

北祁连山

# 构造-火山岩浆-成矿动力学

夏林圻 夏祖春 等著  
任有祥 徐学义 杨合群

中国大地出版社



## 前 言

本书为国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目“北祁连山西段铜、多金属矿产成矿条件及找矿预测研究”(编号:95-02-004)的研究成果。该项目由西安地质矿产研究所负责,甘肃省地勘局参加,项目负责人为夏林圻。项目下设三个二级课题,如下表所列:

| 编 号          | 二级课题名称                                | 负责单位  | 参加单位  | 负责人        |
|--------------|---------------------------------------|-------|-------|------------|
| 95-02-004-01 | 北祁连山西段铜、金多金属矿产区域成矿背景研究                | 西安地矿所 | 甘肃地勘局 | 夏祖春<br>徐学义 |
| 95-02-004-02 | 北祁连山西段铜(金)矿床成矿模式及找矿预测研究               | 西安地矿所 | 甘肃地勘局 | 杨合群<br>于浦生 |
| 95-02-004-03 | 北祁连山西段黄铁矿型铜多金属矿床和构造蚀变岩型金矿床成矿模式与找矿预测研究 | 西安地矿所 | 甘肃地勘局 | 任有祥<br>李智佩 |

项目工作地区为北祁连山西段,东起祁连县,西至肃北县,北起玉门镇,南至野马南山北坡。地理坐标:东经:94°45′~100°20′,北纬:38°40′~40°00′。面积约为2.1万km<sup>2</sup>(图0-1)。

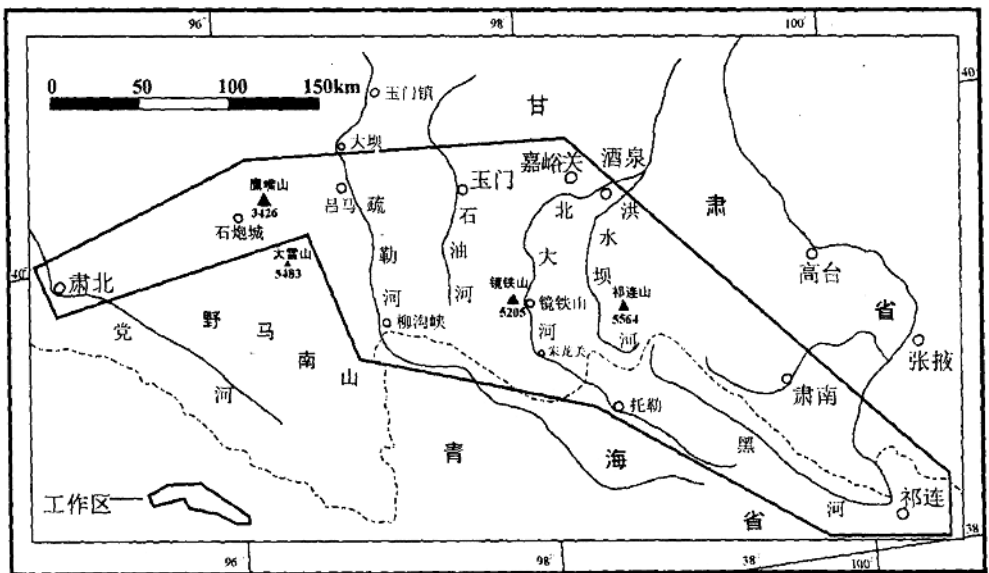


图 0-1 工作区位置图

项目工作区内的 1:100 万、1:50 万、1:20 万区域地质测量已全部完成,部分地区开展过 1:10 万区域地质测量。此外,尚完成 1:5 万正式区域地质测量图幅 9 幅。个别地区还曾进行过 1:5 万(非正式)、1:2.5 万和 1:1 万区域地质测量。自 20 世纪 70 年代以来,甘肃省地矿局酒泉地调队、青海省地矿局第二地质队、西安地质矿产研究所、地矿部地质研究所、矿床地质研究所、长春地质学院、有色金属总公司地质研究院、中国地质大学(北京)等单位,曾针对本区的基础地质和矿产资源问题,开展过各种类型的普查、勘查和研究工作,为本项目的开展奠定了较好的前期工作基础。

北祁连山是我国及世界上最重要的铜、金多金属矿产成矿省之一,已知主要工业金属矿床(Ni、Cr 除外)几乎均产于火山岩系和火山沉积岩系之中。仅就北祁连山西段而言,已经发现的具有一定工业规模和找矿前景的铜、金、多金属矿产有以下七种类型:①镜铁山式铁铜型铜矿床;②黄铁矿型铜多金属矿床(即火山岩型块状硫化物矿床);③构造蚀变岩型金矿床(即寒山式金矿);④大东沟式铅锌矿床;⑤基性—超基性岩型铜(金)矿床;⑥与花岗岩有关的钨多金属矿床;⑦志留纪砂岩型铜矿床。综合北祁连山西段的区域地质环境,结合该区第二轮区划工作意见及“九五”地勘工作部署,本项目以镜铁山式铁铜型铜矿、黄铁矿型铜多金属矿和构造蚀变岩型金矿等三种成矿类型作为找矿攻关研究的主攻方向。

本项目的攻关任务是:①通过开展区域成矿背景研究,查明北祁连山西段铜、金多金属矿床的成矿条件,并对区内寻找大型—特大型矿床的远景做出评价;②研究确定北祁连山西段铜、金矿床的主要成矿类型;③通过对区域成矿物质来源、控矿因素的研究,建立各主攻矿种和主要成矿类型的找矿模式,综合利用地质、物探、化探、遥感资料 and 前人研究成果圈定 2~3 处找矿远景区,为区内进一步找矿提供依据。

本项目在区域上着重成矿条件研究,运用区域构造-火山岩浆演化动力学研究途径,从研究火山岩、火山-沉积岩的自然共生组合、岩浆系列、岩石建造和地质构造环境入手,以查明区域火山岩、火山沉积岩的构造组合为核心,以追溯不同构造环境火山岩的起源、火山-沉积岩系的形成和演化过程,及其与有关铜、金多金属成矿系列的关系为关键,在总体探索北祁连山西段造山期前古火山构造岩浆活动—火山沉积作用和成矿作用的发生—演化—消亡历史的基础上,重点查明各种张性拉伸环境中,有利成矿的海相火山岩系和火山-沉积岩系的特点、形成机理和时空分布规律。研究造山期和造山期后构造-岩浆-热液活动,查明它们与某些成矿作用可能存在的制约关系。结合区域地球物理、地球化学和遥感资料做出区域成矿战略远景评价。在进行区域成矿背景研究的同时,选择成矿背景和成矿条件优越的地段开展找矿预测研究:①对于铁铜型矿床,运用火山沉积盆地构造—海底热水循环动力学成矿的研究思路,从研究火山-沉积岩相、构造入手,在重溯火山-沉积盆地构造的基础上,着重研究火山-沉积盆地构造(—岩浆侵入活动)—构造热液蚀变体系—成矿地球化学作用的关系,进而圈出成矿有利地段,提出找矿远景区。②对于黄铁矿型铜多金属矿床,则运用火山机构—海底热卤水循环动力学成矿的研究思路,从研究火山岩相、构造入手,在回溯海底古火山机构的基础上,着重研究火山机构—热卤水体系—成矿作用的关系,进而圈出有利的成矿地段,并通过必要的物化探(如可控源音频大地电磁测深、高精度重力测量、大极距激发极化法、无线电波透视法和化探原生晕测量等方法)验证研究,选出最有希望找到大型工业矿床(或矿体)的地段,提供作为找矿勘查的后备基

