

里农层状夕卡岩铜矿床 喷流-沉积成因的地球化学证据*

路远发 陈开旭 战明国

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 宜昌)

提 要: 通过对里农铜矿床含矿层状夕卡岩的岩石化学特征、稀土元素地球化学特征、稳定同位素组成、流体包裹体温压地球化学和里农花岗闪长岩体的地球化学特征等的对比研究, 证明该铜矿床具典型的喷流-沉积特征, 其形成与里农花岗闪长岩体侵位无关。

关键词: 喷流-沉积作用 层状夕卡岩 铜矿床 矿床地球化学 滇西

里农铜矿是羊拉铜矿化集中区内最主要、规模最大和最具代表性的矿床, 也是发现最早、工作程度相对较高的一个矿床, 其规模已达大型。关于它的成因前人认为是接触交代夕卡岩型, 而笔者等人的研究结果认为该矿床为海底喷流-沉积成因。

1 区域地质背景

里农铜矿床位于滇西北的德钦县羊拉乡, 构造上位于“三江”中段的金沙江结合带。区域性南北向金沙江断裂从矿区东侧通过。矿区出露一套富含中基性火山岩的火山-沉积建造, 前人称之为嘎金雪山岩群, 并认为属二叠纪。根据我们对其中(变质)玄武岩所含铅石 U-Pb 年龄测定结果 ($296 \times 10^6 \sim 362 \times 10^6$ a), 其形成时代应相当于石炭纪。根据变形变质特征, 嘎金雪山岩群可划分为 3 个岩组, 其中中岩组为本区铜矿的主要赋矿层位, 由浅变质碎屑岩、大理岩、中基性火山岩、火岩凝灰岩等组成。这套地层在矿区组成一个短轴背斜(穹隆), 其核部被里农印支期花岗闪长岩体 (227×10^6 a) 占据。

2 矿床地质概况

里农铜矿位于里农穹隆西翼, 其南端被一北东向断裂 (F1) 切断。矿区含矿岩系为一套富含基性火山岩的火山-沉积建造(嘎金雪山岩群中岩组)。据已有的勘探工程, 按矿化品位可圈出 4 个矿体, 其中 II 号矿体规模大, 是目前勘查和研究的重点。该矿体呈层状与围岩整合接触, 南端在 F1 附近被里农花岗闪长岩体伸出的岩枝穿插。矿体长达 1500 余米, 平均厚达 30 余米。II 号矿之下为 III 号矿体, 按工业品位圈定的矿体呈似层状, 实际矿化体呈脉状, 规模远小于 II 号矿体。两者在空间上构成“上层下脉”沉积模式, 也构成了里农铜矿的主体。以下讨论仅限于 II 号矿体。

II 号矿体的赋矿岩石为由石榴石、透辉石(含钙铁辉石, 下同)按不同比例组成的夕卡

* 地质矿产部定向基金项目(地科定 95-11)和“九五”资源与环境攻关项目(95-02-001-03)课题的部分成果
路远发, 男, 1959 年生, 硕士, 副研究员, 主要从事矿床地球化学研究工作。邮政编码: 443003

岩, 主要岩石类型有石榴石夕卡岩、透辉石夕卡岩。夕卡岩体中夹有蚀变玄武岩夹层。夕卡岩后期有弱的绿泥石和绿帘石化, 但与矿化关系不大。含矿夕卡岩在水平方向上向北渐变为变质基性火山岩, 其底板为变质碎屑岩, 顶板为一套厚层大理岩。

脉石矿物主要组成为石榴石、透辉石, 少量石英、方解石、铁白云石、菱铁矿、绿泥石、绿帘石、阳起石。金属矿物由黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、辉铜矿、黝铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿等组成。

矿石组构特征反映了矿区存在两期成矿作用即同沉积期和热液改造期。反映同沉积的组构特征有: 胶状构造、纹层-条带状构造、浸染状构造、块状构造、角砾状构造等。胶状构造广泛发育于矿层中, 主要反映在胶黄铁矿上, 部分胶黄铁矿经成岩作用演化成具收缩裂纹的同心环状结构, 在收缩裂纹中充填有黄铜矿、闪锌矿等, 并不同程度地为其它硫化物所交代。应是典型的同生沉积构造, 也是喷流-沉积时主要的含铜组构。由块状和浸染状黄铁矿黄铜矿矿石构成的角砾与钙铁硅酸盐矿物质组成的胶结物所形成的角砾状构造则是典型的近源型喷流沉积组构。

