

关于细碧岩、角斑岩与细碧岩—角斑岩系一些问题的讨论

宋志高

(西北地质科学研究所)

问：可以共同谈谈细碧岩、角斑岩与细碧岩—角斑岩系的一些问题吗？

答：作为相互研究、相互讨论、相互学习是完全可以的。不过由于水平关系，错误的地方还请批评指正。

问：什么是细碧岩？什么是角斑岩？

答：细碧岩和角斑岩都是岩石名称和术语，细碧岩是Spilites的音译，角斑岩则是Keratophyre的意译。按着原文古意，前者指一种细粒暗色含斑点的基性火山岩类岩石，曾被用作单指欧洲一些地区的粗玄岩类。后者是指一种中性或与粗面岩相当的岩石，角斑岩一词并有两种解释，一种认为是指岩石含有的长石斑晶常呈矩形带有棱角的意思；另一种认为是指岩石基质具有角质结构的意思。实际上，细碧岩、角斑岩分别是指含有钠长石的玄武岩和粗面岩相当的基性和中性火山岩，都属海相喷发火山岩类。这些岩类常具有遭受蚀变或浅变质作用的特征。

问：那么细碧岩—角斑岩岩系呢？

答：概括的讲，细碧岩—角斑岩岩系，是指主要由细碧岩和角斑岩等火山岩共同组成的岩系，在大陆区是一些造山带，特别是优地槽带内常见的海相火山岩系。在这种岩系中，其基性细碧岩常具海相喷溢的枕状构造，除了火山岩类外，常夹有硅质岩、海相灰岩等沉积夹层，并伴有硬砂岩等沉积岩类，所以也有人称其为“细碧岩—角斑岩建造”。从岩石学上讲，它包括着细碧岩、角斑岩，大多数情况下还有石英角斑岩，以及一些如辉绿岩、石英钠长斑岩等一些次火山岩类。即从基性到酸性，从喷出到浅成侵入的各种岩类，岩系以富钠质为特征，所以也有人称其为“细碧岩—角斑岩杂岩”。另外，近年来，在大洋海底和海岭部分，报导见有与拉斑玄武岩相伴出现的细碧岩，这种细碧岩见不到伴随有角斑岩和石英角斑岩等中酸性岩类，因之，也有人称其为“细碧岩系”。

问：照你所说，细碧岩—角斑岩岩系的确定，首先是对熔岩是否为细碧岩和角斑岩来说了。

答：是的，是这样的。在确定细碧岩—角斑岩系的性质时，首先应该抓的是火山熔岩，当然也应该包括次火山岩在内。实际上在研究其他火山岩系列时，也是这样的。但

是在细碧岩—角斑岩岩系中，并不排除可能有一些其他正常火山岩类夹层出现。例如在我国祁连山地槽内，甚至在北祁连山褶皱带的火山岩带内，许多研究资料证明，是有一定的安山质火山岩出现的。举个更具体的例子来说，例如在青海门源一带的上奥陶统火山岩系内，依一些人的研究，在细碧岩—石英角斑岩组合内就夹有安山岩—安山玄武岩。

问：具有枕状构造的基性火山岩都是细碧岩吗？

答：细碧岩常具有岩枕构造，表示其海相喷出特征，但不一定具岩枕构造的基性火山岩都是细碧岩。甚至更进一步说，岩枕可作为海相火山岩的特征之一，但不一定凡具岩枕的火山岩都是海相火山岩。即在利用岩枕这一特征时，应对照其他佐证资料才较为可靠。这是因为一些陆相火山喷溢也可形成枕状构造，例如在我国张家口汉诺坝的第三纪陆相玄武岩内，就见有枕状构造。据一些研究资料，在潮湿地区，甚至雨天喷溢的陆相熔岩都是可以形成岩枕构造的。此外，据Kenzo Yagi (1969) 报导，在日本一些地区的碱性粗玄岩侵入岩席内，由于被侵入围岩为湿的沉积物，因而与炽热的侵入岩浆相互作用，在其侵入岩席的前锋部位同样也形成岩枕，并探讨了这种岩枕的形成机理。

问：对岩枕应如何辨认它？

答：岩枕系指在一些中基性火山熔岩中，常具有椭球形或球形的枕状集合体。在岩枕和岩枕之间的胶结物质，既可以是同质熔岩也可以是同质或他质凝灰质岩类。单独的岩枕常具有玻璃质外壳，而其近核心则为结晶质火山岩。许多细碧质的岩枕研究证明，其结晶核心常具有典型的细碧岩质的化学成分，相对富于钠质。岩枕与一般球状风化不同，在内部结构上除了上述边缘与核心间的差异外，有些还具有近同心环状排列的气孔和杏仁体，以及呈辐射状排列的玄武岩类六方柱状节理。依据一些报导，在后者的切割面上，由于岩枕近园的外形并结合内部放射排列的柱状节理，形态上很像车轮，因此常俗称为“车轮石”。所以在岩枕的鉴别中，除了外部形态之外，还应注意其内部结构构造。

