https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.385

滇西漕涧地区崇山变质杂岩中崇山岩群的时代与构造属性

黄 亮[1,2],王冬兵[3],王晓林[1],刘小春[4],丛 峰[3],朱勋早[1],方 雄[1]

1. 云南省地质调查院,云南昆明 650216
2. 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室,云南昆明 650051
3. 成都地质调查中心,四川成都 610059
4. 云南大学地球科学学院,云南昆明 650091

摘 要: 滇西崇山变质杂岩带位于三江造山带"峰腰"的北段,带内构造挤压变质作用强烈,主体由一套中-深变质岩系(崇山岩群)和晚期花岗岩组成.其中崇山岩群历来被认为是元古代的结晶基底,但至今无精确的年龄依据,其形成时代和构造属性存在较大争议,严重制约了对区域构造演化的认识.对滇西漕涧地区崇山岩群中的岩石组分开展了碎屑锆石U-Pb年代学及岩石地球化学研究,结果显示副变质岩中的锆石均具明显的磨圆特征和较大的岩浆核,其中3件样品的最小一组碎屑锆石年龄分别为366~412 Ma(平均值为395 Ma)、435~508 Ma(平均值为473 Ma)和673~704 Ma(平均值为689 Ma),指示了其原始沉积时代应不早于395 Ma;岩石地球化学表明,副变质岩是一套活动大陆边缘或被动大陆边缘构造背景有关的大陆岛弧碎屑岩,变质基性岩和变质中性岩为同源异相,均具活动大陆边缘的弧火山岩特征.结合副变质岩和两类正变质岩的构造属性相同以及普遍具相互伴生关系的特点,该3类岩石应属同一套地层系统的不同物质组分,崇山岩群主体为一套成岩于晚古生代(236~395 Ma)和形成于陆缘弧环境的火山-沉积地层单元;并与南东侧澜沧增生杂岩的志留纪弧火山岩组合成原-古特提斯洋盆东侧不同时代多岛弧的构造格局.综合研究认为,崇山变质杂岩带内的中-深变质岩系(崇山岩群)不(全)是前人认为的元古代结晶基底建造,应为原-古特提斯洋盆向东俯冲在兰坪-思茅地块西缘形成的一套火山-沉积地层系统;崇山岩群主要由年轻的(晚古生代)地层岩石组成,由于后期遭受中生代和新生代变质变形作用后形成了现今所见的"古老"岩石面貌的中-深变质系.

关键词: 崇山岩群;晚古生代;陆缘弧;火山-沉积建造;碎屑锆石;滇西;岩石学.

中图分类号: P58 **文章编号:** 1000-2383(2021)11-3861-19 **收稿日期:** 2020-12-13

Age and Tectonic Attributes of Chongshan Group in Chongshan Metamorphic Complex in Caojian Area, West Yunnan

Huang Liang[1,2], Wang Dongbing[3], Wang Xiaolin[1], Liu Xiaochun[4], Cong Feng[3], Zhu Xunzao[1], Fang Xiong[1]

1. *Yunnan Institute of Geological Survey*, *Kunming* 650216, *China*
2. *MNR Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization*, *Kunming* 650051, *China*
3. *Chengdu Center*, *China Geological Survey*, *Chengdu* 610059, *China*
4. *School of Earth Sciences*, *Yunnan University*, *Kunming* 650091, *China*

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(Nos.DD20160345-02, 1212010000150007-26);云南省地勘基金项目(No.D201901);国家自然科学基金特提斯重大研究计划重点项目(No.92055207);国家自然科学基金项目(No.420602005);云南省科技厅-云南大学联合基金项目(No.CY21624103).

作者简介: 黄亮(1985-),男,高级工程师,主要从事区域地质调查,研究方向为岩石学、构造地质方向.ORCID: 0000-0002-9929-8980. E-mail: 409090169@qq.com

引用格式: 黄亮,王冬兵,王晓林,等,2021.滇西漕涧地区崇山变质杂岩中崇山岩群的时代与构造属性.地球科学,46(11):3861-3879.

Abstract: The Chongshan metamorphic complex belt in West Yunnan is located in the northern part of "peak waist" of Sanjiang orogenic belt. The tectonic compression metamorphism in the belt is strong, and the main body is composed of a suite of medium-deep grade metamorphic rocks (Chongshan Group) and late granite. Among them, Chongshan Group has always been regarded as the crystalline basement of Proterozoic, but so far there is no accurate age basis, and its formation time and tectonic attributes are controversial, which seriously restricts the understanding of regional tectonic evolution. In this paper, the detrital zircon U-Pb geochronology and petrogeochemistry of the rock components in Chongshan Group in Caojian area, West Yunnan Province were studied. The results show that the zircons in the parametamorphic rocks have obvious rounded features and large magmatic nuclei. The smallest group of detrital zircon ages of the three samples are 366－412 Ma (mean value 395 Ma), 435－508 Ma (mean value 473 Ma) and 673－704 Ma (mean value 689 Ma), respectively, indicating that their original sedimentary age should be no earlier than 395 Ma. Rock geochemistry shows that the meta-metamorphic rocks are a set of continental island arc clastic rocks related to the tectonic setting of active continental margin or passive continental margin, and the metamorphic mafic rocks and metamorphic intermediate rocks are homologous and heterogeneous and have the characteristics of arc volcanic rocks of active continental margin. Retrogeochemistry shows that the meta-metamorphic rocks are a set of continental island arc clastic rocks related to the tectonic setting of active continental margin or passive continental margin, and the metamorphic basic rocks and metamorphic intermediate rock are homologous and heterogeneous and have the characteristics of arc volcanic rocks of active continental margin. The main body of Chongshan Group is a set of volcanic-sedimentary stratigraphic units which were diagenetic in the Late Paleozoic (236－395 Ma) and formed in the marginal arc environment. It is combined with Silurian arc volcanic rocks of Lancang River accretion complex in the south east side to form the structural pattern of multi-island arcs in different times on the east side of the Proto-Paleo-Tethys ocean basin. According to comprehensive research, the medium-deep grade metamorphic rocks(Chongshan Group) in Chongshan metamorphic complex belt is not (all) a Proterozoic crystalline basement, but a volcanic-sedimentary stratigraphic system formed by the subduction of the original-Paleo-Tethys ocean basin eastward on the western edge of Lanping-Simao block.Chongshan Group is mainly composed of young (Late Paleozoic) stratigraphic rocks, which formed the medium-deep grade metamorphic rocks with "old" rock features after being subjected to Mesozoic and Cenozoic metamorphism and deformation in the later period.

Key words: Chongshan Group; Late Paleozoic; continental marginal arc; volcanic-sedimentary formation; detrital zircon; West Yunnan; petrology.

0 引言

滇西地区分布一系列条带状展布的变质杂岩带,如点苍山-哀牢山、崇山、高黎贡山等,传统上它们被认为是出露于地表的古老结晶基底(云南省地质矿产局,1990;翟明国等,1990;钟大赉,1998;王国芝等,2000;云南省地质调查局,2013);然而,随着区域地质调查精度的提高和同位素定年技术的发展,这些"古老结晶基底"的成岩时代均未得到可靠年代数据的支撑.其中,崇山变质杂岩带位于三江造山带"峰腰"的北段即崇山-临沧地块的北段(云南省地质调查局,2013;图1a),其内产出的中-深变质岩系最早于1965年被原云南区调队命名为崇山群,是一套层状无序和角闪岩相变质级的变质火山-沉积岩石单元,具构造岩层的特点,后改名为崇山岩群(云南省地质调查院,2008),并一直沿用至今.

崇山岩群历年来被认为是三江造山系的元古代结晶基底(云南省地质矿产局,1990;翟明国等,1990;钟大赉,1998;云南省地质调查院,2008,2011;云南省地质调查局,2013),其主要依据区域层位对比、Sm-Nd年龄、全岩锆石U-Pb年龄、角闪石K-Ar变质年龄和Nd模式年龄(卫管一等,1984;地质矿产部三江地质编委会地质图编图组,1986;熊家镛,1989;云南省地质矿产局,1990;翟明国等,1990;钟大赉,1998;王国芝等,2000);然而,相关年龄数据受限于当时分析手段的局限、适用性差和分析精度不高的影响,需要重新进行评估.

从区域构造上看,三江造山带"峰腰"以南一带地质构造分带非常明显(图1a),自西往东有保山地块、昌宁-孟连结合带、崇山-临沧地块、澜沧增生杂岩和兰坪-思茅地块;与之明显不同的是,三江造山带"峰腰"北段由于遭受强烈构造挤压,仅分出保山地块、崇山-临沧地块(崇山变质杂岩带)和兰坪-思茅地块(图1a);因此崇山-临沧地块的北段即崇山变质杂岩带存在是一构造混杂岩带的可能,以及其间产出的崇山岩群的成岩时代和构造属性存在较大的争议,严重制约了对区域构造演化的认识.

实际上,近年来云南省地质调查院(2011,

2019,内部交流)、成都地质调查中心(内部交流)等地质科研单位对崇山岩群中的正变质岩进行了大量的锆石U-Pb年代学测试,但分析结果均不尽理想:无集中年龄值或为年轻的变质年龄,因此运用传统的锆石测年方法难以对崇山岩群的成岩时代进行约束.

本文以滇西云龙县漕涧地区的崇山变质杂岩带作为研究区(图1a),在地质调查的基础上,选取崇山岩群中代表性岩石为研究对象,开展了碎屑锆石U-Pb年代学和岩石地球化学方面的研究,以期限定其成岩时代和构造属性,为三江地区的区域构造演化提供新的信息.

1　区域地质背景

崇山-临沧地块可分为北段的崇山变质杂岩带和南段的临沧岩浆弧(云南省地质调查局,2013),其中崇山变质杂岩带总体位于东侧的兰坪-思茅地块与西侧的保山地块之间区域(图1a),以及东西两侧分别以澜沧江断裂和崇山-双江断裂为界,呈北北西-南北向带状分布,北部延至西藏地区,南部与临沧岩浆弧相连并延伸出国境线至缅甸(图1a);是三江造山系西缘的一条重要边界构造(云南省地质矿产局,1990;云南省地质调查局,2013),也是滇西原-古特提斯构造带的重要组成部分(钟大赉,1998;刘本培等,2002;李文昌等,2010;云南省地质调查局,2013).此外,云南省地质调查院(2019)在

