



HUNAN KUANGWU
YANSHI DIQIU
HUA XUE

'99

湖南
矿物岩石
地球化学
论丛

luncong

戴塔根 主编
中南工业大学出版社

序

国家要强盛,必须以科学技术为先,学会要繁荣,必须以学术活动为先。在去年的学会理事会议上,理事们一致提议,将每年出版《湖南矿物岩石地球化学论丛》(以下简称“论丛”),作为一项长期工作坚持下去。这主要是基于我们学会在近几年里,每年成功地召开了一次学术年会和出版了论文集(从1998年起出版《论丛》)。《论丛》的出版一方面产生了良好的社会效益,另一方面活跃了我会的学术气氛。学会的会员们已经习惯于每年看到自己学会出版的《论丛》。学会是一个学术团体,她的办会宗旨是开展学术交流活动,提高会员的学术水平,促进科学技术的发展。我们湖南矿物岩石地球化学学会正是这样做的。我想,这种作法肯定会长期坚持下去。我会只有600多会员,但向《论丛》投稿的作者有近百名,由此可见,我们会员对学术活动是多么热情,正是这种热情,才使我们学会工作得以发展,才使《论丛》这朵鲜花长开不衰。

本'99《论丛》共有69篇文章,内容涉及到地球化学、矿物学、岩石学、构造地质学、成矿预测和宝石学等,范围十分宽广。其中有些论文还涉及到边缘学科。这些成果是我省广大会员科研工作的结晶,在很大程度上也反映了我省相应学科领域的水平。

本《论丛》的作者有来自高校和科研院所的专家教授,也有来自生产第一线的技术人员,其中,绝大部分是青年。时代在前进,我们很快将进入21世纪,青年是21世纪的主人,尽管今天他们发表的论文存在有缺点甚至不足,但谁又能预料,21世纪他们不会成为知名学者?在这里,我预祝我们的青年会员有美好的明天。对于德高望重的老年会员朋友,我在这里祝您在事业上再创辉煌,当然最重要的是祝您身体健康。

总而言之,我要感谢学会会员及相关的会员单位对学会工作的支持,作为理事长,我还代表全体会员感谢学会挂靠单位——中南工业大学领导的支持和关爱,对上级学会和省科协的指导,以及为学会工作付出辛勤劳动的学会秘书处的全体成员和中南工业大学出版社的员工也致以衷心感谢。

由于我们水平有限,在所组的稿件中肯定有不足之处,但我仍然相信,本《论丛》的出版,对于推进我省矿物学岩石学和地球化学的研究是有裨益的,既然这样,微小的不足也就可以原谅的,我想广大会员也有同感。

戴塔根

一九九九年七月

目 录

地 球 化 学

PTE 对金矿成矿作用的指示意义	戴塔根	吴湘滨	彭建堂	赵晓霞	(1)
湘西南雪峰期地层单元的构造环境与岩石地球化学特征	吴湘滨	戴塔根	彭建堂	赵晓霞	(6)
新疆喇嘛苏铜矿床的同位素地球化学特征	邵拥军	彭省临	赖健清		(10)
环境地质学发展中存在的几个问题探讨	刘悟辉	戴塔根	廖启林	胡云峰	(13)
中国东部东宁地区中新代岩浆作用构造环境的地球化学判别	闫 义	李自安			(16)
成矿流体演化的全体系地球化学数值模拟	陈斌文	温春齐			(21)
试论长江流域可持续发展的地学环境	胡宝清	李 旭	木士春		(25)

矿床地质及成矿预测

新疆博斯腾湖盆地断裂构造网络与盆地砂岩铀矿找矿	朱康任				(30)
陕西旬阳淋湘金矿床地质特征及找矿方向	邹海洋	陈松岭	戴塔根		(34)
湖南桥口铅锌矿地质构造特征及其对成矿的控制	孙国强	黄满湘			(37)
滇西澜沧江中北段核桃坪铜多金属矿矿化特征及成矿远景探讨	胡 斌	戴塔根	谢力华		(41)
新疆乔夏哈拉铁铜金矿区成矿作用研究	王 核	彭省临	赖健清	赵云长	赵 杰 (45)
试论铜山矿床成矿物质多源性及其成矿作用	李长庆	陈松岭			(47)
云南龙胜河铜矿带老新街铜矿床地质特征及综合找矿标志	杨金付	刘继顺			(51)
辽东林家金矿床地质特征	田树海	李培铮			(56)
板溪锑矿矿化富集规律及找矿标志	曹爱军	杨仕道	胡祥昭		(59)
马来西亚沙捞越马鲁冲积金成因初探	汤超辉	戴塔根	高光明		(63)
额尔齐斯深断裂带金的构造—流体成矿作用	郭定良				(68)
满洲里南部多金属成矿带控矿构造及其与成矿的关系	王 力	黄满湘			(72)
湖南花垣渔塘铅锌矿矿床地质特征及成矿控制因素浅析	周英孝				(77)
湖南桥口铅锌矿床成矿构造分析	刘 伟	宋宏邦			(81)
安徽铜陵地区地层与成矿关系探讨	李长庆				(84)
马来西亚沙捞越坦甘萨拉金矿的成矿背景及地质特征	汤超辉	戴塔根	高光明		(89)
桃花江金矿矿床地质特征及找矿方向	蒋受福				(97)
流体成矿动力学研究略论	胡云峰	戴塔根	邱冬生		(101)
斯里阿曼地区地洼型金矿矿床特征及成矿规律研究	涂生法				(104)
湘中锑矿成矿地质作用	谢荣举	梁定强			(108)

论湖南省氧化锰矿床形成的控制因素	王世明	韩巧玲	(113)		
马来西亚沙捞越州什兰江斑岩金矿的发现及地质意义	高光明	杨 牧	汤超辉	涂生法	(117)
粤东铅山、尖笔崇锌铅多金属矿床地质特征及成因初探	郭 锐	彭振东	(122)		

