

· 国外贵金属地质 ·

塔斯马尼亚西部浅海富金火山成因块状硫化物矿床

S. W. Halley

(Goldfield Exploration, Australia)

R. H. Roberts

(Renison Limited, Australia)

澳大利亚塔斯马尼亚州西部 Mount Read 火山岩中赋有大量多金属火山成因块状硫化物矿床 (图 1), 如 Mount Lyell 地区一系列浸染状 Cu-Au 矿床, Henty 地区的高品位金矿床 (平均金品位 2×10^{-6})。Henty 矿床产于 Tyndall 群流纹质熔岩和富晶火山碎屑岩系底部。该群内的含化石沉积物和熔结凝灰岩表明了一种局部的浅海环境。矿化作用发生于一个大断裂下盘整合接触的蚀变岩组中, 容矿岩石在后期挤压事件中发生强烈的变形。

矿床在蚀变作用和金属分布上具明显的不对称性。喷气岩单元具有分带性, 从含较小块状硫化物透视镜体的块状黄铁矿向外 → 含红色碧玉的块状方解石 → 绿泥石-方解石。金与黄铁矿、黄铜矿和方铅矿伴生, 产于块状黄铁矿底盘强硅化带的后期裂隙中。该带四周为含浸染状碱金属的二氧化硅-绢云母-黄铁矿蚀变岩。在变形期间, 硅化岩石多次破裂, 而富绢云母岩石成为高应变带。硫化物的压溶增强了金向脆性裂隙运移。高金值局限于喷气岩近源部分的下盘, 表明在火山成因块状硫化物事件中金开始加入, 再活化作用为局部过程。1 地质背景

Henty 矿床位于 Mount Read (MR) 火山岩区。放射性年代测得 MR 火山岩近 500 Ma。MR 火山岩由早期的长石斑状英安质熔岩和火山碎屑岩系组成, 即中央火山杂岩体。其上覆的 Tyndall 群由流纹质熔岩、富晶火山砂岩和磨圆度较好的火山砾岩组成。Tyndall 群位于 MR 火山岩最上部, 其上覆盖有原岩为前寒武系石英岩和片岩的 Owen 砾岩——粗粒硅质碎屑砾岩。在中泥盆纪的 Tabberabberan 造山运动中整个岩系均发生变形。

MR 火山岩被许多南北向的大断裂切割。Henty 断裂和 Great Lyell 断裂横跨 Henty 地区, Henty 矿山即位于此两断裂之间。Henty 断裂局部走向为