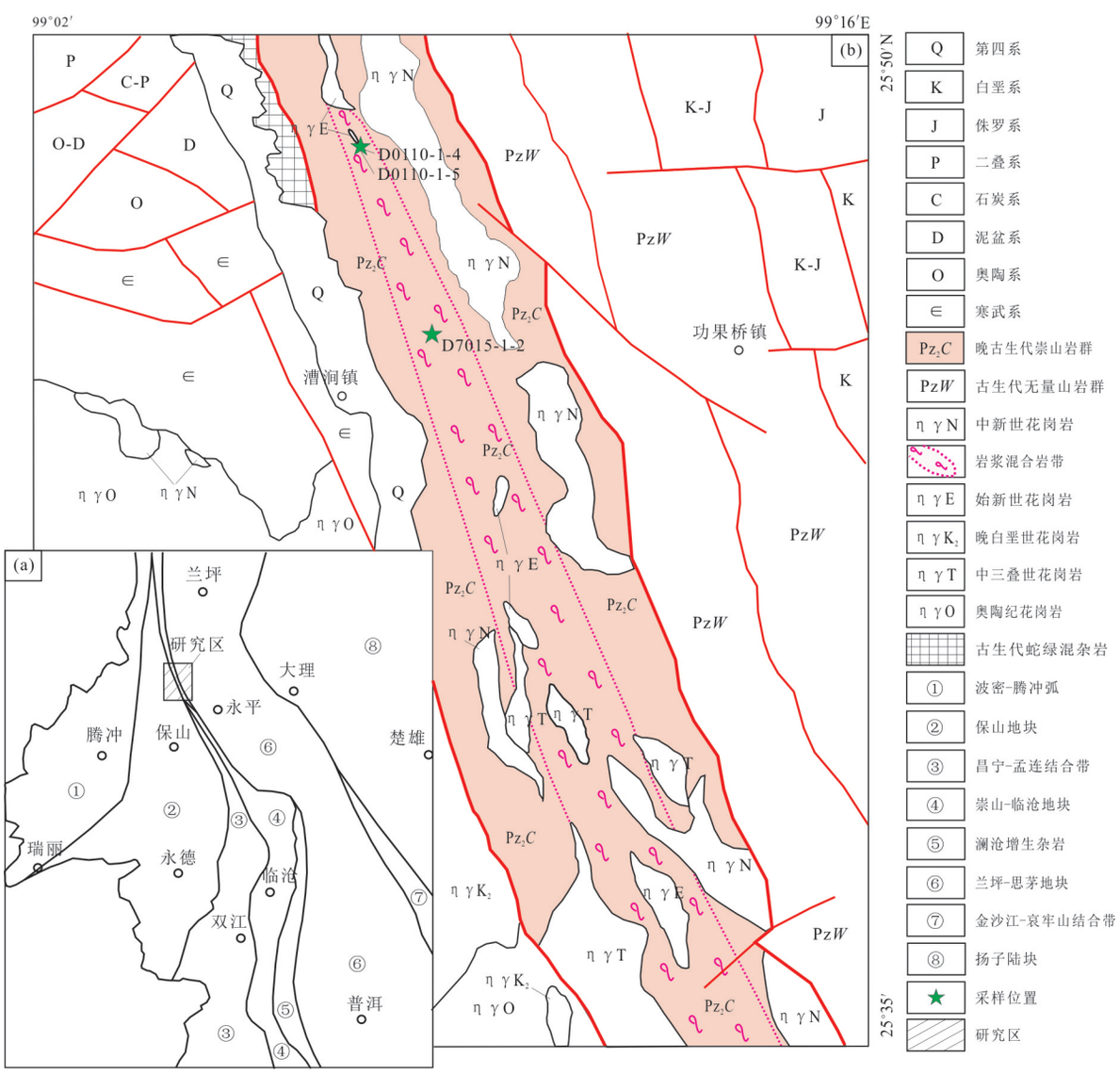

图1　研究区地质简图和大地构造位置图

Fig.1　Geological sketch and geotectonic location map of the study area

研究区还发现其西侧残留有少量昌宁-孟连结合带的物质组分(图1b).

崇山变质杂岩带与临沧岩浆弧为同一构造带内不同位置的次级构造单元,均以出露中-深变质岩系和大规模的三叠纪花岗岩为特征(云南省地质调查局,2013).其中,中-深变质岩系分别为崇山岩群和大勐龙岩群,历年来均被认为是大陆地壳元古代的结晶基底;鉴于两者产出的大地构造位置、岩石组合、变形-变质等特征基本一致,被广泛认为是后期构造肢解分离所致且为同物异名的同一套地层(钟大赉,1998;云南省地质调查院,2008,2011;云南省地质调查局,2013).

崇山岩群在崇山变质杂岩带内多以残留体-包体状(图2a)、构造夹块状出露,以产出规模小和总出露面积小为特征(占比<25%);岩石变形变质强烈且韧性变形发育(云南省地质调查院,2008,2011,2019;云南省地质调查局,2013),围岩主要为三叠纪、始新世和中新世花岗岩(云南省地质调查院,2011,2019;黄亮等,2020),接触关系为侵入或构造接触,并以变质强度较高与围岩明显区分开来.

崇山岩群主要由(石榴矽线)黑云斜长变粒岩、(含方柱透辉、黑云)角闪斜长变粒岩-片岩、(石榴矽线)黑云(钾长)斜长片麻岩、斜长角闪岩-片岩、(石榴矽线)云母片岩,以及少量的(金云透辉)大理岩、透辉斜长变粒岩、(含方柱堇青)石英岩等组成,其原岩总体为一套复理石夹中基性火山岩的火山-沉积建造(成都地质学院岩石教研室火山岩组,1980;卫管一等,1984;熊家镛,1989;云南省地质矿产局,1990;翟明国等,1990;云南省地质调查院,2008,2011;云南省地质调查局,2013);变质程度主体为角闪岩相变质级,少量可达高角闪岩相;由于晚期构造-热作用,部分岩石还叠加了动力变质和热接触变质(云南省地质矿产局,1990;云南省地质调查院,2008,2011,2019;云南省地质调查局,2013).

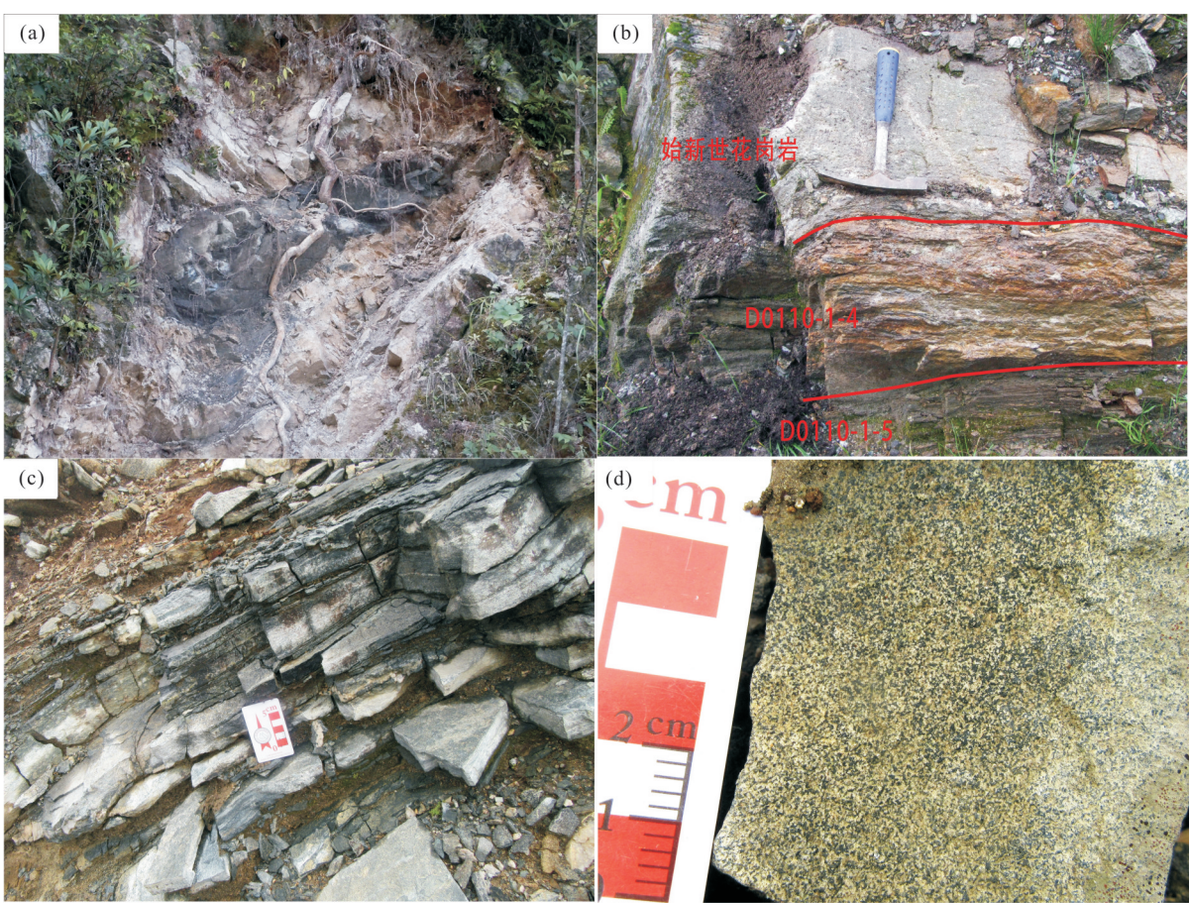

图2 崇山岩群野外露头及不同类型岩石

Fig.2 Photographs of outcrop and various rocks of the Chongshan Group

a.崇山岩群呈包体状产于花岗岩中;b.石榴矽线黑云钾长片麻岩产出特征;c.斜长角闪岩;d.角闪斜长变粒岩

崇山变质杂岩带是不同时代、不同岩性的地层/岩体经后期构造变形变质作用形成的变质杂岩(云南省地质调查局,2013),由中-深变质岩系(崇山岩群)和晚期花岗岩组成.由于多期构造、变质作用的叠加改造,带内褶皱构造、脆-韧性断裂等较为发育;岩浆活动十分强烈及主要表现为中生代和新生代(图 1b;云南省地质调查院,2011, 2019).其中,中生代以三叠纪碰撞型花岗岩为代表(云南省地质调查院,2008, 2011, 2019;云南省地质调查局,2013),新生代则由始新世花岗岩和中新世花岗岩组成(云南省地质调查院,2011,2019;黄亮等,2020).同时应该注意的是,崇山岩群的岩石组分不能与晚期变质变形的花岗岩相混淆.

2　岩相学

本研究的岩石样品为崇山岩群的代表性岩类,具体为两类副变质岩和两类正变质岩,现分述如下.

2.1　石榴矽线黑云钾长片麻岩

样品 D0110-1-4 和 D0110-1-5 为同一位置不同层位采集的样品(图 1b,图 2b),均为石榴矽线黑云钾长片麻岩,仅前者矿物粒度较粗的差异(图 2b);岩石具鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,主要由黑云母(约占 30%)、钾长石(约占 30%)、斜长石(约占 15%)、矽线石(约占 5%)、石榴子石(约占 3%)、石英(约占 32%)和少量金属矿物组成(图 3a);镜下岩石中碎斑主要为黑云母、钾长石、斜长石和石榴子石,基质则由他形长石、石英、黑云母、变晶矽线石等组成(图 3a).其中浅色长英质矿物与暗色矿物黑云母及束状矽线石各自呈条痕状聚集相间定向产出,构成岩石的片麻状构造.岩石变质矿物组合为:石榴子石+矽线石+钾长石+黑云母+石英+斜长石,属高角闪岩相变质级.此外,岩石发育丰富铝矿物组合和石英含量较高的特点,明显具副变质岩特征.

