



斑岩铜矿地质研究 的最新进展

引言

本文的目的是评述一些新增加的地质资料和对全世界的斑岩铜矿研究中所得出的最新解释。过去的廿年是发现和研究斑岩铜矿的硕果累累的廿年。在这一时期,除了在不列颠哥伦比亚发现了一大批矿床外,在菲律宾、新几内亚、中美、加勒比群岛和伊朗也找到了一些大型矿床。对矿床的详细野外研究、板块构造学说的迅速发展、岩浆活动的产生与演化、热液系统的性质,所有这一切均有助于解释斑岩铜矿的成因。本文并非为全面的详细评述,而仅概略地综述板块构造理论和对斑岩铜矿解释的要点。

斑岩铜矿的分布

斑岩铜矿化遍布全球,几乎所有有经济意义或潜在经济意义的矿床都产在伴有活动的或正在活动的潜没带的大陆边缘或板块边缘上岛弧的中生代和新生代造山带内。矿床的年龄范围自2亿年至1百万年,在某些地区内矿床往往有集中产生一、二个时代的趋向。早第三纪的斑岩铜矿趋向于集中在较小的地区内,美国西南部的拉拉米期矿床(75

~55百万年)和不列颠哥伦比亚的斯基纳阿奇地区的拉拉米期矿床(70~50百万年)就是这类集中产出的例子。

古生代和前寒武纪矿床也产在前中生代褶皱造山带内。澳大利亚的新南威尔士的塔斯曼造山带内的考珀希尔、卡迪亚和卡戈矿床大约属于泥盆纪(费尔顿,1974)。在昆士兰东部有石炭纪的鲁迪戈尔矿床(布兰奇,1960)和二迭—三迭纪的蒙麦拉、敦达尔和耶蓬等矿床(福德等人,1976)。据报导,在缅甸和新不伦瑞克有古生代的斑岩铜矿(霍利斯特等人,1974;柯尔卡姆和索里加洛利,1975),而苏联中部的科恩拉德和阿尔马雷克矿床则属海西期(萨戈维奇,1959;麦什卡尼诺夫和阿辛,1974)。

具有斑岩铜矿特征的前寒武纪浸染状矿床产于加拿大东部的绿岩带内,包括安大略省的塞廷乃特湖地区的矿床(艾尔斯等人,1973)、魁北克省的奇博加莫地区的矿床(柯尔卡姆,1972)和安大略省巴查瓦那地区的角砾岩筒(布莱查,1974)。

大多数前中生代的矿床规模较小、品位较低。与大量开采的中生代和新生代斑岩铜矿相比,年代较早的斑岩铜矿床仅限于开采少量的高品位含铜夕卡岩(如新南威尔士的卡迪亚,魁北克省的加斯佩)和角砾岩筒或矿脉(如安大略省的巴查瓦那)。苏联科恩

拉德矿床的产量大部分来自一表生富集的平伏矿体。

在年代早于2亿年的斑岩系统内不存在大型工业矿床的原因,大概是因为老地质体普遍侵蚀很深而使富铜带剥蚀掉的缘故(霍利斯特等人,1974)。这种假说不是一种完全令人满意的解释,因为在地层记录中已经保存下来有无数火山成因的贱金属硫化物矿床,推测这些矿床形成于近地表,与安山质火山作用密切伴生(如澳大利亚东部的卡普顿斯弗拉特的利埃尔山和莫尔根山;新不伦瑞克的巴瑟斯特及其它许多地区)。块状硫化物矿床不同于斑岩铜矿床,这类矿床是隐伏矿床,受到上覆沉积层的保护,使其免受侵蚀。但要解释为数众多的古生代后的斑岩矿床,还应考虑到其它因素,或许可以用斑岩矿化与潜没带、板块运动的密切关系及与产生大量钙碱岩浆的密切关系来解释。在中生代早期,大西洋海盆的张开和较快速的板块运动的开始(特别是在太平洋海盆周围,这一过程表现得更为明显),可能触发了一系列的构造和岩浆活动,它有利于斑岩铜矿,尤其是环太平洋海盆的褶皱山带内的斑岩铜矿的发育。

