

四川张家坪子金矿床地质特征及成矿作用

辛存林¹, 包小强¹, 安国堡²

1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070

2. 四川省核工业地质局 二八二大队, 四川 德阳 618000

摘要: 张家坪子金矿床位于冕西金矿集中区, 矿体赋存于中三叠统第三段第五层 (T_2^{3-5}) 的蚀变白云岩及花岗斑岩脉中, 矿体与围岩成渐变过渡关系. 区内断裂控矿明显, 构造线主体为NNE向, 张家坪子韧性剪切带是该金矿床唯一的成矿-容矿构造, 严格控制着金矿床的形成和矿体的产出. 通过C、O、H、S稳定同位素及流体包裹体的研究, 认为该矿床成矿热液以变质水为主, 并有部分岩浆水, 金成矿物质主要来源于地幔, 主成矿期为25 Ma; 主成矿期成矿温度峰值集中于200~280 °C, 其成矿深度峰值主要集中在1.5~2.4 km, 属于浅成低温热液型金矿床.

关键词: 金矿床地质特征; 流体包裹体; 成矿作用; 张家坪子金矿床

中图分类号: Q142

文献标识码: A

文章编号: 0455-2059(2016)06-0713-09

DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2016.06.001

Geological characteristics and metallogenesis of Zhangjiapingzi gold deposit in Sichuan Province

Xin Cun-lin¹, Bao Xiao-qiang¹, An Guo-bao²

1. School of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2. No. 282 Geological Party, Sichuan Bureau of Geology for Nuclear Industry, Deyang 618000, Sichuan, China

Abstract: Zhangjiapingzi gold deposit is located in the West Mianning county gold concentration area and the ore bodies are hosted in the middle Triassic fifth layer (T_2^{3-5}) near the metasomatism of dolomite and granite-porphphyry dyke, with the dike having undergone mineralization, and the ore body and rock changed into a gradual transition relation. In the area the ore controlling fault is obvious and the outstanding tectonic direction is the NNE. Zhangjiapingzi shear schistosity alteration zone is the only host and ore-forming structure, strictly controlling the formation of gold ore deposit and the ore body output. Through the C, O, H, S stable isotope and fluid inclusion studies, it was found that metamorphic water is the main hydrothermal mineralization medium and there are some magmatic water, with the characteristics of mantle material source for mineralization. The main metallogenic period is 25 Ma. Mineralization temperature is concentrated in 200-280 °C and mineralization depth focus is 1.5-2.4 km, proving it to belong to the epithermal gold deposit.

Key words: geological characteristic of gold deposit; fluid inclusion; metallogenesis; Zhangjiapingzi gold deposit

张家坪子金矿地处扬子准地台西南缘与松潘-甘孜地槽接壤部位的冕西金矿集中区, 矿集区已查明金矿床、金矿化点多处, 但以中小型为主. 张家坪子金矿是四川省核工业地质局二八一大队

收稿日期: 2015-07-06 修回日期: 2015-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41262001); 甘肃省科技支撑基金项目(1104FKCA116); 甘肃省自然科学基金项目(1010RJ-ZA020)

作者简介: 辛存林(1967-), 男, 甘肃秦安人, 教授, 博士, e-mail: xincunling@163.com, 研究方向为地质矿产与勘查.

近年来发现的一大型金矿床, 该矿床历经数年勘查, 局部控制深度超过 500 m, 品位向深部变高, 矿体深部仍有变富、变厚的可能. 前人虽对该金矿的地质特征和找矿方向进行了初步探讨^[1-2], 但对成矿物质来源、矿床成因等缺乏深入研究. 因此, 系统分析张家坪子金矿床的成矿地质背景、矿床地质特征、矿床类型及成矿作用, 能为张家坪子金矿“攻深找盲”提供理论依据, 并为该地区相应类型的矿床研究工作提供理论指导.

1 成矿地质背景

张家坪子金矿床位于扬子准地台西南缘与松潘-甘孜地槽接壤部位的盐源-丽江(陆缘拗陷) Cu、Mo、Mn、Pb、Au、S等多金属成矿远景区(图 1). 大地构造处在扬子陆块西南缘雅江残余盆地与楚雄前陆盆地两个二级构造单元夹持区盐源-丽江陆缘拗陷带(Ⅱ₂)北部的茶铺子-盐源-巴折金成矿带^[3-6].

海断裂为界分为东部的康滇分区和西部的盐源-丽江分区, 张家坪子金矿区地层属于盐源-丽江分区^[1-2]. 区内岩浆岩主要为中基性火山、花岗斑岩、辉绿玢岩, 以中基性火山岩分布最广, 印支期、燕山期的岩浆活动与成矿作用密切相关.

区内构造十分复杂, 构造线方向总体为NNE向, 以断裂构造为主^[3-9]. 影响研究区的构造主要为金河-程海断裂、小金河-丽江断裂及司依诺背斜. 本区金矿类型有含金多金属硫化物石英脉型、含金多金属硫化物碳酸盐脉型、层控含金黄铁矿蚀变岩型及斑岩型, 已发现的金矿床(矿化点)38处, 主要有张家坪子金矿床、茶铺子金矿、锦屏山金矿、金林金矿、机器房金矿、菜子地金矿^[10-12].

