新疆多拉纳萨依金矿床地质特征及其韧性剪切-岩浆耦合成矿作用*

Geological Characteristics and Brittle-Ductile-Magam Coupled Mineralization of Duolanasayi Gold Deposit, Xinjiang

肖惠良[1, 2] 董永观[2] 周济元[2] 王鹤年[1] 季俊峰[1] 赵 宇[2]

（1 南京大学地球科学系，南京大学内生金属矿床成矿机制研究实验室，江苏 南京 210093；
2 南京地质矿产研究所，江苏 南京 10016）

Xiao Huiliang[1, 2], Dong Yongguan[2], Zhou Jiyuan[2], Wang Henian[1], Ji Junfeng[1] and Zhao Yu[2]

（1 Department of Earth Sciences and Stata Key Laboratory of Mineral Deposit Research , Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2 Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

摘 要 新疆多拉纳萨依金矿床是由钠长岩脉-韧性剪切带-后期岩浆热液叠加“三位一体”形成的中—大型金矿床。矿体呈脉状，赋存于近南北向反“S”形和北北西向韧性剪切带中，由矿化钠长岩脉（糜棱岩化钠长石花岗岩、矿化钠长石花岗岩）和矿化千枚岩组成；矿石有黄铁矿-金-蚀变岩、金-钠长石-石英脉和黄铁矿（褐铁矿）-金-石英脉等类型；成矿作用主要有钠长石花岗岩、糜棱岩化钠长岩、黄铁矿-白云母-石英和石英-方解石 4 个阶段；地球化学研究显示来自下地壳或上地幔的钠长石花岗岩、钠长斑岩是主要含金建造。韧性剪切作用贯穿于整个成矿作用过程，韧性剪切-岩浆耦合成矿作用是多拉纳萨依金矿床成矿的关键，不仅控制了矿区岩浆演化及其分布，而且还控制了金矿床的形成。

关键词 韧性剪切-岩浆耦合成矿 金矿床 多拉纳萨依 新疆

多拉纳萨依金矿床位于新疆哈巴河县城西北约 60 km，是阿尔泰地区规模最大的金矿床之一，矿床产于近南北向反“S”型韧性剪切带中，矿体主要由矿化钠长石花岗岩脉、糜棱岩化钠长岩和矿化千枚岩组成，赋矿地层为中泥盆统托克萨雷组浅变质陆源碎屑岩和浅海相碳酸盐岩（芮行健等，1993；顾巧根等；1994）。最新研究表明该矿床受韧性剪切带控制，其成矿与钠长岩脉群有关。本文重点研究该矿床地质特征及韧性剪切-岩浆耦合成矿作用。

1 矿床地质特征

多拉纳萨依金矿床位于西伯利亚板块西南缘，额尔齐斯构造-岩浆成矿带的西南部克兰陆缘火山弧外侧，额尔齐斯挤压带北西段，玛尔卡库里大断裂西侧。

矿区地层为中泥盆统托克萨雷组浅变质陆源碎屑岩和浅海相碳酸盐岩。矿区褶皱、断裂十分发育，主要为近南北向反“S”型强烈同斜紧闭倾竖褶皱和层间韧脆性剪切带。多拉纳萨依-阿克萨依向斜和布托别山背斜是矿区主体褶皱构造，控制了矿区地层各岩性段及与金矿化关系密切的韧性剪切带的分布。层间韧性剪切带是矿区最主要的控矿、导矿构造，控制了钠长石花岗岩脉和金矿脉分布。后期又叠加北北东向断裂。矿区岩浆岩主要有钠长石花岗岩脉、钠长斑岩脉、花岗闪长岩及其中石英闪长岩脉和碱长花岗岩脉。

* 国家重点实验室南京大学内生金属矿床成矿机制研究实验室和南京大学现代分析中心资助项目
第一作者简介 肖惠良男，1963 年生，副研究员，在职博士生，长期从事金矿地质研究工作。

