

经济地质

81 卷第三期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1986

(五月)

地质出版社

目 录

犹他州西南Pine Grove斑岩钼矿系统的喷出和侵入史.....	
..... Jeffrey D. Keith, Wayne C. Shanks III, Douglas A. Archibald和Edward Farrar (1)	
魁北克阿比梯比绿岩带Sigma矿山的太古代含金石英脉: 第一部分——脉系的地质关系和形成	
..... Francois Robert和Alex C. Brown (22)	
魁北克阿比梯比绿岩带Sigma矿山的太古代含金石英脉: 第二部分——脉体的矿物共生序列和热液蚀变.....	
..... Francois Robert和Alex C. Brown (34)	
加拿大西北部大熊岩浆带基律纳型矿床成因及其与中性次火山侵入体的关系	
..... Robert S. Hildebrand (54)	
巴布亚新几内亚Porgera金矿床	
..... A. W. Fleming, G. A. Handley, K. L. Williams, A. L. Hills和G. J. Corbett (70)	

犹他州西南Pine Grove斑岩 钼矿系统的喷出和侵入史

Jeffrey D. Keith, Wayne C. Shanks III, Douglas A. Archibald 和
Edward Farrar

摘 要

犹他州西南Wah Wah山脉Pine Grove斑岩钼矿床产在早中新世火山灰流(23—22Ma)的已被侵蚀的火山口中。此火山口位于掀斜的盆岭断块中,已被侵蚀到喷前地面以下大约1.7km处,因此,有关灰流凝灰岩的最近露头距火山口有10km之远。由于在喷出岩单元和侵入岩单元中具有独特成分的副矿物铁钼榴石-钼钼榴石,故将同源岩浆的灰流凝灰岩和侵入斑岩进行对比就有可能了。

有几个证据表明存在规模大致为100km³的母岩浆房及由流纹岩到英安岩的成分分带现象。每一喷发幕由氧化硅含量高的流纹岩岩浆开始,此种岩浆含有石英、透长石、斜长石、黑云母、石榴石、钛磁铁矿、独居石、磷钇矿、铌铁金红石(?)和锆石。大概随着岩浆继续迅速喷发及在母岩浆房中向更深处下降,一些灰流喷发幕还喷出英安岩岩浆,此种岩浆含有石英、斜长石、透长石、黑云母、角闪石、普通灰石、钛磁铁矿、钛铁矿、榍石、磷灰石和锆石。

与矿有关的主要侵入体是在紧接流纹岩岩浆和英安岩岩浆同时侵入火山口之后侵位的。粗面安山岩岩浆多次贯入于岩浆房底部,这可能开始对流或岩浆破裂、英安岩岩浆涌出和挥发份离溶,其结果首先是灰流喷发,其后进入成矿期。因此,把喷发机制同岩浆房容积、岩浆房几何形状的不平常地结合起来,就可以在喷发时对岩浆房的可能是全部成分范围内进行取样,但阻止流纹岩岩浆完全损失。岩浆作用例如晚期对流、岩浆破裂和挥发份离溶在斑岩钼矿成矿作用的发展中可能至关重要。

引 言

虽然斑岩钼矿和斑岩铜矿常称为次火山矿床,但将有关联的火山岩和侵入岩进行对比和解释的研究工作却做得很少。灰流凝灰岩的研究提供了有关下面岩浆房的深度、直径、容积、挥发份含量和成分梯度等的资料。关于这些岩浆参数的资料对斑岩矿床的岩石成因解释具有很大的价值,因为岩浆作用显然在矿化事件中起着重要作用。

对次火山斑岩矿床的喷出产物未能进行很好研究的主要原因或许是它产在强烈侵蚀的火山地区,在这里要想把同源岩浆喷出岩单元与含矿侵入岩单元进行可靠的对比是很困难的,甚至是不可能的。具有可证明是同源灰流凝灰岩的斑岩钼矿床则是犹他州西南的Pine Grove系统(图1, Keith, 1979, 1980)。Pine Grove矿床一般定为Climax型斑岩钼矿系统(Sillitoe, 1980; Mutschler et al., 1981; Westra and Keith 1981; White et al., 1981; 一些作者表示有保留意见),但是Pine Grove的矿化和蚀变的较详细的研究尚未发表。把Pine Grove矿床的一些特征同Climax相比证明是正确的,这些特征包括:(1)高硅量流纹岩

多次矿化侵入;(2)高品位矿石的吨数巨大(0.3% MoS₂接近12,500万吨; Sillitoe, 1980);(3)矿带中含有萤石、黄玉和大量的钨锰矿;(4)没有明显的铜矿化;(5)含有作为副矿物的独居石、磷钇矿和铌铁金红石;(6)在由挤压构造体制向张性构造体制转变时形成矿床;(7)矿化型式和蚀变组合的其他许多类似之处。因此,本文的目的是建立Climax型斑岩钼矿系统(即Pine Grove)的侵入岩-喷出岩年代学和岩石学以便更好地了解岩浆房、岩浆特性和喷出机制。其中最为重要的是在矿化之前影响金属和挥发份转移到岩浆房顶部的岩浆条件或作用。以后的文章将研究岩浆演化和矿化的矿物化学和全岩成分方面(Keith and Shanks, 在印刷中; Keith et al., 在准备中)。

Pine G 南部,
有关的凝灰 。Pine
Grove侵入岩 的一部分
此冲掩岩片由寒武纪和前寒武纪的石英岩和页岩组成。由于上冲作用后的长期侵蚀的结果,100该地区在渐新世火山作用之前通常只有不到米的地形起伏

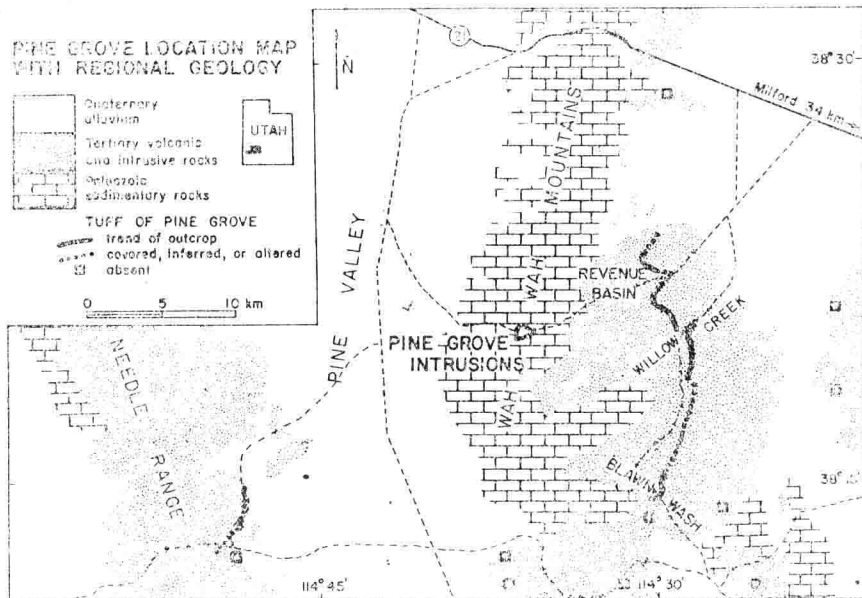


图 1 Pine Grove位置和区域地质图。Wah Wah山脉是向东倾斜的断块，其西以盆-岭正断层为界。Pine Grove凝灰岩的许多露头顺着 Pine Grove 火山口东侧10—14km的范围分布

表 1 K-Ar年龄

岩石单元	样品号	被分析的样品	位置		%K	$^{40}\text{Ar} \times 10^{-6}$ ($\text{cm}^3\text{STP/g}$)	% ^{40}Ar 大气	表观年龄 $\pm 2\sigma$ (百万年)
			北纬	西经				
LOW流纹岩	D-49	WR	38°14'57"	113°36'00"	3.684	2.750	22.78	19.11 \pm 0.24
粗面安山岩	D-164	WR	38°14'57"	113°30'25"	2.163	1.713	12.98	20.26 \pm 0.40
穹丘砾石层	D-69 ¹	WR	38°14'58"	113°30'25"	4.341	3.695	16.33	21.77 \pm 0.26
穹丘砾石层	D-86 ²	WR	38°14'58"	113°30'25"	4.379	3.883	11.26	22.67 \pm 0.30
粉红单元	D-1	Ksp	38°22'49"	113°30'27"	8.842	7.923	1.60	22.91 \pm 0.28
第五相	D-139	WR	38°20'08" ³	113°16'17"	5.865	5.516	21.98	24.04 \pm 0.34

¹ 此样品的结构和矿物成分表明来源于Pine Grove斑岩。

² 此样品的结构和矿物成分表明来源于烟晶斑岩。

³ DDH-PG-31井口位置；样品采自6,185'—6,200'的深处。

注：WR = 全岩，-60 + 80网目Ksp = 钾长石。所用常数： $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$, $\lambda_{\beta} = 4.952 \times 10^{-10} \text{年}^{-1}$, $40\text{k}/\text{k} = 1.167 \times 10^{-4}$ (Steiger and Jager, 1977)。

(Best and Keith, 1983), Wah Wah山脉的南部位于第三纪火山岩、浅成侵入体、航磁高点和矿床的东西地带内 (Shawe and Stewart, 1976; Rowley et al., 1978)。

