思考题与习题	202
主要参考书	203

第一章 绪 论

第二次世界大战前后,世界各国工业迅速发展,人类生活水平得到很大提高,但是人们对人类的生产、生活活动排放到环境中的化学物质会造成什么样的后果没有认识,因而产生了一系列的污染事件或称公害事件。如:1930年比利时的马斯河谷烟雾事件;1944年美国洛杉矶的光化学烟雾事件;1948年美国多诺拉冶炼厂的烟雾事件;1952年英国伦敦烟雾事件;1953年日本的水俣病事件;1955年日本四日市重油烟雾事件;1955年日本富山县的“骨痛”病事件;1968年日本的米糠油中多氯联苯中毒事件;1986年的前苏联的切尔诺贝利核电站核泄漏事件;1987年11月,瑞士巴塞尔的桑多兹化工厂失火,导致大量有毒化学品及染料流入莱茵河的事件;1994年7月,我国淮河干流的特大污染事件。这些污染事件都与化学物质有关。

除了环境污染这一类的局部环境问题外,人类当前还面临着许多全球性环境问题,例如温室效应、平流层臭氧损耗、气候变化、酸雨等,它们对人类社会的发展产生了严重的影响,这些问题的产生也直接或间接地与化学物质有关。

在人类保护环境的各种努力中,环境化学起着重要的作用:它是化学学科一个重要分支,也是环境科学的核心组成部分。几十年来,环境化学得到了长足的发展,1995年度的 Nobel 化学奖授予三位环境化学家,这一事件充分肯定了环境化学在解决局部环境问题和全球环境问题中的重要作用,也标志着环境化学进入了一个新的发展阶段。

第一节 环境化学

环境化学作为一门学科,是在人类解决环境污染问题和全球环境问题的过程中逐步形成和不断发展的。环境化学是研究化学物质在环境中的来源、存在、化学特性、行为和效应及其控制的化学原理和方法的学科,它是化学科学的一个重要分支,也是环境科学的核心组成部分。

一、环境化学的任务及研究内容

1. 环境化学的任务

环境化学是以化学物质引起的环境问题为研究对象,以解决环境问题为目标。

环境化学是在微观的原子、分子水平上,来研究和阐明宏观的环境现象和环境变化的化学原因、过程机制及防治途径,其核心是研究环境中物质的化学转化与产生的效应。

2. 环境化学研究的内容

- (1)环境中化学物质的来源、分布、迁移转化与归宿;
- (2)全球环境各圈层中发生的各种物理、化学、生物化学过程及其变化规律;
- (3)人类活动产生的化学物质对全球环境各圈层中发生的各种物理、化学、生物过程的干扰、影响的机理以及对生物圈和人类生存的影响;
- (4)各种污染物的减少和消除的原理与方法。

二、环境化学的分支学科及其研究内容

1. 环境化学的分支学科

环境化学分支学科的分类及其名称尚不一致,我国目前有以下的划分与命名(表 1.1)。

表 1.1

环境化学分支学科的划分

环 境 化 学	
· 环境分析化学	· 污染生态化学
环境有机分析化学	· 污染控制化学
环境无机分析化学	大气污染控制化学
· 大气、水体和土壤环境化学	水污染控制化学
大气环境化学	固体废弃物污染控制化学
水环境化学	
土壤环境化学	

引自:国家自然科学基金委员会编. 自然科学学科发展战略调研报告《环境化学》, 31. 北京: 科学出版社, 1996。

2. 分支学科研究的内容

(1)环境分析化学

环境分析化学研究如何运用现代科学理论和先进实验技术来鉴别和测定环境中化学物质的种类、成分形态(包括状态、结构)及含量,是环境化学的一个重要分支,也是开展环境科学研究和环境保护工作极为重要的基础。

(2)大气、水体、土壤环境化学

大气、水体、土壤环境化学通常也简称环境化学,是一门研究在全球环境各圈层中化学物质的来源、迁移、所发生的各种物理、化学与生物化学过程的规律,以及人类各种活动所产生的污染物对这些过程的干扰与影响的一门科学。其分类难以统一,通常分为大气环境化学、水体环境化学和土壤环境化学。它们研究的内容有:

