

碳酸盐岩石成因类型的判别分析 和白云鄂博“白云岩”的成因讨论

刘铁庚

(中国科学院地球化学研究所)

提要 本文根据对世界上 20 多个国家和我国 21 个省碳酸盐岩石化学全分析数据的统计和换算结果,发现岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩之间常量元素的一般含量无显著不同,但采用两组或逐步判别分析的方法,仍能将岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩很好的区分开。判别效率可达 90%以上。将这一方法应用到白云鄂博矿区的“白云岩”和灰岩,90%以上的“白云岩”样品判为岩浆碳酸岩,灰岩的样品全部判为沉积碳酸盐岩,与它们的地质产状和地球化学特征一致。

主题词 岩浆碳酸岩 沉积碳酸盐岩 判别分析 判别效率 判别临界值

作者简介 刘铁庚 男 47 岁 助理研究员 内生矿床地球化学

岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩虽然都属碳酸盐岩石,但是由于它们形成的地球化学环境不同,而产生一系列差异(包括产出大地构造位置,地质产状,结构构造,矿物共生组合,微量元素和稳定同位素组成特征等),这些不同人们早已进行过大量研究。而它们在岩石化学方面的异同至今还很少有人研究。笔者对世界上 20 多个国家和地区,以及中国 21 个省碳酸盐岩石化学全分析数据的统计和计算结果来探讨这个问题。本文主要从判别分析的角度阐述岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩在岩石化学方面的区别,并讨论白云鄂博“白云岩”的成因。

笔者收集到 484 个沉积碳酸盐岩的化学全分析数据(代表 2300 多个样品的分析结果)。其中灰岩 299 个,白云岩 79 个,菱铁矿岩 106 个。这些数据遍布世界上六大洲的 20 多个国家和地区,以及我国 21 个省,代表前寒武纪到第三纪的各个地质时期的沉积碳酸盐岩。285 个岩浆碳酸岩化学全分析数据(代表 640 多个样品的分析结果)。其中黑云碳酸岩 184 个,白云碳酸岩 72 个,含铁碳酸岩 12 个,钠质碳酸岩 17 个。这些样品几乎代表全世界各个地区、各个地质时期的侵入碳酸岩和喷出碳酸熔岩。

本文将 CO_2 含量 $> 20\%$ (相当于碳酸盐含量 $> 45\%$) 的岩石全称为碳酸盐岩石。所用数据的 CO_2 含量都在 20% 以上。 $\text{MgO} > 10\%$ 的沉积碳酸盐岩称白云岩,岩浆碳酸岩为白云碳酸岩。 FeO 或 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$ 的沉积碳酸盐岩叫菱铁矿岩,岩浆碳酸岩是含铁碳酸岩。 $\text{Na}_2\text{O} > 10\%$ 的碳酸盐岩石是钠质碳酸岩,目前仅在岩浆碳酸岩中发现。其余的沉积碳酸盐岩为灰岩,岩浆碳酸岩称黑云碳酸岩。

一、岩浆碳酸岩的常量元素含量 与沉积碳酸盐岩无明显不同

统计结果表明:岩浆碳酸岩的造岩元素(Si、AL、Ca、Mg、K 和 Na)和铁族元素

(Fe、Mn、Ti) (通称常量元素) 的含量与沉积碳酸盐岩无显著不同 (图1)。这是指二者常量元素含量的变化范围和一般含量区间类似。例如, 黑云碳酸岩的 SiO_2 含量范围 0.1—41.89%, 一般含量区间是 0.1—15%; 灰岩分别为 0.05—42.64%, 0.1—20%; 白云碳酸岩和白云岩分别是 0.31—35.56 和 0.00—35.86%, 0.31—10% 和 0.00—5%; 菱铁矿岩和含铁碳酸岩分别为 0.16—38.58% 和 0.84—17.35%, 1.00—15.0% 和 0.84—5.0% 等。产生这种现象的主要原因是: 无论岩浆碳酸岩或是沉积碳酸盐岩都可以过渡到各种非碳酸盐岩石。

