

湘西雪峰弧形构造带大坪金矿地质特征、 成矿流体性质与成矿机理研究

赵央连*, 王 剑#, 肖 想

湖南省生态地质调查监测所, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年12月19日; 录用日期: 2026年1月26日; 发布日期: 2026年2月4日

摘 要

大坪金矿位于江南造山带西缘的雪峰弧形构造带南西段, 是典型的韧脆性剪切带蚀变岩型中型金矿床。本文在系统整理矿区地质、地球化学和年代学资料的基础上, 重点剖析了矿床的地质特征、矿体展布规律、矿石类型及围岩蚀变组合。通过同位素地球化学(H-O-S)和流体包裹体系统分析, 限定了成矿流体的来源、性质及演化过程。研究表明, 矿床受区域性F₈韧脆性剪切带及其配套NW向断裂的复合控制, 赋矿地层为新元古界青白口系浅变质碎屑岩。成矿流体属中低温(165℃~299℃)、中低盐度(0.7%~24.3% NaCleqv)、中低压的H₂O-NaCl体系, 成矿物质主要源于深部岩浆, 并有地层物质的贡献。文章建立了“深部岩浆驱动、构造控矿、热液充填-交代”的成矿模式, 指出NE向与NW向构造交汇部位及已知矿体深部是重要的找矿方向。

关键词

大坪金矿, 流体包裹体, 同位素地球化学, 成矿时代, 雪峰弧形构造带

Research on the Geological Characteristics, Ore-Forming Fluid Properties, and Metallogenic Mechanism of the Daping Gold Deposit in the Xuefeng Arcuate Structural Belt, Western Hunan

Yanglian Zhao*, Jian Wang#, Xiang Xiao

Ecology Geological Survey and Monitoring Institute of Hunan Province, Changsha Hunan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 赵央连, 王剑, 肖想. 湘西雪峰弧形构造带大坪金矿地质特征、成矿流体性质与成矿机理研究[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(2): 107-115. DOI: 10.12677/ag.2026.162011

Abstract

The Daping gold deposit is located in the southwestern segment of the Xuefeng arc-shaped structural belt on the western margin of the Jiangnan Orogenic Belt. It is a typical medium-sized gold deposit of the type of altered rocks in ductile-brittle shear zones. Based on the systematic collection and analysis of geological, geochemical and chronological data of the mining area, this paper focuses on the geological characteristics, orebody distribution patterns, ore types and alteration assemblages of the deposit. Through the systematic analysis of fluid inclusions and isotopic geochemistry (H-O-S), the source, nature and evolution process of the ore-forming fluids were determined. The study indicates that the deposit is controlled by the regional F8 ductile-brittle shear zone and its associated NW-trending faults. The ore-bearing strata are the shallowly metamorphosed clastic rocks of the Neoproterozoic Qingbaikou System. The ore-forming fluids are of medium-low temperature (165°C~299°C), medium-low salinity (0.7%~24.3% NaCleqv), and medium-low pressure, belonging to the H₂O-NaCl system. The ore-forming materials mainly originated from deep magmas, with contributions from strata. A “deep magmatic driving, structural control, hydrothermal filling-replacement” ore-forming model was established, and it was pointed out that the intersection of NE-trending and NW-trending structures and the deep part of known orebodies are important exploration directions.

Keywords

Daping Gold Deposit, Fluid Inclusions, Isotopic Geochemistry, Ore-Forming Age, Xuefeng Arc-Shaped Structural Belt

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

雪峰弧形构造带作为华南重要的金-锑多金属成矿带，其南西段已发现金、锑矿床(点)118处，产出有铲子坪、漠滨等大型金矿，显示出巨大的资源潜力[1]。该区金矿成因类型多样，主要包括蚀变岩型、石英脉型及热液填充型，其形成与区域构造演化、岩浆活动及地层岩性密切相关[2]-[4]。

