

# 东昆仑五龙沟金矿田地质特征与成矿地质体厘定

陈柏林

中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

**内容提要:**五龙沟金矿田位于东昆仑造山带中段, 矿田内金矿床主要沿岩金沟、萤石沟-红旗沟、三道梁-苦水泉三条 NWW 向构造破碎带发育。本文通过金矿床地质特征的综合分析, 认为金矿床类型属于中—低温热液型, 矿化类型为构造破碎带蚀变岩型, 金成矿作用的温度为 195~319℃, 成矿物质具有壳源为主, 部分幔源混合特征, 成矿流体为岩浆水和大气降水的混合, 矿物组合以微细黄铁矿、微细针状毒砂和不可见金为特征。同时通过地质体与矿床的空间关系、地质体与矿床物质成分的相关性、地质体形成时代与矿床形成时代及其时间差的对比研究, 确认红旗沟脑片麻状花岗闪长岩体是五龙沟金矿田成矿地质体, 也是金元素重要提供者。岩体含有大量被拉长的闪长岩包体, 矿物发生明显的韧性变形, 具有壳源为主的壳幔同熔作用形成、在定向应力作用下同构造侵位的特点, 成岩年龄 239~244Ma。壳幔同熔作用过程中幔源物质的加入带来了更多的金元素, 定向应力作用下同构造侵位使金元素更容易活化迁移, 进入成矿作用过程。金矿床主成矿期为印支早期, 成矿年龄 237Ma 左右; 后期被 210Ma 含浸染状黄铁矿的中酸性杂岩体侵入吞噬破坏。金矿床受成矿地质体和 NWW 向构造破碎带联合控制, 矿化主要发育于距成矿地质体 1.0~3.0km 范围内的 NWW 向构造破碎带中; 如果在成矿地质体影响范围内, 没有 NWW 向构造破碎带, 金矿体就没有赋存空间; 而虽有 NWW 向构造破碎带, 但离开成矿地质体的影响范围, 金矿化则迅速减弱。进一步找矿方向是红旗沟脑片麻状花岗闪长岩成矿地质体影响范围之内有 NWW 向偏脆性构造破碎带发育的部位, 或者是有隐伏成矿地质体的附近。

**关键词:**中—低温热液矿床; 成矿地质体; 成岩成矿时代; 金矿找矿方向; 五龙沟金矿田

五龙沟金矿田是东昆仑地区最重要的金矿集中区之一, 自 20 世纪 90 年代初异常查证发现了五龙沟金矿(即目前的岩金沟金矿床)以来, 经过 20 多年勘查已成为大型金矿床, 也是东昆仑地区重要黄金产地之一。对五龙沟金矿及邻区, 在区域成矿构造环境(Hu Zhengguo et al., 1998; Qian Zhuangzhi et al., 1998; Zhang Dequan et al., 2001; Yuan Wanming et al., 2003; Feng Chengyou et al., 2004; Mo Xuanxue et al., 2007)、花岗岩时代(Yuan Wanming et al., 2000a; Lu Lu et al., 2013; Li Xi et al., 2014)、矿床地球化学与矿床成因(Zhang Dequan et al., 2001; Li Houmin et al., 2001a; Dang Xingyan et al., 2006; Zhang Yanlin et al., 2011)、控矿构造与控矿因素(Qian Zhuangzhi et al., 1997; Zhang Dequan et al., 2007; Lu Lu et al., 2011; Kou

Linlin et al., 2015; Chen Bailin et al., 2016)、金矿矿理学(Li Houmin et al., 2001b; Zhang Jinyang et al., 2012)、金矿化遥感蚀变特征(Liu Gang et al., 2002; Zhang Yanbin et al., 2009)、金矿找矿标志(Lu Lu, 2011; Liu Shibao et al., 2016; Han Yu et al., 2017)<sup>①</sup>等方面均开展了比较深入的研究, 并取得了重要的认识。然而, 对于五龙沟金矿最主要控矿因素、到底与哪个地质体关系最密切以及成矿时代, 虽然也开展了较多研究(Hu Zhengguo et al., 1998; Qian Zhuangzhi et al., 1999; Yuan Wanming et al., 2000b; Zhang Dequan et al., 2001, 2005; Kou Linlin et al., 2010; Lu Lu, 2011; Ma Fugui et al., 2016), 但是争议很大, 到目前为止, 还没有一个被多数学者接受的结果和认识。笔者认为形成这些争议的原因一方面是金矿田范围内各种地质体相互关系

注: 本文为中国地质调查局地质矿产调查专项(编号 12120113096000)的资助成果。

收稿日期: 2018-04-19; 改回日期: 2018-06-04; 网络发表日期: 2018-12-20; 责任编辑: 周健。

作者简介: 陈柏林, 男, 1962 年生。研究员, 博士生导师, 主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。Email: cblh6299@263.net。

**引用本文:**陈柏林. 2019. 东昆仑五龙沟金矿田地质特征与成矿地质体厘定. 地质学报, 93(1): 179~196, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019010.  
Chen Bailin. 2019. Geological characteristics of the Wulonggou gold ore field and determination of metallogenic geological bodies in East Kunlun Mountains. Acta Geologica Sinica, 93(1): 179~196.

的研究不够精细,更重要的是缺少成矿地质体-成矿构造-成矿作用三位一体的研究思路;特别是成矿地质体还没有确定,并严重制约了勘查区内进一步找矿工作。本文以东昆仑五龙沟金矿地质特征为基础,以成矿构造为纽带,以成矿作用特点为主体,确定矿床类型;运用石英流体包裹体同位素测年和锆石 SHRIMP U-Pb 测年,精确测得成矿作用年龄和相关地质体年龄,结合金矿体与相关地质体空间关系、物源关系厘定成矿地质体。

## 1 五龙沟金矿田地质概况

### 1.1 区域地质背景

五龙沟金矿田位于青藏高原北缘、青海省柴达木盆地南缘、东昆仑山中段北缘地区(图 1a)。

在大地构造上位于我国中央造山带秦(北秦岭)-祁(祁连)-昆(东昆仑)晚加里东造山系(I 级构造单元)之东昆仑造山带(II 级构造单元)的伯喀里克-香日德元古宙古陆块体(III 级构造单元);按照 Xu Zhiqin et al. (2006) 的划分,五龙沟金矿田位于东昆仑北地体三级构造单元内(图 1a)。五龙沟金矿田及其邻区东昆仑地区成为最近 20 多年来我国西部地质研究的热点地区之一(青海省地质矿产局, 1991; Hu Zhengguo et al., 1998; Yin An, 2001; Feng Chengyou et al., 2004; Dang Xingyan et al., 2006; Xu Zhiqin et al., 2006; Fan Likun et al., 2009; Lu Lu et al., 2013, Li Xi et al., 2014)。

### 1.2 金矿田地层岩石特征

矿田内地层为古元古界金水口群、长城系小庙组和青白口系丘吉东沟组,零星出露奥陶系祁漫塔格群(图 1b)。金水口群以含堇青石黑云斜长片麻岩为主,次为含堇青石黑云斜长片岩、石英片岩、二长片麻岩和斜长角闪岩夹大理岩。小庙组主要为黑云斜长片麻岩、黑云石英片岩夹少量大理岩,是经历了低角闪岩相变质的一套火山-沉积岩系,碎屑锆石年代学证实其形成时代为 1683~1554 Ma (Chen Youxin et al., 2011)。丘吉东沟组下部为片岩、砾岩段,主要由片理化变质砾岩、砂岩、千枚岩夹大理岩组成,与下伏小庙组呈角度不整合接触关系;上部为变火山岩段,由片理化凝灰质、硅质板岩、变火山碎屑岩等组成。丘吉东沟组具丰富的叠层石和微古植物组合,形成时代为新元古代中一晚期,属浅海相沉积(Zhang Yanlin et al., 2011)。

矿田内岩浆岩以侵入岩为主,形成时代有新元古代、早古生代、晚古生代和早中生代(图 1b)。早

古生代侵入岩构成区内侵入岩的主体,主要包括砖红色一肉红色粗粒正长花岗岩、灰白色中粒正长花岗岩和少量闪长岩, LAICP-MS 锆石 U-Pb 年龄介于 450~410 Ma 之间,部分 A 型花岗岩年龄为 390Ma 左右(Lu Lu, 2011; Zhang Jinyang et al., 2012; Liu Bin et al., 2013)。早中生代侵入岩主要为浅成岩体,主要岩石类型为灰白色花岗闪长斑岩和灰绿色一浅灰色闪长玢岩脉, LA-ICP-MS 锆石 UPb 年龄约为 220 Ma(Lu Lu, 2011)。

### 1.3 金矿田构造特征

五龙沟金矿区处于东昆仑中部构造带,矿田内构造线呈 NW(NWW)向,主体由 3 条 NW(NWW)向近平行展布的构造变形带和 4 个轴向呈 NW 向延伸的褶皱构成,它们奠定了矿田内基本构造格架。

三条 NW(NWW)向近平行展布的构造变形带为岩金沟构造带、萤石沟-红旗沟构造带、三道梁-苦水泉构造带(图 1b)。岩金沟构造带位于矿田北部,出露长度约 10km,倾向北东,倾角 45°~75°,主体发育在白沙河组片麻岩地层中,由多条北西向、北北西向和北西西向脆性断裂及断裂之间的透镜状岩块组成;萤石沟-红旗沟构造带位于矿田中部,全长约 25km。主干断裂倾向北东,倾角 60°~85°,在其两侧(特别是主干断裂的上盘北东侧)发育众多次级断裂和断裂之间的透镜状岩块,构成复杂构造带;三道梁-苦水泉构造带位于矿田南部,断续出露约 19km,倾向南西,倾角 45°~75°,主体发育在白沙河组片麻岩地层和花岗岩中,次级断裂较少,影响的宽度也小。这三条构造带曾被认为是格尔木变质核杂岩构造面经历再褶皱的多期次构造变形带、具有韧性剪切带特征,是矿田的主要控矿构造带(Qian Zhuangzhi et al., 1997; Zhang Dequan et al., 2007, Lu Lu, 2011; Kou Linlin et al., 2010, 2015)。

新近研究认为,在五龙沟金矿田三条控矿构造带中的萤石沟-红旗沟构造带属于矿田内的一级构造,而其北侧的岩金沟构造带和南侧的三道梁-苦水泉断裂破碎带属于次级构造带;在构造变形层次上,控制金矿的主要为偏脆性断裂破碎带;但是作为一级构造带的萤石沟-红旗沟构造带的北侧邻近局部保留了早期韧性剪切变形的遗迹(Institute of Geomechanics, CAGS, 2015; Chen Bailin et al., 2016)。

## 2 金矿床地质特征

### 2.1 矿带特征与矿体特征

五龙沟金矿主要由 3 条矿带组成,自北向南依

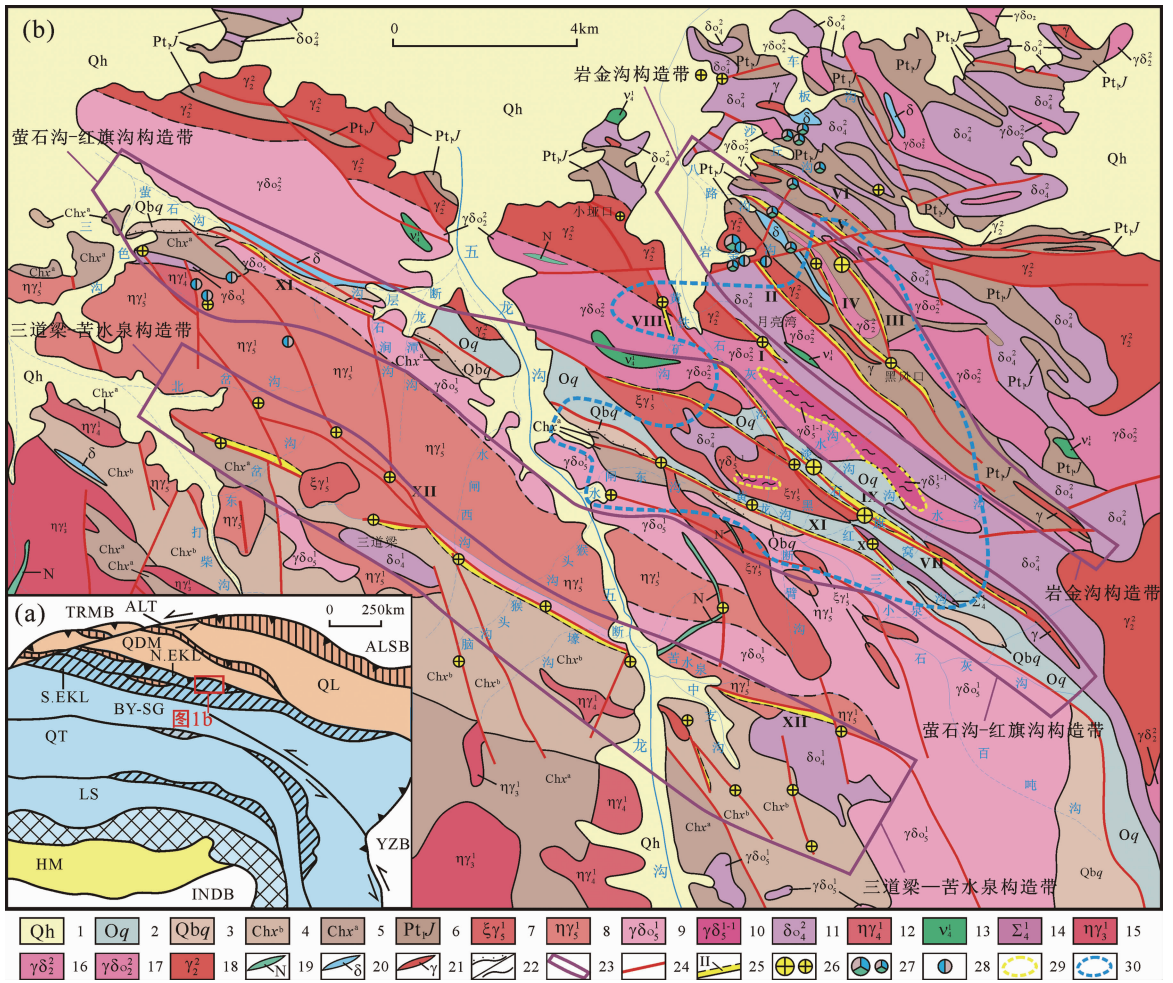


图 1 东昆仑五龙沟金矿田地质图(据青海省第一地质矿产勘查院,2010 资料修编) ●  
 Fig. 1 Geological map of the Wulongou gold ore-field in the eastern Kunlun Mountains  
 (modified after Qinghai No. 1 Academy of Geology and Mineral Exploration, 2010) ●

