

HUANJING  
ZHILIANG  
PINGJIA

顾敏芬 编著

# 环境质量评价

中国环境科学出版社

9.1.1

# 环境 质量 评价

邱桂芬 编著

中国环境科学出版社

1994

(京)新登字089号

## 内 容 简 介

本书把环境作为一个整体，从系统论的观点出发，认识环境，剖析环境。

作者根据多年来从事环境质量评价工作的体会，参阅国内外有关文献资料，系统地介绍了环境质量评价和影响评价的理论和方法。分别介绍了大气环境、河流水体、地下水环境、土壤环境及其它要素的环境质量评价和影响评价，详细列举了若干环境影响评价实例。既有普及性，又兼有一定的系统性和理论性。

本书适用于环境管理人员、从事环境质量评价和影响评价的科技人员以及大专院校环保专业的师生。

## 环 境 质 量 评 价

酆桂芬 编著

责任编辑 李静华

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1989年12月 第一版 开本 850×1168 1/32

1994年6月第三次印刷 印张 15 3/4 插页 3

印数9001—12000 字数 422千字

ISBN 7-80010-378-1/X·220

定价：18.50元

## 编者的话

环境质量评价是环境科学体系中一门基础性的学问与基础性  
的工作，它对合理地规划与利用资源，实现我国四个现代化建  
设，有着巨大的理论意义与实践意义，越来越受到各级政府和有  
关部门及科学界重视与支持。可以说，我国的环境保护工作从一  
开始就和环境质量评价工作紧密地联系在一起。我国的环境质量  
评价工作已走过了近20年的历程。70年代末期以前，主要以环境  
质量现状评价为主，它为污染治理提供依据。70年代末期以后，  
随着《中华人民共和国环境保护法（试行）》（1979年）和国家计  
划委员会、国家基本建设委员会、国家经济委员会、国务院环境  
保护办公室联合颁发的《基本建设项目环境管理办法》（1981年  
5月11日）的公布、执行，开发建设项目的环境影响评价工作在我  
国已形成制度，我国的环境质量评价工作也步入以影响评价为  
主的新阶段。

为了适应环境质量评价和影响评价工作普遍开展的需要，为  
环境管理和从事环境质量评价和影响评价的工作人员提供一本引  
路性的教材，也为了总结整理近20年来我国在环境质量评价和影  
响评价方面积累的丰富资料与经验，笔者根据几年来从事环境质  
量评价工作的亲身体会，并参阅了国内外有关环境质量评价和影  
响评价的文献资料，编写了本书。

笔者希望本书既有一定的普及性，又兼有一定的系统性和提  
高性。把环境作为一个整体，从系统论的观点出发来认识环境、  
剖析环境，介绍环境质量评价和影响评价的理论和方法。

本书适用于环境管理人员、从事环境质量评价和影响评价的  
科技人员、以及大专院校环保专业的师生。

限于笔者的水平，不足和错误之处，恳请读者批评指正。

◎ 编 者

1988年4月13日

# 目 录

## 第一篇 现状评价

第一章 总论 .....	( 1 )
第一节 前言 .....	( 1 )
第二节 环境和环境质量 .....	( 7 )
第三节 环境质量评价 .....	( 30 )
第四节 环境质量评价的原理及方法要点 .....	( 36 )
第二章 污染源调查与评价 .....	( 45 )
第一节 污染源 .....	( 45 )
第二节 污染源调查与评价 .....	( 49 )
第三节 污染源的控制 .....	( 65 )
第三章 大气环境质量现状评价 .....	( 69 )
第一节 大气污染监测评价 .....	( 69 )
第二节 大气环境质量现状评价的数学方法 .....	( 74 )
第三节 大气污染生物学评价 .....	( 83 )
第四节 大气污染的环境卫生学评价 .....	( 93 )
第四章 河流水体环境质量现状评价 .....	( 96 )
第一节 河流水体环境质量监测评价 .....	( 96 )
第二节 水环境质量监测评价的数学方法 .....	( 101 )
第三节 河流水体质量的生物学评价 .....	( 116 )
第五章 地下水环境质量评价 .....	( 124 )
第一节 地下水环境质量评价的目的、原则和精度要求 .....	( 124 )
第二节 地下水质量评价的内容与程序 .....	( 126 )
第三节 地下水质量现状评价 .....	( 133 )
第六章 土壤环境质量评价 .....	( 137 )
第一节 土壤环境的特点及土壤环境质量评价的原则与程序 .....	( 137 )
第二节 土壤环境质量现状评价 .....	( 143 )

