第 12 卷第 4 期　　地球科学进展　　Vol 12　No. 4
1997 年 8 月　　ADVANCE IN EARTH SCIENCES　　Aug , 1997

北祁连山俯冲杂岩带的构造演化①

宋述光
(地矿部西安地质矿产研究所　西安　710054)

摘　要　北祁连位于华北克拉通西部阿拉善地块与中祁连—柴达木泛地块之间, 是我国最具特色的大陆造山带之一。带内发育有震旦纪—中寒武世的裂谷火山岩、晚寒武世—奥陶纪蛇绿岩、中晚奥陶世岛弧火山岩、晚奥陶世弧后拉张盆地火山—沉积岩、志留纪残余海盆相复理石和泥盆纪山间磨拉石等。中间夹两条变质和变形特征不同的加里东期俯冲杂岩带: 南带为深层俯冲, 北带为浅层俯冲杂岩; 这两条杂岩带可能形成于同一俯冲带的不同深度。俯冲杂岩带中岩石学、变质和变形特征揭示北祁连山经历了裂谷—大洋化—俯冲—弧陆碰撞—造山的构造演化历史。

关键词　俯冲杂岩　蛇绿岩　构造演化　北祁连山
分类号　P583

位于甘、青两省交界处的北祁连山是我国最著名的大陆造山带之一。其内部发育有产于不同构造环境且层序组合完整的早古生代蛇绿岩、岛弧杂岩以及由不同类型高压变质岩和蛇绿混杂岩等组成的俯冲杂岩带, 是研究造山带的古板块构造体制、俯冲动力学和造山作用过程的理想场所。

70 年代随着板块构造理论在中国的广泛传播, 北祁连山造山带的研究得到飞速发展, 许多地质学家从不同角度对北祁连山古板块运动的发生、发展过程和动力学机制方面进行了分析研究, 确定本区是一典型的加里东期板块俯冲缝合带。在肖序常等(1974) [1] 首次报道北祁连山地区发现蓝闪片岩带、蛇绿岩套和混杂堆积之后, 许多学者先后讨论了本区蛇绿岩套的岩石学、地球化学、形成时代和构造意义[2-6], 探讨了本区造山带的发展演化过程[7-12], 并对蓝闪片岩和榴辉岩的岩石学、矿物学、同位素年代学、构造变形以及成因机制等方面进行了深入研究[13-22]。最近, 吴汉泉等[23] 又发现一条含硬柱石、绿纤石、文石的蓝闪片岩带, 并对它与前者进行了对比研究, 划分为高级蓝片岩(含榴辉岩)带和低级蓝片岩带[20,24]。因此, 两条变质变形特征不同的早古生代蓝片岩带的共存构成了北祁连山独有的特色, 同时, 也引起国内外学者的关注和对北祁连山构造演化更深刻的认识。

① 部分研究成果由国家自然科学基金项目"北祁连地段地幔岩变形特征及流变动力学研究"(项目编号: 49372136)资助。
作者简介: 宋述光, 男, 1963 年 8 月出生, 副研究员, 研究方向为板块构造及古地幔动力学。
收稿日期: 1997-06-10

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

本文着重介绍北祁连山俯冲杂岩带的岩石学、地球化学、变质作用和变形作用,分析几个典型的蛇绿岩和高压变质岩剖面,并试图讨论北祁连山古板块俯冲带的运动学、动力学过程和构造演化历史。

1 区域地质背景

北祁连加里东褶皱带位于甘肃省西南部至青海省北部,中朝—塔里木地台的西南边缘,是秦祁昆褶皱系[8]中段祁连褶皱系的一部分。祁连褶皱系的北部以龙首山断裂与阿拉善地块(中朝地台的一部分)为界,南部以柴北缘边界断裂与柴达木地块相隔,西北部以阿尔金走滑断层与塔里木地块相邻(图 1)。

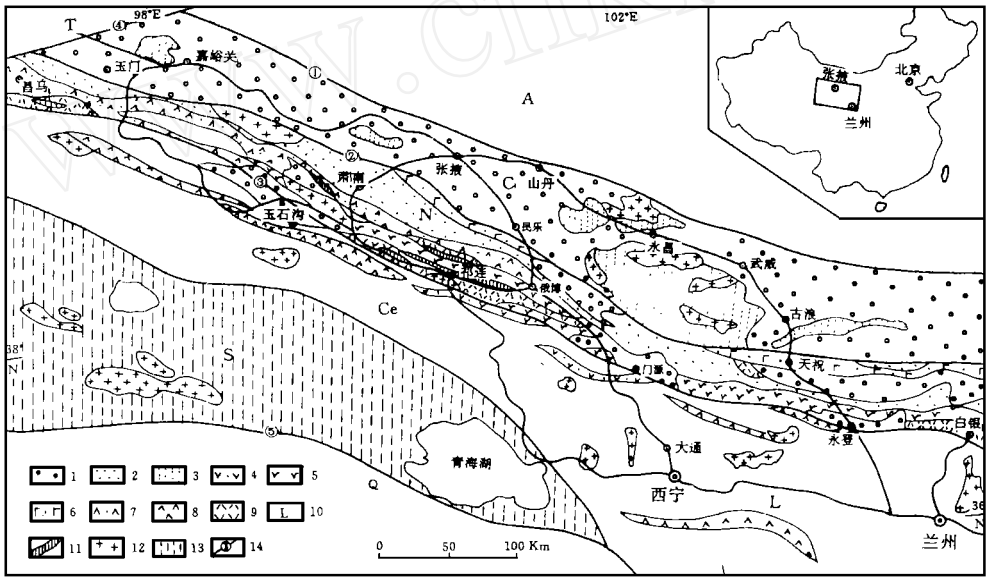


图 1 北祁连山及其邻区地质略图

1. 泥盆系—新生界盖层; 2. 志留系复理石; 3. 中寒武统—奥陶系沉积岩系; 4. 上奥陶统边缘盆地火山—沉积岩系; 5. 中、上奥陶统岛弧火山岩岩系; 6. 中、上奥陶统蛇绿岩系; 7. 中、下奥陶统蛇绿岩系; 8. 中寒武统—下奥陶统蛇绿岩系; 9. 裂谷火山岩系; 10. 前寒武纪基底; 11. 高压变质岩; 12. 花岗岩; 13. 奥陶—志留纪沉积盆地; 14. 主边界断裂: ①龙首山断裂; ②、③北祁连褶皱带的南北边断裂; ④阿尔金走滑断裂; ⑤柴北缘断裂。A—阿拉善地块; T—塔里木地块; Co—走廊过渡带; N—北祁连褶皱带; Ce—中祁连地块; S—南祁连褶皱带; Q—柴达木地块; L—拉脊山褶皱带

任纪舜等[25]将祁连褶皱系划分为四个次级构造单元: ①走廊过渡带; ②北祁连优地槽褶皱带; ③祁连中间隆起或中祁连地块; ④南祁连地槽褶皱带。事实上,走廊过渡带是一新生代的断陷盆地,属于阿拉善地块的南部大陆边缘[11, 26]。而中祁连地块和柴达木地块为一泛大陆,其中发育有陆间沉积盆地(南祁连褶皱带)和陆间裂谷(拉脊山褶皱带)。

位于阿拉善地块与北祁连褶皱带之间的走廊过渡带在地理上与河西走廊相吻合。此带具有与阿拉善地块相同的前寒武纪基底,中寒武统和奥陶系地层为厚层的、紫红色陆源碎屑岩和结晶灰岩,火山岩不发育,说明走廊过渡带在早古生代是阿拉善地块的大陆斜坡。

北祁连褶皱带位于走廊过渡带之南,地理上包括走廊南山和托莱山的一部分。主要由下古生界褶皱基底和上古生界盖层组成。褶皱带内两种不同类型的蓝片岩分别产于中寒武统

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

(?) 和下、中奥陶统蛇绿混杂岩之中。志留系主要为厚层的残余海盆相复理石建造。泥盆纪沉积岩散布于整个北祁连山之中, 是强烈造山作用形成的非海相磨拉石[25]。石炭至三叠系为灰岩、页岩和砂岩与煤互层, 说明是一个稳定的沉积环境。白垩系和第三系为红色砂质砾岩和泥岩。

