

新疆萨日达拉金矿地质特征及成因探讨*

王居里 刘养杰 周鼎武 陆关祥

(西北大学大陆动力学教育部重点实验室;西北大学地质学系,陕西 西安 710069)

摘 要 萨日达拉金矿是新近发现的一个成矿机制和控矿因素都与韧性剪切带密切相关的金矿床,具有独特的成矿特征。文章对萨日达拉金矿的地质特征和成矿作用特征进行了较系统的研究,结合矿区不同岩石的痕量金、自然金和硫化物的成分及硫化物的硫同位素、铅同位素测试结果,对矿床的形成过程进行了详细讨论。研究表明,萨日达拉金矿与胜利达坂韧性剪切带在空间、时间及成因上密切相关,属典型的韧性剪切带型金矿,成矿具有多期、多阶段和多物源的特点,韧性剪切变形、热液活动及其成矿构成了统一的韧性剪切带成岩成矿作用过程。对于一个含金韧性剪切带系统,不论是垂向上还是横向上,强变形区段都是成矿元素活化、迁出的区段,而低应变—中等应变部位以及不同强度应变带的过渡部位才是含金流体中的金富集、沉淀成矿的最有利部位,也是寻找大型矿床、矿体的有利部位。

关键词 韧性剪切带 成岩成矿作用 萨日达拉金矿 新疆

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

萨日达拉金矿是笔者在承担九五国家重点科技攻关项目(国家 305 项目)子题过程中,在综合分析、研究已有资料和前人研究成果的基础上,按照新的找矿思路,于 1997 年在新疆天格尔金矿带新发现的金矿床。到目前为止,已在萨日达拉地区发现金矿体 5 条,宽度大于 2 m 的黄铁矿化带 20 多条。经国家 305 项目办公室和新疆地矿局协商,1998 年开始由新疆地矿局第一地质大队对萨日达拉金矿进行勘探。经共同工作,萨日达拉金矿 971 号矿体地表 16 条勘探线控制其长度为 797 m,真厚度为 0.99 ~ 30.69 m,各样线上金平均品位为 $(2.28 \sim 7.99) \times 10^{-6}$,单样最高品位为 42.8×10^{-6} 。深部硐探表明,矿体向深部品位稳定,并有变富、变厚的趋势;1999 年笔者又发现富集程度更高的新矿体,其中 991 号矿体 I-2 勘探线上矿体厚 11.78 m,7 个样品的平均品位为 31.38×10^{-6} ,单样最高品位为 128×10^{-6} 。由于矿区属高寒山区,自然条件恶劣,致使矿体深部勘探工作进展缓慢。该矿床已探明的储量是小型,远景储量为大型。

近年来对与韧性剪切带有关的金矿的研究取得了很大进展(王鹤年等,1992;何绍勋等,1996;刘继

顺,1996;程玉明等,1991;王居里,1991;王居里等,1993,1994;陈柏林等,1999;陈柏林,2000;Bon-ne maison et al.,1990;Boulter et al.,1987),但也存在不同的认识,不少学者认为金矿体呈透镜状或脉状沿剪切带糜棱面理分布,并且都产于剪切带内的最强变形区。野外和室内研究表明,萨日达拉金矿属典型的韧性剪切带型金矿,成矿作用有其独特之处,矿体主要产于韧性剪切带内的低应变到中等应变部位以及不同强度应变带的过渡部位。本文主要介绍萨日达拉金矿的地质特征,并初步探讨其成因,试图阐明其成矿作用的时空演化特征,以便进一步指导和推进区内此类金矿床的找矿勘查工作。

1 成矿地质背景

萨日达拉金矿位于新疆胜利达坂以西、天山主脊分水岭以北、天格尔峰以南地带,是天格尔金矿带内新发现的重要金矿床。矿区位于中天山构造带北缘,以中天山北缘断裂带与北天山构造带南缘相邻接。中天山北缘断裂带是一条长期活动的,以不同深度层次、不同变形行为和不同运动方向为特征的

* 本文得到“九五”国家重点科技攻关项目(305 项目:96-915-03-05 A-02)的资助

第一作者简介 王居里,男,1958 年出生,博士,副教授,构造地质学、岩石学、矿床学专业。

收稿日期 2001-03-12;改回日期 2001-09-20。李 岩编辑。

复合型断裂构造带,华力西中晚期以韧性变形为主,形成由多条韧性剪切带近平行排列组合而成的大型韧性剪切带,胜利达坂韧性剪切带是其中规模最大的一条韧性剪切带(王润三等,1992),其宽度为2~4 km,构成区内主要的控矿构造;中生代以后叠加脆性断裂,构成区内中天山与北天山的分界线。断裂带南侧主要出露由斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和花岗岩组成的复式岩基。岩基北缘由于受胜利达坂韧性剪切带的影响普遍发生强烈的韧性剪切变形和金矿化,成为区内主要的容矿岩石。地球化学特征表明,该花岗岩类岩石形成于早古生代岛弧构造环境,与北天山和中天山的板块俯冲作用有关,形成时代为437 Ma(王居里等,1995a;李华芹等,1998);岩片、岩块状中上元古界斜长角闪(片)岩、变粒岩、眼球状片麻岩、绢云石英千糜岩等,是化学成分为基性—酸性的复杂原岩经中深变质作用的产物,后又遭受胜利达坂韧性剪切带的影响,其中的斜长角闪(片)岩、变粒岩和眼球状片麻岩均具有较高的金丰度值;晚古生代基性岩脉,呈近东西向展布,宽0.6~4 m,遭受强烈的韧性剪切变形和退变质,其在空间上与金矿体和矿化体“形影不离”,也具有较高的金丰度值。断裂带北侧主要出露晚古生代以安山岩为主,以玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩组合为特征的岛弧火山岩建造,邻近断裂带有晚古生代晚期红色钾长花岗岩呈串珠状断续分布(图1)。

