

环境地球化学

A. A. 别 乌 斯

〔苏〕Л. И. 格拉波夫斯卡娅 著

Н. В. 季 霍 诺 瓦

科 学 出 版 社

环境地球化学

A. A. 别乌斯

〔苏〕Л. И. 格拉波夫斯卡娅 著

H. B. 季霍诺瓦

朱颜明 等 译

黄锡畴 等 校

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书作者根据大量的,某种程度上是最新的实际资料,探讨岩石圈、水圈、大气圈和生物圈的化学成分特征;从人类环境形成的观点研究这些地圈之间存在的地球化学联系。根据数学统计资料论述淡水、土壤和植物的天然化学组成特点,对自然因素和人类活动引起的天然水、大气、土壤和植物化学组成的改变进行了全面的分析,并从时间上评价这些因素的作用。

本书可供科学工作者、工程技术人员、环境保护各部门以及高等学校有关专业的学生参考。

ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
А.А.Беус Л.И.Грабовская Н.В.Тихонова
1 9 7 6

环境地球化学

(苏)А.А.别乌斯 Л.И.格拉波夫斯卡娅 Н.В.季雷诺瓦 著

朱颜明 等译

黄锡畴 等校

责任编辑 刘卓澄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

长春新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年12月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1982年12月第一次印刷 印张: 8 1/2

印数: 0001—3,850 字数: 223,000

统一书号: 13031·2108

本社书号: 2879·13—18

定价: 1.60元

译 者 的 话

环境地球化学是研究化学元素在自然环境中运动的科学。从地球化学观点看,环境污染不过是地球环境物质分布不均一性基础上的新叠加。因此,环境科学工作者,首先应该了解有关地壳表面各种形成体中化学元素地球化学分布的自然规律,同时还要掌握地壳各圈层之间化学元素迁移特点、评价的地球化学原理。为此,我们将A.A.Бейс等所著《环境地球化学》一书译出,供广大读者,特别是环境科学工作者参考。

本书作者以丰富的地球化学研究成果,系统地论述地壳岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的化学元素分布特征;搜集大量经济发达国家环境污染的实际调查资料,阐述人类生产活动对化学元素在各地圈中迁移的影响及其内在的地球化学联系。

作者强调,人类活动是地球表面不断发生变化的重要地质因素,认为人类活动是导致地壳各圈层在几十亿年间建立起来的地球化学平衡遭受破坏的主要原因,并从人类活动的地球化学分析表明,要防止地壳各圈层间自然平衡的破坏而造成对人类社会活动和健康的威胁,必须有计划地发展经济和消除生产中的任何无政府状态。

原书在印刷等方面的一些错误,在翻译时均作了修正。由于我们外语水平不高,译文难免出现错误,敬请读者批评指正。

本书绪言、第一、三、四章由朱颜明译,第二章由孟宪玺译,第五章由张学林译。黄锡畴、戴国良校订。

目 录

绪 言	(1)
第一章 岩石圈及其表面地球化学迁移因素	(10)
第二章 大气圈	(63)
第三章 水圈	(99)
第四章 土壤和植物	(176)
第五章 数理统计方法在地球化学中的应用	(226)
参考文献	(254)