中祁连地块位于北祁连和南祁连褶皱带之间, 其基底与柴达木、塔里木和阿拉善地块相似, 说明这些地块可能是一个统一的前寒武纪大陆的四个部分。

南祁连褶皱带位于柴达木地块和中祁连地块之间, 其中沉积有中奥陶世至早志留世的巨厚杂砂岩夹结晶灰岩、砂岩、粉砂岩、页岩以及基性- 酸性火山岩, 为陆间盆地环境, 肖序常等[27]认为是北祁连俯冲带的弧后盆地。

拉脊山褶皱带主要由中寒武统到上奥陶统火山- 沉积岩系组成。中寒武统火山岩主要为碱性橄榄玄武岩和橄榄粗安岩, 上寒武统火山岩为钙碱性和拉斑玄武岩[28- 30]。蛇绿岩主要产于上寒武统岩系中[30]。奥陶系火山岩主要为岛弧钙碱性岩。各种火山岩系的地球化学显示了从中寒武世的陆内裂谷到晚寒武世的初始洋盆到奥陶纪的火山弧的构造演化过程[30], 即一个完整的、相似于北祁连褶皱带的开—合历史[30- 31]。

2　北祁连下古生界岩系的地层学和岩石学

2 1　寒武系

下寒武统沉积岩在北祁连山中缺失, 中寒武统岩系主要散布于白银、天祝西部、祁连和昌马地区(图 1)。根据夏林圻等[28- 29, 33]的研究, 中寒武统岩系中火山岩主要为基性和酸性的, 二者构成了典型的双峰式裂谷火山岩系。上寒武统地层只出露于昌马地区和玉石沟地区(图 2), 主要为杂砂岩、板岩和结晶灰岩, 火山岩缺失, 说明是一较稳定的大陆边缘沉积环境。

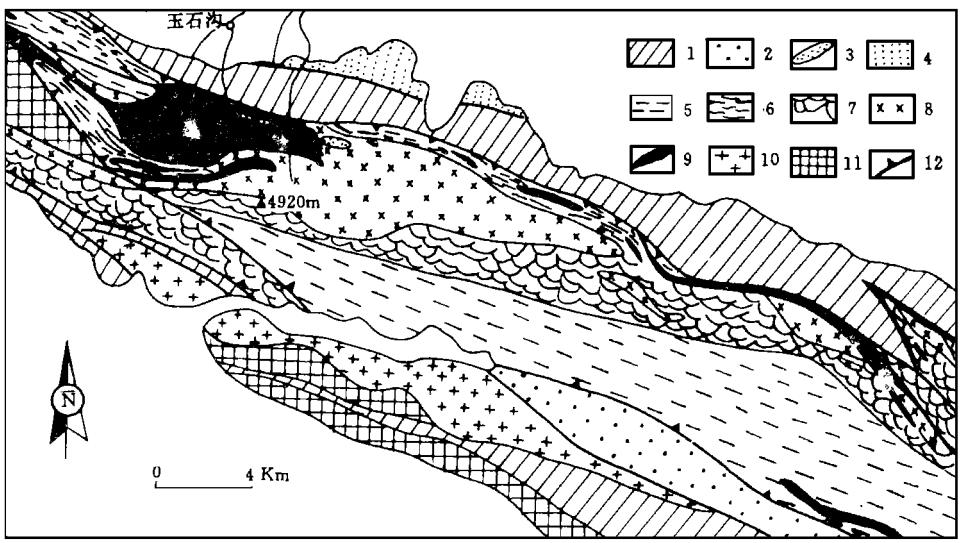


图 2　玉石沟地区晚寒武- 早奥陶世蛇绿岩构造岩性图

1. 石炭- 二叠系沉积盖层; 2. 志留系复理石; 3. 中奥陶统沉积岩系; 4. 上寒武统沉积岩系; 5. 下奥陶统沉积岩系; 6. 糜棱岩; 7. 枕状熔岩; 8. 辉长岩; 9. 超基性岩; 10. 花岗岩; 11. 前寒武纪基底; 12. 逆冲断层

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

2.2 奥陶系

奥陶系地层在北祁连广泛发育。除上奥陶统地层沿中祁连地块的北缘延伸之外，奥陶系地层呈三个带分布，并向北逐渐变新。

2.2.1 南部上寒武统—下奥陶统蛇绿岩岩系

该岩系呈四个构造岩片沿中祁连地块的北缘分布(图 1)，主要由沉积岩和蛇绿岩岩块组成。沉积岩为含早奥陶世化石的硬砂岩、粉砂岩、板岩、硅质岩、灰岩和滑塌堆积，反映为深海复理石建造。在这些岩片中蛇绿岩极为发育，如图 2 所示，经历了高温高压塑性流变和高度部分熔融的地幔橄榄岩与辉长岩、枕状熔岩和放射虫硅质岩构成了一个典型且完整的蛇绿岩套。中奥陶统沉积岩系由超基性砾岩、硬砂岩、砂岩、板岩和含化石的灰岩组成，不整合覆盖于橄榄岩和辉长岩之上[2](图 2)，说明洋壳首次仰冲到前陆地区发生于中奥陶世。

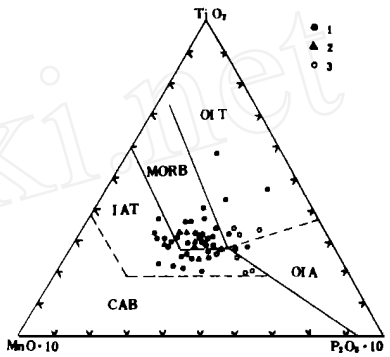


图 3 北祁连山基性火山岩的 TiO_2-MnO·10-P_2O_5·10 图解

1. 晚寒武-早奥陶世岩系; 2. 早、中奥陶世岩系; 3. 中、晚奥陶世岩系; OIT. 洋岛拉斑玄武岩; OIA. 洋岛碱性玄武岩; MORB: 洋脊玄武岩; IAT: 岛弧拉斑玄武岩; CAB: 钙碱性玄武岩(资料引自夏林圻等[33]、冯益民和何世平[6])

晚寒武世—早奥陶世蛇绿岩中火山岩主要为基性和拉斑玄武质。在这些火山岩主要投点于洋中脊(MORB)玄武岩区，少数在岛弧拉斑玄武岩区、洋岛拉斑玄武岩区和洋岛碱性岩区。它们的稀土元素分配型式与 N 型洋中脊拉斑玄武岩相似(图 4)，而痕量元素的蛛网图解说明它们形成于 E 型与 N 型洋中脊之间的过渡型洋中脊环境(图 5)。

2.2.2 中部下、中奥陶统蛇绿岩岩系

该岩系主要沿北祁连山的走廊南山分布，从西部的昌马到东部的俄博延伸约 500 km。其原岩为沉积岩和火山碎屑岩，混杂有大量的蛇绿岩。沉积岩为厚层硬砂岩、板岩、杂色页岩、硅质岩和灰岩，它们被晚奥陶世沉积岩不整合覆盖，表明在中、晚奥陶世之间有一次构造运动[32]。

典型的蛇绿岩套出露于肃南九个泉地区的塔墩沟，由蛇纹岩、堆晶辉长岩、枕状熔岩和团块状放射虫硅质岩组成，并与低级蓝片岩构成浅层俯冲杂岩。但是，蛇绿岩的形成时代不清楚。据冯益民等[6]研究，塔墩沟蛇绿岩的地球化学特征与南部蛇绿岩带非常相似(图 3-5)，并根据蛇绿混杂岩带及火山弧的相对位置将其考虑为弧后盆地的产物。

2.2.3 北部中上奥陶统蛇绿岩岩系

此岩带位于北祁连褶皱带的北缘(图 1)。在肃南—民乐一带，岩石主要由巨厚的枕状中基性火山熔岩和互层的砂岩、硅质岩组成。超基性和基性岩体不发育。在老虎山地区，该岩系主要由蛇绿岩块、浊积岩和杂色硅质岩组成，并被煌斑岩脉所侵入。浊积岩来源于大陆和岩浆弧，冯益民等[6]将其作为弧后盆地的证据。

