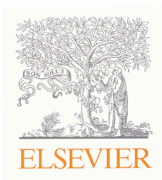


# 重元素

——化学、环境影响与健康效应

〔英〕J. E. 福格逊 著  
陈履安 译  
杨涛毅 校



科学出版社

# 重 元 素

——化学、环境影响与健康效应

〔英〕J. E. 福格逊 著

陈履安 译

杨涛毅 校

本书由贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目  
(黔地矿科合〔2017〕40号)资助出版

科 学 出 版 社

北 京

图字:01-2018-4860号

## 内 容 简 介

本书从环境科学的视角阐述了铅、汞、镉、砷、锑、铋、硒、碲、铟、铊(Pb、Hg、Cd、As、Sb、Bi、Se、Te、In、Tl)10种重元素的化学性质,它们的环境地球化学行为,它们在地球不同圈层、水、大气、沉积物、土壤、植物和人体中的分布及其生物地球化学循环,它们的来源、生产、用途和污染途径,以及它们对环境的影响和在环境中的甲基化作用;并且介绍了这些元素对人体的毒性效应,特别是铅的神经毒性效应及其研究方法。本书以翔实的资料,从理论到实际,将这10种元素的化学、地学、环境、生物和健康效应等有机地结合起来,阐明了这些元素的无机、有机、生物、环境化学及其对生态环境和人类的影响。

本书可供环境化学、环境地学、环境地质、环境质量评价,大气、水和土壤污染防治,以及微量元素与健康等领域的研究人员、工程技术人员学习和参考,尤其适合相关专业的本科生、研究生学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

重元素——化学、环境影响与健康效应/(英)J. E. 福格逊(J. E. Ferguson)著;陈履安译. —北京:科学出版社,2019. 8

书名原文: The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects

ISBN 978-7-03-059420-4

I. ①重… II. ①J. … ②陈… III. ①环境地球化学 ②化学元素-关系-健康 IV. ①X142 ②R151. 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第253701号

责任编辑:周巧龙 孙 曼 / 责任校对:杜子昂

责任印制:吴兆东 / 封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年8月第一版 开本:787×1092

2019年8月第一次印刷 印张:33 1/2

字数:771 000

定价:180.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects

Copyright © 1990 Jack E. Fergusson. ISBN: 978-0-08-040275-8.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means; electronic, electrostatic, magnetic tape, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without permission in writing from the publishers.

This edition of *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects* by Jack E. Fergusson is published by arrangement with Elsevier Ltd. of the Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK.

本书英文版 *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*, 第一版, 编者 Jack E. Fergusson, 由 Elsevier Ltd 出版, 地址: The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, 英国。

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Elsevier Ltd and China Science Publishing & Media Ltd.

Copyright © 2018 Elsevier Ltd and China Science Publishing & Media Ltd. All rights reserved.

This simplified Chinese translation edition is published by China Science Publishing & Media Ltd under arrangement with Elsevier Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier Ltd 授权中国科技出版传媒股份有限公司出版。该版本仅限在中国销售(中国港澳台地区不在此列)。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

#### 注 意

本译本由中国科技出版传媒股份有限公司独自负责完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。在法律允许的最大范围内, 爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任, 也不对由于使用文中提到的方法、产品、说明、思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