大坪金矿是该成矿带内典型的中型韧性剪切带蚀变岩型金矿床，累计探明金资源量约10 t [5]。前人对该矿床已开展了初步的地质特征描述和局部研究，然而，对其成矿流体性质、物质来源及精细成矿过程的认识仍不充分，制约了深部及外围找矿工作的部署。本文在综合野外地质调查与室内测试分析的基础上，系统总结了大坪金矿的地质、地球化学特征，深入探讨了其成矿控制因素与成矿机制，旨在深化对雪峰地区金矿成矿规律的理解，并为区域找矿勘查提供科学依据。

2. 区域地质背景

大坪金矿大地构造位置处于扬子板块与南华板块的拼合带，江南造山带西缘的雪峰弧形构造带南西段。该区经历了多期次构造-岩浆事件，地质构造复杂。

区域出露地层主要为新元古界青白口系高涧群和南华系长安组。高涧群为一套巨厚的浅变质陆源碎

屑岩夹火山碎屑岩建造，长安组则为含火山碎屑的冰碛岩-重力流沉积组合。这两套地层普遍具有较高的金背景值($2.5\sim3.7\times10^{-9}$)，被认为是重要的矿源层[6]。区域构造格架以 NE-NNE 向的雪峰山主韧性剪切带为主体，其旁侧发育一系列与之配套的 NW 向断裂，共同构成“网结状”构造系统，严格控制着金矿化的空间分布[7] [8]。区内岩浆活动频繁，印支期花岗岩体(如黄茅园岩体、中华山岩体)广泛出露，其深部可能相连形成大型岩基，为成矿提供了重要的热动力来源和部分流体[9] [10]。

3. 矿床地质特征

3.1. 矿区地层与构造

矿区内出露地层主要为青白口系高涧群砖墙湾组(Qbz)、架枳田组(Qbj)、岩门寨组(Qbym)及南华系长安组第一段(Nhc¹)(见 图 1)。其中，架枳田组和岩门寨组的凝灰质含量较高，岩石破碎且硅化、黄铁矿化蚀变强烈，是主要的赋矿层位。

