

关于細碧岩—角斑岩問題*

宋叔和

(西北地质科学研究所)

I 引言

II 国外研究細碧岩角斑岩的几个阶段

- (一) 細碧岩角斑岩的命名和对其特征作初步解釋阶段(1827—1929)
- (二) 細碧岩角斑岩与一些矿床的关系研究阶段(1930—1951)
- (三) 細碧岩角斑岩建造作为大地构造和成矿規律研究內容之一的研究阶段(1952—1963)

III 有关細碧岩角斑岩的一些重要問題

IV 結語

① 引言

除去一些外国地质工作者曾先后报导过庫魯克塔格(新疆)及祁連山等的細碧岩和角斑岩外(註1及2)旧中国时期我国地质界很少提及此类岩石。解放后因为突出的发展了普查勘探及大地构造学的研究,当探討优地槽岩浆活动特征及成矿規律时,地质工作者才开始引用細碧岩角斑岩这些地质名詞。

地质学家虽然时常提到細碧岩角斑岩,但对它的定义和特征,却各有各的看法,向來沒有統一的認識,既然各家对它的理解不一致,当引用它來說明某一地质問題时,最好先說明定义,才不致于造成誤解。

筆者于报导祁連山系中一黃鉄矿型銅矿时(3),曾簡略地提及細碧岩—石英角斑岩問題,因未进行过系統研究,当时并没有交代清楚細碧岩类的含义,引用的参考文献也只有 Turner 及 Verhoogen, 古达林及柯瓦列夫的两本著作(4,5)。祁連山地質誌(6)比較詳細地論述了祁連山的火山岩,同时对細碧岩也略作了說明。該志著者們引用的文献也不多,只有 В.А.Заварицкий 及 А.П.Заварицкий 的两篇(7,8)。

什么是細碧岩角斑岩呢?从上列的著作中是不能得出完滿的答案的。因此筆者就世界上已出版的数百篇論文中,收集更多的有关資料,并仿照查瓦里茨基及 CIPW 方法,制成图解,来比較說明細碧岩角斑岩的矿物成分及化学成分特点,根据这些資料,虽然尚不

能肯定地總結出这就是“世界标准細碧岩角斑岩”的特征，但总可以簡略地說明近百年来岩石学家們对細碧岩角斑岩的一般看法，也可以作为我們研究国内細碧岩角斑岩的参考。

II 国外研究細碧岩角斑岩的几个阶段

自提出細碧岩角斑岩名詞，百余年来，岩石学家們在很多山系中肯定了它們的存在，并且热烈地討論了它的特征和成因，但是也有少数人如 Johanssen (9) 持否定态度不采用这些名詞。按照時間和重点，筆者將国外研究細碧岩角斑岩的进程分为以下三个阶段：

(一) 細碧岩角斑岩的命名和对其特征作初步解釋的阶段？(1827—1929)。

細碧岩(spilite)一詞首先是法国 Brongniart 提出的(1819或1927)(10)。spilit^o可能来源于希腊字 Βηλλος，意为斑点或斑跡。Variolite (球狀玄武岩) 与其有相似的含义。Brongniart 称一些緻密，成分相当輝綠岩的次变綠色火山岩为細碧岩。1887年 Rosenbusch (11) 总结細碧岩常具下列特点：(1) 多具杏仁状构造，气孔充填物有綠泥石、方解石、偶見石英及阳起石。(2) 組成矿物主要为斜长石及輝石，其次为磁鉄矿及橄欖石。很明顯，最初命名細碧岩时，并不包括鈉长石化这一条件。

1898及1899年，Termier(A) 及 Clements 与 Smyth(B) 先后对細碧岩提供如下的数据：(A)

鈉长石	50%	SiO ₂ (+TiO ₂)	50.17%
正长石	3%	Al ₂ O ₃	21.01%
方解石	7%	FlgO	7.29%
高岑石	7%	MgO	7.69%
綠泥石	29%	CaO	9.30%
氧化鉄	4%	Na ₂ O	4.12%
		K ₂ O	0.34%
总計	100%	总計	99.92%

(B)	(CS ₁)%	(CS ₂)%		(CS ₁)	(CS ₂)		(CS ₁)	(CS ₂)
SiO ₂	46.47	47.20	a	8.7	13.2	Q	1.11	2.40
TiO ₂	1.28	3.30	c	2.9	4.3	Or	—	8.34
Al ₂ O ₃	16.28	15.36	b	31.2	22.3	ab	30.39	39.82
Fe ₂ O ₃	3.15	3.06	s	57.2	60.2	an	27.80	—
FeO	8.96	8.87	f'	38.5	54.0	C	—	6.12
MnO	0.09	0.20	m'	38	41	di	1.83	—
MgO	6.56	5.05	c'	23.5	5	hy	16.66	21.54
CaO	7.90	4.20	n	96.6	83	ol	7.84	—
Na ₂ O	3.64	4.72	t	2	4.9	il	2.43	6.23
K ₂ O	0.21	1.40				mt	4.64	4.41
P ₂ O ₅	0.13	0.36				ap	0.34	1.01
CO ₂	1.26	3.34				Cc	3.00	6.60
H ₂ O ⁺	3.89	3.04				Or: Ab: An		
H ₂ O ⁻	0.28	0.16				(CS ₁)	0: 52: 48	
总計	100.10	100.26				(CS ₂)	17: 83: 0	

Sargent(1917)将含一定数量钾长石及钠质斜长石的称为钾细碧岩(Potash Spilite)(12),因此细碧岩遂分为钠细碧岩及钾细碧岩两类。

角斑岩(Keratophyr)是 Gumbel 于1874年命名的。该岩石出露于Fichtelgerbig^e(13),它的特征是:(1)组成矿物主要为石英及正长石——斜长石,其次为磁铁矿,黑云母或蚀变角闪石。(2)结构呈緻密角岩状。(3)岩石可以是喷发岩或者是侵入岩。

Lossen(14)于1882年指出角斑岩的特征是富含钠质。长石为微纹长石,正长石及钠长石。总之成分相当正长斑岩或贫石英的斑岩。Teall 则强调角斑岩有百分数变化较大的 SiO_2 (50—70%),大量硷性长石(占长石总数的74—92%)。 Na_2O 及 K_2O 的含量变化亦大,即有的前者高,有的后者高 Gumbel 报导 Berg kuppe 角斑岩(G)的化学成分如下:

SiO_2 (+ TiO_2)	68.75%	a	14.6	Q	22.5
Al_2O_3	11.40	c	2.6	Or	25.02
Fe_2O_3	4.30	b	7.7	Ab	35.11
FeO	3.30	s	75.1	ns	2.44
MgO	1.46	f'	50.8	di	8.53
CaO	1.24	m'	31.4	mt	6.26
Na_2O	5.37	c'	17.8	Or : Ab : An	
K_2O	4.22	n	58	41 : 59 : 0	
H_2O	0.30				
总 计	100.34				

石英角斑岩(Quartz-Keratophyr)。Rosenbusch 于1887年指出它的特征是,(1)斑状;石英往往很緻密,(2)长石为钠长石及一些微纹长石或歪长石,(3)其他矿物有石英,或少量黑云母。

以上主要是1900年以前(及1917)地质学者们对细碧岩角斑岩的定义和特征的简单论述。1900年以后,许多地质工作者研究了这类岩石,并且提出了许多补充意见,使概念不十分清楚的细碧岩角斑岩,开始具有了比较完整的定义和成因解说。这时期(1900—1929)主要研究了以下五个问题:

(1)关于细碧岩角斑岩中钠长石的形成问题——Bailey 及 Grabham(15)指出钠长石化是含钙长石部分为钠长石所交代。交代作用形成于岩浆固结后不久。岩浆之残余液体对钠长石化起主导作用。此后 Thomas, Dewey 及 Flett 亦论述了钠长石化问题。Thomas 认为钠长石化是有选择性的,例如有的只集中于某一层岩流,其上下岩流则未钠长石化。这些看法影响了许多研究者,但也引起不少争论。

