

北祁连西段金佛寺岩体的 成岩成矿作用研究

BEIQILIAN XIDUAN JINFOSI YANTI DE CHENGYAN CHENGKUANG ZUOYONG YANJIU

刘晓煌 邓 军 孙柏年 等著



地质出版社

北祁连西段金佛寺岩体的 成岩成矿作用研究

刘晓煌 邓 军 孙柏年 庞海滨 著
倪克庆 孙兴丽 刘玖芬 倪胜国

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

通过对北祁连西段金佛寺岩体、接触的地层、岩体内接触带西柳沟钨钼矿和外接触带索同沟两个典型矿床的地质工作,基本查明了区内岩体的展布特征、地层的分布状况、断裂构造活动及其成矿条件,总结了区内地质演化过程,探讨了区域成矿地质背景。金佛寺岩体作为北祁连最大的岩体,是该区主要岩浆活动的产物,对成矿有重要的控制作用。本专著运用构造地质学、遥感地质学、岩石学、矿床学、地球化学的放射性同位素测年和主量、微量、稀土地球化学、稳定同位素地球化学及流体包裹体的研究,结合前人的区域研究成果,确定了金佛寺岩体的成岩成矿时代,讨论了成岩成矿作用的源区性质、成因机制,在分析金佛寺岩体地质特征以及形成机制的基础上,提出了其成岩、成矿的模式。

本书可供从事金属矿床、地球化学、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

北祁连西段金佛寺岩体的成岩成矿作用研究 / 刘晓煌等著. —北京:地质出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-116-06290-0

I. 北… II. 刘… III. 祁连山—岩体—成岩作用—研究
IV. P588. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 145668 号

责任编辑: 吴宁魁

责任校对: 李玫

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); (010) 82324513 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 8.5 图版: 8 面

字 数: 200 千字

印 数: 1—600 册

版 次: 2009 年 9 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06290-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

有色金属是国民经济必不可少的基础材料和重要的战略物资，是国家可持续发展的先决条件。农业现代化、工业现代化、国防和科学技术现代化都离不开有色金属。由于全球工业化速度加快和经济的高速发展，有色金属的应用领域不断扩大，产量也在不断增加。现在世界上许多国家，尤其是工业发达国家，竞相发展有色金属工业，增加有色金属的战略储备。我国矿产资源相对比较丰富，但人均占有量仅为世界平均水平的 58%，大型和超大型矿床所占比重很小，贫矿、难选矿和共伴生矿多，尤其是铅、锌等多为贫矿，难选比重大，开采成本比较高，实际可供利用的资源比例较低。我国 45 种主要矿产资源人均占有量不足世界人均水平的一半。

北祁连独特的构造演化史和完整的威尔逊旋回是地质研究工作的天堂，研究表明北祁连是一个具有铅锌、钨钼铜找矿潜力的成矿区带。一般有色金属矿与特定构造有着密切的联系，几乎所有的岩浆作用都与构造作用息息相关，对于祁连山的花岗岩前人有一定的研究（毛景文等，1999，2003；夏祖春等，1996；夏林圻等，2003；冯益民等，1992，1995；葛肖虹等，1999；吴才来等，2004；苏建平，2004；张德全等，1995），而对于位于酒泉市东南约 40 km 处的金佛寺岩体（北祁连造山带西段最大的花岗质岩体，长 55 km，宽 10 ~ 13 km，面积约 600 km²），由于其交通条件和自然条件十分恶劣，研究程度很低，可查阅的有价值的资料主要是甘肃省地质局第二区域地质测量队 1966 年的《祁连山幅 1:20 万区域地质调查报告》、1974 年《祁连山幅 1:20 万矿产地质调查报告》和 2000 年甘肃省地调院《甘肃省祁连山西段 1:25 万区域遥感调查》（运用的主要手段是遥感）。而近年通过工作在金佛寺岩体的内外接触带发现钨钼、铅锌矿床，使得对本区的认识有了进一步提高。本书就是通过对北祁连西段地层、金佛寺岩体、西柳沟矿区钨钼、索同沟铅锌矿床运用岩石学、构造地质学、矿床学、遥感学、放射性 Re-Os、Rb-Sr、Sm-Nd、Pb 同位素测年和示踪方法以及主量、微量、稀土地球化学、稳定同位素 C、H、O、S、流体包裹体的研究手段进行研究，并结合前人的区域研究成果，主要确定了金佛寺岩体的成岩成矿时代；讨论了成岩成矿作用的源区性质、成因机制；掌握了金佛寺岩体成岩成矿地质特征以及形成机制。通过研究工作主要取得如下成果：

(1) 对金佛寺岩体南部原来所认定的志留系，有了新的认识

该地层前人划分有误，应该划分为奥陶系阴沟群 a 岩组。岩石组合具有为

亚碱性系列的玄武岩类——拉斑玄武岩；成岩时代为 471 ~ 486.8 Ma，属于古生代奥陶纪早奥陶世；成岩环境为大洋玄武岩，这与前人区域研究的成果（早奥陶世，北祁连属于大洋环境）相吻合。