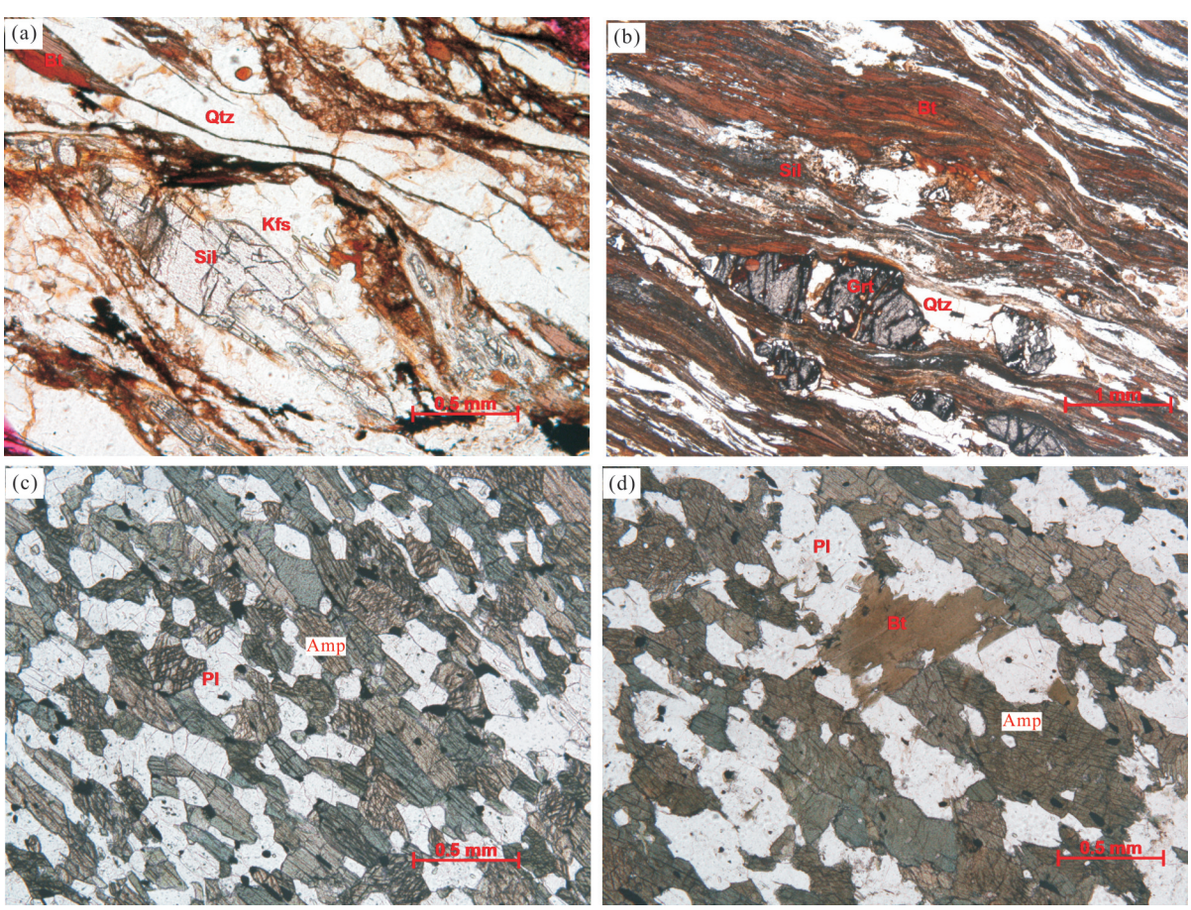

图 3　崇山岩群不同类型岩石显微结构特征

Fig.3　Microstructures of various type rocks of the Chongshan Group

a.石榴矽线黑云钾长片麻岩;b.石榴矽线黑云片岩;c.斜长角闪岩;d.角闪斜长变粒岩;Qtz.石英;Bt.黑云母;Sil.矽线石;Grt.石榴子石;Kfs.钾长石;Pl.斜长石;Amp.角闪石

2.2 石榴矽线黑云片岩

样品D7015-1-2为石榴矽线黑云片岩,具片状变晶结构,片状定向构造,主要由黑云母(约占45%)、矽线石(约占15%)、石英(约占30%)、石榴子石(约占4%)、斜长石(约占5%)和少量的金属矿物组成(图3b);镜下可见强定向黑云母、矽线石各自呈条纹条痕状富集,局部可见少量微透镜状的石榴子石碎斑(图3b);岩石的流变分异变质结晶显著,黑云母呈棕红色并有大量纤柱状矽线石晶出,达高角闪岩相变质级.同样,岩石发育富铝矿物组合和石英含量较高的特点,为副变质岩特征.

2.3 斜长角闪岩

样品PM008-4-2为斜长角闪岩(图2c),细晶粒-变晶结构,细条纹-定向构造,主要由角闪石(约占50%)、斜长石(约占45%)、透辉石(约占2%)和少量的磷灰石、金属矿物、榍石等组成(图3c);镜下可见细晶角闪石与细晶斜长石呈镶嵌状均匀分布(图3c),局部粒度较粗的角闪石和斜长石组成深浅色条纹状.岩石变质矿物组合为:斜长石(中长石)+普通角闪石±透辉石,达角闪岩相变质级.岩石中矿物种类单一,含有榍石及不含石英,为变质基性类特征.

2.4 角闪斜长变粒岩

样品PM008-1-1为角闪斜长变粒岩(图2d),具细晶粒-变晶结构,微细条纹-定向构造,主要由斜长石(约占56%)、普通角闪石(约占35%)、黑云母(约占5%)、石英(约占2%)和少量磷灰石、金属矿物、榍石(含或不含)等组成(图3d);镜下可见细晶角闪石与细晶斜长石呈镶嵌状均匀分布,偶见黑云母星散状分布(图3d).岩石变质矿物组合为:斜长石(中长石)+普通角闪石+黑云母+石英,为角闪岩相变质级.岩石中矿物种类单一,有榍石及石英含量较少的特点,为变质中性岩类特征.

3 样品测试分析方法

样品采集过程中,选取新鲜、纯净无脉体的岩石,对其进行相关的分析测试和研究.

3.1 锆石LA-ICP-MS U-Pb 定年

锆石分选在南京宏创地质勘查技术服务有限公司完成.选择晶型较好,无裂隙的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶,打磨样品靶,使锆石的中心部位暴露出来,然后进行抛光.对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光(CL)图像分析,最后根据反射光、透射光及锆石CL图像选择代表性的锆石颗粒和区域进行U-Pb测年.

锆石U-Pb定年及微量元素含量分析是在湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室利用LA-ICP-MS同时分析完成的.测试分析采用的是GeoLasPro全自动版193 nm ArF准分子激光剥蚀系统(LA)和7700X型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)联用构成的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱分析系统(LA-ICP-MS).锆石U-Pb定年分析采用锆石标准年龄物质91500作为外标进行同位素分馏校正,每分析6个样品点分析2次91500.样品的同位素比值和元素含量采用ICPMSDataCal 10.1进行处理分析,加权平均年龄的计算及锆石年龄谐和图采用Isoplot 3.0来完成(Ludwig,2003).

3.2 主、微量元素测试

岩石样品的主量、微量测试在自然资源部昆明矿产资源监督检测中心和湖北省地质实验室测试中心完成.

自然资源部昆明矿产资源监督检测中心的主量氧化物采用日本理学ZSX Prius II型X-射线荧光光谱法(XRF)测定,采用经验系数法并校正谱线干扰和基体效应影响,对一系列标准样品回归求取标准曲线常数和基体校正系数,计算机自动校正测定.微量元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定,试样经HF、HNO_3、H_2SO_4封闭溶矿分解、赶氟,HNO_3浸取,定容25 mL稀释10倍,采用混合标准制备工作曲线,用XSeries II型ICP-MS仪进行测定.

湖北省地质实验室测试中心对样品的主量氧化物采用X荧光光谱仪(Magix_pro2440)和四硼酸锂熔片-XRF法进行测定;稀土15项采用质谱仪(Thermoelemental X7),经水湿润、加入氢氟酸、硫酸、硝酸和高氯酸,电热板上浸泡过夜,第二天加热预溶、升温分解后驱氟,继续升温除尽剩余的硫酸,王水提取,定容至100 mL,采用1%王水介质的混合标准绘制工作曲线,最终利用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)完成测定;其他微量元素采用质谱仪(Thermoelemental X7)和等离子体发射光谱仪(ICAP6300)进行测试,以及利用四酸溶矿法-ICP-MS、四酸溶矿法-ICP-OES、X射线荧光光谱法(XRF)完成测定.

4　分析结果

结合岩石镜下矿物组合特征、地球化学特征及原岩恢复投图成果(图略)等,均说明了本研究岩石样品为副、正变质岩类.现对副变质岩碎屑锆石U-Pb测试结果和副、正变质岩的岩石地球化学特征进行分述如下.

4.1　碎屑锆石U-Pb定年结果

采集了3件副变质岩进行锆石U-Pb年代学测定,采样位置见图1b所示.3件样品的锆石阴极发光图像显示锆石形态均具明显的相似性,其中锆石无色透明,具椭球状、浑圆状的磨圆特征,锆石的晶形结构无规律但基本全部破碎和不完整的特点(图4a、4b、4c),为碎屑锆石特征(Whittington and Treloar,2002;吴元保和郑永飞,2004).3件样品的碎屑锆石颗粒大小较均一,长轴以65～110 μm为主,短轴为35～60 μm,长宽比在1∶1～2∶1(图4a、4b、4c);阴极发光图像显示,所有锆石均具有较大的振荡环带岩浆核,部分锆石具非常窄的变质边,表明了这些碎屑锆石主要来自岩浆岩物源区,以及部分锆石受到了一定的变质作用影响(Whittington and Treloar,2002;吴元保和郑永飞,2004).

4.1.1　石榴矽线黑云钾长片麻岩(D0110-1-5)　本文对样品中100颗碎屑锆石进行了100个U-Pb年代学分析测点,其中11个年龄数据的谐和度小于90%而未参与年龄成图,剩余89颗锆石的同位素比值及年龄数据结果见附表3.

89颗锆石年龄值均落在谐和线上及附近(图5a、5b),年龄范围为53～2 470 Ma;其中3颗锆石年龄为53 Ma、82 Ma和86 Ma,相应的Th/U比值为0.08、0.11和0.04(附表3),具变质年龄特征(Whittington and Treloar,2002;吴元保和郑永飞,2004),并与云南省地质调查院(2011)、王丹丹等(2014)认为的85～71 Ma及Zhang *et al*(2010)的55～38 Ma变质时代相吻合;剩余的86颗碎屑锆石年龄为366～2 470 Ma,Th/U比值为0.22～2.16.

锆石U-Pb年龄分布图显示(图6a),碎屑锆石发育有一组明显强烈的年龄峰即422～482 Ma(n=48,占比55.8%)和一组次级年龄峰即366～412 Ma(n=8,占比9.3%),相应的平均年龄峰值为454 Ma和395 Ma.

4.1.2　石榴矽线黑云钾长片麻岩(D0110-1-4)　本研究对样品的96颗碎屑锆石进行了96个分析测点,其中22个年龄数据谐和度小于90%而未参与作图,剩余74颗锆石的同位素比值及年龄数据结果见附表3.

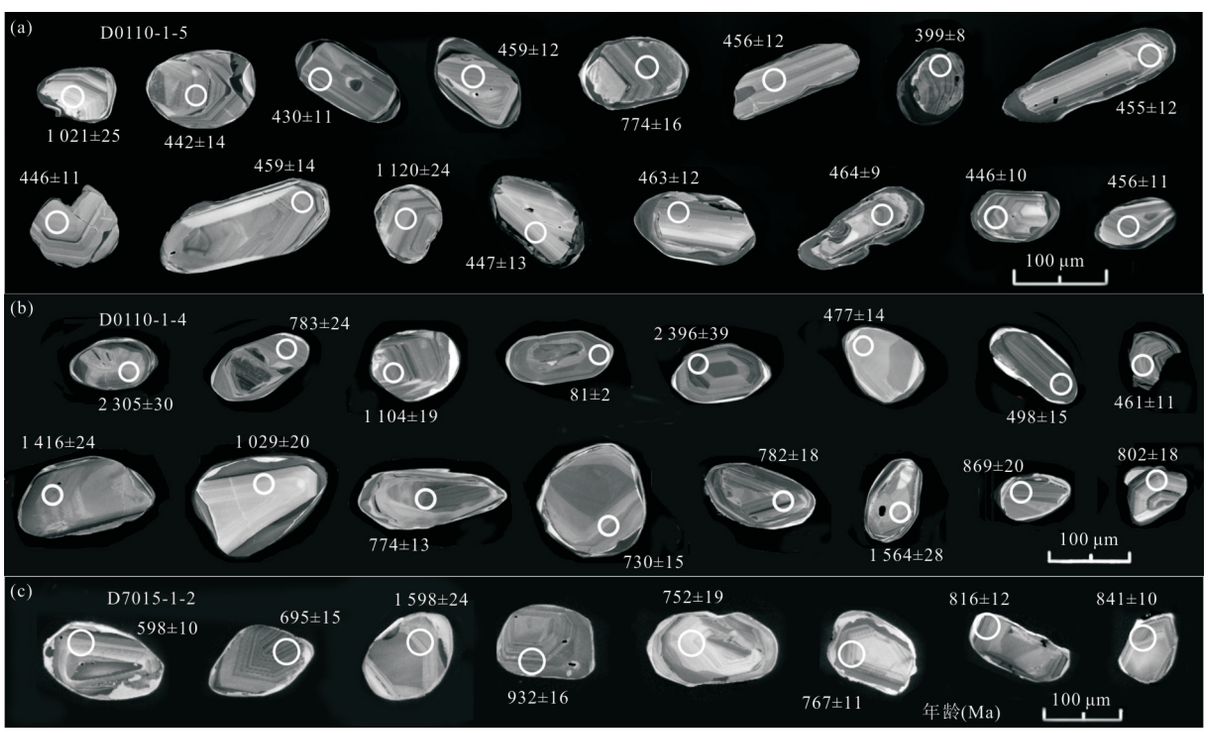

图4　崇山岩群副变质岩中典型锆石阴极发光(CL)图像

Fig.4　Cathodoluminescence (CL) images of representative zircons for the parablastesis from the Chongshan Group