2 矿床地质特征

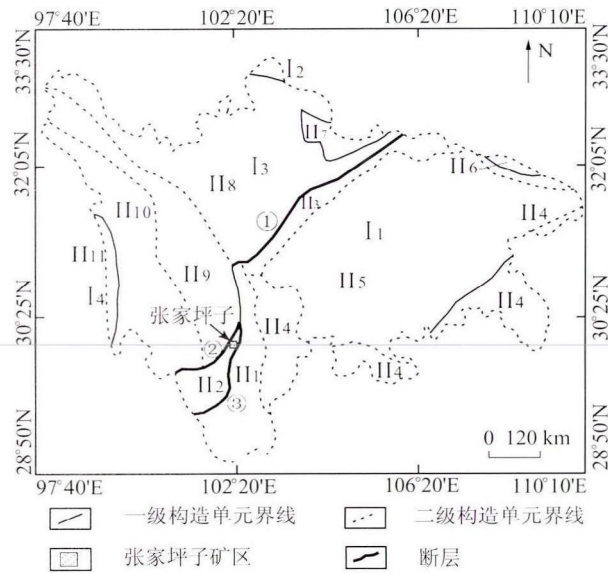
2.1 矿区地质

矿区主要出露地层为中三叠统(T₂)中浅变质的绿片岩带及蚀变交代白云岩组合, 由绿泥阳起石片岩、绿泥白云石片岩、蚀变交代白云岩等组成. 局部出露上二叠统峨眉山玄武岩组变质砂岩、凝灰岩、板岩. 自上而下将出露的中三叠统第三段地层分为6个岩性层, 金矿化主要产于中三叠统第三岩性段的蚀变交代白云岩内. 其中第四层(T₂³⁻⁴)分布于研究区北部一带, 上部为绿泥白云石片岩, 下部为蚀变交代白云岩(Dm), 厚 183.39 m, 为区内含矿层之一, Dm中具Pb、Zn、Ag、Au、U矿化. 第五层(T₂³⁻⁴)分布于中部向南延伸, 为蚀变交代白云岩(Dm)夹少量绿泥白云石片岩, 厚 166.16~280.00 m, 为主要含矿层, 金矿体赋存于蚀变交代白云岩内(图 2).

矿区地处金河-程海深断裂以西的司依诺背斜西翼向西倾斜单斜层, 以NNE向压扭性断层构造为主, 褶皱不发育. 金矿化构造上位于司依诺背斜西翼的张家坪子剪切片理化蚀变带, 矿体沿韧性剪切带转弯或陡缓交替的地方分布. 此外, 中三叠统的绿片岩中有许多花岗斑岩脉及霏细岩脉, 形成时代约 70 Ma^[1], 尤以花岗斑岩脉最发育, 其本身具明显的金矿化.

2.2 矿体特征

研究区已圈定矿体 106 条, 矿体形态多样, 以似层状为主, 其次呈透镜状、不规则条带状, 具分支复合、尖灭再现和膨大现象. 走向近南北, 产状



I, 扬子准地台, II, 康滇地轴, II₂, 盐源-丽江陆缘拗陷带, II₃, 龙门-大巴陆源拗陷带, II₄, 上扬子陆源拗陷带, II₅, 四川陆源拗陷带, I, 秦岭地槽褶皱系, II, 北大巴山冒地槽褶皱带, II, 西秦岭冒地槽褶皱带, I 松潘甘孜地槽褶皱系, II, 巴颜喀拉冒地槽褶皱带, II, 雅江冒地槽褶皱带, II_m, 敦优地槽褶皱带, I, 三江地槽褶皱系, II_n, 巴塘优地槽褶皱带; ① 龙门山断裂, ② 小金河-丽江断裂, ③ 金河-程海断裂

图 1 四川构造单元划分略图
Fig. 1 Structure division map of Sichuan Province

区内出露地层为志留-三叠系, 主要为一套碳酸盐岩夹陆相碎屑岩、火山碎屑岩系. 以金河-程

① 四川省地矿局物探队. 1: 50 000 里庄福地质调查报告[R]. 2000.

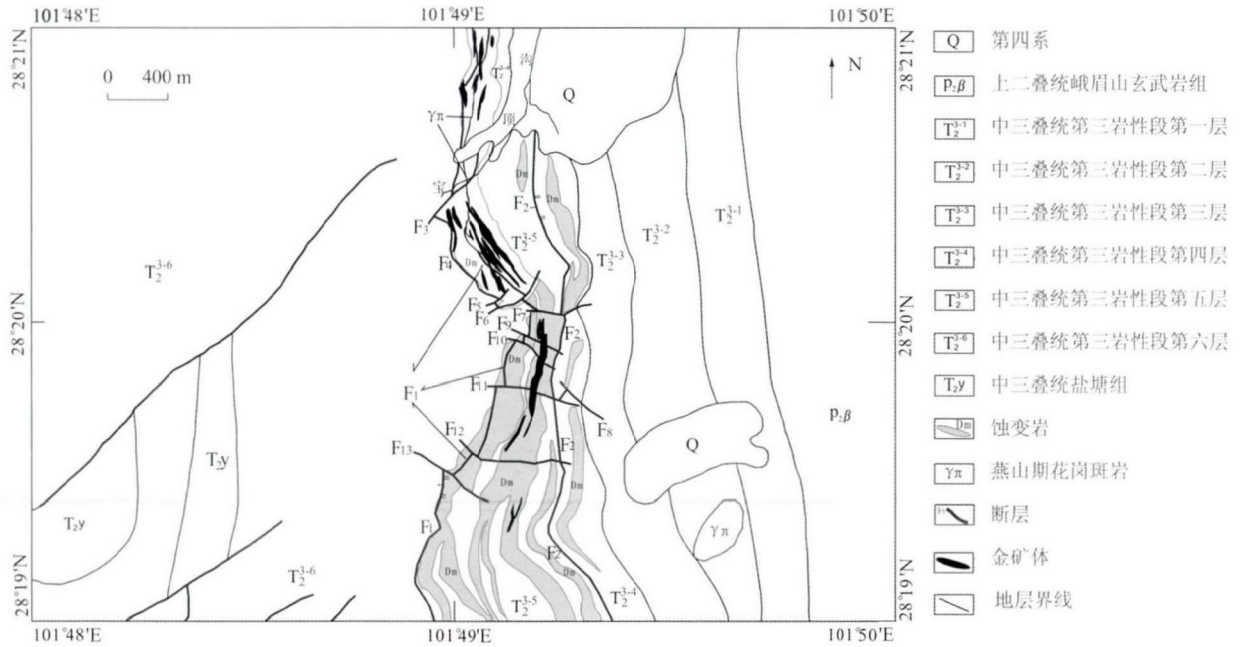


图2 张家坪子金矿床地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Zhangjiapingzi gold deposit

253°~292°∠35°~65°,主要赋存于中三叠统第三段第五层(T₂³⁻⁵)的蚀变交代白云岩、绿泥阳起石片岩、绿泥白云石片岩及花岗斑岩岩脉附近,岩脉本身有被矿化现象,矿体与围岩成渐变关系.断裂控

矿明显,最大矿体位于F₁断层下盘破碎带,长度925.0 m,厚度0.56~25.58 m,深度>380 m,并且深部未见尖灭,最高品位4.625×10⁻⁵,矿区Au平均品位2.01×10⁻⁶,控制标高2 642~3 581 m(图3).