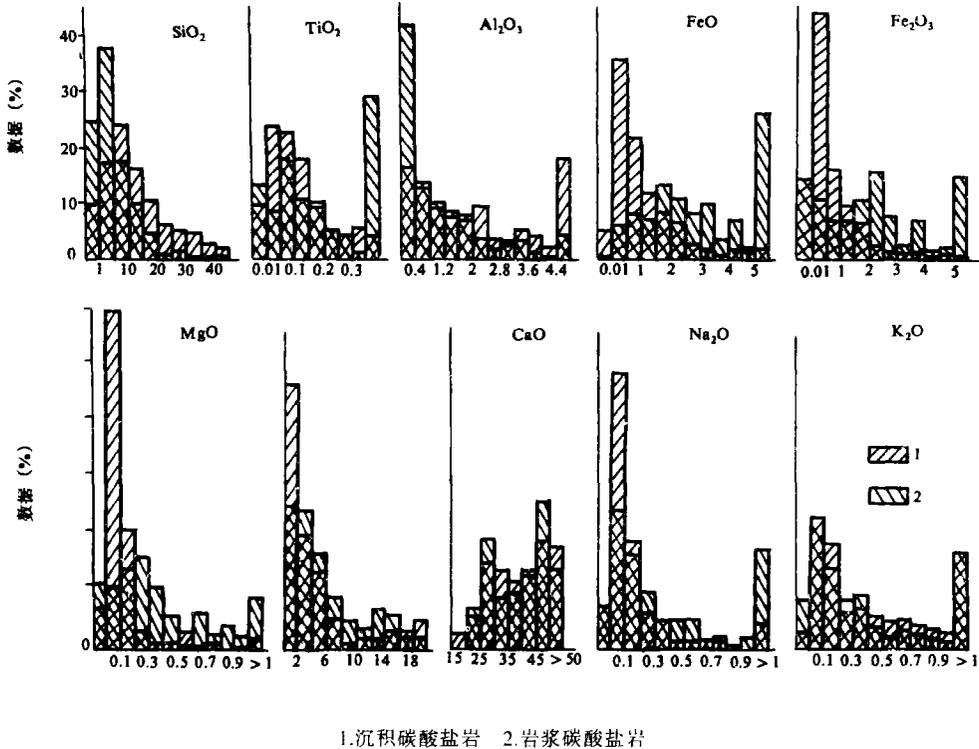


图1 碳酸盐岩不常量元素含量柱状图

Fig.1 The column of main elements of the carbonaterocks

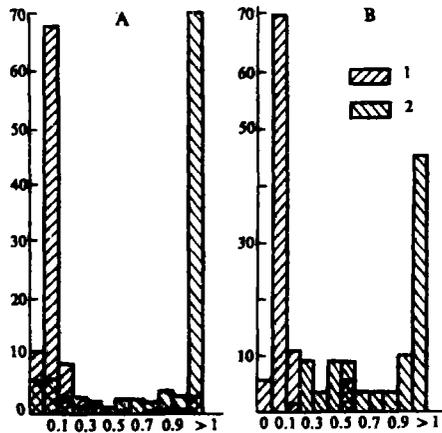
二、碳酸盐岩石成因类型的判别分析

此项研究工作是在唐春景助理研究员, 张槐友和李友明工程师的协助下完成的。分别进行了两组单项, 两组多项和逐步判别分析。

1、两组单项判别分析 由于岩浆碳酸岩与碱性超基性岩有一定的成因联系, 因而往往含丰富的磷。许多岩浆碳酸岩体成磷矿基地或具综合应用价值。岩浆碳酸岩平均含 2.48% 的 P_2O_5 。其中黑云碳酸岩含 2.78%, 白云碳酸岩含 1.98%, 含铁碳酸岩含 2.48%。由此可见, 岩浆碳酸岩的 P_2O_5 的一般含量 $>0.2\%$ 。在收集的 285 个岩浆碳酸岩化学全分析数据中, P_2O_5 含量 $>0.2\%$ 的数据占 86%。其中黑云碳酸岩占 90.7%, 白云碳酸岩 81%, 含铁碳酸岩和钠质碳酸岩的数据全 $>0.2\%$ (图2)。

沉积碳酸盐岩一般贫磷。它的 P_2O_5 含量 0.16% 只相当于岩浆碳酸岩的 6.3%，其中灰岩 ($P_2O_5=0.13\%$) 相当于黑云碳酸岩的 4.7%，白云岩 ($P_2O_5=0.17\%$) 相当于白云碳酸岩的 8.6%，菱铁矿岩 ($P_2O_5=0.2\%$) 相当于含铁碳酸岩的 8.1%。沉积碳酸盐岩 P_2O_5 的一般含量 $<0.2\%$ ， $<0.2\%$ 的数据占统计数据的 88% (图 2)。其中灰岩占 92%，白云岩占 87%，菱铁矿岩占 80%。

