

阿尔金成矿带主要金属矿床地质地球化学特征及成因初探

毛德宝<sup>1</sup>,武永平<sup>2</sup>,葛桂平<sup>2</sup>,钟长汀<sup>1</sup>,牛广华<sup>1</sup>,赵更新<sup>1</sup>,王 杰<sup>1</sup>

(1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 内蒙古地质矿产勘查院, 呼和浩特 010010)

摘 要: 本文简要介绍了阿尔金成矿带近年来发现的主要金属矿床的地质地球化学特征, 研究了矿床 S、Pb、H、O 等同位素地球化学, 测定了部分矿床的流体包裹体成分和温度, 并在此基础上讨论了矿床的成因。该带主要矿床类型有火山喷流块状硫化物铅锌铜多金属矿床 (喀腊大湾)、叠加改造型铅锌铜多金属矿床 (更新沟和拉配泉)、斑岩型铜矿床 (索拉克)、卡林型金矿床 (祥云和盘龙沟)、与火山作用有关的浅成低温热液金矿床 (采石沟)、韧性剪切带型金矿床 (红柳沟)、与钾长花岗岩侵入作用有关的热液金矿床 (大平沟) 等。

关键词: 阿尔金; 金属矿床; 地质特征; 地球化学; 成因

中图分类号: P611

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 4135 (2006) 01 - 0001 - 10

阿尔金成矿带是我国地质矿产工作最为薄弱的地区之一, 早期的地质找矿工作仅局限于小比例尺的露头找矿和地表踏勘性评价, 未作深入工作。80 年代前后, 1: 20 万填图在柴达木西缘及阿尔金山北缘拉配泉—红柳沟一带发现了一批 Fe、Cr、Au、Cu 多金属矿点。90 年代以来, 区内开展了 1: 50 万化探扫面, 通过化探异常检查和加密工作, 又发现了大量金属矿点、矿床, 一批有远景区和靶区相继投入一定的勘查评价工作。近年来, 地质大调查在该地区部署

了一批填图和资源评价项目, 金属矿床勘查评价取得了一定进展。本文简要介绍了近年来发现的主要金属矿床的地质地球化学特征, 并对成因作初步探讨。

1 矿床地质特征概述

阿尔金成矿带近年来发现的金属矿床主要分布在北缘和南缘, 多集中在茫崖—花土沟、红柳沟、拉配泉—喀拉大湾等地区, 主要矿种有金、铜、铅、锌、银等 (图 1)<sup>[1]</sup>。

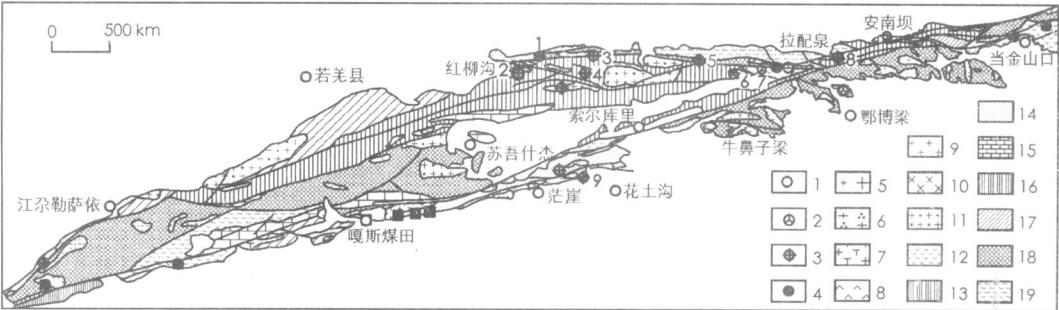


图 1 阿尔金成矿带地质略图及主要主要金属矿床分布

Fig 1 Geological sketch map of the Altyn ore belt Showing distribution of the main metallic deposits

1. 地名; 2. 铅锌多金属矿; 3. 金矿; 4. 铜矿; 5. 燕山期中酸性侵入岩; 6. 印支期中酸性侵入岩; 7. 华力西期中酸性侵入岩; 8. 加里东期超基性岩; 9. 加里东期中酸性岩; 10. 中元古代基性超基性岩; 11. 中元古代中酸性侵入岩; 12. 奥陶系; 13. 石炭系; 14. 侏罗系; 15. 青白口系; 16. 蓟县系; 17. 长城系; 18. 古元古界; 19. 太古宙片麻岩—麻粒岩; 图中标注的数字代表的矿床是: 1. 索拉克铜矿; 2. 红柳沟金矿; 3. 盘龙沟金矿; 4. 祥云金矿; 5. 大平沟金矿; 6. 喀腊大湾铅锌铜多金属矿; 7. 更新沟铅锌铜多金属矿; 8. 玉勒山金矿; 9. 索尔库里北山银铜矿; 10. 采石沟金矿

收稿日期: 2005 - 04 - 09

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目资助 (编号: 200010200164)

作者简介: 毛德宝 (1964 - ), 男, 硕士, 研究员, 从事区域成矿研究与矿产资源勘查评价工作; E - mail: tjndebao@egs.gov.cn

### 1.1 金矿床

金矿床是阿尔金成矿带近年来发现最多的矿种之一,原生金和沙金都有发现。主要矿床以采石沟、大平沟、祥云为代表。

采石沟金矿位于阿尔金南缘茫崖—花土沟之间,由青海有色地勘局发现并勘查<sup>[2]</sup>。矿床产于奥陶系滩间山群火山岩中。该地层主要为一套中基性火山岩,其岩性下部为千枚岩、砂质板岩夹薄层状板岩;中部凝灰岩、凝灰熔岩;上部为凝灰岩夹白云质灰岩。区内除发育区域性的北东东向断裂外,还发育环状断裂和放射性断裂。岩浆侵入岩体有加里东期的闪长玢岩、花岗闪长岩和海西期的钾长花岗岩。金矿床主要受潜火山岩体外围的环状断裂控制,目前已圈出的矿体有 9 个,矿体长 60 ~ 750 m,厚 0.4 ~ 3.35 m, Au 平均品位为  $1.97 \times 10^{-6} \sim 7.17 \times 10^{-6}$ 。矿体为破碎蚀变岩型,硫化物呈石英细脉和浸染状产出,主要原生金属矿物见黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、镜铁矿,地表由于氧化强烈褐铁矿、黄铁钾矾大量发育,偶见孔雀石;脉石矿物见石英、长石、绿泥石、绢云母、方解石、石膏化等。围岩蚀变主要有硅化、碳酸岩化、绢云母化,次有绿泥石化、绿帘石化。