地 质 构 造

赣西卡林型金矿控矿构造分析	邓国萍	吴延之	李培铮	(126)	
湘西金矿鱼儿山—红岩溪矿段层间剪切带的特征	王 雨	唐诗佳	彭思生	(131)	
数学模拟在断裂构造研究中应用综述	唐诗佳	王步清	王 雨	彭思生	(135)
利用 AutoCAD 绘制赤平投影图的方法探讨	袁 果	赖健清	(139)		
新疆喇嘛苏矿区含矿地层中硅质岩的特征和成因初探	赖健清	毛政利	邵拥军	彭省临	(142)
新疆温泉县达巴特铜矿区火山机构的厘定及其意义	王 核	彭省临	赖健清	邵拥军	(145)
云南省金平县龙博河铜矿带推覆构造的厘定	汪劲草	谢荣举	彭思生	孙振家	(148)
热释光技术在构造地质和矿床学中的应用初探	莫丰联	谭凯旋	徐红云	(151)	
东马来西亚砂捞越西部大地构造演化与地洼型金矿	涂生法	彭省临	汤超辉	(155)	
湘西金矿沃溪矿区深边部找矿新进展	孙振家	彭思生	(159)		
楚雄盆地白垩系陆相层序地层分析	陈根文	吴延之	(163)		
某矿物改性无机抗菌剂的研制	张术根	彭美勋	李 骅	(166)	
广东新丰黄长煌斑岩的岩石学特征及其地质意义	朱余德	龙云生	(170)		
湖南临澧水流纹质玻屑凝灰岩矿物岩石学特征	木士春	汪 灵	(174)		
煌斑岩脉真是锡矿山锑矿田的东界吗?	凌水成	(178)			
对开发望城县丁字湾地区花岗石资源的几点看法	樊钟衡	(182)			
实验和数值模拟在岩体结构研究中的应用	周应均	(190)			
广东梅县玉水铜多金属矿田矿床矿物学特征	郭 锐	陈炳辉	俞受璠	(194)	
矿物岩石与防病治病	牟利平	车勤建	(200)		

其 他

洞庭湖的地质、演化及治理	童潜明	(205)
缓冲区分析在土地利用中的实现	邱冬生 戴塔根 姚 锐 胡云锋	(209)
土钉墙内部破坏机理及其稳定性计算	王高才 黄树华 奚小双	(213)
模糊数学在 QARGGA 专家系统中的应用	赵晓霞 戴塔根	(217)
荷载、基础埋深、地下水位对桩筏基础筏板承担荷载的影响	黄树华 唐 红 奚小双	(222)
深基坑工程研究现状综述	匡立新 彭振斌	(225)
水资源危机及其防治措施	刘悟辉 廖启林 戴塔根	(231)
松辽盆地北部地层水化学特征及其意义	李自安 施 龙 郭占谦	(234)
喷射砼法在砖砌体加固补强中的应用	梁丙奇 邓志刚	(240)
浅谈公路施工质量控制	王志廷	(244)
开发我国难选冶金矿的措施探讨	李 卫 谭凯旋	(247)
高滩水电站主厂房渗漏原因分析及治理方案探讨	唐 红 黄树华 奚小双	(249)
对检测工作中几个问题的探讨	周际平	(253)

淀粉黄原酸酯在工业废水中的应用	刘有才 钟 宏 谢 刚	(257)
双液分喷高压旋喷注浆在处理建筑物不均匀沉降的应用	黄林初	(259)
水泥土挡墙在海德大酒店基坑支护中的应用	张平祥	(263)
对大学生军训的思考	王 斌 陈先波 陈 军 丁红仪	(269)
高压旋喷灌浆在小浪底工程中的应用	李立刚 张金水	(272)
淀粉黄原酸酯的制备	刘有才 谢 刚 钟 宏	(279)
A Review on Electrostatic Discharge Phenomenon	Chen Jun	(282)

PTE 对金矿成矿作用的指示意义^{*}

——以肖家、平茶金矿为例

戴塔根 吴湘滨 彭建堂 赵晓霞

(中南工业大学地质研究所 长沙 410083)

摘 要 元素 Pd、Pt 和 Tl(PTE)的地球化学参数十分相似,因此,在地质演化过程中也应该具有相似的行为。对来自肖家、平茶金矿的矿石与围岩样品分析表明,不同样品具有相似的 PTE 配分型式,从一个方面证明了矿体与围岩的 PTE 具有相同来源,而 Pd、Pt 以及在富硫条件下的 Tl 与 Au 的地球化学性质十分相似,且在不同样品中显示很大的相关性。因此,可以推论,肖家、平茶金矿的成矿物质来自于围岩。

关键词 地球化学 金矿床 指示意义 PTE 成矿物质

1 导 言

在研究金属矿床的成矿过程时,人们常常采用一些微量元素的各种表征参数来反演成矿过程的地球化学,特别是用一些“贯通元素”来探讨成矿物质的来源。这些“贯通元素”之所以具有这种作用,主要是“贯通元素”的“地球化学整体性”,即在这些元素的演化过程中,“贯通元素”往往以整体形式发生变化。例如,最常用的“稀土元素”(REE),在地质演化过程,若无特别条件变化,从他们的演化历史的早期到晚期,REE 的总体含量可能发生大的变化,但它们的相对差异却不会产生大的变化。因此,只要是相同的来源,经过演化,在不同阶段形成的不同的地质体,常常具有相似(或相同)的配分型式。因此,REE 在人们研究地质问题时应用较多。