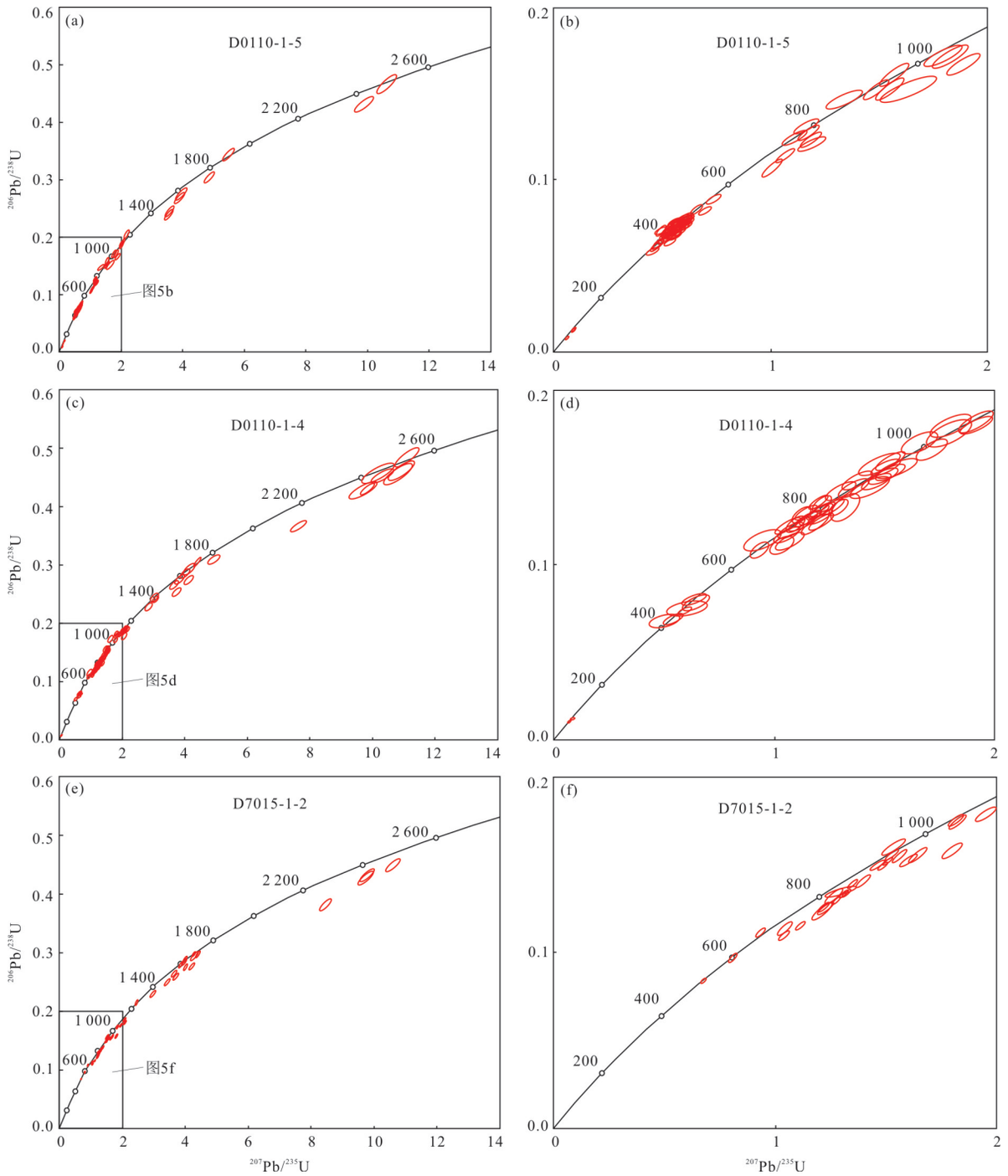

图 5 崇山岩群副变质岩 LA-ICP-MS 锆石年龄谐和图

Fig.5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams for the parablastesis from the Chongshan Group

74 颗锆石年龄值均落在谐和线上及附近(图 5c、5d),年龄范围为 71～2 543 Ma,其中有 5 颗锆石年龄为 71～81 Ma,Th/U 比值为 0.01～0.07(附表 3),其中部分锆石发育有核-边结构(图 4b),属变质锆石特征(Whittington and Treloar,2002;吴元保和郑永飞,2004);与云南省地质调查院(2011)、王丹丹等(2014)认为的 74～85 Ma 变质年龄相吻合,并与前述 D0110-1-5 的变质时代相同.剩余 69 颗锆石的年龄值范围为 435～2 543 Ma,Th/U 比值为 0.09～2.45.

锆石 U-Pb 年龄分布图显示(图 6b),碎屑锆石年龄峰值除了变质年龄峰以外主要有 4 组,分别为 435～508 Ma(n=7,占比 10.2%)、725～802 Ma(n=14,占比 20.3%)、849～948 Ma(n=11,占比 15.9%)

和 1 050～1 110 Ma(*n*=8,占比 11.6%),各组所对应的平均年龄峰值为 473 Ma、766 Ma、899 Ma 和 1 081 Ma.

4.1.3　石榴矽线黑云片岩(D7015-1-2)　本研究对样品60颗碎屑锆石进行了60个分析测点,其中14个分析点谐和度小于90%而未参加计算与作图,剩余46颗锆石的同位素比值及年龄数据结果见附表3.

46颗锆石年龄值均落在谐和线附近(图5e、5f),年龄范围为522～2 396 Ma,Th/U比值为0.08～2.15(附表3);锆石U-Pb年龄分布图显示(图6c),碎屑锆石具年龄峰较多和频度总体偏低的特点,年龄峰主要表现为5组,具体为673～704 Ma(*n*=4,占比8.7%)、752～816 Ma(*n*=6,占比14.6%)、901～959 Ma(*n*=8,占比19.5%)、1 038～1 090 Ma(*n*=4,占比8.7%)和1 572～1 632 Ma(*n*=6,占比14.6%),各组所对应的平均年龄峰值为689 Ma、792 Ma、927 Ma、1 059 Ma和1 601 Ma.

4.1.4　碎屑锆石年龄特征综述　综合3件样品的锆石测点年龄特征,碎屑锆石U-Pb年龄主要分为4组段:422～508 Ma(峰值年龄为456 Ma),725～816 Ma(峰值年龄为772 Ma),849～959 Ma(峰值年龄为911 Ma),1 038～1 100 Ma(峰值年龄为1 074 Ma)(图6a、6b、6c);以及次要年龄组段为3组:366～412 Ma(峰值为395 Ma),673～704 Ma(峰值为689 Ma),1 572～1 632 Ma(峰值为1 601 Ma),表明了漕涧地区崇山岩群物源区的构造-岩浆事件的复杂性.

4.2　岩石地球化学特征

4.2.1　副变质岩类　本研究的副变质岩类不仅有前述的黑云钾长片麻岩和黑云片岩以外,还有黑云斜长片麻岩和黑云斜长变粒岩类(附表1),并代表了崇山岩群的主要副变质岩类(云南省地质调查院,2008,2011,2013).岩石的主量元素结果见附表1,其中SiO_2含量为62.88%～78.33%和变化较大的特点,显示了源区物源具一定的复杂性.

副变质岩的稀土元素总量(ΣREE)为156.29×10^{-6}～273.80×10^{-6}(附表1),轻稀土元素(LREE)相对重稀土元素(HREE)富集,轻稀土元素分馏程度较大,而重稀土元素分异程度小;δEu为0.39～0.72,为较中等的Eu亏损.在稀土元素球粒陨石标准化图解上(图7a),为具一致性轻稀土右倾、重稀土近平直和较弱Eu亏损的配分曲线.

在微量原始地幔标准化图解上(图7b),除了Hf元素具亏损和富集的特征以外,其他元素均表现为一致性不同程度富集和亏损;此外,副变质岩还表现强烈的Sr元素亏损,而可能与流体作用有关(Becker *et al.*,2000;Sadofsky and Bebout,2003).

4.2.2　正变质岩类　根据岩石样品的二氧化硅含量差异,细分为变质基性岩和变质中性岩2类(附表2),其中变质基性岩为斜长角闪岩(片岩)类,变质中性岩为角闪斜长变粒岩(片岩)类,现分述如下.

(1)变质基性岩.岩石样品主量元素含量见附表2,SiO_2含量为48.89%～53.12%属基性岩范畴,MgO为3.07%～8.33%,镁值($Mg^{\#}$)较高的特点(43.94～69.00,平均值为54.96),显示了源区具一定地幔物质注入的影响.稀土元素总量(ΣREE)为76.41×10^{-6}～244.47×10^{-6}(附表2),样品轻、重稀土元素$(La/Yb)_N$比值为1.25～1.60,显示轻稀土弱富集;重稀土$(Gd/Yb)_N$比值为1.24～1.85,指示重稀土无明显分异;δEu为0.72～0.97,为较弱的Eu亏损.在稀土元素球粒陨石标准化图解上(图7c),显示为轻稀土右倾及弱富集、重稀土近平直和Eu弱亏损的一条曲线,与岛弧火山岩稀土配分模式相似(Henderson,1984;Wilson,1989).原始地幔标准化微

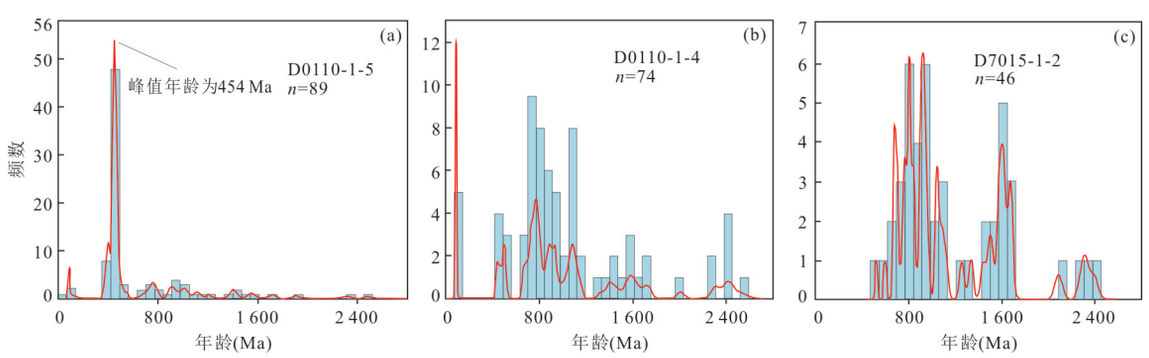

图6　崇山岩群副变质岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄分布图

Fig.6　LA-ICP-MS zircon U-Pb histograms for the parablastesis from the Chongshan Group

