

。 国外贵金属地质。 ?

印尼 Ertsberg 地区斑岩型、 矽卡岩型、 交代型矿床中的贵金属矿物学

Jeffrey N. Rubin J. Richard Kyle

(Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin)

印度尼西亚伊里安查亚中西部的 Ertsberg 地区位于新几内亚岛中央山脉中, 距阿拉弗拉海 120 km. 本区的矿床为新几内亚地区主要的 Au± Cu 矿床, 包括多组矿体, 与这些矿体相伴的是侵入于中-新生代沉积序列的年龄为 4~ 2.5 Ma 的过渡成分侵入体 (图 1).

1 区域地质

1.1 地层

Ertsberg 地区出露的地层主要为上中生界 Kembelange 群 Ekmai 组硅质碎屑建造和第三系新几内亚灰岩群.

矽卡岩矿体间的差异, 与母岩的成分变化有部分关系, 母岩的成分影响了不同层位中矽卡岩的发育. 本文讨论的矽卡岩全部赋存于新几内亚灰岩群的各组中. 保存于矽卡岩中的独特的化石交代结构表明, 渐新统一中新统的 Kais 组是 Gunung Bijih 和 Dom 矿体的母岩. Gunung Bijih Timur 矿床的上部主要为 Ca-Mg 矽卡岩, 赋存于始新统 Faumai 组中; 矿床的下部主要为 Mg-Ca 矽卡岩, 发育于下部的新的几内亚灰岩群的古新统 Waripi 组白云岩序列中, 以及 Kembelange 群 Ekmai 组的顶部. Big Gossan 矿体和 Kucing Liar 矿体也产于 Waripi 组下部和 Ekmai 组的上部.

1.2 构造

新几内亚中央山脉为由经受了褶皱和断裂 (冲断) 的地层组成的高山地形. 这些地层在约 12 Ma 澳洲大陆边缘沿美拉尼西亚岛弧进入向北倾斜的俯冲带时形成.

Ertsberg 地区发现有两种变形. 轴向为 110° 的几公里长的褶皱为本区最大的构造. 一系列层内陡倾逆断层平行于褶皱轴. 这些褶皱及陡倾断层被两组走向分别为 30~ 70° 和 170~ 180° 的高角度断层水平断错, 其中北东向一组为左旋平移, 南北向一组为右旋平移. 这些断层位移明显, 断距从几米到几百米, 这两套断裂交叉处的薄弱带控制了 Ertsberg 和 Grasberg 侵入体的就位.