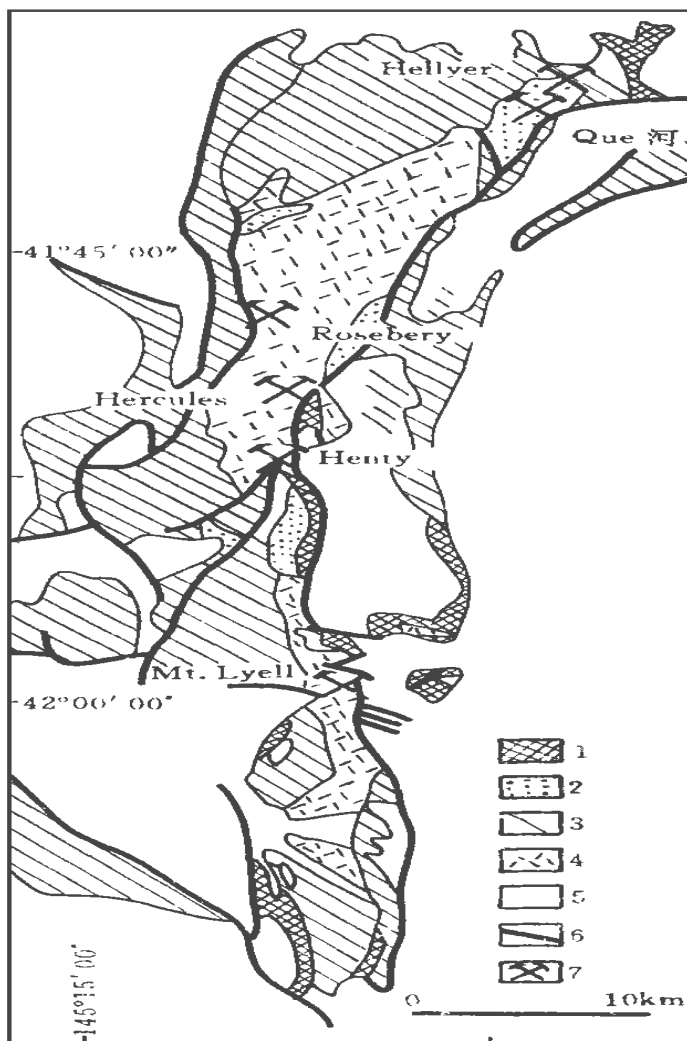


图 1 塔斯马尼亚西部 Mount Read 火山区域地质图
1—4—Mount Read 火山岩: 1—Tyndall 群, 2—安山岩; 3—西部和东部火山沉积序列, 4—中央火山杂岩; 5—其他岩石; 6—断裂; 7—火山成因块状硫化物矿床

15°，倾向西，倾角约 70°。Great Lyell断裂的分支断裂 CF₃近于平行于 Henty断裂。Henty地区地质可划分为 3部分：一部分为 Henty断裂以西，一部分位于断裂之间，第三部分为 CF₃以东。

2 蚀变和矿化

2.1 矿带形态

含有层状硅酸盐和硫酸盐的含金及硫化物的岩石位于 Henty断裂之下，矿化蚀变带位于 Tyndall群底部。喷气硫化物矿化作用发生于此层位中。在 Mount Lyell地区，Tyndall群地层出露地表，并进入 Lyell Comstock地区。分布于 Henty和 Mount Lyell间的重晶石-碧玉-碳酸盐也位于 Tyndall群的底部。

Henty地区矿化带基本为层控型。主要矿化带——96号矿带顶部于地表下 300 m处被 Henty断裂截断。蚀变体系在与断裂交汇处向下约 300 m后尖灭。由于断裂西倾，故断裂与矿化带的间距向下加大，其间增宽的楔状岩石发生强烈蚀变。在 96号矿带北部，岩石走向与断裂走向略为分开。故在与断裂交汇部位，矿化带的上限接近地表。矿化作用仅于 96号矿带上部的地表有所显示，此处 Tyndall群上部地层内的叠加矿化层靠近断裂出露。

矿床北端高级矿化次生扁透镜矿体为 S₁₁₁带。96号矿带与 S₁₁₁带为不连续的扁透镜体。在两带之间地段为斑点状不连续的矿化。S₁₁₁带矿化方式与 96号矿带相同，但规模较小。以 $0. \times 10^{-6}$ 为金矿体边界，96号矿带宽度可达 40 m，而 S₁₁₁带宽约 6 m，96号矿带高品位部位呈席状，平均宽 3.5 m，最大宽度 7 m。S₁₁₁带高品位部位平均宽 0.5 m，最大宽度 1.5 m。二者平均品位很近似。

2.2 蚀变作用和矿化作用方式

Henty地区的主要金矿化带发生在二氧化硅-绢云母-黄铁矿蚀变晕内。蚀变晕内有几种不同方式的矿化作用。块状黄铁矿层状透镜体和极少数块状多金属碱金属硫化物产于蚀变岩组的东侧(图 2)。块状黄铁矿透镜体厚达 2m，这些透镜体沿着层面不连续地分布，走向延长逾 600 m。从 Henty断裂与 Henty矿体的容矿主岩的交切部位向下，透镜体延伸不足 150 m。

