

南非墨西拿地区的含铜角砾岩筒

前言

在南非北部边界附近的墨西拿地区,迄今已发现九个角砾岩筒,其中三个含矿。墨西拿和坎贝尔矿山的两个含矿角砾岩筒称作“L”矿脉和西矿脉,并不出露地表,是经过长期详细勘探附近的浸染交代脉状矿床之后才发现的。哈泊矿山的矿化交代角砾岩称作“A”矿脉和“B”矿脉,对这两条矿脉本文不准备详细介绍。

角砾岩筒,无论是含矿的和不含矿的,都沿着一条北东走向、宽1公里、长20公里的带延伸。墨西拿矿山(“L”矿脉)位于此带的中心,哈泊矿山(“A”矿脉和“B”矿脉)和坎贝尔矿山(西矿脉)分别位于墨西拿矿山西南3.5和6.5公里。这几个矿化角砾岩筒和一些角砾岩化的交代型和裂隙型矿体均位于墨西拿的西南(图1),而一些不含矿并出露地表的角砾岩体和筒状交代矿床则位于其东北。

角砾岩筒穿过一套林波波带高度变形的太古代麻粒岩相的岩层。这些角砾岩筒顺着罗得西亚的努阿内齐火成岩区卡路系(175~210百万年)火成杂岩排成一线。但它们的确实年代还不清楚,根据低温蚀变晕和赋存状态,它们显然是在围岩麻粒岩变质作用之后。另外,矿床周围的交代蚀变为碱性,墨西拿地区还伴有基性玄武岩和碳酸岩类,说明它们可能与卡路时期的火成活动有关。

角砾岩筒的形状和构造

角砾岩筒呈不规则的椭圆形圆柱状(图2),其倾伏角有所不同,从近于直立的到倾

斜45°的都有。角砾岩筒最大直径在50到300米之间。“L”矿脉和西矿脉的顶部,也就是这两个角砾岩筒的顶端,分别位于地面以下125和565米处,而矿脉(角砾岩筒)的下端有多深还不清楚。

墨西拿矿的“L”矿脉,角砾岩筒位于似花岗状片麻岩内。地下采掘发现其垂向延伸800米,在930米最低的一个中段布置钻探得知由此向下600米还有矿存在。在较深的中段,见到有一层准石英岩被角砾岩筒所交切(图3a)。

西矿脉角砾岩筒被揭露的垂向总长度有700米(地表以下565米到1265米),见图3b。它在1065米以上位于石英长石质片麻岩中;在此以下则赋存在准石英岩内。在“L”矿脉附近,辛格莱特似花岗状片麻岩中直立剪节理的方位是005和125°,挤压节理和张节理的方位是055和150°。本地区其它节理的方位是080,140,045和165°。“L”矿脉和西矿脉的角砾岩筒都是顺着早期区域节理的类型以接触线为界(图4)。

墨西拿角砾岩的接触带变化大,岩筒由粗网状脉系变成细角砾岩化接触带。角砾岩筒的顶点伸入到未角砾化的蚀变围岩接触处的细网状脉。在角砾岩筒上部400米部分以细角砾岩接触带最常见;在这部分以下,接触带发生分粒作用,在较大岩块之间有细的角砾,这些岩块最大的有20米,过渡成被石英网状脉和(或)钠长石细脉切割的围岩。此网状脉过渡成未被破碎的热液蚀变岩石,最后过渡到新鲜的围岩。角砾岩筒下部明显地变粗;在深部的几个中段很难分清它的边界。