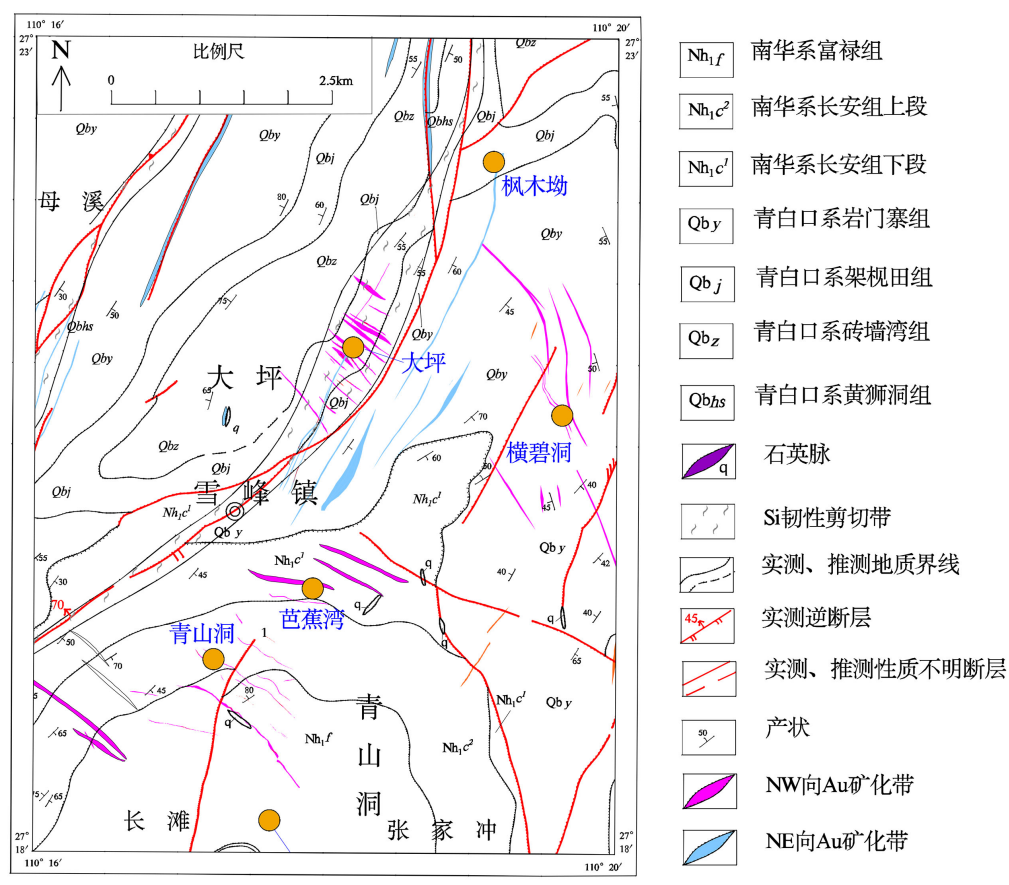


Figure 1. Geological sketch map of the Daping gold deposit (based on the revised mining area data)
图 1. 大坪金矿区地质简图(据矿区资料修编)

矿区构造以 F₈ 区域性韧性剪切带为核心。该剪切带纵贯矿区，总体走向 NE-NNE，呈“S”型展布，倾向 SE，倾角多大于 70°。带内发育强烈的片理化、糜棱岩化，并普遍伴随硅化、绢云母化及黄铁矿-毒砂矿化，是矿区最主要的导矿和容矿构造。在 F₈ 带变宽或弧形凸出部位(如两溪口一带)，发育一系列 NW 向张扭性断裂或破碎带，与 F₈ 带大角度相交，形成网格状断裂系统，为含矿热液的充填和交代提供了优越空间[7] [8] [11]。

3.2. 矿体特征

矿区共圈定矿化蚀变带 23 条，按其产状可分为 NW 向和 NE 向两组(见表 1)。NW 向矿化蚀变带(如 I₆、I₇、I₁₂、I₁₉)与主剪切带大角度相交，表现为破碎蚀变岩型，蚀变矿化强烈，常见交代石英岩，黄铁矿、毒砂含量高，金品位普遍较高($1.21\sim59.20\times10^{-6}$)，但规模相对较小(长 200~1000 m)。NE 向矿化蚀变带(如 I₁₇、I₂₀、I₂₁)与主剪切带大致平行，以片理化蚀变岩型为主，蚀变相对较弱，硫化物含量较低，金品位亦较低($1.03\sim9.83\times10^{-6}$)，但规模较大，延长多大于 1000 m，最长达 2100 m。

矿体严格受矿化蚀变带控制，多呈陡倾的透镜状或薄饼状，产状与蚀变带一致。矿体在走向和倾向上均呈舒缓波状延伸，且在 NE 向与 NW 向蚀变带交汇部位往往加厚变富。

Table 1. Characteristics of major ore veins (bodies) in the Daping gold deposit
表 1. 大坪金矿主要矿脉(体)特征简表

矿脉/矿体编号	产状(走向)	长度(m)	平均厚度(m)	平均品位($\times10^{-6}$)	矿化类型
I ₆ -①	NW	210	1.53	8.23	破碎蚀变岩型
I ₇ -①	NW	170	1.36	25.8	破碎蚀变岩型
I ₁₂ -①	NW	470	3.82	2.53	破碎蚀变岩型
I ₂₀	NE	2100	0.8~3.7	1.12~58.75	片理蚀变岩型
I ₂₁ -①	NE	300	4.17	3.4	片理蚀变岩型

3.3. 矿石类型与矿物组成

根据矿物共生组合及结构构造，矿石可分为三种自然类型：

- 1) 石英 - 自然金型：较少见，主要分布于 NW 向矿脉中心，为块状石英脉，自然金呈浸染状分布于石英裂隙中。
- 2) 石英 - 硫化物 - 自然金型：是 NW 向矿体的主要矿石类型，也是富矿石的主要来源。由交代石英岩和黄铁石英岩构成，硫化物(以黄铁矿、毒砂为主)含量 1%~3%，呈星散浸染状或团块状。
- 3) 石英 - 绢云母 - 硫化物型：是 NE 向矿体的主体矿石类型。由黄铁绢英岩和片理化绢云母化板岩构成，石英含量 60%~70%，绢云母 25%~30%，硫化物 1%~5%，多呈细脉浸染状产出。