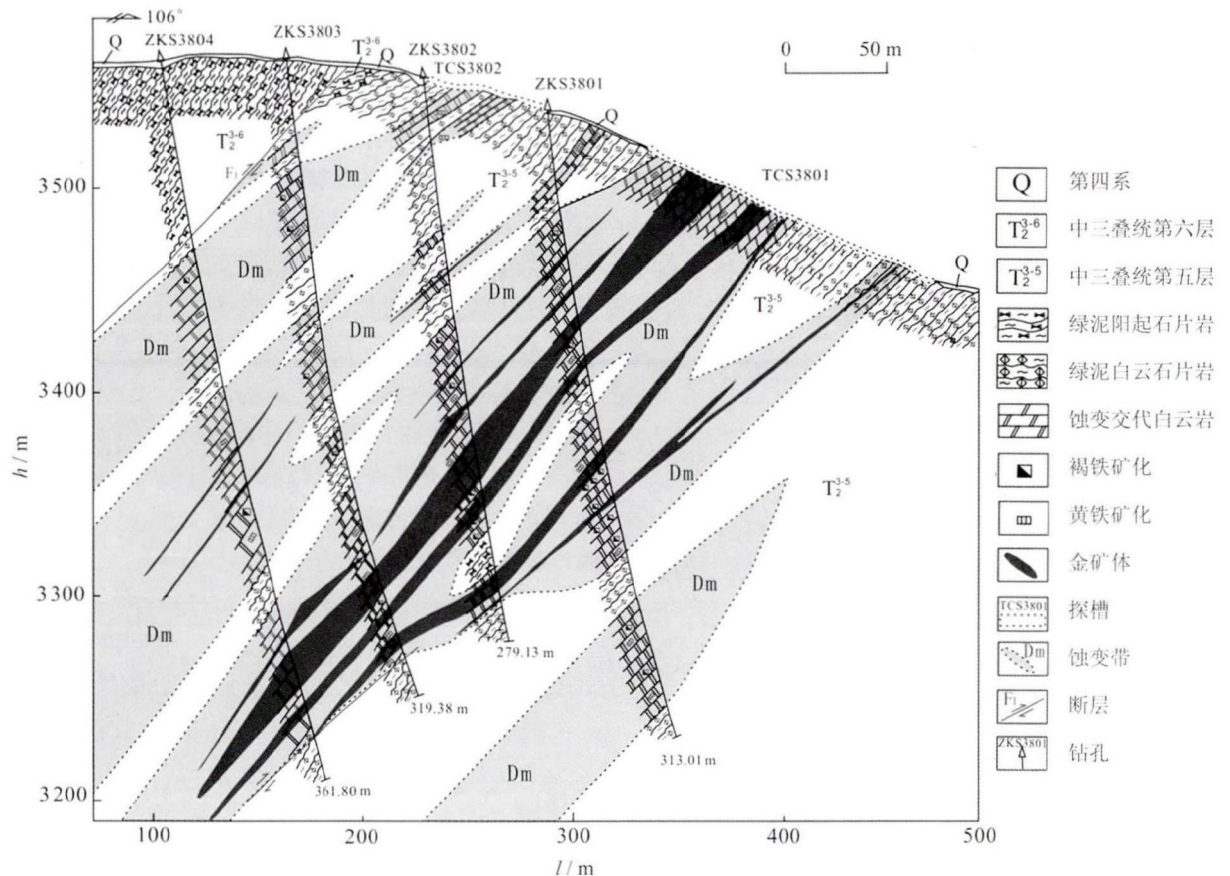


图3 张家坪子矿区S38号勘探线剖面图

Fig. 3 Geological section along No. S38 exploratory line of the Zhangjiapingzi gold deposit

2.3 矿石特征

2.3.1 矿石类型

矿石自然类型较简单, 以原生矿石为主, 依据组构和成分可分为浸染状黄铁矿化碳酸盐型(蚀变岩型)、多金属硫化物含金石英脉型(石英-钠长石-碳酸盐脉型)。矿石中金属硫化物约占15%~20%, 主要为黄铁矿, 属低硫化物矿石。氧化矿石和混合矿石仅分布于地表附近, 深度一般约为20 m, 主要为褐铁矿、孔雀石、铜蓝; 局部后期构造、节理较发育的地段氧化带深度可达50 m左右。

2.3.2 矿石结构构造

矿石结构多样, 以不等粒自形-半自形晶结构、不等粒它形晶结构为主, 其次为填隙结构、交代残余结构及反应边结构、变晶结构、鳞片变晶结构、碎裂结构、包含结构等。矿石构造以浸染状、细脉浸染状、网脉状、层纹状构造为主, 其次为团块状构造、角砾状构造。

2.3.3 矿石的矿物组成

矿石矿物成分多样, 主要的金属矿物为自然金、黄铁矿, 区内的载金矿物为黄铁矿(5%~9%)、褐铁矿(2%~4%)及少量黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等, 次生矿物有褐铁矿(黄铁矿地表氧化)。