从矿化中心向外，沿走向黄铁矿层内发生了从黄铁矿至方解石的过渡变化。块状黄铁矿和碳酸盐为层状，与层理面方向一致。在体系的侧翼，碳酸盐变厚，约达 20 m。在最深的钻孔中，发现有多层碳酸盐夹层，并伴随有块状绿泥石-碳酸盐岩。96号矿带南侧 2 km处的碳酸盐中发现了三叶虫碎片。

碳酸盐的显著特征为其内含有红色碧玉碎屑。这些碎屑可能是碳酸盐变形时碧玉层破碎分离的残余

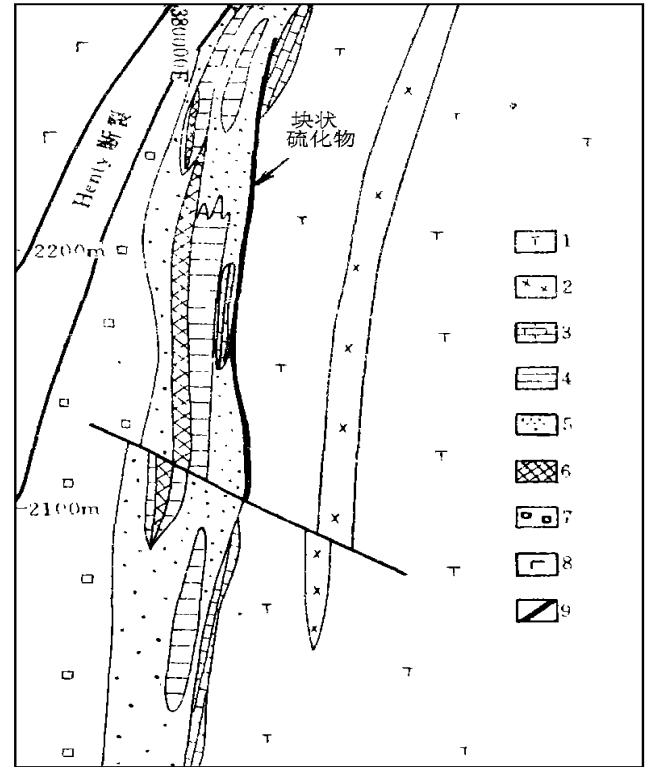


图 2 96号矿带剖面中不同矿化和蚀变岩相分布

1- Tyndall群; 2- 钠长石-二氧化硅蚀变; 3- 碳酸盐; 4- 石英-绢云母; 5- 石英-碱金属; 6- 块状石英; 7- 二氧化硅、绢云母、黄铁矿±钠长石蚀变; 8- 中央火山杂岩; 9- 断裂

物。

黄铁矿具有残余胶状结构，通常与脉石矿物方解石混合产出。碱金属硫化物透镜体含锌量 $[100^\circ \text{Zn}/(\text{Zn} + \text{Pb})]$ 平均值为 60 左右，Hellyer地区为 65，Rosebery为 72。块状黄铁矿试金分析的最高金含量达 50×10^{-6} 。

在块状黄铁矿层下盘，岩石蚀变为石英-绢云母-黄铁矿，并伴有浸染状碱金属硫化物。碱金属硫化物带从北部的 S₁₁₁带延至南部的 96号矿带以外，在 96号矿带处达到 40m 的最大厚度。

碱金属硫化物带与背景的二氧化硅-绢云母-黄铁矿蚀变的差异是在叶片状石英-绢云母-黄铁矿基质中出现蓝灰色含碱金属的硅质核。碱金属硫化物带通常具有明显的碎屑结构，可能产于火山碎屑岩中。该带硫化物含量较高，平均约 5% 左右，并含 $0. \times 10^{-6}$ Au。碱金属硫化物矿物有方铅矿、闪锌矿和黄铜矿。虽然该带厚可达 40 m，但碱金属的最高含量一般分布于几米厚的块状黄铁矿层内。

在碱金属硫化物带内，有一种贫硫化物石英-绢云母蚀变岩相，其特征为在强硅化区周围的劈理面中聚集有浅绿色绢云母。在横剖面上，石英-绢云母蚀变岩相通常靠近碱金属硫化物带的中心分布。富硫化

物区(碱金属硫化物带)和贫硫化物区(石英-绢云母蚀变岩相)的界限十分明显. 石英-绢云母蚀变岩相平均含金为 $0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$. 少量黄铜矿和方铅矿在硅质岩区以粗晶粒状产出, 并略有富集. 闪锌矿和黄铁矿极少见, 紫色萤石局部可见.

