

云南昭通毛坪铅锌矿床成矿物质来源的新证据 ——NE向断裂构造岩微量元素R型因子分析结果

邹海俊¹, 韩润生¹, 胡彬¹, 刘鸿²

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院地球科学系, 昆明 650093; 2. 贵州省晴隆锦矿, 贵州 561409)

[摘要] R型因子分析可通过研究地质变量在时间和空间上的组合、变化和分布特征而形成地质概念, 并恢复地质过程, 指示物质来源。在研究云南昭通毛坪铅锌矿床地质特征的基础上, 分别对矿区910和846中段Ⅱ、Ⅲ号矿带NE向断裂构造岩微量元素进行了R型因子分析, 提出成矿物质来源的新证据。在时间上, 指示了主要成矿期次为沉积成岩期和热液成矿期, 热液期又划分为黄铁矿—闪锌矿阶段、闪锌矿阶段、闪锌矿—方铅矿阶段和碳酸盐—黄铁矿矿化4个成矿阶段; 在成矿物质来源上, 锌来源于赋矿地层(C_1b 和 C_2w)和外来成矿流体, 铅主要由外来成矿流体带入。

[关键词] R型因子分析 断裂构造岩 成矿物质来源 毛坪铅锌矿 云南

[中图分类号] P628 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)05-0043-06

0 前言

因子分析被广泛应用于岩浆岩岩石学、矿床学、沉积学和地球化学的研究中, 其目的就是要从一定数量的指标(变量)中找出数目较少、彼此独立的新的基本变量(因子), 从而分析地质对象的特征以及原来变量彼此的关系^[1]。R型因子分析就是把一系列样品所测试的元素含量值作为原始变量, 通过数学变换, 来分析元素之间的关系的统计分析方法。

毛坪铅锌矿区位于云南省东北隅昭通市彝良县城的205°方向, 距县城13.5km处。地理坐标: 东经103°59'10"~104°00'00", 北纬27°30'49"~27°31'22", 面积约45km², 矿床分布面积0.4km², 为一中型铅锌矿床。关于毛坪铅锌矿床成因, 前人根据矿区构造条件、容矿层位及矿石某些微量元素的含量的差异等曾提出多种成因模式: 如有沉积改造—“侧分泌”成因层控矿床的认识^①, 西南地质勘探公司314队认为是“沉积改造—侧分泌层控矿床”^②; 柳贺昌认为是沉积—改造—后生矿床^[2,3]; 韩润生(2003)^③研究认为, 该矿床为明显受构造控制的层控铅锌矿床等。但是在研究方法上未见使用因子分

析来研究这一矿床。而且, 就矿床本身而言, 因子分析可解决两个问题: 其一是识别矿化阶段及其类型; 其二是为成矿控制因素提供有益信息^[4]。这两个问题一旦解决, 有助于了解矿床成因。因此, 本文对NE向控矿断裂构造岩微量元素进行了R型因子分析, 以划分成矿期次, 提出成矿物质来源方面的证据, 为进一步阐明矿床成因奠定基础。

1 矿床地质概况

从区域上看, 小江断裂带和昭通—曲靖隐伏断裂带控制了滇川黔铅锌成矿区的分布, 该断裂可成为区域铅锌成矿区的导矿构造^[5]。毛坪铅锌矿床位于昭通—镇雄坳褶区的猫猫山倾伏倒转背斜的北西翼, 控矿构造主要为NE向, 具有继承性活动特征, 层间NE向断裂控制着矿体的空间分布(图1)。该矿床有3个铅锌矿(化)赋存层位: 上泥盆统宰格组(D_3zg)、下石炭统摆佐组(C_1b)和中石炭统威宁组(C_2w), 分别赋存了Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号矿带, 赋矿岩性主要为粗晶白云岩。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿, 脉石矿物主要为白云石、方解石及铁方解石, 可见重晶石和石英。矿石中见黄铁矿、闪锌矿和

