

地 洼 学 说 丛 书  
构造地球化学第1号

国家科学技术委员会  
中国科学院武汉分院

资助

# 锡的构造聚散与成矿

黄瑞华 王伏泉 王开怡 著

地 质 出 版 社

地 洼 学 说 丛 书  
构造地球化学第1号

国家科学技术委员会  
中国科学院武汉分院 资助

# 锡 的 构 造 聚 散 与 成 矿

黄瑞华 王伏泉 王开怡 著

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

## 内 容 提 要

本书以地洼理论为指导,主要以中国东部为例,从构造地球化学角度,论述了锡的大地构造地球化学区划及其分布特征、中国大陆深部构造与锡的富集、应力场与锡成矿、基本构造层中锡的含量特征、岩浆岩与锡的构造地球化学、锡元素的构造聚集与成矿、锡的三种内生矿构造地球化学类型及其特点、(超)大型锡矿床的构造-地球化学特征,指出了锡矿的找矿方向。

本书可供从事地质工作的生产、教学和科研人员参考。

## 锡的构造聚散与成矿

—黄瑞华 王伏泉 王开怡 著

责任编辑:白 铁

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张: 11.75 字数: 274000

1993年2月北京第一版·1993年2月北京第一次印刷

印数: 1—800册 国内定价: 4.90元

ISBN 7-116-01223-0/P·1032

# 前 言

作为“构造地球化学”的一个研究分支,“个别元素构造地球化学”近年来发展较快,特别是锡元素的构造地球化学研究更是如此。锡的构造地球化学研究,不仅促进了构造地球化学本身的发展,而且也促进了锡矿成矿学、锡矿成矿构造学的发展。同时,对锡矿的构造成矿作用和多因复成作用、构造成岩作用的深入研究具有重要意义。

本书是在“中国东部地洼区锡的构造地球化学及其构造聚集成矿作用”科研报告(1989)的基础上编写而成的。

在科研工作期间,我们指导和协助生产部门系统制定了“断裂构造地球化学测量的有关技术规定”,使得断裂构造地球化学测量方法正式列为一种找矿手段进入到生产实践领域中,这是理论研究转化为生产(力)方面的一个成功的实例,其意义深远。

我们还先后重点研究了内蒙古大井锡矿,黑龙江五星南沟锡矿,湖南红旗岭锡矿、香花岭锡矿西区和广西姑婆山地区锡矿,并实地调查研究了云南个旧马拉格锡矿和老厂锡矿,而且还全面收集了中国东部各省区的锡元素分布及锡矿化、矿床的资料。为了对中国东部锡元素与构造关系有进一步了解和对比,也对中国西部的锡元素分布和锡矿(化)状况做了初步分析。此外,为有一个整体概念,还对邻国的锡矿分布作了简要论述。

在本书的编写和科研工作中,得到了有关单位和同志们的帮助,特别是中国科学院贵阳地球化学研究所、桂林矿产研究院、中南工业大学、沈阳地质矿产研究所、内蒙古有色金属地质公司、内蒙古第三地质队、大井矿山、黑龙江有色地质勘探公司、黑龙江七〇七勘探队、华北各省地质矿产局、山东地质综合研究队、有色西南地质勘查局、个旧锡矿矿务局(云南锡业公司)、云南三〇八地质队、老厂地质队的支持和帮助,在此表示感谢。

本书初稿得到吴延之教授、花友仁高级工程师、刘家远教授、熊大和研究员、姚振凯高级工程师、龚政高级工程师和彭省临教授的指教和指正,并提出了相当宝贵的意见和建议,在此深表谢意。

“中国东部地洼区锡的构造地球化学及其构造聚集成矿作用”系中国科学院基金课题,课题负责人为黄瑞华研究员。课题参加人员,1986年为黄瑞华、杜方权、王伏泉、吴玺虹;1987年增加了潘传楚;1988年为黄瑞华、王伏泉、王开怡。本书写作人员为:王伏泉(第六章)、王开怡(第五章)、黄瑞华(除上述二章外的其余部分)。书中插图由黄镇瀛、蔡淑芝等同志清绘,在此表示感谢。

根据专家、学者对本书稿的意见和建议,笔者对书稿又作了认真的修改和订正。但由于笔者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

