维普资讯 http://www.cqvip.com

铜矿床，角砾岩筒，形成，构造因素
晚中新世

10-14

智利中部安第斯山晚中新世富铜角砾岩筒形成的构造因素

P618.41C.2

M. Alexandra Skewes Charies R. Stern

Skews, MA 俞如龙

引　言

在智利中部和北部的安第斯山钙碱性岩体中，产有若干世界最大的铜矿床(图 1)。但是，并非所有岩体均显示矿化。据 Maksaev 和 Zentilli(1988)研究指出，智利北部一些晚始新世—渐新世大型斑岩铜矿床(楚丘卡马塔、埃尔萨尔瓦多等)，是在一较短时间范围(41—31Ma)内形成的。该时间段正好与晚白垩世—早第三纪岩浆岩带活动终止期一致，恰好也是地壳增厚和隆升的时期。Maksaev 和 Zentilli(1988)提出，地壳增厚导致岩浆生成区下延深部，从而产生具有形成斑岩铜矿床专属性岩浆的条件。与之相反，Farmer 和 Depaolo(1984)发现美国西部矿化与未矿化岩体之间不存在系统的成分差别，则认为岩浆源本身并不能决定铜矿床生成与否。

在智利中部的安第斯山地区(图 1)，产有三个最大、时代最新、也是研究最详的斑岩铜矿床，即洛斯佩兰布雷斯(Los Pelambres)、洛斯布隆采斯(Los Bronces)—里奥布兰科(Rio Blanco)和埃尔坦宁特(El Teniente)矿床，形成时代为晚中新世(9—4.7Ma)。其与智利北部那些时代较老的铜矿床相仿，这三个矿床同样也是生成于智利中部中新世岩浆岩带演化时期的最后一次事件，其后，火山前锋迁向东面。而且，这三个矿床的形成与地壳变形隆升时期也完全一致。据研究认为，安第斯山该区段的晚中新世火山弧迁移以及地壳变形，是由始于中中新世俯冲倾角变缓而引起的(Kay 等，1991)。

上述三个大型铜矿产于浸染状斑岩系与富铜角砾岩筒中。角砾岩筒规模较大，呈倒漏斗状，地表直径自 600m(洛斯佩兰布雷斯)至＞1200m(埃尔坦宁特)，已知主要岩筒深达 1800m，而且还未见其底。在洛斯布隆采斯—里奥布兰科矿床，产有十余个不同的角砾岩筒(在 2.5my 时间内形成)，在现今剥蚀表面组成长＞4 公里、宽 1 公里的狭长带状。该矿床含铜 40 百万吨，其中 50%以上产于角砾岩。

据研究认为(Warmaars 等，1985)，这些角砾岩是由岩浆—热液流体膨胀引起爆发侵位的。角砾岩的 50%—90%，由母岩体及其火山岩碎屑组成。基质以电气石、黑云母、硬石膏和/或岩粉(rock floar)为主，还含有石英、铁氧化物以及铁—铜硫化物。这些角砾—基质矿物，均是由产生母岩角砾化的同一流体在开放空间内沉淀而成的。从角砾—基质矿物石英和电气石中原生包裹体流体获知，它们显示高温(众多包裹体指示为＞600℃)和高盐度(＞50wt%NaCl)。据角砾—基质矿物对的 $\delta^{34}S$ 值测定，表明形成温度为＞650℃。上述结合氧、硫同位素资料，均表明这些矿物，包括 Cu 矿在内，或是从直接来自岩浆的流体中沉淀而成，