然而,随着有关研究工作的不断深入,人们试图探索更多的具有指示意义的元素。用于不同类型矿床的成矿过程与找矿研究,但至今为止,尚未得出一个令人满意的结果。事实上,除了 REE 等元素外,其它绝大部分元素是不能作为“通用”的“贯通元素”。含有不同特征元素组合的地质体应该具有与该系列(个)地质体相匹配的贯通元素。对于具有不同成矿元素的矿床,其贯通元素应该就是与成矿元素的地球化学性质相似的元素组合,例如,对于金矿床,能对金矿的成矿地球化学过程和成矿物质来源有指示意义的元素应该是与金的地球化学性质相似的元素(Ag、Cu,它们与 Au 属同副族;Pt、Ir 等,它们与 Au 属同一周期)。元素 Cu、Ag 作为金矿的找矿指示元素,早已被人们所熟悉,但是 Pt、Ir 等,尚未进行过多的探讨。国内外已有学者注意到 Pd、Pt、Tl、Te 等元素在金矿成矿过程的作用(赫尔伯特等,1991;戴塔根、彭建堂,1998)。本文作者以湘西南的肖家和平茶金矿为例,对 Pt、Pd、Tl 等元素在金矿成矿作用中的指示意义作一初步探讨,以期起抛砖引玉的作用,为了叙述方便起见,作者将 Pt、Pd、Tl 简称为“PT 元素”,并用“PTE”表示。

^{*} 国家教委博士点基金(编号:9705301)和湖南省自然科学基金(编号:97jj205)资助项目。

2 PTE 的地球化学性质

2.1 Pd、Pt 的地球化学性质

元素 Pt 和 Pd 位于周期表中第 8 副族, Pd 为第 5 周期, Pt 为第 6 周期。它们的地球化学参数见表 1。

表 1 Pd 和 Pt 的地球化学参数

元素	原子量	原子半径	共价半径	离子半径	电负性	电离势	电子构型	地壳丰度 $\times 10^{-6}$
Pd	106.4	1.376	1.28	0.8(+2) 0.65(+4)	2.1	8.33	4d ¹⁰ 5s ⁰	0.013
Pt	195.0	1.388	1.30	0.8(+2) 0.65(+4)	2.2	9.0	5d ⁹ 6s ¹	0.005
Au	196.97	1.442	1.34	0.37(+1) 0.85(+3)	2.3	9.22	5d ¹⁰ 6s ¹	0.004

从表中可见, Pd 和 Pt 的地球化学参数十分相似, 从而使它们均具有以下地球化学特征:

(1) 由于电子构型的特点, 它们在任何条件下, 具有较强的化学惰性, 均以金属单质为最稳定的存在状态;

(2) 电负性、电离势的相似性, 因而在自然界均表现有相同的亲和性, 即在自然界呈现较强的亲硫性(趋向于与硫结合, 形成共价键化合物);

(3) 由于其原子半径和共价半径相同, 它们可以彼此置换。

由于上述特征, 它们在自然界的存在只要是以自然金属(自然钯、自然铂)、金属互化物(钯铂矿、钯金矿、铂铜金矿)、半金属互化物(它们可与 Bi、Te、Se、Sb 等化合物)以及硫、砷及硫砷化物(钯铂矿、硫铂矿等)存在。也就是说 Pd、Pt 元素在经过复杂的地质演化过程之后最终仍然共生在一起, 这也表明, 只要他们是同源的话, 他们在地质演化过程中, 其地球化学行为是相同的。

在岩浆作用中, 由于 Pd、Pt 金属氧化物的自由能比 MgO、CaO、Al₂O₃、SiO₂ 生成自由能低得多, 所以基本上不进入硅酸盐矿物晶格, 而残留在岩浆熔体中。当硫的含量较高时, 可以形成硫化物 PdS 和 PtS 等与磁黄铁矿、镍黄铁矿共生。

在岩浆残余热液中, Pd、Pt 能与 [HCO₃]⁻、S 和 As 形成易溶配合物迁移, 随着温度降低和硫的逸度相对增大, Pd 和 Pt 主要与 As、Te、Sb、S 和 Bi 等形成化合物, 富集在与中酸性岩浆作用有关的热液硫化矿床中。

2.2 Tl 的地球化学性质

元素 Tl 在周期上与 Au 同属第 6 周期, 且 Tl 又属 IIIA 族, 其地球化学参数如下表。

表 2 Tl 的地球化学参数

原子量	原子半径	共价半径	离子半径	电负性	电离势	电子构型	地壳丰度 $\times 10^{-6}$
204.23	1.704	1.48	1.47(+1) 0.95(+3)	1.4(+1) 1.9(+3)	6.106	6s ² 6p ¹	0.45

在自然条件下,3价铊很不稳定,大多数情况铊呈1价。铊的极化能力弱,与碱金属元素具有相同的地球化学参数,因此,显示了较强的活动性,并与碱金属元素共生。另一方面,铊原子的物理性质也和亲铜元素相近,特别是与铅和银有很多相似性。因此,在热液作用中,铊与铅、银元素也常共生。由于Tl具有亲石和亲硫的双重性,前者使之与K、Rb、Cs紧密共生,后者又使它与Pb、Fe、Zn、Ag等元素共生。因此,元素Tl在地球化学演化过程中,分散机遇大,很难在某一阶段高度富集。

3 肖家、平茶金矿中PTE的地球化学特征

为了揭示PTE元素对金矿地球化学的指示意义,作者选择了湘西南地区有代表性的平茶金矿和肖家金矿进行了PTE地球化学研究。

3.1 矿床简述

平茶金矿 矿区内出露地层为震旦系江口组第一段的中上部:底部为灰绿色-深灰色条纹绢云母板岩,中部为灰绿色含砾砂质绢云母板岩,上部为灰绿、灰白色杂砂岩。赋矿围岩为含砾砂质绢云母板岩,压碎角砾岩等。控矿构造为一组走向90°~115°,倾向NNE,倾角大于80°的陡倾斜张剪性断裂及节理构造带。矿体由石英脉组成,单脉厚为数厘米至10余厘米,最大脉幅厚60多厘米。主要金属矿物有自然金、辉锑矿、车轮矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂和方铅矿等,非金属矿物主要有石英、绿泥石、绢云母、方解石等。围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化、绿泥石化和绢云母化。

肖家金矿 矿区内出露地层为江口组和五强溪组,后者岩性主要为灰色、浅绿色砂质板岩、条带状板岩夹少量变质砂岩。矿体主要赋存于粉砂质条带状板岩和砂质板岩中。控矿构造为走向60°的压性断裂构造带。矿体为含金石英脉。主要金属矿物有自然金、黄铁矿、毒砂和少量闪锌矿、方铅矿,非金属矿物为石英,少量碳酸盐矿物和绢云母、绿泥石等。围岩蚀变为角砾化、绿泥石化、黄铁矿化等。