由上述可知，岩浆碳酸岩的 P_2O_5 含量与沉积碳酸盐岩显然不同，前者明显高于后者，可以作为鉴别碳酸盐岩石成因类型的重要标志之一。



1. 沉积碳酸盐岩 (白云鄂博地区为灰岩) 2. 岩浆碳酸盐岩 (白云鄂博地区为“白云岩”)

注: A—世界上 21 个国家的碳酸盐岩石; B—白云鄂博矿区的碳酸盐岩石。

图 2 碳酸盐岩 P_2O_5 含量柱状图

Fig.2 The column of P_2O_5 Content of the carbonate rock

2. 两组多项判别分析 采用 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 和 P_2O_5 等作变量进行判别分析。由于计算是在微型计算机上进行的。计算机容量有限，无法将收集的数据全部上机。除白云质碳酸盐岩石、铁质碳酸盐岩石的数据全部上机外，不同成因的钙质碳酸盐岩石各任取 100 个数据上机，进行运算。

将两组已知样品的数据输入已编好判别程序的计算机，通过计算便得到每项的判别系数和临界值 R_0 。根据求得的判别系数，建立判别方程。然后将要计算样品代入判别方程，便可算得该样品的 R 值。将求得的 R 值与临界值 R_0 比较，大于 R_0 的为的一组，小于 R_0 的为另一组。

依据上述原理，算得两组不同成因的钙质碳酸盐岩石的判别系数，并列出了它们的判别方程：

$$R = 0.214SiO_2 + 1.08Al_2O_3 + 0.24MgO + 0.24CaO + 0.265Na_2O - 2.74TiO_2 - 0.344Fe_2O_3 - 0.688FeO - 1.721MnO - 0.983K_2O - 0.979P_2O_5$$

将收集钙质碳酸盐岩石的数据代入该方程式, 分别求出各个样品的 R 值。其中灰岩的 R_1 值一般 $>$ 临界值 R_{Ca} (10.445), 平均值 $\overline{R_1} = 14.51$ 。在 100 个灰岩的数据中只有一个数据的 $R_1 < R_{Ca}$ 占 1%。该数据是我国西藏聂拉木地层剖面中二迭纪灰岩一个样品的分析结果。它的 $R_1 = 8.481$, 接近 R_{Ca} 。求得黑云碳酸岩的 R_2 一般 $<$ 临界值 ($R_{Ca} = 10.445$), 平均 $\overline{R_2} = 6.377$ 。其中有 12 个数据的 $R_2 > R_{Ca}$, 但接近 R_{Ca} , 占 12%。在这 12 个数据中至少 9 个数据是脉状碳酸岩的分析结果。如我国山东微山湖和新疆瓦尔塔格脉状碳酸岩。加拿大奥开 (OK) 脉状黑云母霞石方解石碳酸岩⁽¹²⁾, 苏联的科夫多雷斯基黑云母辉石方解石脉状碳酸岩⁽¹³⁾。其余 3 个数据的黑云碳酸岩产状不清楚。

钙质碳酸盐岩石的判别效率达 93.5%。为了检验判别结果是否有效, 需要计算马氏距离 D^2 和多元平均值 F 。

$$D^2 = \Delta \overline{A} \lambda_A \Delta \overline{B} \lambda_B \cdots \cdots \Delta \overline{K} \lambda_K$$

$\Delta \overline{A}$, $\Delta \overline{B} \cdots \cdots \Delta \overline{K}$ 是各项变量的平均值之差; λ_A , $\lambda_B \cdots \cdots$ 是各项变量系数。

$$F = \frac{n_1 n_2 (n_1 - 1) (n_2 - 1) \cdots (K - 1)}{(n_1 - 1) (n_2 - 1) \cdots (K - 1)} D^2$$

n_1 , n_2 是各组的样品数; K 是变量数。

查 F 表得到 F 值小于计算出的 F 值, 说明判别结果有效, 否则无效。根据上两式算出钙质碳酸盐岩石的 $D^2 = 8.14$, $F = 35.119$ 。查 F 表得 $F_{0.01} = 1.62$, 远小于计算出的 F 值说明判别结果完全有效, 可信度达 99%。总之, 用两组多项判别分析完全可以区分灰岩与黑云碳酸岩, 前者的 R_1 大于临界值 R_{Ca} 后者的 R_2 小于临界值 R_{Ca} 。