(2)关于岩石共生组合问题——Dewey 及 Flett(17)及 Sundius 着重指出细碧岩和角斑岩的共生关系,Thomas(16)及 Wells 则强调细碧岩角斑岩与正常火山岩的伴生。例如 Dewey 及 Flett 研究区包括的岩石种类就有:苦橄岩、钠辉绿岩、次闪辉绿岩、钠长角闪辉绿岩、石英辉绿岩、细碧岩、角斑岩、石英角斑岩、钠霏细岩及钠花岗岩侵入体。又例如 Skomer 的火山岩系,下部为流纹岩,上部则为角斑岩、粗面岩及橄辉钠长斑岩,再上则为橄辉粗面岩及玄武岩。Knopf 举了一些钠长闪长岩与石英闪长岩及闪长斑岩共生,角斑岩(或称钠流纹霏细岩)与安山岩及富钾质粗面岩等共生的例子。因此可知,地质学家们很早就提出,作为一个岩系或建造,细碧岩角斑岩一般均包括或夹有正常火山岩在内。另外,这一阶段的学者们也指出细碧岩角斑岩系常为钠花岗岩及基性和

超基性岩所侵入这一較普遍現象。

(3) 关于細碧岩角斑岩的地質环境問題——一般認為它們常与海相地层共生，因此說它是海底噴发产物。Dewey 及 Flett 还进一步企图說明噴发作用是发生于海底不断沉降中。实际上有例外，Knopf 曾指出 Nevada 第三紀角斑岩为陸相噴发。这阶段初步結論是：細碧岩角斑岩主要是海底噴发，但陆相或次陆相环境同样可以生成一些細碧岩角斑岩；相反某些或海底某一地段噴发也可以是正常火山岩。

(4) 关于細碧岩系 (Spilite Suite) 的特征和成因問題，概括的說有下列几点：(i) 富含鈉質长石并常見鈉长石化現象。鈉长石化为自变質作用，是由于富含水、碳酸盐及鈉質的气成热液交代而成。(ii) 有些岩石的 (特别是高硅質的) 鈉长石則为原生。(iii) 細碧岩角斑岩的噴发活动，在地質历史上有多个期噴发的特点，例如在英国的一些地区，从前寒武紀至石炭二迭紀，除去寒武紀二迭紀多为正常噴发岩外，其他时期均噴发有此类岩系。

关于成因，大体上有三种說法：(i) Wells 認為玄武岩与細碧岩的成分差異，很可能是原岩浆分異后成分不同所致。噴发时的物理条件不能决定火山岩的矿物成分特点。(ii) Eskola (18) 不贊成有单独的細碧岩漿。他認為鈉长石是富鈉質硅質殘余热液渗透并交代含鈣斜长石而成。(iii) Beskow (19) 以为細碧岩的特殊矿物成分是基因于噴发时岩浆岩受了含鈉海水的影响。至于角斑岩 Beskow 則認為是导源于硷性岩浆。Sargent 观察到細碧岩常位于玄武岩之下，有时还可以看到它們的变化关系，較晚噴发的玄武岩又往往很新鮮，因此他遂以为細碧岩在噴发前硷性成分已集中于頂部，噴发时鈉質揮发分起作用而形成細碧岩类，后噴发的岩浆因揮发分不再富于鈉質而仅形成玄武岩。

(5) 关于細碧岩角斑岩的物質成分研究——一般均認為此类岩石中的长石为鈉长石或奧长石，但还有其他长石如鉀长石等的存在。有些人如 Slavik 及 Backlund 甚至于認為此类岩石可以包含中长石。Beskow 利用 $Femca-Alk-SiO_2$ 图解，比較研究了一些区域的岩石化学特点。据此他得出細碧岩并不导源于单独岩浆的看法。限于当时的分析鑑定的水平低，关于細碧岩类物質成分研究的資料並不多。

(二) 細碧岩角斑岩与一些礦床的关系研究阶段 (1930—1951)

这一阶段，研究者提出了两个主要研究方向，一个是細碧岩角斑岩系与一些矿床的关系；一个是繼續探討它的特征和成因。

Geijer (20) 在研究瑞典 Kiruna 磁鉄矿床时，曾指出此矿床是淺成或次火山岩浆晚期矿床。这种次火山岩包括輝綠岩、細碧岩、玢岩及鈉长玢岩、鈉长斑岩、正长斑岩、石英斑岩等。Eskola, Lehmann (22) 及 Blyth, Perrin 及 Roubault 等均研究过細碧岩类的硫化鉄、硫化銅及硫化鉛的矿化現象。Park (21) 則报导过产于細碧岩系中沉积錳矿床的特点。В. А. Заварницкий 研究了烏拉尔·ОЛЫБЫ 黄鉄矿型銅矿床的細碧岩角斑岩圍岩，以这一論文为基础，后来古达林及柯瓦列夫有些极端地強調了細碧岩角斑岩与黄鉄矿型銅矿在成因关系上的重要性，而且將烏拉尔的結論推广到全世界，中国地質界也受了一定影响。

在前一阶段只有 Wells 比較系統地总结过細碧岩及角斑岩的特征，而在此一阶段則有好多学者綜合研究了这类岩石，如 N. Sundius (23), Gilluly (24); В. А. Заварницкий 及 Turner d Verhoogen。Wells 及 Sundius 还各自計算了一个細碧岩的化学成分平均值，这两个平均值后来为 В. А. Заварницкий 所引用。

N. Sundius 平均值 (19个样，英国 3 个，新南威尔士 7 个，瑞典 Kiruna 5 个，芬

兰 Karelia 4 个) (S); A.K.wells 平均值 (7 个样, 英国苏格兰及新南威尔士) (W)。

	(S)%	(W)%		(S)	(W)		(S)	(W)
SiO ₂	51.22	46.01	a	13.1	12.3	Q	—	0.96
TiO ₂	3.32	2.21	c	3.1	4.8	Or	4.45	1.67
Al ₂ O ₃	13.66	15.21	b	23.9	24.6	Ab	41.92	42.40
Fe ₂ O ₃	2.84	1.35	s	59.9	58.3	An	12.79	7.51
FeO	9.20	8.69	f'	46.5	42.7	C	—	3.88
MnO	0.25	0.33	m'	31.9	31.1	Di	16.24	—
MgO	4.55	4.18	c'	21.6	26.2	Hy	7.63	22.02
CaO	6.89	8.64	n	89.7	96.4	Ol	3.36	—
Na ₂ O	4.93	4.97	t	4.6	3.5	Mt	4.18	2.09
K ₂ O	0.75	0.34				Il	6.23	4.26
H ₂ O	1.88	2.48				Ap	0.65	1.34
P ₂ O ₅	0.29	0.61				Cc	—	11.40
CO ₂	0.94	4.98					Or : Ab : An	
总 計	100.72	100.00				(S)	7.5 : 70.9 : 21.6	
						(W)	3.2 : 82.3 : 14.5	

В.А.Заварицкий 于 1946 年較詳細地总结了当时各国已知的細碧岩角斑岩系 (缺非洲、南美及亚洲資料), 提出了十項特点, 其主要几点大致为: (i) 此岩系为一火山杂岩, 在一个較长期的活动中, 噴发岩石常不雷同。(ii) 在矿物成分上有別于正常鈣硷性系列火山岩。(iii) 它形成于海相环境, 在水中噴发时, 熔岩活动于強烈的热泉和气的噴溢环境中, (iv) 噴发岩中的斜长石常鈉长石化, 一些鈉質来源于热泉及海水, 因此細碧岩角斑岩是从正常鈣硷性火山岩变来。(v) 鈉长石化岩石常过渡到正常鈣硷性火山岩, 因而使出現于地槽区的火山岩复杂化。(vi) 細碧岩在空間上或一定時間上常与基性超基性岩相伴生。