## 译者的话

随着科学技术的突飞猛进和生产力的高速发展,生态环境问题日趋严峻。由于人类现代化的大生产活动和高消费的生活活动,在地下深层沉睡亿万年的矿床中的重金属元素(以下简称重元素),在短时间内以大大高于自然排放的速度和数量,排放并污染着人类生存的环境空间,包括水体(江河湖海)、土壤和大气。特别是该书重点讨论的铅、汞、镉、砷等有毒有害的重元素,它们的污染已经造成,并且还在继续对环境造成影响,危害人类健康,甚至酿成震惊世界的、群体性爆发事件。例如,由汞污染引起的水俣病和由镉污染引起的痛痛病。据该书提供的科学估算,镉的人为排放量( $5.5 \times 10^6 \text{ kg/a}$ )为其天然排放量( $0.3 \times 10^6 \text{ kg/a}$ )的 18 倍;大气圈中铅的人为排放量( $400 \times 10^6 \sim 500 \times 10^6 \text{ kg/a}$ )为其自然排放量( $2 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6 \text{ kg/a}$ )的 75~200 倍。至于局部的环境污染,其污染物浓度更是自然环境背景值的十倍、百倍、千倍,甚至万倍。这些元素的急性中毒事件时有发生,慢性危害普遍存在,特别是对儿童的潜在健康危害更大。有些危害(如大气中的铅污染)甚至每个人都不能幸免。我们必须高度警觉,未雨绸缪,防止它们的积累,避免“环境定时炸弹”的爆炸!

在我国,随着经济社会的高速发展,重元素污染环境的问题十分突出。特别是在老少边穷地区,曾经出现过“有水快流”式的矿产资源的无序开发、粗放开发,重元素矿产开发如雨后春笋。由于资金匮乏、管理缺失、技术落后、利用单一、回收率低,甚至进行急功近利的、劫掠式的开采,不顾后果的污染和排放,重元素污染和危害的问题普遍而严重。例如,从 20 世纪 70 年代延续至 90 年代的贵州西北部土锌开发,遗存的废锌渣遍布高原的山间沟谷,其重元素污染问题不可忽视;贵州西部和西南部含量丰富的锑、金被大规模地粗放开发,遗留的重金属污染问题也很严重;等等。研究表明,贵州省废弃矿山环境重金属(As、Cd、Hg、Pb、Tl)对大气、水体、土壤、生物等均存在不同程度的污染。例如,黔西北土法炼锌矿区土壤重金属 Pb 的含量为 128.72~941.75mg/kg, Cd 的含量为 3.47~18.32mg/kg, As 的含量为 13.73~39.32mg/kg,大大超过了土壤背景值,对农作物和人体健康造成危害。因此,增强对重元素污染危害的认识,加强对重元素的环境化学、环境影响和健康效应的研究、评价、诊断、防治等,已经成为十分紧迫而又长期存在的重要课题。

2015 年 10 月召开的中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议把“绿色发展”作为五大发展理念之一,国家和各省区市的“十三五”规划把生态环保、污染治理放在了空前的高度。2013 年 9 月以来,国务院先后发布了《大气污染防治行动计划》《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》。污染防治已经成为我国全面建成小康社会决胜时期的三大攻坚战之一。

科学认识重元素对生态环境和人体健康的影响,是开展重金属污染防治工作的基

础。著名环境化学家 J. E. 福格逊所著《重元素——化学、环境影响与健康效应》一书,集 Pb、Hg、Cd、As、Sb、Bi、Se、Te、In、Tl 10 种重元素环境化学、环境影响与健康效应研究之大成,为重元素的环境问题研究既提供了系统的科学依据,又介绍了实用有效的研究、分析、评价方法,还提供了大量当时最新的各类自然客体的重元素背景资料与研究现状的资料目录,是研究、防治重元素对生态环境和人类健康影响的极好的学习和参考资料。

陈履安  
2018年8月

## 前 言

本书旨在对重元素(与其有关的化学性质、对环境的影响和健康效应)给予全面的、概括性的介绍。这特殊的一组共 10 种元素是周期表中 p-区元素的较重成员。它们都具有若干特性,并具有周期性的倾向。因此,把它们合在一起,作为紧密联系的一类来研究是很合适的。

显然,要了解这些元素对环境和健康的影响,必须更多地了解它们的化学特性。遗憾的是,这方面的内容被很多人认为太复杂或者不是很重要,在许多学术讨论中往往避而不谈。另外,还要通过其他学科的训练,才能达到更深刻的理解。不过,在研究、协作和教学中,已经取得了显著的重大进展。重元素对环境和健康影响的总体课题研究方兴未艾。我希望本书能激励一些学生在重元素方面做更进一步的研究。