算出白云质碳酸盐岩石的判别系数, 建立判别方程式:

$$R = 0.1277SiO_2 - 1.003TiO_2 + 1.534Al_2O_3 + 3.2485Fe_2O_3 - 0.2876FeO - 0.5948MnO \\ + 0.2662MgO + 0.152CaO - 1.8887Na_2O - 2.0615K_2O - 0.9736P_2O_5$$

算得白云岩的 R_1 大于判别临界值 $R_{Mg} = 7.848$, 平均 $\overline{R_1} = 10.615$ 。仅有 5 个数据的 $R_1 < R_{Mg}$, 但偏离 R_{Mg} 一般不超过 2。 $< R_{Mg}$ 的 5 个数据中, 4 个数据的岩石遭受后期热液的强烈改造, 原岩化学组成受到破坏。如我国海南岛石录铁矿底板热液改造的含铜钴白云岩。它们的 R_1 值分别是 7.563 和 6.979, 6.962 和 6.618。另一 $< R_{Mg}$ 的数据是藻类群体白云岩的分析结果。它的 $R_1 = 5.146$ 。白云岩碳酸岩的 R_2 往往小于临界值 R_{Mg} , 平均 $\overline{R_2} = 4.812$ 。在 72 个数据中仅有 9 个数据的 $R > R_{Mg}$, 占 12.5%。在这 9 个数据中 4 个数据是含石英白云石碳酸岩的分析结果。如苏联的古卢斯基和印度的涅瓦亚含石英白云石碳酸岩⁽¹⁴⁾; 3 个是非洲东部白云碳酸的平均值、最大值及最小值⁽³⁾; 2 个是西欧脉状碳酸岩的分析结果。判别效率 88.8%。求得 $D^2 = 5.803$, $F = 18.54$ 。查 F 表得 $F_{0.01} = 1.63$, 比计算 F 值小得多, 说明判别结果完全有效。总之, 白云岩的 R_1 值大于临界值, 白云碳酸岩的 R_2 值一般小于临界值。不同成因铁质碳酸盐岩石的判别方程式是

$$R = -4.4546\text{SiO}_2 - 5.8958\text{TiO}_2 + 5.2226\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.2656\text{Fe}_2\text{O}_3 - 5.0612\text{FeO} - 1.5772\text{MnO} \\ - 0.6998\text{MgO} - 0.4759\text{CaO} + 1.6996\text{Na}_2\text{O} - 0.6554\text{K}_2\text{O} - 2.5619\text{P}_2\text{O}_5$$

由此式求得铁质碳酸盐岩石的判别临界值 $R_{\text{Fe}} = -14.822$ 。菱铁矿岩的 R_1 值通常 $> R_{\text{Fe}}$ 平均 $\overline{R_1} = -12.622$ 。只有 11 个数据的 $R_1 < R_{\text{Fe}}$ ，占统计数据的 10%。这 11 个数据主要是太古代、元古代和花岗岩外接触带菱铁矿岩的分析结果。反映这些岩石可能发生变质或热液迭加，产生物质的带进或带出。其余的 $R_1 > R_{\text{Fe}}$ 。含铁碳酸岩收集 12 个化学全分析数据。算出它们的 R_2 值全 $< R_{\text{Fe}}$ 平均 $\overline{R_2} = -34.801$ 。总之，通过判别分析计算能够很好的区分菱铁矿岩与含铁碳酸岩，菱铁矿的 $R_1 > R_{\text{Fe}}$ ，含铁碳酸岩的 $R_2 < R_{\text{Fe}}$ ，判别效率达 90.7%。示出 $D^2 = 22.2$ ， $F = 19.96$ 。查 F 表得 $F_{0.01} = 1.66$ ，远小于计算出的 F 值，说明判别结果有效，可信度 99%。

以上判别分析结果表明：应用两组多项判别分析方法能够很好地 别沉积碳酸盐与岩浆碳酸岩，前者 R 值一般大于临界值，后者小于临界值。判别效率在 90% 以上。可信度达 99%。

3、逐步判别分析 上述两组单项或两组多项判别分析结果都非常好，但是为了达到判别效果最好，变量尽可能少，便于应用的目的，又进行了逐步判别分析计算。结果如下：

表 1 不同成因类型碳酸盐岩石的逐步判别分析系数
Table 1 The distinguished coefficient of genetic type of the carbonate rock

