

扬子地块西南缘新元古代辉长岩年代学及其地质意义

陈丛敏

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年4月26日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月30日

摘要

滇西点苍山 - 哀牢山构造带是扬子地块西南缘的重要组成部分, 保存有大量前寒武纪岩石学记录, 是探究扬子地块西南缘前寒武纪构造演化历史的良好载体。本文选取点苍山 - 哀牢山构造带北段点苍山地区的基性岩为研究对象, 通过锆石U-Pb年代学测试分析, 显示点苍山基性岩的形成时代为 779 ± 5 Ma, 属于新元古代时期, 表明点苍山地区发育新元古代岩浆活动。结合区域地质资料与前人研究成果, 扬子地块西南缘的点苍山 - 哀牢山构造带发育有广泛的新元古代岩浆活动, 形成了从酸性岩到基性岩等不同的岩石类型, 形成时代主要集中在870~720 Ma, 持续时间如此长的岩浆活动可能与扬子地块周缘的持续俯冲有关。

关键词

新元古代岩浆活动, 锆石U-Pb定年, 点苍山 - 哀牢山构造带

Neoproterozoic Gabbro Age and Its Geological Significance on the Southwestern Margin of the Yangtze Block

Congmin Chen

School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Apr. 26th, 2024; accepted: Jun. 21st, 2024; published: Jun. 30th, 2024

Abstract

The Diancangshan-Ailaoshan tectonic belt in western Yunnan is a crucial part of the southwestern

margin of the Yangtze Block, preserved a wealth of Precambrian petrology records, serving as an excellent medium for exploring the Precambrian tectonic evolutionary history of the southwestern Yangtze Block. This study focuses on the basic rocks from the northern section of the Diancangshan area within the Diancangshan-Ailaoshan tectonic belt. Through zircon U-Pb geochronological testing and analysis, it is revealed that the Diancangshan basic rocks were formed at 779 ± 5 Ma, belonging to the neoproterozoic era, indicating the presence of neoproterozoic magmatic activity in the Diancangshan area. In conjunction with regional geological data and previous research findings, the Diancangshan-Ailaoshan tectonic belt on the southwestern margin of the Yangtze Block has experienced extensive neoproterozoic magmatic activity, resulting in a variety of rock types from acidic to basic rocks, with formation ages predominantly concentrated between 870~720 Ma. The prolonged duration of such magmatic activity may be related to the continuous subduction along the periphery of the Yangtze Block.

Keywords

Neoproterozoic Magmatic Activity, Zircon U-Pb Geochronological Testing, Diancangshan-Ailaoshan Tectonic Belt

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

扬子地块是华南陆块的重要组成部分,其周缘发育了大量新元古代岩浆岩,这些岩石被认为与新元古代时期 Rodinia 超大陆的汇聚与裂解过程密切相关,记录着该时期扬子地块的岩浆活动和构造演化等信息,从而成为探索超大陆演化过程的重要窗口[1] [2]。前人对扬子地块西缘、北缘和东南缘的新元古代岩浆作用开展了大量研究,并取得了丰富的研究成果,扬子周缘新元古代岩浆活动时限被限定在 900~700 Ma,并对于它们的岩石成因和构造背景主要提出了多种成因模式,如地幔柱模式、板块深俯冲模式和板块-裂谷模式等[3]-[7]。然而,相较于以上地区,扬子地块西南缘新元古代岩浆活动的研究稍显薄弱,不利于完整构建扬子地块新元古代时期的构造演化历史。点苍山-哀牢山构造带是扬子地块西南缘的主体,作为印支板块与扬子地块的分界线,频繁的岩浆活动使其形成了一条构造变形极为强烈的大型构造带[8]。该构造带发育众多元古代地层和前寒武纪岩浆岩[8] [9],其新元古代时期的岩浆作用特征和时空分布,对揭示扬子地块甚至整个华南地区的大地构造演化历史都起着关键作用[10]。前人对哀牢山构造带古生代特提斯演化和新生代大规模的走滑剪切作用等地质活动开展了大量的研究[11] [12],而对该地区新元古代岩浆活动的研究相对缺乏,制约了我们深入理解扬子地块西南缘的构造演化历史。基于此,本文选取位于点苍山-哀牢山构造带北段的点苍山地区出露的基性岩为研究对象,对其开展了详细的锆石 U-Pb 年代学分析测试,获得了其原岩形成的年代学证据,进而探讨锆石年龄含义及其大地构造意义。

2. 地质背景与样品描述

点苍山-哀牢山构造带位于中国云南省西部地区,是扬子地块西南缘重要组成,同时也是青藏高原东南缘一条重要构造带。其西北端起始于点苍山,向东南延伸入越南,总体呈西北-东南向展布 800 km 有余,宽 20~30 km,分布面积约 3800 km²,在云南省西部形成了一个喇叭状的分布格局[8] [13] (图 1)。

