

云南大坪超大型金多金属矿床地质地球化学特征

葛良胜^{1,2}, 邓军¹, 杨立强¹, 邢俊兵², 袁士松²

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 武警黄金地质研究所, 廊坊 065000)

[摘要] 大坪金矿床是哀牢山金矿带上的超大型金多金属共生矿床。矿体为赋存于闪长岩体内部近平行的多金属硫化物-石英薄脉。矿床地质、流体包裹体地球化学和同位素地球化学研究表明: 成矿作用与中、新生代的区域构造-岩浆活动密切相关, 至少可分为燕山期石英-黄铁矿和喜山早期石英-方铅矿两期; 早期形成金矿化, 晚期形成铅和银矿化并伴生金矿化; 二者叠加于同一容矿空间, 形成多期叠加的复式铅、锌、银、金共生矿床。成矿物质与成矿流体的来源一致, 各成矿期流体均是以深源流体为主的壳-幔混合流体, 但具有不同的地球化学特征, 是相对独立的成矿流体体系。矿床成因属中-高温热液硫化物-石英脉型。

[关键词] 地质-地球化学 超大型金多金属矿床 成矿叠加 云南大坪

[中图分类号] P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)03-0017-08

云南省元阳县大坪金矿床是著名的滇西哀牢山金矿带上继墨江金厂、镇源老王寨之后发现的又一重要的金-银-铅-锌多金属矿床, 矿床位于云南省南部元阳县大坪乡境内, 地理坐标为东经 103°04'00" ~ 103°06'00", 北纬 22°50'00" ~ 22°58'00", 矿区面积约 60 km²。至 2002 年底, 矿床已累计提交探明的金金属量(C+D)级 55 555 kg, 目前已达超大型规模。与同矿带上其他重要矿床相比, 该矿床的地质研究虽开展过一些工作^[1-7], 但总体上仍很薄弱。对矿床的类型、规模以及成因等的认识存在较大争论, 在较大程度上影响了矿床的勘探和生产。为进一步指导大坪矿区的地质勘探和生产, 作者对该矿床进行了系统研究, 文章在阐述其地质和地球化学特征的基础上, 探讨了其成因。

1 矿床地质

大坪矿区大地构造位置位于扬子地块西缘的金平断块上, 或称为金平滑移体^[8]。区域构造线以西北向为主, 其次为近南北向和北东向。区域深大断裂构造主要包括红河断裂带、哀牢山断裂带和藤条江断裂带。矿区内断裂主要有三家河断裂、金子河断裂和小寨-金平断裂(图 1)。根据矿区 ETM 遥

感图像解译成果, 在矿区范围内新解译出一些断裂构造, 主要有冉家寨-新安寨断裂、小新街断裂和大坪-马店街-大寨断裂等。

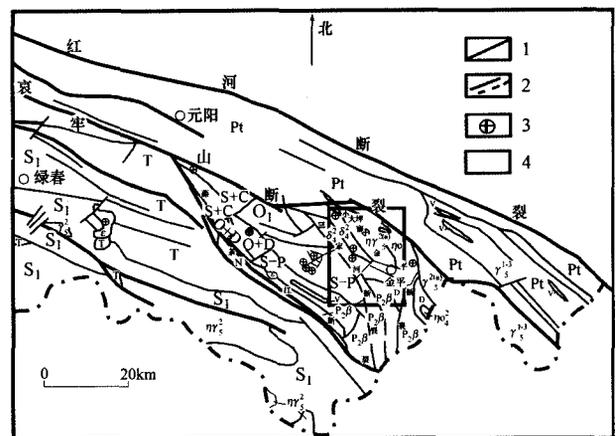


图 1 大坪矿区区域地质构造简图(据王臣兴, 2000)

N—第三系; T—三叠系; S—P—志留—二叠系(未分); S+C—志留石炭系; S₁—下志留统; O₁—下奥陶统; Pt—元古宇; P₂β—晚二叠世玄武岩; e—斑状正长岩; γ₃^(a)—燕山早期黑云花岗岩; γ₃^(b)—燕山晚期黑云二长花岗岩; η₂^(a)—黑云石英二长岩; η₂^(b)—二长花岗岩; η₂^(c)—黑云石英二长岩; δ₁—花岗岩; v—闪长岩; 1—断裂; 2—一般(推测)断裂; 3—矿床(点); 4—工作区范围

[收稿日期] 2006-03-14; [修订日期] 2006-10-08; [责任编辑] 韩进国。

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(编号: 2006BAB01B10)、中国地质大学(北京)“地质过程与矿产资源”国家重点实验室基金项目(编号: GPMR200628)和武警黄金指挥部地质科研专项费项目(编号: HJ200303)联合资助。

[第一作者简介] 葛良胜(1966年—), 男, 1991年毕业于中国地质大学(北京), 获硕士学位, 在读博士生, 高级工程师, 现主要从事金矿地质科学研究工作。

1.1 矿区地质特征

矿区地层组成简单,三家河断裂以西主要为奥陶纪砂板岩系,志留纪、泥盆纪陆源碎屑岩见于东南角部及大坪—马店街断裂和小寨—金平断裂之间,其间有辉绿岩脉侵入。矿区及其外围岩浆活动发育,具多期次、多类型的特点。其中海西期桃家寨闪长岩体出露于矿区中部(图 2),是矿区的主要赋矿

围岩。大面积的燕山期二长花岗岩、花岗岩体则分布于矿区东部外围。南部和西部一带有较多的喜山早—中期富碱岩浆岩活动,形成了规模较小但数量较多的富碱斑岩岩株或岩脉。在不同时代地层和岩浆岩体中,见有大量不同期次辉长岩脉、煌斑岩脉、石英二长岩脉或花岗斑岩脉侵入。

