

doi: 10.12029/gc20180208

李晓光, 弓小平, 裴国栋, 韩琼, 赵同阳, 郑加行. 2018. 阿尔泰造山带喀纳斯群变质碎屑岩地球化学特征及年代学研究[J]. 中国地质, 45(2): 319–333.

Li Xiaoguang, Gong Xiaoping, Pei Guodong, Han Qiong, Zhao Tongyang, Zheng Jiaying. 2018. Geochemistry and geochronology of metamorphic rocks in Kanas Group, Altay orogenic belt[J]. *Geology in China*, 45(2): 319–333(in Chinese with English abstract).

阿尔泰造山带喀纳斯群变质碎屑岩地球化学特征及年代学研究

李晓光¹ 弓小平¹ 裴国栋¹ 韩琼² 赵同阳² 郑加行²

(1. 新疆大学地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830010)

摘要:喀纳斯群为一套巨厚的中低压型浅变质碎屑岩系, 主要由片岩、片麻岩、变质砂岩等组成, 其形成时代未有统一的认识, 致使阿尔泰构造带的构造演化过程争议较大。对喀纳斯群变质岩进行原岩恢复, 认为该套变质岩为副变质岩, 考虑到变质碎屑岩的成岩物质继承母岩特征和变质程度的影响, 利用碎屑岩研究方法对元素地球化学特征进行探讨, 显示出喀纳斯群变质碎屑岩原岩形成环境以大陆岛弧为主, 兼有活动大陆边缘的特征, CIA、ICV 指数反应出原岩经历了相对温暖、湿润的风化作用, 成熟度较低。锆石 U–Pb 定年结果表明, 最年轻的锆石年龄集中在(500±3.0) Ma, 代表喀纳斯群的上限年龄, 认为该套地层形成于晚寒武世晚期之前, 为一套形成于大陆岛弧或活动大陆边缘的复理石建造。新元古代青白口纪初期基底裂解事件, 暗示着阿尔泰构造带存在前寒武纪大陆地壳基底。

关键词:阿尔泰造山带; 喀纳斯群; 变质碎屑岩; 副变质岩; 大陆岛弧; 晚寒武世晚期

中图分类号: P541 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2018) 02–0319–15

Geochemistry and geochronology of metamorphic rocks in Kanas Group, Altay orogenic belt

LI Xiaoguang¹, GONG Xiaoping¹, PEI Guodong¹,
HAN Qiong², ZHAO Tongyang², ZHENG Jiaying²

(1. College of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830049, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi 830010, Xinjiang, China)

Abstract: Kanas Group is composed of a set of thick low pressure type shallow metamorphic rocks, mainly comprising schist, gneiss, and metamorphic sandstone; nevertheless, its formation time is in debate, resulting in the controversy concerning the tectonic evolution of Altay tectonic belt. The restoration of Kanas metamorphic protolith reveals that the metamorphic rocks are parametamorphic rocks. In consideration of the influence of inheriting parent rock features of rock materials and degree of

收稿日期: 2016–08–30; 改回日期: 2018–03–11

基金项目: 国家自然科学基金项目“新疆东准噶尔卡拉麦里金矿带成矿流体特征及其与侵入体的关系研究”(41462004)和中国地质调查局项目“阿尔泰—准噶尔北缘成矿带矿产资源调查成果集成专题”(12120113041900)联合资助。

作者简介: 李晓光, 男, 1991 年生, 硕士生, 主要从事成矿规律研究; E-mail: 842627738@qq.com。

通讯作者: 弓小平, 男, 1963 年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事综合信息成矿预测; E-mail: gxiaoping01@163.com。

metamorphism of metamorphic rocks, the authors investigated the element geochemical characteristics of clastic rocks by using research methods for clastic rocks, and the results show that the protolith of Kanas Group metamorphic rocks was formed in an environment of continental arc and also had characteristics of active continental margin. CIA, ICV indexes show that the original rocks experienced relatively warm and humid weathering process, with low maturity. The zircon U-Pb data show that the youngest zircon age is (500 ± 3.0) Ma, which represents the upper limit age of Kanas Group, and that the strata were formed before late Cambrian, being a flysch formation produced in an environment of continental island arc or active continental margin. The breakup of Neoproterozoic Qingbaikouan early basement suggests that the Altay tectonic belt had Precambrian continental crust basement.

Key words: Altay orogenic belt; Kanas Group; metasedimentary rocks; parametamorphic rocks; continental island arc; Late Cambrian

About the first author: LI Xiaoguang, male, born in 1991, master candidate, majors in the regularity of ore formation; E-mail: 842627738@qq.com.

About the corresponding author: GONG Xiaoping, male, born in 1963, doctor, professor, engages in metallogenic prediction based on comprehensive information; E-mail: gxiaoping01@163.com.

Fund support: Supported by National Natural Science Foundation of Project " Study on the characteristics of ore-forming fluids and its relationship with intrusions in the Kalamaili gold belt, Eastern Junggar, Xinjiang " (No. 41462004); China Geological Survey Project "The integration project of the mineral resources survey results of the northern margin of Altay-Junggar metallogenic belt." (No. 12120113041900).

1 引 言

阿尔泰造山带位于哈萨克斯坦—准噶尔地块和西伯利亚板块的交汇处,西伯利亚板块西南缘(成守德等,2000;成守德等,2001;李锦轶等,2006),是中亚造山带的组成部分,也是全球显生宙大陆地壳生长最显著的地区,记录了古亚洲洋消减而形成的巨型造山带的演化过程(Sengör et al., 1993;胡霁琴等,2002;Jahn et al., 2004;Xiao et al., 2008)。演化过程经历了前寒武纪晚期到早古生代早期的稳定大陆边缘阶段(Windley et al., 2002;王涛等,2005),晚寒武世到奥陶纪至志留纪的造山启动期,泥盆纪早期的造山暂歇拉张期,至晚泥盆世洋盆闭合,各地体互相拼合,进入主造山期(李志纯等,2001),奠定了阿尔泰造山带的构造格局,中生代以后为阿尔泰造山带保留水平增生结构,没有发生大规模构造块体垂向叠覆(童英等,2007)。

目前,中国境内的阿尔泰造山带通常被看作是一个复合地体,由阿尔泰地体、西北阿尔泰地体、中阿尔泰地体、冲乎尔—阿巴宫地体和额尔齐斯地体组成(Windley et al., 2002;Xiao et al., 2008;王涛等, 2009),具有从北向南逐渐年轻的特点,这些地块中是否存在前寒武纪大陆结晶基底一直存在着很大的争议(Coleman et al., 1989;徐新等,2003;李锦轶, 2004;袁超等,2007)。因此,对西北阿尔泰地体形成

时代的认识,是分析前寒武纪大陆结晶基底存在与否的关键。对该套地层形成时代的认识存在着古—中元古代或新元古代(彭昌文,1989;李天德, 2001;Windley et al., 2002;李会军等,2006)、新元古代晚期—早古生代(刘源等,2013)和古生代(陈汉林等,2006;袁超等,2007)三种观点,致使对阿尔泰构造带的构造演化过程具有不同的认识。

本文在1:5万区域地质调查工作的基础上,以西北阿尔泰地体的喀纳斯岩群变质岩为研究对象,对该套变质岩地球化学特征进行了研究,并探讨其形成机制和地质意义,依据王乐民等(2016)提出的新疆阿尔泰山地区“喀纳斯群”的形成时代及其解体方案,对喀纳斯岩群贝留特组片岩进行年代学分析,旨在探讨西北阿尔泰地体生长方式及形成时代,为讨论西伯利亚板块西南缘地质演化提供依据,是研究中亚造山带显生宙地壳增生不可缺少的一个重要环节(Jahn, 1999)。

2 地质背景

研究区属于阿尔泰古生代变质地带(隋静霞, 1992;李锦轶, 2009),大地构造位置位于阿尔泰古生代陆缘弧带,由喀纳斯被动陆缘、诺尔特晚古生代弧后盆地、哈龙早古生代岩浆弧等3个构造单元组成(Sengör et al., 2003;潘桂棠等,2009;李俊建等,2015)(图1a)。新疆维吾尔自治区区域地层表

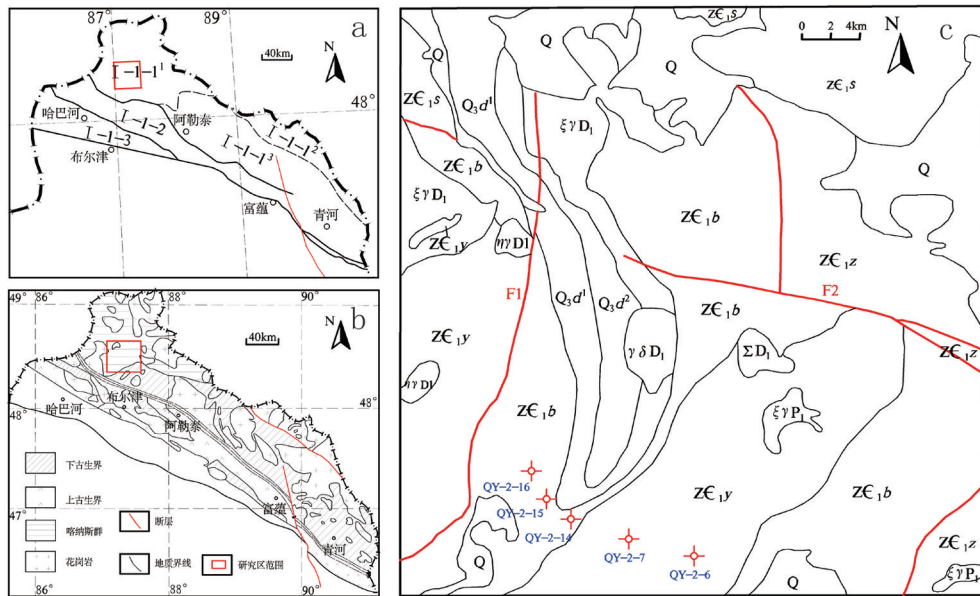


图1 新疆阿尔泰造山带邻区板块构造单元划分及研究区地质概况

a—阿尔泰造山带构造单元划分图;b—阿尔泰造山带区域地质图;c—研究区地质概况(图a据李俊建等, 2015;图b据李天德等, 2001;图c据1:25万冲乎尔幅建造构造图修改)

