

澜沧裂谷火山岩带地质综合场及找矿意义^①

刘石年^② 段嘉瑞^② 王增润^② 陈惜华^② 吴延之^③

(中南工业大学)

摘 要

根据耗散结构理论和元素运移特性参数,首次探讨了滇西澜沧裂谷火山岩带地质综合场特征,包括在裂谷开放系统和低压环境下所形成的火山岩带中的大范围连续渐变耗散结构和逐步浓集的三级成矿物质场,以及影响物质场时空结构的能量场的特征。研究表明,围绕火山喷发中心并具有岩浆期后热液叠加和改造作用的第三级成矿物质场是铜多金属矿床的有利预测找矿靶区。

关键词: 裂谷, 火山岩带, 地质综合场, 铜多金属矿预测

地质综合场,是指具一定时空范围的地质体内存在的各种物质和能量场的总称。本文试从这种新的概念和理论的角度,探讨滇西澜沧裂谷火山岩带内成矿物质场和能量场的特征及其预测找矿意义。

1 地质构造背景

滇西澜沧裂谷位于云南三江地区澜沧—孟连一带,北至黑河大断裂与昌宁—耿马裂谷相连,南延至缅甸境内,长达100 km,呈近南北走向的地堑形态。裂谷两侧发育有元古界西盟群和澜沧群变质岩,裂谷中堆积有巨厚的中、上古生界沉积物,其中以下石炭统伊柳组火山岩为界分为两大层序:伊柳组之下为泥盆系及石炭系底部的碎屑岩和硅质岩建造;其上为中上石炭统、二叠系和侏罗系的碳酸盐岩、硅质岩和碎屑岩建造,沉积总厚度达15 000 m。其中火山岩出露面积320 km²。最厚处约1 500 m,由火山碎屑岩(包括各种凝灰岩、火山角砾岩和火山集块岩)与玄武岩组成,属大陆裂谷型玄武岩,但裂谷中又发育海相沉

积,因此大地构造属大陆边缘裂谷性质^[1]。

本区火山岩可以划分三个岩相:火山中心相、近火山相和远火山相。由火山岩相恢复的火山机构,说明本区属中心式喷发为主的裂隙—中心式喷发,具多旋回,每个旋回包括了喷溢—爆发—沉积三种作用中的一种或几种。在空间上火山岩具三带一支,其中以西带火山岩发育最好,连续、厚度大、熔岩多、集块角砾发育,现初步划出的八个火山中心,多集中于西带,呈近南北向排列,受澜沧裂谷深断裂控制。在该带北端已发现老厂大型铅银铜多金属矿床外,带内还有矿(化)点15个以上。主要矿种有Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Sb等。老厂矿区深部还发现隐伏花岗斑岩体(图1)。

2 地质综合场特征

著名的比利时布鲁塞尔学派创始人Prigogine于1969年提出耗散结构理论,指出在远离平衡区的非平衡状态下,可能出现稳定化的有序耗散结构^[2,3];至今日,耗散结构理论