类型	算次	组	SiO ₂	TiO ₂	AlO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	常数项	
钙质碳酸盐岩石	一	1			0.0518						0.0442		0.0525	-0.0967	
		2			-0.1105						3.4204		2.2911	-4.2911	
	二	1			0.0437			1.3639			0.1072		-0.0065	-0.1245	
		2			-0.1482			6.3538			3.7139		2.0161	-4.8935	
	三	1			-0.3153	7.2542		14.154		3.8314	5.9494	34.571	0.1789	-98.445	
		2			-0.5612	8.3840		19.821		4.2795	10.152	38.745	2.1443	-127.833	
	四	1	0.8767			-0.1254		-0.7575		1.0587				-0.4927	-27.805
		2	0.6561			0.3766		1.5832		0.8804				0.0482	-20.674
	五	1	1.1879			0.2102	-0.7959		-0.6686	1.7955	1.4608			-0.9672	-40.648
		2	0.9209			0.1133	-0.1175		1.673	1.5169	1.2128			-0.3644	-29.555
白云碳酸盐岩石	一	1			0.4939	0.0808	0.0768						-0.0176	-0.5249	
		2			-0.4782	0.7816	1.1869						1.1979	-5.0871	
	二	1	2.1245	-29.292	16.222	1.9026	2.0714		5.009	3.7466			-31.252	-3.3809	-116.262
		2	1.8110	-24.915	12.514	2.4336	2.9738		4.8606	3.2066			-25.244	-1.6563	-93.707
铁质碳酸盐岩石	一	1	-0.4989		6.4612	0.3576			1.0597	0.4056			-0.2966	-7.9832	
		2	-1.7216		11.993	0.9043			2.6687	1.8289			1.6193	-45.591	
	二	1							0.4886	1.2325			0.3277	-1.6759	
		2							1.2917				2.5906	-22.923	

注：钙质碳酸盐岩石的一、二、三算次为第一回计算，四、五为第二回计算

不同成因类型钙质碳酸盐岩石的逐步判别分析计算分两回进行。第一回运算,灰岩和白云碳酸岩各任选45个数据进行计算,求得判别系数列在表1中,判别结果见表2。第二回运算,灰岩仍采用第一回运算时的45个数据,白云碳酸岩另任新取45个数据进行计算,算出新的判别系数也列入表1中,判别结果见表2。从表2知道:(1)两次判别结果都较好,尤其灰岩的判别效率更高。总的判别效率为90%,其中灰岩的判别效率几乎是100%。在5次判别计算中,以采用 P_2O_5 、 MnO 、 CaO 、 SiO_2 和 Fe_2O_3 等5个变量的判别效果最差,但也达88.9%。以采用 P_2O_5 、 Na_2O 、 Al_2O_3 、 MnO 、 CaO 、 R_2O 和 Fe_2O_3 等七个变量的判别效果最好,达94.5%;(2)在两回判别计算中虽说所用变量不同,但灰岩的判别效率没明显的变化,说明灰岩的化学组成比较稳定。而白云碳酸岩因参加计算的数据不同,而引起计算变量的变化,说明白云碳酸岩化学组成不稳定。它的判别效果的较明显变化,也说明白云碳酸岩化学成分变化大。

表2 不同成因类型碳酸盐岩石的逐步判别分析结果

Table 2 The distinguishing analytic result of the genetic type of carbonate rocks

岩石类型	计算次数	选入变量	已知				白云鄂博				
			判别率(%)	沉积碳酸岩		岩浆碳酸岩		灰岩		“白云岩”	
				数据数	判错次数	数据数	判错次数	A	B	A	B
钙质碳酸盐岩石	1	P_2O_5, Na_2O, Al_2O_3	90	45	0	45	9				
	2	$P_2O_5, Na_2O, Al_2O_3, MnO$	93.4	45	0	45	6	17	0	1	7
	3	$P_2O_5, Na_2O, MnO, CaO, K_2O, Fe_2O_3$	94.5	45	0	45	5	17	0	1	7
	4	$P_2O_5, MnO, CaO, SiO_2, Fe_2O_3$	88.9	45	1	45	9	17	0	1	7
	5	$P_2O_5, MnO, CaO, SiO_2, Fe_2O_3, MgO, Al_3$	93.4	45	0	45	6	17	0	0	8
(一)	1	$FeO, Fe_2O_3, Al_2O_3, P_2O_5$	95.6	45	0	45	4			4	33
	2	$FeO, Fe_2O_3, Al_2O_3, P_2O_5, CaO, K_2O, SiO_2, MgO, TiO_2$	95.6	45	1	45	3			3	6
(二)	1	CaO, P_2O_5, MnO	96.2	40	1	12	1			5	6
	2	$CaO, P_2O_5, MnO, SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3$	98.1	40	1	12	0			1	10