I-1—阿尔泰弧盆系; I-1-1—阿尔泰古生代陆缘弧; I-1-1¹—喀纳斯被动陆缘; I-1-1²—诺尔特晚古生代弧后盆地; I-1-1³—哈龙早古生代岩浆弧; I-1-2—阿尔泰南缘增生弧; I-1-3—额尔齐斯复合增生楔; Zε_{1y}—震旦纪—早寒武世依列克塔斯组; Zε_{1b}—震旦纪—早寒武世贝留特组; Zε_{1s}—震旦纪—早寒武世苏木代尔格组; Zε_{1z}—震旦纪—早寒武世哲里开特组; O_{3d}¹—上奥陶统东锡勒克组下段; O_{3d}²—东锡勒克组上段

Fig.1 Division of tectonic units of Altay orogenic belt and adjacent regions and geological survey map of the study area

a—Tectonic sketch of Altay orogenic belt; b—Regional geological map of Altay orogenic belt; c—Geological survey map of the study area; (Fig. a after Li Junjian et al., 2015; Fig. b after Li Tiande et al., 2001; Fig. c modified after the 1:250000 Chonghuer Formation Map)

I-1—Altay arc basin system; I-1-1—Altay Paleozoic epicontinental arc; I-1-1¹—Kanas passive margin; I-1-1²—Noel late Paleozoic arc basin; I-1-1³—Halon early Paleozoic magmatic arc; I-1-2—The southern margin of Altay hyperplasia of arc; I-1-3—Erqis composite accretionary wedge; Zε_{1y}—Yiliektas Formation; Zε_{1b}—Belit Formation; Zε_{1s}—Sumderg Formation; Zε_{1z}—Zhelikait Formation; O_{3d}¹—Lower member of Donxilek Formation; O_{3d}²—Upper member of Donxilek Formation

编写组与新疆维吾尔自治区地质矿产局,将喀纳斯群定义为一套巨厚的低绿片岩相浅变质碎屑岩系,主要由片岩、片麻岩、变质砂岩等组成,其上被晚奥陶世东锡勒克组不整合覆盖(刘源等,2013;王乐民等,2016)。构造活动发育,后期被中酸性、基性岩浆侵入(图1c)。根据王乐民等(2016)提出的新疆阿尔泰山地区“喀纳斯群”的形成时代及其解体方案初论,将喀纳斯群自下而上分为依列克塔斯组、贝留特组、苏木代尔格组、哲里开特组。

研究区变质岩的类型复杂,其变质程度主要取决于构造-岩浆条件,变质程度不一,是早古生代加里东变质期区域动力热流变质作用的产物,1:20万地质资料,将其形成时代划分为震旦纪—早寒武世。按喀纳斯群解体方案初论对喀纳斯群变质岩进行参数统计(表1),依列克塔斯组(Zε_{1y}),主要岩石类型有:黑云斜长片麻岩、斜长片麻岩、变粒岩、

角闪片麻岩、黑云角闪片麻岩、混合岩;贝留特组(Zε_{1b}),主要岩石类型有:红柱石片岩、堇青石片岩、矽线石片岩、绿泥绢云石英片岩、黑云石英片岩、变质砾岩;苏木代尔格组(Zε_{1s}),主要岩石类型有:变质细砂岩、变质岩屑石英砂岩、变质粉砂岩、绢云绿泥片岩、变质黑云母石英砂岩、二云母片岩;哲里开特组(Zε_{1z}),主要岩石类型有:变质粉砂岩、千枚岩、片理化变质粉砂岩、绢云母石英片岩。

3 岩石学特征

依列克塔斯岩组主要分布在研究区西南部依列克塔斯、阿尤特山地区,与上覆贝留特组为整合接触关系。为一套深变质片麻岩建造,主要岩石类型有:黑云斜长片麻岩(图2d)、斜长片麻岩、变粒岩、角闪片麻岩、黑云角闪片麻岩、混合岩、深灰色花岗质片麻岩。岩石具鳞片变晶结构、粒状变晶结

表1 喀纳斯群变质岩特征

群 组		岩石组合	变质相	变质相系	特征矿物组合	原岩建造	变质作用类型
喀纳斯群	哲里开特组 Z _{1z}	变质粉砂岩-泥岩建造: 变质粉砂岩、千枚岩、片理化变质粉砂岩、绢云母石英片岩	低绿片岩相	中低压型	白云母+黑云母+绿泥石+钠长石+石英	粉砂岩-泥岩建造	区域动力热流变质作用
	苏木代尔格组 Z _{1s}	变质砂岩-粉砂岩建造: 变质细砂岩、变质岩屑石英砂岩、变质粉砂岩、绢云绿泥片岩、变质黑云母石英砂岩、二云母片岩	高绿片岩相	中低压型	铁铝榴石+绿泥石+硬绿泥石+白云母+石英	细砂岩-粉砂岩建造	
	贝留特组 Z _{1b}	结晶片岩建造: 红柱石片岩、堇青石片岩、矽线石片岩、绿泥绢云石英片岩、黑云石英片岩、变质砾岩	低角闪岩相	中低压型	红柱石+十字石+蓝晶石+黑云母+白云母+斜长石+石英	细砂岩-砂砾岩-粗砂岩建造	
	依列克塔斯组 Z _{1y}	片麻岩建造: 黑云斜长片麻岩、斜长片麻岩、变粒岩、角闪片麻岩、黑云角闪片麻岩、混合岩	麻粒岩相	中低压型	矽线石+堇青石+铁铝榴石+钾长石+斜长石+石英	砂岩-泥岩建造	

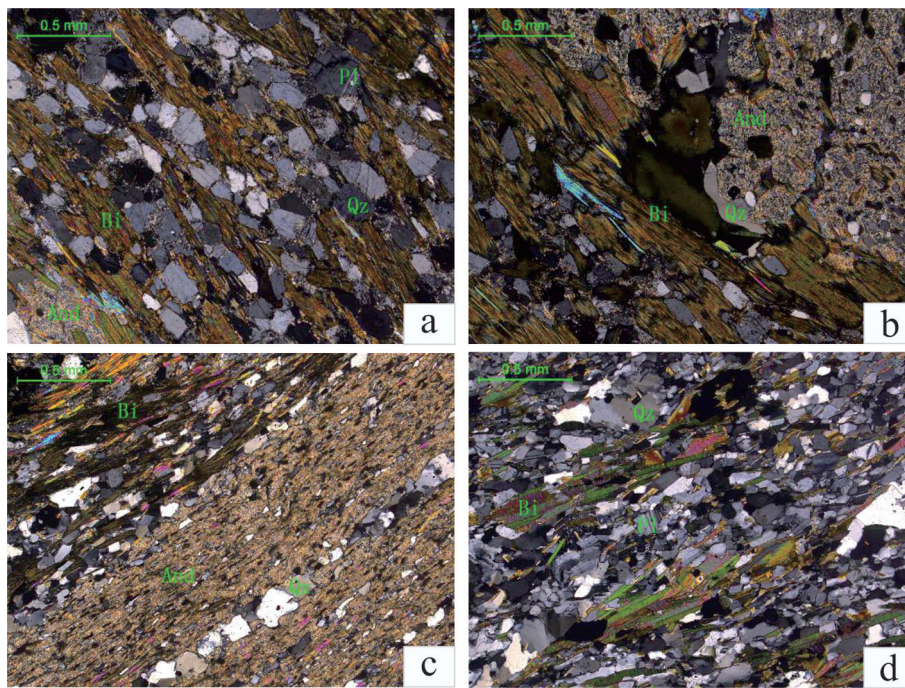


图2 依列克塔斯岩组和贝留特组变质岩显微照片

a—红柱石黑云母斜长片岩; b—黑云母红柱石石英片岩; c—黑云母红柱石片岩; d—黑云母斜长片麻岩
And—红柱石; Bi—黑云母; Pl—斜长石; Qz—石英

Fig.2 Microscopic photos of metamorphic rocks in Yilieketasi Formation and Beiliute Formation

a—And-Bi-Pl schist; b—Bi-And-Qz schist; c—Bi-And schist; d—Bi-Pl gneiss

And—Andalusite; Bi—Biotite; Pl—Plagioclase; Qz—Quartz

构, 条纹状、条带状、片麻状构造及塑性流变构造, 岩石中长英质矿物呈脉状、透镜状、团块状集合体, 与暗色矿物以深浅不同的色调相间。该组西段被早泥盆世二长花岗岩体侵入, 靠近岩体地区片麻岩中长英质条带揉皱现象强烈, 变形变质程度较高。

贝留特组主要分布在研究区中部, 与下伏依列克塔斯组整合接触, 与上覆苏木代尔格组整合、断层接触, 为一套低角闪岩相结晶片岩建造。主要岩石类型

有: 红柱石片岩(图2b、2c)、黑云母片岩(图2a)、堇青石片岩、矽线石片岩、绿泥绢云石英片岩、黑云石英片岩夹变质砾岩。岩层由东向西变质程度逐渐增强, 以发育灰色多褶曲黑云母片岩为特征。

灰色红柱石黑云母斜长片岩(图2a), 新鲜面为灰色, 变余结构, 片状构造, 主要由变质重结晶矿物石英、斜长石、红柱石、黑云母组成, 分布微量白云母、磷灰石、锆石。石英呈他形粒状, 具波状消光,

也相对呈条带状、透镜状分布,少部分的分布红柱石筛眼中。斜长石呈他形粒状,具轻度绢云母化,呈条带状分布石英之间。红柱石呈他形板状,具强绢云母化,已由绢云母集合体组成,呈外形保留,并具筛状结构。