上述中天山北缘中上元古界变质岩系和早古生代花岗岩类以及晚古生代基性岩脉是区内金矿的重要物质基础,而胜利达坂韧性剪切带的活动则是母岩中成矿物质活化、迁移和富集成矿,并使深部幔源物质活化、聚集的重要动力学和热力学基础。

2 矿床地质特征

2.1 控矿、容矿构造特征

区内主要的控矿构造是胜利达坂韧性剪切带,该剪切带控制了区内金矿床、矿体和矿化体的分布。胜利达坂韧性剪切带由一系列强度不同的应变带近平行排列组合而成,宏观上表现为一系列糜棱岩带和强片理化带,其糜棱面理在空间上呈舒缓波状近东西向展布,倾向343~19°,倾角69~88°,在巴巴戈

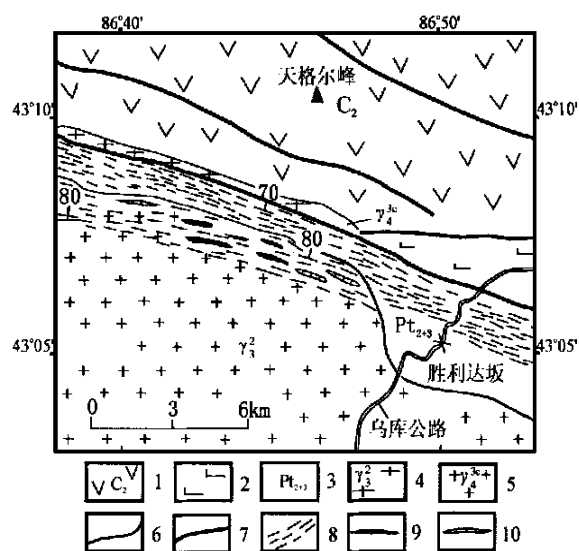


图1 新疆萨日达拉金矿区地质略图(据王居里资料●缩编)

1—中基性火山岩、火山碎屑岩,局部夹薄层灰岩;2—千枚岩、钙质千糜岩及浅变质中性火山岩、火山碎屑岩;3—中天山中上元古界变质岩系;4—华力西期红色花岗岩;5—加里东期花岗岩类;6—地质界线;7—断层;8—韧性剪切带;9—金矿体;10—金矿化体

Fig. 1 Geological sketch map of the Saridala gold district, Xinjiang

1—Intermediate-basic volcanic rocks, pyroclastic rocks and thin limestone layer; 2—Phyllite, calc-phylionite and epimetamorphic intermediate volcanic rocks, pyroclastic rocks; 3—Proterozoic metamorphic rocks of Central Tianshan Mountains; 4—Variscan red granite; 5—Caledonian granitoids; 6—Geological boundary; 7—Fault; 8—Ductile shear zone; 9—Gold orebody; 10—Gold mineralized body

萨依局部向南陡倾。研究表明,该剪切带经历了早期自北向南的逆冲剪切及晚期近水平的右行走滑剪切(王润三等,1992)。区内金的成矿作用与胜利达坂韧性剪切带右行走滑剪切期的活动密切相关。

容矿构造主要是剪切带内部与糜棱面理平行的D型剪切裂隙,其次为小角度斜交糜棱面理的P、R型剪切裂隙。

2.2 矿体、矿化体特征

区内发现的矿体和矿化体主要呈脉状,规模较大,其长度为100~800 m,厚度为1~30 m。

区内金矿体、矿化体的空间分布独具特色,它们都产于胜利达坂韧性剪切带中的大型韧性剪切带边部和大型剪切带内部次级剪切带之间的过渡部位以

及低应变—中等应变部位。矿体主要产于剪切带内的初糜棱岩和糜棱岩化岩石之中,其展布方向与剪切带糜棱面理平行或近于平行。矿体总体上呈近平行排列,沿走向有胀缩现象,局部断续相连,向深部厚度变大,其产状与糜棱面理产状基本一致,倾向 $358 \sim 27^\circ$,倾角 $72 \sim 84^\circ$ 。深部勘探表明,同一矿体由地表向地下深处矿体变厚、品位变高(图2)。

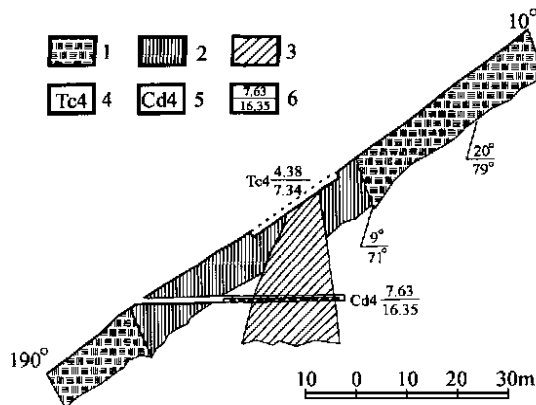


图2 新疆萨日达拉金矿4勘探线剖面图

(据新疆地矿局第一地质大队资料修编)

1—糜棱岩化花岗闪长岩;2—绢云石英千糜岩;3—金矿体;4—探槽编号;5—穿脉平洞编号;6—平均品位(10^{-6})/矿体厚度(m)

Fig. 2 Geological section along No. 4 exploration line of the Saridala gold deposit, Xinjiang