(a) 大地构造图(据许志琴等,2006): TRMB—塔里木地块; ALSB—阿拉善陆块; ALT—阿尔金地体; INDB—印度陆块; YZB—扬子陆块; QL—祁连地体; QDM—柴达木地块; N. EKL—东昆仑北地体(中生代俯冲杂岩带); S. EKL—东昆仑南地体(中生代俯冲杂岩带); BY-SG—巴颜喀拉-松潘甘孜地体; QT—羌塘地体; LS—拉萨地体; HM—喜马拉雅增生地体; (b) 一金矿田地质图: 1—第四系; 2—奥陶系祁漫塔格群变质火山岩组; 3—青白口系丘吉东沟组变质砂砾岩、千枚岩夹结晶灰岩、大理岩; 4—长城系小庙组上段透闪蛇纹大理岩、斜长片麻岩、黑云石英片岩夹大理岩、斜长角闪片岩; 5—长城系小庙组下段角闪斜长片麻岩; 6—古元古界金水口群黑云斜长片麻岩; 7—印支期钾长花岗岩; 8—印支期二长花岗岩; 9—印支期斜长花岗岩; 10—印支早期含闪长岩包体片麻状花岗闪长岩; 11—华力西晚期石英闪长岩; 12—华力西早期二长花岗岩; 13—华力西早期角闪辉长岩; 14—华力西早期辉石橄榄岩; 15—加里东期二长花岗岩; 16—兴凯期花岗岩闪长岩; 17—兴凯期似斑状花岗闪长岩; 18—兴凯期花岗岩; 19—基性岩脉; 20—闪长岩脉; 21—花岗岩脉; 22—角度不整合界线/地质界线; 23—NWW 向控矿构造带; 24—断层; 25—金矿化蚀变带; 26—金矿床; 27—多金属矿床; 28—铅锌矿床(点); 29—成矿地质体界线; 30—金矿床最佳范围

(a) Tectonic map (modified after Xu et al., 2006): TRMB—Tarim block; ALSB—Alxa block; ALT—Altyn Tagh subterrane; INDB—Indian block; YZB—Yangtze block; QL—Qilian subterrane; QDM—Qaidam subterrane; N. EKL—Northern east Kunlun subterrane; S. EKL—Southern east Kunlun subterrane; BY-SG—Bayan Har-Songpan-Garze subterrane; QT—Qiangtang subterrane; LS—Lhasa subterrane; YLZBS—Yarlung Zangbo suture; HM—Himalaya accretionary terrane; (b) ore-field geological map: 1—Quaternary; 2—metamorphic volcanic rock of Qimantage group of Ordovician system; 3—metamorphic sandstone, conglomerate, phyllite and crystalline limestone, marble of Quijiongou formation of Qingbaikou system; 4—tremolite ophicalcite, plagiogeniss, biotite quartz schist and marble, plagioclase homblende schist of upper part of Xiaomiao formation of Changcheng system; 5—homblende plagiogneiss of lower part of Xiaomiao formation of Changcheng system; 6—biotite plagiogneiss of Jinshoukou group of lower Proterozoic; 7—moyite of Indo-Chinese epoch; 8—adamellite of Indo-Chinese epoch; 9—plagiogranite of Indo-Chinese epoch; 10—gneissoid granodiorite with diorite enclosire of early Indo-Chinese epoch; 11—late Variscan quartz diorite; 12—early Variscan adamellite; 13—early Variscan bojite; 14—early Variscan pyroxene peridotite; 15—adamellite of Caledonian epoch; 16—granodiorite of Xingkai epoch; 17—porphyritic granodiorite of Xingkai epoch; 18—granite of Xingkai epoch; 19—basic rock vein; 20—diorite vein; 21—granite vein; 22—unconformable boundary/ geological boundary; 23—NWW-trending ore-controlling structural belt; 24—fault; 25—gold mineralization alteration zone; 26—gold deposit; 27—polymetallic ore deposit; 28—lead-zinc deposit; 29—boundary of metallogenic geological bodies; 30—area with well developed gold mineralization

次是岩金沟矿带、萤石沟-红旗沟矿带和三道梁-苦水泉矿带。3条矿带受上述相应的三条断裂破碎带控制。

(1)岩金沟矿带:岩金沟矿带位于矿田北部,是五龙沟地区发现最早的金矿带,于上世纪90年代初发现并断续开发至今。由I、II、III、IV、V、VI、VIII等矿化带组成,其中III、IV号带规模较大,受F15、F12断裂带控制。长度大于5km,宽0.5~1km;整体为NW走向,倾向NE,倾角 $35^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。各次级矿化带有向东南收敛、向北西撒开的似帚状构造形态。围岩以黑云斜长片麻岩、花岗岩、花岗闪长岩为主,少量为黑云母片岩、花岗质细晶片岩。矿化受岩金沟断裂破碎带控制。主要蚀变有黄铁矿化(地表风化为褐铁矿)、低温硅化、绢云母化、毒砂化、辉锑矿化及黏土化,北西段发育明显褐铁矿和黄钾铁矾。该矿带南东段为黑风口金矿点,中段为岩金沟中型金矿床及其他多个金矿点,北西段为黑石山中型多金属矿床及多个金和多金属矿点(图1b)。其中岩金沟金矿床是矿田内发现最早、开发时间最长的金矿床。

(2)萤石沟-红旗沟矿带:萤石沟-红旗沟矿带位于矿田中部,是目前五龙沟地区金矿化最好的矿带,也是目前最主要的勘查区带和开发产区段。由VII、IX、X、XI号矿化蚀变带为主组成,受F23、F24、F25等断裂带控制。长度大于20km,宽1~2km;整体为NWW走向,倾向NE,倾角 $55^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。围岩比较多样,有花岗岩类、花岗片麻岩类、沉积岩及其浅变质岩类(砾岩、砂岩、泥岩-板岩、灰岩-大理岩)、火山岩类和基性-超基性侵入岩等。矿化受萤石沟-红旗沟断裂破碎带控制。主要蚀变有黄铁矿化(地表风化为褐铁矿)、低温硅化、绢云母化、毒砂化及黏土化,在黄铁矿沟、水闸西沟、龙潭沟、萤石沟发育明显褐铁矿和黄钾铁矾。该矿带南东段为哈西洼金矿、百吨沟金矿,中段为红旗沟中型金矿床、淡水沟金矿、深水潭金矿、黄龙沟金矿、水闸东沟金矿、黄铁矿沟金矿点,北西段为龙潭沟金多金属矿点、萤石沟多金属矿点等(图1b)。其中红旗沟中型金矿床、淡水沟金矿、深水潭金矿、黄龙沟金矿、水闸东沟金矿构成矿田内最大的金矿集中区,也是目前探明金储量最大区段。

(3)三道梁-苦水泉矿带:三道梁-苦水泉矿带位于矿田南部,由XII、XIV号矿化蚀变带为主组成。长度大于10km,宽0.5~1km;整体为NW走向( $300^{\circ}$ ),东段倾向NE,西段倾向SW,倾角 $45^{\circ}\sim$

$70^{\circ}$ 。围岩为黑云母花岗闪长岩、黑云母花岗岩、片岩、大理岩;矿化受三道梁-苦水泉断裂破碎带控制。主要蚀变有黄铁矿化(地表风化为褐铁矿)、低温硅化、绢云母化、黏土化,东段苦水泉一带发育明显褐铁矿和黄钾铁矾。该矿带南东段为中支沟金矿点,中段断壕沟、猴头沟一带有多个金矿点,北西段为三道梁金矿点(图1b)。本矿带金矿点比较分散,规模不大。

## 2.2 矿体特征

五龙沟地区最典型的金矿床有以III号带为代表的岩金沟金矿床、以VII号带为代表的红旗沟金矿床和以XI号带为代表的黄龙沟金矿床。本文仅简述岩金沟金矿床有关矿体(Zhong Caili et al., 2017)。

岩金沟金矿床位于五龙沟金矿田东北部,受岩金沟NW向矿化蚀变带控制。该金矿床由I、II、III、IV、V、VI、VIII等含金构造蚀变带组成,单条含金构造蚀变带长1~6km,呈直线平行状或弧线分支复合状延伸,其中III、IV号带规模最大,具有最典型的分支复合状延伸特点(图2a)。

III、IV号含金构造蚀变带位于岩金沟金矿床中部,两侧围岩为混合岩化黑云斜长片麻岩、黑云母花岗闪长岩,含金构造蚀变带具有明显带状延伸特点(图2b,图3a~d)。在含金构造蚀变带小剖面,自外向中间依次是未变形黑云斜长片麻岩、弱变形黑云斜长片麻岩、强变形岩石、强变形强蚀变岩石、金矿体(图3b、c)。

金矿体均分布在NW向含金构造蚀变带中,呈脉状、长条状和透镜状产出,沿倾向和走向矿化具有分段富集的特点,走向上具有明显尖灭再现、尖灭侧现、膨胀狭缩、分支复合现象(图2b)。M3-1是岩金沟规模最大的金矿体,长650m,倾向延伸280m,平均厚3.41m,走向 $290^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ,倾向NE,倾角为 $35^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ,金品位2~184.37g/t,平均品位8.82g/t。

## 2.3 蚀变与矿化分带

### 2.3.1 主要蚀变类型

五龙沟金矿床的主要蚀变类型与硅化、绢云母化、微细硫化物化、碳酸盐化和泥化。

硅化:是最主要的蚀变类型,分布广泛且强烈,主要表现为低温硅化,且以低温交代形式出现,硅化形成的石英矿物绝大多数为微细石英,他形晶体为主,呈浸染状或细脉状交代围岩,或者呈胶结物形态胶结蚀变岩石(图3e、f,图4a、c、d、e)。

绢云母化:分布广泛,与金矿化关系密切,在时

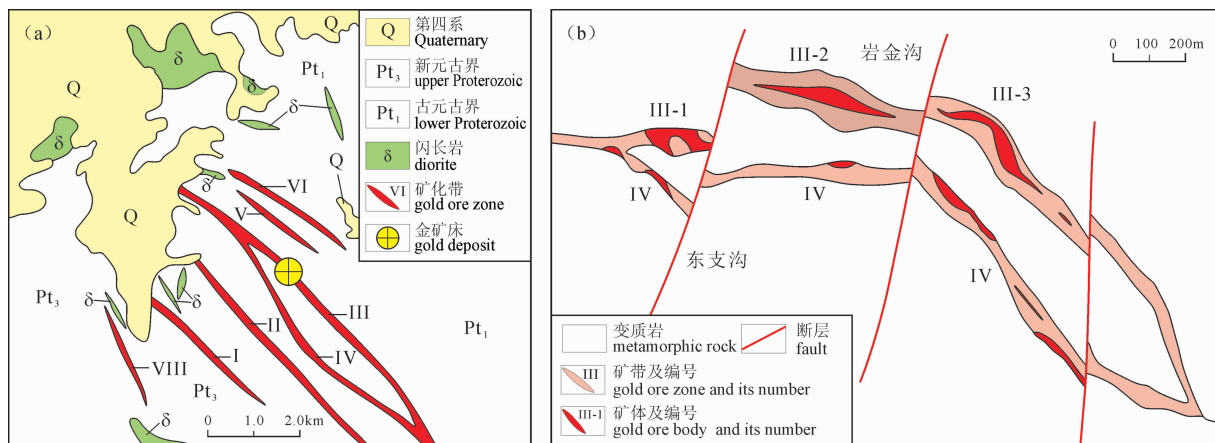


图 2 岩金沟金矿床地质图(a)及Ⅲ、Ⅳ矿带和主要金矿体平面分布图(b)(修编自 Zhong Caili et al., 2017)

Fig. 2 Geological map of Yanjingou gold deposit (a) and planimetric map showing the III and IV mineralization zone and main gold ore-bodies (b) (modified from Zhong Caili et al. 2017)

间上稍早于硅化(图 3e、f,图 4h),绢云母结晶中等,呈浸染状或者呈微晶—细晶鳞片状定向排列(图 4f、g)。

**微细硫化物化:**范围有限,主要发育在高品位金矿体及其附近,包括微细粒黄铁矿和微细针状毒砂,浸染状为主,局部在金矿体内呈团块状集中(图 3e、f、图 4f~i),少数为细脉状(图 4b、d)。

**碳酸盐化:**较发育,相对偏晚,与黄铁矿、毒砂金属硫化物共生(图 4i)。

**泥化:**较发育,主要表现为高岭土化(图 3c、图 4a)。

### 2.3.2 矿化分带

氧化矿石呈黄褐色和棕褐色(图 3c、图 4a),原生金矿石呈灰—灰白色(图 3e、f,图 4b)。

矿化分带明显,以岩金沟Ⅲ号带为例,南东段金属矿物为黄铁矿和毒砂,矿种为金矿;在北西段金属矿物出现较多辉锑矿,矿种为金锑矿。

### 2.4 矿石矿物组成与金矿物特征

五龙沟金矿矿石矿物为中低温矿物组合,主要金属矿物有:黄铁矿、毒砂、含砷黄铁矿、辉锑矿和自然金,少量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿;主要脉石矿物有:石英、绢云母(水云母)、方解石、高岭石。金矿石最主要矿物组合为绢(白)云母+石英+黄铁矿+毒砂+辉锑矿(图 3e、f),矿物特征中最突出的是微细黄铁矿和微细针状毒砂(图 4h、i)。

五龙沟金矿金矿物主要为自然金,成色较高,含银量较低,据 Zhang Jinyang et al. (2012)测试;金成色为 892。金颗粒以不可见金为主,金颗粒细小,一般为次显微金和微粒金,自上世纪 90 年代初矿床发现至今,在手标本上没有发现过用手持放大镜能够