注:(一)白云质碳酸盐岩石;(二)铁质碳酸盐岩石。A:判为沉积碳酸盐岩;B:判为岩浆碳酸盐岩

求得不同成因类型白云质碳酸盐岩石的判别系数写入表1,判别结果见表2。从表2可知,无论采用4个变量计算,或是采用9个变量计算,判别结果都很好,同为95.6%。这样采 FeO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 等四个变量计算比较合适,因为变量少,计算简便,施用方便。白云岩与白云碳酸岩相比,白云岩的判对率最高,达97.8%—100%,白云碳酸岩稍差,为91.2—93.4%。

不同成因类型铁质碳酸盐岩石的判别效果非常好,两次判别效率分别是96.2%和98.1%(表2),其中以采用 CaO 、 P_2O_5 、 MnO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 等六个变量的判别效

率最佳, 达 98.1%。菱铁矿岩与含铁碳酸岩相比, 二者的判别效率基本相等, 但菱铁矿岩的判别效果比较稳定, 含铁碳酸岩的变化大。反映前者化学成分稳定, 后者不稳定。含铁碳酸盐岩石的判别系数见表 1。

总之, 采用 P_2O_5 或几种乃至 11 种常量元素氧化物作变量进行判别分析, 都能够很好地区分岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩, 判别效率一般 $> 90\%$ 。其中沉积碳酸盐岩的判别效率 $> 90\%$ 。一般近似为 100%, 岩浆碳酸岩 $> 85\%$ 。反映沉积碳酸盐岩化学组成稳定, 岩浆碳酸岩相对变化较大。

为了确定采用那种判别方式, 应用多少个变量判别效果最好, 必须在相同的条件下才好比较。因此, 无论两组单项或两组多项判别分析都以逐步判别分析所用数据为准进行对比。不同类型的钙质碳酸盐岩石采用两组 11 个变量的判别效果最佳。白云质碳酸盐岩石采用 FeO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 和 P_2O_5 等四个变量进行判别分析计算比较。合适。铁质碳酸盐岩石采用 CaO , P_2O_5 , MnO , SiO_2 , Fe_2O_3 和 Al_2O_3 作变量进行判别分析计算是最佳的选择。因为选择上述三种判别式, 达到判别效果最好, 选择变量尽可能少, 应用方便的目的。

不管采用两组单项、两组多项或逐步判别分析, 判错样品大致相同。也就是说, 在这次判别计算中判错的样品, 在选用不同变量的另一次计算中也基本判错, 只是判错样品的多少不同。这不仅进一步证明判别结果可靠, 而且也便于研究判错原因。沉积碳酸盐岩样品被判错的主要原因是: 岩石遭受后期热液改造, 化学成分发生变化。另一个原因是生物群体碳酸盐岩或泻湖相碳酸盐岩。它们的化学组成与海相碳酸盐不同。岩浆碳酸岩样品被判错的主要原因是受到围岩物质的混染, 如脉状碳酸岩和岩体边部的样品。但是这些判错样品的 R 值都接近判别临界值, 偏离临界值一般不超过 2。

三、白云鄂博“白云岩”的判别分析

白云鄂博“白云岩”产有举世闻名的铌、稀土矿床, 也是我国重要的钢铁基地, 所以许多地质工作者进行大量研究。对“白云岩”的成因提出完全不同的看法。主要有沉积说^{(4) (5)}, 岩浆说^{(6) (7) (8)}

白云鄂博“白云岩”是由数个小岩体构成的近 EW 向的碳酸岩带。与围岩呈侵入接触, 尤其是侵入到海西期花岗岩中, 有明显的接触交代变质现象。有一套典型的岩浆碳酸岩矿物和微量元素组合。稳定同位素组成 ($\delta^{34}S = -4 \sim -4\%$, $^{86}Sr / ^{87}Sr = 0.702 \sim 0.706\%$, $\delta^{18}O = 6 \sim 14\%$, $\delta^{13}C = -6.4 \sim -0.4\%$) 特征也反映“白云岩”的物质主要来自上地幔。