В.А.Заварицкий 用他的图解方法, 分別开正常火山岩与細碧岩角斑岩系列。代表正常系列火山岩的綫, 是連接 Daly 計算的流紋岩、英安岩、安山岩、安山玄武岩、玄武岩、高原玄武岩的化学成分平均值制成。代表細碧岩角斑岩的綫是通过数十个細碧岩角斑岩的点羣, 大致平行于前一綫而繪成, 其中只利用了上述 Sundius 及 Wells 的两个平均值。В.А.Заварицкий 并没有說明这个綫是代表世界上“标准”系列 (附图 1)。古达林及柯瓦列夫在引用 В.А.Заварицкий 图解时, 在代表細碧岩角斑岩系列的綫上, 增添了四个点, 容易使人誤会細碧岩角斑岩系列綫也是通过平均值点制成。未加說明就改动了原图解, 这是极不恰当的 (附图 2)。

对于細碧岩角斑岩的命名方面, 現阶段又增添了一些新内容, 列如 Tomkeieff (25) 亦主張采用鉀細碧岩这一名詞, 并列举了新例証。de RooVer (26) 曾建議称含冰长石并伴鈉細碧岩的基性岩为 Poenite。Lehmann 則将导源于“原岩浆分異”即含“原生鈉长石”的細碧岩另称为 Weilburgite, 而将細碧岩单指含次生鈉长石的基性岩石, Weilburgite 同样可以有鉀的岩石。Van Overeem 及 Von Eckermann 等則与 Lehmann 相反, 他們反对将具有鈉长石化的基性岩称作細碧岩。Vallet 曾将 Casama 片岩中的变質細碧岩称为 Ovardite。

在解釋此类岩系的成因方面, 虽然仍就集中在前一阶段所提出的三个說法上, 但是有

了一些新的发展。Schwartz (27) 認為細碧岩的形成条件是一个低温多水的环境。Burri及Niggli, Vuagnat及VanOve-reem 有类似的想法, 他們以为細碧岩是来源于富挥发分(主要是水)的玄武岩浆, 这些挥发分是当岩浆冷却时集中的。Tomkeieff 及 Marshall (28) 解释钠长石化是受了二氧化碳的作用, 而钠質的集中則系受了挥发組分的影响。Lehmann 主張細碧岩是由于上昇輝綠岩漿的挥发組分作用于先形成的角斑岩而成。Gilluly 則解释钠长石化可能是基因于富钠长石残余溶液的作用, 此种溶液系导源于形成石英角斑岩的奥长花崗岩漿 (Trondhjemite)。

除去以上这些說法外, 还出現了极少数变質成因学說。例如 Fair bairn 曾推想細碧岩是区域变質玄武岩, 而 Perrin 及 Roubault 还报导了一个特殊的細碧岩, 他們認為它是一层石英質白云岩經過区域变質形成的。

(三) 細碧岩角斑岩建造作为大地構造和成礦規律研究內容之一的研究阶段 (1952—1963)

近十余年来研究此类岩系的仍就很多, 值得注意的是一些研究大地构造学和金屬成矿規律的人又強調了細碧岩角斑岩建造的重要性。例如 Amstutz (29 a, b, c.) 曾写了許多篇有关矿床与細碧岩类关系的論文。Cissarz (30), Ridge, Heinsohke, Leutwein, Kurshakova及Семченко等均曾研究过金屬矿床与細碧岩角斑岩的关系。象Park

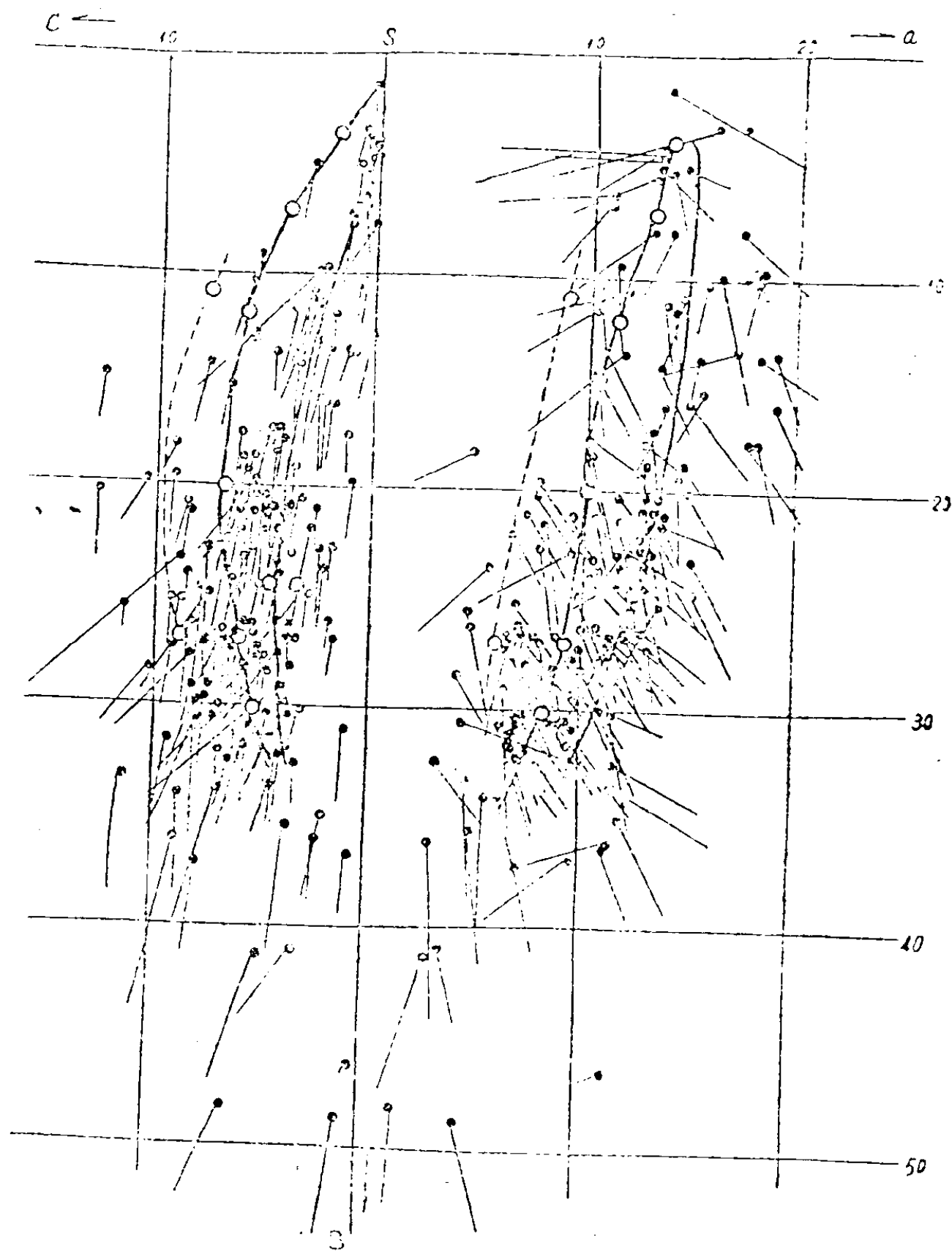


圖1 В.А. Зезеричкин. 制細碧岩角斑岩圖解。点代表許多地区出露角斑岩等单个样数据。圈点代表正常火山岩的平均样数据 (Daly)。細碧岩角斑岩系列线附近三个圈点代表 Sundius 及 Weller 之細碧岩平均数据。

一样，Stephens 曾研究过北婆罗州第三紀細碧岩及放射虫燧石岩中的錳矿床。Takabatake 論叙过日本的类似矿床。我国地質工作者对祁連山系的細碧岩角斑岩建造与黃鉄矿型銅矿、黃鉄矿型銅鉛鋅矿床，沉积型錳矿床及鉄矿床等的关系也作了許多解說。