①于1991年4月15日收到

②副教授; ③教授

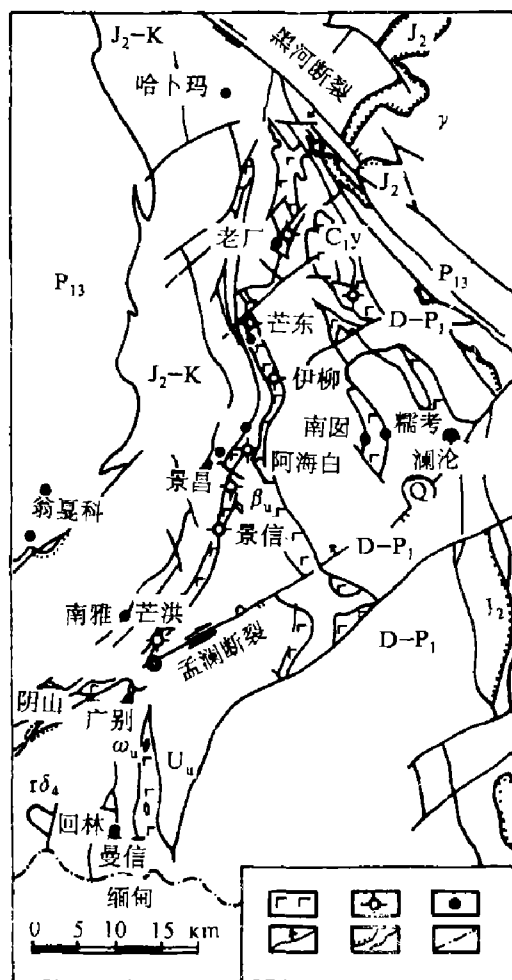


图1 澜沧区域地质矿产略图

Q——第四系；J₂-K——侏罗-白垩系红层，D-P₁——泥盆-二迭系下统碎屑岩、灰岩、硅质岩，C₁y——石炭系下统伊柳组火山岩；P₁₃——上元古界变质岩；γ-γ_μ、β_μ、ω_μ、ψ_ω——基性-超基性脉岩，γδ₄——花岗闪长岩；γ——花岗岩；q——石英岩；rr——火山岩；—○—火山中心；·——矿（化）点；——断层

已开始在许多领域，包括地质学领域中应用。许多地质上有序化结构，都是在非平衡状态下由于物质和能量的扩散运移与化学反应而产生的宏观体系的自组织现象。滇西澜沧裂谷火山岩带中成矿物质存在着大范围的连续渐变耗散结构和逐步浓集的多级分带特征，这种结构正是由于岩浆在开放系统下喷出地表时温压的急剧下降及物质运移特性参数的差异而产生的新的时空结构。

2.1 元素运移特征参数及运移组合分类

在澜沧裂谷火山岩形成时由于温压的急剧变化，影响地质作用中物质运移扩散的特性参

数主要为元素的离子半径 R (Å)、相对比容 V (半径/原子量×100) 及比焓 h° (离子生成热的负值)。根据李嘉林对 DeGroot 扩散方程的推导^[4]，在压力场作用下，半径 R 大的元素趋向低压空间， R 小的元素趋向高压空间；但比容 V 对物质运移的影响不仅取决于压力梯度，还视介质粘度大小而定，介质粘度越大（例如岩浆分异），比容小的重组分越容易被推向低压空间；当介质粘度小时（例如汽水溶液），比容小的组分反趋向高压空间；在温度场作用下，在连续系统中比焓低的组分趋向低温空间运移。

用上述主要运移特性参数作 $R-V-h^\circ$ 图，澜沧火山岩及成矿元素明显可分为三大类：第一类包括 Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Be 等，属造岩元素组合，其比容和比焓均较大，在岩浆分异过程中趋向高温高压空间；第二类包括 Cr、Ni、V、Ti、Co、Fe 等元素，其离子半径中等，而比容和比焓较小，在岩浆分异过程中趋向低压空间，属趋低压成矿元素组合；第三类包括 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Cd、Ga、Ge、As、Sb、Bi、Hg 等，其离子半径一般较大，而比容更小，但由于他们强烈亲硫，常形成各种络合物聚集于汽水溶液中，趋向火山穹窿等高压部位，随火山喷气或热液带出（图2）。

2.2 火山岩带物质场特征

2.2.1 物质场的时间结构特征

1 澜沧裂谷火山岩带中成岩成矿物质的时间结构特征，与该区构造-岩浆活动及沉积作用密切相关。从图3可见，该区从泥盆纪开始扩张沉陷，形成碎屑岩及硅质岩建造，至早石炭世裂谷边界断裂发育深达上地幔，重物质在低压环境下上涌，产生大规模中基性火山岩沿断裂喷溢。在裂谷拉张断陷环境下，首先是趋低压成矿元素 Co、Ni、Cr、V、Ti、及 Mn 等趋前分异，形成基性前峰；而部分 Ca、Mg、Al、Si、K、Na 等趋高温高压造岩元素滞后，造成岩浆分异偏中基性和碱性，并聚集在一些构造应力特别集中的部位成火山