蛇绿岩包括超镁铁质岩、辉长岩、基性枕状熔岩和硅质岩，并显示出与上述蛇绿岩相同的地球化学特征(图 3～5)。基性火山岩的 Sm-Nd 年龄为 469～454 Ma[29]。

2.2.4 中、上奥陶统岛弧岩系

该岩系位于北祁连褶皱带的南部，从白银经永登、门源、祁连、至玉石沟北西延伸约

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

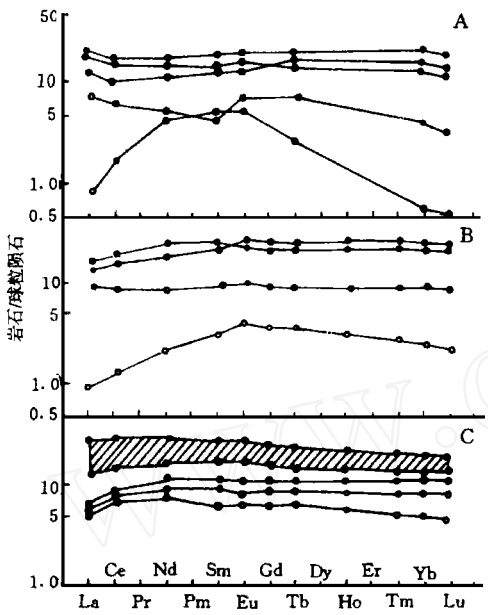


图 4　北祁连山蛇绿岩中基性火山岩的球粒陨石标准化稀土模式

A. 玉石沟蛇绿岩($\in_3$—O_2); B. 九个泉蛇绿岩(O_1—O_2); C. 老虎山蛇绿岩(O_2—O_3) (据冯益民和何世平[6])

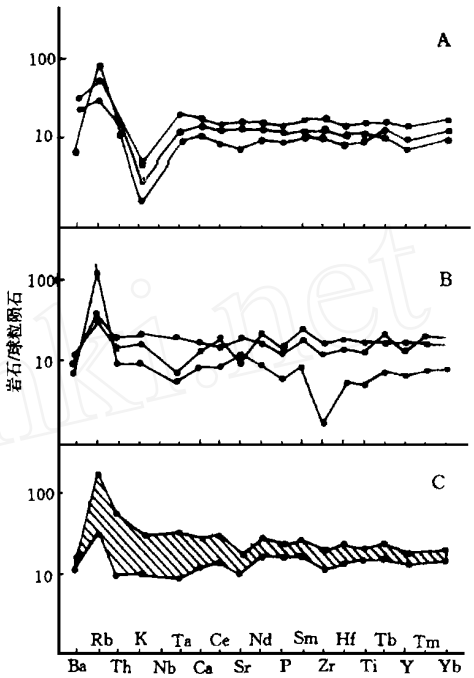


图 5　北祁连山基性岩的球粒陨石标准化痕量元素蛛网图

A. 玉石沟蛇绿岩; B. 九个泉蛇绿岩; C. 老虎山蛇绿岩(据冯益民和何世平[6])

600 km。在该岛弧的西段, 火山岩主要为基性到酸性的钙碱性系列; 在永登地区, 剖面由下至上火山岩具有典型的、完整的岛弧火山岩组合[28, 29, 33, 34]。

2 2 5　上奥陶统火山—沉积岩系

该岩系位于中祁连地块的北部边缘(图 1), 由厚层陆源碎屑岩和基性到酸性火山岩组成, 并混杂有由超镁铁质岩、辉长岩和枕状玄武岩组成的蛇绿岩块。沉积岩包括砾岩、杂砂岩、板岩及灰岩夹层。火山岩包括玄武岩和玄武安山岩及少量的钠质粗面玄武岩和玄武质粗面安山岩(图 6)。在 TiO_2- MnO ·10- P_2O_5 ·10 图解中, 所有样品都投点于岛弧拉斑玄武岩区和岛弧钙碱性岩区(图 7)。Ti/Y- Nb/Y 图解显示它们为板内玄武岩(图 8)。说明很有可能是一个晚奥陶世期间与板块俯冲和碰撞有关的活动大陆边缘的拉张盆地。

2 3　志留纪复理石建造

志留系地层主要出露于走廊南山的北坡, 延伸约 800 km。由厚层灰绿—紫红色的来源于岛弧和增生杂岩的砾岩、砂岩、粉砂岩和页岩组成, 代表残余海盆的浊积相沉积。下志留统不整合于早期岩系之上, 说明在早志留世已发生了初步的造山运动。

3　北祁连俯冲杂岩带的变质和变形作用

北祁连山是一著名的加里东期板块俯冲带[2, 18- 20]。在其中段肃南至祁连地区发育有非常典型的俯冲杂岩。它们是古洋壳俯冲作用的记录, 也是本区古板块构造体制存在的重要依

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

据。典型的俯冲杂岩由三部分组成: ①海沟相滑塌堆积和硬砂岩建造; ②由远洋沉积和蛇绿岩残片组成的俯冲杂岩增生楔; ③高压变质岩。未经破坏的中新生代俯冲杂岩具有从深部到浅部垂直分带的特点, 如美国著名的佛兰西斯科杂岩[35- 36]。如图 9 所示, 北祁连山中段两种不同的俯冲杂岩空间上呈南北两带产出, 南带呈两个构造岩块分布于岛弧杂岩的南北两侧, 其中含三个由榴辉岩和蓝闪片岩组成的岩片, 根据变质和变形特征, 笔者将其称为深层俯冲杂岩。北带主要由蛇绿混杂岩和含硬柱石—绿纤石—蓝闪石—文石组合的低级蓝片岩组成, 笔者称为浅层俯冲杂岩。

3.1 深层俯冲杂岩

深层俯冲杂岩主要出露于北祁连山中西段的昌马地区和祁连地区(图 1)。在祁连地区, 俯冲杂岩位于黑河和祁连河的北岸, 沿NW - SE

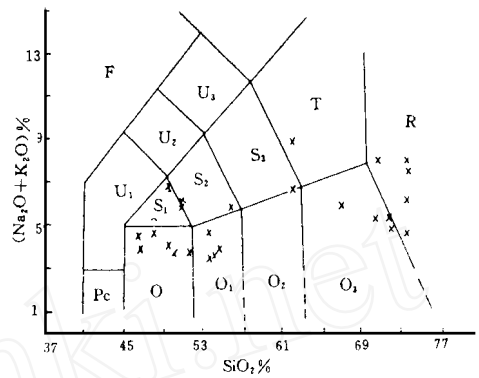


图 6 晚奥陶世火山岩的($K_2O + Na_2O$) - SiO_2 图解

Pc. 苦橄玄武岩; B. 玄武岩; O_1. 安山玄武岩; O_2. 安山岩; O_3. 英安岩; R. 流纹岩; S_1. 粗面玄岩岩; S_2. 玄岩质粗面安山岩; S_3. 粗面安山岩; T. 粗面岩; U_1. 碧玄岩、碱玄岩; U_2. 响碱玄岩; U_3. 碱玄质响岩; Ph. 响岩; F. 似长石

(数据引自夏林圻等[28]和青海第二地质队内部资料)

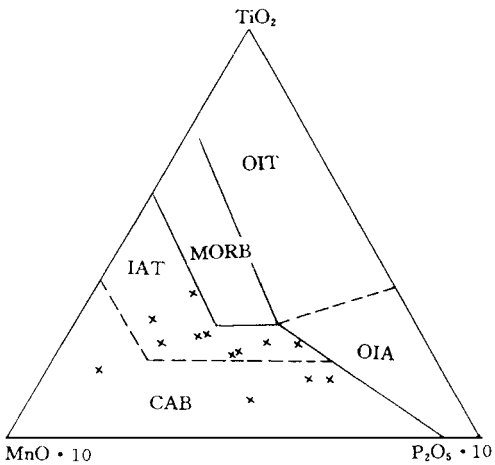


图 7 晚奥陶世基性火山岩的 TiO_2- MnO (10- P_2O_5 • 10 图解图中字母代号迥图 3

(资料来源同图 6)