本书分成四部分。第一部分是关于选择这些元素的准则、它们的发现和应用历史的简短介绍;第二部分是与本书基本内容有关的化学问题;第三部分对这些元素的环境影响做了评述,包括它们在环境中的浓度、来源和化学行为;第四部分简略介绍了重元素的健康效应。

我非常感谢我的同事和学生,他们参与了许多有益的讨论。最后对我的妻子贝维莱(Beverley)的耐心帮助表示感谢,在写作的几个月里,她经常在计算机屏幕前帮我校对。

J. E. 福格逊

# 目 录

译者的话  
前言

## 第一部分 导论和历史

第 1 章 导论和历史 ..... 3

## 第二部分 化 学

第 2 章 提取与应用 ..... 11  
第 3 章 化学 ..... 27  
第 4 章 分析 ..... 68

## 第三部分 环境中的重元素

第 5 章 重元素的生物地球化学循环 ..... 121  
第 6 章 重元素的自然浓度 ..... 141  
第 7 章 大气中的重元素 ..... 169  
第 8 章 水和沉积物中的重元素 ..... 205  
第 9 章 土壤中的重元素 ..... 277  
第 10 章 植物中的重元素 ..... 319  
第 11 章 重元素的外在来源 ..... 344  
第 12 章 重元素的甲基化合物 ..... 365

## 第四部分 人体中的重元素

第 13 章 人体中的重元素 ..... 395  
第 14 章 人体对重元素的摄取 ..... 448  
第 15 章 重元素对人体的毒性 ..... 467  
第 16 章 铅的神经毒性 ..... 498  
译者后记 ..... 523

# 第一部分

## 导论和历史



已经对这 10 种元素的生物地球化学循环的干扰强度做出了评估<sup>[2]①</sup>。此种评估采用如下准则:循环是否受到了干扰? 干扰的规模如何? 各个元素在地球化学作用方面是否活跃? 对公众健康影响的程度如何? 这些金属进入人体的途径是什么? 示于表 1-1 的结果表明,这些元素是具有相关联的环境效应的一类。

表 1-1 重元素对环境的影响

元素	影响的规模			评判的环境	活动性	健康影响	主要途径
	全球	区域	局部				
Pb	+	+	+	a, sd, i, w, so	v, a	+	F, A, D
As	(+)	+	+	a, sd, so, w	v, s, a	+	A, W
Cd	(e)	+	+	a, sd, so, w	v, s	+	F, D
Hg	(e)	+	+	a, sd, fish, so	v, a	+, org	F, A
Sb	(e)	+	+	a, sd	v, s	+	F, W, A
Se	(e)	(+)	+	a	v, s, a	E	F
Tl	?	?	+	em, so	v, s	(+)	A, F
In	?	?	+	a, so, em	v	(+)	?
Bi	?	?	(+)	a, so, em	v	(+)	?
Te	?	?	(+)	so	v, a?	(+)	?

注:第 2,3,4 列: + 为显著干扰; (+) 为可能干扰; (e) 为受到富集(可能不是人为的); ? 为无充分资料, 不确定(余表同)。

第 5 列: a—空气; sd—沉积物; so—土壤; i—冰芯; w—地表水; em—排放物; fish—鱼类。

第 6 列: v—挥发的; s—可溶的; a—烷基化合物。

第 7 列: + 为过量中毒; (+) 为有毒, 但可用资料少; E 为必需的, 但过量有毒; org 为有机的。

第 8 列: F—食物; W—水; A—空气; D—尘埃。

资料来源: Andrae, 1984<sup>[2]</sup>。

## 1.1 历史

### 1.1.1 重元素的发现

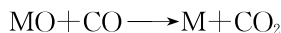
这 10 种元素的发现,跨越了从古罗马前期至 19 世纪中叶的很长时期。它们被发现的原因和发现的时期都与它们的化学性质和物理化学性质,以及当时的科学知识和方法论水平相关。