金属矿物以黄铁矿和毒砂为主，次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、车轮矿等。脉石矿物主要为石英、绢云母，含少量碳酸盐矿物。自然金主要呈裂隙金和晶隙金形式赋存于黄铁矿、毒砂及石英中，粒度以微细粒为主(0.010~0.025 mm)。

3.4. 围岩蚀变与成矿阶段

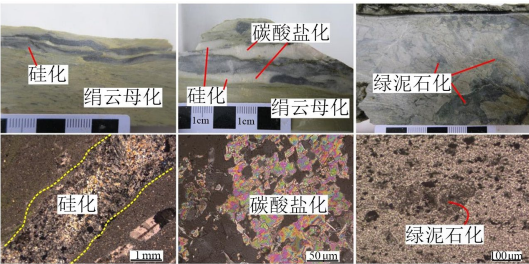


Figure 2. Main alteration types of Daping gold deposit
图 2. 大坪金矿主要蚀变类型

围岩蚀变强烈且具分带性，主要类型有硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化及碳酸盐化

(见图 2)。其中,硅化、黄铁矿化和毒砂化与金矿化强度呈正相关。在 NW 向蚀变带中,从中心向两侧可形成交代石英岩→绢英岩化岩石→绢云母化岩石→未蚀变围岩的完整蚀变分带。

成矿作用可分为两期四阶段:成矿期包括石英-黄铁矿-毒砂阶段(主要金沉淀期)、石英-多金属硫化物阶段(金富集期)和石英-碳酸盐阶段(无矿);表生期则以硫化物氧化形成褐铁矿为特征。

4. 矿床地球化学特征

4.1. 岩石地球化学

矿石与围岩的主量元素对比显示(见表 2),随着矿化增强,矿石中 SiO₂、S、As 含量显著升高,而 Al₂O₃、TiO₂、Na₂O、K₂O 等组分被带出,反映强烈的热液硅化和硫化作用。

Table 2. Comparison of major element average contents between ores and wall rocks in the Daping gold deposit (wt%)
表 2. 大坪金矿矿石与围岩主量元素平均含量对比(wt%)

样品类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	S	As (‰)
强矿化矿石	67.41	11.77	5.98	3.25	6.16
弱矿化矿石	64.18	15.31	4.77	1.4	0.68
围岩	61.95	15.81	5.72	0.35	0.03

微量元素分析表明,矿石中 Au、As、Pb、Sb 等成矿元素高度富集,而大离子亲石元素(如 Rb、Ba、Th、U)明显亏损。Ni、Co、Mo 等元素在矿体中含量低于地壳克拉克值,且其异常多出现在矿体下部或尾部,指示矿床剥蚀程度较浅,深部找矿潜力较大。

4.2. 稀土元素地球化学

矿石的稀土元素配分曲线呈右倾型,轻稀土富集,具明显的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.63\sim0.75$)(见图 3)。Sm/Nd 比值范围为 0.19~0.75,平均 0.43,大于 0.3,显示成矿流体具有深源(幔源)特征。其配分模式与区内的印支期花岗岩(如中华山岩体)相似,暗示成矿作用与深部岩浆活动存在密切的成因联系。