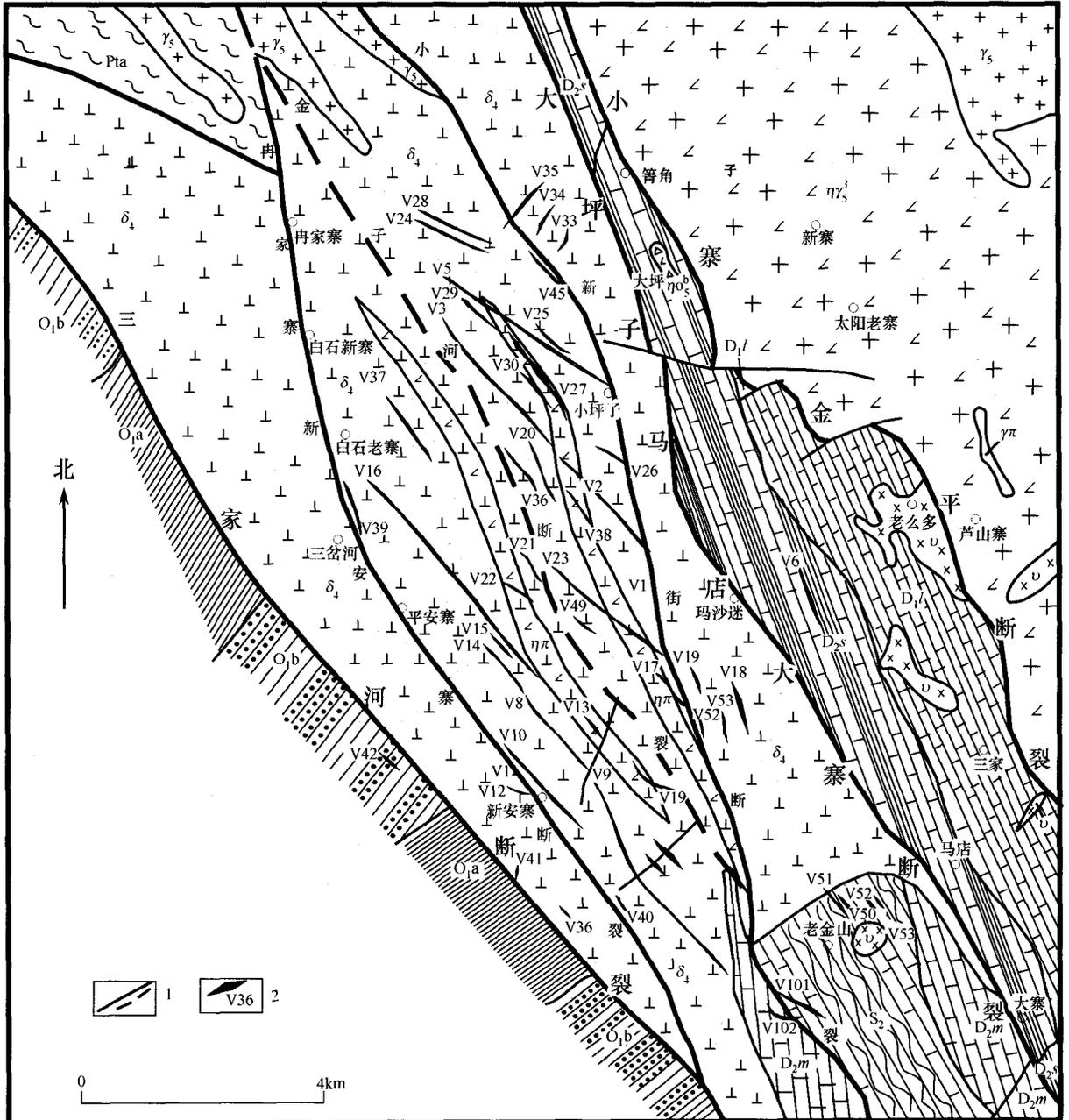


图 2 大坪金矿区矿脉分布图

D₁l—下泥盆统老井寨组灰岩;D₂s—中泥盆统宋家寨组泥质页岩夹硅质页岩及灰岩;D₂m—中泥盆统马鹿洞组微晶灰岩、白云质灰岩、白云岩夹角砾状灰岩、板岩;S₂—中志留世薄层状、条带状白云质灰岩夹泥质板岩;O₁b—早奥陶世长石石英砂夹黑色板岩;O₁a—早奥陶世粉砂质板岩与灰色板岩互层;Pta—袁牢山群阿龙组黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩;γ₅—燕山期花岗岩;γ_π—花岗斑岩脉;ηπ—二长斑岩脉;ηπ³—石英二长岩脉;δ₄—海西期闪长岩;ν—辉绿岩体或岩脉;1—断裂或推测断裂;2—矿脉及编号