金矿物以自然金为主, 呈金黄色, 半自形、它形, 少见自形金, 多为粒状、椭圆形、卵圆形、乳滴状、片状、薄膜状及丝状, 低硬度。其次为石英(18%~27%)、绢云母(7%~13%)、含少量绿泥石(5%~7%)、钠长石(3%~5%)、菱铁矿、菱镁矿等, 含微量磁铁矿、钛铁矿、金红石、毒砂、榍石、磷灰石、针铁矿、电气石等。

2.3.4 金赋存状态

电子探针分析金的成色普遍较高², 最低844.20‰, 最高979‰, 平均913‰。矿石中有益伴生元素为银, 平均品位 5.2×10^{-6} , 主要分布在与金共生的褐铁矿、黝铜矿、方铅矿的解理、裂隙中。砷为有害成分, 含量低于 1.0×10^{-7} , 对选冶无影响。自然金嵌布状态主要为包裹金、裂隙金、晶隙金; 以裂隙金和晶隙金约占(73.2%)为主, 包裹金占12%~26%。

2.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变与动力变质和构造规模紧密相

关, 属于低温热液蚀变, 主要有绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化、硅化和绢云母化^[3]。以碳酸盐化、黄铁矿化、硅化与金矿化关系最密切且具明显的分带性。从外到内大致可分为绿泥石化蚀变带、碳酸盐化蚀变带、黄铁矿化-硅化蚀变带。工业矿体赋存于强蚀变地段, 显示矿床热液蚀变岩的侧向分带性特征。

2.5 成矿阶段

根据矿石结构构造、矿物组合、矿物生成顺序、矿化蚀变特征, 本区成矿期分为火山喷发交代期、热液期、表生期3个成矿期。依据石英的形成先后, 热液成矿期又可分为早期钠长石-黄铁矿-石英阶段、中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段和晚期黄铁矿-白云石阶段(图4)。

3 矿床地球化学

张家坪子金矿床主成矿期为热液期, 但对成矿机制的认识并不统一。在前人研究^[1-2]的基础上进一步通过O、H、C、S同位素测试及流体包裹体的研究, 讨论了其成矿作用。

3.1 流体包裹体特征

为探讨成矿流体的性质、成矿过程中的物理化学条件, 本研究对来自张家坪子金矿床的20件样品进行了显微观测后, 发现有12件样品适合包裹体的均一温度、冰点温度的测试, 并对成矿盐度和密度进行了计算, 求得了成矿压力和成矿深度。流体包裹体显微热力学研究在成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室完成。

用于流体包裹体测试的12件样品全部为石英脉样品, 其中Hb-1、Hb-5、Hb-13、Hb-22、Hb-32为主成矿期早期钠长石-黄铁矿-石英阶段的产物, Hb-3、Hb-18、Hb-19、Hb-27、Hb-28、Hb-29、Hb-31为主成矿期中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段的产物, 未选用主成矿期晚期黄铁矿-白云石阶段产物进行测试。

3.1.1 流体包裹体类型

通过镜下观察, 发现石英脉中原生流体包裹体沿晶体生长带成群(图5a、f)产出, 或者在铅锌矿中呈散点状孤立产出(图5b、c), 大小为4~6 μm, 以5~9 μm居多。包裹体形态多样, 多数为规则状, 如圆形、椭圆形(图5b)、负晶形(图5h), 也见长条状或不规则状假次生包裹体(图5e)。原生流体包裹

② 四川省核工业地质局二八一大队. 张家坪子金矿矿化富集特征规律[R]. 2013.

成矿阶段 矿物名称	火山喷发 交代期	热液期			表生期
		早 钠长石-黄 铁矿-石英	中 黄铁矿-黄 铜矿-石英	晚 石英-黄铁 矿-白云石	
钛铁矿	—				
金红石	—				
普通辉石	—				
斜长石	—				
榍石	—				
磁铁矿	—				
钠长石	—	—			
阳起石	—	—	—	—	
绿泥石	—	—	—	—	
绿帘石	—	—	—	—	
滑石	—	—	—	—	
铁镁碳酸盐	—	—	—	—	
白云石- 铁白云石		—	—	—	—
自然金		—	—	—	—
黄铁矿		—	—	—	—
石英		—	—	—	—
黄铜矿		—	—	—	—
方铅矿		—	—	—	—
黝铜矿		—	—	—	—
绢云母		—	—	—	—
磷灰石		—	—	—	—
方解石		—	—	—	—
电气石		—	—	—	—
毒砂		—	—	—	—
褐铁矿					—
蓝铜矿					—
孔雀石					—

线长度代表时间, 宽度代表相对含量。

图4 张家坪子各成矿期及矿物生成顺序

Fig. 4 Mineralization stages and mineral-forming sequence of the Zhangjiapingzi gold deposit