#### 1) 古人和炼丹术士所知道的重元素

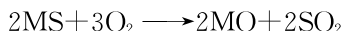
在古代,汞和铅(可能还有铋)早已被认识。由于碳还原汞和铅的氧化物所需要的温度不高,所以它们被分离出来<sup>[1,17]</sup>。这一点可以由图 1-3 给出的氧化物生成自由能与温度的关系曲线图(Ellingham 图)清楚地看出来<sup>[7]</sup>。因为在相对较低的温度下,CO 和 CO<sub>2</sub>

① 本书参考文献序号遵从原著。

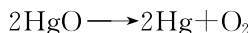
的生成自由能变得比 HgO 和 PbO 的更负,所以这两种金属可完成如下反应:



在还原两种矿石辰砂(HgS)和方铅矿(PbS)之前,先通过在空气中焙烧,使其转化为氧化物:



由于在 500°C 以上的温度下,氧化汞自发分解,即  $G_r^0 > 0$ ,因而汞的提取实际上并不需要还原剂。



辰砂还可以用铁和铜(或者黄铜矿)来还原,这两种金属常常被用于加热时固定硫化物中的硫<sup>[1,11,15,17]</sup>。

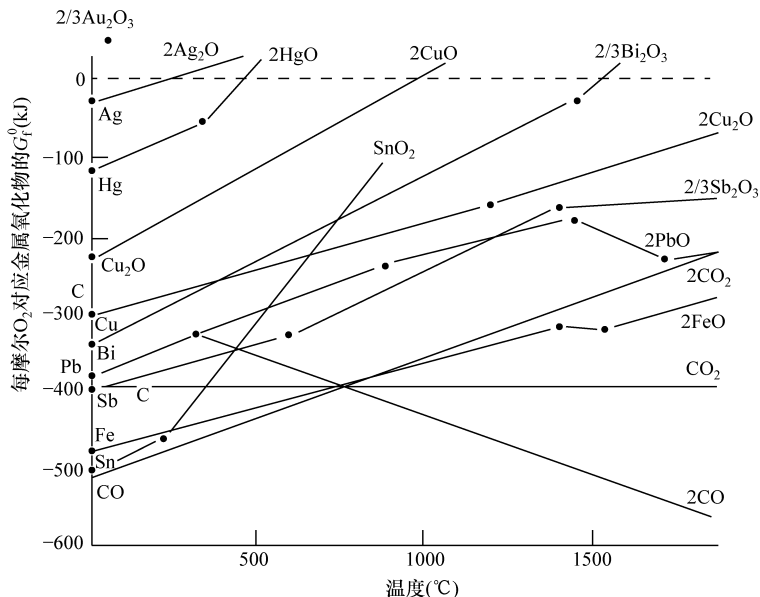
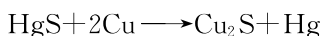
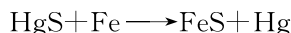
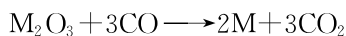
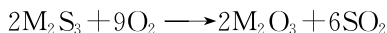


图 1-3 金属氧化物的 Ellingham 图

(资料来源: Ives, 1960<sup>[7]</sup>)

锑和铋也可能在古代就已经生产出来了,不过当时没有意识到它们和铅的差别<sup>[1,17]</sup>。图 1-3 给出的数据表明,在不高的温度下它们的氧化物也可以用碳来还原。一个年代为公元前 4000~前 3000 年的花瓶几乎是由纯锑制成的<sup>[17]</sup>。这两种元素终于在 18 世纪被鉴定出来:锑是在 1707 年,铋是在 1737 年和 1753 年。与二者提取有关的反应是