Wah Wah山脉南部和Needle山脉的渐新世火山作用的特点是具有大量的英安岩质灰流凝灰岩，还伴生有少量的安山岩质熔岩流。相反，23—18Ma前的中新世岩浆作用的成分主要是双数目的，它形成少量流纹岩质灰流凝灰岩、流纹岩岩丘、北东向岩墙及广泛分布的粗面安山岩质熔岩流 (Keith, 1980; Christensen et al., 1983; Bost et al., 在印刷中)。这种中新世早期火山作用的产物已被定名为Blawn组 (Best

et al., 在印刷中)，它一部分由钙碱性流纹岩和含黄玉流纹岩组成 (Keith et al., 在准备中)。本文报道的Pine Grove喷出岩和侵入岩的近新K-Ar年龄表明Pine Grove系统是在23—22Ma前钙碱性二元火山作用时期形成的 (表1)。

北东向块断运动早在22Ma以前就在Wah Wah山脉南部开始，但它对伴生有Pine Grove系统 (23—22Ma) 的火山岩地区影响甚微，此火山岩总是与下伏的渐新世单元整合。然而，到18Ma前，Wah Wah山脉黄玉流纹岩岩流喷到渐新世灰流凝灰岩明显掀斜而被侵蚀的部位上面 (Best et al., 在印刷中)。渐新世灰流凝灰岩突出于Wah Wah山脉南面断块的西部，

表明 Pine Grove 火山口已被侵蚀到喷发前地下 1.7 ± 0.3 km处。

方 法

本文提供的 Pine Grove 侵入岩的岩石分类是对 1000 个以上的薄片进行鉴定得出的。而这些薄片则是从 30km 以上的用金刚石钻机采集的岩心中选取的。所有供利用的岩心记录都审查过，岩心的重要剖面也都考查过。Pine Grove 的地面露头也被检查过，并取了样。对相当于 Pine Grove 侵入中心的喷出中心，从 1977 年到 1981 年每年夏季都要用几周时间进行野外研究。所有有火山岩重要露头的地点都作了观察。火山斑岩和侵入斑岩共计 135 个地表样品都用薄片进行了鉴定。全部岩石单元中斑晶实际矿物分析都用双筒偏光显微镜和 $1/3 \times 1/3$ mm 网格自动计点器作过。全部样品中实际矿物百分数及斑岩样品基质中长石、石英晶体的大小都作了鉴定或作过测量。

Pine Grove 岩石名称主要按照国际地科联分类系统 (Strekeisen, 1979) 根据斑晶实际矿物分析定的，化学分析用来鉴定粗面安山岩 (Le Maitre, 1976) 和高硅 (77—75% SiO_2) 流纹岩。由于始终如一的细粒基质，并且为了简化同源岩浆的喷出岩和侵入岩的对照讨论，火山岩名称也用来表示浅成侵入岩。

在 Pine Grove，也如在许多地方性矿区一样，对那些不符合正式北美地层规范要求的不同侵入岩和喷出岩也出现了地方性术语。这种非正式术语在地方上使用根深蒂固，必须予保留，以避免混淆。本文在非正式意义上将继续使用这些地方性名称。然而，必须记住，它们是岩石单元，而不是描述性名词。它们在首次出现时加上引号。正式地层名称按照规范建议开头用大写字母书写。

矿物分析采用配备有三个自动波长色散谱仪和六个单色仪的电子探针进行。使用各种硅酸盐矿物和金属标准进行半经验校正。

在可烘烤的不锈钢超高真空系统中利用电阻加热的钨坩埚进行氩的提取。在经过改进的 A. E. I. MS-10 质谱计上静态操作，用高纯度 ^{38}Ar 作同位素稀释剂来测定放射性氩。使用 X 射线荧光熔球方法用 0.4g 试样测量钾的浓度。采用经过 Steiger 和 Jäger (1977) 修订的常数计算或重新计算 K-Ar 年龄，标出的误差代表分析精度为 95% 置信度。

结 果

喷出岩和侵入岩的对比

由于许多小岩墙和岩株可能恰好同类似成分和实际矿物的岩流和凝灰岩的层序同时存在，故在发生断裂的和已被侵蚀的火山岩地区，要把浅成侵入岩墙或岩栓同可能与它的相当的喷出凝灰岩或熔岩流进行对比是很困难的。要证明喷出-侵入岩对为同源岩浆成因则要求有明确地由母岩浆房形成的特殊的矿物学特征。

尽管 Pine Grove 侵入岩已侵蚀到早中新世古地面以下大约 1.7km 处 (图 2 和 3)，但由于所有流纹岩质侵入岩单元和喷出岩单元含有独特成分的副矿物石榴石，故将侵入岩与灰流凝灰岩进行对比还是可能的 (Keith, 1980)。灰流和侵入岩单元中石榴石的探针分析表明这两种岩石单元都是含有具相同成分的富钇铁铝石榴石-锰铝石榴石 (表 2)。加之，这两种岩石单元中石榴石内的包裹体都是具相同成分的钛磁铁矿颗粒。而在石榴石和钛磁铁矿内包裹的还有含 U-Th 独居石、锆石和磷钇矿的小晶体。这种相同成分的矿物连续被包裹的层序是灰流凝灰岩单元和 Pine Grove 侵入岩属同源岩浆成因的真实凭据。侵入岩单元和喷出岩单元中其他矿物的探针分析及全岩主要元素和微量元素分析还证明这种对比是有根据的 (Keith, 1982)。此外，流纹岩质喷出岩的分布、厚度和年龄与在 Pine Grove 喷出的可相比拟 (图 1, 2)。

火山层序

与 Pine Grove 岩浆房有关的凝灰岩已非正式地总合称为 Pine Grove 凝灰岩 (Keith, 1980, 1982)，它在地层层序中包括尘雨单元、底部单元、粉红单元和上部单元。这些单元将同有关的砾岩 (穹丘砾石层) 单元一起在下面予以叙述。Best 等人 (在印刷中) 提出把这些单元总称为 Blawn 组含石榴石凝灰岩段。

“尘雨单元” (Tbpa): Pine Grove 系统最初喷发物堆积厚度达 4m，它由分选差的未熔结的火山灰、晶屑、浮岩和岩屑组成，在火山口东 10km 处出露。这个单元非正式地称作 Pine Grove 凝灰岩中的尘雨凝灰岩，它可能由普林尼式喷发柱形成，它散布的火山灰面积比图 1 推测的灰流凝灰岩大得多。虽然在喷发时整个区域的地形起伏仅为数十米，但尘雨凝灰岩主要堆积在低洼地区的薄的河成砾石和砾岩上面。尘雨单元中渐新世火山岩的岩屑直径达 50cm，通常比晚期灰流单元中的岩屑粗大。

尘雨单元中的斑晶主要为石英、透长石和斜长石，它们大约占无气孔体积的 32% (表 3)。还有少量或微量的黑云母、石榴石、钛磁铁矿、锆石、独居石、磷钇矿，可能还有铈铁金红石 (以上矿物按丰度减少为

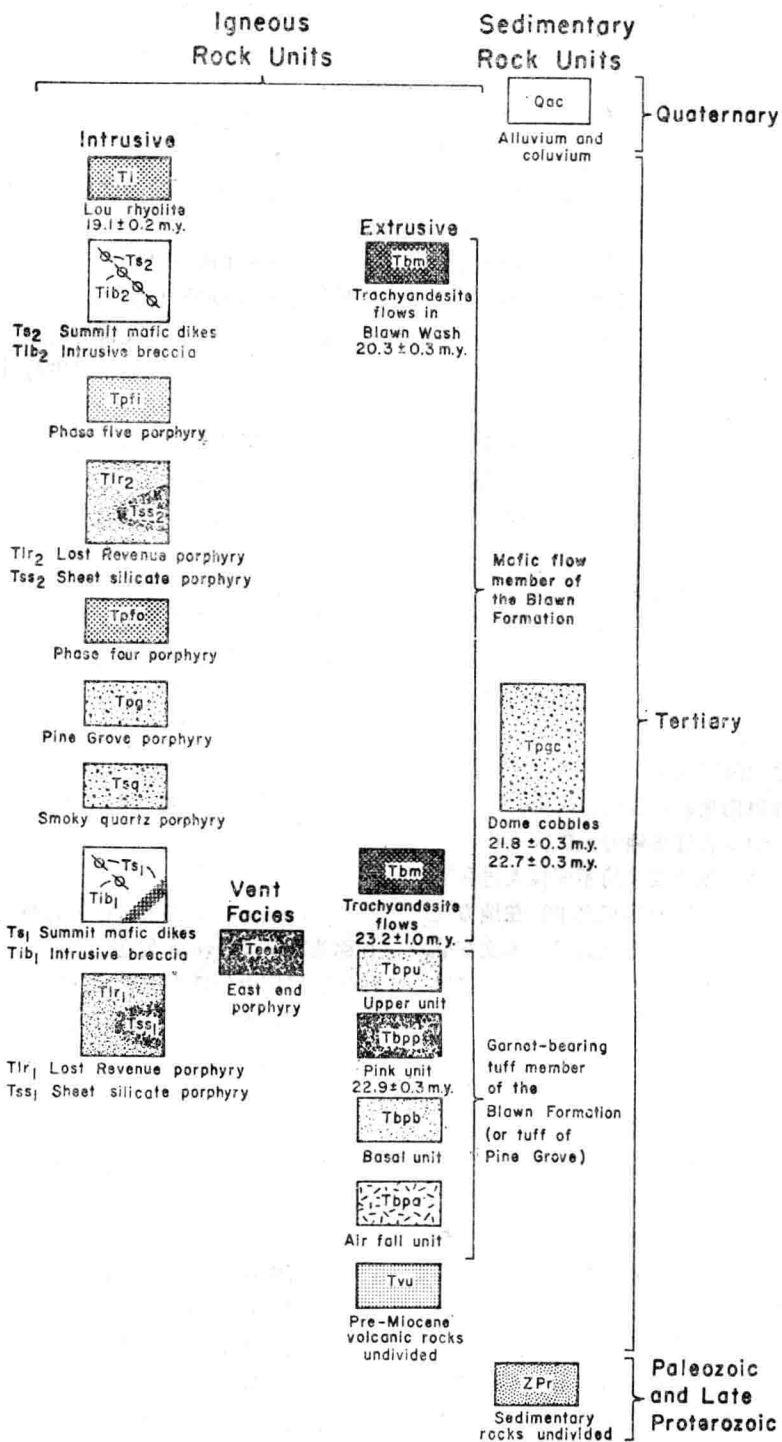


图 2 Pine Grove 岩石单位的对比。这些岩石单元划分为侵入岩、火山口相、喷出岩和沉积岩等 地层柱。Pine Grove 凝灰岩正式定名为 Blawn 组合石榴石凝灰岩段 (Best et al., 在印刷中)。粗面安山岩 熔岩流构成 Blawn 组镁铁质岩流段