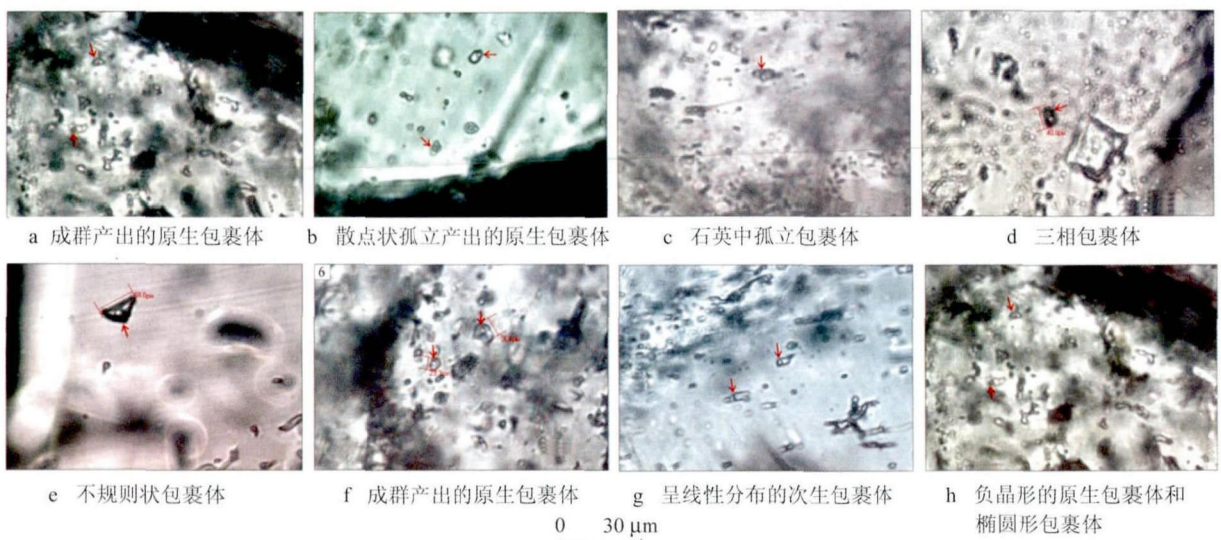


图5 张家坪子金矿石英脉中流体包裹体显微照片

Fig. 5 Photomicrographs of fluid inclusions in quartz from the Zhangjiapingzi gold deposit

体类型主要为“气-液”两相包裹体, 少见“气-液-固”三相包裹体(图5d), 常温下气液比为3%~20%。局部见次生包裹体群, 次生包裹体沿愈合裂隙穿越矿物边界呈线性分布(图5h)。

3.1.2 流体包裹体测试

由于本研究的石英流体包裹体主要为“气-液”两相包裹体, 包裹体类型为V-L. 因此采用加热法测定其均一温度, 并通过刘斌等^[14]提出的密度公式计算其形成密度. 采用冷冻法测定冰点温度, 并通过Potter等^[15]提出的盐度公式计算其盐度.

显微测温工作在成都理工大学油气藏开发与

利用国家重点实验室完成. 使用仪器为Linkam HMS600型冷热台, 温度范围是-196~+600 °C, 以美国FLUIDINC公司的合成流体包裹体标准样品标定冷热台温度. 测试精度: 小于0 °C时为±0.1 °C, 0~30 °C时为0.5 °C, 大于30 °C时为±1 °C, 测温过程中的升温速率为0.2~5.0 °C/min, 相转变温度附近的升温速率降低为0.2 °C/min. 测试结果见表1.

表1 张家坪子金矿床石英包裹体均一温度、冰点温度以及盐度-密度计算结果

Table 1 Calculating result homogenization temperature, freezing point temperature and density-salinity of fluid inclusions in quartz from the zhangjiapingzi gold deposit quartz

样品 编号	成矿 阶段	均一温度/°C		冰点温度/°C		盐度/%		密度/(g/cm ³)		压力/ 10 ⁶ Pa	成矿 深度/ km
		变化范围 (测定包 裹体数)	均值	变化范围 (测定包 裹体数)	均值	变化范围 (测定包 裹体数)	均值	变化范围 (测定包 裹体数)	均值		
Hb-1		87.0~260.2(11)	198.87	-8.7~-2.8(8)	-5.56	4.65~12.51(8)	8.53	0.86~1.0(11)	0.93	35.25	1.06
Hb-5	早期 成矿 阶段 (I)	228.7~261.4(9)	244.14	-8.4~-3.2(7)	-5.64	5.26~12.16(7)	8.66	0.85~0.90(9)	0.88	82.79	1.49
Hb-13		206.1~240.3(6)	224.97	-5.7~-5.2(5)	-5.52	8.14~8.81(5)	8.57	0.88~0.92(6)	0.90	58.79	1.77
Hb-22		222.5~244.3(5)	238.56	-8.3~-5.1(5)	-7.28	8.00~12.05(5)	10.79	0.87~0.92(5)	0.90	73.84	2.22
Hb-32		242.7~292.3(9)	270.90	-5.4~-4.3(8)	-4.79	6.88~8.41(8)	7.57	0.79~0.87(9)	0.83	129.40	3.89
Hb-3		138.2~442.1(6)	212.85	-8.2~-3.2(5)	-5.34	5.26~11.93(5)	8.19	0.90~0.98(6)	0.96	46.81	1.41
Hb-18	中期 成矿 阶段 (II)	269.3~274.2(5)	271.72	-7.3~-5.7(4)	-6.60	8.81~10.86(4)	9.97	0.85~0.86(5)	0.86	128.59	1.86
Hb-19		289.7~346.3(8)	319.30	-8.2~-3.6(8)	-6.31	5.86~11.93(8)	9.54	0.72~0.85(8)	0.78	254.20	7.63
Hb-27		210.3~289.5(8)	252.73	-16.3~-10(8)	-12.90	14.46~19.68(8)	16.16	0.89~0.98(8)	0.94	89.59	1.69
Hb-28		223.1~337.8(4)	279.50	-14.2~-8.2(4)	-11.30	11.93~17.96(4)	15.56	0.84~0.97(4)	0.90	137.69	2.13
Hb-29		214.7~239.7(10)	223.24	-7.7~-5.3(9)	-6.08	8.28~11.34(9)	9.29	0.89~0.9(10)	0.91	56.61	1.70
Hb-31		221.6~249.7(7)	229.77	-17.8~-4.7(7)	-7.76	7.45~20.82(7)	10.78	0.86~1.00(7)	0.91	63.10	1.89

包裹体均一温度结果显示主成矿期早期钠长石-黄铁矿-石英阶段石英包裹体均一温度峰值集中分布在240~280 °C, 主成矿期中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段石英包裹体均一温度峰值集中于200~240 °C. 冰点温度测试表明主成矿期早期钠长石-黄铁矿-石英阶段方解石包裹体冰点温度峰值主要集中在-4~2 °C. 主成矿期中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段石英包裹体冰点温度峰值主要集中在-4~2 °C.