(2) 解决了金佛寺岩体的成岩时代、构造环境等问题

金佛寺岩体分为两期，第一期副矿物以磁铁矿、磷灰石、锆石为主，次生矿物以绢云母、碳酸盐、绿泥石为主，且富含不含角闪石的绿泥石化黑云斜长花岗岩及黑云石英闪长岩包裹体。第二期副矿物以磁铁矿为主，次生矿物以绿泥石、绢云母、绿帘石为主。

第一期岩体 Rb - Sr 和 Sm - Nd 全岩等时线年龄为 421.9 ~ 426.1 Ma，为中—晚志留世（温洛克世—罗德洛世）。岩体中包裹体均一温度为 116 ~ 250℃，包裹体生成深度为 0 ~ 0.9 km，包裹体生成压力为 0 ~ 25 MPa。

第二期岩体 Rb - Sr 和 Sm - Nd 全岩等时线年龄为 389.6 ~ 391.3 Ma，为早—中泥盆世。岩体中包裹体均一温度为 175 ~ 275℃，包裹体生成深度为 0.28 ~ 1.5 km，包裹体生成压力为 7.5 ~ 39 MPa。

通过岩石主量、微量、放射性同位素 Nd、Sr、Pb 同位素的研究表明：两期岩体具有同源特征，岩体原始岩浆来源于地壳，具有“S”型花岗岩的特征；成矿环境为同碰撞环境；这与前人区域研究成果（中晚志留世，该区域属于陆陆碰撞造山期；早泥盆世—中泥盆世为隆升期）相一致。

(3) 首次研究分析了与金佛寺岩体有关的西柳沟-索同沟多金属矿床分布范围、产状、规模、形态变化、矿石物质成分、流体特征和控矿特征

通过岩矿石岩相学的研究得出了金属矿物生成顺序及划分成矿期次：

赤铁矿—黄铁矿—黄铜矿—斑铜矿—方铅矿（1）—黑钨矿—辉钼矿—闪锌矿—方铅矿（2）—白钨矿—（铅矾-白铅矿、褐铁矿、针铁矿、辉铜矿）。

该区大体划分为 2 个矿化期 5 个矿化阶段，分别为：

热液矿化期：Ⅰ磁铁矿-赤铁矿中、高温阶段，Ⅱ石英-黄铁矿中低温热液阶段，Ⅲ黄铜矿-辉钼矿中、高温热液阶段，Ⅳ方铅矿-闪锌矿中低温热液阶段，Ⅴ方解石-方铅矿低温热液阶段。

表生氧化期：部分金属化合物氧化为褐铁矿、针铁矿、铅矾-白铅矿、辉铜矿等。

矿石微量、放射性同位素 Pb、稳定同位素 C、H、O、S 的研究表明：成矿属于同一成矿系统的不同阶段，它们的成矿来源是地壳，成矿流体以岩浆为主并受大气水的影响。西柳沟钨钼矿的 Pb 来源较为复杂，可能与其形成于中晚志留世北祁连造山作用初期，残留海盆封闭晚期的环境有关。索同沟的铅来源单一，可能与造山作用及奥陶纪的火山有关。

通过包体测温的研究发现它们的成矿温度差异不大，而包裹体的成分也很

相似。Ⅰ号铅锌矿脉包裹体均一温度高、压力低，且赤铁矿发育，可能代表了近地表沉积奥陶纪的火山岩环境特点——温度高而压力低；Ⅲ号铅锌矿脉包裹体均一温度低、压力大，可能与钨钼矿形成后北祁连继续隆升，地壳继续加厚，压力增大，但成岩温度不如造山作用那么高的环境有关。

钨钼矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 422.2 Ma ，属于中晚志留世，这使得北祁连西段钨钼矿成矿作用从早奥陶世推延到志留纪。成矿环境为北祁连造山作用初期，残留海盆封闭晚期的环境。

北祁连山西段钨钼矿在成矿环境上可分为两种：小柳沟与塔儿沟的板块俯冲型和西柳沟的陆陆碰撞型。

(4) 首次运用多种地质学手段对该区进行系统研究，并提出了成岩成矿模式

通过岩石学、构造地质学、矿床学、遥感学、地球化学的放射性 Re-Os 、 Rb-Sr 、 Sm-Nd 、 Pb 同位素测年和示踪方法，运用主量、微量、稀土地球化学、稳定同位素 C 、 H 、 O 、 S 地球化学、流体包裹体的研究手段，结合前人的区域研究成果，建立了该区的地质演化和成岩成矿模式。

通过微量、 Pb 同位素和包裹体的地质特征研究表明：岩体及与金佛寺岩体有关矿的源区主要是大陆壳，而不是地幔（钨钼矿相对复杂些，可能与其形成的环境比较特殊有关），它们都与造山作用有关。

Ⅰ号铅锌矿脉形成于金佛寺第一期岩体就位前，与第一期岩体就位前的流体和奥陶系阴沟群 a 岩组 (OY^a) 有关；西柳沟钨钼矿形成于 422.2 Ma ——金佛寺第一期岩体就位后，与岩体及基底北大河岩群有关；Ⅲ号铅锌矿脉形成与第一期岩体形成后的与金佛寺岩体有关的成矿作用的晚期，是这一次成矿作用的结束。

