

巴西 Pontes e Lacerda 地区中元古代脉状金矿床

Mauro C. Geraldés Bernardino R. Figueiredo

(Instituto de Geociências, Universidade de Estadual de Campinas, Brazil)

Colombo C. G. Tassinari

(Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brazil)

Hans D. Ebert

(Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade de Estadual Paulista, Brazil)

Pontes e Lacerda 地区位于亚马孙克拉通西南部 Guapore 河和 Jauru 河流域, 已经发现 20 多处金矿床. 区中出露的岩石有: 基底片麻岩和变粒岩, Rondônia 活动带花岗岩以及沿着该克拉通最新增生事件的 Sunsas-Aguapei 活动带分布并在活动中变形的岩石和晚期的沉积岩. 中元古代 Aguapei-Sunsas 构造作用形成了北西走向长 200 多公里, 宽 40 km 的岩石变形带.

目前在 Pontes e Lacerda 镇南部约 200 km² 范围内进行的地质填图中, 已标出多处重要的金矿床. 查明了本区的岩石、构造和矿床, 并对岩石和矿床进行了岩相学研究. 圣保罗大学地质年代学研究中心实验室作了 12 个样品的铅同位素和 7 个样品的钾-氩法同位素分析, 巴西利亚大学对 13 个光片的矿石矿物作了电子显微探针分析. 这些研究的目的是为了确定金矿床的形成过程, 并对该区矿床的勘探建立指导. 研究表明 Pontes e Lacerda 地区的金矿床具有太古宙绿岩地体中金矿床的特征, 但赋矿围岩却是中元古界.

1 地质背景

本区最老的岩石是基底杂岩体的变粒岩、片麻岩和混合岩. 产于 Figueiroplis 镇东部的片麻岩 Rb-Sr 年龄为 197 ± 70 Ma, 这些岩石与玻利维亚的 Lomas Maneches 变粒岩杂岩体 (1961 Ma) 相类似.

其次是 Pontes e Lacerda 火山沉积岩序列 (PLVSS), 或为 Rio Alegre 序列. 其中包括: 变质玄武岩、酸性凝灰岩、流纹英安质火山碎屑岩、碎屑沉积岩和化学沉积岩. Jauru 镇东部的基性-长英质火山岩及变质沉积岩, 被称作 Quatro Meninas 火山沉积

序列或 Alto Jauru 绿岩带. 基性火山岩主要由岛弧型的钙碱性玄武岩至富铁拉斑玄武岩所组成, 岩石的 U-Pb 年龄为早元古代 (1800 Ma). 在 Pontes e Lacerda 地区, 主要元素、痕量元素、稀土元素和 Nd-Sr 同位素组分, 均类似于源自地幔玄武岩的亏 Sr 富 Nd 的洋底玄武岩.

变化较大的基性侵入杂岩以及不同成分和年龄的花岗岩类侵入到古老基底和 PLVSS 中. 研究区东部的 Zndiavai 辉长岩的一个 K-Ar 年龄为 2.8 Ga, 该年龄可能反映了 Alto Jauru 绿岩带的年龄. 然而该变质辉长岩的另一测定数据 Sm-Nd 等时线年龄却为 1688 ± 46 Ma.

本区长英质-中性侵入岩被认为是 Aguapei-Sunsas 造山作用之前形成 (> 1300 Ma). 主要有 Cabacal 英云闪长岩和 Alvorada 花岗岩, 其年龄分别为 1700 和 1500 Ma. 另一些花岗岩类是 Agua Clara 花岗闪长岩和 Sante Helena 片麻花岗岩 (SHGG), 后者的变质 Rb-Sr 等时线年龄为 1300 Ma, U-Rb 年龄为 1434 ± 42 Ma. Maraboa 花岗岩 (MG) Rb-Sr 年龄为 1257 ± 125 Ma, U-Pb 年龄为 1454 ± 15 Ma.

区内 Aguapei 群 (AG) 沉积岩主要为变质砂页岩、变砾岩, 其次为 Fortuna 组变质粉砂岩, 其上由 Vale de Promissao 组变质泥岩所覆盖. 有人认为 Aguapei 群沉积于裂谷环境.

2 金矿床和热液蚀变

本区金矿类型有砂矿、红土型及热液石英脉型. 统计资料表明在 1991~1993 年间, 黄金总产量为 5 t.

Pontes e Lacerda 地区已知的 23 处热液型金矿床中, 有 11 处产在 AG 与 PLVSS 的构造接触带, 6 处产在 AG 中, 3 处产于 PLVSS, 3 处产于花岗岩类 (SHGG 和 MG) 围岩中. 在北部研究区目前仅有一处

矿山正在开采 (Santa Elina), 但储量尚不清楚. 在 Pontes e Lacerda 地区相对集中有 11 处金矿床. 产于 AG 中的有 Ribeiro Japones Marinho 和 Pombinha 矿床; 在 AG PLVSS 及其构造接触带的深成岩中产有 Lavrinha 和 Ernesto 矿床; PLVSS 中有 Onca 和 Joao Cumprido 矿床; 而 Maraboa 矿床产在花岗岩中. PLVSS 的岩性为石英片岩、石英岩、石英-磁铁矿片岩、矿化绢云母片岩, 含金石英脉. 石英岩中含有绢云母片岩夹层. 在 Lavrinha 金矿床的 30 个钻孔中, 有 3 个打在英云闪长岩中.

