

北祁连山西段铜金铁钨多金属
矿床成矿系列和找矿评价

毛景文	张招崇	杨建民	著
左国朝	张作衡	叶得金	
王志良	任丰寿	张玉君	
彭 聪	刘煜洲	姜 枚	

地质出版社
· 北 京 ·

内 容 提 要

从北祁连山西段的基础地质研究入手,初步理清了前寒武纪地层层序和元古宙各地层时段的构造背景,对早古生代构造背景及演化提出了新见解。确认了中元古代早期蛇绿岩,探讨了奥陶纪火山岩和加里东期花岗岩的成岩环境及其找矿意义。建立了古元古代到第四纪的区域构造和成矿演化模式,初步总结了北祁连山西段金属矿床的成矿规律,并将区内金属矿床划分为中新元古代镜铁山式铁矿床成矿系列,加里东晚期铅锌矿床成矿系列,加里东末期钨多金属矿床成矿系列和印支期剪切带型金矿床成矿系列。同时,合理的地质、物探和遥感技术方法有效配置,在区内找矿预测和靶区优选方面取得了理想的效果。

本书可供从事金属矿床学、地球化学、岩石学、构造地质学以及找矿勘探专业的地学工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价/毛景文等著.

-北京:地质出版社,2003.1

ISBN 7-116-03781-0

I. 北… II. 毛… III. ①祁连山-多金属矿床-成矿规律-研究②祁连山-多金属矿床-找矿-评价 IV. P618.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 017224 号

责任编辑:王大军 邢瑞玲 王龙生 王江海

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:28.25 彩页:2 页

字 数:700 千字

印 数:1—700 册

版 次:2003 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价:90.00 元

ISBN 7-116-03781-0/P·2354

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前言

北祁连山是我国一个典型的加里东造山带,也是一个具有良好找矿前景的铁铜金成矿带。在 20 世纪 50 年代,由于白银厂块状硫化物铜(锌)矿床(宋叔和, 1982, 1985)和镜铁山铁矿床的先后发现而倍受重视。我国严重的缺铜局面促使地质工作者长期在北祁连地区奥陶纪基性-中基性火山岩中开展勘测“白银厂式”铜矿床, 40 多年的地质勘探工作虽然未取得铜矿床找矿的重大突破,但发现、普查和勘探了 100 多个矿床和矿点,个别达中型规模。

20 世纪 90 年代初,冶金工业部西北地质勘查局第五地质队在桦树沟铁矿区进行补充勘探时,于 FeV 铁矿体之下发现了铜矿体。经与甘肃陈家庙和云南大红沟铁铜矿对比后,提出了上铁下铜的同生矿床成矿模式。尔后,在铜矿体下部的破碎带内测得一些样品的金品位达工业要求,又进一步提出上铁中铜下金的成矿模式。这一模式的提出立即引起了地学界的高度重视。因为北祁连西段已经探明几十个镜铁山式铁矿床,找铜前景十分看好。冶金工业部西北地质勘查局第五地质队在桦树沟矿区深部和外围继续扩大成果,1995 年初步估算控制铜金属储量 20 万吨。地质矿产部甘肃省地质矿产局通过复查以往的勘查资料和岩心后,选定柳沟峡铁矿区再次下钻,争取实现找铜突破。与此同时,不少科学工作者纷至沓来,在成矿地质特征、岩相古地理、构造环境与成矿及地球化学等方面论证了“桦树沟式”铁铜矿床的特点和成矿机制(杨化洲等, 1991; 黄永平, 吴健民, 1992; 邬介人等, 1994; 于守南, 1992; 周涛发等, 1996; 于蒲生, 邬介人, 1996; 何昌荣, 1996; 薛纪春, 1997; 刘华山等, 1998)。

本研究就是在寻找“桦树沟式”铜矿的大气候中立项开始工作的。首先,于 1995 年 10 月承担国家计委地矿行业科技找矿项目“北祁连山西段镜铁山式铁铜矿床成矿预测和靶区优选”,旨在运用新思维、新技术和新方法,边研究,边预测,力争铜金铅锌找矿的重大突破,为国家提交一批矿产评价基地。同年 11 月,开始执行原地质矿产部定向基金科研项目“北祁连西段铁铜金铅锌矿床成矿规律和成矿预测”。虽然后一项研究偏重基础,即总结铁铜金多金属矿床区域成矿规律,但上铁中铜下金的“桦树沟式”矿床的成矿机制和找矿预测仍是该项目的重中之重。由于两项目的工作内容和时间基本相同,因此合并在一起执行。与此同时,受原地质矿产部百名跨世纪人才基金资助在工作区针对塔儿沟和小柳沟钨钼矿床进行研究;随后,以研究花岗岩演化与成矿关系为主的国家自然科学基金项目(49825103)也在此执行,这两项工作内容也纳入上述科研项目。

本书研究一开始就遇到两个问题。其一,区内的基础地质研究(包括前寒武纪地层层序和大地构造格架)薄弱,以致于科技找矿工作难于进行。所以,不得不作一些必要基础地质研究。其二,经过一段工作之后,发现盛行的“桦树沟式”上铁下铜成矿模式与地质现象不符合。桦树沟矿区内的铜矿体并非呈层状而是脉状,在空间上不仅出现于铁矿体下部,而且出

现于中部,甚至穿层。并不像同生块状硫化物铜矿床的物质组分那样复杂,铜矿石主要由石英和黄铜矿组成。金矿化受一组剪切带所控制。由于剪切带切割铁矿体和铜矿体,因此其生成时间上显然晚于前两者。由此可以认为在桦树沟矿区 FeV 矿体之下的铜金矿体只是一种空间耦合,即非同生成矿,而是多期叠加复合之结果。柳沟峡矿区,铜矿脉薄而稀疏,不规则地叠加于铁矿体之上。

甘肃地质矿产局酒泉地质调查队 1995 年下半年在北祁连山西段之西部的寒山一带找金矿取得了重要进展,还发现一系列新线索,因此地质找矿重点开始转向金矿。考虑到对“桦树沟式”铜矿成因认识的误区和找该类型铜矿前景暗淡,本书研究项目在找铜的同时把金也列为重点。鉴于北祁连西段岩石大面积裸露,在项目执行中期增添了遥感地面波谱反演找矿方法。由于及时解决了与找矿有关的基础地质问题,比较清楚地认识了初步的成矿规律,再加上合理的地质、物探和遥感技术方法有效配置,所以在预测找矿和靶区优选方面取得了理想的效果。

