

doi:10.3799/dqkx.2016.106

上扬子西南盐源盆地早三叠世物源体系及构造意义

朱 民^{1,2}, 陈汉林^{1,2}, 周 静^{1,2}, 杨树锋^{1,2}

1. 浙江大学地球科学学院,浙江杭州 310027

2. 教育部含油气盆地构造研究中心,浙江杭州 310027

摘要:晚古生代末期至早中生代期间,上扬子西部边缘地区经历了峨眉山大火成岩省构造岩浆热事件和与古特提斯洋闭合相关的三江造山带形成事件,导致康滇古陆两侧形成了独特的盆山格局和沉积模式。由于目前人们对盐源盆地早三叠世青天堡组的物源与构造背景了解不多,故以盐源、盐塘剖面为代表,对青天堡组碎屑岩进行了砂岩组分、全岩地球化学和碎屑锆石年代学分析。结果显示,盐源盆地下三叠统青天堡组物源来自于近源搬运的火山岩,青天堡组与峨眉山大火成岩省的高钛玄武岩具有一致的元素组合配分模式,青天堡组锆石谐和加权平均年龄为 261 ± 16 Ma,与峨眉山大火成岩省形成的地幔柱活动时期一致。上述结果表明早三叠世盐源盆地青天堡组物源为其东侧的峨眉山大火成岩省,扬子西部三江造山带可能并没有为盐源盆地提供物源,上扬子西南边缘地区早三叠世时期仍然为被动大陆边缘沉积。

关键词:下三叠统;青天堡组;物源分析;构造;盐源盆地;上扬子地区;地层学。

中图分类号: P531

文章编号: 1000-2383(2016)08-1309-13

收稿日期: 2016-02-05

Provenance of Early Triassic in Yanyuan Basin, Upper Yangtze and Its Implication for the Tectonic Evolution

Zhu Min^{1,2}, Chen Hanlin^{1,2}, Zhou Jing^{1,2}, Yang Shufeng^{1,2}

1. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. Research Center for the Structures in Oil and Gas Bearing Basin of Ministry of Education, Hangzhou 310027, China

Abstract: The tectono-magmatic thermal event of Emeishan Large Igneous Province (ELIP) and the formation of Sanjiang Orogen caused by closure of Paleo-Tethys ocean along the western margin of the Upper Yangtze area during Late Paleozoic to Early Mesozoic shaped the unique pattern of basin-mountain system. For lack of cognition about the provenance and tectonic settings of Qingtianbao Formation in Yanyuan area, southwestern Sichuan, detrital compositions, major, trace elements and detrital zircon isotope ages of clastic rocks from Yantang section were tested and analyzed. The detrital components of Sandstone in Yanyuan region is volcanic clastic mainly and suggests that the provenance of Early Triassic strata was from a nearly source of volcanic rock, detrital zircons yield U-Pb ages of ca. 261 Ma is consistent with the Emeishan mantle plume activity event and the geochemical characteristics of sandstone is similarity to those High Ti basalt of Emeishan LIP. Combined with the research findings of sedimentary and palaeo-geography in Yanyuan area, we suggest that the provenance of Qingtianbao Formation in Yanyuan region came from the Emeishan LIP, but may not came from the Sanjiang Orogen. Southwestern Upper Yangtze area was still a passive continental margin.

Key words: Lower Triassic; Qingtianbao Formation; provenance analysis; tectonic; Yanyuan basin; the Upper Yangtze area; stratigraphy.

晚古生代末—早中生代时期,上扬子西部经历了峨眉山大火成岩省构造岩浆热事件和古特提斯洋俯冲—闭合的过程(雷永良等,2010)。早二叠世晚期

上扬子西南的康滇一带因地幔柱上涌导致了260 Ma左右峨眉山大火成岩省(ELIP)的大规模喷发(White and McKenzie, 1989; Zhang et al.,

基金项目:国家科技重大专项项目(Nos. 2016ZX05008-001, 2016ZX05003-001)。

作者简介:朱民(1984—),男,博士研究生,主要从事造山带与盆地构造研究。E-mail: 237623510@qq.com

引用格式:朱民,陈汉林,周静,等,2016. 上扬子西南盐源盆地早三叠世物源体系及构造意义. 地球科学, 41(8): 1309—1321.

2009; Shellnutt *et al.*, 2008), 这一岩浆活动事件的残余岩浆分布面积超过 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ (Chung and Jahn, 1995; Courtillot and Renne, 2003). 大规模覆盖在康滇古陆上的峨眉山大火成岩省在三叠纪早期受古陆强烈持续抬升(四川省地质矿产研究所, 1987)影响而遭受剥蚀, 为两侧盆地提供物源(雷永良等, 2010). 早三叠世, 毗邻扬子板块西侧的羌塘、印支等一系列冈瓦纳陆块与扬子板块整体处于汇聚状态, 古特提斯主洋盆澜沧江洋和分支洋盆金沙江洋先后俯冲趋于闭合(许志琴等, 1992; 潘桂棠等, 2001). 早三叠世晚期—中三叠世, 金沙江洋洋南部分支的哀牢山洋盆已经闭合(Zi *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2011), 引起两侧板块碰撞并导致上扬子南部哀牢山造山带的隆升和毗邻其东北侧的右江盆地开始由被动陆缘向前陆盆地的转换(Yang *et al.*, 2012; 杜远生等, 2013). 作为金沙江北部分支、毗邻上扬子地区西部的甘孜理塘洋此时则处于开启状态(Metcalfe, 2013), 目前大多数研究者认为上扬子西部地区早中三叠世期间整体为一套被动大陆边缘沉积(马永生等, 2009; 雷永良等, 2010; 韦一等, 2014), 其反映古特提斯洋此时并未完全闭合. 位于北支甘孜理塘洋盆和南支哀牢山洋盆之间、上扬子西南盐源盆地西侧的金沙江洋洋盆是否已经闭合, 盐源盆地是否已经开始接受西部因碰撞隆升形成的造山带物质, 目前尚未有明确报道. 故早三叠世期间盐源盆地的形成是受康滇古陆控制为主, 还是开始接受西部

物源, 学界尚存争议(四川省地质矿产研究所, 1987; 刘家铎和刘文周, 1995; 董黎阳, 2014). 因此, 开展盐源盆地早三叠世地层的砂岩岩石学、沉积学、地球化学以及碎屑锆石年龄分析, 对建立盆地的物源体系和重塑盐源盆地的沉积演化模式, 建立三江造山带、盐源盆地和康滇古陆之间的盆山结构及反映三江造山带的碰撞时间和造山带的演化具有重要的意义.

1 盐源盆地区域地质背景

盐源盆地位于上扬子西部边界川西南—滇西北一带, 盆地北部和西部与三江多岛弧造山系(邓军等, 2013)为邻, 东部以菁河断裂和康滇古陆为邻, 南部与丽江盆地相望(图 1b). 盐源盆地早三叠世发育了一套近千米的滨岸细粉砂岩—泥质岩的沉积体系(四川省地质矿产研究所, 1987; 韦一等, 2014), 以木里一带厚度为最大. 其中下三叠统青天堡组为一套紫红色—灰绿色陆相—海陆交互相火山碎屑沉积建造(四川省地质矿产研究所, 1987; 刘家铎和刘文周, 1995), 以四川境内的盐源平川—甲米—盐塘至西部云南境内丽江地区的宁蒗—永胜—鹤庆一带为典型. 盐塘剖面(图 1a)青天堡组底部多为紫红色玄武质砾岩, 向上逐步向由粗至细的玄武质岩屑砂岩和粉砂质泥岩过渡, 沉积构造不明显, 沉积相由底部的水下冲积扇向上逐步向河口砂坝以及潮间带过渡(四川省地质矿产研究所, 1987). 青天堡组与下伏上

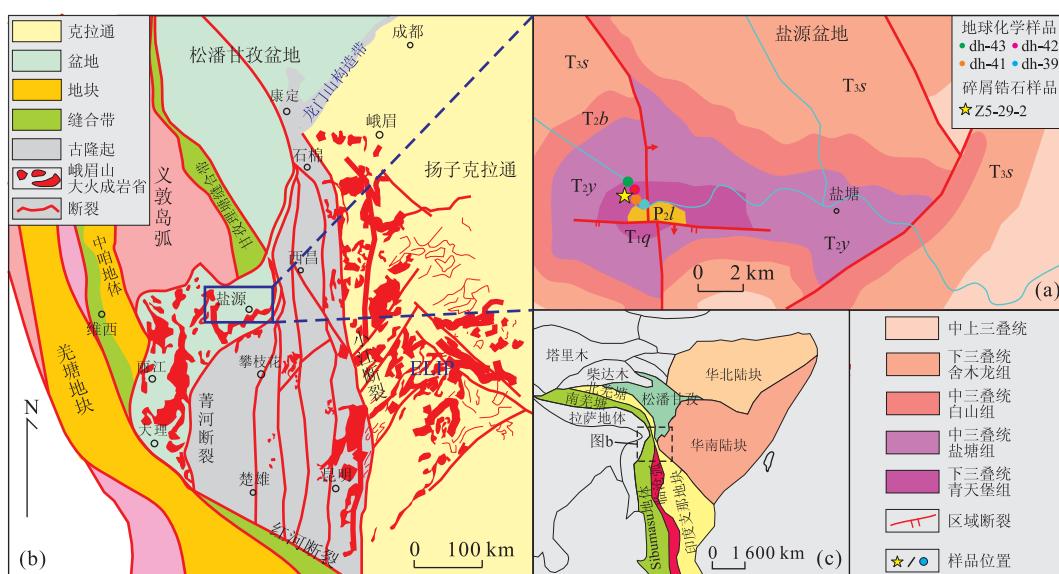


图 1 盐源及邻区地质简图

Fig. 1 Simplified tectonic sketch of the Yanyuan region and adjacent regions
据四川省地质矿产局(1972), 许志琴等(1992), Metcalfe(2013)和 Munteanu *et al.* (2013)修改

二叠统乐平组呈假整合接触,与上覆中三叠统盐塘组为整合接触。

2 早三叠世青天堡组碎屑岩的碎屑结构、地球化学特征与物源含义

盐源盆地盐塘地区早三叠世青天堡组厚度为238 m,底部为棕褐色—紫红色厚层砾岩,以玄武质砾石为主,粒径为0.8~4.0 cm(图2),向上主体为暗紫红色中厚层凝灰质岩屑砂岩向岩屑长石砂岩过渡,并夹暗灰色中薄层粉砂质泥页岩。笔者采集了5个青天堡组中细粒砂岩样品进行砂岩岩石学特征分析和地球化学全岩主量、微量元素测试。全岩主量、微量元素测试在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室以及中科院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室内完成。

2.1 砂岩碎屑组成与物源含义

砂岩样品均显示含有大量的分选较差的次棱角状和少量的次棱角一次圆状火山岩碎屑颗粒,多为玄武质岩屑,碎屑颗粒多显示板条状、微晶状,含量约占40%,部分可见绿泥石化,另外还有少量玻璃质岩屑碎片(图3a, 3b)和铁质颗粒。其他可见少量粘土质、硅质和碳酸盐的沉积岩岩屑。石英总体含量不超过5%,多以棱角状为主。长石总体含量为25%~30%,少量局部碳酸盐化。综合分析表明,早三叠世青天堡组砂岩为长石岩屑砂岩,其砂岩组分和棱角状碎屑特征显示青天堡组沉积物物源较近,搬运距离不远;而大量玄武质岩屑的出现,也暗示其物源来自于较近的玄武岩。

2.2 早三叠世青天堡组砂岩地球化学特征与物源含义

物源分析在确定沉积物物源位置、性质及沉积

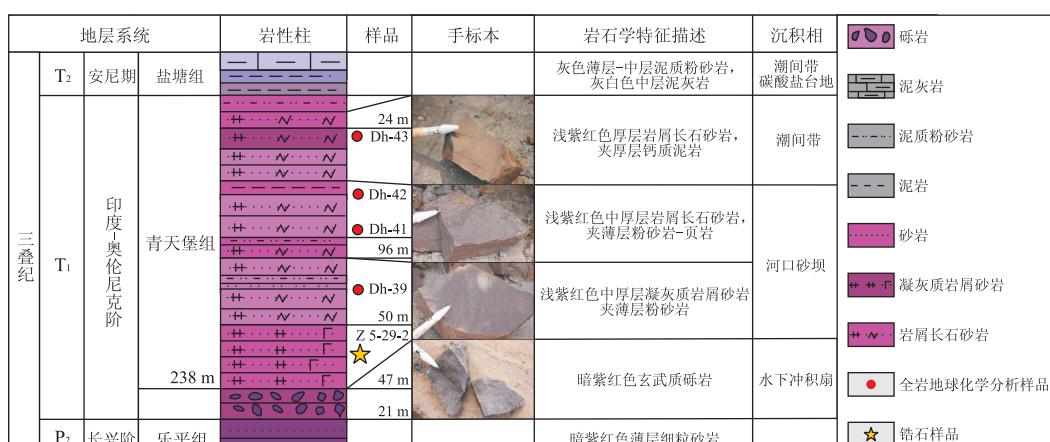


图2 盐源盆地盐塘地区早三叠世青天堡组实测地层剖面

Fig. 2 Stratigraphic column and outcrop photograph of Early Triassic Qingtianbao Formation in Yantang area

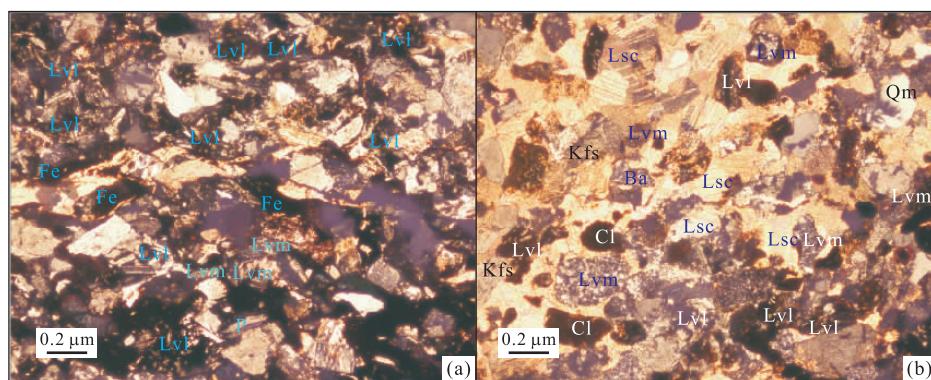


图3 青天堡组砂岩样品dh-41(a)和dh-42(b)显微镜下正交偏光特征

Fig. 3 Microphotographs of the Qingtianbao Formation for samples dh-41 (a) and dh-42 (b)

Kfs.钾长石; P.斜长石; Qm.单晶石英; Lsc.碳酸盐岩屑; Cl.粘土质岩屑; Lvl.火山玻璃; Lvm.微晶状火山岩屑

物搬运路径,甚至研究整个盆地的沉积作用、构造演化等方面具有重要意义(Haskin and Haskin, 1966; McLennan, 1993; Gu, 1994; Gu *et al.*, 2002)。而大量研究表明碎屑岩中元素地球化学特征可以被用于研究其物源及其风化作用(Nesbitt *et al.*, 1980; Nesbitt and Young, 1982; Taylor and McLennan, 1985)。

本次研究采集了 4 个青天堡组中细粒砂岩样品,对其进行主量元素、微量元素和稀土元素的地球化学特征分析,并进行物源分析。

2.2.1 砂岩地球化学与源区风化特征 化学变异指数(CIA)(Nesbitt *et al.*, 1980)结合 A-CN-K 判别图可对源区所经历的化学风化作用强弱进行判别,恢复源区的古气候条件,还可较好地反映源岩成分(Nesbitt and Young, 1982)。早三叠世青天堡组的 4 个样品 dh-39、dh-41、dh-24、dh-43 的 CIA 值在 45~66,平均值为 55(表 1),表明源区所经历的化学风化较弱,处于化学风化的初始阶段。但 4 个青天堡组样品显示为大致平行于 A-CN 线性排列(图 4a),CIA 值变化较大,表明沉积物化学风化程度不均匀,提示源区处于一种非稳定风化状态中;构造活跃、基底抬升,导致了源岩不断遭受风化剥离(Nesbitt *et al.*, 1997)。另外,风化趋势线的反向延长线与钾长石(Kfs)和斜长石(Pl)的连线相交点指示其源岩主要为镁铁质岩石(图 4a)。

沉积岩的 Th/U 值与风化作用强度呈正相关,不同的比值可揭示不同的源区背景及风化强度(McLennan, 1993)。青天堡组 4 个样品 dh-39、dh-41、dh-24、dh-43 的 Th/U 比值为 4.35~4.82(图 4b),大于上地壳平均值 3.80,表明其离源岩区较近且经历了较强的构造抬升运动并接受了快速剥蚀与沉积。

2.2.2 砂岩地球化学与源区岩石类型 早三叠世青天堡组碎屑岩的 4 个样品 dh-39、dh-41、dh-42、dh-43 的 SiO₂ 含量较低,为 49.99%~57.62%;TiO₂ 含量为 1.37%~2.72%,平均为 2.08%;Al₂O₃ 的含量为 9.21%~14.19%,多数样品具有较高含量的 Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 以及较低含量的全碱质(Na₂O+K₂O)组分。LOI 含量较高,为 4.58%~12.01%,与样品中普遍含有一定的方解石(CaO 含量为 1.34%~13.52%)和少量粘土矿物有关。

沉积岩中的 Al₂O₃/TiO₂ 比值受成岩后风化作用及沉积搬运的影响很小(Taylor and McLennan, 1985; Sugitani *et al.*, 1996),当沉积岩中混合一些

表 1 早三叠世青天堡组样品主量(%)、微量元素、稀土元素含量(10⁻⁶)

Table 1 Major elements (%), trace elements and rare earth elements (10⁻⁶) of Early Triassic Qingtianbao Formation

样品	dh-39	dh-41	dh-42	dh-43
SiO ₂	57.62	49.98	51.50	49.99
TiO ₂	1.56	1.37	2.72	2.66
Al ₂ O ₃	10.63	9.21	14.19	13.10
Fe ₂ O ₃	10.90	6.19	12.22	14.94
MnO	0.15	0.23	0.15	0.14
MgO	8.94	3.15	5.58	7.52
CaO	1.34	13.52	2.75	2.28
Na ₂ O	1.12	2.97	4.78	3.89
K ₂ O	1.49	1.00	0.48	0.40
P ₂ O ₅	0.17	0.16	0.30	0.29
LOI	5.54	12.01	5.06	4.58
Total	99.47	99.80	99.73	99.78
CIA	66.74	45.87	52.83	56.01
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	6.81	6.71	5.21	4.93
La	184.51	192.80	152.79	202.06
Ce	165.05	112.90	97.63	133.32
Pr	163.46	121.07	103.86	142.77
Nd	130.02	95.09	84.08	116.89
Sm	81.17	58.36	53.22	77.19
Eu	73.45	46.93	36.85	62.33
Gd	55.12	41.29	38.14	51.91
Tb	45.05	36.83	36.72	46.61
Dy	25.94	25.71	28.35	31.89
Ho	17.99	21.32	24.53	25.66
Er	16.23	20.23	23.07	23.91
Tm	11.49	20.20	24.26	23.30
Yb	10.37	18.18	21.91	20.87
Lu	9.41	18.02	22.49	21.21
Li	11.80	18.08	27.59	52.18
Be	3.36	2.36	1.74	2.63
Sc	18.16	18.22	32.00	30.18
Ti	12 370.69	8 003.09	12 091.75	13 221.84
V	121.40	63.28	170.41	166.65
Cr	79.21	200.91	202.64	184.92
Mn	1 465.92	2 290.52	1 264.86	1 185.01
Co	60.95	40.07	68.49	70.83
Ni	154.94	87.31	163.61	173.97
Cu	86.32	60.14	55.30	62.90
Zn	74.51	39.17	68.27	78.08
Ga	28.52	17.06	27.80	27.42
Rb	46.26	35.14	18.03	15.44
Sr	1 198.08	126.80	109.34	188.96
Y	24.59	30.32	35.04	35.25
Zr	357.32	366.06	414.86	363.04
Nb	83.88	46.55	42.60	46.91
Mo	3.90	0.71	0.63	0.82
Sn	2.51	2.50	2.89	2.73
Cs	0.72	0.72	0.65	0.76
Ba	428.86	438.38	242.34	458.44
Hf	9.52	10.99	12.49	11.13
Ta	5.37	2.72	2.40	2.77
W	0.45	19.43	4.85	8.88
Pb	8.49	13.26	7.35	25.38
Th	7.00	7.16	7.45	6.11
U	1.61	1.58	1.54	1.27

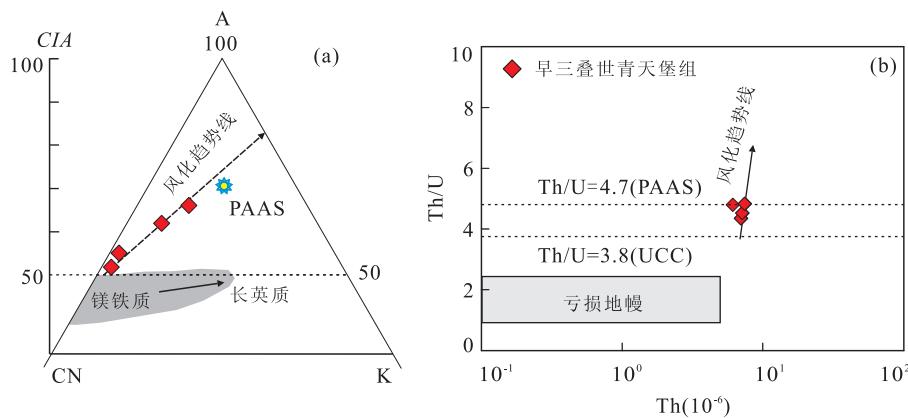
图4 青天堡组砂岩主量元素 A(Al_2O_3)-CN($\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$)-K(K_2O) (a) 及微量元素 Th/U-Th 关系 (b)

Fig. 4 Geochemical relations of A(Al_2O_3)-CN($\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$)-K(K_2O) (a) and Th/U-Th (b) for the sandstones in Qingtianbao Formation

图 a 据 Nesbitt and Young(1982); 图 b 据 McLennan(1993), UCC 和 PAAS 据 Taylor and McLennan(1985)

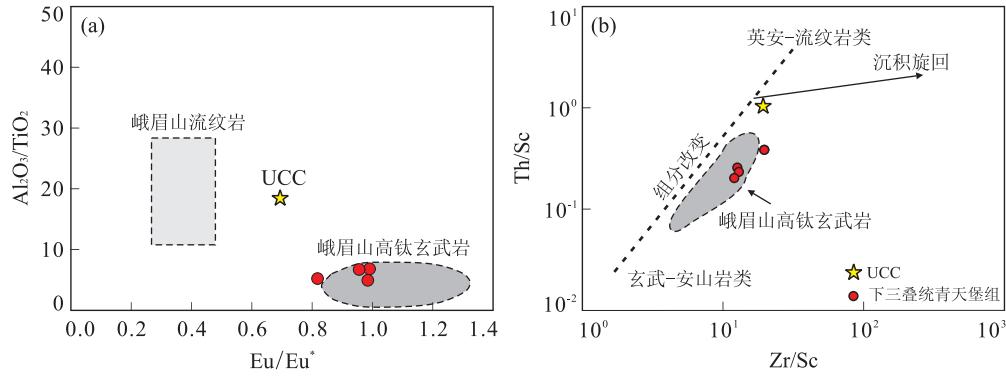
图5 盐源盆地青天堡组砂岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - Eu/Eu^* (a) 及 Th/Sc - Zr/Sc (b) 关系

Fig. 5 Geochemical relations of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - Eu/Eu^* (a) and Th/Sc - Zr/Sc (b) for the sandstones in Qingtianbao Formation

峨眉山高钛玄武岩数据据 Xu et al. (2001), Xiao et al. (2004), Fan et al. (2008) 和 Zi et al. (2010); UCC 据 Taylor and McLennan (1985)

基性或酸性火山岩碎屑时, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值会发生明显变化 (Yang et al., 2012), 该比值常被用于沉积岩的物源分析以及酸性凝灰岩的识别 (黄虎, 2013). 峨眉山大火成岩省样品存在两种 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值, 第一种为比值较低 ($2.7 \sim 8.1$) 的峨眉山高钛玄武岩类, 第二种为比值较高 (>10) 的峨眉山流纹岩类 (Xu et al., 2010). 早三叠世青天堡组碎屑岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值为 $4.93 \sim 6.81$, 在峨眉山高钛玄武岩的范围之内而明显不同于与峨眉山大火成岩省相关的流纹岩类 (图 5a); 同时岩石学特征显示早三叠世青天堡组碎屑岩以富含大量的玄武质火山碎屑为特点, 表明青天堡组物源来自峨眉山大火成岩省的高钛玄武岩类.

非活性元素 Th、Sc、Zr 因其地球化学性质稳定, 通常被用于进行源区的示踪 (Taylor and McLennan, 1985; Bhatia and Crook, 1986). 相容

元素 Sc 常用于示踪镁铁质源岩, 不相容元素 Th 则常富集于长英质火山岩中, 故 Th/Sc 比值是很好的源区示踪指标 (McLennan, 1993). 而 Zr/Sc 比值则常用于指示沉积物旋回的程度以及之后稳定矿物锆石的富集程度 (McLennan, 1993). 在图 5b 中, 大陆上地壳平均值 (UCC) 位于岩浆岩组分变化线附近, 早三叠世青天堡组的 4 个样品具有较低的 Zr/Sc 和 Th/Sc 比值, 所有样品均位于或接近峨眉山大火成岩省相关的高钛玄武岩分布范围, 表明青天堡组物源来自于峨眉山大火成岩省的高钛玄武岩类.

如图 6a 中所示, 早三叠世青天堡组样品的微量元素原始地幔标准化蛛网图显示青天堡组样品均不存在 Nb 和 Ta 的负异常, 且显示 Th、U、Nb、Ta 元素的相对富集而无明显 Ti 亏损, 与峨眉山高钛玄武岩蛛网图配分模式一致; 而不同于富集 Th、U、Nb、Ta 元素而明显亏损 Sr 和 Ti 元素的峨眉山长英质

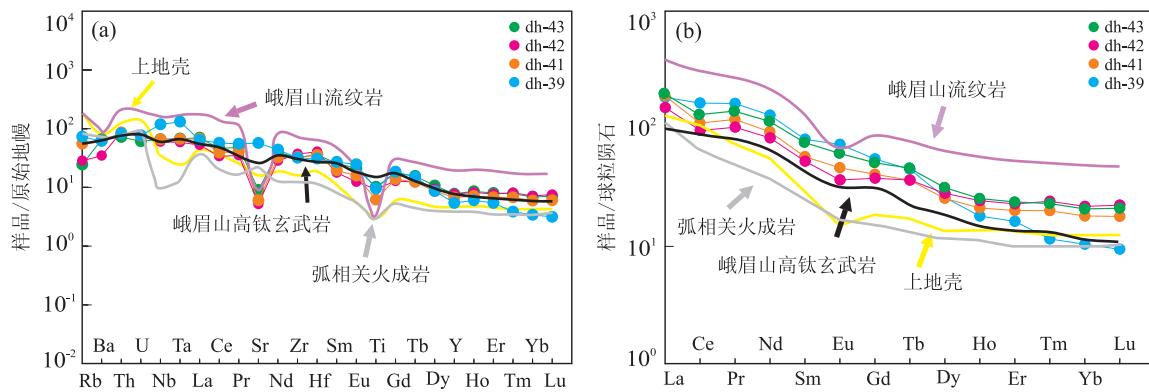


图 6 样品微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)和稀土元素球粒陨石标准化配分图(b)

Fig. 6 Primitive mantle normalized trace elements spider-diagram (a) and chondrite normalized REE diagram (b)

原始地幔和球粒陨石标准化值据 Sun and McDonough(1989), UCC 据 Taylor and McLennan(1985), 弧相关火成岩值引自 Omrani *et al.* (2008), 峨眉山流纹岩值据 Shellnutt and Jahn(2010) 和 Xu *et al.* (2010)

喷出岩类型的蛛网图;也不同于富集 Th 和 U 而明显亏损 Nb 和 Ta 以及 Ti 的平均大陆上地壳蛛网图;与强烈亏损 Nb 和 Ta 元素的岛弧岩浆岩平均值(Omrani *et al.*, 2008)蛛网图也存在不一致性。

如图 6b 中所示,样品的球粒陨石标准化 REE 配分模式具有轻稀土略微富集、重稀土较为平坦的右倾分布模式;整体 Eu 负异常不明显(全部 Eu/Eu^{*}=0.81~0.98),(La/Yb)_N 值为 6.97~17.79,平均值为 11.25,表现为轻稀土富集。其配分模式与平均大陆上地壳(UCC)以及峨眉山长英质喷出岩显著的轻稀土富集、重稀土平坦以及明显的 Eu 负异常的 REE 分布模式存在差异;而与整体呈右倾、重稀土分布略微平坦的峨眉山高铁玄武岩配分模式具有一致性;与岛弧岩浆岩平均值(Omrani *et al.*, 2008)相关的轻稀土不富集、重稀土平坦而无 Eu 负异常的配分模式亦存在不一致性。

2.3 早三叠世青天堡组碎屑岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄与物源含义

为了进一步揭示早三叠世青天堡组的物源,本文采集了其粗粒砂岩样品 Z5-29-2 进行碎屑锆石 U-Pb 定年(表 2, 图 7)。对于测试年龄大于 1000 Ma 的样品,因其具有大量放射性的 Pb 而应用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 的表面年龄;对于小于 1000 Ma 的样品因其 Pb 含量少和 Pb 校正的不稳定性,采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 的表面年龄。不谐和度大于 10% 或普通铅校正大于 2% 的数据不予采用。笔者对所有的分析结果进行年龄统计(图 7a),获得的 65 颗锆石年龄集中于 247~284 Ma 这个年龄段,加权平均年龄为 261±16 Ma(MSWD=3.4);另外有 4 颗锆石位于 754~940 Ma 年龄段(图 7a, 7b)。如图 7b 所示,所有 69 个锆石颗粒微量元素

Th/U 比值为 0.51~1.91(表 2),显示其为岩浆成因(Corfu *et al.*, 2003)。大部分锆石在阴极发光图下均显示振荡环带的内部结构(图 7c),部分振荡环带较宽,提示锆石结晶时岩浆温度较高(吴元保和郑永飞,2004)。另外,部分锆石颗粒可见包裹体。锆石颗粒形态多为棱角状和碎片状,显示其为近源搬运。

碎屑锆石定年的结果显示早三叠世青天堡组样品的锆石加权平均年龄为 261±16 Ma,这与已报道的峨眉山大火成岩省主喷发事件的时间(约 260 Ma; He *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2008; Shellnutt and Jahn, 2010)一致。砂岩碎屑锆石年龄集中于 247~284 Ma,反映了峨眉山大火成岩省主喷发事件形成前后的幕式岩浆活动(Shellnutt *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2012)。4 颗新元古代年龄锆石(754~940 Ma)与扬子板块西部边缘地区在新元古代期间 Rodinia 超大陆裂解的地幔柱活动导致的岩浆事件(Li *et al.*, 2003)具有时间上的一致性,表明其可能来源于盐源盆地附近新元古代盐边群(杜利林等,2013)等变质沉积岩的再旋回或新元古代的深成岩体。

3 早三叠世物源综合分析与构造意义

综合以上证据,笔者认为盐源盆地在此期间一直接受中康滇古陆上部隆起剥蚀的峨眉山大火成岩省碎屑提供的物源(图 8b),且以高铁玄武岩为主而非长英质岩类。

晚二叠世末期—早三叠世(255~247 Ma),康滇古陆一直处于持续隆升阶段,西昌—攀枝花—昆明南北一线整体地壳抬升,缺失下三叠统。毗邻康滇

表1 早三叠世青天堡组碎屑锆石U-Pb年龄测试结果

Table 1 U-Pb ages of detrital zircon grains for Qingtianbao Formation in Yantang region

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			年龄(Ma)			
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	Th / U	
5-29-2-01	0.0520	0.0018	0.3067	0.00928	0.0429	0.00062	0.0131	0.00021	284	43	272	7	271	4	264	4
5-29-2-02	0.0527	0.0035	0.3108	0.02020	0.0428	0.00069	0.0134	0.00015	317	155	275	16	270	4	269	3
5-29-2-03	0.0540	0.0020	0.3186	0.01075	0.0429	0.00064	0.0132	0.00022	371	49	281	8	271	4	266	4
5-29-2-04	0.0516	0.0027	0.3057	0.01558	0.0430	0.00065	0.0135	0.00016	266	125	271	12	271	4	271	3
5-29-2-05	0.0500	0.0023	0.2845	0.01219	0.0413	0.00063	0.0130	0.00024	196	71	254	10	261	4	261	5
5-29-2-06	0.0503	0.0014	0.2814	0.00659	0.0407	0.00057	0.0121	0.00018	207	29	252	5	257	4	244	4
5-29-2-07	0.0463	0.0012	0.2565	0.00569	0.0403	0.00055	0.0126	0.00016	13	26	232	5	254	3	233	3
5-29-2-08	0.0536	0.0021	0.3028	0.01099	0.0411	0.00062	0.0124	0.00023	353	55	269	9	259	4	249	5
5-29-2-09	0.0476	0.0018	0.2690	0.00910	0.0410	0.00060	0.0122	0.00020	80	52	242	7	259	4	244	4
5-29-2-10	0.0549	0.0018	0.3222	0.00947	0.0426	0.00062	0.0130	0.00021	409	40	284	7	269	4	261	4
5-29-2-11	0.0472	0.0015	0.2712	0.00740	0.0417	0.00059	0.0133	0.00021	61	38	244	6	263	4	267	4
5-29-2-14	0.0512	0.0035	0.2953	0.01977	0.0419	0.00067	0.0132	0.00015	248	159	263	15	264	4	265	3
5-29-2-15	0.0549	0.0021	0.3159	0.01115	0.0418	0.00064	0.0129	0.00024	410	52	279	9	264	4	259	5
5-29-2-16	0.0503	0.0014	0.3114	0.00764	0.0450	0.00063	0.0149	0.00022	208	32	275	6	284	4	300	4
5-29-2-17	0.0509	0.0021	0.2962	0.01120	0.0423	0.00064	0.0128	0.00024	236	59	263	9	267	4	257	5
5-29-2-18	0.0535	0.0018	0.3020	0.00931	0.0410	0.00060	0.0129	0.00022	351	43	268	7	259	4	259	4
5-29-2-19	0.0505	0.0015	0.2865	0.00759	0.0412	0.00058	0.0133	0.00018	217	36	256	6	260	4	266	4
5-29-2-20	0.0550	0.0026	0.2961	0.01330	0.0390	0.00058	0.0122	0.00015	414	109	263	10	247	4	245	3
5-29-2-21	0.0543	0.0023	0.3113	0.01241	0.0416	0.00063	0.0127	0.00030	382	62	275	10	263	4	256	6
5-29-2-22	0.0476	0.0017	0.2723	0.00852	0.0415	0.00059	0.0127	0.00023	79	47	245	7	262	4	256	5
5-29-2-23	0.0607	0.0026	1.1262	0.04499	0.1346	0.00209	0.0410	0.00062	630	59	766	21	814	12	812	12
5-29-2-24	0.0517	0.0022	0.2918	0.01121	0.0409	0.00064	0.0130	0.00026	273	59	260	9	259	4	262	5
5-29-2-25	0.0527	0.0037	0.2969	0.02033	0.0408	0.00067	0.0128	0.00015	317	163	264	16	258	4	257	3
5-29-2-26	0.0491	0.0019	0.2836	0.01031	0.0420	0.00061	0.0117	0.00023	151	58	253	8	265	4	235	5
5-29-2-27	0.0541	0.0022	0.3087	0.01153	0.0414	0.00062	0.0140	0.00025	377	57	273	9	261	4	281	5
5-29-2-28	0.0551	0.0017	0.3162	0.00868	0.0417	0.00059	0.0130	0.00022	415	36	279	7	263	4	261	4
5-29-2-29	0.0502	0.0017	0.2743	0.00832	0.0396	0.00056	0.0126	0.00019	204	44	246	7	251	3	252	4
5-29-2-30	0.0477	0.0022	0.2730	0.01192	0.0415	0.00062	0.0128	0.00028	85	71	245	10	262	4	258	6
5-29-2-31	0.0489	0.0016	0.2727	0.00787	0.0405	0.00057	0.0127	0.00021	141	42	245	6	256	4	254	4
5-29-2-32	0.0559	0.0018	0.3222	0.00883	0.0418	0.00059	0.0129	0.00020	447	36	284	7	264	4	260	4
5-29-2-33	0.0498	0.0018	0.2705	0.00862	0.0394	0.00056	0.0121	0.00020	188	48	243	7	249	3	244	4
5-29-2-34	0.0471	0.0017	0.2698	0.00862	0.0416	0.00059	0.0128	0.00021	54	46	243	7	262	4	256	4
5-29-2-35	0.0528	0.0015	0.2972	0.00735	0.0409	0.00057	0.0127	0.00019	318	32	264	6	258	4	255	4
5-29-2-36	0.0488	0.0016	0.2684	0.00804	0.0399	0.00056	0.0128	0.00019	136	44	241	6	252	3	257	4

续表 1

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			$^{208}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{208}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$			$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			年龄 (Ma)		
	1σ	2^{35}U	1σ	2^{38}U	1σ	2^{32}Th	1σ	2^{36}Pb	1σ	2^{35}U	1σ	2^{36}Pb	1σ	2^{38}U	1σ	2^{36}Pb	1σ	2^{38}U	1σ	$^{208}\text{Pb}/\text{U}$	1σ	(10^{-6})	Th/U	
5-29-2-39	0.0526	0.0041	0.2992	0.02252	0.0413	0.00070	0.0130	0.00017	311	177	266	18	261	4	260	3	93.11	143.32	0.65					
5-29-2-40	0.0548	0.0027	0.3011	0.01416	0.0398	0.00059	0.0124	0.00015	406	113	267	11	252	4	250	3	129.70	204.40	0.63					
5-29-2-41	0.0505	0.0015	0.2998	0.00735	0.0430	0.00059	0.0134	0.00020	219	32	266	6	271	4	269	4	162.85	221.78	0.73					
5-29-2-42	0.0483	0.0029	0.2724	0.01574	0.0409	0.00067	0.0118	0.00029	114	99	245	13	258	4	237	6	46.25	52.78	0.88					
5-29-2-43	0.0526	0.0018	0.2950	0.00909	0.0407	0.00058	0.0138	0.00021	312	44	262	7	257	4	276	4	145.09	149.77	0.97					
5-29-2-45	0.0459	0.0023	0.2565	0.01197	0.0406	0.00061	0.0138	0.00027	-10	70	232	10	256	4	278	5	65.53	85.16	0.77					
5-29-2-46	0.0512	0.0015	0.2885	0.00717	0.0408	0.00056	0.0129	0.00016	250	33	257	6	258	3	258	3	420.95	227.36	1.85					
5-29-2-47	0.0549	0.0043	0.3197	0.02419	0.0423	0.00072	0.0132	0.00016	406	179	282	19	267	4	265	3	80.09	86.46	0.93					
5-29-2-48	0.0555	0.0023	0.3120	0.01202	0.0408	0.00061	0.0141	0.00026	432	59	276	9	257	4	282	5	75.11	90.71	0.83					
5-29-2-49	0.0565	0.0039	0.3123	0.02071	0.0401	0.00065	0.0125	0.00015	472	156	276	16	253	4	250	3	95.15	95.78	0.99					
5-29-2-50	0.0547	0.0021	0.3142	0.01110	0.0416	0.00060	0.0132	0.00022	400	53	277	9	263	4	265	4	106.90	112.74	0.95					
5-29-2-51	0.0506	0.0017	0.2942	0.00839	0.0422	0.00059	0.0136	0.00019	222	40	262	7	266	4	273	4	190.22	163.69	1.16					
5-29-2-53	0.0567	0.0018	0.3249	0.00882	0.0416	0.00058	0.0132	0.00022	478	36	286	7	262	4	265	4	104.95	178.72	0.59					
5-29-2-54	0.0534	0.0017	0.3163	0.00863	0.0430	0.00060	0.0125	0.00022	345	37	279	7	271	4	251	4	109.31	160.09	0.68					
5-29-2-55	0.0524	0.0035	0.2959	0.01947	0.0409	0.00064	0.0129	0.00014	304	156	263	15	259	4	258	3	315.93	233.36	1.35					
5-29-2-56	0.0566	0.0036	0.3194	0.01993	0.0409	0.00064	0.0127	0.00015	476	146	281	15	259	4	256	3	146.85	137.78	1.07					
5-29-2-57	0.0546	0.0023	0.3142	0.01228	0.0417	0.00062	0.0124	0.00025	395	61	277	9	263	4	248	5	71.35	91.99	0.78					
5-29-2-58	0.0663	0.0016	1.1364	0.02026	0.1241	0.00166	0.0387	0.00048	817	18	771	10	754	10	768	9	206.56	154.28	1.34					
5-29-2-60	0.0517	0.0025	0.2963	0.01322	0.0415	0.00063	0.0133	0.00027	271	74	263	10	262	4	266	5	67.93	83.35	0.81					
5-29-2-61	0.0737	0.0017	1.5958	0.02683	0.1570	0.00209	0.0487	0.00066	1032	16	969	10	940	12	962	13	75.34	144.72	0.52					
5-29-2-62	0.0529	0.0014	0.3060	0.00625	0.0419	0.00056	0.0131	0.00016	324	24	271	5	265	3	263	3	618.74	379.78	1.63					
5-29-2-63	0.0534	0.0014	0.3061	0.00655	0.0415	0.00056	0.0133	0.00017	347	25	271	5	262	3	267	3	347.42	328.74	1.06					
5-29-2-64	0.0487	0.0014	0.3001	0.00726	0.0447	0.00061	0.0147	0.00019	132	32	266	6	282	4	295	4	378.04	259.95	1.45					
5-29-2-65	0.0543	0.0028	0.3312	0.01585	0.0442	0.00069	0.0139	0.00030	385	79	290	12	279	4	279	6	56.57	63.95	0.88					
5-29-2-67	0.0521	0.0018	0.2905	0.00879	0.0404	0.00057	0.0126	0.00019	289	44	259	7	255	4	252	4	158.49	163.36	0.97					
5-29-2-68	0.0721	0.0026	1.3291	0.04392	0.1337	0.00192	0.0404	0.00052	988	75	858	19	809	11	801	10	37.84	74.16	0.51					
5-29-2-70	0.0510	0.0024	0.2799	0.01206	0.0398	0.00060	0.0128	0.00026	239	71	251	10	251	4	256	5	64.46	82.25	0.78					
5-29-2-71	0.0523	0.0015	0.2942	0.00722	0.0407	0.00056	0.0128	0.00018	300	32	262	6	257	3	256	4	214.64	232.63	0.92					
5-29-2-72	0.0512	0.0022	0.2942	0.01175	0.0416	0.00061	0.0131	0.00022	248	65	262	9	263	4	262	4	108.66	107.31	1.01					
5-29-2-73	0.0492	0.0015	0.2729	0.00707	0.0402	0.00055	0.0132	0.00018	156	36	245	6	254	3	264	4	287.86	241.50	1.19					
5-29-2-74	0.0484	0.0021	0.2816	0.01143	0.0422	0.00063	0.0133	0.00028	117	67	252	9	266	4	267	6	67.12	98.99	0.68					
5-29-2-75	0.0564	0.0030	0.3127	0.01559	0.0402	0.00064	0.0145	0.00034	466	82	276	12	254	4	291	7	43.86	60.50	0.72					
5-29-2-77	0.0488	0.0024	0.2700	0.01231	0.0401	0.00060	0.0124	0.00022	137	78	243	10	253	4	249	4	100.17	88.61	1.13					
5-29-2-79	0.0457	0.0018	0.2587	0.00938	0.0410	0.00058	0.0132	0.00021	-18	48	234	8	259	4	265	4	127.75	146.13	0.87					
5-29-2-80	0.0476	0.0023	0.2665	0.01184	0.0406	0.00060	0.0136	0.00025	77	71	240	9	256	4	274	5	88.36	95.69	0.92					

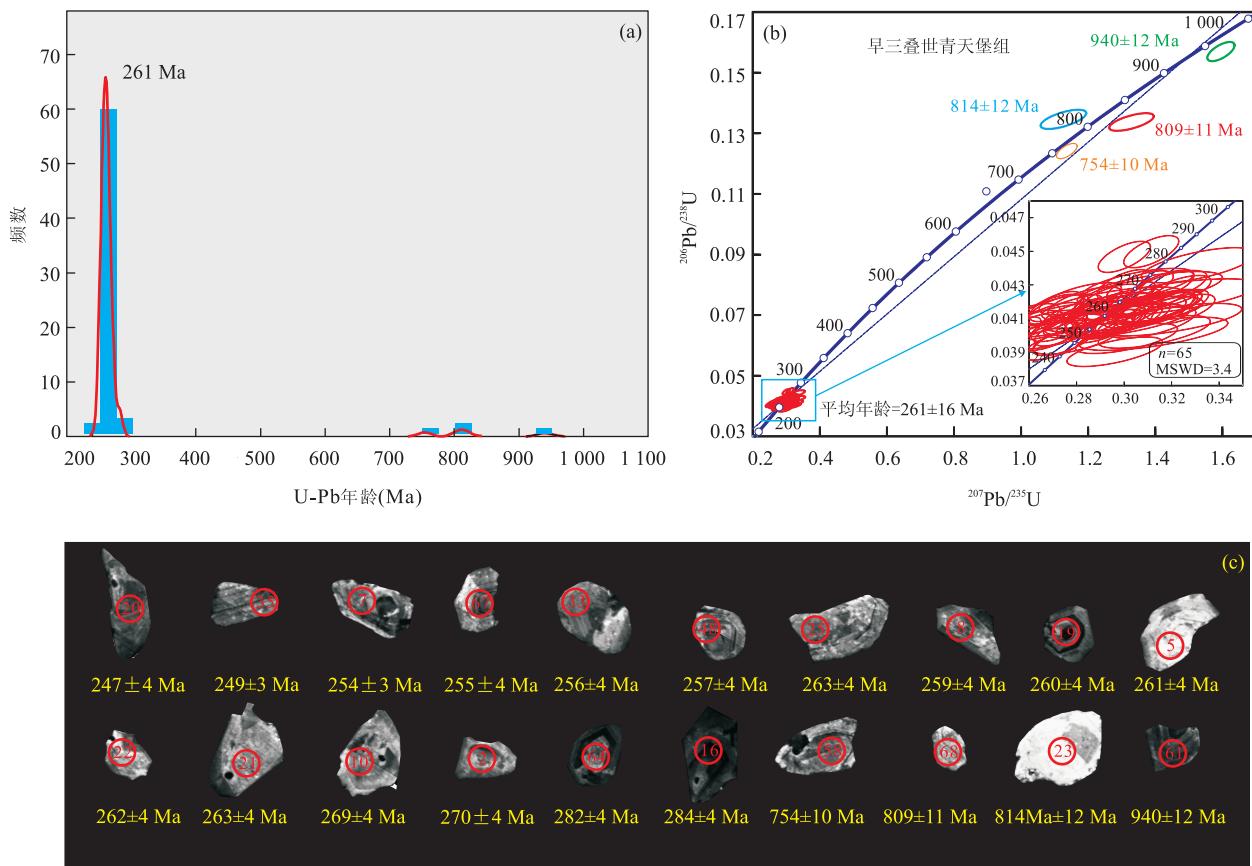


图 7 盐源盆地盐塘地区下三叠统青天堡组砂岩样品 Z5-29-2 碎屑锆石 LA-ICP-MS 年龄分布峰值(a)和谐和图(b)以及典型锆石颗粒阴极发光照片(c)

Fig. 7 Probability density distribution curves of ages showing the results of the LA-ICP-MS dating of detrital zircons (a), LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams (b) and representative cathode-luminescence (CL) (c) for sample Z5-29-2 from Yantang

古陆两侧的盐源和峨眉—美姑地区早三叠世则发育一套来源于康滇古陆的冲积平原相沉积(四川省地质矿产局,1972). 岩相古地理和沉积学方面的数据显示,在盐源盆地早三叠世青天堡组沉积时期,从盆地东—东南侧康滇古陆向西—西北方向,砾岩逐步过渡为含砾砂岩及粗粒砂岩组合,砾岩数量递减;成分成熟度较低,为碎屑流成因,部分具大型板状交错层理的细粒碎屑多为牵引流特征;盐源盆地整体处于冲积扇相沉积环境(四川省地质矿产研究所,1987). 因此,笔者从岩相古地理特征分析认为,盐源东侧的康滇古陆是早三叠世青天堡组主要的物源区,物质自东向西输送,这进一步支撑了本文对青天堡组碎屑物质研究的结果.

笔者对丽江西侧以羌塘陆块为主体的多弧盆区域(如金沙江—哀牢山缝合带西南侧)一系列同期(255~247 Ma; Zi *et al.*, 2012)岛弧火山岩的微量元素稀土和原始地幔标准化配分模式进行比较,发

现其与早三叠世青天堡组存在较大差异,且并无古流向等其他沉积学证据支持西部物质来源,表明盐源盆地物源与西部羌塘多弧盆复合体无关联.

早三叠世期间,盐源盆地形成北、东两面为古陆围绕,西北与甘孜理塘洋盆相通,南部与丽江盆地相连的古地理面貌(图 8a)(四川省地质矿产研究所,1987). 在晚二叠世末期,覆盖于上扬子西部康滇古陆之上的峨眉山大火成岩省(图 8b)在早三叠世期间已被抬升形成古地理高地,大量峨眉山玄武岩被剥蚀并被就近搬运至古陆西侧的盐源盆地(图 8c). 因此,在早三叠世期间,盐源盆地物质为扬子板块内部来源,而非西部造山带与岛弧等提供的物源.

笔者认为在上扬子西南边缘地区,早三叠世期间扬子与西部的羌塘多岛弧复合系仍然未有碰撞(图 8a),西部的金沙江洋可能仍处残余洋盆阶段. 上扬子西南盐源盆地早三叠世属于板内物源,早三叠世时期仍然为被动大陆边缘沉积环境.

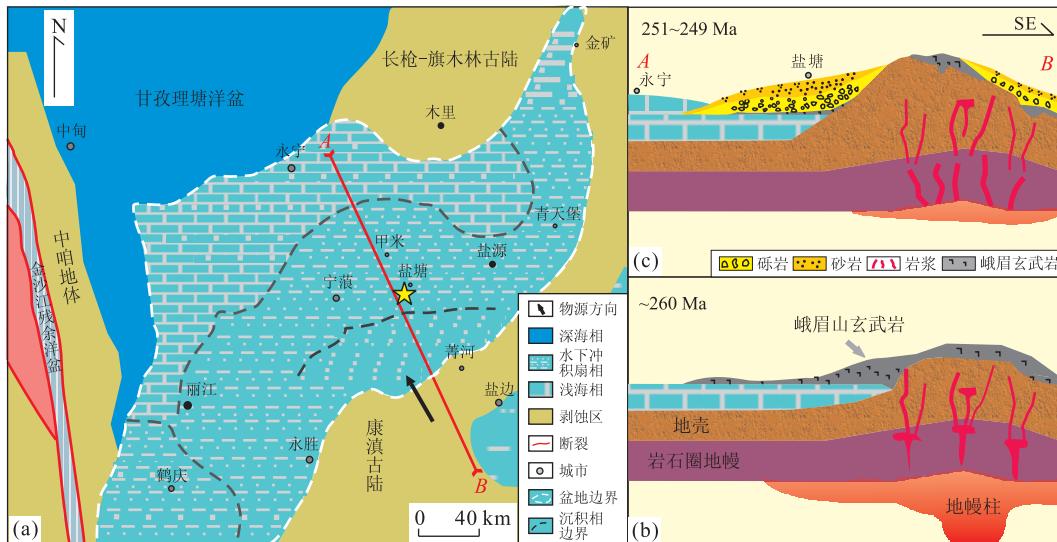


图 8 早三叠世盐源盆地岩相古地理(a)及构造演化(b,c)

Fig. 8 The lithofacies and paleogeographic sketch (a) and the tectonic evolution (b,c) of Yanyuan region in Early Triassic
据四川省地质矿产研究所(1987)修改,图 8a 中箭头表示物源方向,五角星表示样品位置

4 结论

(1) 盐源盆地早三叠世青天堡组物源来自于近距离搬运的火山岩物质。

(2) 青天堡组与峨眉山高钛玄武岩具有一致的元素特征,与峨眉山大火成岩省流纹岩以及岛弧岩浆相关岩类和平均大陆上地壳来源岩石均存在差异。

(3) 早三叠世青天堡组样品锆石为高温岩浆成因,U-Pb 年龄以 247~281 Ma 为主,加权平均年龄为 261 ± 16 Ma,与峨眉山大火成岩省形成主喷发事件的时间相一致。

(4) 综合研究表明早三叠世盐源盆地物源为峨眉山大火成岩省,并没有开始接受来自上扬子西部造山带的物质,金沙江洋仍然为残余洋盆。上扬子西南盐源盆地早三叠世时期属于板内物源,仍处于被动大陆边缘环境。

致谢:野外工作得到西南科技大学赵学钦老师的大力援助;在砂岩碎屑模式分析过程中得到了浙江大学地球科学系董传万教授的指导;全岩地化分析过程中得到南京大学内生金属矿床实验室刘倩老师、中科院广州地球化学研究所同位素实验室的刘颖老师的指导;碎屑锆石 U-Pb 年龄分析过程中得到西北大学大陆构造动力学国家重点实验室的张红老师、贾晓亮博士和吴佳林博士以及南京大学地球科学系的张勇博士的帮助;成文过程中得到了已毕业的中国地质大学(武汉)地球科学学院的黄虎博士

提出的有意义的建议,两位匿名审稿专家也给出了宝贵意见,在此一并感谢!

References

- 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. doi:10.1007/bf00375292
- Chung, S. L., Jahn, B. M., 1995. Plume-Lithosphere Interaction in Generation of the Emeishan Food Basalts at the Permian-Triassic Boundary. *Geology*, 23 (10): 889—892. doi:10.1130/0091-7613(1995)023<0889:pligo>2.3.co;2
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., et al., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 469—500. doi:10.2113/0530469
- Courtillot, V. E., Renne, P. R., 2003. On the Ages of Food Basalt Events. *Comptes Rendus Geoscience*, 335 (1): 113—140. doi:10.1016/s1631-0713(03)00006-3
- Deng, J., Ge, L. S., Yang, L. Q., 2013. Tectonic Dynamic System and Compound Orogeny: Additionally Discussing the Temporal-Spatial Evolution of Sanjiang Orogeny, Southwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4): 1099—1114 (in Chinese with English abstract).
- Dong, L. Y., 2014. Sedimentary Facies and Evolution of Lower Triassic Qingtianbao Formation in Beiyang Area (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).

- Du, L. L., Guo, J. H., Geng, Y. S., et al., 2013. Age and Tectonic Setting of the Yanbian Group in the Southwestern Yangtze Block: Constraints From Clastic Sedimentary Rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 641–672 (in Chinese with English abstract).
- Du, Y. S., Huang, H., Yang, J. H., et al., 2013. The Basin Translation from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang Basin and Its Tectonic Signification. *Geological Review*, 59(1): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Fan, W. M., Zhang, C. H., Wang, Y. J., et al., 2008. Geochronology and Geochemistry of Permian Basalts in Western Guangxi Province, Southwest China: Evidence for Plume-Lithosphere Interaction. *Lithos*, 102(1–2): 218–236. doi: 10.1016/j.lithos.2007.09.019
- Gu, X. X., 1994. Geochemical Characteristics of the Triassic Tethys Turbidites in Northwestern Sichuan, China; Implications for Provenance and Interpretation of the Tectonic Setting. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(21): 4615–4631. doi: 10.1016/0016-7037(94)90195-3
- Gu, X. X., Liu, J. M., Zheng, M. H., et al., 2002. Provenance and Tectonic Setting of the Proterozoic Turbidites in Hunan, South China: Geochemical Evidence. *Journal of Sedimentary Research*, 72(3): 393–407. doi: 10.1306/081601720393
- Haskin, M. A., Haskin, L. A., 1966. Rave Earths in European Shales: A Redetermination. *Science*, 154(3748): 507–509. doi: 10.1126/science.154.3748.507
- He, B., Xu, Y. G., Huang, X. L., et al., 2007. Age and Duration of the Emeishan Flood Volcanism, SW China: Geochemistry and SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Silicic Ignimbrites, Post-Volcanic Xuanwei Formation and Cay Tuff at the Chaotian Section. *Earth and Planetary Science Letters*, 255(3–4): 306–323. doi: 10.1016/j.epsl.2006.12.021
- Huang, H., 2013. The Basin Translation from the Late Paleozoic to Middle Triassic of the Youjiang Basin—Evidence from Geochemistry of Sedimentary and Volcanic Rocks (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Lei, Y. L., Li, B. L., Chen, Z. X., et al., 2010. Tectonic Evolution on the Western Border Area of Upper Yangtze Plate. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Li, Y. Q., Li, Z. L., Chen, H. L., et al., 2012. Mineral Characteristics and Metallogenesis of the Wajilitag Layered Mafic-Ultramafic Intrusion and Associated Fe-Ti-V Oxide Deposit in the Tarim Large Igneous Province, Northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 161–174. doi: 10.1016/j.jseaes.2011.11.026
- Li, Z. X., Li, X. H., Kinny, P. D., et al., 2003. Geochronology of NeoProterozoic Syn-Rift Magmatism in the Yangtze Craton, South China and Correlations with other Continents: Evidence for a Mantle Superplume that Broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122(1–4): 85–109. doi: 10.1016/s0301-9268(02)00208-5
- Liu, J. D., Liu, W. Z., 1995. The Evolution of Yanyuan Basin and the Sedimentary Environment of the Early Triassic Qingtianbao Group. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 22(3): 70–75 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., Chen, H. D., Wang, G. L., et al., 2009. Sequence Stratigraphy and Paleogeography of South China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- McLennan, S. M., 1993. Weathering and Global Denudation. *The Journal of Geology*, 101(2): 295–303. doi: 10.1086/648222
- Metcalfe, I., 2013. Gondwana Dispersion and Asian Accretion: Tectonic and Palaeogeographic Evolution of Eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1–33. doi: 10.1016/j.jseaes.2012.12.020
- Munteanu, M., Yao, Y., Wilson, A. H., et al., 2013. Panxi Region (South-West China): Tectonics, Magmatism and Metallogenesis. A Review. *Tectonophysics*, 608: 51–71. doi: 10.1016/j.tecto.2013.09.008
- Nesbitt, H. W., Markovics, G., Price, R. C., 1980. Chemical Processes Affecting Alkalies and Alkaline Earths during Continental Weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(11): 1659–1666. doi: 10.1016/0016-7037(80)90218-5
- Nesbitt, H. W., Fedo, C. M., Young, G. M., 1997. Quartz and Feldspar Stability, Steady and Non-Steady-State Weathering, and Petrogenesis of Siliciclastic Sands and Mud. *The Journal of Geology*, 105(2): 173–192. doi: 10.1086/515908
- Nesbitt, H. W., Young, G. M., 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*, 299(5885): 715–717. doi: 10.1038/299715a0
- Omran, J., Agard, P., Whitechurch, H., et al., 2008. Arc-Magmatism and Subduction History beneath the Zagros Mountains, Iran: A New Report of Adakites and Geodynamic Consequences. *Lithos*, 106(3–4): 380–398. doi: 10.1016/j.lithos.2008.09.008
- Pan, G. T., Wang, L. Q., Li, X. Z., et al., 2001. The Tectonic Framework and Spatial Allocation of the Archipelagic Arc-Basin Systems on the Qinghai-Xizang Plateau. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(3):

- 1—26 (in Chinese with English abstract).
- Shellnutt, J. G., Jahn, B. M., 2010. Formation of the Late Permian Panzhihua Plutonic-Hypabyssal-Volcanic Igneous Complex: Implications for the Genesis of Fe-Ti Oxide Deposits and A-Type Granites of SW China. *Earth and Planetary Science Letters*, 289(3–4): 509—519. doi:10.1016/j.epsl.2009.11.044
- Shellnutt, J. G., Zhou, M. F., Yan, D. P., et al., 2008. Longevity of the Permian Emeishan Mantle Plume (SW China): 1 Ma, 8 Ma or 18 Ma? *Geological Magazine*, 145(3): 373—388. doi:10.1017/s0016756808004524
- Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1972. 1 : 200 000 Regional Geology of Sichuan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Sichuan Institute of Geology and Mineral Resources, 1987. Trassic Stratigraphy and Sedimentary Facies of Yanyuan-Lijiang Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Sugitani, K., Horiuchi, Y., Adachi, M., et al., 1996. Anomalously Low $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ Values for Archean Cherts from the Pilbara Block, Western Australia—Possible Evidence for Extensive Chemical Weathering on the Early Earth. *Precambrian Research*, 80(1–2): 49—76. doi:10.1016/s0301-9268(96)00005-8
- 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.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. BlackWell, Oxford.
- Wei, Y., Zhang, Z. Y., He, W. H., et al., 2014. Evolution of Sedimentary Basins in the Upper Yangtze during Mesozoic. *Earth Science*, 39(8): 1065—1078 (in Chinese with English abstract).
- White, R., McKenzie, D., 1989. Magmatism at Rift Zones: the Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94(B6): 7685—7729. doi:10.1029/jb094ib06p07685
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589—1604 (in Chinese).
- Xiao, L., Xu, Y. G., Mei, H. J., et al., 2004. Distinct Mantle Sources of Low-Ti and High-Ti Basalts from the Western Emeishan Large Igneous Province, SW China: Implications for Plume-Lithosphere Interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, 228(3–4): 525—546. doi:10.1016/j.epsl.2004.10.002
- Xu, Y. G., Chung, S. L., Jahn, B. M., et al., 2001. Petrologic and Geochemical Constraints on the Petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan Flood Basalts in Southwestern China. *Lithos*, 58(3–4): 145—168. doi:10.1016/s0024-4937(01)00055-x
- Xu, Y. G., Chung, S. L., Shao, H., et al., 2010. Silicic Magmas from the Emeishan Large Igneous province, Southwest China: Petrogenesis and their Link with the End-Guadalupian Biological Crisis. *Lithos*, 119(1–2): 47—60. doi:10.1016/j.lithos.2010.04.013
- Xu, Y. G., Luo, Z. Y., Huang, X. L., et al., 2008. Zircon U-Pb and Hf Isotope Constraints on Crustal Melting Associated with the Emeishan Mantle Plume. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(13): 3084—3104. doi:10.1016/j.gca.2008.04.019
- Xu, Z. Q., Hou, L. W., Wang, Z. X., 1992. Orogenic Processes of the Songpan-Garze Orogenic Belt of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yang, J. H., Cawood, P. A., Du, Y. S., et al., 2012. Detrital Record of Indosinian Mountain Building in SW China: Provenance of the Middle Triassic Turbidites in the Youjiang Basin. *Tectonophysics*, 574—575: 105—117. doi:10.1016/j.tecto.2012.08.027
- Zhang, Z., Mao, J., Saunders, A. D., et al., 2009. Petrogenetic Modeling of Three Mafic-Ultramafic Layered Intrusions in the Emeishan Large Igneous Province, SW China, Based on Isotopic and Bulk Chemical Constraints. *Lithos*, 113(3–4): 369—392. doi:10.1016/j.lithos.2009.04.023
- Zhu, J. L., Hu, R. Z., Bi, X. W., et al., 2011. Zircon U-Pb Ages, Hf-O Isotopes and Whole-Rock Sr-Nd-Pb Isotopic Geochemistry of Granitoids in the Jinshajiang Suture Zone, SW China; Constraints on Petrogenesis and Tectonic Evolution of the Paleo-Tethys Ocean. *Lithos*, 126(3–4): 248—264. doi:10.1016/j.lithos.2011.07.003
- Zi, J. W., Cawood, P. A., Fan, W. M., et al., 2012. Triassic Collision in the Paleo-Tethys Ocean Constrained by Volcanic Activity in SW China. *Lithos*, 144—145: 144—160. doi:10.1016/j.lithos.2012.04.020
- Zi, J. W., Fan, W. M., Wang, Y. J., et al., 2010. U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Dashibaobasalts in the Songpan-Ganzi Terrane, SW China, with Implications for the Age of Emeishan Volcanism. *American Journal of Science*, 310(9): 1054—1080. doi:10.2475/09.2010.11

附中文参考文献

邓军, 葛良胜, 杨立强, 2013. 构造动力体制与复合造山作

- 用——兼论三江复合造山带时空演化. 岩石学报, 29(4): 1099—1114.
- 董黎阳, 2014. 北衡地区下三叠统青天堡组沉积相及其演化(硕士学位论文). 北京: 中国地质科学院.
- 杜利林, 郭敬辉, 耿元生, 等, 2013. 扬子西南缘盐边群时代及构造环境: 来自碎屑沉积岩的约束. 岩石学报, 29(2): 0641—0672.
- 杜远生, 黄虎, 杨江海, 等, 2013. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换. 地质论评, 59(1): 1—11.
- 黄虎, 2013. 右江盆地晚古生代—中三叠世盆地演化——来自沉积岩和火山岩地球化学特征的证据(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学.
- 雷永良, 李本亮, 陈竹新, 等, 2010. 上扬子板块西部边界地区构造演化. 北京: 地质出版社.
- 刘家铎, 刘文周, 1995. 盐源盆地演化及早三叠世青天堡组沉积环境. 成都理工学院学报, 22(3): 70—75.
- 马永生, 陈洪德, 王国力, 等, 2009. 中国南方构造: 层序岩相古地理图集. 北京: 科学出版社.
- 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 等, 2001. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置. 沉积与特提斯地质, 21(3): 1—26.
- 四川省地质矿产局, 1972. 四川省 1: 200 000 区域地质志—盐源幅. 北京: 地质出版社.
- 四川省地质矿产研究所, 1987. 盐源—丽江地区三叠纪地层及沉积相. 北京: 地质出版社.
- 韦一, 张宗言, 何卫红, 等, 2014. 上扬子地区中生代沉积盆地演化. 地球科学, 39(8): 1065—1078.
- 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): 1589—1604.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 1992. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社.

(上接 1308 页)

- 乔秀夫, 高林志, 张传恒, 2007. 中朝板块中—新元古界年代地层柱与构造环境新思考. 地质通报, 26(5): 503—509.
- 史晓颖, 王新强, 蒋干清, 等, 2008. 贺兰山地区中元古代微生物席成因构造——远古时期微生物群活动的沉积标识. 地质论评, 54(5): 577—586.
- 苏文博, 李怀坤, 徐莉, 等, 2012. 华北克拉通南缘洛峪群—汝阳群属于中元古界长城系——河南汝州洛峪口组层凝灰岩锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄的直接约束. 地质调查与研究, 35(2): 96—108.
- 孙建伟, 付永涛, 兰朝利, 2014. 青岛八仙墩碎屑岩微量元素地球化学特征及沉积环境意义. 海洋科学, 38(8): 75—81.
- 王同和, 1995. 晋陕地区地质构造演化与油气聚集. 华北地质矿产杂志, 10(3): 283—398.
- 王益友, 郭文莹, 张国栋, 1979. 几种地球化学标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用. 同济大学学报, 7(2): 51—60.
- 俞伯达, 1997. 关于甘肃长城纪地层划分的新认识. 甘肃地质学报, 6(1): 2—16.
- 袁海军, 赵兵, 2012. 川西雅安一名山地区白垩系泥岩的地球化学特征及古气候探讨. 沉积与特提斯地质, 32(1): 78—83.
- 张福礼, 1994. 鄂尔多斯盆地天然气地质. 北京: 地质出版社.
- 张抗, 1983. 论贺兰裂堑. 鄂尔多斯盆地西缘地区石油地质论文集. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社.
- 张抗, 邓华盖, 1981. 鄂尔多斯断块晚元古代早期发育特征和含油气远景. 石油勘探与开发, 8(5): 18—26.
- 张威, 穆克华, 崔之久, 等, 2007. 云南拱王山地区全新世以来的环境变化记录. 地球与环境, 35(4): 343—350.
- 赵文杰, 武光孝, 1989. 宁夏中上元古界的叠层石. 古生物学报, 28(3): 391—401.
- 郑荣才, 柳梅青, 1999. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组古盐度研究. 石油与天然气地质, 20(1): 20—25.