1.3 岩浆活动

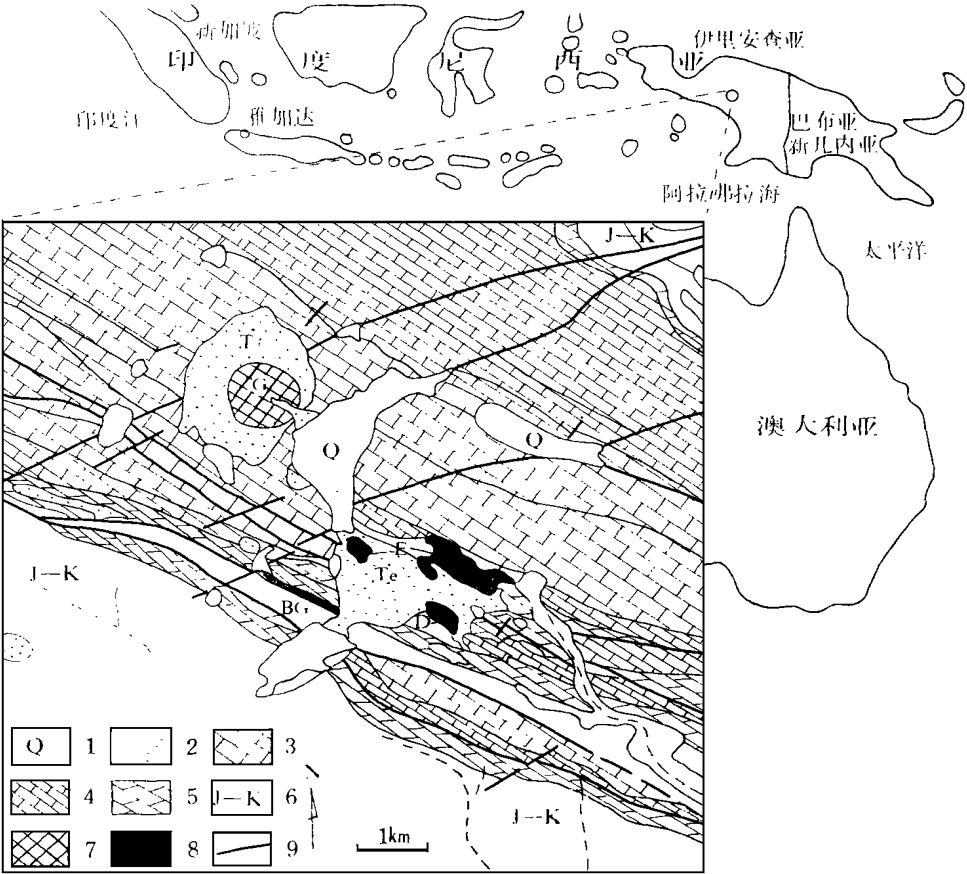


图 1 Ertsberg 地区地质图及矿床位置

1- 第四系冲积物；2- 第三系侵入岩：Te- Ertsberg岩体，Tg- Grasberg岩体；3- 第三系 Kais组；4- 第三系 Faumai组；5- 第三系 Waripi组；6- Kembelange群；7- Grasberg斑岩矿床；8- 矽卡岩矿床：E- Gunung Bijih矿床，E - Gunung Bijih Timur矿区，D- Dom矿床，BG- Big Gossan矿床；9- 断层

Ertsberg 地区的大多数侵入体为细粒斑岩岩株、岩墙和岩席，它们都有不同程度的蚀变。在 Grasberg 火成杂岩的四周及顶盖见有局部出露的蚀变火山岩层，表明岩体为浅部侵位的岩浆。

产于 Ertsberg 地区的所有主要矽卡岩在空间上都与 Ertsberg 侵入体相伴生。该侵入体为一个具等粒状结构的岩株，其成分在二长闪长岩-石英、二长岩-石英、二长闪长岩范围之内，斜辉石为最常见的镁铁质相。

对 Ertsberg 岩体侵入相中 15 个黑云母样品做的 K- Ar 年龄检测显示，Ertsberg 侵入体就位于 4.4~ 2.6 Ma，多数集中在 3.3~ 3.0 Ma。

2 矿体

2.1 Grasberg 斑岩系

Grasberg Cu-Au 矿床位于 Grasberg 火成杂岩内部的硅化带内. 复合岩株的地表面积为 3 km^2 , 标高达 4200 m 以上. 矿床 1988 年末开始钻探, 1989 年 12 月投产, 现有矿石量大于 1.7 Gt , 平均品位 $\text{Cu } 1.1\%$, $\text{Au } 1.2 \times 10^{-6}$, $\text{Ag } 3.2 \times 10^{-6}$. 表生富集微不足道, 并不影响矿体品位.

Grasberg 火成岩至少包含 3 个主要侵入期, 每期可分为 2 或 3 个阶段, 主要侵入期的火成岩代表了一个主喷发中心的次火山岩部分. 侵入相围岩之上出现火山盖层的残余. Dalam 火山道产生代表最早的侵入阶段, 形成了体积最大的 Grasberg 火成杂岩. 与 Dalam 岩体相接触的是 Yellow Valley 向斜内新几内亚灰岩群中的第三系碳酸盐岩. 接触带为一个不规则、但一般很窄 (几十米宽) 的大理岩角砾岩带, 其中含有新几内亚灰岩群碎屑, 大量已重结晶, 存于沉积岩与火成岩混合的基质中. Dalam 岩体先被 Grasberg 主岩体侵入, 两者又被 South Kali 阶段岩体侵入.