細碧岩角斑岩建造常出現于优地槽，已是公認的事实，近些年来有些地質学者对生成細碧岩角斑岩的地質环境，又作了証据尚不充分的划分，例如 Кузнецов (31) 將細碧岩——輝綠岩建造与基性岩建造，輝长岩——輝岩——純橄欖岩建造列入原生地槽建造組，而將主要是角斑岩和石英角斑岩建造，以及輝长岩——斜长花崗岩建造，輝长岩——二长岩——正长岩建造，列入次生地槽建造組。А.Фанасьев (32) 則認為在真正的地槽阶段，岩漿活动主要是鈉質的基性和酸性岩組合；噴出相有奧菲里建造、細碧岩、鈉質角斑岩；侵入相有輝长——角閃岩、超基性岩、斜长花崗岩（英煌閃长岩）、斜閃煌斑岩、鈉質白崗岩，最終产物为鈉質正长岩和鈉长岩小侵入体。

奧菲里* (Ophiolite) 一詞原只代表蛇紋岩 (Brongniart)，后来它代表一組岩石，包括超基性岩、粗粒輝綠岩、細粒輝綠岩、基性角砾岩和可能来源于基性岩漿的綠色岩 (Cadisch 33)。奧菲里中基性岩許多是細碧岩，因此有奧菲里細碧岩 (Ophiolitic Spilite) 之称。Steinmann (34 a, b) 首先指出奧菲里建造的特点是蛇紋岩、細碧岩与放射虫燧石岩常常伴生，后来遂称此为 Steinmann's trinity (Hess, 35)。許多岩石学家研究过奧菲里建造，如 Van Bemmelen (36)，Gess, Jaffe, Ritsema, Brunn 及 Rittman 等，他們描述了它的特征、成因及大地构造特点，并一致將其活动局限于地槽区。

在这一阶段，Vallance (37) 繼 В.А.Заваринский 及 Turner 及 Verhooogen 之后，更詳細的总结了細碧岩問題，但未涉及角斑岩及石英角斑岩。根据他提供的資料，这阶段有关細碧岩的成因学說仍不过是以下三大类：(i) 来源于富鈉質岩漿或岩漿

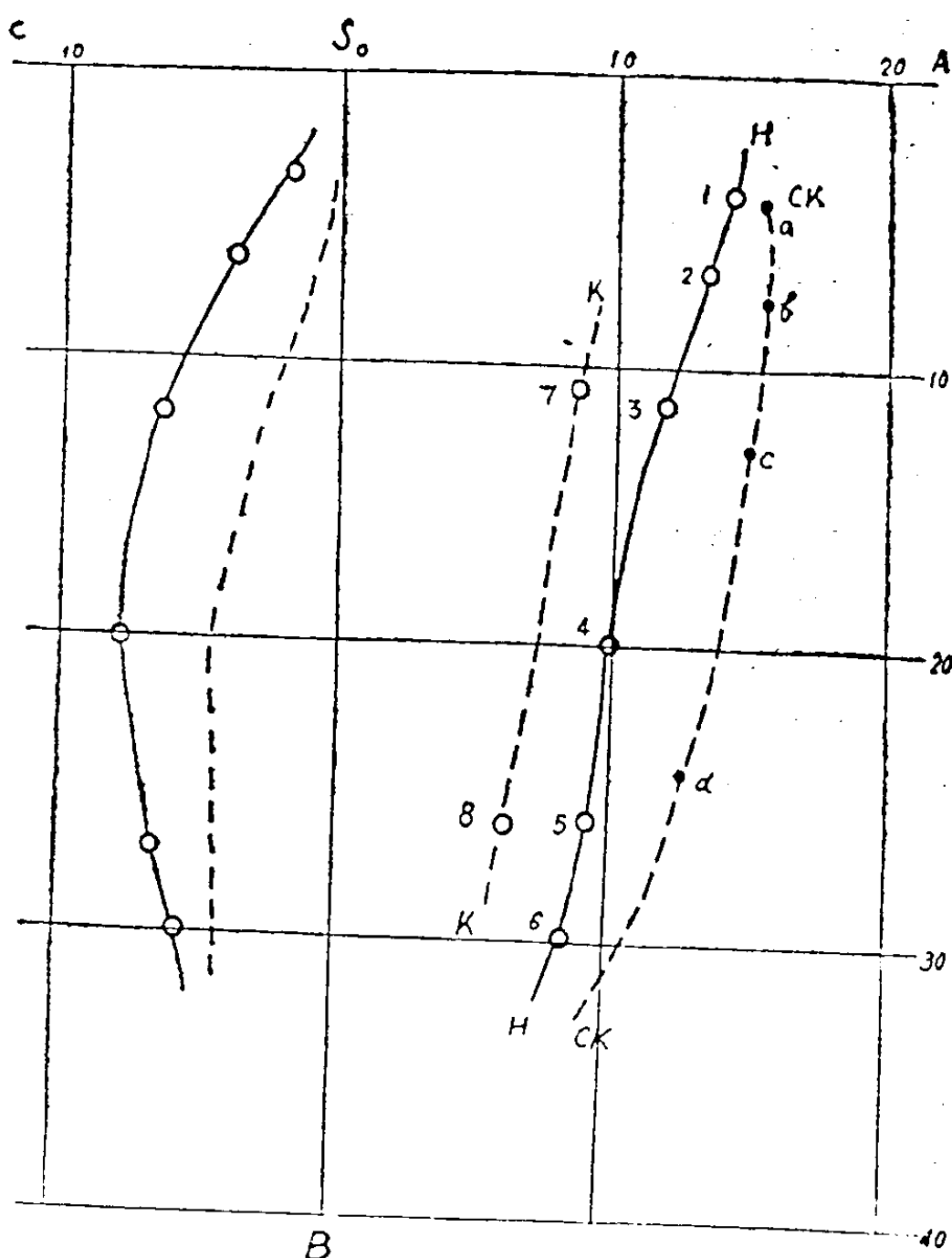
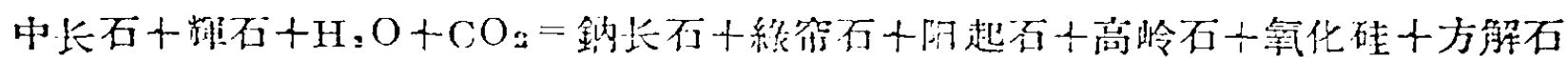


圖2. 古達林威利夫引用并修改的 В.А.Заваринский 圖解。
CK—CK 代表細碧角斑岩系列 (5 石英輝綠岩 6 角閃岩 7 細碧岩 8 輝綠岩)
H—H 代表超基性火山岩系列 (1 輝綠岩 2 英安岩 3 安山岩 4 安山玄武岩 5 玄武岩 (基性玄武岩))
K—K 線之 7 為鈣安山岩，8 為鈣玄武岩。

*常譯为蛇紋大理岩

的某一种特殊结晶作用，(ii)含钠海水作用于熔岩或海相潮湿沉积物中含钠水分对侵入熔岩的作用，(iii)岩浆晚期成岩作用。

拥护第一种学说的有 Amstutz, Scott (38) 及 Battey (39) 亦主张一些细碧岩的钠长石为原生的，因为这些长石与辉石成次含长结构 (Sub-Ophitic)。Semenko (40) 及 Nickolls (41) 则主张有一单独的细碧岩角斑岩浆。Rittman (42) 及 Szádeczky-Kardass (43) 以为深海水高压环境下容易形成岩浆水的富集，因而使正常基性火山岩变成细碧岩。Rittman 并提出下面这个变化公式 (Spilitic reaction)：



