

文章编号 10258-7106(2007)04-0361-19

新疆西南天山金矿床主要类型、特征及成矿作用^{*}

杨富全¹, 毛景文¹, 王义天¹, 赵财胜², 张岩³, 刘亚玲¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

3 宁夏国土资源厅信息中心, 宁夏 银川 750002)

摘 要 文章在总结前人研究成果的基础上, 综合论述了西南天山金矿的成矿地质背景、金矿床的时空分布和基本特征。根据矿床地质特征和控矿因素, 将西南天山的金矿划分为与剪切带有关的金矿床、与侵入岩有关的金矿床(包括斑岩型)、石英-重晶石脉型金矿床、与火山岩有关的金矿床和矽卡岩型金矿床5类, 其中与剪切带有关的金矿床是最重要的矿床类型。探讨了西南天山金矿的成矿时代、成矿物质和成矿流体来源, 以及成矿地球动力学机制。提出与剪切带有关的金矿床成矿物质主要来源于岩浆和海相碳酸盐岩, 成矿流体主要来源于岩浆水或主要来自大气降水, 混合少量岩浆水。石英-重晶石脉型金矿床成矿物质来自容矿地层, 成矿流体主要来源于沉积建造水。与剪切带有关的金矿、与侵入岩有关的金矿、石英重晶石脉型金矿和矽卡岩型金矿成矿时代主要集中在二叠纪—三叠纪, 形成于后碰撞构造演化阶段。斑岩型和浅成低温热液型金矿床形成于岛弧挤压环境。

关键词 地质学, 金矿床, 成矿作用, 地球动力学背景, 西南天山, 新疆, 综述

中图分类号: P618.51

文献标识码:

Major types, characteristics and metallogenesis of gold deposits in southwest Tianshan Mountains, Xinjiang

YANG FuQuan¹, MAO JingWen¹, WANG YiTian¹, ZHAO CaiSheng², ZHANG Yan³ and LIU YaLing¹

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3 Information Center of Ningxia Department of Land and Resources, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract

The metallogenic setting, time-space distribution and basic characteristics of gold deposits in southwest Tianshan Mountains are described briefly in this paper. According to geological characteristics and ore-controlling factors, the gold deposits in southwest Tianshan Mountains can be classified into five principal types, namely, (1) shear zone-related gold deposits, (2) intrusion-related gold deposits, including porphyry deposits, (3) quartz-barite vein-type gold deposits, (4) volcanics-related gold deposits, and (5) skarn-type gold deposits. Among them, the shear zone-related gold deposits constitute the main type of gold deposits in this region. The shear zone-related gold deposits occur in Late Silurian, Early Devonian and Carboniferous carbonaceous clastic rocks and pyroclastic rocks, with the ore-hosting rocks assuming characteristics of turbidites. Gold mineralized zones are controlled by shear zones and gold ore bodies are governed by dilational fracture zones within these shear zones. Gold mineralization is related to the deformation caused by ductile shearing and magmatic activity.

^{*} 本文得到国家重点基础研究发展计划项目(编号 2007CB411302, 2001CB 409807)、国土资源大调查项目(1212010561506)和国家自然科学基金项目(编号 40672065)的资助

第一作者简介 杨富全, 男, 1968年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床学、矿床地球化学研究。E-mail: fuquanyang@163.com。

收稿日期 2007-02-09; 改回日期 2006-03-28。张绮玲编辑。

The intrusion-related gold deposits occur in internal contact zones, exo-contact zones and fractured zones in the nearby pluton. These plutons are mainly granodiorite, granite and quartz porphyry, with minor alkali feldspar granite and mafic dykes. Gold mineralization can be divided into quartz vein type, porphyry type and altered rock type. The quartz-barite vein-type gold deposits occur in Upper Devonian fine-grained clastic rocks. Gold mineralization is controlled by a series of gently tilted fractured zones. The volcanics-related gold deposits are related to Silurian and Carboniferous volcanic hydrothermal activity, with most deposits commonly associated with Cu deposits. The skarn gold deposits occur in the garnet-diopside skarn in the exo-contact zones of the pluton and are commonly associated with Cu, Sn and Fe polymetallic deposits.

The ore-forming materials of the shear zone-related gold deposits were mainly derived from magmatic and carbonate carbon, and ore-forming fluids came chiefly from magmatic fluids or meteoric water, with a minor part from magmatic fluids. The ore-forming fluids of the quartz-barite vein-type gold deposits were mainly derived from basinal fluids, and the ore-forming substances came predominantly from the sedimentary host rocks. The shear zone-related gold deposits, intrusion-related gold deposits, quartz-barite vein-type gold deposits and skarn gold deposits occur in Permian-Triassic strata and were formed in the post-collision period. The porphyry gold deposits and epithermal gold deposits were formed in an arc compressional environment.

Key words: geology, gold deposit, metallogenesis, tectonic setting, southwest Tianshan Mountains, Xinjiang, summarization

西南天山的范围为乌鲁木齐-库尔勒公路以西,西延至中-吉边界的东阿赖山,北到那拉提山南缘-额尔宾山北坡-巴伦台-库米什一线,南到塔里木盆地西北缘。中亚南天山锑-汞-金成矿带是世界著名的成矿带之一(叶庆同等,1999),已发现了几个世界级和超大型金矿床,如乌兹别克斯坦的南天山西段发现了穆龙套金矿(储量世界第二,Wilde et al.,2001;Yakubchuk et al.,2002)吉尔吉斯斯坦的库姆托尔金矿(世界上十大金矿床之一,Yakubchuk et al.,2002;Mao et al.,2004)塔吉克斯坦的吉拉乌金矿床(Cole et al.,2000)等。新疆西南天山是其东延部分,成矿地质条件相似,近年来先后发现了萨瓦亚尔顿、大山口、萨恨托亥、布隆等金矿床和一些金矿(化)点,展现了良好的成矿前景。

对本区系统的区域地质调查和找矿勘查工作始于20世纪50年代。80年代以来,新疆地质矿产勘探开发局、新疆有色地质局、中国地质调查局、国家科技攻关'305'项目和国家重点基础研究发展规划项目("973"项目)在西南天山进行了不同程度的基础地质、典型矿床解剖、成矿时代和成矿规律方面的研究(刘本培等,1996;叶庆同等,1999;叶锦华等,1999;冯天林等,1999;王立本等,2000^①;孟祥金等,2000;郑明华等,2001;陈富文等,2003;杨建国等,

2004;刘家军等,2002;2004a;2004b;韩宝福等,2004;杨富全等,2003;2004;2005;Yang et al.,2006;高俊等,2006)。叶庆同等(1999)、杨富全等(1999)根据成矿流体来源对西南天山金矿类型进行过划分,但由于该地区的金矿多数为矿点,研究程度很低,其成因还不清楚,因此有必要依据直观标准对金矿床类型进行重新划分。本文是在前人大量工作的基础之上,结合多年来在西南天山工作的成果,对研究区的金矿床类型进行了划分,初步总结了矿床时空分布规律、矿床地质特征、成矿物理化学条件、地球化学特征和成矿流体来源,探讨了金成矿地球动力学背景和成矿作用,以推动西南天山金成矿规律的总结和进一步地质找矿工作的开展。

1 成矿地质背景

西南天山在大地构造上位于哈萨克斯坦板块的伊犁微板块和塔里木板块的北缘活动带及柯坪古生代前陆盆地。作为中亚造山带的重要组成部分,该区经历了长期的地质演化历史,哈萨克斯坦板块和塔里木板块在古生代期间的增生、碰撞和消亡的古亚洲洋壳之间的相互作用,构成西南天山大地构造演化的主旋律(Coleman,1989;肖序常等,1992;Han

① 王立本,郑明华,蔡宏渊,杨富全,等.2000.南天山大型贵重有色金属矿床成矿条件、靶区优选和评价.国家305项目专题报告.

et al., 2006)。

出露的基底为古-中元古界(图1),为一套片麻岩、片岩、变粒岩夹石英岩。震旦系出露较少,为碎屑岩和冰碛岩。寒武系和奥陶系主要分布在柯坪地区,前者由浅海相灰岩夹粉砂岩和页岩组成,下寒武统为含磷硅质建造,后者为灰岩、白云岩、细碎屑岩。下古生界广泛分布,志留系为一套碎屑岩和碳酸盐岩,上志留统一下泥盆统为碎屑岩、灰岩、基性火山岩和硅质岩。中泥盆统为一套海相碳酸盐岩夹碎屑岩,局部夹凝灰岩。上泥盆统为碳酸盐岩、中基性火山岩、火山碎屑岩、硅质岩,局部为泻湖相灰岩、粉砂岩。下石炭统为灰岩、细碎屑岩,上石炭统由细碎屑岩夹灰岩组成。二叠系分布局限,主要出露于柯坪、哈尔克山南坡、阔克莎勒岭地区,下二叠统主要由玄武岩、安山岩、凝灰岩和陆相碎屑岩组成。上二叠统为陆相砂砾岩、粉砂岩、泥岩。中生界发育在山前和山间盆地,为一套河湖相碎屑岩,局部夹煤层和陆相火山岩。第三系为陆相碎屑岩夹石膏层,局部有碳酸盐岩。

西南天山最古老的元古宙侵入岩分布于和静县北部巴伦台一带,为片麻状石英闪长岩和片麻状花岗岩闪长岩(全岩 Rb-Sr 法等时线年龄为 818 Ma,新疆地质矿产勘探开发局,1993)。早古生代侵入岩主要沿中天山南缘断裂的那拉提-额尔宾山分布,为同造山的加里东花岗岩带,时代为 436~398 Ma (Hopson et al., 1989; 朱志新等, 2006)。在南天山巴音布鲁克东、野云沟、库米什一带形成时代为 490~380 Ma (锆石 U-Pb, 韩宝福等, 2004)的花岗岩。晚古生代岩浆岩主要出露于西南天山东段,其中泥盆纪侵入岩为同熔型钙碱系列,以二长花岗岩和钾长花岗岩为主,其次为闪长岩、花岗闪长岩和碱长花岗岩。石炭纪侵入岩最发育,呈带状分布,展布方向与区域构造线一致,为造山期钙碱系列花岗岩类,以二长花岗岩、钾长花岗岩为主,其次为闪长岩、花岗闪长岩。二叠纪侵入岩体数量少,主要分布在西南天山西段,为后碰撞碱性花岗岩类,其时代多为中二叠世(275~260 Ma, 邹天人等, 1996^①; 姜常义等, 1999; 杨富全等, 2001)。三叠纪—侏罗纪岩浆活动微弱,仅在萨瓦亚尔顿矿区发育辉绿岩脉, K-Ar 法同位素年龄为 $(207 \pm 4.2) \text{ Ma} \sim (128 \pm 2.6) \text{ Ma}$ (刘家军等, 2004a)。

2 矿床空间分布规律

西南天山已发现的金矿床和矿点在空间上有一定的分布规律,其一是沿大断裂或剪切带分布,集中在乌恰县东阿赖山(如萨瓦亚尔顿、吉根)、乌什县乌什北山(如其吕特克、卡拉脚古牙、阿什特勒、卡恰)、哈尔克山北坡(如阿特亥萨依)和静县乌兰赛尔-大山口(大山口、萨恨托亥)。这些矿床(点)明显受剪切带和区域大断裂控制,如大山口金矿和萨恨托亥金矿受大山口-萨恨托亥韧性剪切带控制,萨瓦亚尔顿大型金矿床、萨瓦亚尔顿金-铅锌多金属矿点明显受吉根-萨瓦亚尔顿脆韧性剪切带制约,其吕特克金矿点受哈热别勒区域断裂控制,阿特亥萨依金矿化点受图拉苏区域断裂控制,布隆金矿床受喀拉铁克大断裂的次级断裂控制。产于剪切带中的金矿在不同尺度上表现出三级控矿作用,即矿带、矿床和矿体的产出分别受控于三级剪切构造,金矿带受大型剪切构造带控制,金矿床受次级韧性剪切带控制,韧性剪切带中更次级的片理化带、叠加的脆性破碎带和里德尔剪切裂隙等变形构造控制矿体的产出。

金矿床(点)空间分布的另一个特点是分布在侵入岩中及周围,集中分布于巴伦台一带、乌什北山、霍什布拉克等地。霍什布拉克—塔木一带的金矿主要分布在二叠纪碱长花岗岩和钾长花岗岩外接触带石榴石透辉石矽卡岩中和岩体附近的断裂破碎带内,矿体受岩体接触带构造、岩体内及其附近破碎带、节理裂隙带的控制。巴伦台一带的金矿分布在花岗岩、花岗闪长岩中。托克逊县硫磺山金银多金属矿床分布在石英斑岩中,矿化呈浸染状、细脉浸染状、条带状。

3 主要金矿床类型及特征

金矿床类型划分有多种分类原则,至今没有通用的分类标准,一些学者根据容矿岩系、矿体形态、构造环境、温度、矿床成因等作为划分原则,对金矿提出了多种划分方案,目前国内外学者多采用混合分类,如 Rui 等(2002)将新疆金矿床类型划分为造山型、浅成低温热液型、交代型、热泉型、斑岩型和 VMS 型。Mao 等(2005)将东天山金矿床划分为蚀

① 邹天人,徐珏,杨岳清,等.1995.依兰里克地区碱性岩及成矿关系研究.国家305项目专题报告.