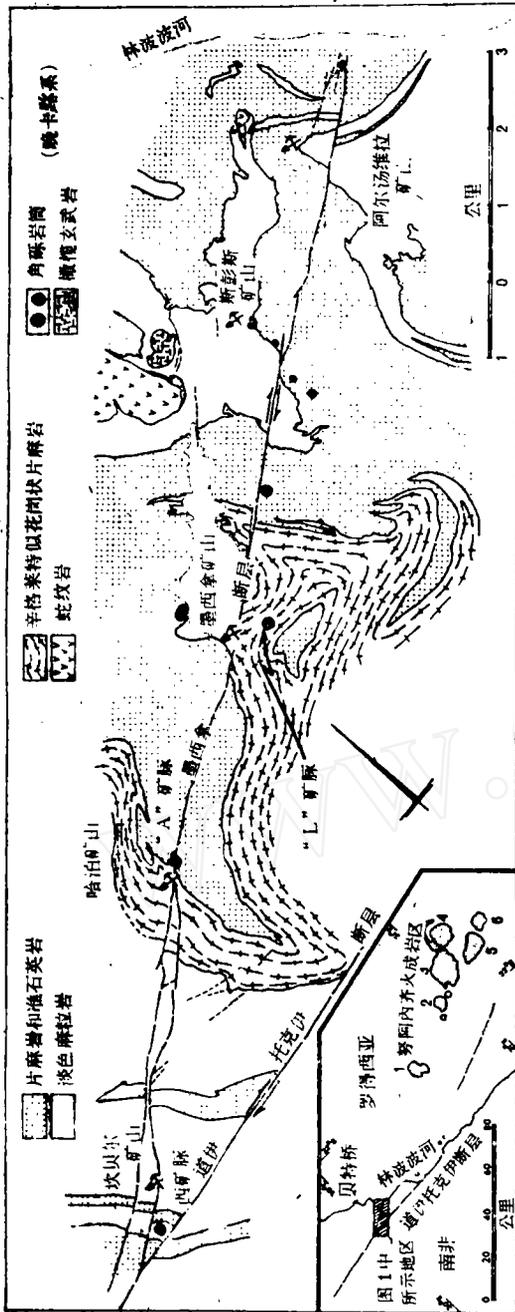


图1 墨西哥地区矿山地质图和努阿内齐火成岩区岩体关系图

小图中岩体的名称：1—莫朗古德杂岩体；2—马鲁姆比杂岩体；3—马特克山杂岩体；4—北环杂岩体；5—德姆比杂岩体；6—迪维拉杂岩体



图2 “L”矿脉(a)和西矿脉(b)角砾岩筒的三度构造图

碎块的大小变化和分布用图表示于图5。图中粗线条表明角砾岩筒的上部和边部小的碎块占优势，向中心和在深部碎块逐渐变大。

图6表示西矿脉的一个断面，用等值线表示出大于100平方厘米的碎块的分布情况。

在角砾岩筒深部，碎块较大，直径超过5米，被石英脉胶结。在“L”矿脉中它们偶而被含有直径10厘米以上的磨圆的碎块细角砾岩所胶结。角砾岩筒里面的大块，没有一定的方位，显然不是围岩中网状脉的一部分。

西矿脉角砾岩筒中拉长的碎块（在上面几个中段占优势），其倾斜方位示于图66；方位很紊乱，岩筒边部倾斜较陡）中心部分则趋近水平。在较深的几个中段里面，碎块变得近于等量纲的（即在各个方向长度近乎一样的）并形成块状角砾岩，最后形成粗角砾岩。一般，碎块是带棱角的，但在深部边缘带中被磨圆的碎片现在已为石英细脉所胶结，说明是受到磨擦作用或是被通过的流动液体化学交代（图7）。