A. SCHEMATIC PINE GROVE VENT

B. SCHEMATIC STRATIGRAPHIC SECTIONS NEAR:

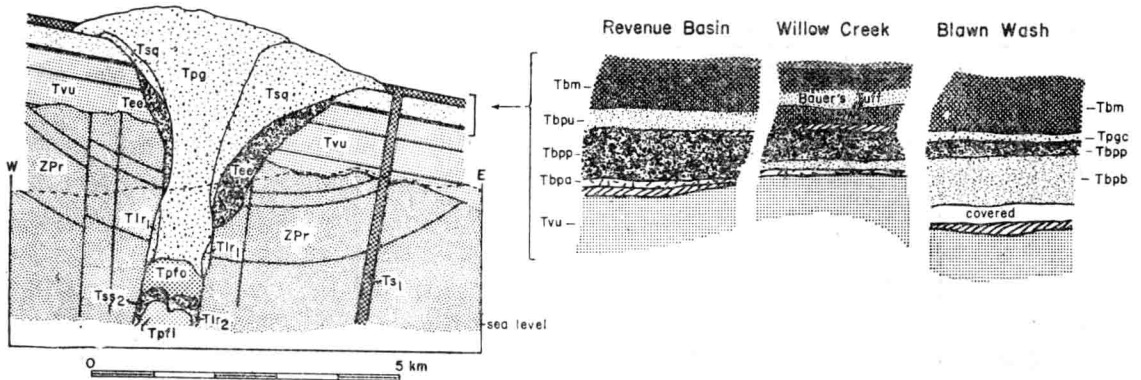


图 3 Pine Grove 火山口和喷出岩单元东西向示意剖面。A. 喷出、侵入、矿化和构造作用之后的火山口重建图。虚线为现时的侵蚀面。第三纪火山岩的厚度和倾向由东面几公里的露头外推得出。水平比例和垂直比例相同。少数成矿后流纹岩和镁铁质岩墙来绘出。B. 喷出岩和沉积岩的地层示意剖面(未按比例尺绘制)。岩石符号和岩石单元年龄的说明见图2。地层剖面中的火山碎屑岩和透镜体以带斜线的薄层表示

表 2 石榴石的探针分析

岩石单元	尘雨	上部	东端斑岩	Pine Grove 斑岩	Pine Grove 斑岩	Pine Grove 斑岩
样品号	19	12	45	141	141 ²	141 ²
SiO ₂	36.22	36.35	36.46	36.32	35.57	35.93
Al ₂ O ₃	19.74	20.09	20.04	19.99	20.61	20.48
Y ₂ O ₃	0.58	0.63	0.51	0.67	0.05	0.08
FeO	27.46	27.40	26.92	26.76	20.65	22.29
MnO	14.04	14.32	14.23	14.52	21.87	20.23
MgO	0.21	0.19	0.21	0.16	0.00	0.00
CaO	1.77	1.54	1.60	1.51	0.54	0.56
Na ₂ O	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
总计	100.02	100.56	99.98	99.94	99.17	99.47
以24个氧为基础的离子数						
Si	6.001	5.986	6.020	6.010	5.929	5.967
Al(4)		0.014			0.071	0.033
Al(6)	3.855	3.885	3.900	3.898	3.978	3.975
Y	0.051	0.055	0.045	0.059	0.004	0.007
Fe ⁺²	3.805	3.774	3.716	3.703	2.878	3.095
Mn	1.970	1.997	0.990	2.035	3.086	2.845
Mg	0.052	0.047	0.052	0.039	0.000	0.000
Ca	0.314	0.272	0.283	0.268	0.097	0.100
Na	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
铁铝榴石	61.5	61.4	61.1	60.7	47.5	51.2
锰铝榴石	32.6	33.4	33.4	34.3	50.9	47.2
镁铝榴石	0.8	0.8	0.9	0.6		
钙铝榴石	5.1	4.4	4.7	4.4	1.6	1.5

¹ 副矿物石榴石还含有接近0.08%ZnO和0.03%TiO₂ (十次分析的平均值)

² 气相石榴石

表 3 实际矿物计点数分析①

岩石单元	尘 雨	底 部	粉 红	上 部	东 端
石英	8.8	8.9	6.2	7.3	14.5
钾长石	4.7	7.9	4.9	7.2	11.4
斜长石	5.5	7.6	8.5	7.5	12.6
黑云母	0.3	0.6	0.6	0.3	0.5
角闪石			0.4	tr	0.1
石榴石	0.3	0.2	tr	tr	0.2
榍石		tr	tr	tr	
基质	80.4	75.0	79.5	77.6	60.8
样品号	3	3	2	3	3
计点数	11,547	10,589	6,936	11,127	10,151
比 重	1.6	2.1	1.6	1.5	2.6
凝灰岩比重 计算为2.6					
石英	14.3	11.0	10.0	12.7	14.5
钾长石	7.7	9.7	8.0	12.5	11.4
斜长石	9.0	9.4	13.8	13.0	12.6
黑云母	0.5	0.7	1.0	0.6	0.5
角闪石			0.7	tr	0.1
石榴石	0.5	0.2	tr	tr	0.2
榍石		tr	tr	tr	
基质	68.0	69.0	66.6	61.1	60.7

单元	烟晶斑岩	穹丘砾石层	Pine Grove 斑岩	第四相斑岩	第五相斑岩	Lost Revenue 斑 岩	层状硅酸盐 斑 岩
石英	8.2	6.5	9.7	8.3	12.1	12.4	7.9
钾长石	9.4	10.0	10.3	13.2	13.5	13.1	2.2
斜长石	7.5	7.0	6.8	8.7	3.1	4.9	25.7
黑云母	0.6	0.6	0.3	0.1	0.2	0.2	6.6
角闪石							tr
石榴石	tr	0.1	tr	tr	tr	tr	
榍石							tr
基质	74.5	75.4	72.9	69.7	71.2	69.4	57.6
样品号	5	5	5	5	2	3	2
计点数	19,624	19,152	19,529	19,762	5,907	10,053	6,671

① 所有数值为体积百分数
Tr = 痕量

序)。由于喷发时玻质碎片优先丢失、晶体保留及尘雨凝灰岩侵入,表3所列的斑晶百分数比原始岩浆值高。

“底部单元”(Tbpb): 由于岩浆中挥发份含量减少和火山口加宽,喷发速度降低,所以普林尼式柱消失了,形成了灰流凝灰岩(Wilson et al., 1980)。在Pine Grove东南14km Blawn Wash附近沿着Wah Wah山脉的东侧,巨厚的灰流凝灰岩产生在巨厚的河成火山碎屑沉积物上面(图1),这表明灰流喷发物上可能形成古河谷水道了。此地Pine Grove凝灰岩的下部轻微熔结至非熔结,白色至很淡的粉红色,厚度接

近150m。底部灰流凝灰岩同最初的尘雨凝灰岩极为相似,可能是侵位的首批凸出部分之一。具有这种成分和外观的Pine Grove凝灰岩非正式地称为底部单元。

底部单元中的矿物除含有微量的榍石外,其他与尘雨单元中的相同。本单元含有31%晶体,由近于等量的石英、透长石和斜长石组成(表1)。黑云母的数量明显地比石榴石多,但是黑云母和石榴石合在一起在实际矿物中不到10%。Needles Range群富晶体凝灰岩(Best and Grant, 在印刷中)、千枚页岩、石英岩和石灰岩等的岩屑约占1%(按体积)。就成分而

言, 底部单元和尘雨单元都是高硅质流纹岩 (Keith, 1982)。

“粉红单元” (*Tbfp*): 定名为粉红单元的是 Pine Grove 凝灰岩中含量最多、分布最广泛的单元, 其基质呈淡粉红色至橙色, 具有白色浮岩火山砾。直径 1—2cm。岩屑与底部单元中的岩屑相同, 但其数量由不到 1% 至局部地方的 5%。本单元的最重要的特征是含有少量的共同喷发的英安岩质浮岩和岩屑, 它们与早期单元的典型的流纹岩质组分混杂在一起。凝灰岩中的英安岩质组分很少形成浮岩火山砾, 但通常呈玻璃质英安岩的小岩屑 (<1cm) 产出, 岩屑富于角闪石、黑云母和斜长石。英安岩岩屑不具有条纹斑杂结构 (另外可说明是捕虏来的), 但偶尔见有气孔和球粒。英安岩岩屑不是在喷发时合并来的捕虏体物质; 无论是碎屑的矿物化学 (Keith, 1982), 还是它的结构都与曾经当作捕虏体来源的渐新世英安岩质灰流凝灰岩不一致。何况, 类似的英安岩岩屑 (或由此岩屑中解体的矿物) 在早期凝灰岩单元中不存在, 而早期凝灰岩单元确实含有较老英安岩质灰流凝灰岩的捕虏体。英安岩岩屑在粉红单元的均匀分布进一步证实它们是在喷发时而不是晚期再沉积中合并来的。条带状或混杂的流纹岩-英安岩质浮岩火山砾还未被认出或发现, 这可能是由于浮岩火山砾太小之故 (1—2cm)。英安岩和流纹岩为同源岩浆成因的最有说服力的证据是将凝灰岩中英安岩岩屑的矿物成分与晚期在火山口侵位的英安斑岩 (层状硅酸盐斑岩) 进行对比的资料 (Keith, 1982)。本单元单个英安岩屑的岩相分析、实际矿物分析和化学分析还未做过。与 Pine Grove 凝灰岩所有其他单元不同, 粉红单元中的白色流纹岩质浮岩火山砾之间的火山灰微呈暗色 (粉红至橙色)。不清楚的是: 这种暗色是由于喷发时氧化作用增加、灰流温度高 (因合并了英安岩) 造成的, 还是由于火山灰镁铁质成分较多的缘故。然而, 对粉红单元的矿物进行分离和探针分析表明: 英安岩矿物群体在火山灰和在玻璃质碎屑中都有产出。

