广东西部地层和岩体化探资料的数据处理

冶金部地质研究所化探室　吕秀峰　段祝龄

随着区域化探工作的开展，对区域化探数据如何整理，以提供更多、更有效的信息，是当前化探工作中应当重视的问题。我们应用多元统计方法，对广东西部区域化探所获的地层和岩体资料的整理、研究，作了一些尝试。

本次工作范围，仅限于广东西部。构造部位属于新华夏系第二隆起带的西南段。区内自元古界震旦系到新生界第四系地层均有出露。我们选用了震旦系、寒武系、志留系、泥盆系、石炭系、二迭系和白垩系地层样品计44个，采用广东冶金地质九四〇队所提供的分析结果作为研究地层的基础资料。本区岩浆岩分布广泛，时代上从加里东、海西、印支、燕山期都有，其中以燕山期和加里东期分布最广。我们选择27个岩体样品，用本室光谱和原子吸收定量分析结果作为岩体研究基础资料。

地层的研究

（一）微量元素地球化学特征

元素的统计参数是统计分析的基础。我们统计了广东西部从震旦系到白垩系地层中Zn、Mn、Co、Cu、Ni、Sr、Ti、Pb、Ba、Cr、V、Ag、Hg、W、Mo、Sn、As、Sb、Bi共19种元素的算术平均值、方差、变化系数以及对数平均值，从中可以看出以下特点。

1.泥盆系以前的老地层（震旦系到泥盆系下统），与泥盆系中统以后的新地层（泥盆系中统到白垩系，本文所指新、老地层均按此划分），两者之中微量元素的富集有明显的差异，即：老地层Cu、Sn、Mo、Bi、Ag、W平均值高于新地层，而新地层Mn、Ni、Co、Cr、Sr、Pb的平均值高于老地层。与本区主要矿产铜、钼、钨、锡矿有关的主要地层为震旦系、寒武系、奥陶系，还有泥盆系、石炭系。这与地层中微量元素丰度相一致。

2.在岩性上元素含量也存在明显差异。在整个地层中，Cr、V含量在页岩里均大于砂岩，而在碳酸盐岩中最低，这与这些元素在沉积岩中的地球化学性质相符合。老地层，Ba、Mo平均含量在页岩中大于砂岩，而Zn、Mn、Ni、Ag则相反。新地层中Sr、Pb、Co、Sn平均含量是按碳酸盐岩→砂岩→页岩顺序降低，而Zn、Cu、Ni、Ti、Cr、V、Ba则按此顺序增高。

3.本次所统计的地层中微量元素之平均含量与主要类型沉积岩中微量元素平均含量（涂里干、费德波）相较，除Hg、Ti外，所统计的元素均高过沉积岩中微量元素几倍至几十倍。而且由于老地层受多期地质因素的改造和变质作用的影响，元素组合较新地层复杂。

（二）地层时代上微量元素的分布特征

研究地层时代上微量元素分布规律，对于地层的划分，揭示含矿时代，指导找矿，具有重要意义。对应分析具有相当的综合能力，它能提供整个系统的完整面貌。为此我们采用了对应分析并配合点群分析等多元统计方法进行综合研究，取得了较好的效果。我们对广东西部区域化探工作中所取的地层样品，按照地层、岩性，考虑不同岩层厚度，从441个样品中随机抽出164个样品，用原始数据及其对数，分别作对应分析，并用不同因子作平面点聚图，均提供了客观有效的信息，其结果基本相同。图1即为取对数作对应分析，以因子F_1、F_3因子负荷所作平面点聚图。

1.对应分析样品的点聚，可以解释为同一类样品的集中。从图1可看出新地层中碳酸盐岩的样品分布于图的上方，对应于Sr、Co、Pb一套元素组合。沿着F_1轴上方为石炭系，二迭系碳酸盐岩样品点聚，以Sr、Pb高为特征。下部为泥盆系，碳酸盐岩样品点聚以Co高为特征。在F_1