钠长石花岗岩脉、钠长斑岩脉及糜棱岩化钠长岩脉是矿区金的主要赋矿岩石和金矿（化）体。

金矿床由多拉纳萨依—阿克萨依和布托别山 2 个矿带组成。前者呈近 SN 向反“ S ”形，后者呈 NNW 向展布。

多拉纳萨依—阿克萨依矿带的金矿体由蚀变钠长石花岗岩脉和矿化千枚岩组成，矿体呈脉状、透镜状、分枝复合状。赋矿围岩以千枚岩为主，少量为灰岩、大理岩和变质砂岩。已圈定 9 个金矿体和十余个矿化体，其中多拉纳萨依南北两个主矿体分别为： 北矿体平均厚 2.55 m，最厚达 23.34 m，沿走向长 1 km，延深已控制 400 m。Au 平均品位 7.34×10^{-6}；南矿体长约 1100 m，厚 0.24～11.98 m，控深 200 m，平均品位 4.60×10^{-6}。

布托别山金矿带位于多拉纳萨依金矿段西侧约 3 km，由布托别山断裂带控制，已圈定一个金矿体和数个金矿化体，赋矿围岩为一套浅海相变质砂岩。矿体和矿化体由蚀变钠长石花岗岩及其边缘矿化千枚岩组成，矿（化）体总体呈透镜状。圈定的金矿体长约 525 m，平均厚 1.57 m，最厚达 8.9 m，矿体延深大于 150 m。矿石 Au 品位平均 3.36×10^{-6}。

多拉纳萨依金矿床的矿石可分为黄铁矿-金-蚀变岩型、金-钠长石-石英脉型、黄铁矿（褐铁矿）-金-石英脉型 3 类。其中金属矿物主要有黄铁矿，少量自然金、碲金矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿-辉铜矿、白铅矿、辉钼矿、铅丹、氧化锰矿物、辉铋矿、碲铅矿、碲铋矿、针碲金银矿、铋叶碲金矿（？）、碲铅铜金矿（？）等，脉石矿物主要有钠长石、石英、白云母、绢云母、绿泥石、白钨矿、粘土矿物、水云母等。矿石构造有稀疏浸染状构造、片麻状及糜棱状构造、条带状构造，矿石矿物呈自形—半自形及它形晶结构、变斑晶结构、充填筛孔状结构。矿区蚀变发育，与金矿化关系密切的蚀变主要有钠长石化、白云母-绢云母化、黄铁矿化、硅化等。

流体包裹体均一温度集中分布在 220～300℃，均一压力为 210×10^{5}～645×10^{5}Pa；成矿流体为 H_2O-CO_2 体系；流体溶液中含金较高，最高达 5.3×10^{-6}；矿化钠长石花岗岩脉和金矿体中 $\delta^{34}S$ 为-2.5‰～-7.0‰，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 初始比值分别为 0.7043 和 0.7073（李华芹等，1998）。含金石英脉包裹体流体的 $\delta^{18}O_{H2O}$ 为 1.7‰～12.4‰，δD 为-132‰～-52‰，显示成矿热液多来源。

根据多拉纳萨依金矿床矿区的矿化钠长石花岗岩中白云母 K-Ar 年龄为（282.2±8.8）Ma，矿体石英流体包裹体 Rb-Sr 等时年龄为（269.0±13）Ma，钻孔中含矿钠长石花岗岩脉的 Rb-Sr 等时年龄为（352.5±40）Ma（李华芹等，1998），表明矿床系多期次成矿作用形成。

2 韧性剪切-岩浆耦合成矿作用

2.1 韧性剪切带

矿区主要经历了两期剪切作用。早期以层间韧性剪切带为主，是多拉纳萨依金矿区的控岩（脉）、控矿断裂；晚期是呈北北东向脆-韧性剪切破碎带，包括滑劈理带、剪切断裂带等，对矿区先期形成的地质体有明显改造作用。

早期层间韧性剪切带是在区域右旋剪切力作用下，矿区局部应力场为南北拉张，东西挤压（周济元，1989），从而在在灰岩与碎屑岩的界面及其附近发生韧性剪切。剪切带早先具平移张扭特征，晚期则为逆冲断层，以萨热乌增花岗岩体南侧的喀贝克邦-多拉纳萨依-配种站三角地带最为发育，是主要的导矿、容矿构造，控制了钠长石花岗岩脉和金矿脉。