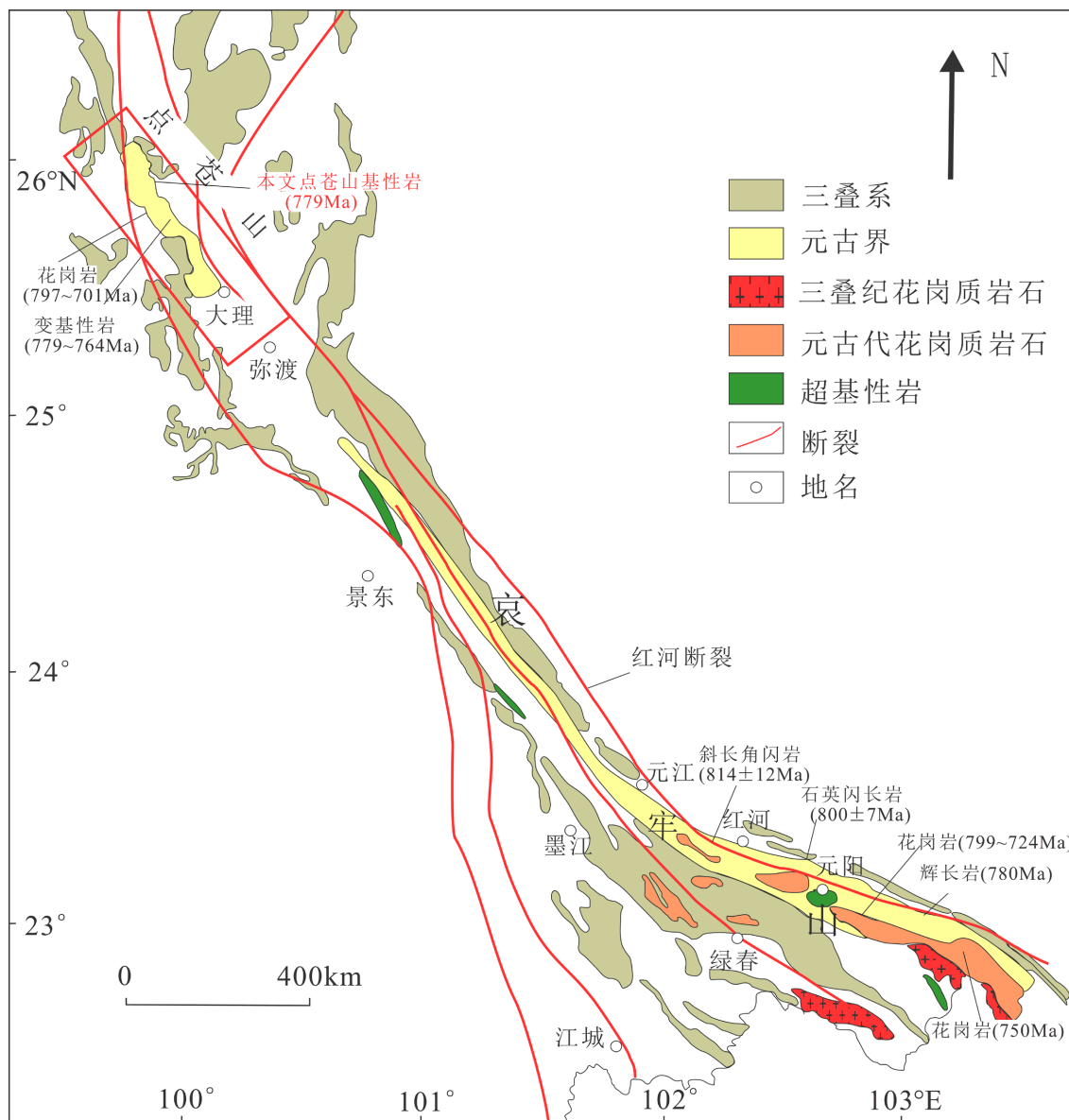


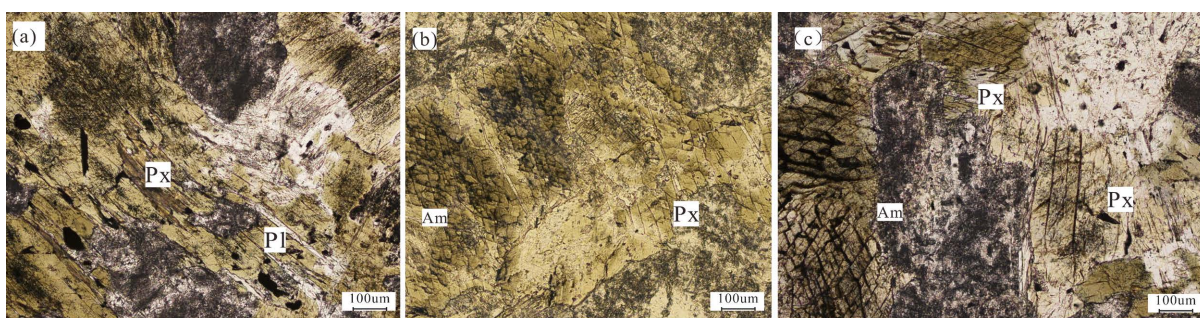
Figure 1. Simplified geological maps of the Diancangshan-Ailaoshan tectonic belt (modified from [14], age data are from Table 2)