黄瑞华  
1991年7月

# 目 录

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| <b>第一章 构造地球化学概述及锡的构造地球化学研究现状</b> ..... | 1   |
| 第一节 构造地球化学概述.....                      | 1   |
| 第二节 锡的构造地球化学研究现状.....                  | 5   |
| <b>第二章 中国东部大地构造环境及大地构造地球化学区划</b> ..... | 7   |
| 第一节 中国东部大地构造环境.....                    | 7   |
| 第二节 中国东部大地构造地球化学区划.....                | 8   |
| 第三节 大地构造地球化学区的基本概况.....                | 12  |
| 第四节 中国东部大地构造地球化学区的分布特征.....            | 17  |
| <b>第三章 中国东部大陆深部构造与锡的富集</b> .....       | 18  |
| 第一节 中国东部大陆深部构造分区.....                  | 18  |
| 第二节 深部构造区的锡元素聚集.....                   | 18  |
| 第三节 莫霍面与锡矿分布的关系.....                   | 21  |
| 第四节 几点认识.....                          | 23  |
| <b>第四章 中国东部锡的构造地球化学区划</b> .....        | 24  |
| 第一节 锡的构造地球化学区分区依据.....                 | 24  |
| 第二节 中国东部锡的构造地球化学分区.....                | 24  |
| 第三节 中国东部锡构造地球化学区概况.....                | 26  |
| 第四节 中国东部锡构造地球化学区的分布规律.....             | 32  |
| <b>第五章 中国东部地壳应力场与锡矿成矿</b> .....        | 34  |
| 第一节 东部地壳应力场与锡矿带的分布.....                | 34  |
| 第二节 锡矿成矿动力学模型.....                     | 37  |
| 第三节 应力场与锡的成矿关系.....                    | 41  |
| <b>第六章 锡在岩浆作用中的聚散和成矿</b> .....         | 46  |
| 第一节 一般性问题探讨.....                       | 46  |
| 第二节 岩浆作用对锡的聚散与成矿的影响.....               | 54  |
| 第三节 前地槽阶段含锡的原始岩浆岩.....                 | 58  |
| 第四节 地槽阶段的富锡喷发岩.....                    | 62  |
| 第五节 地槽阶段花岗岩类及其对锡矿成矿的影响.....            | 71  |
| 第六节 地洼阶段花岗岩类对锡的聚散与成矿.....              | 88  |
| 第七节 地洼阶段喷发岩浆作用对锡的聚散.....               | 100 |
| 第八节 地洼阶段斑岩及其与锡的聚散.....                 | 102 |
| 第九节 中国东部岩浆岩的演化及其与锡矿成矿的关系.....          | 108 |
| <b>第七章 中国东部锡的构造聚集成矿作用</b> .....        | 110 |
| 第一节 大地构造演化与锡元素聚集成矿.....                | 110 |

|                   |                             |            |
|-------------------|-----------------------------|------------|
| 第二节               | 褶皱构造与锡元素的聚集成矿·····          | 138        |
| 第三节               | 断裂构造与锡元素的聚集成矿·····          | 139        |
| 第四节               | 裂隙构造与锡元素的聚集成矿·····          | 148        |
| <b>第八章</b>        | <b>锡的内生成矿构造地球化学类型·····</b>  | <b>150</b> |
| 第一节               | 面状成矿构造地球化学类型·····           | 150        |
| 第二节               | 线状成矿构造地球化学类型·····           | 151        |
| 第三节               | 点状成矿构造地球化学类型·····           | 151        |
| <b>第九章</b>        | <b>大型锡矿床的构造-地球化学特征·····</b> | <b>154</b> |
| 第一节               | 构造特征·····                   | 154        |
| 第二节               | 地球化学特征·····                 | 157        |
| <b>第十章</b>        | <b>锡矿的成矿预测及找矿方向·····</b>    | <b>168</b> |
| 第一节               | 锡矿的分布规律·····                | 168        |
| 第二节               | 成矿预测·····                   | 169        |
| 第三节               | 找矿方向·····                   | 170        |
| <b>结束语</b> ·····  |                             | <b>172</b> |
| <b>参考文献</b> ····· |                             | <b>174</b> |
| <b>英文摘要</b> ····· |                             | <b>177</b> |

# CONTENTS

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CHAPTER 1 THE SURVEY OF TECTONOGEOCHEMISTRY AND PRESENT SITUATION OF TECTONOGEOCHEMISTRY STUDY OF TIN DEPOSITS .....</b> | <b>1</b>  |
| 1 Survey of tectonogeochemistry.....                                                                                        | 1         |
| 2 Present state of tectonogeochemistry study of Tin Deposits.....                                                           | 5         |
| <b>CHAPTER 2 GEOTECTONIC SETTING AND DIVISION OF GEOCHEMICAL REGIONS IN EASTERN CHINA.....</b>                              | <b>7</b>  |
| 1 Geotectonic setting in eastern China.....                                                                                 | 7         |
| 2 Geotectonogeochemical division in eastern China.....                                                                      | 8         |
| 3 General characters of geotectonogeochemical regions.....                                                                  | 12        |
| 4 Distribution of tectonogeochemical regions.....                                                                           | 17        |
| <b>CHAPTER 3 DEEP-SEATED STRUCTURES AND TIN ENRICHMENT OF EASTERN CHINA.....</b>                                            | <b>18</b> |
| 1 Regionalization of deep-seated structure in eastern China.....                                                            | 18        |
| 2 Tin enrichment in deep-seated structural region.....                                                                      | 18        |
| 3 Discussion of relationship between Moho and distribution of tin ore deposits.....                                         | 21        |
| 4 Some understandings .....                                                                                                 | 23        |
| <b>CHAPTER 4 DIVISION OF TIN TECTONOGEOCHEMICAL REGION IN EASTERN CHINA.....</b>                                            | <b>24</b> |
| 1 Principle of tin tectonogeochemical division.....                                                                         | 24        |
| 2 Tin tectonogeochemical regions in eastern China.....                                                                      | 24        |
| 3 General features of tin tectonogeochemical regions.....                                                                   | 26        |
| 4 Distribution of tin tectonogeochemical region in eastern China.....                                                       | 32        |
| <b>CHAPTER 5 CRUST STRESS FIELD AND TIN METALLOGENY.....</b>                                                                | <b>34</b> |
| 1 Crust stress field and tin metallogenic belt in eastern China.....                                                        | 34        |
| 2 Model of tin metallogenic dynamics.....                                                                                   | 37        |
| 3 Relationship between stress field and tin metallogeny.....                                                                | 41        |
| <b>CHAPTER 6 TIN ENRICHMENT-DISPERSION AND METALLOGENY IN MAGMATISM.....</b>                                                | <b>46</b> |
| 1 Inquiry of general questions.....                                                                                         | 46        |
| 2 Magmatic influence on tin-enrichment and dispersion and its mineralization .....                                          | 54        |
| 3 Tin-bearing original magmatite of pregeosynclinal stage.....                                                              | 58        |

|                                                                                |                                                                                 |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4                                                                              | Tin-rich eruptive rocks of geosynclinal stage.....                              | 62  |
| 5                                                                              | Granitoid of geosynclinal stage and their influence for tin mineralization..... | 71  |
| 6                                                                              | Granitoid of Diwa stage and tin enrichment-dispersion with metallogeny.....     | 88  |
| 7                                                                              | Eruptive-magmatism of Diwa stage for tin enrichment-dispersion .....            | 100 |
| 8                                                                              | Porphyry of Diwa stage and tin enrichment-dispersion.....                       | 102 |
| 9                                                                              | Evolution of magmatite and relationship between it and tin mineralization.....  | 108 |
| <b>CHAPTER 7 TIN TECTONO-ENRICHMENT METALLOGENY IN EASTERN CHINA .....</b>     |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 110 |
| 1                                                                              | Geotectonic evolution and tin enrichment mineralization.....                    | 110 |
| 2                                                                              | Fold and tin gathering to metallization .....                                   | 138 |
| 3                                                                              | Fault and tin gathering metallogenic enrichment.....                            | 139 |
| 4                                                                              | Fissure structure and tin gathering and metallization.....                      | 148 |
| <b>CHAPTER 8 TIN ENDOMETALLOGENIC TECTONOGEOCHEMICAL TYPES .....</b>           |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 150 |
| 1                                                                              | Plannar metallotectonic geochemical type.....                                   | 150 |
| 2                                                                              | Linear metallotectonic geochemical type.....                                    | 151 |
| 3                                                                              | Point metallotectonic geochemical type.....                                     | 151 |
| <b>CHAPTER 9 TECTONIC-GEOCHEMICAL FEATURE OF LARGE TIN DEPOSITS.....</b>       |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 154 |
| 1                                                                              | Tectonic features.....                                                          | 154 |
| 2                                                                              | Geochemical features .....                                                      | 157 |
| <b>CHAPTER 10 METALLOGENIC PROGNOSIS AND EXPLORATORY DIRECTION OF TIN.....</b> |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 168 |
| 1                                                                              | Distribution of tin deposits.....                                               | 168 |
| 2                                                                              | Metallogenic prognosis.....                                                     | 169 |
| 3                                                                              | Exploratory direction.....                                                      | 170 |
| <b>CONCLUDING MARKS.....</b>                                                   |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 172 |
| <b>REFERENCES.....</b>                                                         |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 174 |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                          |                                                                                 |     |
|                                                                                |                                                                                 | 177 |

# 第一章 构造地球化学概述及锡的构造地球化学研究现状

## 第一节 构造地球化学概述

人们在研究构造时,发现变形不是单纯的机械运动,它还伴随着化学过程,而且与元素的分布和富集关系密切。因此,构造地质学与地球化学之间发生了横向流溢、融合,产生了构造地球化学。构造地球化学是发展中的边缘学科<sup>①</sup>。

### 一、构造地球化学的定义和任务

构造地球化学是介于构造地质学与地球化学之间的一门边缘学科,它是研究地质构造作用与地球化学过程之间,也就是运动和物质之间,在时空、生因或成因上的关系和规律性以及化学地球动力学机制的。它把形成和形变,建造和改造,物理(应力、磁重、热电等)场、化学场和物质场统一起来加以研究。在这里,地质构造系指大地构造运动、地壳运动类型、构造单元、构造系、构造区、壳体、褶皱、断裂、裂隙(节理、劈理、片理等)、微构造(显微裂隙、扭折、变形纹等)以及火成岩体构造和地震构造等;地球化学系指地球和地壳的深部和浅部的物质反应(化学反应、核反应等)以及元素的形成和衰亡、滞留与迁移、分散和富集、分布和分配等。显然,构造地球化学的研究,一方面,包括了从构造的角度来研究地球化学作用和过程(例如,在应力等作用下,元素的行为和性状等);另一方面,它又包括了从地球化学的角度来研究构造(例如,压溶可以产生定向构造和溶蚀裂隙等),即由地球化学过程和作用所引起的和反映出的构造现象和作用。

构造地球化学的基本任务如下:

(一) 研究在不同的构造环境下,各种化学元素及其同位素的分布特征。例如,不同大地构造单元或同一地区不同大地构造发展阶段的元素分配特点,各种大地构造单元的岩浆岩、沉积岩、变质岩、构造岩在元素含量上的特征和差别等。

(二) 研究在不同构造过程和不同性质的构造应力(挤压力、张力、剪力、弯力、扭力等)作用下所发生的地球化学现象和地球化学作用。也探讨在构造热场、构造磁场、构造电场和构造重力场等作用下的地球化学效应。

(三) 研究在应力孕育和产生时、应力作用过程中、变形发生和发展过程中以及变形发生后的地球化学现象和作用。

(四) 研究元素及同位素在不同构造过程中和不同性质的构造应力作用下以及整个的变形过程中的行为和性状。

(五) 查明不同元素和同一元素的分布及其不均匀性与地球层圈、壳幔结构、地壳类

● 黄瑞华,构造地球化学,第三届全国构造会议论文摘要(下册),1987。

型、深部构造等的关系。

(六) 研究元素在构造作用下聚集和富集机理(构造成矿作用)以及在构造变动下的成岩作用(构造成岩作用)中的变化。

(七) 研究构造地球化学的基础理论,包括构造地球化学作用因素、构造地球化学作用方式、构造地球化学作用机制以及构造运动起源和动力来源问题,即化学地球动力学研究等。在构造地球化学基础研究中,要特别重视实验构造地球化学的研究。

(八) 研究构造地球化学测量方法在找矿工作中的应用。

## 二、构造地球化学研究的意义和目的

构造地球化学研究的实际意义是,使我们认识化学元素在地质时空上的分配规律与地壳构造发展、构造类型之间的相互因果关系。进而了解各种地壳构造在地球化学方面的特点以及在构造作用过程中成矿元素聚集的趋势,以便于寻找可能富集的时间和地点。即通过元素在构造发展过程中的各个阶段、各个部位中的含量分配,元素在各种不同的构造情况下的行为和效应,来更有效地预测成矿和找矿,为研究成矿规律、找寻矿产、圈出富矿地段提供充分的根据。

在找矿勘探工作中,构造地球化学测量能起到事半功倍的作用。

此外,构造地球化学的研究对矿产资源利用、环境保护、水文及工程地质、地震预报等也有着一定的实际意义。

构造地球化学研究的理论意义是,使我们知道构造与地球化学之间有着生因上的因果关系,以及构造过程不仅伴随着物理机械作用,而且还伴随着化学作用(地球化学过程)。通过研究构造地球化学,能使我们进一步了解到元素的运动和分配对构造的形成、发生和发展的影响,即元素运动是决定构造分异和构造运动能量来源,构造运动的波动性、脉动性、周期性以及发展方向规律性的基本原因之一。这样就为进一步进行构造应力场的分析、成岩成矿作用分析、构造单元的划分、阐明地球化学过程在地质构造上的时空发生规律和阐明地壳发展规律,开辟了新的途径。

构造地球化学的研究目的是要揭示出有用物质组分在各种构造环境下生成和赋存的规律,作为指导找矿勘探和生产的依据,等等。

## 三、构造地球化学的研究方法

按照研究的顺序以及不同的途径,研究方法概括为四类:

(一) 野外地质研究方法 除按一般地质工作和科研工作的基本要求外,在采集样品时,特别要注意它产出的构造位置和本身所受到的构造影响程度。

(二) 实验室研究方法 其中一些是运用相邻学科(如构造地质学、地球化学、岩石学、矿床学等)的方法,如岩石矿物的偏、反光显微镜研究、弗氏台研究、(扫描)电镜研究方法,以及岩石矿物的物质组分查定的化学分析法、光谱分析法、中子活化分析法、同位素分析法等。但是,构造地球化学实验室研究方法主要是把岩矿样品的构造研究与其化学成分分析研究的方法相配合和有机结合起来的双重分析方法,即构造地球化学分析方法。这种方法表明和显示出构造地球化学实验室研究方法的特色。只有这种方法,才能查明构造地球化学特征及其形成机理。

由于实验室研究的主要对象是构造岩,而构造岩既不同于火成岩、沉积岩,又不同于区域变质岩和热液蚀变岩,其所受的地质作用较复杂,变化也较大。因而对它的成分查定,

存在着一定的难度。因此，我们要继续研究和改进构造岩的物质成分测定方法和提高其精度。

(三) 实验研究方法 可称为构造地球化学实验方法。它是把构造形变模拟实验、地震构造模拟实验和成岩成矿实验等有机地结合起来，从构造地球化学角度出发，形成一种统一的研究方法。实验的目的是了解形变过程中的元素运移和分布等，以及不同应力环境下所发生的化学变化。不仅要做静压实验，而且还需要做动压实验；不仅要做高温高压实验，而且还需要做低温低压实验；不仅要做加压或增压实验，而且还需要做降压或减压实验。并且还需要做不同应力组合条件下以及不同应力途径下，物质成分和化学变化情况的实验。

此外，构造地球化学实验还要考虑其它物理场（例如，构造热场、构造电场、构造磁场、构造重力场等）对物质化学反应的影响问题。因为构造运动不仅是力的作用，它还伴随着热、电、磁、重力场的强烈变化，而这些变化必然对元素性状、成岩成矿产生影响。

构造地球化学实验对了解和进一步研究构造地球化学过程和机理是非常重要的，并且还能够促进相邻学科的发展。

(四) 综合研究方法 最常采用的综合研究方法为构造地球化学纵横剖面图法、构造地球化学图解法和编制构造地球化学图法。此外，还有数理统计对比、数字模型（计算机模拟）对比等方法。

#### 四、构造地球化学的内容和分类

构造地球化学的研究内容和范围十分广泛，有大、中、小和微构造的地球化学问题，有各种岩石在不同的构造环境下的物质成分差异问题，以及元素在各种不同的构造应力作用下的行为和性状等问题。此外，构造地球化学实验模拟和应用问题也特别重要。根据这些内容和对象，从构造地质学角度出发，结合当前国内外研究构造地球化学的现状来看，构造地球化学的内容和分类如下：

- (一) 微构造地球化学
- (二) 裂隙构造地球化学
- (三) 褶皱构造地球化学
- (四) 断裂构造地球化学
- (五) 不整合构造地球化学
- (六) 环形构造地球化学（特别是旋扭或旋转构造地球化学）
- (七) 火成岩构造地球化学
- (八) 沉积岩构造地球化学
- (九) 变质岩构造地球化学
- (十) 成矿构造地球化学（包括矿田、矿床、矿体构造地球化学）
- (十一) 深部构造地球化学

(十二) 大地构造地球化学及区域构造地球化学（由于大地构造学派很多，故不同的大地构造学派都可以根据自己的构造观点来探讨地球化学问题，阐明大地构造地球化学规律。这样就会有地洼构造地球化学、板块构造地球化学、地质力学构造地球化学、多旋回构造地球化学、断块构造地球化学和镶嵌构造地球化学等。）

(十三) 地震构造地球化学

(十四) 宇宙构造地球化学

(十五) 实验构造地球化学

(十六) 应用构造地球化学 (其中应加强构造地球化学测量方法及其在找矿中应用的研究)

## 五、构造地球化学与其它学科的关系和区别

构造地球化学与地质学领域和有关科学领域中的许多学科有关。因为, 它一方面要运用许多相邻学科和有关学科的知识、经验、工作方法、实验手段等, 另一方面, 它又通过自己的研究来促进相邻学科和有关学科的发展。

很显然, 构造地球化学与构造地质学、地球化学的关系最为密切。因为它的产生和发展是建立在这二门学科的基础之上的。

由16个方面的构造地球化学的内容和范围等, 可见构造地球化学与岩石学、矿床学、地震学等学科关系密切。

构造地球化学特别注意对构造岩的岩石结构、构造、物质成分、元素含量、同位素组成和年龄的研究。这种研究加深了对岩石成因的理解, 如岩石的构造成因(构造成岩作用)和多因复成。

尽管构造地球化学与其它科学特别是与构造地质学、地球化学的关系密切, 但还是有所区别的。与构造地质学的区别非常明显, 构造地球化学特别着重论述构造地质体的化学成分等地球化学问题, 并由此论及构造演化和形成机制。而传统的构造地质学基本上只涉及构造形态、力学机制、几何学和构造物理学等。

现着重论述与地球化学的区别。

构造地球化学的特定研究对象就是构造作用下物质组分和元素成分的性状和变化、行为和结果。它是紧密地结合构造的研究而进行地球化学的研究。而地球化学多从非构造角度来阐述地球化学问题, 涉及一般的、单纯的岩浆作用、伟晶作用、接触交代作用、热液作用、沉积作用、变质作用、火山作用、表生作用、各种成岩成矿作用的地球化学问题。而且还探讨大气圈、水圈、生物圈的地球化学问题。

区域地球化学是系统研究大面积内化学元素及其同位素在各种介质(如水系沉积物、湖沉积物、岩石等)中的空间分布规律和它们与各种地质过程和地质特征之间的关系的科学。可见, 在论述区域地球化学问题时, 尽管也涉及地质构造特征, 但它仍着重于气候、地形、土壤以及岩石成分等因素的影响。而从构造地球化学观点来研究区域地球化学问题时, 却着重研究和论述区域构造作用下的化学元素及其同位素的变化特征等, 构造因素具有头等的意义, 故区域地球化学不同于(区域)构造地球化学。

## 六、构造地球化学的发展方向

构造地球化学是一门新兴的发展中的边缘交叉学科, 发展前景广阔, 今后要特别重视下面一些方面的研究。

要加深对构造岩的研究和对其重新认识, 提高对构造岩的岩石学、矿物学和地球化学的研究水平以及构造岩的物质成分分析精度。

要注意地壳和地球深部的构造地球化学研究。即加强深部构造地球化学的研究, 了解地壳和地幔的不均一性, 以及“地壳剖面”、“(上)地幔剖面”结构、构造和成分差别

等, 这样有助于构造地球化学基础理论的研究。

要重视模拟实验研究。在当前特别要重视力(定向压力、张力、剪力、旋转应力等)作用下的化学变化研究, 以及构造的孕育、发生、发展、演化、衰亡和再活化时的应力、热、电、磁、重力场等的变化作用下的元素状态和可能引起的物理变化和化学变化。这种研究不同于实验室化学, 也不同于一般的高温高压实验和成岩成矿实验, 把我们带入了一个新的研究方向和范围——“应力化学”(或“构造化学”)。它是构造地球化学实验形式之一。

要研究构造地球化学编图方法, 开展构造地球化学编图工作。

要加强构造地球化学的应用研究。如运用地球化学资料解决地质构造问题, 解释地球化学过程所反映的构造现象, 构造地球化学测量(方法)应用于找矿等领域, 以及从构造地球化学观点阐明构造成岩作用和构造成矿作用, 来指导找矿, 进行靶区优选等。

构造地球化学研究要善于运用其它科学的成就, 以促进自身地发展。

最重要的是要加强野外的构造地球化学研究工作, 以获得完整、准确的实际资料, 作出正确的解释, 得出符合实际情况的结论。

## 第二节 锡的构造地球化学研究现状

锡的社会需求, 促进了对锡的深入研究, 从而使得锡元素的构造地球化学研究得到了进一步发展。

地槽构造层中见多个层位富含锡元素。例如, 尼日利亚的乔斯附近古龙河东岸两个前寒武纪基底杂岩中含有锡石, 其中黑云母片麻岩含锡石量达 188.7 g/t; 我国广西北部, 四堡群和板溪群之间的砾岩含锡量高, 推测有古砂矿。

地洼构造层中也发现富锡层位, 如广西下侏罗统下部紫红色含铁泥岩中的锡含量十分高, 为锡的“层控”增添了一个新内容。

在岩浆岩建造的含锡性研究上, 近年来对锡的聚集成矿必然与酸性岩浆建造有关的说法提出异议, 而认为也与地槽型等基性超基性岩建造有关。如有人认为澳大利亚的塔斯马尼亚锡区雷尼森贝尔锡矿床是与海相基性火山作用有关的同生沉积-火山喷气矿床; 我国对桂北的三防-元宝山地区锡矿的研究表明, 锡元素原始富集于中-基性海底火山岩、中-基性杂岩以及由角闪岩、角闪橄榄岩、橄榄辉石岩、橄榄岩等组成的超基性岩体内。

对西伯利亚地台的锡元素分布情况研究表明: 在诺里尔斯克地区铜-镍矿床中发现近十种含锡矿物和天然合金(大部分是 Sn 与 Pt、Pd 的金属互化物)。根据锡的这种富集情况, 划分出一个特殊的锡矿建造, 称为“含锡金属互化物的铜-镍建造”; 在雅库特的金伯利岩及与其共生的苦橄岩内, 锡的地球化学背景值普遍偏高, 并在某些金伯利岩筒内的超基性岩和榴辉岩团块中明显富集。在“和平”号金伯利岩筒中, 见锡石-硫化物产在石英-碳酸盐细脉中。一些金伯利岩体也含有 Sn 和 Cu、Pb、Zn、Sb 的天然合金以及自然锡; 在辉长粗玄岩内见有浸染状锡矿石; 在暗色岩高铝变种(斜长岩)内含自然锡以及锡与其它成矿元素的金属互化物; 在古生代中期的古裂谷带次碱性拉斑玄武岩也显示出锡的专属性。

锡元素的构造聚散问题, 在云南省个旧锡矿田研究较多。在云南个旧锡矿, 锡在小型

背斜挠曲部位要比向斜挠曲部位更为富集。云南省有关地质队研究了竹叶山地区断裂构造中锡元素的含量,他们指出,东西向断裂的丰度从北往南递增,这意味着对成矿是有利的,并且依据实际情况,认为可以根据断裂构造地球化学特征来预测隐伏花岗岩及其埋藏深度。在个旧的马拉格锡矿田锡的构造地球化学研究中,云锡公司研究人员指出,锡元素聚集与断裂构造关系密切,锡在断裂构造岩中的含量大大高于地层中的含量,而且以北西向断裂中的锡含量最高。据此及其它元素组合特征,圈出了异常区和预测区。昆明工学院部分学者认为,锡等元素原生晕的形状及其展布特征明显地受到成矿期活动断裂的控制,并从理论上分析出:矿液的聚集,即锡等有用元素的聚集并不出现在应力集中的部位,也不出现在应力释放的部位,而是出现在应力从高到低变化的异常过渡带中。贵州工学院地质人员对马拉格锡的断裂构造地球化学异常进行了趋势分析,确定了断层的含矿性,并作出断裂含锡性的评价。

其它省区的有关研究人员也对锡的断裂构造地球化学进行了研究。例如,广东冶金地质工作者研究了谢家山断层角砾岩的含锡性;广东地质人员系统研究了粤北地区宝岭断裂带,结果表明,其主干断裂系一复杂的逆冲岩席,断裂带本身为一地球化学异常带,主要异常元素有锡等10多种元素,而且成矿元素多聚集在主干断裂上盘逆冲岩系中。

近年来,断裂构造地球化学测量方法在锡矿找寻工作中<sup>①</sup>得到了重视,并且应用于实际找矿工作中。云锡公司研究人员认为,构造岩的系统原生晕,能更直接地反映深部的元素地球化学行为,因而对由此圈定的异常区及其合理的解释是找矿预测,特别是对深部找矿预测的一个重要指示。近来高松矿区断裂构造原生晕的地球化学研究又得出,构造原生晕地球化学背景值普遍高于方格网原生晕的地球化学背景值,因而前者比后者更利于发现异常信息。断裂构造原生晕还能够发现方格网原生晕不能够发现的盲矿体,而且能更好地指示成矿最好的部位以及增加找矿信息。

云南省区调队在滇东的微量元素地球化学分区研究中,把个旧、文山、马关划属于富锡的地球化学区,并指出锡在滇东属富集元素。

在我国东部,为什么华北锡元素聚集较差,而华南锡元素却特别丰富呢?有人认为,这种差别与各地区的陆壳发育程度有关,即与构造演化有关。

中国科学院长沙大地构造研究构造地球化学研究室(组)自80年代以来,比较系统地开展了锡的构造地球化学研究,先后进行并完成了“香花地区构造地球化学的初步研究”、“江西省大余县洪水寨地区的一些构造地球化学特征的初步研究”和“东南地洼区锡的构造地球化学”专题科研工作,探讨了锡元素聚集与大地构造、区域构造、深部构造的关系以及锡的内生成矿构造地球化学型式、含锡花岗岩与构造环境的关系、断裂构造与锡元素的分布和富集、微构造与锡的赋存、锡元素的构造富集与构造成矿作用等。并且公开出版了第一本构造地球化学专著——《中国东南部锡的构造地球化学》。

由上述可见,锡的构造地球化学研究,当前特别偏重于断裂构造地球化学、构造层的含锡性、岩浆建造的含锡性,也注意到了锡的大地构造地球化学和微构造地球化学问题。

总的来看,锡的构造地球化学研究,尽管取得了许多进展,但仍处在起步阶段,各方面的研究工作还有待于进一步深入。

① 黄瑞华,断裂构造成矿和断裂构造地球化学测量及找矿,第一届国际地洼构造与成矿学学术讨论会论文摘要汇编,1988。

## 第二章 中国东部大地构造环境及 大地构造地球化学区划

为了对锡的构造地球化学性质有着更深刻的理解，有必要申述一下中国东部大地构造环境和阐明中国东部的大地构造地球化学区划。

中国东部具有多种大地构造环境，存在着三种基本大地构造单元（据陈国达，1978，1981）：地槽区、地台区和地洼区。根据上述大地构造单元及性质，相应的在大地构造地球化学区划上，笔者将中国东部划分为三种类型（黄瑞华，1988）：地槽型（构造）地球化学区、地台型（构造）地球化学区和地洼型（构造）地球化学区。

### 第一节 中国东部大地构造环境

中国东部系指贺兰山、龙门山和康滇构造带即南北地洼区及其以东地区。该区域至少具有三种大地构造环境，包括一个地槽区、三个地台区、六个大陆地洼区和一个海洋地洼区。

#### 一、地槽区和地台区

一个地槽区系指台东地槽区。它是现代地槽区，即喜马拉雅期地槽（褶皱）区，目前大地构造运动仍十分强烈。

三个地台区系指伊陕地台区、四川地台区和松辽地台区。三个地台区之中最古老者为伊陕地台区，其系后吕梁地台；四川地台区系后晋宁地台区；而松辽地台区则为后海西地台区。

#### 二、地洼区

中国大陆东部地洼区，在剧烈活动时代上均为华夏型。构造特征上均为华夏型地洼区。其强烈活动时代是中生代，其地穹和地洼是由于或主要由于拱裂（拱曲及断裂）作用所形成，且地洼多为小型，岩浆活动尤为强烈。

中国大陆东部六个地洼区为东北地洼区、华北地洼区、华中地洼区、东南地洼区、云贵地洼区和南北地洼区。

东北地洼区内，地槽阶段华力西期火成岩建造遍及全区，岩石类型多种多样，表明是非常强烈的一次岩浆活动。印支运动发生构造岩浆活化而进入地洼阶段，印支运动的主要表现形式是地层的缺失和印支期的岩浆活动。可以说，东北地洼区的地洼阶段是直接发生在地槽阶段的海西期褶皱完成区之上的，它跨过了地台阶段的构造发展，即它缺失地台阶段；华北地洼区是古老地台（后吕梁地台）的构造岩浆活化区；华中地洼区的长江中下游区域，尽管是后晋宁期地台活化转变，但一直是相对比较拗陷的地域（苏鄂地洼系）；东南地洼区是后加里东地台活化区，以花岗岩浆活动和火山作用著称；云贵地洼区是后晋宁地台活化区，自进入地洼阶段后，以基性岩浆活动为主，次之为中性和超基性岩浆活动，

缺乏典型的酸性岩浆活动；南北地洼区具有介于中国东部华夏期地洼区和中国西部中亚期地洼区之间的过渡地带的性质，故在全区范围内可见到中国东、西两部盛行的北东及北西两组构造线的存在，追踪张性构造发育，本构造区属张裂性地洼区。

中国东部一个海洋内的地洼区系指南海地洼区，其地壳厚度小于上述大陆上的地洼区，其基性岩浆活动比较发育。

中国东部除了上述的华夏型（或期）地洼区外，还分布有一个中亚型（或期）地洼区，即台湾岛上的台西地洼区。

以上所述中国东部大地构造环境及其特点，在很大程度上决定了各区域的地球化学特点以及大地构造地球化学区划，也决定了锡元素分布和锡元素聚集成矿的特征。

## 第二节 中国东部大地构造地球化学区划

大地构造地球化学区的划分，即分区问题，是一个具有综合性质的问题，它是大地构造地球化学研究的重要组成部分。

大地构造地球化学分区是建立在各个大地构造发展阶段（或区）地球化学特征的基础之上。因此，首先必须了解各大地构造阶段（或区）地球化学的基本特征<sup>①</sup>。

