

I
H
氫

Li
鋰

Na
鈉

K
鉀

Cs
铯

金世

Ba
钡

七

La-Lu
镧系

22

卅
拾

100

Ta
鉭

W
钨

Re
銠

Fr
全方

Ra
镭

Ac-Lr
鉅阿采

冶金部广东冶金地质勘探公司

La
金剛

Ce
銻

Pr
普

Nd
钕

P_m
鉅

Sm
三

地球化学专题讲座讲义(初稿)

黎 彤 倪守斌编讲

冶金工业部广东冶金地质勘探公司

1982年4月

前 言

今年四月，中国科技大学地球与空间科学系付主任黎彤教授及倪守斌同志应我公司的邀请，为省冶金厅、省金属学会和广东冶金地质勘探公司三个单位联合举办的“第一期地质工程师进修班”的学员讲授“地球化学”。黎教授是我国研究地球化学方面造诣较深的一位知名学者，富有教学、科研经验。这次前来讲学，根据我们这期进修班学习期限短、学员均为具有野外实践经验的地质工程师这一特点，并结合我国南方的地质成矿特征，为学员讲授了有关地球化学方面的八个专题讲座，深受学员们和参加旁听的同志热烈欢迎和好评，一致要求收讲稿付印成册。我们征得了黎教授同意，他还热心地对讲稿作了修订和补充，加入了部份近期的研究成果，使讲稿的内容更为丰富多彩。不失为广大地质工作者在区域地质调查、矿产普查、矿床勘探和科学研究工作中的一本颇有实用价值的参考材料。

冶金部广东冶金地质勘探公司

一九八二年五月

地球化学专题讲座内容

第一讲 地球化学的进展	1
一、引言	1
二、经典地球化学的三大学派	2
(一) 克拉克学派	2
(二) 维尔纳茨基—费尔斯曼学派	2
(三) 戈尔德施密特学派	2
三、现代地球化学发展的特点	3
(一) 发展地球化学的国家大量增加, 加强了国际合作与交流	3
(二) 研究领域不断扩大, 出现三个前沿领域	3
(三) 研究内容不断深化, 并向数学模拟方向发展	3
(四) 分支学科体系已经形成, 成为当代地球科学三大基础学科之一	4
四、我国地球化学发展的若干特点	5
第二讲 岩石化学资料在板块构造研究中的应用	7
一、岩石化学全分析资料的整理	7
(一) 整理和汇编岩石化学资料的重要	7
(二) 选择高质量岩石化学资料的标准	7
二、利用微量元素和同位素区别岩石产生的板块部位	8
(一) 微量元素和同位素指标	8
(二) 区分拉斑玄武岩喷出的板块构造部位举例	8
三、利用钾值估计俯冲带深度和地壳厚度	12
(一) 标定硅的钾值和康迪公式	12
(二) 康迪公式的应用前提	14
附: 中国岩浆岩的平均化学成分 (表 1—4)	15
第三讲 元素丰度的计算和应用	17
一、元素丰度的计算	17
(一) 克拉克如何计算克拉克值?	17
(二) 地壳元素丰度的计算	19
(三) 地壳同位素丰度的计算	31
(四) 地球元素丰度的计算	41
二、元素丰度的应用	48
(一) 元素丰度的三种常用单位	48

(二)不同丰度单位的换算公式·····	49
(三)重量丰度的应用·····	50
(四)原子丰度的应用·····	53
(五)相对丰度的应用·····	54
(六)应用地壳元素丰度时计算值的选择问题·····	56
附1. 美国如何利用元素丰度估计矿产的资源潜力? ·····	58
附2. 地壳元素丰度的反偶数规则·····	61
第四讲 金属成矿理论的进展·····	68
一、引言·····	68
二、金属成矿理论的基本问题·····	69
(一)运矿流体的性质和来源·····	69
(二)矿质的来源及其进入流体的方式·····	70
(三)矿质在流体中的迁移形式·····	71
(四)矿石沉积的物理—化学条件·····	72
三、主要的金属成矿假说简述·····	73
四、我国金属成矿理论的若干进展·····	74
(一)我国是矿产资源丰富的国家·····	74
(二)我国金属成矿理论的某些进展·····	75
(三)发展我国金属成矿理论的意义·····	79
第五讲 同位素地球化学简介·····	81
一、引言·····	81
二、自然界同位素及其丰度变化的原因·····	81
(一)放射性同位素及其蜕变规律·····	82
(二)同位素分馏·····	83
三、同位素地质年代学·····	83
(一)衰变常数及其它计算常数问题·····	83
(二)等时线与同位素演化线数据处理·····	83
(三)K—Ar常用的几种等时线法·····	83
四、稳定同位素地球化学·····	87
(一)硫同位素地质温度计·····	88
(二)锶的二组分混合·····	89
五、莲花山钨矿床同位素地质学研究实例·····	91
(一)矿床地质概况·····	91
(二)同位素地质年代学研究·····	94
1. 同位素地质年代学样品采集·····	94
2. Rb—Sr 年令测定·····	94
3. K—Ar 年令测定·····	97