本书研究持续了 5 年,集中研究时期(即科技找矿攻关)为两年 8 个月(包括正式立项前期调研和踏勘),旨在进行“桦树沟式”铁铜金矿的科技找矿和全区铁铜金铅锌矿的区域成矿规律和找矿预测研究。正如前所述,由于区内基础地质工作十分薄弱,以致于科技找矿研究难以实施,不得不增设必要的基础地质研究。成矿学研究证实原盛行的“桦树沟”成矿模式与实际地质矿产生成机制不吻合,以及找铜前景暗淡时,科技找矿中心由铜转向金和铜。本书研究是一场攻坚战,不仅时间短,而且任务比设计的多和艰巨。但是项目组成员进行了有效配合,取长补短,互相促进,达到了事半功倍之效果,在基础地质、成矿学和成矿规律、成矿预测和靶区优选方面都取得了一系列重要进展和成果,主要结论如下。

一、基础地质

(一)基本理清了前寒武纪地层层序

1. 北祁连山西段乃至中祁连山有一套出露广泛的结晶岩石,在北祁连山称之为北大河群,在中祁连山称之为党河群。这套地层既缺乏化石,也未进行过放射性同位素测年,长期以来为哑层。由于岩性以片岩和角闪岩为主,一般推测其形成时代比较早。本书研究利用这套岩石中的角闪岩和石英黑云母岩进行了 Sm-Nd 等时线方法厘定其形成时代为 1980Ma,为古元古代之产物。

2. 朱龙关群分布于托来山两侧,下部为一套基性火山熔岩,上部为一套碎屑岩和碳酸盐岩。该地层时代争议比较大,有前寒武纪长城系与奥陶系两种认识。笔者在熬油沟蛇绿岩剖面利用辉绿岩墙中的锆石进行测年,获得 $1840 \pm 2\text{Ma}$ 、 $1783 \pm 2\text{Ma}$ 和 $1784 \pm 2\text{Ma}$ 数据,说明成岩发生于中元古代早期。这与后期利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年的数据基本吻合,后一组数据为 $1777 \pm 28\text{Ma}$ 。

3. 在柳沟峡矿区东部发现一套火山岩,由绿色凝灰角砾岩、熔结角砾岩和含角砾凝灰岩组成。该火山岩以推覆体形式超覆于镜铁山群之上,其岩性既不像区内奥陶纪安山质火山岩,也不像中元古代早期朱龙关群中的玄武质火山岩,经对其中熔结角砾岩中的单颗粒锆石进行测年,获得了 733Ma、738Ma 和 604Ma 数据,证明该火山活动发生于震旦纪,同时也证明了区内震旦纪白杨沟群中有火山岩。由以上几个同位素时限,还可以引申出赋存镜铁山式铁矿床的镜铁山群的时代介于朱龙关群和白杨沟群之间,可能为中新元古代的产物。

鉴于大柳沟群地层层序位于镜铁山群与白杨沟群之间,大体推测大柳沟群的时代为新元古代早期,约 1000~700Ma。

(二) 区域构造环境的厘定和新认识

1. 理顺了元古宙各地层时段的构造背景

古元古代北大河群的构造背景为裂陷槽。中元古代早期朱龙关群的构造背景为洋、岛弧、海沟、弧后盆。通过初步工作,按照岩石组合进一步划分出:①大东沟-吊大坂裂谷构造带;②托来山北坡洋脊-岛弧构造带;③朱龙关河俯冲杂岩构造带;④小柳沟-班赛尔成熟岛弧构造带。生成时代,镜铁山群为中元古代中、晚期,构造背景为半稳定残留海;大柳沟群为新元古代早期,构造背景为稳定滨浅海;白杨沟群为新元古代晚期,构造背景为裂陷海。

2. 对早古生代构造背景及演化提出与前人不同的新见解

早古生代构造演化:由震旦纪开始,在古元古代北大河群及中、新元古代各层系基底上裂解的裂谷体系,并以大量地质资料为依据证实了北大河群是原地系统,它是镶嵌于早古生代裂谷体系中的残留古陆壳碎块,纠正了曾有人提出的飞来峰及滑覆体的看法。

寒武系为裂谷体系,向奥陶纪逐渐演化为裂谷-海沟-岛弧带,并在晚奥陶世,中祁连地块向北祁连发生“A”型俯冲作用,形成了托来河构造花岗岩带和铁、钨多金属矿床。中晚奥陶世与志留纪之间的构造运动为本区重要构造事件(地壳运动)。志留纪构造背景发生质的变化,志留系大范围角度不整合于前志留系之上,其重要性远远大于中、晚奥陶世之间的鼓浪运动,并由此可将晚奥陶世与早志留世之间的地壳运动命名为“肃南运动”。

建立了古元古代到第四纪的区域构造和成矿演化模式。

(三) 中元古代早期蛇绿岩的发现和奥陶纪火山岩成岩环境

在研究区内主要有三套火山岩,分别形成于古元古代、中元古代和奥陶纪。

1. 古元古代火山岩

古元古代北大河群中的原岩属火山岩的岩石有斜长角闪岩、石英阳起石岩和斜长石石英黑云母片岩。原岩恢复表明,斜长角闪岩和石英阳起石岩的原岩为玄武岩,斜长石石英黑云母片岩属于安山质凝灰岩。岩石地球化学、微量元素、稀土元素及 Sm-Nd 同位素综合研究表明,古元古代火山岩的构造背景应为在前陆壳基底之上,沿北东-南西向拉张的构造环境下形成的北西向裂谷型海槽。

2. 中元古代早期火山岩

中元古代早期是北祁连山西段火山岩最发育的一个时期,该期火山岩被划归为长城系朱龙关群。朱龙关群集中分布于托来山北侧朱龙关河两岸,呈北西西-南东向带状展布。在 1:20 万祁连山幅区域地质测量报告中,朱龙关群被划分为上岩组和下岩组,其中上岩组由中基性火山岩夹碳酸盐岩组成,下岩组主要由泥质和粉砂质板岩、灰岩夹火山碎屑岩和铁矿层组成。现在大多数学者都沿用了这个观点,本项目通过野外的详细观察以及对火山岩岩石学和地球化学的系统研究后,将其划分为 5 个岩组。