①大气环境化学:大气中化学物质(包括污染物)的表征;大气中化学物质的化学过程的研究(主要涉及大气光化学、自由基反应等);对流层、平流层中痕量气体(CO 、 CH_4 、 O_3 、卤代有机物)的研究;大气污染化学模式(光化学烟雾模式、酸性干湿沉降模式等)的研究。

②水环境化学:水体界面化学过程的研究;金属元素形态及其转化动力学的研究;有机物化学降解的研究;水中有机物光化学降解研究;有机物迁移转化模型的研究;金属和类金属元素的甲基化研究等。

③土壤环境化学:土壤中有机物的降解、化学物质在土壤中迁移;土壤中金属元素存

在形态及转化过程的研究(存在形态、土壤固/液界面作用等);稀土元素的迁移转化及其效应问题;土壤中温室气体释放的研究(CH_4 、 CO_2 、 N_2O 等的排放)。

(3) 污染生态化学

主要研究化学污染物质引起的生态效应的化学原理、过程和机制。宏观上研究化学物质在维持和破坏生态平衡中的基本化学问题,在微观上研究化学物质和生物体相互作用过程的化学机制。它是环境化学、生物学、医学等学科的边缘领域,目前处于发展的初期阶段。

(4) 污染控制化学

污染控制化学与环境工程学、化学工程学有密切的关系。它研究与污染控制有关的化学机制与工艺技术中的化学基础性问题,以便最大限度地控制化学污染,为开发高效的污染控制技术,发展清洁工艺提供科学依据。

污染控制目前有两种模式,一种是传统的管端控制(end-of-pipe control),另一种是污染预防(pollution prevention)和清洁生产(cleaner production)。管端控制对各国污染控制技术的发展 and 环境污染治理起着积极的推动作用,但管端控制只能减少或阻止污染物排放,不能阻止污染物发生。

①管端控制中的化学研究内容包括:大气污染控制;水污染控制;固体废物污染控制及资源化研究;污染控制材料和技术的研究,包括絮凝剂、吸附剂、离子交换剂、膜材料、催化剂、消毒剂、分离技术等研究。

②污染预防与清洁生产:鉴于管端治理的局限性,20世纪80年代中期,欧美国家提出了污染预防的政策。它强调的是控制污染源的发生,目的是减少甚至消除污染的根源。这是环境管理战略的一次重大转变。污染预防的核心是清洁生产,它包括以下几个具体内容:

- 生产过程的设计尽量采用新工艺,使原材料最大限度地转换为产品,能源得到最有效的利用,废物的排放最少化;
- 采用无污染、少污染、低噪声、节省原料和能源的高技术装备,代替那些严重污染环境、浪费资源、能源的陈旧设备;
- 尽量使用无毒、无害、低毒低害原料,替代有害的原料;
- 采用合理的产品设计,发展换代型的对环境无污染、少污染、环境兼容和可回收利用的新产品。

三、环境化学在环境科学中的地位与作用

环境化学是环境科学的一门极其活跃的分支学科。改善环境质量、合理利用资源、社会的持续发展和保护人体健康已经成为当代国民经济建设发展战略的重要组成部分,所有这些都离不开环境化学。它在环境科学中的地位与作用体现在以下几方面:

(1)环境化学是环境科学的核心学科。由于大量的局部和全球环境问题都直接或间接与化学物质有关,因此对许多环境问题的认识与解决离不开环境化学。

(2)可揭示全球环境问题产生的本质。如臭氧损耗、温室效应这些问题都是宏观现象,正是环境化学从微观的原子、分子水平上研究,阐明了宏观的环境现象和环境变化的原因、过程机制,提出防治途径。

(3)可揭示局部环境问题的症结。如富营养化的研究,光化学烟雾的研究,水俣病的研究,正是通过环境化学的研究,揭示了产生这些问题的原因。

(4)可为环境污染的控制提供新理论、新方法。

四、大气、水体、土壤环境化学的研究方法

大气、水体、土壤环境化学是环境化学的一个分支学科,它研究化学物质在大气、水体、土壤环境中的来源、存在、化学特性、行为和效应,有时也称环境化学(本教程采用这一名称)。环境化学的研究方法一般可以概括为以下四类:

(1)现场研究 现场研究是指在所研究的地区进行实地研究。

(2)实验室研究 实验室研究是指在实验室内仅对所感兴趣的化学物质进行有关的一个影响参数进行研究,而把其它的一些影响参数尽可能排除在外。绝大多数的环境化学研究是通过这种方法进行的。

(3)实验模拟系统研究 自然环境通常处于变化不定的状态,各种因子每时每刻都发生变化,要在实地对化学物质进行一些规律性研究是困难的,而实验室研究往往难以进行多个影响参数、多种物质存在下化学物质的环境行为、归宿和效应等研究,为此发展了实验模拟研究。

实验模拟系统研究是指试图把自然环境的某个局部置于可以控制、调节和模拟的系统内,对化学物质在诸多因子影响下的环境行为进行研究。在大气环境化学研究中,实验模拟系统通常是所谓的“烟雾箱”(smog chamber)。在水、土壤环境化学研究中,实验模拟系统通常是所谓的微生态系统,也称微宇宙系统或模拟生态系统。

(4)计算机模拟研究 化学物质在环境中所发生的迁移、转化、归宿及生态效应等牵涉到该物质在环境中发生的各种物理过程、化学反应和生物化学过程,而这些过程与反应又受环境中诸多因素的影响,因而化学物质在环境中的变化是相当复杂的。上述研究方法不可能对所有因素加以考虑。在计算机技术飞速发展的今天,应用计算机对化学物质在局部环境或全球环境的迁移、转化进行模拟研究已成为环境化学研究的一个重要方法。

在环境化学的研究中,主要以化学方法为主,另外还要配以物理、生物、地学、气象学等其它学科的方法。因此,要求研究人员具有较广泛的各相关学科的理论知识和实验动手能力。

第二节 全球变化研究与环境化学

一、全球变化与全球变化研究

1. 全球变化

在不同的时间尺度和空间尺度上,地球自形成以来一直不断在演化。地球在行星尺度上发生的演化称为全球变化。

在时间尺度上的全球变化可以分为五个时间段:几百万至几十亿年;几千年至几十万年;几十年至几百年;几天至几个季度;几秒至几小时。当前,人类最为关注的是几十年

至几百年的时间尺度上的全球变化。原因有二：其一，此时间尺度的全球变化是地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈和生物圈之间的相互作用的结果，并由外部能量——太阳辐射驱动，此外还受人类活动的影响；其二，在此时间尺度内，人类历经几代人的生活，人类社会感受到的全球变化影响也最为强烈。

2. 全球变化研究

当今，人类活动对全球环境的影响已从农业文明时代的局部影响进入了全球影响的时代，出现了许多全球性环境问题，如平流层臭氧损耗、温室气体增加引发全球变暖、酸雨等。1992年9月，联合国在巴西里约热内卢召开了“环境与发展”的全球会议，会议文件《21世纪议程》指出：“目前，全球变化是几百年来最快的”。全球性环境问题的出现、人类对地球系统作用的明显增强等迹象表明，全球系统的结构与功能正在发生变化，地球系统的演化正进入一个新的突变期。

全球变化研究是一个涉及到人类社会可持续发展甚至地球的可居住性等的重大战略性课题。全球变化的研究是从20世纪70年代末开始的，以1986年9月在瑞士伯尔尼召开的国际科学联合会理事会第21届大会为标志，此次大会一致通过发起国际地圈-生物圈研究计划(IGBP)。进行全球变化研究之所以能得以开展，主要有三个原因：首先，通过近几十年来对地球系统的研究，获得了许多新的认识 and 了解；其次，科学技术的发展为全球变化研究提供了有力的技术保证；最后，世界科学界一致认为，欲充分了解地球系统复杂的运行机制、各自然圈层复杂的相互作用关系和人类活动对地球系统的影响，必须进行跨学科、全球性的合作研究。