(三)稳定同位素研究	100
1. 锶同位素测定	100
2. 硫同位素测定	101
(四)讨论	103
1. 成岩和成矿时代	103
(1)成岩时代	103
(2)成矿时代	104
2. 成矿作用	105
(1)锶同位素初始值和岩石成因	105
(2)成矿物理化学条件和热液来源	106
(3)成矿可能的构造部位	111
(五)结论	114
第六讲 金的地球化学特征和找矿	115
一、金在地壳中的分布特征	115
(一)金的地壳丰度很低	115
(二)金在地壳物质中的分布很均匀	116
二、金的存在状态	116
(一)自然金	116
(二)碲金矿	118
三、金的富集特征	119
(一)原生金矿石的富集作用	119
(二)砂金的富集作用	121
(三)金的氧化溶解和次生富集	121
四、大型金矿床类型简述	123
五、金矿床的围岩蚀变类型	124
六、金的地球化学找矿	125
(一)岩石地球化学法	125
(二)土壤地球化学法	126
第七讲 锡的矿床地球化学	128
一、锡的分布特征	128
二、锡的地球化学性质	129
(一)锡的一般化学性质	129
(二)锡的亲铁性	130
(三)锡的亲氧性和亲硫性	131
三、锡的岩浆专属性	132
(一)含锡花岗岩的化学成分特征	132
(二)含锡花岗岩的类型	133

四、锡的热液成矿地球化学特征	134
五、锡矿床及其分布	135
(一) 矿石建造和元素共生组合	135
(二) 世界锡矿床的分布	136
(三) 锡的产量和储量	136
(四) 锡的板块成矿模型	137
六、花岗岩中锡石—石英脉研究举例	139
(一) 研究锡在花岗岩中的存在形式	139
(二) 研究锡石—石英建造的成矿作用	139
(三) 研究含锡花岗岩的垂直分带结构与锡的活化转移	140
(四) 氧同位素研究	140
第八讲 钨地球化学的若干问题讨论	142
一、钨区域丰度的计算	142
(一) 区域克拉克的计算	142
(二) 克拉克含量的计算	143
二、钨矿源层的地球化学概念	143
三、钨的热液成矿地球化学	144
四、钨、锡等八元素的丰度和地球化学性质比较	146
(一) 丰度特征	146
(二) 地球化学性质	148
五、广东莲花山钨矿区的花岗岩具有 I 型的特点	149