[收稿日期] 2003-06-23; **[修订日期]** 2003-09-17; **[责任编辑]** 余大良。

[基金项目] 云南省跨世纪学术与技术带头人培养基金(省自然科学基金)(编号: 99D0003G)及昭通毛坪铅锌矿校企合作项目(编号: 2001-01)联合资助。

① 彝良地质勘探队. 云南彝良长发硐铅锌矿区补充中间地质报告书, 1963. 12。

② 西南地质勘探公司三一四队. 云南省彝良县毛坪铅锌矿Ⅱ号矿带补充地质勘探中间地质报告, 1989. 6。

③ 韩润生. 昭通毛坪铅锌矿床成矿地质条件及隐伏矿预测阶段报告. 2003。

[第一作者简介] 邹海俊(1979年-), 男, 2002年毕业于昆明理工大学, 获学士学位, 在读硕士研究生, 现主要从事成矿动力学研究工作。

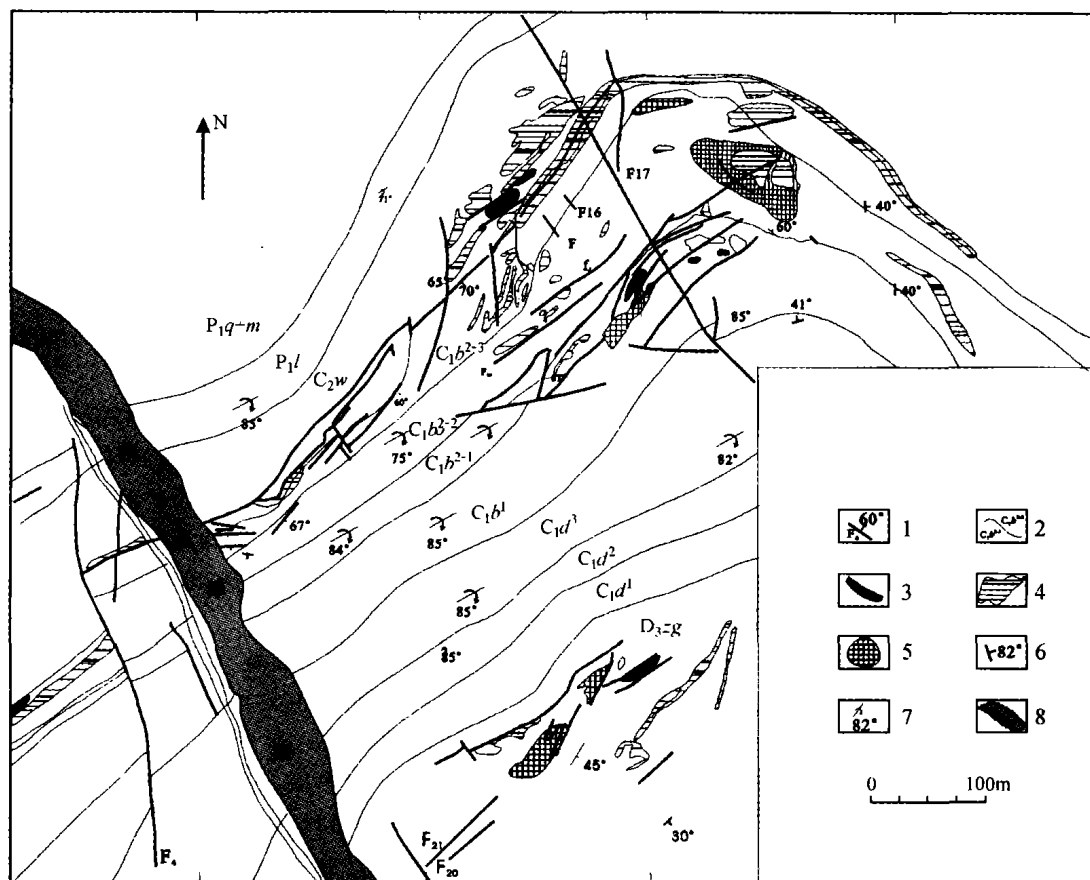


图1 毛坪铅锌矿床地质图(据柳贺昌(1999)^[2]改绘)

P_1q+m —下二叠统栖霞茅口组白云质灰岩; P_1l —下二叠统梁山组砂页岩; C_2w —中石炭统威宁组白云岩; C_1b^{2-3} —下石炭统摆佐组第二层第三段白云质灰岩; C_1b^{2-2} —下石炭统摆佐组第二层第二段灰岩; C_1b^{2-1} —下石炭统摆佐组第二层第一段灰岩与白云岩互层; C_1b^1 —下石炭统第一层白云岩; C_1d^3 —下石炭统大塘组第三层灰岩夹页岩; C_1d^2 —下石炭统第二层灰岩; C_1d^1 —下石炭统第一层页岩夹砂岩; D_3zg —上泥盆统宰格组白云岩;1—主要断裂;2—地层界线;3—矿体;4—蚀变白云岩;5—褐铁矿化(褐铁矿化)蚀变白云岩;6—正常地层产状;7—倒转地层产状;8—河流及流向

