

云南个旧 锡—多金属成矿区 内生成矿作用的 动力学体系

於崇文 唐元骏 石平方 邓保林 著

中国地质大学出版社

云南个旧锡—多金属成矿区 内生成矿作用的动力学体系

於崇文 唐元骏 石平方 邓泽林 著

中国地质大学出版社

**云南个旧锡—多金属成矿区
内生成矿作用的动力学体系**

於崇文 唐元骏 石平方 邓保林 著

责任编辑：耿小云

责任校对：杨 霖

•
中国地质大学出版社出版

湖南省地质测绘印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

•
开本 787×1092 1/16 印张26.875 插页6 胶印图版5 字数 688千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数 1—1000册

精装：ISBN 7-5625-0074-6/P·34 定价：20.00元

平装：ISBN 7-5625-0075-4/P·35 定价：15.50元

前 言

本书以地球化学作用与时一空结构的统一性为基本观点与指导思想,将地质区域和各种地质体视为一种动力学体系,认为地球化学应以地球化学系统为研究对象,地球化学理论体系应由地球化学系统的物质、地球化学作用、地球化学过程和地球化学场等四大部分所构成,其中以地球化学系统的物质为基础,而地球化学作用居于核心地位。作者应用系统科学中的耗散结构理论作为阐明地球化学作用与时一空结构之间内在联系的理论基础(於崇文,1986;於崇文等,1987)。

全书分为六章。第一章是个旧成矿区的地质概述。第二章是赋矿层位的地层地球化学,应用作者所提出的化学元素丰度的新定义与新计算方法求得了多种化学元素的丰度,并对赋矿层位进行含矿性评价;此外还应用马尔科夫过程理论阐明了本区中三叠世沉积作用的演化规律。第三章花岗岩的地球化学主要研究了本区花岗岩的矿物学、岩石化学、微量元素与稀土元素组成以及同位素组成特征,并在此基础上探讨了花岗岩的成因问题。第四章矿床地球化学应用近代矿物学方法对围岩与矿体的主要矿物进行了测定与研究,探讨了成矿物质的来源及成岩、成矿的物理化学条件,并研究了成矿溶液中锡及其它金属的迁移形式。第五章岩浆期后作用的热力学与动力学对岩浆期后四个阶段的成岩、成矿作用开展了热力学与动力学的实验研究,其中动力学的研究为本书的重点与特色。第六章总结前五章的研究成果并进行了理论概括与深化,探讨了个旧成矿区的地球化学历史,内生作用的条件、过程与机制,并应用系统科学中的耗散结构理论提出了本区成岩、成矿作用的动力学体系。最后以指明个旧成矿区动力学体系具有向复杂性演化的基本特征、对复杂现象进行动力学体系研究所存在的困难以及今后所面临的任务作为全书的结束语。

本研究成果由於崇文、唐元骏、石平方和邓保林完成,张跃宁同志参加了部分工作。工作过程中曾得到中国有色金属工业总公司、西南冶金地质勘探公司、云南锡业公司和308地质队的领导和同志们的协助,特别是汪志芬、王任重、倪鹏里、李成栋、杨庶昌和党玉涛等同志给予多方面的支持和帮助。作者对于上述单位和同志表示衷心的感谢。

目 录

第一章 成矿区地质概况	(1)
第一节 成矿区地质构造特征.....	(1)
第二节 矿床地质.....	(4)
第二章 赋矿层位的地层地球化学	(11)
第一节 地层的岩性特征及其化学分类.....	(11)
一、地层.....	(11)
二、碳酸盐岩地层的元素地球化学分类.....	(12)
三、地层中岩石的孔隙度、渗透率及单轴抗压强度.....	(14)
第二节 化学元素的丰度与共生组合.....	(16)
一、地层中化学元素含量的概率分布型式及其丰度.....	(16)
二、地层中化学元素的共生组合特征.....	(21)
第三节 沉积作用的演化与时间结构.....	(31)
一、多元时间序列的构成.....	(32)
二、沉积作用的地球化学演化与时间结构以及元素含量的时间序列的演化规律.....	(32)
第四节 沉积过程与成矿作用.....	(36)
第三章 花岗岩的地球化学	(42)
第一节 岩浆岩的岩石学与矿物学特征.....	(43)
一、岩石学及岩石化学特征.....	(43)
二、矿物学特征.....	(54)
第二节 花岗岩体的含锡性与微量元素特征.....	(61)
一、岩体中锡与其它微量元素的含量特征.....	(61)
二、锡在花岗岩组成矿物中的分配与存在形式.....	(65)
第三节 花岗岩体的稀土元素组成.....	(67)
一、稀土元素的丰度与分布型式.....	(68)
二、稀土元素在花岗岩中的分配.....	(70)
第四节 花岗岩体的同位素组成.....	(74)
一、氧同位素组成.....	(74)
二、锆同位素组成.....	(77)
三、铅同位素组成.....	(79)
第五节 花岗岩的成因.....	(79)
第四章 矿床地球化学	(83)
第一节 锡及相关元素的地球化学性质.....	(83)
一、锡的化学性质.....	(83)
二、锡的晶体化学性质.....	(83)
三、含锡体系的相平衡.....	(85)
第二节 矿床矿物学特征.....	(90)