1—Mylonitized granodiorite; 2—Sericite quartz phyllonite; 3—Ore body; 4—Serial number of the trench; 5—Serial number of the adit; 6—Average ore grade of the orebody (10^{-6})/orebody thickness (m)

2.3 矿石特征

2.3.1 容矿岩石和矿石类型

区内容矿岩石类型复杂多样,主要为受剪切变形的花岗岩类岩石以及强烈钠长石化的碱交代岩石。前者主要包括遭受剪切变形的花岗闪长岩、斜长花岗岩和二长花岗岩。遭受剪切变形并发生强烈钠长石化形成的碱交代岩石中成矿最好,其中的矿体规模大,金富集程度也高,构成区内重要而特征的容矿岩石。

区内矿石类型简单,主要为浸染状糜棱岩型。若根据其变形强度划分,则以初糜棱岩型和糜棱岩化型为主,糜棱岩型较少,超糜棱岩型很少。这是本区与韧性剪切带密切相关的金矿的重要特征之一。

2.3.2 矿石的结构、构造

根据矿石中主要矿物的镶嵌关系、变形特征以及交代现象,可分出如下矿石结构类型:

(1) 包含结构。表现为自然金呈包体矿物被包

于黄铁矿之中,或者早期阶段黄铁矿被晚期阶段黄铁矿包裹;

(2) 填隙结构。自然金以充填方式沉淀于早期阶段黄铁矿的裂隙之中;

(3) 团窝状结构。表现为自然金呈不规则粒状集中成团呈窝状分布于脉石矿物之间;

(4) 连生结构。表现为产于脉石矿物中的自然金与黄铁矿平衡连生;

(5) 碎裂及压力影结构。表现为早期阶段形成的黄铁矿在后续剪切变形过程中发生脆性破裂,形成碎裂结构;在持续的剪切变形过程中,在黄铁矿平均受压低的侧面可产生由新生石英和绢云母组成的“阴影”,两者共同构成压力影结构;

(6) 交代结构。区内矿石中交代结构非常发育,成矿期后交代作用主要表现为地表矿体、矿化体中的黄铁矿和磁黄铁矿等的褐铁矿化,形成交代网状、交代残留和交代假象等结构。强烈的褐铁矿化往往使金发生流失,导致地表矿贫化,为吾鲁特萨依下游沙金矿的形成提供了条件。

矿石构造主要为浸染状构造,根据其特征又可分为细脉浸染状构造和稀疏浸染状构造。细脉浸染状构造表现为金属矿物(黄铁矿等)呈细小脉状沿糜棱面理或以小角度斜切糜棱面理分布,矿化强烈时脉体变宽可构成浸染条带状构造;稀疏浸染状构造则表现为金属矿物(黄铁矿等)在矿石中沿糜棱面理呈星散状分布。团块状构造相对较少,主要出现于局部强烈黄铁矿化的糜棱岩类中。

2.3.3 矿石的物质成分

对萨日达拉金矿971号矿体初糜棱岩型和糜棱岩化型矿石的10个代表性样品进行了X射线荧光光谱(XRF)分析。样品为用简易刻槽法采取的新鲜样品,在室内进行无污染碎样,并缩分选取测试样品,测试结果见表1。其中 SiO_2 含量变化范围较大,除2个样品 $w(\text{SiO}_2)$ 为42.73%(对应的 FeS_2 含量最高)和77.34%外,主体上 $w(\text{SiO}_2)$ 偏低,为52.80%~59.70%,属中性岩范畴。更加突出的是,矿石中富含 Na_2O 而相对贫 K_2O , CaO 含量变化大,表现出交代蚀变岩石的重要特征。

光、薄片鉴定结果表明,区内矿石中的金属矿物种类较少,且含量较低, w_B 一般不超过8%,个别样品可超过20%。金属矿物以黄铁矿为主,占金属矿物总量的90%以上,其次为磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金等。地表矿石中见有较多的褐铁

表 1 萨日达拉金矿代表性矿石的化学成分

Table 1 Chemical composition of the representative ores from the Saridala gold deposit

样号	w(B) / %													总和
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	FeS ₂	LOI	
97-141	59.57	1.20	17.37	3.63	0.86	0.08	0.83	0.55	8.31	0.55	0.05	5.87	1.73	100.60
97-143	77.34	0.55	8.73	1.10	1.18	0.13	0.52	2.25	4.06	0.52	0.02	2.15	1.39	99.94
97-145	58.90	0.57	17.27	0.90	0.78	0.17	0.75	5.44	9.49	0.20	0.04	2.64	2.57	99.72
97-149	56.66	1.12	17.91	0.12	1.28	0.16	1.14	4.89	8.57	0.73	0.05	5.33	1.95	100.00
97-152	42.73	1.63	10.72	2.15	1.54	0.04	1.17	0.38	5.36	0.53	0.05	27.89	6.27	100.46
97-154	54.10	1.06	17.47	2.21	1.01	0.12	0.63	3.36	7.80	1.16	0.30	8.10	2.07	99.39
98H-47	52.80	1.26	15.31	0.67	2.04	0.28	1.77	8.69	7.97	0.38	0.08	4.15	4.43	99.83
98H-53	56.69	0.93	16.60	1.49	1.62	0.19	2.09	4.42	8.07	0.32	0.05	5.07	2.77	100.31
98H-56	59.70	1.61	19.88	1.44	0.58	0.05	0.35	0.68	9.46	1.12	0.04	2.66	1.76	99.33
98H-59	58.46	1.19	19.77	2.11	0.54	0.04	0.36	0.31	8.81	1.42	0.04	4.98	1.90	99.93

测试单位: 西北大学大陆动力学教育部重点实验室; 测试人: 柳小明; 测试仪器: RIX2100; FeO 为湿法分析; FeS₂ 为分析结果计算值, 计算用 S 值由原地矿部西安综合岩矿测试中心分析。

矿, 为原生黄铁矿、磁黄铁矿氧化所致。脉石矿物以长石(斜长石、钠长石、钾长石)为主, 此外有绢云母、石英、方解石、黑云母、绿泥石等。自然金主要以粒间金、包体金、裂隙金和连生金形式产于脉石矿物和黄铁矿之中, 形态多样, 粒度较大, 大多数颗粒的长轴长 0.01 ~ 0.08 mm, 由电子探针分析结果计算的成色为 937 ~ 982。

2.4 蚀变特征

区内与金成矿有关的蚀变主要为黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化及强烈的钠长石化、硅化和少量绿泥石化。

黄铁矿化最为普遍, 在矿石和矿化岩石中均有发育, 但强度差别很大, 其体积分数从不足 1% 到 30%。黄铁矿主要呈半自形—他形不规则状分布于强弱应变带的过渡部位, 平行糜棱面理排列。其特征反映成矿具有多阶段性。

碳酸盐化在矿石和矿化岩石中也较普遍, 但强度不均, 且矿化好的岩石较矿化差的岩石中碳酸盐化弱。部分方解石颗粒发育机械双晶或见双晶扭曲、波状消光, 反映其形成后经历了持续的剪切变形的影响。

绢云母化在区内剪切带中普遍发育, 不同类型构造岩中皆有, 但在超糜棱岩和千糜岩中绢云母的含量最高。这些绢云母主要是岩石遭受剪切变形过程中由长石蚀变而来的, 它们在岩石中强烈定向, 且多与硅化伴随。绿泥石化较弱, 可能与原岩性质有关。野外观察表明, 绢云母化和绿泥石化分带最明显, 在矿体周围常发育数十厘米 ~ 数米宽的(绿泥)绢云千糜岩带, 构成区内金矿体和矿化体特征的围

岩蚀变带。

在 971 号和 991 号矿体及近矿围岩中, 除发育上述蚀变外, 还发生了强烈的钠长石化, 并形成了碱交代岩石, 致使矿石中的脉石矿物主要由长石组成。各矿物的体积分数范围分别为: 斜长石 + 钠长石 65% ~ 75%, 钾长石 5% ~ 15%, 石英 0 ~ 3%, 黑云母 2% ~ 5%, 白云母 0 ~ 13%, 方解石 1% ~ 8%, 绢云母 1% ~ 8%, 局部见少量绿泥石。原岩中斜长石、钾长石和白云母遭受强烈钠长石化。交代形成的钠长石多数较为干净, 无色透明, 低负突起, 双晶不发育, 解理少见; 少部分可见解理, 表面不很干净。钠长石化过程中皆伴有强烈的黄铁矿化, 表现为较细小的他形黄铁矿分布于新生钠长石中或钠长石与被交代矿物及周围矿物之间。

区内硅化现象普遍而独特, 表现为在胜利达坂韧性剪切带内的局部地段中发生了强烈的去硅作用(SiO₂ 强烈减少), 而另一些地段则发生强烈的聚硅作用(SiO₂ 强烈增加), 两者互补。在 SiO₂ 富集的部位出现数米 ~ 十数米宽的似“硅质岩”带, 岩石致密坚硬, 外观似硅质超糜棱岩, 但镜下观察薄片保留有较多的细小长石残斑, 表明剪切变形过程中岩石内的 SiO₂ 发生了强烈的动力分异、迁移和再聚集, 这可能是解释“硅谜”(杜乐天, 1989) 的有效途径之一。硅化与金成矿的关系很特殊, 表现为金与 SiO₂ 主体呈负相关关系。SiO₂ 强烈减少的部位(也是强烈钠长石化的部位)是金成矿的最有利部位, 多形成大矿体、富矿体; 而 SiO₂ 强烈聚集的地段一般只发生弱的金矿化, 金含量小于 $n \times 10^{-8}$, 仅在局部形成

达工业品位的小矿体。

区内剪切变形过程中硅化和钠长石化以及金矿化的作用过程细节尚在进一步研究之中。

3 成矿作用特征

3.1 成矿温度

矿带上不同区段黄铁矿的爆裂法测温结果(王居里等,1995b)表明,成矿温度范围为170~410℃,并可明显地划分出4个温度区间:①170~240℃;②270~300℃;③335~360℃;④405~410℃。温度范围与从矿带东部望峰金矿获得的石英流体包裹体的均一温度范围(陈衍景等,1998)基本一致。反映了成矿的多阶段性。

3.2 成矿期与成矿阶段

根据区内各种矿化之间的关系、矿物共生组合、矿石组构及含金性等特征,可将区内成矿作用过程划分为两期:构造-热液成矿期和表生期。

构造-热液成矿期是区内的主成矿期,与剪切作用及热液活动密切相关。该成矿期可进一步划分出4个成矿阶段:

(1) 磁黄铁矿-黄铁矿阶段。磁黄铁矿呈半自形—他形;黄铁矿多为立方体或五角十二面体,有的晶体被晚阶段黄铁矿包裹,主要沿糜棱面理分布,有的在后续剪切变形过程中发生碎裂。此阶段金的矿化富集强度较低,未见金的独立矿物;成矿温度较高,超过400℃。

(2) 黄铁矿-自然金-黄铜矿阶段。黄铁矿为主体,呈他形或五角十二面体、立方体及两者的聚形,大致沿糜棱面理分布,裂隙发育,有的黄铁矿中包裹自然金和第一阶段的黄铁矿;黄铜矿为半自形晶。该阶段金的矿化富集程度较高,有金的独立矿物形成。成矿温度为335~360℃。相应的蚀变主要有钠长石化、绢云母化等。

(3) 自然金-多金属硫化物阶段。为区内最重要的成矿阶段,矿物组合较复杂,除自然金外,金属硫化物有黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等,但主体为黄铁矿,后两者所占比例很小。黄铁矿主要呈他形,沿糜棱面理分布,少数呈五角十二面体,有的黄铁矿中包裹自然金,有的与自然金连生;闪锌矿、方铅矿矿化弱,含量少,呈细粒他形晶或集合体分布于脉石矿物中,有的被晚期结晶的黄铁矿包裹。该阶段金的矿化富集程度高,形成大量自然金。自然金呈各种不

规则状产于黄铁矿内和黄铁矿裂隙中,或呈乳滴状、不规则状分散或集中成窝产于脉石矿物中,金的浓集程度较高,粒度多大于0.01 mm,最大者超过0.08 mm。成矿温度为270~300℃。相伴的蚀变主要有钠长石化、绢云母化、碳酸盐化等。

(4) 黄铁矿-银阶段。黄铁矿主要呈自形—半自形立方体,少数呈他形,细粒者沿糜棱面理呈流线状分布,粒度稍大者也大致沿糜棱面理定向分布。有些黄铁矿含较多的脉石矿物包体。该阶段金的矿化很弱,仅在热液活动较强烈处发生一些金矿化,一般不形成金的独立矿物,局部发生银矿化。可在矿化糜棱岩中形成含少量黄铁矿的细小石英脉,是韧性剪切变形末期的产物。伴随的其他蚀变主要是硅化、碳酸盐化。

表生期主要是地表矿体、矿化体中的金属硫化物黄铁矿、磁黄铁矿等的褐铁矿化,使金流失,造成地表矿贫化。

4 矿床成因探讨

4.1 成矿物质来源分析

矿区不同岩石的代表性样品的金含量分析结果见表2。统计表明,变基性岩脉7个样品中 $w_{Au} = (0.94 \sim 8.30) \times 10^{-9}$,平均 4.21×10^{-9} ,略高于金在地壳中的丰度值($w_{Au} = 4 \times 10^{-9}$;黎彤,1976);中上元古界变质岩系中的斜长角闪(片)岩和变粒岩4个样品中金含量(w_{Au})为 $(2.50 \sim 98.0) \times 10^{-9}$,平均 27.25×10^{-9} ,是金在地壳中丰度值的近7倍;眼

表2 萨日达拉金矿各类岩石的金含量分析结果

Table 2 Gold content of various rocks from the Saridala gold deposit

序号	样号	$w_{Au}/10^{-9}$	序号	样号	$w_{Au}/10^{-9}$
1	97-1	8.30	9	97-165	4.00
2	97-30	6.60	10	98 H-85	2.50
3	97-48	1.60	11	97-166	98.0
4	97-161	3.00	12	97-169	6.50
5	97-163	3.60	13	97-171	7.20
6	C-26	0.94	14	97-173	7.90
7	C-66	5.40	15	C-56	16.7
8	97-61	4.50	16	C-58	6.50

1~7为变基性岩脉;8~10为斜长角闪(片)岩;11为黑云变粒岩;12~14为眼球状片麻岩;15~16为花岗闪长岩。1~11由原地矿部西安综合岩矿测试中心用活性炭吸附、化学光谱法测定;12~16由中国科学院高能物理研究所用INAA法测定。

球状片麻岩 3 件样品中金含量 (w_{Au}) 范围为 $(6.50 \sim 7.90) \times 10^{-9}$, 平均 7.20×10^{-9} , 也明显高于金在地壳中的丰度值; 矿区南侧变形很弱的花岗闪长岩, 2 件样品金含量 (w_{Au}) 为 $(6.50 \sim 16.7) \times 10^{-9}$, 平均 11.60×10^{-9} , 是金在地壳中丰度值的近 3 倍。若考虑这些岩石的变形变质特征及其与矿体、矿化体的关系, 它们都可成矿提供部分物质来源。

19 粒自然金的电子探针分析结果^①中, 有一半以上含有一定量的铂和钯, $w_{Pt} = 0.04\% \sim 0.24\%$, $w_{Pd} = 0.02\% \sim 0.26\%$, 可见, 铂和钯在自然金中的含量大大超过它们在地壳中的丰度 ($w_{Pt} = 0.05 \times 10^{-6}$, $w_{Pd} = 0.01 \times 10^{-6}$; 黎彤, 1976)。铂族元素在地壳、上地幔、下地幔及地核中的含量依次增高(黎彤, 1976), 在地幔物质分异过程中, 铂族元素富集在难熔的残余体中, 因而由地幔分异出来的地壳中铂族元素的丰度最低(刘英俊等, 1987), 由此推断区内成矿物质具有幔源成因的特点。此外, 所测硫化物中含 Cu、Co、Ni 较普遍, 尤其是 Co、Ni, 平均含量较高 ($w_{Co} = 0.056\%$, $w_{Ni} = 0.049\%$), 也说明成矿物质可能来源于深部。

区内 21 个黄铁矿样品的 $\delta^{34}S$ 值(表 3) 为 $-4.8\% \sim 17.3\%$, 离散度为 22.1% , 平均值为 9.04% , 多数样品的 $\delta^{34}S$ 具有较高的正值。1 个磁

黄铁矿的硫同位素组成(表 3) 位于超基性岩中硫化物的 $\delta^{34}S$ 值范围 ($-1.3\% \sim 5.5\%$; 魏菊英等, 1988) 之内, 说明成矿和矿化过程中硫的来源比较复杂, 具多源性特征, 既有深源硫的参与, 也有地壳浅部硫的混入, 而且硫同位素均一化程度较低。这与胜利达坂韧性剪切带的长期活动和区内成矿的多阶段性密切相关。

971 号矿体 7 个黄铁矿样品的铅同位素组成(表 4) 非常一致, 在 Cannon 等(1961) 的三角图上, 投点非常集中, 均落入正常铅范围内, 说明铅同位素组成稳定, 矿床中铅的来源相对单一。在 Zartman 等(1981) 的铅同位素演化模式图上, 投点集中分布于造山带曲线下方附近(图 3), 说明矿石铅主要来源于造山带, 成矿与造山作用演化密切相关。

由上述可见, 萨日达拉金矿具有多源性特征, 成矿物质主要来自地幔或地壳深部, 区内中上元古界变质岩系、加里东期花岗岩类、变基性岩脉等也可成矿提供物源。

4.2 成矿作用时空演化

研究表明, 金能否富集成矿, 并非取决于地层、岩体中金丰度值的高低, 而主要取决于金在岩石中的赋存状态、成矿热液的地球化学条件以及构造条件, 其中构造条件对金的活化、迁移、富集成矿等一

表 3 萨日达拉金矿区金属硫化物的硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotope data of metallic sulfides from the Saridala gold district

序号	样号	采样地点	样品名称	$\delta^{34}S_{VCDT}/\%$	序号	样号	采样地点	样品名称	$\delta^{34}S_{VCDT}/\%$
1	98 T-5	萨日达拉	黄铁矿	-4.8	12	Th-46	巴巴戈萨依	黄铁矿	5.27
2	98 T-12	萨日达拉	黄铁矿	-4.5	13	Th-46	巴巴戈萨依	磁黄铁矿	2.88
3	98 T II-3	萨日达拉	黄铁矿	16.1	14	Bo49-4	巴巴戈萨依	黄铁矿	6.02
4	98 T-37	萨日达拉	黄铁矿	15.5	15	Bo51-2	巴巴戈萨依	黄铁矿	6.82
5	98 T II-4	萨日达拉	黄铁矿	16.4	16	VI TC1-9	巴巴戈萨依	黄铁矿	14.57
6	98 T-56	萨日达拉	黄铁矿	17.3	17	VI TC3-2	巴巴戈萨依	黄铁矿	7.12
7	98 T-76	萨日达拉	黄铁矿	16.5	18	NI-23	纳楞夏尔	黄铁矿	7.41
8	98 T-81	萨日达拉	黄铁矿	12.0	19	N III-4	纳楞夏尔	黄铁矿	0.26
9	BT-10	巴巴戈萨依	黄铁矿	7.4	20	S IV-12	萨日达拉	黄铁矿	-0.38
10	Th-13	巴巴戈萨依	黄铁矿	5.28	21	S V-3	萨日达拉	黄铁矿	5.58
11	Th-31	巴巴戈萨依	黄铁矿	11.93	22	S V-4	萨日达拉	黄铁矿	0.29

1~8 为本文测定, 由原地矿部矿床地质研究所同位素室白瑞梅等测定; 9~17 据资料^②, 18~22 据资料^③。1~8、21、22 为矿石中的黄铁矿, 9~20 为矿化岩石中的黄铁矿或磁黄铁矿。

① 王居里, 刘养杰, 陆关祥, 等. 新疆萨日达拉金矿金属矿物特征及成因意义. 矿物学报, 待刊。

② 车自成, 韩天儒, 王润三, 等. 1990. 新疆塔格勒金矿成矿带地物化综合研究及找矿靶区优选(III₀) 课题研究报告. 国家 305 项目办公室编. 1~186。

③ 炎金才, 刘养杰, 王居里, 等. 1995. 新疆乌鲁木齐县胜利(冰)达坂金矿及外围靶区评价(85-902-04-04) 专题研究报告. 国家 305 项目办公室编. 1~266。

表 4 萨日达拉金矿铅同位素组成

Table 4 Lead isotope data of the Saridala gold deposit

样 号	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	样 号	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
98 T II-3	黄铁矿	18.603 ± 1	15.578 ± 1	38.355 ± 2	98 T-37	黄铁矿	18.548 ± 1	15.574 ± 1	38.448 ± 2
98 T II-4	黄铁矿	18.556 ± 1	15.578 ± 1	38.330 ± 2	98 T-76	黄铁矿	18.739 ± 2	15.593 ± 2	38.427 ± 5
98 T II-5	黄铁矿	18.410 ± 1	15.577 ± 1	38.348 ± 2	98 T-81	黄铁矿	18.639 ± 3	15.591 ± 2	38.426 ± 6
98 T-12	黄铁矿	18.436 ± 1	15.569 ± 1	38.288 ± 2					

原地质矿产部地质研究所同位素室杨淳测定,误差均为 2σ 。

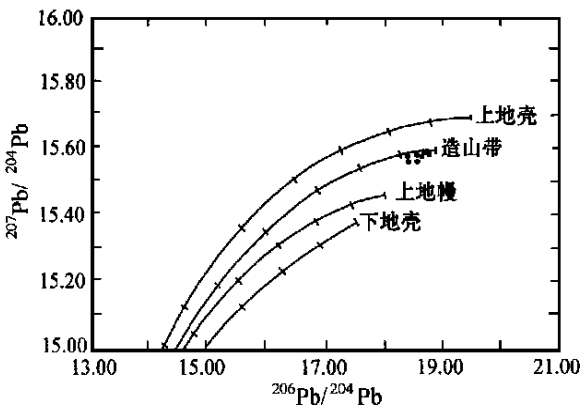


图 3 萨日达拉金矿黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解

Fig. 3 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram of pyrites from the Saridala gold deposit

系列复杂的成矿作用过程起着非常重要的作用。Bonne maison 等(1990)认为变形和热液循环作用的结合能引起岩石中矿物和地球化学组成的调整。以下两种互补的过程相伴发生：①母岩化学组分的部分溶解及在一定场所的重新分配；②受剪切作用影响的与母岩无关的外来元素的加入并向剪切带核部迁移。

萨日达拉金矿与胜利达坂韧性剪切带有着密切的空间关系。矿体、矿化体皆分布于胜利达坂韧性剪切带中,且基本沿糜棱面理分布,镜下可见他形黄铁矿延长方向平行糜棱面理,细小黄铁矿沿糜棱面理呈流纹状分布。矿体产出在剪切带内的低应变—中等应变部位以及不同强度应变带的过渡部位,即剪切带边缘、次级剪切带过渡部位的初糜棱岩和糜棱岩化岩石之中,而并非产于强应变带的超糜棱岩之中。

萨日达拉金矿的形成与胜利达坂韧性剪切带的活动基本同时或者稍晚。表现在：①萨日达拉金矿矿体和近矿围岩具有相同或相近的变形特征,是韧性剪切成岩成矿作用的直接产物。②矿体和矿化体中的黄铁矿集合体多呈细脉浸染状和稀疏浸染状

沿糜棱面理或以小角度斜交糜棱面理分布,单个黄铁矿可呈他形和鱼状长形晶体沿糜棱面理分布,是同剪切变形期成岩成矿的产物。③矿石特有的结构、构造表明,不同阶段的矿化作用与相应阶段的韧性剪切变形变质作用一致。④脉石矿物长石、石英等发育典型的显微塑性变形构造,与矿化有关的其他蚀变如绢云母化、碳酸盐化、钠长石化、硅化等也与剪切作用密切相关。此外,在天格尔金矿带东部望峰金矿区获得了 437 Ma 的胜利达坂岩基形成年龄 310 Ma 的胜利达坂韧性剪切带的形成时间(或早期成矿作用阶段的时间)以及 270 ~ 290 Ma 的金矿形成时代(李华芹等,1998)。

上述表明,区内剪切变形、变质与金的成矿是统一的韧性剪切成岩成矿作用过程。胜利达坂岩基形成于加里东期;伴随中石炭世晚期北天山小型洋盆关闭、伊犁-中天山板块与准噶尔地块对接碰撞(肖序常等,1990),中天山北缘开始发生自北向南的逆冲推覆剪切作用,胜利达坂韧性剪切带开始形成;晚石炭世进入板内构造演化阶段,由于碰撞时块体边界特征及应力场改变等的影响,导致发生大规模近水平右行走滑剪切。在剪切变形、变质过程中,伴随构造和流体作用,深部地壳和地幔中的金等成矿元素和其他组分活化、迁移,不断向剪切带内聚集,形成含矿流体。在持续的剪切变形、变质作用下,含矿流体主要在压力梯度驱使下由强应变区向中等—弱应变区迁移、聚集、沉淀成矿,在剪切带内垂向上的脆-韧性过渡区及横向上的低应变—中等应变部位以及不同强度应变带的过渡部位形成矿体。这一过程大约延续了 30 ~ 40 Ma。

综上所述,萨日达拉金矿与胜利达坂韧性剪切带在空间上、时间上以及成因上都具有密切的关系,属典型的韧性剪切带型金矿。矿床、矿体及矿化体的空间分布皆受韧性剪切带的控制;金的活化、迁移、富集和沉淀成矿与剪切带的演化在时间上紧密相伴。剪切变形、热液活动及其成矿是统一的韧性

剪切成岩成矿作用过程。对于一个含金剪切带系统,不论是垂向上还是横向上,强变形区段都是成矿元素活化迁出的区段,而低应变—中等应变部位以及不同强度应变带的过渡部位才是含金流体中的金富集、沉淀成矿的最有利部位,也是寻找大型矿床、矿体的有利部位。