方铅矿相互穿插,而且后期为细脉状。主要围岩蚀变主要为白云石化、方解石化、重晶石化和黄铁矿化,晚期的黄铁矿呈细脉状穿插于矿体和围岩之中。

2 样品采集、测试及研究方法

NE向断裂构造为该矿床的控矿构造。因此,对该方向构造岩的研究可提供该矿床的成因的有益信息。为此,在毛坪矿区910中段和846中段Ⅱ、Ⅲ号矿化带范围内,进行了构造地球化学填图,取样加工及测试方法见有关参考文献^[6],用等离子质谱(ICP-MS)定量测试了51个成矿元素。样品于2002年5月由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室测试,详细原始数据见有关参考资料^①。根据成矿地质条件和元素测试精度要求,选取了74个NE向断裂构造岩样品中具有代表性的Sc、Ti、Cr、

Zr、Nb、 Σ REE、Hf、Ta、Th、U、Mn、Ag、Tl、Pb、Bi、Zn、Cd、In、Cu、Ge、As、Sb、Li、Sc、V、Co、Ni、Ga、Rb、Cs等34个元素。利用计算机有关软件进行R型因子分析和结果绘图(图2、图3),为进行地质解释奠定基础。

3 结果与讨论

3.1 R型因子分析结果

3.1.1 910中段

对NE向断裂40件构造岩样品进行R型因子分析,得到方差极大旋转因子载荷矩阵(表1),按照 $R > 0.55$ 水平,累计方差贡献达76.5%,可得到5个主因子:

F_1 : Th、Ta、Ti、Nb、Hf、Zr、 Σ REE、Cr、Sc、(U);

F_2 : -Bi、-Pb、-Tl、-Ag、(-Mn);

F_3 : Rb、Li、Cs、Ga、(Co)、(V)、(Sc)、(Ni);

① 韩润生. 昭通毛坪铅锌矿床深部隐伏矿预测阶段报告. 2003.1。

F_4 : -Zn、-Cd、-In;

F_5 : As、Ge、Sb、(Cu)。

根据矿床地质特征, F_1 因子代表造岩元素组合因子, F_2 代表铅矿化元素组合因子, F_3 可能代表碳酸盐化-黄铁矿化元素组合因子, F_4 代表锌矿化元素组合因子, F_5 代表黄铁矿-闪锌矿矿化元素组合因子。

表 1 910 中段方差极大旋转因子载荷矩阵

(Marked loadings are >0.55)					
Trace Element	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Li	0.027	0.021	<u>0.811</u>	-0.006	0.053
Sc	<u>0.704</u>	0.009	<u>0.665</u>	0.068	-0.031
Ti	<u>0.900</u>	-0.006	0.377	0.031	0.058
V	0.533	0.085	<u>0.675</u>	0.085	0.344
Cr	<u>0.798</u>	0.038	0.474	0.064	0.191
Mn	-0.186	<u>-0.661</u>	-0.240	-0.122	0.079
Co	-0.040	0.165	<u>0.697</u>	0.208	0.119
Ni	0.113	0.199	<u>0.654</u>	0.155	0.275
Cu	0.175	-0.156	0.248	-0.250	<u>0.655</u>
Zn	-0.056	-0.134	-0.132	<u>-0.975</u>	0.051
Ga	0.645	-0.061	<u>0.717</u>	-0.091	0.139
Ge	0.023	-0.218	0.022	-0.110	<u>0.933</u>
As	0.002	-0.246	-0.010	0.024	<u>0.934</u>
Rb	0.526	0.014	<u>0.823</u>	0.023	0.081
Sr	-0.141	0.155	-0.274	-0.185	-0.084
Zr	<u>0.855</u>	0.031	-0.165	0.077	0.015
Nb	<u>0.889</u>	-0.008	0.344	0.032	0.143
Mo	0.149	0.104	0.200	0.095	0.365
Ag	0.045	<u>-0.792</u>	-0.081	-0.275	0.490
Cd	-0.065	-0.212	-0.140	<u>-0.958</u>	0.076
In	-0.069	-0.453	-0.125	<u>-0.865</u>	0.017
Sn	0.082	-0.417	0.344	-0.235	0.174
Sb	0.143	-0.527	-0.005	-0.038	<u>0.781</u>
Cs	0.555	0.007	<u>0.729</u>	0.017	-0.027
Ba	-0.067	0.146	-0.137	0.032	-0.011
ΣREE	<u>0.835</u>	0.038	0.401	-0.144	0.173
Hf	<u>0.858</u>	0.031	-0.166	0.078	0.013
Ta	<u>0.910</u>	0.001	0.328	0.037	0.142
W	0.167	0.043	0.400	0.089	-0.102
Tl	-0.072	<u>-0.964</u>	-0.074	-0.110	0.020
Pb	-0.056	<u>-0.973</u>	-0.069	-0.105	0.120
Bi	-0.025	<u>-0.974</u>	-0.026	-0.103	0.126
Th	<u>0.946</u>	0.011	0.271	0.037	0.068
U	<u>0.558</u>	0.124	0.136	0.154	0.546
特征值	8.422	4.900	5.693	3.080	3.901
所占比例	0.248	0.144	0.167	0.091	0.115