维普资讯 http://www.cqvip.com

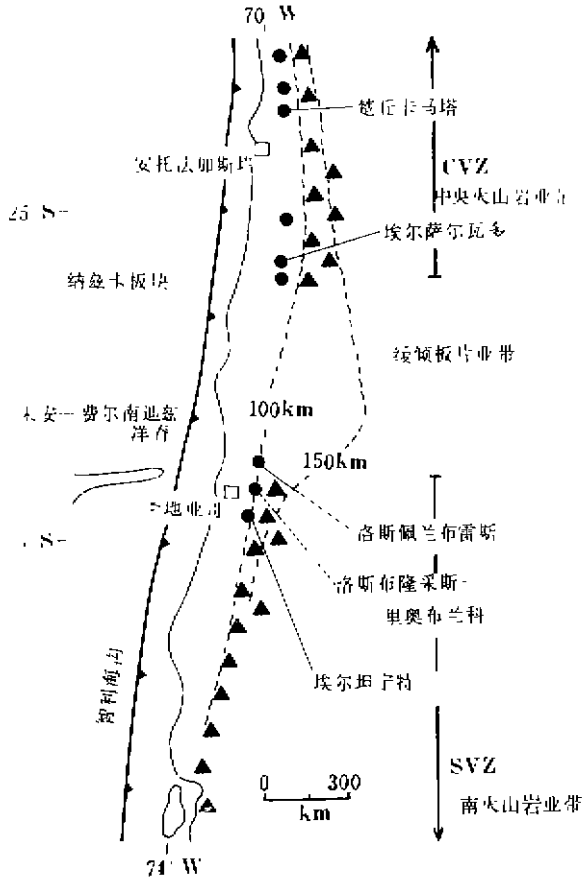


图 1　智利中部晚中新世洛斯－佩兰布雷斯、洛斯布隆采斯－里奥布兰科和埃尔坦宁特 Cu 矿床分布图

它们产于安第斯山脉南部活动火山带(黑三角)与缓倾板片亚带交界区附近。图中还示出智利北部中央火山岩带以西的中第三纪斑岩铜矿床(黑圆点)以及纳兹卡(Nazca)板块中段俯冲深度(虚线)。据 Bevis 和 Isacks(1984)资料。

或是流体在高温热液对流系统循环时与岩浆岩达到平衡的结果(Holmgren 等,1988)。作者认为,后一说,即构成角砾－基质矿物之元素是通过高温流体循环从岩浆岩中淋滤而来的意见,是难以令人接受的,因为这些流体应该源自较大深度的热储,这对瞬时形成角砾岩是必需的。鉴于这一点,作者的结论是形成角砾岩的流体应直接从岩浆中析出。

本文对角砾－基质矿物作了锶和钕同位素组成分析。可以认为,其相当于析出形成富铜角砾岩之流体的岩浆组成。本文资料表明,这类岩浆的同位素组成是有变化的,而且与相关的未矿化岩体在同位素组成上是重叠的。因此作者提出,这些铜矿床的形成是受构造事件引发的,而不是受通常解释安第斯铜矿成因所认为的专属性含铜斑岩岩浆所控制的。

地质构造背景

前述三个铜矿床产于安第斯两个主要构造亚带之间部位(图 1)。北面是缓倾板片亚带(flat－slab segment),其下俯冲倾角自中中新世以来变得很缓,现今已不存在火山活动。南面是南火山岩亚带,其下俯冲倾角较陡。据 Bevis 和 Isacks(1984)得出的结论,上述两亚带

维普资讯 http://www.cqvip.com

之间，并非是以俯冲板块内产生狭断层为界的，而是通过逐步弯曲过渡的。随着北面缓倾板片亚带俯冲倾角的逐渐变缓，其南面南火山岩亚带北端的俯冲倾角，同样受其影响而变缓(Stern，1989)，但程度不如前者(图 1)。