绪 言

人类及整个人类社会的生命活动基本上是在地球表面，更确切地说是在地壳表面展开并进行的，这个表面乃是地球同心壳中最外部也是最薄的部分（图1）。

地壳，其固体部分的厚度平均为33公里，根据其组成物质的物理状态和化学组成的不同，地壳本身又可分为三个地圈：

- （1） 岩石圈，即地壳的固体部分；
- （2） 水圈，即地壳不连续的水壳；
- （3） 大气圈，即地壳和整个地球最外层的气体外壳。

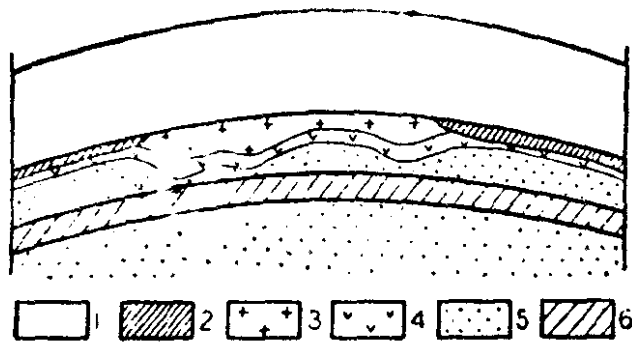


图1 地球靠近表面圈壳的构造

- 1 —— 大气圈； 2 —— 海洋； 3 —— 岩石圈花岗岩层；
4 —— 岩石圈玄武岩层； 5 —— 上地幔； 6 —— 低速层

所有三个圈壳都是地球表面部分长期演化的产物，根据用放射法对地壳最古老岩石绝对年龄的测定判断，这种演化开始于40亿年以前。这种演化继续到目前，仍毫无例外地表现出上面列举的地壳三个地圈的连续不断地相互作用。同时，发生这种相互作用的界面主要是既与地球的水壳又与地球的大气壳毗连的岩石圈表面。水圈和大气圈之间的界面同样是液体和气体地圈强烈作用和互相交替的场所。

值得注意的是，地壳三个圈壳相互作用的相对很狭窄地带是

地球上生命的兴盛区域和有限的区域，就在这个区域范围内产生、存在并发展了人类社会。

所有各种各样生命形态和现象的存在是地壳上所研究地区最显著的特征，它是由时间和空间上的演化特点所决定的。

地球表面生物地球化学作用学说的创始人——В. И. Вернадский 强调指出，在地球表面上没有较经常起作用的化学力，因此，按其最终结果看也就没有能比上生物体这样强大有威力^[41]。

生物圈¹⁾总是与地壳所有三个无机地圈处于不断地和紧密地相互作用之中，这个相互作用就是地球表面生物进化的本质。

因此，人类环境这个概念包括四个地圈——生物圈、大气圈、水圈和岩石圈表面部分互相联系和互相作用的具体特征所决定的因素的综合。

谈到人类环境，通常分为四个地球化学系统，其组成是：(1)大气系统；(2)水系统；(3)土壤系统；(4)岩石圈表面的岩石系统²⁾。

这些系统不包括生物圈本身复杂的生态群落，它应该是生物学家和生物化学家专门研究的对象。人类本身就是生物圈最复杂的产物之一，在人类进化的数百万年时间里，实际上对环境并没有表现一点明显的影响。人类积极地利用环境的赠物，为自身生存与自然界的敌对力量作斗争，并按照自身力量和可能调整居住环境使适合自身的需要。在这些需要还限于最简单的住宅建筑、原始农业和手工业之前，人类对环境的作用则仅局限于手工业劳动的直接应用。但是，如果低估一万年以来人类对环境的影响也是错误的。这一时期是以许多民族为使环境适合于满足自身的农业需要所作的努力为特征。我们不知道数百年来，中东的古代居民

1) 生物圈，乃是生物居住的地壳的厚层，所有各种形式生命物质的地质活动都在这里表现出来^[41]。

2) 这个系统包括与上述三个系统以及生物圈处于积极相互作用的岩石圈表面部分的各种岩石（其中包括现有技术手段条件下人类所能到达的岩石圈部分）。

为了什么目的需要把繁荣的美索不达米亚平原的土地变成荒瘠的沙漠，但是，根据遗留下来的历史证据可以判断，土地荒废和盐渍化是由于不合理的砍伐森林和不正确的灌溉所造成的。古代灌溉遗迹在现代中亚沙漠地带还可见到，这里曾经是古代文明的繁荣地区。早在资本主义制度代替封建社会之前的中世纪，西欧境内和苏联欧洲部分的大部分领土曾经为茂密的森林覆盖着，如今，已被许多国家的农民竭力破坏了。因此，仅仅在几百年前，人类环境的生物组成才与现代人类从其祖先那里继承下来的遗产有十分明显的区别。但是，在人类发展工业以前的一个时期和工业时期的早期阶段，人类全力以赴地与那些不顺从的自然力作斗争，很少关心自身活动可能产生的最终后果。实际上，地圈相互作用的稳定平衡也没有任何重大的破坏。而长期以来的印象是，这种情况将会永远这样继续下去。在人类社会发展的这些时期内，环境积极影响人类生存，但是反过来，人对环境的影响则只是有限的，除被学者和社会活动家（作为人类最有卓见的部分）注意范围外的少数情况是例外。