主因子:

F_1 : Ti、Ga、Th、Ta、Hf、Rb、Zr、Sc、Nb、ΣREE、Cs、Cr、V、Ni、Li、(Co);

F_2 : -Bi、-Ge、-Pb、-Ag、-Zn、-Cu、-Sb、-Cd;

F_3 : In、As、(Mo)、(U)。

根据矿床地质特征, F_1 因子代表造岩元素和热液碳酸盐化元素组合因子, F_2 代表铅矿化元素组合因子, F_3 代表闪锌矿-黄铁矿矿化元素组合因子。

表 2 846 中段方差极大旋转因子载荷矩阵

(Marked loadings are >0.54)			
Trace Element	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Li	<u>0.603</u>	0.027	-0.077
Sc	<u>0.918</u>	0.069	-0.095
Ti	<u>0.949</u>	0.004	0.047
V	<u>0.787</u>	0.062	0.157
Cr	<u>0.788</u>	0.067	0.270
Mn	-0.466	0.012	0.428
Co	<u>0.519</u>	0.208	0.221
Ni	<u>0.637</u>	0.066	0.450
Cu	0.202	<u>-0.862</u>	0.295
Zn	-0.252	<u>-0.884</u>	0.249
Ga	<u>0.934</u>	0.009	0.085
Ge	-0.041	<u>-0.946</u>	-0.086
As	-0.013	-0.211	<u>0.737</u>
Rb	<u>0.922</u>	0.026	-0.036
Sr	-0.178	0.247	0.076
Zr	<u>0.921</u>	0.020	0.050
Nb	<u>0.918</u>	-0.005	0.032
Mo	0.225	-0.040	0.559
Ag	-0.163	<u>-0.927</u>	-0.008
Cd	-0.260	<u>-0.841</u>	0.282
In	-0.220	-0.384	<u>0.754</u>
Sn	0.245	-0.327	0.157
Sb	-0.169	<u>-0.857</u>	-0.227
Cs	<u>0.902</u>	0.015	-0.063
Ba	-0.065	0.076	-0.073
ΣREE	<u>0.917</u>	0.022	0.108
Hf	<u>0.929</u>	0.022	0.046
Ta	<u>0.932</u>	0.001	0.031
W	-0.120	0.125	-0.056
Tl	-0.168	-0.038	-0.161
Pb	-0.175	<u>-0.939</u>	0.164
Bi	-0.133	<u>-0.949</u>	0.147
Th	<u>0.933</u>	0.022	0.026
U	0.050	-0.051	<u>0.540</u>
特征值	12.428	6.957	2.697
所占比例	0.366	0.205	0.079

3.1.2 846 中段

对 NE 向断裂 34 件构造岩样品进行 R 型因子分析, 得到方差极大旋转因子载荷矩阵(表 2), 按照 $R > 0.54$ 水平, 累计方差贡献达 65%, 可得到 3 个