### 一、不同大地构造发展阶段的地球化学特征

根据陈国达地洼理论（1960、1965、1978），中国大地构造阶段研究较详细的有三个阶段：地槽阶段、地台阶段和地洼阶段。根据中国各地现在所处的阶段性质，而相应地划分出三种大地构造区（或单元）：地槽区、地台区、地洼区。

中国东部广泛发育有华夏型地洼区，其地洼发展阶段已进入余动期，即地洼阶段末期。因此，在我国东部，地槽阶段、地台阶段和地洼阶段的全过程，有着比较完整的反映，为研究大地构造地球化学特征，提供了良好的客观实体。

陈国达（1978）、黄瑞华（1978，1981，1984）通过中国东部大地构造地球化学的研究，阐明了地槽阶段、地台阶段和地洼阶段或地槽区、地台区和地洼区的一般地球化学特征，以及它们之间的差异和各自的特点。

#### （一）地槽阶段的一般地球化学特征

##### 1. 元素丰度的特点

（1）从门捷列夫周期律的元素类别和周期来看：在类上，Ⅷ类元素（铁族和铂族）含量高、丰度高、分布集中。一些副族元素（Au、Cu、Ti、V、Cr、Mn等）、个别主族元素（Mg）丰度高且分布集中。在周期上，第一个长周期即第四周期中的许多元素（Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni）的丰度较高，并富集成矿。可见丰度高而富集的元素，均是金属性显著的且大多具亲铁性的元素。

（2）从查瓦里茨基的元素的地球化学分类来看，铁族元素（Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni）和铂族元素（Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt）在地槽区较多，丰度较高，分布集中；岩石的主要元素族的个别元素（Mg）和硫化矿床典型成矿元素族中的一些元素（Cu、Au、Ag、Pb、Zn）亦丰度较高，分布集中。

① 黄瑞华，中国东部大地构造地球化学，中苏第四届亚洲地质学讨论会论文摘要，1990。

(3) 从元素性质来看,地槽区所富集和丰度较高的元素(Mg、Cr、Ti、V、铁族、铂族、Au、Cu等)大都为原子核稳定的、原子体积小、比重大、熔点较高、原子序数处于中等、半径处于中等的金属元素。

## 2. 元素共生组合特征

(1) 超基性岩浆的元素组合特别发育,基性岩浆的元素组合也较发育。镁质超基性岩浆元素组合的发育是地槽区的典型地球化学特征之一。此外,脉状体的元素组合和酸性岩浆的元素组合也比较聚集和分配量较多,而碱性岩浆的元素组合和气圈的元素组合发育微弱。

(2) 岩浆作用的元素组合一般具有钠含量较高的特征。

(3) 地槽区内生元素共生组合发展的顺序,一般是从基性、超基性岩浆的元素组合发展至酸性岩浆的元素组合。大量的酸性岩浆的元素组合是出现在大量的基性、超基性岩浆元素组合之后,恰和地洼区的内生元素共生组合发展顺序相反。

## (二) 地台阶段的一般地球化学特征

### 1. 外生地球化学

(1) 地台阶段的地球化学特点是外生地球化学过程占优势。

(2) 外生成矿元素的地球化学聚集与地台区构造演化的关系是:在地台构造发展历史上呈现出垂直分带性,即亲铁性元素的成矿聚集,由初定期至余定期逐渐减弱,而非金属矿产元素及组合(煤、卤盐、石油及两性元素铝)的成矿聚集,却逐渐增强;在地台区内部构造位置的空間上呈现出水平分带性,即亲铁元素富集具有由基底隆起带(台隆、台凸)广泛出露向极少出露的地区(台陷、台凹)逐渐减弱,相应地,非金属矿产元素富集却增强。

(3) 按V·M·戈尔法斯密特的元素地球化学分类,地台区以亲石元素(B、C、Na、Mg、Al、Si、P、Cl、Ca、Mn、Sr、Ba等)的外生地球化学富集作用占优势。

(4) 亲气元素(H等)和亲铁元素(Fe、P为主)在外生地球化学过程中呈现富集;

### 2. 内生地球化学

(1) 以基性岩浆元素组合发育占绝对优势。

(2) 暗色岩建造的化学成分以碱低,特别是 $\text{Na}_2\text{O}$ 低为特征。

(3) 内生成矿元素以Fe、Ti、V等元素分布特别集中为特征。

## (三) 地洼阶段的一般地球化学特征

### 1. 元素丰度的特点:

(1) 从门捷列夫元素周期表来看,有些原子序数高、克拉克值低的元素(如W、Sn、Bi、Mo、Hg、Sb等),在地洼阶段,主要是在剧烈期的内生作用中含量增多,丰度增高,并集中分布;一些在地壳中分布反常的元素,如Be、Li、B,丰度也有所增高,亦分布比较集中。

(2) 从A.И. 查瓦里茨基的元素地球化学分类来看,很多稀有元素(Nb、Ta、稀土)、放射性元素(U、Th)、钨钼族元素(W、Mo)、似金属元素(As、Sb、Bi)在地洼阶段,特别是在剧烈期存在较多、丰度有所偏高,并形成集中分布;硫化物矿床典型成矿元素族中的许多元素,如Cu、Pb、Zn、Ga、Ge、Cd、In、Hg等也是如此。此外,一