地。③对于构造蚀变岩型等金矿类型,则在对区域化探元素组合异常进行筛选判别的基础上,特别注重碰撞造山阶段及碰撞期后陆内伸展过程中,构造变形、岩浆活动、热液活动与金矿成矿的关系。运用地球化学和构造地球化学方法,研究金矿成矿地质环境、矿源层和成矿流体的性质、控矿构造特点、主要控矿因素、成矿机制、成矿物理化学条件及找矿标志,着重分析“构造-矿源-热源对金矿成矿的制约作用,配合有效的物化探技术,对地质物化探异常进行综合判别,优选找矿远景区。

研究工作历经五年,取得的主要进展如下:

(1)建立了北祁连山西段基本地质构造格架。研究判明“七五”和“八五”期间笔者等(夏林圻等,1991,1996,1998)重点根据北祁连山中、东段研究建立的北祁连山加里东古裂谷-板块构造体制,在北祁连山西段依然存在和延伸。研究查明,北祁连山自元古宙以来经历了大陆裂谷、板块构造和陆内造山三种构造体制。本项目研究的创新之处在于,首次提出并查明北祁连山地区的大陆裂谷化起始于古元古代(夏林圻等,1999,2000)。由于古地幔柱上涌,导致大陆岩石圈拉伸、减薄、裂谷化,发育以朱龙关群和镜铁山群为代表的元古宙大陆溢流玄武岩系。至新元古代,裂谷作用进一步强化,在青海省祁连县一带直至北祁连山东段的白银厂地区,发育以双峰式火山喷发为特征的新元古代—寒武纪大陆裂谷火山作用。随着裂谷化加剧,至晚寒武世,最终发生大陆裂解和分离,形成北祁连早古生代洋盆,目前以构造岩片形式被保存下来的托莱山晚寒武—早奥陶世洋脊-洋岛型火山岩带,就是北祁连山早古生代洋壳火山作用的产物(夏林圻等,1994,1996,1998)。至早奥陶世,洋盆开始向北俯冲、消减,形成十分完整的北祁连早古生代沟-弧-盆系(夏林圻等,1991,1996,1998;许志琴等,1994;张建新、许志琴,1995)。当前在北祁连山山体中完整分布的奥陶纪俯冲杂岩带、岛弧火山岩带和弧后盆地火山岩带,就是北祁连早古生代洋盆俯冲、消减作用的产物。本项目的另一个重要发现是:查明北祁连山奥陶纪俯冲杂岩带和岛弧火山岩带已分别延伸至北祁连山造山带最西端的鹰嘴山和朱家大山地区。至晚奥陶—早志留世,北祁连洋盆闭合,泥盆纪发生碰撞造山。在历经陆内伸展和第三纪以来的陆内再造山逆冲推覆、变形和新构造隆升之后,现今在北祁连山西段发育的北西西向及近东西向两组大断裂或强应变带相互交切,构成菱形块体相间排列的构造格局。北祁连山西端北东东向的阿尔金巨型走滑断裂系截切了北西西向构造,成为祁连山造山带与塔里木地块的分界线。

(2)研究查明,北祁连山造山带造山前期过程(大陆裂谷化?大陆裂解?洋盆打开、扩张、俯冲—消减、洋盆闭合)的地质历史记录,在北祁连山保存得十分完整。在这一过程中,大范围发生的海底火山作用及与其息息相关并受海底热液循环体系制约的海底块状硫化物矿床成矿作用,乃是北祁连山造山带地质历史发展中两个最鲜明的特色。研究揭示,北祁连山古海底块状硫化物矿床的形成几乎无一例外地与拉张环境有关,已知工业矿床均产于拉伸环境下形成的海相火山沉积岩系之中,不同类型铜多金属矿床产出的位置和特征与古火山机构和古海底构造裂隙系统关系密切,按成矿环境、成矿时代、含矿岩系特点,北祁连山西段与火山沉积岩系有关的铜多金属矿床成矿类型可以分为如下四类:镜铁山式铁铜型铜矿、白银厂式铜多金属矿床、弧后扩张脊型(塞浦路斯型)富铜矿床、红沟型富铜矿床(产于晚奥陶世陆缘被动裂谷型双峰式火山岩系之中)。

(3)在对成矿背景研究的基础上,提出如下北祁连山西段大型铜多金属矿产成矿远景

区：①镜铁山元古宙裂谷区是大型铁铜型铜矿的成矿远景区；②祁连县新元古代—寒武纪裂谷区是大型白银厂式铜多金属矿床成矿远景区；③肃南县弧后扩张脊型火山岩系发育区是大型弧后扩张脊型富铜矿床成矿远景区；④边马沟以西，弧后盆地南侧与岛弧火山岩带交界部位，发育一套弧后盆地演化初期裂谷化阶段形成的岛弧（或弧间）裂谷型双峰式火山岩系，应进一步加强区域成矿背景研究，查明其中是否存在寻找工业黑矿（Kuroko）型块状硫化物矿床的可能性。