观察到的金颗粒。Li Houmin et al. (2001b)研究认为金颗粒大小在 10nm 量级,以微粒胶体或“杂质”等非晶格金形式赋存于矿物中。但 Zhang Jinyang et al. (2012)研究见及 2~5 μm 量级的金颗粒,并认为早期以形成微细不可见金,晚期形成以粒间金、裂隙金、晶隙金形态出现于斜方砷铁矿交代毒砂的结构中。

### 2.5 流体包裹体及同位素特征

本文测得五龙沟金矿床流体包裹体主要为盐水溶液,大小 3 μm × 8 μm ~ 8 μm × 12 μm,以不规则椭圆形为主,流体包裹体均一温度为 195~319 °C,但主要均一温度集中于 230~280 °C,计算获得的流体盐度为 4.15%~12.85%,为中低温中盐度热液。推算成矿压力 41~94 MPa,成矿深度在 1.55~3.56 km,与 Zhao Caisheng (2004)的测试结果接近。但是,Zhao Junwei (2008)研究流体包裹体,认为成矿流体属于 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl 体系,测得均一温度为 141.2~450.9 °C,压力 39.12~102.7 MPa,成矿深度 6.32~8.38 km,温度明显偏高,可能是没有区分后期高侵位岩浆岩有关的多金属矿化作用。

本文测得 29 个硫同位素,结合前人 20 个硫同位素数据,总体在 -2.22‰~10‰,平均 2.53‰,显示硫源以幔源硫为主,还混入部分壳源物质(图 5a)。本文还测得 33 个单矿物铅同位素,投影主要落在地壳演化线与造山带演化线之间,少部分落在造山带演化线与地幔线之间靠近造山带演化线一侧,反映铅主要来源于造山带演化过程中重熔作用,并有少部分来源于地幔(图 5b)。锶同位素测试获得五龙沟金矿床流体包裹体初始锶比值(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)为 0.71342,明显大于 0.707,说明成矿物质不是主

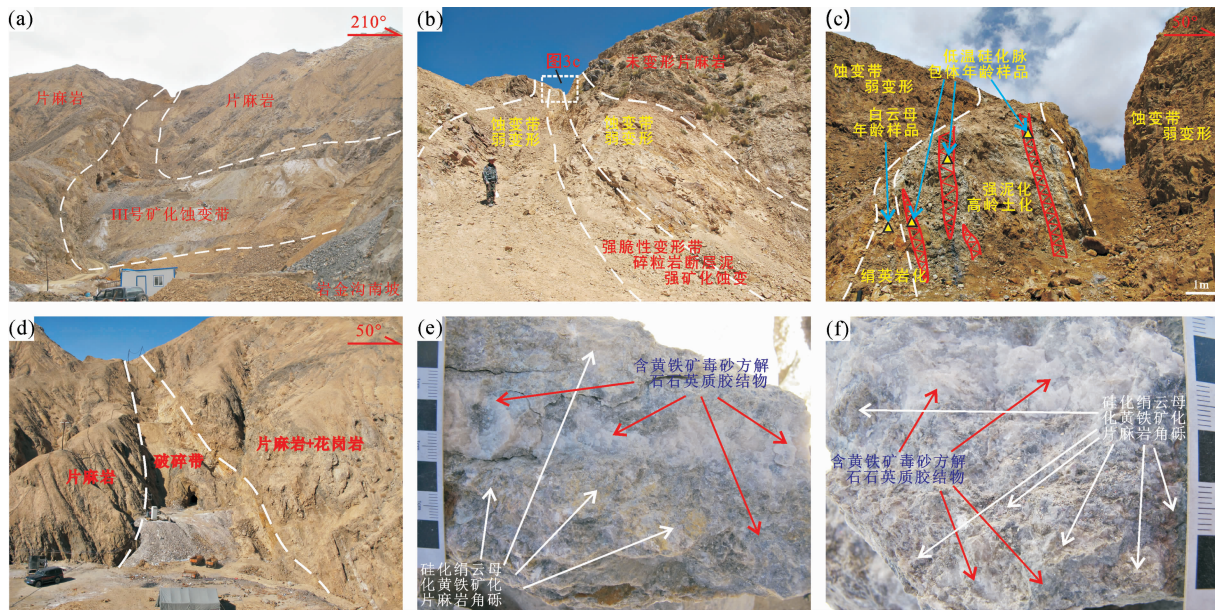


图3 岩金沟Ⅲ号含金构造蚀变带及金矿石宏观特征

Fig. 3 Picture showing macro-structure of III Au-bearing structural mineralization belt and gold ore in Yanjin'gou gold deposit

(a)—Ⅲ号矿带中段宏观特征,矿化蚀变带发育于花岗岩片麻岩和/或花岗岩中,蚀变宽度10~30m,构造破碎带呈线性延伸,具有负地形地貌,线性控矿构造带外蚀变和变形都非常弱;(b)—Ⅲ号矿带南段宏观特征,矿化蚀变带发育于花岗岩片麻岩中,蚀变宽度19m,两侧弱蚀变带各约8m,中间强蚀变带约3m,弱蚀变带外花岗岩片麻岩未发生蚀变,也没有发生构造变形;(c)—图b的局部放大,Ⅲ号矿带南段强蚀变带特点,以强白云母(绢云母)化、低温硅化、泥化、高岭土化为特征。低温硅化石英脉中见细粒黄铁矿、针状毒砂;(d)—岩金沟构造带北段构造变形与矿化剖面,矿化构造带发育于片麻岩中,蚀变分带清楚,W71点;(e)—Ⅲ号矿带角砾状富金矿石特点,角砾为蚀变花岗岩,胶结物为含微细粒状黄铁矿、针状毒砂的硅化、方解石化交代蚀变物质,局部交代较彻底,形成团块状、不规则脉状构造,手标本照片;(f)—岩金沟Ⅲ号金矿带中段强硅化岩金矿石,由含微细硫化物的硅质胶结物和蚀变片麻岩角砾组成,W67点

(a)—Picture showing structural characteristics of 10~30 m wide middle part of III mineralization zone developed in granite-gneiss with linear extension and negative landform, while there is a little deformation and alteration outside the mineralization zone; (b)—picture showing structural characteristics of the southern part of III mineralization zone developed in granite-gneiss with 19m wide alteration zone consisting of 3m wide strong alteration in centre and 8m wide weakly alteration belt each side, and there isn't any deformation and alteration outside the mineralization zone; (c)—an enlargement of picture (b) showing the fine structural characteristics of southern part of ore belt III, where developed strong muscovitization (sericitization), low-temperature silicification, argillitization and kaolinization, meanwhile fine pyrite and acicular arsenopyrite are occurred in some low-temperature silicification quartz vein; (d)—picture showing structural characteristics of northern part of ore belt III mineralization zone developed in granite-gneiss with an obvious zoning; (e)—picture of a hand specimen showing the structural characteristics of breccia-type rich gold ore in ore belt III, where the rubble is the lateralized granite and the cement is the silicified and calcined metasomatic-altered rock with fine pyrite and acicular arsenopyrite, when the metasomatism lateralization of rock is completely in part of the ore, there formed massif structure and vein ore; (f)—picture of a hand specimen showing the structural characteristics of a strong silicification rock type gold ore in middle part of III mineralization zone, which is composed from the silicified cement with fine fulfide vein and altered gneiss rubble

要来源于上地幔,而是主要来源于地壳物质,即花岗岩质岩石的变形重熔为主。

Zhao Caisheng (2004) 测得  $\delta^{18}O_{\text{石英}}$  变化范围 3.01‰~20.1‰,与之相平衡的  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  的变化范围是 -6.33‰~4.81‰,  $\delta D_{\text{水}}$  变化范围是 -48‰~-91.28‰。据岩浆水的  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  为 5.5‰~9.5‰和  $\delta D$  为 -40‰~-80‰,变质水的  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  为 5‰~25‰和  $\delta D$  为 -20‰~-65‰ (Sheppard, 1977, 1981),五龙沟金矿成矿流体的氢、氧同位素组成有由岩浆水向大气降水过渡的特点。

通过以上对五龙沟金矿床地质特征和成矿作用特征的分析,可以确定五龙沟金矿床属于中-低温

热液矿床类型。

### 3 成矿地质体的厘定

成矿地质体是指与矿床形成在时间、空间和成因上有密切联系的地质体。矿床的形成与成矿地质体的形成时间同时或相近;矿床的空间分布与成矿地质体相依;成矿地质体是形成矿床主成矿阶段空间定位的成矿作用的实物载体(叶天竺等,2014)。成矿地质体是成矿作用发生的根源,包括有效动力源、热源、物质汇聚源;成矿作用是由于成矿地质体的存在而发生的。矿床也是由于成矿地质体的存在而形成的,换句话说成矿地质体和矿床有直接因果

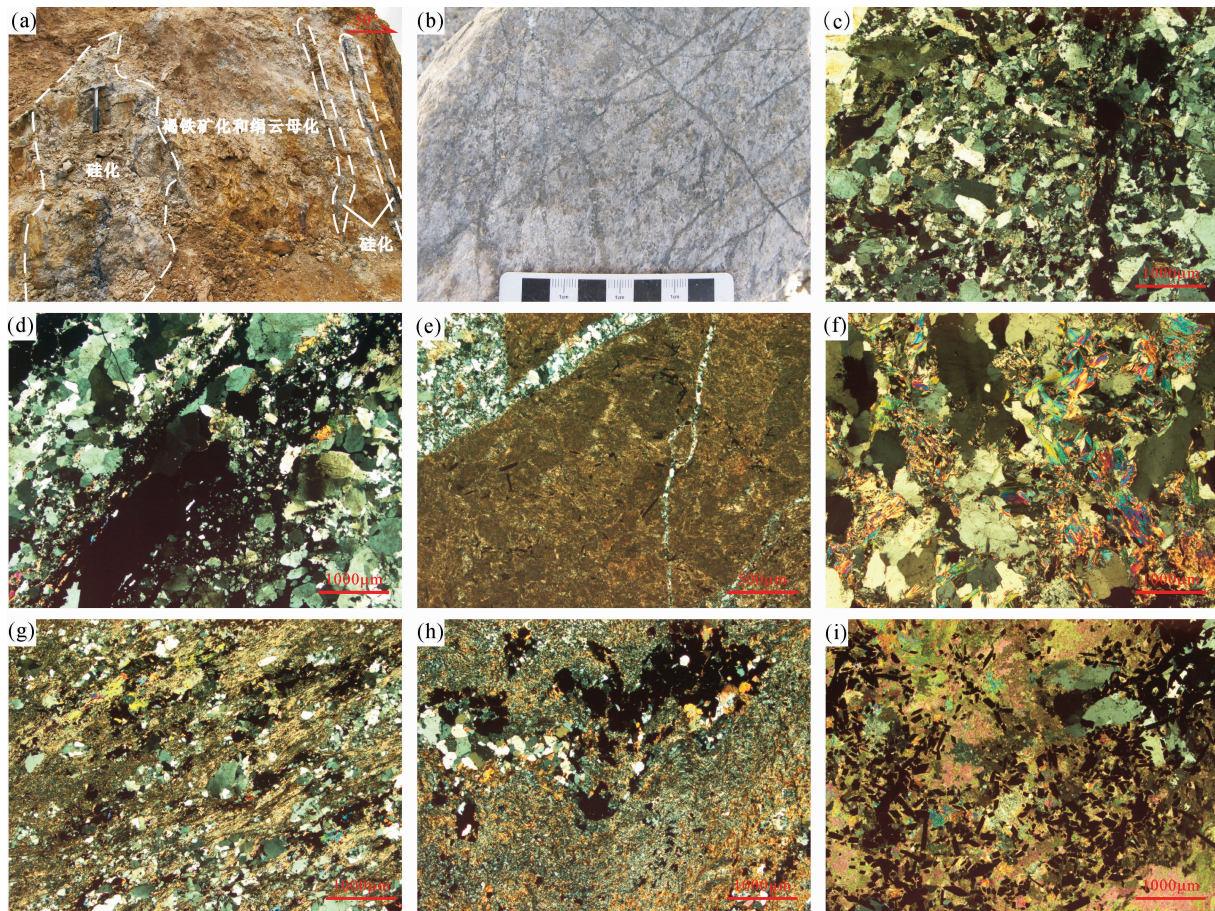


图 4 五龙沟金矿床各种矿化蚀变显微照片

Fig. 4 Photographs showing mineralization and alteration in Wulonggou gold ore-field

(a) 一岩金沟 III 号金矿带南段露头剖面, 硅化蚀变明显, 与绢云母化褐铁矿化共生, W35 点, 镜头向 NW; (b) 一含细-网脉硫化物的强蚀变片麻岩型金矿石手标本, W36-9; (c) 一岩金沟 III 号金矿带中段强硅化岩金矿石, 含较多的针状毒砂和微细黄铁矿, 金品位为 4.27g/t, W84-6, 正交; (d) 一岩金沟 III 号金矿带中段强蚀变片麻岩夹石英脉金矿石, 含较多针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位为 2.25g/t, W84-3, 正交; (e) 一黑石沟口 XI 号金矿带中段段细脉状强硅化岩金矿石, 含较多针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位为 6.00g/t, W88-7, 正交; (f) 一岩金沟 III 号金矿带中段强绢云母化蚀变岩金矿石, 含较多针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位为 110.0g/t, W66-3, 正交; (g) 一水闸东沟 XI 号金矿带中西段强绢云母化蚀变岩金矿石, 含较多针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位为 6.06g/t, W77-2, 正交; (h) 一水闸东沟 XI 号金矿带中西段强蚀变岩富金矿石, 含较多针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位超过 100g/t, ZK6501 孔 760m, W94-1, 正交; (i) 一岩金沟 III 号金矿带中段强绢云母化蚀变岩夹石英方解石脉富金矿石, 含大量针状毒砂和微细粒黄铁矿, 金品位为 110.0g/t, 砷含量 6.46%, W66-3, 正交