目 次

前 言

第一章 区域地质特征	(1)
第一节 构造单元划分	(1)
第二节 区域重磁场特征及构造解译	(3)
第三节 遥感特征及构造解译	(6)
第四节 区域化探异常特征及元素组合分类	(7)
第五节 构造演化模式	(8)
第六节 北祁连西段多金属成矿带与区域地质、地球物理特征的关系	(10)
第二章 地层的地质特征	(12)
第一节 奥陶纪地层	(12)
第二节 志留纪地层	(14)
第三节 石炭纪地层	(18)
第四节 第三系	(20)
第五节 第四系	(21)
第六节 部分地层再认识	(22)
第三章 金佛寺岩体的地球化学特征与成岩作用	(39)
第一节 金佛寺岩体的地质特征	(39)
第二节 岩石学及矿物学特征	(41)
第三节 金佛寺岩体遥感解译	(43)
第四节 包裹体特征	(43)
第五节 岩石化学特征	(54)
第六节 成岩年代学	(65)
第七节 地球动力学的成岩作用	(66)
第四章 与金佛寺岩体有关的典型矿床地质、地球化学特征	(75)
第一节 矿脉特征	(76)
第二节 成矿期次的划分	(89)
第三节 地球化学特征	(90)
第四节 成矿流体地球化学特征	(93)
第五节 铅同位素研究	(113)
第六节 成矿年代研究	(115)
第七节 成矿机理	(117)
第五章 北祁连西段金佛寺岩体的成矿作用模式	(118)
第一节 北祁连山成矿作用概述	(118)

第二节 金佛寺岩体的成矿作用模式..... (118)

参考文献..... (122)

英文摘要..... (127)

彩色图版

第一章 区域地质特征

北祁连造山带位于秦祁昆巨型多旋回复合造山带中段。西北为塔里木地块，以左旋走滑的阿尔金断裂为界。东北邻阿拉善地块、鄂尔多斯地块，北以龙首山断裂为界，南以右行走滑的同心-固原断裂为界。南为中祁连-柴达木板块地块，以中祁连地块北缘断裂为界（图 1-1）。

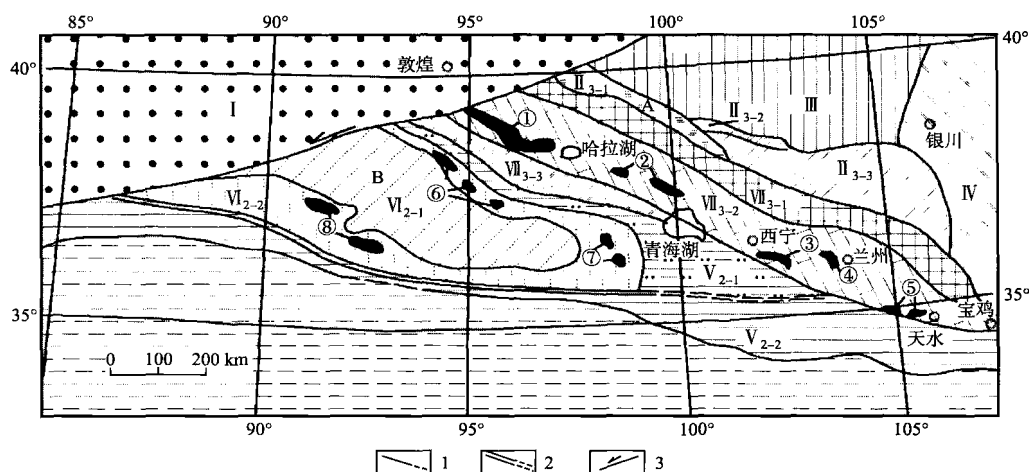


图 1-1 祁连造山带构造单元分布略图

（据汤中立等，1995）

1—构造单元界线（实测与推断）；2—昆中断裂（实测与推断）；3—阿尔金平移断裂；A—河西走廊盆地；B—柴达木盆地；早古生代链状断陷带（实测与推断）：①乌兰大坂，②希格尔曲上游纳耳扎山，③拉脊山，④雾宿山，⑤武山—甘谷，⑥赛什腾山—锡铁山，⑦沙柳河，⑧祁漫塔格—乌图美仁南；I—塔里木地块；II₃₋₁—河西走廊；II₃₋₂—龙首山断隆；II₃₋₃—永昌—中宁陆缘断陷带；III—阿拉善地块；IV—鄂尔多斯地台；V₂₋₁—土尔根大坂—宗务隆山断陷带；V₂₋₂—东昆仑—西秦岭断陷带；VI₂₋₁—柴北缘断陷带；VI₂₋₂—格尔木地块；VII₃₋₁—北祁连裂谷；VII₃₋₂—中祁连断隆；VII₃₋₃—南祁连断陷

第一节 构造单元划分

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；左国朝等，1987，1997；冯益民等，1992；许志琴等，1994；赵生贵，1996；葛肖虹等，1999），但对西段构造特征探讨较少。左国朝等（1997，2002）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，在成矿作用上也有所不同。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（见图1-2中①②③④）。这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（毛景文等，2003）。