3 矿床喷流-沉积成因的地球化学证据

(1) 含矿夕卡岩的常量元素地球化学特征: II号矿体中含矿的层状石榴石夕卡岩和透辉石(钙铁辉石)夕卡岩的岩石化学分析结果列于表1, 其岩石化学特征可概括为: ① SiO₂总体上偏低, 含量从35.12%~44.54%, 平均为38.90%, 低于正常的接触交代夕卡岩, 且

表1 含矿层状夕卡岩的岩石化学特征(%)

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO ^①	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
L121	石榴石夕卡岩	35.12	0.04	0.58	32.02	0.36	1.00	24.82	0.04	0.01
L124	透辉石夕卡岩	44.54	0.04	0.71	28.80	0.65	1.29	18.76	0.12	0.02
L128	透辉石夕卡岩	38.56	0.02	0.50	33.24	0.58	0.97	13.69	0.04	0.01
L181	透辉石夕卡岩	39.38	0.18	2.33	24.11	0.26	0.70	28.99	0.01	0.04
L205	石榴石夕卡岩	37.60	0.23	4.40	21.29	0.25	1.18	32.29	0.01	0.02
PB45	石榴石夕卡岩	38.22	0.04	3.44	23.23	0.29	0.58	30.10	0.02	0.02

① TFeO = FeO + 0.9Fe₂O₃

石榴石夕卡岩低于透辉石夕卡岩; ② 低 Al₂O₃、TiO₂, 其中 TiO₂ < 0.1%, 最低仅 0.02%, 平均为 0.09%; Al₂O₃ < 4.5%, 最低仅为 0.56%, 平均为 1.93%。Al₂O₃ 和 TiO₂ 是典型的亲陆源组分, 其低含量标志着陆源组分混入较少。在矿区各类沉积-变质岩的 Al₂O₃-TiO₂ 图解中, Al₂O₃、TiO₂ 呈明显的正相关, 夕卡岩样品均集中在低含量端员, 这也是喷流-沉积成因的重要标志之一^[3]; ③ 富含铁, 其全铁(以 TFeO 表示)最高可达 33.24%, 最低亦有 21.29%, 平均为 27.12%, 远远高于正常的接触交代夕卡岩。此外, Fe₂O₃ 和 FeO 也有一定的分布规律, 通常石榴石夕卡岩 Fe₂O₃ > FeO, 而透辉石夕卡岩则 Fe₂O₃ < FeO, 这是因为在石榴石夕卡岩中 Fe 以 Fe³⁺ 形式存在于石榴石中, 组成钙铁榴石, 而在透辉石夕卡岩中 Fe 以 Fe²⁺ 形式存在于辉石中形成钙铁辉石; ④ 将这些夕卡岩组分投影到有关图解上, 如 Al-Fe-Mn 三角形图解(Adachi, 1986) 和 Al/(Al + Fe + Mn) - Fe/Ti 图解^[4], 显示出与 EPR

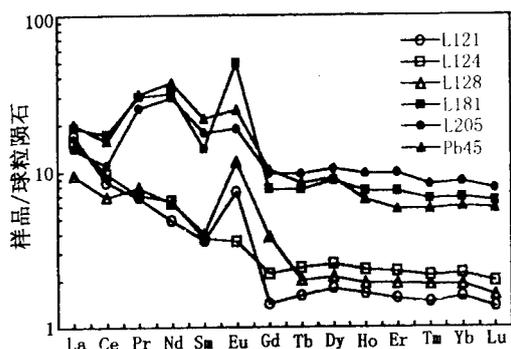


图 1 含矿夕卡岩稀土元素分布型式

和 RS 热水沉积物特征相似。据粗略估计，其热水源物质占 80% 以上。

(2) 含矿夕卡岩的稀土元素地球化学特征：层状夕卡岩的稀土分布型式见图 1，可以看出含矿夕卡岩的稀土元素具有富轻稀土、铈正异常、铈负异常等特点。按其稀土元素组成特征可进一步划分为两组：① 由 L121, L124 和 L128 3 件样品组成，其稀土特征是总量低，为 $25.41 \times 10^{-6} \sim 29.25 \times 10^{-6}$ ，LREE/HREE = 1.65 ~ 2.62，有明显的 δEu 正异常， $\delta\text{Eu} = 1.21 \sim 2.95$ 和弱的 δCe 负异常。在配分曲线上，轻稀土部分由 La →