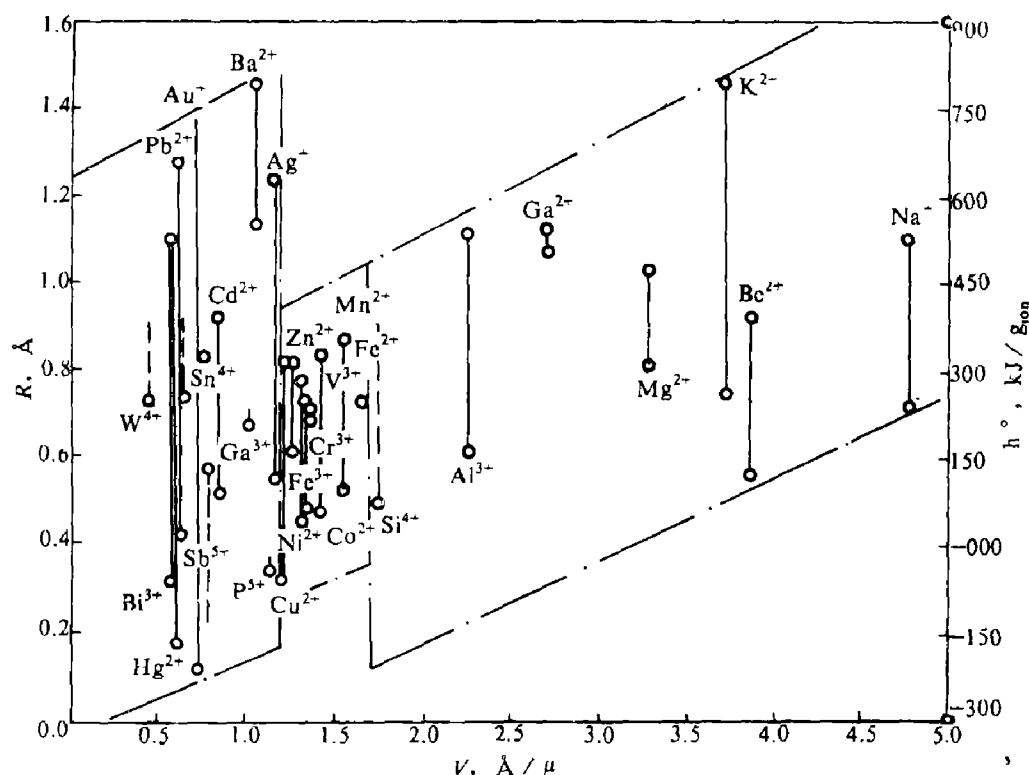


图2 元素运移特性参数及运移组合分类图

中心式爆发, 相应有大量亲硫趋高压成矿元素 Pb、Ag、Cu、Zn、As 等随火山汽液作用带出, 与火山碎屑物质同沉积, 形成主要矿源层。至中晚石炭世及早三叠世早期, 裂谷相对平静沉陷, 但不时还有火山喷气发生, 并相应带出部分 Pb、Ag、As、Cd 等成矿元素, 并与盖层物质同沉积, 形成含 Pb、Ag 等成矿物质的碳酸盐建造, 为本区次要矿源层。晚二叠世至三叠纪, 海西-印支运动使裂谷遭受挤压封闭, 沉积缺失。侏罗-白垩纪裂谷又重新扩张, 但下降深度远不如前, 未见深源物质上涌, 仅发育了巨厚的红色碎屑岩建造。燕山运动使裂谷再次挤压封闭, 并伴随中酸性岩浆侵入及叠加改造成矿作用 (图 3)。例如澜沧老厂矿床, 由于燕山期花岗斑岩的侵入, 形成火山-沉积热液叠加改造型的铜银铅多金属矿床。

2 成矿物质浓度: 对比各时代地层, 虽然在 C_{1Y} 基性火山岩建造中趋低压成矿元素组合比其他时代地层均高, 但仅接近(略高或略低于)地壳玄武岩丰度值 (表 1)。其中 Cr、V、Ti 亲氧趋低压成矿元素平均含量略低于丰

度值。因而区带内难以形成这些元素的有关矿产, Ni、Co 等亲硫趋低压成矿元素的平均含量略高于丰度值, 在区带内形成一些镍钴原生晕异常。但由于铜平均含量不高, 因而也难以形成 Cu、Ni、Co 硫化物矿床。在火山岩中含量较为丰富的为亲硫趋高压成矿元素, 其中铅平均含量为地壳玄武岩丰度值的 5—8 倍, 银为 1—2 倍, 砷达 3—4 倍, 镉达 6—15 倍, 区域内这种地球化学背景条件对形成铅银矿床十分有利。