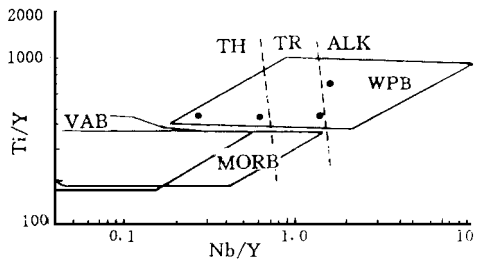


图 8 晚奥陶世基性火山岩的 Ti/Y—Nb/Y 图解

TH. 拉斑玄武岩; TR. 过渡型玄武岩; ALK. 碱性玄武岩; WPB. 板内玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩(据夏林圻等[29])

方向延伸约 100 km (图 9)。杂岩南部为中祁连活动大陆边缘, 其上分布有晚寒武世—早奥陶世俯冲蛇绿岩片和晚奥陶世边缘盆地火山—沉积组合。高压变质岩被逆冲断层分割成A、B、C 三个岩片, 并沿中晚奥陶世岛弧杂岩的两侧平行展布(图 9)。与A、B 岩片互层产出的双峰式火山岩是早期 678~ 514 Ma 大陆裂谷的产物[29], 其中混有许多超镁铁质岩和含锰硅

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

质岩的岩块, 并在局部出现高压变质矿物, 说明双峰火山岩也卷入到俯冲杂岩之中。

3.1.1　滑塌堆积和硬砂岩

代表古海沟堆积的滑塌堆积和硬砂岩在三个高压变质岩片中都很发育。在A 岩片中, 滑塌堆积厚约 100 m, 沿岩片的南部边界分布。滑块包括单一成分的大理岩、硅质岩、基性火山岩、裂谷酸性火山岩和蛇纹岩, 基质为硅质和砂质胶结(详见 4.3)。在B 岩块中, 大理岩岩块在硬砂岩楔体中断续延伸约数公里, 其内部重力滑塌构造极为发育。在C 岩块中, 黑色硅质岩、含铁硅质岩和硬砂岩构成了浊积相堆积, 并混杂有大量硅质大理岩滑块[19]。

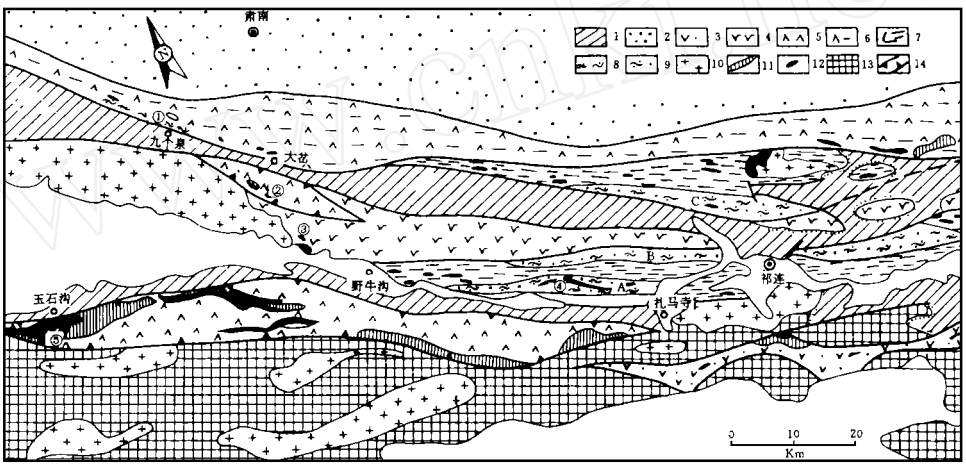


图 9　北祁连山中段构造岩性图

1. 泥盆系- 第三系盖层; 2. 志留系复理石; 3. 晚奥陶统火山- 沉积岩; 4. 中晚奥陶统岛弧火山岩; 5. 蛇绿混杂岩; 6. 浅层俯冲杂岩; 7. 深层俯冲杂岩; 8. 低级蓝片岩; 9. 高级蓝片岩; 10. 花岗岩; 11. 辉长岩; 12. 超基性岩; 13. 前寒武纪基底; 14. 构造岩片

3.1.2　蛇绿岩

所有蛇绿岩都以单一成分的蛇纹岩、辉长岩、枕状熔岩和铁锰硅质岩岩块散布于深层俯冲杂岩带中, 它们与硬砂岩和火山岩构成了蛇绿混杂岩。但缺乏蛇绿岩同位素资料, 而在百经寺地区硅质岩块中发现的放射虫[2]很可能是早奥陶世的化石[20], 说明蛇绿混杂岩和俯冲杂岩的形成时代不会早于早奥陶世。

3.1.3　榴辉岩

榴辉岩呈块状或透镜状产于A - C 三个岩片的蓝片岩之中, 并代表深层俯冲杂岩最早期的变质。榴辉岩中的钠质辉石主要为绿辉石, 少量暗绿玉和霓辉石[20]。结构关系显示有两种辉石, 较早的钠质辉石(Cpx) 呈残留矿物被晚期的蓝闪石(Gln) 所包围, 并通常具有高的硬玉含量(Jd= 28%～ 41%)。较晚的单斜辉石与蓝闪石、多硅白云母和斜黝帘石共生, 被钙- 钠质闪石所交代, 并以浅色和低的硬玉含量(Jd< 39%) 为特征。榴辉岩中石榴石(Grt) 具有较宽的成分变化范围, 铁铝榴石为 52.9%～ 77.0%, 钙铁榴石为 11.1%～ 36.7%, 镁铝榴石 3.9%～ 13.1%, 锰铝榴石为 1.5%～ 1.67%, 根据 Coleman 等的分类为C 类榴辉岩[20]。榴辉岩的温度和压力估算为 340～ 410℃, 0.8±0.1 GPa[20], 反映它们形成于快速俯冲的早

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

期阶段。

3.1.4 高级蓝片岩

高级蓝片岩的矿物组合在不同的原岩中有所变化。在硬砂岩中, 矿物组合为蓝闪石+ 多硅白云母+ 石榴石+ 钠长石+ 石英, 其中多硅白云母和石英的含量较高; 在镁铁质火山岩中为蓝闪石+ 绿帘石+ 绿泥石+ 钠长石±多硅白云母; 在硅质岩中为多硅白云母+ 石英±蓝闪石±石榴石或硬绿泥石+ 多硅白云母+ 石英。

利用Brown (1977) 的Na^{M4}- Al^{IV}图解估算出蓝闪石的形成压力为0.6～0.7 GPa[20]。绿纤石的缺失说明蓝片岩的温度大于 380℃。蓝闪石和多硅白云母的$^{39}Ar/^{40}Ar$和 K-Ar 年龄为 460～440 Ma 和 400～380 Ma[15, 17, 19, 20, 26, 37]。

3.1.5 变形作用

构造分析表明, 深层俯冲杂岩经历了四期韧性变形和两期脆性变形作用的改造。

(1) Dd_1 变形幕 大部分Dd_1构造已被后期的Dd_2变形改造或叠加, 只有一些片内无根褶皱保留下来。具有 Grt+ Cpx 和 Grt+ Cpx+ Gln+ Ph+ Zo 组合的榴辉岩分别形成于Dd_1的不同阶段, 并呈岩块产于蓝闪片岩之中, 榴辉岩的温压条件显示该变形幕发生于约 30 km 的深度, 即深部地壳层次。

(2) Dd_2 变形幕 构造和组构分析表明Dd_2变形幕以强烈韧性剪切变形和典型的高级蓝片岩相变质为特征。其构造包括各种同斜褶皱, 透入性片理和矿物线理。

在高级蓝片岩中, 褶皱类型包括鞘褶皱、A 型褶皱和同斜褶皱。蓝闪石和多硅白云母构成的拉伸线理平行于A型褶皱和鞘褶皱的枢纽, 说明它们是同构造变质的产物。显微构造, 如 S-C 组构和石英的拉伸组构, 以及同构造变质的温压条件说明本期剪切变形发生于高应变状态和较深的构造层次。拉伸线理的优选方向为NW-SE, 显示走滑剪切的特征。蓝闪石和多硅白云母的形成年龄 460～440 Ma 应代表Dd_2变形的时间。

