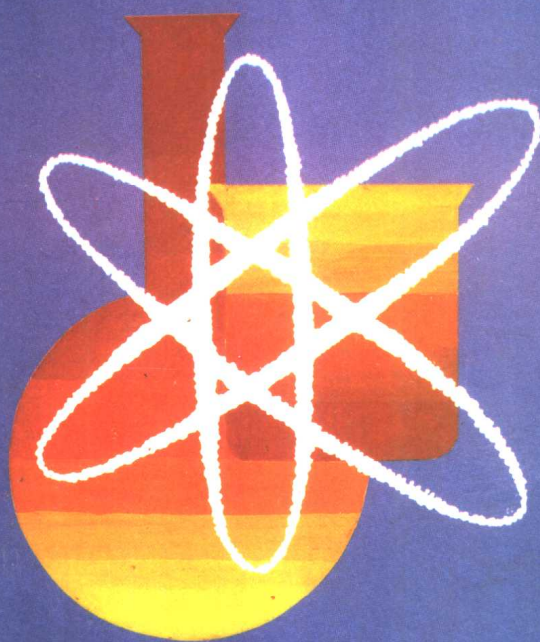


高等学校教学用书

# 化学地理学

刘培桐 许嘉琳 王华东 薛纪渝 编著



北京师范大学出版社

高等学校教学用书

# 化学地理学

刘培桐 许嘉琳

王华东 薛纪渝

北京师范大学出版社

中兴路  
(京)新登字160号

责任编辑: 郭瑞涛  
封面设计: 刘学开  
责任校对: 李 菡  
责任印制: 贾 艾

高等学校教学用书

**化 学 地 理 学**

刘培桐 许嘉琳

王华东 薛纪渝

北京师范大学出版社出版发行  
新华书店总店科技发行所发行  
北京怀柔桥中印刷厂印刷

---

开本: 787×1092 1/16    印张: 19.75    字数: 495千  
1993 年 12 月第 1 版    1993 年 12 月第 1 次印刷  
印数: 1—1 000

---

ISBN 7-303-03323-1/K · 60    定价: 11.70 元

## 前 言

化学地理学是在自然地理学发展到一定阶段,创造了一定条件,同时,也是在自然地理学进一步发展的需要和社会实践的需要下,而诞生和发展起来的。

本世纪 30 年代,前苏联地理学家 A.A. 格里高利耶夫首先倡导开展化学地理学的研究,指明了方向,但他并未进行这方面的工作,后继乏人。明确延用化学地理学这一新名词的仅有 Г.А. 马克西莫维奇所著的“陆地水化学地理学”。40 年代 B.B. 波雷诺夫提出地球化学景观这一新概念,并在蒙古及前苏联境内做过许多启蒙性示范工作,衣钵相传,蔚然成风。其直传弟子如 M. A. 格拉佐夫斯卡娅、A. И. 彼列尔曼、K. И. 卢卡舍夫……等均为国际知名学者。其再传弟子亦多为俄罗斯、白俄罗斯、乌克兰……等国景观地球化学的骨干力量。他们都强调景观中化学元素迁移的研究,在应用方面他们原多服务于景观地球化学找矿和地方病,近年来亦多趋向于环境污染和保护工作。

我国历史悠久,积累了丰富的化学地理学知识,并在一定程度上还掌握了某些化合物的时空变化,且能把它应用于实践中。但总的说来,还是一些零散的、没有条理化、知其然而不知其所以然的感性认识,有待于发展成理性认识。这可视为化学地理学的素材积累阶段。

作为一门独立的、具有系统理论知识的化学地理学是 50 年代自前苏联引进的,可视为我国化学地理学的萌芽阶段。60 年代进入迅速发展阶段,在短短的四五年内,全国各地地理系、所作了大量教学和科研工作。我们设了专业,并招收了大批研究生,编写了《化学地理学》上、下两册,开展了系统的、综合性的岱海盆地化学地理研究,开始了瘰病与克汀病及癌症等的研究。地理学会组织召开了全国第一届化学地理学术讨论会,出版了三册译文集,并于 1962 年全国陆地水文会议上第一次设立水文化学组专题讨论。同时,在此会上提出了水污染及其防治的研究。通过这些活动,在总结国内、外成果的基础上,我们认为:化学地理学是研究地理环境的化学组成、结构及其形成过程的科学。地理环境是一个复杂的多级开放系统,其化学组成不仅仅是化学元素的组合,更重要的是具有典型性化合物的组合;其形成过程也不仅仅限于进行在地理环境中,贯穿于各地理要素和各结构单元之间的化学元素迁移、转化过程,也包括地理环境与外界之间的化学物质和能量的交换过程,实质上也就是化学元素以不同形式输入地理环境,经过存在状态、运动形式的迁移转化过程,直到以不同形式自地理环境输出的复杂、统一的迁移转化过程;也就是地理环境从原始状态,经过化学元素的重分配、重组和定向性的分散与集中,直到形成具有一定典型性化学组成和结构的有序化过程。它使地理环境内部发生明显的分化。同样,也使分化了的各地理要素和结构单元从发生上联系起来,形成一个斑斓多彩的地理环境整体。了解其多样性和统一性及其发展的方向和强度,对于我们开发、利用、调控和保护环境资源,预测、规划、设计和塑造新环境具有重要的理论意义和实用价值。

但好景不长,在十年浩劫中,化学地理学也和其它学科一样,人才遭到摧残,成果遭到销毁,实验室遭到破坏,化学地理的研究工作被迫处于停顿或转入地下活动,化学地理学的发展进入低谷。

70 年代我国开始了环境污染与环境保护的研究工作,也为化学地理学开拓了广阔的服务新领域。如果说过去我们是研究自然环境中化学物质的迁移转化过程及其对环境和人类的

影响,那么现在我们所面对的,则是在人类活动的参与和干预下,化学物质的迁移转化过程及其对环境及人类的影响,更加强了它的理论意义和实用价值。因而,也更感觉化学地理学基本知识的需要。