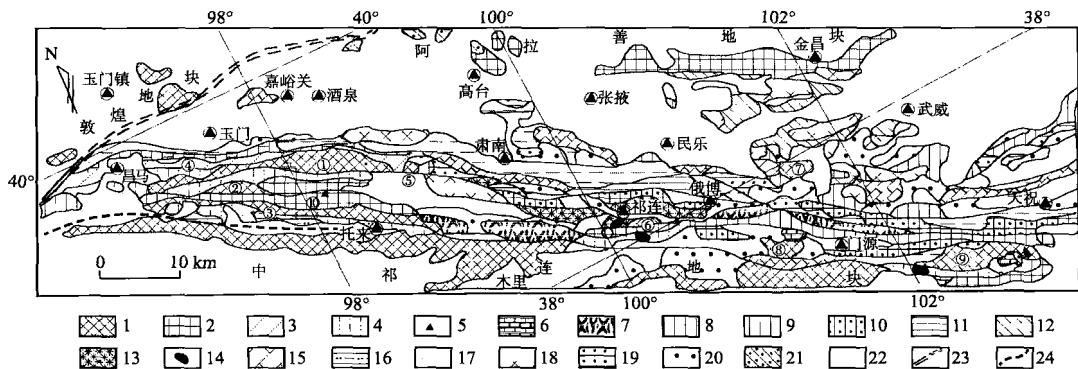


图1-2 北祁连中西段大地构造略图
(据毛景文等，2003)

陆块：1—前长城系；2—长城系、蓟县系和青白口系；3~5 裂谷系：3—海沟，4—裂谷，5—断陷槽；6—海底高原；7~11 沟弧盆体系：7—洋脊蛇绿岩+洋岛火山弧+远洋沉积—残留海，8—海底火山弧，9—弧后盆地，10—弧后盆地火山岩及蛇绿岩，11—弧前盆地；12—陆坡区；13—俯冲杂岩等（蛇绿岩+蓝片岩+榴辉岩）；14—阿拉斯加型岩体；15—前加里东期造山花岗岩；16—板内花岗岩；17—浊流海槽；18~19 造山阶段：18—造山阶段花岗岩，19—造山后阶段花岗岩；20—石炭系—侏罗系；21—后造山花岗岩；22—白垩系—第四系；其他：23—转换断层；24—边界断裂带；陆壳残块：①鱼儿红东山-小东沟梁-祁连主峰陆壳残块；②石油河脑-吊大坂陆壳残块；③柳沟峡-二过龙陆壳残块；④泉脑沟南陆壳残块；⑤金龙河陆壳残块；⑥牛心山陆壳残块；⑦皇城西陆壳残块；⑧红沟北陆壳残块；⑨狼牙山陆壳残块；⑩镜铁山-托来山北坡陆壳残块（图中①与⑤之间长方形框为图1-3位置，其内双线符号为宗宾大坂转换断层）

根据冯益民等（1996）、左国朝等（1997）所提出的划分方案，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。

(1) 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，1999a、1999b）。车自成等（1995）测得敦煌岩群的U-Pb 锆石年龄为2789 Ma，故该处敦煌岩群主体为太古宇得到佐证。

(2) 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,其渣尔泰群为石英岩、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。

(3) 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。

(4) 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,主要裂解开张期有中元古代早期和早古生代震旦纪-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隙,形成裂谷-微洋盆并列的构造体制。中、新元古代出现过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(毛景文等,2003)。

第二节 区域重磁场特征及构造解译

用地质矿产部地球物理与地球化学勘查研究所及区域重力测量中心1985年联合编制的1:250万布格重力图,根据其分布特征划分了构造单元,并推断了断裂构造带。

北祁连西段包括祁连山山脉,走廊南山和托来山。它处于小比例尺重力场圈闭的青藏高原北界的北西向梯度带上。梯度带的延展方向反映了大的构造线方向。北祁连西段梯度带的重力值由北向南从 $-300 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 降到 $-375 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,是巨大梯度带内较宽缓的一段,反映了北祁连莫霍面由北向南缓倾斜的趋势。局部重力异常反映了受大的构造断裂带控制的基底局部隆起与凹陷。因此,北祁连西段重力轴向的延展受北西向区域构造带控制。重力局部异常轴向图总的格局表现为正、负轴相间排列的构造格局,对应了地质上基底的隆起与凹陷。局部轴向的方向与它所处构造线的主导方向接近正交。反映了垂直挤压方向的扩张作用。因此,负异常轴向(重力低)一般对应凹陷的中、新生界沉积层,正轴向(重力高)则反映了相对较老地层的隆起。

区域航空磁异常场解释用图取自地质矿产部航空物探与遥感技术中心1990年出版的《中国西北地区航空磁测 ΔT_a 等值线图》,该图比例尺为1:100万。

区内磁异常为北西向的长轴异常正、负相间排列。沿走廊南山和祁连山展布一条强磁性带,明显与前长城系北大河群古老基底的分布有关。另一条强磁异常带沿中祁连北缘断裂分布,这和沿断裂分布的铁镁-超铁镁质岩带有关。

在多数情况下，重磁所反映的断裂是指那些切割基底深部的断裂，而对于表层，浅层断裂的反映并不明显。划分断裂主要是利用：

- 1) 不同特征重力场的分界线，具一定范围的重磁异常梯级带。
- 2) 线状或串珠状展布的异常界线。
- 3) 一定延展范围的同向弯曲等值线。
- 4) 明显弯曲、错动的异常等值线。
- 5) 布格重力异常水平一阶导数极值连线。