高品位金分布在强烈硅化的蚀变岩相内, 该岩相呈板状, 厚达 7m, 位于块状黄铁矿层下部 10~20 m 处, 硅化蚀变岩相一般与石英-绢云母蚀变岩相在空间上密切相关, 含绢云母(石英-绢云母蚀变岩相)和无绢云母(硅化蚀变岩相)岩石间界线十分明显, 金品位变化不连续. 硅化蚀变岩相多次破碎和退火重结晶, 并含有多世代的石英和方解石细脉, 与邻近的富绢云母石英蚀变岩相形成对照. 富绢云母石英蚀变岩相在变形过程中呈现韧性特点. 硅化蚀变岩相的显著特点为所有长石和片状二氧化硅均被石英所交代, 其含钾不足 0.1%, 含钠不足 0.01%, 硅化蚀变岩相内后期无规律的碎裂处含有游离金, 并伴有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和少量碲化物和碲酸盐. 硅化蚀变岩相内闪锌矿稀少, 总硫化物含量平均约 2%, 铜含量变化从 0.1%~0.2%, 金平均品位为 36×10^{-6} . 96号矿带矿化晕内硅化蚀变岩相、石英-绢云母蚀变岩相和碱金属硫化物带的相对比例分别为 65%、23%和 10%.

在地层上部出现透镜状弱矿化. 96号矿带上覆的粉砂岩含有浸染状碱金属硫化物, 但含金量相对较少. 在 Sill 带, 次生矿化层产于流纹质熔岩和 Tyndall 组上部外力碎屑岩接触处, 该带中铜含量相对较高, 而铅、锌含量相对较低.

上盘的某些岩石上叠有结构强烈破坏的石英-钠长石集合体. 该集合体产于黄铁矿层之上 20~30 m 处, 厚达 40 m, 在蚀变体系之上形成盖层. 它交代了流纹质熔岩和部分富晶火山碎屑岩, 使它们蚀变成均质的淡灰-淡紫色的块体, 并伴有等量的极细粒石英和钠长石, 虽然 Tyndall 群富硅质火山岩中钠长石蚀变具区域性特点, 但在 Henty 矿床上盘, 蚀变最为强烈.

总之, 96号矿带和 Sill 带显示明显的不对称性. 两区下盘蚀变成石英-绢云母和黄铁矿. 只有当蚀变集合体中痕量碱金属硫化物出现时, 金值方可测到. 贫硫化物石英-绢云母岩石通常包围了硅化蚀变岩相, 其间有明显的界限. 硅化蚀变岩相之上的含碱金属硫化物蚀变的碎屑火山岩中, 具有高度浓集的 Cu、Zn 和 Pb. 黄铁矿-碳酸岩层覆盖于碎屑火山岩之上, 上盘中石英-钠长石蚀变增强.

3 讨论

黄铁矿-碳酸盐地层如下特征显示了一种喷气成因: (1) 黄铁矿-碳酸盐的层状和整合特征; (2) 红

色碧玉的出现是典型的火山岩成因块状硫化物体系的特征; (3) 黄铁矿内的胶状结构; (4) 碳酸盐内的三叶虫碎片, 表明一种海底沉积环境; (5) 喷气岩层之上的可辨层位.

碳酸盐同位素特征 (W^8O 平均 10‰, W^3C 平均 -2‰) 与塔斯马尼亚地区其他火山成因块状硫化物矿床相似, 与热海水沉淀作用有关.

Henty 地区不同喷气岩相的分布为认识此矿床提供了重要线索. 化学沉积物, 包括块状碱金属硫化物、块状黄铁矿、方解石、红色碧玉和绿泥石-方解石, 产于 3 个局部重叠的带内. 块状碱金属硫化物产于块状黄铁矿带内. 红色碧玉产于方解石中, 极少与块状黄铁矿相伴. 块状绿泥石-方解石仅在矿石级矿化作用之外的几个深钻孔内有所发现. 从黄铁矿-方解石-绿泥石的分带代表了一种从近喷气相至远喷气相的过渡.

含有绝大部分金的硅化蚀变岩相横向延伸不远, 未进入碳酸盐层的下盘, 在块状黄铁矿下部发育较好. 金和碱金属也存在分带现象. 在黄铁矿-方解石层下部 5~10 m 范围内, 碱金属高度浓集. 地层中碱金属较富金带中略高, 在横向上广为分布. 总之, 矿床的形态显示近源喷气岩与下盘中碱金属和金的分布有着密切的关系.

尽管金产于硅化蚀变岩相后期构造中, 但它却位于火山成因块状硫化物体系的近火山活动源部位. 矿床的形态、矿物分带和同位素特征表明该矿床为变形的寒武系体系, 泥盆纪时尚无金属大量加入. 共生成因晚期金的状态说明, 金以及较小范围内的硫化物, 在变形过程中具活动性, 但是矿体总的矿物分带表明金的运移仅在短距离内, 可能仅为几米.

在环绕硅化蚀变岩带的富二氧化硅的高应变片状带内硫化物的压溶作用期间, 金已发生活化. 压溶作用导致溶液中 H_2S 局部增多, 并使金溶解度增大, 形成亚硫化物络合物. 绢云母岩和硅化带间的韧性差异导致含金流体向硅化蚀变岩相中的脆性裂隙运移. 沿裂隙发生的硅的进一步沉淀作用加大了韧性差异, 增强了作用过程. 脆性硅化蚀变相带金的富集程度不可估算, 但在某种程度上, 可以计算出 Henty 火山成因块状硫化物矿床中金的异常富集.

单独用再活化作用不能计算 Henty 矿床的成分. 图 3 表示了加拿大和塔斯马尼亚火山成因块状硫化物矿床的金和碱金属比值与 Ag/Au 比率的关系. 此图显示, 在矿床金与碱金属比值方面, Henty 矿床在此种矿床的图谱中为端员成分. 与典型的火山成因块状硫化物成分的差异显示一种异常的流体化学成分. Henley (1985) 讨论了浅成低温热液体系中盐度与银金比率的关系. 浅成低温热液矿床的低银金比值一般与低盐度

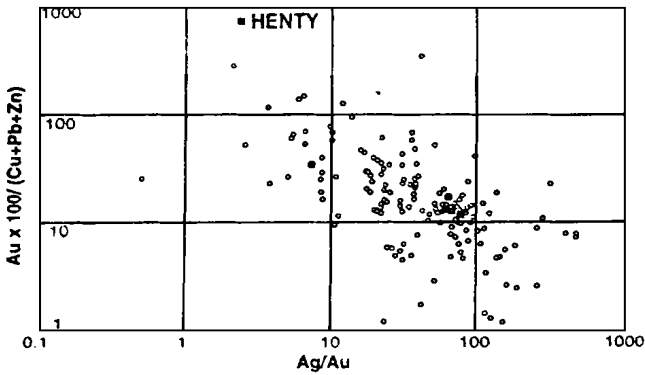


图3 加拿大矿床和塔斯马尼亚矿床的金属比值
○—加拿大矿床; □—塔斯马尼亚矿床

流体有关。Henty矿床的金属比率与流体一致。该流体盐度较典型的火山成因块状硫化物体系低。

White和Mephie (1996) 描述了Tyndall群火山岩的浅海近岸沉积环境, 并提出该层序中多数火山碎屑物质来自近地面的喷发作用。这说明了一种可能性, 即Henty浅成低温热液体系中部分补给带也许已经为地表环境, 从而导致海水和大气水相对低盐度的混合。

强烈的下盘硅化作用可能为浅海火山成因的块状硫化物体系的一个特点。浅成低温流体二氧化硅的溶解度很大程度上受控于温度, 但其沉淀作用通常受动力学因素控制。在温度大于 300°C 时, 虽然火山成因块状硫化物体系可通向海底, 但是与冷海水混合的流体快速冷却, 不利于石英的沉淀。在浅海环境中, 流体温度受沸腾作用制约, 流体将以低于深水体系的温度向海底释放。

较强的地下冷却可使二氧化硅在下盘岩石中沉淀。沸腾结果将是碱金属硫化物的地下沉淀。在Henty地区, 大量碱金属硫化物产于碱金属硫化物带中, 该带低于以块状黄铁矿层为标志的海底 $5\sim 10\text{m}$ 。

Ohmoto和Takahashi (1983) 认为水深大于 1000m 是富铜块状硫化物矿床形成的基本条件。在浅海环境中比较活跃的火山成因块状硫化物体系的实例少有报道, 其原因可能是这种体系尚未形成有意义的矿床, 因而无更详细的研究, 或者只是浅海环境尚未被人们所认识。Herzig等 (1993) 提出, 在Lau盆地富金Valu Fa Ridge矿床下盘中, 海底蒸发对金从

碱金属中分离出来十分重要。

碳酸盐的富集及它们在火山成因块状硫化物体系中的意义常被忽视。蒸发碳酸盐层在大量其他矿床中已有报道, 最具说服力的矿床为昆士兰地区的Mount Chalmers, 块状白云岩单元沿块状硫化物的原生走向延伸。Mount Chalmers地区白云岩与Henty地区碳酸盐一样, 被定为远源喷气岩相。在Rosebery Hercules和Lyell Comstock地区, 层状和交代碳酸盐也与火山成因块状硫化物矿床有关。在昆士兰Thalanga地区, 块状碳酸盐从硫化物透视镜体开始沿走向分布。Galley等 (1993) 报道了Churchill成矿省Chisel Lake矿床碳酸盐喷气岩的产状, de Carvalho (1991) 报道了一个碳酸盐-碧玉单元上覆于部分Neves Corvo矿床之上。多数情况下, 碳酸盐延伸良好, 超出块状硫化物范围, 碳酸盐喷气岩的识别对于勘探极其重要。

在探讨富金火山成因块状硫化物矿床过程中, Poulsen和Hannington (1995) 将矿床归为富金型, 原则是基于金的高度绝对富集、高的金含量或金与碱金属的高比值。Henty当属富金型矿床, 针对这些类型的矿床, Poulsen和Hannington探讨了两种成因模式:
1) 借助异常流体化学成分区分的火山成因块状硫化物矿床, 其在浅海环境中已有金属沉积, 海水沸腾影响金属沉淀; 2) 在区域变形事件中, 有含金流体叠加的块状硫化物矿床。

Larocque等 (1993) 和Tourigny等 (1993) 提出, 在变形过程中, 局部再活化是火山成因块状硫化物矿床金聚集的一种机制。

Poulsen和Hannington提出的对于富金火山成因块状硫化物矿床的形成十分重要的因素, 大多数在Henty地区已有所表现: 1) 可能受沸腾影响的浅海环境中的沉积; 2) 异常流体化学成分, 可能伴有部分来自近地表补给带的低盐度流体; 3) 在后期变形事件中, 金的进一步叠加沉积。

摘译自 Henty: a shallow-water gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit in Western Tasmania. *Econ. Geol.*, 1997, 92 (4): 438~447.

译者 李兰英 (沈阳地质矿产研究所)

校者 张哲