按照前面规定的碳酸盐岩石分类原则, 同时兼顾原名, 将白云鄂博“白云岩”分为“白云岩”, 富钙“白云岩”(相当钙质碳酸盐岩石), 富铁“白云岩”(相当铁质碳酸盐岩石)。收集到“白云岩”的化学全分析数据 37 个, 富钙“白云岩”的 8 个, 富铁“白云岩”的 11 个。还收集矿区灰岩的化学全分析数据 17 个。将这些数据代入前面相应的判别式, 计算结果如下:

白云鄂博“白云岩”富磷, 其中“白云岩”的 P_2O_5 含量 0.87, 富钙白云岩 2.28% 富铁白云岩 0.69%。在 56 个数据中只有 1 个数据的 P_2O_5 含量 $< 0.2\%$, 占 1.8%。灰岩贫磷, 平均含

* 相凤筠, 1980, 白云鄂博稀土—稀有铁矿硫同位素地质的初步研究, 白云鄂博地质科研学术讨论会资料汇编(下), 65 页

** 魏明秀, 1982, “白云鄂博铁矿的碳酸矿物与矿床成因探讨”报告

P_2O_5 为 0.09%。由此可见灰岩的 P_2O_5 含量一般 $< 0.2\%$ 。 $P_2O_5 < 0.2\%$ 的数据占收集数据的 93.8%。“白云岩”的 P_2O_5 含量与岩浆碳酸岩相似，灰岩与沉积岩相近（图 2）。

利用钙质碳酸盐岩石的两组多项判别式求得富钙“白云岩”的 R 值是 $-4.941-11.209$ ，其中 87.5% 的 R 值小于钙质碳酸盐岩石的判别临界值 $R_{Ca} = 10.445$ （前面已求出）。只有一个样品的 $R = 11.209$ 略大于 R_0 ，可能受围岩混染所致。所以富钙“白云岩”判为黑云碳酸岩。算得矿区灰岩的 $R = 11.153-22.598$ ，全部 $> R_0$ ，判为灰岩。

根据白云质碳酸盐岩的两组多项判别式算出白云鄂博矿区“白云岩”的 $R = -4.276-9.282$ 。其中 33 个数据的 R 值小于白云质碳酸盐岩的判别临界值 $R_{Mg} = 7.848$ ，占 89.1%，被判为白云碳酸岩。错判的 4 个数据的 R 值分别是 8.145、8.917、9.086 和 9.282，稍大于 R_{Mg} ，可能为围岩混染所造成。利用铁质碳酸盐岩石的判别式算出矿区富铁“白云岩”的 $R = -34.273-26.188$ ，全部小于铁质碳酸盐岩石的判别临界值 $R_{Mg} = -14.822$ ，全判为含铁碳酸岩。

利用逐步判别分析式，对矿区“白云岩”和灰岩进行判别分析计算，判别结果见表 2。由表 2 可知：37 个“白云岩”的分析数据被判为白云碳酸岩的高达 91.9%；富铁“白云岩”的 12 个数据被判为含铁白云碳酸岩的可达 90.9%；富钙“白云岩”的 8 个数据判为黑云碳酸岩的占 88.9%。而矿区灰岩的 17 个数据全判为沉积碳酸盐岩。

通过上述对白云鄂博矿区碳酸盐岩石的判别分析进一步证明该区“白云岩”为岩浆碳酸岩，与矿区灰岩完全不同，也不会是灰岩受热液迭加改造的产物。因为：（1）虽说热液改造可使沉积碳酸盐岩判为岩浆碳酸岩的机率大大增加。但是至少还有 50% 的样品仍判为沉积碳酸盐岩，而且判为岩浆碳酸岩的沉积碳酸盐岩样品的 R 值比相应碳酸盐岩石的判别临界值略小，一般不小于 2。而该区“白云岩”样品的 90%，甚至 100% 判为岩浆碳酸岩，它们的多数 R 值远小于临界值；（2）白云岩”若为灰岩的热液改造产物，那么“白云岩”中的富钙“白云岩”则为没改造或弱改造的灰岩，它们的 R 值应该全部或大部分大于相应岩石的临界值。实际情况相反，90% 的 R 值小于临界值；（3）持沉积观点的同志认为西矿附近的“白云岩”基本保持沉积碳酸盐岩的特征，但是判别结果相反，全部判为岩浆碳酸岩。判错的“白云岩”样品主要有 4 个。一个为五台群中的脉状碳酸岩，三个为主东矿附近白云岩的边部样品。