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

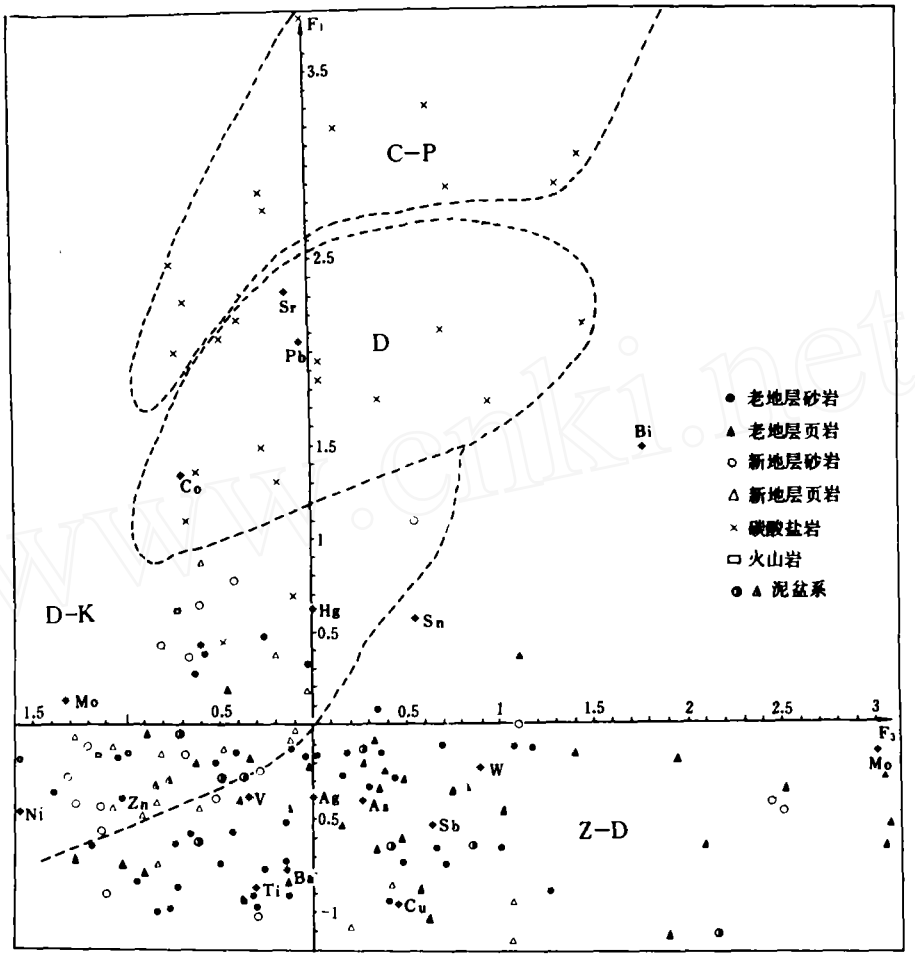

图 1　广东西部地层微量元素对应分析平面点聚图

和F_3轴所交中心部位，分布着各时代的砂页岩，可以清楚地看出新老地层有明显的差异，新地层样品趋近图之左上侧，老地层位于图之右下侧。新、老地层的样品点聚各对应一套元素组合：老地层为Mo、W、Sn、Cu、Bi、Ag、As组合，新地层为Ni、Mn、Zn、Co组合。这与微量元素在各地层的平均含量相吻合。值得提出的是，泥盆系地层变质程度较深的样品在图上则趋近于老地层，变质程度较浅的样品则趋近于新地层。用各个时代不同岩性岩石的平均值作全变量点群分析（图 2）也清楚地把新老地层分成两群。

2.不同时代形成的地层虽受生成环境、物质来源、沉积旋回等地质因素的控制，但由于老地层受多期地质作用的改造，以及变质作用的影响，按时代来划分老地层就不如新地层清晰。从对应分析平面图上来看，老地层各层样品则相互叠加，新地层分群趋势明显。从整个地层全变量点群分析来看（图 2），新地层分群相互连接，新老有序，颇有规律；老地层分群连接则新老位置有些错乱。通过所作判别分析（限于篇幅，结果从略）也可看出这一点，新地层的判别效果也优于老地层。

3.如果各“系”地层再以“统”为单位细分，也可看出存在的差异。为了清晰、直观，我们把对应分析的结果以每“系”样品单独成图（图 3、6、9），从而看出：

（1）寒武系地层：图 3 反应出$\in^a$、$\in^b$、$\in^c$、$\in^d$四层有各自成一个点聚的趋势，用全变量做点群分析（图 4）则分群效果与对应分析结果一致。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

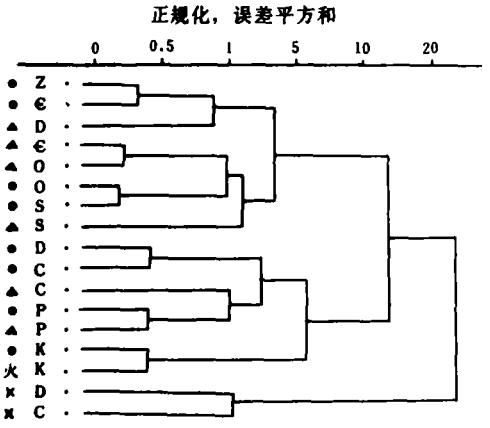

图 2　粤西地层全变量点群分析谱系图

Z—震旦系；Є—寒武系；O—奥陶系；D—泥盆系；C—石炭系；P—二迭系；K—白垩系；S—志留系；·—砂岩；Δ—页岩；×—碳酸盐岩；火—火山岩

（以下谱系图图例均同此图）

（2）奥陶系地层：从图 6 可明显看出，O_1 和 O_{2-3} 分为两群。用 Mn、Ni、Ag、Bi 作点群分析效果更佳（图 5）。这表明 O_1 与 O_{2-3} 相比，O_1 以富含 Ni、Mn、Bi 而贫 Ag 为特征。