粗面安山岩质 (?) 火山渣和粗面安山岩质熔岩碎屑的直径小于 1cm, 它们只在粉红单元少数露头上出现。在粗面安山岩质熔岩碎屑和火山渣中发现的仅有的矿物是单斜辉石和斜长石。总的说来, 粉红单元中含有粗面安山岩碎屑最多的 (1—2%) 露头, 其英安岩矿物和碎屑的比例也最高。单个粗面安山岩碎屑没有做过化学分析以验证由其名称得知的 K_2O 含量偏高的情况。然而, 镁铁质熔岩 (与合并到凝灰岩中的碎屑相似) 在 Pine Grove 凝灰岩之后立即喷出, 它是粗面安山岩质 (Keith, 1982)。

粉红单元的矿物成分明显地反映出凝灰岩中流纹岩-英安岩 (和较少的粗面安山岩) 混合物的岩石学方面的证据。除尘雨单元和底部单元的矿物外, 粉红单元还含有少量的角闪石、普通辉石、磷灰石和钛铁矿。粉红单元含有按体积 (无气孔) 计为 33% 的晶体, 主要由斜长石组成, 还有少量的石英和透长石。半定量矿物分离表明: 黑云母含量较高, 石榴石含量与较早单元相比偏低。本单元中镁铁成分的总量比尘雨单元高一个数量级。尽管如此, 本单元在化学成分和实际矿物成分上仍然是流纹岩 (Keith, 1982)。与流纹岩组分 (如石榴石) 有关的实际矿物的减少看来与颜色逐渐变暗以及与白色浮岩火山砾数量减少有关联。含有大量安山岩碎屑 (1—2%) 的粉红单元样品几乎不含有石榴石。灰流单元的资料和层序表明, 在流纹岩最初喷发之后 (形成尘雨单元和底部单元), 流纹岩、英安岩及可能还有粗面安山岩共同喷发, 形成粉红单元。类似的灰流层序在别的地方, 例如在万烟谷 1912 年喷发中曾经发现过, 在这里, 最初喷发高硅流纹岩, 随后喷发流纹岩、英安岩和安山岩的混合物 (Hildreth, 1983)。粗面安山岩质火山渣是在喷发时由 Pine Grove 火山口喷出, 还是在粉红单元喷发结束时由附近火山口同时喷出, 现时不能肯定。Pine Grove 东-东南 2km 处已蚀变的小型粗面安山岩 (?) 侵入体 (丘顶镁铁质岩墙) 在这时或以后可能供应喷发 (图 4)。来自 Revenue 盆地粉红单元的一个样品 (D-1) 中的透长石, 其 K-Ar 年龄为 22.9 ± 0.3 Ma (表 1)。在 Revenue 盆地, 粉红单元的上面为上部单元 (将在后面叙述) 和粗面安山岩流超覆, 后者的 K-Ar 全岩年龄为 23.2 ± 1.0 Ma (Best et al., 在印刷中)。粉红单元和粗面安山岩流的 K-Ar 年龄与地层关系有点不一致, 但它正好在放射性年龄的分析误差之内。在 Revenue 盆地 Pine Grove 凝灰岩 (上部单元) 与粗面安山岩岩流之间没有发现插入沉积物的迹象 (甚至没有 1cm 的火山碎屑砂) (图 3); 因此, 各单元侵位之间的时间间隔容许在几小时或几天之内。在尘雨单元、底部单元和粉红单元之间没有发现有喷发中断的迹象。

一部分与主要为流纹岩质灰流一同喷发的粗面安山岩岩浆、英安岩质岩浆为什么呈玻璃质碎屑而不呈浮岩和火山渣喷发, 这还不十分清楚。部分回答是: 粉红单元主要由流纹岩质岩浆形成, 此种流纹岩质岩浆的温度要比在别处合并到灰流中而形成流纹岩-英安岩或流纹岩-安山岩的条带状浮岩的流纹岩质岩浆 (例如万烟谷灰流单元的流纹岩为 805° — 850° C; Hildreth, 1983) 低得多 (675° C; Keith, 1982)。因此, 在喷发时少量富晶体英安岩岩浆、粗面安山岩岩

浆与流纹岩岩浆混合可能淬冷镁铁质组分，而不是在形成气泡之前混合这些岩浆。

“上部单元”(T_{bp})：Revenue盆地东边Pine Grove凝灰岩露头(图3)局部为含石榴石凝灰岩，它呈浅色，不熔结，超覆在粉红单元之上。这里定为上部单元的浅色凝灰岩与粉红单元之间的接触通常仅由颜色轻微变化而显示出来，很少有不连续的迹象。然而，有一产地在这个两个单元之间发现了13cm火山碎屑砂。上部单元中浮岩火山砾呈米色至浅橙色，直径为1—15cm。浅紫色火山灰基质含有与粉红单元中相同种类的岩屑，不过，未发现安山岩火山渣或碎屑，英安岩碎屑也少见。

上部单元中的矿物除镁铁矿物总量甚低外，与粉红单元相同。本单元中角闪石具有凹凸不平的柱体顶端，这可能表明与熔体不平衡。石英、斜长石和透长石的比例接近相等以及镁铁质含量低，都说明本单元与底部单元有点相似。然而，这种凝灰岩显然是一个独立的岩流单元。

“穹丘砾石层”(T_{pgc})：在Wah Wah山脉东例少数地方的Pine Grove凝灰岩的上面有1m或1m以下的火山碎屑砾岩(图3)。最常见的碎屑是由Pine Grove凝灰岩产生的岩屑。然而，在Blawn Wash附近，此种砾岩还有含石榴石流纹斑岩的碎屑。斑岩碎屑的直径可达40cm，占砾岩5%以下。直径大于10cm的含石榴石斑岩的砾石甚为常见，而由Pine Grove凝灰岩产生的捕虏碎屑，其直径通常小于5cm。

在这种砾岩的所有流纹斑岩砾石中都见到含有钛磁铁矿、独居石、锆石和碳铁矿包裹体的自形副矿物石榴石。此种石榴石的成分与Pine Grove凝灰岩和Pine Grove侵入岩单元的石榴石相同。在少数样品中，见到第二世代石榴石与基质的石英、长石晶体共生(图5)。晚期世代的石榴石与早期结晶的副矿物石榴石相比贫于Y，而富于Mn(表2)。具有晚期基质石榴石的样品通常在基质中含有黑云母显微斑晶。流纹斑岩砾石的其他样品散布在基质中的是Fe-Ti氧化物，而不是石榴石和黑云母。Pine Grove斑岩是含有晚期石榴石的仅有的侵入岩单元(图4)，这两个不同的基质矿物成分或含有Fe-Ti氧化物，或含有黑云母和贫钽石榴石。其他砾石则具有烟晶斑晶。

根据这种对比，流纹斑岩砾石被认为是由喷出穹丘受到侵蚀而产生的砾石，此喷出穹丘可能由灰流喷发停止后在火山口上面形成的Pine Grove斑岩和烟晶斑岩构成的。除了Pine Grove斑岩和烟晶斑岩中的斑晶石英比砾石层中多2—3%外，这些砾石层和构成穹丘的侵入岩单元中的斑晶矿物极为相似。然而，考虑

运用计点法时在斑岩(但在灰流凝灰岩)样品中看到的斑晶可变性，这个差别可能是不重要的。加之，全岩和斑晶的成分比较说明这些单元是有关联的(Keith, 1982)。

由于大多数砾石没有受到热液蚀变的影响，故从砾岩中选取两个砾石去做形成穹丘事件的K-Ar年龄测定。透长石和斜长石非常新鲜，黑云母已被氧化(此为多数熔岩常见的现象)，没有绢云母、绿泥石或粘土存在的迹象。有一个样品(D-86)具有为烟晶斑岩特有的自形烟晶斑晶，它的K-Ar全岩年龄为 $22.7 \pm 0.3\text{Ma}$ (表1)。另一个砾石(D-69)具有破碎的石英斑晶及副矿物石榴石和蒸气相石榴石，它可能仅与Pine Grove斑岩有关，它的K-Ar年龄为 $21.8 \pm 0.3\text{Ma}$ 。这些年龄值与侵入关系一致，侵入关系表明烟晶斑岩比Pine Grove斑岩古老。

“粗面安山岩岩流”(T_{bm})：在所有地点覆盖着Pine Grove凝灰岩及伴生的穹丘粗砾砾岩之上的是—系列的粗面安山岩质熔岩流(Abbott et al., 1983; Keith, 1980)，它构成Blawn组镁铁质岩流段(Best et al., 在印刷中)。斑晶由普通辉石、紫苏辉石、斜长石及稀少的橄榄石组成，橄榄石部分被伊丁石交代。某些岩流含有黑云母，它呈聚斑状块体产出。