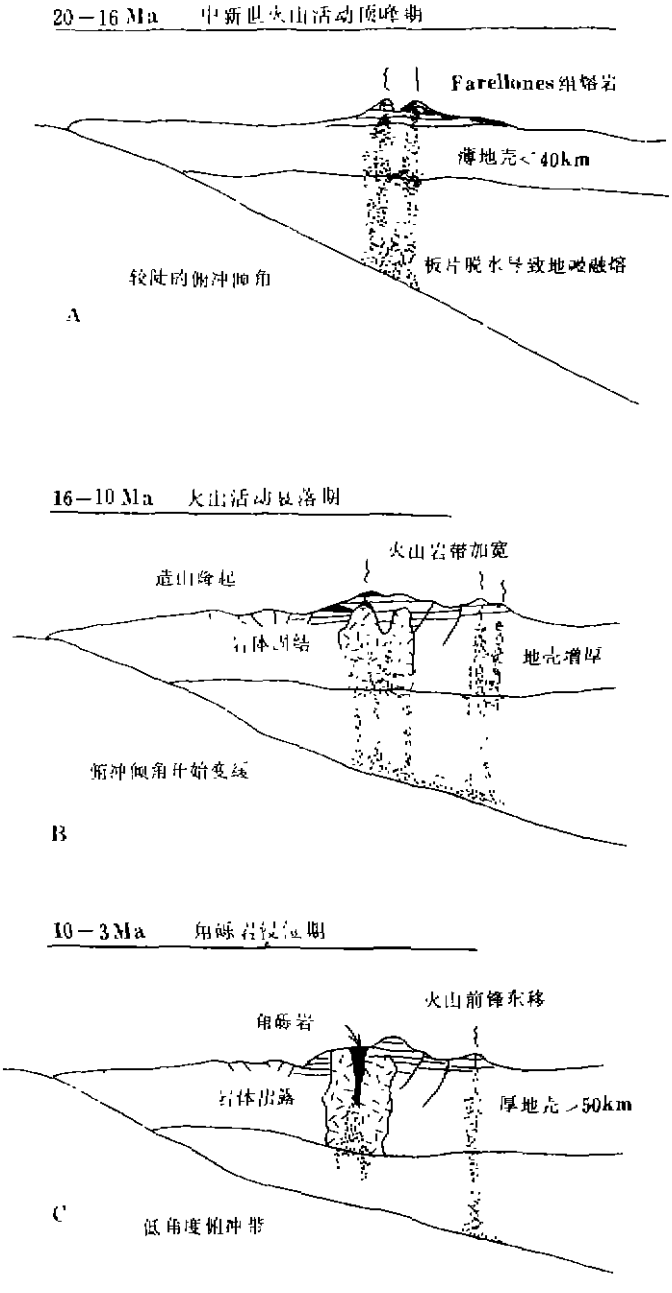


图 2 智利中部西缘自早中新世以来的构造演化示意图(说明见正文)

洛斯佩兰布雷斯、洛斯布隆采斯—里奥布兰科和埃尔坦宁特三矿床的晚中新世(9—4.7Ma)富铜角砾岩，产于中新世(18—7Ma)中酸性岩体及其所侵入的早—中中新世(20—8Ma)Farellones 组熔岩内(图 2；Sillitoe，1973；Stambuk 等，1982；Warnnaars 等；1985；Cuadra，1986)。在 20—16Ma 期间(图 2A)，智利中部中新世火山活动达到顶峰。在倾角较陡的俯冲带之上，喷发形成厚达 3000m 的 Farellones 组熔岩。在中中新世期间(图 2B)，俯冲倾角开始变缓，火山弧向东扩展(Kay 等，1991)。在这一时期，地壳开始增厚隆升(Allmendinger 等，1990)。在早中新世火山岩柱底部存在的上地壳岩浆房冷却结晶，形成矿化角砾岩的母岩体。在 10—3Ma 期间，俯冲倾角继续变缓(图 2C)。隆升加之剥蚀(速率为数百米/Ma)，使中中新世岩体上升至接近地表(Skewes 和 Holmgren，1993)，中新世岩浆系统开始冷却结晶，因为早中新世火山前锋之下来自地幔的岩浆和热输入减少。正是在这一阶段，形成了矿化角砾岩。在矿化角砾岩范围内的中新世岩浆系统，于角砾岩形成之后活动还延续 1—3my，证据是附近产有少量后角砾

维普资讯 http://www.cqvip.com

岩的岩浆岩。继后、该岩浆系统冷却乃至完全固结，安第斯火山前锋迁向东面。更具体地说，角砾岩形成和火山前锋向东迁移的时代，在北面较早，南面较晚（图3），这表明俯冲倾角变缓是逐渐向南发展的，原因可能是由朱安—费尔南迪兹洋脊（Juan Fernandez ridge）俯冲中心向南迁移而引起的（图1；Pilger，1981）。