灰色黑云母红柱石石英片岩(图2b),新鲜面为灰色,变余结构,片状构造。主要由变质重结晶矿物石英、红柱石、黑云母组成,分布少量斜长石、白云母,微量磁铁矿、磷灰石。石英部分分布在红柱石筛眼中,部分相对呈条带状分布,具波状消光,在斜长石之间分布有少量粒状斜长石,微具高岭土化。黑云母、白云母呈鳞片状,部分相对呈条带状分布,部分分布在红柱石中。红柱石大部分呈变斑晶状分布,结晶较粗大,呈他形板状,已强绢云母化,并具筛状结构。

灰黑色黑云母红柱石片岩(图2c),新鲜面为灰黑色,变余结构,片状构造。主要由变质重结晶矿物红柱石为主组成,分布少部分石英、斜长石、黑云母、少量白云母、磁铁矿。石英部分分布在红柱石筛眼中,呈条带状分布,具波状消光,在斜长石之间分布有少量粒状斜长石。斜长石呈他形粒状,具轻度绢云母化,呈条带状分布石英之间。红柱石大部分呈他形板状,强绢云母化,具筛状结构。

灰色黑云母斜长片麻岩(图2d),新鲜面为灰黑色,柱粒状变晶结构,片麻状构造。主要由变质重结晶矿物斜长石为主组成,分布少部分石英、黑云母。斜长石呈长板状,强绢云母化,呈条带状分布石英之间。石英呈他形粒状,分布在片麻理之间,受构造挤压石英表面多裂纹,具波状消光。黑云母具波状消光;黑云母片状、条带状分布,呈拉长鳞片状,呈透镜体条带平行定向分布于长石、石英间。

4 样品采集及分析测试

本次研究样品取自喀纳斯群的4种典型的变质岩。其中QY-2-6、QY-2-7岩性为灰色红柱石黑云母斜长片麻岩,采自依列克塔斯组;QY-2-14岩性为黑云母石英片岩,QY-2-15岩性为红柱石黑云母斜长片岩,QY-2-16岩性为黑云母红柱石石英片岩,采自贝留特组。每个样品重2 kg左右,新鲜样品,比较纯净,无外来体的混入。将样品送至河北省区域地质矿产调查研究所,进行主量、微量元素、

稀土元素的测试分析。用于测试的样品经粗碎后再用碳化钨钵体磨成可过200目的粉末,每次换样品时均用自来水冲洗钵体并用酒精擦拭,防止样品间的混染。全岩主量元素采用X射线荧光法(XRF)在X荧光光谱仪上测定,测试将样品粉末熔成玻璃饼后用X射线荧光光谱(XRF)测试,测试精度优于1%。烧失量(LOI)在烘烤箱中高温(1000℃)烘烤90 min获得。微量和稀土元素采用两酸(HNO₃+HF)高压反应釜溶样方法对样品粉末进行溶解。采用等离子质谱仪(ICP-MS; Agilent7500a)来测定元素含量。

本次LA-ICP-MS锆石U-Pb测试样品采自喀纳斯群贝留特组的黑云母红柱石石英片岩(QY-2-16)新鲜岩石,公里网坐标分别为: $X=48^{\circ}23'54''$, $Y=81^{\circ}07'15''$ 。为保证测试对样品的需要,样品取样3~5 kg。将样品经破碎后,用常规重力和磁选方法分选出锆石,选出具代表性用于实验的锆石;然后将锆石样品排列在载玻片双面胶上,放上PVC环,再将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入PVC环,进行磨平抛光,具体的制备方法及锆石测年的具体流程见参考文献(郭虎等,2011)。对锆石进行透射光和反射光显微照相以及阴极发光图像分析观察锆石结构,选择合适定位点进行测年和数据结果的分析解释。将挑选出的锆石送至南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室进行测年,测试使用与New Wave 213nm激光取样系统连接起来的Agilent 7500a ICP-MS完成。分析过程中,激光束斑直径采用20~30 μm,频率5 Hz。样品经剥蚀后,由He气作为载气,再和Ar气混合后进入ICP-MS进行分析,U-Pb分馏根据澳大利亚锆石标样GEMOC GJ-1(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb age of (608±1.5) Ma)来校正,锆石标样Mud Tank(Incept age of (732±5) Ma)为内标(Jackson S E et al., 2004; Black L P et al., 1978),控制分析精度。每个测试流程的开头和结尾分别测试2个GJ样品,另外测试1个MT样品和10个待测样品点。U-Pb年龄和U, Th, Pb的计算由GLITTER软件(ver.4.4获得),普通Pb的校正以及谐和图的绘制由IsoPlot软件处理完(Andersen, 2002; Ludwig et al., 2003)。

5 元素地球化学特征及构造环境

喀纳斯群变质岩在下文的原岩恢复中,将其认

表2 喀纳斯群变质碎屑岩主量元素(%), 稀土元素(10^{-6}), 微量元素(10^{-6})分析数据
Table 2 Major elements (%), rare earth elements (10^{-6}) and trace elements (10^{-6}) compositions of metasedimentary rocks in Kanas Group

样品编号	QY-2-6	QY-2-7	QY-2-14	QY-2-15	QY-2-16	样品编号	QY-2-6	QY-2-7	QY-2-14	QY-2-15	QY-2-16
样品名称	片麻岩					样品名称	片岩				
SiO ₂	63.27	63.28	59.89	58.76	60.33	Yb	3.05	3.11	4.31	4.31	4.63
Al ₂ O ₃	16.82	16.24	18.50	17.39	18.33	Lu	0.32	0.33	0.56	0.43	0.60
TiO ₂	0.72	0.80	0.84	0.92	0.87	Y	22.90	24.28	31.26	28.70	32.66
Fe ₂ O ₃	3.09	2.30	1.89	2.65	1.75	ΣREE	154.80	165.70	173.56	189.83	189.18
FeO	3.65	4.78	5.08	5.32	5.25	LREE	133.93	143.96	147.52	164.44	161.11
CaO	0.95	1.13	1.05	0.90	1.07	HREE	20.87	21.74	26.04	25.39	28.06
MgO	4.07	4.52	3.79	5.02	3.82	LREE/HREE	6.42	6.62	5.67	6.48	5.74
K ₂ O	2.59	2.76	4.05	2.67	3.97	(La/Yb) _N	6.72	7.33	5.13	5.61	5.17
Na ₂ O	1.94	1.95	1.76	1.84	1.80	(La/Sm) _N	4.11	4.50	4.12	4.32	4.19
MnO	0.14	0.12	0.09	0.12	0.09	(Sm/Nd) _N	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21
P ₂ O ₅	0.24	0.20	0.17	0.13	0.18	δEu	0.79	0.77	0.67	0.76	0.70
LOI	2.42	1.79	2.74	4.15	2.39	δCe	0.93	0.92	0.94	1.04	0.95
总和	99.89	99.88	99.84	99.88	99.85	Eu*	0.27	0.26	0.22	0.25	0.23
TFe ₂ O ₃	7.15	7.62	7.53	8.56	7.59	Rb	55.53	57.48	74.43	46.89	95.58
TFeO	6.43	6.86	6.78	7.70	6.83	Ba	348.64	274.24	537.12	265.04	487.04
Na ₂ O+K ₂ O	4.52	4.71	5.81	4.51	5.78	Th	6.66	6.19	7.75	6.69	9.16
Na ₂ O/K ₂ O	0.75	0.71	0.43	0.69	0.45	U	1.73	1.42	2.06	1.10	2.29
σ	0.22	0.23	0.34	0.29	0.33	Sc	12.82	13.57	11.91	14.69	13.42
La	28.59	31.80	30.83	33.70	33.31	Ta	0.64	0.66	0.82	0.36	0.81
Ce	57.38	61.90	63.83	75.65	69.96	Nb	7.21	9.39	11.82	2.75	11.69
Pr	7.71	8.16	8.71	9.07	9.55	Sr	133.11	126.48	120.62	124.53	120.11
Nd	31.63	33.36	35.14	36.43	38.61	Hf	4.27	4.80	5.08	5.59	5.02
Sm	6.96	7.07	7.48	7.81	7.95	Co	20.48	21.21	16.29	25.72	17.55
Eu	1.66	1.67	1.53	1.79	1.72	Ni	84.53	91.80	66.53	116.11	65.95
Gd	5.63	5.82	6.19	6.33	6.89	Cs	6.97	6.10	6.45	4.14	6.38
Tb	1.13	1.16	1.26	1.21	1.38	Cr	139.41	131.87	99.60	178.75	102.49
Dy	5.90	6.09	7.04	6.76	7.61	K	21461	22907	33645	22151	32973
Ho	1.18	1.25	1.52	1.46	1.59	Ti	4293	4776	5028	5543	5185
Er	3.14	3.43	4.43	4.18	4.58	P	1032	892	721	574	784
Tm	0.52	0.56	0.73	0.72	0.78	Ba/Sr	2.62	2.17	4.45	2.13	4.05

注: Eu* = Eu / $\sqrt{Sm \times Gd}$ 。

定为副变质岩,考虑到变质碎屑岩的成岩物质继承母岩特征和变质程度,在地球化学特征讨论过程中,将其作为碎屑岩地层进行讨论,可以更好的反应出成岩初始的构造环境。全岩样品数据如表2。

5.1 主量元素地球化学特征及构造环境

喀纳斯群变质碎屑岩主量元素分析结果显示,该区片麻岩、片岩主量元素含量基本一致, SiO₂含量较低,为58.76%~63.28%; Al₂O₃较高,含量在16.24%~18.50%; K₂O+Na₂O含量一般,在4.51%~5.81%; Na₂O/K₂O的值在0.43~0.75, Na₂O含量略低于K₂O

的含量; Fe、Mg、Ca、Al、Mn含量相对较低。

在碎屑砂岩主量元素构造环境判别图 K₂O/(Na₂O+CaO)-SiO₂/Al₂O₃中(图3a),其中 SiO₂/Al₂O₃大致表示石英的富集程度,随着石英富集程度的降低,所反映的构造环境从被动大陆边缘经活动大陆边缘向岛弧环境转化,反映出构造条件对成岩物质成分的影响,图中所示变质碎屑岩大部分落入活动大陆边缘,小部分落入被动大陆边缘。在 K₂O/Na₂O-SiO₂判别图中(图3b),对砂泥岩沉积盆地构造环境进行了重新划分,认为活动大陆边缘包括位