主成矿期早期钠长石-黄铁矿-石英阶段的成矿流体为中-低温、低盐度流体, 主成矿期中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段成矿流体均一温度和盐度均有一定的上升. 根据其均一温度、盐度以及计算得出的密度, 根据Haas^[16]方法求得压力和成矿深度^[17]. 主成矿期早期钠长石-黄铁矿-石英阶段的压力为 $3.525 \times 10^7 \sim 1.294 \times 10^8$ Pa, 成矿深度为1.06~3.89 km. 主成矿期中期黄铁矿-黝铜矿-石英阶段的压力为 $4.681 \times 10^7 \sim 1.377 \times 10^8$ Pa, 成矿深度为1.41~7.63 km, 其成矿深度峰值主要集中在1.5~2.4 km, 符合浅成低温热液型矿床特征^[18-20].

3.2 成矿流体来源

本研究选取矿区不同深度的12件样品进行了碳、氢、氧稳定同位素测试, 样品岩性为蚀变交代白云岩(表2).

表2 张家坪子金矿床碳、氧、氢同位素组成
Table 2 C-O-H isotopic analyses of the Zhangjiaping gold deposit

样号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{snow}}$	δD
Ht-37	-5.14	9.63	-78.06
Ht-38	-4.70	17.14	-27.08
Ht-40	-5.89	18.81	-23.35
Ht-45	-4.38	17.83	-37.13
Ht-46	-3.44	17.90	-71.87
Ht-47	-4.69	16.24	-49.07
Ht-48	-4.37	18.10	-57.54
Ht-51	-7.40	9.40	-59.82
Ht-52	-5.11	10.21	-53.61
Ht-53	-5.44	14.35	-41.73
Ht-69	-7.23	13.05	-26.43
Ht-70	-5.21	15.59	-43.27

分析数据由中国石油西南油气田分公司勘查开发研究院分析实验中心测定.

在图6中^[21], 落点大部分位于变质水范围内, 少数位于岩浆水范围及岩浆水与变质水过渡区, 显示成矿热液为以变质水为主, 夹杂少量岩浆水的混合源.

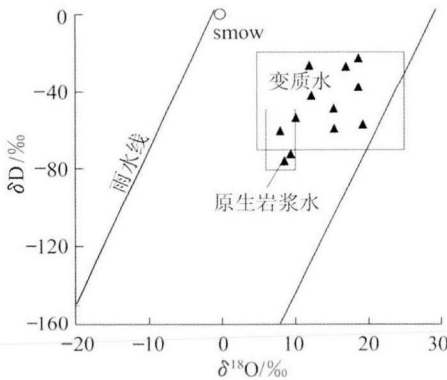


图6 张家坪子金矿床 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图解

Fig. 6 Plot of $\delta^{18}\text{O}$ versus δD values of the Zhangjiaping gold deposit

3.3 成矿物质来源

由表2可知, 12件不同深度的碳稳定同位素样品测试结果表明蚀变交代白云岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-3.44\text{‰} \sim -7.40\text{‰}$, 平均为 -5.25‰ , 极差 3.96‰ , 为典型的无机碳, 相当于金刚石碳, 显示了地幔深源的特征, 表明成矿物质来源于地幔或火成岩^[20]. 另外采集47件围岩及矿石样品进行硫同位素测试(表3), 张家坪子金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布为黄铁矿>黝铜矿>闪锌矿>方铅矿, 与硫同位素达到平衡时 $\delta^{34}\text{S}$ 按照辉钼矿>黄铁矿>闪锌矿(磁黄铁矿)>黄铜矿>方铅矿>辉铜矿顺序递减基本吻合^[22-24]. $\delta^{34}\text{S}$ 值呈塔式分布, 塔峰突出, 其中五角十二面体黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $3.60\text{‰} \sim 7.80\text{‰}$ 、黝铜矿为 $2.43\text{‰} \sim 4.81\text{‰}$ 、闪锌矿为 $1.06\text{‰} \sim 5.32\text{‰}$, 靠近塔峰及0值线, 说明幔源的特征. 而立方体黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-6.00\text{‰} \sim 11.90\text{‰}$ 、方铅矿的为 $-3.71\text{‰} \sim 4.41\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}$ 值不稳定且偏离塔峰及0值线, 表明有外来硫混入. 五角十二面体黄铁矿为本区最重要的载金矿物, 说明地幔为成矿提供物源的特征. 矿体围岩的原岩为超基性-基性火山岩, 更进一步的说明了幔源的特征^②.