这个层位上的粗面安山岩质熔岩流在Wah Wah山脉及西边的邻近山脉广泛分布(Keith, 1980; Best et al., 在印刷中)。Wah Wah山脉东侧独立岩流的数量尚不清楚；地层关系、次数不多的化学分析和K-Ar年龄测定都表明至少存在三个或四个岩流(图2、3)。覆盖在Revenue盆地上部单元之上的最古老的岩流，其年龄为 $23.2 \pm 1.0\text{Ma}$ ，SiO₂含量为58%(Best et al., 在印刷中)，因为在岩流底部没有发现侵蚀、风化或沉积作用的迹象，它可能在灰流喷发刚一结束就喷发的。相反，Blawn Wash的SiO₂含量为55%的粗面安山岩质熔岩流是在含有烟晶斑岩和Pine Grove斑岩穹丘的砾石的砾岩层侵位之后喷发的，其K-Ar年龄为 $20.1 \pm 0.4\text{Ma}$ (D-164, 表1; 图2、3)。Corder Canyon组Bauer凝灰岩段($22.3 \pm 0.4\text{Ma}$; Lemmon et al., 1973)是分布广泛的区域性灰流凝灰岩，它产在岩流层序内(Best et al., 在印刷中)；因此，在Willow Creek附近至少有一个岩流的年龄不到22.3Ma(图3)。靠近岩流层序底部另一个未测定年龄的岩流，其SiO₂含量为62%，根据化学成分可把它定为安粗岩(Keith, 1980)。

火山口相单元

“东端斑岩”(T_{ee})：在Pine Grove侵入中心有一最古老的单元(东端斑岩)，它有许多特征证明这

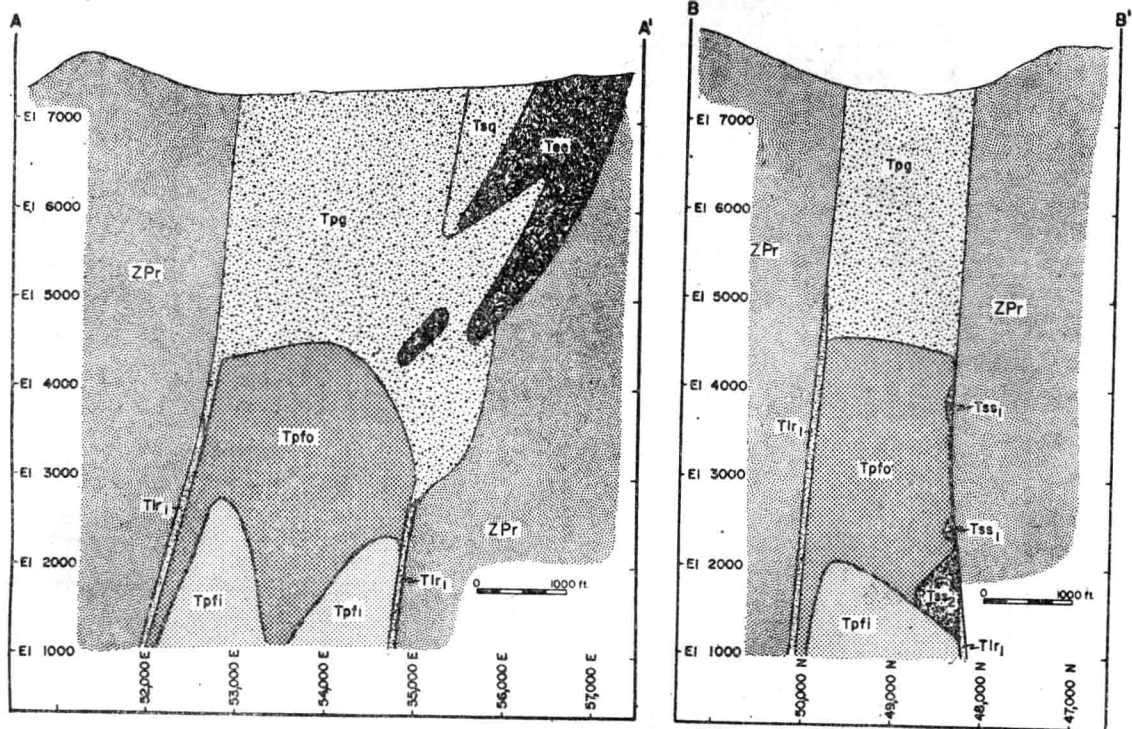


图 4 Pine Grove侵入体的简化地质图和剖面。A-A'：矿山坐标线54000上的南北剖面。B-B'：矿山坐标线48800上的东西剖面。岩石符号的说明见图2。矿山坐标线和标高用英尺而不是用米表示。断层、第四纪冲积物 (Zac)、侵入角砾岩 (Tib) 和丘顶镁铁质岩墙 (Ts) 未在剖面上表示出来。本地质图根据Abbott等人 (1983) 的资料修改

个中心是灰流层序中已受到侵蚀的火山口。东端斑岩为火山口相单元的最令人信服的证据可能是其中局部地方发现有大量浮岩。火山碎砾中等扁平、拉伸，并蚀变为粘土。在薄片容易辨出火焰石和气孔 (图5)。作为喷出成因标志的其他特征是斑晶碎裂，晶洞或气孔 (直径1—2cm) 形状不规则，并有自碎角砾岩 (图6)。东端斑岩的基质通常比Pine Grove其他任何侵入单元的颗粒要细些。基质中石英和长石单个晶体在薄片常常见不到。然而，由于玻璃脱玻化而形成的少数稀少的球粒在局部地方被保存下来。基质原来由已脱玻和蚀变的玻璃和火山灰组成。

东端斑岩与Pine Grove凝灰岩相似，含有石英岩、泥质页岩和石灰岩的岩屑。然而，东端斑岩还具有含石榴石流纹斑岩和英安斑岩的稀少的碎屑。流纹斑岩的碎屑为次棱角状至次圆状，基质颗粒极细。少数碎屑呈伸长状，看来受到塑性变形。这个特征表明喷发时在火山口中熔结和固结之前流纹斑岩碎屑溅出，而与东端斑岩火山灰和浮岩混合。英安斑岩碎屑的矿物成分与侵入岩系的层状硅酸盐斑岩单元相似 (图2、3)，这表明某些英安岩岩浆在形成东端斑岩的晚期

灰流喷发之前或与之同时到达火山口的。英安岩岩浆和流纹岩岩浆共同喷发的另一个证据是在东端斑岩中存在微量的角闪石和富镁黑云母，其成分与粉红单元中的斑晶相似 (Keith, 1982)。由于Pine Grove凝灰岩中粉红单元含有较多的角闪石和黑云母，并在与东端斑岩有关的火山口充填期之前喷发，故东端斑岩中英安岩碎屑可能是前期喷发留在火山口中的残余物质。

钻探工作迄今表明，东端斑岩是无根的，它留在火山口喇叭形陡斜坡上，并被形成穹丘的侵入体切断 (图2、3、4)。在火山口西南边缘附近及英安岩质层状硅酸盐斑岩两侧也见有小型东端斑岩 (图4)。

当把东端斑岩与最年轻的灰流单元取准为同一密度，它们的实际矿物成分几乎相同 (表3)，这支持这样的说法，即东端斑岩是在上部单元最后灰流喷发之后堆积在火山口中的灰流凝灰岩。

侵入层序

“烟晶斑岩” (Tsg) 和 “Pine Grove斑岩” (Tpg)：在火山口东部的东端斑岩附近是在深处尖灭的薄楔状流纹斑岩 (图2、3、4)。本单元与其他含石