Vallance 正确地指出，某一种学说是不能说明所有细碧岩的生成。很清楚，岩浆如富集了挥发物是可以直接结晶成细碧岩，另一种情况是岩浆固结后的变化同样可以形成细碧岩。根据细碧岩含钠的不均匀性，Vallance 趋向于细碧岩系一质变了的玄武岩而非结晶自独立的细碧岩浆。为什么细碧岩多出现于地槽区内呢？最可能的理由是多变的地槽环境最易提供适宜于岩浆固结后的质变条件。И.С. 柯尔任斯基从海洋学和火山学新资料的角度又强调了变质成因学说，他的结论是“这种变质作用发生于不小于1公里的深部，在此处斜长石广泛钠长石化” (44)。

III 有关细碧岩角斑岩的一些重要问题

尽管百余年来有许多学者研究了细碧岩角斑岩，并提出了一些学说，但是限于实际资料的不足，尚不能将已提出的问题完满解决。严格的说，很多地区还没有脱离研究的探索阶段。下列几项可能仍是研究细碧岩角斑岩者的较突出的问题：

(1) 世界标准细碧岩角斑岩建造及岩系问题——祁连山地质志的著者们曾提出一个“世界标准”细碧岩角斑岩系列图解 (图3)，但未作详细说明。什么是世界上标准细碧岩角斑岩系列这一问题，从笔者收集所及的国内外有关资料上看，对此尚难得出具体答案。В.А. Заварздкин 虽然作过综合研究，但也未用“世界标准”字样来冠于他所描述的细碧岩角斑岩之首。就目前所知，澳大利亚 (及新西兰)、乌拉尔、阿尔卑斯、英国、德

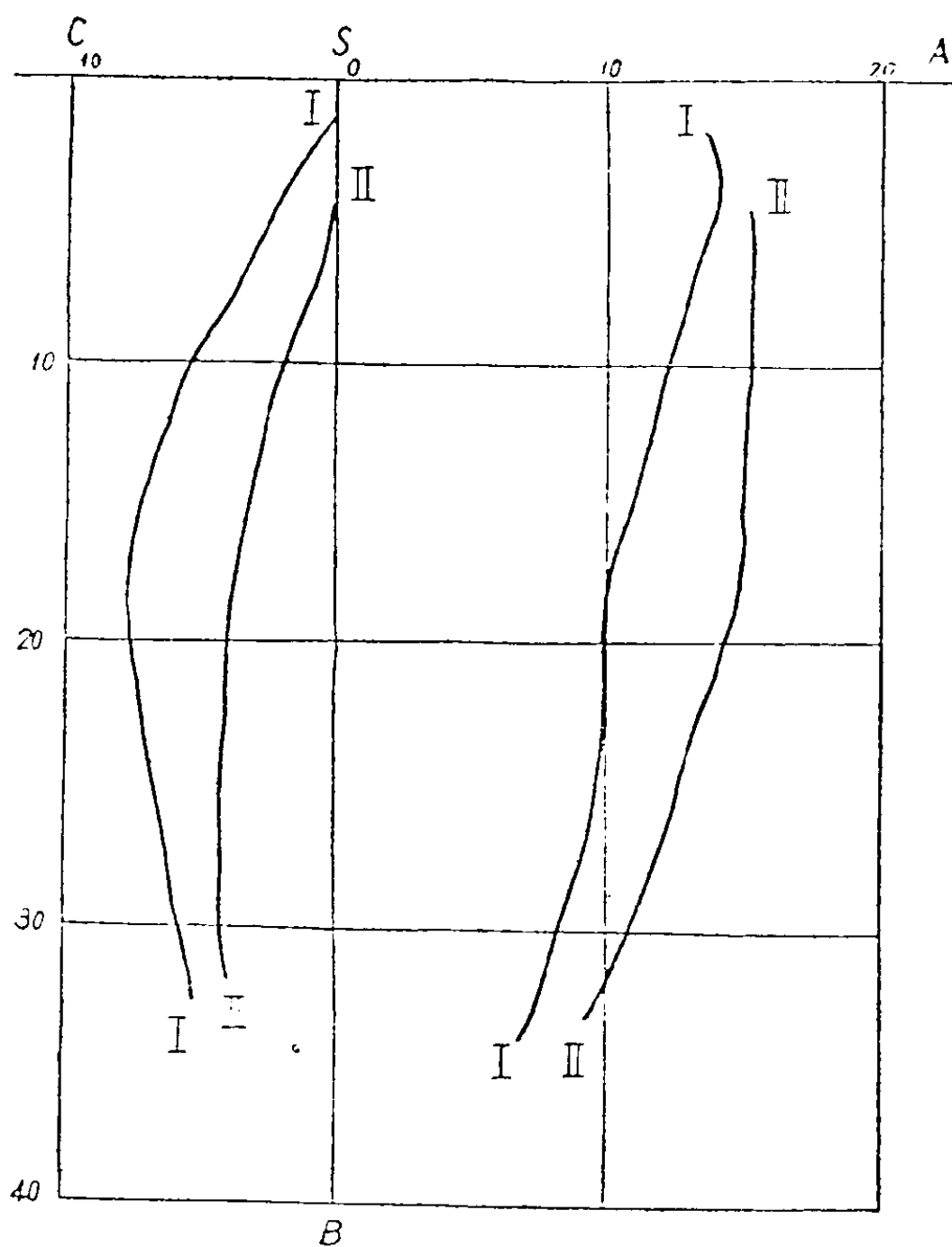


图3. 引自祁连山地质志第二卷第二册。
I—I世界标准系列喷出岩系。
II—II世界标准系列细碧岩系。

国及法国均有細碧岩角斑岩較发育的地区，但是那一地区的岩系可算作最标准，目前資料还远不够解决这一問題。

就筆者初步統計，百余年来涉及或論及此类岩石的論文約500篇，著者近200人。他們研究的中心主要是欧洲（英国、法国、德国、瑞典、苏联、瑞士、挪威、芬兰、意大利及希腊等）。澳大利亚及新西兰，其次是北美（美国西部、加拿大）及亚洲（日本、印度尼西亚、北婆罗洲、印度、中国等）。至于非洲及南美則所知甚少（据称巴西已发现此类岩石）。这种情况就是对欧美來說，已知資料也不能說具有多大的代表性，就世界來講，資料就肯定的不足了。

已知的資料不但在地区分布上比較零星，在噴发時間上也有很大差別（前寒武紀至第四紀）（表A），因之情况远比想像的复杂，要找出世界标准系列还需繼續进行大量的調查研究工作。

表A 各地質时期細碧岩角斑岩噴发实例

时 代	岩 石	地質环境	地 区	研 究 者
第四紀	細碧岩		北 巴 西	Ramos(1958)
第三紀	細碧岩及玄武岩			Park(1946)
侏罗紀	細碧玄武岩及安山岩英安岩等		加利福尼亚	Tajiaferro(1943)
	細碧岩及蛇紋岩		Coast Range	
上三迭世 至 下侏罗世	細碧岩			Den Tex(1950)
下中生代	細碧岩	地 槽 区	Wellington	Vallance(1960)
中生代	細碧岩	地 槽 区	日 本	Suzuki & Mihato (1954)
二迭紀	角斑岩、正长岩及鈉花崗岩		E. Oregon	Gilluly(1935)
石炭紀 至 泥盆紀	石英角斑岩、細碧岩、鈉长輝綠岩。基性超基性岩	地 槽 区	Devon 及 Cornwall	Dewey & Flett (1931)
	下石炭世：輝綠岩 中泥盆世：Weilburgite (細碧岩)玄武岩及 Schalsteine 下泥盆世：角斑岩为主		Sauerland 及 Lahn (Nassau)	Pilger(1952) Iehmann(1952)