王中刚研究员，吴学益、李朝阳、杨柏林、董振生和高计元等同志为该文提供大量还未发表的数据，在此表示衷心感谢！

收稿日期 1988 年 1 月 9 日

参 考 文 献

- (1) 涂光炽等，1983，中国层控矿床地球化学，第一卷，70—247页，科学出版社。
- (2) 菱铁矿矿床学术会议论文集，1983，72—213页，科学出版社；
- (3) 金兹堡 A·N.，1965，稀有元素矿产地质，第一辑，稀有金属碳酸岩，地质出版社；
- (4) 孟庆润，1982，论白云鄂博铁矿含围岩—白云岩的沉积成因及其深积环境分析，地质论评，第5期，481—488页
- (5) 姜传武等，1982，论白云鄂博矿床同位素地质研究，中国科学院地质研究所地质研究成果选编。

第一集, 文物出版社;

- (6) 李士勤, 1983, 再论内蒙古白云鄂博含稀有金属碳酸岩及其铀、稀土、铁矿床成因, 中国北方板块构造文集, 第一集, 155—184 页;
- (7) 刘铁庚, 1985, 白云鄂博白云碳酸岩地质和地球化学特征, 第3期, 16—18页
- (8) 白 鸽, 袁忠信, 1985, 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 碳酸岩地质及其矿产专辑, 地质出版社
- (9) 周振玲等, 1980, 内蒙古白云鄂博白云碳酸岩的地质特征及其成因探讨, 地质论评, 第1期, 135 页;
- (10) 刘铁庚1986, 再论白云鄂博白云岩的成因, 地质与勘探, 第8期, 35—40页;
- (11) 刘铁庚, 1986, 白云鄂博白云岩的氧、碳同位素特征及其成因讨论, 地质论评, 第2期, 150—159;
- (12) Chillingier G.V., 1967, Carbonate rocks (9B), Lodon, New York, Sydney;
- (13) Tuttle O.F. and Gittins J. 1966, Carbonatite, p.42—240, London, New York, Sydney;

DISCRIMINANT ANALYSIS OF GENETIC TYPE OF CARBONATE ROCK AND DISCUSSION ON GENETIC DOLOMITITE IN BAI YINOBO REGION

Liu Tiegen

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

Abstract

The writer collected 769 data on bulk analysis of carbonate rock and carbonatite from more than 20 country in the world and 21 provinces of china. Results of statistics and calculation indicated that content ranges of main elements between sedimentary carbonate rock and carbonatite are similar.

The carbonatite can be distinguished from sedimentary carbonate rock by discriminant analysis. The carbonatite is P_2O_5 -rich and usually content of P_2O_5 is more than 0.2%. The number of data, $P_2O_5 > 0.2\%$, is 86% of all carbonatite data. But sedimentary carbonate rock is P_2O_5 -poor. The number of data, $P_2O_5 > 0.2\%$ only makes up 12% in all this rock's data. Therefore, content of P_2O_5 is one important standard for discriminating genetic type of carbonate rock. When eleven variables are adopted in two set discriminant analysis discriminating efficiency of various genetic type of calcareous carbonate rocks, dolomite carbonate rocks and ferruginous carbonate rock is 93.5%, 90.7% and 89.8% separately.

When P_2O_5 , Na_2O , Al_2O_3 , MnO , CaO , K_2O and Fe_2O_3 are used as discriminant variables in discriminant analysis of step by step, discriminating effect of calcareous carbonate rock is the best and discriminating efficiency is 94.5%. While FeO , Fe_2O_3 ,

Al_2O_3 , and P_2O_5 are adopted in discriminant analysis for dolomitic carbonate rock, process of calculation is more simple and discriminanting efficiency reached 96%. Using CaO , P_2O_5 , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3 for discriminant analysis of ferruginous carbonate rocks, discriminanting efficiency comes up 98.5%. Generally, discriminanting effect of sedimentary carbonate rocks (near 100%) is better than carbonatite (more than 85%), i.e. sedimentary carbonate rock generally isn't distinguished.

Results of discriminant analysis of limestone and dolomitite from Baiyinobo region indicate that 17 samples of limestone are all distinguished sedimentary carbonate rock, but 3 samples in 57 samples of dolomitite are distinguished sedimentary carbonate rock, making up 5.3% of collecting data, other samples are distinguished carbonatite. The conclusion is in accord with its geological occurrence, geochemical and isotopic composition characteristics.