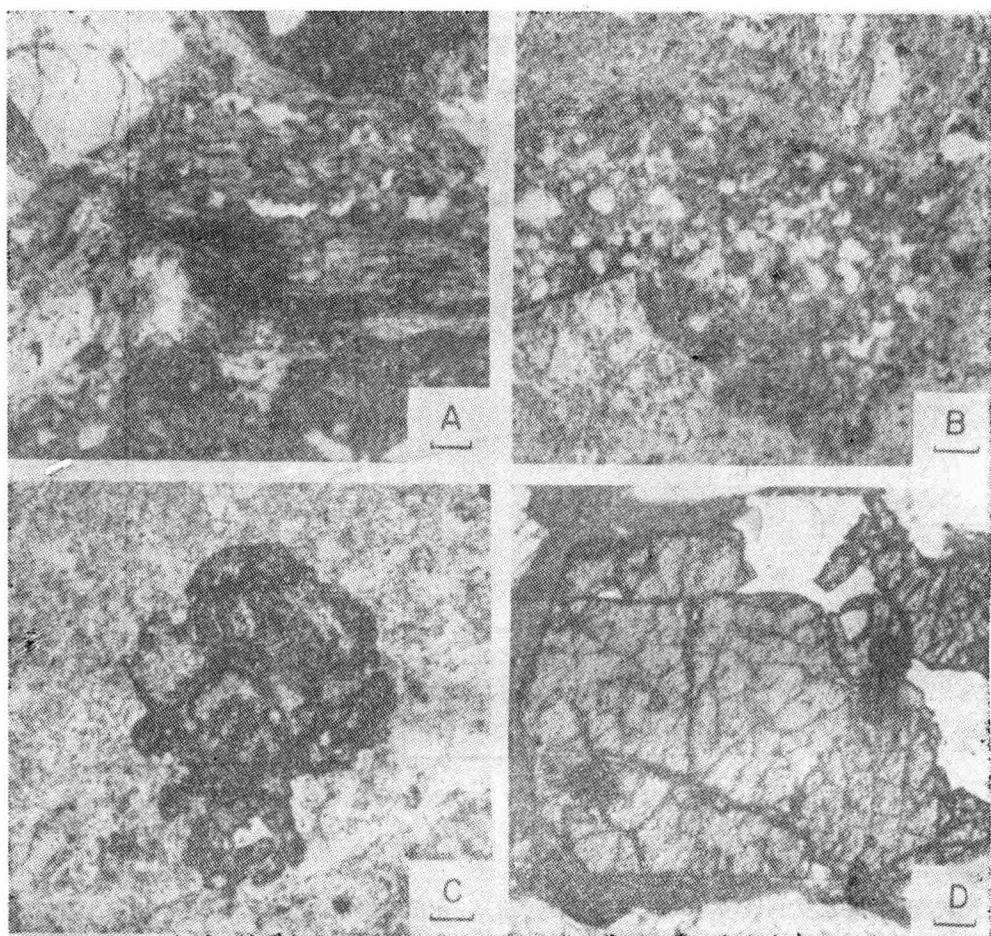


图 5 东端斑岩和Pine Grove斑岩的显微相片。每幅相片右下角的比例参考线条为0.1mm。A. 东端斑岩的浮岩碎屑呈水平伸长，平行于相片平面（地面样品71）。B. 东端斑岩中的浮岩碎屑（地面样品44）。C. Pine Grove斑岩中的晚期石榴石与基质中石英、长石的不规则交生（金刚石钻孔 DG-16，深为2105ft）。D. 东端斑岩中的自形副矿物石榴石与被包裹的钛磁铁矿颗粒（地面样品71）

榴石侵入岩的区别是它具有烟晶斑晶，因此命名为烟晶斑岩（图6）。虽然其他侵入单元都不仅仅具有烟晶斑晶，但东端斑岩、粉红灰流单元和上部灰流单元都含有纯洁石英和烟晶的混合物。砾岩的某些砾石只含有烟晶斑晶，它可能是烟晶斑岩穹丘受到侵蚀而产生的物质。烟晶斑岩（D-86, $22.7 \pm 0.3\text{Ma}$ ）是在灰流喷发中止后首次形成穹丘事件时侵位的，这以后则是与Pine Grove斑岩（D-69, $21.8 \pm 0.3\text{Ma}$, 表1, 图3）有关的第二次形成穹丘事件。

在区分各种侵入岩单元中最为有用的岩石学依据包括石英斑晶的形态、基质晶体的大小和一致情况。烟晶斑岩和Pine Grove斑岩具有约10%的基质石英，此与年轻的单元不同，后者具有50%的基质石英。由于在一个侵入体内基质石英与基质长石之比十分均一，所以这些差异主要是原生的，不是由热液蚀变造

成的。在烟晶斑岩中基质石英和基质长石晶体大小为0.05—0.12mm，而Pine Grove斑岩的基质晶体大小变化较大，在一些样品中为 <0.01 —0.03mm，在另一些样品中为0.04—0.12mm。烟晶斑岩中石英斑晶呈自形，未受到熔蚀（图6）。然而，在Pine Grove斑岩的一些样品中石英呈破碎形态，而在另一些样品中，石英为自形。很显然，这两种类型的Pine Grove斑岩没有明显的空间分隔。

“第四相斑岩”（*Tpfo*）：第一个未喷出的流纹岩质侵入岩，即第四相斑岩，是在形成穹丘的侵入体之后侵位的，它与上面描述的单元相比，具有稍微不同的结构和实际矿物成分。第四相斑岩中的斜长石和碱性长石斑晶含量比早期斑岩中较高（表3）。此侵入岩中的石英斑晶主要为自形至轻微熔蚀，常比前面描述的早期单元中的大好几毫米（图7）。本单元与形成穹

丘的单元不同之处是其基质由近于50%的石英组成，但同它们相似之处是基质晶体大小为0.06—0.12mm。

16个钻孔的岩心表明第四相斑岩与Pine Grove斑岩之间无明显的接触，但这些单元成分的明显不同又表明它一定存在。第四相斑岩内可能存在内接触或岩墙，但在接触带两边基本上是同一岩石类型。弱矿化作用可能与深处的内接触或岩墙有关。然而，没有矿化同第四相斑岩和Pine Grove斑岩之间的接触带有关。与这种岩性有关的尚未搞清楚的侵入复杂情况还有待更多的钻探或地下揭露。

“第五相斑岩”(T₅)：Pine Grove系统中与矿有关的主要侵入岩是第五相斑岩。常看到本单元与较老单元的明显接触。石英斑晶与第四相斑岩中相比呈棱角状或是破碎的(图7)。基质与第四相斑岩中相比为明显的细粒(0.02—0.04mm)，但是基质石英具有大致相同的百分数(50%)。本单元中石英和碱性长石斑晶的实际丰度比上述单元中高得多(表1)。在本单元的薄片样品中偶然看到推测是热液钾长石在钾长石斑晶和石英斑晶上明显浮生的现象。因此，这种成分的实际矿物增加不可能完全是由岩浆作用造成的。然而，用于点计数的样品没有显示热液浮生的迹象。另一方面，如果热液流体有选择地和完全地以钾长石只交代一些斜长石斑晶，那么钾蚀变不是岩浆作用)是斑晶钾长石增加的原因。这种岩石类型在矿床东西剖面中的空间分布，表明此种岩石类型不只一次的侵入脉动是可能存在的(图4)。

本相全岩样品(D-139, 表1)的K-Ar年龄为 $24.0 \pm 0.3\text{Ma}$ 。这个数据比本研究中报道的其他数据高得多。由于侵入关系，看来，此样品结合了少量的过剩⁴⁰Ar。与本研究使用的其他样品相反，此样品采自深部钻孔，作为这一侵入体被研究的全部样品的典型情况是，它们表现明显的热液蚀变及有众多的显微细脉和流体包裹体。热液流体在前寒武纪—寒武纪围岩中循环，从此岩石中把⁴⁰Ar搬运到深成岩体中，这是可能的。要进行⁴⁰Ar/³⁹Ar的逐级加热实验以揭示过剩氩在此样品中的位置(例如，在岩浆石英和钾长石的晚期浮生成在流体包裹体中)。

“Lost Revenue 斑岩 (T_{1r1}/T_{1r2}) 和层状硅酸盐斑岩 (T_{ss1}/T_{ss2})：Lost Revenue 斑岩和层状硅酸盐斑岩是常混在一起或在时间和空间上密切共生的两种岩石类型。Lost Revenue 斑岩的斑晶矿物和基质成分基本上同第五相斑岩没有区别(表3)。这两个单元的区别之点是：仅在别的Lost Revenue 流纹斑岩中含有大量英安岩碎屑。层状硅酸盐斑岩为英安斑岩至流纹英安斑岩，它们的成分变化很大。见有富石英和

贫石英的，以及含角闪石和不含角闪石的。层状硅酸盐斑岩命名的缘由是它具有6%的斑晶黑云母(基质也富于黑云母)以及具有蚀变相的绿泥石和粘土。常见的混染岩石类型由Lost Revenue斑岩和层状硅酸盐斑岩的均一岩浆混合物组成(图8)。这种混染岩石又可交替地紧靠着英安斑岩和流纹斑岩产出，或是这两单元的脆性混合物(在大于~3—4cm的碎屑之间呈明显接触，图8)。层状硅酸盐斑岩中有流纹斑岩碎屑，Lost Revenue斑岩中有英安岩碎屑。

这两个单元的结构相似，表明它们是同时侵位的。层状硅酸盐斑岩和Lost Revenue斑岩的脆性混合物依据斑晶含量，其碎屑之间界线是清晰的，但是，基质结构和矿物成分是逐渐过渡的。这两个单元的基质中的晶体平均大小为0.01mm。层状硅酸盐斑岩中的基质黑云母穿过它与Lost Revenue斑岩的清晰的接触面。虽然可以论证，基质黑云母完全是环流的热液产物，但基质黑云母的存在是形成穹丘的熔岩迅速冷凝的结果，这表明它是由基质结晶形成的，虽然可能在水相存在的情况下。这两单元还具有中等比例的破碎石英斑晶(图8)。这里提到的解释是这两种岩石类型的岩浆同时侵位，并具有使这两种混染变种和脆性混合物成为可能的流变性质和混合速度。

这两个单元的年龄关系与其他单元相比常不甚明确。然而下面提到的相互矛盾的年龄关系表明，这两个岩石单元的名称就已给出流纹岩岩浆和英安岩岩浆同时侵位的两个独立幕。因此，这两个单元可进一步予以划分，根据下述推测的侵位时间定为T_{1r1}/T_{1r2}和T_{ss1}/T_{ss2}。首先，Lost Revenue斑岩和层状硅酸盐斑岩(T_{1r1}和T_{ss1})看来覆盖在火山口的侧壁上(图4)，它们可能是在形成粉红单元的灰流喷发时侵位的，这时，英安岩和流纹岩在喷发中相互混合。在火山口侧壁产出的Lost Revenue斑岩从围岩中带走捕虏的碎屑，含有较多的破碎斑晶，具有与产在第五相斑岩之上的Lost Revenue斑岩不同的实际矿物。地表露头表明，层状硅酸盐单元与Lost Revenue单元(在灰流喷发时形成)的这种混合产出的时间可能比东端斑岩稍早，这已被在东端斑岩中发现的英安岩碎屑所证实。这也加强这样的迹象，即英安岩岩浆和流纹岩岩浆是在Pine Grove凝灰岩粉红单元喷发时同时侵位的，它们与粉红单元的实际矿物成分一致。其次，Lost Revenue斑岩和层状硅酸盐斑岩(T_{1r2}和T_{ss2})常常产在第四相与第五相斑岩的接触面之间。此处Lost Revenue斑岩和层状硅酸盐斑岩的脆性混合物含有石英辉钼矿脉的稀疏碎屑，但也赋存与第五相斑岩有关的大量矿化。别处提供的(Keith and Shanks, 在印刷中)