（3）志留系地层：用 Co、Sr、Ba、As 作点群分析（图 7）和对应分析相比较（图 3），分群效果一致，分群明显。根据元素含量平均值来看，S_1 地层富 Co、As 而相对贫 Ba、Sr。

（4）泥盆系地层对应分析和点群分析结果是一致的，虽有分层趋势，但因受变质作用影响，效果较差。石炭系因采用同一层位样品，故未再作。

（5）从二迭系与白垩系地层全变量点群分析图（图 8）和从图 9 均可看出，不但可以以“系”为单位把二者区分开，还有把“系”细分为“统”的趋势。二迭系与白垩系地层相比，前者富含 Zn、Ni（V），后者富 Mn。

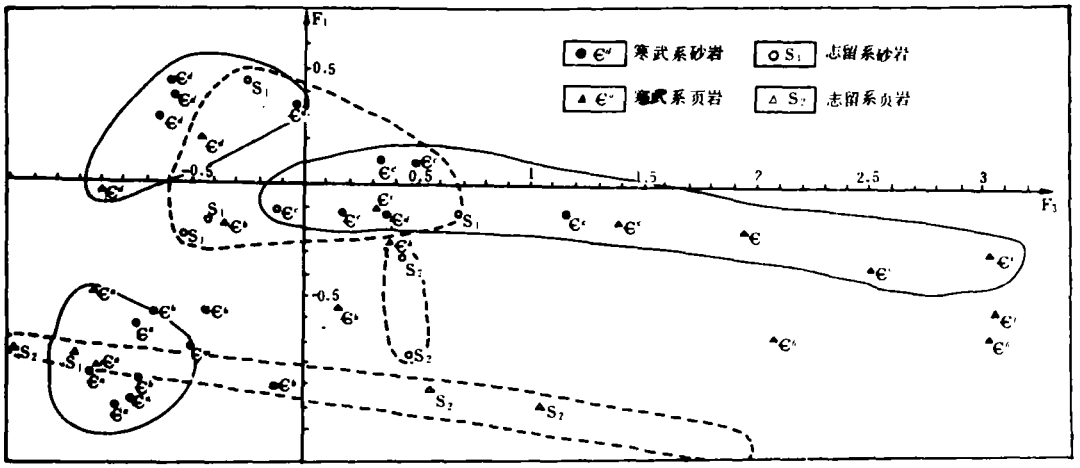

图 3　寒武、志留系样品因子空间分布图

（三）不同岩性岩石中微量元素的分布特征

1.由于岩性的不同，各种微量元素的富集和贫化也存在着差异。从对应分析因子平面点聚图（见图 1）来看，各时代的碳酸盐岩样品分布反映在图的上部，以 Sr、Pb、Co 元素组合为特征。与碳酸盐岩相比，砂、页岩两者成分较为相近，而且地层中多为砂、页岩互层，因而在图 1 中砂，页岩样品相互叠加分布于图的下部。但新、老地层元素组合不同，实际上乃是岩性差异的反映，因为老地层一般都受区域变质成为片岩。根据地层中元素含量的特征，选取了 Sr、Pb、Ba、Cr 元素组合作点群分析（图10），可将全地层按岩性分开，即砂岩、页岩、碳酸盐岩各为一群。后者富含 Sr、Pb 而贫 Ba、Cr。页岩中 Ba、Cr、Sr 也比砂岩高，砂岩则比页岩富 Ag。所以这套元素组合可作为本区岩性区分上的特征元素组合。

2.以“统”为单位，各地层的砂、页岩也存在不同程度的差异。各个地层中挑选有分辨能力的不同元素组合；寒武系为 Zn、Ti、Ba、V、Ag、Hg、W、Mo、As 元素组合（图11），奥陶