Grasberg 火成岩具有一个石英网脉中心带, 其上叠加有很富的 Cu-Au 矿化. 该中心带大部分位于主 Grasberg 侵入岩体内, 向外渐变为一个宽阔的千枚状带, 大量发育于 Dalam 火山道中, 围绕杂岩体的边缘, 尤其是在 Dalam 火山岩之内, 发育绿磐岩蚀变. 在地表, 沿着 Dalam 侵入体东部与新几内亚灰岩群的接触带, 局部发育含磁铁矿的蚀变. 深部大约 3600 m 标高之下, 该接触带成为一个复杂的矿化带, 有磁铁矿和黄铁矿, 并有数量不等的黄铜矿和斑铜矿充填于裂隙中. 该带被称为“重硫化物带”. 带内最主要的蚀变是硅化, 尽管也有局部的钙硅质岩发育. 重硫化物带向外进入含高锌和铅的矿化带, 一般在大理岩中, 但也有沿未重结晶的灰岩中不规则的粘土条带出现. 在距 Dalam 岩体接触带 300 m 远的灰岩翼中, 以及沿着主 Grasberg 侵入体内的晚期构造, 出现局部的闪锌矿-方铅矿-萤石富集. 钻孔发现在 Waripi 组及沿着 Yellow Valley 向斜轴的陡倾构造中有矽卡岩和交代硫化物的富集.

Grasberg 岩体的黑云母 K-Ar 年龄显示, 它们在时间上与大约 3 Ma 的岩浆活动关系密切. 石英 (±磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、硬石膏) 细脉具有高温、高盐度以及富汽流体包裹体 (典型的斑岩蚀变流体) 特征. 虽然 Cu-Au 的富集, 在空间上与富石英网脉相伴, 但硫化物细脉很典型地切穿了石英脉, 因此 Cu 矿化是叠加在网状脉发育之上.

2.2 Gunung Bijih Timur 矽卡岩矿区

Gunung Bijih Timur 矿床位于 Ertsberg 侵入体北缘以东约 1.5 km, 包括 3 个在垂直方向相叠置的矿带 (Gunung Bijih Timur 矿带、中间带、深部带), 共同构成了世界上最大的含 Cu 镁质矽卡岩矿床. Gunung Bijih Timur 矿床从地表露头海拔 4000 m 标高向下延深至少 1200 m. 矿床南部以 Ertsberg 侵入体为界, 北部以近直立的上盘断裂为界, 断裂两侧分别为矽卡岩和无矿大理岩. 矿体及上盘断裂被一系列低角度断层错断, 断距达 15 m. 这种低角度断层在整个矿区都有出现.

这 3 个矿体是以经济及工程指标确定的, 3 个工程分别开采. 深部矿体暂未生产, 中间矿体最近投产, 而 Gunung Bijih Timur 矿体已经采完. 矿床被分成上部矽卡岩 (包括 Gunung Bijih Timur 矿体及中间矿体的大部分) 和下部矽卡岩 (包括中间矿体底部及整个下部矿体). 上部矽卡岩与下部矽卡岩之间的界线即为钙质的 Faumai 组 (上部) 与白云质的 Waripi 组 (下部) 的接触界线.

下部矽卡岩的主要矿物成分有镁橄榄石和透辉石, 其中镁橄榄石与磁铁矿、斑铜矿、硬

石膏一起形成细粒块状矿石。矽卡岩的主要蚀变包括石墨、蛇纹石、透闪-阳起石及绿泥石。上部矽卡岩主要为钙镁橄榄石矽卡岩和透辉石-镁橄榄石矽卡岩。钙铝铁榴石局部富集,成为晚期演化的外矽卡岩相。单斜辉石在整个矿床都有出现,但大量见于上部矽卡岩中。矿床中次要矿物有尖晶石、硅灰石和符山石。透闪石为透辉石主要的蚀变产物,大量出现在下部矽卡岩中,较多的阳起石角闪石呈脉状出现。矿床内常见云母,在下部矽卡岩中为金云母,上部矽卡岩中为绿帘云母。硬石膏在下部矽卡岩中普遍存在,一般作为钙硅酸盐的胶结物,或充填于矽卡岩晶洞和脉中,硬石膏也出现于上部矽卡岩中,但一般为方解石的次生产物。