3.2 地质意义

3.2.1 910 中段

从表 1 及图 2A、图 2B 可以看出, F_1 正方向主

要为造岩元素组合,负方向主要是铅锌矿化元素组合。据成矿地质条件,认为前者代表沉积期围岩成分,后者代表热液期成矿流体带入成分。这就是说,主因子 F_1 值越大,则反映样品中围岩成分所占比重越高, F_1 值越小,反映矿化成分越高,即反映矿化特征。由图 2A、图 2C、图 2D 知, F_2 、 F_4 正向为造岩元素组合,负向为铅、锌矿化元素组合, F_2 、 F_4 值越小(负),反映铅、锌矿化成分所占比重越大,从成矿流体带入成分越多。从图 2E 可以看出, F_5 代表黄铁矿-闪锌矿化, F_5 值越大,反映黄铁矿-闪锌矿化

越强。其他元素组合对 F_5 贡献(值)越大,反映它们与黄铁矿-闪锌矿化关系越密切。

从表 1 及图 2A、图 2D 可看出,每个图都能划出 5 个相对独立的区域,结合矿床地质特征,Ⅰ区代表造岩元素组合,Ⅱ区代表黄铁矿-闪锌矿化元素组合,Ⅲ区代表闪锌矿化元素组合,Ⅳ区代表方铅矿化元素组合,Ⅴ区代表碳酸盐-黄铁矿化元素组合。其中,Ⅱ区、Ⅲ区、Ⅳ区、Ⅴ区分别指示热液期四个相应的成矿阶段。