附图目录

图 2—1	不同产状的拉斑玄武岩稀土模式	10
图 2—2	不同产状的拉斑玄武岩 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 比值	11
图 2—3	俯冲深度和 K_2O 含量关系图	12
图 2—4	地壳厚度和 K_2O 含量关系图	13
附 2 图 1	宇宙丰度的偶数规则	61
附 2 图 2	地壳元素丰度—原子序数曲线	62
附 2 图 3	地球元素丰度—原子序数曲线, 表示惰性元素的缺少	63
附 2 图 4	地球丰度中缺少挥发性元素状况	64
附 2 图 5	地壳元素丰度的反偶数规则	65
附 2 图 6	地壳丰度中一些偶数规则例外的解释	67
图 5—1	钨矿区地质图及同位素年代学采样地点	92
图 5—2	Rb—Sr 等时线图	98
图 5—3	矿区矿物、岩石 K—Ar 等时线图	100
图 5—4	莲花山钨矿含硫矿物 δS^{34} 频数分布图	101
图 5—5	我国东南部火成岩和变质岩 K—Ar 年令频率图	104
图 5—6	莲花山钨矿床 δS^{34} 等值线和共生矿物稳定场 $\lg f\text{O}_2$ —pH 关系图	107
图 5—7	Rb—Sr 含量和地壳厚度关系图	113
图 5—8	我国沿海火山岩地区 W、Sn 矿床与板块俯冲关系示意图	114
图 6—1	自然金呈同心环带状构造	117
图 6—2	自然金 (Au) 呈粒状、枝状充填在石英 (Q) 的显微裂隙中	117
图 6—3	充填在黄铁矿 (Py) 中的金呈细脉状, 局部交代黄铁矿	118
图 6—4	毒砂 (Asp) 中的金粒 (Au)	118
图 6—5a	有黑色银盐包膜的金粒 (银金矿)	121
图 6—5b	有氧化铁包膜的金粒	121
图 6—6	褐铁矿 (Fe) 和金 (Au) 沿石英 (Q) 裂隙分布	121
图 7—1	锡储量和地质时代的关系	137
图 7—2	板块构造和锡的成矿模型	138
图 7—3	锡石—石英脉矿床围岩蚀变垂直分带与锡的活化转移	141
图 8—1	区域地壳丰度计算模型示意图	142

附表目录

表 2—1	拉斑玄武岩平均化学成分	9
表 2—2	上地幔和洋壳的铁族痕量元素及其对比	10
表 2—3	中国岩浆岩平均化学成分中的 K_2O 值	12
附表 1	中国主要岩浆岩种类的平均化学成分	14
附表 2	中国岩浆岩类的平均化学成分	15
附表 3	中国岩浆岩的总平均化学成分	15
附表 4	中国岩浆岩的化学元素平均含量	16
表 3—1	地壳的元素丰度(单位:克/吨)	23
表 3—2	地壳的元素丰度(单位:原子数/ 10^6Si 原子)	26
表 3—3	地壳的原子丰度	35
表 3—4	地壳同位素丰度(据原子百分数计算)	38
表 3—5	地壳及其层壳的元素丰度(单位:克/吨)	42
表 3—6	各种地球元素丰度值的比较(单位:重量%)	47
表 3—7	原子丰度换算表	50
表 3—8	锡在地球内部的分布	51
表 3—9	锡在陆地地壳的分布	51
表 3—10	不同尺度自然体系的元素丰度背景值	52
表 3—11	钍和铀的丰度系数	53
表 3—12	地壳中常见元素的体积百分数计算表	54
表 3—13	与放射性有关的元素的地壳同位素丰度	55
表 3—14	地球和太阳的金属元素相对丰度($Si=10^6$ 个原子)	56
表 3—15	若干金属元素的不同地壳重量丰度值	57
附表 1	一些金属在地壳和美国地壳中的丰度、质量、储量和资源潜力	60
表 5—1	矿区主要火成岩平均化学成分结果表	93
表 5—2	矿区主要岩体微量元素含量表	93
表 5—3	矿物生成顺序表	95
表 5—4	同位素地质年代学采样位置和采用的分析方法	96
表 5—5	全岩和分离矿物样品的Rb—Sr数据	96
表 5—6	K—Ar同位素测定结果	99
表 5—7	莲花山钨矿区火成岩的矿物岩石等时年令和初始 Sr^{87}/Sr^{86} 比	100

表 5—8	分离矿物的硫同位素数据·····	102
表 5—9	有关化学反应平衡常数·····	108
表 5—10	莲花山钨矿区火成岩中 Kn 值及 C、Z 值·····	112
表 5—11	岩石中的 Rb、Sr 含量·····	112
表 6—1	有 MnO_2 存在时, 金在 $25^\circ C$ 的溶解度·····	122
表 7—1	锡在地球内部的分布·····	128
表 7—2	锡在地壳丰度值·····	129
表 7—3	陆地地壳内的锡分布·····	129
表 7—4	锡及相似离子的离子半径和电负性·····	130
表 7—5	五金在地球内部的分布·····	130
表 7—6	世界花岗岩类平均化学成分 (重量%)·····	132
表 7—7	花岗岩类的若干特征值·····	133
表 7—8	含锡花岗岩类不同类型的平均化学成分 (重量%)·····	134
表 7—9	锡的产量和储量 (金属锡, 万吨)·····	137