大平沟金矿位于阿尔金北缘索尔库里以北地区,由新疆第一区域地质调查大队发现并勘查<sup>[3,4]</sup>。矿区出露地层为奥陶系变质火山沉积岩系,主要为绿泥石片岩、绢云绿泥片岩、硬砂岩等。矿区夹持在两条近东西向的阿尔金山北缘断裂与库木塔格—白尖山深断裂之间,次级断裂发育,多为南倾陡立的压剪性断裂,主要呈北西向和东西向两组,沿断裂又发育更次级裂隙带及破碎蚀变带,破碎蚀变带普遍含金,是该金矿主要的赋矿构造。矿区东部产有二长花岗岩—钾长花岗岩岩株和岩脉,矿区主要脉岩有石英脉、石英钾长岩脉和钾长花岗岩脉,多沿断裂破碎蚀变带和裂隙分布,呈脉状、透镜状,具平行排列和尖灭再现特征,其中石英脉和石英钾长石脉普遍含金。该金矿目前已发现五条含金破碎蚀变带,总体呈近东西向、北西向相间排列分布,共圈定了 14 个金矿体,矿体多呈条带状、透镜状,沿近东西向破碎蚀变带产出,产状  $190^\circ \sim 200^\circ$  陡倾。金矿体有破碎蚀变岩型、石

英脉或石英钾长石脉型两种类型,前者规模大、品位低,后者规模小、品位高。组成矿石的矿物计 20 余种,除自然金外,主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿等,其它少量金属矿物有自然铜、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、钛铁矿、铜蓝、褐铁矿、磁铁矿、孔雀石、黄钾铁矾、白钛石等。脉石矿物主要石英、绿泥石、钾长石、绢云母和方解石等,其次为绿帘石、黑云母、磷灰石、萤石等。主要的蚀变有绢云母化、绿泥石化、钾化、硅化、碳酸岩化。

祥云金矿床产于阿尔金山北部红柳沟—恰什坎萨依一带,由新疆第一区域地质调查大队发现,新疆地调院进行评价,相近的矿床矿点还有盘龙沟、红柳沟、斯米尔等。矿床产在红柳沟蛇绿混杂岩带内,出露地层呈构造岩片产出,有长城系巴什库尔干群变质碎屑岩—碳酸盐岩—火山碎屑岩建造,蓟县系浅变质碳酸盐岩—碎屑岩—火山岩建造,奥陶系玄武岩—火山碎屑岩—硅质岩—碳酸盐岩建造。矿区内岩浆活动相对简单,其东北部有超基性岩体产出,此外有石英闪长岩沿断裂零星分布。矿区位于贝克滩复背斜核部南侧,并发育有近东西向的祥云断裂和北东向次级断裂。金矿产在长城系不纯大理岩—浅变质细碎屑岩中,呈破碎蚀变岩型产出。矿体控制长度 1 880 m,平均厚度 6.19 m, Au 平均品位  $1.2 \times 10^{-6} \sim 7.2 \times 10^{-6}$ 。矿石矿物组成较为简单,主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉锑矿,此外局部还含有少量的方铅矿。脉石矿物主要见白云石、石英、绢云母、绿泥石和高岭土等。矿石具粒状结构、交代结构、变晶结构、充填结构,块状构造、条带状构造等。围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石、白云石化和少量的绿帘石化、白云母化。

### 1.2 铜铅锌多金属矿床

铜、铅、锌多金属矿床主要产在早古生代蛇绿混杂岩带内,在红柳沟—拉配泉地区发现较多。

拉配泉铜矿床位于阿尔金成矿带东段,由中国地质科学院地质力学研究所和新疆第一区域地质调查大队发现并评价<sup>[5]</sup>。区内出露奥陶系拉配泉群双峰式火山岩、碎屑岩及碳酸盐岩。岩浆侵入活动甚为发育,见加里东期角闪石英

二长岩—二长花岗岩、印支期似斑状二长花岗岩和燕山期碱长花岗岩。矿区夹持在两条近东西向断裂—阿尔金北缘断裂和拉配泉断裂之间,NW、WNW向次级断裂极为发育,它们对本区铜为主多金属矿产分布起着分级控制作用。该铜矿化带沿拉配泉断裂带北侧呈WNW向断续延伸13 km左右,赋存于拉配泉群中上部火山沉积岩中。矿化带东段较宽,可达100 m,矿化蚀变比较强烈,有绿泥石化、绢云母化、方解石化和蛇纹石化等组成的蚀变带相伴产出。而中、西段矿化带变窄,最宽20 m,围岩蚀变较弱,有大理岩化、硅化等。矿体主要呈石英—硫化物充填脉和网脉状产出,单脉长几米到几十米,宽几厘米至3 m。铜品位较高,最高达 $14.45 \times 10^{-2}$ ,一般 $1 \times 10^{-2} \sim 4.5 \times 10^{-2}$ 。矿石具碎裂结构、角砾结构、块状构造。矿石矿物主要为孔雀石、硅孔雀石、黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、铜蓝、磁铁矿和褐铁矿等,脉石矿物见石英、方解石、白云石、绿泥石和石膏等。围岩蚀变较强,见有褐铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化和硅化。

索拉克铜矿位于阿尔金北缘西段,由新疆地调院发现并勘查评价。矿区出露地层主要为奥陶系火山熔岩、紫红色碧玉岩、熔结火山碎屑岩及火山碎屑岩等,局部出露次火山岩。火山熔岩包括:气孔状、杏仁状玄武岩、玄武安山岩、石英霏细岩等,并发育球状构造等。在矿区北部出露太古宙米兰岩群,由花岗片麻岩、斜长角闪岩、角闪斜长变粒岩、石墨大理岩、砂线榴石片麻岩等组成。二叠系—石炭系沉积岩出露在矿区北东部,由砾岩、砂岩和粉砂岩组成。侵入岩有加里东期闪长玢岩、石英闪长岩、石英闪长玢岩和正长斑岩。石英闪长玢岩体长大于1 km,宽180 m,与奥陶系火山沉积岩呈侵入接触。区内构造发育,在矿区北部发育北阿尔金断裂,该断裂为北部太古宙高级变质地体与奥陶系火山沉积岩的分界。此外发育近东西向构造和北东向构造,在遥感解译图上还发育环状构造。矿体产在石英闪长玢岩中,受岩体内部断裂裂隙构造控制,地表见铜矿化、黄铁矿化,蚀变破碎带长约1.6 km,宽100~200 m。地表用槽探宏观控制了有明显孔雀石化的地段长约