从表 1 及图 2A、图 2C、图 2D、图 2E 中可知,黄

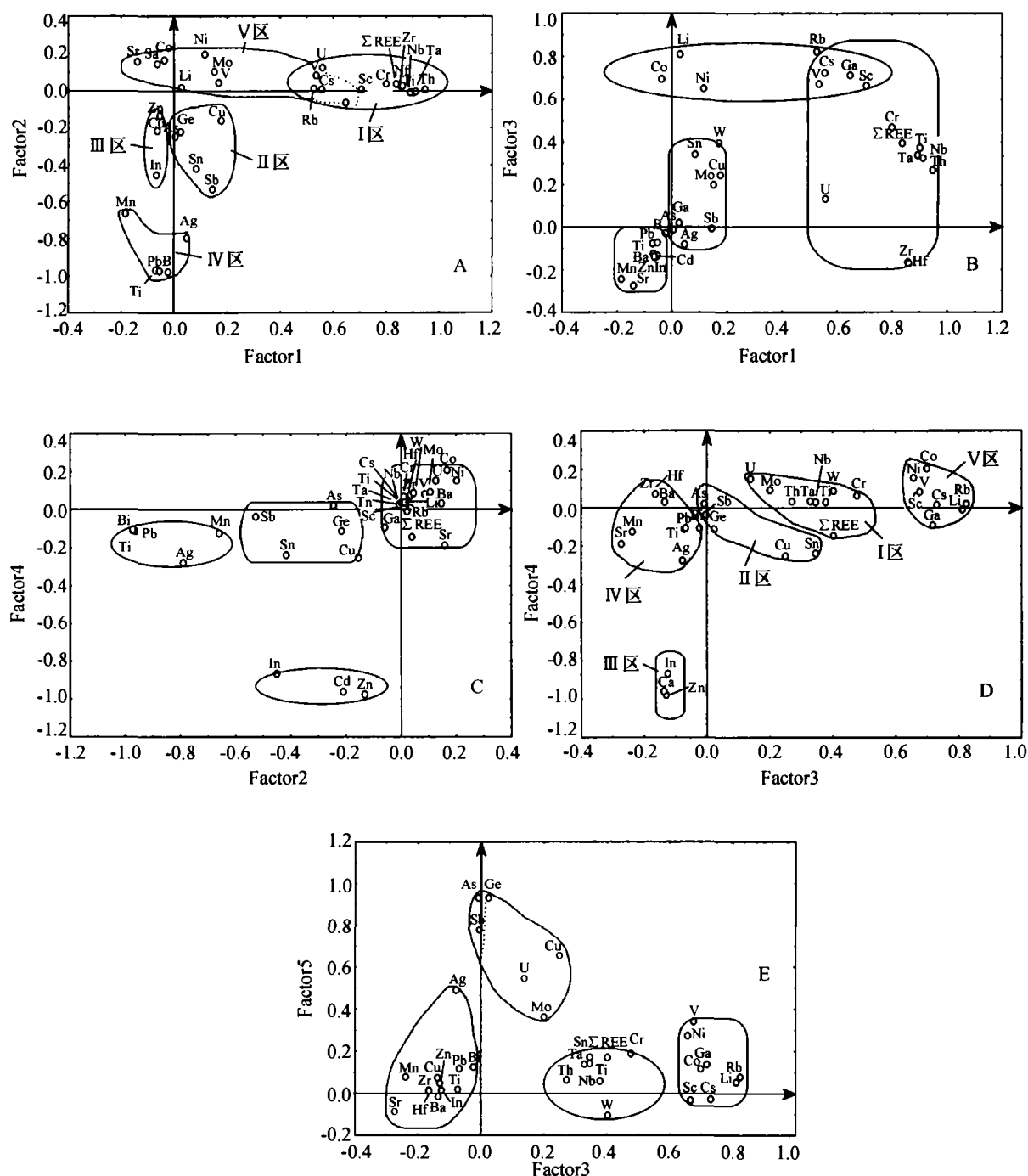


图 2 毛坪铅锌矿区 910 中段构造岩微量元素组合各因子关系图

A— $F_1 - F_2$; B— $F_1 - F_3$; C— $F_2 - F_4$; D— $F_3 - F_4$; E— $F_3 - F_5$

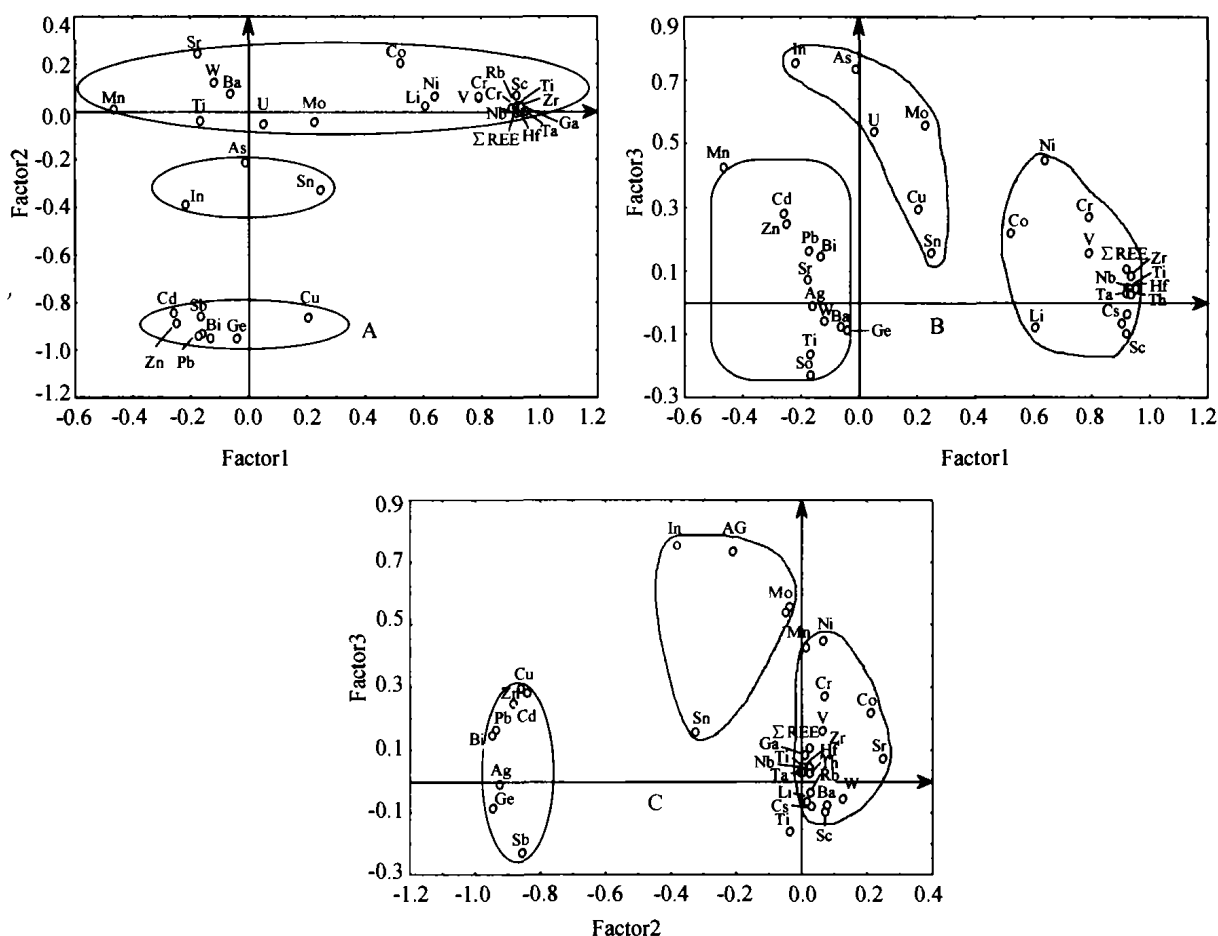


图3 毛坪铅锌矿区846中段构造岩微量元素组合各因子关系图

A— $F_1 - F_2$; B— $F_1 - F_3$; C— $F_2 - F_3$

铁矿-闪锌矿化元素组合中与造岩元素组合相接近的U、Mo、Cu等偏中高温指示元素,反映了黄铁矿为热液成矿期早阶段的前期形成。此元素组合中有锗(Ge)赋存,但无锌(Zn),由于 Ge^{4+} (易被还原成 Ge^{2+})易以类质同象形式进入闪锌矿中^[7],指示了此阶段闪锌矿化中的锌(Zn)可能从围岩(地层 C_1^b 和 C_2^w)迁移出来并富集成矿的。因此,黄铁矿-闪锌矿化元素组合与锌矿化元素组合关系较近,二者在时间上呈过渡关系。根据野外观察,矿石中闪锌矿-石英脉呈脉状穿插于块状细粒黄铁矿中间,反映了黄铁矿-闪锌矿阶段比闪锌矿阶段早。从表1及图2C、图2E可看出,铅矿化元素组合与锌矿化元素组合也有一定的关系(图2C中二者独立,但同位于两轴负向。图2E中,二者几乎不可分),这反映了不同阶段成矿流体带入的成矿元素是不同的。在闪锌矿阶段,成矿流体以带入锌(Zn)为主,在方铅矿阶段以带入铅(Pb)为主。因此,锌矿化阶段和铅矿化阶段在时间上也是过渡关系,根据成矿地质特征,前者比后者早。

由表1和图2B可看出,造岩元素组合因子