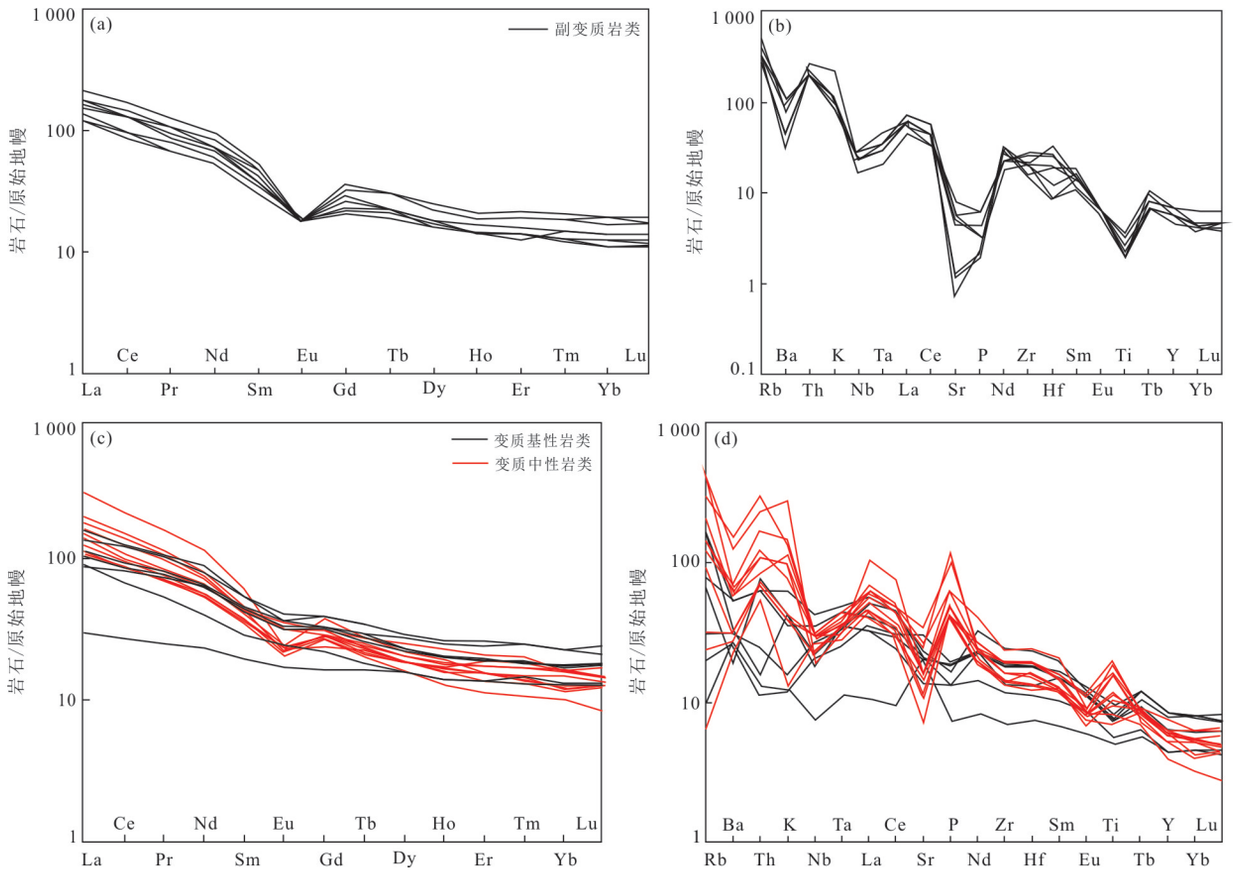

图 7 崇山岩群的稀土微量特征图解

Fig.7 The diagrams of rare-earth and trace elements for the Chongshan Group

a, c. 稀土元素球粒陨石标准化模式图;b, d. 微量元素原始地幔标准化图解(球粒陨石和原始地幔的值引自 Sun and Mcdonough(1989))

量元素蛛网图(图 7d,附表 2),K、Rb、Sr、Ba 等大离子亲石元素具不同程度的亏损和富集,应属受到变质作用影响发生了迁移所致;高场强元素 Ti、P、Nb、Zr 和 Y 等有明显的亏损,Hf 和 Ta 有轻微的亏损特征,表现为岛弧基性岩特征(Wilson, 1989; McCulloch and Gamble, 1991; Condie, 2001).

(2)变质中性岩. 样品 SiO_2 含量为 54.08%～65.70%(附表 2)及属中性岩类,MgO 为 1.30%～5.21%,镁值($Mg^{\#}$)较高(39.21～60.54,平均值为 51.11),显示源区遭受了地幔物质的影响. 稀土元素总量(ΣREE)为 161.55×10^{-6}～334.10×10^{-6}(附表 2),样品轻、重稀土元素$(La/Yb)_N$比值为 5.30～23.39,显示轻稀土明显富集;重稀土$(Gd/Yb)_N$比值为 1.43～3.01,指示了重稀土具中等分馏;δEu 为 0.48～0.94,具弱-中等的 Eu 亏损. 在稀土元素球粒陨石标准化图解上(图 7c),所有样品都具相似的轻稀土富集、重稀土弱亏损的右倾型 REE 配分模式,总体上具弧岩浆岩特征(Henderson, 1984; Wilson, 1989). 在微量原始地幔标准化图解上(图 7d),Ba、Sr 等大离子亲石元素不同程度亏损,K、Rb 元素则为不同程度的富集及亏损;以及明显亏损 Nb、Zr、Hf、Y 和 Ta 等高场强元素,与岛弧岩浆岩特征相合(Wilson, 1989; McCulloch and Gamble, 1991; Condie, 2001),其中 Th、P、Ti 相比其他高场强元素易受流体活动影响,其富集可能是受岩石变质过程影响所致.

(3)地球化学特征综述. 在以 MgO 为横坐标的 Harker 图解中(图 8a, 8b, 8c, 8d),选择稳定的高强场元素 Ta、Hf、Th 和 Zr 与之配比,发现均具明显的负相关性,且样品集中和线性关系较好的特点,指示这些样品经历了相似的矿物结晶分离过程和相似的演化趋势(Winter, 2001; 张旗, 2012). 此外,结合该两类正变质岩的镁值较高、稀土配分曲线基本一致(图 7c)、较相似的微量元素富集亏损程度(图 7d),以及二者野外普遍具伴生关系的特点,表明了该两类正变质岩具同源异相的特点.

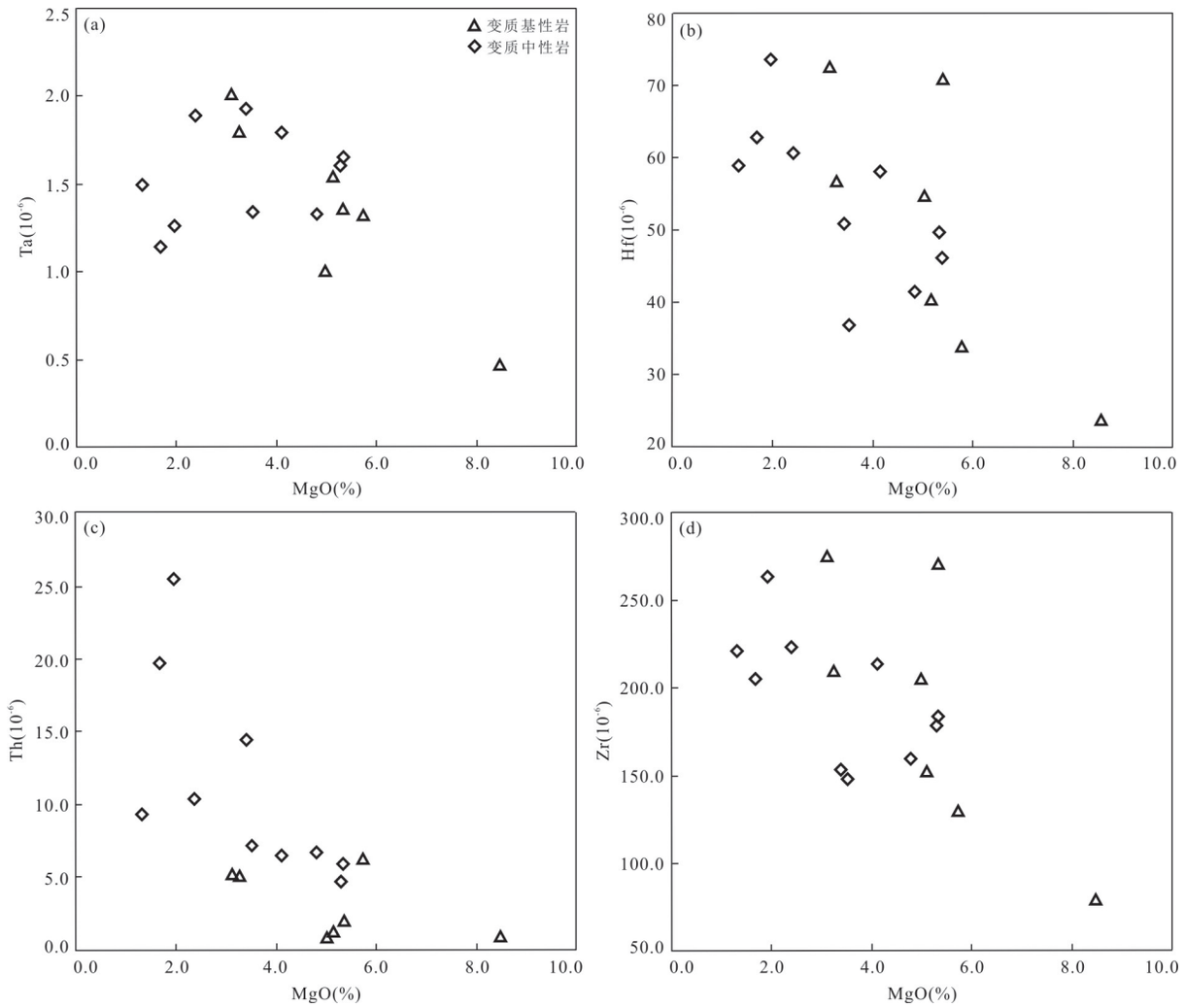

图 8　崇山岩群正变质岩 Harker 图解

Fig.8　Variations of major element for the orthometamorphite from the Chongshan Group

5　讨论

5.1　崇山岩群沉积时限

3 件样品中的碎屑锆石 CL 图像显示它们是岩浆成因和无后期变质结构(图 4a, 4b, 4c),单颗锆石年龄谐和度高(附表 3),共同表明了碎屑锆石的 U-Pb 同位素体系保持封闭,未受到后期变质事件的影响,可以用来限定寄主岩石的原始沉积时代(Harley and Kelly, 2007; Hanchar and van Westrenen, 2007; Rubatto and Hermann, 2007; 高峰等, 2019).3 件副变质岩石碎屑锆石的最年轻年龄峰分别为 366～412 Ma(平均值为 395 Ma)、435～508 Ma(平均值为 473 Ma)和 673～704 Ma(平均值为 689 Ma),即代表了本研究崇山岩群的原始沉积时代应不早于 395 Ma.此外,根据崇山变质杂岩带内崇山岩群的岩石组分广泛被三叠纪(233～236 Ma)花岗岩侵入的事实(图 1b,图 2a;云南省地质调查院,2008,2011,2019;王丹丹等,2014),以及二者变质强度明显差异的特点,崇山岩群成岩时代应早于 236 Ma 及其成岩时代为 236～395 Ma 即中泥盆世-中三叠世,而与前人认为的元古代相差甚远.

1974 年,云南省地质局完成 1∶20 万兰坪幅地质填绘时,将崇山岩群称为时代不明的变质岩系;1979 年,云南省地质局完成 1∶20 万永平幅时,通过微古植物化石将崇山岩群时代对比为古生代;卫管一等(1984)根据云南省地质矿产局发现的微古植物化石和区域层位对比将其定义为新元古代,地质矿产部三江地质编委会地质图编图组(1986)、熊家镛(1989)依据微古植物化石重新将其归属为早古生代,云南省地质矿产局(1990)对黑云斜长变粒岩进行全岩锆石分析获得了 922 Ma U-Pb 年龄,即将其定义为新元古代,翟明国等(1990)对黑云斜长片

麻岩开展了Sm-Nd同位素测试，获得了模式年龄1 616～1 828 Ma，并认为其成岩时代为古元古代，王国芝等（2000）通过角闪石K-Ar法认为崇山岩群于727～938 Ma接受了热变质作用及其成岩时代应早于或同于新元古代的认识；云南省地质调查院（2008）重新限定了崇山岩群的范围，将原产出古生代微古植物化石的浅变质岩系区别开来，并根据早期年代数据和区域层位对比将其置于古元古代．可见崇山岩群成岩时代的解释具多样性、年龄跨度较大、数据精度低和误差大等特点，迄今为止均未获得可靠的成岩时代．

此外，崇山变质杂岩带的岩浆活动和变质作用强烈，但岩浆活动仅为三叠纪及之后的记录（图1b；云南省地质调查院，2008，2011，2019；王丹丹等，2014），变质时代亦仅有三叠纪（云南省地质调查院，2008，2011，2019）、71～85 Ma白垩纪（云南省地质调查院，2011；王丹丹等，2014；本文）、38～55 Ma古近纪（Zhang *et al*.，2010；本文）和18～24 Ma新近纪（Zhang *et al*.，2010；云南省地质调查院，2011，2019；王丹丹等，2014）的记录，造成了元古代至三叠纪间地质记录的严重缺失，进而指示了崇山岩群的成岩时代应不会那般古老．