第一岩组分布于吊大坂-大东沟一带,上部以碳酸盐岩与细碎屑岩互层为主,下部为安山岩和安山质角砾岩互层,再往上为灰色硅质岩。

第二岩组分布于龙孔-熬油沟地区,由蛇绿岩套所组成。在熬油沟地区,青白口系大柳沟群白云质大理岩以外来的岩片被夹杂于蛇绿岩套之中,并与其中的拉斑玄武岩呈假互层关系。该蛇绿岩套由变质方辉橄榄岩、堆晶辉长岩、辉长闪长岩、枕状熔岩、块状熔岩、辉绿

岩和硅质岩组成。

第三岩组分布于托来峡谷-小龙口一带,主要由中基性火山岩夹少量沉积岩组成,最底部为沉凝灰岩,再由下至上依次为拉斑玄武岩、玄武角砾岩、凝灰角砾岩、安山质凝灰熔岩、安山质角砾岩、安山岩和凝灰岩,其顶部为一层厚约 1m 的砂岩。

第四岩组沿朱龙关河两侧分布,是一条由各蛇绿岩组分岩片叠复在一起的杂岩带(蛇绿混杂岩带)。由南向北岩性分别为蛇纹石化超镁铁质岩和蛇纹石片岩、细晶辉长岩、块状玄武岩和气孔杏仁状玄武岩、枕状玄武岩和薄层灰黑色硅质岩与灰绿色硅质岩互层,其中在枕状玄武岩中有辉绿岩岩墙穿入。

第五岩组分布于小柳沟-班赛尔一带。下部主要为玄武安山岩、安山岩、安山质凝灰岩和凝灰质板岩,上部主要由板岩和灰岩组成。

元素地球化学研究表明:第一岩组根据其岩石组合判断为裂谷环境;第二岩组熬油沟蛇绿岩形成于小洋盆形成时的初始扩张脊环境;第三岩组形成于不成熟岛弧环境;第四岩组为俯冲杂岩,其俯冲前的火山岩形成于洋岛环境;第五岩组为成熟岛弧。所以北祁连西段的中元古代早期存在沟-弧-盆体系。

3. 早奥陶世火山岩

早奥陶世阴沟群火山岩从南到北可以划分出 4 个岩带(依次命名为一、二、三、四),都呈 NWW 向分布,其中第一和第三岩带岩石组合相似,均以中酸性凝灰岩为主,夹少量熔岩;第二岩带火山岩底部为中酸性火山岩,上部为玄武质岩石,具有明显的反序现象;最北的第四岩带主要为基性-中基性火山岩,并有大量的火山碎屑岩。结合构造地质背景、岩石组合和元素地球化学综合研究可以得出,前 3 个岩带形成于裂谷环境,其中以第二岩带裂开最大(出现了基性岩石),由于开始时裂开程度较低,导致下地壳部分发生熔融,所以形成中酸性火山岩,后来裂开程度加大,达到上地幔,使上地幔部分熔融形成玄武岩,所以形成了第二岩带火山岩的反序现象。第四岩带的南部出现岛弧拉斑玄武岩,而靠北出现岛弧钙碱性火山岩,所以推测南部靠近大洋一侧,北部靠近大陆一侧,其大洋板块由南向北俯冲。因此,本区阴沟群火山岩尽管都称为阴沟群,但它们形成于不同的构造背景,如果有必要,建议重新命名该群地层(过去的命名剖面阴沟剖面只相当于第四岩带)。

(四) 花岗岩的形成环境及其找矿意义

在区内有近 20 个加里东期花岗质岩体。按岩性可分为花岗闪长岩、黑云母花岗岩、石英正长岩和碱质花岗岩。花岗闪长岩以野牛滩和青石峡为代表,是全区中出露面积最大的两个岩体,黑下老为最大的黑云母花岗岩体。总体上讲,花岗闪长岩体分布在南部,而黑云母花岗岩在北部,石英正长岩和碱性花岗岩呈线状分布于研究区的南部边缘,也就是托来山脉之南侧。花岗闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄为 $459.6 \pm 2.5\text{Ma}$, Rb-Sr 等时线年龄为 441.9Ma ;黑云母花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $419 \sim 403\text{Ma}$ 。它们分别为晚奥陶世和晚志留世之产物,虽然未对石英正长岩和碱性花岗岩进行放射性同位素测年,但在野外可见这套岩石穿插或切割花岗闪长岩和黑云母花岗岩。因此,碱性岩为加里东期花岗岩套的最晚一期侵入体。

通过对岩石学、岩石化学、微量元素和稀土元素比较详细的研究, SiO_2 含量差异较大,从高到低依次为碱性花岗岩→黑云母花岗岩→花岗闪长岩→石英正长岩。尽管花岗闪长岩和黑云母花岗岩岩石化学有一定的差别,二者主要来自地壳重熔,而石英正长岩则来自上地

幔。根据岩石化学和微量元素的特征,结合区内地质构造背景分析,初步确定花岗闪长岩形成于碰撞前,也就是板块俯冲之晚期;黑云母花岗岩形成于板块碰撞造山期;石英正长岩形成于造山晚期,沿拉张裂隙槽侵位。

在研究区内已探明塔儿沟和小柳沟两个大型钨矿床,它们分别与野牛滩和小柳沟两个碰撞前花岗闪长岩浆演化晚期形成的黑云母花岗岩有着时空演化关系,由于这套成矿岩体与华南地区及华北地块周缘的钨矿化岩体不同,因而尝试提出一系列特殊的辨别标志。区内的石英正长岩是我国发现的加里东造山带碱性岩带。这一岩带形成于造山晚期,深入研究其成岩特点,对于了解造山过程具有重要意义。

二、成矿规律和成矿机制

(一)在地质历史中,北祁连山西段的金属矿化经历了9次成矿作用,即古元古代铁矿化,中元古代早期铁矿化,中新元古代镜铁山式铁矿化,奥陶纪火山岩型铜矿化,加里东晚期铅锌矿化,加里东晚期桦树沟式铜矿化,志留纪砂岩型铜矿化,加里东末期钨多金属矿化和印支期剪切带型金矿化。按照矿床系列划分,将区内矿床划分为中新元古代镜铁山式铁矿床成矿系列,加里东晚期铅锌矿床成矿系列,加里东末期钨多金属矿床成矿系列和印支期剪切带型金矿床成矿系列。