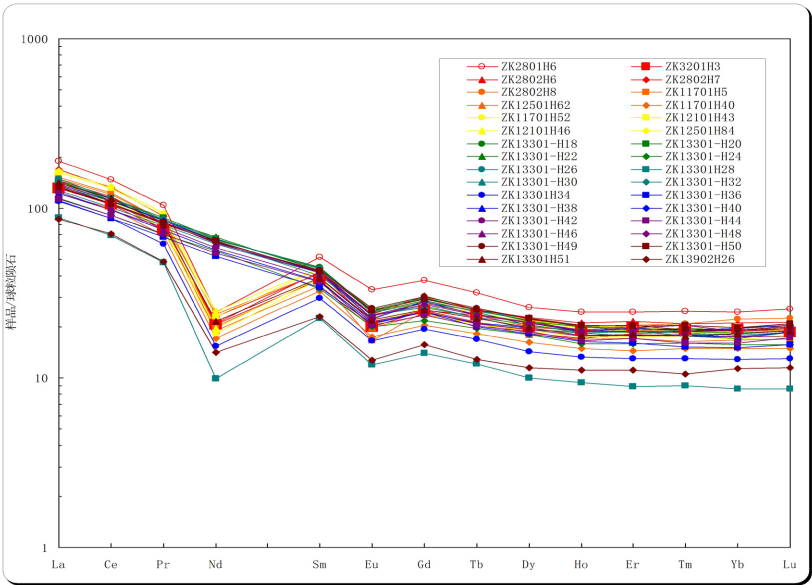


Figure 3. Chondrite-normalized REE patterns of ores and wall rocks from the Daping gold deposit
图 3. 大坪金矿矿石及围岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图

4.3. 稳定同位素地球化学

1) 氢氧同位素：石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 水值变化于 $-1.44\text{‰} \sim +5.42\text{‰}$ ， δD 值介于 $-62\text{‰} \sim -51\text{‰}$ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解中(见 图 4)，数据点落在岩浆水区域与大气降水线之间，表明成矿流体主要为岩浆水，在演化后期有大气降水的混入。

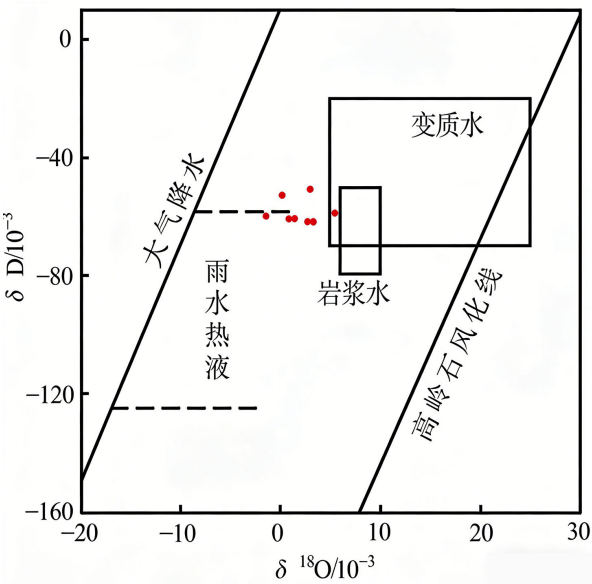


Figure 4. δD vs. $\delta^{18}\text{O}$ diagram of ore-forming fluids in the Daping gold deposit
图 4. 大坪金矿成矿流体 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 投点图

2) 硫同位素：本次研究对大坪金矿的矿石进行了 10 个样品的同位素测试，10 件硫化物样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围很窄，为 $-0.94\text{‰} \sim +1.98\text{‰}$ ，平均 -0.131‰ ，具塔式分布特征(见 图 5)。该值接近于陨石硫，并与区内花岗岩的硫同位素组成范围一致，表明成矿流体中的硫主要源自深部岩浆。