地球文明的技术进步从根本上改变了这种状态。第二次世界大战以后开始的科学技术革命伴随着全球范围的自然资源利用和工业生产的急剧跃进。近25年内，指数继续增长（图2），天然原材料的生产和需要已经达到巨大的规模。从1956年以来，全世界每年开采和燃烧大约30亿吨煤，从地下开采出5亿多吨铁矿石，4000多万吨铝土矿，500多万吨铜，等等。下页列出1961年至1970年期间内世界上最主要金属的消费量（百万吨）。

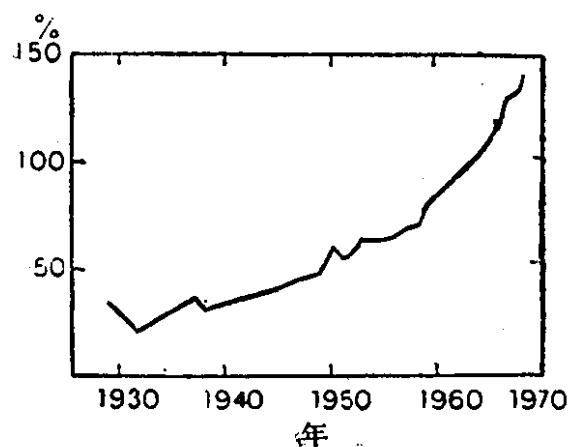


图2 世界工业生产的增长
(以1963年为100%)^[336]

下述金属原材料消耗的年增长额分别为4.1%、1.8%、6.4%和4.6%，总的说，不断发展的世界工业对矿产的利用反映出增

Al	6.5	Pb	2.6	Mo	0.05
Fe	350.0	Cr	1.5	Co	0.015
Cu	5.2	Ni	0.5	Hg	0.01
Zn	4.0	Sn	0.2	U	0.03

长的趋势。据美国矿业部的统计，在30年的时间里(1940—1970)仅美国工业所消耗的矿物原料就超过了从古代到第二次世界大战期间全人类的消耗量。人类的生产活动已经成为一种重要的地质营力有效地改变着地球的表面。

工业生产规模的巨大增长，伴随着废物数量的急剧增加，污染了大气圈（废气和飘尘）、水圈（液体、溶解气体和盐分）和岩石圈表面（固体废物）。数百万年时间内地圈之间（岩石圈—水圈；大气圈—水圈；岩石圈—大气圈）互相交换所建立起来的地球化学平衡渐渐地开始破坏。地球上的个别地区，遭受特别强烈的污染，天然水和土壤的成分已经发生不可挽回的改变，对生物圈产生了极其恶劣的影响。正是这种以数百万年时间才逐渐适合于三个无机地圈接触地带自然条件的生物圈的消极反应，才引起人类对环境不良变化的注意，这种变化最终不仅直接威胁人类社会的长远发展，而且还将直接危及人类社会本身的生存。

资产阶级经济学家和社会学者计算了世界工业生产所建立的指数增长速度和估计了环境污染的相应规模以后都惊恐万状。根据他们的计算，首先，人类很快就要有原料匮乏的威胁，因为那些主要种类的矿物原料储藏量（甚至再增加五倍的情况下）将在今后30—50年（金、汞、银、铜、锌、石油、天然气）到100—170年（煤、铬、钴、铁）时间内被全部采掘尽^[336]。其次，如果不及时地采取根本措施，那末，由于更加严重的污染所造成的环境不可逆变化将使地球表面人类生存条件急剧恶化。

资本主义国家所表现的局面特别严重，经济的自发发展引起环境状况急剧恶化。卡尔·马克思的预言得到证实，他在一百多年前给弗·恩格斯的信中写道，文明，如果让她自发地发展，而不是自觉地引上轨道，那末尔后遗留的只是荒漠。因此，环境问

题现在具有鲜明的社会性。

然而，环境污染问题的尖锐性，迫使大多数资本主义国家政府不得不在控制污染源以及限制大气和淡水污染方面采取一系列措施。环境保护的全球意义引起许多国际机构的注意，并终于在1972年制定的联合国环境规划（简称UNEP，即United Nations Environmental Programme）中得到了实施，苏联积极参加了其中的工作。

在资本主义制度条件下，有利于整个社会与只是为了榨取利润的资本主义生产本质之间的矛盾是保护环境的主要困难。对于防止环境污染所必需的工业上的大规模投资不可能获得利润，这本身就违背了资本主义生产拨给资金的主要原则。