硫化物主要是斑铜矿其次是黄铜矿,通常充填于半自形磁铁矿中。 Cu/Fe 值及斑铜矿/黄铜矿比值随深度而增加。斑铜矿和黄铜矿产于高品位矿石内石榴石的裂隙中,或者与上部矽卡岩中的粘土、方解石、硬石膏及黄铁矿共生。在下部矽卡岩中,斑铜矿与磁铁矿和硬石膏共生。在侵入岩接触带及其附近,斑铜矿±硬石膏形成几厘米宽的脉。蓝辉铜矿和辉铜矿-久辉铜矿为斑铜矿的一般蚀变相,铜蓝和铁铜蓝为黄铜矿的蚀变产物。

2.3 Dom 矽卡岩矿体

Dom 矿体位于 Gunung Bijih Timur 矿体南约 500 m, 出露标高为 4200 m。矿体在剖面上呈楔状,在平面上近圆形。矿体北面为 Ertsberg 侵入岩,东、西、南以断裂为界。南部边界的 Dom 断裂使无矿大理岩与矽卡岩相接。东、西边界断裂为南北走向,近直立,右旋。从北部的侵入岩接触带开始,矽卡岩在横向可分为 4 个带:(1) 钙镁橄榄石矽卡岩;(2) 石榴石+磁铁矿矽卡岩;(3) 由 Kais 组灰岩和大理岩块组成的“岩块带”;(4) 以镜铁矿+石英+磁铁矿±黄铁矿为基质的石榴石矽卡岩带。

Dom 矽卡岩中普遍存在化石假象交代现象,尤其是在岩块带中,其中的 Kais 组灰岩含有与矽卡岩中相同的有孔虫。黄铜矿和碳酸盐交代了磁铁矿矽卡岩中的有孔虫,而晚期的石榴石、方解石和黄铁矿则交代了石榴石矽卡岩中的有孔虫。未蚀变的 Kais 组灰岩中的结构与 Dom 矽卡岩中的结构相同,进一步证明了 Kais 组是该矽卡岩的母岩。

磁铁矿和石榴石构成了矽卡岩的主体。黄铜矿是主要的矿石矿物,与石榴石和磁铁矿伴生。黄铜矿的蚀变产物铜蓝和辉铜矿-蓝辉铜矿产于裂隙及颗粒边缘,黄铜矿呈孔隙填充、化石假象交代以及与早期退蚀变作用共生的细脉出现。

与 Ertsberg 地区其他矽卡岩相同,Dom 矽卡岩高温矿物有透辉石和钙镁橄榄石。大部分石榴石为细粒、块状绿-黄色石榴石。退蚀变作用在整个矿床普遍存在,包括绿泥石、石墨、方解石、云母和粘土对石榴石和透辉石的交代。局部出现细粒金云母,通常与白云母共生,为进蚀变作用晚期或退蚀变作用早期的产物。充填的石英脉和方解石在 Dom 矽卡岩中随处可见。

2.4 Big Gossan 矿体和交代带

沿着 Ertsberg 侵入体西部的 Big Gossan-Batu 断裂带分布的矿物富集有两类:构成 Big Gossan 铜矿体的赋存于钙硅酸盐中的硫化物,以及一个局部高 Au-Ag 的富 Fe-Pb-Zn 交代带。在 Waripi 组下部和 Ekmai 组最上部的钙硅质碎屑岩中,矽卡岩构成一个板状体,该地层沿 Big Gossan 断裂分布,走向北西,倾角 80°N 。进蚀变矽卡岩矿物为透辉石、钙铝铁榴石、硬石膏和透闪-阳起石。退蚀变相主要为绿泥石和绿帘石,及数量不等的金云母、阳起石、蛇纹石、石英和方解石。矽卡岩中的金属矿物包括磁铁矿、黄铜矿和少量自然金,磁黄铁矿为