1.2 矿脉地质特征

根据矿脉的产出环境和空间分布特征可将大坪矿区划分为两个矿段,即北部的金子河矿段和南端的老金山矿段(图2)。其中前者是矿区的主体,共有矿脉35条,皆赋存于小寨—金平断裂和冉家寨—新安寨断裂之间(即金子河构造破碎带两侧)的桃家寨闪长岩体中,主要包括V1~3、V5、V8~9、V23、V14等。矿脉长度一般为500~1000m,最长3800m,矿脉主要呈北西或北北西向,倾向南西。各脉体呈薄脉状,相距不远并呈大致近平行展布,从北东向南西,具有斜列的趋势。位于金子河构造破碎带以东的矿脉走向北西 $320^{\circ}\sim 305^{\circ}$,倾向南西,倾角 $65^{\circ}\sim 85^{\circ}$,局部直立甚至反倾;而位于其西的矿脉走向 $320^{\circ}\sim 330^{\circ}$,倾向、倾角与东区相似。造成金子河构造破碎带东西部矿脉走向上的差异可能与金子河断裂活动的左行牵引作用有关。老金山矿段位于小新街断裂东部,有不同规模矿化脉体10余条,其中矿化较好的4条矿脉产于志留纪浅变质板岩和碳酸盐岩中。矿脉走向北西 310° 左右,倾向南西,一般长度在50~200m之间,相互平行产出,受层间构造破碎带控制。对部分矿脉的实地调查表明,矿区内矿脉具有分支复合、膨大、尖灭再现或侧现以及反倾现象。多数矿脉是多期成矿作用的产物,具破碎再胶结特征。不同期次形成的矿脉具有矿物组合、在同一赋矿构造中的产出部位、结构构造等方面的差异,但由于多期热液活动均表现为金属硫化物—石英脉,并充填在同一容矿构造内,因而难以辨别,以前均视为一期矿脉。

1.3 矿石类型及矿物组合特征

矿区矿石划分为金属硫化物—石英脉型(占95%以上)、(构造破碎带)蚀变岩型及角砾岩型3种类型。

金属硫化物—石英脉型根据矿石中矿物组合的不同,可以划分为两个亚型:金属矿物以黄铁矿为主的称为黄铁矿型,以方铅矿为主的称为方铅矿型。从矿石在矿脉中的垂向分布看,前者多分布在矿脉的浅部,后者则见于相对深部。在同一条矿脉的同一标高水平上,两种矿石同时出现时,一般并行产出,并具有明显的分界面(图3)。此外,也能见到方铅矿型石英脉穿插黄铁矿型石英脉的现象,反映二者并非同期矿化的产物。两个亚型矿石的共生矿物组合亦有差异:与黄铁矿共生的主要为黄铜矿、银黝铜矿、砷黝铜矿、磁铁矿、白钨矿、锡石、自然金等为主,显著特征是极少见方铅矿;而与方铅矿共生的则

以黄铁矿、闪锌矿、褐铁矿、黄铜矿、砷铅矿及铅钒等为主。在脉石矿物方面,二者共同特点是均以石英为主,占70%~80%甚至更高,其他是少量的方解石、铁白云石、重晶石、透辉石、云母类和粘土类、绿泥石、绿帘石等,但方铅矿型矿石中铁白云石的含量要高于黄铁矿型矿石,而重晶石则相对少见。

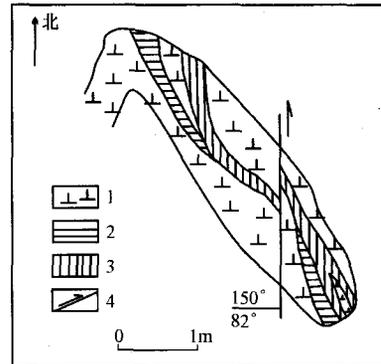


图3 L47-3老洞中V5号脉两期矿脉并置

1—闪长岩;2—第一期石英脉;3—第二期石英脉;4—后期构造错断矿脉

蚀变岩型包括蚀变闪长岩型、蚀变灰岩型和构造破碎蚀变岩型。蚀变闪长岩型和蚀变灰岩型多见于石英脉两侧,一般发育宽度不大(小于1m),其中金属矿物以黄铁矿为主,其他少见或基本不见,呈浸染状或细脉状分布,含量占5%~15%。而构造破碎蚀变岩型分布相对广泛,见于矿脉尖灭端的构造延长线上以及尖灭侧(再)现间隔区间内,部分品位较高,是追踪构造延伸,发现再(侧)现石英脉的主要标志。金属矿物也以黄铁矿为主,呈细粒浸染状或细脉状分布,但含量较低。构造破碎蚀变岩蚀变强烈,除硅化外,还广泛发育其他类型的蚀变产物,如绿泥石化、绿帘石化、铁白云石化、方解石化。

角砾岩型矿石前人少有提及,由于胶结物的致密胶结以及其矿物成分与硫化物—石英脉型相似,造成两者难于区别,过去将其归属为硫化物—石英脉型。矿石中的角砾一般为早期形成的石英脉,以棱角状出现,其中可见早期形成的金属矿物;而胶结物多为金属硫化物,以致密的团块状黄铁矿或方铅矿为主,形成金属硫化物包裹石英的格局。在典型的硫化物—石英脉型矿石中,金属矿物则呈半自形或他形的个体以各种形式分布石英脉中,形成石英包裹金属矿物的格局。

1.4 成矿期次划分

对V5、1~3、23、8~9号等脉体矿石矿脉穿插关系的详细观察和室内镜下研究表明,该区至少存

在石英-黄铁矿期和石英-方铅矿期两个成矿期,前者可以划分为绢云母-黄铁矿-石英阶段(I)、磁铁矿-黄铁矿-石英阶段(II)、石英-多金属硫化物(黄铁矿)-自然金阶段(III)和石英-碳酸盐4个矿化阶段;后者可划分为石英-多金属硫化物(方铅矿)-自然金阶段(IV)、石英-少硫化物(黄铁矿、方铅矿为主)-铁白云石阶段(V)和方解石-石英-黄铁矿阶段(VI)3个矿化阶段。其中III为金矿化的主要阶段,IV为银铅锌矿化的主要阶段,同时伴有金矿化。体现出了该区金矿成矿的长期性、多期性和复杂性。