问：细碧岩有那些岩石特征，如何辨认它们？

答：细碧岩与一般海相基性玄武岩类在野外是很难区别的。其主要特征是靠室内镜下研究并结合岩石化学分析来辨认的。大家都知道，细碧岩、角斑岩、石英角斑岩是以富钠为特征的，但这些岩类与一般碱性岩不同，其钠质组分是以富钠长石矿物来体现产出的，其中不出现高碱质似长石矿物或碱质暗色矿物，这是细碧岩的第一个特征。第二个特征是它在矿物组合上，为由钠长石、绿泥石、绿帘石、纤闪石、绿纤石等一些低级变质矿物所组成。即与一般的“变质绿岩相”的矿物组合相类同。但是在有些细碧岩内，也可见到有如玄武岩中常见的辉石、钙质斜长石（常为拉长石）的交代残留体或这些矿物的假像体。其第三个特征是具有玄武岩所有的各种岩石结构，如辉绿结构、次辉绿结构、间片结构、聚斑结构、球粒结构、玻基交织结构、以及杏仁构造等等。

依靠上述细碧岩的三个特征，有些人把其概括为具“玄武岩的结构、绿岩相的矿物组合”，作为细碧岩总的特征。

对角斑岩、石英角斑岩，除了结构上具有粗面结构、球粒结构、正斑结构等以外，在矿物组合上，与细碧岩近于类同，主要为低级变质矿物。因此，也有些人把细碧岩、角斑岩、石英角斑岩的总特征又概括为，具有“高温的岩石结构，低温的矿物组合”。

问：常听人说细碧岩具有特征性的“细碧结构”，这是怎么回事？

答：在A·H·查瓦里茨基所著的《火成岩》一书中就采用过这一术语。它的细碧结构是指细粒的辉绿结构（致密辉绿结构—无斑隐晶辉绿结构）、玻晶交织结构和交织结构的统称，并非什么一种特殊性的岩石结构。前面我们已经讨论到细碧岩具有玄武岩所有的各种岩石结构，显然查氏所提到的细碧结构种类的范围要狭窄些，这种不同的原因推测可能是历史条件的关系。早期只把称为细碧结构的几种岩石结构作为细碧岩常见的岩石结构，而后来可能发现细碧岩具有更为多种多样的岩石结构。近年来国内外的研究也证实了这一点，例如在祁连山甘肃某地的细碧岩内，就不完全符合细碧结构的狭窄概念范畴，不是一种无斑岩类，恰恰相反，在该细碧岩内具有很好的聚斑结构。

问：为什么把细碧岩、角斑岩等概括为高温的岩石结构与低温的矿物组合，这里“高温”，“低温”是指的什么？

答：从对细碧岩、角斑岩、石英角斑岩的这一特征概括来说，我认为还是恰当的。举例来说，依一些实验岩石学资料，玄武岩的结晶温度大致为 1100°C — 1300°C ，而玄武岩内的辉石、斜长石的结晶温度基本是近一致的。但细碧岩却不然，其组成矿物，例如钠长石、绿帘石等结晶温度多在 350°C — 500°C 左右。即岩石的结构与岩石的矿物组合之间是相矛盾的。而这种矛盾正好反映了细碧岩成因的复杂性。不言而喻，这的“高温”和“低温”都是相对而言的。

问：细碧岩在岩石化学上有什么特征？

答：在地质学研究中类比法占很重要的位置，在岩石研究中也是这样的。在岩石化学研究中，往往依所取得的化学分析数据或者再换算成各种参数，与已知的同类岩石或与之有成因联系的岩石数据或参数进行对比，从而总结出所研究岩石的化学成分特征。目前对细碧岩的成因是众说纷纭的，但不论是岩浆成因论者，还是各种变质（交代）成因论者，都承认细碧岩与拉斑玄武岩有着极为密切的成因关系。因此，首先可将细碧岩与拉斑玄武岩相比较，依据比较有些研究者把其概括为：具有高钠(Na_2O)、低钙(CaO)、高 H_2O^+ 的特征。另一方面，许多细碧岩的研究者，统计过不同地区甚至在不同时期世界上已知化学分析的平均值，而后来的研究者则往往用自己的分析与之相比。为了更具体的说明这一问题，这里列有一个附表（下表），表内列有不同研究者对拉斑岩、细碧岩所统计的平均值和一些地区的细碧岩分析值作为参考。

问：在细碧岩岩石化学成分研究中，常见提到“标准细碧岩”，什么是“标准细碧岩”？

答：据我们所知，没有什么“标准细碧岩”，也没有什么人提出过什么“标准”。由表内我们就可以看出，在不同时期、不同地区，不同研究者都提出过一些地区，甚至世界性的平均值。而这些地区或不同地区的平均值或分析值，可能具有一定的代表性，但它决不是什么“标准”。也没有一个研究者说自己研究或统计的是“标准”，假若有的话，那将是吹牛或欺人之谈。

在过去苏联古达林所著《铜》这本丛书内，曾把查瓦里茨基所列的细碧岩——角斑岩系列与正常系列火山岩的对比图中，把细碧岩——角斑岩系列的趋向线之前冠以“标准”字样。实际是这正是古达林的谬误的地方，宋叔和同志在1964年《关于细碧岩——角斑岩问题》的文章中，就曾指出他的这种谬误，只是未引起人们的足够重视罢了，显

