



“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列丛书

总主编：陈毓川 常印佛 裴荣富 任纪舜 汤中立 翟裕生

中国地球化学场 及其与成矿关系

胡云中 任天祥 马振东 邓 坚 汪明启 等著

地质出版社

中国地质大调查“中国成矿体系与区域成矿评价”项目资助

中国地球化学场及其 与成矿关系

胡云中 任天祥 马振东
邓 坚 汪明启 等著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

**“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列
丛书是集体劳动的结晶！**

**谨以此书献给耕耘在地质勘查、科学研究及
教学岗位上的广大地质工作者！**



“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列丛书

编委会名单

总主编：（以姓氏拼音排序）

陈毓川 常印佛 裴荣富 任纪舜 汤中立 翟裕生

委 员：（以专题顺序排列）

徐志刚 邓晋福 胡云中 任天祥 邓 军 朱裕生

杜建国 沈保丰 钱壮志 毛景文 王登红 肖庆辉

王世称 肖克炎

编辑组：白 铁 王大军 朱明玉 邢瑞玲 郝梓国 李凯明

刘建三

总 序

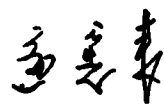
不断将地质调查和地质科研成果进行综合集成，形成系列地质科学文献，具有重要价值。由中国工程院院士陈毓川同志主持，常印佛、汤中立、裴荣富、任纪舜、翟裕生、滕吉文、张本仁等 200 多位专家共同参加完成的“中国成矿体系与区域成矿评价”项目及其所属各课题、专题研究成果陆续出版，将为中国地质学界提供一批重要的文献资料。

“中国成矿体系与区域成矿评价”是 1999 年中国地质调查局设立的国土资源大调查关于矿产资源调查评价工作的全国性、综合性研究项目。该项目成果是对新中国成立 50 多年来广大野外地质工作者和地质科研工作者辛勤劳动成果的一次全面、系统地总结和提升，是目前关于我国大陆矿床成矿系列、主要地质时期大规模成矿作用及其时空结构与成因机理、主要成矿区（带）成矿物质富集规律和定位机制等方面研究的最新、最完整的世纪性科学巨著。

在“中国成矿体系与区域成矿评价”系列成果中，涉及全国性的成矿背景的成果包括“中国地质构造环境、演化及其对成矿的控制”、“中国大陆地球物理场与深部结构及其对成矿作用的制约”及“中国地球化学场与成矿”等；涉及全国性和区域性成矿规律研究的成果有“中国主要成矿区带研究”及“大别-台湾走廊域成矿区带形成的四维结构”等；涉及不同时代成矿作用的包括“前寒武纪成矿作用”、“古生代成矿作用”、“中生代成矿作用”及“新生代成矿作用”等；涉及区域成矿理论的有“中国矿床成矿系列、成矿系列组合、成矿谱系”及“主要成矿系列形成机制和结构特征”的研究，并在此基础上构筑了“中国成矿体系”框架；涉及矿产资源评价的有“综合信息区域成矿评价系统”及

“全国成矿远景评价与重要矿产资源潜力评估”等专题成果及相应的专著。同时，各省、自治区也分别对区域成矿规律进行了系统的总结，对找矿前景和找矿方向进行了分析，并且结合地质大调查资源评价项目的实施，取得了很好的找矿效果。这一系列成果的出版，无疑是对几十年来中国区域成矿规律研究的检阅，也将对今后的地质勘查和地质科研工作产生极大影响，同时对矿产资源调查评价工作部署和生产实践具有重要的指导意义。

中国地质调查局局长



2005 年 1 月

前 言

中国区域地球化学场及其与成矿关系专题研究,是中国地质大调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价”的组成部分。本书是在该研究报告的基础上编撰而成的。

专题的研究目标是:进行浅表地球化学分区,研究岩石圈和成矿区带地球化学特征与成矿及大型矿集区形成的时空关系,探讨大陆成矿地球化学环境与成矿作用的内生联系。

专题的主要研究内容为:

1) 依据 1:500 万全国地球化学编图资料,开展浅表地球化学分区,重点圈出地球化学区带及区域性地化异常,探讨其与成矿区带及大型矿集区的时空分布关系;探讨地球壳层化学元素组成不均一性,以及与深部地质作用过程的关系。