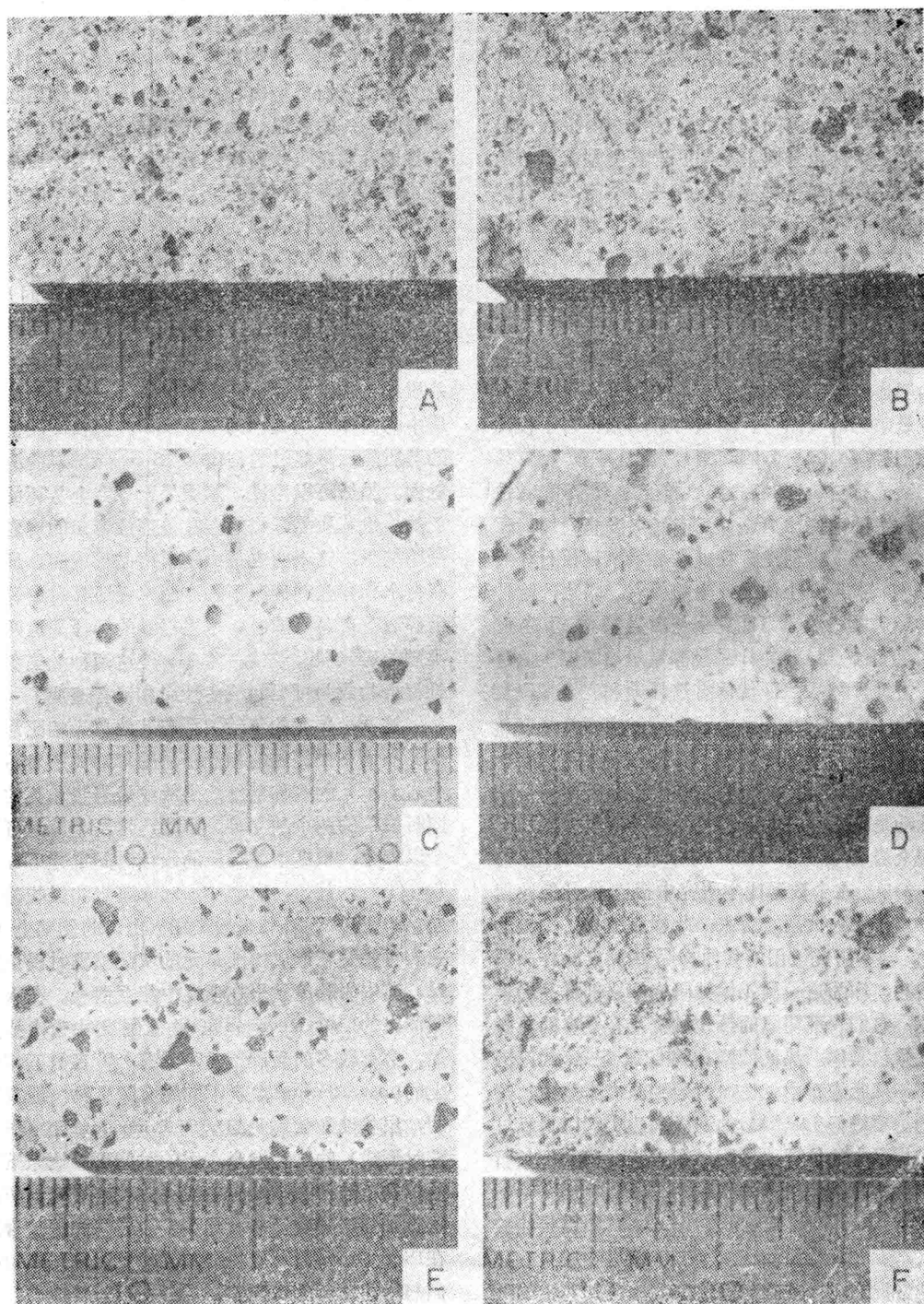


图 6 东端斑岩、烟晶斑岩和Pine Grove 斑岩的结构相片。A和B. 东端斑岩（金刚石钻孔（DDH）PG-27，深度各为71和84ft）。C. 烟晶斑岩（DDH PG-30，434ft）。D. 具有自形斑晶的Pine Grove 斑岩（DDH PG-16，1906ft）。E. 具有破碎斑晶的Pine Grove斑岩（DDH PG-29,2297ft）。F. Pine Grove斑岩中的英安斑岩捕虏体（DDH PG-30,2041ft）

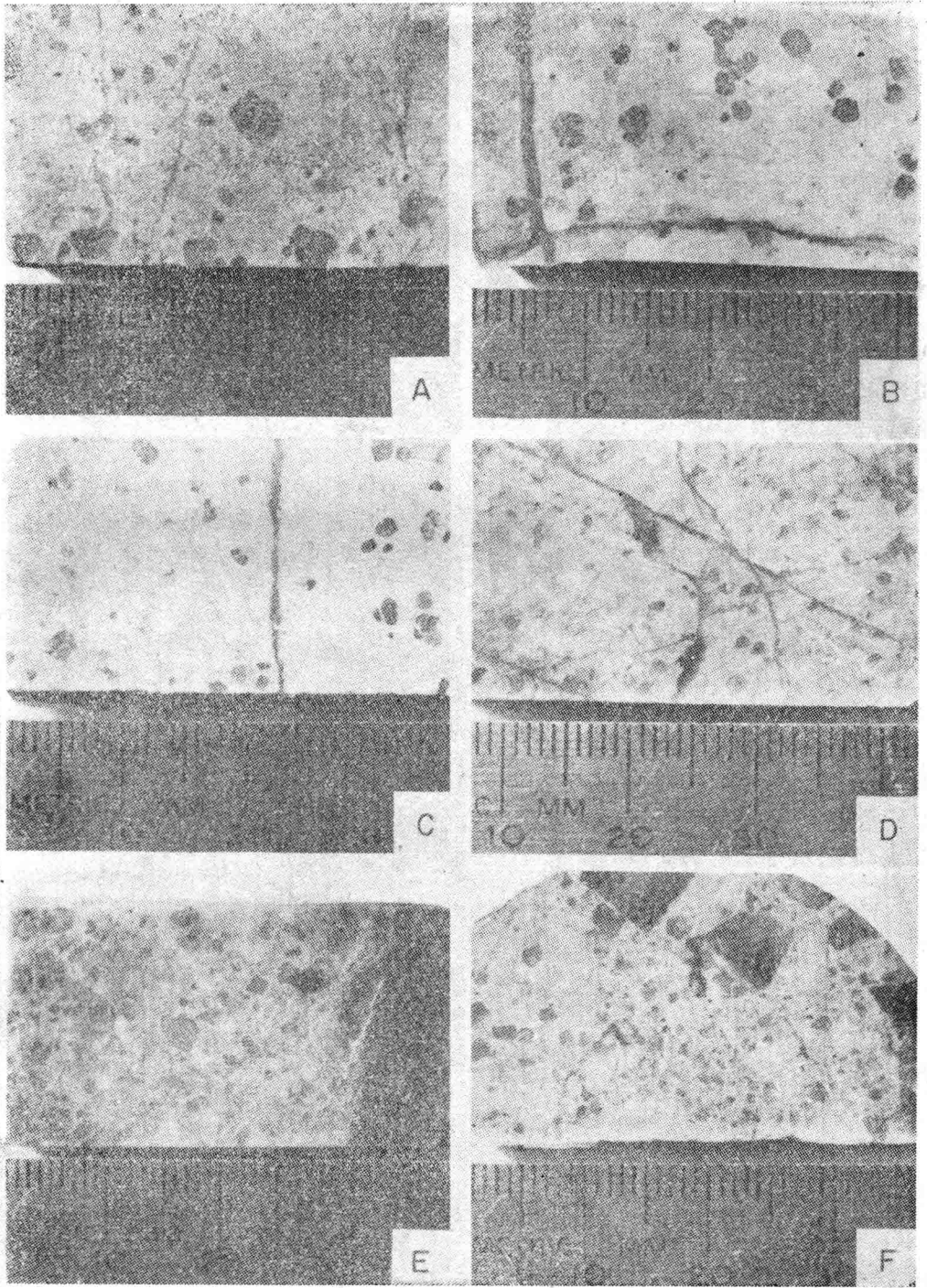


图 7 第四相和第五相斑岩的结构相片。A、B和C.第四相斑岩中自形斑晶大小的渐变现象（分别为 DDH PG-16, 5092ft; DDH PG-15B, 4048.5ft; DDH PG-15B, 4208ft）。D和E. 第五相斑岩, 具有中等数量的破碎石英斑晶（分别为 DDH PG-15A, 6076ft; DDH PG-24, 5763ft）。F. 第五相斑岩, 含有石英辉钼矿脉的碎屑 (DDH PG-3A, 3736ft)