北祁连西段成矿作用在地质历史上可分为4个大的构造成矿旋回,从早到晚有:古元古代开裂作用,形成了铁矿;中新元古代开裂-俯冲-碰撞旋回,首先在坳陷槽中形成热水沉积铁矿床,然后于大陆边缘海中有铅锌和铜的初始富集,最后在加里东期经过改造形成铅-锌和铜矿床;加里东期的开裂-俯冲-碰撞造山旋回首先在寒武纪开裂早期出现铁矿化,然后在岛弧和弧后盆地出现块状硫化物和火山热液型铜矿化,最后在碰撞前期出现钨-钼(铋、铁、铜)矿床,同时或稍后在大陆边缘盆地发育砂岩型铜矿化;从印支期到目前为第四个构造成矿旋回,主要以青藏高原北东边缘持续隆升和大幅度走滑为特征,深部流体沿断裂向上运移,形成剪切带型金矿。

(二)长期以来,“镜铁山式”铁矿床被认为是沉积变质型矿床。最近几年由于桦树沟矿区发现了铜矿体,因而被模式化为上铁下铜的典范,其成因相应被列为以火山岩为容岩的矿床。此次工作结果证明“镜铁山式”矿床既不是沉积变质矿床也不是VMS矿床,而是以沉积岩为容岩的Sedex型铁矿床,由于镜铁山群变质程度仅及葡萄石-绿帘石相,不可能由变质作用而形成。在镜铁山群未见明显火山活动痕迹,无法将其归类为以火山岩为容岩的矿床类型,这套铁矿床形成于裂隙槽内,重晶石层、燧石层、菱铁矿层与镜铁矿层呈互层出现,显示出典型的海底喷流沉积特征。硅、硫、氧同位素表明为海底成矿环境,碳同位素反映了深源物质加入成矿系统。Sedex型铁矿床的确认具有重要科学意义,这在国内外为首例。

(三)本次研究重新认识了“桦树沟式”铜矿床,厘定其特点为:①明显受断裂控制,控矿断裂破碎带走向NW,倾向SW,倾角 $54^{\circ}\sim 73^{\circ}$;②矿体呈脉状或沿层间破碎带形成层状,大多数穿插铁矿层和千枚岩;③不同于铁矿,铜矿脉(层)两侧围岩蚀变明显;④在铜矿化发育处,加里东期石英闪长岩脉发育;⑤不像块状硫化物矿床,区内铜矿石物质组分简单,以石英及黄铜矿为主;⑥铜矿石与铁矿石及其顶底板围岩的REE分配形式迥然不同,从区域上看,镜铁山群及朱龙关群中铜矿化比较普遍,一旦有热源,例如加里东期花岗岩活动,就其上部形成铜矿化。因此,本次工作厘定桦树沟铜矿的成矿作用为物源、水源与能源相复合,成

矿物质来源于周围的岩石或下部朱龙关群基性火山岩。

(四) 区内的铅锌矿床与“桦树沟式”铜矿床具有相同的形成机制,但铅锌矿仅限于朱龙关群上段碎屑岩和碳酸盐岩。这种成矿偏在性说明朱龙关群上段岩石中铅锌具初始富集。

(五) 北祁连山西段是我国首例加里东期钨矿带,主要由塔儿沟和小柳沟两个大型钨矿组成,区内钨矿以石英型和矽卡岩型白钨矿黑钨矿并重,还有少量云英岩型和斑岩型矿化。本次工作确认钨矿化与加里东板块碰撞前花岗岩有成因联系;与之有关花岗岩由主体花岗闪长岩和补体黑云母花岗岩组成,矿化响应于后者,前者则与矽卡岩铁矿有关,早期岩体成铁,晚期岩体成钨,反映出一种独特的成岩成矿演化体系,可能是由 f_{O_2} 变化所致。由于成矿母体花岗质岩石是介于 S 型和 I 型花岗岩之间的过渡类型,因而成矿物质来源具有特殊性。此外,辉钼矿的 Re-Os 同位素测年证明区内钨矿化发生于 445~440Ma 之间。

(六) 通过对寒山、鹰嘴山、昌马和珠龙金矿床(矿化区)的系统研究认为,北祁连山西段金矿化可以出现在不同时代的地层和岩性中,但都受 NWW 向韧性剪切带的控制。经对矿体中绢云母的 K-Ar 法时代测定,获得了印支期成矿信息。矿化表现为含金石英脉和含金石英硫化物细网脉化及含金石英碳酸盐脉。尽管基性火山岩和超基性岩体作为区内最重要的成矿围岩,矿体仍以大量发育绢云母和石英为特征,这说明成矿物质并非就地取材,而是深部物质。硫、氧、碳同位素资料表明成矿流体来自深部或深部与浅部流体的混合。

从区域构造上看,本期矿化发生于青藏高原隆升期间。正是由于印度板块与青藏板块碰撞,青藏高原从印支期开始迅速隆升,并于东北边缘祁连山地带形成一系列大型推覆走滑断裂带及剪切带。这些大断裂是深部成矿物质向上运移的重要通道,与之配套的韧性剪切带,尤其是韧性与脆性剪切带的过渡部位又是良好的储矿部位。

三、成矿预测和靶区优选

(一) 铜矿找矿预测

1. 从二次资料开发入手,研究找铜矿的可行性。结果发现,孔雀石化在铁矿层、铅锌矿层,甚至千枚岩中都可以看到,但仅构成矿化,不具任何规律性。重点观察以往钻孔资料关于铁矿层底部的描述,未见特别现象。

2. 地表物探在桦树沟和柳沟峡已知铜矿区进行系统测量,找到了某些圈定铜矿体的特征值,即:

桦树沟、镜铁山型式铜矿床地球物理特征

镜铁矿体高阻高极化率,围岩(千枚岩)高阻低极化率;

黄铜矿体低阻高极化率,围岩(千枚岩)高阻低极化率;

用激发极化法与电阻率法相结合,寻找桦树沟型铁铜矿床是具有地球物理前提的。

柳沟峡铜矿床地球物理特征

含铜铁矿带和含铜菱铁矿带上均能引起高极化率低电阻率组合异常。

应用以上两个地球物理模型在小柳沟铁矿区进行了检验,未见任何异常,这从侧面反映出原来提出的上铁下铜模型至少不具有普遍性。

3. 在柳沟峡矿田进行矿田构造研究时,在矿田东部外围震旦纪火山岩中发现了两个铜矿化点,铜品位达 0.19%~0.45%,有必要在这里进行进一步工作。

(二) 铁矿找矿预测

在北祁连山西段,岩石裸露,利用遥感技术可以直接确定矿化预测区,在已知矿区取蚀变岩和围岩,首先进行标本的波谱测定,经计算机多种图像处理方法研究,认为主分量分析(TM(1+2), TM4/ TM3, TM5, TM7)在柳沟峡—镜铁山大区所获蚀变填图效果最佳。该区9000 km²内有已知矿产地103处,其中86处在遥感信息所提取的异常图上具有对应的蚀变异常,符合率达83.5%。利用此异常图并结合岩性、化探异常及构造条件确定了新预测矿化点115处。