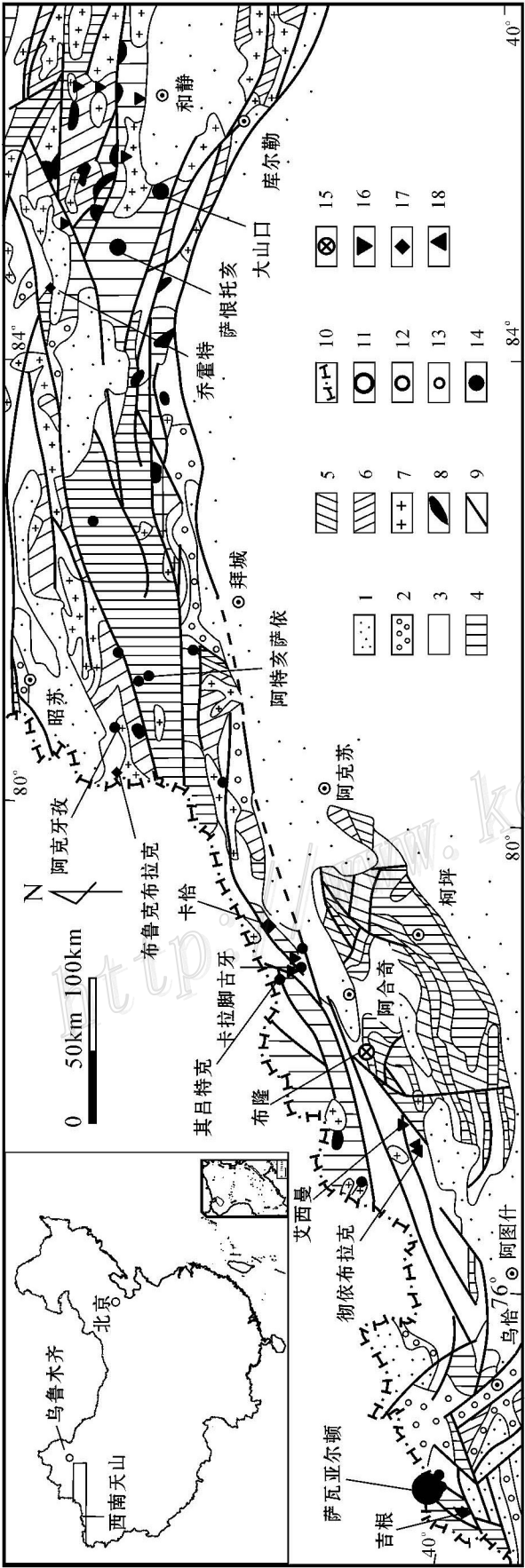


图 1 西南天山地质概况及金矿分布略图(据王立本等,2000^①;郑明华等,2001;马丽芳等,2002;杨建国等,2004 资料编制)

1—第四系;2—中生界;3—石炭系—二叠系;4—志留系—泥盆系;5—寒武系—奥陶系;6—元古宇;7—侵入岩;8—镁铁-超镁铁岩;9—断层;10—国界;11—大型矿床;12—小型矿床;13—矿点;14—与剪切带有关的金矿床;15—石英-重晶石脉型金矿床;16—与侵入岩有关的金矿床;17—与火山岩有关的金矿床;18—砂卡岩型金矿床

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution of gold deposits in southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang (modified after Wang et al., 2000^①; Zheng et al., 2001; Ma et al., 2002; Yang et al., 2004)

1—Quaternary, 2—Mesozoic, 3—Carboniferous-Pennian, 4—Silurian-Devonian, 5—Cambrian-Ordovician, 6—Intrusive rock, 7—Mafic-ultramafic rock, 8—Fault, 9—National boundary, 10—Large-size deposit, 11—Small-size deposit, 12—Shear zone-related gold deposit, 13—Ore spot, 14—Quartz-barite vein-type gold deposit, 15—Intrusion-related gold deposit, 16—Volcanics-related gold deposit, 17—Skarn gold deposit, 18—

① 王立本,叶庆同,杨富全,等. 2002. 1:50 万南天山大型贵重、有色金属矿床成矿规律和成矿预测图. 国家 305 项目专题报告.

变岩型(造山型)、石英脉型和浅成低温热液型。笔者根据矿床地质特征、产出特点、控矿因素和成矿机制,采用混合分类将新疆西南天山金矿划分为与剪切带有关的金矿床、与侵入岩有关的金矿床(包括斑岩型)、石英-重晶石脉型金矿床、与火山岩有关的金矿床和矽卡岩型金矿床5类。与剪切带有关的金矿床是西南天山主要金矿类型,以萨瓦亚尔顿、大山口和萨根托亥金矿床为典型代表。与侵入岩有关的金矿床分布较广,目前发现的金矿规模较小,多为矿点,以艾西曼金矿点、吉根铜金矿点和硫磺山金银多金属矿床为代表。石英-重晶石脉型金矿床是一个罕见的金矿类型,以布隆为代表(Yang et al., 2006),与火山岩有关的金矿床以卡恰为代表,矽卡岩型金矿床以阿图什市彻依布拉克金多金属矿点为代表。主要金矿床特征见表1。

3.1 与剪切带有关的金矿床

与剪切带有关的金矿床(有人称为造山型金矿床)在西南天山分布最广,也是最重要的金矿类型,目前发现的几个矿床中多数为此种类型。矿床(点)赋存于晚志留世、早泥盆世和石炭纪含碳质(火山)碎屑岩中,容矿岩系具有浊流沉积特征。赋矿岩性多为含碳板岩、含碳千枚岩、变质砂岩、变质粉砂岩。矿床受剪切带控制,成矿与剪切变形作用和岩浆活动密切相关。在中亚南天山这种类型又被称为穆龙套型金矿,世界级的穆龙套金矿和库姆托尔金矿是典型的代表(Wilde et al., 2001; Yakubchuk et al., 2002; Mao et al., 2004)。

3.1.1 萨瓦亚尔顿金矿

萨瓦亚尔顿大型金矿床位于乌恰县境内,在大地构造上,位于伊犁-伊塞克湖微板块与塔里木北缘活动带的交接部位。矿区出露地层有上志留统、下泥盆统、中泥盆统和上石炭统(图2),其中上志留统和下泥盆统为赋矿地层。上志留统塔尔特库里组由一套浅变质含碳碎屑岩组成,划分为4个岩性段,一段为含碳千枚岩与薄层状变质粉砂岩互层;二段为薄层状变质细砂岩、变质粉砂岩和含碳千枚岩,三者互层;三段为含碳千枚岩夹千枚状板岩、硅质岩和砾岩,底部出现灰岩透镜体;四段为变质砂岩、硅质岩,夹含碳千枚岩。下泥盆统萨瓦亚尔顿组划分为2段,一段由薄层状含碳千枚岩夹中厚层状变质细砂岩组成;二段为中厚层状变质钙质细砂岩夹碳质千枚岩,局部夹变质粉砂岩。萨瓦亚尔顿-吉根大型剪

切带不仅是板块分界断裂,也是区域内重要的控矿构造。该脆-韧性剪切带宽2~3 km,长度超过40 km,呈NNE向展布,倾向NNW-NW,倾角50~85°,与地层斜交。脆-韧性剪切带由初糜棱岩、糜棱岩、片理化带、构造透镜体、拉伸线理和A型褶皱组成,以强烈片理化为特色(马天林等,1999)。矿区中的面理一组发育,其他方向不发育,仅在局部发育S-C面理。矿区及外围沿断裂带有少量基性熔岩、辉绿岩脉、超基性岩脉和二长斑岩脉分布。郑明华等(2002)测得辉绿岩脉K-Ar法同位素年龄为 (207 ± 4.2) Ma~ (169 ± 2.0) Ma,陈富文和李华芹(2003)测得锆石U-Pb年龄为133~131 Ma。

矿区发现了24条矿化蚀变带,受NE-NNE向韧-脆性剪切带中的次级破碎带控制,容矿岩系为含碳千枚岩、变质砂岩和变质粉砂岩。IV号矿化带规模最大,总体走向25°,倾向NW,倾角53~80°,长度超过4 000 m,宽度15 m至200 m。控制矿体9个,矿体呈似板状、脉状,较大矿体长860~1 390 m,厚0.90~48.6 m,控制斜深70~505 m。平均金品位为1.4~5.9 g/t。在IV₂矿体中具有明显的矿化分带,金富集在上部,锑富集在下部。锑矿体厚度为2.5~12.2 m,平均品位为1.3%。

矿石类型分为含金石英细脉、网脉型,含金蚀变碳质千枚岩型和含金硅化粉砂岩型。矿石构造主要有浸染状、细脉-网脉状、条带状、块状、角砾状和揉皱构造。矿石主要结构有自形、半自形粒状、他形粒状结构、固溶体分解结构、交代结构、包含结构、碎裂结构。矿石中金属矿物以黄铁矿、毒砂、脆硫锑铅矿、黄铜矿、辉锑矿为主,磁黄铁矿、银金矿、方铅矿、闪锌矿次之。非金属矿物主要为石英、方解石、菱铁矿、绢云母、碳质等。

围岩蚀变类型有硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化、碳酸盐化,局部有绿泥石化,硅化最发育。

矿床成矿过程划分为热液期和表生期。热液期包括5个成矿阶段(郑明华等,2001):①石英阶段,主要形成含碳酸盐矿物的石英脉;②毒砂-黄铁矿-石英阶段,形成含金石英细脉和网脉;③多金属硫化物阶段,主要形成含金多金属硫化物石英细脉和网脉;④锑-石英阶段,形成辉锑矿脆硫锑铅矿石英脉;⑤石英-碳酸盐阶段,主要形成无矿石英碳酸盐脉。②和③阶段是金主要成矿阶段,④阶段为锑主要成矿阶段。

表 1 西南天山主要金矿床地质特征
Table 1 Geological characteristics of some major gold deposits in southwestern Tianshan Mountains