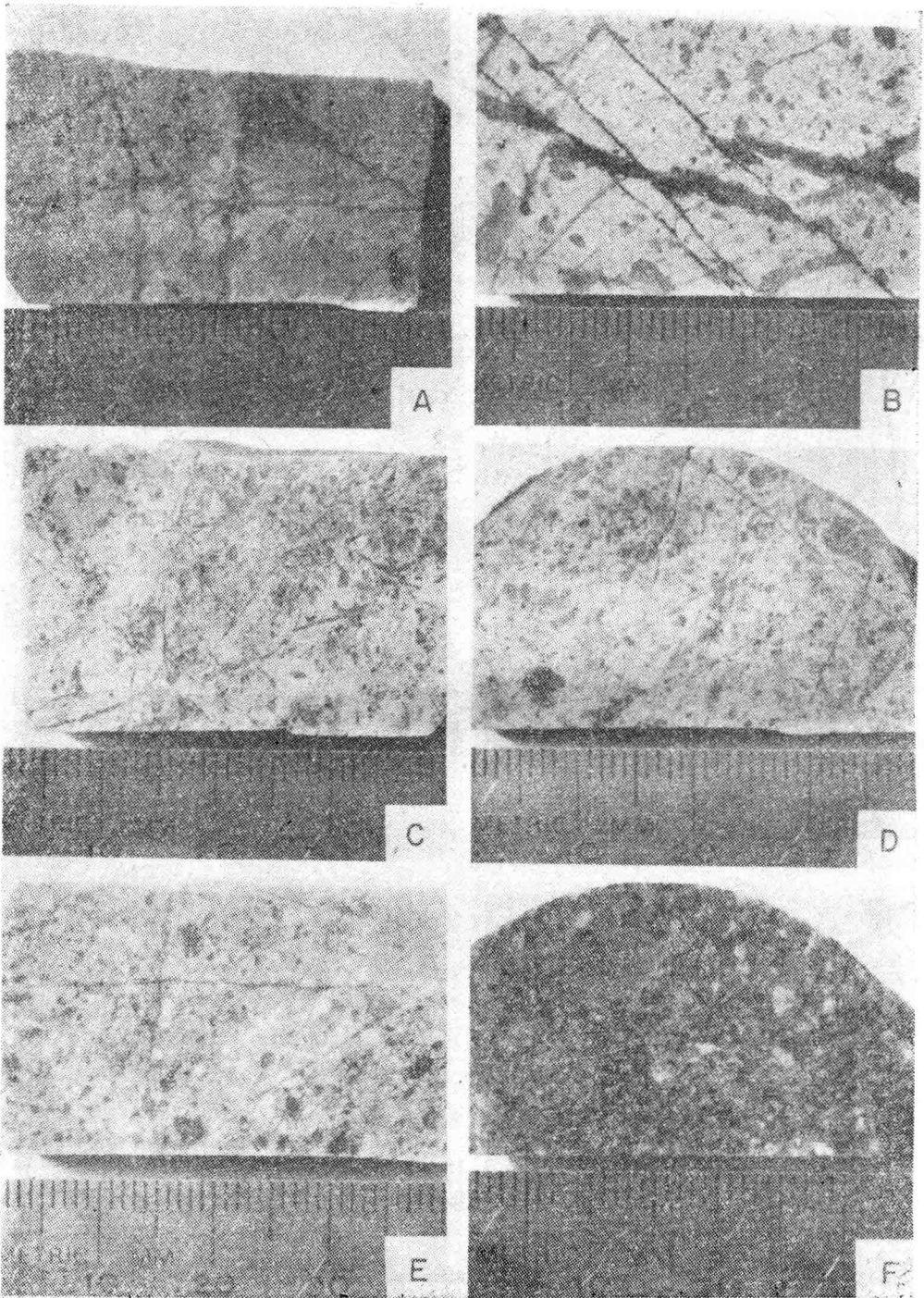


图 8 Lost Revenue 斑岩和层状硅酸盐斑岩的结构相片。A和B,具有破碎(楔形)石英斑晶的Lost Revenue 斑岩(分别为 DDH PG-22, 4902ft; DDH PG-15B, 5359ft)。C、D和E. Lost Revenue 斑岩和层状硅酸盐斑岩的混合物(分别为 DDH PG-16, 4949.5ft; DDH PG-2C 5000.8ft; DDH PG-15A, 522.5ft)。在薄片, 产自层状硅酸盐斑岩中的少量残余黑云母大斑晶通常明显可见, 还见有 为量较多的长石。这两种单元的混合物常常紧靠脆性混合物产出。F. 层状硅酸盐斑岩, 富于晶体, 由于基质中有大量黑云母和绿泥石而呈黑色(DDH PG-15A, 5711.5ft)

的探针数据，证实层状硅酸盐斑岩这种产地中的富镁黑云母与灰流凝灰岩单元的英安岩碎屑中的富镁黑云母极为相似，而与Pine Grove流纹岩单元中常见富铁黑云母大不相同。因此，层状硅酸盐斑岩 (Tss₂) 这种产状并不单纯地代表流纹斑岩的热液蚀变，而似乎是代表较年轻的一批岩浆由曾经部分供应早期灰流喷发的那个地下英安岩岩浆库中排出。加之，由于Lost Revenue 斑岩和第五相斑岩成分相似，这种产状（在第四相与第五相接触面间）可代表在第五相侵入和随后矿化之前英安岩岩浆和流纹岩岩浆同时侵入和杂乱混合。总之，在Pine Grove流纹岩岩浆、流纹英安岩岩浆至英安岩岩浆的同时侵位看来发生过两次。许多火山在喷发中发生的岩浆混合已得到一定的论证，其他文章已提到在带状岩浆房衰退期发生的无喷发的岩浆混合 (Hildreth, 1981)，这是可以预料到的。

“**丘顶镁铁质岩墙**” (Ts₁/Ts₂): 为数不多的矿化后的安山岩或粗面安山岩(?) 岩墙(宽不到1m) 在图3未标出，但在图4的地质图却标出，它横切火山

口中的流纹斑岩单元。这些岩墙命名为丘顶镁铁质岩墙，尽管在硫化物沉积后侵位，常都广泛地蚀变为粘土、绿泥石和方解石。原生斑晶为斜长石和单斜辉石，可能还有被蚀变掩盖的其他矿物。在矿床内，这些岩墙常与矿化后流纹斑岩质砾石岩墙邻接，并与之平行 (Tib₂, 图2和4)。这表明镁铁质岩墙 (Ts₂) 是在Pine Grove岩浆房完全固结以后及区域应力状况发生任何变化之前立即侵位的。这种时间框式也表明这些岩墙可与覆盖在Pine Grove凝灰岩之上的一些较年轻的粗面安山岩质熔岩流相关联，但是这些镁铁质岩墙受到强烈蚀变，以致不能用化学准则或实际矿物准则作为对比基础。

在Pine Grove东-南东大约 2km 处的类似的镁铁质岩墙 (Ts₁) 和侵入体可能在Pine Grove 斑岩之前就侵位。这种镁铁质岩墙与成矿前砾石岩墙 (Tib₁) 邻接，后者可能与Pine Grove斑岩侵入体有关。接触关系表明这种镁铁质岩墙先于砾石岩墙形成。这种时间框式会有这样的可能性，即这些与Pine Grove火山

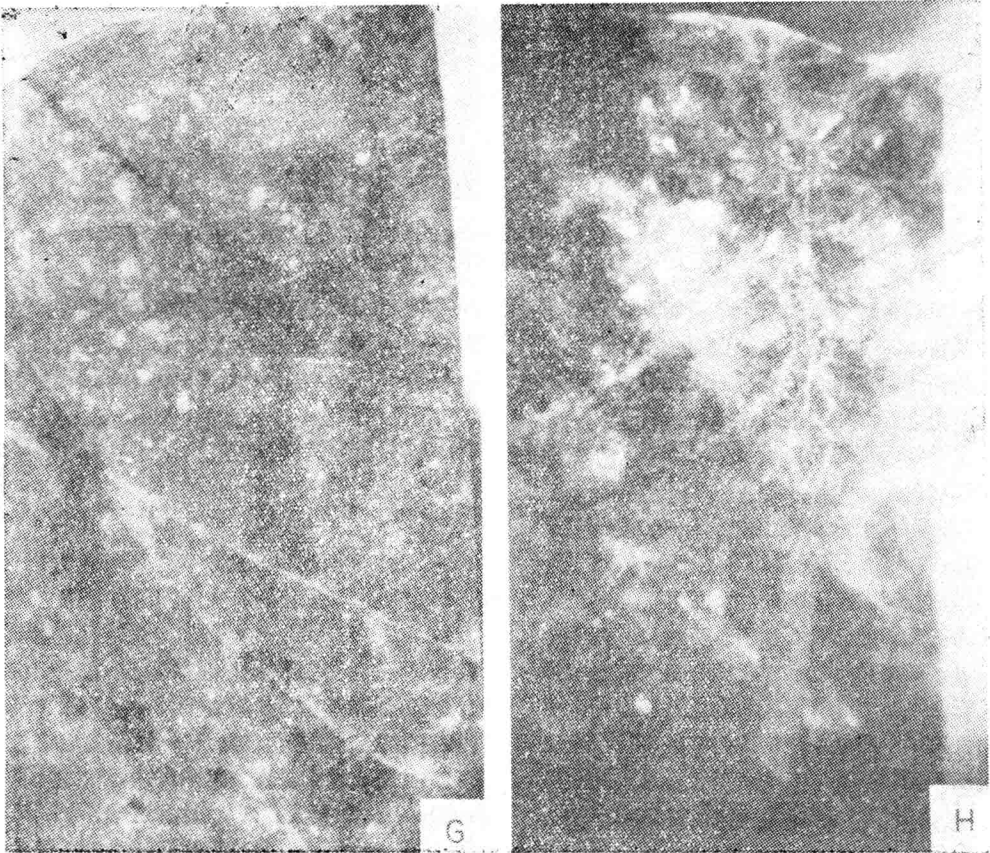


图 8 (续) G和H. Lost Revenue 斑岩和层状硅酸盐斑岩的脆性混合物(分别为 DDH PG-2A, 5344ft; DDH PG-2A, 5103ft)