第一讲 地球化学的进展

一 引 言

现代地球科学有三门基本学科：地质学、地球物理学和地球化学，地质学早在十八世纪就已奠定了理论基础。地球物理学首先是以地震学在十九世纪中叶从地质学独立出来的，地球化学直到十九世纪末才作为一门介于地质与化学之间的边缘学科而诞生。今天许多重大的地学理论问题的解决。如地球起源问题，板块构造理论问题，以至区域成矿分析问题等的解决，都有赖于这三门基本学科的协作。

地球化学作为一门地球科学。它专门研究地球物质的化学组成、化学作用和化学演化。它着重研究化学元素及其同位素在地球演化历史过程中的分布、迁移和富集规律，并运用这些规律来解决有关的理论和实际问题。

地球化学这门学科是在本世纪内发展起来的，它的发展史大致可划分两个阶段：

1. 经典地球化学阶段（1950年以前），这阶段着重研究的领域是地球外部的岩石圈、水圈、大气圈和生物圈。研究的内容是化学元素（呈原子或离子形式）的分布和迁移，研究手段主要是无机化学、分析化学和晶体化学方法。

2. 现代地球化学阶段（1950年以后），这阶段由于宇航技术的发展，地球化学的研究领域，向月球和其它行星扩展，建立了宇宙化学。另一方面，由于高温高压实验技术取得了较大进展，地球化学的研究领域向地球深部扩展，形成了以研究地幔（甚至地核）为对象的深部地球化学。这阶段的研究内容，除化学元素外，着重发展了同位素研究，建立了同位素地球化学。研究手段则着重发展了物理化学方法和原子核物理方法。近年来，数字模型在地球化学研究上也越来越多地得到应用。

七十年代以来，对地球化学的研究范围，有两种不同的观点：

第一种观点认为，地球化学应只研究地球物质，尤其是地壳物质，因为地壳物质是属于可直接观测的范围，而且与人类生活的关系最密切。研究地球深部也是为了更好地解决地壳的问题。地球以外的研究，应属于宇宙化学的领域。这是狭义地球化学的观点。

第二种观点认为，地球化学除了研究地球物质外，还应包括太阳系物质，甚至应包括太阳系以外的天体物质和宇宙尘云。因为从自然体系的尺度来说，地球化学仅仅是宇宙化学的一个组成部分；而且要解决地球起源和太阳系起源，生命起源，元素起源等当代自然科学的重大理论问题。不能只研究地球，必须研究整个自然界。这是广义地球化学的观点。这种观点是美国学者首先提出来的。目前宇宙化学的许多研究工作，都是由地球化学家来从事的。

二、经典地球化学的三大学派

(一) 克拉克 (F.W. Clarke, 1847—1931) 学派

克拉克是地球化学的奠基者。他着重研究了化学元素在地壳中的分布和丰度。他所指的地壳是当时地质学上的广义地壳概念,包括岩石圈、水圈、大气圈和生物圈。他将化学元素划分为成岩元素和成矿元素两大类。他多次发表的《地壳的平均化学成分》(1889—1924)和《地球化学资料》(1908—1924)是最早的经典地球化学著作。国际地质学会(1932)为了表彰他的贡献,将地壳元素丰度正式命名为“克拉克”或“克拉克值”。

克拉克认为,地壳上的化学反应可分为三类:1)地壳岩石本身主要组份之间的反应;2)由水圈引起的反应;3)由大气引起的反应。他认为地球化学家的职责,就在于研究岩石化学体系在不同地质作用下发生的化学变化。查明什么变化可能发生,怎样发生,什么时候发生,有什么伴生现象,会产生什么结果等问题。

这些观念,反映了当时克拉克学派对地球化学这门学科的理解还是很狭窄的。

(二) 维尔纳斯基—费尔斯曼学派 (В.И. Вернадский, 1863—1945; А. Е. Ферсман, 1883—1945)。

维氏开创了生物地球化学和放射性同位素地球化学研究,他在俄国设立了专门实验室(1913)。发表了《地球化学概论》教科书(1924—1934)。他认为地球化学应研究地壳的原子历史,分布和迁移,以及原子的成因。他首先提出了地球化学旋回的概念,用它来阐述化学元素在前后相继的地球化学作用中的演变历史。他的学生费尔斯曼则开创了区域地球化学和地球化学的找矿方法。费氏发表的《俄罗斯地球化学》(1922),是一本经典的区域地球化学著作。