在苏联，从苏维埃政权产生的第一天开始，就对自然保护予以极大的注意。近年来苏共中央和苏联部长会议公布的旨在保护大自然的众所周知的决议，就是在有计划地发展社会主义国民经济条件下创造性处理环境保护问题的范例。在解决对环境状况影响最小的工业合理布局和研究无废物生产循环过程中苏维埃科学家和工程师为解决环境保护问题做出了宝贵的贡献。在社会主义社会条件下，环境问题的经济和技术方面都不会有社会制度上的矛盾，并能有利于社会主义友好国家人民的目标下得到综合的解决。

目前，对于某些有毒的，即对人、动物和植物有害的物质，已确定了它们在环境中（水和空气中）的最大容许浓度（ПДК）。通常，最大容许浓度远远超过自然客体中这些物质含量的自然水平，这个含量的自然水平我们采用已确定的术语——地球化学背景。

某种化学元素的含量与地球化学背景有重大的偏离时称为地球化学异常。根据自然客体的特征，宜将地球化学异常分为下列主要类型：岩石化学异常（各种类型的岩石中）、土壤异常（土壤中）、水化学异常（天然水中）、大气化学异常（空气中）、植物化学异常（植物中）、动物化学异常（动物肌体中）。后两种类型常常合

并为生物地球化学异常。

如果所研究的元素或物质在其中的含量超过地球化学背景，那末地球化学异常就是正值。自然客体中一种或数种化学元素（化合物）与地球化学背景比较有明显不足时，即形成负的地球化学异常。

根据其本身的起源，地球化学异常又分为自然地球化学异常和人为地球化学异常。后者的产生直接或间接地与人类活动有关。

用于表征人为异常的，尚有意义更狭窄的术语——技术成因地球化学异常，它是因工业和技术手段影响环境的一个或几个地球化学系统化学组成的改变而形成。

在大多数情况下，对生物圈有毒的或有害的元素和化合物的地球化学异常，无论是自然的还是人为的，它们的浓度水平均处于地球化学背景和最大容许浓度之间。同时，那些不断发展起来的人为地球化学异常的特点是，在时间上化学元素异常浓度增长较快。要监控这种异常的发展，只有在了解地球化学背景参数的条件下才能实现，这时，地球化学背景参数是评价所研究对象的组成偏离标准——地球化学背景的对比依据。

对每种化学元素或化合物的地球化学背景的数学描述可以借助元素统计业务进行。为此，首先要通过分布的统计规律计算出元素含量分布参数评价（在正态分布规律下）或者它们的对数评价（在对数正态分布规律下）。地球化学计算应用的分布统计参数是：算术平均含量 $\bar{x}$ 、选取的方差 S^2 和含量标准差（在正态分布规律下）或含量算术平均对数 $\lg \bar{x}$ 、选取的方差 $S^2_{\lg}$ 和含量对数标准差 $S_{\lg}$ （在对数正态分布规律下）。这些评价的计算顺序将在第五章叙述。数学统计方法在地球化学中的详细应用已被引入专门教程。正态（和对数正态）分布规律的重要作用在于，借助分布参数的评价能够计算出该统计总体内元素或化合物的最大含量。在分布参数评价体现地球化学背景的情况下，这个含量值乃是最高水平，在地球化学背景范围内，通过自然途径很少能达到这样

的高水平（最大背景含量）。超过最大背景的含量不属于背景总和，而应认为是异常含量。知道了最大背景含量便能轻易地揭示地球化学异常并评价其强度。测定最大背景含量的方法将在第五章中叙述。

地球化学异常强度的单位是污染系数 K_3 ，它是某种自然形成物中组分含量 c 与最大地球化学背景含量 $a_{\max}$ 之比，即 $K_3 = c/a_{\max}$ 。

K_3 的值小于或者等于 1，说明没有污染。正如本书将要指出的那样，大气圈、水圈和生物圈中人为地球化学异常的规模和强度要大大超过地球表面上任何自然作用所引起的地球化学异常所能达到的规模。同时，代表生物圈的生物在各种情况下都是形成异常的化学元素原子迁移途径上的最终客体（图 3）。生物死亡