随着地质调查的增强和深入，崇山岩群越来越多的被证实为变质变形的年轻地层和岩体（王丹丹等，2014；徐云飞等，2018），而与崇山岩群同物异名的大勐龙岩群沉积时限被认为不早于349 Ma（王冬兵等，2015），结合至今未在崇山-临沧地块中发现有古老物质的特点，笔者认为崇山岩群主要应由变质变形的年轻地层岩石组成，而真正古老的物质可能没有出露或者出露极少．因此，笔者认为本研究崇山岩群的成岩时代为236～395 Ma是可信的，属中泥盆世-中三叠世和主体为晚古生代的特点．即便在未来地质工作中，崇山岩群有发现古老物质的存在，其产出占比应极低且仍以年轻地质体为主导．

5.2 崇山岩群的构造属性

5.2.1 副变质岩类 根据原岩恢复的La/Yb-ΣREE图解（图略），研究样品属砂质岩-杂砂岩类；稀土元素配分曲线具右倾平缓样式和Eu中等负异常的特征（图7a），指示了崇山岩群的沉积物源以大陆上地壳岩类为主（Rudnick and Gao，2003）．在Floyd and Leveridge（1987）的Hf-La/Th沉积物源判别图解（图9a）显示，副变质岩的物源主要以中酸性岩浆岩为主，且有不同程度古老沉积物组分的加入．因此，崇山岩群的碎屑物质主要来源于以中酸性岩石为主的大陆上地壳．

在Bhatia（1983）的La/Sc-Ti/Zr图解（图9b）中，除了少量样品落入大陆岛弧和被动大陆边缘之间过渡区域以外，大部分样品落入大陆岛弧范围；在Bhatia and Crook（1986）的Th-Sc-Zr/10、La-Sc-Th和Th-Co-Zr/10三角判别图解（图9c，9d，9e）中，大多数岩石样品显示为大陆岛弧和活动大陆边缘的地球化学特征，仅个别与被动大陆边缘有关．有鉴于此，笔者认为本研究的崇山岩群副变质岩主要形成于大陆岛弧环境，且与活动大陆边缘或被动大陆边缘的构造背景有关，而与前人认为崇山岩群的副变质岩原岩为一套复理石建造特征相套合（成都地质学院岩石教研室火山岩组，1980；卫管一等，1984；熊家镛，1989；云南省地质矿产局，1990；翟明国等，1990；云南省地质调查院，2008，2011；云南省地质调查局，2013）．

5.2.2 正变质岩类 （1）变质基性岩．崇山岩群的变质基性岩经历了角闪岩相的变质作用，关于原岩火山岩的分类，运用Winchester and Floyd（1977）的不活动元素Nb/Y-Zr/TiO_2判别图解进行分类，样品主要投于亚碱性玄武岩和碱性玄武岩区（图10a）．

根据稀土配分曲线右倾及轻稀土弱富集、重稀土近平直和较弱Eu亏损的特征（图7c），以及强场元素Ti、P、Nb、Zr、Y有明显的亏损和Hf、Ta有轻微亏损特点（图7d），岩石样品应具岛弧型基性岩特征（Pearce and Cann，1973；Glassley，1974；Pearce，1983；Pearce *et al*.，1984；曹延等，2020）．在Simon and Bedard（2009）的不活动元素Y-Zr图解中岩石样品落入钙碱性系列区域（图10b），在Pearce and Cann（1973）的3Y-Zr-Ti/100图解（图10c）中显示为岛弧钙碱性玄武岩特征，在Pearce（2003）的La-La/Nb图解（图10d）主体为岛弧玄武岩类；鉴于此，本研究的变质基性岩应为具岛弧性质的玄武岩类．

（2）变质中性岩．同样，崇山岩群的变质中性岩在Winchester and Floyd（1977）的Nb/Y-Zr/TiO_2判别图解进行分类，样品主要投于粗面安山岩、安山岩区和碱性玄武岩区，以及个别的亚碱性玄武岩区（图10a），显示了研究样品具一定向基性岩过渡的性质．

岩石样品轻稀土富集和重稀土弱亏损及右倾型的REE配分模式（图7c），及明显亏损Nb、Zr、Hf、

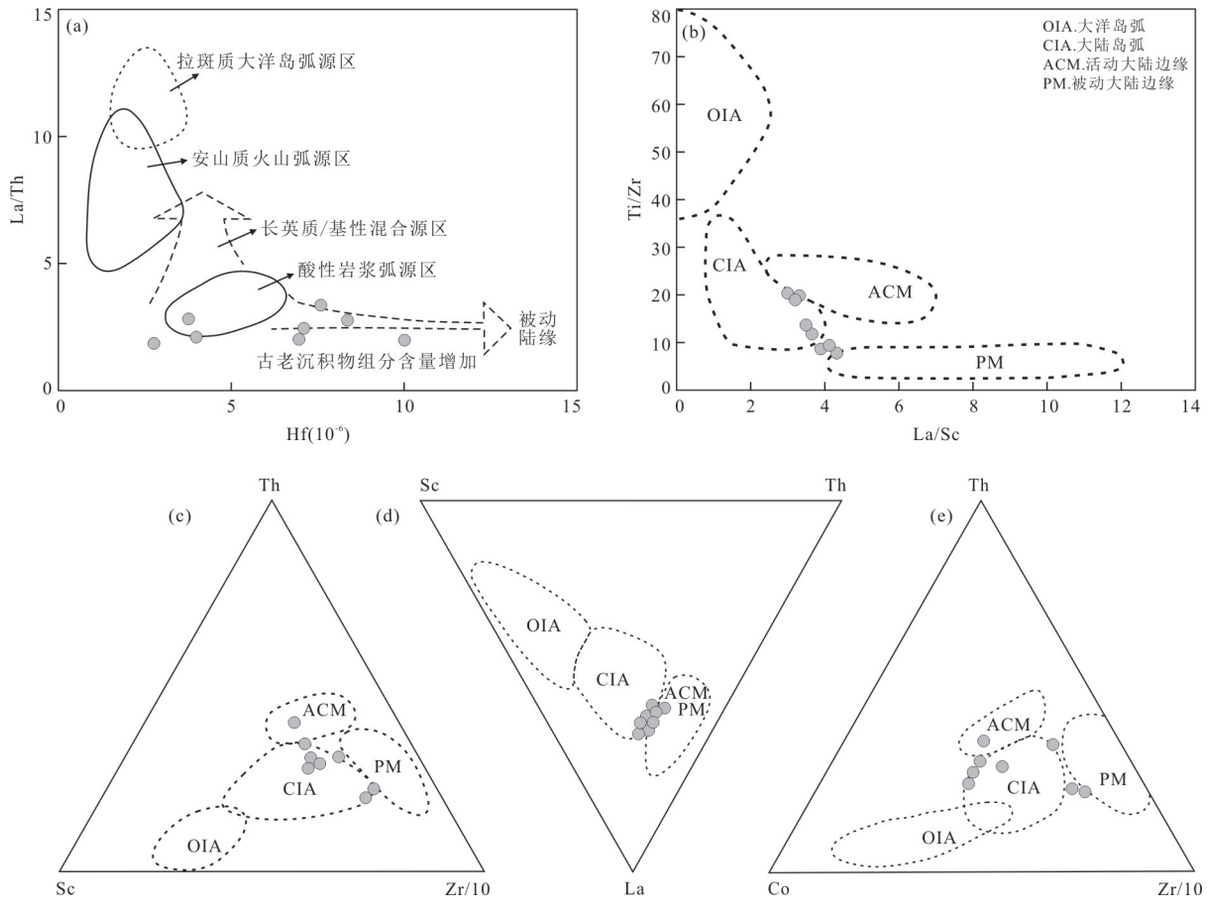

图 9　崇山岩群副变质岩构造环境判别图解

Fig.9　Discrimination diagrams for the parametamorphic rocks from the Chongshan Group

a. Hf-La/Th图解(据 Floyd and Leveridge,1987);b. La/Sc-Ti/Zr图解(据 Bhatia,1983);c～e. Th-Sc-Zr/10图解、La-Sc-Th图解、Th-Co-Zr/10图解(据 Bhatia and Crook,1986)

Y 和 Ta 等高场强元素(图 7d),具岛弧型火山岩特征(Bailey,1981;曹延等,2020);据 Gorton and Schandl(2000)的中酸性岩 Th/Yb-Ta/Yb 图解(图 11),样品主要落入活动大陆边缘及少量具板内火山活动带的性质.综合研究认为,变质中性岩应为一套形成于活动大陆边缘且具岛弧性质的安山岩和玄武质安山岩类.

5.2.3　构造属性综述　应用多元素多方法,本研究的副变质岩是一套活动大陆边缘或被动大陆边缘构造背景有关的大陆岛弧碎屑岩,变质基性岩和变质中性岩为同源异相及具活动大陆边缘的弧火山岩特征,结合该 3 类岩石普遍相伴生的特点,崇山岩群应为一套形成于陆缘弧环境的火山-沉积地层单元.

5.3　崇山岩群物源及亲缘性

3 件副变质岩均含有较多元古代的碎屑锆石(图 5,图 6,附表 3),但该信息仅指示了其沉积物源区存在元古代的岩浆活动或者物源区可能存在元古代的结晶基底.碎屑锆石的磨圆度普遍较高,表明了源区较远的特点;结合碎屑锆石年龄值分布特征,显示了崇山岩群物源的多样性和复杂性.

样品 D0110-1-5 的碎屑锆石发育了一组强烈的年龄峰及其年龄为 422～482 Ma(n=48,占比 55.8%)(图 6a),显示了其物源主要源自志留纪-奥陶纪的岩浆活动.实际上,在崇山-临沧地块南东侧的澜沧增生杂岩(图 1a)中发现有大量晚志留世(～420 Ma)中基-中酸性火山岩(毛晓长等,2012)和中志留世(428±7 Ma)英安岩(Lehmann *et al.*,2013),以及其西侧昌宁-孟连结合带中发育有奥陶纪岩浆岩(刘桂春等,2017;彭智敏等,2018;云南省地质调查院,2019);而再向西延伸的保山地块仅发育有晚寒武世-奥陶纪(510～453 Ma)岩浆岩,没有志留纪岩浆活动的特点(图 1a;董美玲等,2012;蔡志慧等,2013;毛晓长等,2014;云南省地质调查院,