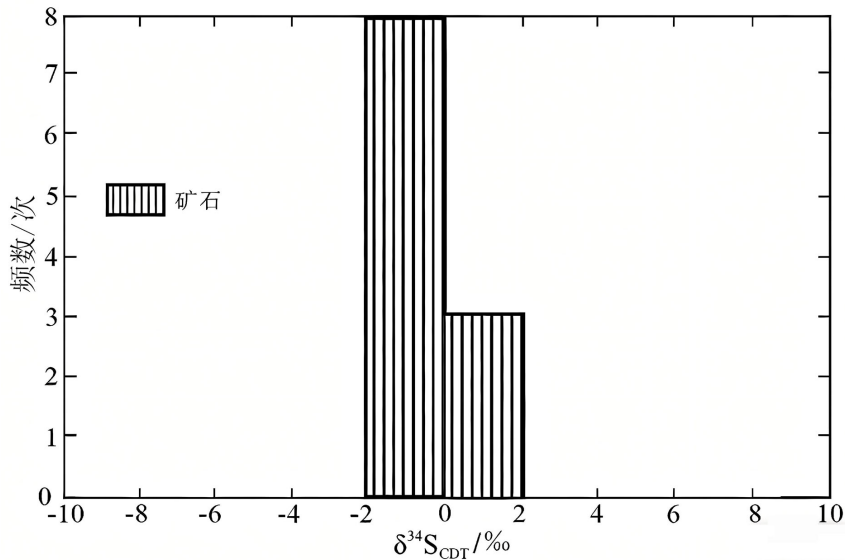


Figure 5. Histogram of sulfur isotope compositions in the Daping gold deposit
图 5. 大坪金矿硫同位素组成直方图

4.4. 流体包裹体研究

1) 样品处理及测试方法

本次测试是在成都理工大学地科院流体包裹体实验室完成，采用 NikonECLIPSE50iPOL 偏反光显微镜，显微冷热台为 LINKAMTHMSG600，温度测定软件为 LINKAMScientificLINKSYS32，测温范围为 $-196^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，并利用标准样品对冷热台进行了温度标定。升温或降温速率为 $0.1\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。本次实验选取了 10 件石英发育较好的矿石样品，制作了十个厚度为 $0.1\sim 0.3\text{ mm}$ 、两面抛光的样品薄片。流体包裹体特征样品中包裹体数量很多，形态多样，有椭圆形、近方形、六边形及不规则状等，大小从 $1.2\sim 27.7\text{ }\mu\text{m}$ 不等，呈星散状分布或成群成带分布。

2) 结果分析

通过对矿区内不同成矿阶段石英中的流体包裹体进行显微测温分析，结果如表 3 所示。成矿流体的均一温度主要集中于 $150^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 区间，盐度 $w(\text{NaCleqv})$ 主体为 $3\%\sim 10\%$ ，密度为 $0.80\sim 0.97\text{ g/cm}^3$ ，估算成矿压力为 $3.3\sim 101.8\text{ bar}$ 。这些特征指示大坪金矿形成于中低温、中低盐度、中低压的环境。从早阶段到晚阶段，流体温度、盐度有升高趋势，反映成矿过程中可能有新的高盐度流体注入或发生了流体的沸腾作用。

Table 3. Summary of microthermometric results of fluid inclusions in the Daping gold deposit
表 3. 大坪金矿流体包裹体显微测温结果表

成矿阶段	样品数	均一温度范围($^{\circ}\text{C}$)	盐度范围 $w(\text{NaCleqv}, \%)$	密度范围(g/cm^3)
石英 - 黄铁矿 - 毒砂阶段	4	165~212	5.6~8.9	0.93~0.97
石英 - 多金属硫化物阶段	4	176~240	4.8~15.8	0.82~0.94
石英 - 碳酸盐阶段	2	263~299	6.1~20.4	0.80~0.95

5. 成矿时代与成矿机制

5.1. 成矿时代

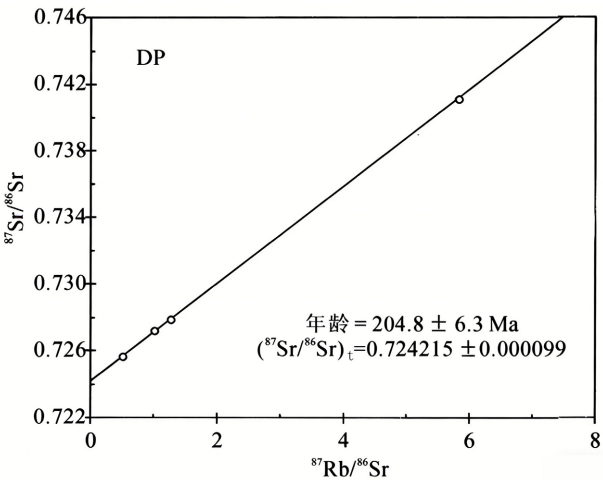


Figure 6. Rb-Sr isochron diagram of quartz inclusions from auriferous quartz veins in the Daping gold deposit (after Li *et al.* [2])