本书就是在这种情况下,在原有《化学地理学》教材的基础上补充、更新,有些部分是根据学科发展另行编写的。编写分工如下:绪论:刘培桐、王华东;第1~5章:许嘉琳;第6~8章:薛纪渝;第9~10章:许嘉琳;第11章:刘培桐、王华东;第12章:王华东。此外,徐红宁参加了第9章的编写,图件由王淑芳、郑良美清绘,全书由刘培桐逐章审阅、整编、定稿。

在化学地理学教材建设过程中,得到中山大学唐永奎教授、北京大学陈静生教授、徐云麟教授、中国科学院地理研究所章申教授、谭见安教授、北京师范大学宋春青教授等多方面的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书误谬不当之处,希读者批评指正。

刘培桐

1992年10月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 绪论                           | 1   |
| 第一章 地理环境中化学元素的组成与分布          | 17  |
| 第一节 元素丰度的一般概念                | 17  |
| 第二节 岩石圈中化学元素的丰度              | 19  |
| 第三节 大气圈中化学元素的丰度              | 23  |
| 第四节 水圈中化学元素的丰度               | 27  |
| 第五节 土壤中化学元素的丰度               | 32  |
| 第六节 生物圈中化学元素的丰度              | 34  |
| 第七节 地表各圈层元素丰度的综合特征及其与人体组成的关系 | 37  |
| 第二章 地理环境中元素迁移的能量基础           | 44  |
| 第一节 地理环境中元素迁移的概念             | 44  |
| 第二节 地理环境中元素迁移的能量来源           | 45  |
| 第三节 地理环境中能量的转换               | 47  |
| 第四节 地理环境中能量的传输               | 56  |
| 第五节 地理环境中元素迁移的能量分析           | 58  |
| 第三章 地理环境的化学演化                | 63  |
| 第一节 原始地表环境演化阶段               | 63  |
| 第二节 生物与地表环境辩证发展的阶段           | 68  |
| 第三节 人类与地表环境辩证发展的阶段           | 72  |
| 第四节 地理环境化学演化的若干基本特征          | 77  |
| 第四章 地理环境中元素迁移的影响因素           | 80  |
| 第一节 化学元素迁移的内部根据              | 80  |
| 第二节 气候条件对元素迁移的影响             | 90  |
| 第三节 生物条件对元素迁移的影响             | 103 |
| 第四节 地貌与岩性对元素迁移的影响            | 105 |
| 第五章 地理环境中元素迁移的方向和强度          | 109 |
| 第一节 地理环境中元素迁移的方向             | 109 |
| 第二节 地理环境中元素迁移的强度             | 110 |
| 第三节 地理环境中元素的物质流与屏障           | 114 |
| 第四节 地理环境中元素迁移的定量分析           | 118 |
| 第六章 地表岩石的风化过程                | 123 |
| 第一节 地表岩石风化过程的化学反应            | 124 |
| 第二节 地表各类型岩石的风化过程             | 130 |
| 第三节 地表次生矿物的形成过程              | 138 |
| 第四节 风化壳的地球化学类型               | 148 |
| 第七章 地表化学元素的水迁移               | 156 |
| 第一节 水分循环与化学元素的水迁移过程          | 156 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 第二节 天然水的化学组成及类型·····          | 170        |
| 第三节 天然水的物理化学性质与元素的水迁移·····    | 178        |
| <b>第八章 地表化学元素的空气迁移·····</b>   | <b>189</b> |
| <b>第九章 土壤中化学元素的迁移与转化·····</b> | <b>213</b> |
| 第一节 土壤的化学组成·····              | 213        |
| 第二节 土壤中的主要化学过程·····           | 215        |
| 第三节 土壤的主要地球化学类型·····          | 235        |
| <b>第十章 地表化学元素的生物迁移·····</b>   | <b>239</b> |
| 第一节 化学元素的生物吸收与富集过程·····       | 240        |
| 第二节 有机质的分解与化学元素的分散过程·····     | 247        |
| 第三节 化学元素的生物循环·····            | 249        |
| 第四节 森林与草原中元素的生物迁移·····        | 255        |
| <b>第十一章 区域化学地理·····</b>       | <b>266</b> |
| 第一节 地球化学景观·····               | 266        |
| 第二节 区域化学地理实例分析·····           | 272        |
| <b>第十二章 化学地理的应用·····</b>      | <b>284</b> |
| 第一节 化学地理与环境质量·····            | 284        |
| 第二节 化学地理与农业生产·····            | 286        |
| 第三节 化学地理与找矿·····              | 295        |
| 第四节 化学地理与人体健康·····            | 298        |

## 绪 论

化学地理学是自然地理学的一门新兴分支学科。它是在自然地理学发展到一定阶段,创造了一定条件的情况下,应时诞生的。这不仅是学科发展的必然,也是社会实践的需要。它改变了以往自然地理学研究中以自然地理现象和过程的物理方面为主,很少涉及甚至完全忽视化学方面研究的状况,使完整的自然地理环境和统一的自然地理过程的研究,在理论上更为全面,在实际中得到更广泛的应用。而且,随着工、矿、农、医的发展,特别是环境保护事业的兴起,为化学地理学开拓了广阔的研究领域,成为一门很有发展远景的年轻科学。

### 一、化学地理学的对象和任务

关于化学地理学的对象虽然有广义和狭义的区别以及表述方式上的不同,但对其主要方面基本上还是一致的。A. A. 格里高利耶夫在本世纪 30 年代首先倡议建立化学地理学,以致力于统一的自然地理过程化学方面的研究。几乎与他同时的 B. B. 波雷诺夫也把景观的研究建立在地球化学基础上,于 1946 年提出“地球化学景观”的新概念,并对它的基本类型进行了概括的描述,强调了景观中化学元素迁移过程和迁移能力的研究。

我国地理、地质领域的学者也对化学地理的概念进行了论述。黄秉维教授曾指出:“地理环境中化学元素迁移是自然地理学的一个分科——化学地理学或景观地球化学——的研究对象”。侯德封教授在《化学地理和化学地史》一文中也指出:“化学元素在地表活动的形式和活跃的程度各地区不同,这与地理条件有密切的关系。”