(F_1)与热液碳酸盐化元素组合几乎全部位于两轴正向,且有交叉(重叠)元素,说明围岩蚀变与围岩关系密切,白云石化和方解石化成分主要来自围岩,而黄铁矿的形成与外来成矿流体有关。结合野外观察,白云石脉、方解石脉以及部分黄铁矿脉呈细脉状穿插于围岩和矿体中,则可知该白云石、方解石矿物为热液作用晚阶段的产物。

3.2.2 846中段

从表2和图3A、图3B、图3C可以看出,对846中段Ⅱ、Ⅲ号矿带微量元素R型因子分析结果分析所得出的结论,与910中段相比,在成矿期次(阶段)、成矿物质来源、围岩蚀变诸方面有相似之处。可以说,两中段微量元素R型因子分析结果是一致的,指示了两中段Ⅱ、Ⅲ号矿带的形成时间和成矿物质来源的一致性。由于两中段均对Ⅱ、Ⅲ号矿带进行分析,在空间上由浅到深紧密联系,因此对分析矿体在空间上的变化有一定的指示意义。

但由于两中段Ⅱ、Ⅲ号矿体地质(产出深度、地层产状、构造发育程度等)、地球化学等因素的影响,也出现一些差异,表现在:①在910中段,各主

因子所代表的元素组合明显分离,也明显代表了成矿期次(阶段)。而 846 中段造岩元素组合与围岩蚀变元素组合几乎不可分。结合野外观察,方解石化等围岩蚀变是晚阶段的特征;铅锌矿化元素聚在一起,黄铁矿-闪锌矿化阶段和方铅矿-闪锌矿阶段的闪锌矿化都很明显。② 846 中段主因子 F_3 明显看出黄铁矿阶段为热液成矿期早阶段的产物。而 910 中段则不很明显。③ 910 中段黄铁矿-闪锌矿阶段的黄铁矿化明显,且闪锌矿化也与方铅矿化阶段单独为一成矿阶段;而 846 中段则在黄铁矿(闪锌矿)阶段以锌矿化元素(In)占主导,也即此阶段以闪锌矿化为主。④ 910 中段锌(Zn)来自外来流体为主导,因此单独有闪锌矿成矿阶段;而 846 中段锌(Zn)可能主要来自地层。