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

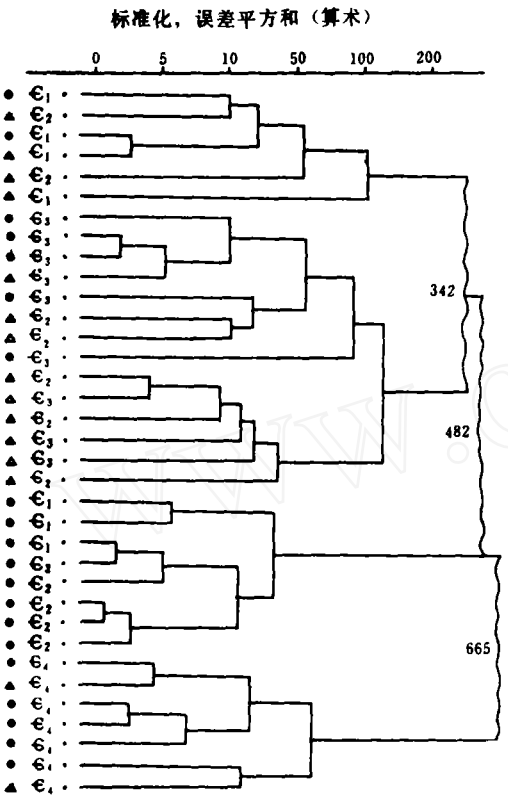

图 4　寒武系地层全变量点群分析谱系图

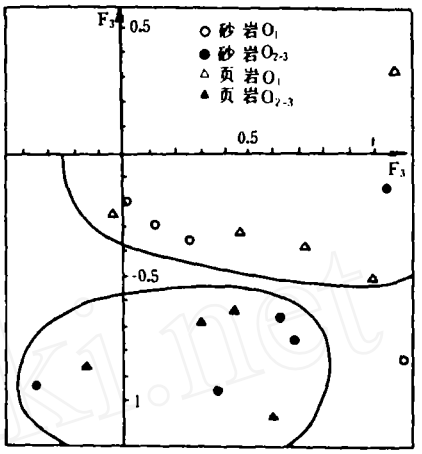

图 6　奥陶系样品因子空间分布图

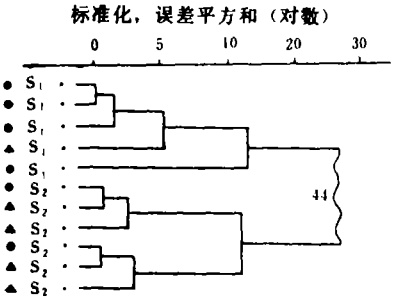

图 7　志留系地层Co、Sr、Ba、As 点群分析谱系图

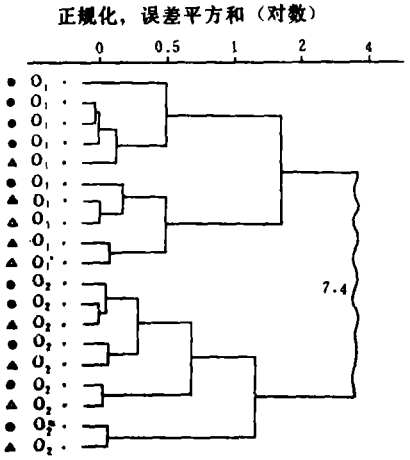

图 5　奥陶系地层Mn、Ni、Ag、Bi 点群分析谱系图

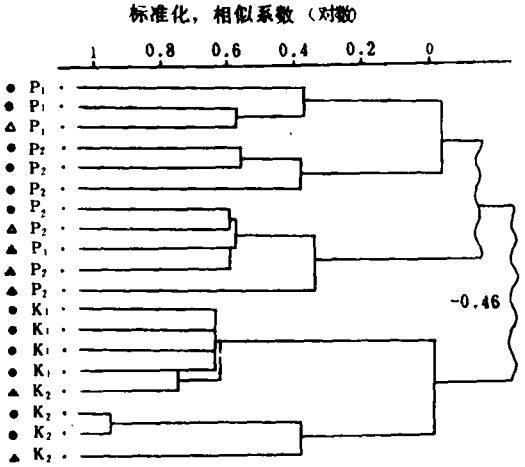

图 8　二迭、白垩系地层全变量点群分析谱系图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

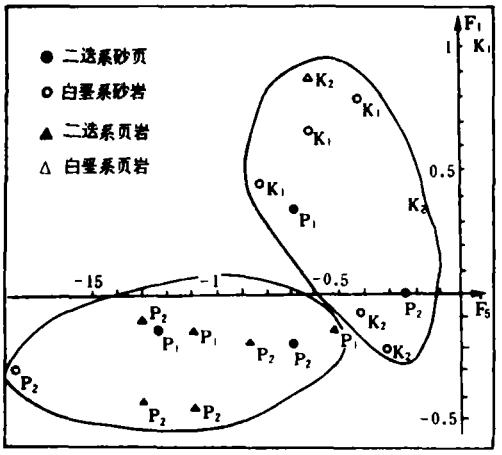

图 9　二迭、白垩系样品因子空间分布图

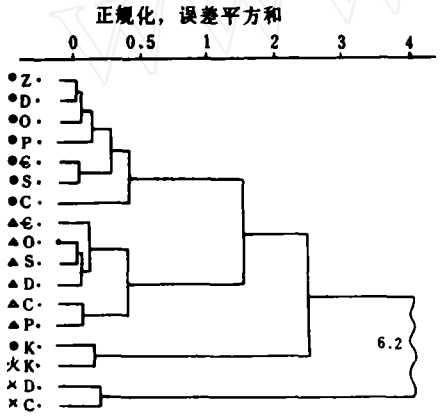

图10　地层Sr、Pb、Ba、Cr元素点群分析谱系图

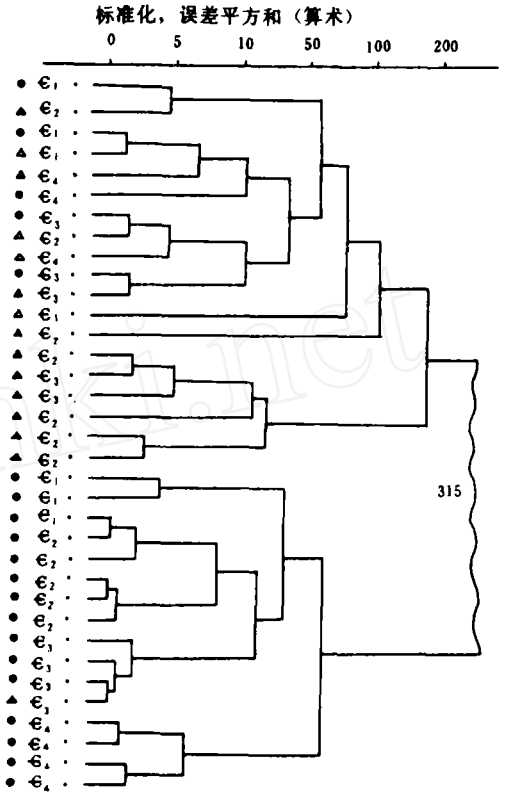

图11　寒武系地层Zn、Ti、B、V、Ag、Hg、W、Mo、As点群分析谱系图

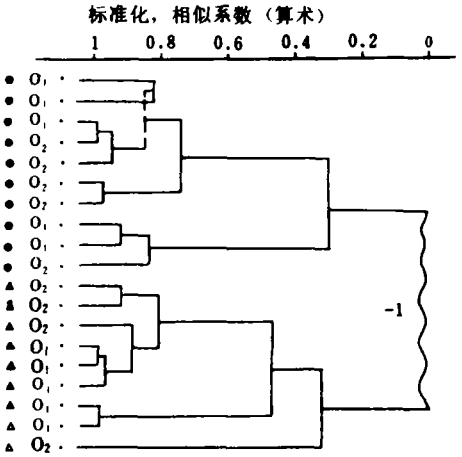