斑岩铜系统及有关的火成杂岩体的特征

全世界的大部分斑岩铜矿均与钙碱岩浆系的侵入岩和火山岩密切伴生。闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩及其伴生相应的火山岩:安山岩、流纹英安岩和石英粗安岩,以上各类岩石是常见的母岩。大陆边缘环境下形成斑岩的火成岩类,如美国西南部,常为花岗闪长岩类和石英二长岩类(克里西,1966)。岛弧型矿床通常与闪长岩和石英闪长岩伴生(蒂利,1975;凯斯勒等人,1975)。斑岩铜矿化还与缺乏石英的闪长岩—二长岩—正长岩侵入体伴生,这种侵入体和成因上有关的含似长石物质的火山围岩一起构成了一种在化学上截然不同于更为普遍的钙碱性岩系的碱性火成岩系(巴尔等人)。

除了大量的钙碱性岩石之外,在岛弧环境内还发现了富钾的火成岩(如杰克斯和史

密斯,1970;史密斯,1972)。乔普林提出一种富钾的橄榄安粗岩组合或由具有一种分异趋势的岩浆杂岩组成的岩系,其中富钾的端元成分石英呈饱和或不饱和状态,这种岩系产于钙碱火成岩的活动带内。这些是岛弧区内与斑岩铜矿化有关的富钾而缺乏石英的侵入岩,然而,构造环境中的这类岩系是否不同于正常富含石英的钙碱岩系,这是目前争论的一个问题(霍利斯特和塞拉芬,1976;凯斯勒等人,1976)。

艾尔斯和班佛德的研究(正在准备中)提供了一些有用的情报。他们的研究结果表明,巴布亚新几内亚的福比兰山的火成岩中钾含量较富(即,橄榄安粗岩质的),但却显示出钙碱分异趋向,晚期出现富含石英的侵入体。他们认为,福比兰侵入体表现出典型的大陆边缘型斑岩铜矿的成份特征,这是一个与矿床的区域地质环境相吻合的结论,该矿床就位于澳大利亚大陆陆缘的向北延伸部分的褶皱带内。

在横切岩浆弧走向的钙碱性火成岩中,当 SiO_2 含量一定时,钾含量从海洋向大陆边缘环境增加的这一著名而又十分明显的趋势也反映在与斑岩铜矿有关的围岩成份中,后者的钾含量也有相似的变化。因此,有斑岩铜矿伴生的大部分富钾侵入杂岩体,如犹他州的宾厄姆(穆尔,1973)、巴布亚新几内亚的奥克特迪,均位于大陆边缘造山环境内,具有富含石英的长英质端元成分,可以与钙碱性岩石组合划为一类(左尔森等人,1972)。

本书所描述的与碱性火成岩系伴生的这种不寻常的矿床在侵入岩系的晚期侵入体中似乎是很特殊的,这些矿床缺乏石英,还可能含有似长石矿物。不列颠哥伦比亚的这类矿床看来也是迄今所描述过的唯一的与碱性岩伴生的矿床。这些矿床赋存的构造环境中被认为是形成于张应力场内的裂开和正地块断层的证据。因此,这些矿床看来同与钙碱岩浆活动伴生的矿床迥然不同,后者见于表现出有压应力证据的构造环境内(见本文下述有关构造环境一节)。

斑岩铜矿化与火成岩组份很不相同的侵入体伴生,而且火成岩体及其伴生的矿化

在形状、结构和产状方面也是变化很大的。罗(1973a、1973b)、菲尔德等人(1974)和萨瑟林布朗(本书)都曾经评述过加拿大斑岩铜矿的特征。加拿大矿床的特征与世界各地斑岩铜矿的特征是一致的,现在根据萨瑟林布朗的分类法(本书)作一简要概述。

深成斑岩系统

产在岩基深成岩体内的断裂控制脉和浸染状硫化物矿化在整个中—新生代环太平洋山带内都有出现。除了本书所描述的加拿大科迪勒拉带的矿床之外,在华盛顿的戈雷希尔峰(格兰特,1969)、蒙大拿的比尤特(迈耶等人,1968)、智利的丘基卡马塔(霍利斯特,1973;洛珀兹,1942)、巴布亚新几内亚的扬得拉(格兰特和尼尔森,1975)、菲律宾的巴基奥地区和西内格罗省的南部(萨埃加特和莱维斯,1976)及印度尼西亚的苏拉威西的塔帕达地区(洛德尔和道,1976)等地均有这类矿床产出。