图 1. 点苍山 - 哀牢山构造带地质简图(据[14]修改, 年龄数据来自表 2)

点苍山 - 哀牢山构造带在地质历史上经历了多期构造活动, 包括新元古代岩浆活动、古生代 - 早中生代特提斯演化以及新生代印度 - 欧亚板块碰撞, 复杂的地质活动共同构成了具有多期次构造变形变质和岩浆作用的构造混杂岩带[11] [12] [15] [16]。构造带主要以红河断裂和哀牢山断裂控制其走向, 哀牢山断裂将哀牢山变质带一分为二, 东侧为规模宏大的深变质岩带, 保存了大量左行走滑剪切的证据, 主要由元古界高级片麻岩、角闪岩、大理岩、花岗质岩石以及 S-L 型糜棱岩组成, 变质程度为角闪岩 - 绿片岩相, 所有岩石都经历了强烈的左行走滑剪切作用; 西侧为浅变质岩带, 主要由古生界云母片岩、板岩、千枚岩和 S 型初糜棱岩组成, 夹杂着条带状基性岩与超基性岩, 变形程度明显低于北东侧深变质岩带[13] [17]。在哀牢山断裂与红河断裂之间分布有一套西北 - 东南向的元古代地层, 前人将其划分为苍山群、哀牢山群以及瑶山群[8]。

点苍山变质带位于点苍山-哀牢山构造带西北段,长 80 km,宽 12~15 km,地处甘孜-理塘构造带与金沙江构造带交汇处[8],南起大理点苍山,北至洱源罗平山,以变质岩为主,在地理分布上与弥渡-下关的中生界未变质地层南北相对[18]。哀牢山断裂向北纵贯点苍山变质带,致使点苍山变质岩发生强烈塑性形变,糜棱岩化明显,变形变质特征与哀牢山深变质岩系相似,主要岩石类型为眼球状、条带状、条痕状黑云母长英质片麻岩、斜长角闪岩、云母石英片岩和大理岩等[18] [19]。

本文样品采自点苍山东侧,岩性均为辉长岩,主要矿物有斜长石(30%~45%)、角闪石(30%~35%)、辉石(10%~20%),副矿物主要包括磷灰石、锆石、钛铁矿、磁铁矿等。显微镜下可观察到样品具有较典型的辉长结构,辉石与斜长石自行程度相近,相互穿插地不规则排列(图 2(b)和图 2(c))。其中,斜长石多呈半自形无色透明板状,局部可见聚片双晶,部分发生明显的泥化和绿帘石化,边部未见明显蚀变(图 2(a));角闪石呈自行-半自形柱状,多色性显著,为浅蓝-黄褐色,镜下可见明显二组斜交节理,部分发生绿泥石化(图 2(c));辉石多呈半自形柱状,二组近直交解理明显。



Pl-斜长石; Am-角闪石; Px-辉石

Figure 2. Photomicrographs of the gabbro from the Diancangshan area

图 2. 点苍山辉长岩显微照片

3. 分析方法

使用细砂纸和研磨机去除样品表面风化层,以确保分析的是岩石内部的新鲜物质,而后将岩石样品进行破碎、淘洗,再到显微镜下挑选具有代表性的锆石颗粒,锆石制靶由河北廊坊宏信地质公司完成,锆石透反射照片和阴极发光图像拍摄以及锆石 U-Pb 年龄测定在桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室完成。对于需要进行阴极发光(CL)分析的锆石进行了喷碳处理,以提高图像质量,将拍好的照片标注好需要打点的部位,以便在后续实验中对照锆石的位置。在进行样品的锆石 U-Pb 年龄测试之前,首先通过透反射照片和阴极发光图像观察其内部结构,如环带、生长纹理等,再利用 LA-ICP-MS (激光-电感耦合等离子体质谱仪)对其进行 U-Pb 同位素测定。本次测试所用仪器型号为 Agilent-7500cx,所用激光束斑直径设置为 32 μm ,使用 He 作为载气,为确保数据的准确性,采用国际标准锆石 91,500 (1064 Ma) 和标准硅酸盐玻璃 NIST SRM610 分别校正锆石 U-Pb 同位素比值和计算元素含量。实验测试所得数据通过 ICPMSDataCal12.2 软件对采集到的信号进行校正,包括仪器灵敏度漂移校正、元素分馏效应校正以及普通铅校正。锆石 U-Pb 年龄谐和图的绘制和加权平均年龄的计算采用国际标准程序 Isoplot4.15 进行,单个数据点误差均为 1σ 。

4. 分析结果

样品的锆石 U-Pb 年代学分析结果见表 1。用于定年的锆石绝大多数呈柱状,颜色以浅棕、浅褐色为主,呈透明-半透明状。锆石长度约 100 μm ,从阴极发光图像(CL)上可以看出,锆石具有典型的岩浆生长振荡环带(图 3),表明是典型的岩浆成因锆石。

Table 1. Zircon U-Pb isotopic analyses results of the gabbro from the Diancangshan area
表 1. 点苍山辉长岩锆石 U-Pb 同位素测试结果