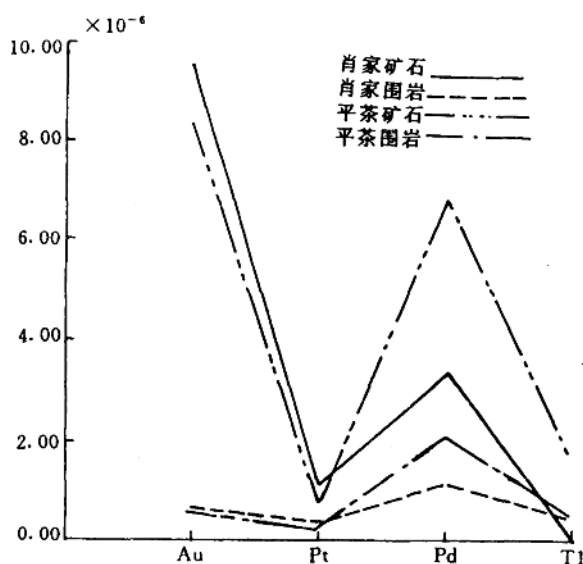
3.2 PTE地球化学特征

成矿过程的地球化学演化是一个复杂的过程,而成矿的关键是多种成矿条件(包括成矿物质来源、成矿物理化学环境、成矿空间等)的耦合。为了探讨PTE对成矿物质来源的指示意义,作者分别在肖家金矿和平茶金矿各采集了5件样品,分析了Au、Pt、Pd、Tl、Ag、Ga、Nb、Ta、Te、Se等元素的含量。但这里仅仅讨论PTE,分析数据的平均值见下表。

表 3 肖家、平茶金矿 Au 及 PTE 平均含量($\times 10^{-6}$)

矿床	样品类型	Au	Pt	Pd	Tl
肖家	矿石	0.57	1.08	3.37	0.07
	围岩	0.70	0.40	1.16	0.47
平茶	矿石	8.33	0.66	6.85	1.65
	围岩	0.30	0.28	2.06	0.51

为了更加直观分析 PTE 的变化规律,作者以元素为横坐标,以含量为纵坐标作图(见下图)。



平茶、肖家金矿 Au 与 PTE 变化曲线图

从图形特点及含量分析,至少可以得出以下几点结论:

(1)这两个矿床的围岩其 Au、PTE 含量均高于地壳丰度值,且 Pd 的含量均高于 Pt,对于矿石而言,这与热液型铂族矿床($Pd > Pt$)相一致,而与岩浆岩型铂族矿床($Pd < Pt$)相反(赫尔伯特等,1991)。

(2)两个矿床的矿石与围岩的 Au、PTE 变化曲线都具有十分相似的形态,均呈“W”型。这种配分曲线的相似性,在很大程度上反映了它们具有相同的来源。如前所述,由于 Pt、Pd 的“地球化学整体性”,以及在还原条件和硫活度较高的情况下,Au、Tl 显示的亲硫性,趋向于与 Pt、Pd 的性质相似。因此,在地质演化过程中,Au 与 PTE 呈整体富集或贫化,但其配分形式却不发生大的变化(即这 4 个元素的相对含量变化不大),显示了整体的贯通性。

(3)成矿元素 Au 主要来自地层。首先,在该区对辉绿岩取样分析(分析结果: $Au = 1.8 \times$

10^{-9} ; Pt 未检出; $Pd = 0.5 \times 10^{-9}$; $Tl = 750 \times 10^{-9}$, 其结果没有显示与这两个矿床中任何样品数据分布具有相似性, 况且, 脉岩中这些元素的含量均不变。其次, 前已述及, Au 与 Pd、Pt 的地球化学性质十分相似, 包括它们的价态、半径、电负性、电离势等, 这就决定了它们在同一体系(地质演化过程)中, 必然具有相同的演化行为——Au 主要是与 Pd、Pt 一起, 来自赋矿围岩。事实上, 本区前人(包括作者们)的研究结果也清楚地表明了这一点(戴塔根等, 1996, 彭建堂等, 1997)。

当然, 上述结论只是从 PTE 的地球化学性质, 结合它们的地球化学表征而反演的成矿物质来源于地层的结论。至于它的地球化学行为, 本文不作讨论。这里值得提出的是, PTE 的演化过程与 Au 的成矿过程是相似的, 这是由于它们具有相同的物质来源, 相近的地球化学性质, 最终形成共生的矿物。有关本区金的成矿机理研究, 已在另外的文章中详细讨论了。

4 结论

通过上述讨论, 可以得到以下几点结论:

(1) PTE 的地球化学性质与 Au 十分相似, 因此, 在任何一个体系(地质演化过程)中, 它们会有相似的演化行为;

(2) PTE 是较为可靠的反演金矿成矿过程的指示剂;

(3) PTE 的配分型式表明, 肖家和平茶金矿的成矿物质来源于地层, 而非岩浆岩;

(4) 作为金矿的成矿与找矿指示剂, PTE 的指示作用是十分明显的;

(5) 凡是与成矿元素具有相似地球化学性质的元素, 均是该类矿床最好的成矿找矿指示剂。

本文是作者们所承担的博士点基金和省自然科学基金科研课题的部分内容, 仅仅对 PTE 的“示源”作用进行了讨论。事实上, PTE 和其它元素一样, 其指示作用尚未得到深入研究。

参 考 文 献

- [1] 戴塔根, 彭建堂. 湘西南区域地球化学场的特征及其与成矿关系初探. 中南工业大学学报, 1996, 27(2).
- [2] 彭建堂, 戴塔根. 湘西南金矿床的稀土元素地球化学研究. 湖南地质, 1997, 16(4).
- [3] L.J. 赫尔伯特等. 铂族元素的地质环境. 地质出版社, 1991.