岩石
名称

拉斑玄武岩

细碧岩

钾细碧岩

含钾
细碧岩

细碧岩

细碧质
玄武岩

细碧岩

SiO ₂	50.83	51.10	51.22	49.65	49.70	49.84	49.06	49.50	49.89	48.09	49.43 ~ 50.52
TiO ₂	2.03	1.60	3.22	1.57	2.00	1.49	0.85	0.89	0.72	2.56	1.94 1.68
Al ₂ O ₃	14.07	16.62	13.66	16.00	15.80	15.84	14.71	16.04	14.57	14.28	15.04 14.59
Fe ₂ O ₃	11.65	10.40	11.76	9.55	10.50	3.79	1.19	3.42	3.16	12.92	2.21 1.61
FeO						6.14	5.12	5.93	6.57		7.39 7.74
MnO	0.18	0.17	0.25	0.26	—	0.16	0.17	0.20	0.16	0.25	0.23 0.26
MgO	6.34	6.20	4.55	5.10	5.30	5.26	5.25	6.64	6.88	6.06	8.40 7.90
CaO	10.42	9.90	6.89	6.62	6.50	6.56	8.15	6.54	7.21	6.81	6.69 6.89
Na ₂ O	2.23	2.50	4.93	4.29	5.10	4.50	3.86	4.27	3.88	3.90	4.45 5.20
K ₂ O	0.82	0.70	0.75	1.28	0.40	0.98	3.34	1.06	0.72	0.42	0.11 0.04
P ₂ O ₅	0.23	0.22	0.29	0.26	—	0.19	0.50	0.14	0.10	0.31	0.19 0.05
H ₂ O ⁺	0.91	1.00	1.88	3.49	3.20	2.96	1.70	2.30	3.21	3.24	3.16 3.26
H ₂ O ⁻	—	0.50	0.94	1.63	—	0.45	0.16	0.27	0.27	0.09	0.86 0.23
CO ₂	—	—	—	—	—	1.52	5.74	2.66	2.67	0.44	—
总计	99.71	101.19	100.34	99.70	98.50	99.68	99.80	99.89	99.92	99.37	100.10 100.15

产地	(平均值)	(平均值)	(平均值)	(平均值)	瑞 士	(平均值)	祁连山 (甘肃)	祁连山 (青海)	祁连山 (青海)	(平均值)	美 国 费根尼亚	(平均值)	印度洋
研究者	Nocko- lds	Mason	Sundius	Vall- ance	A. Rit- tmann	宋叔和	宋志高	宋志高	宋志高	(平均值)	J-C Reed & B·A Morgan	Wise Man	Cann
样品数	(1954) 137	(1968) 897	(1930) 19	(1960) 92	(1962) 1	(1964) 102	(1965) 1	(1973) 2	(1973) 7	(1971) 7	(1973) 1	(1969) 1	

然这种流毒是应该进一步肃清的。

问：在一些文献中，见有“钾细碧岩”与“富钾细碧岩”等术语，它与细碧岩有什么不同？

答：细碧岩的特征之一就是富含钠质。但是后来研究发现不但存在着富钠质的细碧岩，而且还存在着富含钾质的细碧岩，这也就出现了“钾细碧岩”的名称和术语。钾细碧岩可视作细碧岩的变种。在细碧岩——角斑岩岩系内，也还相应存在着钾角斑岩、钾石英角斑岩的变种。

钾细碧岩与细碧岩的不同点，就在于比细碧岩含有更高的 K_2O 组分。按E·G·Lidiak的意见，细碧岩的 K_2O 组分 $>3\%$ 者即可称为钾细碧岩。细碧岩与拉班玄武岩有着密切的成因关系，而一般拉班玄武岩的含钾量都是很低的，即 $K_2O < 0.8\%$ 。所以对于 $K_2O > 1\%$ 与 $< 3\%$ 的细碧岩，有些研究者称其“富钾细碧岩”或“含钾细碧岩”，以资与钾细碧岩相区别。

问：从所列举的岩石化学分析表中，好像海洋区的细碧岩与大陆区的细碧岩是有所区别的，这是什么原因？

答：它们是有所不同的。正是由于这种区别，所以有些研究者，曾对其分别采用“海洋细碧岩”与“大陆细碧岩”的名称和术语。它们的不同从所列的表中可以明显的看出来，即所谓“海洋细碧岩”与“大陆细碧岩”比较，缺失 CO_2 组分和相对的低钾组分。对这种差异的一般解释是：大陆细碧岩在研究中发现往往具有比较重的碳酸盐浸染，而海洋细碧岩则很少见或根本见不到这种交代作用。这可能反映了 CO_2 在两种岩类形成环境中的作用是不相同的。大陆细碧岩则相对富于钾（ K_2O ）组分，这是因为大陆细碧岩中常见有黑云母矿物出现，特别是在一些岩枕近边部部分，往往出现由黑云母组成的近单矿物层带，而海洋细碧岩中则很少有黑云母出现。联系到细碧岩与钾细碧岩的不同，在海洋细碧岩内，迄今尚未见到有过钾细碧岩的报导。这就是说，两种细碧岩的不同很可能反映它们的形成过程与环境也是不相同的。钾细碧岩的形成可能是由于大陆壳层的污染所致，对其更详细形成机理的差异则目前还是不清楚的。

当然，这里所谓的“大陆细碧岩”是泛指大陆上一些地槽区内各种地质时代的细碧岩而言的。

钾细碧岩或富钾细碧岩的 K_2O 组分除了黑云母外，可能还有其他如钾长石化等含钾矿物出现，例如在祁连山甘肃某矿区的细碧岩研究证明，岩石内既有黑云母出现，而且还存在着钾长石化作用而产生的钾长石类矿物。