图12　奥陶系地层Cu、Ti、Cr、V元素点群分析谱系图

系为Cu、Ti、Cr、V元素组合（图12），志留系为Pb、V、Sn、Sb、Bi元素组合（图13），二迭系与白垩系为全变量（图8），做点群分析均可很好地把砂、页岩分开（以上点群分析所用数据均为原始数据）。

岩体研究

本区侵入岩主要为中酸性和酸性（正常）的花岗岩类，中性岩及基性岩个别出露，面积很小，这次研究从略。我们对测区内的27个岩体进行了工作（表1），计算了各岩体常量和微量元素的平均值，并应用对应分析、点群分析、判别分析等数理统计方法，取得了一些有用的信息。

此处所指花岗岩类，其中SiO_2大于60%，包括石英闪长岩、花岩闪长岩、斜长花岗岩、二长花岗岩、花岗岩、石英斑岩。通过表2，可以

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

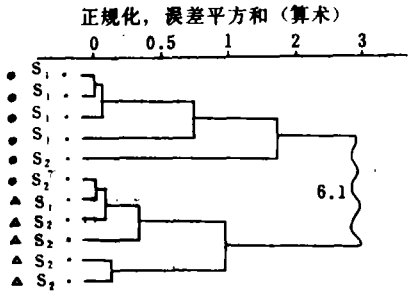

图13　志留系地层Pb、V、Sn、Sb、Bi

点群分析谱系图

看出本区（广东西部）与整个华南地区花岗岩类中常量元素的氧化物含量的差异。

（一）不同时代常量元素与微量元素的分布特征

许多元素的富集，在时间上与一定时代的侵入岩体有明显的关系。研究元素时代上的变化规律以及元素之间的关系，从岩浆作用的时代上进行成矿预测具有重要意义。从表3可以看出，加里东—海西期的FeO、MnO含量最高。燕山期侵入岩体时代愈新，SiO_2、K_2O+Na_2O愈有增高的趋势，其余元素的氧化物则有降低的趋势，而且