泥盆紀 至 奧陶紀	从下奥陶世开始为細碧岩、輝綠岩、輝长岩及角斑岩的活动，这一岩浆活动間歇出現于志留紀、泥盆紀直至石炭紀。安山岩及英安岩与基性岩及超基性岩亦同期出現，而起基性岩則多活动于泥盆紀至石炭紀。	地槽区	烏拉 尔	Vallance (1960)
奧陶紀 至 寒武紀	二迭紀或石炭紀：蛇紋岩侵入活动。 志留紀至中泥盆世：細碧岩。 中奥陶世：細碧岩、安山岩、玄武岩。 寒武紀：苦橄玄武岩、橄欖玄武岩、斑状輝石玄武岩、細碧岩、角閃安山岩或角斑岩、黑云母角斑岩、石英角斑岩及流紋岩、超基性岩侵入体(Tasmania)	地槽区 地背斜带(?) 地槽区	New South Wales 同 上 Queensland New South Wales Tasmania	Vallance(1960)
	奧陶紀：枕状細碧岩	淺海地区	Ballantrae syrshire	Balsilli(1932)
	寒武紀：角斑岩		Bohemia	Heytman(1954)
前寒武紀	綠色岩系中角斑岩、石英斑岩杂岩。		Kiruna	Sundius(1915)
	太古代：細碧岩及角斑岩(Dharwar 系)		印 度	Vallance(1960)
	細碧岩(Keewatin 系)		加 拿 大	Termier d Termier(1956)

(2) 細碧岩角斑岩的成因問題——关于成因問題，可能是由于第一个問題未解决，尽管假說或推論很多，誰也沒有足夠証据來說服对方。总的发展的趋势是：先有两大派爭持不下，一派主張它是分異自单独富鈉岩漿，一派主張它系正常火山岩形成时或形成后，含鈣斜长石全部或部分重遭鈉长石化而成。后一大派对鈉質来源又有外源說（海水鈉質、侵

入岩的鈉質熱液影響，地槽深處硬砂岩熔融後供應鈉長石——石英溶液）及內源說（原岩漿分異晚期殘余液體富集了鈉質）。

近十餘年來內源說占了上風，研究者多贊成Niggli的“水——岩漿”（hydro-magma）的說法。Battey 于研究新西蘭細碧岩類時，指出它在礦物組合、結構、化學性質及分異方向上，頗近乎一些拉斑玄武岩（Tholeiite），在不同的地質環境中，從乾拉斑玄武岩到濕拉斑玄武岩再至細碧岩這樣順序往往可以跟尋出，因此他企圖肯定細碧岩系由於晚期富揮發分岩漿結晶而成。

筆者對細碧岩角斑岩的成因尚未進行詳細研究，但是認為Vallance提出的“一種假說是不能說明所有細碧岩的生成”這種看法可能更恰當些。

（3）細碧岩角斑岩系的命名及分類問題——一般可以按照（i）結構（ii）礦物組合（iii）化學成分及（iv）地質環境來命名，例如Backlund堅持以地槽早期噴發的基性岩屬細碧岩，至於長石是否為鈉長石則為次要因素。Richard d Bryan強調細碧岩與放射蟲燧石岩的共生，長石可以包括中長石。Bohemian 岩石學家認為細碧岩應具有某些特殊結構，但是Vallance則反對，因為實際上絕大多數細碧岩的結構與常見的玄武岩及輝綠岩或安山岩沒有什麼分別。很清楚，細碧岩命名之所以有些混亂，原因就在於地質學家各有各的命名原則。現將以往命名情況，簡述如下：

（A）細碧岩——它相當於鈉長石化玄武岩或鈉長石化斑狀玄武岩（Albers, Park）。根據成分又可以分出一些稱為細碧玢岩（В.А. заварницкий，指富鈉的玢岩），半基性細碧岩（Battey，成分近於鈉長斑岩），鉀細碧岩（Sargent，成分介於細碧岩與Mugearite之間），次細碧岩（Suf-spilite, Albers），赤鐵礦細碧岩（Flaherty）與方解石及鈉長細碧岩（Spilite albito—Calcitique, Jaffé，方解石有時可達70%），Sundius曾建議基性岩所含標準礦物長石之An值小於40%者均屬細碧岩。按照構造又可分別稱杏仁狀細碧岩（Blyth）枕狀細碧岩（Battey），橢圓狀及球顆狀細碧岩等（Greenly）。

（B）角斑岩——相當於鈉長石化安山岩（Albers）或相當於鈉粗面岩（Thomas），或者介乎鈉流紋岩及細碧岩之間（Thomas）。根據成分又有稱磁鐵礦角斑岩及富鉀或富鈉角斑岩者。

（C）石英角斑岩——相當於鈉長石化英安岩（Albers）或鈉長石化流紋岩及流紋英安岩，特點為具有石英斑晶。按照含鉀高低又可分稱富鉀或富鈉石英角斑岩。

按照酸度減弱排列，細碧岩角斑岩與正常火山岩的比較系列如下：

流紋岩——流紋英安岩——英安岩——安山岩——安山玄武岩——玄武岩。

富鈉或富鉀石英角斑岩——富鈉或富鉀角斑岩——富鈉或富鉀細碧岩——鈉長輝綠岩或鈉長煌綠岩。

Vallance以富鉀細碧岩與富鈉細碧岩可能有一化學成分上的完整過渡，玄武岩及細碧岩亦同樣有此可能性。因此對此兩系列的存在，有兩種推測一種認為後者系前者鹼性岩化的結果，兩者可以互相過渡；另一種則認為此兩系列有一分分界線，各呈一相當但獨立的系統。細碧岩角斑岩系列常出現於地槽區，但有例外，因此有些人將地槽區細碧岩稱奧菲里細碧岩，而將伴隨相或次陸相沈積岩的稱為陸相細碧岩，有些人甚至於推論後者往往為富鉀細碧岩。

Lebas (45)曾將火山岩分為兩大類，假設細碧岩角斑岩系列是可以單獨存在的，則筆者認為於其鹼性岩類中，另增一細碧岩角斑岩系列，就會使Lebas火山岩分類更趨完善。

第一类硷性类

(a) “細碧岩角斑岩系列(正常硷性系列之一): 石英角斑岩——角斑岩——細碧岩——鈉长輝綠岩”。

(b) 正常硷性系列之二: 硷性玄武岩——中长安山岩——奥长安山岩——粗面岩。

(c) 过碱性系列: ? ——霞石玄武岩——碱性岩——响岩。

第二类非硷性类

(a) 拉斑岩系: ? ——拉斑橄欖玄武岩——拉斑玄武岩——紫苏輝石玄武岩——? 流紋岩。

(b) 高鋁系列: ? ——高鋁玄武岩——? 。

(c) “中玄武岩(Central Basalt)”——安山岩——英安岩——流紋英安岩。

发现的細碧岩角斑岩愈来愈多, 筆者相信, 在詳細研究了这些岩石后, 一定会将細碧岩角斑岩类再分为若干亚类。

(4) 关于細碧岩角斑岩的矿物成分及結構問題——这方面的研究也很差, 最大的缺点是在岩石描述中, 很少一个样同时具有化学分析, 計算矿物(或标准矿物)(Norm), 实际矿物(Mode)成分的資料; 对細碧岩角斑岩的报导, 极大多数缺少实际矿物成分的数据。結構方面資料較齐全, 但是从这些資料中, 尚难总结什么是細碧岩角斑岩独具的結構与构造。现将已知岩石的一般矿物成分和結構特点简述于下:

(A) 細碧岩——結構构造和矿物成分有一定的变化。构造有枕状、杏仁状、层状、或类似安山岩的緻密状。結構有(i)斑状, 石基为玻璃質(部分脫玻), 或細粒全品質; (ii)氈状或类氈結構; (iii)填間結構或(iv)球顆結構至半球顆結構; (v)流状或放射束状; (vi)粗面岩状或交織状或近乎拉斑結構。Vallance 指出的常見結構如下表B:

表B 細碧岩的常見結構(根据Vallance 資料綜合)