矿区主要有 3 条层间韧性剪切带。第一层间剪切带（F_1）在托克萨雷组砂岩和泥岩（已蚀变为千枚岩）界面附近，该韧性剪切带分为布托别山（F_1^1）、多拉纳萨依-阿克萨依西（F_1^2）和赛窝店盖勒（F_1^3）3 个次级层间剪切带；第二层间韧性剪切带（F_2）在托克萨雷组灰岩和千枚岩界面附近，该带呈反“ S ”状，分为两支。其中 F_2^2 层间韧性剪切带中，东面的一条岩石变形较强，岩脉和矿脉数量也多，多拉纳萨依主矿体即位此带；第三层间韧性剪切带（F_3）在多拉纳萨依—阿克萨依向斜内侧托克萨雷组灰岩和泥岩接触界面附近，也分东西两支。

叠加在早期断裂带的晚期 NNE 脆-韧性剪切带，切割或利用了早期反“ S ”形构造。劈理带产状稳定，不受“ S ”形构造影响，倾向多向西，倾角多在 70 ° 以上。由于板块碰撞，区域构造主应力方向发生偏斜，呈左旋剪切作用，矿区局部应力场转为南北挤压、东西拉张，多拉纳萨依-阿克萨依向斜转折端及其以北呈逆平移，多拉纳萨依则为逆冲运动。

2.2　岩浆岩及其演化特征

钠长石花岗岩脉、钠长斑岩脉属 I 型花岗岩（邱家骧，1991），岩石化学：SiO_2 63.58%～69.96%，并具高 Al_2O_3，富 Na_2O，贫 K_2O 的特征。Rb-Sr 等时年龄为（352.5±40）Ma，Pb-Pb 年龄为（371±22）Ma，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 初始比值 I_{Sr} 为 0.7044±0.0001（李华芹等，1998），表明其岩浆来自上地幔；微量元素分布形式及 Nb-Y、Rb-（Y+Nb）显示为火山弧或同碰撞花岗岩（Pearce J A,et al.,1984)。岩脉呈雁行斜列，充填在剪切带中，与地层同步褶皱。其数量多，金矿化普遍，常被挤压剪切形成糜棱岩化钠长岩脉，钠长岩脉和部分矿化钠长石花岗岩脉则构成金矿体。

花岗闪长岩属 I 型花岗岩（邱家骧等，1991），呈岩株状与中泥盆统托克萨雷组呈侵入接触，面积约 150 km^2。Rb-Sr 等时年龄为(297±11) Ma，锆石 U-Pb 和谐曲线下交点年龄为(289±5) Ma（李华芹等，1998）。其围岩受热变质形成角岩。岩石具高 SiO_2（64.18%～72.62%）、高 Al_2O_3、富 Na_2O、贫 K_2O 特征， I_{Sr} 为 0.7069～0.7078，表明岩浆来自壳幔过渡部位。微量元素分布形式及 Nb-Y、Rb-(Y+Nb)显示为岛弧或板内花岗岩（Pearce J A et al.，1984）。石英闪长玢岩脉与花岗闪长岩特征相似，系主岩同源分异产物。

碱长花岗岩脉属 A 型花岗岩，主要分布于花岗闪长岩体中，走向 40～45 ° ，为造山后拉张环境形成（邱家骧，1991）。岩脉规模不大，长 *n*～30 m，宽 0.5～2 m，岩石呈浅肉红色，等粒状，有细粒和粗粒两种，主要由石英、微斜条纹长石、钠长石组成，几乎无暗色矿物。岩石化学显示碱长花岗岩脉 SiO_2 含量高，为 75.92%～77.10%；Al_2O_3 含量为 12.73%～13.40%；富 Na_2O、高 K_2O、低 MgO、CaO、Fe_2O_3、FeO。

2.3　构造-岩浆-成矿耦合作用及其演化

早\中泥盆世，矿区堆积了托克萨雷组陆源碎屑浊积岩和浅海相碳酸盐岩沉积建造。中泥盆世末，受西伯利亚板块向南西挤压，泥盆纪沉积盆地褶皱造山（肖序常等，1990；何国琦等，1990）。受此影响，矿区遭受左旋剪切，形成东西向挤压、南北向拉张构造应力场，从而形成一系列南北向紧闭、同斜褶皱，并在浅部产生脆-韧性断裂，深部则强烈韧性剪切，俯冲洋壳重熔的长英质物质——含金较高的钠长石花岗岩沿韧性剪切带上升，并充填其中（图 1A）。