(三) 金矿找矿预测

1. 珠龙大型金矿化评价基地(靶区)

以历史群采砂金为线索,以地质-成矿理论为指导,在托来山南坡发现了珠龙金矿靶区。靶区内共有7个矿化韧性剪切带,其中Ⅲ号矿化带最大,长4~5km,宽300m左右。其余几个矿化带长1~4km,10多米至30m宽。各矿化带呈平行排列,走向110°,倾向20°,倾角70°~80°。初步在地表取样分析表明,Au含量平均0.5g/t,值域为6.5~0.2g/t。粗略计算远景金储量约386t。

2. 综合方法找矿,确定4个金矿预测区和3个靶区

通过对已有的1:50万、1:20万以及少量1:5万水系沉积物地球化学测量资料和重砂资料的二次开发,确定了石包城—鹰嘴山、青石峡—车路沟山和洪水坝3个金矿成矿远景区。基于地质构造、重砂异常和遥感解译确定了二指哈拉—五林沟金矿远景预测区。在远景区内,对异常点作了优选和筛选,选出珠龙、寒山和鹰嘴山3个找矿靶区。

3. 遥感地面波谱反演圈定一批找矿预测区

(1)经22件地面采集岩矿标本的室内3个方面(垂向、前向、后向)反射波谱测定证实,在柳沟峡—镜铁山一带与金属矿化密切相关的蚀变岩性,以及作为寒山金矿主要成矿标志的黄钾铁矾化矿石,都具有典型的双峰特征反射波谱(即TM3和TM5为高值),具备进行蚀变填图成矿预测的物性前提。

(2)经图像采样证实,寒山金矿与车路沟金矿具有相同的TM波谱特征,经数字图像处理在寒山—车路沟一带新增7条导矿断裂构造,并研究了识别金矿带的多种图像处理方法,以比值合成(TM5/ TM7-R, TM3/ TM4-G, TM1/ TM7-B)图像效果最优,建立了有效识别金矿带的4条预测依据:比值合成图像上色调的相似性、图像采样波谱曲线特征的相似性、受控于导矿构造、位于化探Au异常区。首批预测靶区10处中有9处已得到甘肃省地勘局酒泉地调队的认同,第二批又预测了靶区45处。

(3)通过遥感信息计算机图像处理,及时快速地对新发现的珠龙金矿进行了规模评价。所用技术主要是主分量分析和图像采样分析。提出预测靶区3个,即珠龙一区、珠龙二区和珠龙三区。其中珠龙二、三区为遥感新发现靶区,珠龙一区将野外地质工作所发现的数条矿带中最大的Ⅲ号矿带扩大到2.4倍,野外地质工作发现矿带面积0.673km²,经遥感解译增大了面积0.957km²,即增大部分为原可视矿带的1.4倍。珠龙二区位于一区沿二过龙沟往南1.5km,长9.6km,宽约93m。珠龙三区位于黄沙泉花岗岩体北侧,长8.67km,宽100~590m。珠龙金矿的遥感评价距野外地质发现仅一个月,堪称快速的典范。

本书研究是一项集体成果,是不同单位协作,不同学科交叉的结晶。本书共由12章组成,其中毛景文执笔前言,左国朝执笔第一章,彭聪执笔第二章,张招崇执笔第三章,毛景文

和张招崇执笔第四章,毛景文和任丰寿执笔第五章,杨建民执笔第六章,王志良执笔第七章,张作衡和毛景文执笔第八章,毛景文、张招崇和张作衡执笔第九章,叶得金执笔第十章,刘煜洲和姜枚执笔第十一章,张玉君和杨建民执笔第十二章。全书由毛景文、任丰寿、张作衡和王志良统编定稿。

李红艳、党泽发和吴茂炳参加了部分野外或室内工作。在工作过程中,甘肃地质矿产勘查局地矿处和酒泉地质调查队,原国家计委国土司地质处、地质矿产部地调局和科技司、中国地质科学院及矿产资源研究所有关领导和同事给予了亲切关怀和帮助,宋叔和院士、陈毓川院士、肖序常院士、叶天竺教授、陈鑫教授和夏林圻研究员对本项目研究作了指导,在此一并致以衷心感谢。

目 录

前 言

第一章 区域地质构造演化与成矿	(1)
第一节 构造单元划分	(1)
第二节 北祁连造山带西段及邻区构造格局	(2)
第三节 元古宙构造特征与成矿	(3)
第四节 寒武-泥盆纪构造特征与成矿	(20)
第五节 石炭-侏罗纪构造特征与成矿	(26)
第六节 白垩-第四纪构造特征与成矿	(27)
第二章 深部构造地球物理特征及其与成矿的关系	(29)
第一节 区域物性特征	(29)
第二节 区域重磁场特征及构造解释	(30)
第三节 深部综合地球物理场及其与矿化的关系	(36)
第三章 火山作用与成矿的关系	(40)
第一节 火山岩时空分布特征	(40)
第二节 古元古代火山岩与成矿作用的关系	(41)
第三节 中元古代早期火山作用与成矿作用的关系	(49)
第四节 早-中奥陶世火山岩与成矿作用的关系	(73)
第四章 加里东期花岗岩演化及含矿性	(93)
第一节 花岗岩岩体地质、岩石学和空间分布	(93)
第二节 花岗岩的形成时代	(99)
第三节 矿物学特征	(100)
第四节 地球化学特征	(115)
第五节 花岗质岩石的生成环境	(140)
第六节 花岗岩含矿性探讨	(143)
第五章 矿床成矿系列和成矿规律	(146)
第一节 矿床成矿系列	(146)
第二节 矿床成矿幕次划分和空间分布	(146)
第三节 成矿作用的历史演化规律性	(155)
第六章 中-新元古代铁矿床和加里东期铜矿床	(157)
第一节 “镜铁山式”铁矿床分布特征	(157)
第二节 桦树沟铁矿床地质特征	(158)