4 结论

刘家军等^[8]及黄转莹等^[9]曾用聚类分析(Q型和R型)来分析含矿地层中原岩、矿石或热液矿物间在成分上的联系,从而在此方面剖析矿床成矿物质来源。实践证明,因子分析是一有效的地质分类和地质成因研究的手段。R型因子分析主要分析地质元素之间的定量关系,从而进行合理的地质解释。毛坪铅锌矿主要受NE向断裂构造控制,因此利用断裂构造岩特征,通过R型因子分析来研究该矿床成矿物质来源是可能的。

通过以上研究,认为NE向断裂构造岩微量元素R型因子分析结果,可提供矿床成因的新证据。这些主要证据如下:①矿床形成过程主要为以下成矿期次(阶段):沉积成岩期和热液成矿期;热液期又分4个成矿阶段:黄铁矿(闪锌矿)阶段、锌矿化

阶段、铅矿化(闪锌矿)阶段和碳酸盐化-黄铁矿化阶段。②锌的来源有两种途径:其一是来源于赋矿地层(C_{1b} 和 C_{2w}),其二是由于构造活动而形成的流体带入的;铅主要来源于流体带入;黄铁矿(闪锌矿)阶段,流体与围岩相互作用,形成细粒黄铁矿的同时,锌(Zn)“就地取材”并在有利部位富集。③围岩蚀变(白云石化、方解石化、重晶石化、黄铁矿化)为流体与围岩相互作用的产物。

致谢 论文得益于课题组王学焜教授、马更生老师、马德云老师、刘名龙硕士以及李文升工程师及昭通市铅锌矿科技人员的大力帮助,在此特对他们表示衷心的感谢!

[参考文献]

- [1] 徐振邦,娄元仁. 数学地质基础[M]. 北京:地质出版社,1994:226.
- [2] 柳贺昌,林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明:云南大学出版社,1999:153.
- [3] 柳贺昌. 滇、川、黔成矿区的铅锌矿源层(岩)[J]. 地质与勘探,1996,32(2):12~18.
- [4] 余金生,李裕伟. 地质因子分析[M]. 北京:地质出版社,1985:6.
- [5] 韩润生,陈进,李元,等. 云南会泽铅锌矿床构造控矿规律及其隐伏矿预测[J]. 矿物学报,2001,21(2):265~269.
- [6] 韩润生,刘丛强,黄智龙,等. 云南会泽铅锌矿床构造控矿及断裂构造岩稀土元素组成特征[J]. 矿物岩石,2000,20(4):11~18.
- [7] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984:400~401.
- [8] 刘家军,李朝阳,潘家永,等. 兰坪-思茅盆地砂页岩中铜矿床成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探,2000,36(4):16~19.
- [9] 黄转莹,路润安. 陕西省凤县铅铜山大型铅锌矿床原生异常分带及分带指数[J]. 地质与勘探,2003,39(3):39~44.

NEW EVIDENCES OF ORIGIN OF METALLOGENIC MATERIALS IN THE MAOPING PB - ZN ORE DEPOSIT, ZHAOTONG, YUNNAN : R - FACTOR ANALYSIS RESULTS OF TRACE ELEMENTS IN NE - EXTENDING FRACTURAL TECTONITES

ZOU Hai - jun¹, HAN Run - sheng¹, HU Bin¹, LIU Hong²

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2. Qinglong Antimony Mine, Qinglong 561409)

Abstract: The R - factor analysis method can be used to produce geological concepts, restore geological process and predict origin of ore - forming materials by studying the association, variation and characteristics of distribution of geological variables in space and time. On the base of study on the geological characteristics of the Maoping Pb - Zn ore deposit, Zhaotong, Yunnan province, the R - factor analysis has been applied to discuss trace elements in fractural tectonites in the II, III ore - zones of levels 910 and 846. New evidences have been provided for the origin of metallogenic materials. In the sense of time, the ore - forming periods can be divided into sedimentary and hydrothermal stages, and hydrothermal stage can also be divided into pyrite - sphalerite phase, sphalerite phase, galena - sphalerite phase and the carbonate - pyrite phase. In the source of ore - forming material, Zn came from local strata (C_{1b} and C_{2w}) and the external ore - forming fluids, Pb was mostly brought in by the external ore - forming fluids.

Key words: fractural tectonites, R - factor analysis, origin of metallogenic materials, Maoping Pb - Zn ore deposit, Yunnan province