湘西南雪峰期地层单元的构造环境与岩石地球化学特征

吴湘滨 戴塔根 彭建堂 赵晓霞

(中南工业大学地质研究所 长沙 410083)

摘 要 本文用岩石地球化学的综合分析方法,分别对雪峰期火山岩、沉积岩进行了探讨,研究表明:雪峰期火山岩的岩浆来自不成熟地壳的重熔和上地幔的顶部。岩石化学成分具有大陆玄武岩和活动大陆边缘区、被动大陆边缘区的过渡性特征。区域变质作用和热水活动未造成岩石化学成分的重大改变。尽管高涧群与板溪群大地构造环境、物质来源无显著差异,但是沉积厚度、沉积构造和成熟度反应各自所处的古地理环境不同。

关键词 岩石地球化学 高涧群 大地构造 古地理环境

1 引 言

雪峰隆起是“江南—雪峰隆起”的西南段,在武岭运动不整合面之上,震旦纪长安组(下江组)之下广泛发育一套浅变质陆源—火山碎屑岩系。在桂北区称之为丹洲群;湘北区称之为板溪群;湘西南区称之为高涧群。板溪群与高涧群大致以湘黔铁路为界,涂浦以北为板溪群(红板溪),溁浦以南为高涧群(绿板溪)。纵观华南,1000 Ma 左右爆发的武岭—晋宁—格仑威尔运动和 7.4 Ma 左右开始的南华—拉普拉斯大冰期是晚元古代两个最突出的地史事件,该时间段正是板溪群(高涧群)沉积形成的时期。基于该地层单元对金矿成矿作用的制约,本文采用综合分析方法仅对古构造环境和岩石地球化学特征作一扼要的论述。

2 火山岩的构造环境及地球化学特征

表 1 汇编了研究区及邻区从玄武岩到流纹岩的常量元素化学成分,其岩石化学特征:(1)湘西南相区黔阳变角砾状玻基玄武岩, SiO_2 变化范围在 41.97%~42.74% 之间,湘北相区 SiO_2 41.65%~59.37%。 $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 属铅过饱和类型。(2)湘西南相区的 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均含量 3.36% (3 个样品);湘北相区 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均含量 3.06% (5 个样品)。而到桂北相区 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量呈增高趋势。

在 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图解(TAS)中湘北相区板溪群的火山作用形成从玄武岩、安山岩、英安岩到流纹岩的系列,岩石化学有戴里间断。其中 SiO_2 为 42.60%~78.92%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 7.17%~3.34%;英安岩和流纹岩的 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 高于玄武岩或玄武岩质安山岩。湘西南相区火山岩投影点的分布,一是超基性岩—碱玄岩, SiO_2 为 41.97%~43.52% < 54%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 略高于湘北相区玄武岩;二是湘西南城步高涧群的英安岩类 SiO_2 为 66.62%~

• 国家教委博士点基金(编号:9705301)和湖南省自然科学基金(编号:97jj205)资助项目。

71.06%, $K_2O + Na_2O$ 在 3.11%~4.08% 之间, $K_2O + Na_2O$ 的含量与黔阳山石洞碱玄岩相当。

桂北相区丹洲群的变安山质玄武岩的投影点在玄武岩和玄武安山岩的界线附近, 有过渡型岩石存在。而 $K_2O + Na_2O$ 值比湘北玄武岩偏高。 Na_2O 值为 4.16%、4.36% 与细碧岩正常值相当。在 $SiO_2 - K_2O$ 变化图解上, 除了个别样品外, 多数属于中等含钾的钙-碱性系列。

表 1 雪峰隆起区板溪群(高涧群、丹洲群)变质火山岩类的化学成分

分样	岩性	SiO ₂	TiO ₂	AlO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	总和(%)
湘西 西南区	Q05 变碱玄岩	41.9	2.86	14.6	3.35	9.27	0.10	10.4	6.65	2.6	0.66	0.48	4.94		2.30	100.0
	Q08 变碱玄岩	42.7	2.90	14.0	3.12	9.76	0.14	1058	6.06	3.30	0.12	0.43	5.70		2.08	101.
	Q09 变碱玄岩	42.1	2.78	14.8	2.06	8.54	0.12	9.47	8.97	1.84	1.46	0.50	4.60		1.97	99.3
	Q02 变英安岩	68.8	0.31	13.9	0.97	1.99	0.04	3.48	1.45	2.07	1.52	0.52	1.69		3.03	99.7
	C02 变英安岩	66.3	0.46	13.5	1.10	2.23	0.06	4.47	2.66	2.01	1.22	0.70	2.43		2.55	99.8
	C03 变英安岩	70.9	0.31	14.3	0.92	1.13	0.02	2.32	1.04	2.54	1.56	0.16	1.40		3.15	99.7
湘北 区	变安山岩	54.0	1.30	134.	6.06	4.52	0.15	10.7	5.17	0.11	3.24	0.15	0.54			97.6
	变安山岩 b)	59.3	0.69	22.2	4.06	1.43	0.02	1.20	0.40	2.64	1.76	0.05	3.05	0.05		99.0
	变英岩 a)	65.5	0.56	16.2	3.42	1.85	0.13	2.50	0.64	4.00	2.58	0.06			2.51	99.9
	变英安岩 a)	68.9	0.29	14.6	3.18	1.31	0.07	2.03	0.72	5.07	1.66	0.10	1.59		0.30	99.9
	变流纹岩 a)	77.5	0.21	12.2	0.12	1.44	0.02	0.17	0.48	5.98	1.19	0.05	0.24			99.7
	变流纹岩 a)	78.8	0.12	11.0	0.27	1.70	0.04	0.17	0.42	5.30	0.90	0.04	0.50			99.2
	变流纹岩 a)	78.9	0.18	11.8	0.18	1.39	0.02	0.13	0.18	6.32	0.52	0.04	0.17		0.04	99.9
桂北	变玄武	51.7	0.98	15.0	3.16	4.52	0.12	3.48	9.16	4.34	0.18	0.09	2.95		4.15	99.8
	变玄武安山岩	52.9	1.06	14.8	2.84	4.76	0.10	3.54	8.06	4.16	0.15	0.13	2.30		4.54	99.3

a) 金文山(1997) b) 涂光炽(1993)