问：细碧岩中的钠长石都是钠长石化的产物吗？

答：这个问题很复杂，涉及到细碧岩的成因问题，

细碧岩内的钠长石是有争论的，有的认为细碧岩内的钠长石都是低温光性种属的，次生的钠长石化产物。有的则认为细碧岩内的钠长石是原生的，是由细碧岩浆中直接结晶而形成的，有的甚至认为原生和次生两种都存在。不但在国际如此，国内也如此，即在同一地区认识也不一样。例如对甘肃某地，细碧岩类来说，有的认为该地细碧岩石中钠长石化不发育，有的则认为钠长石化具有普遍的意义，并比较详细的描述过那里的一些钠长石化形象和特征。

问：钠长石化都有那些形象和特征？

答：甘肃某地的一些研究可作为参考，该地细碧岩类中具有下列五种钠长石化形象和特征：

①净边现象：是一种比较微弱的钠长石化形象，即可常见到一些斜长石的晶体边缘，常镶以明亮的钠长亮边。

②槽化作用：亦称钠长石——绿帘石——黝帘石化作用，其特征为在一些偏基性斜长石的切面上，大量复以绿泥石、绿帘石、黝帘石以及明亮钠长石的小孢囊，使原斜长石失去了原有光性。当钠长石化趋于进一步加深时，钠长石相应发育成一种迭瓦状、间互排列的几何状小晶粒，构成一种类棋盘格状构造。这时，大部分绿帘石、绿泥石、黝帘石等泌出原斜长石晶体之外，形成规则或不规则的花环状晕圈。

③脱钙作用：其特征为大部分斜长石晶体为绿泥石、绿帘石和碳酸盐所交代，有的强烈时，则几乎完全成为碳酸盐所复盖，仅偶而可见到新生的钠长石晶粒嵌于其中，但一般这种钠长石都保留着原来条状的晶体轮廓。钠长石晶粒依据测定为 An_4-5 的钠长石。

④杏仁体中钠长石充填作用：在杏仁体中，充填物主要为 An_1-3 的钠长石，在结构上这种钠长石呈放射状晶簇或球状体。有时并与其他充填物状成顺序环带，一般顺序为：钠长石——绿泥石——碳酸盐。

⑤钠长石细脉：在一些细碧岩类岩石的不同部位，常出现由钠长石及黝帘石构成的细脉体，贯穿在不同矿物粒间或岩石裂隙中。

问：细碧岩中的斜长石都完全是钠长石吗？

答：即使把那些认为是交代残留物(拉长石)除外，认识也不同。Vallanec (1960、1965)认为细碧岩中的斜长石仅为 An_0-8 的钠长石，而其他研究者，如Turner & Verhongen (1962)和D·W·Hyndmen (1972)都认为细碧岩内除了钠长石外还包括有更长石存在。目前在我国特别是我们西北地区，在以往的研究中，也一直都是以钠长石和更长石都出现为原则的。不过也有少数研究者报导过在细碧岩内有中长石出现，而且以“中长石化”命名之。严格的说这是值得讨论的，因为更长石和中长石与钠长石它们虽然有时极少可以共同出现在细碧岩内，但有些研究者认为，它们形成机理是不相同的。从细碧岩的变质矿物组合上讲，按照变质作用的理论，中长石与更长石可能属进化变质作用的产物。而钠长石则为退化变质作用的产物。所以在含更长石与中长石的某些细碧岩，与只含钠长石的细碧岩在其矿物组合上，特别是暗色矿物是略有差异的。

问：对低温与高温斜长石的研究，除了光性以外，还有那些比较可靠的方法？

答：从目前细碧岩的研究中，对高温与低温长石种属的确定，除了光性测定法外，目前引入到这方面来比较常用的还有X光研究法。即研究长石的“有序”与“无序”的问题。按着一些研究资料认为，高温斜长石在结构上为连续序列，在四面面孔隙中，硅和铝呈无序分布。低温斜长石为不连续序列，硅和铝呈有序分布。一般认为人造钠长石(温度从 $450^{\circ}C-1000^{\circ}C$ 之间)的晶体在结构上都是无序的。它以后形成为有序主要是由于退火作用所致。常见天然斜长石多属低温序列(火山岩中可遇到高温斜长石)。这种斜长石在 $An_{1.3-16}$ 为晕长石带， An_{30-50} 为不连续带，即有序低温型斜长石，而 An_{76-100} 为有序——无序的过渡带。X光的研究即为利用长石晶体结构上的关系，解

长石的有序与无序问题。目前国外这方面研究较多,国内才开始研究。在西北地区有些同志曾发现在某些细碧岩中,依光性(弗氏台)测定存在着无序高温型的钠长石,若测定无误的话,这倒是一种非常有意义的发现。依我们对西北几个地区的细碧岩的钠长石X光研究,共七个样品,其 $\theta_{31}-\theta_{\bar{3}1}$ 值大都在1.2—1.6范围内,表明都是低温类型的。当然现在资料还有限,还不能完全定论。

问:细碧岩中钠长石、更长石与中长石不同或共同出现时,在矿物组合上有什么差异?