矿床	容矿地层	侵入岩	控矿构造	矿体形态	围岩蚀变	矿物组合	成矿元素	规模, 品位/(g/t)	矿床类型	资料来源
布隆	D ₃ 千枚岩化砂岩、粉砂岩、夹砂砾岩、页岩	少量辉绿岩脉	缓倾斜层断层	似层状	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化	石英、重晶石、自然金、少量黄铁矿、碳酸盐	Au	小型, 1.6~5.7	石英-重晶石脉型	Yang et al., 2005
萨瓦亚尔顿	S ₃ -D ₁ 含碳千枚岩、变质砂岩、变质粉砂岩	辉绿岩脉、二长斑岩	NNE 向韧性剪切带	板状、脉状、透镜状	硅化、毒砂化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化	黄铁矿、辉绿岩、毒砂、银金矿、石英、碳酸盐	Au, Sb	大型, 1.0~5.9	与剪切带有关的金矿床	杨富全等, 2005
大山口	S ₃ -D ₁ 千枚岩化粉砂岩与变质细砂岩互层, 夹含碳千枚岩	英安斑岩脉、闪长岩脉	韧性剪切带	脉状为主, 少量不规则状、透镜状	硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化	黄铁矿、黄铜矿、自然金、石英、绢云母、方解石、铁白云石	Au	小型, 1~3	与剪切带有关的金矿床	孟祥金等, 2000; 鲍庆中等, 2003
萨根亥	S ₃ -D ₁ 变质砂岩、千枚岩化粉砂岩、千枚岩、凝灰质砂岩夹结晶灰岩	未发现	韧性剪切带	脉状、豆荚状、似层状、不规则状、透镜状	硅化、绢云母化、铁白云石化、方解石化	黄铁矿、黄铜矿、石英、铁白云石、绢云母、方解石、绿泥石	Au	小型, 1~3.9	与剪切带有关的金矿床	孟祥金等, 2000
卡拉脚古牙	C ₁ 含碳质灰岩、结晶灰岩、千枚岩夹砂岩、板岩	辉绿岩脉	韧性剪切带	脉状、透镜状、似层状	硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化	辉绿岩、辰砂、铜蓝、锑赭石、石英、方解石	Sb, Au	矿点, 0.1~1	与剪切带有关的金矿床	叶庆同等, 1999
其吕克	C ₁ 粉砂岩、含碳粉砂岩、千枚岩、砂岩、玄武岩	辉绿岩脉	断裂破碎带	脉状、透镜状	硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化	黄铁矿、石英、绢云母、碳酸盐	Au	矿点, 1.1~3.8	与剪切带有关的金矿床	叶庆同等, 1999
卡恰	C ₁ 凝灰质粉砂岩、灰岩、砂质灰岩、凝灰岩夹砂岩	潜安山岩	断裂破碎带	脉状、透镜状	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化	黄铁矿、毒砂、自然金、白铁矿、石英、绢云母、方解石	Au	小型, 1.1~2.4	与火山岩有关的金矿床	新疆地质矿产开发局第八地质大队 ^①
艾西曼	C ₁ 粉砂岩、灰岩、砂砾岩	碱长花岗岩、辉绿岩脉	断裂及其交汇部位	透镜状、不规则状	硅化、黄铁矿化、褐铁矿化	自然金、赤铁矿、黄铁矿、黝铜矿、黄铜矿、闪锌矿、石英、绢云母	Au, Cu	矿点, 1.2~10.6	与侵入岩有关的金矿床	田争亮, 1998 ^②
彻依布拉克	P 砂岩、钙质粉砂岩、钙质页岩	碱长花岗岩	断裂破碎带	脉状、不规则状	砂卡岩化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化	黄铜矿、黄铁矿、石榴石、石英、透辉石、透闪石、绿帘石、方解石	Sb, Au	矿点, 0.1~1.0	砂卡岩型金矿床	杨富全等, 2003

① 新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队, 1999. 新疆乌恰县卡恰金矿普查地质报告, 1~55. 内部资料.
② 田争亮, 1998. 新疆阿图什市艾西曼金、铜矿普查地质报告, 内部资料.

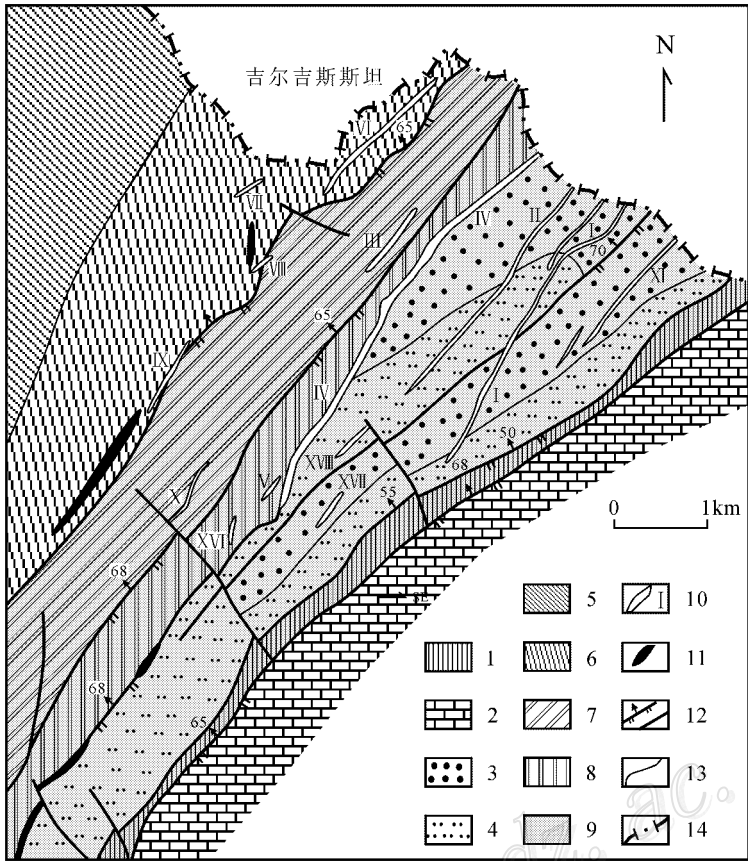


图 2 萨瓦亚尔顿金矿床地质略图(据新疆地质矿产勘查开发局第二地质大队,1999^①;郑明华等 2001 修编)

1—上石炭统含碳千枚岩夹粉砂岩和灰岩 2—中泥盆统托格买提组大理岩化灰岩 3—下泥盆统萨瓦亚尔顿组二段变质砂岩夹含碳千枚岩; 4—萨瓦亚尔顿组一段含碳千枚岩夹变质砂岩 5—上志留统塔尔特库里组四段变质砂岩、硅质岩,夹含碳千枚岩 6—塔尔特库里组三段含碳千枚岩夹硅质岩、灰岩 7—塔尔特库里组二段含碳千枚岩、变质砂岩和粉砂岩 8—塔尔特库里组一段含碳千枚岩和变质粉砂岩 9—脆-韧性剪切带 ;10—金矿化带及编号(夸大表示);11—基性岩脉(夸大表示);12—逆断层、性质不明断层;13—地质界线;14—国界线

Fig. 2 Simplified geological map of the Sawayaerdun gold deposit (modified after No. 2 Geological Party ,Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development ,1999 ;Zheng et al. ,2001)

1—Upper Carboniferous carbonaceous phyllites intercalated with metasandstone and limestone ;2—Middle Devonian marbleized limestone of Tuogemaiti Formation ;3—Lower Devonian metasandstone intercalated with carbonaceous phyllites of 2nd Member of Sawayaerdun Formation ;4—Lower Devonian carbonaceous phyllites intercalated with metasandstone of 1st Member of Sawayaerdun Formation ;5—Upper Silurian metasandstone ,silicite intercalated with carbonaceous phyllites of 4th Member of Taertekuli Formation ;6—Upper Silurian carbonaceous phyllites ,intercalated with silicite ,limestone ,conglomerate of 3rd Member of Taertekuli Formation ;7—Upper Silurian carbonaceous phyllites ,metasandstone ,metasiltite of 2nd Member of Taertekuli Formation ;8—Upper Silurian carbonaceous phyllites ,metasiltite of 1st Member of Taertekuli Formation ;9—Brittle-ductile shear zone ;10—Ore zone (with exaggerated width) and its serial number ;11—Mafic dike (with exaggerated width) ;12—Reversed fault and indeterminate fault ;13—Geological boundary ;14—National boundary

石英阶段均一温度为 172 ~ 355℃ ,峰值为 190℃ 和 270℃ ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 2.6% ~ 20.8%。毒砂-黄铁矿-石英阶段均一温度范围为 250 ~ 310℃ ,峰值为 280℃ ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 3.2% ~ 6.5%。多金属硫化物阶段均一温度为 159 ~ 225℃ ,峰值 210℃ ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 3.9% ~ 9.2%。锑-石英阶段均一温度为 159 ~ 220℃ ,峰值为 180℃ ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 5.9% ~ 10.1%。石英-碳酸盐阶段均一温度主要集中在 100 ~ 220℃ 和 260 ~ 300℃ ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 主要集中在 5% ~ 10% 和 20% ~ 22% 两

① 新疆地质矿产勘查开发局第二地质大队. 1999. 新疆维吾尔自治区乌恰县萨瓦亚尔顿金矿普查地质报告. 1~80. 内部资料.

个区间(叶庆同等,1999;杨富全等,2005)。

3.1.2 大山口金矿

大山口小型金矿床位于新疆和静县巴润哈尔莫墩乡,距库尔勒市约 121 km,构造上位于伊犁微板块萨阿尔明-库米什古生代沟弧带,受大山口-萨恨托亥韧性剪切带控制。矿区出露地层为上志留统-下泥盆统大山口组(图 3),呈 NWW 向带状展布,主要由灰黑色千枚岩化泥质粉砂岩与灰黑色、灰绿色变质细砂岩不均匀互层构成,局部为千枚岩化泥质粉砂岩、千枚岩化含碳泥质粉砂岩与变质细砂岩互层。

大山口韧性剪切带分布在大山口倒转向斜的北翼,为重要的控矿构造,长大于 15 km,宽 2~3 km,呈 NWW 向展布,总体向 SW 倾斜,倾角 65~75°。韧性剪切带在露头上表现为强烈构造片理化带。糜棱岩中 S-C 组构发育,反映了脆-韧性变形特征。在韧性剪切带中,构造透镜体、石英杆状构造、漆折构造、里德尔剪切裂隙组合和脆性断裂等变形特征发育。常见长英质碎斑和岩屑残斑受到剪切挤压、旋转形成的 σ 和 δ 旋转碎斑系。根据不同尺度上发育的剪切构造指示标志确定大山口韧性剪切带为一条左行逆剪切构造带(王义天等,2004)。

矿区侵入岩主要分布在韧性剪切带中,出露华力西晚期的闪长玢岩脉和英安斑岩脉,脉长 100~900 m,厚 3~55 m。脉体走向 NW-SE 向,呈雁列式展布,并与韧性剪切带的方向一致。岩石遭受韧性剪切变形作用。

大山口矿区已圈定金矿体 76 个,其中工业矿体 22 个。矿体主要分布于英安斑岩、闪长玢岩内及其接触带中,或泥质粉砂岩、含碳泥质粉砂岩中,多成群产出(图 3)。矿体沿走向和倾向常尖灭再现、侧现。矿体总体走向 100~120°,与韧性剪切带的总体走向一致。单个金矿体形态以脉状为主,少量为不规则状、透镜状。较大矿体长度为 80~241 m,多数在 6~80 m,平均厚 0.3~5 m,最厚达 10 m。金品位一般为 1~3 g/t,最高达 70.4 g/t。

矿石类型分为石英脉型、石英网脉型和蚀变糜棱岩型。矿石结构有半自形粒状结构、鳞片变晶结构、交代结构、压碎结构。矿石构造有块状、细脉状、网脉状、碎裂状、浸染状构造。矿石中主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、自然金,少量方铅矿。非金属矿物有石英、斜长石、绢云母、方解石、铁白云石。

围岩蚀变类型主要有硅化、黄铁矿化、绢云母

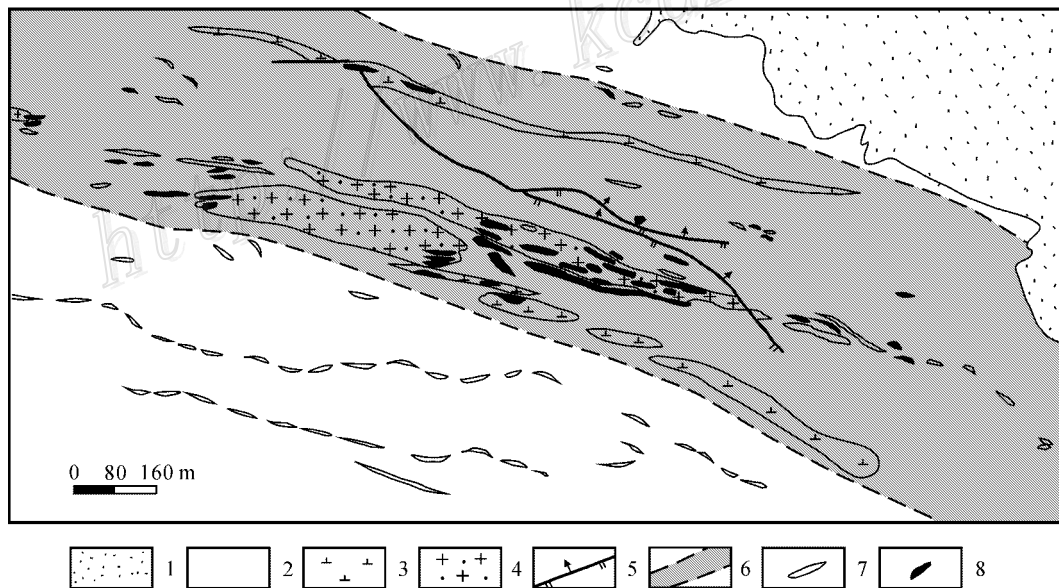


图 3 大山口金矿床地质略图(据冯金星等,1996^①)

1—第四系 2—上志留统-下泥盆统大山口组 3—闪长玢岩脉 4—英安斑岩脉 5—断层 6—韧性剪切带 7—石英脉 8—矿体

Fig. 3 Simplified geological map of the Dashankou gold deposit (after Feng et al., 1996)

1—Quaternary; 2—Upper Silurian-Lower Devonian Dashankou Formation; 3—Diorite-porphry dyke; 4—Dacite-porphry dyke; 5—Fault; 6—Ductile shear zone; 7—Quartz vein; 8—Ore body

① 冯金星,石福品,樊卫东.1996.新疆和静县大山口金矿普查及外围找矿地质报告.1~78.内部资料.

化、碳酸盐化、高岭石化。其中硅化和黄铁矿化与金成矿的关系最密切。

成矿作用划分为 3 个阶段,第 I 阶段为石英阶段,主要形成石英脉,在矿区内广泛分布,呈透镜状、杆状、肠状褶曲。第 II 阶段为黄铁矿-石英阶段,是金主要成矿阶段,以形成含金黄铁矿石英脉为特征,早期石英脉呈细脉状、网脉状,晚期为灰白色石英脉。第 III 阶段为石英碳酸盐阶段,主要形成石英碳酸盐脉,穿切其他脉体和剪切面理,为成矿晚阶段产物。

孟祥金等(2000)、鲍庆中等(2003)测得第一成矿阶段石英流体包裹体均一温度变化于 $140 \sim 310^{\circ}\text{C}$,峰值为 220°C ,其盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 7.0%。金-石英成矿阶段石英流体包裹体均一温度变化较大,主要集中在 $180 \sim 210^{\circ}\text{C}$ 和 $250 \sim 340^{\circ}\text{C}$ 两个温度段,其峰值分别为 200°C 和 320°C ,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 5.1%~9.9%。

3.2 与侵入岩有关的金矿床

该类型矿床在西南天山分布较广,目前发现的多是金矿点或矿化点。主要特征如下:

与金矿有关的侵入岩体以花岗闪长岩、花岗岩和石英斑岩为主,其次为碱长花岗岩、钾长花岗岩、斜长花岗岩、基性岩脉等。岩体以岩株为主。赋矿构造为岩体内、外接触带和岩体附近的断裂破碎带。矿化类型有 3 类:①石英脉型金矿,含金石英脉和网脉带产于岩体内或外围的断裂破碎带中,如巴伦台一带金矿点、艾西曼金矿点;②斑岩型,如硫磺山金银多金属矿床(叶庆同等,1999);③赋存于基性、超基性岩脉中的蚀变岩型金矿,多为矿化点,与铜矿化伴生,如吉根铜金矿化点等(杨建国等,2004)。矿体多呈脉状、透镜状、不规则状,产状受接触带构造或断裂破碎带制约。矿石类型有金矿石、铜-金矿石、金-铜-铅-锌矿石等。矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。成矿作用从高温演化到中低温阶段,金的富集主要发生在中-低温热液充填交代阶段。

乌恰县吉根铜金矿化点分布于碰撞带上,矿区地层为上志留统一泥盆统浅变质含碳细碎屑岩,矿区出露蛇绿杂岩(基性、超基性岩岩块)、辉绿岩脉。赋矿岩性主要为超基性岩、辉绿岩。矿体多呈透镜状、不规则状。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化。矿石矿物组合为黄铁矿、黄铜矿,脉石矿物为石英、碳酸盐矿物等。矿石为细粒结

构,网脉状及浸染状构造。金属元素组合为 Au-Cu,铜品位为 0.14%~2.24%、金品位为 1.18~3.77 g/t。

3.3 石英-重晶石脉型金矿

布隆小型金矿床位于新疆阿合奇县哈拉奇乡布隆村,距阿合奇县城西南 43 km。在大地构造上属于塔里木板块北缘活动带,位于区域 NE 向喀拉铁克大断裂的东南侧,该断裂是南天山晚古生代陆缘盆地与柯坪古生代前陆盆地的分界。矿区出露地层为上泥盆统衣木干他乌组和克兹尔塔格组及上石炭统康克林组(图 4)。上泥盆统衣木干他乌组为一套紫红色薄层-中层粉砂岩、细砂岩、灰绿色薄层粉砂岩,夹泥岩和页岩,局部夹砾岩,具类复理石建造特征。克兹尔塔格组为一套砖红色砂岩、粉砂岩夹白色砂岩,局部夹砂砾岩、页岩。上石炭统康克林组为一套灰岩,局部夹砂岩、粉砂岩和页岩。

矿区位于阿尔巴切克箱状背斜北西翼。区域喀拉铁克大断裂长大于 100 km,走向 NE,倾向 NNW,倾角 $70 \sim 80^{\circ}$ 。该断裂控制晚华里西期岩浆活动和第三纪盆地演化。矿区次级断裂发育,长 100~700 m,以 NE、NNE 向为主,少数近 EW 向。NE-NNE 向缓倾斜顺层断层控制着金矿脉产出,陡倾斜断裂控制着石英大脉的分布。矿区西部及外围见少量辉绿岩和辉绿玢岩脉,其规模一般为几米至数百米,宽约几十厘米至数米。

矿区共发现 20 多条石英大脉、重晶石大脉和石英重晶石复脉,金矿脉只赋存在石英重晶石复脉中。II、III、IV、VII 号为含金石英重晶石复脉,前三个矿脉厚 0.5~1.0 m,长 230~660 m,三者平行分布,与地层产状大体一致(图 4)。复脉与围岩界线清楚,在垂向上,矿脉中部为重晶石脉,上部、下部为石英脉、重晶石石英脉,局部为方解石重晶石石英脉。金矿体主要赋存于石英脉和重晶石石英脉中。矿体呈缓倾斜薄层状,金平均品位介于 1.6~3.7 g/t,最高为 18.0 g/t。VII 号矿体赋存于含重晶石石英脉中,呈不规则形态沿顺层断层产出,矿体破碎,富含明金是其最大特色。VIII~XI 号、XVII~XXI 号为石英大脉,长 100~450 m,厚 0.5~5.0 m,明显斜交地层,脉体陡倾,金含量小于 0.5 g/t。

围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、菱铁矿化、绢云母化、绿泥石化、方解石化和铁白云石化,其中硅化、黄铁矿化、菱铁矿化与金矿化密切相关。

矿石类型主要为含金石英-重晶石脉型和含金

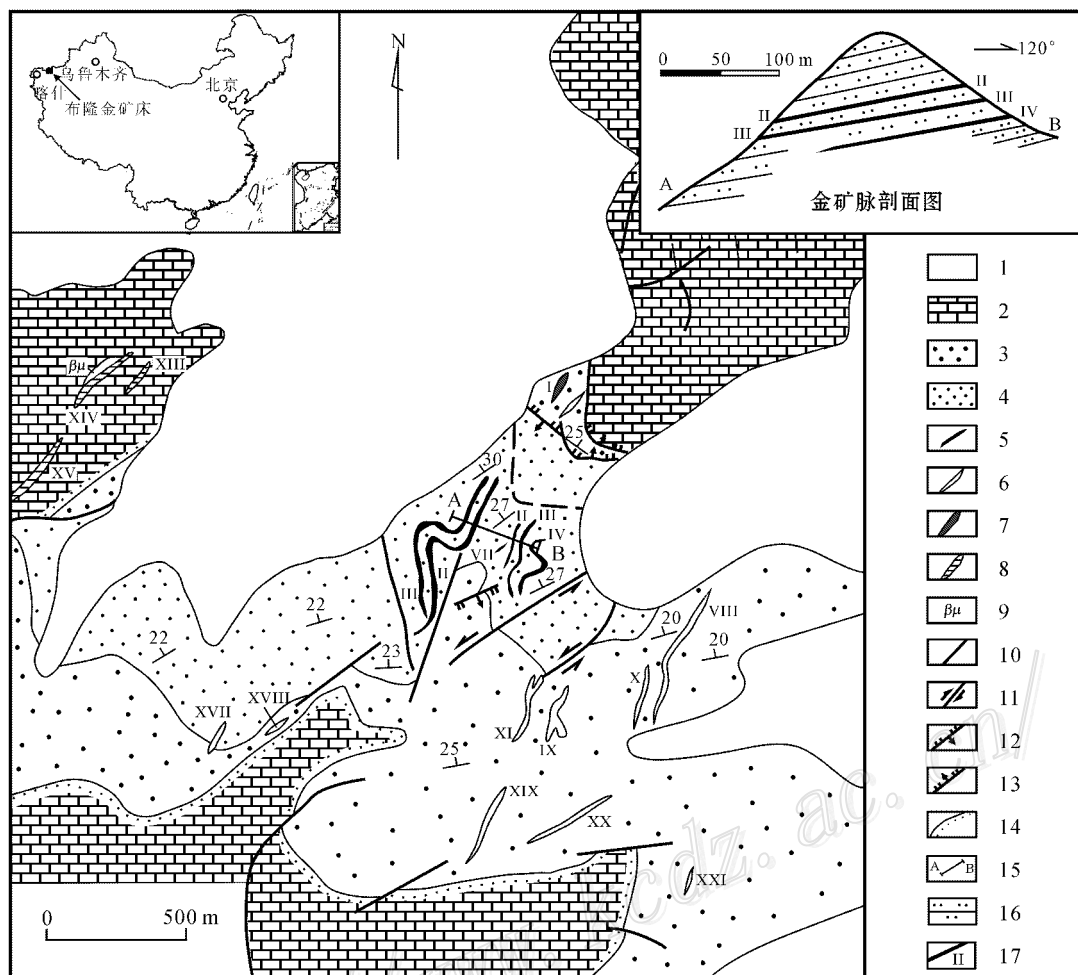


图 4 新疆布隆金矿床地质略图(据陈奎等,1999^①)

1—第四系 2—上石炭统康克林组灰岩 3—上泥盆统克兹尔塔格组砂岩、粉砂岩 4—上泥盆统衣木干他乌组粉砂岩、细砂岩 5—金矿脉(夸大表示) 6—石英大脉 7—重晶石脉 8—破碎蚀变带 9—辉绿岩脉 10—性质不明断层 11—平移断层 12—逆断层 13—正断层 14—不整合界线 15—剖面线 16—粉砂岩 17—金矿脉及编号

Fig. 4 Simplified geological map of the Bulong gold deposit (after Chen et al., 1999)

1—Quaternary sediments; 2—Limestone of Upper Carboniferous Kangkelin Formation; 3—Sandstone and siltstone of Upper Devonian Kiziltag Formation; 4—Siltstone and fine-grained sandstone of Upper Devonian Yimugantawu Formation; 5—Gold ore body (exaggerated); 6—Large quartz vein; 7—Large barite vein; 8—Cataclastic alteration zone; 9—Diabase dike; 10—Indeterminate fault; 11—Strike-slip fault; 12—Reverse fault; 13—Normal fault; 14—Unconformity; 15—Cross section line; 16—Siltstone; 17—Gold vein and its serial number

石英脉型,少数为角砾岩型(如Ⅶ号矿脉)。矿石构造有浸染状、细脉-网脉状、脉状、块状和角砾状构造。矿石结构主要有自形、半自形粒状、他形粒状结构、交代结构和骸晶结构等。矿石中金属矿物含量小于1%,主要为黄铁矿、菱铁矿、自然金,偶见黄铜矿、斑铜矿。非金属矿物以重晶石、石英为主,其次为方解石、铁白云石,局部见绢云母、绿泥石、长石等。

成矿作用可划分为4个阶段(Yang et al., 2006),

从早到晚依次为:①石英阶段,主要形成石英大脉,厚0.5~5.0 m,沿陡倾斜断层分布;②重晶石阶段,形成纯的重晶石脉,分布于石英重晶石复脉的中间或形成单独的脉体(I号);③重晶石-石英阶段,为金主要成矿阶段,进一步划分出菱铁矿-石英亚阶段和石英-重晶石-方解石亚阶段,前者形成石英脉,后者形成重晶石石英脉和呈透镜状或团块状分布的方解石重晶石石英脉;④碳酸盐阶段,主要形成

① 陈奎,郑东,康江伟.1999.新疆阿合奇县布隆金矿普查地质报告.内部资料.

方解石细脉或铁白云石细脉,脉宽 $1 \times n \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$,多数沿围岩裂隙分布。

石英、重晶石和方解石流体包裹体均一温度变化于 $159 \sim 390^\circ\text{C}$,其中金主要成矿阶段的温度为 $200 \sim 340^\circ\text{C}$ 。盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化于 $2.4\% \sim 46.2\%$,其中金主要成矿阶段盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $5.3\% \sim 19.3\%$,峰值为 13% 。成矿流体密度介于 $0.73 \sim 1.13 \text{ g/cm}^3$ 。流体包裹体气相成分中以 H_2O 和 CO_2 为主,其次是 N_2 、 CH_4 。液相成分中阳离子以 Na^+ 为主,其次是 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} ,阴离子以 Cl^- 为主, SO_4^{2-} 次之,成矿流体属 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ 体系(杨富全等,2004)。

3.4 与火山岩有关的金矿

在西南天山,古生代海相火山活动比较强烈,但与其有关的金矿很少。已知的一些矿点和矿化点多与志留纪和石炭纪火山热液活动有关,多数与铜矿共生,如乌恰县卡恰金矿床、和静县乔霍特铜金矿点、昭苏县布鲁克布拉克铜金矿点,典型矿床为卡恰金矿床。

卡恰金矿位于乌恰县城西北 32 km 处,大地构造上属于塔里木板块北缘活动带的南天山晚古生代陆缘盆地,矿床受区域津丹苏深大断裂的次级逆断层控制。该矿是新疆地质矿产勘探开发局第八地质大队于1996年化探异常检查时发现的小型金矿床,1998~1999年进行了普查。赋矿地层为下石炭统灰岩、泥质灰岩、粉砂岩、砂岩、凝灰质粉砂岩、凝灰岩、安山岩(图5)。

矿区断裂发育, F_8^0 大断裂是重要的控矿构造,也是别迭里河-英阿特河中间凸起与库尔哈克褶皱的分界。该断裂西起别里河二道卡子,向东经英阿特复合在津丹苏深大断裂上,长大于 50 km ,宽数十米,为逆断层,走向 NE,倾向 NW,倾角一般 $15 \sim 28^\circ$,局部 $45 \sim 60^\circ$ 。沿断裂发育次级断裂、构造角砾岩、碎裂岩。

目前发现3条含金蚀变带,A蚀变带长 800 m ,宽 $30 \sim 40 \text{ m}$ 。B蚀变带长 450 m ,宽 $2 \sim 30 \text{ m}$ 。C蚀变带长 400 m ,宽 $15 \sim 20 \text{ m}$ 。矿区中金矿化出现在安山岩中,已圈定金矿体9个,矿体形态呈脉状、透镜状(图6)。长 $40 \sim 118 \text{ m}$,厚 $0.6 \sim 11.7 \text{ m}$ 。金品位 $1.2 \sim 4.7 \text{ g/t}$,最高 5.8 g/t 。围岩蚀变类型有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化。

矿石类型以蚀变安山岩为主,安山质构造角砾岩和碎裂岩次之。金属矿物以黄铁矿为主,毒砂次

之,有少量自然金,非金属矿物为石英、绢云母、方解石。金成矿与火山热液有关。

3.5 矽卡岩型金矿

矽卡岩型金矿主要分布于阿图什市塔木-霍什布拉克一带,如阿图什市奇格勒布拉克、彻依布拉克金多金属矿化点、克兹塔格金多金属矿点等。矿区出露地层为下二叠统喀拉治尔加组一套细碎屑岩,由砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、钙质粉砂岩、钙质页岩,局部夹硅质页岩组成。与矿化有关的岩体为二叠纪碱长花岗岩、钾长花岗岩(如霍什布拉克碱长花岗岩,锆石 U-Pb 年龄为 $(261.0 \pm 2.7) \text{ Ma}$,杨富全等,2001),岩体以小岩株为主。在化学成分上,碱长花岗岩富 Si、全碱、REE、Li、Rb、Be、Nb、Zr、Th、W、Sn、Pb、Ga,贫 Mg、Al、Cr、Co、Ni、V 等过渡元素亏损, Ga/Al 比值大,富轻稀土元素,具强负异常,具有A型花岗岩的特点(杨富全等,2003)。金矿化体赋存于岩体外接触带的石榴石透辉石矽卡岩中,呈透镜状、脉状和不规则状,与铜、锡、铁多金属矿伴生。围岩蚀变有硅化、萤石化、绿泥石化、碳酸盐化。

4 西南天山金矿床成矿作用

4.1 金成矿时代

西南天山金矿床主要赋存于志留纪、泥盆纪和石炭纪地层中,其成矿时代晚于赋矿地层时代。萨瓦亚尔顿金矿主要成矿时代为 $246 \sim 206 \text{ Ma}$ (叶锦华等,1999;叶庆同等,1999;刘家军等,2002;陈富文等,2003;杨富全等,2006;Liu et al.,2007)。大山口金矿床中石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法坪年龄为 $212 \sim 207 \text{ Ma}$ (刘家军等,2004a)。布隆金矿床含金石英脉 Rb-Sr 等时线年龄为 $(258 \pm 15) \text{ Ma}$ (杨建国等,2006),但刘家军等(2004b)认为成矿时代为印支晚期(石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 212 Ma)。乔霍特铜(金)矿床中富矿石的形成与钾长花岗岩的侵入活动有关,钾长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法坪年龄为 275 Ma (Wang et al.,2004)。矽卡岩型金矿床主要与海西晚期碱性花岗岩体密切相关,它们的成矿时代主要为二叠纪,如霍什布拉克、塔木一带矽卡岩型金(银)矿成矿母岩锆石 U-Pb 年龄为 $(261.5 \pm 2.7) \text{ Ma}$ (杨富全等,2001)。硫磺山斑岩型金银多金属矿床含矿石英脉 Rb-Sr 等时线年龄为 $(346 \pm 30) \text{ Ma}$,与石英斑岩的锆石 U-Pb 年龄 $(340 \sim 360 \text{ Ma})$ 在测定误差范围内一致,表明成岩与成矿作用均发生在晚泥盆世—早石炭世,成矿作用

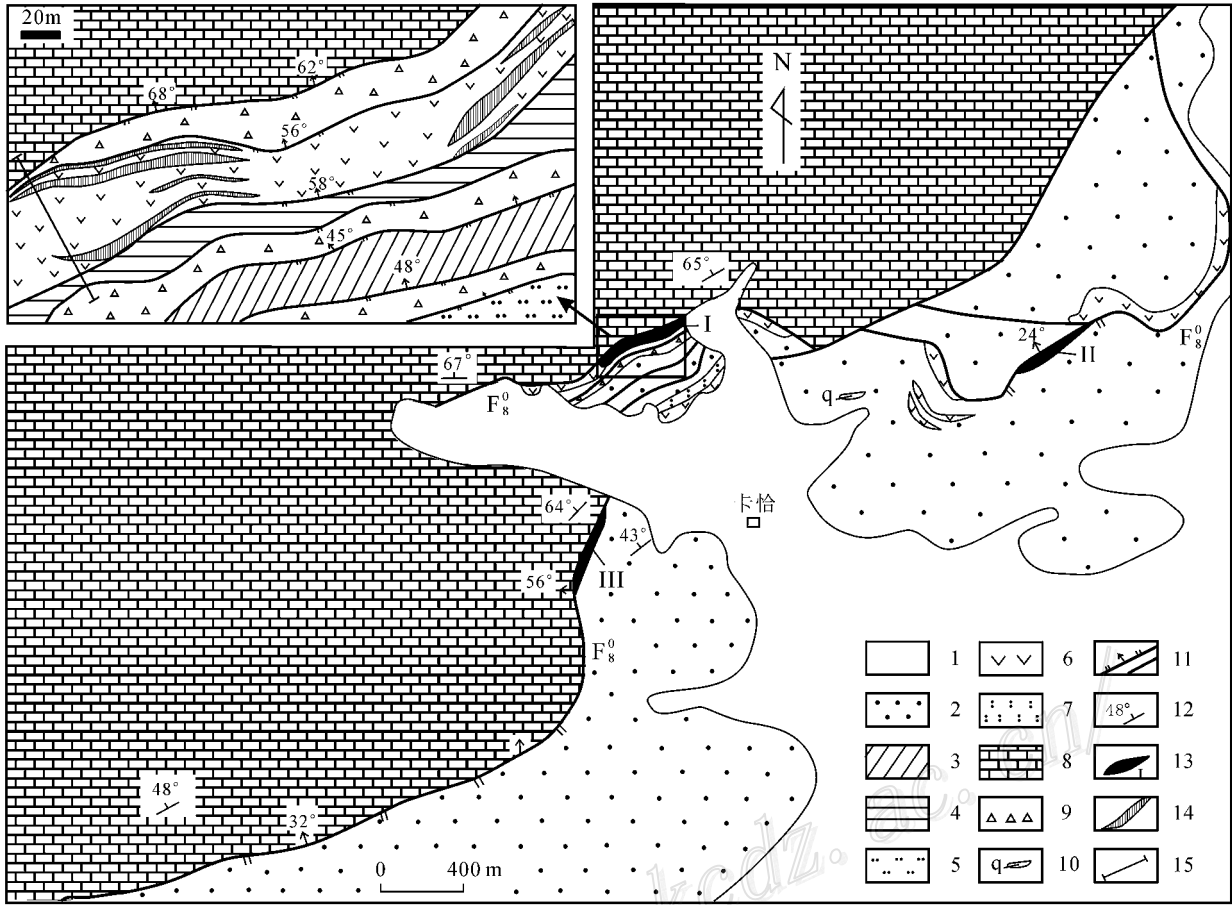


图 5 乌恰县卡恰金矿床地质略图(新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队,1999^①)

1—第四系 2—7—下石炭统 2—粉砂岩、砂岩、凝灰质粉砂岩夹灰岩 3—灰岩 4—灰岩、凝灰岩 5—粉砂岩 6—安山岩 7—凝灰岩 8—中泥盆统托克买提组灰岩 9—构造角砾岩 10—石英脉 11—逆断层、性质不明断层 12—地层产状 13—金矿化带及编号 14—金矿体；15—图 6 的剖面线位置

Fig. 5 Simplified geological map of the Kaqia gold deposit (after No. 8 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 1999)

1—Quaternary sediments; 2—7—Lower Carboniferous: 2—Siltstone, sandstone, tuffaceous siltstone intercalated with limestone; 3—Limestone; 4—Limestone and tuff; 5—Siltstone; 6—Andesite; 7—Tuff; 8—Middle Devonian limestone of Tuokemaitai Formation; 9—Tectonic breccia; 10—Quartz vein; 11—Reverse fault and indeterminate fault; 12—Attitude; 13—Gold mineralized zone and its serial number; 14—Gold ore body; 15—Cross section line in Fig. 6

与石英斑岩有关(李华芹等,2003)。

上述数据表明,尽管区内矿床(点)赋矿地层时代不同,矿床类型各异,除斑岩型金矿外,多数金矿的成矿时代相近,均与二叠纪和三叠纪的构造-岩浆热事件有关。中亚南天山许多金矿床的成矿时代也集中在二叠纪,在三叠纪仍有矿化,如穆龙套金矿床蚀变岩形成时间为 285~250 Ma(Kempe et al., 2001; Wilde et al., 2001)。Kempe 等(2001)认为金主要成矿时代在 280~270 Ma,持续到 257~219 Ma

(Kostitsyn et al., 1996)。库姆托尔金矿床蚀变岩和金矿石年龄为 $(288.0 \pm 0.6) \text{ Ma} \sim (284.0 \pm 3.0) \text{ Ma}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法坪年龄, Mao et al., 2004)。Daugyztau 金矿床(270~260 Ma)、Amantaitau 金矿床(270~260 Ma)、Zarmitan 金矿床(269 Ma)、吉拉和塔罗尔金矿床(299 Ma, Yakubchuk et al., 2002)的成矿时代也为二叠纪。因此,二叠纪是中亚南天山和新疆西南天山重要的金成矿期,三叠纪是新疆西南天山另一个重要成矿期。

① 新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队. 1999. 新疆乌恰县卡恰金矿普查地质报告. 1~55. 内部资料.

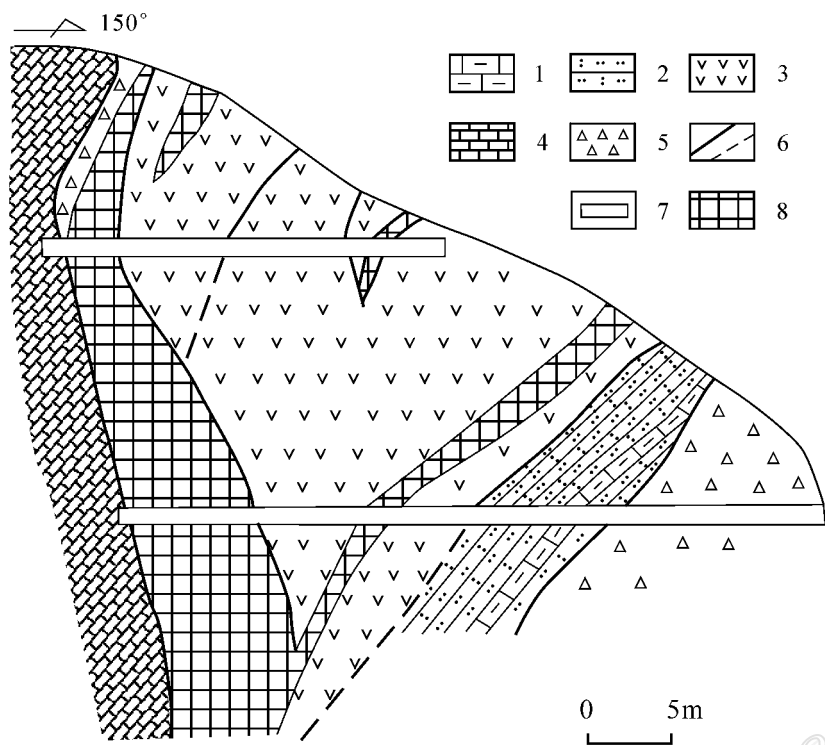


图 6 乌恰县卡恰金矿 KA03-05 勘探线剖面图(新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队,1999^①)

1—下石炭统泥质灰岩 2—下石炭统凝灰质粉砂岩 3—下石炭统安山岩 4—中泥盆统托克买提组灰岩 5—构造角砾岩；
6—断裂和推测断裂 7—平硐 8—金矿体

Fig. 6 Cross section of No. KA 03-05 exploration line in the Kaqia gold deposit(after No. 8 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development ,1999)

1—Lower Carboniferous marl ;2—Lower Carboniferous tuffaceous siltstone ;3—Lower Carboniferous andesite ;4—Limestone of Middle Devonian Tuokemaiti Formation ;5—Tectonic breccia ;6—Fault and inferred fault ;7—Adit ;8—Gold ore body

4.2 成矿物质和成矿流体来源

萨瓦亚尔顿金矿矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $-3.0\text{‰} \sim +2.61\text{‰}$, 平均值为 0.1‰ , 暗示硫来自地幔或与地幔相关的岩浆。白云石和菱铁矿的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-5.4\text{‰} \sim -0.6\text{‰}$, 表明碳来自于地幔以及海相碳酸盐岩的混合(郑明华等, 2001 ;杨富全等, 2005)。大山口金矿矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $-0.4\text{‰} \sim +2.9\text{‰}$, 平均值为 1.9‰ (孟祥金等, 2000 ;鲍庆中等, 2003)表明硫来自地幔或与地幔相关的岩浆。含金石英脉中石英流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-3.9\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $16.9\text{‰} \sim 18.6\text{‰}$ (鲍庆中等, 2003), 铁白云石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-2.8\text{‰} \sim -3.3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $14.1\text{‰} \sim 14.5\text{‰}$, 两者的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值位于地幔碳同位素值 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -2\text{‰} \sim -7\text{‰}$) 和海相碳酸盐岩 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$

$= -2\text{‰} \sim +1\text{‰}$, Rollinson, 1993)之间, 反映出碳主要来源于地幔和海相碳酸盐岩。萨恨托亥金矿矿石中方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 2.05‰ , 矿石全岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $3.64\text{‰} \sim 5.54\text{‰}$, 含矿围岩(糜棱岩类) $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $6.28\text{‰} \sim 8.07\text{‰}$ 。从矿石硫化物、矿石全岩和含矿围岩硫同位素组成特点可以看出, 硫来源于深部岩浆物质, 在成矿过程中与围岩硫发生同位素交换, 使得从矿石到含矿围岩, $\delta^{34}\text{S}$ 值逐渐增高(孟祥金等, 2000)。上述 3 个典型矿床的 C、O、S 同位素研究表明, 与剪切带有关的金矿成矿物质主要来源于岩浆和海相碳酸盐岩。

萨瓦亚尔顿金矿床石英和菱铁矿的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-84\text{‰} \sim -38\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 $-11.6\text{‰} \sim 6.3\text{‰}$ (叶锦华等, 1999 ;郑明华等, 2001 ;Liu et al. , 2007), 在 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 关系图上, 投点落在岩浆水和大气降

① 新疆地质矿产勘查开发局第八地质大队. 1999. 新疆乌恰县卡恰金矿普查地质报告. 1~55. 内部资料.

水之间,明显向雨水线方向漂移,显示出成矿流体主要来自大气降水,并有少量流体来自岩浆水。黄铁矿流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 变化较大,为 $0.04\sim 1.11\text{ R/Ra}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 变化较小,介于 $301\sim 348$,表明成矿流体为地幔端员流体和地壳端员流体混合的产物,但地壳端员流体占主导地位。地幔端员流体为岩浆水,而地壳端员流体为含有少量放射成因氩的低温大气降水(杨富全等,2006)。大山口金矿矿石的稀土元素配分曲线具有“多重弯曲”(四组分效应),表明成矿流体来源于富含挥发分的岩浆期后热液。矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值介于 $15.9\%\sim 18.6\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$ 值为 $-1.14\%\sim 10.9\%$,大部分石英流体包裹体的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 值为 $-48\%\sim -74\%$ (仅有一个样品 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 值为 -108%),在 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 与 $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$ 图解中,大部分投影点落在岩浆水内及附近,个别点落在岩浆水与大气降水之间,表明成矿流体主要来自岩浆水,仅有少量大气降水混合,也暗示成矿系统处于相当封闭的构造环境。

布隆金矿矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $14.6\%\sim 19.2\%$,重晶石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $35.0\%\sim 39.6\%$,表明硫来自容矿地层。石英中流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-4.6\%\sim -1.4\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $17.2\%\sim 21.1\%$,反映碳主要来源于海相碳酸盐岩。石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $17.2\%\sim 21.1\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$ 值为 $6.7\%\sim 14.7\%$, δD 变化于 $-70\%\sim -55\%$,表明成矿流体主要来源于沉积建造水。黄铁矿中流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 为 $0.24\sim 0.82\text{ R/Ra}$,接近地壳值, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 变化于 $338\sim 471$,略高于大气氩的同位素组成, $^{40}\text{Ar}/^4\text{He}$ 为 $0.02\sim 0.41$,平均 0.15 。 He 、 Ar 同位素组成特征表明成矿流体主要来源于地壳(Yang et al., 2006)。

4.3 金成矿动力学过程

尽管西南天山与火山岩有关的金矿化目前还缺乏同位素年龄数据,推断可能形成于晚志留世和早石炭世;与侵入岩有关的金矿、矽卡岩型金矿成矿时代主要集中在二叠纪,少数在晚泥盆世—石炭纪;石英-重晶石脉型金矿形成于晚二叠世;与剪切带有关的金矿成矿时代为三叠纪,金成矿作用与岩浆作用、变质作用和剪切变形关系密切。金成矿时代的差异,受控于区域地球动力学背景的不同(图7)。

西南天山基底主要为古-中元古代陆源沉积,青白口纪末的塔里木运动使哈萨克斯坦、准噶尔、天山

和塔里木形成统一的大克拉通。自晚前寒武纪起,新疆北部地壳进入了活动期,元古宇形成的新疆大克拉通开始裂解,形成了大小不等的洋盆。晚前寒武纪—早古生代期间南天山洋盆开始形成,并至少延续到早石炭世(高俊等,2006),沉积了浅海相碎屑岩、碳酸盐岩。早寒武世沉积了一套含磷硅质建造,形成了早古生代磷-钼-铀-石膏等沉积矿床系列。中天山南缘那拉提山二长花岗岩锆石的 436 Ma 年龄(朱志新等,2006)表明,南天山洋至少在早志留世已经开始向北侧伊犁板块下俯冲,同时在那拉提山一带形成了晚志留世巴音布鲁克组岛弧型火山岩(Gao et al., 1998),伴有与火山岩有关的金矿化(浅成低温热液型)(乔霍特铜金矿点)。晚志留世—早泥盆世发育基性火山岩和放射虫硅质岩,广泛发育蛇绿岩套,形成加里东晚期—海西早期与蛇绿岩有关的石棉-滑石-皂石矿床成矿系列,局部伴有金铜矿化(吉根金铜矿点)。晚志留世—早泥盆世的碎屑岩具有浊流沉积特征,局部为含碳浊积岩,金等成矿元素含量较高,为金成矿奠定了物质基础,如萨瓦亚尔顿地区。在洋壳俯冲过程中,形成黑云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩等俯冲型花岗岩类。

早石炭世(345 Ma)塔里木与伊犁-中天山地块开始碰撞,于石炭纪末(300 Ma)结束(高俊等,2006)。地块碰撞过程中,在西南天山东段形成大面积、带状分布的碰撞花岗岩,展布方向与区域构造线一致,为造山期钙碱系列花岗岩类,随着岩体的侵入,形成了与碰撞花岗岩有关的钨-金-铜-铅-锌矿床系列,形成的金矿化,规模不大,矿化为石英脉和斑岩型,如硫磺山金银多金属矿床。伴随最后的碰撞,发生区域变质和褶皱作用,随后广泛形成逆冲推覆构造和发育一系列剪切带。随着剪切带的演化,形成了与剪切带有关的金矿床。大型剪切带是地壳中的高度活动带、能量汇聚带、高渗透区和流体汇集区。剪切带规模较大,穿透地壳,为幔源流体上升和区域流体流动开辟了通道。萨瓦亚尔顿-吉根剪切带是陆-陆碰撞的产物,剪切变形的早期,岩石发生糜棱岩化和强烈片理化,在糜棱岩带中金得到进一步富集,但并没有形成矿体。在三叠纪,由于造山隆起,早期韧性剪切带经抬升剥蚀后构造层次上移,原来处于韧性剪切域中的剪切系统,被抬升到脆韧性转折域,在伸展环境下,金等成矿物质卸载沉淀,形成了萨瓦亚尔顿金矿床。

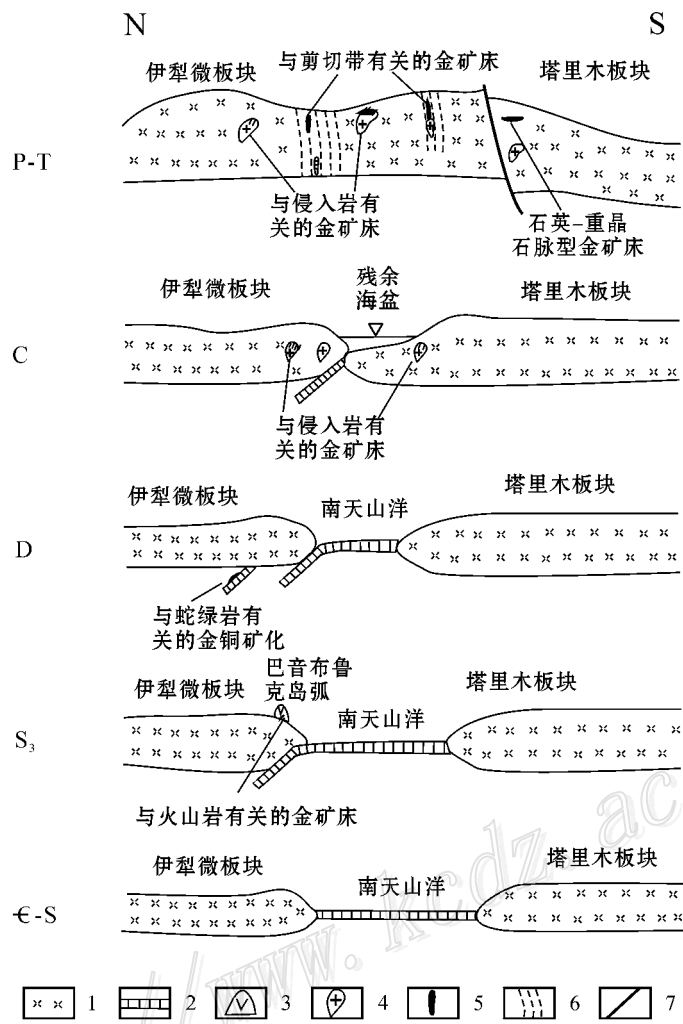


图 7 西南天山古生代地球动力学演化与金成矿模式图

1—陆壳 2—洋壳 3—岛弧火山岩 4—侵入岩 5—金矿 6—剪切带 7—区域断裂

Fig. 7 Schematic diagrams showing the Paleozoic geodynamic evolution and metallogenic model of Au deposits in southwest Tianshan Mountains , Xinjiang.

1—Continental crust ; 2—Ocean crust ; 3—Island arc volcanic rock ; 4—Intrusive rock ; 5—Gold deposit ; 6—Shear zone ; 7—Regional fault

二叠纪后西南天山乃至整个中亚地区进入后碰撞演化阶段,区域构造环境由挤压缩短和地壳增厚转变为区域伸展和岩石圈减薄。由于下地壳拆沉或地幔岩浆上涌,在柯坪地区和西南天山形成后碰撞火山-浅侵位花岗岩(306~250 Ma,赵振华等,2003)、钾长花岗岩(280~266 Ma,高俊等,2006)和碱性岩(275~260 Ma,姜常义等,1999;刘楚雄等,2004)以及基性火山喷发。伴随二叠纪碱性花岗岩的侵入,形成了与之有关的矽卡岩型金矿、锡矿、稀有金属、稀土元素、宝玉石矿床。伴随区域断裂活动,在次级断裂破碎带中形成石英-重晶石脉型金矿床。三叠纪西南天山发生了大规模的脆性走滑作用(李向东等,2000),如中天山南缘长英质糜棱岩中

黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄为(250±7.9)Ma(蔡东升等,1996),长阿吾子韧性剪切带变质角闪石矿物的⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄为(229.0±2.6)Ma(王宝瑜等,1994)。大山口-萨恨托亥韧性剪切带可能是这一时期的产物,大山口金矿床受大山口-萨恨托亥韧性剪切带控制,在韧性剪切变形过程中,有岩脉侵入,韧性剪切带的形成为岩浆上升、岩脉侵位、成矿流体的运移和沉淀提供了通道和空间。花岗质岩浆活动不但提供部分成矿物质,而且岩浆期后热液成为成矿流体的主要来源,金矿的形成受韧性剪切带和岩浆活动双重控制。剪切带最初的韧性变形发生于中深构造层次,在变形过程中可能以渗滤交代方式形成少量含金蚀变糜棱岩。随后,剪切带随地壳抬升发

生引张,中酸性岩脉侵入并携带了大量深源流体和成矿物质。中浅构造层次剪切带发生的脆-韧性变形叠加在早期韧性变形之上,形成以剪切裂隙为主要形式的扩容空间,成矿流体以充填方式形成含金石英脉和石英网脉,同时,成矿流体使早期形成的含金蚀变糜棱岩进一步富集。晚期的脆性变形可形成次生富集(王义天等 2004)。

中生代岩浆活动微弱,仅在萨瓦亚尔顿矿区及外围发育一些岩脉,岩脉侵入对萨瓦亚尔顿金矿的形成有一定影响。侏罗纪—白垩纪伴随热液活动形成锑矿化,如查汉萨拉锑银矿,石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(190 \pm 1.2)\text{Ma} \sim (122 \pm 2.1)\text{Ma}$ (胡世铃等, 2000),这一时期基本上没有形成金矿。

5 结 论

(1)根据矿床特征,西南天山的金矿可划分为与剪切带有关的金矿床、与侵入岩有关的金矿床(包括斑岩型)、石英-重晶石脉型金矿床、与火山岩有关的金矿床和矽卡岩型金矿床 5 类,其中与剪切带有关的金矿床是最重要的矿床类型,石英-重晶石脉型金矿床是罕见的金矿类型。

(2)与剪切带有关的金矿床成矿物质主要来源于岩浆和海相碳酸盐岩,成矿流体主要来源于岩浆水(大山口金矿)或主要来自大气降水,混合少量岩浆水(萨瓦亚尔顿金矿)。石英-重晶石脉型金矿床成矿物质来自容矿地层,成矿流体主要来源于沉积建造水。

(3)石英-重晶石脉型金矿形成于晚二叠世 $[(258 \pm 15)\text{Ma}]$;与剪切带有关的金矿成矿时代为三叠纪 $(246 \sim 206\text{Ma})$;与侵入岩有关的金矿、矽卡岩型金矿成矿时代主要集中在二叠纪,这些矿床形成于后碰撞阶段。斑岩型(硫磺山金银多金属矿床)和与火山岩有关的金矿床(乔霍特铜金矿点)形成于岛弧挤压环境。

致 谢 在野外工作期间得到了新疆地质矿产勘查开发局第二、三、八队和当地政府的大力支持与帮助。在此,笔者一并致以诚挚的谢意。

References

- Bao Q Z, Wang H, Sha D M and Hu X J. 2003. Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluid inclusion of Dashankou gold deposit in Xinjiang [J]. *Northwestern Geology*, 36(2): 43~49 (in Chinese with English abstract).
- Cai D S, Lu H F, Jia D, Wu S M and Chen C M. 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the ophiolite melange in southern Tianshan and the mylonite in the southern rim of center Tianshan and their tectonic significance [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 31(4): 384~390 (in Chinese with English abstract).
- Chen F W and Li H Q. 2003. Metallogenic chronology of the Sawayaerdun gold-antimony deposit in Xinjiang [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 24(6): 563~567 (in Chinese with English abstract).
- Cole A, Wilkinson J J, Halls C and Serenko T J. 2000. Geological characteristics, tectonic setting and preliminary interpretations of the Jilau gold-quartz vein deposit, Tajikistan [J]. *Mineralium Deposita*, 35: 600~618.
- Coleman R G. 1989. Continental growth of Northern China [J]. *Tectonics*, 8: 621~635.
- Gao J, Li M, Xiao X, Tang Y and He G. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, northwestern China [J]. *Tectonophysics*, 287: 213~231.
- Gao J, Long L L, Qian Q, Huang D Z, Su W and Klemd R. 2006. South Tianshan: a Late Paleozoic or a Triassic orogen [J]? *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049~1061 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, He G Q, Wu T R and Li H M. 2004. Zircon U-Pb dating and geochemical features of Early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang: Implications for tectonic evolution [J]. *Xinjiang Geology*, 22(1): 4~11 (in Chinese with English abstract).
- Han C M, Xiao W J, Zhao G C, Mao J M, Li S Z, Yan Z and Mao Q G. 2006. Major types, characteristics and geodynamic mechanism of Upper Paleozoic copper deposits in northern Xinjiang, northwestern China [J]. *Ore Geology Reviews*, 28: 308~328.
- Hopson C, Wen J, Tilton G, Tang Y, Zhu B and Zhao M. 1989. Paleozoic plutonism in East Junggar, Bogdashan, and eastern Tianshan, NW China [J]. *EOS, Trans. American Geophysical Union*, 70: 1403~1404.
- Hu S L, Man F S, Ni S B and Wang Z R. 2000. Study on the metallogenic times of the Chahansala Sb-Ag ore belt [J]. *Seismology and Geology*, 22(Supp.): 51~62 (in Chinese with English abstract).
- Jiang C Y, Mu Y M, Bai K Y, Zhao X N, Zhang H B and Hei A Z. 1999. Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan Mountain, western China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 298~308 (in Chinese with English abstract).
- Kempe U, Belyatsky B V, Krymsky R S, Kremenetsky A A and Ivanov P A. 2001. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au(-W) deposit Muruntau (Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization [J]. *Mineralium Deposita*, 36: 379~392.
- Kostitsyn Y A. 1996. Rb-Sr isotopic study of the Muruntau deposit:

- migmatism, metamorphism, and mineralization [J]. *Geochemistry International*, 34: 1009~1023.
- Li H Q and Chen F W. 2003. Rock-forming and ore-forming chronology of the Liuhuangshan copper polymetallic deposit in East Tianshan Mountains [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(6): 555~558 (in Chinese with English abstract).
- Li X D and Wang K Z. 2000. On orogenic to basinal tectonic transfer along the southern margin of west Tianshan mountains, China [J]. *Xinjiang Geology*, 18(3): 211~219 (in Chinese with English abstract).
- Liu B P, Wang Z Q, Zhang C H, Ma H W, Zhou H R, Zhu H, Gong Y M and Jia W M. 1996. Tectonic framework and evolution in South-west Tianshan Mountains, China [M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences. 1~118 (in Chinese with English abstract).
- Liu C X, Xu B L, Zhou T R, Lu F X, Tong Y and Cai J H. 2004. Petrochemistry and tectonic significance of Hercynian alkaline rocks along the northern margin of the Tarim platform and its adjacent area [J]. *Xinjiang Geology*, 22(1): 43~49 (in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Long X R, Zheng M H, Li E D, Wang J Z, Sang H Q and Yin H X. 2002. The metallogenic age of Sawayaerdun gold deposit in southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 22(3): 19~23 (in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Li E D, Long X R, Zheng M H, Wang J Z and Sang H Q. 2004a. The metallogenic age of Dashankou gold deposit in southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1): 37~43 (in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Li E D, Long X R, Zheng M H and Wang J Z. 2004b. Metallogenic characteristics and epoch of the Bulong gold deposit in southwestern Tianshan Mountains Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 40(5): 6~11 (in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Zheng M H, Cool N J, Long X R, Deng J and Zhai Y S. 2007. Geological and geochemical characteristics of the Sawaya 'erdun gold deposit, southwestern Chinese Tianshan [J]. *Ore Geology Reviews*, doi:10.1016/j.oregeorev.2006.11.003.
- Ma L F, Qiao X F, Min L R, Fan B X and Ding X Z. 2002. Geological atlas of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 342~343 (in Chinese).
- Ma T L, Sun L Q, Chen X H, Wang J, Zhou J H and Zhang X L. 1999. Tectonic characteristics of ore area in the Sawayaerdun gold deposit in Southwest Tianshan, Xinjiang [A]. In: Deng N G, Lei W Z, ed. *Collected works of continent structure and deformation in intracontinent and forums about geomechanics in the 6th sessions* [C]. Beijing: Seismological Press. 132~135 (in Chinese).
- Mao J W, Konopelko D, Seltmann R, Lehmann B, Wen C, Wang Y T and Eklund O. 2004. Post-collisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan [J]. *Econ. Geol.*, 99: 1771~1780.
- Mao J W, Goldfarb R J, Wang Y T, Hart C J, Wang Z L and Yang J M. 2005. Late Paleozoic base and precious metal deposits, East Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting [J]. *Episodes*, 28(1): 23~36.
- Meng X J, Ye J H and Wang L B. 2000. Geology and geochemistry of the Muruntau type gold deposits in the Sahentuohai-Dashankou metallogenic province, South Tianshan Mountains, China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(4): 379~388 (in Chinese with English abstract).
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation [M]. New York: Longman Scientific and technical Limited. 1~343.
- Rui Z Y, Goldfarb R J, Qiu Y Q, Zhou T H, Chen R Y, Pirajno F and Yun G. 2002. Paleozoic-early Mesozoic gold deposits of the Xinjiang Autonomous Region, northwestern China [J]. *Mineralium Deposita*, 37: 393~418.
- Wang B Y, Lang Z J and Li X D. 1994. Synthetic research on the geological sections of the west segment of the Tianshan, China [M]. Beijing: Science Press. 1~202 (in Chinese).
- Wang Y T, Mao J W, Yang F Q and Feng J X. 2004. Tectonic controlling on the metallogenesis of the Dashankou gold deposit in southwestern Tianshan Mountains [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 23 (Supp.): 74 (in Chinese).
- Wang Z L, Mao J W, Yang J M, Chen W and Zhang Z H. 2004. ^{40}Ar - ^{39}Ar age of K-feldspar from K-feldspar granite in the Qiaohuote copper deposit, Bayanbulak, Xinjiang, and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 428~434.
- Wilde A R, Leyer P, Mernagh T and Foster J. 2001. The giant Muruntau gold deposit: geologic, geochronologic, and fluid inclusion constraints on ore genesis [J]. *Econ. Geol.*, 96: 633~644.
- Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, Zhu Bao Q, Li J Y and Zhao M. 1992. Tectonic evolution of the northern Xinjiang and its adjacent regions [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~169 (in Chinese).
- Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 408 (in Chinese).
- Yakubchuk A, Cole A, Seltmann R and Shatov V. 2002. Tectonic setting, characteristics, and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid orogenic collage: The Tien Shan province as a key example [J]. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 9: 177~201.
- Yang F Q, Ye Q T, Fu X J and Ye J H. 1999. Distribution and metallogenic conditions of gold deposits in southwest Tianshan Mountains [J]. *Xinjiang Geology*, 17(2): 129~136 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Wang L B, Ye J H, Fu X J and Li H M. 2001. Zircon U-Pb ages of granites in the Huoshi Bulak area, Xinjiang [J]. *Regional Geology of China*, 20(3): 267~273 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Deng H J, Xia H D, Ma B Y and Wang L B. 2003. Geological characteristics of Qieyibulake tin-polymetallic ore spot in Atushi

- city, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 21(4): 426~432 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W and Wang Y T. 2004. The ore-forming fluids and metallogenesis of the Bulong gold deposit in Akqi county, Xinjiang [J]. Earth Science Frontiers, 11(2): 501~514 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W, Wang Y T, Li M W, Ye H S and Ye J H. 2005. Geological characteristics and metallogenesis of Sawayaerdun gold deposit in southwest Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 24(3): 206~227 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W, Wang Y T and Bierlein F P. 2006. Geology and geochemistry of the Bulong quartz-barite vein-type gold deposit in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China [J]. Ore Geology Reviews, 29(1): 52~76.
- Yang F Q, Mao J W, Wang Y T, Zhao C S, Ye H S and Chen W. 2006. Chronology and geochemical characteristics of helium, argon, carbon and oxygen isotope in fluid inclusion of the Sawayaerdun gold deposit, Xinjiang, Northwestern China and their significance [J]. Geological Reviews, 52(3): 341~351 (in Chinese with English abstract).
- Yang J G, Yan Y Y, Xu X Y, Ma Z P, Zhao R F and Yao W G. 2004. Metallogenic regularity of Southwest Tianshan Mountains in comparison with neighboring countries [J]. Mineral Deposits, 23(1): 20~30 (in Chinese with English abstract).
- Yang J G, Yang L H, Lü C G, Li Z P and Yu P S. 2006. Isotopic geochronology of minerogenesis of the Bulong gold deposit in Southwestern Tianshan Mountains [J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(1): 51~55 (in Chinese with English abstract).
- Ye J H, Ye Q T, Wang J, Wu Y P, Yang F Q and Fu X J. 1999. Geochemistry and metallogenic mechanism of the Sawayaerdun gold-antimony deposit [J]. Mineral Deposits, 18(1): 63~72 (in Chinese with English abstract).
- Ye Q T, Wu Y P, Fu X J, Chen M Y, Ye J H, Zhuang D Z, Yang F Q and Bai H H. 1999. Ore-forming conditions and metallogenic prognosis of gold and nonferrous metallic resources in Southwestern Tianshan Mountain [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~201. (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Bai Z H, Xiong X L, Mei H J and Wang Y X. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang [J]. Geochimica, 32(4): 317~327 (in Chinese with English abstract).
- Zheng M H, Zhang S T, Liu J J, Long X R and Song X Y. 2001. Geological background and metallogenic mechanism of the Muruntau-type gold deposits in Southwestern Tianshan Mountain [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~131 (in Chinese).
- Zheng M H, Liu J J, Zhang S T and Long X R. 2002. Isotopic composition and genetic indication of Sawaya'erdun gold deposit, Xinjiang [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 29(3): 237~245 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Z X, Wang K Z, Zheng Y J, Sun G H, Zhang C and Li Y P. 2006. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1193~1200 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 鲍庆中, 王宏, 沙德铭, 胡秀军. 2003. 新疆和静县大山口金矿床成矿流体地球化学特征研究 [J]. 西北地质, 36(2): 43~49.
- 蔡东升, 卢华复, 贾东, 吴世敏, 陈楚铭. 1996. 南天山蛇绿混杂岩和南天山南缘糜棱岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其大地构造意义 [J]. 地质科学, 31(4): 384~390.
- 陈富文, 李华芹. 2003. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床成矿作用同位素地质年代学 [J]. 地球学报, 24(6): 563~567.
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 黄德志, 苏文, Klemd R. 2006. 南天山晚古生代还是三叠纪碰撞造山带 [J]? 岩石学报, 22(5): 1049~1061.
- 韩宝福, 何国琦, 吴泰然, 李惠民. 2004. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义 [J]. 新疆地质, 22(1): 4~11.
- 胡世铃, 满发胜, 倪守斌, 王兆容. 2000. 查汗萨拉梯、银矿带成矿时代研究 [J]. 地震地质, 22(增刊): 51~62.
- 姜常义, 穆艳梅, 白开寅, 赵晓宁, 张虹波, 黑爱芝. 1999. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境 [J]. 岩石学报, 15(2): 298~308.
- 李华芹, 陈富文. 2003. 东天山硫磺山铜多金属矿床成岩成矿作用同位素地质年代学 [J]. 地球学报, 24(6): 555~558.
- 李向东, 王克卓. 2000. 中国西天山南缘盆地构造转换解构 [J]. 新疆地质, 18(3): 211~219.
- 刘本培, 王自强, 张传恒, 马鸿文, 周洪瑞, 朱鸿, 龚一鸣, 贾维民. 1996. 西南天山构造格局与演化 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~118.
- 刘楚雄, 许保良, 邹天人, 路凤香, 童英, 蔡剑辉. 2004. 塔里木北缘及邻区海西期碱性岩岩石化学特征及其大地构造意义 [J]. 新疆地质, 22(1): 43~49.
- 刘家军, 龙训荣, 郑明华, 李恩东, 王奖臻, 桑海清, 尹怀信. 2002. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化年龄及其意义 [J]. 矿物岩石, 22(3): 19~23.
- 刘家军, 李恩东, 龙训荣, 郑明华, 王奖臻, 桑海清. 2004a. 西南天山大山口金矿床中石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化年龄及其意义 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 34(1): 37~43.
- 刘家军, 李恩东, 龙训荣, 郑明华, 王奖臻. 2004b. 新疆布隆金矿床的成矿特征与成矿时代 [J]. 地质与勘探, 40(5): 6~11.
- 马丽芳, 乔秀夫, 闵隆瑞, 范本贤, 丁孝忠. 2002. 中国地质图集 [M]. 北京: 地质出版社. 342~343.
- 马天林, 孙立倩, 陈宣华, 王进, 周建海, 张新利. 1999. 新疆西南天山萨瓦亚尔顿金矿田构造特征 [A]. 见: 邓乃恭, 雷伟志, 主编. 大陆构造及陆内变形暨第六届全国地质力学学术讨论会论文集 [C]. 北京: 地震出版社. 132~135.
- 孟祥金, 叶锦华, 王立本. 2000. 南天山萨根托亥-大山口一带穆龙套型金矿床地质及地球化学特征 [J]. 地球学报, 21(4): 379~388.
- 王宝瑜, 郎志君, 李向东. 1994. 中国天山西段地质剖面综合研究 [M]. 北京: 科学出版社. 1~202.

- 王义天,毛景文,杨富全,冯金星. 2004. 新疆西南天山大山口金矿床成矿作用的构造控制[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(增刊): 74.
- 肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京:地质出版社. 1~169.
- 新疆地质矿产勘探开发局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 408.
- 杨富全,叶庆同,傅旭杰,叶锦华. 1999. 新疆西南天山金矿分布、类型和成矿条件[J]. 新疆地质, 17(2):129~136.
- 杨富全,王立本,叶锦华,傅旭杰,李惠民. 2001. 新疆霍什布拉克地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国区域地质, 20(3):267~273.
- 杨富全,邓会娟,夏浩东,马伯永,王立本. 2003. 新疆阿图什彻依布拉克锡多金属矿点地质特征[J]. 新疆地质, 21(4):426~432.
- 杨富全,毛景文,王义天. 2004. 新疆阿合奇县布隆金矿床成矿流体及成矿作用[J]. 地学前缘, 11(2):501~514.
- 杨富全,毛景文,王义天,李蒙文,叶会寿,叶锦华. 2005. 新疆西南天山萨瓦亚尔顿金矿床地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 24(3):206~227.
- 杨富全,毛景文,王义天,赵财胜,叶会寿,陈文. 2006. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床年代学、氢氦碳氧同位素特征及其地质意义[J]. 地质论评, 52(3):341~351.
- 杨建国,闫晔轶,徐学义,马中平,赵仁夫,姚文光. 2004. 西南天山成矿规律及其与境外对比研究[J]. 矿床地质, 23(1):20~30.
- 杨建国,杨林海,吕昌国,李智佩,于浦生. 2006. 西南天山布隆金矿床成矿作用同位素地质年代学[J]. 地球学报, 27(1):51~55.
- 叶锦华,叶庆同,王进,吴益平,杨富全,傅旭杰. 1999. 萨瓦亚尔顿金(锑)矿床地质地球化学特征与成矿机理探讨[J]. 矿床地质, 18(1):63~72.
- 叶庆同,吴一平,傅旭杰,陈明勇,叶锦华,庄道泽,杨富全,白洪海. 1999. 西南天山金和有色金属矿床成矿条件和成矿预测[M]. 北京:地质出版社. 1~201.
- 赵振华,白正华,熊小林,梅厚钧,王一先. 2003. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年[J]. 地球化学, 32(4):317~327.
- 郑明华,张寿庭,刘家军,龙训荣,宋谢炎. 2001. 西南天山穆龙套型金矿床产出地质背景与成矿机制[M]. 北京:地质出版社. 1~131.
- 郑明华,刘家军,张寿庭,龙训荣. 2002. 萨瓦亚尔顿金矿床的同位素组成特征及其成因意义[J]. 成都理工学院学报, 29(3):237~245.
- 朱志新,王克卓,郑玉洁,孙桂华,张超,李亚萍. 2006. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗质侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨[J]. 岩石学报, 22(5):1193~1200.