图 6. 大坪金矿床含金石英脉石英包裹体 Rb-Sr 等时线图(据李华芹等[2])

根据李华芹等(2008)对大坪金矿含金石英脉中的石英流体包裹体进行了 Rb-Sr 同位素测年，获得等时

线年龄为 204.8 ± 6.3 Ma (见图 6)。该年龄与邻区铲子坪金矿(205.6 ± 9.4 Ma)的成矿时代在误差范围内一致,均属于印支运动晚期,表明雪峰山地区在该时期发生了一次重要的金成矿事件。

5.2. 成矿机制与模式

综合以上研究,构建大坪金矿的成矿模式如下(见图 7):

1) 矿源准备与流体形成: 新元古代青白口系富含凝灰质的碎屑岩沉积,形成初始矿源层。印支晚期,区域构造-岩浆活动强烈,深部地壳重熔形成的花岗质岩浆上涌,不仅提供了热源,其分异出的岩浆热液与循环的大气降水混合,形成了中温、中低盐度的成矿流体。该流体在迁移过程中萃取地层中的金等成矿元素,形成含矿热液。

2) 构造驱动与流体运移: 在区域构造应力作用下,先存的 F_8 脆脆性剪切带再次活化,成为深部流体向上运移的主要通道(导矿构造)。伴随构造活动产生的次级 NW 向张扭性断裂,为流体提供了良好的扩容空间。

3) 矿质沉淀与富集成矿: 含矿热液运移至浅部的脆脆性转换带时,物理化学条件(温度、压力、pH、 fO_2 等)发生剧烈变化,导致金络合物(如 $Au(HS)^2-$)失稳分解。金与 SiO_2 、硫化物(黄铁矿、毒砂等)一起在 NE 向剪切带的片理间隙和 NW 向断裂的张开空间中沉淀,通过充填和交代围岩的方式,分别形成片理化蚀变岩型和破碎蚀变岩型矿体。两组构造的交汇部位是流体汇聚和矿质叠加富集的有利场所,常形成厚大富矿体。

