

临沧地体亲缘性及南段组物源

——来自泥盆纪—石炭纪南段组碎屑锆石U-Pb年龄的证据

曾文涛¹, 刘桂春^{1,2}, 冯庆来², 赵天宇², 俞赛赢¹, 邓仁宏¹, 莫熊¹
ZENG Wentao¹, LIU Guichun^{1,2}, FENG Qinglai², ZHAO Tianyu², YU Saiying¹,
DENG Renhong¹, MO Xiong¹

1. 云南省地质调查院, 云南 昆明 650216;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074

1. *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, Yunnan, China;*

2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*

摘要:对临沧地体泥盆纪—石炭纪南段组的沉积岩开展碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb定年研究结果表明,所有样品的U-Pb年龄谱存在3个主要峰值:泛非期(530~680Ma)、晚格林威尔期(900~980Ma)和早格林威尔期(1100~1300Ma)。次要峰值年龄为1550~1730Ma和2350~2630Ma,反映了物源区构造-岩浆事件的复杂性。南段组碎屑岩锆石年龄图谱明显区别于思茅地块泥盆纪—石炭纪碎屑锆石年龄图谱,临沧地块南段组碎屑锆石的年龄表明其物源来自东冈瓦纳超大陆,临沧地体应该是来自东冈瓦纳北缘的微地块,这也与其生物特征相吻合。

关键词:碎屑锆石;LA-ICP-MS U-Pb年龄;物源分析;碎屑岩;南段组;临沧地体;滇西南

中图分类号:P597+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)07-1175-13

Zeng W T, Liu G C, Feng Q L, Zhao T Y, Yu S Y, Deng R H, Mo X. The relationship between Lincang block and provenance of Nanduan Formation: Evidence of detrital zircon U-Pb dating from metasandstone of Devonian-Carboniferous Nanduan Formation. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(7):1175-1187

Abstract: U-Pb ages of detrital zircons of Devonian-Carboniferous Nanduan Formation from Lincang block define three distinctive age peaks in older Grenvillian (1100~1300Ma), younger Grenvillian (900~980Ma) and Pan-African (530~680Ma), and two subordinate group in 1550~1730Ma and 2350~2630Ma, suggesting that the provenance of sediments had multi-source and complex characteristics. The age spectrum is obviously different from detrital zircon age spectrum of the Devonian-Carboniferous sediments of Simao block, which indicates that the sediments of Nanduan Formation came from East Ganwana supercontinent, and the result is indicated by paleobiology which shows a genetic relationship between East Ganwana and paleo-Tethys in southwest Yunnan.

Key words: detrital zircon; LA-ICP-MS U-Pb age; provenance analysis; metasandstone; Nanduan Formation; Lincang block; southwest Yunnan

作为东特提斯域的重要组成部分,位于青藏高原东南缘的云南三江地区的昌宁-孟连构造带是研究特提斯构造演化的重要场所,长期以来受到国内

外学者的重点关注。昌宁-孟连构造带北起昌宁县、云县铜厂街,南至双江、澜沧老厂孟连县,该构造带内主要由发育较完整的蛇绿混杂岩和与之相

收稿日期:2016-12-01;修订日期:2017-06-09

资助项目:中国地质调查局项目《云南区域地质调查片区总结与服务产品开发》(编号:DD20160345-02)、国家自然科学基金项目《滇西南原题特斯及其与古特提斯演化关系研究》(批准号:41672222)和云南省科技基金项目《西南“三江”叠合成矿作用与成矿预测》(编号:2013HA001)

作者简介:曾文涛(1971-),男,学士,高级工程师,从事区域地质调查工作。E-mail: ynhjyzwt@163.com

通讯作者:冯庆来(1961-),男,教授,博士生导师,从事地层古生物学和造山带地质学研究。E-mail: qinglaifeng@cug.edu.cn

关的深水沉积物组成^[1-3]。向北与羌塘地区龙木错-双湖构造带连接,向南与泰国 Chiang Mai-Inthanon 构造带相连,共同组成古特提斯洋主洋盆^[4]。该带被认为是亲冈瓦纳和亲华夏的分界^[5-6]。昌宁-孟连构造带内同时发育早古生代和晚古生代蛇绿岩^[7]。其西侧为保山地块,东侧为临沧地块和思茅地块。泥盆系-石炭系南段组和二叠系拉巴组与下伏新元古界澜沧群共同构成临沧地块的地层序列^[8]。地质学家们对临沧地块的构造属性一直存在较大争议,部分学者认为该地块是长期存在的原位古陆,代表思茅地块的西部边缘^[9-10],是临沧弧的陆坡沉积^[11],其南段组碎屑物源来自思茅地块。而另一些学者认为,临沧地块是在晚二叠世前增生到思茅地块西缘的,具有亲冈瓦纳属性的外来地块,南段组为临沧地块西侧的深水大陆斜坡沉积^[2,8,12]。

临沧地块构造属性的认识,对研究滇西南古特提斯构造格架具有重要意义。对于临沧地块亲缘性的争论主要是缺乏有效的物源年代学方面的约束,前人主要从沉积特征、变质作用、生物特征等角度开展了大量工作^[2,8,10,12-14],对地层碎屑锆石 U-Pb 年龄研究仍属空白。碎屑锆石作为沉积物中常见的富矿物,其 U-Pb 体系相对稳定,不易受后期低级变质作用的影响,其封闭温度最高达 900°C^[15]。因此,研究沉积物中 U-Pb 年龄组成是进行沉积物物源分析、盆地历史演化、大地构造重建等方面的重要手段^[16-20]。本次研究对临沧地块南段组中砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄分析,及其沉积物物源及临沧地块构造属性研究具有重要意义。

1 地质概况与地层描述

南段组位于昌宁-孟连构造带以东,呈南北向展布,其上部被二叠系拉巴组整合覆盖,其下部与新元古界澜沧岩群为构造接触。二叠系拉巴组与泥盆系-石炭系南段组整合接触,以紫红色泥岩与灰色硅质岩出现为二叠系拉巴组底界,将上部硅质组合归为拉巴组。南段组下部为浅灰色、灰白色中厚层状浅变质不等粒石英砂岩、岩屑石英(杂)砂岩、长石石英砂岩与灰绿色、深灰色薄-中层状泥质板岩、粉砂质板岩组成的韵律层,发育不完整的鲍马序列层,类型有 AD、ABD、CD 等,底部多见底模构造,部分砂岩含有泥质砾石,泥岩、粉砂岩中可见

砂纹层理和水平层理;上部为浅灰白色中厚层状变质不等粒长石石英砂岩、长石石英杂砂岩、不等粒石英杂砂岩、不等粒砂岩等夹泥质板岩、粉砂质板岩等,局部还可见鲍马序列层序,底部多见泥质砾石,呈现水道沉积的特点。整体上,南段组从底部至顶部表现出进积型特征。南段组内 D₁S₁ 流劈理平行层理分布,叠加有 D₂S₂ 褶劈理,可能导致岩层厚度增加。南段组中含少量植物碎片、海百合茎、腹足类和丰富的微古植物化石。

根据南段组中见维宪期菊石化石,1:20 万孟连幅区域地质调查报告^①将南段组划归早石炭世。刘本培等^[2]在南段群近顶部采到丰富的孢粉组合,显示维宪期面貌。冯庆来等^[8]在南段组上段采集的菊石化石包括 *Stenopronorites* sp.、*Prolecanites* sp. 等,表明其上段地质时代为纳谿期早期。所以,南段组上段地质时代应为早石炭世末期。1:25 万澜沧县、勐海县幅报告^②发现,在采获的化石下还存在较厚的浊流相石英砂岩段,推测该组的年代地层应属泥盆系-石炭系。总体上,南段组上部属早石炭纪,但不排除下部有部分泥盆系的可能,所以在 1:25 万区域地质调查报告凤庆县幅^③中,将南段组划分为泥盆纪-石炭纪。拉巴组采获放射虫 *Albaillella sinuata* 组合带、*Pseudoalbaillella fusiformis* 组合带、*Follicucullus monacanthus* 组合带、*Follicucullus scholasticus*-*Follicucullus ventricosus* 组合带、*Neoalbaillella ornithoformis* 组合带、*Neoalbaillella optima* 组合带,分别属于早二叠世和晚二叠世化石带。其年代地层应属下一上二叠统。

2 样品采集与实验方法

样品采集地位于滇西孟连县芒信镇北至南段村的公路上,是南段组建组剖面附近的位置(图 1)。野外露头以浅灰色、灰白色中厚层状不等粒石英砂岩与灰绿色、深灰色薄-中层状泥质板岩组成 AD 型鲍马序列韵律层(图 2)。挑选厚层不等粒石英砂岩进行碎屑岩锆石采样,其中石英含量大于 90%,其他多为岩屑,少量为长石和锆石,分选性较差,磨圆度较好。