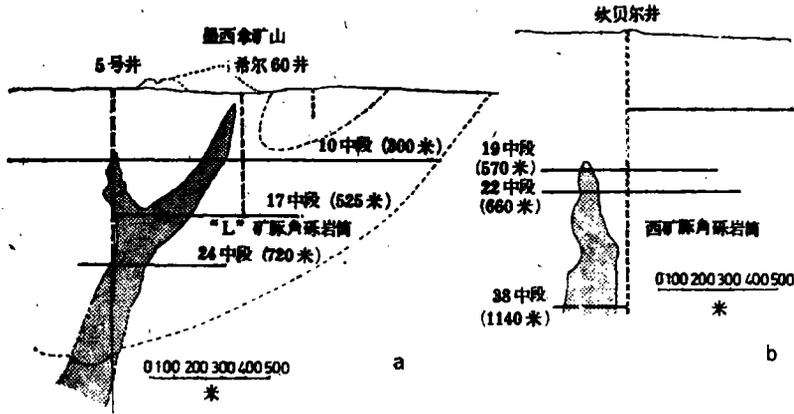


图8 通过墨西哥矿“L”矿脉(a)和通过坎贝尔矿西矿脉(b)的北东-南西透影图

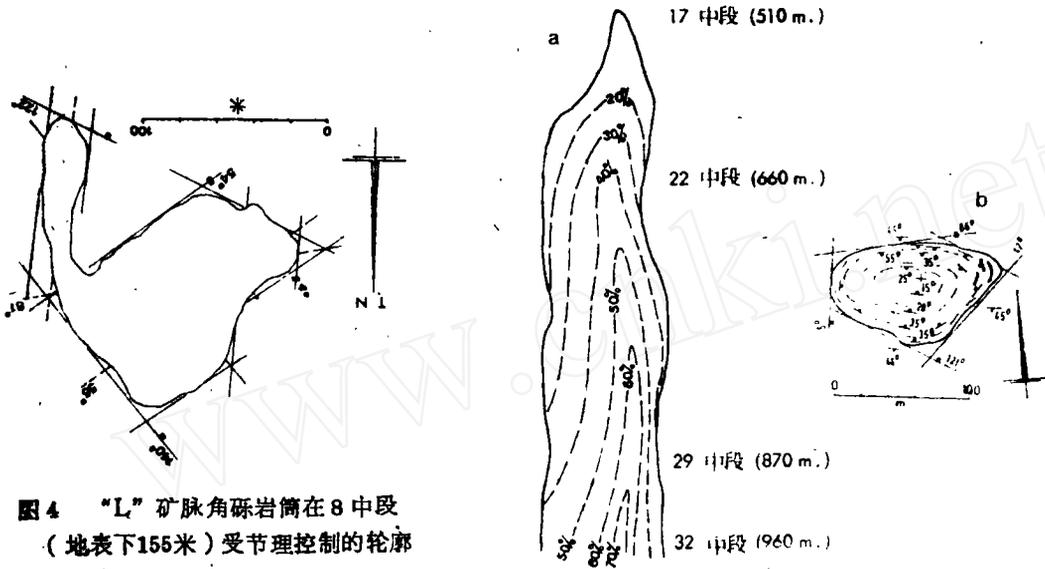


图4 “L”矿脉角砾岩筒在8中段(地表下155米)受节理控制的轮廓

图6 (a)西矿脉角砾岩筒在北东-南西方向的投影,等值线表示大于100厘米²的碎块分布的百分比。(b)西矿脉角砾岩筒在22(660米)中段的截面轮廓,表示出碎块的倾斜方位

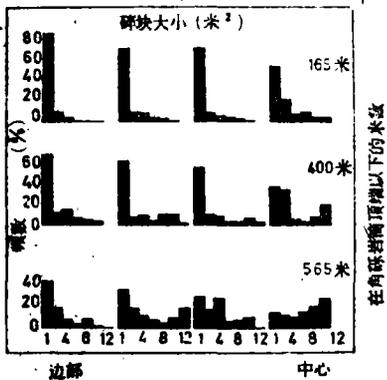


图5 坎贝尔西矿脉在22(660米)和32(960米)两个中段之间粉碎块大小分布的统计图



图7 坎贝尔西矿脉角砾岩筒34(1020米)中段边部磨圆的角砾岩碎块和石英基质

在“L”矿脉中，在其顶端以下1150米深处，围岩石英岩指示层的碎块产在围岩中石英岩接触带以下约30米处的角砾岩内。另外，西矿脉角砾岩筒中的两个指示层，离开它们原来在围岩中的位置，分别向下位移了2米和5米（原来的位置是在角砾岩筒顶端以下165米和400米处）。

围岩蚀变和矿物分带

“L”矿脉中的碎块和周围辛格莱特似花岗状片麻岩中的热液蚀变作用，显示出明显的矿物聚合分带现象。最外面的蚀变围岩带，是以斜长石和石英形成绢云母为其特征。在这个带里面，钠长石是石英、钙斜长石、条纹长石、微斜长石以及早期的绢云母的特征蚀变产物。最里面的带和角砾岩碎块含有黝帘石、石英和绿帘石，主要衍生于钠长石。绿帘石在300米标高以上为副矿物，但随着深度加大逐渐变为主要的蚀变矿物。

片麻状围岩的结构，除角砾岩碎块和最里面的黝帘石晕外，在热液蚀变带中得到保存，而石英-黝帘石交代作用已完全破坏片麻岩原来的叶理。绢云母带有退色现象，清晰的红色标志着钠长石的范围，同时有浅黄色圈定的黝帘石化蚀变带。这种化学变化顺序说明于图8。