为了阐明元素在迁移过程中的地球化学行为,费尔斯曼对控制元素迁移的因素。晶格能和共生序数等方面进行了研究。并强调研究在不同热力学条件下元素迁移规律的重要性。

在苏联十月革命后,费尔斯曼很重视应用地球化学原理来指导找矿和综合利用矿物原料,为了便于利用岩浆专属性来找矿,他将元素分为四类:1)酸性岩浆元素;2)中性岩浆元素;3)超基性岩元素;4)硫化矿床元素。

(三) 戈尔德施密特 (V.M. Goldschmidt, 1887—1947) 学派

戈尔德施密特在他的晶体化学研究基础上,开创了痕量元素地球化学的研究。揭露了痕量元素在岩石和矿物中的存在形式和分布规律,并补充进他计算的岩石圈元素丰度中。

他根据元素在陨石中和地球物质中的分布,将元素划分为四类:1)亲铁元素;2)亲铜元素;3)亲石元素;4)亲气元素。后来又补充了亲生物元素。

他赋予地球化学更广阔的研究领域和更深入的研究内容,他有远见地指出,地球化学不仅要研究元素的分布和丰度,而且要研究同位素的分布和丰度;不仅要研究地球的物质成分,而且要研究宇宙的物质成分。他十分强调要研究那些支配元素和同位素分布的规律。戈氏的这些观点,对现代地球化学的发展,产生了重大影响。

他在三十年代发表了一系列的地球化学著作。他的遗著《地球化学》(1954)是一本经典的元素地球化学。其中有关地球化学平衡的计算,也是开创性的。

三、现代地球化学发展的特点

第二次世界大战结束后,地球化学的发展有了很大的变化。同经典地球化学阶段比较,现代地球化学的发展具有下列特点:

(一)发展地球化学的国家大量增加。加强了国际交流与合作。

在第二次世界大战以前,地球化学研究集中在美国、苏联和德国等少数几个国家。到了五十年代以后,许多国家,如加拿大、法国、英国、捷克、波兰、日本、印度、南非、澳大利亚、新西兰等都普遍重视地球化学的发展。我国的地球化学也是在五十年代发展起来的。

上述国家积极培养地球化学人材,设立地球化学研究机构。成立地球化学协会,出版地球化学专门刊物。美国地球化学协会近来还设立了戈尔德施密特奖和克拉克奖。

国际地质科学联合会(IUGS)以及国际理论化学和应用化学联合会都设立了地球化学的专门组织。出版了国际性的《地球化学和宇宙化学》杂志(1950年创刊)。国际学术交流会议日益频繁。1965年在巴黎成立了国际地球化学和宇宙化学协会。

由许多国家合作的全球性研究计划,促进了有关地球化学分支学科的发展。例如,六十年代的上地幔计划和板块构造学说的提出,促进了高温高压实验地球化学和同位素地质学的发展;七十年代的世界性的能源危机和防止公害计划,加速了有机地球化学和石油地球化学的发展;并促使环境地球化学的诞生。

由于全球性的研究得到加强,提出的全球地壳模型和地球层壳模型,更有利于研究元素在地球物质中的分布,为重新计算地球和地壳元素丰度创造了条件。从而促进元素丰度体系的建立。同时,由于全球构造模型的应用,许多地球化学省、岩石省和成矿省都有必要重新划分。推动了区域地球化学和矿床地球化学的深入发展。

(二)研究领域不断扩大,出现三个前沿领域。

经典地球化学阶段的研究领域,在很大程度上只限于地球的外部地圈,重点是研究岩石圈的上部。所以经典地球化学基本上是岩石圈地球化学及其有关分支学科。

五十年代开始的宇航计划,加速了地球化学向宇宙空间(首先是太阳系空间)发展,六十年代的上地幔计划,加速了地球化学向地壳下面发展。七十年代以来,防止公害和海洋资源利用计划,使大气地球化学和海洋地球化学成了热门。因此,地球化学的研究领域正经历着三大转变:1)从地上转向天上;2)从地上转入地下;3)从大陆转向海洋。