样品锆石通过重液和重磁法进行分离和分选,在双目镜下对不同色泽、形态和不同粒径大小的锆石进行随机选择,然后将锆石粘贴在环氧树脂表面。将锆石打磨抛光掉 1/2~1/3 的表面制成样靶。

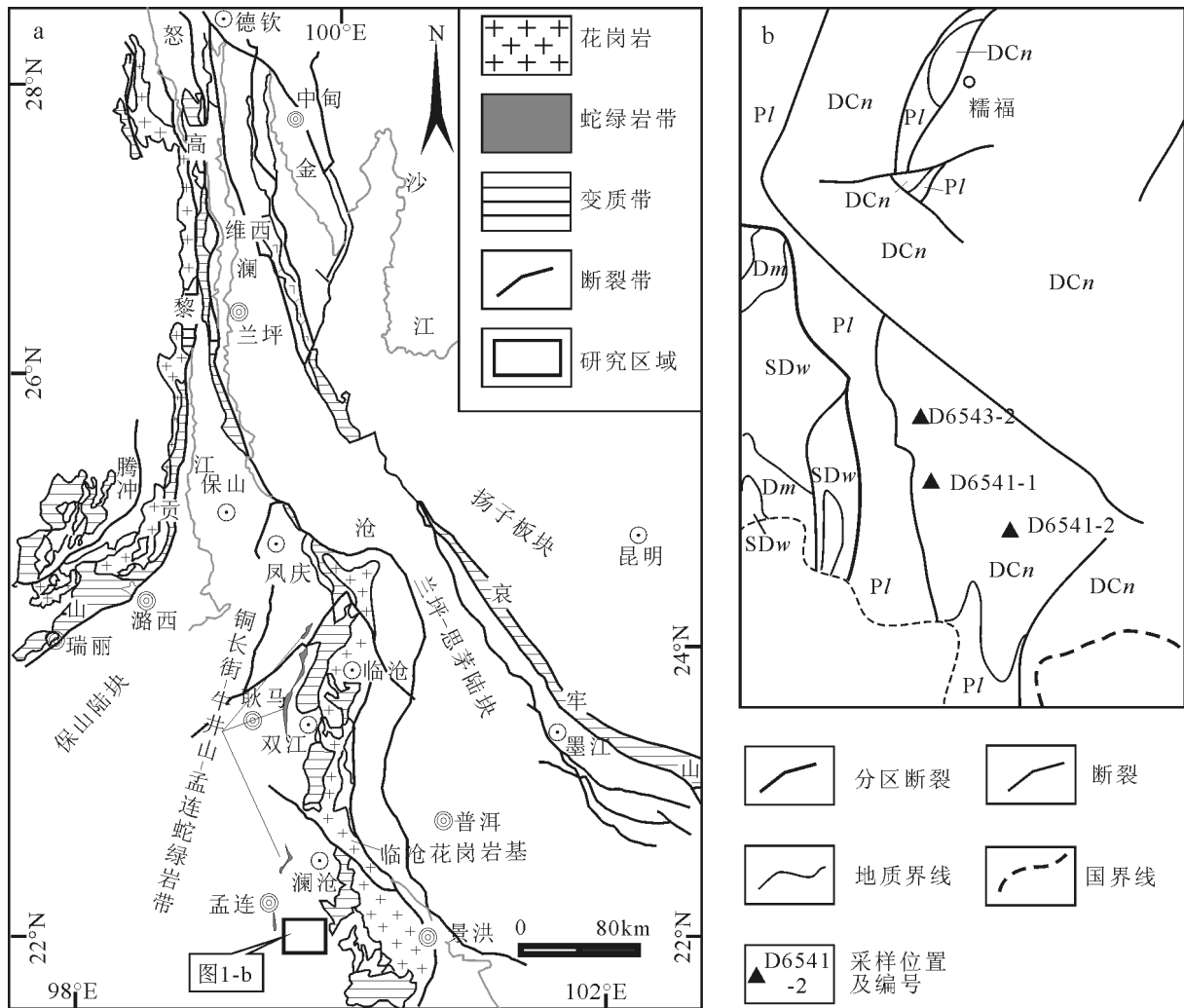


图 1 研究区域地质背景及地质简图(据参考文献[21]修改)

Fig. 1 Tectonic map and geological map of the study area

SDw—志留系-泥盆系温泉组; Dm—泥盆系曼信组; DCn—泥盆系-石炭系南段组; Pl—二叠系拉巴组

锆石阴极发光图像和背散射图像在JXA-8100下完成,以锆石的形态特征和内部结构特征作为测试点选择的依据,避免包裹体、核边结构等因素对实验测试的干扰,保证其年龄的准确性。锆石U-Pb定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室利用LA-ICP-MS仪器完成。激光剥蚀系统采用GeoLas 2005,等离子体质谱(ICP-MS)采用Agilent 7500a。进行锆石U-Pb年龄分析时,激光束斑直径为32 μm,每个锆石分析数据包括20~30s的气体空白信号和50s剥蚀及数据采集信号。锆石分析过程中,每隔8个锆石U-Pb测试进行2次标准锆石样品91500分析。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入

ICP之前通过一个T型接头混合。在等离子体中心气流(氩+氦)中加入少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度^[22]。利用91500的变化采用线性内插的方式进行了校正^[23]。锆石标准样品91500的U-Th-Pb同位素比值采用推荐值^[24]。锆石数据采用离线数据处理软件ICPMSDataCal^[25]完成。锆石U-Pb年龄谱和图和年龄分布曲线利用软件Isoplot/Ex_ver3^[26]完成。

3 锆石年龄分析结果

3件样品的碎屑锆石磨圆度较好,形态大多呈次圆-圆状,表明它们的物源较远或经历了再旋回作用。阴极发光图像显示,锆石大多具有振荡环



图2 南段村附近南段组AD型鲍马序列韵律层
Fig. 2 The AD Bouma sequence constituted from Nanduan Formation at Nanduan Village

带,且锆石 Th/U 值多大于 0.1,少数锆石无岩浆振荡环带,且 Th/U 值小于 0.1(图 3、图 4),表明这些碎屑锆石主要来自岩浆岩物源区,部分来自变质岩源区^[27]。锆石粒径为 50~200 μm,长宽比在 1:1~3:1 之间。本次研究的 3 件样品共测试锆石 165 粒(表 1),大部分锆石 U-Pb 数据点都落在 ²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U 谐和线上及其附近(图 5),少部分偏离谐

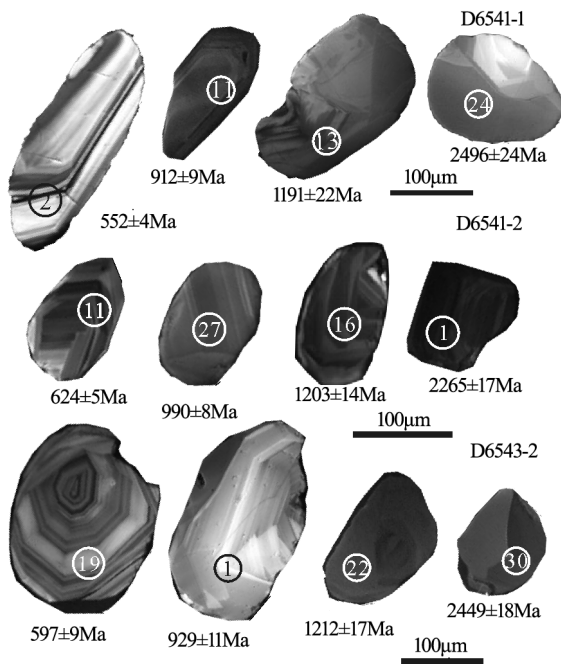


图3 南段组碎屑岩中典型锆石阴极发光(CL)图像
Fig. 3 CL images of zircons in samples from the Nanduan Formation

和线,锆石具有较好的谐和性,可代表它们的真实形成年龄。文中锆石 U-Pb 年龄谐和度大于 90%。165 个锆石中谐和度大于 90%的有 162 个(表 1)。对于大于 1000Ma 的锆石,选取 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄作为锆石生成年龄;小于 1000Ma 的锆石,选取 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄作为锆石生成年龄。