(I) 填間結構——(i)鈉长輝綠岩的結構多为填間及含长結構(ii)細粒細碧岩多是聚斑狀結構(长石及輝石)或次含长結構(iii)細碧岩填間結構包括含长結構、輝綠結構、玻晶交織結構。(iv)細碧岩的填間又有长石、角閃石或綠帘石、綠泥石、鉄質矿物集合体, 鈉长石及角閃石集合体或鈉长石与輝石集合体之分。
(II) 球顆結構——除放射狀长石, 还有树枝状(arborescent)或由暗色矿物組成之羽毛状。
(III) 杏仁狀及細脈狀

矿物成分亦有不同的組合如(i)鈉长石及变或未变輝石与偶而出現的橄欖石, 其他为綠泥石、方解石、沸石类, 赤鉄矿及錳硅酸盐矿物等。鈉长石有时呈細脈狀或港湾狀包围輝石。(ii)奥长石为主(Ab_{80}, An_{20}), 其次为鈉长石, 长石呈板条狀与淺棕色細长輝石呈織紋結構, 其他矿物为磁鉄矿、鈦鉄矿等。(iii)长石成分变化于 Ab_{80}, An_{20} 至 Ab_{85}, An_{15} 之間, 鈉长石与綠泥石呈交織狀, 其他矿物有綠帘石、綠帘石等。(iv)斑晶为鈉长石輝石等, 石基則变化于綠泥石——綠帘石——方解石至鈉长石——赤鉄矿——石英及鈉长石

——綠泥石——方解石——綠帘石之間。(v) 鈉長石斑晶包裹絹云母，斜綠帘石、綠泥石及二次重生的鈉長石。石基的綠泥石為鈉長石交代。(vi) 石基中有鉀長石，葡萄石或綠纖石，氣孔中的礦物有鈉長石、綠泥石及石英或綠帘石及黝帘石等。Vallance對細碧岩礦物特征的總結可綜合如下表C及D：

表C 某些特殊及常見細碧岩的實際礦物組合變化

細碧岩	烏拉爾	鈉長石>5%，綠泥石>50% 其它為石英及鐵礦物等
細碧岩質玄武岩		長石可達76%
富含方解石細碧岩		方解石70% 鈉長石29% 綠帘石1%
細碧岩	瑞士	鈉長石40—90%，綠泥石0—50% 其他為赤鐵礦，方解石，綠帘石及鈦鐵礦等
細碧岩		常見礦物組合：(i)鈉長石——斜輝石——綠泥石(ii)鈉長石——綠泥石(iii)鈉長石——綠泥石——綠帘石(iv)鈉長石——綠泥石——綠帘石——方解石(v)鈉長石——綠泥石——綠纖石——方解石(vi)鈉長石——方解石(vii)鈉長石——角閃石——綠帘石(viii)鈉長石——角閃石——綠泥石、上列小組有的伴有鉀長石。磁鐵礦及鈦鐵礦亦常見。

表D 某些細碧岩的實際礦物特點

長石	鈉長石 ($O_{70}A_{n0}Ab_{30}$)或(A_{n0-8})，2V一般較大。新鮮或包有綠泥石及綠帘石，方柱石，云母，epi—clino—zoisite。 鈉質與長石 鉀長石 鈉長細碧岩中亦往往含有少量鉀長石。
石英	有或無；粗粒鈉輝綠岩可以含5%的石英；Fsilesia的鈉鉀細碧岩甚至於出現石英與鉀長石的微偉晶結構。少數細碧岩中見燧石及瑪瑙。
橄欖石	罕見新鮮橄欖石，它的假相礦物集合體則常見。次生礦物有角閃石或蛇紋石、陽起石、綠泥石、綠色物質（介乎包林皂石及伊丁石）赤鐵礦、褐鐵砂、方解石、石英、白鈦石及hydrogrossular等。
輝石	屬富鋁及鈦的輝石類型。易變輝石稀見，常見者為次透輝石或普通輝石，亦有霓輝石，但鈉輝石類則為例外。
角閃石	透閃石及陽起石可以呈填充狀出現於長石中，近侵入體的細碧岩同樣可以出現角閃石類。
云母	偶見綠色黑云母及鈉云母。

綠泥石	有叶綠泥石、鉄叶綠泥石、鉄綠泥石、斜綠泥石、輝綠泥石 baursvigite, 細鱗綠泥石(Thuringite), 鱗綠泥石(leptoc'nlorite) 往往出現于杏仁狀結構中。
綠帘石— 斜黠帘石	常見者為鉄質綠帘石, pistacite
綠纖石	常出現于氣孔及細脈中
氧化物 礦物	磁鉄礦較少, 赤鉄礦常見, 偶見鈦磁鉄礦; 鈦鉄礦可變成白鈦石, 榍石 可為金紅石交代, 并見銳鈦礦。
酸鹽碳 礦物	方解石最常見, 其他有: 鉄白云石、菱鉄礦白云石、霏石及含錳碳酸鹽 礦物。
其 它	細碧岩的小脈及氣孔中有时見重晶石、葡萄石、沸石(桿沸石), 浊沸石 及少量方沸石; 菱沸石、鉄灰石(Babingtonite)Hydrogrossular, 磷灰 石、鋯石、斧石。侵入接触处見电气石, 搓碎的細碧岩中偶見datoite其他 礦物还有方柱石, 富鉄黑硬綠泥石, Shungite (有一例子 Shungite含 碳可达98.77%) 硫化物。

(B) 角斑岩——一般呈緻密層狀。杏仁狀構造不常見。結構有(i)細粒斑狀、氈狀, 粗面岩狀及霏細岩狀, (ii)正斑結構至斑狀, (iii)隱晶質、細晶質、球粒狀至交織狀。角斑岩的石基常為隱晶至細晶狀, 有的呈鑲嵌結構, 變化于他形至全自形或全自形晶粒結構之間。常見顯微斑晶的鈉長——奧長石及隱晶條紋長石嵌于由奧長石及鈉長——奧長微晶構成的流狀結構體中。有时出現聚合斑狀結構, 石基為交織狀、填間或氈狀結構。有的石基呈微晶狀、微嵌晶狀、放射狀或球粒結構。

礦物組合一般為鈉長石或鈉長奧長石, 角閃石或輝石, 綠泥石, 其他為綠帘石、次生石英、絹云母、磁鉄礦、磷灰石及鈦鉄礦等。有些角斑岩含鈉正長石或歪長石及正長石。斑晶無石英, 石基則由石英, 長石, 鈦鉄礦、磁鉄礦等組成。鈉長石斑晶有的具有鈉長晶紋或棋盤狀結構。

(C) 石英角斑岩——常為斑狀。鈉長石或奧長石及石英斑晶可達几厘米。石基有氈狀、安山岩狀、粗面岩狀、微球粒狀、微霏細岩狀至文象斑狀。石英及鈉長石或奧長石在石基中往往呈編織鑲嵌結構。礦物組合主要為石英及鈉長石——奧長石, 其次為少量正長石、綠泥石、絹云母、磁鉄礦、磷灰石及鈦鉄礦等。有些石英角斑岩還含有方解石、綠角閃石及黑云母等。

(D) 鈉長輝綠岩——多呈含長結構(鈉長石及輝石), 礦物組合以鈉長石、單輝石及綠泥石為主, 其次為角閃石、綠帘石、磁鉄礦及鈦鉄礦等。

(E) 鈉花崗岩——常呈中粗粒斑狀結構, 斑晶為鈉長石或奧長石, 石基多為全晶質, 由石英及鈉長——奧長石或少量正長石組成。

(5) 关于細碧岩角斑岩的化学成分及标准矿物組合問題——Vallance曾計算了一个細碧岩的化学平均值(92个样), 并对此平均值的化学特点作了一些說明, 現綜合如下表E。