大型深成岩体一般都是区域内主要钙碱岩岩浆活动期侵位的复杂多相侵入体,并且可能侵入到厚大的已变质成低级绿色片岩相的安山质钙碱火山岩系内。

一般有少量浸染现象的脉状或断裂的铜硫化物矿化,位于深成岩体的内部或其边缘。矿体可能由有规律排列的矿脉或矿脉系组成(如蒙大拿的比尤特),还可能由与区域剪切带或断层带平行排列的紧密的矿化破碎带组成(如菲律宾的马尔考帕或阿特拉斯)。因此,矿体形状虽可以是等轴状的,但往往呈板状产出,而且围岩破碎的程度和矿化的强度都由矿体向外侧逐渐降低。还有矿化的侵入角砾岩存在,例如在伯利恒和扬德拉矿床。

在绝大多数情况下,岩基火成杂岩体的侵入和矿带的发育似乎与围岩的活动变形是同时的。例如吉春岩基,在侵入相和矿带侵位期间发生了走向错动断裂(麦克米兰,1971)。

在美国蒙大拿的博尔德岩基地区的区域地质研究也同样表明,挤压褶皱运动、冲断作用、火山活动和深成岩体侵入等均迭加在一起,而且部分是同时发生的(罗宾逊等

人,1968),在岩基侵位时的压应力作用与比尤特矿脉的形成迭加在一起(普罗费特,1973)。再有,巴布亚新几内亚的扬德拉矿床的构造控制的矿化,在地质图上的几何形状与由于澳大利亚和太平洋板块的自动碰撞而造成的南北向区域挤压所形成的形变是相吻合的(格兰特和尼尔森,1975)。

深成斑岩铜系统缺乏那种与浅成岩株伴生的矿床内所常见的围绕中心侵入体的蚀变和矿化明显的同心分带现象,而它所具有的却是不强的浸染状矿化和蚀变的宽阔扩散带,在其上覆岩系中迭加有破碎控制的矿化,表现出区域范围内的金属分带。矿带内,有意义的铜矿化赋存于矿脉内,而且矿脉愈密集,矿带的品位则愈高。

极为常见的是,具有交代铁镁矿物生成的次生黑云母,较少的次生正长石、未蚀变的或弱蚀变的长石及稀疏浸染状硫化物的宽阔的钾蚀变带,向旁侧过渡为未蚀变的或弱青盘岩化的岩石。迭加在钾蚀变和青盘岩蚀变的扩散带上的是硫化物矿脉和破碎带,矿脉和破碎带有以绢云母、粘土矿物、绿泥石和碳酸盐为特征的蚀变外壳。在广阔的钾蚀变和(或)青盘岩蚀变带的中心常出现有丰富的细脉控制的千枚岩蚀变(绢云母±绿泥石±粘土)的闪长岩和花岗闪长杂岩体,形成了一种所谓“逆分带”或翻里向外的蚀变现象(切尼和特拉梅尔,1975)。文献中描述过的比尤特矿床的蚀变的矿化的连续模式(迈耶等人,1968),清楚地表明了深成斑岩系统内所常见的那种迭加的连续蚀变模式。

导致深成斑岩系统发育的复杂的火成岩构造和热液活动显然是经历了一个相当长的时期。在蒙大拿比尤特矿床所做的放射性年代测定表明(迈耶等人,1968;米勒尔,1973),比尤特石英二长岩母岩的岩浆黑云母的年龄(78百万年)和与早期的浸染状或细脉状铜矿化伴生的蚀变黑云母的年龄(63百万年)相差15百万年,早期浸染状铜矿化与主要阶段的脉状蚀变的年龄(58百万年)相隔5百万年。巴布亚新几内亚扬德拉矿床的矿化(6.5百万年)与花岗闪长岩母岩(13百万年)间年龄相距7百万年(格兰特和尼尔森,1975)。对吉春岩基及伴生矿床做的

所有放射性年代测定结果,在分析误差的范围之内都是相同的(约200百万年)。这是一个不寻常的特征,表明了这个多相火成杂岩体的广泛冷凝是在同一时期发生的。

总之,深成斑岩矿床产于整个新生代—中生代山脉内,其深成围岩的年龄从三迭纪至中新世。矿体呈不规则形状或板状,明显受构造控制,矿体的形状和位置主要由矿化细脉和矿化破碎带的数量和排列而决定。干枚岩化、绿泥石化和粘土化蚀变与破碎带密切伴生,钾—硅酸盐和青盘岩化发育比较普遍,蚀变带也宽阔。矿床产于复杂的多相侵入活动区中心的大型深成岩体内或其边缘。一般说来,矿化侵入岩的年代都显然老于矿化的年代。矿化深度的地质证据尚不完全确实,但矿床形成的部位要深于受小型浅成岩株控制的矿床产出部位。对后者进行的深部钻探并没有证实深成斑岩产于浅成岩株斑岩系统之下的深处这一推测。