一、锡矿物与含Sn矿物	(90)
二、硫化物矿物	(96)
三、硅酸盐矿物	(106)
四、碳酸盐矿物	(121)
第三节 成矿物质的来源	(122)
一、热液流体的来源	(122)
二、成矿物质的来源	(130)
三、花岗岩的黑云母中Sn的热液萃取	(135)
第四节 成岩、成矿的物理化学条件	(139)
一、成矿体系的开放性与非平衡性	(140)
二、成矿体系的温度条件	(140)
三、成矿体系的总压力条件	(144)
四、成矿流体的化学成分	(144)
五、成岩、成矿过程中组分的逸度条件	(148)
六、成岩、成矿过程的pH-Eh条件	(159)
第五节 Sn及其它金属的迁移形式	(166)
一、热液中Sn的迁移形式	(166)
二、热液中Cu、Fe、Pb、Zn等的迁移形式	(174)
第五章 岩浆期后作用的热力学与动力学	(178)
第一节 碱质交代岩及矽卡岩阶段成岩作用的热力学	(178)
一、碱质交代岩的形成作用	(178)
二、矽卡岩的形成作用及其热力学	(179)
第二节 氟硼硅酸盐-锡石及云英岩-锡石阶段成矿作用的热力学与 动力学(I)——氟硼硅酸盐-锡石组合的形成作用	(194)
一、氟硼硅酸盐-锡石-硼钙锡矿组合的特征	(195)
二、氟硼硅酸盐-锡石-硼钙锡矿组合的形成作用	(197)
第三节 氟硼硅酸盐-锡石及云英岩-锡石阶段成矿作用的热力学与动力学(II) ——花岗岩中长石热液蚀变的动力学	(199)
一、长石溶解-蚀变的研究概况	(200)
二、实验过程与方法	(203)
三、实验结果	(204)
四、长石热液蚀变动力学实验结果的讨论	(210)
第四节 含水硅酸盐-硫化物-锡石阶段成矿作用的热力学与动力学	(220)
一、矽卡岩中的成矿作用与热液蚀变作用	(222)
二、成矿作用的热力学	(225)
三、透辉石溶解-蚀变作用的动力学	(230)
第五节 碳酸盐-锡石阶段成矿作用的热力学与动力学	(234)
一、碳酸盐岩中的成矿作用和热液蚀变作用	(234)
二、成矿作用的热力学	(236)
三、围岩溶解-蚀变作用的动力学	(242)

四、碳酸盐体系中成矿作用的计算机模拟	(251)
第六章 成岩、成矿作用的动力学体系	(260)
第一节 地球化学事件与地球化学历史	(260)
一、中三叠世碳酸盐的沉积作用	(260)
二、白垩纪花岗岩浆的侵入活动	(260)
三、酸性正岩浆过程之后的退化沸腾	(261)
第二节 内生作用的条件、过程与机制	(266)
一、物理化学条件与矿质矿液来源	(266)
二、花岗岩浆的作用过程与机制	(269)
三、岩浆期后作用过程与机制	(281)
第三节 成岩、成矿作用的动力学体系	(294)
一、成岩、成矿作用的发生	(294)
二、成岩、成矿作用的演化与时间结构——地球化学过程	(298)
三、成岩、成矿作用的展布与空间结构——地球化学场	(298)
英文摘要	(305)
附录 I 矿物代号表	(353)
附录 II 物理和化学符号表	(355)
附录 III 照片图版	(361)
参考文献	(372)

CONTENTS

Preface

Chapter I Geological Setting of the Ore Region	(1)
1. Geological-Structural Characteristics of the Ore Region	(1)
2. Geology of Ore Deposits	(4)
Chapter II Geochemistry of the Ore-Bearing Strata	(11)
1. Lithological Characteristics of Strata and their Chemical Classification	(11)
1.1 Strata	(11)
1.2 Geochemical Classification of Carbonate Strata	(12)
1.3 Porosity, Permeability and Uniaxial Compressional Strength of Rocks in Strata	(14)
2. Abundances and Associations of Chemical Elements	(16)
2.1 Types of Probability Distributions of Concentrations of Chemical Elements, Abundances of Chemical Elements	(16)
2.2 Characteristics of Associations of Chemical Elements in Strata	(21)
3. Evolution and Temporal Structures of Sedimentation	(31)
3.1 Setting up of the Multiple Time Series	(32)
3.2 Geochemical Evolution and Temporal Structures of Sedimentation, Regularities in Time Series of Concentrations of Chemical Elements	(32)
4. Sedimentary Processes and Ore Formation	(36)
Chapter III Geochemistry of Granites	(42)
1. Petrological and Mineralogical Characteristics of Igneous Rocks	(43)
1.1 Petrological and Petrochemical Characteristics	(43)
1.2 Mineralogical Characteristics	(54)
2. Tin-Bearing Capacity and Characteristics of Trace Elements of Granite Bodies	(61)
2.1 Characteristics of Concentrations of Tin and the other Trace Elements in Granite Bodies	(61)
2.2 Partition and Forms of Existence of Tin in Minerals of Granites	(65)
3. Compositions of Rare Earth Elements in Granite Bodies	(67)
3.1 Abundances and Types of Distribution of Rare Earth Elements	(68)
3.2 Partition of Rare Earth Elements in Granites	(70)
4. Isotopic Compositions of Granite Bodies	(74)
4.1 Isotopic Compositions of Oxygen	(74)
4.2 Isotopic Compositions of Strontium	(77)
4.3 Isotopic Compositions of Lead	(79)
5. Genesis of Granites	(79)

Chapter IV Geochemistry of Ore Deposits	(83)
1. Geochemical Properties of Tin and Related Chemical Elements	(83)
1.1 Chemical Properties of Tin	(83)
1.2 Crystallochemical Properties of Tin	(83)
1.3 Phase Equilibria of Tin-Bearing Systems.....	(85)
2. Mineralogical Characteristics of Ore Deposits.....	(90)
2.1 Tin [±] Minerals and Tin-Bearing Minerals	(90)
2.2 Sulfide Minerals.....	(96)
2.3 Silicate Minerals	(106)
2.4 Carbonate Minerals	(121)
3. Sources of Ore-Forming Materials	(122)
3.1 Sources of Hydrothermal Fluids.....	(122)
3.2 Sources of Ore-Forming Materials	(130)
3.3 Hydrothermal Extraction of Sn from Plutite in Granites	(135)
4. Physico-Chemical Conditions of Rock and Ore Formation"	(139)
4.1 Open and Nonequilibrium Systems of Ore Formation	(140)
4.2 Temperatures of Systems of Ore Formation	(140)
4.3 Total Pressures of Systems of Ore Formation	(144)
4.4 Chemical Compositions of Ore-Forming Fluids	(144)
4.5 Fugacities of Constituents in Rock-Forming and Ore-Forming Processes	(148)
4.6 pH-Eh in Rock-Forming and Ore-Forming Processes	(159)
5. Forms of Transport of Sn and the other Metals.....	(166)
5.1 Forms of Transport of Sn in Hydrothermal Solutions	(166)
5.2 Forms of Transport of Cu, Fe, Pb and Zn in Hydrothermal Solutions	(174)
Chapter V Thermodynamics and Kinetics of Postmagmatic Processes.....	(178)
1. Thermodynamics of Rock-Forming Processes in the Alkali-Metaso- matites and Skarns Stage.....	(178)
1.1 Formation of Alkali-Metasomatites	(178)
1.2 Skarnization and its Thermodynamics	(179)
2. Thermodynamics and Kinetics of Ore-Forming Processes in the F, B-Silicates-Cassiterite and Greisen-Cassiterite Stage (:) —Formation of F, B-Silicates-Cassiterite Assemblage	(194)
2.1 Characteristics of F, B-Silicates-Cassiterite-Nordenskiöldine Assemblage	(195)
2.2 Formation of F, B-Silicates-Cassiterite-Nordenskiöldine Assemblage.....	(197)
3. Thermodynamics and Kinetics of Ore-Forming Processes in the F, B-Silicates-Cassiterite and Greisen-Cassiterite Stage (II) —	

Kinetics of Hydrothermal Alteration of Feldspars in Granites	(199)
3.1 Status of Researches on Dissolution-Alteration of Feldspars.....	(200)
3.2 Procedures and Methods of Experiments.....	(203)
3.3 Results of Experiments.....	(204)
3.4 Discussion of Results of Kinetic Experiments on Hydrothermal Alteration of Feldspars.....	(210)
4. Thermodynamics and Kinetics of Ore-Forming Processes in the Hydrous Silicates-Sulfides-Cassiterite Stage	(220)
4.1 Ore Formation and Hydrothermal Alteration in Skarns.....	(222)
4.2 Thermodynamics of Ore-Forming Processes	(225)
4.3 Kinetics of Dissolution-Alteration of Diopside	(230)
5. Thermodynamics and Kinetics of Ore-Forming Processes in the Carbonates-Cassiterite Stage	(234)
5.1 Ore Formation and Hydrothermal Alteration in Carbonate Rocks	(234)
5.2 Thermodynamics of Ore-Forming Processes	(236)
5.3 Kinetics of Wall Rock Dissolution-Alteration	(242)
5.4 Computer Simulation of Ore-Forming Processes in the Carbonate System	(251)
Chapter VII Dynamic System of Rock-Forming and Ore-Forming Processes	(260)
1. Geochemical Events and Geochemical History	(260)
1.1 Sedimentation of Carbonates during Middle Triassic Period.....	(260)
1.2 Intrusion of Granitic Magma during Cretaceous Period	(260)
1.3 Retrograde Boiling after Acid Orthomagmatic Processes	(261)
2. Conditions, Processes and Mechanisms of Endogenic Processes	(266)
2.1 Physico-Chemical Conditions and Sources of Ore Materials and Ore Fluids	(266)
2.2 Processes and Mechanisms of Granitic Magma	(269)
2.3 Processes and Mechanisms of Postmagmatic Processes	(281)
3. Dynamic System of Rock-Forming and Ore-Forming Processes	(294)
3.1 Onset of Rock-Forming and Ore-Forming Processes	(294)
3.2 Evolution and Temporal Structures of Rock-Forming and Ore-Forming Processes—the Geochemical Processes	(298)
3.3 Distribution in Space and Spatial Structures of Rock-Forming and Ore-Forming Processes—the Geochemical Fields	(298)
Abstract	(305)
Appendix I List of Symbols of Minerals.....	(353)
Appendix II List of Physical and Chemical Symbols	(355)
Appendix III Plates of Photographs	(361)
References	(372)

第一章 成矿区地质概况

云南个旧锡-多金属成矿区位于华南加里东褶皱带的西南端，三面为文山古隆起、康滇古隆起和哀牢山变质带所环绕。成矿区以个旧断裂为界分为东、西两区（见图1-1）。本次工作以东区为研究对象。

成矿区内的矿床是燕山晚期花岗岩浆上侵定位于中三叠统灰岩（以个旧组为主）后形成的气成-热液型矿床，其成矿物质来源、成矿热液演化与成矿作用过程均受花岗岩、地层、构造的控制和影响。作为一个统一的地球化学体系，其质量迁移、动量传递、能量输运导致了热液成矿地球化学作用的时间演化与空间展布。

本项目在成矿区地质构造特征的基础上展开对地层、花岗岩、矿床等方面的地球化学专题研究。为了后述各章的编写，笔者在《个旧锡矿地质》以及308队的资料中引用部分材料作为编写本章的基础。

第一节 成矿区地质构造特征

一、地 层

成矿区及其外围的碳酸盐地层从古生界、中生界到新生界均有出露。成矿区所出露的地层主要为三叠系，共分三统六组：

上统：火把冲组
乌 格 组
中统：法 郎 组
个 旧 组
下统：永宁镇组
飞仙关组

锡的赋矿层位为中三叠统的个旧组，它分为下、中、上三段：卡房段（ T_2k_1 ）、马拉格段（ T_2k_2 ）和白泥洞段（ T_2k_3 ）。根据岩性和岩相特征，共分为13层（表1-1），主要岩性有灰岩、泥质灰岩和白云岩。

东区地表主要出露个旧组灰岩，但由南向北有逐渐变新的趋势。

在第二章中，将详细展开对地层地球化学的讨论。

二、岩 浆 岩

成区内岩浆活动十分强烈。从印支运动发展至燕山运动，可能与哀牢山深大断裂有亲缘关系的上侵岩浆从基性岩浆过渡到酸性岩浆、最后变成碱性岩浆，从而构成一个遍及全区的同源（深部地壳部分熔融）岩浆多期、多阶段连续演化系列的杂岩体（图1-1）。

西区岩体有斑状黑云母花岗岩（龙岔河岩体）、粒状黑云母花岗岩（神仙水岩体）、辉长-二长岩（贾沙岩体）和碱性正长岩-霞石正长岩（白云山岩体）。东区岩体有斑状黑云母花岗岩（马松岩体）、等粒状黑云母花岗岩（老卡岩体，白沙冲岩体），以及辉绿岩、花岗

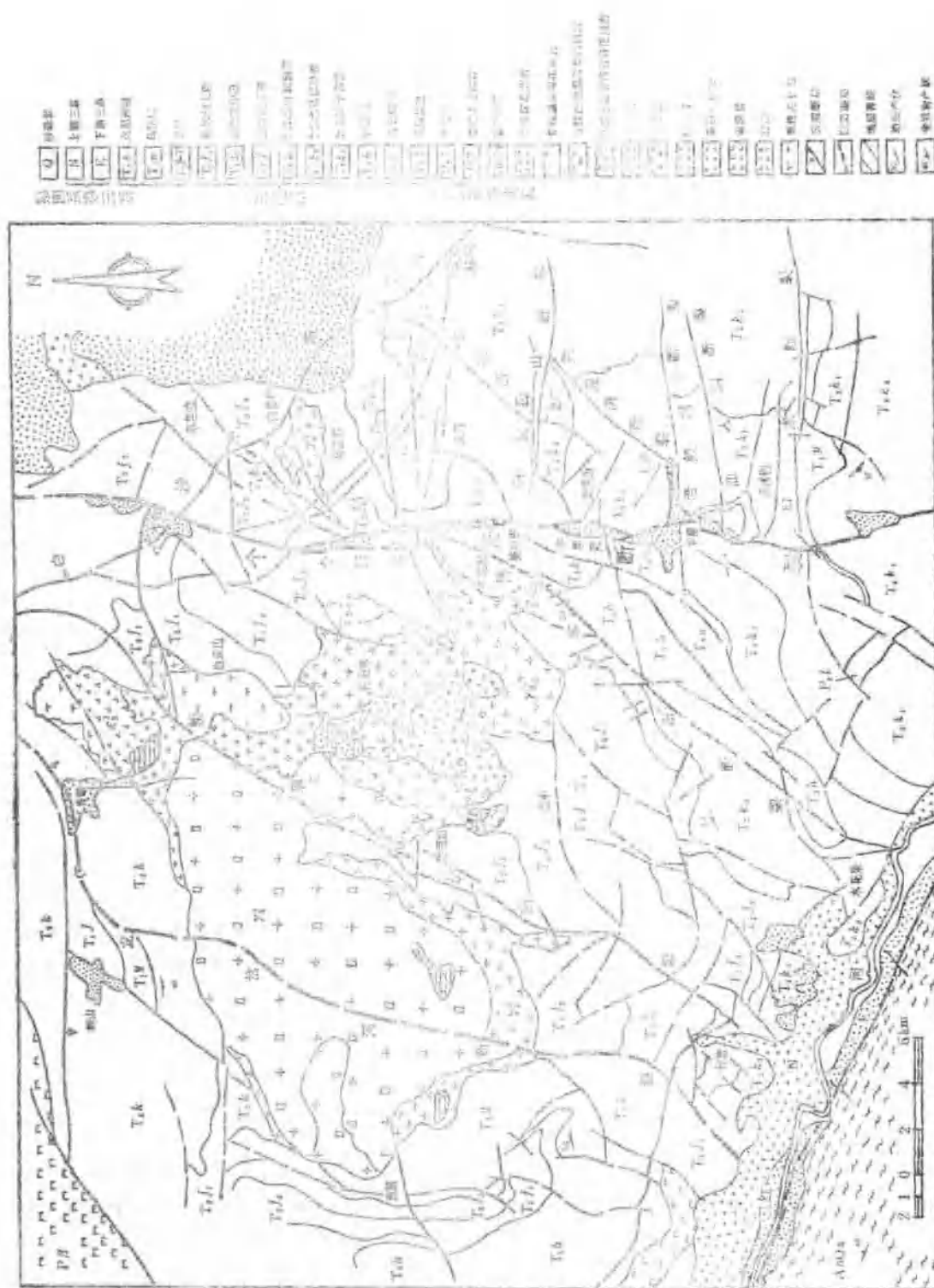


图1-1 个旧成矿区地质图 Fig. 1-1 The geologic map of Gejiu ore region

表1-1 个旧组地层岩性特征与沉积环境

段	层	岩性特征	东区分布情况	沉积环境分析			
白泥洞段	T ₂ k ₃ ³	灰色中厚层状石灰岩	白泥洞, 卡房以南	潮下低能环境	顶部旋回	不受局限的碳酸盐台地	
	T ₂ k ₃ ²	灰色中层状石灰岩与灰质白云岩互层					
	T ₂ k ₃ ¹	浅灰色、灰色中厚层状石灰岩, 夹少量不规则灰质白云岩或白云岩条带					
马拉格段	T ₂ k ₂ ⁴	灰色、灰白色中厚层状灰质白云岩、白云质灰岩与石灰岩呈互层, 有时白云质灰岩呈透镜层或不规则状分布	全区各矿田	潮上带沉积环境	中部旋回	受局限的碳酸盐台地	
	T ₂ k ₂ ³	深灰、灰色中厚层状白云岩					
	T ₂ k ₂ ²	灰色、深灰色中厚(厚、薄)层状白云岩与白云质灰岩互层					
	T ₂ k ₂ ¹	深灰、灰色厚层状白云岩, 具纹理及条带状构造, 夹有同生砾岩互层					
卡房段	T ₂ k ₁ ⁶	灰色中厚层状白云质灰岩与灰质白云岩互层, 多具纹理及条带状构造	全区各矿田	潮间有时潮上带环境 潮下低能环境	回		
	T ₂ k ₁ ⁵	浅灰色、黄灰色中厚层状石灰岩, 多含泥质, 震荡构造发育					
	T ₂ k ₁ ⁴	灰色、浅灰色中厚层状白云质灰岩与灰质白云岩互层, 常含铁质而呈粉红色	南部卡房、竹林地区	潮坪泻湖环境(咸化) 潮坪泻湖环境(蒸发)	下部旋回		
	T ₂ k ₁ ³	黄灰色薄层夹中厚层状泥质灰岩、炭质灰岩、钙质灰岩, 炭质灰岩中含规则状黄铁矿					
	T ₂ k ₁ ²	灰色、浅灰色灰岩与黄褐色白云质灰岩呈互层, 中厚层状, 含泥质		潮下低能环境	底部旋回		
	T ₂ k ₁ ¹	灰色、浅灰色中厚(薄、厚)层状石灰岩, 由上向下泥质增加, 下部具蠕虫状、波纹状构造					

(据308队和卢今才资料整理)

斑岩、细晶岩和云煌岩。

成矿区内矿床的母岩是燕山晚期黑云母花岗岩, 它对于锡-多金属矿化有极为重要的作用。花岗岩体由西向东、由北往南, 基本上构成“7”字形分布。

在第三章中将就花岗岩地球化学的几个方面进行较详细的论述。

三、构造

成矿区内地壳活动剧烈, 经历长期、多次的构造运动, 构成极为复杂的地质构造特征(图1-1)。

成矿区内一级构造为南北向的个旧大断裂。北北东向的五子山复式背斜(二级构造)控制着东区, 而西区则受一北东向的复式向斜控制。

东区内更次一级的构造控制着各个矿田, 马拉格矿田和松树脚矿田分别赋存在北西西南

的马松穹窿核部的西、东两端，老厂矿田和卡房矿田则赋存在北北东向的老卡背斜轴部。此外，还普遍发育有许多东西向、北东向和北西向的断裂组与褶皱挠曲，其间形成各类矿床。

第二节 矿床地质

一、矿床的分类

成矿区内的大型矿田有马拉格矿田、松树脚矿田、老厂矿田、卡房矿田和牛屎坡矿田（见图1-2）。

成矿区内的锡-多金属矿床在成因上属岩浆期后气成-热液矿床。主要矿床类型有：

A. 原生锡矿床

1. 锡石云英岩型
2. 电气石细脉带型
3. 锡石-硫化物型

（1）正接触带矽卡岩-硫化物

（2）外接触带层间硫化物

（3）东西向断裂带硫化物

4. 含锡白云岩型

B. 砂锡矿床

其中，正接触带矽卡岩-硫化物矿床和外接触带层间硫化物矿床是最重要的两类矿床。

除形成锡矿床外，还广泛发育有锡铜矿床、锡铅矿床、锡钨铜矿床等。

二、成矿作用的时间演化与空间展布

成矿区内上部地壳的演变（包括沉积作用、岩浆作用和成矿作用）具有一定的阶段性。地球化学体系由各种地质事件相联系，构成一部远离平衡的、动态的演化历史，并具有一定的时间结构。笔者在对地层、花岗岩及成矿作用进行研究的基础上，建立了本成矿区成岩、成矿作用的动力学时间演化序列（表1-2）。

表1-2 个旧成矿区成岩、成矿作用的时间演化

序号	成岩、成矿作用
1	中三叠系沉积作用
2	燕山晚期酸性岩浆作用
3	岩浆期后作用
	碱质交代岩及矽卡岩阶段
	氟硼硅酸盐-锡石及云英岩-锡石阶段
	含水硅酸盐-硫化物-锡石阶段
	碳酸盐-锡石阶段

成矿区内成矿作用围绕岩浆活动中心显示出明显的垂直分带和水平分带。含矿热液在不同的成矿作用阶段作用于花岗岩、矽卡岩和碳酸盐岩，在热液体系所处地质环境和物理化学条件的制约下，各阶段的成矿作用相互交错、叠加，从而形成复杂的矿化类型，表现为一定的空间结构。

在第五、六章中将对成岩、成矿作用的动力学体系及其时空结构作详尽的研讨。

三、各类矿床的地球化学特征

（一）地质特征

1. 碱质交代岩及矽卡岩阶段未形成有工业意义的矿床，但 Sn、W、Bi、Be、Nb、Ta 等发生相对富集。例如，Sn 在钙铁石榴石矽卡岩中含量很高，进入钙铁石榴石的晶格或形成 SnO₂ 显微包裹体。

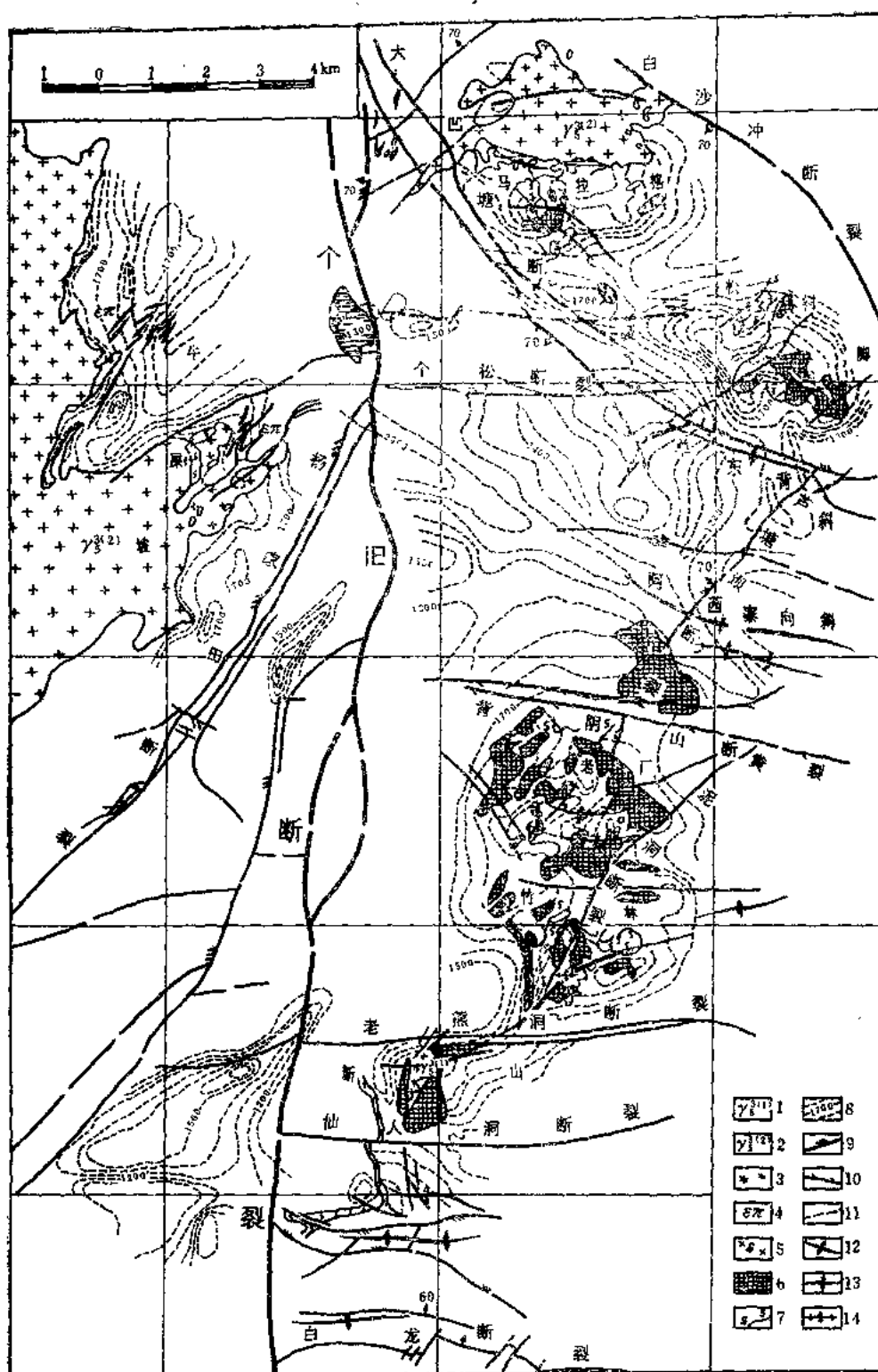


图1-2 个旧成矿区东部接触带矿床分布图
 (马拉格、松树脚、老厂、卡房)
 (个旧冶金厂北部西南冶金地质勘探队, 1981)
 Fig.1-2 Ore fields in Gejiu ore region
 (Malage, Songshujiao, Laochang, Kafang)

2. 氟硼硅酸盐-锡石及云英岩-锡石阶段:

花岗岩体隆起褶皱带的细脉带矿床(老厂矿田18号矿带、17-4号矿体)、花岗岩岩株前缘或突起部位的云英岩型矿床(老厂矿田1号矿体)以及花岗岩体内构造发育带中的石英-电气石-黑钨矿矿脉都属于该阶段所形成的矿床。此外,在正接触带矽卡岩中局部发育有硼钙锡矿(为该阶段的特征产物)。但仅细脉带矿床具有较高的经济价值,并有很大的发展前景;云英岩型矿床仅是小型、局部区域的成矿作用的产物,而最后一类矿脉还不能构成矿床。这里重点讨论第一类矿床。

细脉带矿床产于花岗岩体隆起的构造裂隙带,由电气石和长石、绿柱石、含锂白云母及萤石等矿物所组成的细脉充填、交代渗滤矽卡岩脉而成。矽卡岩矿物以钙铝石榴石和透辉石为主,岩脉具明显的充填构造,石榴石和透辉石往往呈对称条带相间排列,脉中心则由电气石及其伴生矿物的细脉所充填(图版I-3和II-1),各种脉呈多期切割关系。这类矿床具有明显的水平分带和垂向分带(详见第六章)。各种矿脉及其特征分述如下:

绿柱石-长石脉 岩脉由微斜长石、绿柱石、石英及萤石组成(图版I-3),具伟晶状和似伟晶状结构。绿柱石常分散于脉的中心部位,常见梯状构造,六方环带明显(图版IV-1)。脉中尚可见云母。锡矿化并不很强。

绿柱石-黑电气石脉 岩脉由黑电气石、斜长石、绿柱石和石英组成。黑电气石呈放射状或束状,后期生成云母和萤石。锡石、黑钨矿矿化较强。

电气石脉 由黑电气石或蓝电气石组成(图版II-1),后者一般由前者氧化而来。脉中常见很强的锡石、白钨矿、绿柱石和似晶石矿化,并伴随有绿泥石化、云母化和萤石化。锡石晶体规整粗壮,常呈膝状双晶,环带明显(图版III-5)。

含锂白云母-萤石脉 分布在最接近地表的部位,由含锂白云母(淡色)和萤石组成,多呈对称条带状分布,脉旁有围岩的去白云石化(图版IV-7和IV-3)。可能有更晚期萤石的叠加。锡石同含锂白云母、萤石密切共生。

3. 含水硅酸盐-硫化物-锡石阶段

本阶段形成的矿床包括正接触带矽卡岩-硫化物矿床(老厂矿田5-1-C号矿体、松树脚矿田1号矿带、马拉格矿田0号矿体、竹林13号矿体、新山1号矿带等)、外接触带层间硫化物矿床(已氧化,如马拉格矿田22号矿体、老厂矿田23号矿体、松树脚矿田194号矿带和6-8-1号矿体)、东西向断裂带脉状硫化物矿床(大部分已氧化,如龙树脚2-11号矿体)。此外,细脉带矿床中也叠加有这一阶段的矿化。本阶段形成的矿床中除大量生成锡石和少量黄锡矿外,还生成许多金属硫化物。现分别对各种硫化物及其典型组合的地质特征以及它们所反映的矿床成因意义简介如下:

辉钼矿 辉钼矿很少与其它金属硫化物及锡石共生,而是选择性地交代方柱石-斜长石矽卡岩、钙铝石榴石矽卡岩、斜长石脉和石英-电气石脉,并常与绿柱石、黑钨矿、黄铁矿共生,呈浸染状构造。可以推断辉钼矿的形成时间较长,可能部分辉钼矿的生成晚于黄铁矿。

毒砂 常产于近花岗岩的矽卡岩中,呈不规则状或脉状。主要形成毒砂-萤石-云母组合和毒砂-石英组合。含毒砂的脉有毒砂-石英脉、锡石-毒砂-黄铜矿-磁黄铁矿脉及毒砂-方解石脉。与锡石矿化关系密切,共生的锡石含量很高、颗粒粗大、呈短柱状或双锥状、有环带,常见锡石生成早于毒砂。

磁黄铁矿-黄铜矿-铁闪锌矿 磁黄铁矿、黄铜矿和铁闪锌矿三者的矿化时间相近,但一

一般是前者早于后两者，而后两者几乎同时生成。但磁黄铁矿矿化时间持续很长，在局部地段（特别是较深处的岩体突起凹陷处的接触带）可见它延续到黄铜矿矿化之后。沉淀过程中硫大量浓集， H_2S 的逸度大。锡绝大部分生成锡石（锡石沉淀量达到最高峰），少部分则生成黄锡矿和黝锡矿。锡石具标型特征，柱面发育，很少含Nb、Ta，但含In较高。这一矿化作用主要是交代正接触带砂卡岩和外接触带层状砂卡岩，有时形成砂卡岩-硫化物矿脉贯入围岩之中，主要脉石矿物有阳起石、透闪石、绿色金云母、萤石和石英。砂卡岩矿物的蚀变很特征（如图版Ⅳ-4至Ⅳ-5）。

黄铁矿 少量早期生成的黄铁矿（自形粒状）交代正接触带砂卡岩而成，具环带状构造；晚期形成的黄铁矿均呈它形粒状穿插早期硫化物，同时生成锡石和黄铜矿。伴生的脉石矿物有绿泥石、菱铁矿、石英和萤石。沉淀延续时间长，可跨越方铅矿-闪锌矿矿化一直到含水硅酸盐-硫化物-锡石阶段末期（和碳酸盐-锡石阶段）。

方铅矿-闪锌矿 随着早期含矿热液的演化，到含水硅酸盐-硫化物-锡石阶段末期，热液迁移到碳酸盐地层层间构造薄弱带或断裂裂隙中，形成一个在Sn-Cu矿带之上、远离接触带的方铅矿-闪锌矿矿化区域。有时也穿插早期硫化物，或形成黄铜矿-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿-石英脉。伴生有少量锡石，锡石柱面比早期锡石更长，粒更细，浅黄色，杂质较少。脉石矿物有方解石、绿泥石、菱铁矿、赤铁矿和褐铁矿等。还有另外一种发生在东西向断裂带中的方铅矿-闪锌矿矿化作用（龙树脚2-11号矿体），在成矿热液演化系列上与早期的硫化物矿化作用不完全相同，可能是由晚期冷却了的岩浆残余热液（富贱金属硫化物）沿花岗岩体上部陡立的东西向断裂带充填而形成脉状矿体。可见黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、锡石与方铅矿（及闪锌矿）共生，主要脉石矿物有方解石和石英。矿床围岩（碳酸盐岩石）主要是溶解，同时可见褐铁矿化、绿泥石化、菱铁矿化、方解石化和硅化。锡石颗粒较细。矿床垂直分带明显：下部Sn Pb、上部Zn Pb。有时见闪锌矿交代早期方铅矿，闪锌矿远不如方铅矿发育（特别是在白云岩中）。

4. 碳酸盐-锡石阶段

作为成矿作用的尾声，含矿热液在砂卡岩中形成硫化物-锡石矿床（以及在碳酸盐围岩中产生铅锌矿化）之后，沿断裂裂隙上升，与破碎程度较高、微细裂隙发育、孔隙度和渗透率较大的碳酸盐围岩作用，析出锡石、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、方解石、菱铁矿和绿泥石，并使围岩溶解和蚀变。

矿体由发育在断裂裂隙中的硫化物矿物（已氧化）和围岩裂隙中的网脉状方解石-菱铁矿脉所组成，以大量生成碳酸盐类矿物为特征。主要矿物有白云石、方解石、铁锰方解石和菱铁矿，其次为赤铁矿、褐铁矿、绿泥石和少量高岭土。硫化物矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿和闪锌矿。

锡石主要与碳酸盐矿物的沉淀相伴随，因而一般赋存在围岩裂隙中。锡石粒细，呈柠檬黄色。锡石矿化与围岩溶解作用密切相关。

矿床围岩有白云岩、灰岩及大理岩，但一般以白云岩为主。图版Ⅰ-3表征典型的含锡白云岩形态。老厂矿田1-4号矿体、马拉格矿田37号矿体都是具有工业价值的矿体。

（二）元素的共生组合特征

对分属各类矿床的12个矿体（或矿带）按不同中段测制矿床地球化学剖面，旨在研究其三维空间的矿体分带特征及元素的共生组合关系。本节重点讨论这些剖面所反映的元素共生组合特征。