2.2.2 物质场的空间结构特征

火山岩带中物质分异演化和扩散运移的结果, 形成了空间上的三级成矿物质场。

1. 一级成矿物质场: 是指区带火山岩的岩石组合及成矿物质由于分异扩散运移而形成的具连续渐变有序结构的区带成矿地质背景场, 如前所述, 区带火山岩形成了本区主要矿源层。但对比西、中、东三条近南北走向的火山岩带以及最为发育的西带北段和南段, 显示其岩石类型和成矿元素含量有一定差异 (表 1):

东西对比: 西带火山岩发育较好, 厚度较

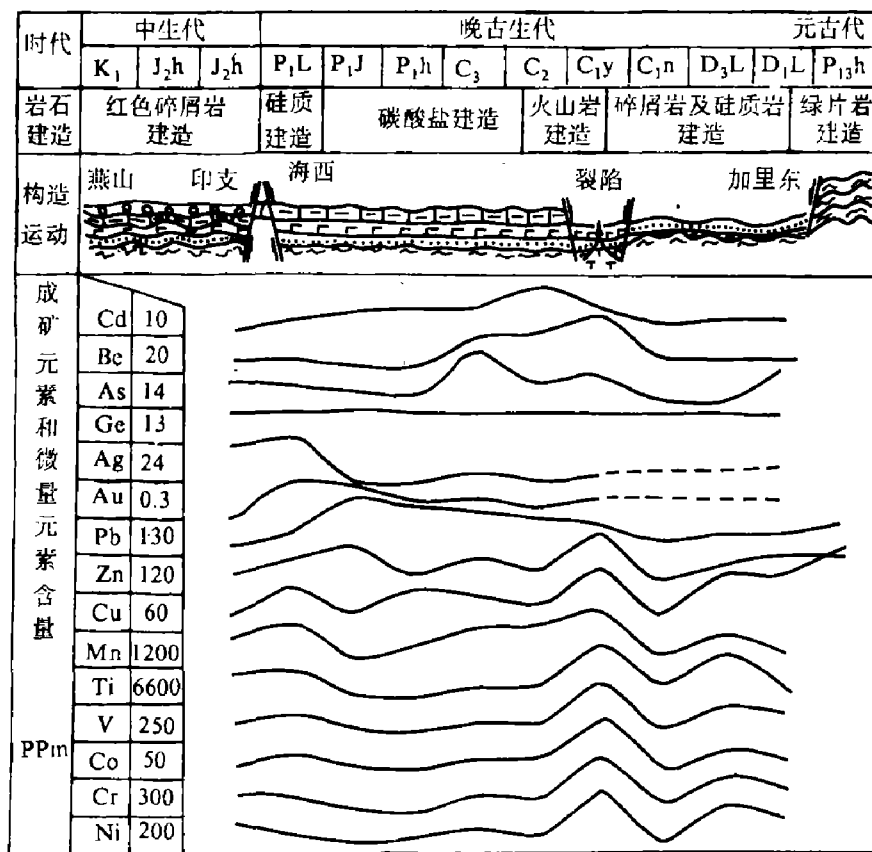


图3 澜沧裂谷物质场元素在不同时代和建造以及相应构造活动中的分布曲线

表1 澜沧裂谷火山岩带成矿元素统计表

火山岩带	样品数	主要成矿元素及微量元素含量 (Au: ppb, 其余 ppm)														
		Ni	Cr	Co	V	Ti	Mn	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	As	Be	Ge	Cd
西 北段	327	159	268	50.2	245	3977	1258	61.3	67.6	135	0.14	2.25	6.37	19.8	1.0	3.98
南段	293	198	314	51.0	222	6712	973	61.7	43.2	124	0.07	1.34	7.8	6.74	0.98	2.65
带 平均	620	178	290	50	234	4992	1123	61.5	56.1	129	0.11	1.82	7.04	13.7	0.99	3.35
中 带	14	92.6	279	39.7	276	9366	851	44.4	44.5	82.4	0.18	1.98		2.96	1.0	1.14
东 带	27							60.5	33.7	198	0.18	2.05				
阿卡白区	193	120	180	43.9	215	6231	794	65.5	53.8	144	0.21	2.19	16.3	2.98	6.27	2.53