浅成斑岩系统

世界上许多斑岩铜矿均与主要呈斑状结构的小型浅成复合侵入体密切伴生。这种复合岩株通常都是由一些错综复杂地排列起来的小型火成岩颈、角砾岩和岩墙组成,这是由于它们的区域面积较小而垂直延伸较大所致。

在一个浅成火成杂岩体内,铜矿化一般都局限在特定的侵入岩相内。例如,内华达的耶林顿黄铜矿矿化就产在特定的斑岩相内,在相邻的侵入体的接触带上,铜品位和矿脉的分布变化显著(霍华德,1976)。巴布亚新几内亚福比兰山的铜矿化产于—石英安粗岩斑岩岩株内,在岩株接触带上,铜品位骤然降低。与福比兰山石英安粗岩斑岩相邻的侵入体和沉积岩内,铜含量极低(班佛德,1972)。在智利的埃尔萨尔瓦多(古斯塔夫森和亨特,1975)、亚利桑那州的卡斯尔多姆和迈纳拉尔帕克(艾德尔等人,1968)和内华达的埃利(福尼埃,1967),高品位的矿化和强蚀变带均集中于具有一系列侵入岩的特定侵入体内。

在杂岩体群的特定侵入体边缘,原生硫化铜和黄铁矿矿化经常呈细脉群或破碎带分

布。在这种情况下,侵入体接触带看来是主要的控制,但矿化位于侵入体内,也延伸到围岩内。蚀变和铜品位穿过接触带出现明显的变化,这种变化取决于围岩和火成侵入体相对于含矿流体的相对活动性;例如,灰岩内的夕卡岩体的发育即是如此。蚀变和矿化最终以侵入体为中心呈宽阔的同心元分布。洛厄尔和吉伯特(1970)与吉伯特和洛厄尔(1974)根据这种分布概括出了一个模式。蒂利(1972)认识到硫化铜通常在侵入体的围岩内呈浸染状,于是提出了两类端元型矿床——侵入体和围岩斑岩铜矿床——大多数矿床均具有这两种矿床的特征。

在围岩内和特定的中心侵入岩株内具有工业价值的铜矿化的重要斑岩铜矿床包括:亚利桑那州圣马纽埃尔—卡拉马祖(洛尼尔和吉伯特,1970);犹他州的宾厄姆(约翰,1975);内华达州埃利(鲍尔等人,1966;福尼埃,1967),新墨西哥州圣塔利他(尼尔森,1968);巴拿马的塞罗科洛拉多(肯茨,1975);智利的埃尔萨尔瓦多(古斯塔夫森和亨特,1975);巴布亚新几内亚的潘古纳(方丹,1972)。地层厚度的恢复表明,浅成斑岩系统的矿带可以形成于地表下500米至2公里左右。

火山斑岩系统

萨瑟兰·布朗描述过的火山斑岩系统可能与浅成斑岩系统有密切关系,或者就是浅成斑岩系统的近地表部分或浅部。亚利桑那州萨福德(罗比森和库克,1966)和红山矿床(科恩,1975)以及智利的埃尔萨尔瓦多矿床(古斯塔夫森和亨特,1975)就是这类矿床的例子,在上述这些地方,现代侵蚀面上已出露与火山或次火山地质有关的矿化和蚀变现象。浸染状和细脉控制的矿化主要赋存在蚀变的火山岩流、凝灰岩和角砾岩内;岩墙、小岩颈、角砾岩墙和角砾岩筒较为常见,没有那种位于蚀变模式中心的出露的浅成侵入体。但有时,深部钻探揭露出,在蚀变和矿化中心的下面有浅成斑状或等粒状侵入岩株存在(如亚利桑那州萨福德和红山矿床)。在这些地区,当侵蚀到现代地表下3000~5000英尺时,在侵入岩株的边缘可以

揭露出矿化和蚀变。

研究特定矿床的局部与区域地质资料和矿化与蚀变的特征所得的结论是，有利于斑岩铜矿成矿的环境是在相当深的部位。围岩的地层厚度恢复表明，新墨西哥州圣塔利他的矿化形成于覆盖层下500米左右的极浅的部位（尼尔森，1968）。亚利桑那州圣马纽埃尔—卡拉马祖、比尤特和红山矿床的采矿作业和钻孔均表明，矿体形成的最大深度达地表下2公里，深成斑岩系统内的铜矿化可能在更深处侵位，大约可达5公里。德拉蒙德和古德温试图把蚀变型式与斑岩矿化的深带分类（depthzone classification）统一起来，但得出的结论表明，蚀变型式不能作为有关矿体形成深度的确切标志，或者更正确地说，蚀变型式仅可以表明对流热液系统内特定型式的蚀变形成的相对深度。