利用以上划分标志所划分出的祁连山西段的主要断裂构造如下。

一、北西向断裂构造

(1) 阿拉善南缘深断裂带

该断裂在平面上呈舒缓波状，总体走向北西 $300^{\circ} \sim 400^{\circ}$ ，在出露于嘉峪关以北，磁场上表现为一断续升高的异常带，为一条不同磁场的分界线（北侧异常强度大，变化剧烈，走向为 EW 向；南侧磁场强度较低，变化平缓，走向为 NW 向）重力场上表现为重力梯度带。

(2) 北祁连北缘断裂

它是走廊盆地和北祁连造山带的分界，沿玉门镇—宽滩山—肃南 NW 向展布，向南倾，在磁性上表现为断续升高的线性异常带，多被 NE 向断裂所切割，从而形成似阶梯状。以该断裂为界，北侧为负背景为主的磁场，南侧为断裂变化的磁场。震源深度图上表现出有 5、6 级地震在本断裂带上产生，是一条活动性断裂。

(3) 桦树沟—野牛沟断裂带

该断裂处于北祁连北缘断裂和北祁连断裂之间，向南倾。西起寒山一带，经过桦树沟，直到肃南野牛沟，是一条重要的控矿断裂带，沿断裂带分布着基性—超基性岩，对应于串珠状展布的正异常，其北侧为走廊南山单元北大河岩群磁性基底，显示为正异常条带区，南侧为中新元古界浅海相碎屑岩，碳酸盐岩系显示为负磁异常。

(4) 北祁连深断裂

西起石包城，向南东经野牛台，沿托来山南坡延伸出测区，向南倾或近直立。在磁场上表现为一条巨大的线性异常带，该带形迹清楚、连续，是研究区中最醒目、最巨大的一条断裂带。航磁上解译为宽约 20 km 的破碎带。在壳幔二维温度分布图上，该断裂处于热流高值带上，温度正异常，直达软流圈。在磁源分布图上解译为深源断裂，该断裂不仅处于莫霍面变异带上，而且是上地幔密度、地壳内地震反纵横向波速变化的分界线，是一条区域性的大断裂和地幔物质上升的通道。沿该断裂带发育规模宏大的中酸性岩、基性—超基性岩，它们是引起该带异常变化的主要原因。

(5) 托来南山南缘断裂

该断裂呈北西向，磁异常上表现为线性磁力低带和串珠状异常带，《祁连山地区构造航磁普查报告》解译该断裂中磁力低带是由于断裂错动而引起的，串珠状异常是由于沿该带分布的基性—超基性及中酸性侵入岩所引起。该断裂属硅铝层断裂，倾向较复杂，为倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 的逆冲断层。在二维壳幔温度分布图上，此断裂处于热高流值带上。温度正异常延伸到软流圈。磁源分布图上，它属于深大断裂，磁源分布深达地壳（40 km），大地电

磁场图上该断裂可延伸至软流圈中，在中地壳部位断裂两侧有厚度很大的高导层分布。其电阻率仅 $21 \Omega \cdot \text{m}$ ，厚度达 30 km，可能是岩浆沿该断裂滑动面上升，断裂滑动面摩擦产生的热量使滑动面附近物质熔融成部分熔融状态而形成低阻所致。地震波低速层 (5.8 km/s) 等速度线在此断裂下方跃变。推测此断层具有伸展性质，它构成了祁连山构造带总体呈“V”字形体系的中央分界线，即以该断裂为中心，两侧断裂相向倾斜。上地幔密度也是以中祁连北缘断裂为界。断裂以南地幔平均密度为 3.31 g/cm^3 （由于软流圈上隆所致）。断裂以北地幔密度为 3.4 g/cm^3 。地壳内部各层的密度在纵横向变化也很大。中祁连北缘断裂不仅处于莫霍面变异带上，而且还是上地幔密度、地壳内地震波纵横波速度变化的分界线。因此它是一条重要的区域性深大断裂。综上所述，中祁连北缘断裂可能是地幔物质的上升通道，它对幔源矿床的形成起着重要的控制作用。

二、北东向断裂

（1）阿尔金断裂

该断裂呈 NEE 向展布，在磁场上表现为一条切割、阻挡 NW 向异常带或异常的特征，本身反映为一高异常带。重力图上表现为十分清楚的错动梯度带，以这条梯度带为界，NW 重力表现为团块状。ES 侧则表现为线性异常，异常值向 ES 逐渐递减。表明断裂两侧基底性质及岩相建造存在极大的差异，沿该带尚发育一些中强地震和中生代中酸性侵入岩。

（2）野马大泉-昌马堡子断裂

该断裂受 NW 向断裂的干扰及第四系松散堆积物的覆盖的影响，出露多不连续，该断裂呈带状由多条分支断裂组成，在航磁异常图上明显切割一些 NW 向异常或异常带，使异常带发生扭曲或错动，在重力图上为 NE 向的重力梯度带， $-325 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的重力线绕着断裂分布，并最终并入北西向动力梯度带内，且两侧重力密度值差异较大，说明断裂两侧存在着密度差。

（3）窑泉-塔尔沟断裂

该断裂明显切过 NW 向断裂主航磁异常，但重力没有以前的 NE 向断裂构造那么明显，但其等值线因受断裂构造的破坏而发生错位和扭曲。

除上述几个具较明显重磁特征的 NE 向断裂构造外，尚有金佛寺 NE 向断裂构造（走向 NEE20°，属基底断裂）和古浪峡 NE 向断裂构造（NE40°），它们由于受其他断裂和异常的干扰，重磁特征不太明显，但对 NW 向断裂的切割作用仍十分强烈，其规模不亚于前述 NE 向断裂构造。