答:首先要说中长石在细碧岩中出现是很罕见的,只是某些讨论变质作用或变质相时提到它,即细碧岩经进一步变质作用,由绿岩相(包括绿帘石—角闪岩相)向角闪岩相过渡时,可以有中长石出现。这时的矿物组合将也是以角闪岩相的矿物组合为特征的,即已失去了细碧岩的绿岩相矿物组合特征,同时岩石内各种原始火山结构也相应消失。所以许多变质岩著作中,常常把 $>An_{30}$ 的斜长石出现作为划分绿帘石—角闪岩相与角闪岩相的分界线。而钠长石与更长石的情况就比较更复杂些。一般认为在典型高压与中压绿岩相矿物组合中主要为钠长石,而当在相当低压相时,在矿物组合中将有更长石出现。在一般“绿岩相”的暗色矿物主要为绿泥石+绿帘石+透闪石,而在绿帘石—角闪岩相时为绿帘石+角闪石。依都城秋穗(Miyashiro 1973)研究认为,在绿岩相的变质基性火山岩中,更长石的出现并与(1)原岩具有很低的钙组分和相应的含铝矿物存在。(2)相对比较高温度的变质相,如绿帘石—角闪岩相有关。

问:细碧岩都有那几种成因说法,研究的概况如何?

答:目前国外对细碧岩的成因说法,分歧很大,争论纷纭。概括来说大致可分为四种:①细碧岩是由一种特殊的原始富钠细碧质岩浆直接结晶而形成的;②炽热的拉斑玄武岩岩浆与海水相作用,从海水中吸附了钠质;③岩浆的自变质作用的产物;④埋藏变质作用的产物。过去比较流行的为第一与第三两种说法,第四种为近年来提出的一种假说。

一般来说主要是岩浆成因论与变质成因论的争论。

问:什么是自变质作用,细碧岩自变质作用的主要论据是什么?

答:关于自变质作用,在许多变质岩著作中都有详细解释。实际上是指慢慢冷却下来的岩浆岩所发生矿物学上的改变,即在高温条件下晶出的矿物,在冷却时就成为不稳定的矿物,结果向发生稳定的多形变体过渡以及产出固熔体的分解。

细碧岩自变质成因论,也即是按照这样自变质机理来解释细碧岩的成因。这对细碧岩类中所谓的高温岩石结构与低温矿物组合的矛盾,以及钙质斜长石、辉石等造岩矿物的假象体和交代残留骸体等特征,比较容易的去进行解释。认为一些低级变质矿物是由于成岩后,岩浆本身产生的水热溶液,而又作用于已结晶的矿物而形成的。这种矿物成分上改变是一种组分上的“隐密”变化,是在比较低的温度条件下,由高温矿物而“退化”为低温的矿物。即认为细碧岩原是一种拉斑玄武岩,在自变质作用下产生的一种细碧质退化作用产物。所以在很多文献中称其为细碧岩化作用(Spilitization),而把一些细碧岩称为细碧质玄武岩(Spilitic basalt)或者细碧岩化玄武岩。

细碧岩自变质成因论，是自第二次世界大战以来比较流行的一种细碧岩成因说法。其所以比较流行，除了它能够解释这种岩石一些特征外，还有著名的爱斯科拉与兰卡玛（1935）所作的实验所支持。这种实验就是在220个大气压，温度为330℃情况下，利用钙长石+NaCl+CO₂→钠长石+碳酸钙的反应。这个反应即被称为“细碧岩反应”。而实质上即是说明细碧岩中次生钠长石等低级变质矿物的形成问题。

问：那么埋藏变质作用成因论呢？

答：这是国外近几年来比较流行的一种细碧岩成因假说。在一些地槽区内，各种岩石特别是火山岩类岩石，由于在喷出后埋藏深度很大，在温度和静压力规则增加下，产生了一些变化，岩石出现了新的低级变质矿物组合。但这种变化往往是不彻底的，因此岩石还保留着原始岩石结构，有时可有原生残余矿物存在，与一些低级的区域变质作用下形成的矿物组合相近似，不同的是它没有区域变质作用下强烈变形（如叶理及微形褶皱等）产生，同时在这些地区也没有一些侵入作用的影响。这种变质作用即称为埋藏变质作用。

把埋藏变质作用引入细碧岩成因中，虽然过去也有人曾经提到过，但真正比较流行的还是近几年的事。与自变质作用成因论进行比较，无疑两种成因论都可对细碧岩岩石结构与矿物组合间的矛盾给予比较圆满的解释。但是在一些地区曾经发现，除了火山岩具有这种变化外，在同一地区的硬砂岩类中也发现了类似的变化。即具有与火山岩（酸性火山岩）具有相近矿物组合，不同的是保留其硬砂岩结构而已。而沉积成因硬砂岩的这种变化是很难用自变质作用来解释的，而用埋藏变质作用的理论就比较容易解说。再一方面就是在地槽区的细碧岩与硬砂岩内，常常有一些标示压力作用形成物如绿帘石类矿物的出现，这些也给埋藏变质作用成因论提供了依据。表明不论火山岩成因的细碧岩或沉积成因的硬砂岩，都是在深埋藏的地槽环境中，在高压低温的条件下，出现近似的矿物组合，各自保留其不同原岩结构特征的埋藏变质作用形成的类似物。