1.2 km,其中孔雀石化相对较强的地段有两段:段长约600 m,矿体宽10~60 m,铜品位 $0.25 \times 10^{-2} \sim 0.3 \times 10^{-2}$ 。段位长约300 m,宽5~35 m,铜品位 $0.12 \times 10^{-2} \sim 0.3 \times 10^{-2}$ ,最高 $0.42 \times 10^{-2}$ 。矿体呈石英—黄铜矿细脉、网脉或浸染型矿化产出,石英脉宽2~8 cm。主要金属矿物见黄铁矿、黄铜矿,此外见少量斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿,氧化物孔雀石、褐铁矿、黄铁钾矾常见。非金属矿物见石英、绿泥石、绿帘石、黑云母、绢云母、碳酸盐、石膏等。矿化与围岩蚀变密切相关,有绿泥石化、黑云母化、碳酸盐化、硅化、黄铁矿化等。

喀腊大湾铅锌铜多金属矿床产于阿尔金成矿带北缘拉配泉—红柳沟加里东期褶皱带中部,由新疆地调院发现并评价。对矿区出露地层目前还有不同看法,区内1:20万区域地质填图将矿区地层定为蓟县系塔营达坂群,区内矿产资源评价沿用了这一划分,但目前包括新疆地调院在内的区内工作人员普遍认为是奥陶系地层,与拉配泉一带的拉配泉群可以对比,但不排除一部分片岩和碳酸盐岩是蓟县系的可能。主要岩石类型有变质凝灰岩、变质凝灰质砂岩、石英片岩、长石云母石英片岩、绿泥石石英片岩、石英岩、含磁铁二云母石英片岩夹磁铁矿岩透镜体、金云母透闪石大理岩、含碳长英质绢云母片岩等。岩浆活动以加里东期至华力西期最为强烈,加里东期以双峰式火山活动为特点,晚期有基性超基性岩至中酸性岩侵入,华力西期则以中性—中酸性深成侵入作用为主。矿区内岩浆侵入岩体分布广泛,岩性主要为石英闪长岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、石英钠长斑岩等。区内发育北西西向、近东西向两组断裂,岩石破碎强烈,裂隙、片理发育。喀腊达坂深大断裂通过矿区南部,北侧发育一系列北西西向次级断裂,沿断裂分布的破碎蚀变带宽度十余米至数十米,具黄铁矿化、黄钾铁矾化、次生石英化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、钾化、重晶石化、萤石化等蚀变,构成区内重要的赋矿构造。铜铅锌矿产于喀腊达坂黄铁矿化蚀变带中,容矿围岩是含磁铁矿的黑云母片岩、黄铁绢英岩。矿化蚀变带和矿体在空间上与石英钠长斑岩紧密相随,多产在石英钠长斑岩的两侧。矿区分布有

南、北两个矿带,初步圈定 20 个矿体,矿体长度 100 ~ 1 450 m,平均厚度 1.30 ~ 14.30 m,平均品位 Cu  $0.37 \times 10^{-2}$  ~  $0.85 \times 10^{-2}$ 、Pb  $0.60 \times 10^{-2}$  ~  $1.98 \times 10^{-2}$ 、Zn  $1.02 \times 10^{-2}$  ~  $2.61 \times 10^{-2}$ ;单工程视厚度 1.20 ~ 36.50 m,品位 Cu  $0.31 \times 10^{-2}$  ~  $2.42 \times 10^{-2}$ 、Pb  $0.52 \times 10^{-2}$  ~  $3.95 \times 10^{-2}$ 、Zn  $1.02 \times 10^{-2}$  ~  $9.43 \times 10^{-2}$ ;单样最高品位 Cu  $4.85 \times 10^{-2}$ 、Pb  $6.50 \times 10^{-2}$ 、Zn  $9.43 \times 10^{-2}$ 。矿石具条带—浸染状构造、条纹—浸染状构造和细脉浸染状构造。金属矿物主要有黄铁矿、磁铁矿,其次是闪锌矿、方铅矿、辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿,地表氧化矿发育褐铁矿、黄铁钾矾、孔雀石、铜兰、铅矾、白铅矿、菱锌矿等;脉石矿物有石英,其次是绿泥石、绢云母、白云母,少量重晶石、萤石。有用组份铅、锌,其次是铜,伴生金、银。岩石蚀变强烈,主要有褐铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化、硅化等。

## 2 同位素地球化学

### 2.1 硫同位素

区内金属矿床硫同位素组成见表 1。不同矿床硫同位素组成有一定的差异:索尔库里北山铜银矿床矿石黝铜矿  $^{34}\text{S}$  为 +15.8‰ ~ +16.5‰,平均 +16.2‰;喀腊大湾铜矿床矿石黄铜矿  $^{34}\text{S}$  介于 +17.9‰ ~ +19.8‰之间,平均 +18.8‰;拉配泉铜矿点矿石黄铜矿  $^{34}\text{S}$  为 +8.4‰;索拉克铜矿  $^{34}\text{S}$  为 +1.9‰;盖吉里克铜矿点  $^{34}\text{S}$  为 +1.0 ~ +9.1‰,卡特里西铜矿点  $^{34}\text{S}$  为 +5.1 ~ +4.9‰;秦布拉克铜矿点黄铜矿  $^{34}\text{S}$  为 +14.9‰;红柳沟铜金矿黄铁矿的  $^{34}\text{S}$  为 +6.2‰ ~ +11.5‰;更新沟铅锌矿黄铁矿的  $^{34}\text{S}$  为 +10.2‰ ~ +10.3‰;盘龙沟金矿黄铁矿  $^{34}\text{S}$  为 +3.0‰;祥云金矿  $^{34}\text{S}$  为 +5.3‰ ~ +6.8‰;大平沟金矿黄铁矿  $^{34}\text{S}$  为 +3.4‰ ~ +6.2‰;采石沟金矿黄铁矿  $^{34}\text{S}$  为 +6.7‰ ~ +8.6‰;柴水沟金矿黄铁矿  $^{34}\text{S}$  为 +5.5‰ ~ +5.8‰。从图 2 上可明显看出区内金属矿床的硫同位素有三个总体特征:一是  $^{34}\text{S} > +15\%$  的矿床,包括喀腊大湾、秦布拉克和索尔库里北山,显示成矿过程中有海水硫酸盐的参与;二是  $^{34}\text{S} < +8\%$  的矿床,包括大平

沟、柴水沟、采石沟、祥云、盘龙沟金矿和索拉克、卡特里西、盖吉里克铜矿,说明成矿主要是深源硫,来自热液流体;三是介于上述两种类型之间的矿床,  $+8 < ^{34}\text{S} < +12$ ,包括拉配泉铜矿、更新沟铅锌铜多金属矿、红柳沟金铜矿,这一类型矿床硫的来源可能较为复杂,既有海水硫酸盐的参与,也有深源硫的参与。与其它矿床硫同位素值比较,喀腊大湾、秦布拉克和索尔库里北山等矿床的硫同位素组成与北祁连铁铜沟铜矿床非常相似,反映成矿作用可能属沉积喷气成因;大平沟、柴水沟、采石沟、祥云、盘龙沟金矿和索拉克、卡特里西、盖吉里克铜矿的硫同位素组成与中低温热液型金矿床和斑岩型铜矿床相近;拉配泉铜矿、更新沟铅锌铜多金属矿、红柳沟金铜矿的硫同位素组成与日本黑矿型块状硫化物矿床、阿舍勒铜锌矿床的组成相似,反映矿床的成因有两种可能:一是沉积喷气成因,其后受到热液作用的改造;二是火山喷流成因。

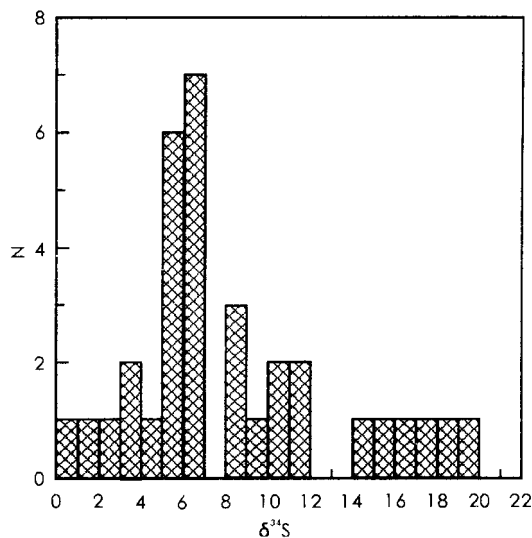


图 2 阿尔金成矿带部分金属矿床硫同位素组成

Fig 2 Histogram of the sulfur isotope data

### 2.2 铅同位素组成

区内部分金属矿床的铅同位素组成见表 2 和图 3。铅同位素组成含有较高的放射性成因铅,铅同位素模式年龄为负值,表明为异常铅成因。

在  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  构造铅图<sup>[7]</sup>上,多数铅同位素测点落在造山带演化线与地幔演化线之间,偏靠造山带演化线一侧,说明铅同位

表 1 阿尔金成矿带部分金属矿床硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotope data of sulfide minerals from some metallic deposits in the Altyn ore belt

序号	矿床	样号	测试矿物	<sup>34</sup> S‰	序号	矿床	样号	测试矿物	<sup>34</sup> S‰
1	更新沟铅锌矿	A1020 - 4	黄铁矿	+10.2	18	喀腊大湾铜多金属矿	K219 - 4	黄铁矿	+19.8
2		A1020 - 9	黄铁矿	+10.3	19	拉配泉铜矿	Lp1 - 2	黄铜矿	+8.4
3	索拉克铜矿	A1122 - 4	黄铁矿	+1.9	20	盖吉里克铜矿点	GJ8113 - F	黄铜矿	+3.28
4	红柳沟铜金矿	A1142 - 1	黄铁矿	+8.1	21		GJ8114 - A	黄铜矿	+1.0
5		A1142 - 2	黄铁矿	+6.2	22		GJ - TC3 - 2	黄铜矿	+9.1
6	盘龙沟金矿	A1134	黄铁矿	+3.0	23	卡特里西铜矿点	K - 3	黄铜矿	+5.1
7	祥云金矿	A1141 - 2	黄铁矿	+6.5	24		K - 4	磁黄铁矿	+4.9
8		A1141 - 3	黄铁矿	+6.5	25	秦布拉克铜矿点	8 - 3 - 36	黄铜矿	+14.9
9	太平沟金矿	A1144 - 3	黄铁矿	+3.4	26	大平沟金矿	D21 - 3	黄铁矿	+5.8
10	采石沟金矿	A1116 - 8	黄铁矿	+8.6	27		D21 - 4	黄铁矿	+6.2
11		A1117 - 2	黄铁矿	+6.7	28		D21 - 7	黄铁矿	+6.2
12	柴水沟金矿	PM808 - 1	黄铁矿	+5.8	29	祥云金矿	D30 - 9	黄铁矿	+5.9
13		PM808 - 2	黄铁矿	+5.5	30		D30 - 10	黄铁矿	+5.3
14	索尔库里北山	D51 - CB1	黝铜矿	+16.5	31		D30 - 12	黄铁矿	+6.8
15	铜银矿	SB - 2	黝铜矿	+15.8	32	红柳沟金矿	D33 - 3	黄铁矿	+11.5
16	喀腊大湾铜	K9 - 6	黄铁矿	+17.9	33		D30 - 12	黄铁矿	+11.5
17	多金属矿	K28 - 10	黄铁矿	+18.7					

注:1 ~ 13本研究;14 ~ 33据陈柏林等<sup>[6]</sup>

素成因与造山带环境有关。更新沟铅锌矿中部分铅位于上地壳演化线上,说明该矿床部分铅可能来源于同生沉积作用。而红柳沟金铜矿点铅则呈两极分化的趋势:一个点位于地幔演化线上、另一个点位于上地壳演化线下,说明铅同位素来源的多源性。总体上看,多数铅同位素测点具有线性排列的分布特征,表明铅同位素组成具有多元混合的成因,这与加里东期造山运动的构造环境相吻合。

2.3 氢氧同位素组成

区内部分矿床石英流体包裹体的氢氧同位素组成见表 3 和图 4。 $^{18}\text{O}_{\text{石英}} = +7.9\text{‰} \sim +15.2\text{‰}$ ,与花岗岩 ( $7\text{‰} \sim 13\text{‰}$ )<sup>[9]</sup>相当。相应包裹体水的氢同位素  $\text{D} = -51\text{‰} \sim -109\text{‰}$ 。根据 Claton 等<sup>[8]</sup>给出石英—水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系式: $^{18}\text{O}_{\text{石英}} - ^{18}\text{O}_{\text{水}} = A(10^6/T^2) + B$  (当  $T = 200 \sim 500$  时,  $A = 3.38, B = -3.40$ ),并由包体捕获温度求得的成矿流体中水的  $^{18}\text{O}_{\text{水}}$  为  $-3.13\text{‰} \sim +4.94\text{‰}$ 。将其与相应的 D 值投于 D -  $^{18}\text{O}$  图上,可发现不同研究者所获得的结果有一定的差异,杨风等<sup>[3]</sup>所获得的大平沟金矿的结果靠近岩浆水和变质水,本研究获得

的结果靠近大气水。总的来看,区内成矿流体的投影点位于变质水与岩浆岩混合区之左侧偏下方,并有向大气水演化线漂移的特征,显示成矿热液流体来自于岩浆水和天水的混合。

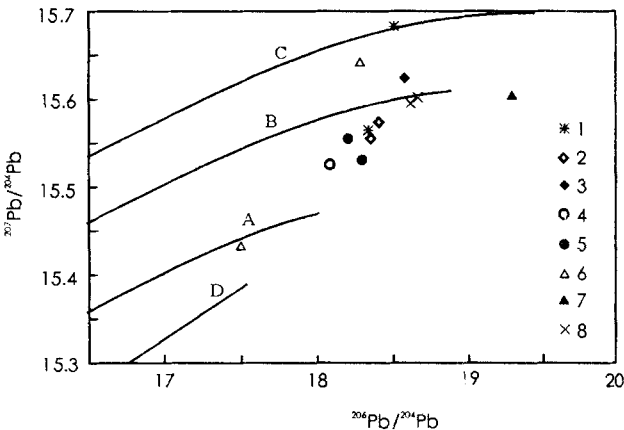


图 3 阿尔金成矿带部分金属矿床铅同位素组成图解

Fig 3 <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb versus <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb diagram of the sulfides from some metallic deposits in the Altyn ore belt

图中 A. 地幔铅; B. 造山带铅; C. 上地壳铅; D. 下地壳铅; 1. 更新沟; 2. 采石沟; 3. 索拉克; 4. 盘龙沟; 5. 祥云; 6. 红柳沟; 7. 大平沟; 8. 柴水沟

表 2 阿尔金成矿带部分金属矿床铅同位素组成

Table 2 Lead isotope composition of the sulfide minerals from some metallic deposits in the Altyn ore belt

序号	矿床	样号	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
1	更新沟	A1020 - 4	18 355 5	15. 566 1	37. 909 0
2	更新沟	A1020 - 9	18 522 2	15. 683 7	38 355 4
3	采石沟	A1116 - 8	18 370 6	15. 556 8	37. 976 3
4	采石沟	A1117 - 2	18 522 2	15. 683 7	38 355 4
5	索拉克	A1122 - 4	18 594 4	15. 623 7	38 235 4
6	盘龙沟	A1134	18 097 2	15. 527 2	37. 776 0
7	祥云	A1141 - 2	18 219 0	15. 555 2	37. 893 2
8	祥云	A1141 - 3	18 307 2	15. 532 3	37. 944 1
9	红柳沟	A1142 - 1	17. 508 9	15. 434 5	37. 659 5
10	红柳沟	A1142 - 2	18 303 2	15. 644 2	38 098 1
11	大平沟	A1144 - 3	19 309 5	15. 603 0	39 398 4
12	柴水沟	FM808 - 1	18 632 2	15. 595 9	38 299 1
13	柴水沟	FM808 - 2	18 677 2	15. 603 3	38 385 0

分析测试单位:中国地质科学院矿床地质研究所

表 3 阿尔金成矿带部分金属矿床石英流体包裹体氢氧同位素组成

Table 3 Chemical compositions of the fluid inclusions in the quartz from some metallic deposits in the Altyn ore belt

序号	样品	矿床	<sup>18</sup> O <sub>石英</sub> ‰	<sup>18</sup> O <sub>流体</sub> ‰	D‰	温度 ( )
1	D6 - 3	大平沟金矿	+12. 5	+3. 54	- 59	
2	D7 - 5		+13. 0	+4. 04	- 109	
3	D7 - 11		+11. 4	+2. 44	- 57	
4	D7 - 15		+11. 2	+2. 24	- 57	
5	A1144 - 2		+9. 5	- 3. 57	- 63	180
6	A1144 - 1		+13. 0	- 3. 13	- 56	143
7	A1015 - 4	玉勒山金矿	+15. 2	+4. 46	- 59	250
8	A1142 - 3	红柳沟金铜矿	+7. 9	+0. 25	- 51	260
9	A1116 - 3	采石沟金矿	+14. 9	+4. 94	- 62	240
10	A1116 - 4		+14. 9	+4. 56	- 56	223
11	A1122 - 5	索拉克铜矿	+13. 1	+1. 13	- 66	196

表中 1 ~ 4 据杨风等<sup>[3]</sup>,其余为本研究,由矿产资源研究所测试;流体氧同位素计算采用方程:10 001n 石英 - 水 = 3. 38 (106T - 2) - 3. 40

3 成矿流体包裹体

3.1 石英流体包裹体特征

大平沟金矿石英流体包裹体发育,多密集分布。包裹体很细小,主要为 2 ~ 3 μm,少数大于 5 μm。小者相态不清,稍大者为气液 2 相和 1 相液相包裹体,气液 2 相包裹体的气液比为 10 ± 包裹体多呈长柱状和园粒状,部分不规则状。

玉勒山金矿石英流体包裹体很发育,主要为 2 相气液包裹体,气液比约 10% ~ 20%,有的包裹体气相常温下跳动。也常见 1 相液体包裹体,包裹体较小,多小于 5 μm,少数可达 8 μm。包裹体呈椭圆状、菱形或园粒状。一般呈

群片分布,多为平行长轴呈片分布。

采石沟金矿石英中流体包裹体很多,但很细小。基本上为 2 ~ 5 μm,少数达 10 μm。主要为 2 相气液包裹体和 1 相液相包裹体。包裹体为 2 相者,气液比 10% ~ 15%,常温下气相跳动。包裹体多呈纺锤状、园粒状、长方形、不完全负晶状,少数不规则状,包裹体密集成群分布。

索拉克铜矿石英中流体包裹体发育,但多小于 5 μm,仅 2 ~ 3 μm,少数大于 10 μm。主要为 2 相气液包裹体和 1 相液体包裹体,气液比多为 10% ~ 20%,大多数小包裹体相态不清。包裹体呈圆粒、米粒状。大者呈等边、多边形、长方形、长菱形等。

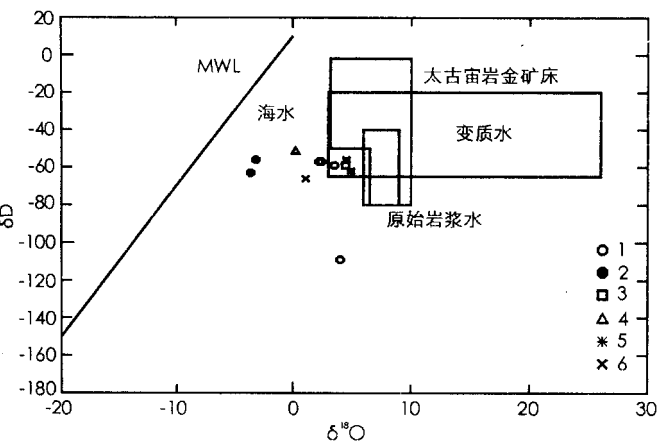


图 4 阿尔金成矿带部分金属矿床石英流体包裹体  
氢氧同位素组成图解

Fig 4 Oxygen and hydrogen isotope compositions  
of the ore forming fluids for some metallic deposits  
in the Altyn ore belt

1. 大平沟金矿<sup>[31]</sup>; 2. 大平沟金矿 (本研究); 3. 玉勒山金  
矿; 4. 红柳沟金矿; 5. 采石沟金矿; 6. 索拉克铜矿

3.2 流体包裹体成分

部分金属矿床石英流体包裹体成分见表 4。流体包裹体液相成分中阳离子以  $\text{Na}^+$  为主,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  的摩尔比为 5.9 ~ 33.5,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  摩尔比为 0.89 ~ 3.83; 阴离子成分中以  $\text{Cl}^-$  为主,  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  的摩尔比为 6.81 ~ 22.12。但采石沟金矿例外  $\text{SO}_4^{2-}$  含量接近甚至多于  $\text{Cl}^-$  的含量,  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  的摩尔比为 0.88 ~ 2.86。可见成矿流体的液相成分主要为  $\text{NaCl}$  溶液, 但采石沟金矿成矿流体略有不同, 一是矿化度总体较高, 二是  $\text{SO}_4^{2-}$  含量高。

气相成分中以水为主,  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$  的摩尔比为 37.14 ~ 85.59, 氧化还原参数  $\text{CO}_2/(\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{S})$  也较高, 为 1.25 ~ 7.45, 显示偏氧化环境。但采石沟金矿和索拉克铜矿的氧化还原参数相对较低, 还原性强。

表 4 阿尔金成矿带部分金属矿床石英流体包裹体成分测试结果

Table 4 Chemical compositions of the fluid inclusions in the quartz from some metallic deposits in the Altyn ore belt

序号	样号	矿床	液相成分 (μg/g)						
			$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{F}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
1	A1144 - 2	大平沟	3.388	0.973	0.115	0.024	0.928	4.591	1.827
2	A1015 - 4	玉勒山	22.480	1.138	0.041	0.018	0.610	36.878	4.763
3	A1142 - 3	红柳沟	30.425	1.762	0.259	0.167	1.049	58.349	7.147
4	A1116 - 3	采石沟	32.799	3.319	2.299	1.563	1.401	46.697	143.051
5	A1116 - 4	采石沟	27.955	4.507	6.945	1.100	0.508	118.809	112.733
6	A1122 - 5	索拉克	13.576	4.017	0.399	0.082	0.063	29.200	8.409
序号	样号	矿床	气相成分 (mol%)						
			$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{N}_2$	$\text{Ar}$
1	A1144 - 2	大平沟	97.070	1.639	0	0.513	0.006	0.742	0.031
2	A1015 - 4	玉勒山	96.830	2.086	0	0.275	0.005	0.804	0
3	A1142 - 3	红柳沟	97.560	1.457	0	0.355	0.005	0.568	0.056
4	A1116 - 3	采石沟	95.271	2.565	0.024	1.226	0.010	0.757	0.146
5	A1116 - 4	采石沟	96.901	1.675	0	1.328	0.008	0	0.089
6	A1122 - 5	索拉克	97.660	1.141	0	0.388	0.002	0.784	0.026

样品测试单位: 由中国地质科学院矿产资源研究所陈伟加测试

3.3 成矿物理化学条件

成矿物理化学条件主要通过石英流体包裹体测得。表 5 给出了区内部分金属矿床石英流体包裹体的测试结果, 通过均一法测温获得大平沟金矿的成矿温度为 97 ~ 268 , 平均为

177 ; 玉勒山金矿流体包裹体均一温度为 145 ~ 280 , 平均 216 ; 采石沟金矿 150 ~ 318 , 平均 228 ; 索拉克铜矿流体包裹体均一温度为 135 ~ 231 , 平均 196 。可见成矿主要为中低温类型。

表 5 阿尔金成矿带部分金属矿床石英流体包裹体物理化学参数测试结果

Table 5 Physical parameters of the fluid inclusions in quartz from some metallic deposits in the Altyn ore belt

矿床	流体包裹体薄片样号	测定包裹体个数	大小(μm)	气液比(%)	均一温度( )		冰点( - )	盐度 (wt% NaCl)	
					范围	平均值		范围	平均值
大平沟	A1144 - 1	7	5 ×5 ~ 18 ×7	5 ~ 30	97 ~ 268	177	0. 5 ~ 0. 8	0. 88 ~ 5. 40	4. 20
	A1142 - 2	7	5 ×5 ~ 18 ×4	10 ~ 20	139 ~ 210	180	2. 7 ~ 3. 3	4. 49 ~ 5. 41	5. 00
玉勒山	A1015	16	4 ×2 ~ 12 ×6	5 ~ 18	145 ~ 280	216	2. 6 ~ 4. 3	4. 34 ~ 6. 88	5. 48
采石沟	A1116 - 4	13	4 ×4 ~ 20 ×10	10 ~ 30	147 ~ 318	223	2. 1 ~ 3. 5	3. 55 ~ 4. 65	4. 51
索拉克	A1122 - 5	10	4 ×4 ~ 18 ×5	10 ~ 25	165 ~ 231	214	2. 2 ~ 4. 0	3. 71 ~ 6. 45	5. 08

样品测试单位:由中国地质科学院矿产资源研究所李荫清、陈伟加测试完成

4 成因探讨

通过对矿床地质地球化学特征、稳定同位素和流体包裹体地质特征的综合研究,对区内部分金属矿床的成因初步判断如下:

(1)祥云金矿床 属加里东中晚期形成的卡林型金矿床,该矿床产于中晚元古界不纯碳酸盐岩中,矿石矿物成分中有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉锑矿等,As、Sb低温元素含量很高,有辉锑矿脉。从表 6 中可见祥云金矿黄铁矿单矿物(可能混有毒砂)的 As 含量高达 1. 26%。矿区岩浆活动不发育,仅在外围见少量的基性超基性岩体和石英闪长岩体。总体显示低温热液矿床的成因。

(2)盘龙沟金矿床 属与基性超基性岩浆活动有关的金矿床。该矿床的容矿围岩是含炭质石英绢云片岩、凝灰质角砾岩中,矿体受超基性岩外接触带的构造控制,矿石矿物中金属矿物成分主要是黄铁矿。

(3)采石沟金矿床 与火山潜火山岩浆活动有关的浅成低温热液矿床。矿床产在加里东中晚期潜火山体的外接触带,容矿围岩是加里东期火山沉积岩系,矿体受环状断层或放射状断层控制,成矿流体以岩浆水为主,成矿温度为中低温。矿石矿物组成中出现大量镜铁矿,有硅华发育,矿石中含 As 高,重砂矿物(黄铁矿和毒砂)含 As 1. 52% ~ 42. 13% (表 6)。

表 6 黄铁矿单矿物微量元素分析结果

Table 6 Microelement contents of the pyrite samples from some metallic deposits in the Altyn ore belt

元素	A1116 - 8	A1117 - 2	A1142 - 1	A1142 - 2	A1134	FM808 - 2	A1141 - 3
	采石沟	采石沟	红柳沟	红柳沟	盘龙沟	柴水沟	祥云
Co	70. 29	21. 73	362. 40	201. 60	117. 40	389. 60	58. 95
Ni	<0. 47	<0. 43	91. 66	931. 7	275. 30	43. 26	280. 60
Pb	2. 34	200. 80	41. 55	32. 53	471. 90	44. 93	24. 69
Au	3. 959	4. 059	0. 086	42. 07	0. 201	0. 103	41. 560
Ag	9. 89	16. 40	8. 60	3. 77	9. 06	6. 05	3. 88
As	421. 300	15. 200	16. 600	12. 500	264. 40	193. 20	12. 600
Sb	1243	129. 60	66. 48	636. 70	21. 61	1. 39	253. 40
Te	0. 43	0. 17	0. 67	0. 33	0. 45	0. 55	0. 08
Hg	1. 18	0. 84	0. 15	0. 12	0. 09	0. 10	0. 17
Sc	1. 69	1. 35	12. 84	1. 43	28. 23	22. 29	1. 28

单位 ×10<sup>-6</sup>

(4)大平沟金矿 与加里东晚期钾长花岗质岩浆活动有关的低温热液矿床。矿床产于奥陶系火山沉积岩系中,矿区内发育加里东晚期偏碱性的钾长花岗岩,矿体主要表现石英脉型和石英钾长石脉型,硅化和钾长石化发育,中低温成矿,成矿流体盐度低,成矿流体以天水为主。

(5)红柳沟金铜矿床 受韧性剪切带控制的金铜矿床。矿床产于变质变形奥陶系火山岩系中,围岩片理化强烈,明显受到了韧性剪切变形作用,部分地段发生糜棱岩化。侵入岩较为发育,主要为加里东期闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩、碱长花



岗岩和花岗斑岩。硫化物的硫同位素组成为较大的正值,显示地层中海水硫酸盐参与了成矿,黄铁矿单矿物中  $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  含量高 (表 6) 显示基性火山岩贡献了矿质。

(6) 喀拉大湾铅锌多金属矿床 与加里东期火山沉积作用有关的块状硫化物矿床。矿体呈层状、似层状产出,容矿围岩为奥陶系火山沉积岩系中,矿体受石英钠长斑岩控制。硫化物硫同位素显示有海水硫酸盐参与成矿。

(7) 更新沟铅锌铜多金属矿床 受到改造的块状硫化物矿床,更新沟铅锌多金属硫化物矿床的成矿特征与喀拉大湾铅锌铜多金属硫化物矿床相似,但明显受到后期改造,在矿区北部零星出露角闪石石英二长岩,并在岩体中见到铅锌黄铁矿化的捕掳体,在岩体与火山沉积岩系的接触带产有铜矿化。在矿区东部出露较大的角闪石英二长斑岩体,岩体中产有细脉浸染状铜矿化。

(8) 索拉克铜矿 与石英闪长岩有关的斑岩型矿床。石英闪长斑岩侵入到奥陶系火山—沉积岩系之中,矿床产在石英闪长斑岩中,发育青磐岩化、硅化、黄铁矿化,成矿流体以岩浆水为主,成矿温度为中低温。矿石具陨硫石的

特征。

## 参考文献:

- [1] 毛德宝, 王克卓, 钟长汀等. 阿尔金成矿带主要成矿系列及其地质特征 [J]. 地质与勘探, 2003, (5): 1~ 5.
- [2] 黄永平, 孙淑平, 保广英, 等. 阿尔金采石沟金铜多金属矿床地质地球化学特征及找矿前景分析 [J]. 矿产与地质, 2002, 17 (1): 6~ 10.
- [3] 杨风, 陈柏林, 陈宣华, 等. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探 [J]. 地质与资源, 2001, 3: 44~ 48.
- [4] 杨屹, 杨风, 刘新营, 等. 阿尔金大平沟金矿床地质特征及成因初探 [J]. 新疆地质, 2002, 20 (1): 44~ 48.
- [5] 陈正乐, 陈宣华, 王小凤, 等. 新疆阿尔金山拉配泉铜矿区地质地球化学特征及成因分析 [J]. 地质力学学报, 2002, 8 (1): 71~ 78.
- [6] 陈柏林, 陈宣华, 王小凤, 等. 阿尔金北缘地区韧性剪切带型金矿床构造控矿解析 [J]. 地质学报, 2002, 76 (2): 235~ 241.
- [7] Zarman R E, Doe B R. Plumbotectonics - the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75: 5~ 62.
- [8] Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. J. Geophys Res, 1972, 77: 3 057~ 3 067.
- [9] Faure G. Principles of isotope geology [M]. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1986, P589.

# Geological and Geochemical Characteristics of the Main Metallic Deposits in Altyn Metallogenic Belt and Their Genesis

MAO De bao<sup>1</sup>, WU Yong ping<sup>2</sup>, GE Gui ping<sup>2</sup>, ZHONG Chang ting<sup>1</sup>,  
NU Guang hua<sup>1</sup>, ZHAO Geng xin<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>1</sup>

(1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Geological Survey of Inner Mongolia, Hohhot 010010, China)

**Abstract:** This paper deals with the geological and geochemical characteristics of the main metallic deposits in Altyn metallogenic belt. Based on the studies on geochemistry of S, Pb, H, O isotopes and the fluid inclusions including compositions, temperature and salinity, the metallogenesis of the deposits are discussed. Main deposit types in this area are as follows: VMS type of Pb-Zn-Cu polymetallic deposits, superimposed and reformed deposits (e.g. Kaladawan), Carlin type of gold deposits (e.g. Xiangyun and Panlonggou), epithermal gold de-

posits related to volcanic activities (e.g. Caishigou), disseminated gold deposits controlled by ductile shear zone (e.g. Hongliugou), hydrothermal gold deposits related potassic granite intrusion (e.g. Dapinggou).

**Key words:** Altyn; metallic deposits; geological characteristics; geochemistry; metallogeny

## 新 书 介 绍

由陆松年、于海峰、李怀坤等撰写的《中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义》一书已由中国地质出版社于近期出版。本书是中国地质调查局综合研究项目“中国前寒武纪重大地质问题研究”(项目编号 200113900070)和国家自然科学基金委员会重点研究项目“中国中—新元古代重大地质事件及与超大陆事件的对比”(编号:40032010)联合资助的研究成果,反映了作者自 2001 年至 2003 年在研究过程中所取得的认识和观点。本书重点是“围绕中国西部前寒武纪重大地质事件群,通过西昆仑山、阿尔金山、东昆仑山和柴达木盆地北缘等重点地区的解剖,建立我国西部各个地质块体前寒武纪重大地质事件群的时序,提出中国西部前寒武纪大地构造分区意见,讨论分析前寒武纪重大地质事件群的全局构造意义”。

研究期间,国际地学界对前寒武纪全球构造研究取得了令人瞩目的进展,其中包括 Rogers 等(2000, 2002)一批专家对中元古代哥伦比亚超大陆研究的构思和初步成果;Powell 等(2002)对罗迪尼亚超大陆复原所提出的新模式;众多学者(Kroner, 1996; Powell, 1995; Yoshida, 2003)对冈瓦纳超大陆,特别是东非造山带的细化研究等成果对全球前寒武纪研究起了明显的推动作用。中国地质学家作为国际地学大家庭的成员,在了解和参与全球前寒武纪研究的同时,将重点聚焦在中国大陆的前寒武纪地质上。这一时期国内、外文献中不乏介绍中国华南、华北、塔里木和造山带前寒武纪地质及变质地质的新成果,引起了国际地学界更广泛的关注。我国西部地区由于自然及交通等诸多不利条件,其地质研究程度上还低于东部地区,国内、外地学界还缺少对该区的深入了解。同时,由于研究程度较低,地质工作对资源的战略布局也难以起到指导和借鉴作用。但在新一轮地质大调查过程中,成百上千的地质工作者已经或正在这一自然条件恶劣的地区开展深入的地质调查工作,并已取得大量的成果。继陆松年等完成《青藏高原北部前寒武纪地质初探》一书后,他们又在新的研究成果基础上,撰写了《中国前寒武纪重大问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义》这本专著,目的是提高本区前寒武纪研究水平,期盼对西部资源的战略布局有所裨益;同时,作者谨以此书奉献给长期和正工作在我国西部高寒或无人区的国内同行,也奉献给那些毕生从事全球前寒武纪构造研究的国际同行。

本书除前言和结语外,共分九章,分别是:第一章,中国西部构造分区及前寒武纪重大地质事件群概述;第二章,塔里木克拉通前寒武纪地质;第三章,祁连地块前寒武纪重大地质事件;第四章,欧龙布鲁克微陆块前寒武纪地质演化;第五章,柴达木地块前寒武纪重大地质事件;第六章,阿尔金地块前寒武纪地质历史;第七章,西昆仑地块前寒武纪重大地质事件;第八章,中国西部前寒武纪重大地质事件群的全局构造意义;第九章,问题讨论。(如果太长,这段可以删去)

作者在书中对塔里木克拉通及相邻造山带早古生代构造分区进行了划分,阐述了各构造分区前寒武纪地质演化历史和特征;详细介绍了前寒武纪重大地质事件群的性质、特征及年代格架;同时以丰富的资料进一步确认了泛华夏(早古生代)造山作用的存在。此外,还扼要介绍了有关哥伦比亚(Columbia)、罗迪尼亚(Rodinia)和冈瓦纳(Gondwana)超大陆研究的最新进展,探索了研究区前寒武纪重大地质事件群与超级大陆事件的关联。本书可供地质院校高年级学生、研究生及从事前寒武纪地质、超大陆研究及区域地质调查工作者参考。