化学地理学的对象可表述为:化学地理学是研究地理环境的化学组成和化学结构及其形成过程的科学。它是以化学元素与环境条件这对矛盾作为对象,研究其对立统一关系的发展、预测、调控、利用和改造的科学。

地理环境位于地表几个圈的交错带上,是在地质因素的基础上、天文因素的影响下,发生和发展起来的多组分、多层次、复杂的大型开放系统。而各地理要素和各级结构单元的化学组成和化学结构、性质和功能各不相同,又相互关联,并各有其明显的时、空特征,这就组成一个庞大、复杂、多样而井然有序的化学地理环境。其形成过程不仅仅是进行于地理环境之中,贯穿于各地理要素、各结构单元之间的物质与能量交换过程,也包括地理环境与外界之间的物质和能量的交换过程。实质上也就是化学元素及其所伴随的能量,以不同形式从外界输入地理环境,经过复杂的迁移、转化、重分配、重组及在各地理要素间和各结构单元间的分异过程,直到以不同形式输出地理环境的全部历史过程。在此过程中,输入变量是激励变量,通过内部的状态变量,转换为输出变量。输入变量说明外界对地理环境的作用和影响,输出变量则说明地理环境对外界的作用和影响。在自然情况下,输入来自“天上”和“地下”。从天而降的有宇宙尘、宇宙射线等。但经常起主要作用的是太阳辐射。它的变化很规律,具有正弦函数型式,因而赋予地理环境以周期性变化,如:日周变化、年周变化……等。这对位于欧亚大陆东部的我国具有重大意义。我国大部为四季分明的季风气候,夏季高温多雨,化学元素的迁移转化过程几乎和热带、亚热带相似,而冬季又与寒带和寒温带近似。这种在时间上明显的对比性和节奏性,是我国地理环境和地球化学景观的动态特征之一。此外,太阳辐射在地表的空间分布也

呈现有规律的变化,因而赋予地理环境以地带性特征。

由地下受地质条件影响的输入比较复杂,多属随机函数或爆发性阶跃函数(火山、地震等)。在空间上和时间上均有一定的局限性。但是,它的破坏性相当大。此外,也有的输入变量属缓慢升降的斜坡函数(如:板块运动)。因而它们导致地理环境中状态变量的多样性和非地带性。

然而,天文因素和地质因素是同时起作用的。很难说有不具地带性色彩的非地带性或不被非地带性复杂化的地带性。化学地理学用“地球化学景观”这一概念把它们统一起来,这是完全符合“对立统一”根本规律的。应该说:这是自然地理学基础理论究研中一项进展。

由上述可知:经常起作用的输入主要是太阳辐射,经常的主要输出是地面辐射。前者熵值较低,后者熵值较高,相对而言等于输入负熵值。所以,地理环境的形成和演变过程是一个由简单到复杂,由低级到高级,由原始状态到具有一定典型性化学组成和结构的有序化过程。

推动这一过程进行的内因是化学元素本身的结构和特性,外因是化学元素所处的环境条件。内因是根据,外因是条件。外因可通过内因而起作用。化学元素的结构和特性是相对稳定的,但环境条件则是千变万化的。因而通过对不同环境条件下化学元素的不同化学行为的分析研究,揭示化学元素自进入地理环境到输出地理环境全部迁移转化过程的本质,也就是元素在各地理要素间、各结构单元间,重分配、重组合、分散、集中以至地理环境与外界物质和能量交换的复杂过程的实质,进而掌握地理环境的化学组成和结构及其时、空演变规律,拟定出因时制宜和因地制宜的服务于社会实践的改造、利用与保护方案,便是化学地理学最基本的任务。具体地说,就是要弄清地理环境的化学元素和典型性化合物的组成,了解它们的共生组合关系、形成条件、分布规律及季节动态。因为只有这样,才能掌握何时、何地、以何种方法和手段,从地理环境中获得人们所期望的化合物,排除有害的化合物,补充有益的化合物,以利于发展生产和维护健康。

要正确理解和对待地理环境的结构。有优化的结构,才能有高效的功能。各地理要素、各级结构单元的化学组成和化学结构各不相同,但又相互联系,共同构成一个多级的网络结构。各地理要素、各结构单元处于网的结点地位。它们是转化器、贮藏库及转运站,对网络中能否物畅其流以及流向何方有决定性影响。弄清这些有巨大的理论和实践意义,因为我们开发、利用环境的任何行动,实质上都在改变——改善或破坏——它的结构和功能,决不能盲目从事。

要深入地研究化学元素在地理环境中的迁移条件、能力、速度和方向,以便掌握它们在各地理要素间和各结构单元间的分异——分散和集中、重分配和重组合——的规律,从而有可能创造条件加强或削弱其迁移能力、加速或减缓其迁移速度,以至改变其迁移方向,兴利除害,为社会实践服务。

## 二、化学地理学的内容和分科

如上所述,地理环境是一个多组分、多层次、复杂的大型开放系统。地理环境的复杂化学组成、化学结构、复杂的形成和演化过程,决定了化学地理学内容丰富。

依照地理环境的组成要素和结构:首先,是由各地理要素组成结构单元,再由低级结构单元组成高级结构单元……以致组成整体的地理环境。化学地理学也相应地分为普通化学地理学、区域化学地理学和部门化学地理学,构成一个三级分科系统。

### (一) 普通化学地理学

普通化学地理学是在整体地理环境范围内,从总体上对进行于岩石圈、水圈、气圈、及生物圈之间的、复杂而庞大的化学物质迁移转化过程进行全面的分析研究,阐明各圈带间的地球化学联系,地理环境的化学组成和结构及其形成过程和空间分异规律的科学。其内容包括化学地理学的基本理论、知识和技能。

概括地说,作为开放系统的地理环境,在来自地球内部的内能和主要来自太阳辐射作用的外能共同影响下,在物质、能量迁移、转化过程中,发生了明显的分化。同时,也正是这种过程的进行,又把分化了的各地理要素、各结构单元以及地理环境与外界之间,从发生上联系起来形成一个统一的地理环境及其与外界的联系,这是一个非常复杂的反馈网络。在地理环境与外界之间存在一个作用与反作用的对立统一关系。对于这样的大系统进行分析研究,除了运用通常的野外考察、室内分析、定位观测以及遥感和遥测、模拟技术等以外,还必须掌握系统分析和系统组合的方法。