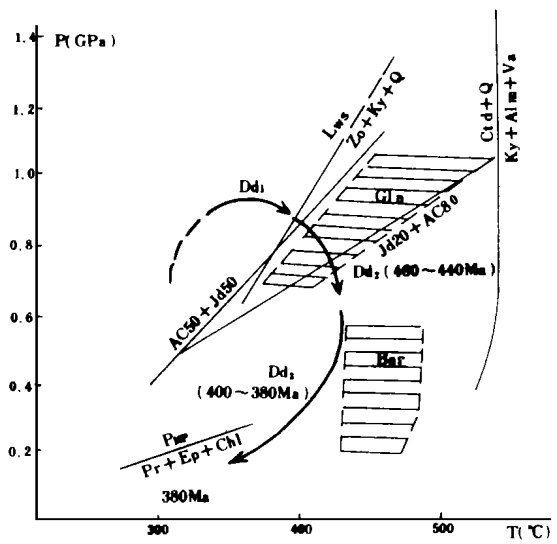


图 10 深层俯冲杂岩的 P-T-t-D 轨迹

(3) Dd_3 变形幕 强烈的造山运动发生于该时期内, 形成广泛的晚期逆冲剪切带。剪切带内糜棱岩化强烈, 剪切褶皱和糜棱叶理极为发育, 岩石显微构造以石英拔丝构造, 压力影构造及 S-C 组构等为特征。其拉伸线理倾向NE, 并在中浅部地壳层次条件下将蓝片岩转变为绿片岩。与Dd_3变形有关的变质矿物为冻蓝闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石和钠长石, 其形成压力约 0.1～0.45 GPa[17]。同位素资料说明Dd3 变形可能发生于 400～380 Ma[15, 17]。

(4) Dd_4 变形幕 Dd_4 变形包括开阔褶皱, 不均匀皱纹劈理和线理。本期变形可能也与泥盆纪造山作用有关。

(5) Dd_5 和Dd_6 变形幕 强烈的晚期造山运动发生于这两期变形幕中, 并形成非常发

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

育的叠瓦构造和推复构造。它们分别使石炭—三叠系地层和侏罗—第三系地层变形。

3.1.6　深层俯冲杂岩的 P-T-t-D 轨迹

榴辉岩呈块状或透镜状产于蓝闪片岩之中, 并代表板块俯冲最早期和最深的变质作用。从榴辉岩相到蓝片岩相到绿片岩相变质作用的转变, 不仅反映了一个顺时针退化变质轨迹(图 10), 也反映了板块运动学机制从俯冲到走滑剪切到逆冲上升的变化。

3.2　浅层俯冲杂岩

浅层俯冲杂岩位于岛弧杂岩与志留系复理石之间, 与南部深层俯冲杂岩平行(图 9), 它主要由蛇绿岩块、硬砂岩和硅质板岩、以及低级蓝片岩等组成。

3.2.1　蛇绿混杂岩

蛇绿岩包括超镁铁岩、辉长岩、辉绿岩墙、枕状熔岩和放射虫硅质岩, 在浅层俯冲杂岩中广泛产出。地球化学特征说明它们形成于过渡型洋中脊(见 2.2.2), 并与深海相或海沟相硬砂岩、硅质板岩岩块构成了典型的蛇绿混杂岩带。硅质板岩中的早中奥陶世化石说明混杂岩的形成不早于中奥陶世。

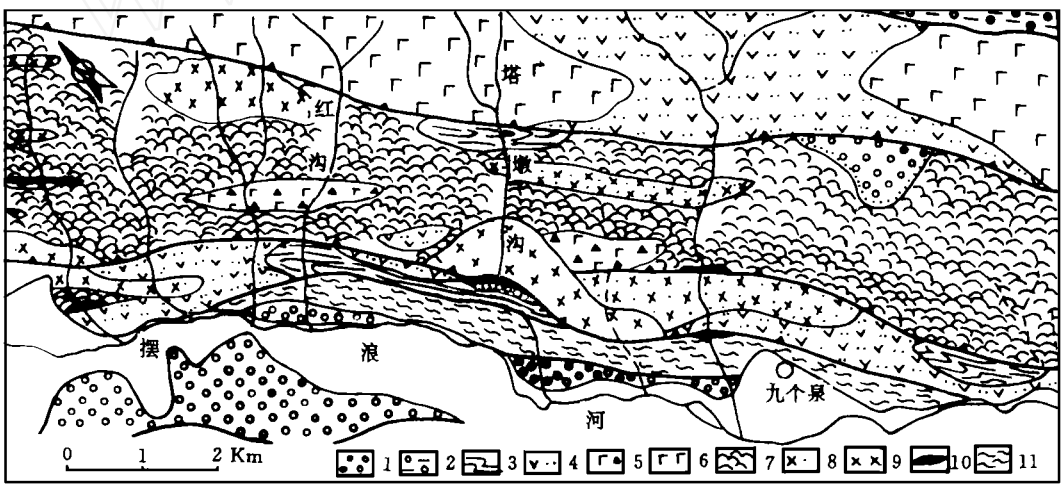


图 11　肃南九个泉地区浅层俯冲杂岩构造- 岩性图

1. 泥盆系磨拉石; 2. 志留系复理石; 3. 硅质板岩; 4. 凝灰质硬砂岩; 5. 火山集块岩; 6. 块状熔岩; 7. 枕状熔岩; 8. 辉绿岩; 9. 辉长岩; 10. 蛇纹岩; 11. 低级蓝片岩

3.2.2　低级蓝片岩

低级蓝片岩位于肃南县九个泉地区, 其南部为 460 Ma 的花岗岩岩基, 二者平行展布。如图所示, 低级蓝片岩带长约 20 km, 宽约 1 km, 向南逆冲到泥盆系磨拉石之上。其北部为蛇绿混杂岩。

蓝片岩两侧均以逆冲断层为界, 并以高压变质矿物组合, 如绿纤石+ 蓝闪石+ 硬柱石+ 绿泥石+ 钠长石+ 石英、绿纤石+ 蓝闪石+ 绿泥石+ 钠长石和蓝闪石+ 硬柱石, 以及强烈的韧性剪切片理为特征。其北部蛇绿岩组合中的变质矿物主要为阳起石、绿泥石、绿帘石和脉状葡萄石, 可能代表洋底变质作用的结果。在红沟, 典型的高压低温矿物组合硬柱石+ 文石+ 钠长石+ 石英出现在枕状玄武岩中, 说明蛇绿岩也卷入到俯冲带中并遭受高压变质作用。

利用 Brown (1977) 的蓝闪石 Na^{M4}- Al^{IV} 图解和 Maruyama 等 (1986) 的蓝闪石 Al_2O_3

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

(%)- 绿泥石 XFe 图解估算的压力为 0.6～0.7 GPa[20]。低级蓝片岩中特征矿物及组合的出现, 说明其温压条件大约为 150～250℃, 0.4～0.7 GPa。在过量的水和石英存在的情况下, 硬柱石首次出现的温度为 170～180℃, 压力 $P_{H_2O} = P_{total} = 0.4 \sim 0.5$ GPa[38]。Maruyama 和 Liou[39] 认为无片沸石时, 文石+ 硬柱石+ 石英稳定存在于 150℃, 0.4 GPa, 而硬柱石+ 蓝闪石+ 绿纤石+ 绿泥石存在于 200～250℃, 0.7 GPa, 北祁连山低级蓝片岩的硬柱石+ 钠长石+ 石英+ 文石和硬柱石+ 蓝闪石+ 绿纤石+ 绿泥石的温压条件与上述估计范围一致。矿物组合的变化说明变质温度和压力从南向北降低。

3.2.3 变形作用

深层俯冲杂岩与浅层俯冲杂岩的变形和变质有很大的不同。低级蓝片岩的温压条件(150～250℃, 0.4～0.7 GPa)说明变形发生于俯冲带的上部。在低级蓝片岩带中有三期变形被识别出来。