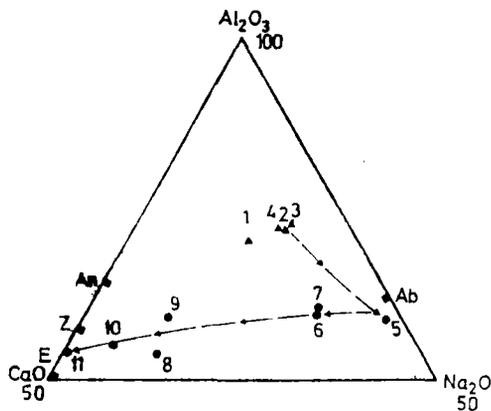


图8 “L”矿脉角砾岩和周围蚀变带的辛格莱特似花岗状片麻岩和同等的蚀变产物（如表1中所示，但不包括葡萄酒化的物质）

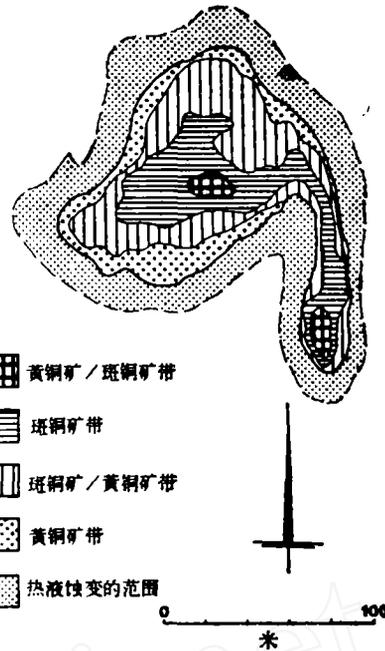


图9 墨西哥拿矿山“L”矿脉角砾岩筒在8中段硫化物分带

显微镜观察发现交代矿物钠长石、绢云母、绿帘石和黝帘石依次被年代晚的石英交代。熔蚀的黝帘石和绿帘石埋藏在细粒石英的底部，如果石英为粗粒的，则含有残余的黝帘石和绿帘石。某些黝帘石化的围岩和角砾岩碎块有较新的钠长石和石英纹理。

碎块之间的物质主要是自形的石英晶体和铜铁硫化物，还有少量深绿色绿泥石，绿帘石和镜铁矿。

特别是硫化物显示出一种明显的倒立状和同心状分布（图9）。在角砾岩顶端黄铁矿和辉钼矿（这在墨西哥是比较稀少的矿物）与黄铜矿共生。角砾岩筒中，在相继较深的中段，黄铜矿，依次还有斑铜矿，逐渐变为优势，在更深的中段则没有黄铜矿而有辉铜矿和镜铁矿发育。在辉铜矿带内溢长的石英晶体中见有自然铜。在最深中段的含矿角砾岩筒已没有经济意义，在这里见有绿泥石和镜铁矿。在充填的洞穴中还有些方解石和黝帘石产出。

西矿脉角砾岩筒的热液蚀变带的分布与

在“L”矿脉中所见到的类似，只是围岩中交代的钠长石不多，只在发育很好的绢云母和绿帘石/黝帘石带之间形成很窄的蚀变带。此外，角砾岩碎块之间基质的分带与“L”矿脉角砾岩筒所显示的分带稍有差别。黄铜矿和石英在角砾岩筒上面480米部分是主要的矿物组分，为量很少的副矿物辉钨矿只位于矿筒的顶部。钠长石和黄铜矿，还有少量斑铜矿、黝帘石和石英占据角砾岩筒顶端以下480到700米的这一段（700米是现在开采达到最深的一个中段）。

对比这两个角砾岩筒，发现在热液分带和共生次序方面都很相似。在角砾岩附近，围岩蚀变的横向范围随深度增大而增大，但在角砾岩筒顶端以上，不超过10米。岩石孔隙间充填，是以与碎块接触面成直角方向晶体生长发育开始的，说明有一明显的共生顺序：在角砾岩筒较深中段是黝帘石，其次是钠长石、石英和硫化物，在角砾岩筒上部分只有石英和硫化物。镜铁矿、绿泥石和少量黝帘石和方解石充填在其余的某些晶簇中。

讨 论

物理和化学控制因素

角砾岩筒的纵断面图示于图10，说明碎块的大小是向下和由边缘向中心逐渐增大；随着深度的加深、片状角砾岩变成块状、各方向线度相等的粗角砾岩；边缘带中细角砾岩碎片的方向杂乱。角砾岩筒中指示层有不大的位移，清楚地指出，由于碎片物质的滑动崩坍，体积最多增大了1~3%，这就排除了顶蚀崩坍通常是角砾岩筒形成的机理，因为按照这种机理对于一个压实的崩坍系统体积至少需要增大20%。