过去廿年来对单个矿床和地区的大量详细研究提供了蚀变和矿化模式的资料。在对美国西部矿床研究的基础上（罗斯，1970；洛厄尔和吉伯特，1970），将这些资料综合起来，得出了几种相似的模式，后来又将这些模式发展了，包括进去了更多的矿床（德吉奥佛罗伊和威格纳尔，1972）。这些模式尽管在本卷书中相当著名，并被评述过（德鲁蒙德和古德温），但是没有可以得到承认的详细讨论，这些模式看来并不适用于所有的斑岩矿床，特别是那些全世界的岛弧系统内的矿床，而这些矿床的详细情况已被人们所熟知。

例如，凯斯勒（1972）总结出，与大陆边缘型矿床相比，岛弧型矿床富金少钼。再有，菲律宾的矿床，是在岛弧环境内侵位的，具有与大陆边缘型矿床截然不同的特征，即：（1）伴生的侵入岩是闪长岩类；（2）矿化通常产于等粒状侵入岩体内的或其边缘的受构造控制的板状体内；（3）金是一种有工业意义的伴生元素，而钼则不是；（4）象绿泥石和磁铁矿这样的镁和铁矿物是与矿化伴生的体积上相对重要的蚀变矿物（沃尔夫，1973；萨埃加特和莱维斯，1976）。大洋洲美拉尼西亚的一些矿床也具有同样的特征（蒂特利，1975；方丹，1972），本卷书中在描述加拿大科迪勒拉的岛弧型矿

床时也描述了这些特征。随着对一些单个矿床的详细研究的完成，其它的详情也会揭露出来，例如，在印度尼西亚的塔帕达“矿石带”内缺失次生钾长石而有次生钠长石富集，在与闪长岩伴生的斑岩系统中有广泛发育的泥化蚀变（洛德尔和道，1976）。

吉伯特和洛厄尔（1974）讨论了由镁铁质较高的闪长岩质围岩与岛弧地区的强烈异向性活动构造环境下所产出的“典型矿床”分带型式的差异。霍利斯特（1975）认为，大洋弧中的斑岩矿床与大陆边缘环境中的斑岩矿床截然不同，这是由于两种环境中地壳的组成和构造不同所致。霍利斯特提出了一种闪长岩的模式来补充洛厄尔和吉伯特的模式，霍利斯特的模式主要适用于大陆边缘内的矿床。

各矿床之间蚀变组合和型式不同大概主要是由于围岩和侵入岩成分不同以及局部构造的差异而造成的（吉伯特和洛厄尔，1974），而不是蚀变作用和控制因素的根本差异所致。然而，研究斑岩铜矿模式的差别，对于矿床研究的设计和解释依然是有用的，而且在布署找矿工作时，这种用途将会更大一些。

同时，也致力研究了特殊的化学特征，这些化学特征可以作为斑岩矿化的找矿标志。在美国西部，各种与矿化有关或无关的深成岩体内的铁镁矿物（主要是黑云母）的贱金属含量已经测定（普特南和伯纳姆，1963；帕里和纳考斯基，1963）。这些研究者得出的结论是，岩浆成因的黑云母中，铜、锌和铅含量异常高，可用来指示与矿化有关的侵入体。但最新的一些研究结果表明，一些错综复杂的因素，如风化作用、蚀变作用以及提取没有硫化物颗粒的纯黑云母的困难等等，所有这些因素都强烈地影响到“含铜黑云母”的典型性（班克斯，1974；雷里格和米金尼，1976）。班克斯指出，在亚利桑那州的雷伊和西里塔西矿区，黑云母的蚀变产物内有铜富集，同时，矿体附近的与矿化有关的痕量元素含量的变化反映出蚀变的程度，而且未能得到纯的铜矿样品。