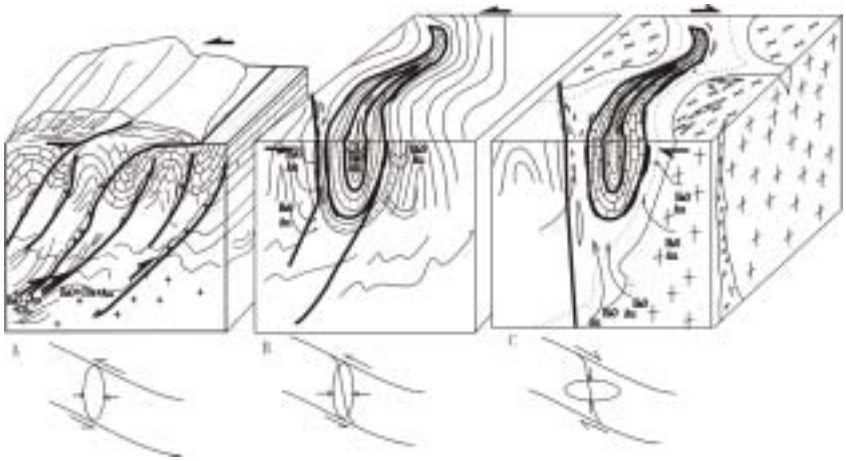


图 1　新疆多拉纳萨依金矿床韧性剪切-岩浆-成矿耦合演化模式图

随着区域构造应力作用的加强，矿区地层发生褶皱，在碳酸盐岩与泥质粉砂岩之间发生韧性剪切，钠长石花岗岩挤压蚀变形成糜棱岩化钠长岩，析出矿液，钠长石花岗岩中的金活化迁移，进一步富集，形成金矿脉（体）（图 1B）。

石炭纪末，哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块拼合，区域构造作用力方向发生小的偏斜，矿区遭受右旋剪切作用，应力场转为南北向挤压、东西向拉张，形成一系列 SN 向张裂隙，大量来自下地壳或上地幔熔融分异物质——花岗岩类及石英闪长玢岩脉侵入，带来大量岩浆热液，导致岩体围岩发生大规模角岩化和金叠加富集。成矿作用晚期，矿区局部拉张，深部岩浆上升形成 NE 向碱长花岗岩脉，也带来岩浆热液，金再次叠加富集（图 1C）。

3 结 论

（1）新疆多拉纳萨依金矿床是由钠长岩脉-韧性剪切带-后期岩浆热液叠加“三位一体”形成的中—大型金矿床。矿体呈脉状，赋存于近南北向反“S”形和北北西向韧性剪切带中，由矿化钠长岩脉（糜棱岩化钠长石花岗岩、矿化钠长石花岗岩）和矿化千枚岩组成，矿石有黄铁矿-金-蚀变岩、金-钠长石-石英脉和黄铁矿（褐铁矿）-金-石英脉等类型；成矿作用主要有钠长石花岗岩、糜棱岩化钠长岩、黄铁矿-白云母-石英和石英-方解石 4 个阶段。

（2）韧性剪切-岩浆耦合成矿作用是多拉纳萨依金矿床成矿的关键。地质地球化学研究显示来自下地壳或上地幔的钠长石花岗岩、钠长斑岩是主要含金建造。韧性剪切作用贯穿于整个成矿作用过程，韧性剪切-岩浆耦合成矿作用不仅控制了矿区岩浆演化及其分布，而且还控制了金矿床的形成。

参 考 文 献

陈毓川, 叶同庆, 等. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社.

顾巧根, 欧沛宁. 1994. 多拉纳萨依金矿床的地质、地球化学特征及成因探讨[A]. 芮行键, 主编. 新疆阿尔泰金矿床论文集[C]. 北京: 地质出版社. 6～53.

何国琦, 等. 1990 中国阿尔泰造山带构造分区和地壳演化[J]. 新疆地质科学, (2).

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. 26～35.

邱家骧, 林景阡, 主编. 1991. 岩石化学[M]. 北京: 地质出版社.

芮行键, 等. 1993. 新疆阿尔泰岩金矿床[M]. 北京: 地质出版社. 114～123.

肖序常, 等. 1990. 试论新疆北部大地构造演化[J]. 新疆地质科学, (1).

周济元. 1989. 地质力学引论[M]. 成都: 成都科技出版社.

Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 25: 956～983.