Sm 逐渐降低，但在 HREE 部分，曲线平坦，无明显起伏；② 由 L181, L205 和 Pb45 3 件样品组成，其稀土特征是总量相对较高，为 $73.76 \times 10^{-6} \sim 80.47 \times 10^{-6}$ ，LREE/HREE = 1.09 ~ 2.15，有明显的 δEu 正异常 ($\delta\text{Eu} = 1.37 \sim 4.56$) 和较明显的 δCe 负异常 ($\delta\text{Ce} = 0.56 \sim 0.71$)。配分曲线在 LREE 部分由 La → Ce → Nd → Sm → Eu 呈 “W” 型，这些特征有别于上述第一组夕卡岩，反映了有相对较多的海水和陆源物质参与，与其相对较高的 Al_2O_3 、 TiO_2 含量特征相吻合。含矿夕卡岩稀土元素的这些特点与现代大洋中脊喷流-沉积系统中近源型含金属沉积物及其热液稀土元素组成特征极其相似^[5]，而于典型的接触交代型和岩浆型夕卡岩有明显的不同。

(3) 同位素地球化学特征：10 件硫化物的硫同位素分析结果表明，本矿床硫同位素组成变化范围较小， $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-0.8\text{‰} \sim +2.5\text{‰}$ ，平均为 $+0.23\text{‰}$ ，与陨石硫和深部硫特征相吻合，反映了海水中硫未参与成矿作用。矿物对的硫同位素组成特征说明各矿物间硫同位素未达到平衡，这些特征与三江地区许多块状硫化物矿床相类似，也与现代大洋中脊的许多块状硫化物矿床特征相类似^[6]。与之相反的是，矿区北部与 II 号矿体相当层位中的变质玄武岩中的黄铁矿的硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -32.54‰ ，显示出海水硫和成岩成因的特征。9 件矿石铅同位素特征是组成相当均一的，变化极小， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.273 ~ 18.369 平均为 18.306， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.627 ~ 15.680，平均为 15.648， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.445 ~ 38.611，平均为 38.517。其模式年龄 $t = 278 \times 10^6 \sim 326 \times 10^6$ a，平均为 302×10^6 a，这一年龄与同层位中变质玄武岩的锆石 U-Pb 年龄 ($(296 \pm 7) \times 10^6$ a) 相一致。里农花岗闪长岩体中长石的铅同位素组成与矿石铅相近，但其放射性成因铅含量略高一些，而模式年龄却小些，反映其从母体中分离出来的时间要略晚一些。这也反映了层状夕卡岩铜矿的形成与岩体侵位无关。

(4) 流体包裹体地球化学特征：里农夕卡岩中辉石和石榴石的流体包裹体均一温度 (T_h) 均较高，最高可达 620°C ，呈多峰态，峰值不很明显，但相对集中在 $400 \sim 460^\circ\text{C}$ 和 $300 \sim 380^\circ\text{C}$ 两个区间；石英和方解石的温度较低，一般小于 200°C ，最低仅有 100°C ，部分样品达 300°C 以上，说明石英、方解石与辉石和石榴石是两个不同世代的产物。

流体包裹体的盐度 (S) 变化范围很大，最低为 8.5% NaCl (以下用 % 表示)，最高可达 55.0%，以高盐度 ($S > 26\%$ ，常温下出现子矿物石盐) 和中高盐度 ($S > 15\% \sim 26\%$) 的流体包裹体为主，中低盐度的流体包裹体主要为富气相包裹体。流体包裹体的密度资料显示石榴石和透辉石及部分石英中流体包裹体的密度 (ρ) 一般为 $1.00 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ ，但随均一温度的升

高密度有所降低,当 $T_h > 400^\circ\text{C}$ 时, $\rho < 1.00 \text{ g/cm}^3$;个别富气相包裹体接近临界曲线,其密度小于 0.60 g/cm^3 。石英、方解石的流体包裹体密度为 $1.00 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$,随盐度的降低而降低。