（4）提出镜铁山铁矿田具有探得大型铜矿床的远景，该矿田主向斜北侧构造破碎蚀变带的东段是最有利的找矿靶区。研究查明，已知镜铁山铁铜型铜矿床并非受前人提出的“上铁下铜”式沉积地球化学层状成矿作用的控制，而是受破碎热液蚀变带控制的破碎蚀变岩型铜矿。该铜矿床的形成明显较铁矿床晚，铜矿体围岩中角砾状构造和蚀变（绢云母化、硅化、铁碳酸盐化、绿泥石化）带发育，且总有石英闪长斑岩脉相伴。遥感图像解释提出，在桦树沟铁铜矿区东南元古宙火山—沉积岩系分布区内有一环形构造存在，可能是深部岩浆热流柱上涌引起的沉积盖层环状破裂，它预示着深部存在大的隐伏中酸性岩基，地表显示为有较多石英闪长斑岩和花岗斑岩岩脉出露。研究认为该铁铜型铜矿床的形成经历了两个阶段：①中元古代裂谷期，幔源拉斑玄武质岩浆喷发后，海底热液喷流沉积形成含铜条带状铁建造，在铁富集成为工业矿层的同时，铜预富集为矿源层；②北祁连加里东洋盆俯冲阶段的构造—岩浆—热液活动〔作为此阶段构造—岩浆活动产物的石英闪长斑岩脉锆石 U-Pb 年龄为  $(476 \pm 15) \text{ Ma}$ 〕，使得中元古界含铁岩系和铁矿层中已发生初始预富集的较高含量的铜进一步活化、富集、再造，形成破碎带蚀变岩型工业铜矿床。经含铜构造破碎蚀变带填图查明，镜铁山矿田主向斜北侧的构造破碎蚀变带延伸长达 4 km 以上，地表出露宽 4~50 m，并在该破碎蚀变带东段新发现铜矿化带两条，总长约 960 m。与镜铁山矿田 V 号铁矿体北侧已知铜矿床的地表破碎带相比，新发现的矿化破碎蚀变带的规模及地表铜矿化显示均优于已知含矿破碎蚀变带。此外，在矿田其他部位还发现有零星铜矿化。研究提出“镜铁山—古浪峡”、“头道沟—祁青”和“柳沟峡”等三个找矿远景区，镜铁山—古浪峡远景区内的镜铁山铁矿田具有探得大型铜矿床的远景（预测铜金属资源量为 125 万 t），该矿田主向斜北侧构造破碎蚀变带的东段是最有利的找矿靶区。

（5）提出祁连县清水沟—白柳沟新元古代—寒武纪大型双峰式火山岩穹东端的尕大坂矿区是可以探得以铜为主的铜多金属大型矿床的有利找矿靶区。经国家“八五”科技攻关研究（85—901—02），笔者等（夏林圻等，1996，1998）曾明确指出：在北祁连山地区，作为新元古代—寒武纪大陆裂谷系火山活动产物，由中心式爆发—喷溢—侵入—侵入作用形成的大型陆裂双峰式火山岩穹应是工业块状硫化物矿床的主要找矿远景区。据此，1995~1996 年国家计委国土司在青海祁连县至甘肃金佛寺部署找矿攻关研究项目，由本项目部分成员执行完成。该项目在青海省祁连县清水沟—白柳沟新元古代—寒武纪火山岩穹东端的尕大坂矿点发现 M<sub>1</sub> 异常，获 22 万 t 铜、铅、锌（以铜为主）储量。1996~1997 年，本项目在该岩穹东部边缘部署新一轮物探测量（可控源音频大地电磁测深、激电、重磁），新发现具低电阻、高极化、高密度特征的 M<sub>2</sub> 异常，其规模比前述 M<sub>1</sub> 异常更大，长度大于 400 m，宽度大于 100 m，延深超过 500 m。此外，在 M<sub>2</sub> 异常西南分布的另外五个异常（M<sub>3</sub>—M<sub>7</sub>）靠近次级穹隆中心，亦可能为矿致异常。研究提出，清水沟—白柳沟岩穹东端的尕大坂矿区是一个可以探得大型铜多金属矿床的有利找矿靶区（预测远景总金属量大于

120 万吨)。

(6) 提出北祁连山西段大型弧后扩张脊型富铜矿床成矿远景区和找矿靶区。笔者等(夏林圻等, 1996, 1998)通过国家八五科技攻关研究(85—901—02)曾明确指出:北祁连山中一晚奥陶世弧后盆地火山岩带中,弧后扩张强烈(以产出发育良好且具有一定规模的弧后扩张脊型蛇绿岩套为标志)的地段具有较好的成矿远景。本项目研究查明(夏林圻等, 1999),北祁连山西段肃南县摆浪沟—石居里沟—白泉门一带弧后扩张脊型蛇绿岩套发育,自下而上由超镁铁岩、堆晶辉长岩、辉绿岩、基性枕状熔岩、硅质岩及火山碎屑岩组成,已知富铜矿体(和矿床)产于蛇绿岩套上部的基性熔岩之中,或位于基性熔岩的顶部,介于熔岩和凝灰岩之间。矿体围岩青磐岩化发育。矿体与围岩产状总体上不一致,呈不规则板状、柱状,其分布明显受古海底热卤水喷流裂隙系统的控制。矿体顶板为紫红色碧玉岩,矿体内块状矿石位于上部,中部为角砾状矿石,下部为网脉—浸染状矿石。在石居里沟Ⅵ号沟矿区,经物探测量(可控源音频大地电磁测深、激发激化法)查明,由富铜矿体引起的矿致异常长度大于 100 m,延深大于 500 m,颇具规模。此外,Ⅷ号沟富铜盲矿体也具一定工业规模和很好的深部探矿前景。经研究,该区 47 号、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  等矿点和Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ沟交汇处也具有与已知Ⅵ、Ⅷ号沟矿床相似的成矿条件,值得进一步工作。本项目提出北祁连山西段火山峡—白泉门弧后扩张脊型火山岩系发育区是非常有利的弧后扩张脊型富铜矿床成矿远景区,估算仅石居里沟Ⅵ号沟矿床的远景 Cu 金属储量就可达 50 万吨以上,石居里沟地区已具备探得大型富铜矿床的实际可能。

(7) 确定北祁连山西段金矿的主要成矿类型有构造蚀变岩型、超镁铁岩型和石英脉型三类,此外还有与块状硫化物矿床、铁铜型铜矿床伴生的伴生金矿和砂金矿,以前三类金矿床最具找矿远景。研究查明:构造蚀变岩型金矿主要产于岛弧型火山岩系之中,以寒山大型金矿床为代表;超镁铁岩型金矿主要产于位于北祁连造山带古板块缝合带部位的俯冲杂岩带和仰冲洋壳残片蛇绿岩套的超镁铁岩与围岩的接触破碎蚀变带中,以鹰嘴山中型金矿床为代表;石英脉型金矿主要产于岛弧—弧后盆地火山—沉积岩系和浅成侵入体的接触带中,以车路沟小型金矿床为代表。研究揭示,北祁连山西段已知 57 个岩金矿床和矿(化)点的分布明显受北祁连造山带碰撞造山期、碰撞造山期后构造断裂体系的控制,在四个地段相对集中,它们是:①鹰嘴山—照壁山—榆树沟山金成矿段,沿阿尔金山走滑断裂带展布;②古浪峡—卡瓦沟—大沙龙金成矿段,沿宗宾大坂强应变构造带展布;③二指哈拉—玉石沟—撒拉河金成矿段,沿高崖泉—二指哈拉强应变构造带展布;④摆浪沟—祁连县金成矿段,沿妖魔山—青山—白泉门强应变构造带展布。研究表明,构造蚀变岩型和超镁铁岩型金矿的形成经历了造山前矿源层(岩)形成和碰撞造山期、造山期后陆内伸展阶段(413~303 Ma)矿质活化和富集成矿两个阶段,而石英脉型金矿的形成则主要与碰撞造山期(410~350 Ma)的浅成—超浅成酸性岩浆活动有关;金矿成矿是构造—岩浆—流体“三位一体”作用的产物。本项目研究人员在综合分析北祁连山西段金矿成矿地质条件、遥感构造解释资料和金化探异常发育状况的基础上,提出了“鹰嘴山—照壁山”、“古浪峡—大沙龙”和“撒拉河—玉石沟—二指哈拉”等三个金矿成矿和找矿远景区,前两个远景区具有寻找大型构造蚀变岩型金矿的良好前景,第三个远景区具有寻找大型超镁铁岩型金矿的良好前景。