2) 综合研究华南陆块、华北陆块南缘、长江中下游地区区域岩石圈地球化学特征,探讨其与 Cu、Fe、Au、Mo 等矿产富集区的时空演化关系。

3) 研究南岭、西南“三江”、东秦岭、长江中下游地区等重要成矿区带区域地球化学特征和对大型矿集区的成矿控制因素。

4) 研究地层化学元素的时序演化与成矿元素的富集层位;壳层浅表水热流体系统的地球化学特征与成矿作用。

由于专题经费及项目计划实施时间的限制,以及以往工作资料的不足,专题研究工作以收集、分析、提炼、总结已往资料数据为基础,开展综合性研究,通过对浅表地球化学场、区域岩石圈和典型成矿区带地球化学特征和地层化学元素的时序演化的分析,重点研究与成矿有关元素的时空演化规律,以及区域地球化学场对成矿区带及大型矿集区形成的控制作用。

本书专题研究工作,自 1999 年下半年起始,至 2003 年 6 月结束,历时 4 年。

本项专题研究,跨越了深部岩石圈、出露地壳和浅表地球化学场地球化学特征,以及花岗岩、壳层水热流体、成矿区带的成矿作用等诸多领域,是一项综合研究的新尝试。专题研究取得了如下新进展:

1) 中国东部岩石圈,华北及东北地域为弱亏损地幔岩区,扬子地块尤其是东南沿海为强亏损地幔岩区。由地幔交代作用所析出的 Cu、Zn、V 等成矿元素,随分异岩浆在上地壳中富集,从而形成中国东部上地幔 Cu 等成矿元素具有南富北贫的趋势。在扬子地块东缘地域,由壳幔混熔形成的深源酸性花岗岩系列,多形成 W、Sn、Li、Nb 矿床,而壳熔型花岗岩系列常形成 Cu、Mo、Au 矿床。与全球上地幔相比,华北地块南缘富集 Pb、Zn、Au、Mo、Cr 等成矿元素,扬子地块北缘则强烈富集 Cu、Pb 等成矿元素,从而分别形成区域成矿的特色。

2) 浅表化学元素异常的分布,展现了 Cu、Zn、Au 等成矿元素异常,多分布在陆块边缘;Pb、Ag、Mo、Nb 等成矿元素异常,多分布在造山带与断裂的边缘与 SiO₂、K₂O 异常呈吻合式分布。华南、西南地域的 W、Sn 等成矿元素异常,更反映了与花岗岩类活动

的密切关系； Fe_2O_3 与 Cr、Ni 的异常，并能间接反映出深部断裂所导致的基性岩浆活动的特征。

3) 中国东部区域，出露地壳化学元素的丰度与地壳相比，以富集 Li、Be、Rb、Cs、Bi、Pb、U、Th、As、B、Ba 等元素，贫化 Cr、Co、Ni、Pt、Pd、V、Cu、Mn、Sc 等元素为特征。在各地质构造单元及大型成矿区带中，由地层及花岗岩类所富集的成矿元素组合差异，形成区域成矿特色。

4) 地层中化学元素的地史时序演化，呈现与构造运动一致的旋回性规律变化，其在每个构造运动期内的初始阶段，较多富集成矿元素，形成了中国东部及三江地域的共 28 个成矿元素富集层位，在成矿作用过程中，可以起到初始矿源层的作用。

5) 中国东部区域花岗岩类的成矿元素，在由老而新的时序演化中，W、Nb、U、Th 等元素的丰度呈现递升增大的态势，而 Cr、Cu、Zn 元素的丰度则为递降减小态势。处于不同构造单元的花岗岩，所富集的成矿元素种类及组合形成不同的特色。在各个构造运动期间，其成矿元素的时序演化及丰度变异，呈现与地质构造运动期次相一致的旋回性变化规律，且滞后于同时代地层所富集的成矿元素组合。这种滞后效应，反映了花岗岩岩浆在形成、侵位过程中对古老地层物质构成元素的萃取、混染、同化作用。

6) 壳层水热流体的活动与分布，受断裂构造和深部热源体的控制，具有幕式周期活动的特征。现代活动的水热流体依然存在典型的热液作用，并形成一系列矿物，以及矿物的蚀变演化序列。一些地区的水热流体赋含 Au、Se、Li、Cs、As 等成矿元素，正在进行着现代成矿作用，形成热泉型金矿、铀矿及优质高岭石矿床。