利用 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的 TVPX 图解,估计出流体包裹体的捕获压力为 $6 \sim 34 \text{ MPa}$,集中在 $10 \sim 25 \text{ MPa}$ 之间,相当于 $1000 \sim 2500 \text{ m}$ 的静水压力。

值得进一步说明的是,夕卡岩体中石榴石、辉石及部分石英、方解石流体包裹体的 T_h - S 的协变关系为一条正相关曲线,形成一个明显的演变趋势,此演变曲线在低温、低盐度方向通过正常海水投影点,暗示着此类流体在演化过程中有海水的参与。

与古代和现代海底热液成矿系统^[1,2,7]的对比发现一个共同特征是高温、高盐度流体(包裹体)常与低温低盐度流体(包裹体)共存,这正是开放系统的一个重要特征和标志。里农层状夕卡岩的流体包裹体特征在这一点上也是与之十分吻合的。

(5) 岩体的地球化学特征:从宏观上讲里农花岗闪长岩体,未见明显的蚀变和矿化现象,特别是在矿区,即使穿插到矿体中的岩枝也未见矿化蚀变。岩石化学总体特征为 SiO_2 变化大,含量为 $60.05\% \sim 71.78\%$,含 Al 率低($\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) (\text{mol}) = 0.97 \sim 1.09$),将其投影到 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 含矿性判别图上(Feiss, 1978),所有样品点均落在非成矿岩体区域。

对里农岩体的成矿元素分析结果表明, Cu、Pb、Zn 等含量很低,其中 Cu 为 $10 \times 10^{-6} \sim 52 \times 10^{-6}$,平均为 27×10^{-6} , Pb 为 $13 \times 10^{-6} \sim 38 \times 10^{-6}$,平均为 29×10^{-6} , Zn 为 $23 \times 10^{-6} \sim 66 \times 10^{-6}$,平均为 35×10^{-6} , Au 为 $0.4 \times 10^{-9} \sim 1.2 \times 10^{-9}$,平均为 0.70×10^{-9} , Ag 为 $0.01 \times 10^{-6} \sim 0.07 \times 10^{-6}$,平均为 0.04×10^{-6} 。这样低的地球化学背景暗示着该岩体很难成为成矿岩体。

4 结 论

综上所述,尽管里农铜矿床的含矿层状夕卡岩的矿物组成与接触交代夕卡岩相似,但其地质地球化学特征与交代夕卡岩有明显的不同,主要表现在:① 矿床具“上层下脉”空间结构;② 矿石发育有典型的胶状-角砾状沉积组构;③ 含矿夕卡岩贫 Al_2O_3 、 TiO_2 等陆源组分而富含 Fe 等热水组分;具较低的稀土含量和显著的正 δEu 异常特征;④ 成矿流体具高温、高盐度流体性质;⑤ 低压、开放的成矿环境等等几方面。这些特征在很大程度上与海底热液成矿系统相吻合。

参 考 文 献

- 1 刘斌. 白银厂铜矿床石英中固体和流体包裹体的研究. 地质学报, 1982, (2): 165~173.
- 2 刘斌. 铁山铅锌矿床的流体包裹体特征及成矿物理化学条件的初步探讨. 矿床地质, 1985, 4 (1): 22~28.
- 3 Stanton R L. Constitutional features and some exploration implications of three zinc-bearing stratiform skarns of eastern Australia. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth Sci.), 1987, 96: B37~B57.
- 4 Spry P G. Geochemistry and origin of cotecules (spessartine-quartz) associated with metamorphosed massive sulfide deposits. In Spry and Bryndzia (Eds), Regional metamorphism of ore deposits, VPS: 1990, 49~75.
- 5 Barrett TJ, Jarvis I and Jarvis K E. Rare earth element geochemistry of massive Sulfides-Sulfates and gossans on the Southern Explorer Ridge. Geology, 1990, 18: 583~586.
- 6 Bluth G J and Ohmoto H. Sulfide-sulfate chimneys on the East Pacific Rife, 11° and 13° latitudes. Part II: Sulfur isotopes. Canadian Mineralogist, 1988, 26 (3): 505~515.
- 7 Rona P A. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. Canadian Mineralogist, 1988, 26 (3): 431~465.