第七章	城市环境质量评价 .....	(150)
第一节	城市环境的特点 .....	(150)
第二节	城市环境质量评价 .....	(157)
第三节	城市环境美学质量评价 .....	(170)
第八章	区域环境质量评价 .....	(179)
第一节	区域环境与区域环境质量 .....	(179)
第二节	区域环境质量综合分析与程序与方法 .....	(180)

## 第二篇 影响评价

第九章	环境影响评价总论 .....	(199)
第一节	概述 .....	(199)
第二节	环境影响评价的内容与程序 .....	(206)
第三节	环境影响评价工程的组织与实施 .....	(214)
第四节	环境影响报告书的编写 .....	(216)
第十章	开发活动的影响分析和影响预测 .....	(221)
第一节	开发活动的影响分析 .....	(221)
第二节	影响的预测 .....	(233)
第十一章	环境影响评价方法 .....	(254)
第一节	国外环境影响评价方法 .....	(254)
第二节	国内环境影响评价方法 .....	(283)
第十二章	大气环境影响评价 .....	(291)
第一节	大气环境影响评价的工作程序与内容 .....	(291)
第二节	大气扩散与大气环境影响评价 .....	(299)
第三节	浓度预测模式 .....	(339)
第十三章	地面水环境影响评价 .....	(344)
第一节	地面水环境影响评价工作的内容与步骤 .....	(345)
第二节	地面水环境影响分析 .....	(348)
第三节	水质预测方法 .....	(353)
第四节	水扩散和水质模型 .....	(357)
第五节	关于水扩散、水模式的具体应用 .....	(374)
第六节	地面水环境影响评价 .....	(382)
第十四章	地下水环境影响评价 .....	(385)
第一节	人类生产活动(工程项目)对地下水环境的影响分析 .....	(385)

第二节	地下水环境影响评价工作内容与步骤 .....	(391)
第三节	地下水环境影响预测方法 .....	(394)
第四节	地下水环境影响预测结果的评价 .....	(400)
第十五章	土壤环境影响评价 .....	(402)
第一节	概述 .....	(402)
第二节	土壤环境影响评价工作的内容与程序 .....	(403)
第三节	土壤环境影响的研究方法 .....	(407)
第四节	预测模型 .....	(414)
第十六章	其它要素的环境影响评价和问题讨论 .....	(419)
第一节	生物环境影响评价 .....	(419)
第二节	社会-经济环境影响评价 .....	(425)
第三节	建设项目的环境影响经济损益分析 .....	(427)
第四节	问题讨论 .....	(436)
第十七章	环境影响评价实例介绍 .....	(447)
实例一	委内瑞拉卡罗尼河流域开发的环境影响评价 .....	(447)
实例二	澳大利亚 Duchess/Ardome 磷矿开发环境影响报告 .....	(448)
实例三	兰州第二热电厂大气环境影响评价 .....	(449)
实例四	南水北调对自然环境的影响分析 .....	(451)
实例五	永平铜矿开发环境影响评价 .....	(453)
实例六	淮南潘谢矿区开发的环境影响评价 .....	(468)
实例七	滨海油田环境影响评价 .....	(473)
实例八	简单相互作用矩阵法和网络法的应用实例： 马来西亚巴生港环境影响评价研究 .....	(487)