三、局部重力异常

指在主背景下重力场上表现出来的一些局部重力异常，主要是由区内中生代沉积盆地和磁性基底引起的。主要有：

1) 石包城重力低：中心位置为北纬 $39^{\circ}40'$ ，东经 $96^{\circ}00'$ ，为一短轴状重力低、负磁场特征，对应于中生代昌马盆地。

2) 大雪山南重力低：中心位置为北纬 $39^{\circ}20'$ ，东经 $96^{\circ}30'$ ，为一长轴为 NW 向的椭圆形重力低、负磁场特征，对应于中生代野马河盆地。

3) 祁连山重力高: 中心位置为北纬 $39^{\circ}20'$, 东经 $98^{\circ}30'$, 重力表现为 NW 向重力高(带)、低缓磁场特征, 对应于走廊南山构造单元, 是由元古宇变质基底引起的。

4) 酒泉重力低: 中心位置为北纬 $39^{\circ}50'$, 东经 $98^{\circ}50'$, 为 NW 向的狭长重力低、磁场低缓特征, 对应于酒东盆地。

5) 酒泉北重力高: 中心位置大致与酒泉重力低(带)相近, 重力高值、航磁显示为 EW 向近 100 nT 的异常值(带), 对应于阿拉善地块, 是由古生代及前古生代磁性基底引起的。

6) 深部莫霍面起伏变化: 研究表明, 祁连西段莫霍面的起伏变化与重力场的起伏变化具密切的相关性, 相关系数达 $-0.82 \sim -0.95$ 。从莫霍面变化图上可以看出, 研究区莫霍面的变化呈现北浅南深的格局, 变化范围为 50 ~ 58 km。即祁连山区的莫霍面相对于走廊地区下凹 8 km。深部构造与地形起伏及构造具良好的对应关系。

第三节 遥感特征及构造解译

一、线性构造

祁连山地区主要存在两组断裂, NW 向和 NE 向, 其中 NW 向的断裂占主导地位, 断裂所经过之处, TM 图像上都表现为线状负地形或带状负地形, 沿断裂带发育着整齐排列的断层三角面, 断裂带两边地质体的影像、影纹及水系等标志截然不同等特征, 直接反映了断裂带的存在, 也充分印证了磁场线性异常是由于断裂作用引发岩浆的活动, 使磁性矿物集中所致的观点^①。

两缘阿尔金山断裂为 NEE 向, 表现为不同构造地貌单元的直线边界呈带出现, 主干断裂明显, 与其间的岩块有一定交角, 且与祁连山 NW 向褶皱山系呈锐角接触。

沿玉门、酒泉经张掖转向 NE 的走廊北缘深断裂, 在遥感图像上以粗色块影纹带断续分布。祁连山北坡山前的大断裂构成了北祁连与走廊过渡带的分界, 长约 600 km, 由数条平行的断裂组成。TM 图像上沿山前呈直线状展布, 使山体错位, 残丘弧山沿此断裂出现, 并切割了古生代、中生代地层, 走向稳定, 昌马-祁连断裂带是北祁连褶皱带中一条区域性断裂, 自昌马 SE 向 NE 突出的弧形, 在图像上呈舒缓波状, 截山跨谷不受干扰至祁连县, 沿该断裂带有基性、超基性岩体分布。

在对 NE、近 NS 向次级构造解译过程中发现次级断裂多与 NW 向构造切截, 镜铁山、古浪峡、肃南、两营河、黄河流域均有较大规模的北东向线性构造展布。而东西向构造集中于平大坂-硫磺山-古浪峡、柳沟峡-大青沟煤矿及毛毛山-老虎山断裂带。

从解译图上可以明显地看出, 规模巨大的 NW 向断裂构造带, 与次级不同方向的断裂互相交错, 将地质体切割成“菱形断块”, 形成复杂的“网格状”构造。

二、环形构造

早古生代火山活动以及形成不同规模的喷发中心, 经后期强烈变形构造运动多已成

① 张新虎等, 甘肃矿床成矿系列研究报告, 2002, 甘肃省地质矿产勘查开发局。

平卧状、歪斜状，影像上无法清晰判别，但放射状影纹的存在，火山机构-穹窿构造则是环形构造判别的标志之一。在白银地区，发育的线性断裂系统和叠生在这一背景上的环状构造是本区最为明显的特征。线性断裂构造有 EW 向、SN 向、NE 向和 NW 向四组，并各自呈带状分布。环形构造发育，它们大多反映了随着构造运动和岩浆侵位而产生的岩浆热晕所引起的影像。影像解译以 NWW 向线性构造为主，次为 NNE 向横断裂配套。环状构造稀疏，并集中在靖远以东的 SN 向构造带中。地质研究认为古火山口在白银厂、肃南黑石头、潘家河地区出露，此外喷发中心有中堡、九个泉、车轮沟、俄博等^①。

第四节 区域化探异常特征及元素组合分类

在祁连山地区的富集系数 (K) 和变异系数 (C_v) 值均大于 0.75，即为强—较强富集，分异的元素有 As、Sb、Au、Cr、Ni、Cu、W、Mo、Fe、Pb、F 等，其中 Au、Sb、W、Cr、Ni 为强富集、强分异元素，表现在区域分布上，多形成线状延伸的高背景带，异常值较强，多数异常与已知矿（化）带的空间分布相一致（汤中立等，2002）。

参考甘肃酒泉地调队 1992 年北祁连地球化学成因组合分类方案^②（汤中立等，2002），大体分为四个带：

（1）镜铁山-祁连山 Fe、Mn、Ba、Cu、Pb、Mo、Cr、Ni 地球化学带

该段 Ba、Cr、Ni、Pb、Sb 为强富集、分异元素，Mo、As、W 为较强富集、分异元素，Fe、Mn 丰度分别为 5.11×10^{-6} 、 768×10^{-6} 。区内发育重要的含铁岩系赋存有火山-沉积变质镜铁山、桦树沟、柳沟峡等 Fe-Cu 矿床，另有刃岗沟沉积变质型铁矿，小柳沟 Fe、W 矿等矿床（点）40 余处，为区内重要的 Fe、Cu 成矿远景带。

（2）鹰嘴山-冷龙岭 Au、As、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Mo、Mn 地球化学带

该带是北祁连主体，地质构造复杂，下古生界火山岩系发育，是区内铜、多金属、金重要成矿远景带。区内 Cr、Ni、Mo、Hg、As 为强富集、分异元素，Au、Cu、Sb 为较强分异元素。异常展布大致以祁连山峰为界，西部异常较零星，规模小，主要分布于昌马-妖魔山之间，由 Fe、Cr、Cu、Zn、Sb、Bi 等元素组成；东部异常成群成带出现，异常规模较大，为多元素复杂的组合异常，以错沟-九个泉、摆浪沟为代表的铜、多金属矿化，使区内 Cu 异常连片成带。

（3）永登-白银 Au、Ag、Hg、Cu、Pb、Zn、Mo、Mn 地球化学带

该带向西进入青海，向东被黄土所覆盖，是区内铜、多金属重要成矿远景带。区内 Cu、Pb、Zn、Hg、Au 为强富集、分异元素，Ag、As、Sb、Mo、Mn 为较强富集、分异元素，构成以 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb 为主的多元素 NWW 向地球化学异常带，其中赋存于中寒武统白银厂矿田上的异常最显著，异常规模大，强度高，Cu、Pb、Zn 分别达 273×10^{-6} 、 912×10^{-6} 、 1013×10^{-6} 。区内见有折腰山、小铁山、石青硐、猪嘴哑巴及西湾等多金属、金、银矿床，地球化学异常的分布、特征反映该带成矿元素的地球

① 张新虎等，甘肃矿床成矿系列研究报告，2002，甘肃省地质矿产勘查开发局。

② 甘肃省地质调查院，1:25 万昌马、酒泉幅区域遥感调查报告，2000。

化学特征。

(4) 山丹—永昌 Au、Sb、Cu、Pb、W、Mo、F 地球化学带

该带出露地层主要为寒武系海相火山岩系，加里东期中酸性岩比较发育。带内 Au、Mo、Sb、Hg、F 为强富集、分异元素，Cr、Ni、Co、Ti 为贫化元素，异常规模小，有的呈点异常出现，仅在侵入岩接触带附近出现规模比较大的 W、Sn、Bi、Mo 组合异常，这是本带地球化学异常的特征。区内见有曹家口金、银及多金属矿点多处，产于岩体外接触带的断裂带上，表明本带具有 Au、Ag 及多金属矿的成矿条件。

第五节 构造演化模式

一、地壳地质特征

根据初始地壳模型（崔作舟等，1995），利用纵波速度 v_p 与密度的经验转换公式等，将初始地壳—上地幔速度转换成密度值，剖面向两端各延长数十千米。去掉区域背景场，反演了地壳上地幔结构，推测基底起伏形态，拟合莫霍面。北祁连造山带内结晶基底为隆起区，两侧盆地如酒泉盆地和哈拉湖地区为基底凹陷区。镜铁山至金塔之间基底的平均地震波速度较高，这是由于沉积层较薄，主要反映了结晶基底的速度值。镜铁山至金塔之间基底埋深浅，并在深部相连，这一特点在深源磁性分布反演中也得到了证实。北祁连西段古元古界北大河群具有重力高、磁力高和速度高的三高的地球物理特征。

北祁连西段处于软流圈上隆、地幔岩石圈减薄部位。中地壳存在较厚的低速层，上地壳相对速度较高，这可能是由于上地壳内基性成分较高所致。北祁连西段几条广泛发育的铁镁—超铁镁质岩带可能与此有关。北祁连构造带地壳厚度较大，为 60 km 左右。该区地壳可划分为上、中、下 3 层。

北祁连西段的莫霍面是由北向南逐渐加深的，南北大约相差 3 ~ 5 km。

上地幔顶部纵波速度在北祁连西段下面为 8.10 km/s。面波三维速度结构资料表明（安昌强等，1993），上地幔低速层的速度为 4.10 ~ 4.30 km/s，上地幔低速层的顶界埋深为 74 km。这就是说上地幔盖层厚度较小，仅为 10 ~ 20 km。直到深达 200 km 的上地幔，低速层的速度值仍未回返，可见其厚度较大，至少不小于 120 km。由此可见，该区具有活动的上地幔和活动的地壳。这可能正是祁连山地区急剧隆升的重要因素之一。软弱的上地幔也吸收了印度板块向北推移产生的压应力，构成了青藏高原的北界。上隆的软流圈，减薄的岩石圈地幔，伸入岩石圈的断裂构成了幔源物质向上运移的条件和通道。地表广泛出露的祁连山区加里东期铁镁—超铁镁质岩带证实了这种推测。