企图在似为斑岩铜矿围岩的大规模钙碱火成岩内圈定特殊的深成岩体或有限地区的

尝试也未获成功。一些研究者曾提出,火成岩和矿物内的氟与氯可以表征与卤水相互作用的火成侵入体,他们假定这些侵入体是与矿化伴生的,在找矿中是有意义的(凯斯勒等人,1973;斯托勒等人,1971;帕里,1972;帕里和杰各比斯,1975)。班克斯(1976)报告了亚利桑那州雷伊斑岩铜矿内含羟基的硅酸盐矿物中卤素的分布。他发现,没有任何证据表明有意义的热液流体与矿床内的侵入岩相当或来自侵入岩。化学数据也未能划分出能够用来鉴别可以生成斑岩矿床的侵入体的差异。而且,雷伊矿床的数据与解释显然都与洛厄尔和吉伯特的所谓热液斑岩铜矿化的发育是由于热液流体从侵入体溶出而形成的“正岩浆”模式相矛盾的。因此,我们必须研究热液成矿流体的可能来源,而不是用沸腾或从结晶岩浆中析出等理论来解释某些斑岩矿化。

斑岩铜矿的构造环境

米切尔和加森(1972)与西利托(1972)曾讨论过板块构造体系中的斑岩铜矿化的成因。人们一般都已认识到,矿床与潜没带和广泛的火山及次火山火成活动在成因上的密切关系,特别是岛弧和大陆边缘环境内矿床的相对线性带。例如,年龄为1.2百万年的福比兰山矿床就位于新几内亚的现代活动潜没带上(班佛德,1972)。

北美科迪勒拉带斑岩铜矿省内的矿床不位于线性带内,也不与那些清楚明显的古潜没带伴生,不同于南美、加勒比海地区和西太平洋的斑岩铜矿省和斑岩铜矿床。科迪勒拉带的斑岩铜矿趋于成群产出,出现在远离那些海沟的内陆地区。有关这一专题的最近一些评述认为,北美矿床的侵位与张应力所形成的构造有关(洛厄尔,1974;霍德和霍利斯特,1972)。然而,如果斑岩铜矿床是在活动潜没带上侵位的,特别是那些从相反方向碰撞的板块边缘的潜没带,那它们则是在一种区域构造环境内侵位的,这种区域构造环境非常类似由压应力而造成的变形或造山环境。

拉拉米期造山运动从80至40百万年,美国西南部绝大部分矿床与不列颠哥伦比亚中

部的许多矿床都是在这一时期定位的,在美国境内,拉拉米期是一个岩浆活动较小的时期,这种岩浆活动集中于远离大陆边缘的内陆,主要是在亚利桑那州、新墨西哥州和科罗拉多洛基山脉。在这40百万年期间侵位的侵入岩的体积比从120百万年至80百万年期间侵入的钙碱岩浆的体积要小多了(兰菲尔和里德,1973;基斯特勒,1974)。这一概括也适用于美国西部和加拿大科迪勒拉带。洛基山脉和科罗拉多高原的拉拉米期上升,是该时期最典型的变形特征,其几何形状与挤压成因是相符的,被认为是由于北东—南西向挤压而使北美科迪勒拉带变形所造成的,而北东—南西向挤压则是因活动的北美板块与大洋板块向西的相互作用产生的(科尼,1976)。

基思积累了许多野外资料,证明亚利桑那东南部以基底为核心的背斜和单斜上升的几何形状与洛基山脉山前地带的几何形状相似,前者是在早第三纪形成的。这些构造的几何形态表明,它们是随着北东向挤压而形成的。除了上升运动外,与该挤压运动伴生的钙碱岩浆活动,在130~110百万年之前,在下加利福尼亚半岛,与岩基侵入活动一起开始。当岩浆活动向东发展时,则规模逐渐减小。在70~60百万年前,在亚利桑那东南部和索诺拉东部与浅成深成岩体的侵入一起结束(锡尔沃等人,1975)。因此,美国西南部的斑岩铜矿床就与在挤压变形时期侵位于上地壳内的这些75~60百万年的侵入体伴生。对于在许多这样的深成岩体固结时期和固结之后发育的断裂、岩脉和岩墙所做的统计分析表明,整个亚利桑那都有一个固定不变的模式,即包含有这些构造发育时的主压应力的面在整个区域具有同一方向,近于垂直,走向东—北—东(雷里格和海德里克,1972,1976)。矿化与非矿化的岩株内断裂格局的分析表明,存在有水平方向的东—北东挤压和(或)局部垂直方向挤压。在达到工业品位的侵入体内存在有迭加的方向混乱的网格状破裂。因此,由区域压应力和深成岩体固结时产生的内力而形成的碎裂作用造成了岩体的破裂,为岩株达到工业品位的矿化作好了准备。(未完待续)