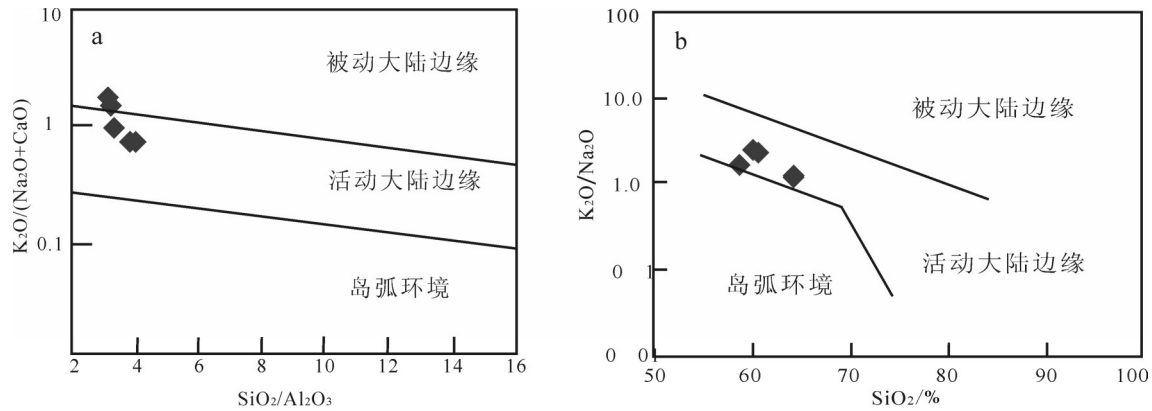


图3 喀纳斯群变质碎屑岩主要元素构造环境判别
(底图3a引自 Fang Guoqiang, 1993; 3b引自柏道远等, 2007)

Fig.3 The tectonic setting discrimination of major elements of metasedimentary rocks in Kanas Group
(3a after Guoqiang,1993; 3b after Bai daoyuan et al., 2007)

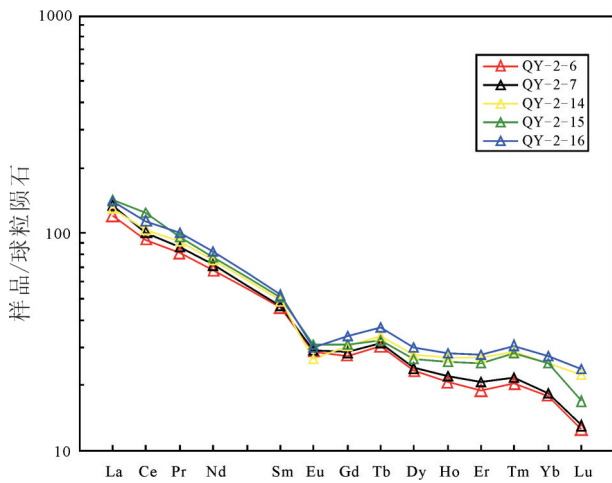


图4 喀纳斯群变质碎屑岩稀土元素球粒陨石标准化图(球粒陨石数据引自 McLennan, 1993)

Fig.4 Rare element chondrite normalized patterns of metasedimentary rocks in Kanas Group (normalization values after McLennan, 1993)

于活动板块边界之上或邻近活动板块边界,而被活动大陆边缘包括稳定大陆边缘的板内盆地和克拉通内部盆地(Roser et al.,1988),在判别图中,变质碎屑岩样品均落入活动大陆边缘,认为研究区变质碎屑岩成岩构造环境为活动大陆边缘环境。

5.2 稀土元素地球化学特征及构造环境

稀土元素总量 ΣREE 范围为 $154.80 \times 10^{-6} \sim 189.83 \times 10^{-6}$ (含Y),平均值为 174.61×10^{-6} ; ΣLREE 范围为 $133.93 \times 10^{-6} \sim 164.44 \times 10^{-6}$,平均值为 150.19×10^{-6} ; ΣHREE 范围为 $20.87 \times 10^{-6} \sim 28.06 \times 10^{-6}$,平均值为 24.42×10^{-6} ; LREE/ HREE 比值为5.67~6.62,平均

值为6.18,REE含量变化较小,轻重稀土分异明显。LREE相对富集,HREE亏损特征。在球粒陨石标准化稀土元素分配图(图4)中, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为5.17~7.33,平均值为5.99>1,曲线为右倾斜的分配形式,整体表现为LREE富集,HREE亏损的分馏模式。

碎屑沉积岩中稀土元素含量主要受沉积物源区性质的影响,而古地理构造活动、成岩过程对其影响很小,所以稀土元素地球化学特征可以很好地指示物源区原始沉积、构造环境等(陈小军等, 2001;蔡观强等,2006)。喀纳斯群变质碎屑岩稀土元素特征与不同源区构造背景下砂岩的稀土元素判别值进行对比(表3),元素La、Ce、 La_N/Yb_N 和 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 含量值处于大陆岛弧统计值误差范围之内; ΣREE 非常接近活动大陆边缘;Eu/ Eu^* 平均值为0.68,相当接近上地壳元素比值($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.64$),表明明显负异常。稀土元素总体继承母岩特征较多,显示研究区碎屑岩沉积期物源受陆缘岛弧的影响较大,判定构造背景为大陆岛弧。

5.3 微量元素地球化学特征及构造环境

从整体来岩石微量元素含量比较接近,具有良好的一致性,曲线波动较大(图5)。微量元素Rh、Th、K、U、Ba含量比较高,具有明显的正异常,Ta、Nb、Sr、P、Ti等含量较低,具有较强的Nb、Sr、P和Ti谷,Ta和Nb变化大。大部分样品出现类似的配分模式,表现出大离子亲石元素相对富集,高场强元素相对亏损的配分模式,显示出岛弧岩浆岩特征(韩吟文等,2003)。

表3 喀纳斯群变质碎屑岩与不同构造环境杂砂岩稀土元素特征对比

Table 3 Comparison of REE characteristic parameters of metasedimentary rocks in Kanas Group with various tectonic settings

类型	研究区	大洋岛弧	大陆岛弧	活动大陆边缘	被动大陆边缘	上地壳
La/10 ⁻⁶	31.65	8±1.70	27±4.50	37	39	30
Ce/10 ⁻⁶	65.74	19±3.70	59±8.20	78	85	64
ΣREE/10 ⁻⁶	174.61	58±10	146±20	186	210	146
La/Yb	8.35	4.2±1.30	11±3.60	12.50	15.90	13.60
La _N /Yb _N	5.99	4.2±1.30	7.5±2.50	8.50	10.80	9.20
ΣLREE/ΣHREE	6.19	3.8±0.90	7.7±1.70	9.10	8.50	9.47
Eu/Eu*	0.68	1.01±0.11	0.79±0.13	0.60	0.82	0.65
	本文		其他数据引自 Bhatia ,1986			

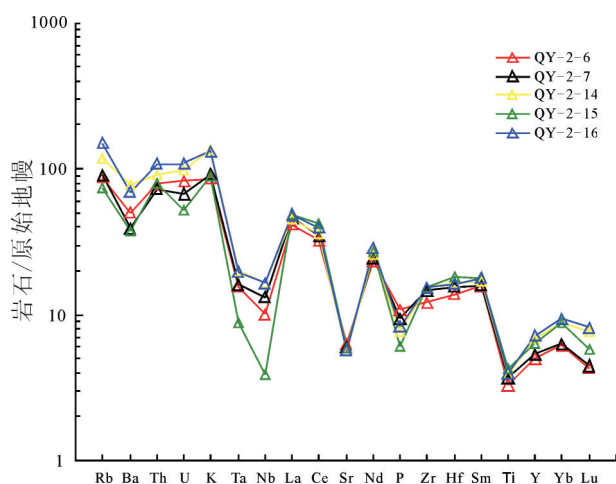


图5 喀纳斯群变质碎屑岩微量元素蛛网图(原始地幔标准化数据引自 Thompson, 1982)

Fig.5 Trace elements spider diagram of metasedimentary rocks in Kanas Group (normalization values after Thompson, 1982)

喀纳斯群变质碎屑岩微量元素特征与不同源区构造背景下砂岩的稀土元素判别值进行对比(表4), Rb/Sr、Ba/Sr、Th/U、Y、Nb和La含量值处于大陆岛弧统计值误差范围之内; Ba/Rb含量值处于被动边缘, 显示研究区碎屑岩沉积期物源受陆缘岛弧的影响较大, 判定构造背景为大陆岛弧。

6 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

黑云母红柱石石英片岩(QY-2-16)中锆石晶型完好(图6), 呈自形晶, 以柱状为主, 主体发育岩浆锆石典型的韵律环带特征, 且环带窄而密, 锆石中未见核幔分离的现象及溶蚀现象。锆石年龄应为片岩成岩年龄的下限年龄, 选择测点时环带清晰的幔部打点。以实测²⁰⁴Pb校正的普通铅, 进行数据

解释分析和形成年代的厘定。采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄, 平均值为95%的置信度。

对挑选出的锆石共进行了52次分析, 测试结果见表5。52个测点中, 最年轻的年龄为(436±8) Ma, 最老的年龄为(1977±14) Ma, 测点在谐和图上出现三个聚集分布区(图7a), 共包括44个测点, 其余8个测点的年龄则比较分散, 虽然该样品年龄值变化很大, 但在谐和图上基本上均落在谐和线及其附近, 据此将该样品锆石的测点分为3组。第一组共31个测点(图7c), 其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于487~511 Ma, ²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(500±3.0) Ma (2σ, MSWD=0.31), 为晚寒武世。第二组共7个测点(图7d), 其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于528~539 Ma, ²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(532.8±5.85) Ma (2σ, MSWD=0.36) 为中寒武世。第三组共6个测点(图7b), 其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于925~936 Ma, ²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(931.2±9.2) Ma (2σ, MSWD=0.13), 为前寒武纪。喀纳斯群浅变质碎屑岩中锆石U含量变化于80.34×10⁻⁶~3120.33×10⁻⁶, Th含量变化于75.87×10⁻⁶~1778.84×10⁻⁶, Th/U值为0.25~1.44, 其中Th/U比的平均值为0.68, 符合典型岩浆锆石的Th/U比值(>0.4)的特征, 也表明了锆石为岩浆成因(Belousova et al., 2002; 吴元保等, 2004; 钟玉芳等, 2006)。Th、U含量变化及Th/U比值的大小与年龄值大小无明显的相关关系, 不同特征的锆石中Th、U含量及Th/U比值的大小也无明显的规律性。

7 讨论

7.1 原岩恢复与成岩环境

原岩恢复是变质岩研究的重要内容之一, K-A图解法、西蒙南图解以及DF指数判别法是最为常

表4 喀纳斯群变质碎屑岩与不同构造环境杂砂岩微量元素特征对比

Table 4 Comparison of trace elements characteristic parameters of metasedimentary rocks in Kanas Group with various tectonic settings

类型	研究区	大洋岛弧	大陆岛弧	活动边缘	被动边缘
Rb/Sr	0.53	0.05±0.05	0.65±0.33	0.89±0.24	1.19±0.40
Ba/Rb	5.80	21.3±5.0	7.5±1.3	4.5±0.8	4.7±1.1
Ba/Sr	3.08	0.95±0.6	3.55±1.4	3.8±0.7	4.7±1.3
Th/U	4.41	2.1±0.78	4.6±0.45	4.8±0.38	5.6±0.67
Nb/Y	0.31	0.36±0.04	0.43±0.04	0.30±0.06	0.54
Y	27.96	19.5±5.6	24.2±2.2	24.9±3.6	27.3±5.3
Nb	8.57	2.0±0.4	8.5±0.8	10.7±1.4	7.9±1.9
La	31.65	24.4±2.3	33.0±4.5	33.5±508	55.6
	本文	其他数据引自 Bhatia M R,1986			

用且较为有效的变质岩原岩恢复方法(王仁民, 1987)。根据主量元素K-A关系(图8a)判断变质岩的原岩特征,5个样品都落入泥质粉砂岩亚区,说明研究区变质岩为副变质岩,DF指数也为负值(表6),显示为正常碎屑沉积岩特征,在西蒙南图解中(图8b)可以进一步看出,所有样品均落入厚层泥岩区域。这与前人认为喀纳斯群主要为一套巨厚陆缘碎屑岩建造,含微古植物化石(王广耀等,1983;高振家等,1985;彭昌文,1985)一致。

根据CIA、ICV指数反映源区风化程度和碎屑

岩的成分成熟度(Nesbitt H W et al., 1982)。喀纳斯群变质碎屑岩原岩恢复相关系数计算结果表明,两个样品CIA=70~75,反映源区经历了温暖、湿润条件下的中等化学风化作用;3个样品CIA>75则说明源区经历了炎热、潮湿条件下的强烈化学风化作用,5个样品的ICV均大于1.0,指示原岩中含有少量黏土矿物,碎屑岩的成熟度差,代表活动大陆边缘的首次循环产物(Cullers et al.,2002)。CIA、ICV指数表明喀纳斯群变质碎屑岩母岩经历了相对温暖、湿润的风化作用,成熟度较低。

7.2 物源及构造环境

通过对喀纳斯群变质碎屑岩原岩的恢复,认为其原岩为副变质岩,利用La、Ce、Nd、Y、Th、Zr、Hf、Nb、Ti和Sc等活性较弱,成岩后具相对稳定性,元素的组合特征可以很好地反应沉积盆地的特征,是推断物源的最佳元素,结合主量元素可以更全面地了解其对物源的制约(Cullers, 2000;杨江海等, 2002;蔡观强等,2006)。因此,利用不活泼的微量元素对该套变质岩原岩构造背景的判别,来认识在喀纳斯群变质碎屑岩的物质来源和构造背景具有重要的意义。

在Th-Hf-Co图解(图9a)中,5个样品基本都处于岛弧环境内的杂砂岩;在La-Th-Sc图解(图9b),5个样品基本投于大陆岛弧环境内。通过图解



图6 黑云母红柱石石英片岩(QY-2-16)测年锆石CL图像
Fig. 6 Dating zircon CL image of the Bi-And-Q schist (QY-2-16) in Kanas Group

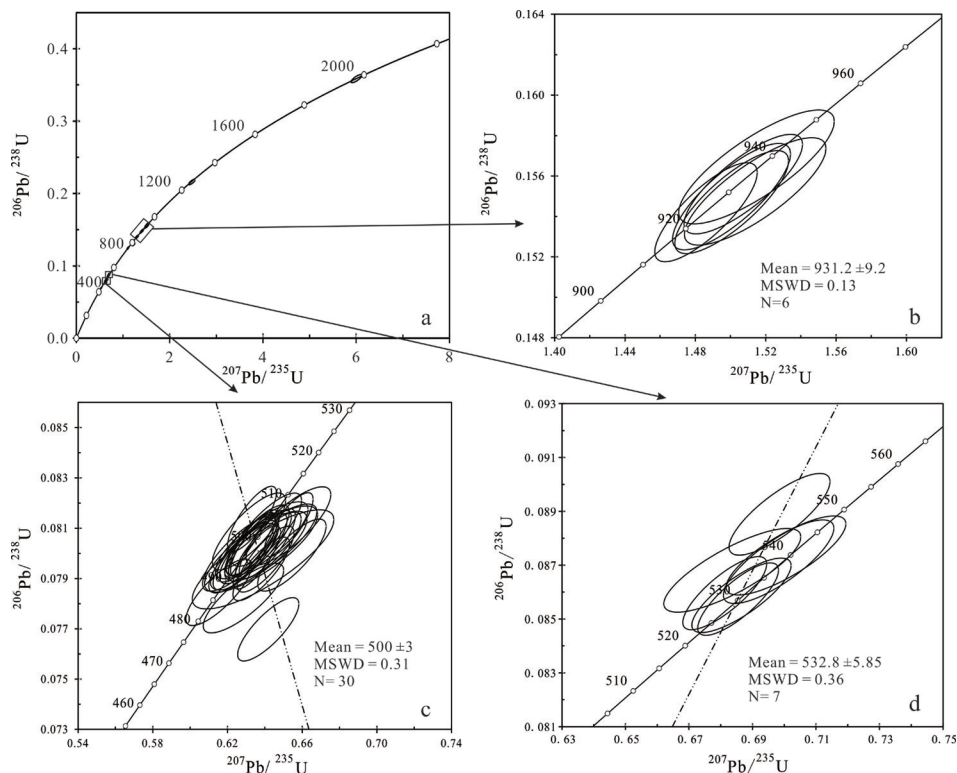


图7 黑云母红柱石石英片岩(QY-2-16)锆石U-Pb谐和图

Fig.7 The zircon U-Pb concordia diagrams of Bi-And-Q schist (QY-2-16) in Kanas Group

可以看出,不论片岩还是片麻岩,都指示出其原岩形成环境为与大陆岛弧有关的盆地,结合岩石地球特征、锆石形态,认为喀纳斯群原岩形成于与岛弧岩浆活动有关的大陆岛弧盆地,兼具活动大陆边缘特征。

前人认为喀纳斯群主要为一套巨厚前寒武纪陆缘碎屑岩建造,含微古植物化石,且无火山岩(王广耀等,1983;高振家等,1985;彭昌文,1989),因此认为喀纳斯群变质碎屑岩形成于被动大陆边缘构造之下。但在喀纳斯群的上限年龄不断后推的情况下,结合喀纳斯群中寒武世花岗岩体的锆石年龄,认为喀纳斯群形成环境为大陆岛弧,兼有活动大陆边缘的特征。

7.3 成岩时代与构造事件

锆石U-Pb年龄结果虽然未能获得一致的谐和年龄,时间跨度较大,由锆石各测点年龄分布图将其年龄分为3组,3组加权平均年龄为:(500±3.0) Ma、(532.8±5.85) Ma、(931.2±9.2) Ma,其最年轻的锆石年龄集中在(500±3.0) Ma,属于晚寒武世。结合喀纳斯岩群中,侵位的喀纳斯岩体的成岩年龄(473.3±2.9)

Ma(加尔肯吐尔得哈孜,2016),剔除晚于473.3 Ma的年龄,并考虑到黑云母红柱石石英片岩属低绿片岩相浅变质碎屑岩系,变质温度不大可能达到锆石U-Pb的开放温度,以此来限定喀纳斯群的上限年龄,说明喀纳斯群的应为晚寒武世晚期之前形成。研究区内晚奥陶世东锡勒克组以不整合覆盖于喀纳斯群之上,也间接表明喀纳斯群的时代应该早于晚奥陶世。因此,本文将喀纳斯群上限年龄厘定为晚寒武世晚期。

晚寒武世到志留纪的造山启动期与年龄(500±3.1) Ma相一致,结合准噶尔洋壳主要形成于寒武—奥陶纪(500~440 Ma)(徐新,2003),表明准噶尔洋壳主要打开和扩张事件,应在喀纳斯群沉积之后。本次研究得到的(532.8±5.85) Ma年龄与刘源等(2013)研究得到的喀纳斯群的变质花岗岩体的锆石岩浆结晶年龄(523±19) Ma相吻合,推测喀纳斯群在这期间发生岩浆作用,同时存在着地壳的隆起,形成一些陆源碎屑岩地层,锆石形态也显示出岩浆岩的特征,进一步表明在喀纳斯群沉积之前,已有火山岩的存在,并为后来喀纳斯群的沉积提供碎屑物源。同时,本次研究得到的(931.2±9.2) Ma年龄与

表5 黑云母红柱石石英片岩(QY-2-16)锆石的LA-ICP-MS定年分析结果
Table 5 LA-ICP-MS U-Pb zircon analyses of the Bi-And-Q schist (QY-2-16) in Kanas Group

测点号	Th/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	同位素比值						表面年龄/Ma						
			Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
L01-2-24-1	255.87	357.06	0.72	0.0605	0.0012	0.6418	0.0134	0.0770	0.0010	621	23	503	8	478	6
L01-2-24-2	368.3	894.08	0.41	0.0583	0.0011	0.6381	0.0124	0.0794	0.0010	543	21	501	8	492	6
L01-2-24-3	217.3	537.38	0.4	0.0702	0.0012	1.5006	0.0274	0.1550	0.0022	935	18	931	11	929	12
L01-2-24-4	300.59	394.38	0.76	0.0573	0.0012	0.6360	0.0140	0.0805	0.0011	503	25	500	9	499	7
L01-2-24-5	247.95	342.17	0.72	0.0573	0.0013	0.6338	0.0148	0.0802	0.0012	505	27	498	9	497	7
L01-2-24-6	353.3	465.31	0.76	0.0580	0.0010	0.6865	0.0128	0.0859	0.0011	529	20	531	8	531	7
L01-2-24-7	248.29	194.15	1.28	0.0686	0.0013	1.3956	0.0282	0.1476	0.0020	887	21	887	12	887	11
L01-2-24-8	212.64	194.45	1.09	0.0672	0.0015	1.2965	0.0298	0.1400	0.0020	844	26	844	13	845	11
L01-2-24-9	552.63	1113.59	0.5	0.0572	0.0010	0.6336	0.0116	0.0804	0.0011	498	19	498	7	499	6
L01-2-24-10	75.87	132.01	0.57	0.0571	0.0015	0.6837	0.0176	0.0868	0.0013	497	32	529	11	537	8
L01-2-24-11	272.48	368.34	0.74	0.0569	0.0015	0.6270	0.0166	0.0800	0.0012	486	33	494	10	496	7
L01-2-24-12	954.34	1090.31	0.88	0.0572	0.0013	0.6298	0.0143	0.0799	0.0011	500	26	496	9	496	7
L01-2-24-13	210.44	793.1	0.27	0.0704	0.0011	1.5007	0.0264	0.1547	0.0021	939	17	931	11	927	12
L01-2-24-14	109.5	442.39	0.25	0.0580	0.0013	0.6419	0.0143	0.0803	0.0011	529	26	503	9	498	7
L01-2-24-15	493.23	506.91	0.97	0.1214	0.0018	6.0064	0.0971	0.3588	0.0046	1977	13	1977	14	1977	22
L01-2-24-16	672.36	1158.08	0.58	0.0575	0.0019	0.6383	0.0203	0.0805	0.0013	510	43	501	13	499	7
L01-2-24-17	322.3	1149.79	0.28	0.0588	0.0015	0.6438	0.0163	0.0793	0.0011	561	55	504	10	492	7
L01-2-24-18	481.51	715.35	0.67	0.0566	0.0014	0.6315	0.0160	0.0809	0.0013	477	30	497	10	501	7
L01-2-24-19	455.88	623.57	0.73	0.0574	0.0013	0.6410	0.0153	0.0809	0.0012	508	28	503	9	502	7
L01-2-24-20	233.3	183.51	1.27	0.0688	0.0013	1.2312	0.0239	0.1299	0.0018	891	20	815	11	787	10
L01-2-24-21	236.16	817.09	0.29	0.0688	0.0014	1.4069	0.0295	0.1483	0.0020	893	22	892	12	891	11
L01-2-24-22	423.59	831.55	0.51	0.0583	0.0017	0.6286	0.0176	0.0782	0.0011	541	36	495	11	485	7
L01-2-24-23	1138.68	1188.23	0.96	0.0583	0.0009	0.6528	0.0107	0.0811	0.0010	543	16	510	7	503	6
L01-2-24-24	164.91	294.71	0.56	0.0703	0.0012	1.5073	0.0275	0.1556	0.0020	936	18	933	11	932	11
L01-2-24-25	161.66	153.49	1.05	0.0581	0.0029	0.6390	0.0310	0.0798	0.0016	532	71	502	19	495	10
L01-2-24-26	115.36	80.34	1.44	0.0832	0.0019	2.4775	0.0580	0.2160	0.0031	1274	24	1265	17	1261	16
L01-2-24-27	278.65	268.05	1.04	0.0584	0.0016	0.6527	0.0185	0.0811	0.0013	544	35	510	11	503	8
L01-2-24-28	222.64	410.6	0.54	0.0594	0.0013	0.6545	0.0150	0.0799	0.0012	581	26	511	9	496	7
L01-2-24-29	144.75	230.02	0.63	0.0577	0.0019	0.6367	0.0212	0.0801	0.0013	516	45	500	13	497	8
L01-2-24-30	453.47	1026.66	0.44	0.0644	0.0011	1.1057	0.0199	0.1245	0.0016	755	18	756	10	757	9
L01-2-24-31	110.93	291.25	0.38	0.0569	0.0013	0.6154	0.0144	0.0785	0.0011	487	28	487	9	487	6
L01-2-24-32	1778.84	3120.33	0.57	0.0581	0.0011	0.6982	0.0142	0.0871	0.0013	534	22	538	8	539	8
L01-2-24-33	420.69	1493.41	0.28	0.0579	0.0010	0.6413	0.0123	0.0804	0.0011	524	20	503	8	498	7
L01-2-24-34	501.94	1036.77	0.48	0.0582	0.0011	0.6404	0.0124	0.0798	0.0011	538	21	503	8	495	6
L01-2-24-35	222.64	235.99	0.94	0.0556	0.0012	0.5359	0.0118	0.0699	0.0010	438	26	436	8	435	6
L01-2-24-36	1142.4	2477.04	0.46	0.0570	0.0010	0.6985	0.0130	0.0889	0.0012	492	19	538	8	549	7
L01-2-24-37	87.63	224.28	0.39	0.0707	0.0015	1.5140	0.0329	0.1552	0.0022	950	23	936	13	930	12
L01-2-24-38	306.05	253.6	1.21	0.0580	0.0019	0.6432	0.0202	0.0804	0.0013	529	42	504	12	499	7
L01-2-24-39	125.23	290.39	0.43	0.0574	0.0013	0.6363	0.0146	0.0804	0.0011	508	27	500	9	498	7
L01-2-24-40	164.92	126.62	1.3	0.0577	0.0023	0.6380	0.0248	0.0802	0.0014	518	55	501	15	497	8
L01-2-24-41	177.06	220.77	0.8	0.0582	0.0013	0.7006	0.0154	0.0874	0.0012	535	25	539	9	540	7
L01-2-24-42	126.79	174.67	0.73	0.0702	0.0016	1.5148	0.0361	0.1565	0.0023	935	26	936	15	937	13
L01-2-24-43	457.26	712.14	0.64	0.0573	0.0009	0.6344	0.0104	0.0803	0.0010	502	17	499	6	498	6
L01-2-24-44	345.36	507.19	0.68	0.0572	0.0008	0.6332	0.0103	0.0804	0.0010	497	16	498	6	498	6
L01-2-24-45	266.67	391.16	0.68	0.0699	0.0010	1.4861	0.0238	0.1542	0.0020	925	15	925	10	925	11
L01-2-24-46	397.16	635.75	0.62	0.0573	0.0009	0.6333	0.0106	0.0802	0.0010	503	17	498	7	497	6
L01-2-24-47	129.88	239.56	0.54	0.0571	0.0013	0.6281	0.0149	0.0798	0.0011	495	28	495	9	495	7
L01-2-24-48	231.61	270.55	0.86	0.0570	0.0011	0.6300	0.0127	0.0802	0.0011	491	22	496	8	497	7
L01-2-24-49	931.59	1464	0.64	0.0580	0.0008	0.6855	0.0104	0.0857	0.0011	529	15	530	6	530	7
L01-2-24-50	447.51	887.26	0.5	0.0578	0.0009	0.6357	0.0104	0.0798	0.0010	520	16	500	6	495	6
L01-2-24-51	961.03	2221.21	0.43	0.0575	0.0008	0.6813	0.0108	0.0860	0.0011	510	16	528	7	532	7
L01-2-24-52	962.93	1392.29	0.69	0.0564	0.0009	0.6331	0.0107	0.0814	0.0011	470	17	498	7	504	6

表 6 喀纳斯群变质碎屑岩原岩恢复相关系数计算结果

Table 6 The indexes for recovering protoliths of metasedimentary rocks in Kanas Group

样品编号	A	K	DF	al	fm	c	alk	Si	(al+fm)-(c+alk)	CIA	ICV	原岩
QY-2-6	0.75	0.57	-4.38	38.08	44.45	3.92	13.56	243.09	65.05	75.44	1.04	泥质岩
QY-2-7	0.74	0.59	-4.76	35.44	46.57	4.48	13.51	234.31	64.02	73.56	1.16	泥质岩
QY-2-14	0.73	0.70	-2.93	39.35	41.11	4.07	15.47	216.17	60.92	72.95	1.03	泥质岩
QY-2-15	0.76	0.59	-4.93	35.67	48.82	3.36	12.15	204.50	68.98	76.26	1.15	泥质岩
QY-2-16	0.73	0.69	-3.04	38.97	41.44	4.14	15.45	217.68	60.82	72.80	1.04	泥质岩

注:相关系数计算方法:(1)K-A图解法: $A=Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)$; $K=K_2O/(Na_2O+K_2O)$; $DF=-0.21 \times SiO_2-0.32 \times Fe_2O_3^T-0.98 \times MgO+0.55 \times CaO+1.46 \times Na_2O+0.54 \times K_2O+10.44$; (2)西蒙南图解法: $Si'=SiO_2/60$, $al'=Al_2O_3/102$, $fm'=Fe_2O_3^T/160+MgO/40+MnO/71$, $c'=CaO/56$, $alk'=Na_2O/62+K_2O/94$, $Total=al'+fm'+c'+alk'$, $al=al'/Total \times 100$, $fm=fm'/Total \times 100$, $c=c'/Total \times 100$, $alk=alk'/Total \times 100$; (3)CIA-ICV图解法: $CIA=Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)$ (其中氧化物为摩尔分数, CaO' 为硅酸盐矿物中的 CaO , 上述数据已校正), $ICV=(Fe_2O_3^T+K_2O+Na_2O+CaO+MgO+TiO_2)/Al_2O_3$ (摩尔分数)。算法引自汤中清, 1989。

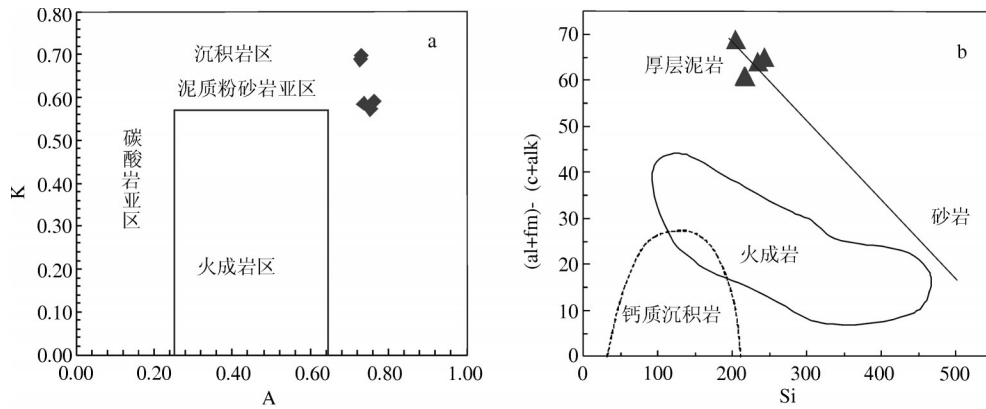


图 8 喀纳斯群变质碎屑岩 K-A 相关图解及西蒙南图解(据王仁民等, 1987)

Fig.8 K-A diagram and Simonen diagram of metasedimentary rocks in Kanas Group (after Wang Renmin et al., 1987)

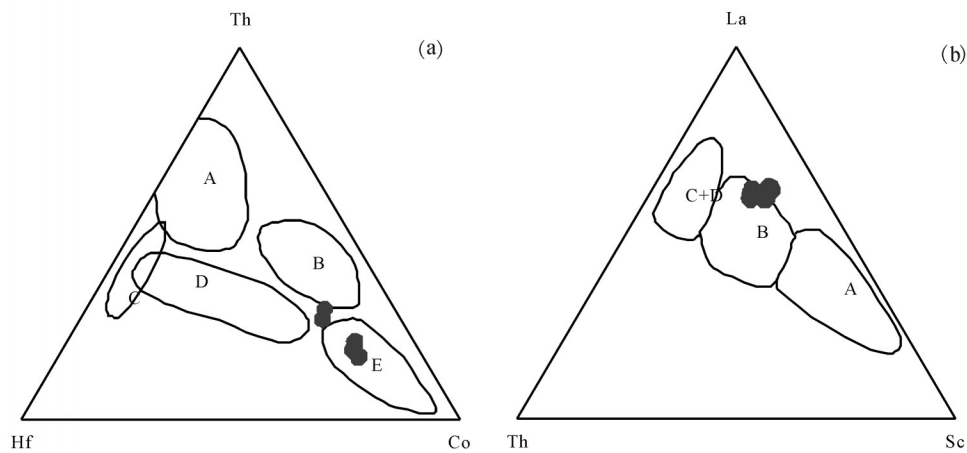


图 9 喀纳斯群变质碎屑岩 Th-Hf-Co 图解及 La-Th-Sc 图解(据 Roser et al., 1986)

a: A—长英质火山岩; B—页岩(克拉通盆地); C—石英岩(克拉通盆地); D—长石砂岩; E—杂砂岩(弧)
b: A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

Fig.9 La-Th-Sc diagram and Hf-Th-Ta diagram of metasedimentary rocks in Kanas Group (after Roser et al., 1986)

a: A—Quartz-feldspathic volcanic rock; B—Shale (craton); C—Quartzite (craton); D—Arkose; E—Greywacke (island arc)
b: A—Oceanic island arc; B—Continental island arc; C—Active continental margin; D—Passive continental margin

方同辉等(2002)在阿尔泰南缘得到的乌恰沟新元古代青白口纪初期变质基性岩浆侵入事件的年龄相接近,该套地层被认为是古老基底发生裂解的产物,因此,间接说明了阿尔泰造山带存在前寒武纪大陆地壳基底。

8 结 论

通过对阿尔泰造山带喀纳斯群变质碎屑岩石学、岩石地球化学、锆石U-Pb年代学研究,得出如下结论:

(1) 喀纳斯群变质碎屑岩为副变质岩,原岩为泥质岩,为一套巨厚陆缘碎屑岩建造,经历了相对温暖、湿润风化作用,成熟度较低。微量元素和锆石类型都显现出变质碎屑岩与岩浆岩关系密切,推测变质碎屑岩物源可能来自于较早形成的岩体。

(2) 喀纳斯群变质碎屑岩锆石年龄的谐和度较好,年龄差距不算很大,并没有反映出稳定大陆边缘具有的年龄混乱和差距较大的特征,结合元素地球化学分析数据,认为该套变质碎屑岩形成于大陆岛弧环境之下,兼有活动大陆边缘的特征。

(3) (500±3.0) Ma是喀纳斯群变质碎屑岩最年轻的一组加权年龄,代表喀纳斯群的上限年龄,认为该套地层形成于晚寒武世晚期之前,(931±9.2) Ma的年龄反映新元古代青白口纪初期存在古老基底的裂解和岩浆侵入事件,间接证明了阿尔泰造山带存在前寒武纪大陆地壳基底。

致谢:感谢审稿专家和编辑部老师提出的宝贵意见,同时感谢野外工作过程中得到新疆维吾尔自治区地质调查院的帮助和大力支持!

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb [J]. *Chemical Geology*, 192(1/2):59-79.

Bai Daoyuan, Zhou Liang, Wang Xianhui, Zhang Xiaoyang, MaTieqiu. 2007. Geochemistry of Nanhuan-Cambrian sandstones in Southeastern Huan, and its constrains on Neoproterozoic-Early Paleozoin tectonic setting of South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(6): 755-771(in Chinese with English abstract).

Belousova E A, Griffin W L, O Reilly S Y, Fisher N I. 2002. Igneous zircon: trace element composition as indicator of source rock type [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5), 602-622.

Bhatia M R 1985. Earth element geochemistry of Australian Paleozoic garywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J].

Sedimentary Geology, 45: 97-113.

Cai Guanqiang, Guo Feng, Liu Xiantai, Sui Shuling. 2006. Clastic sediment Geochemistry: Implications for Provenance and tectonic setting and its influential factors[J]. *Earth and Environment*, 34(4): 75-83 (in Chinese with English abstract).

Chen Hanlin, Yang Shufen, Li Zilong, Xiao Wenjiao, Li Jiliang, Dong Chuanwan, Yu Xing. 2006. Geochemistry and tectonic setting of early Late Paleozoic felsic volcanic rocks from the Altai Orogenic Belt, North Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 38-42(in Chinese with English abstract).

Cheng Shoude, Zhang Xiangjiang. 2000. Geotectonic Division of Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 18(4): 293-296 (in Chinese).

Cheng Shoude, Xu Xin. 2001. On compiling of map of tectonics of Xinjiang and neighbouring areas [J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 33-37 (in Chinese with English abstract).

Chen Xiaojun, Luo Shunshu, Li Jiahua. 2011. Clastic rock geochemical features of Changlongshan formation in Qingbaikou system within Xuanlong Depression[J]. *Geology in China*, 38(6): 1477-1486 (in Chinese with English abstract).

Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest China[J]. *Tectonics*, 8(3): 621-635.

Cullers R L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies[J]. *Lithos*, 51: 181-203.

Cullers R L, Podkvyrv V M. 2002. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: Implications for mineralogical and provenance control, and recycling[J]. *Precambrian Research*, 104: 77-93.

Fang Guoqing. 1993. K₂O/(Na₂O + CaO)-SiO₂/Al₂O₃ diagram for determining the plate tectonic setting of flysch[J]. *Northwest Geoscience*, 14(37): 121-125.

Fang Tonghui, Wang Jingbin, Zhang Jinhong, Ding Rufu. 2002. Proterozoic basaltic magma intrusion event in the Altai, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 29(1): 48-54 (in Chinese with English abstract).

Gao Zhenjia, Pen Changwen. 1985. The Precambrian of Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 3(2): 14-25 (in Chinese).

Guo Hu, Wang Jiasong. 2011. A systematic preparation of the zircon sample in the determination of isotope[J]. *Journal of Luoyang Normal University*, 30(11): 32-34 (in Chinese with English abstract).

Han Yinwen, Ma Zhendong. Geochemistry[M]. 2003. Beijing: Geological Publishing House: 204-206 (in Chinese).

Hu Aiqin, Zhang Guoxin, Zhang Qianfeng, Li Tiande, Zhang Jibing. 2002. A review on ages of precambrian metamorphic rocks from Altai Orogen in Xinjiang, NW China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 37(2): 129-142 (in Chinese with English abstract).

Jahn B M. 1999. Introduction to IGCP-420: Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). Second Workshop, Abstracts and Excursion Guidebook (geotraverse through a Terrane Collage in Southern Khangay) [M].