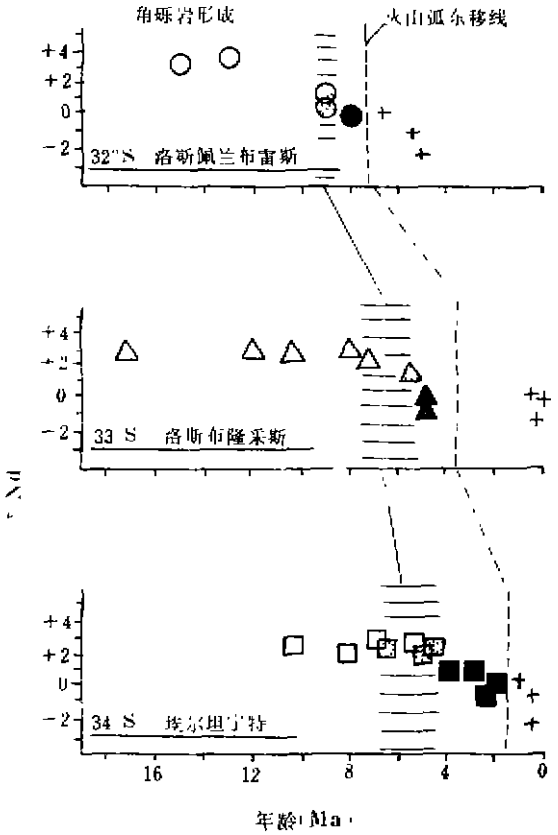


图3 洛斯佩兰布雷斯、洛斯布隆采斯—里奥布兰科和埃尔坦宁特三矿床岩浆岩的ϵ_{Nd}—年龄值投影图

白色代表角砾岩形成之前的，黑色代表角砾岩形成之后的。阴影符号代表富Cu角砾岩基质矿物ϵ_{Nd}值，投落在代表各矿床角砾岩形成时距的水平线上。图中还示出各位置火山弧东迁的时代（垂向虚线），以及洛斯佩兰布雷斯矿床以东晚中新世火山中心喷出熔岩（Key等，1991）、洛斯布隆采斯—里奥布兰科与埃尔坦宁特矿床以东活动火山喷出熔岩（Sterm，1989，1991）之ϵ_{Nd}值。

同位素地球化学

在智利中部地区，角砾岩形成前的中中新世岩浆岩，$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值为0.7039—0.7041，ϵ_{Nd}值为+4.4—+1.9（图3；Skewes，1992）。在矿床附近处，分布有角砾岩形成后的较年青的岩株、岩脉与熔岩，$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值为0.7043—0.7049，ϵ_{Nd}值为+1.0——1.4。在洛斯佩兰布雷斯、洛斯布隆采斯—里奥布兰科和埃尔坦宁特三矿床之东喷出有更年青的熔岩，$^{87}Sr/^{86}Sr$比值为0.7046—0.7059，ϵ_{Nd}值为+1.6——1.8（图3；Stern，1989；Kay等，1991）。由上获知，Sr比值逐渐增高，Nd比值逐渐降低，说明在这些年青的安第斯岩浆岩的产生过程中，陆壳成分越来越占有重要地位。引起这种变化的原因，可能是以下两种作用的综合结果，即（1）该时期的地壳增厚和（2）陆壳通过俯冲侵蚀和构造搬运进入弧下地幔的速率增高（Stern，1989；1991）。

选择的8件黑云母、硬石膏和电气石样品，其与角砾岩基质中铜硫化物是同时沉淀的，它们的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始比值为0.7040—0.7049，而ϵ_{Nd}为+3.3——1.1（图3；Skewes，1992）。这些测定值虽有变化，但包含了各矿床角砾岩形成之前和之后岩浆岩测定范围值的绝大部分。

讨论与结论

作者从本文所提供的同位素资料得出三个结论。

第一，各矿床角砾—基质矿物的同位素组成，均落入所有空间上相关的岩浆岩（年青和较老的）范围值内。这与作者提出的以下认识相一致，即形成角砾岩的高温流体是由岩浆析出的，而不是来自于对流热液系统。已知矿床附近存在有大量时代较老的安第斯岩浆岩、变