3. 全球变化研究的主要课题

当前，国际地圈-生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)、全球环境变化的人文领域(HDP)计划和全球环境监测系统研究构成了全球变化(Global Change)研究的四大计划，一百多个国家的科学家参与了这些项目的研究。中国科学院从1987年起，组织院属若干研究所近百名科学家进行了中国的全球变化预研究。

(1) 国际地圈-生物圈计划(IGBP, International Geosphere-Biosphere Programme)

国际地圈-生物圈计划的总部设在斯德哥尔摩，其目标是：“描述和认识对整个地球系统起调节作用的相互作用的物理、化学和生物过程，为地球生命提供独特的环境，发生在该系统内的变化和人类活动对这些变化的影响。”这个计划将通过全球观测、过程研究、模型的数字模拟、复原过去自然环境变化的记录等项目的实施，获得有关全球环境系统新的知识，并在此基础上建立相应的模型，评价未来一百年地球系统可能的变化和人类应采取的保护地球的措施。

国际地圈-生物圈主要计划研究项目有：

① 国际全球大气化学(IGAC, Interactive Global Atmospheric Chemistry)研究计划

此项目为IGBP的核心计划，于1988年确立，其目标有四个：推进对决定大气化学成分的基本化学过程的认识；认识大气化学组成于生物过程和气候过程之间的关系；预测自然外力和人为活动对大气化学组成的影响；为保护生物圈和气候提供必要的知识。其主要的研究内容可见表1.2。

表 1.2

IGAC 研究的主要项目

海洋:	北大西洋区域实验(NARE), 海洋气溶胶和气体交换(MAGE), 东亚/北太平洋区域实验(APARE),
热带:	热带生物圈-气圈痕量气体交换: 土地利用变化的影响(BATGE), 生物地球化学上重要痕量成分的沉降(DEBITS), 生物质燃烧试验: 对大气和生物圈的影响(BIBEX), 水稻耕田与痕量气体交换(RICE),
极地:	极地大气和雪化学(PASC),
寒带:	痕量气体在高纬度生态系统的源与汇(HESS)*,
中纬度:	中纬度生态系统与光化学氧化剂(MILOX)*, 痕量气体交换: 中纬度陆生生态系统与大气圈(TRAGEX)*,
全球:	全球对流层臭氧网络(GLONET), 全球大气化学普查(GLOCHEM), 全球对流层 CO ₂ 网络(GLOCARB), 多相大气化学(MAR), 全球排放源清单行动(GEIA), 全球综合和模型(GIM)*,
基础:	相互校正与相互比较(ICIC) 甲烷和卤代烃相互校正实验(MEHALICE), 非甲烷烃相互比较实验(NOMHICE), CO ₂ 相互校正实验(CARBICE), 全球变化中大气化学教育(ACE)*

注: *计划中的行动, 其它行动已经实施。

资料来源: R.G.Prinn, AMBIO, 1994, 23(1), 50.

②全球海洋通量联合研究(JGOFS, Joint Global Ocean Flux Study)。

此项目是国际地圈-生物圈计划与海洋科学研究委员会的一个联合项目, 其总体目标之一是确定控制海洋中碳和有关生物成分随时间变化的通量的过程, 并评估与大气、海床和大陆边缘的交换。1992 年 JGOFS 调查了赤道中部太平洋中的生物地球化学通量。

③全球变化与陆地生态系统(GCTE, Global Change and Terrestrial Ecosystems)计划

该项目有两个目标: 一是预测陆地生态系统对大气和气候变化的反馈效应, 二是在更微观的尺度上预测全球变化对自然和农业生态系统结构与功能的效应。

④全球陆地利用与覆盖变化(Global land-use/land-cover change)。

人类活动正以空前的速度、幅度和空间规模改变着陆地环境。人类对土地的利用所引起的土地覆被变化是全球环境变化的主要原因和重要组成部分。土地利用和土地覆被的变化都影响着全球性系统的某些变化, 包括对流层内温室气体的积累和平流层臭氧的消耗。此项目是 IGBP 和 HDP 的共同项目。

⑤大尺度水文过程实验及模拟研究(Large-scale experimental and modeling studies of hydrological process)。

该研究的大部分项目是在 WCRP 中的全球能量和水循环实验(GEWEX)和 IGBP 的水循