对形成角砾岩筒的深度所作的估计不确切。如果角砾岩筒与晚期卡路火成活动有关，那末似乎至少有1公里厚的岩石在角砾岩形成以后被侵蚀掉。在墨西哥矿山邻接的裂隙脉中所见到的葡萄石-石英-浊沸石广泛的蚀变，表明蚀变过程中温度的变化在200~

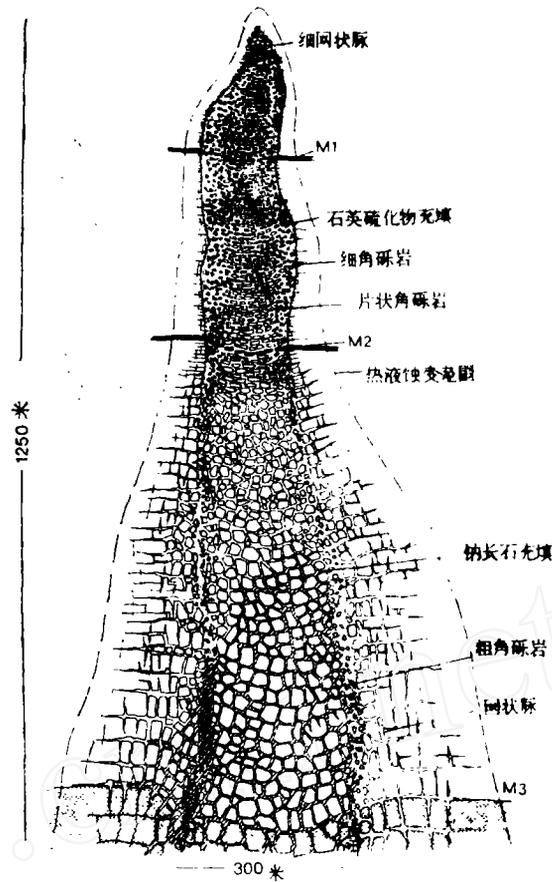


图10 墨西哥角砾岩示意图。M₁、M₂、M₃代表角砾岩筒在不同中段切过的指示层

280℃之间。每1公里深度的地热梯度在70~200℃之间，与意大利、新西兰和加那利群岛热液火山地区的地热梯度相似，这种地热梯度在葡萄石化时可以达到1~3公里的深度。在邻接的裂隙型矿带中葡萄石的发育，和在角砾岩筒晶洞中石英晶体的生长，同时有硫化物沉淀，似乎都是同时发生的，所以最后认为，角砾岩筒至少是在原来侵蚀面下1公里深处形成的。在显微镜下观察到有矿物的交代反应；石英、微斜长石、葡萄石、斜长石和绢云母为钠长石所交代，斜长石被绢云母交代，钠长石被黝帘石所交代，黝帘石被葡萄石交代。这些反应表明，有钠、铝和钙加入，而且钾和钙还发生重新分布。

这些反应的总的特征已由表1中辛格莱

表 1

	V												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	74.07	75.34	74.00	75.20	79.11	74.82	72.20	77.17	75.42	75.45	72.95	47.13	45.37
TiO ₂	0.45	0.29	0.44	0.19	0.07	0.43	0.16	0.26	0.27	0.24	0.19	0.21	0.34
Al ₂ O ₃	11.57	11.97	12.00	13.16	12.11	11.40	14.43	10.68	11.20	11.40	11.85	21.20	23.08
Fe ₂ O ₃	1.38		2.67		0.05	2.84	1.60	1.23	1.82	2.71	1.80	3.51	1.22
FeO	2.16	3.47	2.18	1.85	0.68	1.41		0.58	1.18	0.43	1.93	0.29	0.65
MnO	0.10	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04		0.02	0.26	0.05	0.05	0.04	0.04
MgO	0.30	0.04	0.14	0.25		0.53	0.48		0.59	0.38	0.12	0.58	0.31
CaO	2.25	1.51	1.13	1.59	0.49	1.99	2.36	6.87	5.85	8.08	10.07	22.54	23.66
Na ₂ O	2.54	3.09	3.15	3.29	7.52	5.68	7.34	2.65	2.07	1.44	0.17	0.48	0.80
K ₂ O	4.16	4.46	4.13	4.59	0.10	0.11	0.15	0.08	0.49	0.04	0.06	痕量	0.35
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.08	0.05	0.02		0.21	0.04	0.05	0.08	0.05	0.08	0.06
H ₂ O	0.22		0.82	0.52	0.33	0.86	0.69	0.79	1.47	0.63	0.93	3.28	4.51
总 计	99.24	100.26	100.79	100.72	100.48	100.12	100.09	100.37	100.68	99.93	100.17	99.30	100.39