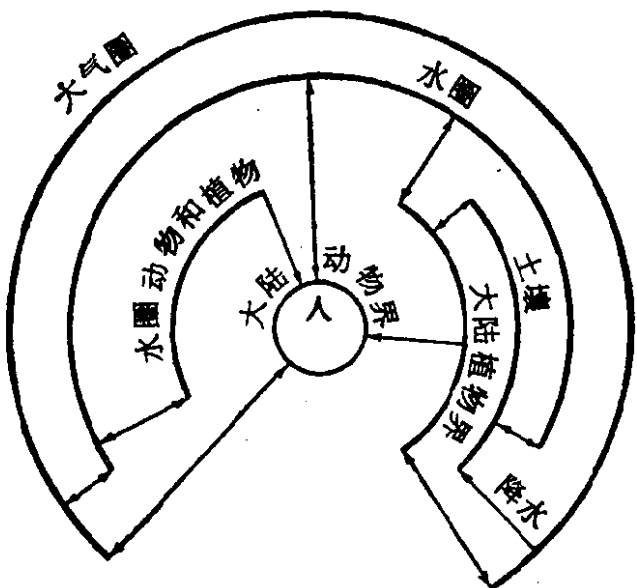
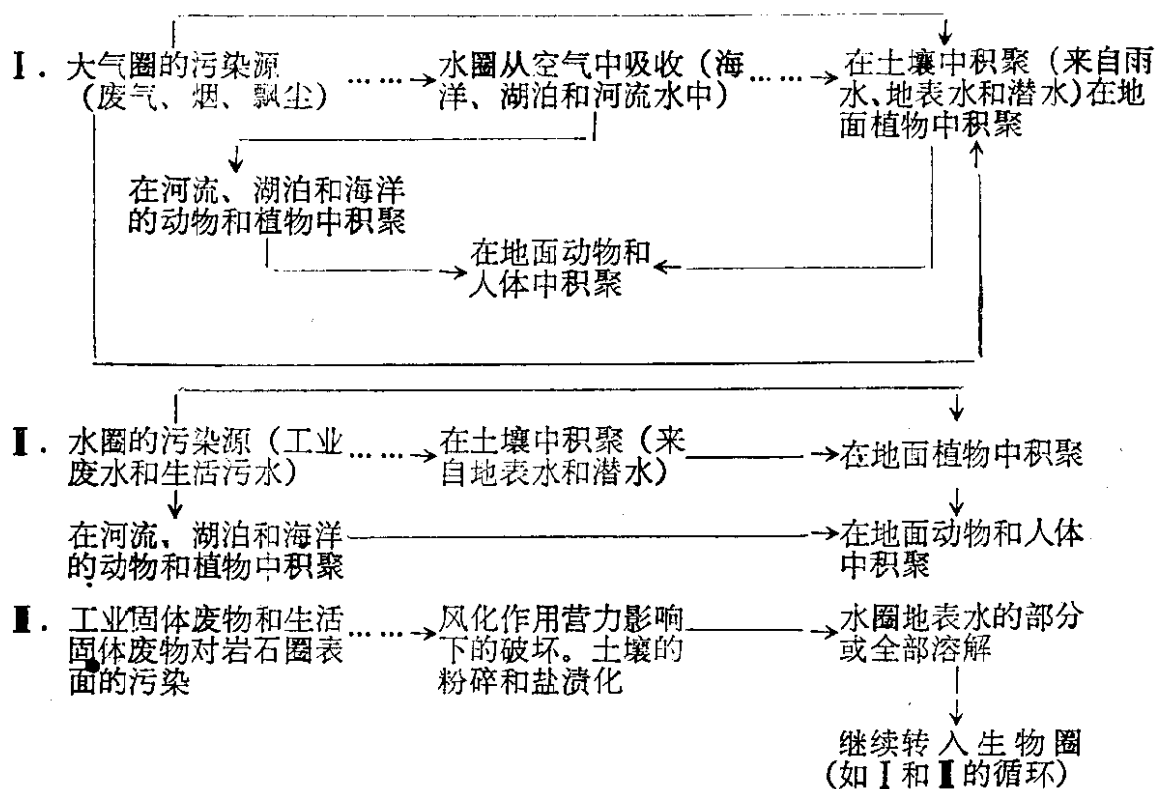