对所有矿床的研究表明, 金矿化与糜棱岩化和围岩热液蚀变密切相关. 一些蚀变的变质玄武岩和变质安山岩的化学成分数据显示, 由于矿液与岩石之间的反应, 岩石中 K_2O 、 Rb 、 Ba 、 Fe_2O_3 和 LREE 含量增高, 而 CaO 、 Sr 、 MgO 和 FeO 损耗. 部分稳定的氧化物和元素有 Zr 、 Y 、 Cr 、 Al_2O_3 、 SiO_2 和 TiO_2 . 在一些蚀变玄武岩中除有较高的 REE 含量外, 还有显著的 Ce 正异常. 这些异常产生了晚期的含 P 氧化溶液, 使蚀变晕中的磁铁矿自形变晶氧化成了赤铁矿.

3 构造背景

在对本区 240 处面状构造 (层理、叶理、劈理、剪切带、石英脉)、线性构造 (拉伸线理、褶皱轴线和交汇的线性构造) 及敞开褶皱等的观测基础上, 建立了该区的构造模式. 这些构造是明显的两次构造事件的结果. 最老的一期只出现在 PLVSS 和 SHGG 中, 表现为缓倾斜的透入性变质叶理, 为韧性状态下的近正向到斜向、反向拉伸的水平运动.

第二期变形与 Aguapei-Sunsas 构造事件有关. 分布于基底片麻岩与 Aguapei 群石英岩之间, 表现为强烈剪切变形, 近水平的糜棱岩叶理. 这些构造形成于韧性至脆-脆性条件下的近正向和侧向收缩的 NE-SW 向构造中. 在此构造事件期间, PLVSS 中的火山岩和沉积岩被逆掩断层从北东向南西推覆至 AG 地层的沉积岩之上, 形成敞开褶皱和次级的断层或裂隙. 由于褶皱的作用, 使 NW-SE 走向的叶理倾向于北东或南西. 矿化的含硫化物石英脉的产状与逆冲叶理一致, 而无矿脉体大多与叶理产状不协调.

Aguapei 群石英岩的叶理与区域层理平行, 局部被狭窄的右旋平移的韧性至脆-脆性剪切带所切割, 其走向为 NNW-SSE 向并近平行于区域褶皱的枢纽方向. 该剪切带发生了轻微的平移运动, 使得晚期的构造挤压产生轻微的偏斜 (扭压作用).

4 矿石矿物和矿物地球化学

热液矿石由石英、黄铁矿以及呈浸染状产出的金组成. 平行脉体的热液蚀变晕由石英、绢云母、少量

黄铁矿、磁铁矿和赤铁矿所构成. 呈赤铁矿假象的磁铁矿以毫米级自形晶附生在糜棱岩的叶理上. 压力影构造大晶体的侧方空隙中生长有石英. 黄铁矿部分或全部蚀变成铁的氧化物和氢化物的混合物. 仅在 Onca 矿床中见有副矿物黄铜矿、方铅矿和闪锌矿. 蚀变晕中存在分带现象, 黄铁矿靠近脉体分布, 而磁铁矿 (赤铁矿) 则出现在脉体的外侧. 一些火山岩围岩和矿化岩脉的基质中含有磷灰石和独居石.

对 Lavrinha Pombinha 和 Ernesto 矿床的黄铁矿和金矿物进行了电子显微探针分析. 黄铁矿中含有痕量的 As、Sb、Cu、Ni、Co 及含量达 3600×10^{-6} 的 Ce. 金矿物非常纯 (92%~97%), 矿石中含 Ag 3%~7%、Cu 1240×10^{-6} 、Bi 3760×10^{-6} 及痕量的 Te、Sb、Fe 和 As 元素.

碱金属硫化物矿石含黄铁矿 (60%)、黄铜矿 (20%)、方铅矿 (10%) 和闪锌矿 (10%). 硫化物的化学成分经电子探针测定, 黄铁矿中含 As (5700×10^{-6})、Sb (3900×10^{-6}) 和 Se (340×10^{-6}), 黄铜矿中也含有 Se (960×10^{-6}), 方铅矿中含 Se (2190×10^{-6})、Te (1080×10^{-6}) 和 Cd (1250×10^{-6}), 闪锌矿中含有 Se (2480×10^{-6}) 和 Cd (1700×10^{-6}).

Onca 矿床银金矿中的金含量具有明显的变化, 从 31%~55%, 平均为 49.62%. Ag 含量变化范围也很大 (43%~69%), 随着 Au 含量的减少, Ag 含量增高, 而 Fe 和 Cu 在其中也有发现.