($Fe^{2+} + Fe^{3+} + Ti$)-Al-Mg 图解回避了在变质作用过程中 K_2O 、 Na_2O 以及 H_2O^+ 、 CO_2 等容易发生变化的活动组分。选择主要造岩成分中氧化物中的阳离子比例数进行计算。与 TAS 图解对比可知, 大多数样品 $Na_2O + K_2O$ 的百分含量无明显变化, 部分样品 Na_2O 偏高, K_2O 偏低。说明火山岩成岩以后岩石的化学成分无重大变化。

根据里特曼(Rittmann)讨论火山岩中 Al、Na、Ti 含量的论述, 他认为比率 $\tau = (Al_2O_3 - Na_2O) : (TiO_2)$ 是一个重要的岩石成因指标。来自上地幔的玄武岩类岩石以低 τ 值为特征, 而由地壳物质深部重熔形成的造山带岩套中的基性岩具有高的 τ 比率。湘西南高涧群的变质火山岩 τ 值为 3.70、4.23、4.68, 湘北区的变基性岩 τ 值(2.27、2.66、2.77), 桂北丹洲群的 τ 值则为 10.08、10.89, 属中偏低, 可能指示为上地幔顶部的岩石。

湖南新化 $\epsilon_{Nd}(t) = +1.0019$, $I_{Sr} = 0.7058$, 浏阳变辉绿—细碧岩 $\epsilon_{Nd}(t) = +0.2$; 怀化隘口辉绿岩 $I_{Sr} = 0.70629$ (等时线年龄 $1145 \pm 17\text{Ma}$)(谢奎克等, 1996)。也表现出强烈亏损地幔的组成特征。

但是, 据唐晓珊等(1994)资料报道, 板溪群(高涧群)变基性玄武岩、辉绿岩系列, 其 ϵ_{Nd} 值为 $-8.6 \sim -14.7$, 均值为 -10.525 ; I_{Sr} 值 $0.716 \sim 0.7165$ (大于 0.710)。说明这些火山岩之岩浆均来自不成熟地壳的重熔物, 不是来自上地幔或洋中脊。反映了这时期岩浆活动特点从亏损性上地幔岩浆活动到地壳重熔岩浆的活动特征。

高涧群变玄武岩的稀土元素特征, 稀土元素总量 $\Sigma REE 234.13 \times 10^{-6} \sim 262.15 \times 10^{-6}$, 无明显 Eu 亏损, 整个曲线向右陡倾斜。而在城步产出的变酸性岩类稀土总量 $\Sigma REE 87.05 \times 10^{-6} \sim 98.98 \times 10^{-6}$, Eu 亏损明显, δEu 值为 0.3、0.50, 总体上分配曲线是向右倾斜, Eu 亏损

下凹。广西龙胜丹洲群变玄武岩,其稀土模式趋于平坦、LREE 轻微的亏损或富集。

江南地区武陵期的岩浆活动强度不大,蛇绿岩套规模小,分布局限(湖南境内尚无发现),也不非常典型,表明中元古代—晚元古代华南洋规模有限,俯冲消减不彻底。相比之下,雪峰期的构造—岩浆活动强度远小于早—中元古代。雪峰后期,在地壳收缩环境中形成华南残留盆地、夭折的龙胜岛弧和三江—黔阳弧后盆地。据此推断,板溪后期扬子块东南缘由活动大陆边缘逐渐转化为被动边缘。采用玄武岩构造环境鉴别图解可知雪峰期玄武岩落点位于活动大陆边缘和被动边缘的投影区间。

3 沉积岩的构造环境及地球化学特征

高涧群由一套变质岩系组成,沉积厚度甚大,海水较深,多在氧化还原基面以下。综和各地高涧群剖面的岩石组合,可概分为六个各具特征的岩段,自下而上依次为:较粗粒碎屑岩段,钙质岩段,黑色炭质板岩段,砂板岩段,长英质杂砂岩段和条带状板岩段。上述六个岩段组合成两个沉积旋回,分别与湘北区的马底驿组和五强溪组可大致对比。横向上,从北往南,由次深水斜坡相逐渐过渡到海盆相,但变质程度很低,都在绿片岩相以下。作者尝试采用沉积岩地球化学方法研究该区浅变质碎屑岩系。

沉积物成熟度最常用的地球化学指标是 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的比值。另一个有用的指标是 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 作为岩石中长石含量衡量的成熟度指标。我们将样品投入 $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 相关图解中,发现高涧群浅变质碎屑岩为较低成熟度的岩屑砂岩和杂砂岩。Herron(1988)对上述分类图进行了修改,并提出 $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 相关图解。投影结果说明高涧群浅变质碎屑岩,主要由岩屑砂岩、杂砂岩和含铁砂岩组成(表2)。 $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 值在 0.62~0.730 之间,变化幅度小, $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ 值为 0.06~0.94,数值差异较大。板溪群主要为低成熟度杂砂岩。

表2 高涧群变碎屑岩类的化学成分

序号	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失	总计(%)
1	4	69.05	0.62	134.13	2.08	4.62	0.06	1.36	0.08	2.04	1.20	0.05	5.78	100.7
2	3	73.52	0.39	13.75	1.33	1.87	0.08	1.21	0.27	2.01	2.97	0.06	2.30	99.76
3	3	68.58	0.65	16.29	1.29	3.07	0.05	1.07	0.41	2.38	4.02	0.04	2.02	99.87
4	2	66.58	0.07	14.57	1.21	3.44	0.07	2.20	0.11	1.84	1.96	0.11	6.71	99.50
序号	样品数	log(Na ₂ O/K ₂ O)			log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)			log(Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)			CIA			
1	4	0.23			0.72			0.94			0.798			
2	3	-0.17			0.73			0.06			0.724			
3	3	-0.23			0.62			0.08			0.705			
4	2	-0.03			0.66			0.41			0.788			

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} * + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \quad (\text{Nesbitt and Young, 1982})$$