对本区27个岩体的调查简表　　表1

时代		岩体名称	编号	岩性	含矿类型
加里东与海西期		茶巴	15	斑状黑云母花岗岩	
		同江	20	黑云母斜长花岗岩	
		山鸡田	21	花岗闪长岩	
印支期		马山	17	黑云母（角闪石）辉石二长岩	
燕山早期	一期	夏场	27	花岗闪长岩	
	二期	石碌	1	石英闪长岩、斜长石花岗岩、花岗闪长岩	Cu（Mo）
		黑石岗	3	花岗闪长岩	Fe、S
		石碌林场	26	花岗闪长斑岩	
		岗美	16	黑云母角闪石二长花岗岩、花岗闪长岩	Fe、Cu
		南和	9	石英二长岩	
		海晏（1）	13	黑云母花岗岩	
		海晏（2）	14	角闪石黑云母二长花岗岩	
	三期	天堂	2	二长花岗岩	Cu（Mo）
		腰密	10	黑云母花岗岩	
		那龙	19	黑云母花岗岩	
燕山晚期	四期	锡山	8	钾长花岗岩	Sn（W）
		小南山	7	斑状花岗岩	W（Sn）
		大蓬岭	11	黑云母花岗岩	
	五期	锡坪	4	花岗斑岩、斑状花岗岩	Mo、Sn
		铸银坪	5	花岗斑岩	Mo
		三尖	6	花岗斑岩	Mo
		飞龙庙	12	花岗斑岩	
		八帘山	18	花岗斑岩	
时代不明		船步	25	黑云母花岗岩	
		朝其塘	23	石英斑岩	
		鸡冠山	24	花岗闪长岩	
		横塘圩	22	角闪辉长岩	

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

广东西部地区与华南地区花岗岩类中常量元素氧化物含量（%） 表2

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Na_2O+K_2O
本地区花岗岩类	70.91	0.32	14.06	1.11	1.95	0.09	1.02	2.14	2.67	4.19	0.10	6.86
华南花岗岩类	70.05	0.28	13.72	0.98	1.96	0.08	0.66	1.58	3.22	4.54	0.12	7.76

不同时代侵入体中若干元素氧化物含量（%） 表3

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
加里东—海西期	69.67	0.38	13.55	0.27	3.48	0.11	1.41	3.27	2.69	3.69	0.11
燕山早期（印支期）	66.08	0.47	15.37	1.49	2.68	0.07	1.65	3.55	2.78	3.96	0.18
燕山晚期	75.17	0.11	1.28	1.63	1.07	0.06	0.26	0.75	2.86	5.01	0.04

燕山早、晚期的花岗岩类，是有明显差异的，前者富FeO，后者富K_2O。不同时代微量元素的富集特点也不同：加里东—海西期岩体，以Cr、Co、V、Ni、Ti丰度高为特征。燕山早期岩体以Cu、S丰度高为特征，燕山晚期岩体则以Mo、Pb、W、As、F、Li、Nb、Sn高为特征。随着时代演化，岩体从老到新，Mo、Zn、Ag、Bi、Sn有递增趋势，而Ni、Co、V、Ti、Cl有递减趋势（附表从略—编者）。用岩体数据作对应分析，以F_1和F_3因子所做平面点聚图（图14）中，可以看出不同时代的岩体在因子空间上具有的明显分异趋势和与其对应的元素组合。加里东—海西期的岩体分布于图的左下侧，以MnO、Cr组合为表征。燕山期岩体大致以虚线为界分为二群，即燕山早期的岩体位于图之下方，所对应的元素组合，以TiO_2、CaO、Fe_2O_3、FeO、P_2O_5、Cu、S表征；燕山晚期的岩体位于图之上方，所对应的元素组合以SiO_2、K_2O、Mo、Pb、W、As、Li、Ag为表征，这与不同时代岩体元素的丰度是一致的。就燕山期讲，图中也反映了时间上的分异：下为燕山一、二期，中为三期，上为四、五期的岩体。我们用TiO_2、Fe_2O_3、MgO、CaO元素组合作点群分析（图15），可依时代把岩体按新、老分成二群。第一群为加里东—燕山早期岩体，第二群为燕山晚期酸性岩体。第一群又可分为两个亚群，即一亚群为加里东—海西期的，另一亚群为燕山早期的岩体。