3 个样品的碎屑锆石年龄分布具有相似性,考虑到取样位置距离较近且均采自南段组上部,3 个样品应该代表同时期沉积物质,故将 3 个样品的数据合并讨论。结果显示,南段组碎屑锆石年龄变化区间较大,为 3138~335Ma(图 5),说明岩石中的锆石是多来源的。样品中碎屑锆石最大年龄为 3138±27Ma,最小的年龄为 335±4Ma,最小年龄明显大于南段组的沉积年龄(早石炭世末期)。除 1 个锆石年龄为 335Ma 外,其他锆石年龄均大于 500Ma。南段组碎屑锆石 U-Pb 年龄可以分为 3 个组段:泛非期,530~680Ma(峰值年龄为 600 Ma);晚格林威尔期,900~980Ma(峰值年龄为 918Ma);早格林威尔期,1100~1300Ma(峰值年龄为 1197Ma)(图 5)。次要年龄组段主要为 1550~1730Ma 和 2350~2630Ma(图 5)。其中 530~680Ma 年龄对应于东、西冈瓦纳等地块碰撞拼合的泛非事件,1300~900Ma 年龄与全球格林威尔造山期相当。值得注意的是,锆石年龄中具有多颗年龄大于 2500Ma 的锆石,说明临沧地块记录了来自太古宙剥蚀区遗留的物质信息。

4 临沧地体亲缘性及南段组物源探讨

临沧地块一直存在争议,一是认为其为长期存在

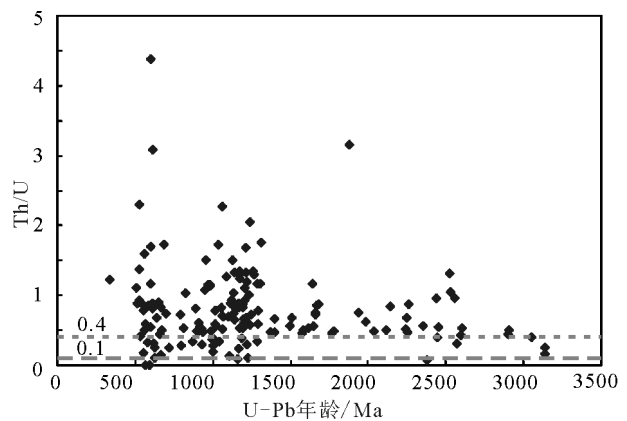


图4 南段组碎屑锆石 Th/U 值与 U-Pb 年龄关系图
Fig. 4 Th/U ratios versus U-Pb ages of detrital zircons from the Nanduan Formation

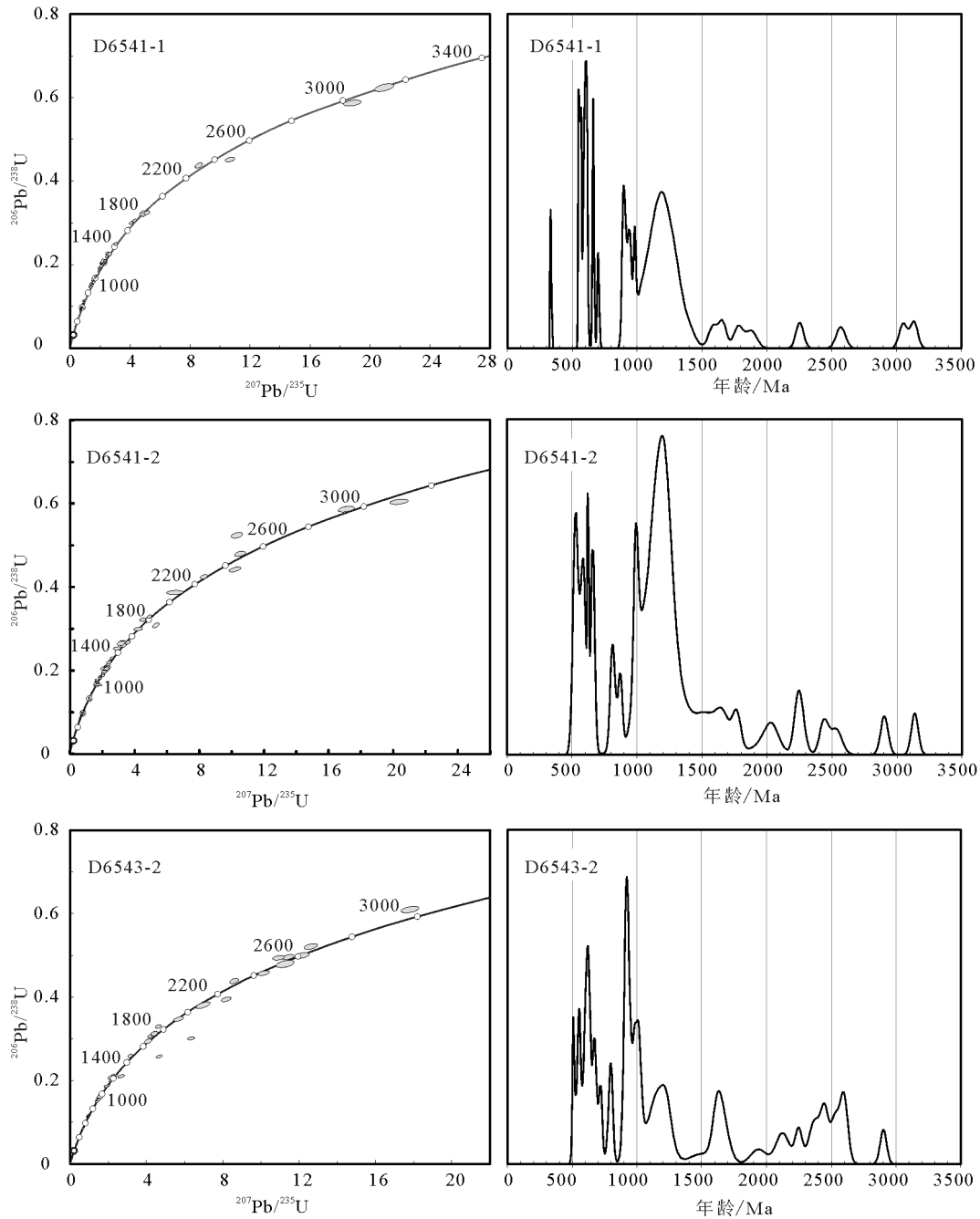


图 5 南段组碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和相对频分布

Fig. 5 U-Pb concordia diagrams and relative probability plots of detrital zircons from Nanduan Formation

的原位古陆,是思茅地块西部边缘的一部分^[9-10]。吴浩若等^[10]认为,南段组为原地沉积,其物源可能来自思茅地块,即南段组为思茅地块向外的陆坡下部的浊积砂岩,思茅地块中晚泥盆世—石炭纪的古陆可能为南段组浊积岩的物源。方宗杰等^[11]在南段组标准

剖面采集了植物化石 *Calamites*, 并认为该化石具有欧美—华夏植物群的特征属,与滇缅马地块明显不同,认为南段组是临沧弧地体外弧的陆坡沉积。然而,南段组碎屑岩成分成熟度很高,95%以上碎屑为石英,反映物源区主要为古老的稳定陆壳^[8]。南段

表1 样品LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb分析数据结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analytical results of
respective samples from Nanduan Formation