D_{S1} 构造主要发生于低级蓝片岩带中, 并以显微同斜和无根剪切褶皱、透入性页理和拉伸线理为特征。同构造变质矿物, 如蓝闪石、绿纤石、硬柱石和钠长石, 沿页理和拉伸线理生长, 部分集中为单一成分条带。拉伸线理主要走向为 NE-SW, 说明是俯冲或仰冲剪切而不是走滑剪切。然而, 随着蓝闪石向北缺失, 褶皱和片理逐渐变弱, 一些变质矿物, 如硬柱石、绿纤石等呈脉状产出并且定向性消失。构造期前的矿物, 如残留辉石和阳起石被蓝闪石所环绕, 反映出俯冲过程中压力的增大。蓝闪石的 $^{39}Ar/^{40}Ar$ 年龄为 447 Ma(吴汉泉, 未刊资料), 这一年龄应代表 DS1 变形的时代。

D_{S2} 构造为紧闭到开阔褶皱及非透入性皱纹线理, 伴随有退化矿物绿泥石的生长。409-400 Ma 的 K-Ar 全岩年龄与深层杂岩的 Dd3 的上升和造山时间一致, 可能也代表 D_{S2} 变形的时间。D_{S3} 变形以一系列倾向北东的叠瓦状断层为特征。

4 典型路线剖面介绍

4.1 九个泉低级蓝片岩和蛇绿岩

该剖面位于甘肃省肃南县境内, 犁园河支流摆浪河的北岸, 肃南县城西北约 30 km 处。该剖面的北部为志留系巨厚的残余海盆相磨拉石和复理石建造, 在摆浪河谷为泥盆纪- 石炭纪山间盆地沉积, 其南部为 NW-SE 走向展布的柴达诺花岗岩基(见图 9)。

在该地区, 蛇绿岩组合、硬砂岩、硅质岩、板岩及低级蓝片岩等构成了典型的浅层俯冲杂岩(见图 12)。

据冯益民[6]研究, 该蛇绿岩的地球化学特征与玉石沟蛇绿岩基本相似, 其常量、稀土、痕量元素都与过渡型 MORB 相近(详见 2)。许多学者将其作为弧后盆地扩张脊的产物[6, 28-29], 但证据都不很充分。考虑到其南部代表俯冲带的低级蓝片岩以及花岗岩和火山岩组成的岩浆弧杂岩, 笔者认为蛇绿岩是向南俯冲并逐渐消亡的残余大洋地壳。

4.2 祁连县清水沟深层俯冲杂岩和高级蓝片岩

清水沟剖面位于青海省祁连县境内, 祁连—野牛沟之间, 距祁连约 40 km 处(见图 1), 是北祁连山高压变质岩的经典剖面之一。肖序常等[1]、吴汉泉[13, 14]、张之孟[17]、许志琴等[19]先后在此进行了研究。如图所示, 深层俯冲杂岩由早期双峰式裂谷火山岩和高压变质的滑塌堆积、硬砂岩、中基性火山岩、硅质岩、大理岩及蛇纹岩组成。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

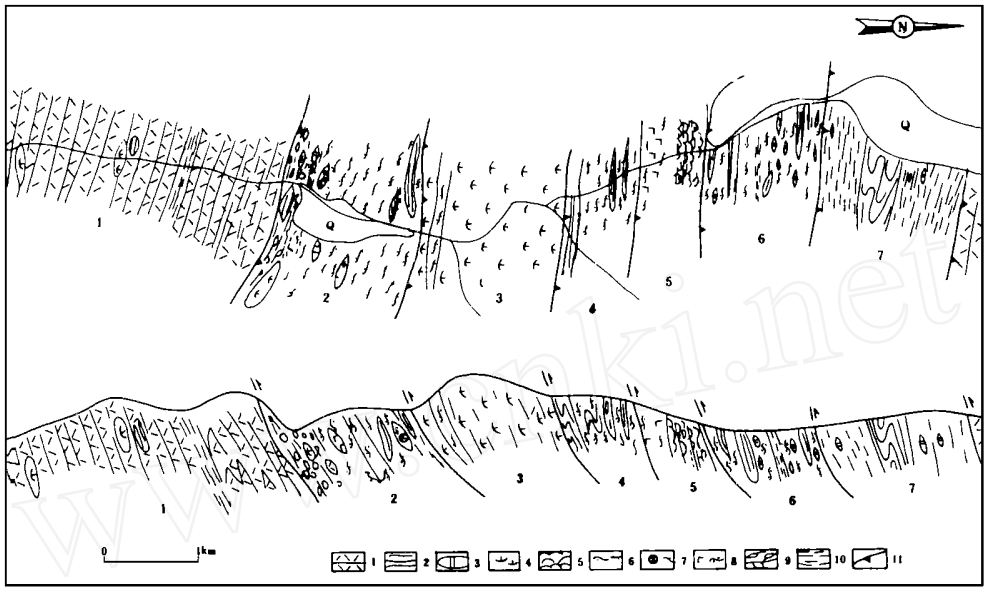


图 12　祁连县清水沟深层俯冲杂岩构造岩性平剖面图

1. 裂谷酸性火山岩; 2. 硅质岩; 3. 大理岩岩块; 4. 蛇纹岩; 5. 枕状玄武岩; 6. 蓝片岩; 7. 榴辉岩; 8. 变基性火山岩; 9. 滑塌堆积; 10. 糜棱岩; 11. 逆冲断层

4 3　玉石沟蛇绿岩

玉石沟蛇绿岩位于青海省祁连县城以西约 80 km 处, 是南部上寒武统—下奥陶统蛇绿岩逆冲岩片的一部分, 也是北祁连山加里东期板块缝合带中最典型和最早期的蛇绿岩套。国内许多学者对其岩石学、地球化学和同位素年代学等进行了较深入的研究[2, 6, 28- 29]。如图 13 所示, 玉石沟蛇绿岩剖面长, 主要包括构造侵位的地幔橄榄岩—辉长岩岩片和基性火山岩岩片两部分。剖面的两端蛇绿岩均以逆冲推复断层与石炭二叠系盖层沉积岩接触, 而两岩片之间出露有含化石的中寒武统砂岩、粉砂质板岩和少量灰岩[2, 6], 这些中寒武统岩石应代表中祁连地块的沉积盖层或大陆斜坡的沉积。因此, 构造特征表明玉石沟蛇绿岩是逆冲到中祁连地块之上的构造岩片。

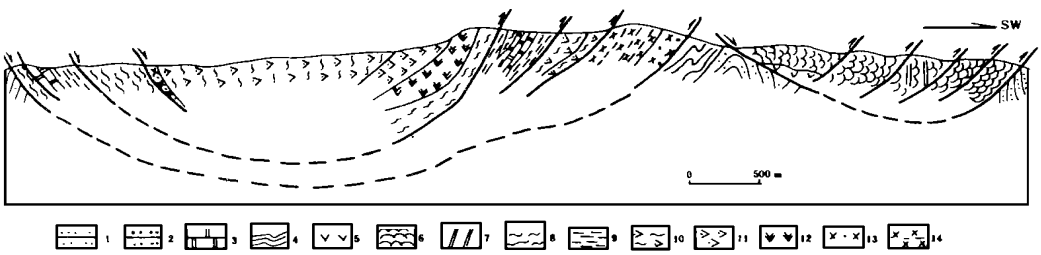


图 13　青海玉石沟蛇绿岩剖面图

1. 石炭二叠系砂岩; 2. 中寒武纪砂岩; 3. 大理岩; 4. 粉砂质板岩; 5. 角斑岩; 6. 枕状熔岩; 7. 辉绿岩墙; 8. 蛇纹片岩; 9. 糜棱岩; 10. 全蛇纹石化方辉橄榄岩; 11. 方辉橄榄岩; 12. 纯橄岩; 13. 均质辉长岩; 14. 堆晶辉长岩