致谢 研究工作得到国家 305 项目办公室领导和专家的支持与指导,野外工作期间得到新疆地矿局第一地质大队的帮助,谨表谢忱。

参考文献

- 陈柏林. 2000. 糜棱岩型金矿元素丰度与构造变形的关系[J]. 矿床地质, 19(1): 17~25.
- 陈柏林, 董法先, 李中坚. 1999. 韧性剪切带型金矿床成矿模式[J]. 地质论评, 45(2): 186~192.
- 陈衍景, 李欣, 靖军, 等. 1998. 新疆望峰金矿成矿流体研究及其成因意义[J]. 地球学报, 19(2): 195~203.
- 程玉明, 谢贵明. 1991. 中国前寒武纪金矿的成矿找矿模式[J]. 矿产与地质, (2): 73~80.
- 杜乐天. 1989. 幔汁(ACOHNS)流体的重大意义[J]. 大地构造与成矿学, 13(1): 91~99.
- 何绍勋, 段嘉瑞, 刘继顺, 等. 1996. 韧性剪切带与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1~174.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 1~264.
- 黎彤. 1976. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, (3): 167~174.
- 刘继顺. 1996. 韧性剪切带中金成矿研究的若干问题[J]. 地质论评, 42(2): 123~128.
- 刘英俊, 曹励明主编. 1987. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1~281.
- 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 等. 1990. 试论新疆北部大地构造演化[C]. 新疆地质科学, 第1辑. 北京: 地质出版社, 47~67.
- 王鹤年, 张守韵, 俞受均, 等. 1992. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质[M]. 北京: 科学出版社, 1~180.
- 王居里. 1991. 新疆天格尔金矿带胜利达坂韧性剪切带及金成矿作用研究[D]. [硕士论文]. 导师: 王润三. 西安: 西北大学地质系, 63页.
- 王居里, 王润三, 刘养杰. 1993. 新疆胜利达坂金矿区金矿化特征[J]. 新疆地质, 11(2): 115~122.
- 王居里, 刘养杰, 王润三. 1994. 新疆胜利达坂金矿区韧性剪切带与金矿关系[J]. 西北地质科学, 15(2): 20~26.
- 王居里, 炎金才, 王润三, 等. 1995a. 新疆胜利达坂地区花岗岩类的地球化学及成岩环境[J]. 西北地质科学, 16(2): 29~35.
- 王居里, 刘养杰, 王润三. 1995b. 新疆胜利达坂金矿区金的成矿作用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 25(2): 141~146.
- 王润三, 王居里. 1992. 新疆中天山北缘胜利达坂韧性剪切带[J]. 新疆地质, 10(3): 204~211.
- 魏菊英, 王关玉编. 1988. 同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1~166.
- Bonne maison M and Marcoux E. 1990. Auriferous mineralization in some shear zones: A three-stage model of metallogenesis[J]. Mineralium Deposita, 25(2): 96~104.
- Boulter C A, Fotios M G and Philips G N. 1987. The golden mile, Kalgoolie: A giant gold deposit localized in ductile shear zone by structurally induced infiltration of an auriferous metamorphic fluid[J]. Econ. Geol., 82: 1661~1678.
- Cannon R S Jr, Pierce A P, Antweiler J C, et al. 1961. The data of lead isotope geology related to problems of ore genesis[J]. Econ. Geol., 56(1): 1~38.
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics — The model[J]. Tectonophysics, 75: 135~162.

Geological Features and Origin of Saridala Gold Deposit, Xinjiang

Wang Juli, Liu Yangjie, Zhou Dingwu, Lu Guanxiang

(Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education; Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract

The Saridala gold deposit is a newly discovered deposit, whose forming mechanism and ore-controlling factors are closely related to the ductile shear zone, and whose ore-forming features are very unique. Orebodies occur as veins in the border of the large-size gold-bearing ductile shear zone and the transitional area of the secondary shear zones within the major shear zone. From the surface to the depth, the grade of an orebody becomes higher and the thickness becomes wider. The ore belongs to dissemination mylonite type, being mainly of protomylonite and mylonitization type. The ore minerals are mainly pyrite, with a small amount of pyrrhotite as well

as rare chalcopyrite, sphalerite and galena. The size of the native gold is 0.01 ~ 0.08 mm and the ratio of Au/(Au + Ag) is 937 ~ 982. The multi-periodic activity and multistage evolution as well as multiple ore-forming material sources for mineralization are recognized. Large-scale and intense mineralization is closely related to intense albitization and desilication. Ductile shear deformation, hydrothermal alteration and ore formation constitute a unity of ductile shear rock- and ore-forming processes. Both in vertical direction and along the traverse within an auriferous shear zone system, the intense deformation areas are places where the remobilization and migration of ore-forming elements occur, while the areas with lower to moderate strain and the transitional places of strain belts with different intensities are the best positions for enrichment and mineralization of gold from the gold-bearing fluids and favorable places in search for large gold deposits and orebodies.

Key words: ductile shear zone, rock- and ore-forming processes, Saridala gold deposit, Xinjiang

“西藏高原盐湖资源潜力评价及锂、硼、 铯元素提取技术探索研究”项目取得重要进展

由中国地质科学院下达、中国地质科学院矿产资源研究所承担的《西藏高原盐湖资源潜力评价及锂、硼、铯元素提取技术探索研究》项目在2001年的野外调查中取得了如下重要进展。

(1) 项目组在海拔4500 m以上的无人区系统地调查了藏北东部的15个主要湖泊(包括盐湖),其中有8个属新查湖泊。新发现3个产卤虫盐湖,1个产西藏拟蚤盐湖。样品分析结果进一步证实了藏北东部存在一个潜在的盐湖锂资源聚集区。

(2) 对重点盐湖开展了卤水资源评价工作,按枯水期、平水期、丰水期的卤水评价规范要求,已完成丰水期的取样任务;测制了一条第四纪古温泉成因淡水灰岩剖面,系统采集了对探讨该区第四纪古环境及盐湖演化等研究有重要意义的标本和样品。

(3) 在班戈湖建立了盐湖资源开发试验基地,已完成400 m²的无机盐提取试验盐田,并在试验盐田中开展了土壤渗透实验,近期将开展盐田工艺及卤水蒸发对比实验,以此探索适宜于该区盐湖锂资源开发的盐田工艺技术。

(4) 对调查区内的主要盐湖卤水进行了小规模提锂技术探索,并已初步总结出与西藏扎布耶盐湖完全不同的提锂盐田工艺路线,可望进一步放大并在盐田中验证。

(5) 在班戈湖建立了目前世界上海拔最高的盐湖科学长期综合观测站,在此可常年进行水文、水化学、气象及盐湖浮游生物方面的观测实验。

随着青藏铁路二期工程的完工,本项目所取得的成果对西藏地区盐湖资源的开发与利用将显得越来越重要。

(中国地质科学院矿产资源研究所 赵元艺 供稿)