# 第一篇 现状评价

## 第一章 总 论

### 第一节 前 言

#### 一、环境问题的出现与环境质量评价工作的兴起

一般认为,地球已经有将近45亿年的生命史了。地球和太阳系的其它行星一样,是由气体尘埃凝聚而成的。当地球以固态形式出现以后,原始地球内部的大量气体喷出,形成了由氢气( $H_2$ )、甲烷( $CH_4$ )、氨( $NH_3$ )、氮气( $N_2$ )、一氧化碳( $CO$ )、二氧化碳( $CO_2$ )、硫化氢( $H_2S$ )等气体组成的原始大气。原始地球上的地表水很少,仅为现在地表水量的1/10。原始地球上的 $CH_4$ 、 $NH_3$ 、 $H_2O$ 、 $H_2S$ 等化合物,在太阳能和宇宙射线的共同作用下,在还原性的地表环境中,发生多种有机物的合成,导致了原始海洋中最简单生命的出现。大约30亿年前,形成了原始海洋中最初的异养生物,随后经10亿年的进化,才出现了原始的植物——蓝藻。这些原始的藻类植物,在水中进行光合作用,放出氧气,从而使原始的大气逐渐由还原态转化为以 $N_2$ 、 $O_2$ 为主的氧化态,为陆生动植物的产生奠定了基础。大约4亿年前,海洋中的动植物开始向陆地转移,尔后大陆植物经历了蕨类—裸子—被子三个漫长的进化过程;与此同时,大陆动物则经历了两栖类—爬行类—鸟类—哺乳类漫长的进化阶段。至此,太阳、温度、大



气、水、动植物及岩石、土壤等环境因子，在一定的时空内，相互作用，相互制约，结合成为一个统一的整体。这个整体，就是人类出现以前的原始环境。

大约200万年以前，地球上出现了人类。从此，太阳、温度、大气、水、动植物及岩石、土壤等构成了人类生存与发展的自然环境，人与环境形成了对立统一的辩证关系。自然环境的变迁和演化决定了人类机体的化学组成与生理机能。而人类的出现又开始了自然的统治，那经过改造了的环境又反过来影响人类……，如此反复无穷。人类与环境既相互依存，又相互制约，在这种无穷的矛盾运动中同时取得进化与发展。

在人类社会的早期，即原始社会、奴隶社会和封建社会时期，人和自然的斗争主要是凭体力，是一种分散的个体劳动形式，对自然的干预、改造能力小，环境问题不十分突出。但到了封建社会的鼎盛时期也出现了一些环境问题。如意大利人对阿尔卑斯山坡上森林的砍伐，不仅摧毁了他们区域里的高山畜牧业的基础，而且造成水土流失，山泉干枯，洪水泛滥；小亚细亚底格里斯河、幼发拉底河流域美索不达米亚平原的过度垦殖，最后竟成为不毛之地的一片沙漠……，这些，都是人类不合理利用自然资源而造成的环境问题。

18世纪末期，瓦特发明蒸汽机之后，标志着产业革命的开始。从此，蒸汽机成为主要动力，煤成为主要燃料。由于大量用煤，首先在产业革命的故乡——英国伦敦陆续发生了一系列的煤烟型大气污染事件。伦敦市在1873、1880、1882、1891和1892年先后发生了多次严重的煤烟污染事件。最严重的是1952年12月5～8日的伦敦烟雾事件，几天内死了四千多人。

煤的大量开发利用促成了煤化工的兴起，化工工业的大量废水又污染了水体，环境污染从大气扩展到水域。内燃机的发明，石油的开采利用，使石油成为仅次于煤的第二大能源，由此出现了第二代大气污染——光化学烟雾污染。1942年首先出现在美国洛杉矶，现在日本、中国等均有发生。石油的开发利用促成了石

油化工的兴起，并由此产生一系列的气和水的污染事件。化学工业中的有机合成使化肥和农药首次出现，并大量用于农牧业，造成农田、土地和水域的污染。有色冶炼使大气、水体、土壤、生物和人体都受到重金属的污染和伤害，出现大面积综合性的环境问题。

随着科学技术水平的提高，工农业的发展，环境污染从单要素到多要素，从单一污染物到多种污染物，从点到面，从简单环境问题到综合环境问题。由环境污染进而影响到资源的质和量，影响到生态系统的生产力，影响到人类的生存。为了解决迫在眉睫的环境问题，治理被污染了的环境，环境科学便应运而生。