图 3 环境中化学元素污染物迁移的地球化学途径

以后，迁移循环以相反方向重新开始。只有了解大气圈、水圈和岩石圈中形成人为地球化学异常的途径和规律及其在时间和空间上的进化特点，才能揭开环境中化学组成变化与生物圈中不良生态变化之间的复杂关系。

下面用图解说明地壳不同地圈中人为地球化学异常形成的主要循环：



必须注意，人为地球化学异常在时间上是发展的，它与人类社会生产力和生产关系的发展密切相关。人为地球化学异常的规模正在不断扩大，在没有监控工业和生活废物污染环境的情况下已经达到严重危害生物圈的程度。与此同时，在社会主义社会条件下，保护大自然的态度是非常鲜明的，因而可以通过工艺性的专门措施预防新的人为地球化学异常在环境中出现，并使先前建立的生产和生活综合体现代化，以制止有害于生物圈的组分进入环境。在这种条件下，随着时间的推移，地球化学异常的程度将会逐渐降低。这一降低过程通常是由自然的地球化学平衡和生物平衡的完全恢复来完成的。

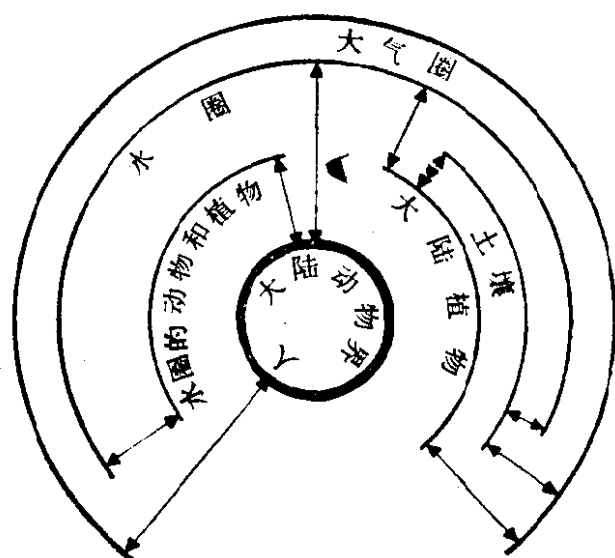
在研究上述人为地球化学异常形成的主要循环的同时还必须注意，大气圈人为污染具有极普遍的全球性意义（循环 I）。由于同污染了的大气圈相互作用，能使距污染源千余公里以外的地表水和海洋水改变自己的天然组成，降水可以把污染组分由空气带入土壤，植物可以将异常数量的化学元素从土壤中以及通过同大气的直接相互作用而聚积起来。由于地球大气圈对生物圈的发展

和存在具有特殊作用，大气圈化学成分的任何全球性变化（即使在初期阶段是极其微小的）都应受到特殊注意。对生物圈的作用占第二位的，无疑是海洋的污染。这种污染是由于污染的河川径流和工业废物与石油直接排入海洋的结果。地表水污染通常具有比较狭小的区域性意义。但是，河流将大量污染物搬运到世界各大洋，其经常搬入的组分，逐渐地引起全球性水圈污染。由于岩石圈表面积聚的废物造成的环境污染，规模并不大。但在这种情况下，这些废物同风化作用营力的相互作用决定着异常数量的一定化学组分进入土壤和水圈，并使它们参加地表的迁移循环。因此，不同规模 and 不同起源的人为地球化学异常之间具有密切的联系。

通常，生物圈的不良反应是大气圈、水圈和土被中稳定而强烈的地球化学异常发展的结果。在许多情况下，这种异常的形成可以直接或通过植物和动物对人的健康和生存条件产生严重的影响。因此，经常监测大气圈、水圈和岩石圈表面地球化学平衡是预防可能威胁生物圈正常发展的地球化学异常形成的必要条件。

目前，世界各国已在进行或者组织起这种监测，并已成为联合国环境规划署的专门注意对象。执行环境监测的专家，首先应该了解地壳表面各种形成物中化学元素分布的自然地球化学规律，同时也应掌握在大气圈、水圈条件中以及同这两地圈相连接的固体地壳部分化学元素迁移特点评价的地球化学原理。

第一章 岩石圈及其表面地球 化学迁移因素



岩石圈

岩石圈是地球的坚固外壳，在大陆和海底，它的厚度和组成极不相同。岩石圈与下面的上地幔以所谓莫霍洛维奇分界面（莫霍面）分开，在其界限内，地震波的传播速度发生重大的变化。这就可以断定，莫霍面以下的上地幔物质其密度比岩石圈的密度有明显增加。

因此，目前人类即使借助超深钻也不能直接研究头十公里以外的地球深处。所有关于地球深部带（其中包括岩石圈）的构造、性质和组成的推论，都是在全面解释地球物理资料，主要是地震资料的基础上形成的。例如，根据地震资料，在大陆岩石圈的8—15公里深处（平均约10公里）可划出康拉德分界面，该界面相对地将大陆岩石圈分为深部玄武岩层和地表花岗岩层。康拉德面以上为岩浆岩和变质岩，在这些岩石中，纵向地震波传播速

度在5.5—6.5公里/秒之间；再往下是更加致密的岩石，其纵向地震波传播速度为6.5—7.5公里/秒。通常地质文献中所采用的玄武岩层和花岗岩层名称是相对的，因为这两层的组成与玄武岩或者花岗岩的组成并不相符。与水圈和大气圈相接触的花岗岩层的平均厚度大约略大于10公里。由于岩石圈花岗岩层与地壳水圈和气圈之间的机械作用和化学作用，形成了岩石圈的第三层——各种沉积岩组成的沉积层。海底没有花岗岩层，其岩石圈只由单一的玄武岩层组成，平均厚度约5公里。地壳各圈层的主要特征列于表1。

表1 地壳各圈层的主要特征

圈 层	平均厚度 (公里)	体 积 (10^{21} 厘米 ³)	平均密度 (克/厘米 ³)	质 量 (10^{21} 克)
大气圈	—	—	—	5.0
水圈				
海洋	3.80	1320	1.03	1350
沉积间隙水	—	320	1.03	330
淡水湖泊和河流	—	0.126	1.00	0.126
冰和雪	—	29.2	0.917	26.8
沉积层*	1.80	800.0	2.5	2000
岩石圈（整体）*	20.0	10200	2.8	28560

* 据А.В.Ронов 和 А.А.Ярошевский^[247]

人类在生活和生产活动过程中，只与岩石圈的沉积层和花岗岩层接触。但是，地球表面上的火山活动、地震、陆地和海平面的长期升降作用与地球更深层（地壳下垫）内的各种作用有关，并且一定要影响人类社会的命运。

岩石圈下面的地球壳层叫做地幔。它占整个地球质量的67.8%。上地幔对地壳进化以及地壳中发生的构造过程具有极大的作用。它从莫霍面界一直延伸到约1000公里深处。在上地幔的60—200公里深处是所谓（地震波的）低速层。按地球物理学家和岩石学家的意见，它处于局部熔融的粘滞状态（见图1）。与该层性

质相关的有：地球表面的大陆位移(漂移)、海底断裂、造山作用、岩浆熔融体侵入地壳等等。所谓超基性岩即橄榄岩和纯橄榄岩是地壳中地幔最上部物质的代表。在大陆花岗岩层范围内，这类岩石的数量很少（占岩石圈质量的0.3%），在洋中脊的某些地段也有出露。

谈到岩石圈的组成，应该把大陆（包括大陆坡毗连地段）严格地区分为地球大陆壳（占岩石圈质量79%）和构成海洋的海洋壳（占岩石圈质量21%）。

表2所列是地壳表面各种不同类型岩石的比例。这些比例通常可以用来计算沉积层和花岗岩层平均组成，但对花岗岩层，应认为岩石数量的比例没有随深度而变化。

岩石的化学组成取决于构成岩石的主要矿物，即所谓造岩矿物的组成。岩石的次要矿物对岩石的化学组成影响不大，但在个别情况下却能决定某些杂质元素的分布。下面，我们将把这些杂质元

表2 地球大陆表面岩石的比例

层	岩	石	相对分布量 (%)
	岩	浆	岩
花 岗 岩 层	花岗岩类		34.0
	花岗闪长岩类		11.5
	石英闪长岩类		1.5
	闪长岩类		0.9
	辉长岩		4.8
	橄榄岩和纯橄榄岩类		0.2
	正长岩和霞石正长岩类		0.5
	变	质	岩
层	片麻岩类和结晶片岩类		39.1
	石英岩类和砂岩类		3.3
	大理岩类		0.4
	角闪岩类		0.8