大, 熔岩较多, 火山碎屑岩中角砾岩和集块岩较发育。而中带和东带火山岩以凝灰岩和沉凝灰岩为主, 厚度较小, 发育不全, 连续性较差。西带中亲硫趋低压成矿元素 Ni、Co、Cu 比中、东带高, 亲氧趋低压成矿元素 V、Ti 比中带低, 反映裂谷沉陷中心在西带, 火山岩形成的物理化学条件西带比中、东带偏还原环境; 特别是亲硫趋高压成矿元素 Cu、Pb、Zn、Cd 等含量西带比中、东带高, 与火山喷气有关的造岩元素 Be 等也较高, 反映西带形成火山岩型铜多金属矿床的条件较中、东带

好。

南北对比: 西带南部出现科马提岩, 火山岩偏基性、超基性, 并且厚度大, 熔岩多, 有枕状构造; 而北部出现碱中性岩, 局部含熔结凝灰岩 (如老厂)。火山岩中趋高压成矿元素 Pb、Zn、Ag、Au、Cd、Mn 及与火山喷气有关的趋高压造岩元素 B 等北段高于南段, 趋低压成矿元素中 Ni、Ti、Cu 北低南高, Cr、Co、V 南北相近 (见表 1)。主因子分析表明, 主要成矿元素组合北段为 Pb—Ag—Cu—Zn, 南段为 Co—Ni—Cu—Au。上述特征

总的反映裂谷发育深度北浅南深，裂谷中海水浸漫深度也是北浅南深，但火山岩型铅银铜多金属矿床北部比南部有利。

2. 二级成矿物质场：是指区带内围绕火山喷发中心形成的矿田成矿地质背景——异常场，根据1:5万找矿地质测量①，在澜沧裂谷中发现八处火山喷发中心，分别位于西带的老厂、新芒东、依柳、阿海白、景昌、景信、芒洪、及东带的朱石展等地。除老厂区为已知矿田外，围绕着阿海白火山中心的阿卡白区为此次工作所确定的一级矿田预测区，通过1:1万的地质简测及化探扫面，发现矿田成矿物质场具有在区带一级场的基础上进一步分异演化和集中的趋势，表现在：

(1) 岩石类型：在区带基性前峰的基础上，矿田出现中性、偏碱性的中性岩，例如老厂区和阿卡白区火山中心附近出现安山岩、安山质熔岩和凝灰岩等。

(2) 成矿物质：趋高压成矿元素趋向应力集中部位扩散运移，并随火山爆发而喷出。因此围绕火山中心的矿田具有高于区带一级场的亲硫及自然金属趋高压成矿元素 Cu、Zn、Pb、Ag、Au、As、Ge 等，以及低于区带一级场的亲硫趋低压成矿元素 Cr、Ni、Co、V 等，如老厂区和阿卡白区（见表1）

(3) 矿（化）点及地球化学异常大都围绕火山中心分布。例如在火山岩西带所圈定的近30个 Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Co、Ni 原生晕异常或组合异常，均围绕着7个火山中心分布在近火山岩相或远火山岩相地层中。一般近火山中心相地层中的异常和矿化均优于远火山相地层，例如阿卡白区，近火山相的阿卡白和哈苦两处的成矿地质条件、组合异常特征及矿化情况就优于远火山相的邦沙及迷巴谷等处。目前钻探已在阿卡白浅部打到厚8m多的含 Cu、Pb、Ag、Sn 较高的黄铁矿层，往深部的勘探还正在进行（图4）。