表E Vallance細碧岩平均值特点

- (i) 化学成分的变化值 (最大数值减最小数值)
 SiO_2 26% (63.58-36.94); Al_2O_3 12%; Fe_2O_3 13%; FeO 9%
 MgO 12% ; CaO 18%; Na_2O 6%; K_2O 5%
 CO_2 未統計, 个别样值可高达10%。
- (ii) 与Nockolds' 玄武岩平均值相比, 細碧岩平均值 CaO 、 MgO 偏低而硷質則偏高 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), H_2O 及 CO_2 亦偏高。
- (iii) 拉斑玄武岩与細碧岩的 Fe/Mg 值很相似。
- (iv) TiO_2 的平均含量与玄武岩相似, 但是与 CaO , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 MgO 相似, 往往分布不均匀。
- (v) H_2O^+ 及 CO_2 平均值似乎比玄武岩的高。
- (vi) 关于細碧岩的微量元素資料不多, 根据Scott及Amstutz的研究, 似乎細碧岩的Sc及Zr含量較玄武岩高些。
- (vii) 一个細碧岩本身化学成分变化也往往很大, 有的枕状細碧岩外部較中心更富于 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO 及 H_2O 而貧于 SiO_2 , CaO 及 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 。

很清楚, Vallance平均值是远比Sundius及Wells者更具有代表性。其数字如下: (V)

SiO_2	49.65	a	11.9	最小, 最大及一般数值举例
TiO_2	1.57			
Al_2O_3	16.00	c	5.3	
Fe_2O_3	3.85	b	22	
FeO	6.08			SiO_2 36.94 44.98 54.04 63.58
MnO	0.15	s	60.8	TiO_2 0.24 1.22 3.32 4.27
MgO	5.10			Na_2O 2.23 3.40 5.25 6.95
CaO	6.62	f'	44.4	K_2O 0.08 2.02 3.09 4.55
Na_2O	4.29	m'	41.2	Or : Ab : An 12 : 57 : 31
K_2O	1.28			
$\text{H}_2\text{O}^+ \left. \begin{array}{l} \text{H}_2\text{O}^- \end{array} \right\}$	3.49		14.4	
P_2O_5	0.26	n	83	
CO_2	1.63	t	2.3	
总 計	99.97			

筆者則根据更多的資料計算了一些細碧岩角斑岩的平均数值如下:

細碧岩——(a)公認的細碧岩(102个), (b)鉀細碧岩(8个), (c)有爭論的細碧岩(23个)。(SA)总平均值(133个)

	a	b	c	SA		a	b	c	SA		a	b	c	SA ^{*2}
	(%)	(%)	(%)	(%)										
SiO ₂	49.84	50.63	51.52	50.18	a	11.9	13.7	13	12.2 ^{*1}	Q	—	4.38	—	—
TiO ₂	1.49	1.28	1.62	1.50	c	5	5.5	4.4	5	Or	6.12	24.46	6.12	7.23
Al ₂ O ₃	15.84	17.19	15.71	15.89	b	22.5	17.8	20.3	21.8	Ab	38.25	26.20	42.44	38.25
Fe ₂ O ₃	3.79	3.75	2.45	3.56	s	60.6	63	62.3	61	An	19.47	10.29	17.50	19.46
FeO	6.14	3.72	6.67	6.09	f'	43	41.5	44	43.6	C	—	3.88	—	—
MnO	0.16	0.04	0.14	0.15	m'	42	50.9	47	43.4	Ol	—	—	1.93	—
MgO	5.26	4.89	5.41	5.27	c'	15	7.6	9	13	Hy	18.04	13.55	18.40	18.84
CaO	6.56	5.22	4.97	6.20	n	87	53	88	85	Di	2.26	—	—	0.89
Na ₂ O	4.50	3.12	5.02	4.50	t	2.2	1.8	2.2	2.2	Il	2.89	2.43	3.04	2.89
K ₂ O	0.98	4.09	0.98	1.17						AP	0.34	0.67	0.67	0.34
H ₂ O ⁺	2.96	2.83	3.15	2.99						Mt	5.57	5.57	3.71	5.34
H ₂ O ⁻	0.45	0.43	0.60	0.48						Cc	3.40	5.00	2.00	3.40
P ₂ O ₅	0.19	0.27	0.30	0.22										
CO ₂	1.52	2.24	0.85	1.45										
总 計	99.68	99.70	99.39	99.65										

变化数值

	(a)				(b)				(c)				(SA)			
SiO ₂	36.94	45.42	54.04	63.58	43.13	48.49	55.05	63.58	44.01	50.12	57.66	63.61	36.94	43.13	54.04	63.61
TiO ₂	0.05	0.64	1.90	4.27	0.99	1.40	2.15	2.58	0.48	1.28	2.21	3.60	0.05	0.99	2.21	4.27
Na ₂ O	0.61	3.00	5.53	8.30	0.10	2.63	3.60	4.31	3.49	4.72	5.45	6.42	0.10	2.63	5.53	8.30
K ₂ O	0.07	1.18	2.05	3.48	2.02	3.48	5.24	7.50	0.11	0.80	1.76	2.81	0.07	1.18	3.48	7.50

*1 最小最大值

a	c	b	s	t'	m'	c'(a')	n	t
8.5-18.6	0.1-8.6	8.1-31.2	53.5-68.7	23.7-74	12.3-60.9	0.7-56.6	71-98	0-4.9

*2 Or:Ab:An: (a)9:61:30, (b)40:44:16, (c)9:65:26, (SA)11:60:29。

角斑岩——(Ka) 鈉角斑岩 (13个), (Kb) 鉀角斑岩 (31个) 总平均值 (44个)
(KA)

	Ka (%)	Kb (%)	KA (%)		Ka	Kb	KA		Ka	Kb	KA
SiO ₂	64.15	64.09	64.13	a	11.4	16.4	16.1	Q	29.58	18.90	18.54
TiO ₂	1.01	1.37	1.12		(11-23.3)	(10.6-21.2)		Or	8.34	36.14	16.68
Al ₂ O ₃	15.55	15.56	15.55	c	2.8	1.3	2.4	Ab	35.63	28.82	45.59
Fe ₂ O ₃	2.23	2.16	2.21		(0-4.8)	(0.1-2.6)		An	3.06	0.28	2.22
FeO	2.58	1.95	2.39	b	11	7.7	6.7	C	6.02	3.26	2.86
MnO	0.04	0.03	0.04		(1.2-23.1)	(2.1-15.3)		Hy	6.21	3.00	4.16
MgO	1.47	1.17	1.38	s	74.8	74.6	74.8	Il	1.98	2.74	2.13
CaO	2.30	1.14	1.96		(60.1-84.9)	(65-82)		Ap	0.34	0.34	0.34
Na ₂ O	6.24	3.41	5.40	f'	40.2	50	63.5	Mt	3.25	2.32	3.25
K ₂ O	1.39	6.06	2.77		(17.9-80.5)	(21.6-90.8)		Cc	2.70	1.60	2.50
H ₂ O ⁺	1.41	1.53	1.45	m'	23.3	26	36.5	hm	—	0.64	—
H ₂ O ⁻	0.54	0.35	0.48		(0-46.9)	(5.1-31.9)		Or : Ab : An 17 : 77 : 6 55.6 : 44 : 0.4 25 : 72 : 3			
P ₂ O ₅	0.18	0.23	0.19	a'	36.5	24	c'=0				
CO ₂	1.22	0.66	1.06	(c')	(2.6-78.3)	(4.1-72.2)					
总计	100.31	99.71	100.13	n	82	46	74				
					(68-98.5)	(23.4-68)					
				t	1.2	1.6	1.2				
					(0-4.5)	(0-1.6)					
变化数值											
最小, 最大值及一般值											
	(Ka)				(Kb)				(KA)		
SiO ₂	42.26	55.38	65.73	79.97	41.76	55.88	66.26	76.08	41.76	55.88	66.26
TiO ₂	0.26	1.05	2.60	3.89	0.01	0.55	3.28	5.11	0.01	1.05	3.28
Na ₂ O	4.39	5.60	6.58	9.60	0.53	1.84	4.67	7.01	0.53	1.84	5.60
K ₂ O	0.16	1.06	2.45	4.75	3.31	4.99	8.72	10.31	0.16	4.99	8.72