7) 中国区域地球化学场的基本特征，导致形成各成矿区带的特色；多期次、多旋回的岩浆-构造运动，致使成矿作用展现继承性、多期性的特点。后期叠加的成矿作用，因成矿元素的活度不同，从而形成区域范围不等、强度不同的成矿复杂组合。南岭地区矿化叠加强度系数变化的总体态势为：低温矿化元素 As、Sb 的叠加作用强度大、范围广；而高温成矿元素 W、Sn、Mo 的后期叠加成矿作用，以南岭东段、中段的强度较大；中温型成矿元素 Cu、Pb、Zn、Ag、Au 的后期叠加矿化，也以南岭中段、东段最显著。

本书的编写，第一章由任天祥、汪明启执笔，第二章由马振东执笔，第三章一、二、三节由邓坚执笔，第三章第四节、第四章、第五章以及前言由胡云中执笔，全书由胡云中统校。

本书专题研究工作，得到了项目首席科学家陈毓川院士的指导，项目办公室主任朱明玉研究员以及专题承担单位矿产资源所、物化探所、中国地质大学的帮助；书中引用了诸多学者的文献，给作者以许多启示，谨一并致谢。

限于研究时限及一些客观因素，书中论述的学术问题难免漏误，期望读者不吝赐教。

目 录

总 序

前 言

第一章 中国浅表地球化学场的分区与基本特征	(1)
第一节 中国浅表地球化学场中一些重要元素分布的基本特征	(5)
第二节 中国大陆浅表地球化学场分区	(15)
第三节 区域地球化学异常与成矿区带	(19)
第二章 区域岩石圈地球化学特征与矿产富集区	(39)
第一节 中国东部岩石圈地球化学特征	(39)
第二节 区域岩石圈与 Cu、Fe、Au、Mo 等矿产富集区的时空演化关系	(47)
第三节 区域岩石圈稳定同位素地球化学特征与对比	(67)
第四节 区域岩石圈各时期构造环境中成矿作用的地球化学分析——以长江中下游地区及邻区为例	(87)
第三章 地层化学元素的时序演化与成矿元素富集层位	(93)
第一节 南岭地区沉积作用的化学元素演化与成矿元素富集层位	(94)
第二节 秦岭地区沉积作用的化学元素演化与成矿元素富集层位	(104)
第三节 三江地区沉积作用的化学元素演化与成矿元素富集层位	(116)
第四节 华北地台与扬子地台地层化学元素的时序演化与成矿元素富集层位	(131)
第四章 壳层浅表水热流体系统的地球化学特征与成矿作用	(144)
第一节 水热流体系统的分布	(144)
第二节 幕式-脉动喷溢与水热爆炸	(149)
第三节 水热流体的地球化学	(150)
第四节 水热蚀变	(156)
第五节 水热流体的地质成矿作用	(164)
第五章 区域地球化学场对成矿作用的控制	(171)
第一节 中国区域地球化学场的基本特征	(171)
第二节 构造运动旋回中花岗岩浆的成矿作用	(178)
第三节 中国区域地球化学场对成矿的控制作用	(193)
参考文献	(210)
英文摘要	(212)

CONTENTS

General foreword

Preface

Chapter 1 Divided zones of surface layer geochemical field in China and its basic characteristics	(1)
1. Distributive characteristics of some major elements of surface layer geochemical field in China	(5)
2. Divided zones of surface layer geochemical field in China continent	(15)
3. Regional geochemical anomaly and mineralization zones	(19)
Chapter 2 Regional lithospheric geochemical characteristics and ore-enriched zones	(39)
1. Regional lithospheric geochemical characteristics of east area in China	(39)
2. Lithosphere of east area in China and its relation with space-time evolution of Cu-Fe-Au-Mo ore-enriched zones	(47)
3. Stable isotopic geochemical characteristics of regional lithosphere and their contrast	(67)
4. Mineralization geochemistry of metallogenic environment of regional lithosphere in every period; a case study of middle-lower Yangzi river and its near area	(87)
Chapter 3 Time-sequence of chemical elements in strata and enriched strata of ore-forming elements	(93)
1. Sedimentation evolution of chemical elements and enriched strata of ore-forming elements in Nanling area	(94)
2. Sedimentation evolution of chemical elements and enriched strata of ore-forming elements in Qinling area	(104)
3. Sedimentation evolution of chemical elements and enriched strata of ore-forming elements in Nujiang-Lanchangjiang-Jinshajiang area	(116)
4. Time-sequence of chemical elements in strata and enriched strata of ore-forming elements in platforms of North China and Yangzi	(131)
Chapter 4 Geochemical characteristics of hydrothermal fluid system of surface layer in earth's crust and mineralization	(144)
1. Distribution of hydrothermal fluid system	(144)
2. Episode-pulsation effusion and hydrothermal explosion	(149)
3. Geochemistry of hydrothermal fluid	(150)
4. Hydrothermal alteration	(156)