地球动力学模型（图 1-3）反映了主要构造单元的运动学过程，以及地壳的缩短增厚变形状态。印度板块向北为主，欧亚板块向南为辅的双向挤压，软流圈上隆等是祁连山大陆岩石圈变形的主要力源。挤压作用主要发生在地壳中，地表表层以逆冲走滑运动和滞后的伸展构造为主。构成了岩石圈最新变形的力学系统，祁连山正是在这种动力学环境中于新生代晚期隆起的（毛景文等，2003）。

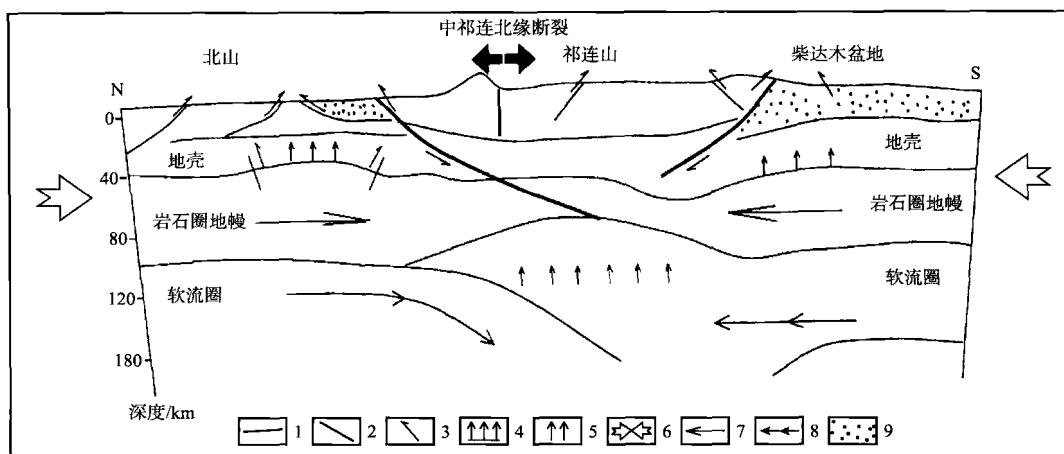


图 1-3 北祁连西段多金属成矿带深部地球物理背景示意图

(据毛景文等, 2003)

1—壳内滑脱层; 2—地体边界断裂; 3—逆冲断裂; 4—莫霍界面补偿抬升; 5—软流圈地幔的浮升; 6—双向挤压动力与方向; 7—岩石圈运动方向与角度; 8—地幔流动方式; 9—沉积层

二、构造演化阶段

阶段 1 大陆裂谷构造演化阶段 (冯益民, 1997)

近年来, 国内外学者对超级联合大陆 (super continent) 的研究揭示, 曾存在一个新元古代超级大陆, 时限 1050 ~ 700 Ma。古中国大陆出现的时限与此相当 (黄汲清等, 1979)。而沿北祁连-北秦岭的大陆裂谷作用正是在此之后 (夏林圻等, 1991; 冯益民等, 1996; 陈炳蔚等, 1996)。这次大陆裂谷作用生成震旦纪一早中寒武世的双峰式火山岩 (夏林圻等, 1991)。并伴有白银、郭米寺等铜多金属块状硫化物矿产的形成 (彭礼贵等, 1995; 郭介人等, 1994)。

晚寒武世是大洋裂谷的萌生期。与大陆裂谷发展同时或稍后, 在拉脊山一带形成陆内裂谷。

阶段 2 洋底扩张及沟弧盆体系大洋盆地演化

祁连造山带的板块构造体制是在大陆裂谷的基础上发展演化而成的。大约在晚寒武世一早奥陶世时, 沿北祁连的黑河河谷一带形成初始大洋裂谷系, 川刺沟蛇绿岩底部变质橄榄岩中交代型金云母的发现 (夏林圻等, 1996) 为此提供了佐证, 到早中奥陶世, 已形成完整的沟弧盆体系, 出现了以玉石沟-川刺沟蛇绿岩为代表的洋中脊型蛇绿岩, 以大岔大坂蛇绿岩为代表的岛弧扩张脊型蛇绿岩, 及以塔墩沟蛇绿岩、老虎山蛇绿岩为代表的弧后扩张脊型蛇绿岩 (冯益民等, 1996); 在洋中脊型蛇绿岩带与岛弧扩张脊型蛇绿岩带之间出现了该期的俯冲杂岩带 (冯益民等, 1996; Wu H et al., 1993)。在永登石灰沟一带出现了成熟岛弧 (夏林圻等, 1991)。上述岩石记录为祁连山曾存在完整的沟弧盆体系和成熟大洋提供了有力的证据。

阶段 3 造山作用

祁连山从早中奥陶世开始经历了俯冲造山、碰撞造山和陆内造山作用。俯冲造山开始