4 成因探讨

4.1 成矿时代

茶铺子-盐源-巴折金成矿带中, 锦屏山金矿、金林金矿、木落寨、牦牛坪等喜山期都是重要

表3 张家坪子金矿床硫同位素
Table 3 Sulfur isotopic analyses of the Zhangjiaping gold deposit

样品编号	岩石名称	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	平均值/ ‰
S4-6	石英脉	黄铁矿	6.92	4.53
S4-8	石英脉	黄铁矿	7.37	4.53
S4-10	石英脉	黄铁矿	6.54	4.53
S4-12	石英脉	黄铁矿	6.96	4.53
4	蚀变交代白云岩	黄铁矿	5.96	4.53
8	蚀变交代白云岩	黄铁矿	9.29	4.53
18	铅矿石	黄铁矿	6.71	4.53
S-1	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	4.60	4.53
S-2	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	6.40	4.53
S-3	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	2.00	4.53
S-4	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	-1.10	4.53
S-5	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	7.80	4.53
S-8	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	10.20	4.53
S-10	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	9.50	4.53
S-12	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	4.70	4.53
S-14	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	7.20	4.53
S-15	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	8.50	4.53
S-16	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	8.90	4.53
S-17	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	5.40	4.53
S-18	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	3.60	4.53
S-20	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	5.00	4.53
S-21	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	4.80	5.83
S-25	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	-6.00	5.83
S-26	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	6.50	5.83
S-27	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	4.10	5.83
S01	石英脉	黄铁矿(它)	5.80	5.83
S02	蚀变交代白云岩	黄铁矿(五)	11.90	5.83
S03	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	3.60	5.83
S4-1	石英脉	方铅矿	2.58	1.25
S4-3	石英脉	方铅矿	1.95	1.25
S4-9	石英脉	方铅矿	-0.79	1.25
S4-11	石英脉	方铅矿	-1.90	1.25
5	石英脉	方铅矿	3.29	1.25
16-2	铅矿石	方铅矿	-3.71	1.25
S-6	石英脉	方铅矿	4.20	1.25
S07	白云岩底部绿片岩	方铅矿	4.40	1.25
S4-2	石英脉	闪锌矿	1.06	3.35
S4-4	石英脉	闪锌矿	5.32	3.35
S4-14	铅矿石	闪锌矿	4.91	3.35
16-1	铅矿石	闪锌矿	2.11	3.35
S4-5	石英脉	黝铜矿	4.81	3.99
S4-7	石英脉	黝铜矿	2.43	3.99
11	石英脉	黝铜矿	4.75	3.99
S-28	蚀变交代白云岩	黄铁矿(立)	-19.50	代表性不强
31	花岗斑岩	黄铁矿	21.40	10.7
S-7	花岗斑岩	黄铁矿	0	10.7
20	峨眉山玄武岩	黄铁矿	11.80	

分析数据由中国石油西南油气田分公司勘查开发研究院分析实验中心测定; (五)表示五角十二面体黄铁矿, (立)表示立方体黄铁矿, (它)表示它形晶.

② 四川省核工业地质局二八一大队. 张家坪子金矿矿化富集特征规律[R]. 2013.

的成矿期^[10-12]。研究区金成矿年龄主要为 1.54~38 Ma, 其主成矿年龄约为 25 Ma¹。本矿区及邻区(菜子地、木洛、牦牛坪、羊房子、马颈子)新断裂

构造形成时间为 16~52 Ma, 稀土矿成矿年龄为 16.0~40.3 Ma(表 4), 也证实本区在喜山期有多次强烈的成矿过程。

表 4 研究区及邻区同位素测年

Table 4 Isotope chronology data of the study area

地区	岩体或岩性	测试矿物	年龄/Ma	测试方法	来源
茶铺子	花岗斑岩	全岩	70.20	K-Ar	③
里庄	伟晶岩	镁钠铁闪石	31.70	K-Ar	文献[11]
牦牛坪	稀土矿体	黑云母	27.80	K-Ar	文献[11]
木落寨	碳酸岩	辉钼矿	28.50	Re-Os 模式	文献[20]
牦牛坪	英碱正长岩	全岩	31.20	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	文献[12]
牦牛坪	稀土矿体	金云母	35.50	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	文献[12]
大坪金矿	花岗岩	全岩	33.76	K-Ar	文献[2-7]
张家坪子	金矿体	石英	25.00	K-Ar	①

4.2 成矿作用

印支中期以来, 本区所在的盐源-丽江陆缘拗陷带 NW 侧的木里推覆体向东推覆, 在拗陷带北段产生 NNE 向逆冲深断裂, 中、基性火山岩(主要为大陆碱性玄武岩类)沿断裂喷发, 形成近 SN 向的带状玄武岩^[25]。

印支晚期-燕山早期由于木里推覆体继续向南推覆^[4, 19], 在碱性玄武岩中产生 NNE 向剪切断裂, 即金河-程海深断裂西侧宽约 2 km 的张家坪子剪切片理化带, 该剪切片理化蚀变带由金河-程海断裂多期次构造活动与深部成矿热液侵入蚀变交代而形成, 经历了成矿前后由韧性变形、脆-韧性变形、脆性变形的演化过程, 是张家坪子金矿唯一的成矿-容矿构造, 严格控制着金矿床的形成和矿体的产出。脆-韧性变形阶段时期, 剪切带由“紧闭”雏形向“开放”扩容空间演化, 岩石也由塑变构造岩向脆变构造岩转化, 形成一系列断层、裂隙、破碎带的次级构造, 伴随着温度的骤降, 含金配合物发生分解、沉淀, 形成金的工业矿体^[26]。晚期的脆性变形, 形成张性裂隙, 温度和压力更低, 残余热液中石英和碳酸盐结晶沉淀, 只形成不规则状石英-碳酸盐细脉, 无金矿化。可见矿化富集受脆-韧性变形阶段制约, 与韧性剪切带的形成、发展密切相关。同时伴随多期次的变质作用, 使碱性玄武岩变质为绿片岩, 变质热液使岩石发生蚀变, 沿断裂或剪切带活动, 与岩石发生交代作用, 使铁白云石形成蚀变交代白云岩, 完成了金的

初次富集^[27]。

燕山晚期由于板块作用, 地壳抬升, 地层褶皱破裂, 伴随着岩浆侵入^[7-8], 富 Au 的多金属地幔流体上侵, 在构造有利部位, 由于物理、化学场的改变, 地幔流体中的易挥发成分(富 Au、S、C 等)的酸性物脱逸(脱酸), 地幔流体中的 Na 与岩石交代形成钠长石片岩(镜下见强烈的钠长石交代、斜长石等), 紧接着是钾交代, 形成绢云母片岩, 由于钠、钾交代使 T₂³ 地层中的 Au 随酸性流体带出, 致使在绢云母片岩和钠长石片岩中的 Au 含量偏低(9.0×10⁻⁹)。随着 K、Na 的耗尽, 酸交代得以顺利进行, 形成蚀变交代白云岩(S、C 同位素均指示为幔源物质), 使 Au 进一步富集。