矽卡岩带上部主要的硫化物。赋存于矽卡岩内的 Cu 矿体大量出现于 2900 m 标高之下, 沿走向延长超过 1.5 km。该矽卡岩在地表没有出露, 只局部出露角页岩。与 Big Gossan 矿体的高铜富集相对比较, Cu 矽卡岩矿体的 Au 含量 (1.0×10^{-6}) 对于该区来说就不值一提了。

Big Gossan 矿体的 Au 产于距矽卡岩内 Cu 矿体几十米的一个陡倾板状带中, 没有显著的边界, 闪锌矿和方铅矿, 以及局部富集的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和毒砂交代了 Waripi 组下部的硅质灰岩、页状灰岩和钙质页岩。Au 富集在富 Zn-Pb 的带中, 在 12 m 范围内, 局部富集达 10×10^{-6} , 钻孔中含矿层主要出现在 2900 m 标高以上, 直至 3300 m, 但在 2280 m 标高处见到相似物质。在 Big Gossan 矿体地表处, Fe-Zn-Pb 硫化物富集的风化物构成了富 Au 铁帽。

3 金、银矿物学

本研究分析的样品来自 Grasberg Gunung Bijih Timur 矿区和 Big Gossan Dom 矿体的地表、地下露头及岩芯。在 Gunung Bijih Timur 矿区标本内 26 粒自然金中, 有 20 粒与斑铜矿共生或产于其中, 3 粒与石英共生, 3 粒同时与斑铜矿和石英共生。来自 Grasberg 矿床的 11 粒金中, 6 粒与斑铜矿共生或产于其中, 3 粒与黄铜矿共生, 2 粒与斑铜矿和石英共生。产于 Gunung Bijih Timur 矿区和 Grasberg 矿床的金粒, 长轴一般不超过 $10 \mu\text{m}$ (但最大可达 $100 \mu\text{m}$), 他形, 通常成分均一。自然金在 Dom 矿床中, 以黄铜矿中的微细包裹体 ($2 \sim 15 \mu\text{m}$) 出现, 但极为罕见。

Big Gossan 铜矽卡岩中的自然金大多数呈黄铜矿中的包裹体出现。本研究中分析的 Big Gossan 全部的自然金都与 Pb-Zn-Au-Ag 交代带共生。石英和黄铁矿是自然金最常见的载体矿物, 所观察的 30 粒金有 21 粒全部或部分地赋存于石英和黄铁矿中, 磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿和毒矿中也都含有自然金。

在所有矿床中发现自然金在空间上普遍与一种或多种铋矿物共生, 包括自然铋、辉铋矿和辉碲铋矿。自然金的成分与颗粒形态、产出状态及岩石成分之间没有明显的联系。

该区内真正的 Ag 矿物 (即 Ag 为主要阳离子的矿物) 少见。来自深部矿带的两个标本中见有辉银矿, Dom 的一个标本中见有一粒碲银矿。在深部矿带, 磷灰石中赋存有小于 $2 \mu\text{m}$ 的 Ag 包裹体, Gunung Bijih Timur 矿区和 Grasberg 矿体中常见的含 Ag 矿物为斑铜矿 (少见黄铜矿)。方铅矿中含有一定的银, 但它在 Grasberg 和 Gunung Bijih Timur 矿体中很少见, 而在 Big Gossan 金矿中却较常见, 也许是主要的含银矿物, 因为其他硫化物 (黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和毒砂) 中没有探测到银。

4 分析结果

对 Gunung Bijih 地区矿床中自然金和硫化物的分析, 表明了贵金属产出状态的变异性, 对自然金的成色也作了分析。

本区贵金属分布有 5 个显著特征: ① 除 Grasberg 外, 在 Ertzberg 地区所有矿床内, 自然金的粒度分布范围很宽; ② Grasberg 的一些自然金富含 Pd, 这与区内其他矿床不同; ③ Grasberg Gunung Bijih Timur 和 Dom 矿床比 Big Gossan 矿床更富含铜; ④ Ag 作为一种痕量组分, 普遍存在于 Gunung Bijih Timur 矿床的斑铜矿以及 Grasberg 的斑铜矿和黄铜矿中, 但在