点号	元素/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma					
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
样品 16MH37															
1	68	432	0.1577	0.0591	0.0094	1.1568	0.0730	0.1291	0.0019	572	348	780	34	783	11
2	106	414	0.2573	0.0594	0.0078	1.1366	0.0581	0.1267	0.0027	589	290	771	28	769	16
3	135	595	0.2273	0.0660	0.0031	1.1233	0.0503	0.1289	0.0016	806	100	765	24	782	9
4	236	726	0.3250	0.0626	0.0032	1.1235	0.0308	0.1291	0.0011	694	306	765	15	783	7
5	194	681	0.2848	0.0690	0.0026	1.1672	0.0336	0.1285	0.0013	900	77	785	16	779	8
6	143	942	0.1520	0.0577	0.0044	1.1295	0.0285	0.1281	0.0013	517	167	767	14	777	7
7	131	498	0.2639	0.0627	0.0038	1.1087	0.0434	0.1293	0.0018	698	134	758	21	784	10
8	81	305	0.2656	0.0649	0.0030	1.1262	0.0589	0.1303	0.0021	769	66	766	28	789	12
9	106	392	0.2713	0.0600	0.0062	1.1513	0.0494	0.1291	0.0023	611	226	778	23	783	13
10	180	535	0.3369	0.0563	0.0070	1.1430	0.0480	0.1300	0.0027	461	275	774	23	788	15
11	48	221	0.2146	0.0560	0.0094	1.1607	0.1302	0.1307	0.0036	454	378	782	61	792	21
12	177	514	0.3439	0.0672	0.0041	1.1622	0.0708	0.1285	0.0023	843	129	783	33	779	13
13	99	275	0.3596	0.0684	0.0032	1.4400	0.0719	0.1553	0.0022	881	94	906	30	931	13
14	98	278	0.3537	0.0679	0.0034	1.1630	0.0593	0.1261	0.0018	865	100	783	28	766	10
15	364	798	0.4561	0.0727	0.0025	1.4981	0.0500	0.1514	0.0019	1006	38	930	20	909	11
16	80	232	0.3439	0.0679	0.0034	1.4517	0.0803	0.1564	0.0028	865	99	911	33	937	16
17	66	316	0.2102	0.0741	0.0032	1.5098	0.0632	0.1517	0.0026	1056	89	934	26	911	14
18	54	188	0.2848	0.0580	0.0129	1.1312	0.1618	0.1296	0.0035	532	435	768	77	786	20
19	80	337	0.2383	0.0670	0.0035	1.4355	0.0510	0.1551	0.0028	839	110	904	21	930	15
20	111	429	0.2580	0.0690	0.0046	1.4354	0.1156	0.1549	0.0028	898	139	904	48	928	15

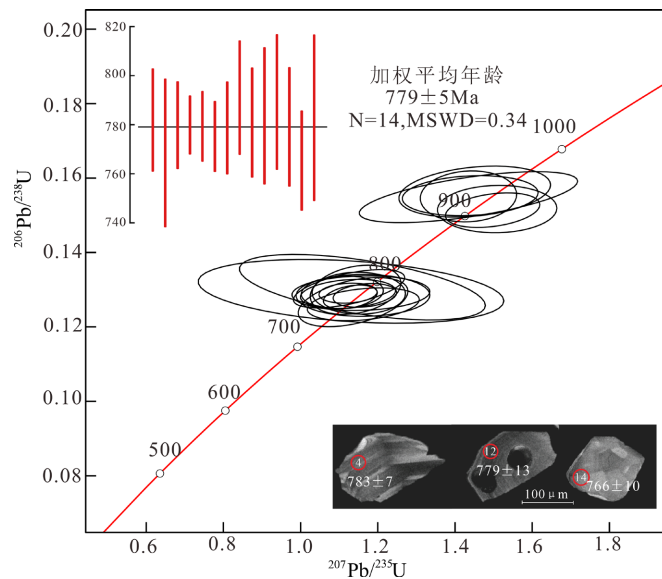


Figure 3. Zircon U-Pb concordia diagrams and representative CL images for the gabbro from the Diancangshan area
图 3. 点苍山辉长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图及其代表性锆石阴极发光图像

样品 16MH37: 共选取了 20 个锆石颗粒进行分析, 显示其 U 含量为 $188 \times 10^{-6} \sim 942 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $54 \times 10^{-6} \sim 364 \times 10^{-6}$, Th/U 值范围为 0.15~0.46。有 14 个分析点落在谐和线上(图 3), 给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $779 \pm 5 \text{ Ma}$ ($N = 14$, $\text{MSWD} = 0.34$), 代表了该样品的形成年龄。其余 6 个分析点加权平均年龄为 $922 \pm 10 \text{ Ma}$ ($N = 6$, $\text{MSWD} = 0.53$), 推测为继承锆石。