### (二) 区域化学地理学

区域化学地理学是研究各级区划单元的化学组成和结构及其形成过程和空间分异规律的科学。区域是景观的空间集合,一个区域常常包括多种类型的景观,其中有广布的典型景观,也有非典型的稀有景观。所以研究地球化学景观的组成、结构、特性、类型及其形成过程和空间分异规律,便是区域化学地理学的最基本内容。进而如何将不同类型、不同等级的景观结构单元依其发生上的从属关系,自下而上归纳成一个多级分类系统,并相应地构成一个多级类型区划系统,划分出相应的化学地理区划,便是区域化学地理学最基本的任务。

### (三) 部门化学地理学

部门化学地理学是分别研究各地理要素的化学组成、结构、特性和类型及其形成过程和空间分异规律的科学。如土壤及风化壳化学地理学、水文化学地理学、大气化学地理学及生物化学地理学……等都是重要的部门化学地理学的分支学科,它们实质上都是化学地理学和相邻科学间的边际科学。

普通化学地理学、区域化学地理学、部门化学地理学之间有密切联系。普通化学地理学是在区域、部门化学地理学的基础上发展起来的。反过来它又指导区域化学地理学及部门化学地理学的发展。上述的三级分科系统不仅适用于现代,也适用于过去,从而相应地分出一个古化学地理学分支系统。

综上所述,可以看出:化学地理学的诞生与发展克服了自然地理学发展中的片面性和为社会实践服务中的局限性。开展化学地理学的研究有助于定性和定量地了解地理环境内部各地理要素之间和各物质结构单元之间以及地理环境与外界之间进行物质和能量交换过程的方向和强度,有助于更深刻地了解地理环境的化学组成、结构和功能,阐明地球化学景观以及整体地理环境时空变化的规律性。这不仅对化学地理学,而且对于自然地理学及有关的相邻科学都具有重大的理论意义。它也必将在指导我们开发利用环境资源的实践中愈来愈发挥其巨大的作用。特别是近年来适应环境科学的发展和环境保护工作的需要,化学地理学已从研究“纯自然地理环境”转入研究在人类活动参与和干预下的地理环境的化学组成、结构和形成过程及其所产生的积极和消极作用与对策。这一重要的转变,为化学地理学开拓了广阔的研究领域和为实践服务的途径,使化学地理学增添了巨大的生命力,把化学地理学推进到一个新的发展阶段。

### 三、化学地理学的发展历史

劳动人民在长期的社会实践,特别是生产实践中所累积起来的化学地理知识是很丰富的。我国北方劳动人民在从土壤中提取盐、碱、硝的过程中,很早就掌握了盐、碱、硝的分布规律和季节变化规律,他们知道在什么地方,什么时候去取土熬盐、熬碱、熬硝,有所谓“春盐、秋碱、冬硝”的说法。显然,这是与我国北方夏季高温多雨,秋季较湿润爽朗,冬季干冷,春季干暖的季风气候和相应的潜水盐渍化程度的变化规律相适应的。在农业劳动中更积累不少化学地理知识,譬如,北方农民常说:“高中洼”是好地,“洼中高”是坏地,正是因为干旱和半干旱区,高地中的洼地是地表径流汇集的地区,水分和养分充足丰富,又无盐渍危害。但洼地中的高地由于潜水面接近地表,洼地相对冷湿,而高地则相对干暖,它就像“灯心”一样吸引潜水由此上升,成为一个积盐中心,这是符合水盐运行过程中的淋溶和累积规律的。劳动人民不但在实践中认识 and 掌握了许多化学地理知识,而且还把这些知识再应用到生产实践。华南农民很早就知道向田中施用石灰,以中和酸性提高土壤肥力。但华北农民则与此相反,最忌在土壤中施用石灰,他们常说:“土壤石灰多就把庄稼烧死了”。牧民也广泛流传着“山坡吃草,河谷饮水”的谚语,这也具有深刻的化学地理意义,山坡是淋溶区,被淋溶掉的东西跑到河水里去,这就意味着在饲料中缺乏的营养元素要在饮料中补充。这些事实说明了大量的化学地理知识是劳动人民在生产劳动中获得并积累起来的。这是化学地理知识的主要的、基本的来源,是构成化学地理学的主要素材。

但是,也应该看到,这些知识是在过去较低的生产力水平,较狭小的生产规模和简单的生产过程中取得的,基本上还属于一些零散的感性知识,有待于系统化、条理化把它上升为理论知识。

如果说新中国成立以前在我国也积累了些系统化的化学地理知识的话,那主要是散见于土壤地理学之中。

新中国成立以后在这方面获得了较迅速的发展,50年代初期,少数高等学校地理系开展了这方面的教学和研究工作,并创建了实验室。50年代中期大多数高等院校地理系和部分地理科研机构建立了实验室,在水文观测站网的工作中也增加了水文化学的观测项目。同时,也开始从苏联引进景观地球化学的论著,并在少数高等院校地理系开设了这方面的课程。

从60年代起,化学地理学进入了迅速发展的新阶段。在60年代初召开的全国地理学术会议上,第一次出现了化学地理学方面的论文,化学地理学被确认是革新我国自然地理学的三个主要发展方向之一。由于学会的号召,在我国地理研究机构和高等院校地理系中较广泛地开展了化学地理的研究和教学工作,在少数地理研究机构中创建了化学地理研究室,在少数院校地理系中设置了化学地理专业,有的还开了研究班,招收了研究生,科研和教学队伍迅速成长,研究领域逐渐扩大。在1962年底召开的全国陆地水文会议中专设了一个水文化学组。在这次会议上,不仅进行了学术交流,而且还指出了,随着工农业生产的发展而需加强水源污染和水源保护的研究。1963年底召开的全国地理学术会议自然地理组中附设了一个化学地理小组。