问：那么岩浆成因论呢？

答：细碧岩的岩浆成因论，早期只强调细碧岩是由一种特殊富钠岩浆的结晶产物。近些年来则也有所发展，与过去不同主要认为这种岩浆可能是一种富水岩浆，是所谓“湿”岩浆。这种富水岩浆可以是原始拉斑质玄武岩浆的残余岩浆，或叫次生（派生）岩浆。在水的作用下，形成了特殊细碧岩岩类。这也就解决了过去岩浆成因论所无法解释的细碧岩在矿物组合与结构上的矛盾现象，同时也对一些与细碧岩类常相伴产出的富钠次火山岩类，给予了比较合理的解释。但不能否认，目前也却还有一批极端岩浆成因论者，仍坚持认为细碧岩是由独特的细碧岩岩浆的结晶产物，他们反驳的论点是细碧岩类具有典型的岩浆岩结构，在低温下任何重复和模拟高温结构都是不可能的。

问：两种变质作用与交代作用的关系如何？

答：两种变质作用成因论的相同点，都是以低级变质作用来解释细碧岩类成因的，而不同的是对引起两种变质作用机理的解释不同。从前面的讨论中也可以看出两种变质作用对细碧岩的矿物组合的认识是相同的：都承认在一种低温下，岩石物质成分曾发生过所谓“隐密”的重新调整与重新组合作用，在这种重新调整与重新组合过程中，即表明有一些成分的带入与带出，这即是交代作用。而形成的低级变质矿物，即是交代作用的产物，一些原生矿物的假象体及保留的残余体都是交代作用的证据。两种变质作用

中交代物质运移的“负荷者”，都是用在低温下产生的水溶液来解说的。但除了原位交代以外，也还有移位的发生。举个近年来在细碧岩研究中描述的一种现象就可以说明这个问题。例如据一些报道，在澳大利亚及美国弗根尼亚等地，常在一些细碧岩中见到一种斑杂状构造（有的称其为“晶畴”——domains）。即在一个露头上常见到两种不同的岩石，一种为暗绿色细碧质岩石，以钠长石、绿泥石、残余单斜辉石及磁铁矿等组成，大都保留着原岩的结构，化学成分上富于钠质。另一种为绿色石英绿帘岩，以绿帘石与石英或绿帘石与石英组成的集合体，原岩结构已经消失，相对富于钙质。而后者多产在前一种岩石的裂隙、交错节理与破裂带中。两种岩石化学成分加起来正好与一些拉斑质玄武岩相一致。许多研究者认为，这种现象很好地反映了在变质作用下，物质成分发生了游离，并且是向着两个互补的方向发展的。

问：从现有的各种成因论来说，埋藏变质作用是比较能全面的解说细碧岩成因中的一些问题了？

答：也不完全是这样，事物往往是很复杂的。例如在大洋底部，大量出露的为拉斑质玄武岩，而细碧岩只占很小的比例，这是与埋藏变质作用说法相矛盾的，按着其理论也是难以解释的。

问：细碧岩的成因说法这么多，分歧也这么大，那么究竟应该怎样对待它呢？

答：尽管目前对细碧岩有各种各样的成因说法，但还是过去的两种研究趋势。一种为在一些正统的岩石学研究者当中，都是把细碧岩当作变质或蚀变岩类看待的，这可在许多教科书或岩石手册的岩石分类表中表现出来，即在所有的岩浆分类表中没有细碧岩的恰当位置，大都是把其列为附属性的变玄武岩来论述的。另一种为一些区域岩石学研究者，往往把其作为所谓细碧岩——角斑岩岩浆系列端员对其进行研究，并且把其与一些内生成矿作用连系起来。

“细碧岩”这个岩石术语，自从法人Brongniart 1827年创建以来，整整已有150年的历史了，在过去曾一度遭到国际地质界的废弃而后再重新采用。虽然它现在的概念与含意已与先前不同，但现在已经比较普遍地应用在地质工作中去了。近年来有些主张变质成因论者（例如 Coombs 1974），又提出了抛弃“细碧岩”这一术语的建议，而采用“变玄武岩”或“绿岩”来代替它。另外一些研究者（例如 Kuniyoshi 和 T·G·lison 1976）则认为可对不同成因的细碧岩分别来采用不同的名称。即把认为属于岩浆成因的细碧岩称为“细碧岩”，而对属于变质成因的细碧岩改称“变玄武岩”或钠长石化玄武岩”。实际上这是办不到的，也是不可能的，因为在同一地区甚至同一层的细碧岩在成因上的认识都可能是不相同的。所以我们颇赞成一些研究者的意见，即暂不考虑其成因假说，而仅依据岩石的矿物组合、岩石结构和岩石化学特点以及形成的地质环境，仍统称其为细碧岩。在这方面他们举出花岗岩的研究作为例证，尽管花岗岩的成因说法很多，而且分歧也大，但在岩石类型与命名上仍统称其为花岗岩。

问：可否再谈谈角斑岩的一些问题？

答：在前面的讨论中，结合细碧岩对角斑岩的问题我们几乎已全部涉及到了。下面我们再用 Hughes（1972）的所谓“岩浆岩图谱”对其再略加补充。Hughes 是一个细碧岩、角斑岩变质成因论者，他曾把 Sundius, Vallance 等许多研究者所统计的细碧岩