5. 讨论

5.1. 成岩时代

前人研究显示, 扬子地块周缘地区普遍发育新元古代岩浆活动(表 2), 年代学数据统计显示这些岩浆岩年龄多集中在 900~700 Ma, 且普遍具有岛弧玄武岩的地球化学特征[10]。滇西点苍山 - 哀牢山构造带也相继识别出了一系列新元古代岩浆作用信息, 如哀牢山群发育的酸性岩(833~724 Ma)、中性岩(810~782 Ma)以及基性 - 变基性岩(814~766 Ma) [7] [16] [20] [21]; 瑶山群保存的花岗质岩(801~748 Ma)和变基性岩(766~711 Ma) [10] [19]。近些年来, 的研究显示, 点苍山地区也保存有新元古代岩浆作用记录, 如在苍山群识别的酸性岩(797~701 Ma)和变基性岩(779~764 Ma) [14] [22]。本文在点苍山识别的辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果为 $779 \pm 5 \text{ Ma}$, 表明点苍山地区发育新元古代基性岩浆活动。

Table 2. Age of neoproterozoic magmatic rocks of the Yangtze Block and its surrounding areas (data are from literature [10])
表 2. 扬子地块周缘地区新元古代岩浆岩年龄统计表(引自文献[10])

地区	岩石单元	定年方法	年龄(Ma)	数据来源
扬子东缘	花岗岩(道林山)	SHRIMP	775 ± 13	Wang <i>et al.</i> , 2010
	花岗岩(鲁家寨)	LA-ICP-MS	816 ± 17	孙洋等, 2011
	上镇群花岗闪长岩	SHRIMP	878.96 ± 4.5	高林志等, 2014
	神武辉绿岩	SHRIMP	849 ± 7	Li <i>et al.</i> , 2008
	花岗闪长岩	LA-ICP-MS	824 ± 6	Wu <i>et al.</i> , 2018
	铺岭组安山岩	LA-ICP-MS	765 ± 15	朱强等, 2020
	历口群井潭组英安岩	LA-ICP-MS	773 ± 7	Zheng <i>et al.</i> , 2008
	历口群井潭组凝辉岩	LA-ICP-MS	779 ± 11	Zheng <i>et al.</i> , 2008
扬子南缘	基性火山岩(鹰扬关群)	TIMS	819 ± 11	周汉文等, 2002
	辉长岩(鹰扬关罗家山)	LA-ICP-MS	769 ± 7	秦亚等, 2022
	流纹英安岩(龙胜三门街组)组)	SHRIMP	765 ± 14	Zhou <i>et al.</i> , 2007
	黔东南碱性基性岩墙群	SIMS	827 ± 8	Fan <i>et al.</i> , 2023
	清水江组凝灰岩	LA-ICP-MS	768 ± 5	吴开彬等, 2022
	辉绿岩(黔阳)	SHRIMP	747 ± 18	Wang <i>et al.</i> , 2008
	宰便辉绿岩	MC-ICP-MS	821 ± 3	王琦崧等, 2022
花岗岩(西湾)	SHRIMP	880 ± 19	Li <i>et al.</i> , 2022	
扬子北缘	花岗岩(苗儿山岩体)	LA-ICP-MS	807 ± 11	杜云等, 2017
	大巴山碎屑岩	LA-ICP-MS	770~705	向忠金等, 2016
	南秦岭侵入岩	LA-ICP-MS	716~705	Wang <i>et al.</i> , 2017

续表

	陡岭斜长角闪岩	LA-ICP-MS	817 ± 4	He <i>et al.</i> , 2023
	袁家沟辉长岩	LA-ICP-MS	905 ± 11	王得权等, 2021
	大磊山片麻状花岗岩	LA-ICP-MS	845 ± 12	曹正琦等, 2017
	西申坝奥长质黑云母花岗岩	LA-ICP-MS	~890	Ao <i>et al.</i> , 2019
	红庙花岗岩	LA-ICP-MS	802~791	Ao <i>et al.</i> , 2019
扬子西缘	泸定辉长岩、闪长岩	LA-ICP-MS	~780	Zhu <i>et al.</i> , 2023
	峨山黑云母二长花岗岩	LA-ICP-MS	827 ± 2.5	徐丽娟等, 2021
	泸沽钾长花岗岩	LA-ICP-MS	806 ± 5	鄢圣武等, 2017
	碧口花岗闪长岩	LA-ICP-MS	821.3 ± 5.5	秦利等, 2021
	盐边群火山岩	LA-ICP-MS	934~797	刘佩雯等, 2023
	盐边群辉长闪长岩	LA-ICP-MS	810.4 ± 2	Zhu <i>et al.</i> , 2019
	盐边群钾长花岗岩	LA-ICP-MS	749.1 ± 2	Zhu <i>et al.</i> , 2019
	石棉安顺场钾长花岗岩	LA-ICP-MS	777 ± 5	朱毓等, 2017
	米易水陆闪长岩	LA-ICP-MS	850~835	赖绍聪和朱毓, 2020
	扬子西南缘	哀牢山辉长岩	LA-ICP-MS	~780
哀牢山 - 红河带花岗岩		LA-ICP-MS	~750	Liu <i>et al.</i> , 2019
点苍山 - 哀牢山花岗质岩		LA-ICP-MS	780 ± 6.3	冀磊等, 2017a
哀牢山 - 红河带花岗岩		SHRIMP	799~724	Chen <i>et al.</i> , 2017
哀牢山斜长角闪岩		LA-ICP-MS	814 ± 12	蔡永丰等, 2014
点苍山变基性岩		LA-ICP-MS	779~764	麻艺超等, 2021
点苍山花岗质岩脉		LA-ICP-MS	842~833	刘俊来等, 2008
点苍山辉长岩		LA-ICP-MS	779 ± 5	本文

上述数据表明, 滇西点苍山 - 哀牢山构造带与扬子地块其他周缘地区相似, 亦广泛发育新元古代岩浆活动, 形成了从酸性岩到基性岩等不同的岩石类型, 形成时代主要集中在 833~701 Ma。

5.2. 大地构造意义

前人对扬子地块新元古代时期经历的频繁岩浆活动进行了大量研究, 为揭示新元古代时期华南板块构造演化提供了重要依据[1] [2]。目前对于华南板块新元古代岩浆活动的成因机制仍然存在激烈争议, 典型的成因模式有地幔柱和板块深俯冲等观点。地幔柱成因模式认为新元古代时期扬子地块周缘的岩浆活动受控于超级地幔柱的上涌, 扬子地块处于 Rodinia 的中心位置[23] [24], 板块深俯冲模式认为新元古代时期扬子地块周缘岩浆活动是由大洋板块俯冲作用引起, 扬子地块位于 Rodinia 超大陆的边缘[7] [16]。

大量研究资料表明, 地幔柱诱发的岩浆活动具瞬时性, 通常在 1~5 Ma 内快速喷发, 而且形成规模巨大, 常常伴随有大规模的大陆溢流玄武岩和基性岩墙群, 如峨眉山大火成岩省, 澳大利亚 Gairdner 和 Amtata 岩墙群等[25]。从现有的数据资料来看, 扬子地块新元古代岩浆岩不具有地幔柱岩浆岩放射状分布的特征, 而是呈带状分布的以中酸性岩为主的岩石(表 2), 不具有地幔柱成因的大火成岩省特征。同时,

扬子地块周缘地区发育了持续时间超过 100 Ma 的新元古代岩浆活动(表 2)。如扬子地块北缘的汉南奥长花岗岩(728 ± 3 Ma)、大汉山辉长岩($793\sim 779$ Ma) [26]; 扬子地块南缘四堡地区的辉长岩(~ 830 Ma) [27]; 扬子地块东缘大别山的花岗岩(816 ± 17 Ma) [28]; 扬子地块东南缘铺岭组的玄武安山岩(765 ± 15 Ma) [4]; 扬子地块西北缘碧口的花岗闪长岩(821 ± 5.5 Ma) [29]; 扬子地块西缘峨山的黑云母二长花岗岩(826.6 ± 2.5 Ma)和花岗闪长岩(818.3 ± 2.8 Ma) [30], 康滇裂谷的辉绿岩(~ 837 Ma) [6]以及扬子地块西南缘哀牢山构造带的花岗岩($799\sim 724$ Ma)、闪长岩(800 ± 7 Ma)、斜长角闪岩(814 ± 12 Ma) [20] [21]和本文的辉长岩(779 ± 5 Ma)。大量的地震, 沉积, 显微构造分析和火成岩的证据为扬子地块周缘的持续俯冲过程提供了制约。Gao *et al.* [31]提供了一个新的多道地震反射剖面, 该剖面是通过 SINOPROBE 成像仪在四川盆地采集的突出反射体, 这些深反射剖面被解释为古老俯冲作用的遗迹, 新发现的反射层被认为是扬子地块沿着新元古代俯冲带的残余。Sun *et al.* [32]通过对盐边群新元古代沉积岩中的碎屑锆石年代学研究, 提出在 1000~740 Ma 发育了一个重要的岩浆活动弧, 与扬子地块西缘发育持续俯冲事件的时间间隔相一致。张慰[33]通过对扬子地块西缘 - 西南缘新元古代杂岩体进行详细的显微构造分析显示, 该岩体岩浆流动面理走向大致呈南北向, 表明这些杂岩体在侵入过程中受到了近东西向的挤压作用, 这种南北向的原始岩浆流动面理为扬子地块自西向东的持续俯冲和挤压活动提供了证据。在本文研究中, 点苍山辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 779 ± 5 Ma, 结合相关区域地质资料, 点苍山 - 哀牢山构造带发育较大规模、持续时间较长的新元古代($833\sim 701$ Ma)酸性岩和(变)基性岩等岩石(表 2), 暗示本文研究的点苍山辉长岩的形成是对扬子地块西南缘板块持续俯冲的响应。反映了华南板块在新元古代时期应位于 Rodinia 超大陆的边缘位置, 从而可以经历长时间的持续俯冲作用, 导致了扬子地块周缘地区时间跨度大于 100 Ma 岩浆活动的形成(表 2)。除此之外, 扬子陆块西南缘的中 - 新元古代沉积地层与印度中北部的岩群在碎屑锆石年龄分布上展现出极高的相似性, 有着几乎相同的年龄峰值。同时, 扬子地块还与印度板块具有类似的新远古代 - 寒武纪沉积和化石亲缘关系, 表明扬子地块与印度板块北部在新元古代时期非常靠近[34] [35]。孙力[36]通过对比东南极洲、澳大利亚、印度中北部以及扬子陆块西南缘元古代时期的沉积地层中的碎屑锆石年龄分布, 发现他们的年龄峰值高度一致; 进一步的多维标度分析显示, 这些不同地区的碎屑锆石年龄数据都聚集在一起, 暗示了它们可能拥有共同的物源供给。这些相似性表明在新元古代时期, 这四个陆块地理位置十分相近, 进一步表明新元古代时期华南板块位于 Rodinia 超大陆的边缘。

6. 结论

- 1) 扬子地块西南缘点苍山辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 779 ± 5 Ma, 表明滇西点苍山地区发育新元古代基性岩浆作用, 岩浆活动时期限定为 833~701 Ma。
- 2) 点苍山辉长岩其形成机制与扬子地块周缘地区发生的板块持续俯冲作用密切相关, 新元古代时期华南大陆的古地理位置应处于 Rodinia 超大陆的边缘。

参考文献

- [1] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 515-523.
- [2] 李献华, 李武显, 何斌. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合-裂解——观察、解释与检验[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(6): 543-559.
- [3] Zhang, X.Q., Zhang, H.F., Zou, H.B. (2020) Rift-Related Neoproterozoic Tholeiitic Layered Mafic Intrusions at Northern Yangtze Block, South China: Mineral Chemistry Evidence. *Chemicals & Chemistry*, 356-357, Article 105376. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105376>
- [4] 朱强, 施珂, 吴礼彬, 等. 扬子板块新元古代中期的持续俯冲作用: 来自南华纪岛弧火山岩年代学和岩石地球化学新证据[J]. 地学前缘, 2020, 27(4): 17-32.

- [5] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 扬子地块西北缘轿子顶新元古代过铝质花岗岩: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和岩石地球化学及其构造意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 231-249.
- [6] Hu, P.Y., Zhai, Q.G., Wang, J., *et al.* (2020) U-Pb Zircon Geochronology, Geochemistry, and Sr-Nd-Hf-O Isotopic Study of Middle Neoproterozoic Magmatic Rocks in the Kangdia Rift, South China: Slab Rollback and Backarc Extension at the Northwestern Edge of the Rodinia. *Precambrian Research*, **347**, Article 105863.
- [7] Cai, Y.F., Liu, H.C., Feng, Z.H., *et al.* (2020) Neoproterozoic Active Margin of the SW South China Block: Constraints from U-Pb Ages, Sr-Nd Isotopes and Geochemical Data for the Gabbro and Granodiorite along the Ailaoshan Tectonic Belt. *Lithos*, **358-359**, Article 105387. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105387>
- [8] 云南省地矿局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [9] 朱炳泉, 常向阳, 邱华宁, 等. 云南前寒武纪基底形成与变质时代及其成矿作用年代学研究[J]. 前寒武纪研究进展, 2001, 24(2): 75-82.
- [10] 刘昊茹. 云南瑶山群新元古代岩浆作用的年代学和地球化学特征及其地质意义[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2023.
- [11] Chung, S.L., Lee, T.Y., Lo, C.H., *et al.* (1997) Intraplate Extension Prior to Continental Extrusion along the Ailao-Shan-Red River Shear Zone. *Geology*, **25**, 311-314. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025%3C0311:IEPTCE%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025%3C0311:IEPTCE%3E2.3.CO;2)
- [12] Deng, J., Wang, Q., Li, G., *et al.* (2014) Cenozoic Tectono-Magmatic and Metallogenic Processes in the Sanjiang Region, Southwestern China. *Earth-Science Reviews*, **138**, 268-299. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.05.015>
- [13] 黄学猛, 许志琴, 张进江. 哀牢山-红河断裂带新生代构造转换及其动力学机制[J]. 地球学报, 2017, 38(z1): 7-10.
- [14] 麻艺超, 蔡永丰, 马莉燕, 等. 滇西点苍山新元古代斜长角闪岩的成因: 来自锆石 U-Pb 年龄和全岩地球化学的证据[J]. 地球科学, 2021, 46(8): 2860-2872.
- [15] 王二七, 樊春, 王刚, 等. 滇西哀牢山-点苍山形成的构造和地貌过程[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 220-228.
- [16] Xu, J., Xia, X.P., Yin, C.Q., *et al.* (2022) Geochronology and Geochemistry of the Granitoids in the Diancangshan-Ailaoshan Fold Belt: Implications on the Neoproterozoic Subduction and Crustal Melting along the Southwestern Yangtze Block, South China. *Precambrian Research*, **383**, Article 106907. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2022.106907>
- [17] 张进江, 钟大赉, 桑海清, 等. 哀牢山-红河构造带古新世以来多期活动的构造和年代学证据[J]. 地质科学, 2006, 41(2): 291-310.
- [18] 翟明国, 从柏林. 对于点苍山-石鼓变质带区域划分的意见[J]. 岩石学报, 1993, 9(3): 227-239.
- [19] 李宝龙, 季建清, 王丹丹, 等. 滇南新元古代的岩浆作用: 来自瑶山群深变质岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 地质学报, 2012, 86(10): 1584-1591.
- [20] 蔡永丰, 王岳军, 刘汇川, 等. 哀牢山新元古代斜长角闪岩的形成时代、地球化学特征及其大地构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(1): 168-180.
- [21] Cai, Y.F., Wang, Y.J., Cawood, P.A., *et al.* (2015) Neoproterozoic Crustal Growth of the Southern Yangtze Block: Geochemical and zircon U-Pb Geochronological and Lu-Hf Isotopic Evidence of Neoproterozoic Diorite from the Ailaoshan Zone. *Precambrian Research*, **266**, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.008>
- [22] Li, D.P., Chen, Y.L., Kang, H., *et al.* (2018) Neoproterozoic Continental Arc System along the NW Margin of Rodinia Supercontinent: Constraints from Geochronological and Geochemical Studies of Neoproterozoic Granitoids in the Diancangshan Massif. *Lithos*, **316-317**, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.07.011>
- [23] Li, X.H., Li, Z.X., Zhou, H., *et al.* (2002) U-Pb Zircon Geochronology, Geochemistry and Nd Isotopic Study of Neoproterozoic Bimodal Volcanic Rocks in the Kangdian Rift of South China: Implications for the Initial Rifting of Rodinia. *Precambrian Research*, **113**, 135-154. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00207-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00207-8)
- [24] Wang, X.C., Li, X.H., Li, W.X., *et al.* (2007) Ca. 825 Ma Komatiitic Basalts in South China: First evidence for >1500°C Mantle Melts by a Rodinian Mantle Plume. *Geology*, **35**, 1103-1106. <https://doi.org/10.1130/G23878A.1>
- [25] Kou, C.H., Liu, Y.X., Huang, H., *et al.* (2018) The Neoproterozoic Arc-Type and OIB-Type Mafic-Ultramafic Rocks in the Western Jiangnan Orogen: Implications for Tectonic Settings. *Lithos*, **312-313**, 38-56. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.05.004>
- [26] Ao, W.H., Zhao, Y., Zhang, Y., *et al.* (2019) The Neoproterozoic Magmatism in the Northern Margin of the Yangtze Block: Insights from Neoproterozoic (950-706 Ma) Gabbroic-Granitoid Rocks of the Hannan Complex. *Precambrian Research*, **333**, Article 105442. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105442>
- [27] 寇彩化, 刘燕学, 李江, 等. 江南造山带西段桂北四堡地区 830 Ma 辉长岩锆石 SIMS U-Pb 年代学和岩石地球化学特征及其岩石成因研究[J]. 地学前缘, 2022, 29(2): 218-233.