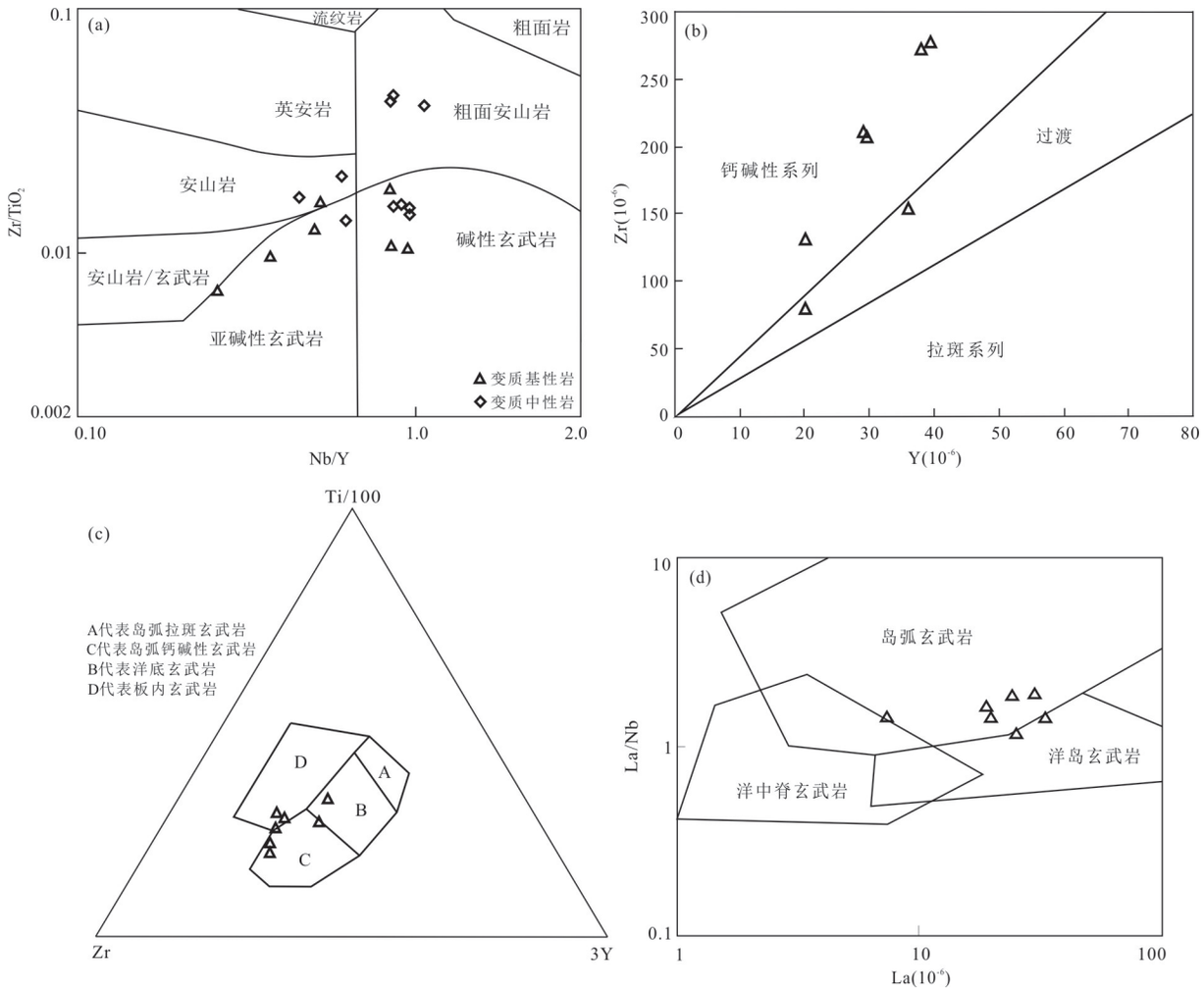

图10 崇山岩群正变质岩判别图解

Fig.10 Discrimination diagrams of the orthometamorphite from the Chongshan Group

a. Nb/Y-Zr/TiO_2图解(据Winchester and Floyd,1977);b. Zr-Y图解(据Simon and Bedard,2009);c. 3Y-Zr-Ti/100图解(据Pearce and Cann,1973);d. La-La/Nb图解(据Pearce, 2003)

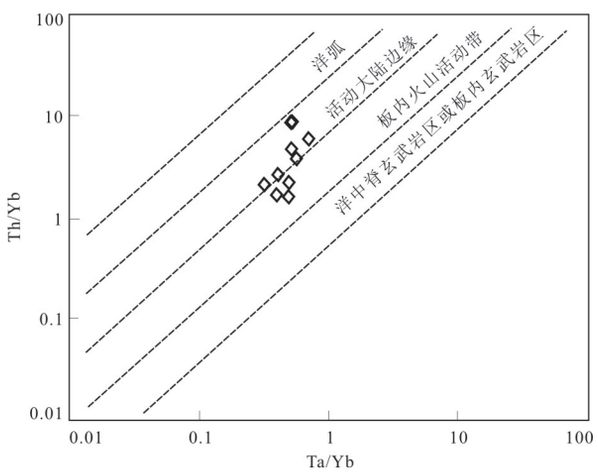

图11 变质中性岩的Ta/Yb-Th/Yb图解(据Gorton and Schandl,2000)

Fig.11 Ta/Yb-Th/Yb diagram of the metamorphic intermediate rock (after Gorton and Schandl,2000)

2019;黄亮等,2021),表明了崇山岩群的碎屑物源主要源自澜沧增生杂岩和昌宁-孟连结合带而非保山地块,实际上崇山-临沧地块与保山地块隔了一个大洋即昌宁-孟连洋盆(莫宣学等,1998;刘本培等,2002;李文昌等,2010;云南省地质调查局,2013;云南地质调查院,2008,2011, 2019;王保弟等,2018),因此崇山变质杂岩带应与澜沧增生杂岩具亲缘性.

5.4 综述

本文对漕涧地区的崇山岩群岩石组分的研究,获得了其成岩时代和构造属性的认识,虽研究对象为不同载体,但副变质岩和两类正变质岩的构造属性相同以及普遍具相互伴生关系的特点,因此该3类岩石应属同一套地层系统的不同物质组分,以及崇山变质杂岩带不是构造混杂岩带而

仅为一变质杂岩带,与云南省地质调查局(2013)对其的定义相合.鉴于此,笔者认为崇山岩群主体为一套成岩于晚古生代(236~395 Ma)和形成于陆缘弧环境的火山-沉积地层单元.

结合崇山变质杂岩带紧邻昌宁-孟连结合带即原-古特提斯洋盆消亡残迹东侧的特点(图1;云南省地质调查局,2013),崇山岩群应为原-古特提斯洋盆向东俯冲过程在兰坪-思茅地块西缘形成的一套具陆缘弧性质的火山-沉积地层系统,与南东侧的澜沧增生杂岩志留纪弧火山岩(图1a;毛晓长等,2012;Lehmann *et al.*,2013)均为原-古特提斯洋盆东侧不同时代多岛弧系统中的火山-沉积单元(Deng *et al.*,2014;Nie *et al.*,2014),且构成了西南"三江"多岛弧盆构造格局的重要组成部分(图1a;莫宣学等,1998;刘本培等,2002;李文昌等,2010;云南省地质调查局,2013;王保弟等,2018).

同时,由于研究样品的局限性,笔者不否认崇山岩群中存在有古老物质的可能,但即便有古老物质的存在,其产出占比应极低且仍以年轻地质体为主导.前人认为的崇山岩群是元古代结晶基底岩石,是由于后期的地质构造运动使其简单出露地表;其不(全)是前人认为的元古代结晶基底岩石,而主要由年轻的(晚古生代)地层岩石组成,以及共同受到了中生代和新生代变质变形作用后(Yin and Harrison,2000;Metcalfe,2013),形成了现今具"古老"岩石面貌的中-深变质系;在变质事件之前,该区域存在的任何时代地质端元,都可以在当前定义的崇山岩群中找到.此外,我们新认识的本质不在于能否在"古老地层"中找到少部分的古老物质,而是在于强调其主要岩石组分的地质属性.

6　结论

(1)崇山岩群主体为一套成岩于晚古生代(236~395 Ma)和形成于陆缘弧环境的火山-沉积地层单元.

(2)崇山岩群为原-古特提斯洋盆向东俯冲过程在兰坪-思茅地块西缘形成的一套具陆缘弧性质的火山-沉积地层系统,与南东侧澜沧增生杂岩的志留纪弧火山岩组合成原-古特提斯洋盆东侧不同时代多岛弧的构造格局.

(3)崇山岩群不(全)是前人认为的元古代结晶基底岩石,其主要由年轻的(晚古生代)地层岩石组成,并在中生代和新生代的变质变形后,形成了现今具"古老"岩石面貌的中-深变质系.

致谢:项目组成员参加了野外调查和研究工作,样品的制备和分析得到了国土资源部昆明矿产资源监督检测中心、湖北省地质实验室测试中心和南京宏创地质勘查技术服务有限公司的大力支持,成文过程中得到张虎正高级工程师、王保弟研究员和3位匿名审稿人的悉心指导,责任编辑对文稿做了大量的文字修核工作,在此一并表示衷心的感谢!

附表见本刊官网(http://www.earth-science.net).

References

Bailey, J. C., 1981. Geochemical Criteria for a Refined Tectonic Discrimination of Orogenic Andesites. *Chemical Geology*, 32(1):139-154.

Becker, H., Jochum, K.P., Carlson, R.W., 2000. Trace Element Fractionation during Dehydration of Eclogites from High-Pressure Terranes and the Implications for Element Fluxes in Subductions Zones. *Chemical Geology*, 163(1-4): 65-99.

Bhatia, M.R., 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6): 611-627.

Bhatia, M. R., Crook, K. A. W., 1986. Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2): 181-193. https://doi.org/10.1007/BF00375292

Bureau of Geological Survey of Yunnan Province, 2013. Research Report on Metallogenic Geological Background in Yunnan Rrovince (in Chinese).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1990. Regional Geology of Yunnan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Cai, Z.H., Xu, Z.Q., Duan, X.D., et al., 2013. Early Stage of Early Paleozoic Orogenic Event in Western Yunnan Province, Southeastern Margin of Tibet Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6):2123-2140 (in Chinese with English abstract).

Cao, Y., Kang, Z.Q., Xu, J.F., et al., 2020. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Volcanic Rocks of the Dianzhong Formation, Shiquanhe Area, Western Lhasa Block. *Earth Science*, 45(5): 1573-1592 (in Chinese with English abstract).

Compilation Group, Editorial Board of Sanjiang Geological Map, Ministry of Geology and Mineral Resources,

1986. The Regional Geological Map of Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang Area Instruction 1∶1 000 000. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Condie, K.C., 2001. Mantle Plume and Their Record in Earth History. Cambridge University Press, London.

Deng, J., Wang, Q.F., Li, G.J., et al., 2014. Tethys Tectonic Evolution and Its Bearing on the Distribution of Important Mineral Deposits in the Sanjiang Region, SW China. *Gondwana Research*, 26(2): 419—437.

Dong, M.L., Dong, G.C., Mo, X.X., et al., 2012. Geochronology and Geochemistry of the Early Palaeozoic Granitoids in Baoshan Block, Western Yunnan and Their Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (5): 1453—1464 (in Chinese with English abstract).

Floyd, P. A., Leveridge, B.E., 1987. Tectonic Environment of the Devonian Gramscatho Basin, South Cornwall: Framework Mode and Geochemical Evidence from Turbiditic Sandstones. *Journal of the Geological Society*, 144(4):531—542.

Gao, F., Pei, X. Z., Li, R. B., et al., 2019. Detrital Zircon U-Pb Ages and Geological Significance of Low-Metamorphosed Liuling Sedimentary Assemblage in the Shangdan Area, Eastern Qinling Orogenic Belt. *Earth Science*, 44(7):2519—2531 (in Chinese with English abstract).

Glassley, W. E., 1974. Geochemistry and Tectonics of the Crescent Volcanic Rocks, Olympic Peninsula, Washington. *Geological Society of America Bulletin*, 85(5): 785—794.

Gorton, M. P., Schandl, E.S., 2000. From Continents to Island Arcs: A Geochemical Index of Tectonic Setting for Arc-Related and Within-Plate Felsic to Intermediate Volcanic Rocks. *The Canadian Mineralogist*, 38(5): 1065—1073.

Hanchar, J. M., van Westrenen, W., 2007. Rare Earth Element Behavior in Zircon-Melt Systems. *Elements*, 3(1): 37—42.

Harley, S. L., Kelly, N. M., 2007. Zircon: Tiny but Timely. *Elements*, 3(1): 13—18.

Henderson, P., 1984. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier Science Publications, New York.

Huang, L., Lü, B.Y., Wang, X.L., et al., 2021. Zircon U-Pb Age, Geochemical Characteristics, Hf Isotopic Composition and Indications of Pan-African Movement from the Two Types of Late Ordovician Superaluminum Granites in the Caojian Area, Western Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, in Press (in Chinese with English abstract).

Huang, L., Wu, J.L., Wang, X.L., et al., 2020. The Discovery of Pegmatite of the Chongshan Orogenic Belt in the Caojian Area, Western Yunnan and Its Geological Significance. *Acta Mineralogica Sinica*, 40(5): 584—594 (in Chinese with English abstract).

Lehmann, B., Zhao, X., Zhou, M., et al., 2013. Mid-Silurian Back-Arc Spreading at the Northeastern Margin of Gondwana: The Dapingzhang Dacite-Hosted Massive Sulfide Deposit, Lancangjiang Zone, Southwestern Yunnan, China. *Gondwana Research*, 24(2):648—663.