(a) —Picture showing the fine structural characteristics of southern part of ore belt III in Yanjingou, where developed strong low-temperature silicification, paragenesis with sericitization and limonite alteration; (b) —picture showing a specimen of altered gneiss type gold ore with fine-stringer lode fulfide; (c) —microstructure picture showing strong silicification altered rock type gold ore from ore belt III in Yanjingou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with gold grade of 4.27g/t; (d) —microstructure picture showing strong altered gneiss type gold ore parting fine quartz vein from ore belt III in Yanjingou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with gold grade of 2.25g/t; (e) —microstructure picture showing a veinlet strong silicification rock type gold ore from ore belt XI in Heishigoukou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with gold grade of 6.00g/t; (f) —microstructure picture showing strong sericitization rock type gold ore from ore belt III in Yanjingou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with high gold grade of 110.0g/t; (g) —microstructure picture showing strong sericitization rock type gold ore from ore belt XI in Shuizadonggou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with gold grade of 6.06g/t; (h) —microstructure picture showing strong altered rock type gold ore from ore belt XI in Yanjingou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with high gold grade of >100.0g/t; (i) —microstructure picture showing strong sericitization rock type rich gold ore parting fine quartz and calcite vein from ore belt III in Yanjingou with well developed needle arsenopyrite and fine pyrite and with gold grade of 110.0g/t

关系。

成矿地质体的确定主要依据地质体与矿床形成时代的对比、地质体与矿床空间距离的研究、地质体与矿床物质成分的对比研究来确定(叶天竺等,

2014)。

五龙沟金矿床属于中—低温热液型金矿床, 那么成矿地质体很可能是岩浆岩。五龙沟地区岩浆岩非常发育, 特别是中酸性侵入岩, 约占总面积的

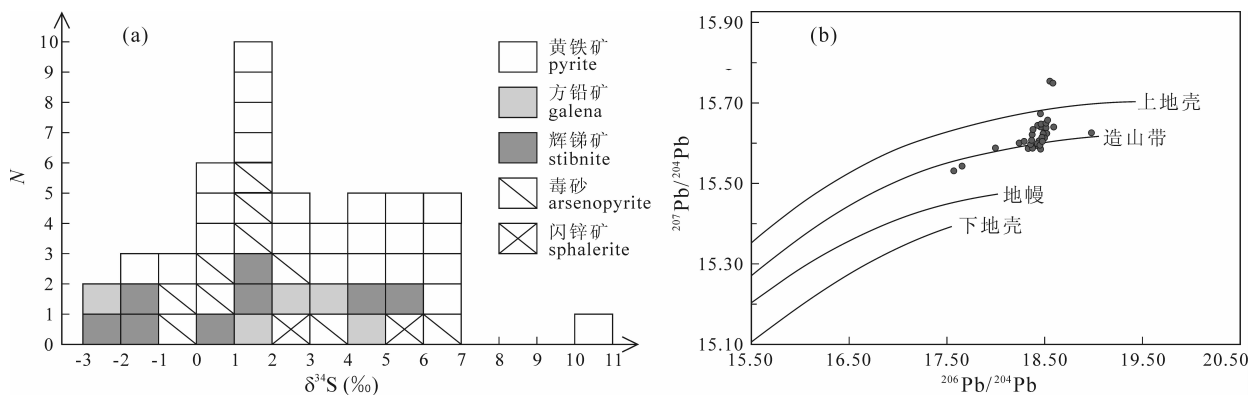


图5 五龙沟金矿田硫同位素(a)和铅同位素投影(b)

Fig. 5 Projection of sulfur isotope (a) and lead isotope (b) of gold ore from Wulonggou gold ore-field

65%。按照现有资料,五龙沟地区中酸性侵入岩可划分为新元古代侵入岩、早古生代早期侵入岩、早古生代晚期侵入岩、晚古生代早期侵入岩、早中生代侵入岩等。本文研究认为,从东山岩体中解体出来的红旗沟麻片麻状变形花岗闪长岩体是五龙沟金矿床的成矿地质体。

### 3.1 主要中酸性侵入岩及其时代

#### 3.1.1 早中生代侵入岩

早中生代侵入岩区内出露不是太多,前人<sup>①</sup>将红石岭岩体(肉红色钾长花岗岩)确定为晚三叠世侵入岩,其主要依据是 K-Ar 年龄为  $207.1 \pm 3.1\text{Ma}$  和 Rb-Sr 年龄为  $228.25\text{Ma}$ 、 $254.95 \pm 42.78\text{Ma}$ 。该岩体没有明显构造变形,应该属于较晚期的侵入岩。其  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 77.95%、4.98% 和 2.96%。

黄铁矿沟一带含黄铁矿石英二长闪长岩,主要矿物正长石 35%~40%、斜长石 35%~40%、石英 15%~20%、黑云母 3%~5%、角闪石 2%~3%、黄铁矿 1%~3%,野外可见岩体明显吞食破坏了 VII 号金矿带,属于较晚期的侵入岩。其  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量分别为 61.78%、1.10% 和 3.87%。

红旗沟二长闪长岩:呈灰绿色,主要矿物组成:正长石 20%~25%、自形一半自形板状、粒状晶体,1~4mm;斜长石 40%~45%、自形一半自形板状、粒状晶体,1~3mm;角闪石 25%~30%、自形一半自形柱状、板状晶体,1~3mm;石英 3%~5%、他形粒状晶体,0.5~1.5mm;黑云母 2%~3%、半自形片状晶体,0.5~1.5mm;岩石新鲜未蚀变未变形,具有粒状结晶结构、块状构造。

水闸东沟闪长玢岩:主体出露于水闸东沟北侧 VII 号矿带附近及其北侧,规模较小,呈不规则脉状

产出。在水闸东沟—黄龙沟一带有关坑道和多个钻孔揭露到闪长玢岩和(或)石英闪长岩,本区可见其穿插破坏 XI 号金矿带,并伴有浸染状黄铁矿。该闪长玢岩呈灰绿色,主要矿物组成:斑晶:斜长石 20%~25%、自形一半自形板状、粒状晶体,0.5~4mm;角闪石 10%~15%、自形一半自形柱状、板状晶体,0.5~3mm;微晶基质 65%~70%;可见少量蚀变成因的绿泥石、方解石和绢云母。岩石具有斑状结构、块状构造。其  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量分别为 58.88%、2.62% 和 3.63%。本文采集年龄样品,通过挑选单颗粒锆石,运用 SHRIMP U-Pb 方法测得其成岩年龄为  $214 \pm 3\text{Ma}$  ( $n=15$ ,  $\text{MSWD}=1.4$ ) (图表略)。

#### 3.1.2 晚古生代早期侵入岩

前人未单独划分晚古生代早期侵入岩。本文研究了水闸东沟北侧山梁一带的肉红色钾长花岗岩和灰白色二长花岗岩(灰白色二长花岗岩岩性与前入三道梁岩体比较一致,但是出露位置在前人的东山岩体部位;肉红色粗晶钾长花岗岩岩性与前人红石岭岩体一致)和黑石沟南段浅色花岗岩、红旗沟东段肉红色片麻状钾长花岗岩。依据其出露位置,定名为水闸东沟北岩体、黑石沟岩体和红旗沟东岩体。运用 SHRIMP 方法测得肉红色粗晶正长花岗岩年龄为  $396 \pm 6\text{Ma}$  ( $n=11$ ,  $\text{MSWD}=1.4$ )、灰白色粗晶二长花岗岩年龄为  $404.6 \pm 5.2\text{Ma}$  ( $n=8$ ,  $\text{MSWD}=0.67$ ) (图表略)。本文还测得黑石沟浅色花岗岩岩体  $409.3 \pm 2.8\text{Ma}$  ( $n=10$ ,  $\text{MSWD}=2.9$ )、红旗沟东钾长花岗岩岩体  $395.7 \pm 4.8\text{Ma}$  ( $n=13$ ,  $\text{MSWD}=0.36$ ) 的结果。

#### 3.1.3 早古生代侵入岩

早古生代早期有三道梁、西大沟、大平台等岩



体,出露面积 12.4 km<sup>2</sup>。三道梁岩体为石英闪长岩,西大沟岩体为浅灰色似斑状黑云母花岗岩,大平台岩体为浅灰色细—中粒二长花岗岩。大平台岩体的 Rb-Sr 年龄为 523±49Ma<sup>①</sup>。

早古生代晚期侵入岩出露面积最大,占区域侵入岩面积的 31%。主要有坎子沟岩体、水闸岩体、猴头山 3 个岩体。坎子沟岩体为浅灰色中粗粒二长花岗岩,水闸岩体为淡肉红色中粗粒蚀变钾长花岗岩,猴头山岩体为浅灰色中粗粒黑云母钾长花岗岩。Yan Wei et al. (2016) 最近测得猴头沟二长花岗岩年龄为 419Ma。本文测得中粗粒二长花岗岩年龄为 416±34Ma( $n=14$ , MSWD=0.61)、中粗粒花岗岩年龄为 451.6±6.4Ma( $n=10$ , MSWD=0.34)。

### 3.1.4 新元古代晚期侵入岩

新元古代晚期侵入岩有黑石山岩体、东山岩体、无名地岩体和岩金沟岩体。黑石山岩体成岩年龄为 721±25Ma。东山岩体出露于石灰沟一带,呈 NW-SE 向条带状展布,由 8 个侵入体组成,出露面积 47 km<sup>2</sup>,占石灰沟新元古代晚期岩体分布面积的 50% 以上。该岩体侵位于白沙河岩组和黑石山单元中,岩性为灰色中粗粒—中细粒角闪石英花岗闪长岩。岩体中主要矿物含量为斜长石 56.5%、石英 22.6%、钾长石 10.4%、角闪石 10.6%、黑云母 7.2%。平均化学成分为: SiO<sub>2</sub> = 64.25%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 15.94%, Na<sub>2</sub>O = 3.53%, K<sub>2</sub>O = 2.90%。前人<sup>①</sup>曾在岩体中获得 1003±143Ma 的 U-Pb 年龄。

### 3.1.5 红旗沟脑岩体

这是本文新定名的岩体,它属于约 47 km<sup>2</sup> 的东山岩体中有一部分,约 10km<sup>2</sup>,其特点与东山岩体主体存在明显的差异,即岩体中含大量单个透镜状、扁豆状及条带状、钩状闪长质暗色包体,成群成带定向排列,包体及外侧花岗闪长岩矿物均具定向性,发育拉伸线理、片理、片麻理构造(图 6)。鉴于其特殊性,本文野外进行了初步追索,大致确定了其出露位置和范围(图 1b)。

闪长岩包体主要矿物含量为斜长石 55%~60%、角闪石 25%~30%、黑云母 12%~15%,少量磁铁矿等。岩石化学分析显示其 SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 含量分别为 55.53%、1.77% 和 3.60%。花岗闪长岩主岩主要矿物含量为斜长石 35%~40%、石英 20%~25%、正长石 20%~25%、黑云母 8%~10%、角闪石 5%~8%。岩石化学分析显示其 SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 含量分别为 65.43%、3.67% 和 3.24%。均为高钾钙碱性系列中酸性侵入岩。根据

现有的岩浆岩成因理论,含有大量细粒闪长岩包体的长英质侵入体,是以壳源为主、有幔源岩浆同熔混合作用形成的(Chen Guangjun et al., 2014)。

本文对红旗沟脑含大量且成群成带定向排列的单个透镜状、扁豆状及条带状、钩状闪长质暗色包体的灰色中粗粒黑云母花岗闪长岩—中细粒石英闪长岩,采集年龄样品,通过挑选单颗粒锆石,运用 SHRIMP 方法测得黑云母闪长岩暗色包体年龄为 244.7±3.4Ma( $n=10$ , MSWD=0.43)、测得黑云母花岗闪长岩主岩体年龄为 239.4±3.7 Ma( $n=9$ , MSWD=0.25)(表 1、图 7)。

## 3.2 成矿时代的确定

对于五龙沟金矿床的成矿时代虽然也开展了较多研究(Hu Zhengguo et al., 1998; Yuan Wanming et al., 2000b; Zhang Dequan et al., 2001, 2005; Kou Linlin et al., 2010; Lu Lu, 2011),但是争议很大。Hu Zhengguo et al. (1998) 认为五龙沟金矿床属于浅成中温深源玢岩型金矿床,金成矿与闪长玢岩有关(闪长玢岩含有较多浸染状黄铁矿,被称为矿化闪长玢岩),成矿时代印支晚期—燕山中期(145.3~210Ma); Qian Zhuangzhi et al. (1999) 认为闪长玢岩与金矿化空间上密切共生、时间上相近(金矿石 K-Ar 等时线年龄和铅同位素模式年龄为 197~210Ma,与闪长玢岩年龄 209Ma 非常接近)、物源和流体具有相关性,成矿时代为印支晚期(210Ma 左右); Yuan Wanming et al. (2000b) 依据磷灰石、锆石的裂变径迹确定五龙沟金矿床成矿时代为印支晚期—燕山早期(197.4~235.0Ma); Zhang Dequan et al. (2001, 2005) 运用 Ar-Ar 方法测得五龙沟 III 号矿带中矿石的蚀变绢云母年龄为 236.5~239Ma,并认为五龙沟金矿床为加里东期矿化、印支期定型; Kou Linlin et al. (2010) 对被认为控制金矿床的韧性剪切带中含石英黑云母片岩的黑云母进行 Ar-Ar 测年,获得 242.7Ma,并认为这是早期韧性变形年龄,晚三叠世—早白垩世为早期金成矿,晚白垩世—第三纪为五龙沟巨量金聚集的主成矿时期; Lu Lu (2011) 对矿化流纹斑岩的锆石用 LA-MC-ICP-MS 方法测得 253.2Ma 和 210.0Ma,并认为主成矿期为海西晚期—印支晚期(273~200Ma),还有晚期成矿。最新讨论五龙沟金矿床的成矿时代是 Ma Fugui et al. (2016),该文没有新的测试资料,只是综合前人数据,并认为金矿成矿物源区年龄 235~179Ma,成矿年龄 91~21Ma。所以到目前为止,还没有一个被多数学者接受、也与多数地质事实吻