- [28] 孙洋, 马昌前, 张超. 大别山鲁家寨花岗岩地球化学、锆石年代学和 Hf 同位素特征: 扬子克拉通北东缘新元古代岩浆活动证据[J]. 地学前缘, 2011, 18(2): 85-99.
- [29] 秦利, 裴先治, 李佐臣, 等. 扬子板块西北缘碧口微地块新元古代大陆弧岩浆作用: 来自锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素和地球化学证据[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(4): 686-709.
- [30] 徐丽娟, 李萍, 刘铮, 等. 扬子地块西缘峨山新元古代 A2 型花岗岩闪长岩的成因及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2021, 40(2): 383-394.
- [31] Gao, R., Chen, C., Wang, H., *et al.* (2016) SINOPROBE Deep Reflection Profile Reveals a Neo-Proterozoic Subduction Zone beneath Sichuan Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, **454**, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.08.030>
- [32] Sun, W.H., Zhou, M.F., Gao, J.F., *et al.* (2009) Detrital Zircon U-Pb Geochronological and Lu-Hf Isotopic Constraints on the Precambrian Magmatic and Crustal Evolution of the Western Yangtze Block, SW China. *Precambrian Research*, **172**, 99-126. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2009.03.010>
- [33] 张慰. 扬子地台西南缘新元古代岩浆杂岩体的构造变形与地质意义[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2017.
- [34] Jiang, G.Q., Sohl, L.E. and Christie-Blick, N. (2003) Neoproterozoic Stratigraphic Comparison of the Lesser Himalaya (India) and Yangtze Block (South China): Paleogeographic Implications. *Geology*, **31**, 917-920. <https://doi.org/10.1130/G19790.1>
- [35] Zhao, J.H., Pandit, M.K., Wang, W., *et al.* (2018) Neoproterozoic Tectonothermal Evolution of NW India: Evidence from Geochemistry and Geochronology of Granitoids. *Lithos*, **316-317**, 330-346. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.07.020>
- [36] 孙力. 扬子陆块西南缘中-新元古代沉积盆地构造演化及其地质意义[D]: [博士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2022.