为了治理、改善被污染了的环境，首先就有一个全面正确地认识环境的问题。为了在研究、认识环境的过程中有共同的语言、方法、指标，环境质量、环境质量评价便提上了日程。在60年代中到60年代末期，环境科学和环境保护工作体现了以治为主的方针，这时的环境质量评价工作则以现状评价为主。60年代末，开始进入了防治结合、以防为主的综合防治阶段。美国于1969年首先提出了环境影响评价制度，以后，世界各国也陆续效法。目前，环境质量评价工作主要是开发建设项目的环境影响评价，以预断评价为主。

## 二、环境质量评价的目的和意义

环境质量评价是环境科学体系中一门基础性的学问与工作，是环境科学的一项重要研究课题。它主要研究环境各组成要素及其整体的组成、性质及变化规律，以及对人类生产、生活及生存的影响，其目的是为了保护、控制、利用、改造环境质量，使之与人类的生存和发展相适应。环境质量评价可分为广义与狭义两种，广义的环境质量评价包括自然环境与社会环境质量的评价，狭义的环境质量评价则仅指污染环境的质量评价。

环境质量评价研究，不仅是开展区域环境综合治理、进行环境区域规划的基础，而且对于搞好环境管理、制定环境对策，具

有重要的指导意义。

环境质量评价除了建立评价要素的等级序列，提供环境要素的质量分级、分区的特征和描述外，它还将积极参与以下诸问题的研究与解决：

- (1) 环境标准的制定；
- (2) 自然与社会经济系统的相互作用及其历史发展；
- (3) 提供合理利用自然条件与自然资源的科学依据；
- (4) 自然-工业科学系统的管理原则与整个环境系统利用过程中的生态平衡问题；
- (5) 环境最优化控制；研究利用有限资源满足社会需要的原则以及保护环境高质量的途径；
- (6) 人类—生产—自然系统的正向与负向评价以及人类对环境影响的经济、社会与生态效应的评价；
- (7) 土壤水侵蚀、风侵蚀，土壤改良措施、施用农药、化肥等对环境的影响的评价；
- (8) 环境预测与环境规划。

正因为环境质量评价涉及到以上诸问题的研究与解决，所以，70年代以来，国外环境质量研究工作发展十分迅速，已成为环境科学研究中的“热门”。

### 三、国内外环境质量评价工作简介

早在60年代，我国科学工作者就开展了克山病地区水、土、粮食中微量元素与病因相关的研究，作出了包括气象、地貌、植被、土壤四因素的自然环境质量模型图。

自从1972年我国在联合国人类环境会议上提出了“全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手、保护环境、造福人民”的环境保护方针之后，环境质量评价研究便在我国陆续开展起来。我国的环境质量评价工作大体上经历了如下四个阶段：

① 初步尝试阶段(1972~1976年):这一阶段从官厅水库水质调查工作开始到成都区域环境会议为止,是对环境质量评价工作的初步尝试,初步探讨了水环境质量的评价方法及指数表达。

② 广泛探索阶段(1977~1979年):这一阶段从成都区域环境会议开始到南京区域环境学术讨论会为止。在这一阶段,广大环保工作者对环境质量评价的理论和方法进行了广泛的探索,评价工作实践也从水体扩展到大气、土壤、人群,直至整个区域环境。这一阶段比较重要的工作有北京西郊环境质量评价、南京市环境质量评价等。

③ 全面发展阶段(1979~1981年):这一阶段从南京区域环境学术讨论会开始到第一次全国环境质量评价学术讨论会为止。这一时期,环境质量评价工作在全国各城市普遍展开,“沈阳市环境质量评价和污染综合防治途径研究”作为国家重点课题通过了鉴定。这一时期环境质量评价已不仅仅限于污染环境,还涉及到了美学环境、社会环境等。这一时期环境质量评价工作的特点是:

(1) 由环境单要素评价发展到区域环境综合评价;

(2) 由环境现状评价发展到环境影响评价;

(3) 由污染环境评价发展到自然和社会相结合的全环境评价;

(4) 由城市环境质量评价,逐步发展到水体环境、农田生态环境、海域环境、风景旅游环境、居住区生活环境、工业区生产环境等多领域的环境质量评价;

(5) 在评价理论和方法上,已经不局限于环境监测数据的指数评价,还进行了主客观相结合的生物学评价、卫生学评价、美学评价等广泛的探索,提出了“污染度”,应用热力学中“熵”的概念分析环境变异,以干燥度和化学平衡理论指导环境区划。