- Ulaanbaatar, Mongolia, 1–2.
- Jia Erken. 2016. Intrusive Magmatic of Sequence Establishes and Tectonic Significance of Chonghuer in Western Part of Aertay Mountain, Xinjiang[D]. Xinjiang University, 20–27(in Chinese with English abstract).
- Li Huijun, He Guoqi, Wu Tairan, Wu Bo. 2006. Confirmation of Altai–Mongolia microcontinent and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1369–1379 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China [J]. *Geological Review*, 50(3):304–322 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, He Guoqi, Xu xin, Li Huaqing, Sun Gui Hua, Yang Tiannan, Gao Limin, Zhu Zhixin. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (1): 148–168 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, Li Yaping, Sun Guihua, Zhu Zhixin, Wang Lijia. 2009. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the north Asian Orogenic region and its adjacent areas [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 4(08): 584–605 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Zhang Fen, Ren JunPing, Tang Wenlong, Fu Chao, Chen Zheng, Li chengdong, Zhao Lijun, Feng Xiaoxi, Dang Zhicai, Zhao Zelin, Liu Xiaoxue. 2015. Tectonic units in China–Mongolia border area and their fundamental characteristics [J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34 (4):636–662 (in Chinese with English abstract).
- Li Tiande, Poliyangsiji B H. 2001. Tectonics and crustal evolution of Altai in China and Kazakhstan [J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 227–243 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhichun, Zhao Zhizhong. 2001. Creation of the Altai Orogenic belt and the Altai MTS. Tectono–Metallogenic Province [J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(1): 33–37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuan, Yang Jiayi, Hu Jianming, Wang Yanfei, Wang Yuan. 2013. Restricting the deposition age of the Kanas group of Altai tectonic belt and its implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 887–898 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication*, 4: 70.
- McLennan S M. 1993. Weathering and global denudation [J]. *Journal of Geology*, 101(2): 295–303.
- Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. *Nature*, 299(5885): 715–717.
- Peng Changwen. 1985. Discovery and geological significance of Micropaleoflora from the Habahe group in Baikaba district of Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 7(4): 19–25 (in Chinese with English abstract).
- Peng Changwen, Gao Zhenjia, Lu Songnian. 1991. Precambrian division and contrast in northern Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 9 (4): 329–339 (in Chinese).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Deng Jinfu, Feng Yimin, Zhang Kexin, Zhang Zhiyong, Wang Fangguo, Xing Guangfu, Hao Guojie, Feng Yanfang. 2009. Subdivision of tectonic units in China [J]. *Geology in China*, 36(1):1–28 (in Chinese with English abstract).
- Roser BP, Korsch R J. 1988. Provenance signature of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major–element data [J]. *Chemical Geology*, 67: 119–139.
- Sengör A M C, Natalin B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 364:299–307.
- Sengör A M C, Ozeren S, Genc T. 2003. East Anatolian high plateaus a mantle–supported, north–south shortened domal structure [J]. *Geophysical Research Letters*, 30(24):1–4.
- Shui Jinxia. 1992. Metamorphism and tectonic movement of northern Xinjiang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1(21): 94 (in Chinese with English abstract).
- Tang Zhongqing. 1989. Method and program for identifying metamorphic rock [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 9(3):62–66(in Chinese).
- Thompson R N. 1982. Magmatism in the British Tertiary volcanic province [J]. *Scottish Journal of Geology*, 18: 49–107.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, Dai Yajian, Han Baofu, Liu Xiaoming. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implication [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1933–1944 (In Chinese with English abstract).
- Wang Guangyao, Zhang Yuting. 1993. Xinjiang Altay Sinian discovery and its significance [J]. *Regional Geology of China*, 7: 117–119 (in Chinese with English abstract).
- Wang Leming, Zhao Tongyang, Zhu Zhixin, Zheng Jiahang, Tang Zhi, Han Qiong, Li Chongbo, Wang Tuo, Liu Jingwen. 2016. A discussion on stratigraphy and age of the "Kanas group" in the Altai, Xinjiang [J]. *Journal Stratigraphy*, 40(1): 67–75 (in Chinese with English abstract).
- Wang Renmin, He Gaopin, Chen Zhenzhen. 1987. The Plot for Recovering Protoliths of Metamorphic Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–199 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Hong Dawei, Tong Yin, Wang Baofu, Shi Yuruo. 2005. Zircon U–Pb SHRIMP ages and origin of post–orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen:its implications for vertical continental growth [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 640–650 (in Chinese with English abstract).
- Wang T, Jahn B M, Kovach V P, Tong Y, Hong D W, Han B F. 2009. Nd–Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt. [J]. *Lithos*, 110: 359–372.
- Windley B F, Kroner A, Guo J H, Qu G S, Li Y Y, Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution[J]. *The Journal*

- of Geology, 110: 719-737.
- Wu Yuanbao, Zhen Yongfei. 2004. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589 (in Chinese).
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, Sun M, Lin S F, Chen H L, Li Z L, Li J L and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. Asian Earth Sinica, 32: 102-117.
- Xu Xin. 2003. The "cratonization" of a young continental crust in the post collision tectonics of the "Central Asian type" orogenic belt in the north of Xinjiang[C]//Proceedings of the Fifth Symposium on the Geology and Mineral Resources of Tianshan Mountains. Urumqi: Xinjiang Science Technology Press, 6-9 (in Chinese).
- Yang Jianghai, Du Yuansheng, Xu Yajun, Zhu Jie. 2007. Major element characteristics of sandstones and provenance analysis of basins [J]. Geology in China, 34(6): 1032-1044 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Chao, Sun Min, Long Xiaoping, Xia Xiaoping, Xiao Wenjiao, Li Xianhua, Lin Shoufa, Cai Keda. 2007. Constraining the deposition time and tectonic background of the Habahe group of the Altai [J]. Acta Petrologica Sinica. 23(7): 1636-1644 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Yufang, Ma Changqian. 2006. A review of geochronology of U-bearing accessory minerals [J]. Advances in Earth Science, 21(4): 372-382 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 柏道远, 周亮, 王先辉, 张晓阳, 马铁球. 2007. 湘东南南华系—寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代—早古生代构造背景的制约[J]. 地质学报, 81(6): 755-771.
- 蔡观强, 郭锋, 刘显太, 隋淑玲. 2006. 碎屑沉积物地球化学: 物源属性、构造环境和影响因素[J]. 地球与环境, 34(4): 75-83.
- 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 肖文交, 李继亮, 董传万, 余星. 2006. 阿尔泰晚古生代早期长英质火山岩的地球化学特征及构造背景[J]. 地质学报, 80(1): 38-42.
- 成守德, 张湘江. 2000. 新疆大地构造基本格架[J]. 新疆地质, 18(4): 293-296.
- 成守德, 徐新. 2001. 新疆及邻区大地构造编图研究[J]. 新疆地质, 19(1): 33-37.
- 陈小军, 罗顺社, 李任远, 杨雄涛, 张建坤. 燕山地区冀北拗陷雾迷山组角砾云岩的成因[J]. 中国地质, 38(6): 1477-1486.
- 方同辉, 王京彬, 张进红, 丁汝福. 2002. 新疆阿尔泰元古代基性岩浆侵入事件[J]. 中国地质, 29(1): 48-54.
- 高振家, 彭昌文. 1985. 新疆天山前寒武系[J]. 新疆地质, 3(2): 14-25.
- 胡霁琴, 张国新, 张前锋, 李天德, 张积斌. 2002. 阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论[J]. 地质科学, 37(2): 129-142.
- 韩吟文, 马振东. 2003. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社: 204-206.
- 加尔肯·吐尔得哈孜. 2016. 新疆阿尔泰山西段冲乎尔地区侵入岩岩浆序列确立及构造意义[D]. 新疆大学, 20-27.
- 李会军, 何国琦, 吴泰然. 2006. 阿尔泰—蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1369-1379.
- 李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期至古生代的构造格局与构造演化[J]. 地质论评, 50(3): 304-322.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 80(1): 148-168.
- 李锦轶, 张进, 杨天南, 李亚萍, 孙桂华, 朱志新, 王励嘉. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 4(8): 584-605.
- 李俊建, 张锋, 任军平, 唐文龙, 付超, 陈正, 李承东, 赵立军, 冯晓曦, 党智材, 赵泽霖, 刘晓雪. 2015. 中蒙边界地区构造单元划分[J]. 地质通报, 34(4): 636-661.
- 李会军, 何国琦, 吴泰然, 吴波. 2006. 阿尔泰—蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1369-1379.
- 李天德, B.H.波里扬斯基. 2001. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰大地构造及地壳演化[J]. 新疆地质, 19(1): 227-243.
- 李志纯, 赵志忠. 2001. 阿尔泰造山带和阿尔泰山构造形成域的成因[J]. 新疆地质, 19(1): 33-37.
- 刘源, 杨家喜, 胡健民, 王雁飞, 王媛. 2013. 阿尔泰构造带喀纳斯群时代的厘定及其意义[J]. 岩石学报, 29(3): 887-898.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张志勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 彭昌文. 1985. 新疆白哈巴地区哈巴河群的微古植物及其地层意义[J]. 新疆地质, 7(4): 19-25.
- 彭昌文, 高振家, 陆松年. 1991. 新疆北部前寒武系划分和对比[J]. 新疆地质, 9(4): 329-339.
- 隋静霞. 1992. 北疆变质作用与构造活动[J]. 大地构造与成矿学, 1(21): 94.
- 汤中清. 1989. 判别变质岩原岩方法及其程序[J]. 四川地质学报, 9(3): 62-66.
- 童英, 王涛, 洪大卫, 代雅建, 韩宝福, 柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933-1944.
- 王广耀, 张玉亭. 1983. 新疆阿尔泰震旦系的发现及其意义[J]. 中国区域地质, 7: 117-119.
- 王涛, 洪大卫, 童英, 韩宝福, 石玉若. 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. 岩石学报, 21(3): 640-650.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589.
- 徐新. 2003. 阿尔泰运动及相关的地质问题[M]//陈毓川, 王京彬. 中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集. 北京: 地质出版社, 1-11.
- 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 朱杰. 2007. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析[J]. 中国地质, 34(6): 1032-1044.
- 袁超, 孙敏, 龙晓平, 夏小平, 肖文交, 李献华, 林寿发, 蔡克大. 2007. 阿尔泰哈巴河群的沉积时代及其构造背景[J]. 岩石学报, 23(7): 1636-1644.
- 钟玉芳, 马昌前. 2006. 含 U 副矿物的地质年代学研究综述[J]. 地球科学进展, 21(4): 372-382.