3. 三级成矿物质场：是指在火山穹窿的特定部位，由于侵入体或次火山岩侵入，产生成矿物质叠加和改造而形成的矿床成矿物质异

常场。在已知矿区老厂，钻探资料已经探明，在火山穹窿核部有花岗斑岩侵入，其上部接触带具有80m厚的含铜黄铁矿；再往上在 C_{1Y} 火山岩与 C_{2+3} 灰岩介面之下及 C_{2+3} 灰岩的断裂裂隙中有似层状及脉状铅银矿床。矿床成因属于：与裂谷作用有关的海相火山、同沉积—喷气热液叠加的岩浆期后热液铅银铜多金属矿床（图5）。

三级成矿物质场具有下列特征：

(1) 和区带一、二级成矿物质场对比，三级成矿物质场具有趋高压成矿元素进一步集中，成矿元素和指示元素原生晕规模和强度增大，水平和垂直分带发育，异常浓集中心明显等特征。例如老厂矿区，原生晕从上到下的分带综合序列为：Cd—Pb—Hg—Zn—Mn—Ni—Co—W—Sn—As—Bi—Cu，前七个元素为铅银矿体的分带序列，后五个元素为铜矿体的分带序列。

(2) 三级成矿物质场明显出现与侵入岩体有关的趋高温高压成矿产物的叠加，例如老厂150线含铜黄铁矿体周围除 Cu 原生晕外，还

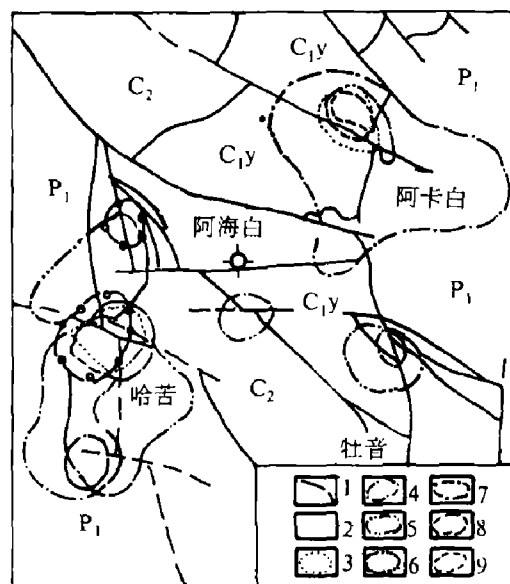


图4 阿卡白区围绕火山中心所构成的
二级成矿物质场及原生晕异常

P_1 ——二迭系； C_{2+3} ——中上石炭统； C_{1Y} ——下石炭统伊柳组火山岩；1——断层；2——火山中心；3—9——Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sn 原生晕异常

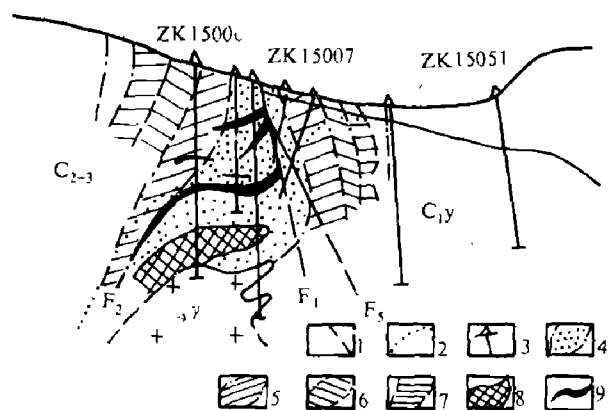


图5 老厂矿床150线矿化及元素分带模式

C_{1y} ——下石炭统伊柳组火山岩； C_{2+3} ——中上石炭统灰岩及白云质灰岩； γ ——花岗岩；1——断层；2——地层界线；3——钻孔；4—7——Sn、Cu、Pb、Zn原生晕；8——铜矿体；9——铅银矿体

出现Sn、Bi、W晕，锡晕还沿断裂一直延伸到地表（图5）。在阿卡白I级预测区阿卡白矿床，地表出现长英质脉， W_1 浅井中高温成矿物质Sn含量很高（最高达0.65%），Bi和W未分析，多元素异常发育，浓集中心明显，异常规模和强度较大，是类似于老厂深部可能存在隐伏岩体和较有规模的铜多金属矿床的三级成矿物质场。

(3) 矿田（例如阿卡白区）火山岩中主要成矿元素和指示元素的主因子分析表明（见表2），火山岩矿源层可提供60%左右的Ag、Pb、As、Cu等成矿物质（表2中的 F_1 ，方