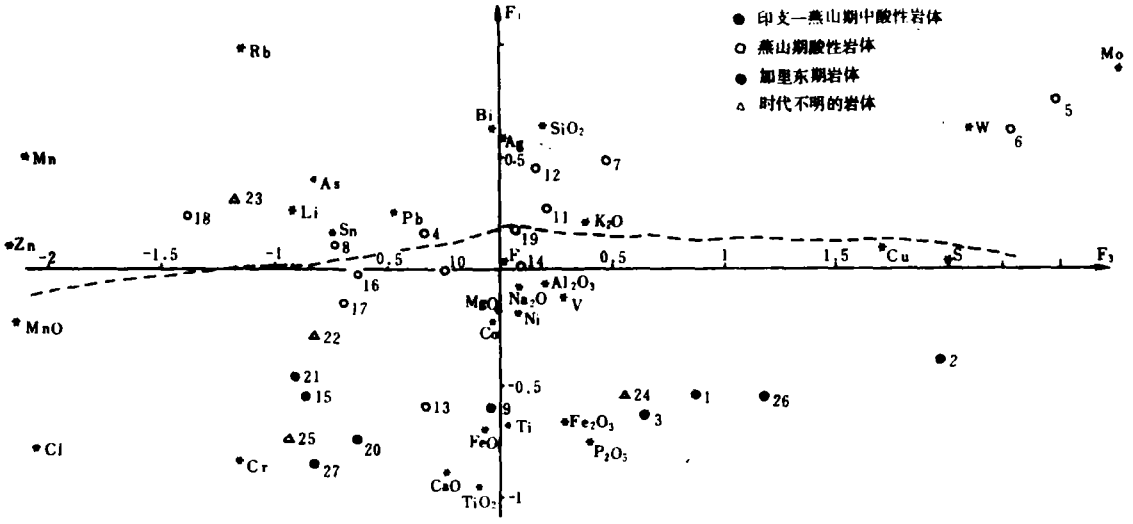

图14 广东西部岩体对应分析平面点聚图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

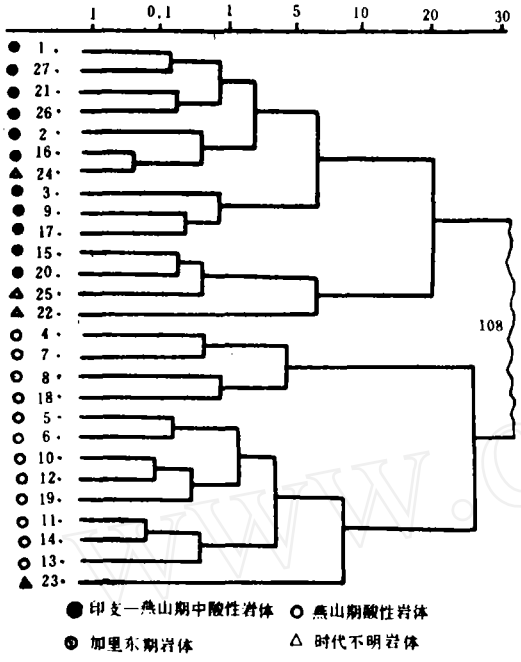

图15 岩体的TiO_2、Fe_2O_3、MgO、CaO点群分析谱系图

据点群分析、对应分析结果，对几个时代不明的岩体，依其元素特征及因子空间的位置，可以认为25号岩体的时代与加里东—海西期岩体相近，24号岩体与燕山早期岩体相近，23号岩体与燕山晚期的岩体相近。

（二）不同岩性岩类元素的分布特征

本区花岗岩类按SiO_2含量可分为两类：一类为中酸性岩，SiO_2含量为60～68%，一类为酸性岩，SiO_2含量大于68%。本区中酸性岩与酸性岩中微量元素平均含量的差异是：中酸性岩中Cu、Ni、Co、V、Ti、Mn、Cr、Cl、S含量高于酸性岩中的含量；酸性岩中Mo、Pb、Zn、W、Bi、As、F、Li、Nb、Sn含量则高于中酸性岩中的含量（附表从略—编者）。

因为本地区岩体燕山早期多为中酸性岩，燕山晚期和加里东—海西期多为酸性岩，可以看出时代对于岩性有着明显的控制，因而不同岩性与不同时代的元素分布特征基本上是吻合的。通过点群分析和对应分析还可看出，不同时代的各种岩性所具有的特殊性。从点群分析来看（图15），燕山晚期酸性岩体分为一群，燕山早期中酸性岩和加里东—海西期酸性岩也各分为一群，但加里东—海西期的酸性岩没有首先和燕山晚期的酸性岩相连，而是连于燕山早期的中酸性岩。这是因为燕山中酸性岩较燕山晚期的酸性岩富含铁族元素，加里东—海西期的酸性岩也富含铁族元素的结果。对应分析（图14）也反映出这种特点，尽管加里东—海西期的岩体多属酸性，但在因子空间上却远离燕山晚期酸性岩所组成的点聚，其一套元素组合也与燕山早期更相似。但又由于加里东—海西期与燕山早期的岩性不同，因而也存在差异，在因子空间上也有所反映。

（三）矿化类型的区分

本地区已知成矿类型有夕卡岩型铜钼（铅锌）矿（1、2、3号岩体），斑岩型钼（锡、铜）矿（4、5、6号岩体），以及热液型钨（锡）矿（7、8号岩体）。通过用Cu、Mo、W、Bi、Co、V、Ti、Cr、Sn元素组合作点群分析（图16）可以清楚地看到，不同的矿化类型各居一