和角斑岩化学平均值以及一些地区的岩石化学分析值,投入他所编制的 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 对 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}\%$ 的对应图(即所谓的“图谱”)中,发现绝大部分的细碧岩投点都投落在图中各种正常岩浆岩圈定区以外,他并由此认为细碧岩是变质成因的。而他所引用这些平均值或分析值大都是我们前面讨论中的钠质细碧岩。但在其图谱中的角斑岩或石英角斑岩的投点却缺乏这种规律性,其一部分投点与细碧岩类同,也投落在正常岩浆岩圈定区以外,认为是属变质成因的。另一部分投点则分别投落在图中正常岩浆岩区内,与一些例如安山岩、粗面岩、英安岩或流纹岩类相当的部位,他认为后者可能属侵入相角斑岩类,即非变质成因类属。由此可见角斑岩在这方面要比细碧岩复杂些。同时角斑岩在岩石名称现在的具体含意上,也不如细碧岩那么严谨,存在一定混乱与分歧。例如Joplin, G·A (1971)认为,角斑岩为相当于富于钠质或钠长石化的粗面岩和安山岩,石英角斑岩则与钠质或钠长石化流纹岩相当。Schermerhern, L·T·G· (1973)认为角斑岩既不是钠质粗面岩和安山岩,也不是钠长石化粗面岩和安山岩,而是一种中性或酸性的钠长石质、具有斑岩组构或含斑晶的淡色岩类。

Schermerhern, L·T·G·的认识和我们也不相同,他认为在角斑岩中除了钠长石之外,还可以有例如黄长石、石榴石等高碱性矿物出现。

此外,也有些研究者认为只有与细碧岩相伴产出的,含钠长石或具钠长石化的中性和酸性火山岩类,才能称之为角斑岩或石英角斑岩。

问:角斑岩和石英角斑岩具体怎样区别?

答:一般来说凡具有石英斑晶的角斑岩就可叫做石英角斑岩。按照一些研究者的意见,在角斑岩中虽然见不到石英斑晶,但在岩石化学成分上 $\text{SiO}_2 > 70\%$,也即称为石英角斑岩。对于角斑岩和石英角斑岩,这里再重复一遍G·A·Joplin时给这类岩石所给的定义:即角斑岩相当于富含钠质或钠长石化的安山岩和粗面岩类,而石英角斑岩则相当于钠质或钠长石化流纹岩类。

问:也再谈谈细碧岩——角斑岩系的一些问题吧?

答:从前述讨论中不难看出在细碧岩和角斑岩的研究中,细碧岩的研究占据着主导地位,这是由于在许多已知的细碧岩——角斑岩系中,其火山物质主要为细碧质岩类,而角斑岩(包括石英角斑岩)相对是比较少量的。虽然细碧岩存在着岩浆成因论与变质成因论的分歧,而变质成因论的说法也日渐增多,但一些大地构造和成矿规律研究者,仍然是把其作为独立的细碧岩——角斑岩岩浆系列看得的。一般这些研究者认为细碧岩——角斑岩系是在地槽初期拗陷过程中,由地壳下上升的岩浆或其派生物。因此也把其当作为是限于特定的构造环境和构造部位,具有一定组成成分特征性岩区(或称岩石省)的岩类。并且依据其中产出的硫化矿床硫同位素的研究,推论其是来自地幔的物质。按照这种认识,关于细碧岩——角斑岩系形成的地质环境,已经形成了一种海相喷发火山的“模式”概念。而实际上这还是有一些例外的,例如Reed和Morgen (1971)等曾报导过美国一些地区的细碧岩和角斑岩,可能是属于一些陆相喷溢的产物。国内依新疆同志的一些资料(仅为提及材料,未见详细的岩石研究依据),在东准噶尔地区也存在着陆相细碧岩。

许多细碧岩——角斑岩系在岩石组合上,往往出现为细碧岩——角斑岩、细碧岩

——角斑岩——石英角斑岩或细碧岩——石英角斑岩组成的不同组合。

前已述及，细碧岩——角斑岩系都常是作为优地槽系内的特征性岩浆岩相建造看待的。但董申保同志（1974）在其所著的《变质作用与成矿》一书中，则把其与其他许多变质成矿建造相并列。

问：细碧岩——角斑岩系与蛇绿岩套是什么关系？

答：按照一般的认识，在细碧岩——角斑岩系内，常伴随有像辉长岩、辉岩、橄辉岩与蛇纹岩等粗粒的基性与超基性岩三者组成的共同体，即被称为“蛇绿岩套”。另外也有认为“蛇绿岩套”是由细碧岩质火山岩和基性、超基性侵入岩以及海相沉积的硅质岩三者的共同组成体。目前已被认为属于典型“蛇绿岩套”的有日本的三波川（Sanbagawa）、美国的旧金山（Franciscan）、欧州的阿尔卑斯（Alps）及塞浦路斯的特罗罗斯（Troodos）等地区的海相沉积——火山——侵入杂岩带。一些板块学者认为这些复合组成的杂岩带为一种特殊的“混合堆积”，在地质构造位置上，它们分别为不同板块的衔接部位，或者为大洋地壳的碎块部分。作为“蛇绿岩套”组成之一的细碧质火山岩及其包含大量的海相沉积物质，它们多共同呈现一种典型的高压变质相带为特征。在某些细碧质火山岩中并赋含有块状硫化矿床，Guild（1973）认为这种硫化矿床的出现，则可作古板块边缘的指示标志。以上所有这些，都在不同角度上为各种细碧岩和角斑岩的各种成因假说提供了一定的地质依据。