铁硫化物中的 S/Se 比值比其他地区的中低温热液金矿床明显偏低. 富 Se 矿石的发现, 说明部分成矿溶液来自地壳深源, 这与石英脉中原始流体包裹体的资料相吻合. 该包裹体主要为低盐度 CO_2 - H_2O 流体和少量的 CH_4 和 N_2 . 另一方面, 矿脉中碱金属和金中的 Bi 元素的存在, 暗示成矿体系受到了同构造深成作用的影响. 热液蚀变岩石的化学成分 (富 K_2O 、 Fe_2O_3 、P 和 LREE) 表明, 岩浆作用对于成矿也有一定的贡献.

5 同位素资料和讨论

本区所获得 K-Ar 年龄范围从 964 ± 42 Ma~ 918 ± 10 Ma, 仅有一个样品小于 900 Ma (843 ± 17 Ma). 由于在与热液蚀变密切相关的矿化之后没有热事件 ($T > 350^\circ C$) 发生, 因此绢云母的 K-Ar 年龄可能接近其结晶年龄, 并与成矿年龄大致吻合.

$^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值分别落在 17.498~17.793、15.499~15.681 和 36.375~36.896 区间. 根据 Stacey 和 Kramers (1975) 铅的两期地壳平均生长曲线, 与这些比值相应的年龄范围是 669~772 Ma. 这一年龄与上述绢云母 K-Ar 年龄数

据有很大差别,表明 Pb的上地壳来源.而在 Zartman和 Deo (1981) 等时线图上,这些 Pb同位素比值基本落在 800~ 100 Ma年龄区间,表明铅是在 t_1 值超过地壳平均值的上地壳中演化的方铅矿的结晶年龄 (1000~ 800 Ma) 与热液蚀变的绢云母 K-Ar 年龄大体吻合.

在 Zartman和 Doe (1981) 的铀源铅和钍源铅等时线图解上,方铅矿 Pb同位素资料也有力地证明 Pb是来自高 U/Pb和低 Th/Pb ($9.7 < \rho < 10.2$) 的上地壳,这与矿石和蚀变围岩的地球化学特征是一致的.

Pontes e Lacerda矿床似乎形成于 Aguapei-Sunsas造山作用过程中,这与亚马孙克拉通南西部的变形作用和热液流体是同时产生的.铅同位素组成表明该流体是由两种流体的混合或与围岩的混染形成的.这种高 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和低 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值表明 Pb在形成方铅矿晶体之前受到古陆壳的重大影响,也就是说 Pb同位素比值显示的高 U/Pb和低 Th/Pb特征表明其来源于上地壳.当来自上地幔的热液流体侵入并通过上地壳岩石 (PLVSS和 AG地层) 时,地壳围岩中的铅使流体发生了混染.

6 结 论

Pontes e Lacerda地区含金石英脉的展布与叶理一致,其形成与围岩的糜棱岩化作用和热液蚀变同时.它们是在韧性剪切作用和同生的 NW-SE走向褶皱作用过程中,沿着 PLVSS火山岩和沉积岩与 AG逆掩碎屑沉积岩之间的分离带形成的.这一分离带形成于 NE-SW方向 Aguapei-Sunsas水平构造运动期间(中元古代),随后产生了褶皱、断裂和局部的右旋平移断层.

主要的矿石矿物是黄铁矿和金,次要的是磁铁矿和赤铁矿.在 Onca矿床见有黄铜矿、方铅矿和闪锌矿.石英脉的围岩蚀变成石英、绢云母、黄铁矿和磁铁矿.蚀变晕呈带状,黄铁矿呈赤铁矿假象靠近脉体,磁铁矿位于带的外侧.

铁硫化物中的低 S/Se比值显示,矿化流体来自地壳深源,与流体包裹体的研究成果相吻合.矿石中(Onca矿床)的金和碱金属内存在 Bi的富集,表明同构造期深成岩浆作用对成矿体系的贡献.在金矿区热液蚀变的火山岩围岩的地球化学也表明岩浆在成矿中的作用.

金矿脉中的热液绢云母的 K-Ar年龄范围为 960~ 840 Ma,可能代表矿物初始结晶年龄.而 Onca矿床方铅矿的 Pb同位素比值提供的模式年龄区间为 1000~ 800 Ma,这与 K-Ar年龄相吻合.铅同位素的比值显示 Pb的高 U/Pb和低 Th/Pb特征,表明方铅矿形成之前 Pb储集在上地壳中.

Pontes e Lacerda金矿床的年龄数据与 Aguapei造山作用密切相关.矿床大约是在亚马孙克拉通南部元古代收缩构造期间形成的,这一期间在 Pontes e Lacerda地区表现为一个重要的成矿期.

摘译自 Middle Proterozoic vein-hosted gold deposits in the Pontes e Lacerda region, southwestern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, 1997, 39: 438~ 448.

译 者 杨福新 (核工业西北地质局 203研究所)
校 者 张 哲