样号	元素含量/ 10^{-6}			U /Th	同位素比值/ 10^{-3}						年龄/Ma				不谐 和度		
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
D65411-01	20.87	302	246	0.85	52.3	2.03	383.43	14.77	53.31	0.62	17.73	0.39	330	11	335	4	98%
D65411-02	35.8	231	295	1.32	57.46	1.55	709.86	19.07	89.45	0.76	29.07	0.6	545	11	552	4	98%
D65411-03	23.95	62.8	90.2	1.49	74.94	2.14	1981.75	55.24	192.5	2.19	64.85	1.7	1109	19	1135	12	97%
D65411-04	16.92	48.7	56.2	1.23	79.81	3.54	2244.67	98.27	203.72	2.86	65.46	2.12	1195	31	1195	15	99%
D65411-05	15.88	91.9	110	1.23	59.58	2.43	817.28	33.6	99.49	1.14	31.46	0.88	607	19	611	7	99%
D65411-06	16.71	51.2	58.0	1.31	78.81	3.09	2179.15	79.73	202.58	2.58	60.3	1.69	1174	25	1189	14	98%
D65411-07	44.5	99.6	169	1.74	83.97	2	2388.22	57.32	205.49	1.67	61.74	1.35	1239	17	1205	9	97%
D65411-08	23.8	83.3	71.7	0.89	84.55	2.42	2611.58	72.32	224.71	2.53	67.35	1.46	1304	20	1307	13	99%
D65411-09	25.1	102	78.7	0.79	82.93	2.69	2392.67	76.35	209.95	2.21	63.92	1.41	1240	23	1229	12	99%
D65411-10	60.7	285	90.5	0.32	115.01	2.96	5152.82	132.84	324.79	3.01	97.27	1.86	1845	22	1813	15	98%
D65411-11	27.20	86.4	141	1.69	72.37	2.91	1508.22	60.03	152.02	1.62	46.31	1.22	934	24	912	9	97%
D65411-12	24.50	174	205	1.17	60.2	2.19	741.29	27.43	89.18	0.89	27.61	0.64	563	16	551	5	97%
D65411-13	27.2	119	90.1	0.78	80.63	2.83	2231.91	71.56	202.1	3.32	62.51	1.46	1191	22	1187	18	99%
D65411-14	58.65	71.5	487	7.41	62.97	1.49	946.85	22.97	108.49	0.8	36.53	1.09	676	12	664	5	98%
D65411-15	17.8	259	84.2	0.33	58.65	2.96	794.88	38.97	99.4	1.39	31.69	0.7	594	22	611	8	97%
D65411-16	22.98	117	199	1.74	58.84	2.1	751.04	27.02	92.37	0.88	27.36	0.7	569	16	570	5	99%
D65411-17	12.04	54.3	31.0	0.66	84.95	3.65	2641.33	115.75	225.7	3.02	70.73	1.89	1312	32	1312	16	99%
D65411-18	24.9	119	104	0.93	68.71	2.36	1558.1	53.34	164.44	1.7	49.52	1.13	954	21	981	9	97%
D65411-19	36.87	55.3	118	2.21	88.67	2.27	3071.42	81.31	250.35	2.33	76.27	1.86	1426	20	1440	12	98%
D65411-20	15.78	76.6	103	1.39	60.07	2.42	945.18	38.15	114.54	1.34	35.93	1.1	676	20	699	8	96%
D65411-21	20.08	87.9	173	2.01	60.23	2.07	755.85	25.64	91.22	0.93	29.71	0.82	572	15	563	5	98%
D65411-22	64.6	77.1	159	2.16	108.83	2.17	4834.2	101.25	321.04	2.62	97.63	2.09	1791	18	1795	13	99%
D65411-23	83.9	71.0	152	2.19	142.22	2.61	8601.81	167.58	437.81	4.29	130.56	2.7	2297	18	2341	19	98%
D65411-24	127.1	66.0	218	3.35	171.33	3.59	10678.42	206.08	452.03	3.69	125.12	1.15	2496	18	2404	16	95%
D65411-25	23.70	80.4	180	2.32	60.46	2.03	894.88	29.43	107.7	1.06	34.79	1.01	649	16	659	6	98%
D65411-26	57.7	188	203	1.11	80.4	2.14	2306.29	60.91	208.17	2.04	66.69	1.47	1214	19	1219	11	99%
D65411-27	51.0	283	138	0.5	81.84	2.09	2493.7	65.32	220.66	2.25	65.68	1.31	1270	19	1285	12	98%
D65411-28	17.94	49.8	63.4	1.31	84.05	2.56	2420.82	71.43	209.92	2.53	68.01	1.8	1249	21	1228	13	98%
D65411-29	22.34	22.8	98.2	4.48	78.79	2.34	2129.7	64.01	195.77	2.26	64.82	2.21	1158	21	1153	12	99%
D65411-30	77.54	23.9	95.6	4.16	242.41	4.85	20923.04	423.87	623.54	6.18	174.18	4.83	3135	20	3124	25	99%
D65411-31	15.26	70.4	65.6	0.96	73.59	3.3	1595.48	67.67	158.68	2.01	49.81	1.42	968	26	949	11	98%
D65411-32	111.0	202	277	1.41	101.9	1.84	4323.96	79.44	305.53	2.71	90.49	1.85	1698	15	1719	13	98%
D65411-33	17.0	312	71.1	0.24	58.78	3.48	772.99	43.24	97.4	1.6	29.6	0.58	581	25	599	9	97%
D65411-34	31.55	84.2	172	2.12	64.81	1.8	1342.46	37.51	149.16	1.55	47.22	1.18	864	16	896	9	96%
D65411-35	17.20	37.5	62.5	1.72	80.21	2.57	2336.6	73.89	209.59	2.33	63.29	1.86	1223	22	1227	12	99%
D65411-36	37.10	99.9	191	1.99	65.61	1.85	1418.71	40.61	155.49	1.73	47.8	1.22	897	17	932	10	96%
D65411-37	80.1	106	212	2.06	97.92	1.94	4104.09	81.61	300.83	2.41	91.17	1.81	1655	16	1695	12	97%
D65411-38	38.95	72.2	135	1.93	79.12	2.02	2501.54	61.18	228.32	2.23	71.18	1.62	1272	18	1326	12	95%
D65411-39	29.79	60.6	116	1.98	74.85	2.09	2132.21	59.86	204.91	1.85	62.84	1.47	1159	19	1202	10	96%
D65411-40	209.5	107	267	2.59	230.18	4.58	18822.6	388.38	587.05	4.76	153.58	3.44	3033	20	2977	19	98%
D65411-41	20.89	53.4	76.8	1.51	76.17	2.54	2189.46	72.22	209.06	3.65	63.52	1.97	1178	23	1224	19	96%

续表 1-1

样号	元素含量/ 10^6			U /Th	同 位 素 比 值/ 10^{-3}						年 龄/Ma			不谐 和度			
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
D65411-42	67.1	93.1	333	3.84	72.63	1.66	1746.52	46.16	172.25	1.96	57.38	1.48	1026	17	1025	11	99%
D65411-43	89.9	256	345	1.42	77.58	1.7	2123.65	47.45	197	1.44	61.9	1.11	1157	15	1159	8	99%
D65411-44	8.96	89.4	52.8	0.62	66.97	3.54	895.88	45.79	97.58	1.45	31.6	0.84	650	25	600	9	92%
D65411-45	138.9	342	514	1.54	80.1	1.84	2285.25	52.02	205.68	1.59	63.89	1.23	1208	16	1206	8	99%
D65411-46	16.40	63.9	78.9	1.27	70.6	2.9	1434.03	56.55	147.95	1.98	48.75	1.32	903	24	889	11	98%
D65411-47	45.5	153	195	1.31	73.03	2.06	1739.65	48.49	172	1.53	53.88	1.17	1023	18	1023	8	99%
D65411-48	22.79	145	170	1.25	60.51	2.29	797.55	29.53	95.74	0.97	31.42	0.71	595	17	589	6	98%
D65411-49	50.7	172	195	1.16	76.63	1.82	1975.61	45.77	186.44	1.71	59.81	1.15	1107	16	1102	9	99%
D65411-50	23.57	72.4	87.1	1.24	78.77	2.56	2148.27	69.43	197.78	2.37	60.82	1.49	1164	22	1163	13	99%
D65412-01	84.4	73.4	141	1.97	140.87	2.61	8308.36	155.64	424.87	3.53	120.61	3.11	2265	17	2283	16	99%
D65412-02	45.9	159	118	0.76	82.52	2.26	2629.03	70.17	230.35	2.27	68.96	1.87	1309	20	1336	12	97%
D65412-03	72.9	155	318	2.12	66.33	1.55	1639.92	37.96	178.44	1.67	54.04	1.76	986	15	1058	9	92%
D65412-04	40.83	41.5	143	3.54	80.88	2.06	2504.43	63.96	223.43	2.35	71.81	2.77	1273	19	1300	12	97%
D65412-05	47.2	133	162	1.24	74.41	1.96	2127.2	55.37	206.01	2.08	59.96	2.4	1158	18	1208	11	95%
D65412-06	75.1	99.5	103	1.07	158.44	3.56	10542.77	229.03	479.71	4.29	131.7	4.89	2484	20	2526	19	98%
D65412-07	19.05	30.9	45.8	1.54	93.93	3.39	3367.95	114.98	261.47	3.24	75.56	2.71	1497	27	1497	17	99%
D65412-08	18.82	77.1	46.0	0.61	80.68	3.15	2455.29	95.4	220.09	2.59	61.55	1.8	1259	28	1282	14	98%
D65412-09	39.67	73.7	139	2	79.8	2.13	2313.21	59.57	209.56	2.01	66.57	1.8	1216	18	1226	11	99%
D65412-10	270.3	170	336	2.04	209.82	4.08	17098.53	328.79	586.68	4.68	160.42	3.29	2940	18	2976	19	98%
D65412-11	52.38	48.8	443	9.74	60.78	1.64	856.77	22.93	101.56	0.91	31.74	1.12	628	13	624	5	99%
D65412-12	67.9	226	510	2.32	62.14	1.44	913.32	20.67	106.13	0.84	33.78	0.7	659	11	650	5	98%
D65412-13	85.58	53.6	393	7.53	76.47	1.56	2012.59	41.25	189.97	1.45	59.11	1.5	1120	14	1121	8	99%
D65412-14	49.2	192	161	0.87	80.87	1.96	2255.71	54.66	201.7	1.75	62.16	1.26	1199	17	1184	9	98%
D65412-15	34.63	102	193	1.96	64.86	1.8	1219.1	34.34	135.92	1.21	44.97	1.25	809	16	822	7	98%
D65412-16	18.57	62.4	56.5	0.93	80.45	2.94	2268.6	80.82	205.15	2.56	63.6	1.63	1203	25	1203	14	99%
D65412-17	280.1	58.4	357	6.27	242.78	4.39	20346.1	363.21	604.13	4.07	166.8	3.44	3108	17	3046	16	98%
D65412-18	20.81	88.1	69.6	0.83	75.62	2.8	1894.81	67.39	182.12	1.94	57.13	1.43	1079	24	1079	11	99%
D65412-19	41.9	139	135	0.99	77.61	2.27	2229.69	61.43	207.08	1.77	65.26	1.35	1190	19	1213	9	98%
D65412-20	24.623	0.84	230	360.75	59.61	2.26	751.47	27.02	90.82	0.89	201.51	30.86	569	16	560	5	98%
D65412-21	13.06	46.2	35.6	0.79	79.16	4.11	2140.62	105.22	196.41	2.85	59.77	1.77	1162	34	1156	15	99%
D65412-22	79.7	181	295	1.68	80.32	2.18	2353.57	62.17	210.81	2.04	63.34	1.31	1229	19	1233	11	99%
D65412-23	36.4	271	292	1.1	56.93	1.95	685.26	22.45	87.04	0.8	27.76	0.54	530	14	538	5	98%
D65412-24	36.6	150	112	0.73	79	2.37	2244.85	67.4	205.42	2.06	62.23	1.26	1195	21	1204	11	99%
D65412-25	45.5	108	160	1.52	80.54	2.15	2330.98	61.29	209.63	2.15	64	1.52	1222	19	1227	11	99%
D65412-26	35.51	55.7	163	3.03	73.94	2.15	1767.27	54.49	172.84	2.39	52.03	1.45	1034	20	1028	13	99%
D65412-27	57.1	320	213	0.68	77.17	7.89	1763.29	175.06	166.05	1.42	53.32	0.99	1032	64	990	8	95%
D65412-28	33.1	101	109	1.13	77	2.16	2247.72	63.92	210.77	1.93	64.9	1.4	1196	20	1233	10	96%
D65412-29	97.6	154	146	0.98	167.54	4.3	10222.07	245.17	442.52	4.03	122.75	1.09	2455	22	2362	18	95%
D65412-30	19.30	107	157	1.32	65.21	2.98	882.77	44.34	97.26	1.68	28.72	0.86	642	24	598	10	92%
D65412-31	84.1	150	406	2.77	69.31	1.8	1673.3	43.44	173.99	1.44	55.13	1.29	998	16	1034	8	96%
D65412-32	18.03	128	144	1.16	55.76	2.67	661.05	31.52	85.8	1.07	27	0.67	515	19	531	6	97%
D65412-33	33.7	67.3	79.0	1.21	102.5	4.24	4260.52	177.97	300.26	2.73	91.46	2	1686	34	1693	14	99%
D65412-34	24.4	144	63.7	0.46	74.82	4.29	2115.67	119.85	206.19	2.45	60.24	1.29	1154	39	1208	13	95%

续表1-2

样号	元素含量/ 10^{-6}			U /Th	同位素比值/ 10^{-3}								年龄/Ma			不谐 和度	
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		1 σ
D65412-35	10.22	25.5	78.7	3.2	59.66	4.4	773.92	57.32	94.03	0.96	30.63	1.26	582	33	579	6	99%
D65412-36	19.24	77.7	144	1.91	57.47	4.05	800.16	56.43	101.06	1.16	32.79	0.93	597	32	621	7	96%
D65412-37	33.40	35.3	106	3.11	83.77	4.22	2944.7	150.09	254.12	2.43	77.21	2.17	1393	39	1460	13	95%
D65412-38	14.17	40.0	48.1	1.25	79.95	4.34	2163.66	114.48	197.69	2.55	63.6	1.77	1169	37	1163	14	99%
D65412-39	35.83	73.8	130	1.82	81.7	2.85	2423.37	82.24	215.42	2.01	68.85	1.74	1250	24	1258	11	99%
D65412-40	49.88	86.6	226	2.55	79.63	2.52	2078.92	66.24	189.2	2.04	61.06	1.54	1142	22	1117	11	97%
D65412-41	39.0	224	273	2.41	64.45	1.85	927.97	25.82	104.36	0.97	42.17	1.36	667	14	640	6	95%
D65412-42	86.7	226	351	1.61	77.83	1.61	2083.69	42.94	193.44	1.52	61.52	1.21	1143	14	1140	8	99%
D65412-43	25.7	98.8	80.1	0.84	79.01	2.37	2290.68	70.39	209.67	2.35	69.72	1.48	1209	22	1227	13	98%
D65412-44	66.7	78.7	90.5	1.18	142.86	3.27	10338.21	230.49	523.77	4.69	155.3	3.29	2466	21	2715	20	90%
D65412-45	70.6	190	327	1.79	73.08	1.78	1725.97	40.66	170.76	1.53	55.64	1.38	1018	15	1016	8	99%
D65412-46	43.30	58.3	127	2.25	97.41	3.5	3599.42	121.6	268	3.25	78.48	0.96	1549	27	1531	17	96%
D65412-47	14.82	51.4	44.3	0.9	83.6	3.64	2385.49	104.14	207.81	2.52	66.33	1.68	1238	31	1217	13	98%
D65412-48	17.77	57.8	57.5	1.02	81.44	3.67	2308.75	109.19	205.39	2.4	62.84	1.62	1215	34	1204	13	99%
D65412-49	56.6	308	299	0.99	69.33	3.03	1250.93	56.51	131.21	1.35	41.42	0.95	824	25	795	8	96%
D65412-50	39.12	150	356	2.43	56.18	2.9	692.89	38.34	89.48	0.85	28.08	0.7	535	23	552	5	96%
D65412-51	90.2	108	177	1.66	122.11	5.86	6532.24	340.81	387.39	3.22	107.73	2.48	2050	46	2111	15	97%
D65412-52	21.52	39.5	59.1	1.53	88.73	4.1	3277.24	159.86	268.49	3.1	79.17	2.11	1476	38	1533	16	96%
D65412-53	9.70	12.6	26.4	2.17	87.39	4.14	3194.85	157.72	265.88	3.58	81.04	3.38	1456	38	1520	18	95%
D65412-54	50.8	88.0	116	1.36	101.84	2.88	4528.4	127.91	322.08	2.86	96.1	1.97	1736	23	1800	14	96%
D65412-55	16.03	154	112	0.75	56.89	2.72	678.03	31.12	86.93	1.07	28.77	0.75	526	19	537	6	97%
D65412-56	58.2	118	345	3.74	68.99	1.81	1363.17	38.15	142.49	2.04	51.84	1.31	873	16	859	12	98%
D65412-57	129.6	142	315	2.55	108.09	2.07	4953.95	96.19	329.66	2.9	105.7	2.32	1811	16	1837	14	98%
D65412-58	65.40	59.9	307	5.24	72.62	1.59	1870.47	39.72	185.88	1.61	59.87	1.55	1071	14	1099	9	97%
D65412-59	29.84	1.22	284	282.82	59.85	1.82	788.46	23.47	95.13	0.88	121.28	9.83	590	13	586	5	99%
D65412-60	138.5	167	346	2.18	125.54	3.61	5346.3	136.3	308.87	4.09	88.13	1.16	1876	22	1735	20	90%
D65432-01	13.40	29.2	52.1	1.83	71.28	3.08	1525.52	65.89	155.04	1.9	50.47	1.58	941	26	929	11	98%
D65432-02	19.74	111	134	1.23	60.62	2.31	812.11	30.08	97.05	1.09	33.13	0.8	604	17	597	6	98%
D65432-03	47.2	143	118	0.85	88.12	2.33	3181.83	84.66	259.68	2.61	82.77	1.65	1453	21	1488	13	97%
D65432-04	27.51	63.2	135	2.2	69.46	2.12	1507.97	45.2	156.32	1.77	51.09	1.25	934	18	936	10	99%
D65432-05	24.5	348	151	0.45	59.18	2.53	681.95	28.04	83.78	1.02	26.89	0.6	528	17	519	6	98%
D65432-06	44.7	123	229	1.91	68.14	1.93	1480.19	41.5	156.24	1.86	51.78	1.22	922	17	936	10	98%
D65432-07	130.5	622	542	0.9	68.94	1.43	1634.1	33.56	170.08	1.57	53.69	0.98	983	13	1013	9	97%
D65432-08	106.8	57.7	132	2.36	209.65	3.72	17790.22	309.74	609.75	5.03	174.21	3.61	2978	17	3069	20	97%
D65432-09	106.1	68.0	158	2.39	173.76	3.19	12613.91	236.16	521.61	4.41	148.61	3.06	2651	18	2706	19	97%
D65432-10	137.2	110	209	1.95	174.95	3.47	12154.53	241.13	499.91	4.29	140.77	2.98	2616	19	2613	18	99%
D65432-11	114.6	155	276	1.83	101.2	2.15	4644.06	100.2	330.07	2.76	98.69	2.04	1757	18	1839	13	95%
D65432-12	13.54	114	65.8	0.6	60.91	2.96	964.69	45.12	115.89	1.43	37.72	0.97	686	23	707	8	96%
D65432-13	38.11	101	198	2.02	67.4	1.71	1448.13	35.97	155.15	1.38	48.71	1.1	909	15	930	8	97%
D65432-14	6.58	27.3	23.7	0.9	76.42	5.49	1605.62	104.24	161.4	3.03	52.73	1.95	972	41	965	17	99%
D65432-15	222.8	145	358	2.54	158.89	3.19	10921.25	214.58	494.32	3.62	142.84	2.93	2516	18	2589	16	97%
D65432-16	45.7	123	218	1.79	75.05	2.03	1739.72	48.48	166.62	1.92	57.45	1.44	1023	18	993	11	97%
D65432-17	49.7	141	259	1.87	68.83	1.77	1471.86	37.68	154.26	1.47	50.19	1.11	919	15	925	8	99%

续表 1-3

样号	元素含量/ 10^{-6}			U /Th	同 位 素 比 值/ 10^{-3}						年 龄/Ma			不谐 和度			
	Pb	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
D65432-18	49.2	72.5	146	2.06	131.57	3.37	4692.47	111.06	258.68	2.52	73.47	0.72	1766	20	1483	13	81%
D65432-19	9.28	53.9	66.3	1.26	62.47	3.3	829.23	42.86	97.08	1.47	30.71	0.96	613	24	597	9	97%
D65432-20	65.15	113	413	3.72	63.69	1.56	1199.81	29.47	135.67	1.27	46.19	1.07	800	14	820	7	97%
D65432-21	48.3	249	144	0.59	73.66	2.14	2131.42	65.03	208.08	2.33	66.21	1.34	1159	21	1219	12	94%
D65432-22	41.8	120	147	1.26	78.03	1.95	2297.95	54.98	213.09	1.99	67.54	1.31	1212	17	1245	11	97%
D65432-23	16.84	67.9	94.0	1.42	63.33	2.31	1178.59	42.01	135.06	1.54	43.86	1.11	791	20	817	9	96%
D65432-24	117.16	26.2	326	13.29	152.99	3.04	6367.45	117.35	301.86	2.24	84.47	0.68	2028	16	1701	11	82%
D65432-25	56.16	102	413	4.21	62.24	1.61	1031.64	26.54	119.77	1.06	40.47	1.07	720	13	729	6	98%
D65432-26	22.91	46.5	53.3	1.16	103.14	3.02	4440.38	127.28	312.6	3.65	98.82	2.61	1720	24	1754	18	98%
D65432-27	10.50	66.3	73.5	1.14	65.52	3.65	896.18	47.41	100.9	2.17	34.22	1.94	650	25	620	13	95%
D65432-28	62.3	229	453	1.99	58.92	1.36	939.17	21.99	115.18	1.05	37.23	0.75	672	12	703	6	95%
D65432-29	95.7	133	250	1.94	99.39	1.92	4222.4	79.49	306.92	2.51	94.25	1.78	1678	15	1726	12	97%
D65432-30	200.9	186	340	2.48	159.79	2.98	10152.53	194.2	457.75	3.84	143.06	3.18	2449	18	2430	17	99%
D65432-31	60.93	109	613	5.84	58.3	1.46	725.46	17.65	90	0.81	30.15	0.8	554	10	556	5	99%
D65432-32	46.4	108	176	1.67	80.93	1.92	2329.99	54.51	208.17	1.9	66.8	1.4	1221	17	1219	10	99%
D65432-33	60.2	267	202	0.77	77.85	1.88	2162.32	52.81	200.78	1.81	63.3	1.12	1169	17	1180	10	99%
D65432-34	72.66	29.6	347	12.38	78.49	1.99	2045.35	47.91	189	1.86	56.63	0.67	1131	16	1116	10	95%
D65432-35	20.49	128	146	1.16	57.79	2.24	823.69	32.75	103.51	1.29	33.38	0.89	610	18	635	8	96%
D65432-36	64.1	102	137	1.36	118.7	3.82	5691.46	173	347.76	3.69	99.79	1.04	1930	26	1924	18	97%
D65432-37	77.89	33.9	338	10.24	81.19	1.6	2353.15	47.91	209.54	1.98	78.15	2.21	1229	15	1226	11	99%
D65432-38	97.4	171	130	0.79	166.71	3.18	11425.86	207.93	495.99	3.97	142.22	2.55	2559	17	2597	17	98%
D65432-39	24.93	39.3	47.0	1.23	133.14	4.95	6986.5	240.18	380.58	5.4	107.96	1.48	2110	31	2079	25	97%
D65432-40	23.89	63.3	130	2.5	69.59	2.5	1443.76	51.89	150.53	1.78	51.96	1.89	907	22	904	10	99%
D65432-41	34.0	93.1	80.2	0.88	100.88	3.02	4120.67	121.98	295.06	3.33	92.17	2.16	1658	24	1667	17	99%
D65432-42	39.69	105	336	3.58	58.99	1.98	838.64	28.13	102.54	1.12	31.52	1.25	618	16	629	7	98%
D65432-43	17.22	140	120	0.88	58.98	2.43	803.76	33.13	98.59	1.15	31.31	0.83	599	19	606	7	98%
D65432-44	54.63	92.5	314	3.49	71.11	1.81	1490.5	38.01	150.97	1.41	47.67	1.2	927	15	906	8	97%
D65432-45	36.4	50.2	52.6	1.07	170.22	4.79	11278.33	308.79	479.7	5.72	141.31	3.64	2546	26	2526	25	99%
D65432-46	19.02	179	161	0.91	58.87	2.61	661.1	27.9	81.96	1.13	26.12	0.71	515	17	508	7	98%
D65432-47	27.17	79.8	112	1.42	74.66	2.5	1930.09	65.07	187.13	2.09	59.71	1.46	1092	23	1106	11	98%
D65432-48	30.1	352	221	0.66	61.28	2.42	730.87	28.38	86.46	1.01	27.67	0.56	557	17	535	6	95%
D65432-49	31.6	84.1	116	1.42	82	2.56	2381.31	71.62	211.05	2.28	65.55	1.61	1237	22	1234	12	99%
D65432-50	53.2	102	181	1.79	93.23	4.2	2713.66	117.98	211.11	2.47	62.1	0.78	1332	32	1235	13	80%
D65432-51	48.22	105	414	3.97	59.64	1.72	857.65	24.82	104.07	1.03	32.4	0.9	629	14	638	6	98%
D65432-52	141.2	153	275	1.82	150.32	3.49	8186.58	176.71	395	3.4	110.72	0.96	2252	20	2146	16	94%
D65432-53	34.5	207	137	0.67	69.22	2.1	1570.65	46.37	164.87	1.73	51.81	1.06	959	18	984	10	97%
D65432-54	68.0	126	346	2.91	72.16	1.68	1697.82	38.13	170.32	1.47	54.12	1.21	1008	14	1014	8	99%
D65432-55	161.3	192	281	1.49	141.77	2.52	8619.68	153.97	439.2	3.9	126.71	2.32	2299	16	2347	17	97%

组砂岩具有被动陆缘地球化学特征^[12]。从南段组孢粉化石组合看,28%的孢粉具有冈瓦纳型特征,11%具有欧亚型特征,61%为全球型分子,故认为临沧地

体是具有冈瓦纳性质的外来地体,可能在晚二叠世增生到思茅地块西缘^[9]。对于以上问题的争论,主要是因为缺乏有效的沉积物年代学方面的证据。

通过南段组碎屑锆石年龄图谱与思茅地块泥盆纪—石炭纪碎屑锆石年龄图谱对比(图6),两者具有明显的差别。南段组的碎屑锆石年龄主要峰值为600Ma、918Ma和1197Ma,而思茅地块碎屑锆石年龄主要集中在444Ma和959Ma两个峰值,表明两者不具有共同的物源供给。思茅地块被认为是印支地块的一部分,共同构成思茅—印支地块^[4]。最近,在思茅地块大平掌地区和大中河地区发现志留纪(429Ma)安山岩和418~421Ma的岛弧岩浆岩^[28-29],所以思茅地块主要发育志留纪的岩浆活动。这一特征与印支地块类似,在越南中部及泰国北部广泛发育志留纪岩浆岩^[30-31]。同时期的构造热事件在华南也广泛分布^[32-34]。思茅地块泥盆纪—石炭纪沉积物对这一构造事件具有较好的响应,表现为沉积物中具有明显的440Ma的峰值^[35]。然而南段组中并没有该年龄的记录,南段组沉积物中主要发育530~680Ma的区间年龄(峰值为600Ma),这一时间被认为是冈瓦纳聚合的年龄^[36],思茅—印支地块无论是岩浆岩年龄还是沉积物碎屑锆石年龄都缺少该年龄的记录^[35,37]。另一方面,南段组碎屑锆石年龄中格林威尔期的年龄显示“双峰式”特征(同时具有918Ma和1197Ma两个峰值年龄),而思茅地块只具有晚格林威尔期(959Ma)的年龄记录。综上所述,南段组碎屑锆石年龄结果表明,其物源并非来自思茅地块及临沧岩浆弧,揭示了临沧地体应属于外来地体。

临沧地体中已知最古老的地层为新元古界澜沧群,澜沧群中惠民组夹层中变质火山岩形成年龄为460Ma左右^[38-39]。澜沧群蓝片岩的青铝闪石和与蓝片岩互层的绿片岩中的绿泥石⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄分别为 409 ± 23 Ma和 410 ± 15 Ma^[4]。澜沧群碎屑锆石年龄中最小的年龄为480Ma^[40]。因此,澜沧群的形成时代应为早古生代而不是新元古代。因此,南段组中大于500Ma的碎屑锆石不可能来自临沧地体内部,而是来自外部地体,并且临沧地体可能在某个时间与之相连。Yu等^[41]认为,大于3Ga的锆石年龄表明,物源曾与印度、南极、西澳大利亚等克拉通相连。中元古代和晚新元古代的碎屑年龄是冈瓦纳超大陆的主要特征^[42]。

已有的沉积物碎屑锆石及岩浆岩研究结果表明,羌塘、拉萨、保山和腾冲地块均来自东冈瓦纳北缘,且由于冈瓦纳的聚合,这些地块共同经历了原特提斯洋向南的安第斯型俯冲作用,发育了早古生

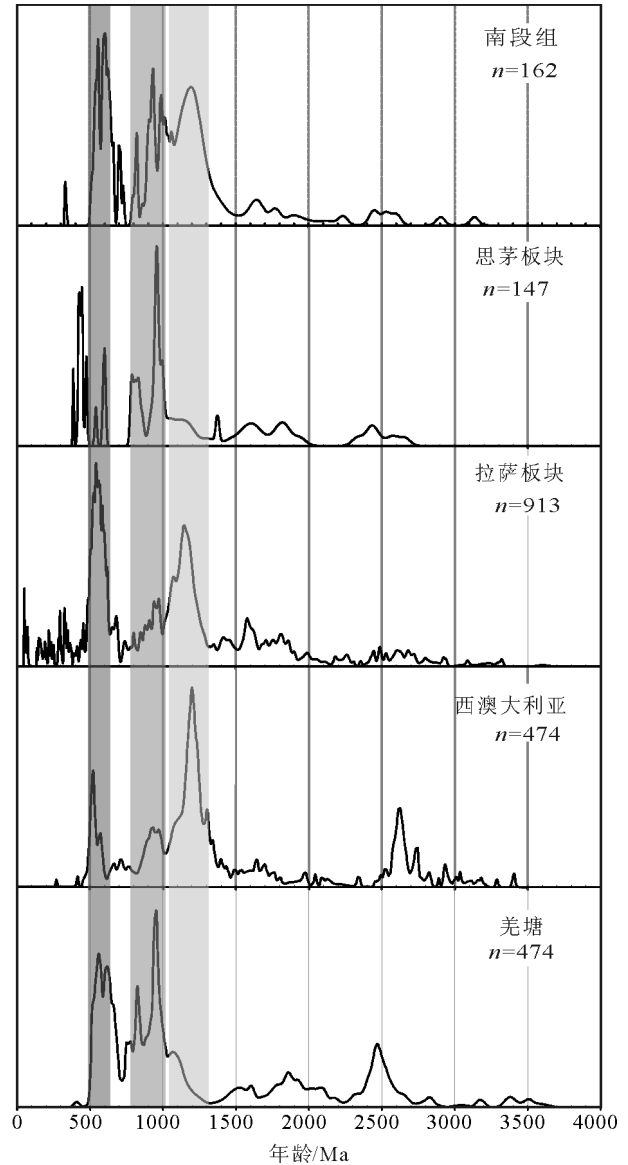


图6 不同区域碎屑锆石年龄对比

Fig. 6 Relative U-Pb age probability detrital zircons from different areas

代早期的岩浆活动(510~460Ma)和寒武纪—奥陶纪角度不整合^[43-50]。临沧地体中澜沧群中的具有岛弧性质的变质火山岩可能也属于这一构造运动的岩浆产物^[38-39],临沧地体可能也属于冈瓦纳北缘的微地体,并与羌塘地块、保山地块、拉萨地块、腾冲地块等共同经历了早古生代冈瓦纳北缘安第斯型俯冲,但思茅—印支地块并未受到该事件的影响,缺少晚泛非期的岩浆记录。临沧地体可能来自东冈瓦纳北缘微陆块。

在新元古代,随着罗迪尼亚超大陆(Rodinia)的裂解,东、西冈瓦纳在新元古代末—早古生代经过泛非造山运动,形成统一的冈瓦纳超大陆,并在东冈瓦纳形成2条主要的泛非期造山带:East African造山带和Kununga造山带,这2个造山带主要形成于500~600Ma之间^[51]。在东冈瓦纳内部同时还存在2条中元古代造山带,其中一条造山带(Rayner—Eastern Ghats)位于南极洲与印度之间,其岩浆年龄范围为990~900Ma;另一条造山带(Wilkes—Albany—Fraser)位于南极洲与澳大利亚之间,其岩浆年龄范围为1330~1130Ma^[52-53]。这些岩浆向冈瓦纳大陆北缘提供物源,例如澳大利亚的二叠纪Collie盆地和Perth盆地及拉萨地块的沉积物中具有明显的1330~1130Ma年龄的碎屑锆石记录,表明其主要物源来自Wilkes—Albany—Fraser造山带。喜马拉雅地区、羌塘地块等沉积物中具有明显的Rayner—Eastern Ghats造山带的物源特征和990~900Ma的年龄峰值^[52,54-55](图6)。Zhu等^[56]报道了南羌塘及拉萨地块的碎屑锆石年龄,并与主要的物源区进行对比,结果表明,南羌塘主要具有早格林威尔期的年龄(约950Ma),表明其物源来自特提斯喜马拉雅,而拉萨地块具有早格林威尔期的年龄(约1170Ma),表明其物源来自西澳的Wilkes—Albany—Fraser造山带。临沧地体南段组同时具有泛非期(530~680Ma)、晚格林威尔期(900~980Ma)、早格林威尔期(1100~1300Ma)的年龄表明,其物源来自东冈瓦纳超大陆内部3条主要的造山带,临沧地体应该是来自东冈瓦纳北缘的微地体,这也与其生物特征相吻合^[2,8]。

5 结 论

(1)通过对滇西泥盆系—石炭系南段组碎屑锆石年代学的研究,获得了丰富的年龄信息,有效的U—Pb年龄主要集中在3个阶段:泛非期(530~680Ma)、晚格林威尔期(900~980Ma)、早格林威尔期(1100~1300Ma)。次要年龄主要为1550~1730Ma和2350~2630Ma,反映了物源区的构造—岩浆事件的复杂性。

(2)通过临沧地块南段组与思茅地块泥盆纪—石炭纪碎屑锆石年龄图谱对比,临沧地体并不属于思茅地块,而是具有冈瓦纳性质的外来地体,其与冈瓦纳超大陆具有亲缘性。

致谢:在野外工作中湖北省地震局胡庆在岩石样品采集中提供了帮助,锆石处理中中国地质大学聂小妹、钱鑫博士提供了帮助,云南省地质调查院李静教授级高工对本文提出了宝贵的修改意见,在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献

- [1]Deng J, Wang Q, Li G, et al. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. Gondwana Research, 2014, 26(2): 419-437.
- [2]刘本培, 冯庆来, 方念乔, 等. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化[J]. 地球科学, 1993, 18(5): 529-539.
- [3]张虎, 冯庆来, 曾文涛, 等. 滇西保山地区晚寒武世火山岩的发现及其构造意义[J]. 地质通报, 2015, 34(12): 2280-2291.
- [4]Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 66: 1-33.
- [5]金小赤, 王义昭, 谢广连. 滇西昌宁—孟连带的层格架[J]. 地质通报, 2002, 21(6): 315-321.
- [6]李才, 谢尧武, 董永胜, 等. 北澜沧江带的性质——是冈瓦纳板块与扬子板块的界线吗?[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1711-1719.
- [7]王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等. 昌宁—孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 2013, 58(4): 344-354.
- [8]冯庆来, 刘本培, 叶玫, 等. 滇西南南段组和拉巴群地质时代及构造背景[J]. 地层学杂志, 1996, 20(3): 183-189.
- [9]段向东, 李静, 曾文涛, 等. 昌宁—孟连带中段干龙塘构造混杂岩的发现[J]. 云南地质, 2006, 25(1): 53-62.
- [10]吴浩若, 杜越. 滇西南昌宁—孟连带南部地层地质问题[J]. 地层学杂志, 1994, 18(3): 221-227.
- [11]方宗杰, 周志澄, 林敏基. 关于滇西地质的若干新认识[J]. 科学通报, 1990, (5): 363-365.
- [12]贾进华. 滇西南昌宁—孟连带南段群沉积特征及其构造古地理意义——兼论临沧地体的性质[J]. 岩相古地理, 1994, 14(4): 42-48.
- [13]贾进华. 滇西南昌宁—孟连带南皮河群地层、沉积特征及其构造古地理意义[J]. 岩相古地理, 1995, (4): 21-27.
- [14]从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(11): 1201-1207.
- [15]吴元保, 郑永飞. 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, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [16]Dong Y, Liu X, Neubauer F, et al. Timing of Paleozoic amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from detrital zircon U—Pb ages[J]. Tectonophysics, 2013, 586: 173-191.
- [17]王丽娟, 于津海, O Reilly S Y, 等. 华夏南部可能存在 Grenville 期造山作用:来自基底变质岩中锆石U—Pb定年及Lu—Hf同位素信息[J]. 科学通报, 2008, 53(14): 1680-1692.
- [18]邹和平, 杜晓东, 劳妙姬, 等. 广西大明山地块寒武系碎屑锆石U—Pb年龄及其构造意义[J]. 地质学报, 2014, (10): 1800-1819.

- [19]王明亮, 张加桂, 汪新文. 滇西哀牢山构造带变质岩系LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(5): 738-749.
- [20]杨森, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑东段布青山地区上二叠统格曲组物源分析及其构造意义[J]. 地质通报, 2016, 35(5): 674-686.
- [21]Wang Y, Zhang A, Fan W, et al. Petrogenesis of late Triassic post-collisional basaltic rocks of the Lancangjiang tectonic zone, southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern Paleotethys[J]. *Geochronological and Geochemical Constraints*, 2010, 120: 529-546.
- [22]Hu Z, Gao S, Liu Y, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2008, 23(8): 1093-1101.
- [23]Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. Continental and Oceanic Crust Recycling-induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [24]Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards Newsletter*, 1995, 19(1): 1-23.
- [25]Liu Y, Zong K, Kelemen P B, et al. Geochemistry and magmatic history of eclogites and ultramafic rocks from the Chinese continental scientific drill hole: subduction and ultrahigh-pressure metamorphism of lower crustal cumulates[J]. *Chemical Geology*, 2008, 247(1): 133-153.
- [26]Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. California: Berkeley Geochronology Center, 2003.
- [27]Hoskin P W, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53(1): 27-62.
- [28]Lehmann B, Zhao X, Zhou M, et al. Mid-Silurian back-arc spreading at the northeastern margin of Gondwana: The Dapingzhang dacite-hosted massive sulfide deposit, Lancangjiang zone, southwestern Yunnan, China[J]. *Gondwana Research*, 2013, 24(2): 648-663.
- [29]毛晓长, 王立全, 李冰, 等. 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[J]. *岩石学报*, 2012, 28(5): 1517-1528.
- [30]Tran H T, Zaw K, Halpin J A, et al. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(1): 144-146.
- [31]Roger F, Leloup P H, Jolivet M, et al. Long and complex thermal history of the Song Chay metamorphic dome (Northern Vietnam) by multi-system geochronology[J]. *Tectonophysics*, 2000, 321(4): 449-466.
- [32]Wang Y, Fan W, Zhao G, et al. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block[J]. *Gondwana Research*, 2007, 12(4): 404-416.
- [33]舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1581-1593.
- [34]Li Z X, Li X H, Wartho J A, et al. Magmatic and metamorphic events during the early Paleozoic Wuyi-Yunkai orogeny, southeastern South China: New age constraints and pressure-temperature conditions[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2010, 122(5/6): 772-793.
- [35]Wang Q, Deng J, Li C, et al. The boundary between the Simao and Yangtze blocks and their locations in Gondwana and Rodinia: Constraints from detrital and inherited zircons[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(2): 438-448.
- [36]Cawood P A, Buchan C. Linking accretionary orogenesis with supercontinent assembly[J]. *Earth Science Reviews*, 2007, 82(3): 217-256.
- [37]Usuki T, Lan C, Wang K, et al. Linking the Indochina block and Gondwana during the Early Paleozoic: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons[J]. *Tectonophysics*, 2013, 586: 145-159.
- [38]Nie X, Feng Q, Qian X, et al. 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[J]. *Gondwana Research*, 2015, 28(2): 757-768.
- [39]Xing X, Wang Y, Cawood P A, et al. Early Paleozoic accretionary orogenesis along northern margin of Gondwana constrained by high-Mg metagneous rocks, SW Yunnan[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2017, 106(5): 1469-1486.
- [40]Zhao T Y, Feng Q L, Metcalfe I, et al. Detrital zircon U-Pb-Hf isotopes and provenance of Late Neoproterozoic and Early Paleozoic sediments of the Simao and Baoshan Blocks, SW China: Implications for Proto-Tethys and Paleo-Tethys evolution and Gondwana reconstruction[J]. *Gondwana Research*, 2017, in press.
- [41]Yu J, O'Reilly S Y, Wang L, et al. Where was South China in the Rodinia supercontinent?[J]. *Precambrian Research*, 2008, 164(1/2): 1-15.
- [42]Cawood P A. Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic[J]. *Earth Science Reviews*, 2005, 69(3/4): 249-279.
- [43]Ding H, Zhang Z, Dong X, et al. Cambrian ultrapotassic rhyolites from the Lhasa terrane, south Tibet: Evidence for Andean-type magmatism along the northern active margin of Gondwana[J]. *Gondwana Research*, 2015, 27(4): 1616-1629.
- [44]Dong M, Dong G, Mo X, et al. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of granites in the Baoshan Block, Western Yunnan: Implications for Early Paleozoic evolution along the Gondwana margin[J]. *Lithos*, 2013, 179: 36-47.
- [45]Hu P, Zhai Q, Jahn B, et al. Early Ordovician granites from the South Qiangtang terrane, northern Tibet: Implications for the early

- Paleozoic tectonic evolution along the Gondwanan proto-Tethyan margin[J]. *Lithos*, 2015, 220/223: 318–338.
- [46] Wang X, Zhang J, Santosh M, et al. Andean-type orogeny in the Himalayas of south Tibet: implications for early Paleozoic tectonics along the Indian margin of Gondwana[J]. *Lithos*, 2012, 154: 248–262.
- [47] Zhao S, Lai S, Qin J, et al. Zircon U–Pb ages, geochemistry, and Sr–Nd–Pb–Hf isotopic compositions of the Pinghe pluton, Southwest China: implications for the evolution of the early Palaeozoic Proto-Tethys in Southeast Asia[J]. *International Geology Review*. 2014, 56(7): 885–904.
- [48] Zhu D, Zhao Z, Niu Y, et al. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasa Terrane, southern Tibet: Record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. *Chemical Geology*, 2012, 328: 290–308.
- [49] Li D, Chen Y, Hou K, et al. Detrital zircon record of Paleozoic and Mesozoic meta-sedimentary strata in the eastern part of the Baoshan block: Implications of their provenance and the tectonic evolution of the southeastern margin of the Tibetan plateau[J]. *Lithos*, 2015, 227: 194–204.
- [50] Li D, Luo Z, Chen Y, et al. Deciphering the origin of the Tengchong block, west Yunnan: Evidence from detrital zircon U–Pb ages and Hf isotopes of Carboniferous strata[J]. *Tectonophysics*, 2014, 614: 66–77.
- [51] Cawood P A, Johnson M R, Nemchin A A. Early Palaeozoic orogenesis along the Indian margin of Gondwana: Tectonic response to Gondwana assembly[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 255(1): 70–84.
- [52] Boger S D, Wilson C, Fanning C M. Early Paleozoic tectonism within the East Antarctic craton: The final suture between east and west Gondwana?[J]. *Geology*, 2001, 29(5): 463–466.
- [53] Fitzsimons I. Grenville-age basement provinces in East Antarctica: Evidence for three separate collisional orogens[J]. *Geology*, 2000, 28(10): 879–882.
- [54] Cawood P A, Korsch R J. Assembling Australia: Proterozoic building of a continent[J]. *Precambrian Research*, 2008, 166(1/4): 1–35.
- [55] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 2011, 39(8): 727–730.
- [56] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 2011, 39:727–730.
- ① 云南省第五地质大队. 1:20 万孟连幅区域地质调查报告. 1982.
- ② 云南省地质调查院. 1:25 万澜沧县、勐海县幅区域地质调查报告. 2013.
- ③ 云南省地质调查院. 1:25 万凤庆县幅区域地质调查报告. 2008.