砷的化合物特别是砷的硫化物古人早已使用过了。砷的分离大约始于公元 1250 年的阿伯特-马格纽斯 (Albert Magnus) 时代, 是用碳还原硫化物雌黄 ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) 和雄黄 ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ), 或者用石灰或肥皂的分解作用来实现的<sup>[1,12,17]</sup>。

古代铅的生产兴盛于公元前 500~公元 500 年的罗马帝国时代, 年产量约 27000t。在铁器时期, 特别是公元前 1200~公元前 500 年, 产量为 12500t/a。而在西罗马帝国衰亡后, 在公元 500~1000 年, 消费量下降至 8500t/a<sup>[11]</sup>。

## 2) 镉

要发现镉需要先发现锌, 锌发现于 1746 年。镉产于锌矿石的共生组合体中, 它富集在提取锌的烟道灰中。1817 年, Stromeyer 发现菱锌矿 ( $\text{ZnCO}_3$ ) 的黄色不是由铁造成的。他把碳酸锌与不易溶解的碳酸镉 ( $\text{CdCO}_3$ ) 相分离, 再把碳酸镉烧成氧化镉, 进一步把氧化物用黑灯还原成金属<sup>[9,12,15,17]</sup>。1818 年 Hermann 也独立地发现了氧化锌中的镉<sup>[12,17]</sup>。镉具有显著意义的生产直到第一次世界大战后才得以发生, 当时被用于电镀<sup>[9,16]</sup>。

## 3) 铟和铊

铟和铊这两种 III A 族元素分别于 1863 年被 Reich 和 Richter 及 1861 年由 Crookes 发现。它们的发现可能是由于 Bunsen 和 Kirchhoff 刚刚发明了分光仪。这两种金属的特点是它们在火焰中具有原子线光谱。它们的名字源于它们的特征谱线, 铟为靛蓝色, 铊为绿色<sup>[5,9,12,15,17]</sup>。1862 年曾经引起了一场激烈的争论——金属铊的第一次分离提纯到底是英国人 Crookes 还是法国人 Lamy。

## 4) 硒和碲

碲是 1783 年由 von R. Muller 在研究一种被认为含有原生锑的载金矿物时发现的, 他推断它不是锑或铋, 而是某种未知的金属。为了这项发现, 他花费了 12 年的时间来证实, 并将此种元素定名为碲。1817 年, Berzelius 和 Gahn 发现了硒。他们在自己的硫酸厂里燃烧硫得到的硫酸残余物中发现了硒。一年后, 他们确定这种物质是一种新元素, 并把它定名为硒<sup>[9,12,15,17]</sup>。

### 1.1.2 早期的生产和应用

许多重元素在 20 世纪以前就已经被应用了。下面我们将考察研究某些重元素早期较为重要的应用。

#### 1) 作为金属的应用

在古代, 铅被用作结构金属, 还用于做抗风雨的建筑物。罗马人用铅做导水管和烹煮容器; 巴比伦实施绞刑的广场的地板是用铅制作的, 它有助于保持地面潮湿<sup>[11]</sup>。罗马人报道了汞在金银回收中的应用。此种方法在 12 世纪的埃及和 16 世纪的中美及南美也都被应用了<sup>[8]</sup>。

由于镉能防止腐蚀, 它被用于电镀<sup>[9,16]</sup>。含有一些 Bi 的 Sb、Pb、Sn 合金被用来做活字金<sup>[12,14]</sup>。在凝固时, 铋可使合金膨胀, 产生具有清晰轮廓的活字<sup>[14]</sup>。把铋粉涂在木材之类的物体上, 会产生类似金属的外观<sup>[14]</sup>。

炼金术士们曾试图用砷来改变劣质金属,例如,把砷加入铜中时,可得到一种白色的物质。

## 2) 医药和化妆品的应用

在古代,硫化汞(辰砂)用于使皮肤显现红色<sup>[9]</sup>。用铅化合物如乙酸铅染发,使头发变黑并保持下去<sup>[11]</sup>。白铅用于遮盖皮肤上的斑点<sup>[11]</sup>。方铅矿  $\text{PbS}$  和硫化锑  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  用来涂在眼睛的周围<sup>[3,14]</sup>。