差贡献为56.07%）；后期岩浆热液叠加的As、Pb、Cu等成矿物质可达20—30%（表2中的 F_2 ，方差贡献为20.28%），但由于侵入岩体不仅可提供热源，造成矿源层中的成矿物质活化转移到有利的成矿构造部位，而且叠加的成矿物质也集中分布。因此规模较大的铜多金属矿床应产于第三级成矿物质场中，形成于有隐伏岩体侵入的火山穹窿及其有利的容矿构造中。

2.3 能量场特征

根据地球化学性质相似、或者地球化学上强烈相关的元素之间的比值变化，可反映其特殊的形成条件或地球化学过程^[5]。我们的研究表明，火山岩中强相关元素对Zn和Cd、Ni和Co以及Ni和Cu的比值变化，对形成铜多金属矿床的温度场和压力场具有指示意义，其原因可通过元素运移特性参数的分析对比说明（表3）。

2.3.1 Zn/Cd比值

由表3可见，Zn和Cd的运移特性参数的主要差异在比容和比焓 h° 。据戈德施密特原理，Cd在温度升高时比Zn更敏感。在温度场作用下，热扩散的结果将使比焓较小的 Cd^{2+} 趋向低温空间，比焓较大的 Zn^{2+} 趋向高温空间，因而火山岩带中高的Zn/Cd比值晕指示温度场的正点源。而Zn和Cd的比容也相差较大，在压力场作用下，在火山汽水热液

表2 阿卡白区火山岩成矿元素主因子分析简表

地层	岩性	F_1 (火山喷气热液成因)		F_2 (岩浆热液叠加成因)		F_3 (基性熔浆分异成因)	
		主成分	方差贡献	主成分	方差贡献	主成分	方差贡献
C_{1y}	火山凝灰岩、	Ge、As、Ag	56.07%	As、Ag、Pb	20.28%	Co、Ni	20.28%
	火山角砾岩、	Pb、Mn、Cu		Cu、Au、Cd		Cr、Au	
	玄武岩，安山岩						

表3 火山岩中部分元素运移特性参数

元素运移特性参数	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}
离子半径 R (Å)	0.83	0.92	0.81	0.83	0.77
比容 V	1.28	0.82	1.27	1.41	1.31
比焓 h°	153.4	75.9	-65.7	58.2	54.0
离子电位 π	2.41	2.17	2.47	2.41	2.60

中, 介质粘度小, 比容较大的 Zn^{2+} 趋向低压空间, 而比容较小的 Cd^{2+} 趋向高压空间, 所以高的 Zn/Cd 比值晕又指示压力场的负点源。澜沧火山岩带中段高的 Zn/Cd (>300) 比值晕圈定的结果, 在伊柳、哥三反、阿卡白、火头寨等地均出现温度场正点源。前两处与实际调研的火山中心位置基本相符, 后两处可能与隐伏岩体存在有关(图6)。

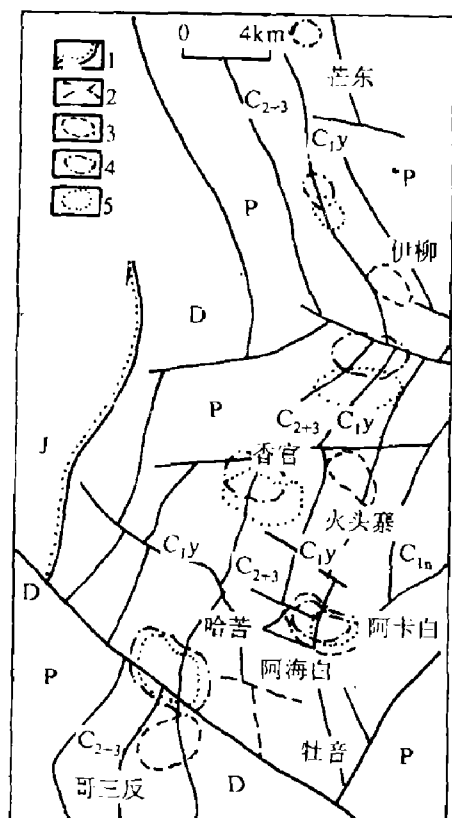


图6 澜沧火山岩带中段 Zn/Cd 、 Cu/Ni 、

Co/Ni 高比值晕分布图

J—侏罗系; P—二叠系; C_{2+3} —中上石炭统; C_{1y} —下石炭统火山岩; D—泥盆系; 1—不整合面; 2—断层; 3—5—高的 Zn/Cd 、 Cu/Ni 及 Co/Ni 比值晕