地球化学特征表明玉石沟蛇绿岩形成于 E 型与 N 型洋中脊过渡类型的洋中脊(详见

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

2 2)。肖序常[40]认为此蛇绿岩形成于中速或快速扩张环境, 并估算其扩张速率为 1. 5～5 cm/a, 冯益民等[6]估算其扩张速率为 1～2 cm/a, 而笔者根据地幔橄榄岩的流变速率估算的扩张速率为 1～3 cm/a, 这些特征说明本区蛇绿岩是在中速扩张的洋中脊环境形成的。本区蛇绿岩中基性熔岩的 Sm-Nd 同位素年龄为 522～495 Ma[29], 与冯益民等[6]在团块状硅质岩中发现的放射虫化石的时代吻合, 说明该蛇绿岩形成于晚寒武世—早奥陶世。另外, 本区由超基性砾、硬砂岩、砂岩、板岩和含化石灰岩组成的中奥陶统沉积岩系不整合覆盖于橄榄岩和辉长岩之上[2], 说明洋壳在中奥陶世早期已经仰冲到前陆地区。

5 讨论与结论

5.1 深层和浅层俯冲杂岩的形成时代及相互关系

北祁连山地区深层和浅层俯冲杂岩都具有典型蛇绿混杂岩的特征。深层俯冲杂岩的原岩成分复杂, 包括海沟相滑塌堆积和硬砂岩楔体、蛇绿岩残片以及震旦—中寒武世的双峰式裂谷火山岩。在祁连东白经寺一带, 该杂岩中混杂有含早中奥陶世化石的硅质灰岩岩块[2, 20], 说明混杂岩的形成时代不会早于早奥陶世; 在玉石沟蛇绿岩之上不整合覆盖有中奥陶世超基性砾岩及砂板岩, 进一步说明洋壳板块的俯冲开始于中奥陶世。从高压变质岩的特征来看, 榴辉岩的形成时代不明, 但明显早于蓝闪片岩。构造分析表明蓝闪片岩的成因与俯冲作用后期走滑剪切作用有关, 其同位素年龄集中于 460～440 Ma, 代表俯冲杂岩形成时间的上限。因此, 深层俯冲杂岩形成的时间范围为中奥陶世—晚奥陶世。榴辉岩和蓝片岩的变质温压条件表明该杂岩的形成深度大于 20 km, 相当于俯冲带的下部层位。

与深层俯冲杂岩相比, 浅层俯冲杂岩的原岩组合有较大不同, 其中包括蛇绿岩组合、砂板岩以及钙碱性火山岩及火山碎屑岩等。根据化石资料, 此带的沉积岩主要形成于早、中奥陶世, 但蛇绿岩的形成时代并不清楚, 最近, 吴汉泉测得低级蓝片岩中蓝闪石年龄为 447 Ma, 与深层俯冲杂岩高级蓝片岩的形成时代一致, 基本代表了浅层俯冲杂岩的形成时代。另外, 志留纪是以残余海盆相的巨厚砂砾岩沉积为特征, 说明洋盆已完全闭合并初步造山。因此, 浅层俯冲杂岩的形成时代主要为晚奥陶世。变质温压条件表明低级蓝片岩主要形成于俯冲带的浅部层次(< 20 km) 到近地表的位置上。

深层俯冲杂岩带的高压变质岩呈三个具相同原岩和变质的构造岩片产于岩浆弧杂岩的两侧。在 A 岩片郭米寺一带和 C 岩片中都有硬柱石、文石等低温矿物出现, 表明深层俯冲杂岩带保留有少量低级蓝片岩岩块。从深层俯冲杂岩到浅层俯冲杂岩, 变质作用自榴辉岩相-高级蓝片岩相- 低级蓝片岩相- 葡萄石- 阳起石相逐渐过渡, 具有由深至浅和由老变新连续变化的特点。因此, 两类俯冲杂岩可能是同一俯冲带不同层位的产物。后期多次造山过程中的逆冲推复作用破坏了它们的连续性, 使其呈构造岩片分布于北祁连造山带中。

5.2 俯冲过程和俯冲方向

北祁连山中段加里东期板块俯冲方向一直是国内研究者所争议的问题之一。早在 1981 年王荃和刘雪亚[16]根据双变质带和花岗岩的分布提出板块向南俯冲的观点; 左国朝[9, 10]则根据火山岩带的分布提出多期和多向俯冲模式; 肖序常等[27]认为在柴达木板块北缘出现古沟—弧—盆体系, 是一活动性大陆边缘、俯冲作用以向南为主, 并可能发生过向北迁移; 夏林圻等[29]通过北祁连山海相火山岩的研究建立了与肖序常等相反的沟—弧—盆体系, 认为洋盆位于海沟俯冲杂岩之南, 向北依次出现岛弧和弧后盆地, 并提出板块由南向北俯冲为主

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

的观点。许志琴等[19]根据高级蓝片岩带中的三个蓝片岩块体的变质变形特点提出了板块由南向北多期俯冲及海沟后退的动力学模式。

虽然目前大部分研究者都倾向于本区加里东期古板块由南向北俯冲的观点, 但古板块由北向南俯冲的证据也是不容忽视。对于深层俯冲杂岩带, 因其形成于俯冲带的下部层位, 后期的造山作用使其上升到地表, 并呈构造岩片沿岛弧杂岩的南北两侧产出, 所以就其本身而言并不能代表古海沟的原始位置, 也不能反映古板块的俯冲方向。然而, 早期震旦纪—中寒武世双峰式裂谷火山岩的存在[28- 29](图 1)显示了古中祁连—柴达木地块的大陆边缘在本区沿野牛沟—祁连县一线分布, 而后期晚寒武世—早中奥陶世有限洋盆只能出现于该大陆边缘的北侧。在清水沟剖面中, 笔者发现酸性裂谷火山岩呈较大的岩块分布于海沟相滑塌堆积层中, 并出现蓝闪石等高压变质矿物; 在香子沟则见酸性裂谷火山岩与蓝闪片岩互层的现象, 说明裂谷火山岩也混杂到俯冲带中, 构成了俯冲杂岩的一部分。这些特点充分证明中祁连地块北缘是一活动性很强的大陆边缘, 是板块的汇聚边界。另一方面, 在中祁连地块北缘展布一条时代和走向与蓝闪片岩带基本一致的花岗岩带。与之相应的一条晚奥陶世(444 92±12 63 Ma)[29]火山- 沉积岩带也与俯冲杂岩带平行展布, 其成因与板块俯冲过程的弧后拉张有密切关系。这些都是古洋壳板块由北向南俯冲的强有力证据。至于俯冲杂岩带南部的洋壳蛇绿岩带是后期(可能是印支期)由北向南逆冲推复到中祁连地块北缘石炭—二叠系地层之上的外来体, 并不能代表古洋盆的原始位置。

浅层俯冲杂岩带是弧前俯冲带浅部—近地表高压变质的产物, 基本上代表了古海沟的原始位置。其南部北西—南东展布的花岗岩基与之构成了典型的海沟—岩浆弧体系, 明显地反映洋壳板块向南俯冲的特点。

从深层俯冲杂岩到浅层俯冲杂岩是洋壳板块从中奥陶世至晚奥陶世连续俯冲的结果。其中, 从榴辉岩到蓝闪片岩的变化反映了板块俯冲到一定深度(约 30 km)受阻后由垂向俯冲向走滑剪切的转变过程。浅层俯冲杂岩形成于俯冲作用的最晚时期, 与奥陶纪末洋盆闭合的时间吻合。南部高级蓝片岩和榴辉岩向北部低级蓝片岩温压条件的降低既反映了古洋壳板块向南俯冲的特点, 也反映了在俯冲过程中俯冲带不断向北迁移, 并逐渐形成岩浆弧及弧后拉张盆地的趋势。

5.3　构造演化

根据以上的论述, 北祁连山地区我们可以总结出一个简化的构造演化模式: ①震旦纪- 中寒武世大陆裂谷阶段, 在此时期内, 晚元古宙中国地台发生裂解并形成 679～514 Ma 的双峰式火山岩和中寒武世沉积岩; ②晚寒武世—早奥陶世大洋化阶段, 大陆裂谷持续发展为洋盆或次大洋, 并形成象玉石沟蛇绿岩所代表的过渡型洋中脊; ③中晚奥陶世沟- 弧- 盆阶段, 中奥陶世沉积岩不整合于玉石沟蛇绿岩之上、岛弧火山岩的出现以及高压变质岩和混杂岩的出现等证据, 都标志着洋壳的俯冲开始于中奥陶世, 并持续到晚奥陶世; ④志留纪残留海盆沉积和初始造山, 来源于岛弧和俯冲杂岩的巨厚复理石可能反映了弧陆碰撞之后的一个残余的沉积盆地; ⑤泥盆纪造山运动, 强烈的造山运动发生于早泥盆世初期, 并形成一系列山间磨拉石。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