喜山期在印度大陆与欧亚大陆的碰撞造山的强烈应力作用下, 区内岩浆活动加剧^[7-8], 发生了三次岩浆侵入作用, 形成了三期侵入岩, 其同位素测年为 35~65、30~40、10~15 Ma^[25]。同时也带来了大量的富含 SiO₂、Au 及多金属硫化物的地幔流体, 以区内张家坪子韧性剪切带与次级断裂、破碎带为通道和富集场所, 进而形成浸染状含黄铁矿碳酸盐型(蚀变岩型)金矿, 为矿区的主要矿石类型。之后, 再次构造破碎及糜棱岩化, 含金石英脉侵入形成含多金属硫化物石英脉型(石英-钠长石-碳酸盐脉型)金矿(富矿体), 最终形成金矿床。研究区金矿成矿年龄为 1.54~38 Ma¹, 与三次岩浆活动年龄相比基本一致, 说明区内金矿化在喜山期同样经历了多次富集, 其主成矿年龄约 25 Ma。

① 四川省地矿局物探队, 1:50 000 里庄福地质调查报告[R], 2000。

③ 攀西地质大队, 茶铺子金矿成矿控制因素和金的富集规律专题报告[R], 1986。

5 结论

研究区矿体主要赋存于张家坪子韧性剪切带的蚀变交代白云岩中,矿石矿物主要有黄铁矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等,矿石多为网脉状构造和块状构造,属于低硫化物型矿石,主要载金矿物为黄铁矿。围岩蚀变主要有绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化、硅化和绢云母化;褐铁矿化是表生作用的产物,可作为找矿的标志。张家坪子韧性剪切带是该金矿床唯一的成矿-容矿构造,严格控制着金矿床的形成和矿体的产出。

根据C、O、H、S稳定同位素及流体包裹体的研究,成矿热液以变质水为主,夹杂少量岩浆水的混合源。金成矿物质主要来源于地幔。金矿床成矿温度峰值集中于200~280℃,成矿深度峰值集中于1.5~2.4 km,矿床类型应属于浅成低温热液型金矿床。

金成矿作用主要发生于1.54~38 Ma的喜山期,其主成矿年龄约为25 Ma。

参考文献

- [1] 罗光兴,谭显强. 张家坪子金矿成矿物质来源及找矿方向探讨[J]. 四川地质学报, 2013, 33(3): 63-69.
- [2] 兰青. 张家坪子金矿床地质特征初探[J]. 陕西地质, 2013, 31(2): 53-58.
- [3] 徐志刚,陈毓川,王登红,等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社, 2008.
- [4] 李文昌,潘桂堂. 西南三江多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术[M]. 北京:地质出版社, 2010.
- [5] 曾道龙. 四川金矿床类型及区域分布规律[J]. 四川地质学报, 1999, 10(3): 173-185.
- [6] 张志斌,程万华,康亚龙,等. 四川锦屏山地区金矿床的成矿机理和成因探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(3): 94-100.
- [7] 许志琴,杨经绥,李化启,等. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1697-1708.
- [8] 许志琴,侯立玮,王宗秀. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程[M]. 北京:地质出版社, 1992.
- [9] 祖辅平. 中国东南部晚古生代以来典型盆地沉积构造环境演化特征[D]. 南京:南京大学地球科学与工程学院, 2012.
- [10] 田世洪,丁梯平,毛景文. 四川牦牛坪稀土矿床地幔流体成矿的碳、氢、氧、硫同位素证据[J]. 地球学报, 2003, 24(6): 543-547.
- [11] 阳正熙, Anthony E W, 蒲广平. 四川冕宁牦牛坪稀土矿床地质特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(2): 28-34.
- [12] 田世洪,侯增谦,袁忠信,等. 四川木落寨稀土矿床成岩成矿的⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学研究[J]. 岩石学报, 2006, 24(6): 543-547.
- [13] 张勇,王翠仙,罗学辉,等. 内蒙古巴彦温多尔金矿床韧性剪切带特征及成矿机制[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(4): 20-25.
- [14] 刘斌,段光贤. NaCl-H₂O溶液包裹体的密度式和等容式极其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
- [15] Potter R W, Clynne M A, Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions[J]. Economic Geology, 1978, 73(2): 284-285.
- [16] Haas J L. Physical properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the H₂O Component in Boiling NaCl Solution[J]. US Geol Survey Bull, 1976, 1421A: 1-73.
- [17] 韦延光,王建国,邓军,等. 山东谢家沟金矿流体包裹体研究及其地质意义[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 224-230.
- [18] 王登红,王成辉,陈毓川,等. 贵州低温热液型汞、锑、金矿床成矿谱系:以晴隆大厂、兴仁紫木垭和铜仁乱岩塘为例[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 330-336.
- [19] 江思宏,聂凤军,张义,等. 浅成低温热液型金矿床研究最新进展[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 401-409.
- [20] 侯增谦,田世洪,谢玉玲,等. 川西冕宁-德昌喜马拉雅期稀土元素成矿带:矿床地质特征与区域成矿模型[J]. 矿床地质, 2008, 27(2): 145-173.
- [21] Rollison H R. 岩石地球化学[M]. 杨学明,杨晓勇,陈双喜,等译. 安徽:中国科学技术大学出版社, 2000.
- [22] Hoefs A. Stable isotope geochemistry[M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 1997.
- [23] Kajiwara Y, Krouse H R. Sulfur isotope partitioning in meta-Ilie sulfide system[J]. Canadian J Earth I Sci, 1971, 8: 1397-1408.
- [24] 杨立强,邓军,赵凯,等. 滇西大坪金矿床地质特征及成因初探[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3800-3809.
- [25] 赖绍民. 扬子地台西南缘铜金铅锌银成矿预测研究[C]//骆耀南. 扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集. 成都:四川科学技术出版社, 1996.
- [26] 辛存林,孙柏年,王碧喜. 甘肃省两当县金厂沟微细浸染型金矿地质特征及成因探讨[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2003, 39(4): 98-103.
- [27] 辛存林,孙现辉,陈世伟,等. 新疆西准噶尔扎合金矿床地质特征及成因[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2012, 48(2): 48-51.

(责任编辑:王春燕)