“上天、入地、下海”成为现代地球化学的前沿领域。研究这些领域,地球化学需要地球物理和地质学更加紧密地合作。

由于三大经典地球化学学派的研究中心—美国、苏联、德国(西德)基础较好,所以它们在这些研究领域取得的成果,往往处于领先的地位。但是,也有后起之秀,如澳大利亚在上地幔地球化学方面的研究,则处于领先的地位。

(三)研究内容不断深化,并向数学模拟方向发展。

地球化学的基本研究内容,大致可概括为下列几个方面:

1. 研究化学元素及其同位素的分布和丰度。
2. 根据元素在自然界的产状,进行地球化学分类,也就是确定元素的地球化学性质。
3. 研究元素的迁移作用和同位素的分馏作用。特别是研究金属元素的富集和成矿作用。
4. 运用地球化学旋回的概念来恢复元素在时间和空间上的演化历史。
5. 研究地球历史上的同位素演化。

上述五方面在地球化学的现代阶段都得到不同程度的深入发展。例如,在元素丰度方面,建立了元素丰度体系;在元素地球化学分类方面,提出了更实用的分类法和更具体的分类,前者如查瓦里茨基1950年提出的分类,后者如元素的生物地球化学分类;研究元素迁移和富集方面,以及同位素分馏作用方面,广泛地引用了热力学方法和数学模拟方法,并考虑到作用的动力和能量问题;研究地球化学旋回方面,提出了箱式模型的原理和方法,研究同位素的单方向演化(如Pb、Sr等演化)也提出了各种模型,来说明复杂的地质现象。

最近二十多年来,数学方法和数学模型在地球化学中越来越得到广泛应用。起初是运用数理统计方法来处理大量的化学分析资料。后来试用数学模拟来研究地球化学过程,首先是外生作用的沉积过程。目前各种各样的模型正在日益增加。随着现有各种分析设备和计算技术的扩大应用和资料检索系统的建立,将导致地球化学进入一个广泛应用数学模拟来研究元素迁移过程的新阶段。目前,国际数学地质协会出版了这方面的专门刊物。

(四)分支学科体系已经形成,地球化学成为当代地球科学的三大基础学科之一。

十九世纪末至二十世纪初,地球化学是作为一门介于地质学和化学之间的边缘学科而诞生的。随着研究领域的不断扩大,研究内容的不断深入,今天它已经发展成为一个拥有多种分支学科的体系。成为一门独立的地球科学。它与地球物理学和地质学并驾齐驱,共同向地球进军。关于地球化学的学科体系:

1. 按照研究领域划分的分支学科有:

(1)岩石圈地球化学,包括岩石化学、矿物化学、土壤化学。

(2)水圈地球化学,内容包括海洋化学和大陆水文化学。

(3)大气圈地球化学,包括对流层大气化学和高空大气化学(或光化学)。

(4)生物圈地球化学,包括研究活质的生物地球化学和研究埋藏在地层中有机质的有机地球化学。

(5)深部地球化学,专门研究地幔和地核化学。重点是研究上地幔与地壳的相互地球化学作用。

(6)宇宙化学。包括太阳、陨石、月球和行星化学,以及太阳系外天体和宇宙尘云化学。

2. 按照专门的研究内容划分的分支学科有:

(1)元素地球化学,其中又分出痕量元素地球化学,以及稀有元素、分散元素、稀土元素等地球化学分支;

(2)同位素地球化学,目前着重发展了同位素地质年代学和稳定同位素地球化学二

个分支学科。

(3) 实验地球化学和分析地球化学, 偏重于模拟实验和特殊分析技术方面的研究。

3. 具有综合研究特点的分支学科, 如

(1) 区域地球化学, 它专门研究化学元素在一定地区内(或一定地质构造单元内)的分布、迁移、演化, 并着重研究这些区域的地球化学特征和特殊规律性。区域地球化学调查通常是在区域地质调查的基础上进行的, 并且与地球物理探测相结合。它一般包括如下研究内容: 1) 调查化学元素在本地区内各个地质时代和各种地质体中的分布和分配规律, 求出各种岩石中的元素平均含量, 计算本地区的元素丰度, 指出有特殊意义的元素(如成矿元素、导致地方病发生的有害元素等)的富集或贫化程度; 2) 研究化学元素在本地区内发生迁移的地质年代和地球化学作用, 揭露其演化规律, 导致发生富集或贫化的原因和物理化学条件, 以及在迁移过程中的搬运和沉积方式; 3) 运用统计方法定量地研究化学元素之间的共生关系, 根据相关系数确定其指示元素, 作为发现主要元素的地球化学标志; 4) 在揭露本地区化学元素的分布规律和演化规律的基础上, 研究矿源层的存在及其与成矿作用的关系; 5) 根据区域地球化学特征, 划分本地区的地球化学区和成矿区。区域地球化学调查的成果, 不仅可以应用于区域找矿和成矿预测, 而且对其它方面, 如地方病因的调查, 水土的改良, 环境的保护, 地理景观的改造等, 也有广泛用途。

(2) 矿床地球化学, 主要是运用同位素地质学、痕量元素地球化学和实验地球化学等原理和方法来研究矿床形成的原因。矿床地球化学的研究, 通常是在矿床地质学的基础上进行的。它的研究内容主要有: 1) 运矿流体的性质和来源; 2) 矿质来源及其进入流体的方式; 3) 运矿流体的运移和矿质的迁移方式; 4) 矿石沉积的物理化学条件。矿床地球化学包括金属矿床地球化学、能源地球化学(如石油地球化学、铀矿地球化学)等分支学科。

(3) 找矿地球化学和勘查地球化学。前者运用地球化学方法来找矿, 后者主要运用地球化学填图方法, 为找矿、环境保护、农业、畜牧业、地方病等多种目的服务。

(4) 景观地球化学(或地理化学)和环境地球化学。研究内容涉及到整个外生作用的地球化学旋回, 以及人类生产活动的污染。

(5) 历史地球化学(地史化学)。着重研究前寒武纪的地壳、大气和海洋的化学演化规律, 阐明地球早期历史的化学演化特点。

地球化学学科体系的形成和发展, 反映了这门学科向天文学、地学和生物学及其分支学科的渗透是很广泛的。在上述诸多分支学科中, 同位素地球化学、痕量元素地球化学和有机地球化学是最重要的前沿学科。

四、我国地球化学发展的若干特点

我国地球化学是在新中国成立后才发展起来的。当时国外地球化学正进入现代阶段。我国地球化学的发展, 大体上可分以下几个阶段:

(一) 准备时期(1949—1956)

这一时期, 我国的地球化学工作是从应用开始的。1951年就为了恢复国民经济的需要, 寻找矿产资源, 开始采用地球化学方法找矿。后来一些地质学院和大学地质系才陆

续开设地球化学课程。科学院地质研究所也开始筹备设立地球化学实验室。

(二)发展时期(1956—1966)

这一时期,是我国地球化学奠定基础的时期。1956年,在第一个科技规划中对我国地球化学的发展作了全面的安排。首先是发奋图强,自力更生地培养专业人材。1958年北大、南大开办地球化学专业,科大开办地球化学系。各地质学院开办化探专业。科学院招收地球化学副博士研究生。其次是设立更多的实验室,开展地球化学研究。第三是在地质部门进一步推广地球化学找矿方法。

六十年代前期是我国地球化学发展初见成效的时期。1961年开始出版我国自编的地球化学教材。侯德封发表了一系列《核子地球化学》论文。1962年,李璞发表了我国自己测定的同位素地质年龄数据。1962年召开了我国第一届矿物岩石地球化学会议。同时开始实行1962年制订的第二个科技发展规划,此后,科学院成立了地球化学研究所。地质科学院成立了物探和化探研究所。在这几年内,郭承基出版了《稀有元素矿物化学》《稀土元素矿物化学》和《放射性元素矿物化学》等著作。此外,不少研究单位向国家科委提交了各种地球化学科研成果。

这时期的特点是:1)敢于迎头赶上国外,从当时我国的国防建设需要出发,突出地发展了稀有元素地球化学、核子地球化学和找矿地球化学。侯德封、李璞、司幼东等都是我国地球化学的先驱者。2)全国一盘棋,无论是培养人材,抑或是建设实验室,都有计划地作了布局。3)强调以发奋图强,自力更生,紧密结合国家需要的精神来发展我国地球化学。

总之,经过十年来有计划的发展,我国地球化学已初具规模,培养出一支专业队伍,建设了一批实验室,提出了一批科研成果,使我国地球化学成为一支受国际上瞩目的新兴力量。

(三)振兴时期(1978~现在)

十年浩劫(1966~1976)是破坏教育和科研摧残人材的十年,地球化学界也不例外。十年的停顿,加大了我国与国外的差距。就在这十年,国外很注意利用我国的地球化学研究成果。

为了振兴我国科学事业,在总结第一个和第二个科技发展规划的基础上,1977~1978年制定了我国第三个科技发展规划。地球化学界正按照这个规划而重新发奋图强。为振兴我国地球化学而努力。1978年正式成立了中国矿物岩石地球化学学会。国家科委也设立了地球化学小组。在这短短的几年内,我国地球化学在恢复和发展方面已进行了大量的工作,并在原有的基础上取得多方面的成就。目前,我国地球化学的研究范围已涉及到宇宙化学和地球化学的许多分支学科。并开辟了区域地球化学、矿床地球化学、海洋地球化学和环境地球化学等方面的研究。初步显示了我国地球化学振兴的面貌。

我国地球化学的起点虽然较晚,但是头十年(1956~1966)的事实说明,发展的速度还是较快的,取得的成就也是较大的,今天,我们虽然面临着国外更高的水平。但是我们已有头十年的良好基础,有六十年代走上工作岗位的一大批专业骨干力量,只要我们坚持发奋图强,结合国家需要,有计划的重点发展,集中力量向前沿领域和前沿学科进军,我国地球化学就必将做出更大的贡献,早日进入国际先进行列。

第二讲 岩石化学资料在板块构造研究中的应用

一、岩石化学全分析资料的整理

(一)整理和汇编岩石化学资料的重要性

建国三十多年来, 各省的区域地质测量队和地质勘探队, 以及各地质研究单位, 都积累了大量的岩石化学全分析资料。这些资料得来不易, 做一个岩石全分析所需的费用, 少则几十元, 多则一、二百元。全国进行过成千上万个岩石全分析, 所花的费用是不少的。单从经济观点来看, 这些资料的系统整理和充分利用, 就很值得重视。

开展区域地球化学研究, 划分岩石化学省, 研究成矿专属性, 发现矿源岩, 确定古板块构造部位以及环境地质调查等等, 都需要运用岩石化学资料。因此, 科学技术发达的一些国家(如美国、苏联等), 都很重视本国岩石化学资料的系统整理工作, 并已出版了岩石化学资料汇编, 供各有关方面研究专门问题时参考。

我国已有的成千上万个岩石化学资料, 目前还没有系统整理。所以, 首要的工作是从为数众多的岩石化学资料中, 经过审查选择出高质量的, 能满足多方面研究需要的资料来。将其汇编成册。这项工作各省的研究单位可以做, 各大区甚至全国性的研究单位也可以做。正如近年来我国汇编区域地层表和同位素地质年龄数据一样。

(二)选择高质量岩石化学资料的标准

克拉克计算地壳平均化学成分时, 所用的5159个岩石化学全分析资料, 是从8600个分析资料中挑选出来的。我们计算中国岩浆岩平均化学成分时, 所用的661个岩石化学全分析资料, 也是从1394个分析资料中挑选出来的。因此, 参与计算的岩石化学资料, 其质量都是比较高的。那末, 用什么标准去选择高质量的岩石化学资料呢? 我们选择中国岩浆岩化学资料时, 曾参照克拉克的经验, 综合考虑了下列五个准则:

1. 资料的岩石学研究程度。要求分析资料的岩石名称, 岩体的产地和产状可以查知, 岩石定名和化学成分相符。
2. 资料的完整性。要求主要分析项目完整或基本完整。即 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 NaO 、 K_2O 、 H_2O^+ 等9个主要分析项目全部测定的, 属完整; 其中 H_2O 未分正(H_2O^+)、负(H_2O^-)的, 或只有灼减(或烧失量)的, 属基本完整。
3. 资料的精确性。要求全部分析项目的测定值总和, 介于99.75~100.50%之间, 至少介于99.50~100.75%之间。
4. 资料的代表性。要求分析的岩石未遭受过次生的变化。
5. 不包括各种凝灰岩和脉岩(如煌斑岩、细晶岩、伟晶岩等)。这是选择计算元素丰度的岩石化学资料时, 必须考虑的一个准则。