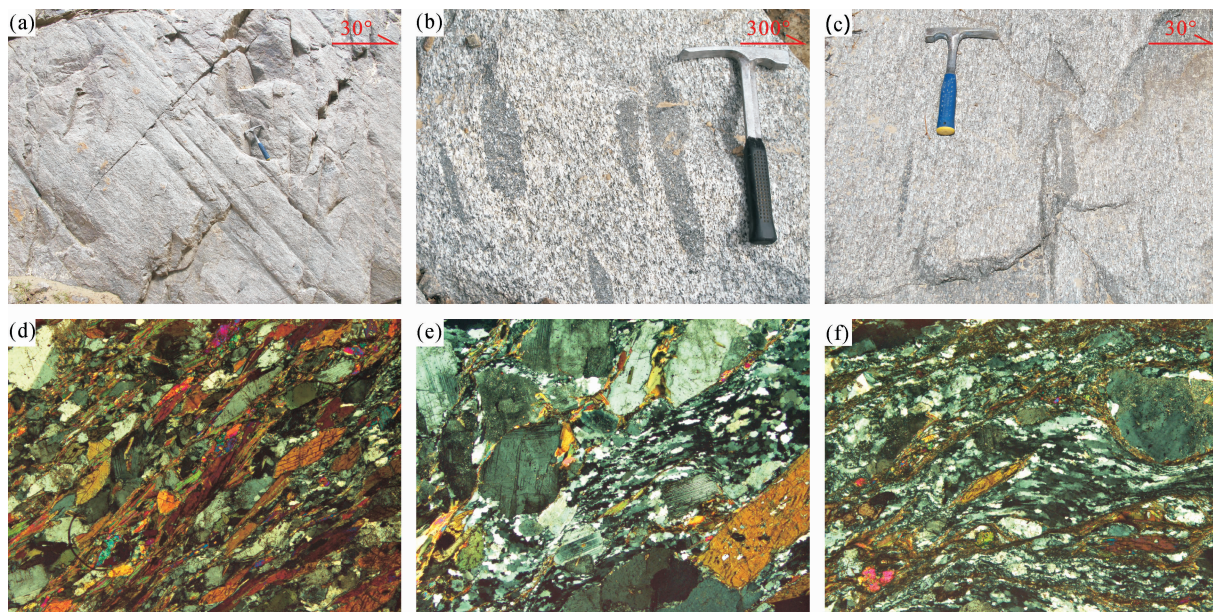


图6 红旗沟脑一带强烈韧性变形的花岗闪长岩野外和镜下照片

Fig. 6 Field and micro-structure photographs of well deformed granodiorite in Hongqigounao area of Wulonggou gold ore-field

(a)—红旗沟脑,含拉长闪长岩包体的变形花岗闪长岩,近 ac 片自然面,W05 点,镜头向 NW;(b)—红旗沟脑,含拉长闪长岩包体的变形花岗闪长岩,近 ab 片自然面,W05 点,镜头向 N;(c)—黄龙沟,含拉长闪长岩包体的变形花岗闪长岩,近 ac 片自然面,镜头向 NW;(d)—变形闪长岩包体,正交 5×10,宽度 2.78mm;(e)—变形花岗闪长岩,正交 2.5×10,宽度 5.57mm;(f)—变形花岗闪长岩,正交 5×10,宽度 2.78mm

(a)—Gneissic deformed granodiorite with diorite enclosure, a near ac section in Hongqigounao; (b)—gneissic deformed granodiorite with diorite enclosure, a near ab section in Hongqigounao; (c)—gneissic deformed granodiorite with diorite enclosure, a near ac section in Huanglonggou; (d)—deformed granodiorite with diorite enclosure; (e, f)—deformed granodiorite

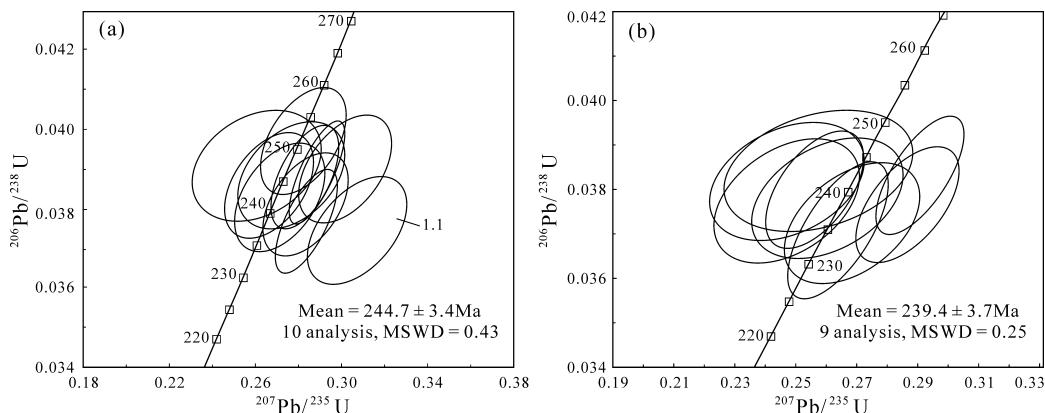


图7 红旗沟脑片麻状黑云母花岗闪长岩锆石 SHRIMP 年龄谐和图

Fig. 7 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagrams of the Hongqigounao gneissic granodiorite from Wulonggou gold ore-field in Kunlun mountains

(a)—黑云母闪长岩暗色包体(W05-1);(b)—黑云母花岗闪长岩主岩体(W05-2)

(a)—Biotite diorite enclosure (W05-1); (b)—main gneissic granodiorite body (W05-2)

合的结果和认识。笔者认为形成这些争议的原因一方面由于不同测试技术方法的适用性和局限性不同、导致得出不同的成矿年龄,另一方面更重要的是金矿田范围内各种地质体相互关系的研究不够精细,导致所采样品缺少唯一性、所测得年龄难以代表

成矿年龄。本文运用石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素——目前被认为直接测定被封闭的成矿流体年龄的方法,对五龙沟金矿田的岩金沟金矿床进行测年研究。

现有研究显示,流体包裹体是矿物结晶过程中

表 1 五龙沟金矿田红旗沟脑片麻状黑云母花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果<sup>①</sup>

Table 1 SHRIMP U-Pb dating for zircons of the Hongqigou gneissic granodiorite from Wulonggou gold ore-field

测点号	<sup>206</sup> Pbc (%)	U (×10 <sup>-6</sup> )	Th (×10 <sup>-6</sup> )	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* (×10 <sup>-6</sup> )	总 <sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb	误差 (±%)	总 <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	误差 (±%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U (±%)	误差 (±%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb (±%)	误差 (±%)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄(Ma) <sup>②</sup>	误差 (1σ)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U 年龄(Ma) <sup>③</sup>	误差 (1σ)
黑云母闪长岩暗色包体(W05-1)																	
1.1	0.32	292	111	0.39	9.42	26.61	2.4	0.0620	3.1	0.03745	2.4	0.0595	4.3	237.0	±5.6	236.5	±6.0
2.1	0.31	1243	830	0.69	41.6	25.70	2.2	0.05535	1.6	0.03879	2.2	0.0529	2.9	245.4	±5.3	246.6	±5.9
3.1	0.27	600	205	0.35	19.5	26.47	2.3	0.0568	2.3	0.03767	2.3	0.0546	2.5	238.4	±5.3	238.2	±5.6
4.1	1.03	403	163	0.42	13.7	25.32	2.3	0.0566	2.7	0.03909	2.3	0.0483	7.3	247.2	±5.7	249.2	±6.1
5.1	0.95	459	175	0.39	15.2	25.88	2.3	0.0590	2.6	0.03828	2.4	0.0514	4.5	242.1	±5.6	243.3	±6.0
6.1	0.36	486	206	0.44	16.4	25.54	2.3	0.0589	3.0	0.03902	2.3	0.0561	4.1	246.7	±5.5	247.2	±6.0
7.1	0.21	707	281	0.41	23.2	26.18	2.2	0.0556	2.1	0.03811	2.3	0.0540	4.0	241.1	±5.3	241.7	±5.7
8.1	0.90	444	117	0.27	25.9	14.73	2.3	0.0625	1.8	0.0673	2.3	0.0552	5.2	419.8	±9.3	422.8	±9.6
9.1	13.11	247	88	0.37	9.03	23.50	2.4	0.1480	3.0	0.0370	3.4	0.042	48	234.0	±7.8	241.1	±7.6
10.1	—	922	433	0.49	30.8	25.71	2.2	0.0534	1.9	0.03891	2.2	0.0538	1.9	246.1	±5.4	245.9	±5.8
11.1	0.68	899	445	0.51	30.9	25.02	2.2	0.05704	1.7	0.03970	2.2	0.0516	4.1	251.0	±5.5	253.0	±6.0
12.1	0.62	582	271	0.48	19.6	25.58	2.3	0.0566	2.3	0.03885	2.3	0.0517	5.5	245.7	±5.5	247.5	±5.9
13.1	0.47	836	352	0.43	27.8	25.80	2.2	0.0539	1.9	0.03858	2.2	0.0501	4.6	244.0	±5.4	245.5	±5.7
黑云母花岗岩闪长岩主岩(W05-2)																	
1.1	—	428	163	0.39	14.3	25.76	2.3	0.0542	2.7	0.03893	2.3	0.0564	3.5	246.2	±5.6	245.0	±5.9
2.1	0.22	591	220	0.39	19.2	26.50	2.3	0.0570	2.4	0.03765	2.3	0.0552	3.2	238.2	±5.3	238.6	±5.7
3.1	0.94	570	220	0.40	18.9	25.95	2.3	0.0545	2.4	0.03817	2.3	0.0469	6.3	241.5	±5.4	243.5	±5.8
4.1	—	402	144	0.37	13.0	26.47	2.3	0.0569	2.9	0.03784	2.3	0.0582	3.1	239.4	±5.5	238.1	±5.8
5.1	0.53	829	354	0.44	27.2	26.18	2.3	0.0532	2.5	0.03799	2.3	0.0489	3.5	240.4	±5.3	241.9	±5.7
6.1	0.00	564	288	0.53	18.6	26.10	2.3	0.0550	2.3	0.03831	2.3	0.0550	2.3	242.4	±5.4	242.6	±5.9
7.1	0.80	476	176	0.38	15.8	25.83	2.3	0.0550	3.2	0.03840	2.3	0.0486	7.5	242.9	±5.5	244.2	±5.9
8.1	1.04	467	158	0.35	15.0	26.69	2.7	0.0599	2.5	0.0371	2.7	0.0516	3.1	234.7	±6.3	235.4	±6.8
9.1	0.85	330	133	0.42	10.6	26.64	2.4	0.0591	2.9	0.03722	2.4	0.0523	4.9	235.6	±5.5	237.0	±5.9
10.1	0.92	646	275	0.44	21.1	26.26	2.4	0.0549	2.2	0.03773	2.4	0.0475	5.8	238.8	±5.7	241.5	±6.2
11.1	1.13	392	164	0.43	12.9	26.16	2.3	0.0591	2.7	0.03779	2.3	0.0500	5.8	239.1	±5.5	240.9	±5.9
12.1	—	384	178	0.48	12.5	26.36	2.3	0.0570	2.9	0.03822	2.3	0.0629	2.7	241.8	±5.6	239.5	±6.0

注:误差为 1σ; Pbc 和 Pb\* 分别代表普通铅和放射成因铅; ①北京离子探针中心测试; ②为假设<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U-<sup>204</sup>Pb/<sup>232</sup>Th 年龄谱合校正普通铅; ③为假设<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U-<sup>208</sup>Pb/<sup>232</sup>Th 年龄谱合校正普通铅。

直接捕获的成矿流体,并被封闭保存,因此流体包裹体测年方法被认为是直接测定了成矿流体封闭时的年龄(Rossman et al, 1987; Changkakoti et al, 1988;李华芹等,1993)。石英是五龙沟金矿最主要的与金成矿密切相关的蚀变矿物,其结晶形成时代代表了成矿作用的时期。

在五龙沟金矿田岩金沟金矿床 III 号矿带共挑选了 15 个石英单矿物,进行了流体包裹体测年。测试工作在中国地质调查局武汉地质调查中心同位素实验室完成,首先将粉碎(0.25~0.5 mm)精选(99.9%以上)的石英样品放入超纯水中用超声波机清洗样品 3~5 遍后烘干备用;称适量的石英单矿物样品,加入<sup>85</sup>Rb+<sup>84</sup>Sr 混合稀释剂,用适量的王水溶解样品,采用阳离子树脂(Dowex50×8)交换法分离和纯化铷、锶;再用热电质谱仪 MAT261 分析 Rb、Sr 同位素组成,用同位素稀释法计算试样中的铷、锶含量及锶同位素比值。

在整个同位素分析过程中,用 GBW04411、

NBS607 和 NBS987 标准物质分别对分析流程和仪器进行监控。NBS987 的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 同位素组成测定值为 0.71035±0.00001(2σ),与证书值 0.71024±0.000026(2σ)在误差范围内完全一致;与样品平行测定多次的国际标准 NBS607 平均值分别为 Rb=523.65×10<sup>-6</sup>、Sr=65.37×10<sup>-6</sup>、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr=1.20034±0.00002(2σ),与证书值(523.90±1.01、65.485±0.30、1.20039±0.00020(2σ))在误差范围内完全一致;测定 GBW04411 的 Rb、Sr 含量和<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值分别为 249.10×10<sup>-6</sup>、158.22×10<sup>-6</sup>和 0.75993±0.00001(2σ),亦与其证书值(249.47±1.04、158.92±0.70、0.75999±0.00020(2σ))在误差范围内完全一致。同位素分析样品制备的全过程均在超净化实验室完成,全流程 Rb、Sr 空白分别为 0.2×10<sup>-9</sup>g 和 0.5×10<sup>-9</sup>g。测试仪器为 MAT261 可调接收热电离固体质谱仪,<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr 同位素比值测定的相对偏差为 2%,精度为 0.02%,分析误差用 2σ 表示。检测条件温度 23℃,湿度 40%。

表2 东昆仑五龙沟金矿田石英流体裹体 Rb-Sr 同位素组成

Table 2 Rb-Sr isotopic data of quartz fluid inclusion from Wulonggou gold ore field, eastern Kunlun Mountains

序号	样号	样品名称	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb}/$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (2\sigma)$
			$(\times 10^{-6})$		$^{86}\text{Sr}$	
1	W66-1	石英	8.264	1.69	14.17	0.76171±0.00002
2	W66-2	石英	0.8053	1.142	2.035	0.72032±0.00001
3	W66-3-1	石英	2.196	1.286	4.936	0.72950±0.00002
4	W66-3-2	石英	3.028	1.687	5.186	0.73117±0.00003
5	W67-1	石英	1.657	0.6776	7.071	0.73632±0.00005
6	W67-2	石英	2.196	2.217	2.861	0.72491±0.00004
7	W67-4	石英	23.43	1.832	37.53	0.84051±0.00004
8	W68-1	石英	12.49	1.371	26.51	0.80344±0.00004
9	W68-2	石英	6.52	1.22	15.49	0.76348±0.00002
10	W69-2	石英	4.789	1.818	7.62	0.74091±0.00002
11	W70-3	石英	4.808	1.569	8.872	0.74761±0.00002
12	W70-4	石英	4.135	1.148	10.43	0.75697±0.00004
13	W84-4	石英	6.651	1.457	13.23	0.76209±0.00003
14	W64-6	石英	2.852	1.923	4.286	0.72960±0.00002
15	W67-1	石英	1.684	0.6762	7.202	0.73593±0.00005

注:本文采样,武汉地质调查中心同位素实验室 2017 年 3 月测定。

五龙沟金矿床石英矿物包裹体 Rb-Sr 同位素分析结果见表 2。根据 15 件石英包裹体样品的 Rb-Sr 同位素分析数据,选择其中 11 件样品(序号 1~9、14、15)的测试结果,采用国际通行的 ISOPLOT 程序进行数据处理,计算得到 Rb-Sr 等时线年龄为  $237\pm 3\text{Ma}$ (图 8 中 Rb-Sr 等时线图解),初始  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为  $0.71342\pm 0.00060(2\sigma)$ , MSWD=0.91。

本测试结果与 Zhang Dequan et al. (2001, 2005) 运用 Ar-Ar 方法测得五龙沟 III 号矿带中矿石的蚀变绢云母年龄为  $236.5\sim 239\text{Ma}$  完全一致。从矿化蚀变带的宏观特征来看,硅化与绢云母化是最主要的蚀变类型,且密切共生(图 4a)。因此该结果能够代表五龙沟金矿的成矿年龄。

### 3.3 地质体与矿体空间距离和物质成分的关系

#### 3.3.1 红旗沟脑岩体与金矿体的空间距离

野外初步填图圈出了含有大量成群成带定向排列的单个透镜状、扁豆状及条带状、钩状闪长质暗色包体的灰色片麻状中粗粒黑云母花岗闪长岩——红旗沟脑岩体,其出露位置自红旗沟脑,向北西西延伸至黄龙沟中段(PD3450 东出口之北西约 1.5km 一带),至黄铁矿沟东坡山脊以东(图 1b)。

在红旗沟脑岩体北侧,与 II 号矿带相距约 1.0km,与 III、IV 号矿带的中南段(北段多金属矿属于另外的成矿系统,不考虑)相距约 1.5~2.5km;在红旗沟脑岩体南侧,与 VII、IX、X 号矿带相距约 0.6~1.0km,与 XI 号矿带的中段(红旗沟口—水闸东沟段)相距约 1.5~3.5km。总体上,红旗沟脑岩

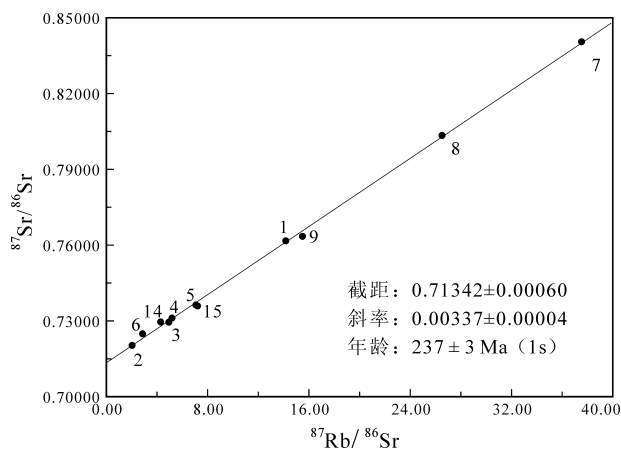


图 8 东昆仑五龙沟金矿田石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄  
Fig. 8 Rb-Sr isochron age of quartz fluid inclusion from Wulonggou gold ore field, eastern Kunlun Mountains

体与金矿带的距离为 0.6~3.5km(主要在 1.0~3.0km),这个距离与五龙沟地区金矿床属于中—低温热液型矿床的地质特征相吻合。这个范围也是目前五龙沟金矿田绝大部分矿体(包括隐伏矿体,超过 95%)的产出部位(图 1b)。

#### 3.3.2 红旗沟脑岩体与金矿体的物质成分关系

前文已经叙述,五龙沟金矿床硫源为幔源硫为主,还混入部分壳源物质(图 5a);铅同位素主要来源于造山带演化过程中重熔作用,并有少部分来源于地幔(图 5b)。锶同位素显示不是主要来源于上地幔,而是主要来源于地壳物质,即与花岗质岩石的变形重熔特征吻合;H-O 同位素显示成矿流体为岩浆水向大气降水过渡类型。硫、铅、锶、H-O 同位素所反映的物源逐渐变浅,这个特点正反映了红旗沟脑片麻状含闪长岩包体的深熔型侵入岩的成矿作用特征。

其次,从五龙沟金矿田各种岩石含金性上分析,区内各地层岩石系统中古元古界白沙河组含金  $5.02\times 10^{-9}\sim 10.0\times 10^{-9}$ ,平均  $6.99\times 10^{-9}$ ;长城系小庙组  $1.62\times 10^{-9}\sim 3.86\times 10^{-9}$ ,平均  $2.55\times 10^{-9}$ ;青白口系丘吉东沟组  $5.0\times 10^{-9}\sim 12.0\times 10^{-9}$ ,平均  $9.20\times 10^{-9}$ ;变质火山岩  $3.14\times 10^{-9}\sim 91.42\times 10^{-9}$ ,平均  $14.62\times 10^{-9}$ 。

花岗岩类 Au 丰度值,除新元古代晚期侵入岩较低,早古生代早期岩体、早古生代晚期和晚古生代侵入岩丰度值较高,平均  $5.7\times 10^{-9}$ 。此外,据青海八队资料,花岗闪长岩为  $5\times 10^{-9}\sim 19\times 10^{-9}$ ,斜长花岗岩为  $8\times 10^{-9}$ ,是地壳平均值的 2~5 倍。

岩石中成矿元素含量的高低可以作为矿源岩系的重要条件之一,但是不是必要的条件。最关键的

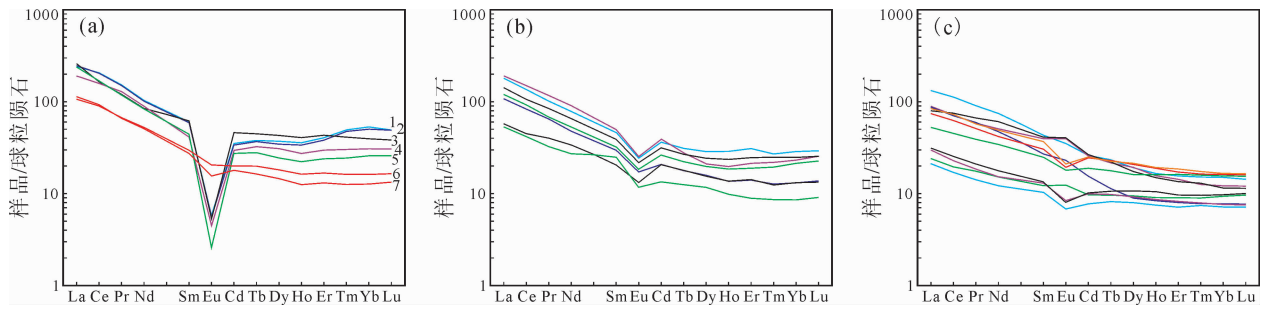


图 9 五龙沟金矿田相关岩体与金矿石稀土元素配分图

Fig. 9 REE patterns of gold ore and related magmatic bodies from Wulonggou gold ore field, eastern Kunlun Mountains

(a)—中酸性侵入岩, 1~5 为各类富含浸染状黄铁矿的花岗质杂岩体, 6, 7 为深层次强变形的片麻状花岗闪长岩(红旗沟脑岩体);

(b)—蚀变岩型金矿石; (c)—含微细毒砂、黄铁矿强蚀变岩金矿石

(a)—Intermediate-acid intrusive rocks, 1~5 are disseminated sulfide-rich granitic complex; 6~7 are deep well deformation gneissic granodiorite (Hongqigou gneissic granodiorite); (b)—altered rock type gold ore; (c)—well altered rock type gold ore with fine arsenopyrite and pyrite

是岩石中的成矿元素有多少能够被活化迁移出来、进入成矿流体中。

尽管从原新元古代解体出来的红旗沟脑片麻状花岗闪长岩金元素丰度不高( $2.26 \times 10^{-9}$ ), 但是由上地幔部分岩石与地壳岩石一起同熔形成的岩浆应该与其他印支期岩浆岩相似; 现在金元素丰度低了少掉的那部分金元素很可能正好进入了成矿流体。考虑到区内唯有红旗沟脑岩体发生了“明显的韧性变形、具片麻状构造, 而其他岩体都没有明显构造变形”的事实, 这个可能性是非常大的。

### 3.3.3 稀土元素的示踪意义

稀土元素因其稳定性被作为成矿作用的物源示踪。本文对五龙沟地区前人认为的矿化花岗岩类(包括黄铁矿沟富含黄铁矿二长花岗岩、闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩等, 其特点是含浸染状黄铁矿、没有变形, 与其他岩石呈侵入关系, 野外可见明显截切含金构造蚀变带, 风化后呈褐黄色)、红旗沟脑片麻状花岗闪长岩和蚀变岩金矿石进行了稀土元素测试, 其结果见图 9。从图中可以看出, 五龙沟地区包括黄铁矿沟富含黄铁矿二长花岗岩在内的花岗质杂岩体与红旗沟脑片麻状花岗闪长岩的稀土元素模式截然不同(图 9a); 而两类金矿石虽有小差异, 但总体非常一致(图 9b、c), 也与红旗沟脑片麻状花岗闪长岩的稀土元素特征非常相似(图 9)。

### 3.4 成矿地质体的确定

综上所述, 红旗沟脑片麻状花岗闪长岩成岩年龄与五龙沟金矿成矿年龄相匹配, 即成岩年龄比成矿年龄大 2~7Ma, 符合热液矿床形成稍后于成矿

地质体——岩浆侵入岩的冷却时间。同时, 红旗沟脑片麻状花岗闪长岩与五龙沟最主要的金矿化带的距离为 1.0~3.0km, 部分稍近(0.6~1.0km)或稍远(3.0~3.5km), 也符合中—低温热液型金矿床成矿作用特点。第三, 红旗沟脑片麻状花岗闪长岩与矿床物质成分具有相关性。所以, 在五龙沟金矿田, 红旗沟脑片麻状花岗闪长岩是金矿床的成矿地质体。

## 4 讨论

### 4.1 成矿结构面

成矿结构面是形成矿床不可或缺的三个要素之一(叶天竺等, 2014)。对于五龙沟金矿田的控矿构造, 许多学者开展了研究(Hu Zhengguo et al., 1998; Qian Zhuangzhi et al., 1998; Feng Chengyou et al., 2004; Zhang Dequan et al., 2007; Lu Lu, 2011; Kou Linlin et al., 2015; Chen Bailin et al., 2016), 大多数学者都认为韧性剪切带控矿, 但是对于本区韧性剪切带的控矿机理、与岩浆活动的关系、与成矿作用期次的关系等没有得到应有的关注。Chen Bailin et al. (2016) 研究认为, 在五龙沟金矿田范围内韧性剪切带发育非常有限, 只有在萤石沟—红旗沟断裂破碎带内的局部见及比较典型的韧性剪切带或脆韧性剪切带, 在该带 20 余千米范围内, 仅仅在龙潭沟东山梁、水闸西沟、水闸东沟和百吨沟等地可见长英质糜棱岩, 出露长度不到 5km, 而且在构造带剖面上也仅仅出露于北侧, 宽度也只有几米, 属于早期韧性剪切带的部分残留。而岩金沟、红旗沟断裂破碎带内, 主要是沿矿体两侧发育变形有限, 具体表现是花岗质岩石发生蚀变, 长石蚀变为绢云

母(白云母),该蚀变成因绢云母(白云母)定向排列,而石英未发生强烈韧性变形,而且离开矿体不远这种变形迅速减弱。这显然是由于矿化过程中成矿流体作用引起的局部脆性变形,而不是区域性韧性剪切变形。因此,五龙沟金矿田内金矿化是受脆性断裂破碎带控制,而不是区域性韧性剪切带控制。所以,五龙沟金矿田金矿床的成矿结构面是NW(NWW)向脆性断裂破碎带。

#### 4.2 成矿作用特征

五龙沟金矿田金矿床成矿作用特征在前文已经做了总结,其矿床类型为中—低温热液型金矿床。然而,五龙沟金矿田金矿成矿作用与叶天竺等(2017)描述的一般的中—低温热液型金矿又有一定的差异,这种差异主要表现为成矿作用是伴随构造变形发生的。

(1)不同于一般岩浆侵入岩,五龙沟金矿床成矿地质体是变形岩体(这也可能是前人将其作为新元古代晚期侵入岩的原因),但是成岩年龄又是比较新的,结合岩体内发育很多被拉长的闪长岩包体,这很可能是深层次韧性变形条件下以壳源为主、壳幔同熔作用形成和在定向应力作用下同构造侵位的。

(2)由于是这种以壳源为主、壳幔同熔作用形成,其中幔源物质的加入导致更高的金元素丰度,同时是伴随板块俯冲、深层次韧性变形、定向应力作用下同构造侵位的,那么相比于其他岩浆岩,岩浆中的金元素更容易活化迁移出来,进入成矿作用过程;正因为如此,致使其金含量降低,低于区内其他中酸性侵入岩。所以,岩石中成矿元素含量的高低并不是成为成矿物质提供者的必要条件,关键在于岩石中的成矿元素有多少能够被活化迁移出来、进入成矿流体中。即使只有 $1 \times 10^{-9}$ 如此低的Au元素能够被活化迁移出来、进入成矿流体,那么 $1 \text{ km}^3$ 的岩石就可以提供约3t金,一个 $10 \text{ km} \times 5 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 的地块就可以提供近300t金。

(3)成矿地质体与目前主要金矿化带之间为变形片麻岩和变形火山-沉积岩系,而且三者的面理构造几乎完全一致(均呈NWW走向,倾向NE,倾角 $55^\circ \sim 75^\circ$ ),反映出片麻状花岗闪长岩、变形片麻岩和变形火山-沉积岩系、花岗质糜棱岩中的各种变形构造属于同一期大规模韧性变形的产物。越接近金矿化带韧性变形表现越来越弱,如红旗沟东坡的晚古生代钾长花岗岩(锆石SHRIMP U-Pb年龄为395.7Ma)全岩发生了脆性变形(变形层次明显低于红旗沟脑片麻状花岗闪长岩),但是VII、IX和X

号矿带则赋存于该变形岩体内脆性变形带中,很显然金矿化作用是后期发生的。

(4)东昆仑区域构造演化具备壳幔同熔、深层次韧性变形的成矿构造背景。早三叠世,阿尼玛卿洋向北俯冲,俯冲带流体交代地幔楔,导致其部分熔融形成基性岩浆,底侵的基性岩浆诱发下地壳部分熔融并与之发生混合形成闪长岩岩浆,闪长岩岩浆上侵与壳源熔融的花岗质岩浆再混合形成花岗闪长岩,其中闪长岩包体就是混合不彻底的产物。同时板块俯冲构造环境具有挤压应力场条件,在定向构造应力作用条件下侵位、冷却、结晶形成的红旗沟脑岩体,具有片麻状构造特点。

#### 4.3 印支晚期多金属成矿作用

五龙沟金矿田除了金矿床外,还发育铅锌多金属矿床,最典型的是黑石山铅锌矿床,另外在黑石山外围、萤石沟一带等地发育有多金属矿点(图1b)。在过去的20多年里,一直把多金属矿与金矿床当作同一期成矿作用的产物,当作同一个成矿系列的不同分带。最近的研究(Chen Bailin et al., 2016; Han Yu et al., 2017)才将两种控矿构造系统和矿化蚀变特征进行了区分。所以从成矿地质体角度,多金属矿床与金矿床是不同的,多金属矿床的成矿地质体是稍晚含浸染状黄铁矿的中酸性杂岩体(岩性包括二长闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、闪长岩),这期中酸性杂岩体具有高侵位特点,明显穿切破坏了控制金矿床的线性控矿构造系统(Chen Bailin et al., 2016)。其地球化学显示更具碰撞后偏钠碱性岩的特征。这期含浸染状黄铁矿的中酸性杂岩体的侵位及所发生的多金属成矿温度明显比金矿床成矿温度要高。所以,本文测得的金矿床成矿温度 $195 \sim 319^\circ\text{C}$ (以 $230 \sim 280^\circ\text{C}$ 为主),而有的学者测得 $450^\circ\text{C}$ 的成矿温度(Zhao Caisheng, 2004),显然是把多金属成矿作用与金成矿作用混淆了。过高的成矿温度也与五龙沟金矿田内金矿床以细粒黄铁矿、微细针状毒砂、辉锑矿等相关矿物组合相矛盾的。

#### 4.4 金矿找矿预测意义

成矿地质体的厘定对于勘查区的找矿预测具有重要的意义。按照之前的认识,金矿床受岩金沟、萤石沟-红旗沟和三道梁-苦水泉三条韧性剪切带控制,金矿勘查找矿方向主要沿着三条韧性剪切带进行,虽然早期按照这个思路取得找矿进展。但是随着找矿工作的深入,特别是2012年五龙沟作为整装勘查区之后,投入更大,2012~2016年原有矿带的深部是主要增储部位,外围找矿除了百吨沟外,在红

旗沟 VII 和 IX 号带西段的黄铁矿沟(2012 年)、XI 号带西段的龙潭沟(2014 年)和萤石沟(2013 年)、XI 号带南东段的小泉沟(2015 年)、三道梁-苦水泉韧性剪切带东段的中支沟一带(2012 年)等多个普查区找矿效果都很不理想。金矿化最好(特别是深部)的部位只有 XI 号带水闸东沟—红旗沟口一段(约 5.5km)、VII 和 IX 号带三水窝沟—黄铁矿沟东山脊(约 5.5km)、III 号带黑风口—岩金沟(约 4.5km)的范围,与红旗沟脑片麻状花岗闪长岩成矿地质体的出露范围具有很好的对应性,即最好金矿体出露于红旗沟脑岩体南北两侧 0.6~3.5km 的范围内(图 1b)。

所以,五龙沟金矿成矿受成矿地质体和 NW(NWW)向构造破碎带联合控制。金矿体主要发育与距离成矿地质体 1.0~3.0km 范围内的 NW(NWW)向构造破碎带中,即在成矿地质体影响范围内,如果没有 NW(NWW)向构造破碎带,金矿体没有有效的赋存空间,难以形成有规模的金矿体;而虽有 NW(NWW)向构造破碎带,离开成矿地质体的影响范围,金矿化也迅速减弱。因此,在五龙沟金矿田范围内,除了前述 3 个现有最好矿化区段之外,其他区段金矿的找矿潜力有限。只有重新通过精细 1/2000~1/10000 地质填图,在五龙沟金矿田或者外围发现新的同类型成矿地质体,才有可能取得金矿找矿的新突破。

## 5 结论

(1)五龙沟金矿田金矿床类型属于中—低温热液型,矿化类型为构造破碎带蚀变岩型,成矿物质具有壳源为主,部分幔源混合特征,成矿温度为 195~319℃,成矿流体为岩浆水和大气降水的混合,矿物组合以微细黄铁矿、微细针状毒砂和不可见金为特征。

(2)红旗沟脑片麻状花岗闪长岩体为成矿地质体,也是金元素重要来源。岩体含有大量被拉长的闪长岩包体,矿物发生明显的韧性变形,具有壳源为主的壳幔同熔作用形成、在定向应力作用下同构造侵位的特点,成岩年龄 239~244Ma。壳幔同熔中幔源物质的加入带来更多金元素含量,定向应力作用下同构造侵位使金元素更容易活化迁移,进入成矿作用过程。

(3)金矿床主成矿期为印支早期,成矿年龄在 237Ma 左右;后期被 210Ma 含浸染状黄铁矿的中酸性杂岩体侵位吞食破坏。

(4)金矿床受成矿地质体和 NW(NWW)向构

造联合控制,金矿化主要发育于距离成矿地质体 1.0~3.0km 范围内的 NW(NWW)向构造破碎带中,即在成矿地质体影响范围内,没有 NW(NWW)向构造破碎带,金矿体没有赋存空间;相反,虽有 NW(NWW)向构造破碎带,离开成矿地质体影响范围,金矿化迅速减弱。

(5)进一步的金矿找矿方向是红旗沟脑片麻状花岗闪长岩成矿地质体的影响范围之内有偏脆性构造破碎带发育的部位、还有是新发现的或有隐伏的同类型成矿地质体的附近又有构造破碎带发育的区段。

**致谢:**参加野外地质调查的还有地质力学研究所王永助理研究员、孙岳、吴玉、孟令通、张昊、王铜、何江涛研究生和河北科技大学陈星彤副教授,北京离子探针中心、核工业北京地质矿产研究院和武汉地质调查中心分别完成了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、硫铅同位素和石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄的测试,成文过程与江万研究员、陈建林高工、韩玉高工等进行有益的交流,两位审稿专家提出宝贵的修改建议,在此一同表示感谢。

## 注 释

① 青海省第一地质矿产勘查院. 2010. 青海省都兰县五龙沟地区红旗沟-深水潭金矿区详查报告.

## References

- Changkakoti A, Gray J. 1988. Determination of radiogenic isotope (Rb/Sr, Sm/Nd and Pb/Pb) in fluid inclusion water: an example from the Bluebell Pb-Zn deposit. *British Columbia, Canada. Geochimica et Cosmochimica*, 52:1961~1967.
- Chen Bailin, Deng Yuanliang, Chen Jianlin, Zhang Yanlin, Wang Yong, Zhang Hao, Wang Tong, Han Yu. 2016. Two ore-controlling structure systems in Wulonggou gold orefield, Qinghai province and its expecting significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(2): 224~236 (in Chinese with English abstract).
- Chen Guangjun, Sun Fengyue, Li Bile, Wang Guan, Qian Ye, Xu Qinglin, Liu Guocai. 2014. Geochemistry and petrogenesis of Gouli mafic enclaves and their host rocks in eastern Kunlun. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(3): 892~904 (in Chinese with English abstract).
- Chen Youxin, Pei Xianzhi, Li Ruibao, Liu Zhanqing, Li Zhuochen, Zhang Xiaofei, Chen Guochao, Liu Zhigang, Ding Sanping, Guo Junfeng. 2011. Ziron U-Pb age of Xiaomiao Formation of Preterozoic in the eastern section of the east Kunlun orogenic belt. *Geoscience*, 25(3): 510~521 (in Chinese with English abstract).
- Dang Xingyan, Fan Guizhong, Li Zhiming, Fan Xiaohua, Gu Ying. 2006. Typic deposit analysis in the eastern Kunlun area, NW China. *Northwestern Geology*, 39(12):143~155 (in Chinese with English abstract).
- Fan Likun, Cai Yanping, Liang Haichuan, Li Honglu. 2009. Characters and evolution of the geodynamics in the eastern Kunlun. *Geological Survey and Research*, 33(3): 181~186 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Wang Fuchun, She Hongquan, Li Daxin, Wang Yan. 2004. Multiple orogenic processes and

- geological characteristics of the major orogenic gold deposits in east Kunlun area, Qinghai province. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(4):415~422 (in Chinese with English abstract).
- Han Yu, Chen Bailin, Deng Yuanliang, Chen Jianlin, Wang Yong, Zhang Hao, Wang Tong, Li Shaonan, Li Shaoping. 2017. Two alteration episodes of the Wulonggou gold ore field in Qinghai Province and its prospecting significance. *Acta Geologica Sinica*, 91(3): 561~570 (in Chinese with English abstract).
- Hu Zhengguo, Liu Jiqing, Qian Zhuangzhi, Li Houmin, Sun Jidong, Su Chunqian, Yan Zhen. 1998. A study of the regional metallogenic regularity in east Kunlun Mountains. *Gold Science and Technology*, 6(5-6): 6~13 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geomechanics, CAGS. 2015. Structural analysis on the Wulonggou gold ore field in eastern Kunlun area and further exploration. Beijing: Institute of Geomechanics, CAGS, 1~147 (in Chinese).
- Kou Linlin, Luo Mingfei, Zhong Kanghui, Zhao Changxin. 2010.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the I gold-bearing shear zone on the gold-ore collected belt of the Wulonggou, Qinghai, and its significance. *Xinjiang Geology*, 28(3):330~333 (in Chinese with English abstract).
- Kou Linlin, Zhang Sen, Zhong Kanghui, Tian Chengsheng. 2015. A study of the deformation characteristics of the ductile shear zone in the Wulonggou gold ore concentration area, east Kunlun, Qinghai. *Geology in China*, 42(2): 495~503 (in Chinese with English abstract).
- Li Houmin, Shen Yuanchao, Hu Zhengguo, Qian Zhuangzhi. 2001a. Minerogenetic mechanism and condition of Wulonggou gold deposit in east Kunlun Mountains, Qinghai province. *Geology and Prospecting*, 37(1): 65~69 (in Chinese with English abstract).
- Li Houmin, Shen Yuanchao, Hu Zhengguo, Tang Hongyun, Qian Zhuangzhi, Liu Jiqing, Sun Jidong. 2001b. Study on the occurrence and content of gold in minerals and ores of Wulonggou gold deposit, Qinghai province. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(1):89~94 (in Chinese with English abstract).
- Li Xi, Yuan Wanming, Hao Nana, Duan Hongwei, Chen Xiaoning, Mo Xuanxue, Zhang Aikui. 2014. Characteristics and tectonic setting of granite in Wulonggou area, east Kunlun Mountains. *Global Geology*, 33(2): 275~288 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bin, Ma Changqian, Guo Pan, Zhang Jinyang, Xiong Fuhao, Huang Jian, Jiang Hong'an. 2013. Discovery of the middle Devonian A-type granite from the eastern Kunlun orogen and its tectonic implication. *Earth Science*, 38(5):947~962 (in Chinese with English abstract).
- Liu Gang. 2002. Remote sensing extraction of alteration information related to the Wulonggou gold deposit, east Kunlun Mountains. *Remote Sensing for Land & Resources*, (4):60~62 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shibao, Wei Zhanhao, Dou Guangyuan, Dang Hongliang, Yun Qicheng, Qi Changwei, Qi Falong, Ma Yuanlin, Tan Tan. 2016. Mineralized elements enrichment regularity of orebody and its predictive effect of Wulonggou gold deposit in Dulan County, Qinghai Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 32(1): 43~50 (in Chinese with English abstract).
- Lu Lu, Zhang Yanlin, Wu Zhenhan, Hu Daogong. 2013. Zircon U-Pb dating of early Paleozoic granites from the east Kunlun Mountains and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(4): 447~454 (in Chinese with English abstract).
- Lu Lu. 2011. Study on the ore-controlling structure of Wulonggou gold deposit in East Kunlun Mountain. Beijing: Chinese Academy of Geological Science, 1~93 (in Chinese with English abstract).
- Ma Fugui, Tian Chengsheng, Ma Guodong, Zhao Farui, Chen Sulong. 2016. Further study and determination of the metallogenic epoch of Wulonggou gold deposit in Qinghai Province. *Geology and Resources*, 25(5): 449~453 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Yu Xuehui, Liu Chengdong, Chen Hongwei, Yuan Wanming, Liu Yunhua. 2007. Granitoids and crustal growth in the east-Kunlun orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 403~414.
- Qian Zhuangzhi, Hu Zhengguo, Liu Jiqing. 1998. Northwest ductile shear zones and their tectonic setting in the east Kunlun Mountains. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25(2):201~205 (in Chinese with English abstract).
- Qian Zhuangzhi, Hu Zhengguo, Liu Jiqing, Li Houmin, Sun Jidong, Su Chunqian, Zhang Xin'guang. 1999. Characteristics of tectonic deformation in Shihuigou ductile shear zone and its significance. *Qinghai Geology*, 8(1): 23~29 (in Chinese with English abstract).
- Qian Zhuangzhi, Li Houmin, Hu Zhengguo. 1997. Study of structures controlling gold deposits in Wulonggou areas, Qinghai Province. *Journal of Xi'an College of Geology*, 19(S): 27~32 (in Chinese with English abstract).
- Rossman G R, Weis D, Wasserburg G J. 1987. Rb, Sr, Nd and Sm concentrations in quartz. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51:2325~2329.
- Shepard S M P. 1977. The Cornubian Batholith, SW England:  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  studies of kaolinite and other alteration minerals. *J. Geol. Soc. Lond.*, 133: 573~591.
- Shepard S M P. 1981. Stable isotope geochemistry of fluids. In: Richard D T, Wickman F E, eds. *Chemistry and geochemistry of solutions at high temperatures and pressures*. *Phys. Chem. Earth* 13/14, 419~445.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, Zhang Jianxin, Zeng Lingsen, Jiang Mei. 2006. The Qinghai-Tibet plateau and conditional dynamics: a review on terrain tectonics, collisional orogenesis, and processes and mechanisms for the rise of the plateau. *Geology in China*, 33(2):221~227 (in Chinese with English abstract).
- Yan Wei, Qiu Dianming, Ding Qingfeng, Liu Fei. 2016. Geochronology, petrogenesis, source and its structural significance of Houtougou monzogranite of Wulonggou area in eastern Kunlun orogen. *Journal of Jilin University*, 46(2):443~460 (in Chinese with English abstract).
- Yin An. 2001. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(3): 193~230 (in Chinese).
- Yuan Wanming, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, Luo Zhaohua. 2000a. The record of indosinian tectonic setting from the granitoid of eastern Kunlun Mountains. *Geological Review*, 46(2):203~211 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Wanming, Wang Shicheng, Wang Lanfen. 2000b. Metallogenic thermal history of the Wulonggou gold deposits in east Kunlun Mountains in the light of fission track thermochronology. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(4): 389~395 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Wanming, Mo Xuanxue, Wang Shicheng, Zhang Xueting. 2003. The relationship between gold mineralization and regional tectonic evolution in the eastern Kunlun mountains. *Geology and Prospecting*, 39(3):5~8 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Dang Xingyan, She Hongquan, Li Daxin, Feng Chengyou, Li Jinwen. 2005. Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and east Kunlun Mountains and its geological significance. *Mineral Deposits*, 24(2):87~98 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, Xu Wenyi, Yan Shenghao, She Hongquan, Dong Yingjun, Cui Yanhe. 2001. Orogenic gold deposits in the north Qaidam and east Kunlun orogen, west China. *Mineral Deposits*, 20(2): 137~146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Wang Fuchun, She Hongquan, Feng Chengyou, Li



- Daxin, Li Jinwen. 2007. Three-orderore controlling structural system of orogenic gold deposits in the northern Qaisam margin-east Kunlun region. *Geology in China*, 34(1): 92~99 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinyang, Ma Changqian, Li Jianwei. 2012. Visible gold-forming environment evidenced by sulfide mineralogical characteristics of Shuizhadonggou-Huanglonggou gold deposit in eastern Kunlun orogen. *Mineral Deposits*, 31(6): 1184~1194 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yanbin, Zhong Kanghui, Yi Guihua, Ma Hui. 2009. The extraction of remote sensing geological information and metallogenic prediction of gold mineralized concentrate district in Wulonggou, east Kunlun Mountains. *Geology and Exploration*, 45(4): 444~449 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yanlin, Han Yu, Zhang Peiqing, Tian Chengsheng, Chen Jianlin. 2011. Characteristics and prospecting potential of gold mineralized zone XI in Wulonggou gold deposit, eastern Kunlun. *Gold*, 32(9): 9~15 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Caisheng. 2004. Gold-silver mineralization in the east-Kunlun orogenic belt, Qinghai Province. Changchun: Jilin University, 1~142.
- Zhao Junwei. 2008. Study on minerogenetic series of orogenic gold deposits in the east-Kunlun orogenic belt, Qinghai Province. Changchun: Jilin University, 1~189.
- Zhong Caili, Zhong Kanghui, Ran Fengqin. 2017. Geological characters of Yanjingou gold ore in Qinghai Province Wulonggou area. *Sichuan Nonferrous Metals*, (1): 32~35 (in Chinese with English abstract).
- ### 参 考 文 献
- 陈柏林, 邓元良, 陈建林, 张延林, 王永, 张昊, 王铜, 韩玉. 2016. 青海五龙沟金矿田两种控矿构造识别及其找矿意义. *大地构造与成矿学*, 40(2): 224~236.
- 陈广俊, 孙丰月, 李碧乐, 王冠, 钱烨, 徐庆林, 刘国才. 2014. 东昆仑沟里地区暗色包体及其寄主岩石地球化学特征与成因. *吉林大学学报(地球科学版)*, 44(3): 892~904.
- 陈有妍, 裴先治, 李瑞保, 刘战庆, 李佐臣, 张晓飞, 陈国超, 刘智刚, 丁仁平, 郭俊锋. 2011. 东昆仑造山带东段元古界小庙岩组的锆石 U-Pb 年龄. *现代地质*, 25(3): 510~521.
- 党兴彦, 范桂忠, 李智明, 范晓华, 顾英. 2006. 东昆仑成矿带典型矿床分析. *西北地质*, 39(2): 143~155.
- 范丽琨, 蔡岩萍, 梁海川, 李宏录. 2009. 东昆仑地质构造及地球动力学演化特征. *地质调查与研究*, 33(3): 181~186.
- 丰成友, 张德全, 王富春, 李大新, 余宏全. 2004. 青海东昆仑复合造山过程及典型造山型金矿地质. *地球学报*, 25(4): 415~422.
- 韩玉, 陈柏林, 邓元良, 陈建林, 王永, 张昊, 王铜, 李少南, 李少平. 2017. 青海五龙沟金矿田两期蚀变作用及其找矿意义. *地质学报*, 91(3): 561~570.
- 胡正国, 刘继庆, 钱壮志, 李厚民, 孙继东, 苏春乾, 闫臻. 1998. 东昆仑区域成矿规律初步研究. *黄金科学技术*, 6(5-6): 6~13.
- 寇林林, 罗明非, 钟康惠, 赵昌新. 2010. 青海五龙沟金矿集区 I 号韧性剪切带  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义. *新疆地质*, 28(3): 330~333.
- 寇林林, 张森, 钟康惠, 田承盛. 2015. 东昆仑五龙沟金矿集区韧性剪切带构造变形特点研究. *中国地质*, 42(2): 495~503.
- 李厚民, 沈远超, 胡正国, 钱壮志. 2001a. 青海东昆仑五龙沟金矿床成矿条件及成矿机理. *地质与勘探*, 37(1): 65~69.
- 李厚民, 沈远超, 胡正国, 汤红云, 钱壮志, 刘继庆, 孙继东. 2001b. 青海五龙沟金矿床矿石、矿物含金性及金的赋存状态. *矿物学报*, 21(1): 89~94.
- 李华芹, 刘家齐, 魏琳. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 1~108.
- 李希, 袁万明, 郝娜娜, 段宏伟, 陈小宁, 莫宣学, 张爱奎. 2014. 东昆仑五龙沟花岗岩特征及其构造背景. *世界地质*, 33(2): 275~288.
- 刘彬, 马昌前, 郭盼, 张金阳, 熊富浩, 黄坚, 蒋红安. 2013. 东昆仑中泥盆世 A 型花岗岩的确定及其构造意义. *地球科学(中国地质大学学报)*, 38(5): 947~962.
- 刘刚. 2002. 东昆仑五龙沟金矿围岩蚀变的遥感识别. *国土资源遥感*, (4): 60~62.
- 刘世宝, 魏占浩, 窦光源, 党洪量, 云启成, 祁昌炜, 祁发龙, 马元林, 谈艳. 2016. 青海省都兰县五龙沟金矿床矿体富集规律及其预测效果. *华南地质与矿产*, 32(1): 43~50.
- 陆露. 2011. 东昆仑五龙沟金矿构造控矿特征研究. 北京: 中国地质科学院硕士学位论文.
- 陆露, 张延林, 吴珍汉, 胡道功. 2013. 东昆仑早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地球学报*, 34(4): 447~454.
- 马福贵, 田承胜, 马国栋, 赵发睿, 陈苏龙. 2016. 青海五龙沟金矿成矿时代的进一步研究和确定. *地质与资源*, 25(5): 449~453.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 喻学惠, 刘成东, 湛宏伟, 袁万明, 刘云华. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长. *高校地质学报*, 13(3): 403~414.
- 钱壮志, 李厚民, 胡正国. 1997. 青海五龙沟地区金矿控矿构造研究. *西安地质学院学报*, 19(增刊): 27~32.
- 钱壮志, 胡正国, 刘继庆. 1998. 东昆仑北西向韧性剪切带发育的区域构造背景——以石灰沟韧性剪切带为例. *成都理工大学学报*, 25(2): 201~205.
- 钱壮志, 胡正国, 刘继庆, 李厚民, 孙继东, 苏春乾, 张心广. 1999. 石灰沟韧性剪切带构造变形特征及其研究意义. *青海地质*, 8(1): 23~29.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1~662.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 曾令森, 姜枚. 2006. 青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及隆升的深部驱动力. *中国地质*, 33(2): 221~227.
- 严威, 邱殿明, 丁清峰, 刘飞. 2016. 东昆仑五龙沟地区猴头沟二长花岗岩年龄、成因、源区及其构造意义. *吉林大学学报*, 46(2): 443~460.
- 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 2014. 勘查区找矿预测理论与方法(总论). 北京: 地质出版社, 1~702.
- 叶天竺, 韦昌山, 王玉往, 等. 2017. 勘查区找矿预测理论与方法(各论). 北京: 地质出版社, 1~594.
- 尹安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化—显生宙亚洲大陆生长. *地球学报*, 22(3): 193~230.
- 袁万明, 莫宣学, 喻学惠, 罗照华. 2000a. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录. *地质论评*, 46(2): 203~211.
- 袁万明, 王世成, 王兰芬. 2000b. 东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据. *地球学报*, 21(4): 389~395.
- 袁万明, 莫宣学, 王世成, 张雪婷. 2003. 东昆仑成矿作用与区域构造演化的关系. *地质与勘探*, 39(3): 5~8.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余洪全, 童英俊, 崔艳合. 2001. 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床. *矿床地质*, 20(2): 137~146.
- 张德全, 党兴彦, 余宏全, 李大新, 丰成友, 李进文. 2005. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义. *矿床地质*, 24(2): 87~98.
- 张德全, 王富春, 余宏全, 丰成友, 李大新, 李进文. 2007. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的三级控矿构造系统. *中国地质*, 34(1): 92~99.
- 张金阳, 马昌前, 李建威. 2012. 东昆仑水闸东沟-黄龙沟金矿床硫化物矿物学特征对可见金形成条件的制约. *矿床地质*, 31(6): 1184~1194.
- 张延斌, 钟康惠, 易桂花, 马辉. 2009. 东昆仑五龙沟金矿集区遥感地质信息提取与找矿预测. *地质与勘探*, 45(4): 444~449.
- 张延林, 韩玉, 张培青, 田承胜, 陈建林. 2011. 东昆仑五龙沟金矿床 XI 号金矿化带特征及找矿前景. *黄金*, 32(9): 9~15.
- 赵财胜. 2004. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用. 长春: 吉林大学, 1~142.
- 赵俊伟. 2008. 青海东昆仑造山带造山型金矿床成矿系列研究. 长春: 吉林大学, 1~189.

钟财丽, 钟康惠, 冉凤琴. 2017. 青海五龙沟地区岩金沟金矿床地质

特征. 四川有色金属, (1): 32~35.

## Geological characteristics of the Wulonggou gold ore field and determination of metallogenic geological bodies in East Kunlun Mountains

CHEN Bailin\*

*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081**\* Corresponding author: cblh6299@263.net*

### Abstract

The Wulonggou gold ore field is located in the middle part of East Kunlun orogenic belt, which hosts several gold deposits occurring mainly along three NWW-trending fault fracture zones, i. e. Yanjingou, Yinshigou-Hongqigou and Sandaoliang-Kushuiquan zones. Comprehensive analysis of the geological characteristics indicates that gold deposits are low-middle temperature hydrothermal in genesis and mineralization type is altered rocks in structural fracture zones. Gold mineralization occurred at about 195~319°C of temperature, mineralization material derived mainly from the crust with part from the mantle, and ore-forming fluid was mixing of magmatic water and meteoric water. The mineral assemblage is characterized by fine-grained pyrite, fine needle arsenopyrite and invisible grains of gold. Comparison study was conducted in aspects such as spatial distribution of geological bodies and deposits, correlation of geological bodies and ore-forming materials, as well as the diagenetic epoch and metallogenic epoch between geological bodies and deposits. The results show that the Hongqigou gneissic granodiorite belongs to metallogenic geological bodies of the Wulonggou gold deposits and provides most of ore-forming elements. A large amount of elongated diorite are entrapped within the geological bodies and minerals underwent distinct ductile deformation, suggesting characteristics of syntaxis with dominant crust material and minor mantle material, and emplacement of syn-tectonic intrusive rock under the condition of NE-trending stress in Early Indo-Chinese epoch about 239~244 Ma. During the process of syntaxis, the addition of mantle material brought more metallic elements, and syn-tectonic emplacement facilitated gold element easily to activate and migrate into mineralization process under the influence of directional stress. Based on Rb-Sr isochron age of quartz fluid inclusion, the gold deposits formed at about 237 Ma, indicating that mineralization occurs in Early Indo-Chinese epoch, followed the replacement of the disseminated pyrite-rich granitic complex at 210 Ma. The gold deposits are controlled by ore-bearing geological bodies (Hongqigou granodiorite) and NWW-trending structural belts, with gold mineralization occurring in the NWW-trending structural belts about 1~3.0 km far away from ore-bearing geological bodies. If no NWW-trending structural zone with effect range of the metallogenic geological bodies, there are no space for Au-bearing bodies. Even the places in which there are NWW-trending structural zones far from effect range of ore-forming geological bodies, gold mineralization weakens quickly. The direction of further prospecting for gold deposits should concentrate on the places with well-developed NWW-trending structural belts, on which the Hongqigou gneiss granodiorite still impose its influence, or the places close to hidden geological bodies.

**Key words:** low-middle temperature hydrothermal deposit; metallogenic geological bodies; metallogenic and diagenetic epoch; further prospecting of gold deposit; Wulonggou gold ore field