第三节	桦树沟铜矿床地质特征·····	(171)
第四节	柳沟峡铁铜矿床地质特征·····	(181)
第五节	主元素地球化学特征·····	(186)
第六节	微量元素地球化学特征·····	(190)
第七节	稀土元素地球化学特征·····	(196)
第八节	硅质岩岩石化学特征及其成岩环境研究·····	(207)
第九节	同位素地球化学·····	(219)
第十节	铁、铜矿成矿流体包裹体地球化学·····	(229)
第十一节	“镜铁山式”铁矿床成因及成矿机制·····	(233)
第十二节	“桦树沟式”铜矿床成因及成矿机制·····	(239)
第七章	铅锌矿床成矿系列·····	(243)
第一节	区域地质背景·····	(243)
第二节	典型矿床·····	(245)
第三节	同位素地球化学·····	(254)
第四节	铅锌矿床成矿模式·····	(255)
第八章	加里东晚期与花岗质岩石有关的钨多金属矿床·····	(259)
第一节	成矿地质背景和基本特征·····	(259)
第二节	典型矿床·····	(261)
第三节	成矿流体包裹体地球化学·····	(280)
第四节	成矿稳定同位素地球化学·····	(289)
第五节	钨矿床成矿作用和成矿模式·····	(295)
第九章	海西末期-印支期金矿床·····	(302)
第一节	区域金矿床基本特点·····	(302)
第二节	寒山金矿床·····	(304)
第三节	鹰嘴山金矿床·····	(316)
第四节	珠龙金矿化区·····	(323)
第五节	主要金矿床的流体包裹体地球化学·····	(329)
第六节	稳定同位素地球化学·····	(343)
第七节	金矿成矿作用和成矿模式·····	(346)
第十章	金矿找矿远景预测区和靶区优选·····	(351)
第一节	金矿找矿远景区·····	(351)
第二节	找矿靶区优选·····	(358)
第十一章	矿区地球物理勘探及找矿效果·····	(362)
第一节	物探工作目标与方法技术·····	(362)
第二节	桦树沟矿区·····	(363)
第三节	寒山金矿区·····	(369)
第四节	柳沟峡矿区·····	(374)
第十二章	TM 蚀变遥感找矿靶区定位预测研究·····	(379)
第一节	TM 蚀变遥感异常提取的波谱前提·····	(379)

第二节 TM 数据的时相选择及图像预处理 (383)

第三节 地质样品采集及其反射波谱测定..... (387)

第四节 柳沟峡—镜铁山地区 TM 蚀变遥感异常图像采样及其波谱分析 (395)

第五节 柳沟峡地区 TM 蚀变遥感异常提取方法研究 (396)

第六节 镜铁山矿区 TM 蚀变遥感异常信息剖析 (400)

第七节 柳沟峡—镜铁山地区蚀变遥感异常金属矿床找矿靶区定位预测..... (402)

第八节 寒山金矿区 TM 蚀变遥感异常找矿靶区定位预测研究 (410)

第九节 珠龙金矿区 TM 蚀变遥感异常找矿靶区定位预测研究 (413)

第十节 TM 蚀变遥感异常找矿靶区定位预测需要进一步研究的问题 (417)

参考文献..... (421)

附录..... (434)

第一章 区域地质构造演化与成矿

北祁连造山带位于秦祁昆巨型多旋回复合造山带中段,夹持于塔里木板块、华北板块和中祁连-柴达木板块之间,其东端以右行走滑的同心-固原断裂为界,北部边界断裂是龙首山南缘断裂,其北为阿拉善地块,南缘与中祁连地块北缘断裂相接,西部边界被具左旋走滑的阿尔金断裂所截。研究区位于北祁连宗宾大坂转换断层以西的祁连主峰与鹰嘴山之间(图1-1),我们将本研究区称之为北祁连西段地区。

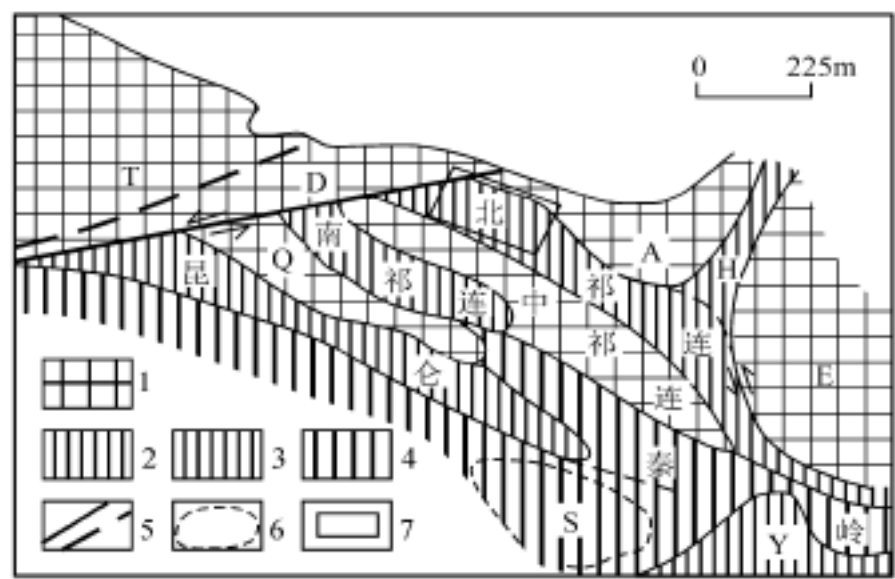


图 1-1 北祁连及邻区大地构造位置图
(据李春昱,1980,略有修改)

T—塔里木板块; D—敦煌地块; A—阿拉善地块; E—鄂尔多斯地块; Q—柴达木地块; S—松潘隐伏地块;
Y—扬子地块; H—贺兰山坳拉槽; 1—地块; 2—加里东造山带; 3—华力西造山带;
4—印支造山带; 5—边界断裂; 6—隐伏地块边界; 7—第四系
(图中的方框代表研究区的范围)

第一节 构造单元划分

根据冯益民等(1996)、左国朝(1996)所提出的划分方案,经研究分析,我们将北祁连西段及邻区构造单元划分为:敦煌地块、阿拉善地块、中祁连地块和北祁连造山带。

一、敦煌地块

敦煌地块是塔里木板块东部延伸地区。该区主要出露前长城系敦煌杂岩和北山杂岩。在地块核部的疏勒河两侧地区,主体由新太古代英云闪长岩-更长花岗岩-花岗闪长岩(TTG)组成,其表壳岩为黑云变粒岩、大理岩和角闪岩。北山南侧边缘地带出露古元古界,