Big Gossan和 Dom的黄铜矿中很少含 Ag;^⑤ Gunung Bijih Timur矿区的方铅矿含银较少,而 Big Gossan的方铅矿则是重要的含银矿物。

Ertsberg 地区金成色变化范围较大。Gunung Bijih Timur矿区自然金成色范围较宽并呈双峰式分布: 920~ 990和 340~ 840 (69个样品, 平均 860)。Grasberg矿体的样品中自然金含银较少, 成色大于 930 (22个样, 平均 960)。Big Gossan矿体的金成色为 540~ 960 (60个样, 平均 830)。

Gunung Bijih Timur矿区和 Big Gossan矿体的自然金中不含可检测的 Pt和 Pd (检测精度为 1000×10^{-6})。而 Grasberg矿体的自然金则可分成含 Pd $\leq 3500 \times 10^{-6}$, 14个样, 平均 1800×10^{-6} 与不含 Pd (8个样) 两组。对 Grasberg矿石的试金分析显示, 有痕量可检测的 Pd, 而没有可检测的 Pt, 矿石中 Pb含量从检测极限 10×10^{-9} 直到 500×10^{-9} , 平均 50×10^{-9} 。几乎所有 Grasberg矿体的含 Pd自然金都产于主 Grasberg 侵入体的晚期矿物中。

Grasberg 矿体的自然金中含 Cu ($0.82 \pm 0.55\%$), 而 Gunung Bijih Timur矿区的自然金含 Cu 更高, 达 2.5%, Big Gossan矿体的自然金普遍含 Cu 较低, 低于 1200×10^{-6} , 平均 300×10^{-6} 。

Ertsberg 地区的自然金可分为高 Cu高 Pd和低 Cu低 Pd两组。高 Cu高 Pd的样品采自 Gunung Bijih Timur矿区, 而低 Cu低 Pd的样品来自 Grasberg矿体。

自然金的产出状态似乎与斑铜矿中 (Ag) 和黄铁矿中 (As) 成分变化没有关系。虽然在 Gunung Bijih Timur矿床和 Grasberg 矿体中标高与金成色之间没有明显的相关关系, 但在 Big Gossan矿体自然金的成色有随标高增加而增加的明显趋势: 3100 m, 标高处平均成色为 930, 2300 m标高处平均成色 750。尽管 Gunung Bijih Timur矿床和 Dom矿床的 Au与 Cu相关性不大, 但这些矿床内所有的自然金都与 Cu共生, 虽然 Cu矿石品位并不总是很高。对 Grasberg矿体的火试金试验数据及 Gunung Bijih Timur矿区的钻孔资料显示, Cu与 Au之间存在明显的正相关关系, Grasberg矿体的 Cu与 Au的相关性几乎同 Cu与 Ag的相关性一样明显, 而 Gunung Bijih Timur矿床的 Cu与 Au的正相关性则较弱。Au与 Ag之间或 Pd与其他金属之间没有明显的相关性。

在 Big Gossan矿体, Ag与 Pb具弱的正相关。在 Gunung Bijih Timur矿床和 Grasberg矿体, Ag是斑铜矿中常见的痕量成分。在 Gunung Bijih Timur的斑铜矿中, Ag的含量最高达 5900×10^{-6} , 平均 600×10^{-6} (95个样品)。Big Gossan矿体和 Dom矿床的黄铜矿、Big Gossan矿体的磁铁矿及所有矿床的黄铁矿中都不含可检测的 Ag。Big Gossan矿体的方铅矿普遍含 Ag (10^{-6}) 较高: 1200~ 13100, 平均 7600 (27个样)。

5 讨 论

基于试金分析和电子探针数据的质量平衡计算表明, Gunung Bijih Timur矿区中大部分 Ag赋存于斑铜矿中。矿石平均品位为 Cu 2%, Au 0.8×10^{-6} , Ag 10.6×10^{-6} 。虽然整个矿区的 (Ag/Au)_{矿石} > 10, 但电子探针分析的自然金中 (Au/Ag)_{自然金} ≈ 6 。矿物分析结果 (Cu/Ag)_{矿石} ≈ 1900 , 电子探针结果 (Cu/Ag)_{斑铜矿} ≈ 1000 (矽卡岩中斑铜矿平均含 Ag 600×10^{-6} , Cu 60%~ 66%), 估算斑铜矿和黄铜矿中 Cu和 Ag的总量, 可由下列公式完成:

$$Ag_{\text{总量}} = Ag_{\text{斑铜矿}} \times [\text{斑铜矿}] + Ag_{\text{黄铜矿}} \times [\text{黄铜矿}] + Ag_{\text{自然金}} \times [\text{自然金}] \quad (1)$$

$$Cu_{\text{总量}} = Cu_{\text{斑铜矿}} \times [斑铜矿] + Cu_{\text{黄铜矿}} \times [黄铜矿] \quad (2)$$

公式 (1) 可被简化, 因为黄铜矿中含 Ag 极少, 而 [自然金] 可忽略不计. 矿物学研究结果, 斑铜矿 黄铜矿约为 2 矿床内全部 Cu 储量为 2.4 Mt, 其中 66% 赋存于斑铜矿内, 其余赋存于黄铜矿中. 若斑铜矿中 Cu 平均含量为 63%, 可得出矿床中斑铜矿为 2.5 Mt, 将其代入公式 (1), 则

$$Ag_{\text{总量}} \approx 600 \times 10^{-6} \times 2.5 \text{ Mt} = 1500 \text{ t}$$

分析数据显示, 122 Mt 矿石中 Ag 品位 10.8×10^{-6} , 即含 Ag 1300 t. 与上式结果误差约 15%.

这些计算由整个矿床内 Ag 与 Cu 相关性所支持, 并且清楚地说明了在斑铜矿和自然金共同沉积的组合中, Ag 更倾向与斑铜矿共生, 而不是与自然金共生或以单独形式出现. 罕见的孤立 Ag 在整个矽卡岩 Ag 的含量中所占数量可忽略不计. 虽然在另外几个矿床取样相对较少, 但在其他矿床中, Ag 在铜的硫化物 (尤其是斑铜矿) 中遵循相似的替代方式. 在 Big Gossan 矿床, 更多的 Ag 赋存于方铅矿中, 虽然 Ag 与 Cu 的相关性也不错.

Ertsberg 地区矿床中的高成色 Au 是典型的与世界范围内斑岩成矿体系伴生的 Au. Grasberg 和 Gunung Bijih Timur 矿床内自然金的高 Cu 含量似乎在全区也是普遍存在的.

虽然在 Ertsberg 地区不同矿体中自然金的成色范围有相当大的重合, 但根据自然金中痕量及微量元素含量, 仍可明显地划分为 3 组: (1) 高 Cu, 含 Pd (Grasberg); (2) 高 Cu, 无可检测 Pd (Gunung Bijih Timur, Grasberg, Dom); (3) 低 Cu, 无可检测 Pd (Big Gossan). 这些区别可能反映了这些矿床之间岩浆侵位过程、热液系统演化以及贵金属运移机制的主要区别. 或者说, 自然金的沉淀可能代表了一个降温过程, 即高 Cu 含 Pd 的金沉淀于最高温度, 而低 Cu 无可检测 Pd 的金沉淀于最低温度. 在氯化物络合物为 Au 和 Ag 主要运载体热液流体中, 自然金的成分很大程度上受温度控制. 在氧化和酸性条件下, Au 氯化物络合物相对二硫化物络合物稳定, Pd 与 Cl 也形成稳定的络合物.