5. Mineralization of hydrothermal fluid	(164)
Chapter 5 Chinese regional geochemical field and its control on mineralization	
.....	(171)
1. Basic characteristics of Chinese regional geochemical field	(171)
2. Mineralization of granite magma in tectonic cycle	(178)
3. Control of regional geochemical field on mineralization zones	(193)
References	(210)
Abstract	(212)

第一章 中国浅表地球化学场的 分区与基本特征

1978 年我国开始实施以水系沉积物为主要采样介质、定量分析 39 种元素和氧化物的 1:20 万地球化学填图（即区域化探全国扫面）。当时，预计 2005 年左右在中国基岩裸露、半裸露的山区、丘陵区、石质戈壁区可以完成扫面工作。1995 ~ 1997 年，谢学锦、任天祥等依据已获取的地球化学资料，将原始分析数据按 1:2.5 万图幅（约 100 km²）进行组合，求平均值，编制了 39 种元素 1:500 万全国地球化学图及说明书，并建立相应数据库。它是我们这次研究中国浅表地球化学场的主要资料依据。由于区域化探扫面还在进行中，已编制的 1:500 万全国地球化学图涉及的面积约 450 万 km²，尚有西部、北部、东北部边远地区约 200 万 km² 属于空白，因此，这次浅表地球化学场的研究，主要涉及的是我国东部和中西部地区。

水系沉积物是世界上公认的区域地球化学填图中最具代表性的采样介质，它是汇水城内各种岩石风化产物的天然组合。对已出露的基底和盖层岩石的地球化学特征以及各种地质-地球化学作用留下的特有的地球化学印迹有良好的继承性。因此，以水系沉积物为采样介质来研究中国浅表地球化学场的特征，包括背景场和异常场，是可行的。由于样品主要采自水系上游一、二级水系，且采样密度较大（平均每平方千米 1 ~ 2 个样），因而不只捕集了大量基础地质信息，还捕集了各种矿化信息。水系沉积物是表生介质，其元素含量分布除主要受岩石、矿化作用等地质因素制约外，气候、生物、地形、地貌等也将产生不同的影响。从表 1-1 中国北方和南方两个不同气候区水系沉积物与基岩的对比中可以看出，水系沉积物中绝大多数元素反映了基岩地球化学场的特征，例如，北方以五台山—恒山老变质岩区为例，几乎所有的铁族元素和造岩元素两者含量基本一致（比值在 0.8 ~ 1.2 之间），南方以江西省为例，除 Ca、Mg、Na、Sr 等碱、碱土金属在水系沉积物中大量淋失贫化（比值 < 0.6）外，铁族元素和主要造岩元素中的 SiO₂、Al₂O₃、K₂O 等与基岩地球化学特征一致。从表 1-1 还可以看出，在中国北方和南方，与基岩相比水系沉积物中相对显著富集的元素主要为挥发性元素（也是成矿和成矿指示元素）As、Sb、Hg、B 和成矿元素 Au、Pb、W、Sn、Bi、Nb、P、Li、Zr 等。这些元素之所以在水系沉积物中比基岩中富集，除与表生作用有关外，主要与水系沉积物中能够汇集矿化信息有关。表中的岩石样品采自无矿化蚀变的代表性岩石，能较好地反映出背景原貌。由于区域化探这个无可比拟的优点，为中国地质找矿和成矿预测提供了大量信息，并据此发现了一大批金属矿床。因此利用这份资料研究中国浅表地球化学场特征以及某些深部地球化学场特征与成矿更具代表性。

为了更好地了解和研究我国浅表地球化学场特征，表 1-2 列出了我国水系沉积物中 39 种元素和氧化物的地球化学背景参数（中位数、几何平均值、算术平均值）及含量变化区间，表 1-3 列出了与这次研究有关的一些元素和氧化物的一些地球化学特征参数。表中

的地球化学参数是这样确定的：以全部数据从小到大的累积频率区间来划分各区间所对应的含量即为域值。累积频率 30% ~ 70% 对应的区间为正常背景域，10% ~ 30% 对应区间含量为低背景域，70% ~ 90% 对应区间为高背景域，90% ~ 95%、95% ~ 99%、>99% 分别对应一、二、三级浓度异常，10% ~ 5%、5% ~ 1%、<1% 分别对应负一、二、三级浓度异常。

表 1-1 水系沉积物中元素含量与基岩元素含量比值 (w(D)/w(R))

元素	1	2	元素	1	2	元素	1	2
Ag	0.95	1.16	La	1.07	1.0	U	1.13	0.72
As	7.75	2.08	Li	1.46	1.28	V	1.19	0.91
Au	1.32	2.08	Mn	1.19	1.03	W	2.33	1.5
B	3.06	1.17	Mo	1.03	1.20	Y	1.35	1.07
Ba	1.05	0.8	Nb	2.13	1.0	Zn	1.09	0.91
Bi	1.35	1.42	Ni	1.17	0.95	Zr	2.07	1.93
Be	0.94	1.11	P	1.64	0.94	Fe ₂ O ₃	0.93	0.94
Cd	1.19	1.36	Pb	1.75	1.48	Al ₂ O ₃	0.96	0.90
Co	0.90	1.26	Sb	7.54	2.3	CaO	1.18	0.06
Cr	1.20	0.93	Sn		1.32	MgO	1.14	0.44
Cu	1.04	1.25	Sr	1.08	0.36	Na ₂ O	0.75	0.19
F	1.11	0.82	Th	1.26	1.0	K ₂ O	0.92	0.63
Hg	2.74	4.43	Ti	1.31	1.23	SiO ₂	1.04	1.06

注：1 为五台山—恒山老变质岩区（据沈镛立等 1997 年资料改编）；2 为江西省（鄢明才，1990）。

表 1-2 中国水系沉积物中 39 种元素背景值

类型 元素	水系沉积物 (N=44422)				陆壳元素含量 (K. H. Wedepohl 1995)
	中位数	几何均值	算术均值	0.02% ~ 99.98% 累积频率区间 含量变化	
Ag	77.00	80.88	93.82	6.83 ~ 3452.33	70.00
As	10.02	10.09	13.29	0.51 ~ 420.72	1.70
Au	1.32	1.37	2.03	0.01 ~ 211.80	2.50
B	47.00	42.29	51.25	1.14 ~ 405.79	11.00
Ba	491.16	473.47	521.69	37.09 ~ 5454.56	548.00
Be	2.13	2.13	2.28	0.27 ~ 17.12	2.40
Bi	0.31	0.34	0.50	0.03 ~ 55.98	0.08
Cd	135.00	156.33	258.39	11.50 ~ 12558.33	100.00
Co	12.12	11.75	13.10	0.86 ~ 74.43	24.00

续表

类型 元素	水系沉积物 ($N=44422$)				陆壳元素含量 (K. H. Wedepohl 1995)
	中位数	几何均值	算术均值	0.02% ~ 99.98% 累频区间 含量变化	
Cr	59.39	56.43	67.86	3.80 ~ 1565.95	126.00
Cu	21.83	21.56	25.56	2.01 ~ 368.08	25.00
F	492.20	490.34	528.49	93.71 ~ 6595.25	525.00
Hg	36.12	35.90	69.06	1.53 ~ 17904.64	40.00
La	39.00	38.94	41.10	7.20 ~ 248.46	30.00
Li	31.70	31.21	33.94	4.00 ~ 201.03	18.00
Mn	670.56	658.04	728.47	32.92 ~ 4949.65	716.00
Mo	0.84	0.90	1.13	0.10 ~ 29.75	1.10
Nb	15.83	15.99	17.38	1.16 ~ 137.50	19.00
Ni	24.68	23.68	28.66	1.71 ~ 669.61	56.00
P	577.78	582.37	654.02	77.60 ~ 5580.00	757.00
Pb	23.53	24.94	29.19	2.60 ~ 1795.27	14.80
Sb	0.69	0.76	1.42	0.05 ~ 208.78	0.30
Sn	3.02	3.22	4.13	0.31 ~ 337.57	2.30
Sr	142.90	126.31	163.81	7.87 ~ 1597.73	333.00
Th	11.90	12.17	13.54	1.30 ~ 130.43	8.50
Ti	4103.70	4043.52	4459.41	332.00 ~ 31199.08	4010.00
U	2.45	2.63	3.08	0.37 ~ 63.68	1.70
V	80.41	78.47	87.30	6.63 ~ 527.80	98.00
W	1.83	1.97	2.73	0.11 ~ 238.75	1.00
Y	24.73	24.97	26.31	2.59 ~ 152.45	24.00
Zn	70.04	69.61	77.17	9.83 ~ 1906.27	65.00
Zr	271.40	269.45	292.64	27.32 ~ 2015.97	203.00
Fe ₂ O ₃	4.50	4.42	4.73	0.46 ~ 19.05	6.17
Al ₂ O ₃	12.83	12.38	12.73	1.05 ~ 27.29	15.03
CaO	1.80	1.62	2.87	0.03 ~ 40.70	5.39
MgO	1.37	1.27	1.56	0.08 ~ 12.66	3.66
K ₂ O	2.36	2.28	2.40	0.16 ~ 6.53	2.57
Na ₂ O	1.32	0.94	1.37	0.02 ~ 5.30	3.10
SiO ₂	65.31	64.05	64.74	9.60 ~ 91.33	61.70

注：1. 水系沉积物元素含量数据为 837 幅 1:20 万化探扫面图幅中以 1:2.5 万图幅为平均值统计结果， N 为样本数。2. 含量单位 (w_B)：Ag、Au、Cd、Hg 为 ng/g，其它元素为 $\mu\text{g/g}$ ，氧化物为 %。（据任天祥等，1996）

表 1-3 本书使用的部分地球化学参数

元素	低背景域	高背景域	一级异常值	二级异常值	三级异常值
Au	0.8 ~ 1.3	2 ~ 2.8	2.8 ~ 5	5 ~ 9	> 9
Ag	65 ~ 85	110 ~ 130	130 ~ 200	200 ~ 300	> 300
Cu	13 ~ 20	25 ~ 35	35 ~ 55	55 ~ 92	> 92
Pb	18 ~ 22	28 ~ 38	38 ~ 50	50 ~ 85	> 85
Zn	55 ~ 70	90 ~ 110	110 ~ 135	135 ~ 200	> 200
W	1.4 ~ 1.9	2.8 ~ 4.5	4.5 ~ 6	6 ~ 15	> 15
Sn	2.5 ~ 3.2	4.2 ~ 5	5 ~ 9	9 ~ 18	> 18
Mo	0.7 ~ 0.9	1.3 ~ 1.8	1.8 ~ 25	2.5 ~ 5	> 5
Cr	30 ~ 55	75 ~ 100	100 ~ 180	180 ~ 250	> 250
Ni	15 ~ 22	31 ~ 40	40 ~ 65	65 ~ 100	> 100
Co	8 ~ 10	15 ~ 19	19 ~ 25	25 ~ 40	> 40
Ti	3000 ~ 4000	5000 ~ 6200	6200 ~ 8000	8000 ~ 12000	> 12000
V	56 ~ 75	96 ~ 120	120 ~ 180	180 ~ 300	> 300
P	400 ~ 540	650 ~ 920	920 ~ 300	1300 ~ 1700	> 1700
Nb	12 ~ 16	20 ~ 26	26 ~ 35	35 ~ 45	> 45
Sb	0.36 ~ 0.6	1.3 ~ 2.5	2.5 ~ 5.8	5.8 ~ 14	> 14
As	5.5 ~ 9	15 ~ 25	25 ~ 40	40 ~ 60	> 60
Hg	12 ~ 30	70 ~ 130	130 ~ 250	250 ~ 450	> 450
U	1.7 ~ 2.3	3.5 ~ 5.2	5.2 ~ 7.5	7.5 ~ 12	> 12
Mn	480 ~ 650	850 ~ 1200	1200 ~ 1350	1350 ~ 1750	> 1750
F	350 ~ 450	600 ~ 750	750 ~ 960	960 ~ 1200	> 1200
B	25 ~ 45	70 ~ 90	90 ~ 100	100 ~ 130	> 130
SiO ₂	57 ~ 62	68 ~ 72	72 ~ 78	78 ~ 82	> 82
K ₂ O	1.7 ~ 2.2	2.7 ~ 3.3	3.3 ~ 3.8	3.8 ~ 4.3	> 4.3
MgO	0.63 ~ 1.25	2 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 5	> 5
Fe ₂ O ₃	3.2 ~ 4.2	5.3 ~ 6.5	6.5 ~ 8.5	8.5 ~ 12	> 12
Na ₂ O	0.24 ~ 0.98	1.95 ~ 2.7	2.7 ~ 3.3	3.3 ~ 3.9	> 3.9

注：含量单位 (w_B) 氧化物为 10^{-2} ，Au、Ag、Hg 为 10^{-9} ，其余元素为 10^{-6} 。

从表 1-2 可以看出，中国水系沉积物中元素背景含量（几何均值或中位数）与 L. H. Wedepohl 给出的世界陆壳元素含量相比大致有以下特征：① 铁族元素（如 Fe₂O₃、Cr、Ni、Co、Mn、V 等），与世界陆壳元素丰度相比，中国水系沉积物中明显偏低，其中 Cr、Ni、Co 偏低达一倍以上，而造岩元素 Si 等则明显偏高。这一特征与中国上部陆壳组成中

镁铁成分较少、硅质成分较高有关。② 其他造岩元素 Ca、Mg、Na 等, 由于在水系沉积物中大量淋失, 含量显著偏低, 尤其在南方湿润区和岩溶区淋失更甚, 对原岩中含量分布特征不具有继承性。无对比基础。③ 与中酸性、酸性岩浆活动和热液活动有关的一些成矿及指示元素 W、Sn、Pb、Ag、Sb、Hg、As、Cd、Th、U、Li、La 等, 在中国水系沉积物中背景值显著增高, 且含量变化幅度大, 基本反映了中国成矿活动的重要特色和特点。

第一节 中国浅表地球化学场中一些重要元素分布的基本特征

地球化学场是由地壳原始物质组成不均一性和地壳演化过程中各种地质-地球化学作用所形成的化学元素含量和组合特征在时空中的展现。浅表地球化学场是其中的组成部分, 是指近地表地壳(表壳)所形成的地球化学场, 在空间上其深度与已出露的基底、盖层、岩浆岩的厚度或延伸有关。由于有些表壳物质来源于深部(下地壳、地幔等), 因此浅表地球化学场在一些空间部位上也反映深部地球化学场的某些特征。地球化学场是不均一的, 在一定的范围内, 有些元素呈正常模式分布, 有些呈异常模式分布。根据异常的规模和成因, 可将其分为四级: 即地球化学域、地球化学省、区域地球化学异常(或地球化学异常区)和局部地球化学异常。地球化学域是一种规模十分巨大的地球化学异常, 往往跨越一个以上一级大地构造单元, 面积达数十万至上百万平方千米。它是在全球尺度上由于地壳原始组成物质不均一性引起。地球化学省, 也是一种规模巨大的地球化学异常, 但规模比地球化学域要小, 范围一般可达数千至数万平方千米。它是一种与地壳平均值显著不同、富含某种或某些元素的巨大地球化学块体, 反映了地壳形成与演化中存在的原始差异, 它与成矿活动的关系较密切。区域地球化学异常(或地球化学异常区、带), 范围要比地球化学省小, 一般上百至上千平方千米。是地壳形成与演化中由各种区域地质-地球化学作用、区域成矿作用引起, 与区域成矿作用关系密切。一般反映成矿区、带的异常, 矿集区的异常多为区域地球化学异常。局部地球化学异常是范围更小的异常。本项研究主要涉及前三种模式的异常, 特别是地球化学省和地球化学异常区、带。

本节依据全国地球化学图, 重点探讨 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 、Cu、Pb、Ag、Au、W、Sn、Mo、Cr、Ni、Mn 等元素在中国浅表地球化学场的分布。

一、铁族元素

亲核和亲地幔元素 Fe、Ni、Cr、Co、Mn 以及 V、Ti 等的分布特点:

1) 在古中华陆块群分布区呈高背景分布。在华北、扬子准地台等较大的陆块, 这些元素的中、高背景域几乎覆盖全区, 并可大致圈出陆块的范围。

2) 这些元素的异常带呈近 EW 向、NE 向、NW 向、SN 向分布, 并构成立交桥式形态。异常带呈近 EW 向的从北向南有: ① 天山—华北地台北缘异常带(在西天山分为三支, 与北天山缝合带、纳曼—贾拉依尔缝合带、乌拉尔—南天山缝合带位置相当); ② 昆中—商丹异常带; ③ 班公错—怒江异常带; ④ 雅鲁藏布江异常带; ⑤ 宜山—全南异常带; ⑥ 雷琼异常带。异常带呈 NE 向分布, 由东向西依次为: ① 丽水—莲花山异常带(Fe 族元素及 Cu 异常呈碎块状以约 200 km 的等间距分布, 长达 1000 余 km); ② 敦化—密山、鲁中南、阳新一修水—铜鼓、长寿街—双牌、南宁异常带; ③ 大兴安岭南段—太

行山、南阳—恩施—贵阳、弥勒—师宗带；④ 龙门山异常带。呈 NW 向的从北向南依次为：① 额尔齐斯和纳尔曼德异常带；② 北祁连—北秦岭—大别山异常带；③ 金沙江—红河异常带；④ 右江异常带；⑤ 崇左—那坡—富宁异常带。呈 SN 向的异常带有：① 鄂尔多斯西缘—天水异常带；② 小江、安宁河、绿汁江异常带；③ 雅江—木里异常带。这些异常带的物质主要来自深源，沿着缝合带、转换断层及走滑断层带、大陆壳消减带及其它深大断裂分布，展示了我国大陆构造格架的基本格局。值得注意的是，挥发性元素 F、Sb、As、Hg 的异常带或高背景带与亲核、亲地幔的铁族元素异常带的分布基本一致，除 Hg 外，且异常带的宽度更大。根据挥发性元素异常带规模、强度、分布特征，有可能对深大断裂的性质、体系归属、活动性、断裂带的老、新，作出某些判断。

3) 在中国西南部川、滇、黔、桂分布着一个巨大的亲核亲地幔元素 Fe、Cu、Cr、Ni、Co、V、Ti、Mn、Zn、Nb 的地球化学域，面积近 30 万 km^2 。由三部分组成：① 分布在扬子地块西南隅的川、滇、黔地球化学块体（亚域），是这个地球化学域的主体和核心。面积近 20 万 km^2 ，呈楔形分布。块体内 Cu、Fe、Co、Ti、V、Nb 异常浓度高达三级，Cu、Fe 等元素的异常带呈 SN 向、NE 向分布。块体内主要分布二叠纪大陆溢流玄武岩。在这个块体内 Cr、Ni 主要呈一、二级浓度异常分布；② 甘孜—木里地球化学块体，与川、滇、黔块体紧密相连，分布在松潘—甘孜造山带的东南部，该块体的特征是 Cr、Ni 呈高浓度（三级）分布，其它铁族元素多呈一、二级异常浓度分布；③ 桂西 Fe、Cu、Cr、Ni、Co、V、Ti、Mn、Nb 异常区。区内上述元素异常带分南北两条分别沿右江断裂带和富宁—那坡—崇左一线呈 NW 向分布。该区除 Mn、Zn、Cr、Ni 异常较强呈二、三级浓度外，多数元素主要呈一、二级浓度分布。右江（印支）火山岩区分布在该异常区内。

在川、滇、黔地球化学域内及边缘和外侧，分布有规模巨大的 Pb、Zn、Mo、U、F、As、Sb、Hg、B 异常带，并具有分带现象，从里向外依次为 Pb、Zn、Sb、B、F→Mo、As、U、Hg（Pb、Zn），其中以 F、Mo、Hg 异常带规模最大。

二、 SiO_2 和 K_2O

利用亲壳元素和亲核、亲地幔元素（或氧化物） SiO_2 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、Cr、Ni、Co 等的高、低背景域和异常分布，可以大致划定陆块与造山带的边界以及主要缝合带、大陆壳消减带、深大断裂带的位置。

亲壳元素 Si、K 等在造山带呈高背景域或异常分布。在全国地球化学图上， SiO_2 的异常区带主要分布在滇越—华南造山系、藏滇造山系，北山—内蒙古—兴安造山带、祁连造山带，喜马拉雅造山带；但在秦岭造山带、东昆仑造山带和南北天山造山带中几乎无 SiO_2 异常显示。 K_2O 的分布与 SiO_2 略有不同，其异常带主要分布在华南造山带、改则—密支造山带和天山—内蒙古—兴安造山带。

在我国华南地区分布着一个巨大的 SiO_2 、 K_2O 的地球化学域，占据几乎整个滇越—华南造山系，并跨越扬子陆块的东部和东南部，分布在贵阳—武陵山以东至东南沿海，面积达 140 万 km^2 。在这个域内分布着一系列 NE 向和近 EW 向的 SiO_2 、 K_2O 的异常带和异常块体。其中 K_2O 异常分布的范围和规模要比 SiO_2 小， K_2O 的高背景域和异常主要分布在我国东南沿海，与东南沿海高钾钙碱性火山岩系分布区基本一致，主体异常带呈 NE 向分布在武夷山—浙南丽水一带，在广东、南岭、海南岛及湘赣边界 K_2O 异常规模相对较小，呈串珠状或碎块分布。 SiO_2 异常区、带主要集中分布在东南沿海以西的广大地区，