由二云石英片岩、含石榴二云片岩、黑云石英片岩、蓝晶石石英片岩、矽线石石英片岩、大理岩、斜长角闪片岩、石英岩、混合岩及糜棱花岗岩等组成。在玉门黑山头、大口子东山可见到古元古界与新太古界呈不整合关系(左国朝等, 1996)。车自成等(1995)测得敦煌岩群的 U-Pb 锆石年龄为 2789Ma, 故该处敦煌岩群主体为太古宇得到佐证。

二、阿拉善地块

本地块为华北板块西段的一部分,其结晶基底由中太古界千里山岩群、新太古界阿拉善岩群和古元古界阿拉坦敖包岩群构成。太古宇为各类片麻岩、透辉石大理岩、磁铁石英岩,属深变质岩系。古元古界主要由云母片岩、变粒岩、大理岩、角闪片岩组成。中、新元古界出露于巴丹吉林深断裂以南地区,其查尔泰群为石英岩、板岩、片岩、大理岩。位于河西走廊北侧的龙首山地区的古元古界龙首山岩群为石榴二云母石英片岩和大理岩。中、新元古界墩子沟群为大理岩、石英岩、结晶灰岩和绿泥绢云片岩。

三、中祁连地块

为中祁连-柴达木板块的一部分,是中元古代早期从华北板块分裂出来的一个小型板块北缘隆起的一个地块,其北缘以托来南山北坡深断裂与北祁连分界。本地块最老岩层出露于东段马衔山地区,由古元古代-新太古代 TTG 岩套及表壳岩组成。古元古界有较广泛分布,湟源群主要为混合花岗岩、糜棱花岗岩、石榴石英片岩、大理岩、角闪片岩和二云石英片岩。中、新元古界湟中群为石英岩、千枚岩和板岩。

四、北祁连造山带

北祁连造山带位于中祁连地块与阿拉善地块之间,是一条多旋回造山带,主要裂解拉张期有中元古代早期和早古生代震旦-奥陶纪。本造山带由西向东可分西、中、东段 3 个构造区。北祁连西段于中元古代早期出现拉张裂陷,形成裂谷-微洋盆并列的构造体制。中、新元古代出现过渡型残留海盆到稳定滨浅海沉积环境。早古生代于震旦纪再一次开裂演变为裂陷槽-裂谷-海沟-岛弧多元构造的格局。宗宾大坂转换断层与阿尔金转换断层呈平行展布超镁铁岩带,经剪切转换发育有石棉矿并长期控制北祁连西段与中段地区的不同构造演化进程。以白银为界分中段和东段两个构造区,其两侧构造格局也有差异。

第二节 北祁连造山带西段及邻区构造格局

近年来,北祁连造山带中段构造格局已被众多学者所关注并进行了研讨(王荃等,1976;肖序常等,1978;吴汉泉,1980;吴汉泉等,1991;左国朝,1986;左国朝等,1987,1997;冯益民等,1992;许志琴等,1994;赵生贵,1996;张旗等,1997;葛肖虹等,1999),但对西段构造特征探讨较少。左国朝等(2002)在野外调研和研究了北祁连造山带中段和西段的大量区域地质资料后发现,这两区段在构造特征上有明显差异,提出北祁连造山带以宗宾大坂转换断层为界将北祁连造山带两侧分为中、西两部分,它们除了在构造演化上有区别外,而且在成矿作用上也迥然有异。左国朝等(1997)对中段微洋盆双向俯冲等构造演化作了有关研讨,与中段有别的是在西段的构造格局上存在着众多的大小不一的陆壳残块群,它们的主体是由前长城系北大河群组成。其次在镜铁山和托来山北坡分布着由青白口系、蓟县系、长城系浅变质岩所组成的陆壳残块,它们被镶嵌在北大河群中。左国朝等(2002)编制了北祁连中、西段

大地构造略图(图 1-2)。揭示出西段的中西两地段构造格局的差异,同时也反映了这些陆壳残块有关特征的构造-地层面貌。上述陆壳残块在西段分布有 5 个构造-地层填图单位。它们是鱼儿红东山-小东沟梁-祁连主峰单位、镜铁山-托来山北坡单位、石油河脑-吊大坂单位、柳沟峡-二过龙单位、泉脑沟山南单位(见图 1-2 中①⑩②④)。上述 5 个构造-地层填图单位是晋宁期元古宇在统一陆壳基底上经裂解后,形成正形隆起构造单元,制约着北祁连西段加里东期构造演化,而它们本身又记录了北祁连西段元古宙构造演化史。

笔者根据本区不同构造旋回的区域地质特征、成矿调研资料以及测试结果,分别论述其构造地质特征及成矿作用。

第三节 元古宙构造特征与成矿

一、古元古代: 裂隙槽(裂谷)

1. 古元古界北大河群分布及地质特征

北祁连西段古元古界北大河群以 3 条宽窄不一的微陆块的型式残存于北祁连造山带内部。北大河群属低角闪岩相和高绿片岩相变质岩系,其原岩是以数千米厚的砂泥质呈韵律互层沉积,伴有拉斑玄武岩喷发,晚期出现碳酸盐岩夹层,最终被碳酸盐岩所代替。各微陆块中的北大河群变质岩系,多以复式背斜或背形构造为特征。北祁连内部被中、新元古代及早古生代所分割的 3 条微陆块为(由南向北):①鱼儿红东山-小东沟梁-祁连主峰微陆块;②石油河脑-吊大坂微陆块;③柳沟峡-黑大坂-二过龙微陆块(图 1-2)。另外,在研究区西北部尚有更小的泉脑沟山南微陆块以及鹰嘴山南微陆块。上述的微陆块大小仅代表多次构造变动后残存的面积,而构造变动前的微陆块面积要比现在远远大得多。