在晚期主 Grasberg 侵入岩中, Pd 在 3700 m 标高的矿石中局部高度富集, 可以推测, 富 Pd 的金与无 Pd 的金反映了 Grasberg 矿化作用的多期性. 然而, 贵金属的运移和沉淀在很大程度上受演化的热液系统温度变化的影响.

Gunung Bijih 地区各种侵入岩的地球化学研究、岩相学相似性、密切的空间分布以及地质年代学数据都有力地证明, Grasberg 侵入岩和 Ertsberg 侵入岩源于同一母岩浆. Pb 同位素和流体包裹体数据显示, Grasberg Gunung Bijih Timur 矿区、Dom Gunung Bijih 和 Big Gossan 硫化物矿物中的金属来自岩浆流体. 这些硫化物中所含 Pb 比 Ertsberg 和 Grasberg 侵入体中所含 Pb 更少放射性成因, 可能表明来源于同一岩浆房的更深处. 虽然 Gunung Bijih Timur 矿区、Dom Gunung Bijih 及 Big Gossan 的矽卡岩在空间上与 Ertsberg 侵入岩体相伴, 但有经济价值的硫化物沉积和大部分钙硅质矽卡岩建造似乎都与一个更深的岩浆源伴生. 尽管 Gunung Bijih Timur 矿区的斑铜矿和黄铜矿内的早期金可能与 Cu 一起由氯化物络合物运移, 但似乎是二硫络合物在晚期金迁移并沉淀于矿物颗粒边缘和裂隙的过程中起了重要作用. 金沉淀的不同机制可能造成了 Gunung Bijih Timur 矿区 Cu 与 Au 相关性的不一致.

铜主要靠氯化物络合物运移. Gunung Bijih Timur 矿区和 Grasberg 矿体的自然金与 Cu - Fe 硫化物密切共生, 显示了它们间的同沉积关系 (或 Au 从斑铜矿或黄铜矿中出溶), 可能

说明相当一部分 Au以一种或多种氯化物络合物形式运移. Grasberg矿体的 Cu-Au相关性表明其同沉积的程度比 Gunung Bijih Timur要大,反映了更高的温度和氯化物络合物运移方式.

在 Big Gossan矿床, Cu与 Au的分离更具特色,赋存于矽卡岩的 Cu矿体含 Au相对较低,但单独赋存于矽卡岩中的 Au与 Zn-Pb相伴生. Big Gossan地区标高与金成色的关系使其矿化特征区别于其他地区的矿体. Big Gossan矿床交代产状中金矿床成色的垂直分带为典型的远离火成岩体的脉系中所见的现象.

在 Gunung Bijih Timur矿区,由于硫化物矿化是相对于钙硅质建造较晚期的事件,斑铜矿与 Au结合并产生所见的结构. Dom和 Big Gossan相对少量的斑铜矿可能是主体相变化范围较大的原因. Grasberg矿石中的主矿物斑铜矿和黄铜矿可能表明较高温的矿石建造或具不同组合的多期成矿.

根据 Cu Ag Pd含量对自然金的成分分类,对于在 Gunung Bijih及其他地区的勘探也许是有意义的. 块金及分散流重砂的成分可以指示 Au侵蚀沉积的类型. Grasberg矿体自然金中有意义的 Pd富集,也说明在这些类型矿床的勘探与评价中对铂族元素进行试金分析的重要性. 重砂中自然金内铂族元素含量比起单独的成色因素来,或许是更具辨别力的因素. 虽然分析的样品不具大范围的代表性,但富 Ag的自然金(即银金矿)为更典型的远离岩浆中心的矿化. 重砂中金粒含高 Cu 高 Pd 低 Ag,显示了斑岩型或矽卡岩型来源的特征.

摘译自 Economic Geology, 1997, 92 (5): 535~ 550.

原 题 Precious Metal Mineralogy in Porphyry-, Skarn-, and Replacement-Type Ore Deposit of the Ertzberg (Gunung Bijih) District, Irian Jaya, Indonesia

译 者 张 哲 (沈阳地质矿产研究所)