所有这些,标志着我国环境质量评价研究进入了新阶段,达到了新水平。

④ 环境影响评价阶段:自从1979年中华人民共和国环境保

护法（试行）颁布以来，开发建设项目的环境影响评价在我国已制度化。由国家经委、计委、建委和国务院环办联合发布的〔81〕国环字12号文《基本建设项目环境保护管理办法的通知》，进一步强调了建设项目的环境影响评价工作。从此，环境影响评价工作便在我国普遍地开展起来，标志着我国环境质量评价工作从现状评价转入了影响评价阶段。1986年3月在河北省石家庄市召开了第二次全国环境质量评价学术讨论会，这是一次以开发建设项目的环境影响评价为主题的学术讨论会。这次会议分环境管理、综合评价、大气评价和水质评价等四个专题小组进行了广泛的交流和讨论，并就一些共同关心的主要问题，如区域环境影响评价与区域规划、环境评价中的生态学研究、乡镇企业的环境评价等，进行了认真地讨论，并提出了环境影响评价中的生态学评价、风险性评价。会议表明，几年来在评价理论、评价内容、评价的指标体系、预测评价方法以及所应用的手段上，均有新的发展和突破。

国外自70年代初开始环境质量研究工作发展比较快，已成为环境科学研究工作中的“热门”之一。如美国在1977~1981年环境科研规划中多次提出环境质量评价的研究。目前，美国、加拿大等对环境质量的衡量都提出用环境指数来表示。还召开了一些专门会议，专题讨论环境质量评价问题。如1971年在菲列德菲亚由美国科协主持召开了“环境质量指示物”讨论会，1974年国际科学联合会——环境问题科学委员会在加拿大召开了环境质量会议，会后出版了专著。当前，东欧、苏联环境质量研究的重点与主攻课题是：

（1）综合研究人类活动及其后果对自然环境的影响、相互作用关系，包括正向（有利）与负向（不利）效应；

（2）研究自然、经济以及社会系统与亚系统对人类经济活动的反应机制；

（3）研究由人类经济活动所造成的经济损失的数量评价，包括传统损失要素与直到目前尚未列入评价范畴的补充要素；

(4) 研究人类对环境影响的综合评价方法问题;

(5) 城市环境的最优化控制问题。

70年代以来, 国外的环境质量评价工作主要集中在影响评价方面, 大量有关的教科书、工作手册和评价指南接连问世, 目前, 专门论述环境影响的教科书已达70多种。

## 第二节 环境和环境质量

### 一、环 境

#### (一) 环境的概念

在中国古书中, 环境一词始见于《元史·余阙传》:“环境筑堡寨, 选精甲外捍, 而耕稼于中。”其原意为环绕所辖的区域。环者绕、回绕, 境者疆, 疆土。所以, “环境”应该泛指某一主体周围的地域、空间、介质。当今环境科学领域里, 把环境理解为人类赖以生存的环境是比较一致的, 但在主体与客体的范围方面, 仍然存在分歧。在主体的范围上, 一种是扩大的作法, 即由“人”扩展到“生物体”; 另一种是把“人”也理解为环境的一部分。在客体的范围上, 一种是只包括自然界; 第二种是只涉及“三废”排放的所谓污染活动; 还有一种更是扩大到整个宇宙。因而在环境的定义上, 有以下一些提法:

①环境就是指生物体外的一切无生命物质。

②环境是指人类生存活动的地球圈层——大气圈、水圈、生物圈及岩石圈的上部(土壤)。

③环境分作体内环境、直接环境(空气、水、食物等组成)、一般环境(地球整体乃至宇宙)。

④环境指的是环绕于人类周围的所有社会因素、生物因素、化学因素和物理因素的总和。

自1972年斯德哥尔摩人类环境会议和1974年联合国环境规划

理事会之后，环境的概念逐步得到了统一。目前比较一致的看法是：环境是指围绕着人群的空间及其中可以直接、间接影响人类生活和发展的各种自然因素和社会因素的总体。其中自然因素的总体称为自然环境，社会因素的总体称为社会环境。

目前，把自然环境认为是“以大气、水、土壤、地形、地质等的一次构成要素为基础，并把植物、动物、微生物等生物作为二次构成要素的系统的总体。”（系贺黎，1984）。社会环境是人类在利用和改造自然环境中创造出来的人工环境和人类在生产活动中所形成的人与人之间的关系的总体。它包括各种人工构筑物和经济、政治、文化等要素。

## （二）地球环境

地球是人类活动的大舞台，它提供了环境的一次构成要素，在讨论地球环境质量及其演变之前，首先必须对地球环境有个全面的了解。

人类赖以生存的地球环境由地壳（岩石圈）及其外部圈层——气圈、水圈和生物圈组成。兹分述如下：

### 1. 岩石圈

岩石圈，也称地壳。它由各种岩石及其风化产物——土壤构成。其范围包括大陆表面及洋底以下16公里的深处。但是不同的地域，其厚度有显著差异。大陆地壳厚度平均40公里，而太平洋地区地壳厚度仅5~6公里。岩石圈的物质组成也是极不均匀的。岩石圈中储存着人类所需的绝大多数矿产资源，同时岩石圈又是万物生息的基础。构成生命物质的化学成分，除氢、氧、氮、碳可以从空气或水中获得外，其余都来源于岩石圈。元素在岩石圈及土壤中的丰度<sup>①</sup>如表1-1。

---

<sup>①</sup> 丰度，源于法兰西和盎格鲁-萨克逊的科学术语“Abundance”，亦称分布度（Распространенность）。系指元素在宇宙个别体系中的含量。通常以元素的重量比率或以硅原子为 $10^6$ 的原子比表之。元素丰度是研究环境质量的基本参数。

表1-1 化学元素在地球环境中的丰度 (重量ppm)

Z	元素	岩石圈	土壤	生命物质	植物 (灰中)	洋水
1	H			$1.05 \times 10^5$		
2	He					$(5 \times 10^{-6})$
3	Li	$3.2 \times 10$	$8 \times 10$	$1 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10$	$1.5 \times 10^{-1}$
4	Be	3.8	6	痕	2	$6 \times 10^{-7}$
5	B	$1.2 \times 10$	$1 \times 10$	$1 \times 10$	$4 \times 10^2$	4.6
6	C	$2.3 \times 10^2$		$1.8 \times 10^3$		$(2.8 \times 10)$
7	N	$1.9 \times 10$		$8 \times 10^4$		$(5 \times 10^{-1})$
8	O	$4.7 \times 10^3$		$7 \times 10^5$		
9	F	$6.6 \times 10^2$	$2 \times 10^2$	5	$1 \times 10$	1-3
10	Ne					$(1 \times 10^{-4})$
11	Na	$2.5 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$2 \times 10^4$	$1.035 \times 10^4$
12	Mg	$1.87 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$4 \times 10^4$	$7 \times 10^6$	$1.297 \times 10^6$
13	Al	$8.05 \times 10^4$	$7.13 \times 10^4$	$5 \times 10$	$1.4 \times 10^4$	$1 \times 10^{-2}$
14	Si	$2.9 \times 10^3$	$3.3 \times 10^5$	$2 \times 10^3$	$1.5 \times 10^5$	3
15	P	$9.3 \times 10^2$	$8 \times 10^2$	$7 \times 10^2$	$7 \times 10^4$	$7 \times 10^{-2}$
16	S	$4.7 \times 10^2$	$8.5 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$5 \times 10^4$	$8.9 \times 10^2$
17	Cl	$1.7 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$1.935 \times 10^4$
18	Ar					$(6 \times 10^{-1})$
19	K	$2.5 \times 10^4$	$1.36 \times 10^4$	$3 \times 10^3$	$3 \times 10^4$	$3.875 \times 10^4$
20	Ca	$2.96 \times 10^4$	$1.37 \times 10^4$	$5 \times 10^2$	$8 \times 10^4$	$4.08 \times 10^2$
21	Sc	$1 \times 10$		痕		$4 \times 10^{-3}$
22	Ti	$4.5 \times 10$	$4.6 \times 10^3$	8	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^{-3}$
23	V	$9 \times 10$	$1 \times 10^2$	n	$6.1 \times 10$	$8 \times 10^{-2}$
24	Cr	$8.3 \times 10$	$2 \times 10^3$	n	$2.5 \times 10^2$	$2 \times 10^{-2}$
25	Mn	$1 \times 10^2$	$8.5 \times 10^2$	$1 \times 10$	$7.5 \times 10^3$	$2 \times 10^{-2}$
26	Fe	$4.65 \times 10^4$	$3.8 \times 10^4$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^{-2}$
27	Co	$1.8 \times 10$	$1 \times 10$	$2 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10$	$5 \times 10^{-4}$
28	Ni	$5.8 \times 10$	$4 \times 10$	$5 \times 10^{-1}$	$5 \times 10$	$2 \times 10^{-3}$
29	Cu	$4.7 \times 10$	$2 \times 10$	2	$2 \times 10^2$	$8 \times 10^{-3}$
30	Zn	$8.3 \times 10$	$5 \times 10$	5	$9 \times 10^2$	$1 \times 10^{-2}$
31	Ga	$1.9 \times 10$		痕		$3 \times 10^{-5}$
32	Ge	1.4		1		$6 \times 10^{-6}$
33	As	1.7	5	$8 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-3}$
34	Se	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$	$< 1 \times 10^{-2}$		$1 \times 10^{-4}$
35	Br	2.1	5	1.5	$1.5 \times 10^2$	$6.6 \times 10$



续表

Z	元素	岩石圈	土壤	生命物质	植物(灰中)	洋水
36	Kr					$(8 \times 10^{-4})$
37	Rb	$1.5 \times 10^2$	$6 \times 10$	5	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^{-1}$
38	Sr	$3.4 \times 10^2$	$8 \times 10^2$	$2 \times 10$	$8 \times 10^2$	8
39	Y	$2.9 \times 10$		痕		$8 \times 10^{-2}$
40	Zr	$1.7 \times 10^2$	$8 \times 10^2$	痕		$5 \times 10^{-2}$
41	Nb	$2 \times 10$				$1 \times 10^{-2}$
42	Mo	1.1	2	$1 \times 10^{-1}$	$2 \times 10$	$1 \times 10^{-2}$
43	Tc					
44	Ru					
45	Rh					
46	Pd	$1.3 \times 10^{-1}$				
47	Ag	$7 \times 10^{-2}$	$(1 \times 10^{-1})$	痕	1	$8 \times 10^{-4}$
48	Cd	$1.3 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	痕	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$
49	In	$2.5 \times 10^{-2}$				$(1 \times 10^{-5})$
50	Sn	2.5	$1 \times 10$	$(5 \times 10^{-1})$	5	$8 \times 10^{-2}$
51	Sb	$5 \times 10^{-1}$		痕		$5 \times 10^{-4}$
52	Te	$1 \times 10^{-2}$		痕		
53	I	$4 \times 10^{-1}$	5	$(1 \times 10^{-1})$	$5 \times 10$	$5 \times 10^{-2}$
54	Xe					
55	Cs	3.7	5	$1 \times 10^{-1}$	n	$3.7 \times 10^{-4}$
56	Ba	$6.5 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$8 \times 10$	$n \times 10^2$	$2 \times 10^{-1}$
57	La	$2.9 \times 10$				$2.9 \times 10^{-2}$
58	Ce	$7 \times 10$				$1.3 \times 10^{-2}$
59	Pr	9				$6 \times 10^{-7}$
60	Nd	$3.7 \times 10$				$2.3 \times 10^{-7}$
61	Pm					
62	Sm	8				$4.2 \times 10^{-7}$
63	Eu	1.3				$1.1 \times 10^{-6}$
64	Gd	8				$6 \times 10^{-7}$
65	Tb	4.3				
66	Dy	5				$7.3 \times 10^{-7}$
67	Ho	1.7				$2.2 \times 10^{-7}$
68	Er	3.3				$6 \times 10^{-7}$
69	Tm	$2.7 \times 10^{-1}$				$1 \times 10^{-7}$
70	Yb	$3.3 \times 10^{-1}$				$5 \times 10^{-7}$