根据几种主要常量元素的化学成分,用鉴别函数图解对湘西南高涧群,湘北板溪群和桂北丹洲群的碎屑沉积物来源分析,发现高涧群、板溪群、丹洲群的浅变质碎屑岩,主要来源于中、基性火成岩区。其中丹洲群沉积物以基性火成岩区为主要物源。

从 (F_1-F_2) 及 (F_2-F_3) 图解可知,三个相区投影点主要落于活动大陆边缘区和被动大陆

边缘区,兼备活动大陆边缘和被动大陆边缘的双重特性,可能说明雪峰期大地构造环境是由活动大陆边缘向被动大陆边缘转换(过渡性)。从 $\log(K_2O/Na_2O) - SiO_2$ 相关图和 $Al_2O_3/SiO_2 - (Fe_2O_3 + Mg)$ 相关投影结果,也证实三个相区的构造环境的岩石化学具有过渡性。

高洞群所有变质碎屑岩样品的稀土元素特征参数都相当接近,岩石的 ΣREE 为 $155.07 \times 10^{-6} \sim 205.63 \times 10^{-6}$ 。都具有轻微 Ce 亏损和 Eu 亏损。属轻稀土富集陡倾,重稀土趋于平坦的分配模式。这样相当均一的模式特征可以认为在低密度重力流作用下大陆地壳源沉积物的均一混合。

4 结论

通过上述讨论,可以得到以下几点结论:

(1)高洞群与板溪群在南北方向上的沉积特征有显著的不同。湘北板溪群呈醒目的紫红或紫红夹灰绿色,沉积物粒度较粗,浅水沉积构造明显,厚度小。高洞群以灰绿色至黑色为特征,粘土质岩石占绝对优势,厚度大。直观地反映两者所处不同的古地理环境。

(2)雪峰期的火山岩的岩浆来自上地幔顶部和成熟地壳的重熔物。湘北、湘西南相区内的火山岩具有大陆玄武岩的属性。桂北相区内火山岩具有过渡性特征。

(3)高洞群兼具有活动大陆边缘区和被动大陆边缘区岩石化学成分属性,可能意味大地构造环境的转换和过渡性特点。

(4)高洞群成岩之后,区域变质作用或热水活动对岩石化学成分未产生重大影响。

本文是作者们所承担的博士点基金和省自然科学基金科研课题研究的部分内容,在此仅对湘西南雪峰期形成的地层单元进行了简要论述。许多具体的问题将在今后作进一步探讨。

参 考 文 献

- [1]谢家荣,马荣生,张禹慎等. 华南大陆地壳生长过程,北京:地质出版社,1996, P257.
- [2]唐晓珊,黄建中,何开善. 论湖南板溪群,中国区域地质,1994, NO3, 274~278.
- [3]Herron M. M., Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.* 1988, 58, 820~829.
- [4]Nesbitt H. W. and Yong G. M., Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, 279, 206~210.

新疆喇嘛苏铜矿床的同位素地球化学特征^{*}

邵拥军 彭省临 赖健清

(中南工业大学地质研究所 长沙 410083)

摘 要 新疆喇嘛苏铜矿是一个典型的以岩浆气液作用为主的多因复成矿床。本文主要介绍了其硫同位素、铅同位素地球化学特征,揭示了其多物质来源、多成矿阶段的特征,并且初步推算了其矿化时间。

关键词 同位素 地球化学特征 矿化时间

喇嘛苏铜矿位于新疆温泉县赛里木湖西北。矿区内出露的地层主要为中元古界蓟县系库西木契克群下亚群,富含主成矿元素 Cu、Pb、Zn、Ag,是本矿区成矿的矿源层。矿区内与成矿有关的岩体主要为花岗闪长斑岩和斜长花岗斑岩,经与维氏酸性岩对比可知,斑岩体中 Cu、Pb、Zn、Ag 丰度普遍较高,矿化主要富集在岩体内外接触带及斑岩体中,因而它们既是含矿岩体,又是成矿母岩。矿区内主要控制岩体及矿体发育的断裂为喇嘛苏南大断裂,走向东西,长度大于 20km,向北倾,倾角 45°,宽度超过 1km,是一个长期活动的断裂。

1 硫同位素

硫同位素测定结果(见表 1)表明, $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 值均为正值,变化范围为 0.2‰~6.9‰,平均值为 4.175‰,与自然界中 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 的分配进行对比结果(见图 1)表明,矿床中的硫来源复杂。主要来自岩浆硫、雨水硫及沉积硫,从而反映了成矿物质的多来源特征。

表 1 喇嘛苏铜矿 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 数据表

序号	样号	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$
1	N15	磁黄铁矿	0.2
2	N63	磁黄铁矿	3.4
3	N69	磁黄铁矿	4.3
4	S26	磁黄铁矿	4.1
5	N56	磁黄铁矿	2.8
6	S25	磁黄铁矿	4.2
7	Pb1	方铅矿	3.3
8	Pb2	黄铜矿	6.9
9	E50	黄铜矿	5.9
10	4-54	黄铜矿	4.9
11	E55	黄铁矿	6.4
12	E21	黄铁矿	4.7

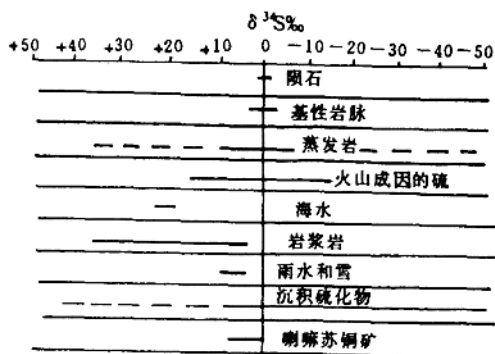


图 1 喇嘛苏铜多金属矿床矿石硫与自然界中硫同位素对比图

* 本文为国家 305 项目 96-915-03-03 专题研究成果。

2 铅同位素

铅同位素比值、 μ 值及模式年龄值如表 2 所示。其中模式年龄是采用 H-H 法计算的, 所用公式及有关参数如下:

$$\text{公式: } (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t = a_0 + \mu(e^{\lambda_8 t_0} - e^{\lambda_8 t})$$

$$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t = b_0 + \mu(e^{\lambda_5 t_0} - e^{\lambda_5 t})/137.88$$

$$\text{参数: } t_0 = 44.3 \times 10^8 \text{ a}$$

$$\lambda_8 = 0.155125 \times 10^{-9} / \text{a}$$

$$\lambda_5 = 0.98485 \times 10^{-9} / \text{a}$$

$$a_0 = 9.30$$

$$b_0 = 10.294$$

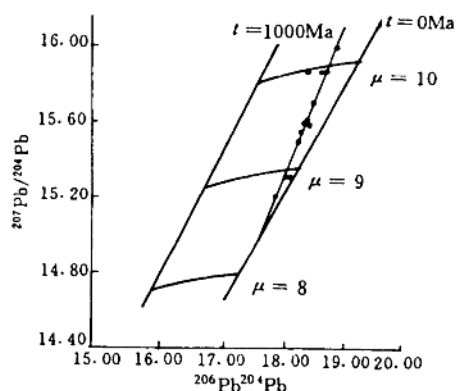


图 2 矿床铅同位素坐标图

表 2 喇嘛苏铜多金属矿床铅同位素比值及模式年龄表

序 号	样 号	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄 (Ma)	μ
1	S25	磁黄铁矿	18.396	15.576	38.232	141.9	9.412
2	Pb2	黄铜矿	18.335	15.605	38.266	224.4	9.476
3	E50	黄铜矿	18.347	15.855	38.544	507.1	9.974
4	4-54	黄铜矿	18.654	15.864	38.942	307.5	9.951
5	E55	黄铁矿	18.229	15.551	38.053	235.2	9.381
6	N15	磁黄铁矿	18.576	15.857	38.916	353.2	9.947
7	N63	磁黄铁矿	17.986	15.307	37.546	103.2	8.929
8	N69	磁黄铁矿	17.803	15.199	37.172	99.63	8.735
9	S26	磁黄铁矿	18.198	15.493	38.036	184.7	9.270
10	N56	磁黄铁矿	18.856	15.988	39.344	311.5	10.174
11	E21	黄铁矿	18.278	15.589	38.178	246.2	9.451
12	Ft4	全岩	18.062	15.307	37.367	43.22	8.920
13	N5	全岩	18.375	15.582	38.089	166.8	9.426
14	Pb1	方铅矿	18.448	15.696	38.439	253.9	9.643

将 14 个样品的铅同位素比值投影在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上, 可见投影点几乎均落在一条拟合直线上, 其拟合直线方程为: $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.807 \times ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} + 0.808$, 拟合度为 0.9417, 由铅同位素理论推导可知, 在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上, 线性排列较好的应属二阶段异常铅; 二阶段异常铅共分三种形式:

- (1) 源区中铀、钍、铅发生丢失或有外来的铀、钍加入;
- (2) 放射性成因铅的污染, 投影点往往分布在单阶段铅增长曲线的右外侧;
- (3) 正常铅互相混合, 投影点一般落在单阶段铅增长曲线的弦上, 没有超出增长曲线的范围。

因此, 由图 2 可看出, 本区应属第一种形式, 根据其斜率公式:

$$R = (e^{\lambda_5 t_1} - e^{\lambda_5 t_2}) / [137.88 \times (e^{\lambda_8 t_1} - e^{\lambda_8 t_2})]$$

代入上述参数 λ_5, λ_8 , 并且令 $t_1 = 3.6 \times 10^8 \text{a}$ (成都地质学院测定的喇嘛苏铜多金属矿床斑岩体侵入年龄, 国家 305 项目 IV₇₋₁ 专题资料), $t_2 = x$ 得如下方程:

$$f(x) = e^{0.98485 \times 10^{-9}x} - 111.27 \times e^{0.155125 \times 10^{-9}x} + 116.19 = 0$$

利用牛顿迭代公式: $x_{k+1} = x_k - f(x_k)/f'(x_k)$

取 $x_0 = 3.6 \times 10^8 \text{a}$, 则迭代结果如下:

$$x_1 = 3.573218351 \times 10^8 \text{a}$$

$$x_2 = 3.573215281 \times 10^8 \text{a}$$

$$x_3 = 3.573215293 \times 10^8 \text{a}$$

$$x_4 = 3.573215272 \times 10^8 \text{a}$$

可见其近似解应为 $x^* = 3.57321528 \times 10^8 \text{a}$, 即 $t_2 = 3.57321528 \times 10^8 \text{a}$, 由此可见其矿化时间应为 357.3Ma 左右, 从而也揭示了本区岩浆侵入不但带来了成矿物质, 而且是主要的成矿作用。

从表 2 可以看出, 模式年龄最小为 43.22 Ma, 最大为 507.1 Ma; 其中两个全岩体年龄分别为 43.22 Ma 和 166.8 Ma, 其它模式年龄有的高于它们, 如 E_{50} 为 507.1 Ma, 有的与它们相近, 如 S_{26} 为 184.7Ma, 有的比它们还小, 如 N_{69} 为 99.63 Ma, 从而推测其成矿物质来源较广, 具多来源特征, 并经过了多次富集作用, 矿化具有多阶段的特征。

μ 值最小为 8.735, 最大为 10.174, 结合 B.R.Doe 等 1977 年总结的现代地球同位素组成中的 μ 值(地幔 8.92, 造山带 10.87, 上地壳 12.24, 下地壳 5.89)可知, 本区成矿物质主要来源于地幔和造山带。

3 结论

由以上分析可知, 本矿床的成矿物质来源广泛, 但主要来自库西木契克群下亚群的灰岩和斑岩体中, 矿化富集经历了沉积富集阶段和岩浆叠加改造富集阶段, 但成矿作用以岩浆作用为主, 主矿化时间为 357 Ma 左右。

参 考 文 献

- [1] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- [2] 刘云从等. 矿床学参考书. 北京: 地质出版社, 1985.