(1) 鱼儿红东山-小东沟梁-祁连主峰微陆块

本微陆块长期以来被认为是原地系统,但近来有人提出本微陆块是外来的飞来峰(许志琴等,1994)或滑覆体(冯益民等,1996)。我们的野外观察和研究发现,该微陆块长 160km,宽约 14km,它由古元古界北大河群中、上岩组组成。东水峡北大河剖面由上而下依次为:白云质大理岩,绢云石英片岩夹大理岩,二云石英片岩、黑云石英片岩、变粒岩互层,绿泥石英片岩夹角闪岩,黑云斜长片麻岩。剖面总体呈向北倒转的背形构造。在构造核部混合岩化强烈。要推测该微陆块是原地系统还是外来体,关键是要确定该微陆块南缘北大河群与奥陶系之间的断层性质。按滑覆体观点,该断裂带属正断层性质(冯益民等,1996)。但是我们多次对东水峡剖面的断裂性质的考查证明,北大河群大理岩由北向南逆冲到下奥陶统灰绿色安山玄武质凝灰岩之上,由此导致后者强烈片理化。该断裂带是由一系列向南逆冲的岩片组成(图 1-3)。每一逆冲岩片间的大理岩与绢云石英片岩之块体位移(a)、大理岩之平卧褶皱(b)以及绢云石英片岩内的北倾歪斜小褶皱轴面(c),皆显示出逆冲推力来自北侧。该断裂带西延至吊大坂沟,在该处,奥陶系较东水峡出露宽。由于北大河群大理岩(Pt_1)向南逆冲到奥陶系之上,致使奥陶系内部形成一系列向南逆冲断裂,同时玄武安山质火山角砾岩、凝灰岩发生拖拉褶皱(图 1-4)。需要指出的是,位于祁连山主峰西南的加里东晚期花岗岩不但侵入到北大河群中,而且还侵入到下奥陶统阴沟群之上,表明花岗岩像钉子一样钉住了北大河群和下奥陶统阴沟群。在祁连山主峰东侧的大青沟一带,上泥盆

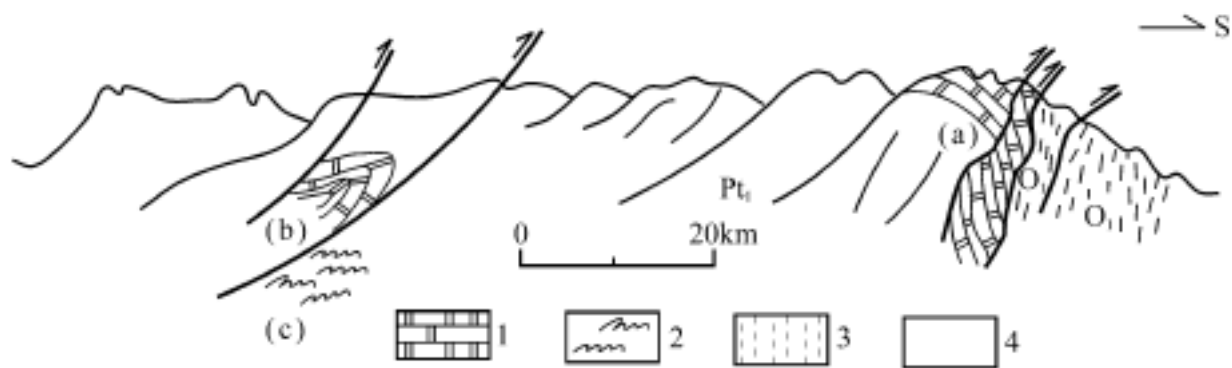


图 1-3 北大河东水峡地区北大河群(Pt_1)逆冲到下奥陶统(O_1)安山玄武质凝灰岩之上素描图

1—白云质大理岩;2—绢云石英片岩之歪斜小褶皱;3—片理化安山玄武质凝灰岩;4—绢云石英片岩夹大理岩

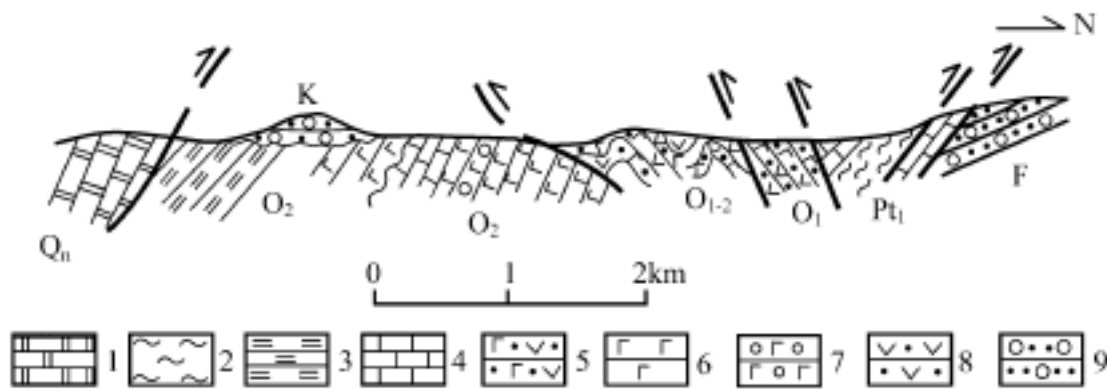


图 1-4 吊大坂沟北大河群(Pt_1)逆冲到下奥陶统之上地质剖面

1—大理岩;2—片岩;3—硅质岩;4—灰岩;5—安山玄武质凝灰岩、火山角砾岩;

6—玄武岩;7—角砾状玄武岩;8—安山质凝灰岩;9—砂砾岩

统沙流水群和下石炭统臭牛沟组分别不整合于北大河群、下奥陶统阴沟群及加里东期花岗岩之上(图 1-5)。这些都充分佐证了本微陆块是原地的。

(2) 石油河脑-吊大坂微陆块

本微陆块位于石油河脑、吊大坂之间,其长达 60km,最宽处为 10km,呈菱形短轴状。主要由北大河群中、下岩组之角闪片岩、云母石英片岩、斜长片麻岩组成。局部见有蓝晶石片岩、含石榴二云石英片岩、石英岩,在背斜核部出露有含磁铁石英岩。

(3) 柳沟峡-黑大坂-二过龙微陆块

出露于本区的最南带,呈北西西-南东东向带状展布,东西向长达 160km,其总体亦呈复背斜构造。在二过龙地区,北大河群出露中、下岩组之二云石英片岩、大理岩夹角闪片岩。背斜核部为黑云斜长片麻岩、肉红色钾长片麻岩。

2. 北大河群时代的确定

北大河群为本区最古老的陆壳基底,未见顶底,但出露总厚已逾 6000m。1:20 万祁连山幅地质图(1974)将北大河群暂厘定为古元古代。《甘肃省区域地质志》(1989)将北大河群划分为 A、B、C、D 4 个岩组,同时认为 A-B 组大致相当于阜平群的上部,C 组大致相当于五台群,D 组与滹沱群下部地层相当。作者认为上述对比无同位素年龄佐证,并且变质相、岩石组合也无法对比。本次工作对这套地层进行了放射性同位素精测,以确定北大河群的确切形成时代。