本项目自 1996 年至 1999 年 6 月由原地质矿产部地质调查局主管,自 1999 年 7 月始改

由国土资源部国际合作与科技司主管。工作中得到了西安地质矿产研究所和甘肃地勘局等参加单位的大力支持,尤其是得到了原地矿部地调局和现国土资源部国际合作与科技司等主管部门的深入指导和关怀,使工作得以顺利完成。

本研究报告系由本项目参加人员集体编写,其执笔分工如下:前言,夏林圻;第一章,夏祖春、徐学义、夏林圻;第二章,夏林圻、夏祖春、徐学义;第三章,夏林圻、夏祖春、徐学义;第四章,夏祖春、夏林圻、徐学义;第五章,夏林圻、夏祖春、徐学义;第六章,任有祥、李智佩;第七章,杨合群、赵东宏;第八章,任有祥、李智佩、李向民;第九章,夏林圻、李文渊;第十章,杨建国、宋忠宝;第十一章,夏林圻。最后,由夏林圻和夏祖春统编和审定全文。由不同作者编写的各章节之间均有内在联系,但亦保持相对的独立性,各章的观点基本相同,但对某些问题,本着求同存异,提倡争鸣的精神,保留了不同见解。

参加本项目研究工作的人员有(以姓氏笔划为序):

于浦生、王方成、叶德金、任有祥、李文渊、李向民、李智佩、宋忠宝、邬介人、杨合群、杨建国、赵东宏、赵江天、徐学义、夏林圻、夏祖春、潘孝良。

# 目 录

|          |     |
|----------|-----|
| 前言 ..... | 夏林圻 |
|----------|-----|

## 第一编 概 论

|                                                   |                  |
|---------------------------------------------------|------------------|
| 第一章 区域地质概论 .....                                  | 夏祖春 徐学义 夏林圻 (1)  |
| 一、地质构造位置 .....                                    | (1)              |
| 二、地层系统与含矿性 .....                                  | (1)              |
| 三、断裂构造格架与成矿的关系——TM 遥感信息解译 .....                   | (9)              |
| 四、岩浆侵入活动与成矿的关系 .....                              | (17)             |
| 第二章 构造-火山岩浆作用与成矿的关系 .....                         | 夏林圻 夏祖春 徐学义 (21) |
| 一、引言 .....                                        | (21)             |
| 二、元古宙—寒武纪 (2349.4 ~ 514 Ma) 大陆裂谷型火山作用与成矿的关系 ..... | (23)             |
| 三、寒武纪末—早奥陶世 (522 ~ 495 Ma) 洋脊-洋岛型火山作用与成矿的关系 ..... | (26)             |
| 四、奥陶纪 (486 ~ 445 Ma) 沟弧盆系火山作用与成矿的关系 .....         | (27)             |
| 五、晚奥陶世—志留纪 (445 ~ 428 Ma) 海盆闭合期火山作用和成矿的关系 .....   | (33)             |

## 第二编 区域成矿地质背景及战略远景评价

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| 第三章 元古宙大陆溢流玄武质火山作用与成矿 (铁、铜) .....  | 夏林圻 夏祖春 徐学义 (36) |
| 一、时空分布和岩石组合 .....                  | (37)             |
| 二、岩相学特征 .....                      | (40)             |
| 三、源岩浆性质和喷发环境 .....                 | (43)             |
| 四、岩石成因模式 .....                     | (46)             |
| 五、成矿远景分析 .....                     | (50)             |
| 第四章 新元古代—寒武纪大陆裂谷型火山作用与成矿 (铜) ..... | 夏祖春 夏林圻 徐学义 (53) |
| 一、概况 .....                         | (53)             |
| 二、岩相学 .....                        | (53)             |
| 三、火山岩岩石化学 .....                    | (56)             |
| 四、岩浆源区、形成环境及成因模式 .....             | (70)             |
| 五、含矿性及区域成矿远景 .....                 | (74)             |
| 第五章 奥陶纪弧后盆地火山作用与成矿 (铜) .....       | 夏林圻 夏祖春 徐学义 (77) |
| 一、引言 .....                         | (77)             |
| 二、时空分布和岩石共生组合 .....                | (78)             |



|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| 三、源岩浆性质和喷发环境 .....                           | (82)  |
| 四、北祁连山弧后盆地岩浆成因 .....                         | (84)  |
| 五、成矿远景分析 .....                               | (95)  |
| <b>第六章 碰撞期与碰撞期后构造变形-岩浆-流体作用与成矿 (金)</b> ..... |       |
| ..... 任有祥 李智佩                                | (97)  |
| 一、海相火山岩区的找金潜力 .....                          | (97)  |
| 二、碰撞造山阶段与金矿的主成矿期 .....                       | (99)  |
| 三、中酸性侵入体对金矿成矿作用的贡献 .....                     | (110) |
| 四、流体在岩金成矿中的位置 .....                          | (127) |
| 五、小结 .....                                   | (128) |

### 第三编 成矿模式与找矿预测

|                                            |         |       |
|--------------------------------------------|---------|-------|
| <b>第七章 镜铁山式铁铜型铜矿床的成矿模式与找矿预测</b> .....      | 杨合群 赵东宏 | (131) |
| 一、引言 .....                                 |         | (131) |
| 二、中元古代裂谷期铜的预富集作用——含铜条带状铁建造的形成 .....        |         | (131) |
| 三、加里东俯冲造山期铜的再富集作用——镜铁山式破碎带蚀变岩型铜矿床的形成 ..... |         | (142) |
| 四、成矿模式 .....                               |         | (157) |
| 五、找矿预测 .....                               |         | (159) |
| 六、小结 .....                                 |         | (169) |
| <b>第八章 白银厂式块状硫化物铜矿的成矿模式与找矿预测</b> .....     |         |       |
| ..... 任有祥 李智佩 李向民                          |         | (170) |
| 一、成矿地质背景 .....                             |         | (170) |
| 二、古火山机构与周边成矿 .....                         |         | (178) |
| 三、矿田成矿研究的新进展和新发现 .....                     |         | (180) |
| 四、杂大坂矿床的找矿预测 .....                         |         | (191) |
| 五、小结 .....                                 |         | (199) |
| <b>第九章 弧后扩张脊型富铜矿床的成矿模式与找矿预测</b> .....      | 夏林圻 李文渊 | (201) |
| 一、引言 .....                                 |         | (201) |
| 二、区域概况 .....                               |         | (202) |
| 三、石居里沟地区富铜矿床特征 .....                       |         | (204) |
| 四、成矿模式 .....                               |         | (217) |
| 五、找矿预测 .....                               |         | (222) |
| <b>第十章 金矿成矿模式与找矿预测</b> .....               | 杨建国 宋忠宝 | (231) |
| 一、金矿床 (化) 类型及其空间展布 .....                   |         | (232) |
| 二、寒山构造蚀变岩型金矿床成矿模式 .....                    |         | (236) |
| 三、鹰嘴山超镁铁岩型金矿床成矿条件与找矿标志 .....               |         | (255) |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 四、车路沟石英脉型金矿床地质特征和成因模型 ..... | (265)     |
| 五、找矿预测 .....                | (273)     |
| 六、小结 .....                  | (280)     |
| 第十一章 结论 .....               | 夏林圻 (282) |
| 参考文献 .....                  | (289)     |

# 第一编 概 论

## 第一章 区域地质概论

### 一、地质构造位置

研究区位于祁连山造山带内。祁连山造山带呈北西西—南东东向分布，从北至南又可划分为北祁连造山带、中祁连隆起及南祁连造山带等三个地质构造单元（图 1-1）。

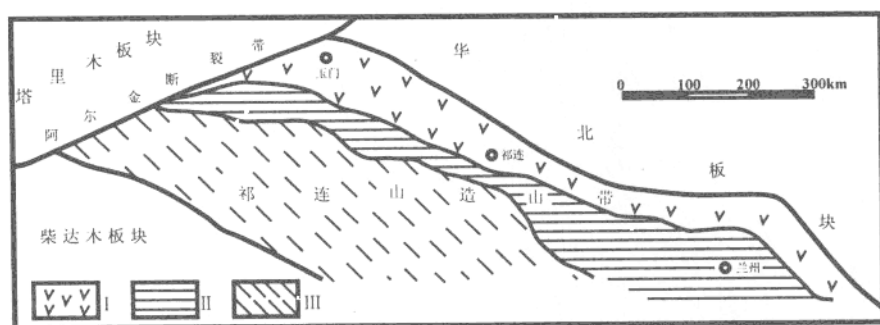


图 1-1 北祁连西段大地构造位置图

I. 北祁连造山带；II. 中祁连隆起；III. 南祁连造山带

研究区位于北祁连造山带西段（祁连县以西），北部以深大断裂带与华北板块相接，西部被阿尔金断裂带截切而与塔里木板块相邻，南部为以前寒武纪地层为主的中祁连隆起，东面与北祁连造山带中东段相连。区内地层及地质构造格架可与北祁连造山带中东段相衔接，构成一个整体。自元古宙以来祁连山经历了大陆裂谷和板块构造等两种构造体制，奥陶纪俯冲造山、志留—泥盆纪碰撞造山和泥盆纪以后的陆内造山等三种不同的造山作用，最终形成复合型“祁连山造山带”（夏林圻，夏祖春等，1998）。

### 二、地层系统与含矿性

本区地层出露较齐全，从太古宙—古元古代至新生代的地层均有出露（图 1-2）。各个时期的地层都具有各自的特征及含矿性。

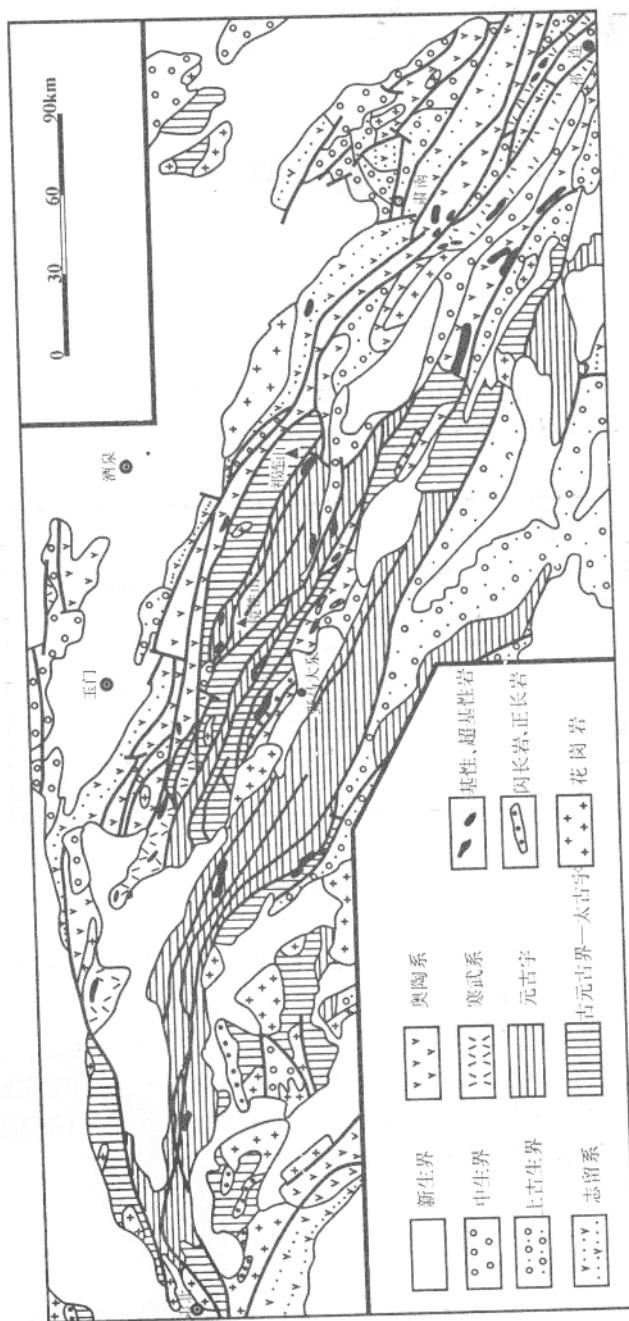


图 1-2 北祁连山西段地质略图



## 太古宇—元古宇

### (一) 太古宇—古元古界

太古宙—古元古代地层在本区出露于祁连山主峰至小东沟、鱼儿红及石油河壕一带,呈北西西—南东东向狭长体状分布,以残留块体出现。这套地层在本区命名为北大河群,“甘肃地层表”(1980)曾将其归为古元古界。毛景文等在鱼儿红至吊大坂采集斜长角闪岩、斜长黑云母片岩及含磁铁矿石英阳起石岩样品,获得 Sm-Nd 等时线年龄 1980 Ma<sup>①</sup>,也认为该套地层为古元古界。前人多认为北大河群时代与本区以西敦煌地块中的敦煌群相当,敦煌群已有 2460 Ma 至 2789 Ma 等年龄数据(梅华林等,1988;新疆维吾尔自治区区域地质志,1993;车自成等,1995)。我们认为现有北大河群的年龄数据已十分接近太古宙,目前也仅有一个年龄数据,因此不能确认在北大河群中就没有太古宙地层,在进一步开展同位素地质年龄研究后,极有可能在其中发现更老的地层,故在本文中将此套地层归为太古宙—古元古代。除敦煌群以外,本区周边其他的老地层时代如下:本区以北阿拉善地块的龙首山群有 1949 Ma 及 2147 Ma 的年龄数据(甘肃省区域地质志,1989),中、南祁连的达肯大坂群有 1429 Ma 至 2205 Ma 的年龄数据,湟源群有 1219 Ma 至 1414 Ma 的变质年龄数据(青海省区域地质志,1991)。统观本区及本区周边地区的老地层大体为太古宙至古元古代,时代基本相同,至于在太古宙时它们是否可能是统一的大陆,是尚待研究解决的问题。

北大河群在本区均为变质岩,包括有五种岩石类型:第一类为片麻岩类,其主要组成矿物为黑云母、斜长石、角闪石,它们构成黑云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩,也有含砂线石、石榴石的类型,还有一些被混合岩化的混合片麻岩出现;第二类为片岩类,是以黑云母、白云母、石英为主组成的黑云母或白云母石英片岩以及二云母石英片岩,其中经常出现角闪石及绿泥石等矿物;第三类为角闪岩类,如斜长角闪岩、角闪片岩、透闪透辉岩等以暗色矿物为主的变质岩;第四类为千枚岩类,是变质程度较轻的一类岩石,如石英千枚岩、绢云石英千枚岩等;第五类为变质的碳酸盐岩,包括白云岩、大理岩等。

与北大河群有关的矿产主要为铁矿,在祁连山主峰东北的羊露河及鱼儿红东南和雅尔河壕一带均有小矿点出现。根据矿体产状及矿石特征,一般认为该类矿床为沉积变质型矿床。此外,近年来在北大河群分布区内的韧性剪切带中发现较有远景的金矿,同时,在北大河群分布区亦有砂金出现,因此,北大河群有可能是本区金矿的矿源层之一。

### (二) 元古宇

元古宇从东向西展布于祁青—镜铁山—柳沟峡—龚岔口—三个泉一带。

本区元古宇原被划分为长城系(朱龙关群)、蓟县系(镜铁山群)、青白口系(大柳沟群)和震旦系(白杨沟群)(甘肃省区域地质志,1989)。本次研究通过同位素年龄及地层岩性对比研究,查明镜铁山群相当朱龙关群的中上部,朱龙关群包括了古、中、新元古代三个时期的地层,其详细资料将于第三章论述,本节概述如下:原朱龙关群与镜铁山群的

① 毛景文等,1997. 北祁连山西段镜铁山式铁铜矿床成矿预测和靶区优选暨北祁连西段铁铜金铅锌矿床成矿规律和成矿预测[科研报告]。

地层层序可归纳如下：①下部为基性拉斑玄武岩系夹白云岩，有 2349.4 Ma 及 1780.7 Ma 的 Sm-Nb 等时线年龄资料，大体相当于古元古代。②中部为浅变质细碎屑岩系（千枚岩为主），含铁矿层位于其上部，有 1309 Ma 的 Sm-Nb 等时线年龄资料，大体相当于中元古代。③上部为碱性玄武岩及大理岩类，在东部镜铁山一带有 1032.7 Ma 的 Sm-Nb 等时线同位素年龄（以上年龄数据均见夏林圻等，1999）；毛景文等（1997）在西部柳沟峡获火山岩单颗粒锆石年龄资料 738 ~ 604 Ma；因此它的时代相当于中元古代晚期至新元古代。

镜铁山至朱龙关河一带还出现了新元古界青白口系大柳沟群及震旦系白杨沟群，1:20 万祁连山幅区域地质调查报告（1974）中提供了大柳沟群不整合于镜铁山群之上及白杨沟群不整合于大柳沟群之上的证据。在这两个群中虽发现了大量叠层石及微古植物化石，但其所代表的地质时限都比较长，不能指示确切的地质年代，现只能根据地层关系确定它们晚于镜铁山群，相当于新元古代。大柳沟群及白杨沟群为一套沉积碎屑岩—碳酸盐岩，经弱变质，现在为砾岩、砂岩、粉砂岩、千枚岩、板岩、泥灰岩、灰岩、白云岩等。它们与西部柳沟峡具 734 ~ 604 Ma 年龄值的火山岩应如何对比尚待进一步研究。有可能在新元古宙，镜铁山—朱龙关地区火山活动结束后已进入浅海滨海沉积环境，而西部柳沟峡一带火山活动仍在继续。

元古宙是本区的一个重要成矿时期，在元古宙地层中分布有铁铜、铅锌等矿产。镜铁山式铁矿是本区元古宙中的首要矿产，铁矿出现在上述朱龙关群—镜铁山群中部浅变质细碎屑岩组中，矿层位于该岩组的上部。研究区内分布有桦树沟、黑沟、白尖、柳沟峡等大、中型铁矿及许多小矿点、矿化点。现在多认为该类矿床为海底喷流沉积铁矿，尔后经变质，矿质来源与火山作用有关。铁铜型铜矿也是该岩组中分布的重要矿产之一，已发现桦树沟中型铜矿以及白尖、柳沟峡等矿点。这些铜矿都与铁矿密切伴生，产于含铁岩系中，而受破碎热液蚀变带控制。研究查明，元古宙含铁岩系形成时，在某些地区海底喷流活动也带来了铜的预富集，加里东期的构造岩浆热液活动进一步使之富集成矿。铁铜型铜矿是本区最有可能找到大型铜矿的类型之一。产于元古宙地层中的铅锌矿主要有大东沟及吊大坂两个矿床，其他还有一些矿化点。矿体围岩为板岩、千枚岩、大理岩类，矿体主体产状与围岩一致，呈层状、透镜状等，局部呈分枝状插入围岩。毛景文等（1997）认为元古宙地层形成时铅锌发生初步富集，以后的岩浆热液活动使之富集成矿。除金属矿产外，元古宙地层中的白云岩在某些地区层厚而稳定，质地优良，成为可供开采的白云石矿。大柳沟群中的富钾泥灰岩是否能构成钾矿，也是值得注意的找矿线索。

## 古生界

### （一）寒武系

区内寒武纪地层从东至西分布于祁连清水沟至面碱沟、格尔莫沟及香毛山至鹰嘴山地区。“八五”国家攻关专题研究确定了北祁连山有下寒武统：夏林圻等（1996）获得白银厂地区石英角闪岩 593.48 Ma 和 605.7 Ma 的 Sm-Nb 及 Rb-Sr 等时线年龄及祁连县一带火山岩 678 ~ 545 Ma 的 Sm-Nb 等时线年龄；甘肃区调队严增礼等 1992 年在白银厂地区发现可代表早寒武世的蠕虫、软舌螺、海绵骨针及原始海绵等重要化石，认为可与湖北峡东和云南梅村的下寒武统相比（彭礼贵、任有祥等，1995）。

区内加里东俯冲杂岩带穿过寒武系,寒武纪地层被俯冲造山作用所挤压破碎,俯冲杂岩带内包含有俯冲造山运动前的各时代地层。

祁连县清水沟至面碱沟地区的寒武系,以往根据区域对比的资料,定为中寒武统,现仍沿用。前述夏林圪等在该区获得 678 ~ 545 Ma 同位素年龄资料,表明该区地层中还应含有新元古代末期及早寒武世火山岩。祁连县清水沟—面碱沟一带是研究区内寒武纪火山岩系最发育的地区:在清水沟—郭米寺—香子沟一带形成两个大型火山岩穹,岩穹由上、下两部分组成:岩穹的下部为酸性石英角斑岩类,包括石英角斑岩、石英角斑质火山角砾岩及凝灰岩;岩穹上部为细碧岩类,包括细碧岩、细碧质火山碎屑岩等。面碱沟一带为层状火山岩,地层由细碧玢岩、细碧质火山集块岩、角斑岩和角斑质火山角砾岩、凝灰岩以及石英角斑质凝灰岩组成。清水沟—郭米寺大型火山岩穹是本区寻找大型块状硫化物铜矿最有远景的地区之一,该区除已知的下沟、弯阳河、下柳沟等铅锌铜矿床外,近年来又发现了以铜为主的尕大坂矿床。它们是由大型火山岩穹形成时古海底火山岩浆活动所诱发的海底热卤水对流循环作用而生成的一系列铜、多金属矿床,岩穹西部边缘出现的锰矿也是这一成矿系列的组成部分。

位于镜铁山西北的格尔莫沟地区,见寒武系不整合于北大河群白云母石英片岩之上,其底部为砾岩、向上为砂岩、粉砂岩、中酸性凝灰岩、硅质岩、生物碎屑灰岩。在生物碎屑灰岩中采到 *Agnostardis* sp., *Proceratopyge* sp., *Ac. marhachis* sp., 等三叶虫化石,被定为中寒武世格尔莫沟群。周志强等(1979, 1996)曾根据三叶虫分带将该群时代校正为晚寒武世早期,甘肃省区域地质志(1989)仍维持原定中寒武世,本报告亦沿用。

鹰嘴山及香毛山地区分布有中寒武统及上寒武统。中寒武统为板岩、砂岩、大理岩并夹有玄武岩及凝灰岩,上寒武统则为板岩、灰岩及砂岩。在该地区曾采到中寒武世 *Hypagnostus* cf. 及 *Lateli mbatus* 等三叶虫化石和上寒武世 *Proceratopyge* sp. 三叶虫及 *Lingulella* 腕足类化石。在这一地区寒武系中分布有小型沉积型锰矿和可能与火山作用有关的铁矿化。

分布在肃北三个泉至红柳峡一带的原定为寒武纪的地层,本次研究获得火山岩同位素年龄 1780.7 Ma (详见第三章),而且火山岩特点亦与元古宙火山岩相同,故将其划入元古宇。

## (二) 奥陶系

奥陶系是本区内广泛出露的地层,可分为下、中、上三部分。

下奥陶统:下奥陶统在本区称为阴沟群。下奥陶统从东至西分布于祁连县川刺沟至玉石沟、肃南县沙龙至金龙河以及玉门阴沟至朱家大山一带。

在阴沟群的命名地玉门阴沟一带,下奥陶统由灰岩、页岩、砂岩以及中基性熔岩、凝灰岩组成。在灰岩及页岩中发现多种三叶虫化石,如 *Apatokephalus* sp., *Inkouia cnkouensis* 等,此外还有腕足类及笔石类化石,从而定为下奥陶统。昌马以西的朱家大山一带下奥陶统由基性玄武岩及细碧岩、中性安山岩和角斑岩以及它们的同质火山角砾岩和凝灰岩组成。北大河一带下奥陶统则主要为中性角斑质凝灰岩夹熔岩和板岩、千枚岩组成。

祁连县川刺沟—玉石沟一带的早奥陶世地层以基性熔岩为主,如玄武岩、细碧岩及枕状熔岩。玉石沟地区的基性火山岩系和基性—超基性岩构成相对完整的洋脊型蛇绿岩层序

(夏林圻等, 1996, 1998)。夏林圻等 (1996) 获玉石沟细碧玢岩 521.48 Ma 的 Rb-Sr 等时线年龄, 表明其中有部分晚寒武世晚期火山活动的产物。川刺沟地区基性火山岩系的原始蛇绿岩层序已不复保存, 基性火山岩的上、下为大理岩、灰岩及砂岩等。在川刺沟发现 *Inkoiua Late Chu et Zhang* 等三叶虫化石, 并有 495.11 Ma 的火山岩 Sm-Nb 等时线年龄数据 (夏林圻等, 1996)。

沙龙及金龙河地区的下奥陶统尚没有确切的化石及年龄证据。

中奥陶统: 主要分布在玉门至昌马及肃南县一带, 在本区被称为中堡群, 整合或平行不整合于下奥陶统之上。

玉门暗门及南石门子一带, 中堡群由基性凝灰岩及熔岩、火山角砾岩、硅质岩及砂岩等组成, 含 *Cardiograptus yini* Mu, *Gef et Yin*, *Glossograptus fi mbriatus* (Hopkinson) 等笔石化石。肃南县西南分布的大片奥陶纪火山岩过去曾被定为下奥陶统阴沟群, 对其中所含的笔石 *Tetragraptus pendens* Elles 和 *Didy mograptus* 等化石, 经周志强等 (1996) 与祁连山东部早古生代地层及化石进行系统综合对比研究后, 认为它们应划入中奥陶世中堡群; 夏林圻等 (1996) 在该区火山岩系中获 468.87 Ma Sm-Nb 等时线年龄数据, 因此该套地层划入中奥陶统是合适的。在肃南县石居里沟、塔洞沟及大坂一大岔一带, 中奥陶统的基性火山岩、枕状熔岩及硅质岩等与基性、超基性岩构成较为完整弧后扩张脊型蛇绿岩套 (夏林圻等, 1996, 1998)。在民乐县扁都口一带, 中奥陶统由细碧岩、枕状熔岩及碎屑岩等组成, 细碧岩有 464.59 Ma 的 Sm-Nb 等时线年龄 (夏林圻等, 1996)。

上奥陶统: 主要分布于玉门至昌马一带, 由妖魔山组、南石门子组及扣门子组组成。妖魔山组以厚层灰岩为主, 下部含薄层灰岩、板岩或页岩, 平行不整合于中奥陶统之上, 含 *Nanshih menia rectangula* Chang et Fan, *Nanshanapis levis* Chang et Fan 等三叶虫化石。前人曾有将妖魔山组划归为中奥陶统, 赵凤游等 (1975) 将其修定为上奥陶统; 周志强等 (1996) 在该组地层中发现 *Belodina co mpressa* 等牙形刺化石, 属于早一中卡拉多克世, 因此该组确应属上奥陶统。南石门子组由薄层灰岩、页岩、火山岩及火山碎屑岩组成, 其整合覆于妖魔山组之上, 亦含有三叶虫、笔石及牙形刺等化石。扣门子组在本区主要为中基性至中酸性火山岩, 夹灰岩、板岩、页岩, 整合于南石门子组之上, 志留纪肮脏沟组之下, 产有珊瑚、三叶虫及腕足类、头足类化石。

奥陶纪地层中赋存有多种矿产, 与海相火山活动有关的铜矿赋存在因弧后扩张强烈而产生的弧后扩张脊型蛇绿岩套中, 为富铜型块状硫化物铜矿床, 目前在石居里一带已发现中型规模铜矿, 是本区最有希望找到大型铜矿的远景地区之一。在祁连县以西川刺沟一带的早奥陶世火山岩中也有一些小型铜矿及铁矿。上奥陶统妖魔山组厚层灰岩常形成具大型规模的石灰岩矿, 是本区石灰石的主要来源之一。此外在昌马以西的奥陶纪火山-沉积岩系地层中, 分布着寒山等多个大、中型构造蚀变岩型金矿, 其形成与后期构造-热事件有关, 奥陶系为其容矿围岩, 也可能是提供金元素的矿源层之一。

### (三) 志留系

志留系分布在玉门昌马、酒泉半截沟、肃南水关河、鹿角沟等地, 呈北西西—南东东向展布, 含丰富的笔石、珊瑚及腕足类化石。根据化石分带, 本区志留系分下、中、上三统, 下统不整合超覆于奥陶系之上, 志留系下、中、上三统之间为整合接触。

下志留统在本区称为肮脏沟组，其下部为绿色、灰绿色、蓝灰色页岩，中厚层砂砾岩、砂岩；上部为灰绿色、蓝灰色厚层状砂岩、粉砂岩、板岩及页岩互层，含多种笔石化石。在昌马以东及洪水坝河两岸等地还夹有火山碎屑岩及凝灰岩；在肃南县水关河—白居里沟未分的中一下志留统的上部有细碧岩、枕状玄武岩和火山角砾岩等火山活动产物。

中志留统泉脑沟山组：主要由绿、灰绿、褐黄、紫红等杂色砂岩、粉砂岩及页岩互层组成，夹有泥灰岩和灰岩薄层或透镜体，在昌马一带还见有火山凝灰岩夹层。本组内产有笔石、珊瑚及腕足类化石多种。

上志留统早峡组主要是紫红色砂岩、粉砂岩、页岩及板岩等，整合于泉脑沟山组之上，局部地区发现腕足、珊瑚类化石。

统观本区志留系以沉积碎屑岩为主，只在少数地区有海相火山活动。由于从新元古代—寒武纪至奥陶纪的火山岩系中铜矿十分发育，反映在志留系的沉积碎屑岩中也时有含铜砂岩、含铜石英岩出现，有的具一定规模，如肃南县西的天鹿铜矿。该矿矿体为层状含铜砂岩，出现在早峡组和肮脏沟组的七个层位中。在安西红口子的泉脑沟山组上部亦有两层含铜砂岩出现。这类含铜砂岩型铜矿化的规模及找矿前景尚待进一步查明。

#### (四) 泥盆系

北祁连山造山带内，泥盆系不整合于下古生界之上，并被下石炭统不整合覆盖。泥盆系划分为下一中泥盆统雪山群（含老君山砾岩）和上泥盆统沙流水群，二者之间为角度不整合接触，前者为山麓相—河湖相粗碎屑岩磨拉石建造（偶夹火山岩），后者属河湖相紫红色碎屑岩。

研究区内泥盆系主要出露于肃南县东、西两侧，在祁连县、祁青以及玉门等地区也有小范围出露。

下一中泥盆统在肃南县一带下部为紫红色砾岩及砂岩，砾石成分复杂，有砂岩、板岩及火山岩等；上部为紫红色粉砂—细砂岩。上泥盆统沙流水群由紫红色砾岩、砂岩组成。

本区以东的靖远县和景泰县等地区泥盆系内发现植物及鱼类化石。肃南县境内可见泥盆系不整合覆于下、中志留统之上，不整合伏于下石炭统之下（1:20万肃南幅区域地质测量报告，1971），由此可确定其地层时限。

#### (五) 石炭系

石炭系在北祁连山为海陆交互相地层，蕴含丰富的生物化石，如珊瑚、腕足、菊石、蜓科、牙形刺、植物等类化石均有发现。根据化石分带可将石炭系分为下、中、上三统，三统之间为整合接触；下统不整合覆于前石炭纪地层之上。

本区石炭系从东至西均有分布，常以小面积出露。在本区下石炭统称为臭牛沟组，中石炭统称羊虎沟组，上石炭统称太原组。

石炭纪地层岩性比较单一，以砂岩及页岩为主，夹有灰岩及煤层，个别地方灰岩较厚，有的地方出现砾岩。

石炭纪是本区的主要成煤期之一，上石炭统内普遍含可采煤层，中、下石炭统内的煤层厚薄，各地的情况不一，有的可为小煤矿，有的只是煤线或仅供民采。