2 流体包裹体地球化学特征

2.1 包裹体岩相学

选择不同成矿期矿脉中石英开展了包裹体特征

研究。V9-4和V5-1样品分别产自V9和V5脉体,为石英-黄铁矿期III阶段产物。其中石英包裹体较多,均为原生包裹体,多呈片呈群状分布(图4a, V9-4),包裹体多数较小,一般 $3\sim 5\mu\text{m}$,少数 $5\sim 10\mu\text{m}$,为 CO_2 包裹体和二相气液包裹体,形态多呈长条状、纺垂状、负晶状等,在V5-1中见部分呈线状排列的包裹体(图4b),个体更小。 CO_2 包裹体中 CO_2 一般占包裹体体积的 $50\%\sim 80\%$ 或更大;二相气液包体的气液比为 $10\%\sim 15\%$ 。V23-1(图4c)和V1-1(图4d)样品分别产自V23和V1号脉,均为石英-方铅矿期第IV或V阶段的产物。其中包裹体较发育,呈群、片分布,亦主要为 CO_2 包裹体和二相气液包裹体,多呈球状、长条状、不完全负晶状和不规则状等,偶见呈线状排列的个体极小的假次生包裹体。 CO_2 包裹体中 CO_2 一般占包裹体体积

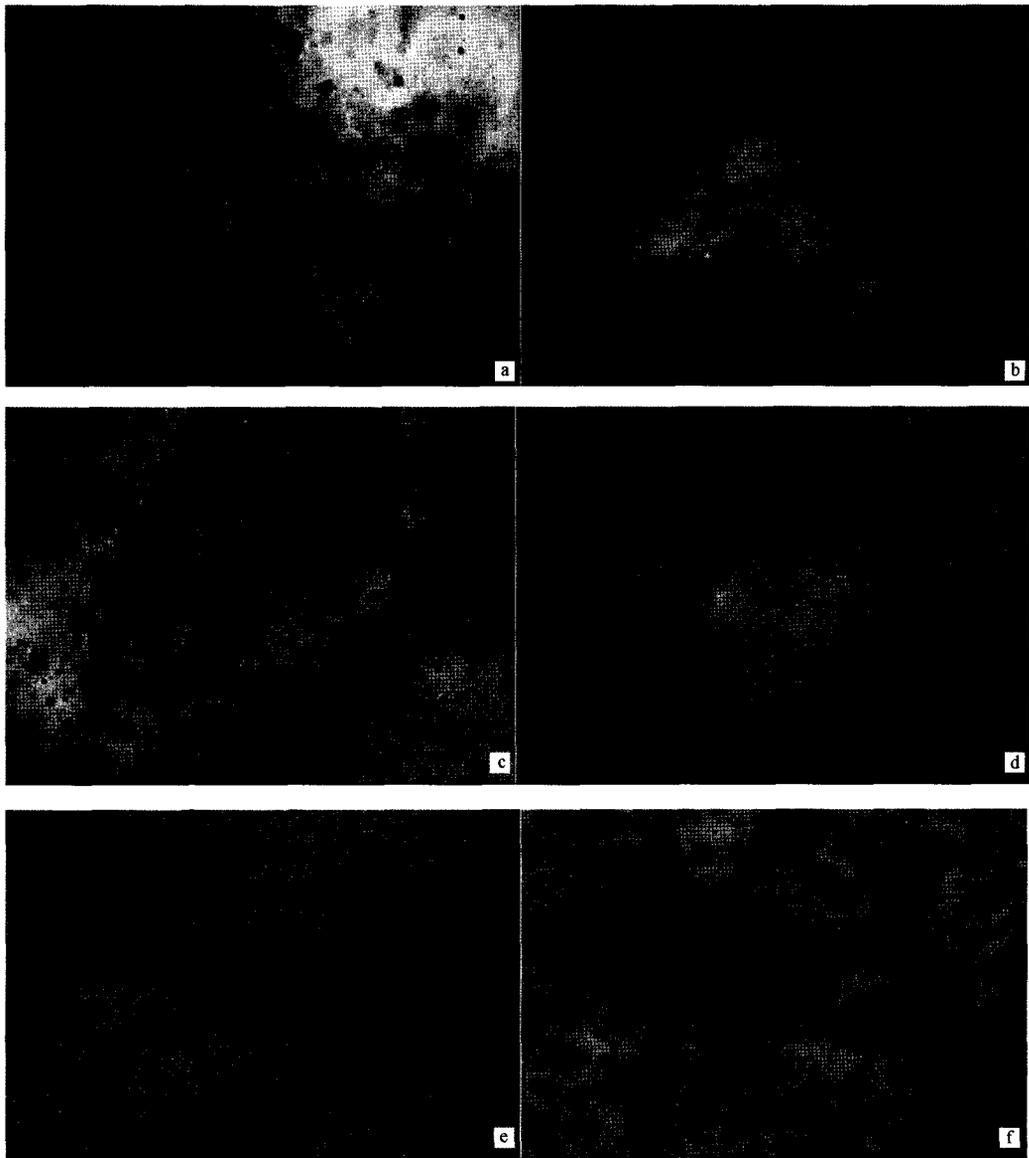


图4 云南大坪金矿床矿石石英包裹体特征(说明见正文)

的30%~60%或更大(可达80%);二相气液包体的气液比为10%~25%,包体大小为5~15 μm 。SBT-1(图4e)和SBT-2(图4f)样品采自矿区北部的十八塘矿点角砾状矿石,矿石中石英的组成较复杂,含早期石英的角砾,但主要是晚期形成的石英。包体数量明显少于上述样品,但个体相对较大,不均匀分布或呈线状排列,主要为 CO_2 包裹体和少量二相气液包裹体,包体多呈负晶状和不规则状等。 CO_2 包体中 V_{CO_2} 在常温下跳动,其中 CO_2 所占体积一般为30%~60%,少数达98%;二相气液包体的气液比为10%~25%,包体大小为10~20 μm ,少数可达30 μm 以上。

2.2 包裹体温、压和盐度特征

两期石英包裹体温、压和盐度等测定结果表明,石英-黄铁矿期的包裹体均一温度变化区间为177 $^{\circ}\text{C}$ ~356 $^{\circ}\text{C}$,平均258 $^{\circ}\text{C}$;石英-方铅矿期为165 $^{\circ}\text{C}$ ~364 $^{\circ}\text{C}$,平均284 $^{\circ}\text{C}$ 。可见两期均一温度变化不明显,石英-方铅矿期略高。图5表明,均一温度总体上有两个峰值区,一个位于220 $^{\circ}\text{C}$ ~240 $^{\circ}\text{C}$ 区间,另一个位于320 $^{\circ}\text{C}$ ~360 $^{\circ}\text{C}$ 区间,同时单个样品也具有类似的规律。包体的盐度两期分别平均为14.7%和13.21%,流体密度则分别平均为 $0.88 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 和 $0.90 \times 10^3 \text{kg/m}^3$,各方面指标变化均不明显,没有显示出同一成矿热液体系随时间从早到晚所表现出的趋势性变化特征。利用 CO_2 包裹体的相关数据,根据有关P-T相图对压力进行估算,得出石英-黄铁矿期的成矿压力为58MPa,石英-方铅矿期为70MPa,相应的成矿深度(按27MPa/km增压计算)分别为2.14km和2.59km。可以看出,从石英-黄铁矿期到石英-方铅矿期成矿深度不断加深,与不同期次石英脉在空间上的填充规律相符。

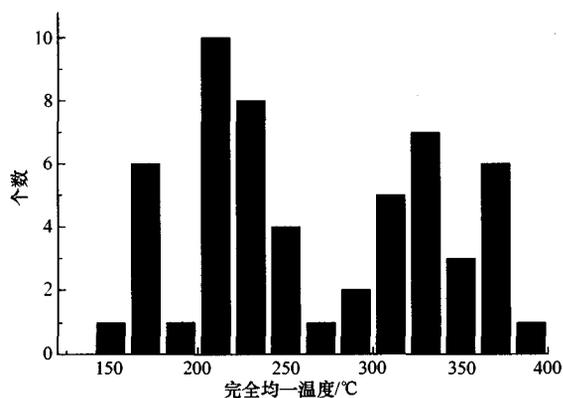


图5 大坪金矿床矿石石英包裹体均一温度直方图

2.3 包裹体成分特征

有关流体包裹体的成分见表1。不同成矿期的流体成分共同特点是:液相成分中,阳离子以 Na^+ 、 K^+ 为主,钠钾比值均远大于1,其次为 Ca^{2+} ,个别样品还含一定量的 Mg^{2+} ;阴离子以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主,各样品的 F^- 含量均低于氯和硫酸根离子。气相成分中,水和 CO_2 占有绝对优势,其次为 O_2 和 N_2 。值得注意的是各样品中均含有一定量的 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_6 等,其中以前两者为主。但不同期次热液之间差异也是很明显的,石英-黄铁矿期热液(表中2、3阶段)早期相对富集 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 等离子组分,各组分值明显偏低,而主期 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 含量相对增高;石英-方铅矿期成矿热液特别富集 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 等液相组分和 CH_4 等气相组分,相对富集 CO_2 和 N_2 等气相组分。从早到晚各组分含量基本相似。但从老金山样品(LJS-3)分析,晚期 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等离子含量明显增加,气相成分中 N_2 含量较高,可能同矿液流经的围岩不同有关。取于V23号脉旁侧含少量黄铁矿的石英大脉样品(V23-5,不含金)中各种组分均有一定含量,以特别富集 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等为特点,似乎与上述两期热液有一定差异,是否表明存在更晚一期的热液活动有待进一步研究。

3 同位素地球化学

3.1 H-O和C同位素

表2列出了大坪金矿不同脉体不同期次矿石石英的H、O同位素组成以及铁白云石的碳同位素组成。由表2及图6可知,矿区不同成矿期矿石氧同位素组成总体变化较小(2.63‰~5.54‰),略低于正常岩浆水值(5‰~7‰,郑永飞等,2000^[19]),在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} - \delta\text{D}$ 图解(图6)上呈一垂直直线型排列特征,反映氧同位素组成稳定,没有同一体系热液经长期演化后,氧同位素向大气降水线发生飘移的现象;而氢同位素组成变化较大(-113‰~-41‰),变化范围大于正常岩浆水值(-80‰~-50‰,郑永飞等,2000^[19])。同时,不同期次有样品投点在图上相互交织出现,表明这种变化并非由于同位素交换引起。上述H、O同位素的组成特征表明:该区不同成矿期的热液并非同一成矿体系的产物,而是源于相对独立的热液体系。

从各期热液组成变化范围看,两期流体H、O同位素组成特征大致相似,主体位于原生岩浆水范围内, δD 值的变化表明可能发生了弱的水岩交换作用。

表1 大坪金矿床矿石石英流体包裹体成分表

样号	矿石(阶段)	取样温度/℃	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
V1-1	石英硫化物脉(IV)	100~500	4.060	0.853	0.920	0.283	8.351	0.026	2.000	0.123
V1-6	石英硫化物脉(II)	100~500	18.291	5.109	0.432	0	39.064	0.036	1.343	0.420
V5-1	石英硫化物脉(III)	100~500	20.125	3.189	2.805	0	32.088	0.030	6.791	0.359
V23-5	石英黄铁矿脉(IV-V)	100~500	29.454	5.629	2.034	0.301	42.528	0.023	18.574	0.203
LJS-3	石英方解石脉(VI)	100~500	18.335	2.694	15.610	5.963	25.759	0.037	24.696	7.692
V23-1	石英硫化物脉(VI-V)	100~500	7.829	2.753	1.073	0	5.383	0.018	21.780	0.194
SBT-1	石英黄铁矿脉	100~500	12.138	2.002	1.487	0	16.540	0.018	8.349	0.380
SBT-2	石英黄铁矿脉	100~500	12.623	2.663	0.654	0	23.229	0.030	2.320	0.440
V9-4	石英硫化物脉(III)	100~500	19.177	3.140	0.708	0	43.492	0.022	15.240	0.434
V9-5	石英硫化物脉(V)	100~500	13.589	4.065	0.467	0	28.026	0.026	10.182	0.805

样号	矿石名称	取样温度/℃	H ₂ O	CH ₄	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆
V1-1	石英硫化物脉(VI)	100~500	95.380	228.244	2.086	0	0.212	2.286	114.795	13.577
V1-6	石英硫化物脉(II)	100~500	93.845	130.639	2.040	0	0.243	3.465	39.311	7.035
V5-1	石英硫化物脉(III)	100~500	95.697	118.020	1.767	0	0.157	2.053	53.055	4.629
V23-5	石英黄铁矿脉(IV-V)	100~500	95.982	73.281	1.894	0	0.175	1.433	44.958	4.193
LJS-3	石英方解石脉(VI)	100~500	92.978	102.901	2.016	微量	0.240	4.529	33.566	3.076
V23-1	石英硫化物脉(IV-V)	100~500	96.495	47.965	1.257	0	0.190	1.842	54.423	4.075
SBT-1	石英黄铁矿脉	100~500	94.272	86.884	3.218	0	0.227	1.943	60.845	7.781
SBT-2	石英黄铁矿脉	100~500	96.689	36.638	1.441	0	0.175	1.689	21.981	微量
V9-4	石英硫化物脉(III)	100~500	94.612	182.258	3.331	微量	0.224	1.800	134.199	13.002
V9-5	石英硫化物脉(V)	100~500	95.042	105.305	2.846	0	0.164	1.929	74.105	10.077

注:①样品由中国地质科学院矿产资源研究所杨丹测试,测试仪器为日本岛津公司 Shimadzu HIC-SP Super 离子色谱仪及 GC2010 型气相色谱仪;时间2004年11月9日;②括号内数字表示成矿阶段;③上表为液相成分(质量分数单位为10⁻⁶),下表为气相成分(摩尔分数单位: H₂O、CO₂、CO、O₂、N₂ 为%, CH₄、C₂H₂、C₂H₆ 为10⁻⁶)。

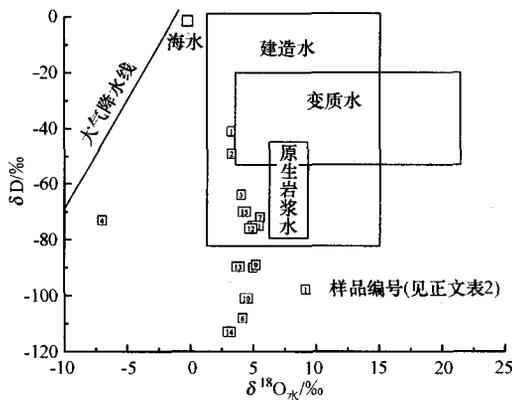


图6 大坪金矿床矿石石英 H、O 同位素组成图解

在碳同位素组成方面,石英-方铅矿期一个铁白云石的 δ¹³C 值为 -4.81‰,而据毕献武(1996)^[9]测得的方解石(主要是石英-黄铁矿期晚阶段的产物)的碳同位素组成为 -2.79‰ ~ -4.34‰,平均 -3.57‰,与上述 H、O 同位素组成特点相似,且与深源(地幔)碳(-4‰)基本一致,表明多期成矿流体均来自于深源。

3.2 S 同位素

由表3可以看出,该区不同矿脉黄铁矿、方铅矿的硫同位素组成变化范围为 -1.57‰ ~ 6.6‰,平均为 2.75‰。组成较为稳定,显示一定的塔式效应,不

同成矿阶段硫同位素组成差别较小。从不同成矿期看,石英-黄铁矿期变化为 2.7‰ ~ 4.9‰,石英-方铅矿期为 0.3‰ ~ 4.4‰。结合前人测试结果综合分析认为,两期成矿热液中的硫主要源于深部岩浆体系,其中石英-方铅矿期晚阶段个别样品值偏低,可能有其他来源硫(如围岩中的溶解硫)混入。

4 成矿作用与成矿过程探讨

目前对大坪金矿床成因的认识主要有以下观点:①与桃家寨闪长岩岩浆活动有关,主要形成于海西期,但在燕山期受到了改造^[1];②与区域斜长花岗岩岩浆活动有关,为多源混合热液改造型金矿床,形成于燕山-喜山早期,以燕山期为主^[2-3];③认为属产于蛇绿岩套辉长闪长堆晶岩中的高-中温热液石英脉型金矿,成矿溶液为热卤水,金主要源于地层及蛇绿岩带,形成于燕山期^[11];④认为含金热流体源于深部上升高压流体,形成于喜山期^[7,12-13]。由此可以看出,大多数作者均认为该矿床是一种改造型金矿床,但其矿质来源各有不同。

4.1 深源流体多期叠加成矿作用

通过前述研究,认为大坪矿床的成矿作用十分复杂,具有至少两个热液成矿期。流体包裹体资料

表2 大坪矿区矿石 H、O、C 同位素组成表

样号(投点号码)	样品对象(成矿阶段)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$t/^\circ\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	δD	资料来源
Iy-1	V9 石英(Ⅵ)	12.48	267.3	3.80		[7]
Iy-6	V9 石英(Ⅱ)	12.91	270	4.35		[7]
Iy-34	V1 富矿地段石英(Ⅲ)	13.32	225.8	2.63		[7]
Y-2(1)	V5 少硫化物石英(Ⅵ)	12.30	260	3.30	-41	[7]
Y-24(2)	V24 少硫化物石英(Ⅵ)	12.1	264	3.28	-49	[7]
Y3-DK880(13)	磁黄铁矿-黄铁矿-石英(Ⅱ)	11.21	300	3.82	-89.7	[4]
YV14	金-方铅矿-石英(Ⅳ)	11.6	270	3.04		[4]
V1-1(14)	V1 石英(Ⅳ)	12.1	260	3.10	-113	
V1-6(15)	V1 石英(Ⅱ)	13.3	260	4.30	-70	
V8DK134A(6)	V8 石英(Ⅵ)	12.7	270	4.14	-108	
V9PD740-4(7)	V9 石英(Ⅲ)	14.1	270	5.54	-72	
V9PD740-5(8)	V9 石英(Ⅴ)	13.5	270	4.94	-75	
V23-1(3)	V23 石英(Ⅵ-V)	13.1	258.57	4.04	-64	
V23-3(9)	V23 石英(Ⅳ)	14.3	258.57	5.24	-89	
V23-5(10)	V23 石英(Ⅳ-V)	13.5	258.57	4.44	-101	
V5-1(11)	V5 石英(Ⅲ)	13.3	284.4	5.32	-75	
SBT-1(5)	外围十八塘矿点石英	13.0	284.4	5.02	-90	
SBT-2(12)	外围十八塘矿点石英	12.8	284.4	4.82	-76	
D29	V5 附近的矿化闪长岩			12.2		[5]
D23	绿泥石化带蚀变岩			6.0		[5]
D10	碳酸盐化带岩石			5.9		[5]
D30	自变质闪长岩			4.3		[5]
V9-5	矿脉中铁白云石(V)	13.78	$\delta^{13}\text{C}_1: -4.81$			[5]
HBD-5	方解石(Ⅲ)		-4.34			[9]
HBD-12	方解石(Ⅲ)		-4.49			[9]
HBD-33	方解石(Ⅲ)		-2.65			[9]
HBD-42	方解石(Ⅲ)		-2.79			[9]

注:①表中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 同位素值按分馏方程 $1000\ln\alpha = 3.38 \times 10^6 t^{-2} - 2.91$ (石英-水, $t = 200^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$),对前人样品亦按此公式重新统一计算(Clayton et al., 1972, 引自郑永飞等, 2000^[19]);②该文数据由中国地质科学院矿床地质研究所万德芳测试。

表3 大坪矿区矿石硫同位素组成表

样号	矿物(阶段)	$\delta^{34}\text{S}$	样号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$	资料来源
V1-1	V1 黄铁矿(Ⅳ)	4.3	含金石英脉	黄铁矿	6.6	[5]
V8DK134A	V8 方铅矿(Ⅵ)	1.1	老金山	黄铁矿	4.8	[5]
V9PD740-4	V9 黄铁矿(Ⅲ)	4.4	HBD-11	方铅矿	0.08	[10]
V9PD740-5	V9 方铅矿(V)	4.0	HBD-18	方铅矿	0.68	[10]
V23-3	V23 方铅矿(Ⅳ-V)	0.3	HBD-19	方铅矿	6.55	[10]
V23-5	V23 黄铁矿(Ⅳ-V)	0.6	HBD-24	黄铁矿	3.49	[10]
V5-1	V5 黄铁矿(Ⅲ)	2.7	HBD-27	黄铁矿	2.24	[10]
V5XK25	V5 黄铁矿(V)	4.9	HBD-29	方铅矿	4.71	[10]
V5XK25	V5 方铅矿(Ⅳ-V)	4.3	HBD-29	黄铁矿	-1.57	[10]
SBT-1	十八塘中期黄铁矿	0.7	HBM-42	黄铁矿	2.16	[10]
SBT-2	十八塘晚期黄铁矿	2.9	DNP(老金山)	方铅矿	0.5	[5]

注:左栏为该文实测资料,由中国地质科学院矿床地质研究所万德芳测试。

表明,两期成矿热液具有不同特点,组分的差异和含量的高低反映各期成矿流体属于相对独立的热液体系,而不是同一体系流体演化的结果,流体的成分特征与相应成矿期形成的矿物组合吻合性较好。另一方面,尽管不同成矿期的成矿热液具有相对独立的源区系统,但它们均是以深源流体为主。胡瑞忠等^[10]对哀牢山成矿带内主要金矿床开展了较系统的氮和氩同位素研究,结果表明,大坪金矿黄铁矿、

方铅矿、黄铜矿和石英(以黄铁矿为主)矿物流体包体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的变化范围为 $0.71\text{Ra} \sim 1.32\text{Ra}$,均明显高于其地壳特征值(0.01Ra),而与地幔特征值($6\text{Ra} \sim 9\text{Ra}$)趋近,说明成矿流体中存在大量地幔氮。与正常地幔值相比,其 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值已有一定程度的降低。进一步研究表明,造成该区成矿流体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值偏低的可能机制为地壳氮对地幔氮的稀释,即为富幔源氮的深源流体与在地壳浅层断裂