Li, W.C., Pan, G.T., Hou, Z.Q., et al., 2010. Archipelagic-Basin, Forming Collision Theory and Prospecting Techniques along the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area in Southwestern China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Liu, B.P., Feng, Q.L., Chonglakmani, C., et al., 2002. Framework of Paleotethyan Archipelago Ocean of Western Yunnan and Its Elongation towards North and South. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161—171(in Chinese with English abstract).

Liu, G.C., Sun, Z.B., Zeng, W.T., et al., 2017. The Age of Wanhe Ophiolitic Mélange from Mengku Area, Shuangjiang County, Western Yunnnan Province, and Its Geological Significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2): 163—174 (in Chinese with English abstract).

Ludwig, K.R., 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.

Mao, X.C., Wang, L.Q., Li, B., et al., 2012. Discovery of the Late Silurian Volcanic Rocks in the Dazhonghe Area, Yunxian-Jinggu Volcanic Arc Belt, Western Yunnan, China and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1517—1528 (in Chinese with English abstract).

Mao, X.C., Yin, F.G., Tang, Y., et al., 2014. Early Paleozoic Accretionary Orogenesis on Western Margin of Baoshan Block. *Earth Science*, 39(8): 1129—1139 (in Chinese with English abstract).

McCulloch, M. T., Gamble, J. A., 1991. Geochemical and Geodynamical Constraints on Subduction Zone Magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 102(3—4): 358—374.

Metcalfe, I., 2013. Gondwana Dispersion and Asian Accretion: Tectonic and Palaeogeography Evolution of East-

ern Tetheys. *Journal of Earth Sciences*, 66: 1－33.

Mo, X. X., Shen, S.Y., Zhu, Q.W., et al., 1998. Volcanics-Ophiolite and Mineralization of Middlesouthern Part in Shanjiang Area of Southwestern China. Geological Publishing House, Beijing, 1－128 (in Chinese).

Nie, X.M., Feng, Q.L., Wang, Y.J., 2014. Magmatic Record of Prototethyan Evolution in SW Yunnan, China: Geochemical, Zircon U-Pb Geochronological and Lu-Hf Isotopic Evidence from the Huimin Metavolcanic Rocks in the Southern Lancangjiang Zone. *Gondwana Research*, 28:757－768.

Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J., eds., Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva Publishing, Nantwich, Cheshire, 230－249.

Pearce, J.A., 2003. Supra-Subduction Zone Ophiolites: The Search for Modern Analogues. In: Pearce, J. A., ed., Special Paper 373: Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought. Geological Society of America, New York, 269－293.

Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2): 290－300.

Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G, 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956－983. https: //doi.org/10.1093/petrology/25.4.956

Peng, Z.M., Zhang, J., Guan, J.L., et al., 2018. The Discovery of Early-Middle Ordovician Granitic Gneiss from the Giant Lincang Batholith in Sanjiang of Western Yunnan and Its Geological Implications. *Earth Science*, 43(8):2571－2585 (in Chinese with English abstract).

Rubatto, D., Hermann, J., 2007. Zircon Behaviour in Deeply Subducted Rocks. *Elements*, 3(1): 31－35.

Rudnick, R.L., Gao, S., 2003. Composition of the Continental Crust. Elsevier-Pergamon, Oxford, 3:1－64.

Sadofsky, S.J., Bebout, G.E., 2003. Record of Forearc Devolatilization in Low-T, High-P/T Metasedimentary Suites: Significance for Models of Convergent Margin Chemical Cycling. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(4):9003.

Simon, R.P., Bedard, J.H., 2009. Magmatic Affinity of Modern and Ancient Subalkaline Volcanic Rocks Determined Trace-Element Discriminant Diagrams. *Canadian Journal of Earth Science*, 46(11): 823－839.

Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42: 313－345.

Volcanic Rock Formation in Rock Teaching and Research Section of Chengdu Institute of Geology, 1980. Discovery and Metamorphism of Marine Volcanic Rocks of Chongshan Group in Caojian Area, Western Yunnan. *Mineral Rock*, 1:32—41 (in Chinese).

Wang, B.D., Wang, L.Q., Wang, D.B., et al., 2018. Tectonic Evolution of the Changning-Menglian Proto-Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang Area, Southwestern China. *Earth Science*, 43(8): 2527－2550 (in Chinese with English abstract).

Wang, D.B., Yin, F.G., Luo, L., et al., 2015. U-Pb Dating of Detrital Zircons from the Damenglong Group in the Niujinshan Area of Changning-Menglian Tectonicbelt and Its Geological Significance. *Mineralogy and Petrology*, 35(3): 72—80 (in Chinese with English abstract).

Wang, D.D., Li, B.L., Ji, J.Q., et al., 2014. Zircon SHRIMP U-Pb Geochronology and Its Tectonic Implication of the Metamorphic Rocks in Southern Lancang River Tectonic Zone, West Yunnan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2725－2738 (in Chinese with English abstract).

Wang, G.Z., Liu, D.Z., Zhu, L.D., et al., 2000. Analysis of the Undating Metamorphics in West Yunnan and Determination of Its Age. *Regional Geology of China*, 19 (1): 32－37 (in Chinese with English abstract)

Wei, G.Y., Feng, G.R., Luo, Z.W., et al., 1984. Stratigraphic Sequences of the Lancang and Chongshan Groups in Western Yunnan and Their Volcanism and Metamorphism. *Journal of Chengdu University of Technology*, (2):12－20 (in Chinese).

Whittington, A.G., Treloar, P.J., 2002. Crustal Anatexis and Its Relation to the Exhumation of Collisional Orogenic Belts, with Particular Reference to the Himalaya. *Mineralogical Magazine*, 66(1): 53－91.

Wilson, M., 1989. Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman, London, 1－466.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geological Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20: 325－343.

Winter, J.D., 2001. An Introduction Igneous and Metamorphic Petrology. Printice Hall, New Jersey, 1－697.

Wu, Y.B., Zheng, Y.F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1554－1569 (in Chinese).

Xiong, J.Y., 1989. The Summary of Strata in Yunnan Province. *Yunnan Regional Geology*, 7: 10－31 (in Chinese with English abstract).

Xu, Y.F., Liu, J.P., Cong, F., et al., 2018. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Chongshan Group in the Xiaowan Area along the Southern Section of the Lancang River in Western Yunnan and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 37(6): 1006－1014 (in Chinese with English abstract).

Yin, A., Harrison, T.M., 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Reviews Earth Planet Science*, 28(1): 211－280.

Yunnan Institute of Geological Survey, 2008. 1∶250 000 Dali Regional Geological Survey Report (in Chinese).

Yunnan Institute of Geological Survey, 2011. 1∶50 000 Regional Geological and Mineral Survey Report of Baoshan, Banqiao, Huayao, Shanyang, Jinji, Yongping, Changjie and Longjie in Yunnan Province (in Chinese).

Yunnan Institute of Geological Survey, 2019. 1∶50 000 Regional Geological Survey of Guizhou, Baofeng, Caojian and Gongguo Street in Yunnan Province (in Chinese).

Zhai, M.G., Cong, B.L., Qiao, G.S., et al., 1990. Sm-Nd and Rb-Sr Geochronology of Metamorphic Rocks from SW Yunnan Orogenic Zones, China. *Acta Petrologica Sinica*, 6(4)∶1－11(in Chinese with English abstract).

Zhang, B., Zhang, J.J., Zhong, D.L., 2010. Structure, Kinematics and Ages of Transpression during Strain-Partitioning in the Chongshan Shear Zone, Western Yunnan, China. *Journal of Structural Geology*, 32(4): 445－463.

Zhang, Q., 2012. Commengt on Harke Diagram of the Granite. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(3): 425－431 (in Chinese with English abstract).

Zhong, D.L., 1998. Paleotethyan Orogenic Belts in Yunnan and Western Sichuan. Science Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

云南省地质调查局,2013.云南省成矿地质背景研究报告.

云南省地质矿产局,1990.云南省区域地质志.北京:地质出版社.

蔡志慧,许志琴,段向东, 等, 2013.青藏高原东南缘滇西早古生代早期造山事件.岩石学报,29(6): 2123－2140.

曹延,康志强,许继峰, 等,2020.拉萨地块西部狮泉河地区典中组火山岩年代学、地球化学特征及其构造意义.地球科学,45(5):1573－1592.

地质矿产部三江地质编委会地质图编图组, 1986.怒江、澜沧江、金沙江区域地质图(1∶100万)说明书.北京:地质出版社.

董美玲,董国臣,莫宣学, 等, 2012.滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义.岩石学报,28(5): 1453－1464.

高峰,裴先治,李瑞保, 等,2019.东秦岭商丹地区刘岭群浅变质沉积岩系碎屑锆石U-Pb年龄及其地质意义.地球科学,44(7): 2519－2531.

黄亮,吕勃烨,王晓林,等,2021.滇西漕涧地区两类晚奥陶世强过铝花岗岩的锆石U-Pb年龄、地球化学特征、Hf同位素组成及对泛非运动的指示.地质通报,待刊.

黄亮, 吴嘉林, 王晓林, 等, 2020.滇西漕涧地区崇山造山带伟晶岩的发现与地质意义.矿物学报, 40(5): 584－594.

李文昌,潘桂棠,侯增谦,等,2010.西南"三江"多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术.北京:地质出版社.

刘本培, 冯庆来, Chonglakmani, C., 等, 2002.滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸.地学前缘, 9(3): 161－171.

刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 等, 2017.滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义.岩石矿物学杂志, 36(2): 163－174.

毛晓长,王立全,李冰,等,2012.云县-景谷火山弧带大中河晚志留世火山岩的发现及其地质意义.岩石学报,28(5): 1517－1528.

毛晓长, 尹福光, 唐渊, 等, 2014.保山地块西缘早古生代增生造山作用.地球科学, 39(8): 1129－1139.

莫宣学,沈上越,朱勤文,等,1998.三江中南段火山岩-蛇绿岩与成矿.北京:地质出版社,1－128.

彭智敏,张辑,关俊雷,等,2018.滇西"三江"地区临沧花岗岩基早-中奥陶世花岗质片麻岩的发现及其意义.地球科学,43(8):2571－2585.

成都地质学院岩石教研室火山岩组, 1980.滇西漕涧地区崇山岩群海相火山岩的发现及其变质作用.矿物岩石,1: 32－41.

王保弟,王立全,王冬兵, 等, 2018.三江昌宁-孟连带原-古特提斯构造演化.地球科学,43(8): 2527－2550.

王丹丹,李宝龙,季建清,等, 2014.澜沧江构造带南段变质岩系锆石U-Pb年代学及构造涵义.岩石学报,30(9): 2725－2738.

王冬兵,尹福光,罗亮,等,2015.昌宁-孟连构造带牛井山地区大勐龙岩群碎屑锆石U-Pb定年及其地质意义.矿物

岩石,35(3):72－80.

王国芝, 刘登忠, 朱利东, 等, 2000. 滇西时代不明变质岩系的解体和时代厘定. 中国区域地质, 19(1): 32－37.

卫管一,冯国荣,罗再文,等,1984. 滇西澜沧群、崇山群地层层序及其火山作用和变质作用. 成都地质学院学报(自然科学版),(2):12－20.

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. 科学通报,49(16): 1554－1569.

熊家镛, 1989. 云南地层概述. 云南区域地质,7: 10－31.

徐云飞, 刘军平, 丛峰, 等, 2018. 滇西澜沧江南段小湾地区崇山岩群LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其地质意义. 地质通报, 37(6): 1006－1014.

云南省地质调查院,2008.1:25万大理幅区域地质调查报告.

云南省地质调查院,2011. 云南省1:5万保山、板桥、瓦窑、杉阳、金鸡、永平、厂街、龙街8幅区域地质矿产调查报告.

云南省地质调查院,2019. 云南省1:5万归州、宝丰、漕涧、功果街幅区域地质调查报告.

翟明国,从柏林,乔广生,等,1990. 中国滇西南造山带变质岩的Sm-Nd和Rb-Sr同位素年代学. 岩石学报,6(4): 1－11.

张旗,2012. 评花岗岩的哈克图解. 岩石矿物学杂志, 31(3): 425－431.

钟大赉, 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社.