虽然重元素的毒性是公认的,但是它们的许多化合物都曾经应用在医药上,而且有一些沿用至今。关于应用这些化合物的评述表明,它们时兴时衰。希腊人、罗马人、阿拉伯人和秘鲁人把砷用于治疗 and 做毒药两方面<sup>[3,12]</sup>。据说,适当剂量的砷可以改善面容。秘约在 1889 年最先被用来治疗梅毒<sup>[3]</sup>。很早的时候,人们常常使用含汞化合物的软膏<sup>[9,16]</sup>。欣德斯(Hindus)人相信汞有催欲的性质<sup>[8]</sup>。从 16 世纪起,汞也用于治疗梅毒<sup>[10]</sup>。实际上,人们曾经相信汞是包治百病的灵丹妙药<sup>[3]</sup>。汞的一种毒性效应是过多地流涎。当时人们认为多涎是一种有效的治疗方法,人们用具有此种效应的含汞化合物治病<sup>[4]</sup>。从很早的时候起,锑也被应用在医药上,路易十四就曾说到过用锑治疗法治疗伤寒。由于锑对胃肠黏膜有一种刺激效应,吐酒石(酒石酸锑钾)曾经用作催吐剂。口腔摄入铊会造成全身毛发脱落<sup>[3,14]</sup>。曾经有人为达到此目的而应用铊,结果带来了严重的悲剧性后果<sup>[5]</sup>。汞齐具有膏状的黏稠性,并随时间的延长而变硬,汞齐曾被用来填补牙齿,锡-银汞齐一直到现在都在应用。用镉汞齐补牙在 19 世纪就被废止了,因为用镉汞齐补牙会使牙质变黄<sup>[14]</sup>。

## 3) 毒性

这些元素被发现后不久,在某些情况下是在元素被实际鉴定出来以前,它们中的大多数就被认为是有毒的。砷被古人用作毒药,并用来杀鼠和灭虫<sup>[3,14]</sup>。因为砷有毒,所以人体组织中砷的分析方法被开发出来,即马什(Marsh)试验<sup>[12,14]</sup>。罗马人知道汞的毒性,让奴隶和罪犯开采辰砂<sup>[3]</sup>,矿工的预期寿命低至 6 个月<sup>[8]</sup>。铊曾经用于杀灭啮齿动物和害虫,但因为对人类的毒性而被禁止使用了<sup>[3,5,9]</sup>。虽然硒直到 1817 年才被发现,但是人们知道,在某些地区生长的植物是有毒的。马可·波罗(Marco Polo)在 1295 年就记载了有毒植物;19 世纪有报道某些地区放牧的动物中毒的实例<sup>[3]</sup>。这种有毒成分很有可能就是植物从土壤中吸收的硒造成。

## 4) 铅和汞

很早以前最常用的两种金属就是铅和汞。除了前面列举的用途以外,这两种金属还用在其他方面。铬酸铅( $\text{PbCrO}_4$ )用作颜料<sup>[14]</sup>。以硝酸汞形式存在的汞被使用在帽子的制毡工序中。这种用途可能就是“狂若帽匠”这一词语的来源。在酒中加铅可以改善味道且杀菌,此种方法广泛使用并且持续到中世纪乃至更靠后的时期<sup>[3,11]</sup>。罗马人如此之多地接触神经性毒素铅,使得人们得出了一种观点:帝国首领们的铅中毒可能是罗马帝国灭亡的原因之一<sup>[6,10,11,13]</sup>。

参 考 文 献<sup>①</sup>

1. Aitchison, L. A History of Metals (2 Vols.): Interscience; 1960.
2. Andreae, M O. (Reporter). Changing biogeochemical cycles: Group report. in: Nriagu, J. O., Ed. in: Changing metal Cycles and Human Health, Dahlem Konferenzen: Springer-Verlag; 1984: 359-373.
3. Berman, E. Toxic Metals and their Analysis: Heyden; 1980.
4. D'Itri, P. A, and D'Itri, F. M. Mercury Contamination: A Human Tragedy: Wiley-Interscience; 1977.
5. Emsley, J. The trouble with thallium. *New Scientist*; 1978: 392-394.
6. Gilfillan, S. C. Lead poisoning and the fall of Rome. *J. Occup. Med.*; 1965; 7: 53-60.
7. Ives, D. J. G. Principles of the Extraction of Metals. Monographs for Teachers, No. 3: Chemical Soc. London; 1960.
8. Kaiser, G. and Tolg, G. Mercury. in: Hutzinger, O., Ed. The handbook of Environmental Chemistry: Springer Verlag; 1980; 3A: 1-58.
9. Kirk-Othmer. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 2nd. Ed.: Wiley-Interscience; 1964.
10. Leninan, J. The Crumbs of Creation: Adam Hilger; 1988.
11. Nriagu, J. O. Lead and Lead Poisoning in Antiquity: Wiley-Interscience; 1983.
12. Partington, J. R. A History of Chemistry.: Macmillan; 1970; Vols. I (Part I), II, III, IV.
13. Patterson, C. C. Lead in ancient bones and its relevance to historical developments of social problems with lead. *The Sci. Total Environ.*; 1987; 61: 167-200.
14. Roscoe, H. E. and Schorlemmer, C. A Treatise on Chemistry: MacMillan. 1905, 1907.
15. Tylecote, R. F. History of Metallurgy: The Metals Soc. London; 1976.
16. Ullmann, F. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th.: VCH; 1985.
17. Weeks, M. E. and Leicester, H. M. Discovery of the Elements. 7th. Ed.: J. Chem. Educ.; 1968.

---

① 本书参考文献体例遵从原著,不做修改。

## 第二部分

# 化 学

## 第 2 章 提取与应用

现在,我们讨论这 10 种元素的提取和它们现代的一些应用。关于这些元素的地壳丰度、产量和消费量,以及它们的主要用途的详细资料列于表 2-1。表 2-2 中介绍它们的主要矿物和提取冶金学的概况。这 10 种元素在矿物学和化学上都有很强的亲硫性(对硫的亲性和性)(图 2-1)。与氧比较,它们对硫的亲性和性对它们的提取化学有更显著的影响。

表 2-1 重元素的生产和应用

元素	地壳丰度 ( $\times 10^{-6}$ ) 1985 年	年产量 ( $\times 10^3$ t) 1985 年	年消费量 ( $\times 10^3$ t)	用途
Cd	0.2	14	14	电镀、抗腐蚀涂层(22%),染料(22%),聚乙烯塑料中的稳定剂(12%),Ni-Cd 电池(37%),合金(4%),核反应堆中的控制棒
Hg	0.08	6 (163000 瓶)	7 (200000 瓶)	氯碱电解池,涂料(防霉剂),农业化学品,电器,牙科行业
Pb	13	4100	3900	铅蓄电池(60%),汽油添加剂(4%),碾压产品(9%),颜料(13%),合金(5%),缆绳包铅(6%),军火弹药(3%)
As	1.8	50		合金,蓄电池,农用除草剂,木材防腐剂
Sb	0.2	53		蓄电池中的含铅合金(50%),防火阻燃剂,催化剂
Bi	0.2	4	3	在环境敏感区代替铅和镉,医药品,电子仪器,催化剂,化妆品,颜料
In	0.1	0.075		合金,玻璃镜的支架,电器
Tl	0.5	0.005		合金,灭鼠剂,红外窗,电器
Se	0.05	1.6	1.7	电器,玻璃,颜料,动物饲料,相板
Te	0.01	0.22		电器,催化剂,药品,合金,硫化橡胶

资料来源:参考文献[6,11,18,19]。