维普资讯 http://www.cqvip.com

质岩和沉积岩，若流体是来自高温对流热液系统的话，则同位素值应有较大的变化；要不然，即使存在对流热液系统，也是很局限的。

第二，不同角砾岩的角砾—基质矿物，它们的同位素组成是有变化的，表现为有些类同于空间上相关的未矿化岩浆岩，有些出现差异。作者认为，这种同位素组成应是形成角砾岩之流体来自岩浆的反映。根据这一解释可得出结论，岩浆成分本身并不能决定矿床能否形成。这与 Farmer 和 Depaolo(1984)研究美国西部矿床获得的结论是相一致的。

第三，有些角砾—基质矿物的同位素组成不同于它们的母岩体。因此，这些母岩体本身不可能成为形成角砾岩之富铜流体的源。该结论还可从各矿床母岩体的 K—Ar 年龄值得到佐证，即它们的年龄至少老于角砾岩 2my；同时，还可从角砾岩中岩体碎屑具棱角特征得到支持，即母岩体在角砾岩形成时已经结晶。看来，生成角砾岩的流体，必定是从结晶形成现今尚未出露岩体之岩浆中析出的。这与至今还未见过角砾岩根部的事实是相符合的。

作者认为，智利中部形成晚中新世富铜角砾岩的流体，是从长期演化的复杂岩浆系统晚期发生冷却之成分有变化的岩浆中析出的。作者以为，该岩浆系统相似于 Hildreth(1981)所述的会聚板块边界弧之岩浆系统，虽然有些不连续，但总体上可从近地表岩浆房，向下通过一系列深部岩浆房，穿过弧下地幔，一直延入俯冲大洋岩石圈顶部，在该处俯冲板片的脱水作用，促进弧下地幔的熔融(图 2)。至少在 15my 时间长度内，来自弧下地幔的岩浆和热输入，使智利中部的岩浆系统一直保持活动状态，早中新世产生大量熔岩，中—晚中新世形成侵入其中的多期次浅成岩体，乃至现今还未出露的深成岩体。从这些还未出露的侵入岩体析出岩浆流体，在岩浆活动的最后幕次生成晚中新世富铜角砾岩筒。

智利中部中新世岩浆系统活动的衰退，是构造上因晚中新世俯冲角度减少而引起的。由于这一原因，中新世岩浆岩带之下岩浆产出停止，安第斯火山前锋迁向东面，则该处来自下伏地幔的热输入就减少(图 2；Stern，1989；Kay 等，1991)。同时，地壳增厚、隆升乃至剥蚀，就使中新世岩浆系统的顶部升至接近地表处(Skewes 和 Holmgren，1993)。由于贫陆壳成分的较老岩浆与陆壳混染程度较高的年青岩浆相混合或被后者代替，则使同位素组成发生变化(图 3)。在漫长的 2.5my 时期内(据洛斯布隆采斯—里奥布兰科矿床 10 余个不同角砾岩形成的时限统计)，该系统内成分有变的岩浆历经冷却、结晶、析出流体，从而形成了矿化角砾岩。连续的隆升和剥蚀，导致这些角砾岩出露于现今的位置。

(参考文献从略)　　(俞如龙译自《Geology》，1994，V. 22，No. 6，p. 551—554)

(上接第 9 页)

充填于破碎的裂隙之中。已圈出矿体数个，规模不大，品位不高，其工业意义亦不大。

五、几点看法

1. 川西北—甘南地区的金矿找矿工作，从目前状况而言，是有前景的，其主要目标应集中寻找以构造蚀变岩为主的微细浸染型金矿，沿着几条大规模的构造带及旁侧的有利成矿部位去深入研究和解剖。

2. 在已有地球化学扫面成果区，应注意研究本区统一的金矿成矿地质—地球化学环境，同时，还要重视其不同成因地质环境的特殊条件，以利于面中求点，实现突破。

(参考文献从略)