4) 成矿后变化: 主成矿期后,仍有低温热液活动,形成无矿的石英-碳酸盐脉。矿床抬升至近地表后,经历表生氧化作用,局部形成氧化带。

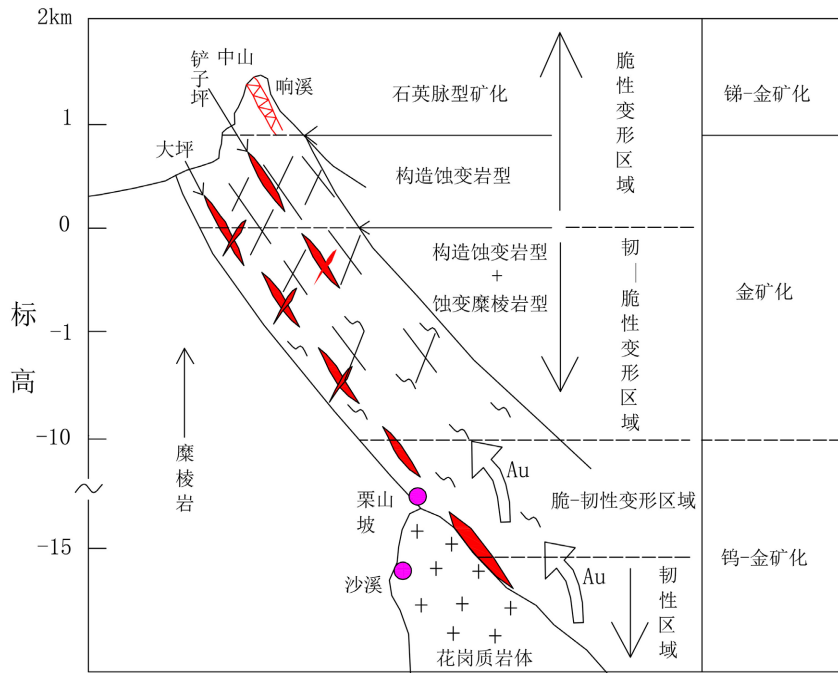


Figure 7. Schematic metallogenic model of the Daping gold deposit
图 7. 大坪金矿成矿模式示意图

6. 结论与找矿意义

1) 大坪金矿是雪峰弧形构造带南西段典型的、受脆脆性剪切带控制的蚀变岩型金矿床。矿体严格受

区域性 F_8 剪切带及其配套的 NW 向断裂复合控制, 赋存于青白口系浅变质碎屑岩中。

2) 成矿流体属于中低温(主成矿期 $165^{\circ}\text{C}\sim 240^{\circ}\text{C}$)、中低盐度(主成矿期 $4.8\%\sim 15.8\%\text{NaCl}_{\text{eqv}}$)、中低压的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系。氢氧同位素指示流体以岩浆水为主, 混有大气降水; 硫同位素表明硫源主要为深部岩浆。成矿物质具有深源与地层来源混合的特征。

3) 根据李华芹等[2] Rb-Sr 同位素定年确定成矿时代为 $204.8 \pm 6.3\text{ Ma}$, 属印支运动晚期, 与区域大规模金成矿事件同步。

4) 下一步主要找矿方向为构造交汇部位、已知矿体深部及侧伏方向和强蚀变与地球化学异常区。重点为 NE 向 F_8 剪切带与 NW 向断裂的交汇处是寻找富厚矿体的首选靶区。现有 NW 向矿体向 SW 深部侧伏, NE 向矿体向 NE 深部侧伏, 沿侧伏方向追索有巨大潜力。

5) 根据蚀变岩型金矿的垂向分带模式, 在现有矿体深部(-500 m 以下)可能存在以蚀变糜棱岩型为主的第二富集带, 是未来深部找矿的突破方向。

参考文献

- [1] 湖南省地质调查院. 中国区域地质志·湖南志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [2] 李华芹, 王登红, 陈富文, 等. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 900-905.
- [3] 赵建光. 洪江市大坪金矿床地质特征及其找矿前景[J]. 湖南地质, 2001, 20(3): 171-176.
- [4] 金妮, 金小燕, 刘湘勤, 等. 雪峰弧形成矿带西南段金矿成矿规律及成矿模式研究[J]. 矿产与地质, 2022, 36(3): 547-556.
- [5] 彭建堂, 胡瑞忠. 雪峰古陆加里东期金的成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 246-247.
- [6] 牛贺才. 湖南益阳-沅陵一带金矿床形成背景及成矿作用地球化学[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 1991.
- [7] 柏道远, 李彬, 曾广乾, 等. 湖南铲子坪-大坪金矿区变形序列及控矿构造[J]. 地质力学学报, 2023, 29(6): 801-823.
- [8] 曹进良, 吕书君, 苏康明, 等. 江南造山带南段雪峰金矿田控矿构造解析及找矿预测[J]. 地质通报, 2025, 44(9): 1585-1606.
- [9] 陈卫锋, 陈培荣, 黄宏业, 等. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(7): 873-893.
- [10] 张义平, 张进, 陈必河, 等. 湖南白马山复式花岗岩基年代学及对区域构造变形时间的约束[J]. 地质学报, 2015, 89(1): 1-17.
- [11] 肖丹, 宋维国, 严志飞, 等. 湖南雪峰弧形构造带金矿地质特征、成矿规律与成矿模式[J]. 地质与勘探, 2025, 61(3): 450-463.