1964年底召开的全国第一届化学地理学术会议,表明我国化学地理学的发展已向前迈了一大步。当时我国从事化学地理工作的已有20多个单位,研究领域几乎涉及化学地理的各个方面,研究中心正在形成,研究课题也有向某几个方面集中的趋势,会议收到论文近百篇,约1/3以上是属于化学元素的水迁移和水文化学地理方面的,1/4以上是关于地区盐分迁移和盐

碱土改良方面的,约 1/6 是关于生物化学地理方面的,其余 1/6 是关于地球化学景观,风化壳和黄土的地球化学特征及某些元素的化学地理等方面的。论文反映出化学地理研究工作所涉及的范围非常广阔而又相对集中,南自海南岛,北至黑龙江,东自海滨,西到新疆,几乎在全国各个主要自然地带都开展了化学地理的研究工作。但是约有 1/2 的论文集中反映内蒙古岱海盆地、华北平原、长江下游和珠江三角洲等几个地区的研究成果。同时从论文的内容也可以看出化学地理研究工作的地区差异,水、盐方面的化学地理研究工作主要在我国北方进行,生物化学地理方面的研究工作主要在我国南方地区进行。绝大多数论文都是根据野外考察、室内分析和定位观测的第一手材料写成,内容较丰富,学科特点较明确,目的性也较强,具有一定的科学水平和实践意义。还有一部分论文是根据水文站观测数据和其它文献写成的,为化学地理研究工作的进一步开展积累了必要的资料。论文还反映出当时我国化学地理的研究工作主要是结合农业生产的需要而进行的,少数是结合水产的发展,地方病的防治和水利工程的建设而进行的。

通过这次会议,对于化学地理学的性质、对象、任务、内容和分科等基本理论问题,对于化学地理学必须为生产实践服务和如何为实践服务的问题,以及一些工作方法问题都有了较为明确的认识,为进一步开展化学地理科研和教学工作指明了方向。

70 年代以来,我国化学地理的研究主要是结合环境保护和地方病病因开展的。根据国际上化学地理发展趋势和我国建设的需要,当代出现的环境污染及其控制是化学地理研究的重要课题之一。1972 年,我国化学地理工作者就组成较大的力量,从事一些重大的环境保护课题研究,开展了污染物在地理环境中的分布和迁移、自然地理条件对它们的反馈效应、环境质量演变和其评价方法的研究,以便从地学途径来预测、控制和改善环境质量。在完成我国具体条件下比较重要的几项水污染、水源保护和污染化学地理研究中,取得了较好的进展和成绩。与此同时,化学地理学在卫生保健方面的应用也得到较快进展,特别在探寻地方病病因和地理环境中化学致癌促癌因子方面发挥了作用,开展了与生命有关的化学元素(化学物质)的地域分异与地方病关系的研究。

正如 1980 年第二届化学地理学术讨论会所指出的:“我国化学地理学已发展到一个新阶段,其标志是:(1)研究领域有了大的扩展,如开展了化学地理在大气、海洋、动物及人体组织领域里的研究,填补了空白;(2)从只能进行大量元素研究到进行了微量元素以至有机物、生化物质和农药等的研究;(3)由元素含量、分布研究深入到形态、平衡、环境效应、生态效应等的研究;(4)测试手段和实验方法有了根本性的改进和变化;(5)生产实践范围更加广泛”。

1980 年以来,我国化学地理工作者结合国家第六、第七个五年计划中的各项科学技术攻关任务,进一步开展了工作。在有关环境保护、人体健康、农业生产的研究项目中,以化学地理学的研究对象为基础,运用化学地理学综合性、区域性的研究特色,获得了重要的研究成果。同时,也推动了学科理论体系的进一步完善。

## 四、化学地理学在我国的进展

化学地理学是一门新兴学科,一开始便考虑到理论联系实际的问题,在重视基本理论和基本知识研究的同时,也强调运用理论知识为社会实践服务的研究工作。

### (一) 基本理论研究的进展

对我国劳动人民长期积累下来的宝贵经验进行了总结,并引进了国外有关的论著,出版了《化学地理基本理论与方法》译文集,在吸取了古今中外正反两方面经验的基础上,对以下几个

方面进行了探讨,并取得了一定的进展。

### 1. 化学地理方法论研究的进展

化学地理学是研究地理环境的化学组成和结构及其形成过程的科学,而其形成过程实质上也就是进行于地理环境之中,贯穿于各地理要素和各结构单元之间的复杂的、统一的化学元素迁移和转化过程。也就是化学元素在地理环境中重分配、重组、分散和集中的过程。推动这一过程的动力是化学元素与其所处环境条件之间的矛盾。这对矛盾的对立统一关系决定着地表物质的迁移过程,从而也决定着地理环境的化学组成和结构。当然,在今日的条件下,这一对矛盾所引起的物质运动过程是不可能不受人类活动的干预和参与的,而这种干预又是非常必要和重要的。因此,研究在人类干预和参与下,这一过程的发展、预测、调控以及利用和改造,不仅具有重要的理论意义,而且也具有重要的实践意义,尤其是在解决环境污染问题中更具有特殊的重要作用。

### 2. 影响地表物质迁移转化的能量学基础研究的进展

影响地表物质迁移转化方向和强度的能量学基础研究,是一个日益引起人们注意的问题。60年代初期,在化学地理领域,曾对此进行过探讨,指出:作为一个开放系统的地理环境,位于地表外能和内能的交锋地带,现阶段外能经常处于占优势的主导地位。外能主要来自太阳辐射能,它是相对稳定的、源源而来的,推动地表物质迁移转化的巨大能源。它赋予了地表物质迁移转化过程及其产物以有规律的空间分异型式和周期性的时间变化规律。同时,地表能量转换的物理过程、化学过程和生物过程是地表复杂而庞大的、统一的能量转换过程中的三个组成部分。它不仅指出了地表能量转换的三个途径,而且,也说明了太阳能暂时储藏在地表的三种方式。在物理转换过程中水是能量的转换器、储藏器和调节器;在化学转换过程中,表生矿物是能量的转换器、储藏器和调节器;在生物转换过程中,有机质是能量的转换器、储藏器和调节器。因此,环境中水汽、表生矿物和有机质含量多少,可以作为判断环境中能量水平高低的指标。

70年代,根据能量转换中的熵变过程对这一问题作了进一步的研究。指出:作为一个开放系统的地理环境,其内部不断地进行着物质和能量的转换过程,同外界不断地进行着物质和能量的交换过程。在自发进行的情况下,物质和能量流总是沿着位势梯度的方向自高能源地输入地理环境,经过转换,再向低能外层空间输出的。或者说,能量流总是自热源流向地理环境,经过转换,然后再向冷源输出的。在达到稳定状态时,输入能量 $Q$ 和输出能量 $Q'$ 相等,而热源温度 $T_1$ 高于地理环境温度 $T_2$ ,更高于冷源温度,因而, $Q/T_1 < Q'/T_2$ ,地理环境熵变 $\Delta S$ 为负值,导致了地理环境的有序化。

同时,由于经常有较高质量的太阳辐射能源源输入地理环境,经过转换,再以质量较低的地面辐射向外输出,这种能量的单向流足以引起通过地理环境的物质循环流,如:水分循环、物质的生物小循环、地质大循环……等。这就使有限的物质走上无限循环的螺旋式上升运动过程。一旦这种物质循环流达到稳定状态,则不仅物质和能量的输入率、输出率相等,而且,环境中各种形式的物质和能量贮存也将维持在一定的动态水平上。

一定量的物质能量流将导致地理环境系统一定的有序化,维持一定的有序度,即具有一定的组成和结构。反之,具有一定组成和结构的地理环境系统也要求一定的许可输入,过多或过少均不利于维持一定的组成和结构。而地球在太阳系中的位置、体积和质量的大小、轨道的形状和运动的速度等等,使地表具有适宜的热力学状况,为生物的发生和发展创造了条件,而随着生物的发生和发展,地表出现了物质的生物迁移转化过程,相应地产生了一个生物圈,并为

人类的诞生和发展提供了条件。而随人类的发生和发展,出现了物质的人为迁移转化过程并相应地产生了一个智能圈。我们今天赖以生存的地理环境就是这样由简单到复杂,由低有序度到高有序度发展起来的,它具有高度的组织性和结构性。由此可见,研究和掌握能量转换过程中的熵变动向,对于预测和调控地表物质的迁移转化过程,从而对于改造和利用地理环境的化学组成和结构具有重要的理论和实践意义。因而,从本世纪中期以来,这方面的工作也越来越受到人们的重视。

### 3. 关于地理环境化学演化研究的进展

60年代在内蒙古海盆地开展了区域化学地理及其演变过程的研究。70年代又开展了对整个地理环境演化过程的研究。

如前所述,控制地表物质迁移转化的主要能源来自太阳能和地能。而随着时间的发展,地能逐渐变弱,太阳能控制地表物质迁移转化的主导地位越来越明显。因而由地球深处进入地理环境的物质逐渐减少,地表逐渐由简单的、无机的物理化学环境进入有机的环境,由无生物的环境进入有生物的环境,由还原环境进入氧化环境,最后进入更高级、更复杂的人为环境。与此同时,地表物质的迁移过程及其产物也越来越复杂,生物的和人为的迁移转化过程及其产物从无到有、越来越多。同时在地能支配下的物质在长期的周期性的地质循环的基础上,受太阳能支配的、短期的、周期性的生物循环日益旺盛地发展起来。特别是随着社会生产和消费的发展,人类生产和消费活动对地表物质的迁移转化的影响,即是对地理环境质量的影响,无论在广度上,深度上和速度上都在急骤增加。

根据上述地理环境的化学演化过程可以分出几个阶段,每个阶段都有相应的化学地理环境类型,即还原型的非生源类型、还原型的生源类型、氧化型的生源类型、氧化型的人源类型。弄清楚化学地理环境演化的来龙去脉,对于确定化学地理学的研究重点和发展方向是具有指导意义的。

## (二) 部门化学地理研究的进展

### 1. 水文化学地理

水在地表热力条件影响下,不断地从一种聚积状态(固体、气体、液体)转变成另一种状态,从一种存在形式(自由水、结合水、薄膜水、吸着水)转变为另一种形式,从一个地圈(水圈、气圈、岩圈、生物圈)迁移至另一个地圈……,这种复杂的迁移转化途径总起来构成了它在自然界的循环,也构成了化学元素在地理环境中的水迁移转化系统。从而不仅导致各水体之间,而且也导致地理环境各组成要素及各结构单元之间的地球化学分异和联系。

在部门化学地理中,水文化学地理的研究工作比较充分。60年代初对全国河流水化学特性进行了全面的分析研究,根据对河水水质的 pH、矿化度、硬度、水化学类型及化学剥蚀变化规律的研究,我国河流水化学具有从东南沿海向西北内陆过渡的明显地带性分布特征。矿化度由东南沿海 50 毫克/升递增至西北内陆的 1 000 毫克/升以上。水化学类型由重碳酸盐类过渡为硫酸盐、氯化物类,阳离子中钙逐渐为钠所代替。我国的化学剥蚀自东南沿海向西北化学剥蚀率逐渐升高。化学剥蚀力首先是逐渐增加,到长江流域达到最大值,过此又逐渐减小。化学剥蚀率高而化学剥蚀力小的区域,主要是径流矿化度大的硫酸盐、氯化物剥蚀区;化学剥蚀率低而剥蚀力大的区域,主要是径流矿化度小的重碳酸盐或硅酸盐剥蚀区;化学剥蚀率低,化学剥蚀力小的区域,主要是径流矿化度低的重碳酸盐、硅酸盐及铁、铝等氧化物的剥蚀区等。相应于我国气候及水文条件的变化河流的水化学特征及化学剥蚀具有明显的季节变化规律。

我国西部山区河流水化学的垂直地带性变化也十分明显,如新疆吐鲁番盆地来自博格达山的河水矿化度不到 200 毫克/升,河水出山口后,大量渗入地下,在火焰山北麓溢出时,矿化度已增至 200—500 毫克/升,至火焰山南麓,河水溶解了大量的盐分,至山口处达 500—1000 毫克/升,火焰山以南河水再度渗入地下,至盆地中心附近达 1—3 克/升。到了艾丁湖附近溢出时,矿化度已高达 3 克/升以上。

70 年代初,根据全国 700 多个站点积累的水化学资料,编制了六百万分之一我国河水矿化度图、总硬度图、水化学类型图及离子径流模数图。

70 年代以来,对我国的大、中型河流,如长江、黄河、珠江以及华北地区、西北地区和东南沿海地区河流的水化学特征陆续进行了研究,其地带性和地区性很明显。以华北平原为例,它是由一些源远流长穿太行山而来的大河和一些发源于太行山东坡的小河冲积而成的。这些大河如永定河、滹沱河、漳河以及黄河等是造扇河,它们出山之后均造成了巨大的洪积冲积扇。而那些小河则可以说是扇造河,基本上是沿着扇缘和扇间洼地汇流而成的。前者是洪积冲积扇地下水补给者,后者则是扇缘和扇间地表径流和地下径流的承受者,因而它们的水文化学特征有很大差异。其中滹沱河和滏阳河的对比研究,对了解华北平原地区的水文化学地理特征很有意义。

滹沱河河水的化学组成和离子含量在时间上和空间上变化稳定,具有地带性特征。矿化度在 300 毫克/升左右,硬度在 3—4 毫克当量/升,属  $\text{Ca}^{2+}$  型水或  $\text{Ca}^{2+}$  型水,属典型的森林草原地带的水化学相,即  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{SO}_4^{2-}$ — $\text{Ca}^{2+}$  水化学相和  $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Ca}^{2+}$ — $\text{SO}_4^{2-}$  水化学相。

滏阳河具有明显的地区性特征,它的水化学组成不稳定,季节性变化很大;它的矿化度介于 400—1000 毫克/升之间,硬度 5—8 毫克当量/升。主要为硫酸水类的钠组、镁组中的 II、III 型水,水化学相经常变化。

此外,对全国湖泊的水化学特征也进行了初步研究。

在水化学方面还进行了一系列专题研究。譬如,对长江干流河水碳酸盐系统的研究表明:长江碳酸盐系统各组分的沿程变化,均以宜昌作为分界线。在宜昌以上因为流域内石灰岩分布广泛,河水 pH 较高,溶解  $\text{CO}_2$  含量低,碳酸盐全年过饱和,没有侵蚀  $\text{CO}_2$ ;宜昌以下河水 pH 降低,溶解  $\text{CO}_2$  含量较多,碳酸盐全年未饱和,并具有少量的侵蚀  $\text{CO}_2$ 。研究发现,长江中上游碳酸钙过饱和是很稳定的,最大过饱和达 14.5 倍(上游龙街站),下游的未饱和是由于富含游离  $\text{CO}_2$  的支流水的冲淡作用。这些研究对长江修建大型水利工程具有重要意义。

在区域水文化学地理方面,着重从水化学的形成和分布规律上进行研究,可以内蒙凉城岱海盆地的水文化学地理研究作代表。岱海盆地位于温带草原栗钙土地带,天然水的矿化过程开始于大气降水对大气的淋溶过程,大气降水的矿化度在 66—86 毫克/升,平均为 75 毫克/升左右。大气降水着陆以后,与岩石、风化壳及土壤相互作用,在温带半干旱气候条件下,天然水自盆地边缘向盆地中部汇集,矿化度不断增高,河水达 300—500 毫克/升,潜水的矿化度一般为 300—1000 毫克/升,岱海湖水矿化度在 2100—2400 毫克/升,最高值可达 2689 毫克/升。相应地,水的离子组成由以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  为主,转变为以  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  及  $\text{Na}^+$  为主,水文化学类型由  $\text{Ca}^{2+}$  型转变为  $\text{Cl}^-$  型或  $\text{Cl}^-$  型。

应当指出:在 80 年代,我国开展了水环境背景值研究,取得明显进展。在“七·五”期间,对长江水系水环境化学地理进行了系统研究,从水—悬浮物—生物—沉积物等方面全面综合研究了其 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni、Co、Hg、As、Fe、Mn、Mo、V、Se、F、P、N 等元素的分布、季节变化、存在形态及其形成的水热因素、地质因素及化学地理过程。同时,还

对长江中 C、N、P、S 的输送量及其变化趋势进行了研究。研究成果不仅对国土开发和环境保护有重要实际意义,同时也丰富充实了化学地理的理论。

## 2. 大气化学地理

60 年代在全国各地仅有零星研究,曾对华北和西北以及江苏射阳沿海和珠江三角洲河口地区降水的化学成分进行了分析和研究,发现降水的化学组成自沿海向内陆呈有规律地变化,钠离子和氯离子自沿海向内陆减少,硫酸根、钙离子逐渐增多。70 年代中期以来,由于环境污染问题日渐突出,我国大、中城市为了做好环境保护工作陆续地开展了定期的大气中污染物测定,积累了丰富的资料。

污染物的运行主要受盛行风支配,又受河流走向与地形的影响,污染物浓度在城区分布与城市结构和工业布局有密切关系。

## 3. 土壤化学地理

从 1962 年起,我国化学地理工作者曾对华北半湿润地区地表盐分分异和累积规律进行了研究。发现石家庄—衡水地区地表盐分分异相当明显,盐分主要来源于滹沱河上游山地和山麓冲积扇的沉积物,它随地表径流和地下水携带汇聚于冲积平原。地表盐分分异从上游山地到冲积平原依次为:  $\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^--\text{Ca}^{2+} \longrightarrow \text{HCO}_3^--\text{SO}_4^{2-}-\text{Na}^+ \longrightarrow \text{Cl}-\text{SO}_4^{2-}-\text{Na}^+ \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^--\text{Na}^+$ 。在这里中地貌起主要作用,地表及土层中积盐与潜水深度密切相关,并与土体中粘土夹层有关系。经研究本区潜水临界深度为:

| 矿化度(克/升) | 以轻壤土为例的临界深度(米) |
|----------|----------------|
| <0.7     | 1.2—1.4        |
| 0.7—1.5  | 1.8—2.0        |
| 1.5—3.0  | 2.4—2.6        |
| 3.0—9.0  | 3.2—3.4        |

此外,于 60 年代初还对我国风化壳及土壤中化学元素迁移的地理规律性以及岱海盆地第三纪以来风化壳的地球化学特征进行了研究。

近 10 余年来,结合我国土壤环境背景值的研究,在土壤微量元素化学地理方面,积累了丰富的资料,对我国土壤中化学元素分布的区域分异及其形成因素有了较全面、深刻的认识,提高了理论水平,拓宽了应用途径。结合我国土壤环境中重金属及类金属容量的研究,从化学地理学科特点出发,深入分析自然地理条件对元素在土壤—作物系统中迁移的影响,重视各种元素容量的区域分异,为因地制宜地调控土壤中的物流,提高土壤质量服务。

## 4. 生物化学地理

自 1960 年以来,我国化学地理工作者曾开展了生物化学地理研究,认为环境中物质的迁移转化包括物质的地质大循环和生物小循环,其中生物小循环起着决定作用,左右环境中物质迁移转化的方向和途径以及不同地区化学地理特点的形成。在生物化学地理方面,着重研究生物和环境间,特别是植物和土壤间的物质循环。曾在内蒙岱海盆地和广东省进行了生物化学地理研究,包括大量元素和微量元素的生物循环。在珠江三角洲沿海红树林和草滩分别与海滨盐土及海滨砂土之间物质交换中,氮、磷等营养元素非常活泼,钠、镁、钙和铁等也起着重要作用。海南岛西部气候干热,属于干性热带落叶季雨林—红褐土的生物化学地理区,其突出特点是氮、碳的循环非常迅速,土壤中有机质积累很少,碱金属、碱土金属比较活泼。自南而北,水热条件不同,生物化学过程因之而异。曾将广东全省分为热带季雨林、亚热带季雨林和中亚热带常绿林生物化学地理景观带。70 年代,继续用生物化学原理和方法研究发展紫

胶和橡胶的生产问题,采用“营养诊断”的方法,曾提出对紫胶寄生树施磷肥,对橡胶施用镁肥,促进光合作用,加速营养物质积累循环,均收到明显增产的效果。

对岱海盆地各主要植被类型灰分元素化学地理的研究表明:岱海盆地自边缘山地向盆地内过渡,植被类型发生明显的更替变化,由林地及其次生漠丛草甸逐渐过渡为真草原、盐生草甸。在盆地内西部有小片的沼泽化草甸出现,东部有砂生植被。在各主要植被型灰分元素组成中均以  $\text{SiO}_2$  为主,其中碱金属、碱土金属元素伴随土壤及天然水水化学类型的变化,呈现出明显的地球化学分异规律。次生草甸及真草原灰分中均以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  为主,盐生草甸及沼泽化草甸以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  (或  $\text{CaO}$ ) 含量最多,在灰分组成中  $\text{Na}_2\text{O}$  跃居第二位,砂生植物则以  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  为主,但其中  $\text{CaO}$  显居首位。

在生物化学地理科研中还有系统地开展了生命元素的研究工作。

### (三) 区域化学地理研究的进展

区域化学地理的研究是一项较繁重的综合性研究工作,也是一项地理意义强、实践意义大的研究工作。

60 年代初期,在吸取国内外经验的基础上,曾对地球化学景观的概念和结构,形成和发展,性状和分类以及方法和应用进行了较系统的分析、整理、学习和提高工作。在我国东北温带针阔叶混交林灰棕壤地带,华北暖温带干旱森林和森林草原褐色土地带,华南亚热带常绿阔叶林红壤和黄壤地带及热带季雨林砖红壤地带开展了区域化学地理的研究工作。这些工作涉及面广、综合性强,主要是通过分析整理已有的大量资料和实地观测的资料来进行的。在研究成果中对各地带地球化学景观的形成过程,多级景观结构单元之间的地球化学联系,各单元景观的地球化学性状及其改造利用途径等均作了较全面的阐述。

继此之后,又在我国西北干旱地区及华南高温多雨地区进行了一些较系统深入的区域化学地理研究。其中岱海盆地化学地理的研究是一个专业集体协作项目,野外和室内工作历时两年,参加者 20 余人。对于各地理要素及地球化学景观均进行了专题研究,内容比较齐全完整,从常量元素到微量元素,从原生矿物到次生矿物作了大量分析,对于该区域标志元素钙和微量元素还作了专题研究。该区位于干旱地带,水是异常宝贵的自然资源,水质和水量都存在着亟待解决的问题。因此,此项研究是以水文化学地理为中心,并以贯穿于各地理要素和景观单元之间的化学元素的水迁移转化过程为纽带,而把各地理要素和各景观单元联系起来形成一个完整的区域化学地理单元,并且根据其内部的差异性和统一性,也就是说,根据其内部固有的对立和统一关系(或共轭关系)进行了多级的化学地理区划。同时,还对该盆地从第三纪以来的演化过程进行了研究,在此基础上,提出了以水资源为中心的,综合的开发利用方案,对当地农、林、牧、渔等业的发展提供了一定的科学根据,通过这一工作也为开展化学地理综合性科研项目积累了经验。

70 年代,结合西藏高原的综合考察工作对珠峰高海拔地区降水和冰雪中的微量元素,冰体中氢氧等同位素,珠峰地区过渡元素在各地理要素中分布与迁移转化过程以及该区水化学特征作了许多工作,为这一地区提供了难能可贵的化学地理资料。同时也查明了在这座世界第一高峰中的冰雪中,微量元素的富集系数除  $\text{Zn}$  以外,都与南北极大气气溶胶相仿。可见,虽然高峰远离工业区,但它的微量元素含量也还受人类经济活动所造成的大气污染所影响。

此外,结合环境保护工作在北京、茂名、官厅水库流域等都进行了区域环境污染的化学地理研究工作,为综合防治提供了科学依据。

80 年代,结合环境保护、农业开发、区域化学地理的研究内容和研究范围不断得到充实。