

Pb

铅元素人为流动

毛建素 等◎著

ANTHROPOGENIC FLOW OF LEAD



科学出版社

铅元素人为流动

毛建素 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书研究铅元素在人类活动圈的流动,共分四篇:第一篇铅元素人为循环,介绍人为循环流动的概念、系统组成,分析物质数量在各股流动间的分配和不同“库”间的转移与蓄积;第二篇人为迁移与转化,着重分析人为循环流动过程中铅元素形态和服务功能方面的变化;第三篇外部效应与评估,分别阐述铅元素人为流动对外部社会、经济和资源、环境系统的影响,评估其生态效率和风险水平;第四篇废铅管理与政策,侧重分析废铅形成规律,剖析我国铅流变化的原因,梳理我国现行涉铅管理政策。

本书可为地学、工程与材料等领域的科研工作者提供研究方法和案例参考,也可各级管理人员提供借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

铅元素人为流动/毛建素等著. —北京:科学出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-03-048028-6

I. ①铅… II. ①毛… III. ①铅—有害元素—人为因素—社会流动—研究
IV. ①F062.1 ②X24

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第071643号

责任编辑:张 震 孟莹莹 / 责任校对:李 影

责任印制:张 倩 / 封面设计:无极书装

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:478 000

定价:130.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

伴随着人口规模与需求的增长,大量物质被从自然资源中开采出来,经过一系列生产活动被转化成具有特定使用功能的工业产品,由此形成了物质在人类社会经济复合系统中的流动,简称物质的人为流动。这一流动不仅改变着物质自身属性和赋存状态、影响资源储备和环境质量,而且,长期作用下还衍生出物质在地表人类活动圈内迁移转化新组分,因此,它深刻反映人类发展与地表交互作用关系,对未来人类持续发展和地表演变具有深远意义。

本书以铅元素为例,借助笔者十五年来研究成果,集成了发表的多篇中英文学术论文,围绕铅元素在人类社会活动圈内流动过程中发生数量分配、性能与时空变化等属性,设置了铅元素人为循环、人为迁移与转化、外部效应与评估和废铅管理四个篇章,系统地介绍铅元素人为循环、迁移与转化等基本概念,阐述其人为循环流动和转化过程的研究方法;结合我国和全球 52 个国家的铅金属应用技术状况,详尽地展示铅元素人为流动水平、历史演变过程、铅元素人为使用 (in-use) 累积和环境释放物的环境累积清单等重要结果;描述铅元素人为流动基本规律。在此基础上,本书借助追踪铅元素人为流动过程所连接的资源、环境、社会、经济间的内在关系,阐述了铅元素人为流动的评估方法,展示了该过程对外部铅矿资源环境系统和社会经济系统的可能影响,并阐述了废铅形成基本规律,论述了废铅和含铅环境释放物的源头综合管理方法和措施,以期帮助读者形成对铅元素人为流动的系统全面的认识,为我国重金属环境污染物的源头综合管理提供新思路。同时,笔者也希望本书能进一步丰富物质地表循环、迁移转化基本理论,成为研究人类活动圈内物质流动的基础。

笔者铅的人为流动研究过程曾得到东北大学陆钟武院士、美国耶鲁大学 Thomas E. Graedel 院士的悉心指导,获得美国 2004 年 Henry Luce Foundation “Industrial Ecology in Asia”、中国国家自然基金项目(面上)“铅元素人为迁移转化及其释放物环境蓄积定量解析”(41171361)等资金支持,也得到多个企业界人士的帮助,在此表示衷心感谢!也感谢研究小组成员马兰、梁静、曾润、孙梦瀛、廖珍梅等不畏艰难、勇于探索作出的重要贡献!更感谢亲人们的殷殷期待和不懈支持与鼓励!

尽管希望本书能全面、系统、科学地展示铅元素人为流动整个过程,并对管理有所借鉴。但由于笔者水平所限,书中仍难免存在诸多错误与不足,真诚欢迎广大读者提出宝贵意见。

毛建素

2015 年 12 月于北京

目 录

前言

第一篇 铅元素人为循环

第 1 章 多尺度铅元素人为循环分析：方法

The Multilevel Cycle of Anthropogenic Lead: I. Methodology	3
1.1 Introduction	3
1.2 Framing the Lead Cycle	4
1.3 The Mining and Processing of Lead	5
1.4 Lead Fabrication and Product Manufacture	7
1.5 Lead Flow at the Use Stage	12
1.6 Lead Flow at the Waste Management & Recycling Stage	13
1.7 Data Quality and Uncertainty	14
1.8 Summary	15
References	17

第 2 章 多尺度铅元素人为循环分析：结果与讨论

The Multilevel Cycle of Anthropogenic Lead: II. Results and Discussion	20
2.1 Introduction	20
2.2 The Framework of Multilevel Lead Cycle Characterization	21
2.3 Multilevel Lead Flows and Cycles	22
2.3.1 The Lead Cycle for Selected Countries	22
2.3.2 Regional Lead Cycles	26
2.3.3 A Detailed Regional-Level Lead Cycle	31
2.3.4 The Global Lead Cycle	32
2.4 Comparing Lead Flows in Countries and Regions	35
2.5 Discussion	38
References	40

第 3 章 铅元素使用蓄积动力分析

Lead In-Use Stock: A Dynamic Analysis	42
3.1 Introduction	42

3.2	Methodology	44
3.2.1	“Top-Down” Computation of In-Use Stocks	44
3.2.2	Considerations for Specific Lead Product Groups	46
3.2.3	Types of Stocks and Losses	47
3.3	Lead In-Use Stock in the 20th Century	47
3.3.1	Additions to Stock in Year 2000	47
3.3.2	Global In-Use Stock, 1900–2000	49
3.4	In-Use Lead Stocks in Regions and Countries	52
3.4.1	The Disaggregation Methodology	52
3.4.2	The Results of Disaggregation	53
3.5	Discussion	55
	References	58
第4章 中国铅元素人为释放动力分析及其环境累积		
A Dynamic Analysis of Environmental Losses from Anthropogenic Lead Flow and Their Accumulation in China		60
4.1	Introduction	60
4.2	Methodology	61
4.2.1	The Model of Lead Emissions in Anthropogenic Cycle	61
4.2.2	Intensity and Accumulative Equations of Lead Emissions	65
4.2.3	Values of the Parameters and the Data Sources	66
4.3	Results and Discussions	69
4.3.1	The Intensity of Lead Emissions	69
4.3.2	The Accumulative Lead Emissions	70
4.3.3	Data Uncertainty and Perspectives	72
4.4	Conclusions	72
	References	73
第5章 铅酸电池系统的铅流分析		
The Lead Flow Analysis for Lead-Acid Battery Systems		76
5.1	研究方法	76
5.1.1	铅酸电池系统及其铅的流动	76
5.1.2	评价指标	77
5.1.3	铅酸电池生命周期铅流图	77
5.2	铅流基本规律	78
5.2.1	资源效率	78
5.2.2	环境效率	79

5.2.3 环境效率与资源效率的关系	79
5.3 铅酸电池系统中铅的流动（实例分析）	80
5.3.1 中国铅酸电池系统的铅流	80
5.3.2 结果与讨论	81
5.4 结论	84
参考文献	84
第 6 章 中国铅流分析	
The Industrial Flow of Lead in China	86
6.1 Introduction	86
6.2 Theoretical Study	88
6.2.1 The IFL Model	88
6.2.2 Evaluation Indices: External Indices	91
6.2.3 Primary Regulation of the System	92
6.2.4 The Evaluation Indices: Internal Indices	94
6.3 Case Study: the Industrial Flow of Lead in China	95
6.3.1 Brief Description of Lead Flow in China	95
6.3.2 Data Sources	97
6.3.3 Evaluation of the IFL in China	98
6.3.4 Analysis of Causes and Proposed Improvements	101
6.4 Conclusions	105
References	106
第 7 章 2005 年北京市铅的使用蓄积研究	
Lead in Use Stock of Beijing in 2005	109
7.1 研究方法	109
7.1.1 研究对象的确定	109
7.1.2 自下而上（bottom-up）法	110
7.1.3 铅酸蓄电池的产品种类	110
7.1.4 铅酸电池使用量及其数据来源	111
7.1.5 单元铅酸电池含铅量	112
7.2 结果与讨论	112
7.2.1 蓄积量及其构成	112
7.2.2 与国外部分城市对比	114
7.2.3 结果的不确定性	115
7.3 结论	115
参考文献	115

第 8 章 我国耗散型铅的使用现状及趋势分析

Tread Analysis on Dissipative Uses of Pb in China..... 117

8.1 概述..... 117

8.2 我国典型耗散型铅制品的现状与分析 117

8.2.1 使用状况..... 117

8.2.2 相关政策..... 118

8.2.3 相关标准..... 118

8.3 国外同类产品的现状与分析..... 119

8.3.1 国外使用状况 119

8.3.2 国外相关政策 120

8.3.3 国外相关标准 120

8.4 我国相关政策标准趋势分析..... 121

8.5 改善建议与展望..... 122

参考文献..... 122

第二篇 人为迁移与转化

第 9 章 矿物资源服务归趋：概念、内涵与议题

The Flows of Mineral Resources to Provide Human Service: Concepts, Connotation and Contents 127

9.1 概念..... 128

9.1.1 服务归趋的概念..... 128

9.1.2 服务归趋研究框架 130

9.1.3 物质服务归趋与环境归趋的对比 131

9.2 科学意义 132

9.2.1 科学内涵..... 132

9.2.2 学科意义..... 133

9.3 核心议题 135

9.3.1 关键问题..... 135

9.3.2 工作内容..... 135

9.4 展望与结语 136

参考文献..... 137

第 10 章 重金属人为迁移转化：概念、内涵与内容

Anthropogenic Transfer & Transformation of Heavy Metals in Anthrosphere: Concepts, Connotations and Contents 139

10.1 Introduction..... 139

10.2 Concepts	140
10.2.1 Anthropogenic Transfers	140
10.2.2 Anthropogenic Transformations	143
10.2.3 Essential Characteristics	145
10.3 Scientific Connotations	145
10.4 Core Issues	148
10.4.1 Core Issues	148
10.4.2 Main Research Contents	149
10.5 Prospects and Conclusions	151
References	152
第 11 章 铅元素人为服务归趋中的变化：功能、形态与位置	
Changes in the Functions, Species and Locations of Lead during Its	
Anthropogenic Flows to Provide Services	154
11.1 Introduction	154
11.2 Analogy between Anthropogenic Flows and Environmental Flows	156
11.2.1 Factors That Influence Environmental Lead Flows	156
11.2.2 The Relationships between the Anthropogenic and Biogeo-Chemical Lead Cycles ..	157
11.2.3 Comparing the Anthropogenic and Environmental Flows of Lead	157
11.3 Factors That Influence Anthropogenic Lead Flows	159
11.3.1 Tracing Flows of Lead Through Its Life Cycle	159
11.3.2 The Factors That Influence the Flows of Lead to Providing Human Services	161
11.4 Results	164
11.4.1 Changes in the Functions of Lead	164
11.4.2 Changes in the Forms of Lead	166
11.4.3 Changes in the Locations of Lead	166
11.4.4 Characteristics of the Anthropogenic Flows to Providing Service	168
11.5 Conclusions	168
References	169
第 12 章 中国铅元素的人为迁移与转变	
Lead Anthropogenic Transfer and Transformation in China	172
12.1 Introduction	172
12.2 Methodology	173
12.2.1 Basic Concepts	173
12.2.2 Analysis of Lead Anthropogenic Transfer and Transformation	175
12.2.3 Data Sources	176

12.3	Determination of Lead Flows and Species	177
12.3.1	Lead Flow Quantities in Anthropogenic Cycle	177
12.3.2	Lead Transformation at Production Stage	178
12.3.3	Lead Transformation at F&M Stage	179
12.3.4	Lead Transformation at Use and WMR Stage	179
12.4	Results and Discussion	180
12.4.1	Anthropogenic Transfer in Anthropogenic Lead Cycle	180
12.4.2	Implications on Resources and Environment	181
12.4.3	Data Uncertainty	183
12.5	Conclusions	183
	References	184
第 13 章 铅元素人为循环环境释放物形态分析		
	Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	187
13.1	材料与方法	188
13.1.1	环境释放物研究框架	188
13.1.2	生命周期各阶段铅环境释放物形态分析	189
13.2	结果与讨论	192
13.2.1	各阶段铅释放物形态比例	192
13.2.2	生命周期铅释放物形态构成	193
13.2.3	生命周期铅释放物来源构成	194
13.2.4	讨论	196
13.3	结论	196
	参考文献	196
第 14 章 全球铅元素人为释放物源头数量与形态分析		
	Source Analysis of Global Anthropogenic Lead Emissions: Their Quantities	
	and Species	199
14.1	Introduction	199
14.2	Methodology	200
14.2.1	Estimation of Lead Emissions	200
14.2.2	Lead Emissions Species Analysis	205
14.2.3	Data Sources	206
14.3	Results and Discussion	207
14.3.1	Global Lead Emissions	207
14.3.2	Species Present in the Global Lead Emissions	209
14.3.3	Discussion and Uncertainty	211

14.4	Conclusions	213
	References	213
第 15 章 多尺度铅元素人为循环的环境排放		
Losses to the Environment from the Multilevel Cycle of Anthropogenic Lead		217
15.1	Introduction	217
15.2	Losses of Lead and Potential Environmental Risk	218
15.2.1	Lead Loss in Tailings	219
15.2.2	Lead Loss in Slag	219
15.2.3	Lead Losses from Fabrication & Manufacture	219
15.2.4	Lead Losses from the In-Use Stage	220
15.2.5	Lead Losses from the Waste Management & Recycling Life Stage	221
15.2.6	Lead Losses Not Treated in This Study	221
15.2.7	Evaluation of Environmental Hazard of Lead Emissions	221
15.3	Results	222
15.3.1	Lead Loss at the Global Level	222
15.3.2	Lead Loss at the Regional Level	224
15.3.3	Comprehensive Lead Emission Patterns for Countries and Regions	225
15.4	Incorporating Potential Environmental Hazard into the Life Cycle	228
15.5	Discussion	229
	References	230

第三篇 外部效应与评估

第 16 章 铅酸电池中铅的生态效率

The Eco-efficiency of Lead in China's Lead-acid Battery System		235
16.1	Introduction	235
16.1.1	Background	235
16.1.2	The Present Study	236
16.2	Primary Regulations	238
16.2.1	Methodology: the Lead-flow Diagram in the LAB System	238
16.2.2	Results and Discussion	241
16.3	A Case Study: the Eco-efficiency of Lead in China's LAB System	243
16.3.1	Brief Description of Lead Flow in the LAB System	243
16.3.2	Data Sources	244
16.3.3	Results and Discussion	245

16.4	Conclusions	249
	References	250
第 17 章 关于中国铅的资源效率的研究		
Study on the Resource Efficiency of Lead for China		252
17.1	铅的资源效率及其变化规律	252
17.1.1	铅的资源效率的定义	252
17.1.2	铅的资源效率变化规律	252
17.1.3	资源效率估算式	253
17.2	实例应用——中国铅的资源效率分析	254
17.2.1	中国铅的资源效率现状	254
17.2.2	原因分析	254
17.2.3	提高铅的资源效率的途径及建议	256
17.3	结论	257
	参考文献	257
第 18 章 铅元素人为循环释放物的风险评价		
Risk Assessment of Lead Emissions from Anthropogenic Cycle		258
18.1	Introduction	258
18.2	Methodology	259
18.2.1	Framework for Lead Risk Assessment	259
18.2.2	Model for Lead Risk Assessment	260
18.2.3	Risk Assessment	263
18.3	Results and Discussions	264
18.3.1	Human Health Risk Assessment	264
18.3.2	Ecological Risk Assessment	265
18.3.3	Total Risk Assessment	266
18.3.4	Uncertainty Analysis	268
18.4	Conclusions	268
	References	269
第 19 章 物质的循环流动与价值循环流动		
The Material Circular Flow and Value Circular Flow		271
19.1	元素 M 的循环流动	271
19.2	元素 M 的价位变化	273
19.2.1	元素 M 的价位	273
19.2.2	元素 M 的价位变化	273

19.2.3 价值的循环流动	274
19.3 结语	276
参考文献	276
第 20 章 物质循环流动对价值源强的影响	
The Influence of Recycling of Materials on Value Source Intensity	278
20.1 Introduction	278
20.1.1 Background	278
20.1.2 This Study	279
20.2 Primary Rules (Theoretical Study)	280
20.2.1 Methodology	280
20.2.2 Results and Discussion	284
20.3 A Case Study: the VSI for the Production Stages in the Lead-acid Battery System	286
20.3.1 Methodology	286
20.3.2 Results and Discussion	287
20.4 Conclusions	289
References	290
第 21 章 工业物质循环的若干收益	
Several Benefits From Recycling of Industrial Materials	292
21.1 Introduction	292
21.1.1 Background	292
21.1.2 The Present Study	293
21.2 Methodology	294
21.2.1 CFIM and Its Material Benefits	294
21.2.2 The CFV and Its Economic Benefits	297
21.3 Results and Discussion	300
21.3.1 Results on Various Benefits	300
21.3.2 Discussion on Various Benefits	300
21.4 A Case Study: the Benefit From the Circular Flow of Lead in Lead-acid Battery System	302
21.4.1 Methodology	302
21.4.2 Results and Discussion	304
21.5 Conclusions	305
References	306

第四篇 废铅管理与政策

第 22 章 论工业中的废金属资源

On Metal Scrap Resource for Industry	311
22.1 引言.....	311
22.2 理论研究.....	312
22.2.1 若干基本概念.....	312
22.2.2 废金属指数基本规律.....	313
22.3 实例分析：中国大陆若干金属的废金属指数.....	316
22.3.1 估算方法.....	316
22.3.2 估算结果.....	317
22.3.3 讨论.....	318
22.4 结论.....	319
参考文献.....	320

第 23 章 论铅业的废铅资源

On Lead Scrap Resource for Lead Industry	321
23.1 分析方法.....	321
23.1.1 废铅的来源.....	321
23.1.2 废铅指数.....	322
23.1.3 铅产量变化与废铅指数之间的关系.....	322
23.1.4 废铅实得率与废铅指数之间的关系.....	325
23.2 实例——中国、美国、瑞典三国废铅指数的估算.....	326
23.2.1 铅产量的变化情况.....	326
23.2.2 废铅实得率的变化情况.....	326
23.2.3 废铅指数的估算.....	327
23.2.4 小结.....	328
23.3 讨论.....	329
23.3.1 中国.....	329
23.3.2 美国.....	329
23.3.3 瑞典.....	329
23.4 结论.....	329
参考文献.....	330

第 24 章 关于我国废铅实得率低下的原因的研究

A Study on the Reasons of Low Lead Recycling Rate in China	331
24.1 废铅实得率.....	331

24.2 铅的生命周期流动示意图	332
24.3 废铅实得率影响因数的估算	333
24.3.1 估算方法	333
24.3.2 估算结果	334
24.3.3 讨论	336
24.4 改善建议	336
24.5 结论	337
参考文献	337
第 25 章 中国铅流变化的定量分析	
Quantitative Analysis on the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	339
25.1 研究方法	340
25.1.1 铅元素人为流动分析	340
25.1.2 对比研究	341
25.1.3 数据来源和计算说明	342
25.2 结果与讨论	342
25.2.1 2010 年我国铅流分析结果	342
25.2.2 指标对比分析	343
25.3 结论	345
参考文献	345
第 26 章 中国铅流改变原因分析	
The Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	347
26.1 影响铅流的因素分析	347
26.1.1 铅流分析框架	347
26.1.2 影响指标	348
26.2 原因分析	351
26.2.1 终端消费对铅消费的拉动作用	351
26.2.2 铅消费对铅生产的拉动作用	352
26.2.3 铅制品国内消费率增大便于铅循环率提高	353
26.2.4 先进技术的采用	353
26.2.5 宏观管理加强	354
26.3 结论	355
参考文献	355
第 27 章 中国铅的使用政策现状分析	
Analysis of Current Policies on Lead Usage in China	357
27.1 Introduction	357
27.2 Methodology	358

27.2.1	Lead Product Life Cycle	358
27.2.2	Policy Classification	359
27.3	Existing Policies and Analysis	359
27.3.1	Lead Production	363
27.3.2	Lead Products Fabrication and Manufacturing	365
27.3.3	Lead Products Use	367
27.3.4	Waste Management and Recycling	368
27.3.5	Lead Trade	369
27.4	Discussion and Recommendations	370
27.4.1	Discussion	370
27.4.2	Recommendations	371
	References	371

第一篇

铅元素 人为循环