系统中循环的以地壳氮为主的流体发生混合的结果^[14]。由于该区硫、氧、碳、铅等同位素资料显示成矿流体主要为深部成因,因此,可以肯定它们只可能是随富含幔源氮的深源流体带来的,这同哀牢山金成矿带上的其他矿床具有相似性^[15]。

4.2 成矿过程探讨

前人有关大坪金矿床成因的各种观点,其中很多明确指出了该区成矿具改造性质,现在看来,这种改造成矿实际上是多期成矿叠加的一种地质表现。根据上述研究并结合前人所积累的成矿测年结果,可以将大坪金多金属矿床的成矿过程简要描述如下:石英-黄铁矿成矿期可能发生在燕山期,与区域大规模中酸性花岗岩岩浆活动有关,主要依据金世昌^[16]测得的矿石铅同位素年龄(113Ma~170Ma)确定,并以金矿化为主;石英-方铅矿成矿期发生在喜山早期,以毕献武等^[12]测得的 ESR 法成矿年龄(41.3Ma~58Ma)为支撑,与区域上喜山早期富碱岩浆活动时代大致对应,同时期也有大量的中基性岩脉(如辉绿岩脉)或煌斑岩脉形成,形成银铅锌矿化并伴生金,考虑到成矿后煌斑岩脉切割矿脉的现象,并结合外围富碱岩脉的存在,可能在喜山中期还发生过热液活动。形成区内矿化的两期成矿热液均源于地球深部的壳幔区,但由于不同地质时代,即使是相同的壳幔过渡区,其性质(状态、物质组成等)也是不相同的,因此源于其中的热液流体也具有不同的特点。相应时期的区域构造-岩浆活动是驱动流体活动的主要动力,而近地表与主构造相通的次级构造体系则是流体最终归宿,也就是矿质的沉淀空间。矿质主要源于流体的源区,上述基性脉岩与矿脉之间的时空关系也证明了这一结论^[17-18]。

[参考文献]

[1] 徐研非. 元阳大坪石英脉型金矿床地质特征[J]. 云南地质, 1989, 10(2): 171-177.

- [2] 韩润生, 金世昌. 云南大坪金矿床形成的物理化学条件及成矿机理的分析[J]. 云南地质, 1993, 14(3): 1-10.
- [3] 韩润生, 金世昌. 云南元阳金矿床的成因及找矿标志[J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 13(4): 218-222.
- [4] 韩润生, 金世昌, 雷丽. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学[J]. 矿物学报, 1997, 17(3): 337-344.
- [5] 应汉龙. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征[J]. 黄金科学技术, 1998, 6(4): 14-23.
- [6] 毕献武, 胡瑞忠. 云南大坪金矿床矿化剂来源及其对金成矿的制约[J]. 矿物学报, 1999, 19(1): 28-33.
- [7] 李定谋, 李保华. 云南哀牢山金矿床的成矿条件[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(1): 60-77.
- [8] 王臣兴. 金坪断块及其矿产[J]. 云南地质, 2000, 21(3): 256-265.
- [9] 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 哀牢山金矿带的成矿时代及其成矿机制探讨[J]. 地质地球化学, 1996, 24(1): 94-97.
- [10] 胡瑞忠, 毕献武. 哀牢山金矿带金成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(4): 321-330.
- [11] 沈上越, 魏启荣, 程惠兰, 等. 云南哀牢山金矿带成因类型探讨[J]. 特提斯地质, 1997(21): 73-84.
- [12] 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 哀牢山金矿带 ESR 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 1996, 41(14): 1301-1303.
- [13] 何明友, 胡瑞忠. 哀牢山金矿带深源流体及其成矿作用[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(1): 73-77.
- [14] 王彦胜, 曾普胜, 李延河, 等. 安徽铜陵新桥铜-金矿床的 He-Ar 同位素组成及其意义[J]. 现代地质, 2004, 18(4): 524-528.
- [15] 葛良胜, 邹依林, 李振华, 等. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 2002, 38(5): 11-17.
- [16] 金世昌, 韩润生. 改造型矿床的成矿热液系统地球化学特征——以元阳金矿床为例[J]. 云南地质, 1994, 15(1): 17-22.
- [17] 邓军, 翟裕生, 杨立强, 等. 剪切带构造-流体-成矿系统动力学模拟[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 115-127.
- [18] 孙忠实, 邓军, 翟裕生, 等. 吉林钾长花岗岩构造背景及钼对大型金矿床的控制[J]. 地球学报, 1999, 20(2): 63-168.
- [19] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF DAPING SUPER - LARGE GOLD - POLYMETALLIC DEPOSIT IN YUNNAN PROVINCE, CHINA

GE Liang - sheng^{1,2}, DENG Jun¹, YANG Li - qiang¹, XING Jun - bing², YUAN Shi - song²

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Institute of Gold Geology, Chinese Armed Police Force, Langfang 065000)

Abstract: Daping gold - polymetallic deposit, located in the southern Yunnan Province, is a super - large quartz - sulfide vein type deposit. Results of ore geology, fluid inclusion and stable isotope studies on the deposit show that main quartz veins were formed by superposition of at least two period mineralization of the early quartz - pyrite period related to the Au and the later quartz - galena period related to Pb, Ag and Au. The different period veins had complex relationships in space. It was concluded from synthetical analyses that the fluids of two periods came from relatively independent systems correlated to different magmatism. The deposit was formed by filling in the same space with late - stage ores, and belongs to poly - metallic sulfide - quartz vein type polymetallic hydrothermal deposit.

Key words: geology and geochemistry, super - large gold - polymetallic deposit, multi - stage superposed mineralization, Daping, Yunnan province