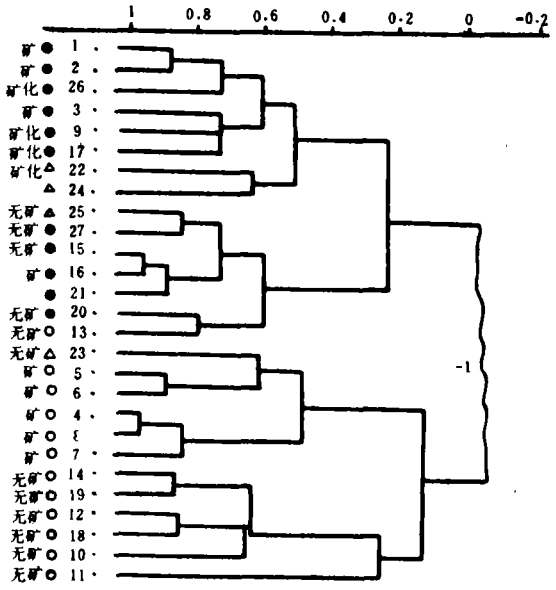

图16 岩体Cu、Mo、W、Bi、Co、V、Ti、Sn、Cr点群分析谱系图

群。从对应分析平面图（图14）也可以看到不同矿化类型的岩体的分群趋势，Cu元素靠近1、2、3

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

号岩体，5、6号岩体以Mo、W元素为表征，7、8号岩体相对应于W、Sn元素组合。4号岩体虽为斑岩型，但因后期热液叠加，样品多采于脉状矿化，所以具有热液矿化的特点，在对应分析平面点聚图上更靠近7、8号岩体，点群分析也同7、8号岩体分为一群，而且还把5、6号与7、8号岩体分开。据图16可将27个岩体按矿化类型及矿化程度进行分群，分类结果比对应分析更明显。我们以夕卡岩铜钼矿化类型的1、2、3号岩体为一类，斑岩钼（锡、铜）矿化类型4、5号岩体为一类，以热液钨（锡）矿化类型7、8号岩体为一类作模型进行三类逐步判别，取F值为2.5，所选变量为W、Cr、Nb、Al_2O_3、MgO五个元素，对已知样品的判别结果归类正确率达100%，对其作为19个待判的岩体的归类，则可以发现与点群分析的分群结果相一致。

通过这次研究，我们体会到：对应分析，确有相当的综合能力。由于它对样品和变量同时进行考虑，故能提供整个系统的完整面貌。这对区域化探工作中岩体和地层资料的处理，研究元素在地层和岩体中的分布，找出不同时代和不同岩性元素分布的差异，以及区分各地质单元的元素组合特征，判别未知地质体的归属等，都是有用的。以对应分析配合点群分析、判别分析等多元统计分析方法来进行综合研究，则是一种行之有效的工作途径。

冰川冰地球化学测量

青海省地球化学探矿队　杨先仁　李耀坤

一、问题的提出

我们在青海南部高寒山区进行区域化探异常追踪评价过程中，发现不少化探异常与冰川在空间位置上都有着密切的关系。有的异常（特别是与斑岩铜矿有关的异常），由于其规模较大，往往有一部分被冰川覆盖。如纳日贡玛，它是三江成矿带东北端一个大型斑岩铜钼矿床。从该区冰碛测量结果表明，Cu、Mo异常有部分被现代冰川所覆盖，反映了冰斗南侧仍有Cu、Mo矿化体存在，但已接近边缘。外围元素Pb、Zn、Ag、Mn等已在冰川北部出现。类似的情况还有陆日格、众根涌。有的甚至异常主要部分亦被冰川覆盖，如君乃涌Ⅰ号异常带就是。该异常带是由十多个元素组成的多元素异常；从综合异常图（图件均从略—编者）可见，Cu、Mo、Sn及其他元素异常等值线都在北部向冰川开着口（未封闭），而且愈近冰川，异常强度愈高，高温成矿元素异常仅在冰川边缘出现。这些现象，早已引起广大地质工作者的注意，并在这一带进行了多年的冰川地球化学研究。问题的关键是：被冰川覆盖的异常源，能否被发现和圈定出来。我们进行了多方面的探索和试验，发现可以利用冰川冰作为一种采样介质，并首次提出了冰川冰地球化学测量。

把雪作为采样介质用于地球化学探矿，七十年代初，已有加拿大人作过研究；I. R. Tonasson和R. J. Allan指出，雪可以作为温带和永冻土区水化学找矿的一种采样介质。Tonasson公布了在加拿大西北Mackenzie地区雪层中微迹金属作为银——砷脉状矿化指示的研究结果。七十年代后期，青海省地质局第四地质队对冰川与砂矿成矿关系作过研究，总结了黄河源地区冰川砂矿的成矿控制条件和成矿规律。七十年代末，中国地质科学院物探所在青海南部高寒山区表生作用地球化学特征的初步研究中，指出该区河水、泉水、雪、冰等四种水体的化学组成及其在时间和空间上的变化，在很大程度上反映了地质背景、表生条件、补给来源的差异；认为固态水体虽然不如液态水体反应灵敏，但是从“矿区雪”比“无矿地区雪”矿化度高，而冰川冰又比雪更高这一点，就足以使人产生兴趣，使我们有可能利用冰雪的化学组成来判断积雪和冰川覆盖下成矿的可能性。中国科学院兰州冰川冻土研究所对冰川冰中所含微量元素、成冰过程、冰川运动、冰川水文、冰川构造、积累消融特征等作了大量工

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net