1、2、3为辛格莱特花岗岩片麻岩；4为绢云母化辛格莱特花岗岩片麻岩；5、6、7为钠长石化辛格莱特花岗岩片麻岩；

8、9、10、11为黧布石化辛格莱特花岗岩片麻岩；12、13为黧布石化辛格莱特花岗岩片麻岩

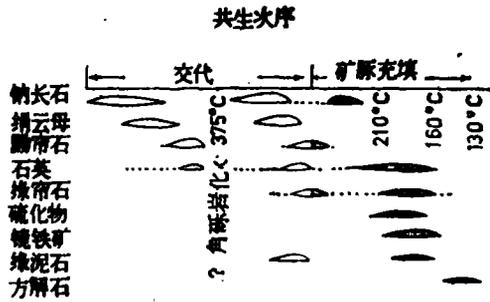


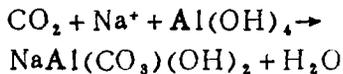
图11 矿化墨西哥角砾岩筒理想的共生次序图

特似花岗状片麻岩的分析结果和图 8 清楚地给予说明。表中 I、II、IV、V 等栏分别表示绢云母化、钠长石化、黝帘石化和葡萄石化等作用。

就这方面而言，由钠长石形成黝帘石最为重要，在于它生成了石英，同时还使其体积按单矿物晶胞体体积的大小减小了 25~30%。碎块之间的石英有许多由于蚀变作用可以原地生成。就这点讲，可以认为是一种化学的角砾岩化。大块石英形成主要是在黝帘石间隙里面。收缩产生的空间为矿液所充填，矿液是从角砾岩筒上来的，结果导致黝帘石、钠长石、石英和硫化物结晶。

“L”矿脉和西矿脉角砾岩筒的热液蚀变，与阿尔汤维拉矿山埃默累矿脉角砾岩筒的热液蚀变相似，作者认为形成埃默累矿脉的矿液富含钠和铝，而含氯化物较少，并且具有高的 pH 值。所以得出的看法是，产生蚀变的溶液一定是非常相似的，因为两个矿山均位于同一矿区。

在液包体中普遍地有丝钠铝石存在，这对矿液中存在有阴离子的铝酸盐离子是一个有力的证据。矿物可能是由于 CO₂ 气体和含 NaAlO₂ 溶液按下面的反应式生成的：



钠铝酸盐 + 水 → 丝钠铝石

此反应已被实验所证明：用碳酸氢钠 (NaHCO₃) 和氢氧化铝 (Al(OH)₃) 作原料，放在特氟隆封管中，加热到 200℃ 即可合成丝钠铝石。在室温下这两种材料是 CO₂ 和 NaAlO₂

溶液的等效物。

由于钠长石化失掉钠和铝，跟着将钙释放，进入溶液，使 pH 下降，而且溶液溶解的固态含量逐渐减小。钙后来固定成黝帘石。与埃默累矿脉不同，那里高价铁较多，使绿帘石代替黝帘石形成。

在西矿脉较低的几个中段，含丝钠铝石充填物的石英被钠长石代替，温度控制对这种丝钠铝石加石英生成钠长石、CO₂ 和水的反应可能有影响。

关于角砾岩筒的成因，洛克 (1926) 提出，是由于化学溶解作用 (起因于早期溶液的腐蚀作用) 移去岩石，造成塌陷形成的。按照这个定义，智利的筒状火成砾岩被认为是以后的岩浆液产生的塌陷的角砾岩，岩浆液在角砾岩筒顶部经过热液蚀变筒将岩石溶解并将它们移走。这些角砾岩向下有终端，在接触带有紧密节理。诺顿和卡思莱斯提出的“气泡”假说，是基于岩浆房上方岩石爆炸裂开，而且不稳定的顶棚继续崩塌落进气室。最后，佩里提出了震动岩浆论，认为岩浆脉动的时进时退使得在受限制的岩浆钟状体上方，偏向弱构造平面，发生局部破碎作用，并且他认为随着岩石负荷的减小，崩落逐渐减少，最后遇见强硬的顶棚岩石而停止崩落。