2.3.2 Cu/Ni 及 Co/Ni 比值

Cu 、 Ni 、 Co 三元素的离子半径、比容和电位均比较接近, 但 Cu 和 Ni 、 Co 的比焓相差较大, 在温度场作用下, 比焓较小的 Cu^{2+} 趋向低温空间, 因而高的 Cu/Ni (>8) 比值晕指示低温部位, 如火山盆地, 此外, Co/Ni 比值又具有特殊的成因意义(如黄铁矿中的 $Co/Ni > 5$ 是火山沉积成因的矿床特

征之一)^[6]。澜沧火山岩带中段 Cu/Ni 和 Co/Ni 比值圈定的结果, 在上述火山中心的邻侧(如伊柳之南、火头寨之西、哥三反之北等地)均出现高的 Cu/Ni 和 Co/Ni 比值晕 (>8), 指示火山盆地的位置和火山物质运移的方向。特别值得提出的是阿卡白矿点的 Zn/Cd 比值晕和 Cu/Ni 及 Co/Ni 比值晕重叠, 温度场正负点源套合, 显示较低温的火山盆地处有较高温的热源叠加, 预测深部有隐伏岩体侵入。(参见图6)

3 结论

本文在区带地质填图和化探扫面的基础上, 根据耗散结构理论和元素运移特性参数, 首次探讨了滇西澜沧火山岩带地质综合场特征。研究表明:

1 澜沧火山岩带形成于裂谷开放系统, 在裂谷拉张断陷的低压环境下重物质上涌, 形成基性前峰, 并且随着喷溢—爆发—沉积火山作用的进行, 成岩成矿物质发生分异演化 and 扩散运移。形成大范围的连续渐变耗散结构和逐步浓缩的三级成矿物质场——以裂隙熔浆喷溢作用为主的区带成矿物质背景场, 以中心式爆发及喷气作用为主的矿田成矿物质背景——异常场, 以及与岩浆期后热液叠加和改造作用有关的矿床成矿物质异常场;

2 影响物质时空结构的能量场主要为温度场和压力场。在能量场作用下, 亲硫趋高压成矿元素 Pb 、 Zn 、 Cu 、 Ag 、 Au 、 Cd 、 As 等趋向火山中心, 随火山喷气或热液而带出; 亲硫及亲氧趋低压成矿元素 Co 、 Ni 、 Fe 、 Cu 、 Cr 、 V 、 Ti 等趋向火山沉积盆地。相关元素等比值线反映了成矿物质运移方向;

3 火山岩带物质场(南北、东中西)对比研究又反映了裂谷形成环境的差异, 其下陷深度西带比中、东带深, 西带南段比北段深, 裂谷沉降中心在西带, 西带北段火山喷发作用较强, 提供了较丰富的 Pb 、 Ag 、 As 、 Cd 等成矿物质, 有利于形成火山—沉积及热液叠加

改造型铅银铜矿床;

4 围绕火山喷发中心并具有岩浆期后热液叠加和改造作用的第三级成矿物质场是铜多金属矿床的有利找矿靶区; 温度场的高低点源套合区是隐伏侵入岩体的有利预测部位。

参考文献

1 段嘉瑞等. 大地构造与成矿学, 1990, 14 (3): 13

2 湛星华等. 普利高津与耗散结构理论, 西安: 陕西科学技术出版社, 1982, 232—276

3 Prigogine, I. Time, Structure and Fluctuation. Science, 1978, 201 (4358): 777—785

4 李嘉林. 地球化学导论. 兰州: 兰州大学出版社, 1989, 157—59

5 赵伦山等. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1988, 38

6 徐国风. 地质论评. 1980, 26 (6): 541—546