问：我国对细碧岩、角斑岩与细碧岩——角斑岩系的研究状况怎样？

答：在我国对于这些岩类与岩系的研究都是在解放以后才开始的。在五十年代初期，首先在祁连山地区发现了大型黄铁矿型铜及多金属矿床，因此当时围绕矿床进行的科学研究工作较多，稍后，并也开展了一些大面积的地质普查工作。同期，中国科学院在整个祁连山地区开展了比较系统的地质调查，并编著有《祁连山地质志》，其中对祁连山地槽系内的细碧岩——角斑岩系进行过相应的讨论。在这个时期内，虽然不同研究者也存在着一些例如对细碧岩含钠组分的争论，但基本上还是总结了该地区细碧岩、角斑岩与细碧岩——角斑岩系的一些主要特征，这为同期及其以后开展的区域地质测量工作提供了在这方面的研究的前提依据。这个时期在研究工作特点上，表现为受苏联影响较大，在发表的一些文献中，多与苏联学者或他们的研究地区相对比。只是到了六十年代初期，才出现一些较为全面的介绍世界上其他地区研究现状的材料与文章。从1966年以后，又先后在我国的内蒙、四川、陕西、河南、青海、云南、甘肃等地区，相继发现了一些与海相火山岩有关的铁、铜矿床，关于细碧岩、角斑岩与细碧岩——角斑岩系的研究也有了较广泛的开展。依据一些报导的和情报交流的资料，在我国除了西部像祁连山、天山等古生代地槽区具有一定的发育外，在一些可能属于“震旦纪古海槽”地带的变质地层内，例如北方的宽坪群、陇西群、碧口群；南方的昆阳群等，也都发现具有细碧岩、角斑岩和细碧岩——角斑岩系的发育。虽然对某些地区的某些岩系和早期一样，在认识上也存在着一定的分歧，但由此导引了对其认识的相应深化，有关的报导和讨论文章也有所增多，这在很大的程度上，促进了我国在这方面的研究工作。

概括起来讲，我国对细碧岩、角斑岩与细碧岩——角斑岩系的研究，大都是以结合一些矿床勘探的研究为主的，对于专题性或大区域的系统调查还很少。从岩石学角度

讲：大多数的研究还限于一般岩类学的描述，对许多例如岩石矿物的系统研究，以及实变岩石学和其他有关的基础理论方面，则几乎还没有什么开展。

当前，在华主席抓纲治国战略决策的指引下，在党中央“向科学技术现代化进军”的号召下，我国广大科学技术人员受到了极大的鼓舞，正怀着无比兴奋的心情，以一定把我国科学技术搞上去，在本世纪内实现我国工业、农业、科学技术和国防现代化的雄心壮志，积极地投入到这一伟大斗争中去。虽然细碧岩、角斑岩与细碧岩——角斑岩系的研究，在整个科学研究工作中只仅仅是地质科学的一个细小分支，但它一定会在这一巨大澎湃前进的科学实验斗争洪流推动下，经过广大地质人员不畏艰苦的努力，走在世界的前列。

青海全吉山红铁沟冰碛层的确定

青海省地质科学研究所震旦系专题组

近几年来对青海以全吉群为代表的震旦纪地层是否有冰碛层存在、有几期等问题争论颇大。为解决这一问题，我所于今年七月邀请中国科学院地质研究所刘鸿允、劳秋元及全国震旦系协调小组阎立勋、陆宗斌等四同志，前赴现场会诊。同时参与工作的尚有青海省地质局第一区测队、第五地质队及青海省冶金地质勘探公司地质五队等单位。通过现场研究否定了全吉群第一、第二岩组底部二个可疑冰碛层，认为它们分属于山前崩砾岩，海陆交替相以河流相为主的砾岩，而肯定了全吉群第六岩组的泥砾岩为冰碛层，命名为“红铁沟冰碛层”。这对我省震旦系的划分、对比，其地质意义是不容忽视的。

（一）调查简况及冰碛层层位

青海柴达木盆地北缘全吉山震旦系最早进行研究的是地质部632队，他们于1957年首次提出全吉岩系一称，划分为二部分，“下部为紫红色碎屑岩，上部为硅质夹燧石条带灰岩”。尔后，孙殿卿、穆恩之等人也对全吉群进行过研究。孙殿卿在报告中指出：“在全吉山出露的震旦系，底部多为白色、紫色砾状砂岩、石英砂岩和石英岩，最上部为夹硅质层的灰岩。石英岩与灰岩之间尚有一层厚约十余米的泥积物，其中参杂有大小不等之砾石，很可能为冰碛层，总厚度500米”。关于冰碛层问题，一直未引起广大地质工作者的重视。仍然习惯的将全吉群划归震旦系并与北方蓟县地区对比。一九七四年我所开展震旦系专题研究工作后才逐步重视对冰碛层的研究，红铁沟冰碛层是否就是孙氏所指层位，尚无确切材料。

红铁沟冰碛层在岩石地层单位的全吉群上部。全吉群上与寒武系下含磷砾岩为假整