形成筒状火成砾岩的任何塌陷崩落机理都要求最少要增大体积 20%，所以角砾岩筒一定表现有指示层向下累进位移的现象。由于墨西哥的角砾岩筒塌陷现象很局限，在边部有微角砾岩化，另外碎块的大小随深度逐步增大，所以墨西哥的角砾岩筒没有大的累进位移。角砾岩筒顶部没有广泛的热液蚀变筒，排除了有通流溶液入口的看法。

以前研究墨西哥角砾岩筒的工作者曾提出了分歧很大的成因模式，都没有能够说明所观察到的全部特点。索恩吉是第一个研究“L”矿脉角砾岩的人，他认为角砾岩是在火山栓顶部经一系列气体爆炸生成的，但是他后来同意了佩里的理论。范格兰对“L”矿脉和西矿脉的角砾岩筒作了调查研究，他

得的结论是,爆炸和沉陷都不是主要的机理,因为见到的角砾岩筒中碎块移动差异很小。他同意含有金属的气体 and 液体上升到钟形体上方在围岩内引起化学反应和交代作用,并认为在到达地表以前崩陷停止,因为角砾岩筒内的蒸汽压沿与支裂缝和分支交代角砾岩泄放。

这些模式没有一个能说明现有的资料。任何新的模式都必须考虑下面的参数:角砾岩筒近乎圆形,其直径随深度一道增大;2.围绕角砾岩筒有一热液蚀变的外层,层间有矿化;3.角砾岩碎块的分布状态筒(图5和图6);4.在角砾岩筒边部,角砾岩碎块的取向普遍零乱,向角砾岩筒中心愈来愈规则,最后导致与角砾岩的平行层理和岩筒中心处碎块最大拉长方向一致;5.角砾岩碎块相对地讲有向内倾斜的习性,指示层有向下不大的位移;6.在岩筒顶部角砾岩碎块数目减少,而且网状脉向上终断;7.角砾岩有棱角,表明受磨蚀作用很小;8.外包的热液蚀变晕呈同心圆状;9.有反转的硫化物分带现象。

为解释以上特征,试提出下面的模式
1.热液蚀变的性质意味着有碱性岩浆伴生,或许反映从碱性岩浆钟状体射出的浓液,顺着压力梯度减小方向沿节理交叉。

2.因为这些液体与围岩不成平衡,它们受到要求液体与岩石之间有物质交换的反应所平衡,于是在液体向上流动时成分发生变化。

3.反应最后造成液体中溶解的组分发生耗损,在岩筒最高点上蒸汽压大大地增大,导致下面热液蚀变弱的岩石裂开。所见到的破碎作用说明爆聚只是一种一段事件。由于

岩筒中的液体不可压缩,向下位移不大,根据指示层位移计算的结果,可能与角砾岩筒中体积增大1~3%一致。

4.破裂以后,大量液体充填在碎块之间的洞穴里面,进一步发生反应,导致碎块周围的节理收缩,同时生成石英。上述第三条产生的以及由于形成黝帘石产生的实有开裂量可以造成所到观察的15~20%碎块间的充填物。

5.后来的反应导致pH降低,而且使液体改变到达这样的一点,在pH梯度下降时,硫化物和铜的离子具有不同的矿物形式。同时溶解的二氧化硅由于同样的pH降低结果变成过饱和。

在发生这些事件的过程中,温度梯度情况仍然不清楚。可是,液包体研究结果确定上述第5条中的温度为130~150℃。早期的交代事件只能暂时认为绢云母蚀变带的温度是在380℃。

如果在蚀变时, $P_{水} = P_{总}$,钙铝榴石+黝帘石+石英的共存表明在中心早期曾有一个温度高于400℃的事件,而在邻接的裂缝脉中,葡萄石、黝帘石、绿泥石和石英共生表明温度在280~340℃之间。这些温度说明在蚀变初期由中心向外温度梯度是逐渐减小的,而且在中心部分随温度下降蚀变是持续的,导致低温矿物组合广泛形成。

贝庚译自《Mineralium Deposita》

1976, Vol.11, P33~45

作者: J.B.E.雅各布森, T.S.

麦卡瑟