主要参考文献

1 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 祁连山古板块构造的一些认识. 地质科技, 1974(3): 73- 78.
2 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义. 地质学报, 1978, 54(1): 287- 295.
3 王荃, 刘雪亚. 我国西部祁连山区的古海洋地壳及其大地构造意义. 地质科学, 1975, (1): 42- 55.
4 董必谦, 邱凤歧. 北祁连山蛇绿岩套和蛇绿混杂岩的特征及其地质构造意义. 青藏高原地质文集, 1984, 14: 217- 234.
5 冯益民, 何世平, 闫军. 北祁连山中段早中奥陶世蛇绿岩中席状岩墙杂岩的发现及其地质意义. 地质论评, 1994, 40(3): 252- 264.
6 冯益民, 何世平. 北祁连山蛇绿岩地质和地球化学研究. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 125- 146.
7 李春昱, 刘仰文, 朱宝清, 等. 秦岭及祁连山构造发展史. 国际交流地质学术论文集, 1978, (1): 174- 187.
8 李春昱. 中国板块构造轮廓. 中国地质科学院院报, 1980, 2(1): 11- 22.
9 左国朝. 北祁连地区早古生代碰撞缝合作用. 中国北方板块构造文集. 北京: 地质出版社, 1986, (1): 27- 35.
10 左国朝, 刘寄栋. 北祁连早古生代大地构造演化. 地质科学, 1987, (1): 14- 24.
11 冯益民, 吴汉泉. 北祁连山及其邻区古生代以来的大地构造演化初探. 西北地质科学, 1992, 13(2): 61- 74.
12 冯益民, 何世平. 祁连山大地构造与造山作用. 北京: 地质出版社, 1996.
13 吴汉泉. 东秦岭和北祁连山的蓝闪片岩. 地质学报, 1980, 54(3): 195- 207.
14 吴汉泉. 北祁连山高压变质带的岩石学和矿物学. 西安地质矿产研究所所刊, 1982, 4: 5- 21.
15 吴汉泉. 北祁连多硅白云母矿物学和多型特征及对 K-Ar 年龄的思考. 西安地质矿产研究所所刊, 1987, 15: 33- 46.
16 王荃, 刘雪亚. 祁连山加里东期多旋回双变质带. 黄汲清等主编. 中国及其邻区大地构造论文集. 北京: 地质出版社, 1981, 92- 101.
17 张之孟. 北祁连山的高压低温变质作用. 中国地质科学探索. 北京: 地质出版社, 1989, 273- 295.
18 宋述光, 吴汉泉. 北祁连山俯冲杂岩带的韧性剪切作用. 西北地质科学, 1992, 13(2): 47- 60.
19 许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学. 地质学报, 1994, 68(1): 1- 15.
20 Wu H Q, Feng Y M, Song S G. Metamorphism and deformation of blueschist belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains, China. J Metamorphic Geol, 1993, 11: 523- 536.
21 Song Suguang. Subduction complex belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains. Acta Geosci Sinica, 1996, Special Issue: 6- 9.
22 Song Shuguang. Metamorphic Geology of Blueshists, Eclogites and Ophiolites in the North Qilian Mountains. 30th IGC Field Trip Guide T392. Geological Publishing House, Bejing, 1996.
23 吴汉泉, 冯益民, 霍有光, 等. 北祁连山中段甘肃肃南变质硬柱石蓝闪片岩的发现及其意义. 地质论评, 36(3): 277- 280.
24 吴汉泉, 宋述光. 北祁连山两种类型蓝闪片岩及其构造特征. 现代地质研究文集(上). 南京: 南京大学出版社, 1992, 74- 80.
25 任纪舜, 姜春发. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1980.
26 青海地质矿产局. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991.
27 肖序常, 李廷栋, 李光岑, 等. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论. 北京: 地质出版社, 1988.
28 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连秦岭山系海相火山岩. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
29 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山海相火山岩岩石成因. 北京: 地质出版社, 1996.
30 邱家骧, 曾广策, 王思源, 等. 青海拉脊山造山带早古生代火山岩. 西北地质科学, 1995, 16(1): 69- 83.
31 邓清录, 周雁, 杨巍然. 拉脊山早古生代火山岩盆地开合演化岩石地球化学标志. 西北地质科学, 1995, 16(1): 84- 91.
32 赵凤游. 古浪运动及其地史意义. 中国区域地质, 1983, (4): 62- 67.
33 Xia L Q, Xia Z Ch. The newest testimony of magmatic origin of spilite. Chinese Sci Bull, 35: 217- 222.
34 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 北祁连山石灰沟奥陶纪岛弧火山岩系岩浆性质的确定. 岩石矿物学杂志, 1991, (1): 1- 10.
35 Hsu K J. Franciscan melanges as a model for eugeo-synclinal sedimentation and underthrusting tectonics. J Geophys Res, 1971, 76: 1162- 1170.
36 Jayko A S, Black M C Jr. Sedimentary petrology of graywacke of the Franciscan complex in the Northern San Francisco Bay region, California. In: Franciscan Geology of Northern California. Pacific Section S E P M, 1984, 431: 121- 134.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

37 Coleman R G, Lee D E, Beatty L B, et al. Eclogites and eclogites-their differences and similarities. Geol Soc Am Bul, 76: 483- 508.
38 肖序常, 汤耀庆, 高延林. 再论青藏高原的板块构造. 中国地质科学院院报, 1986, (4): 7- 20.
39 Maruyama S, Liou J G. Clinopyoxene-a mineral telescoped through the processes of blueschist facies metamorphism. J Metamorphic Geol, 1987, 5: 529- 552.
40 肖序常. 从扩建速率试论蛇绿岩的类型划分. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 10- 23.

TECTONIC EVOLUTION OF SUBDUCTIVE COMPLEX BELTS IN THE NORTH QILIAN MOUNTAINS

SONG Shuguang
(*Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Xi'an* 710054)

Abstract

The North Qilian Mountains are located between the Middle Qilian-Qaidam Massif and the Alaskan Massif which is the west part of Sin-korea Craton. It is one of the most typical continent orogenic belt in China. In this orogenic belt, there are rift volcanic rocks from Sinian to Middle Cambrain, ophiolites from late Cambrain to Ordovician, island arc volcanic rocks from middle to late Ordovician, extensional basin volcanic-sedimentary rocks of late Ordovician, residual sea-basin flysh of Silurian and Devonian molasse. The ophiolites, which mainly distribute in three belts, show similar geochemical characteristics (except for Dachadaban ophiolite), with the tendency of becoming younger from south to north. In Sunan-Qilian region, the middle part of the North Qilian Mountains, two different Caledonian subductive complex belts, namely, the southern deep-level subductive complex belt and the northern shallow-level subductive complex belt, occur parallelly. The southern belt consists of trench olistostrome and graywacke, ophiolitic blocks, and rift volcanic rocks, etc., with some been transfomed into eclogites and high-grade blueschists by high-pressure metamorphism and distributing as three tectonic slices in the deep-level subductive complex belt. Deformation and metamorphic analysis suggest not only a clockwise, retrogressive P-T-t-D path, but also a kinetic variation of plate movements from subduction to strike-slip shear to upthrusting. The northern shallow-level subductive complex belt consists of graywacke, ophiolite and low-grade blueschists, mixed with some island-arc volcanic rocks. The P-T condition of low-grade blueschists is 150～250℃, 0.4～0.7GPa, reflecting high-pressure metamorphism at shallow level or anchi-surface. The two complex belts were probably formed at different depth of the same subduction zone, and the characteristics of petrology, metamorphism and deformation reveal a tectonic evolution history of transition from rift to oceanization to subduction to arc-continent collision to orogenesis.

Key words: Subductive complex, Ophiolite, Tectonic evolution, North Qilan Mountains.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk