

doi:10.3799/dqkx.2017.018

西藏尼玛盆地北部古近系牛堡组物源及地质意义

密文天^{1,2}, 朱利东³, 杨文光³, 杨林³, 黄辉³

1. 内蒙古工业大学矿业学院, 内蒙古呼和浩特 010051

2. 成都理工大学国土资源部构造矿产成藏重点实验室, 四川成都 610059

3. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059

摘要:班公湖—怒江缝合带内的尼玛盆地在青藏高原形成时记录的地质信息,有助于恢复其构造古地理从而为高原隆升过程提供沉积学证据,且目前对盆地北部坳陷古近系牛堡组的研究尚属薄弱.利用碎屑岩岩石学、锆石年代学、重矿物分析等方法对牛堡组进行了物源分析并对盆地构造演化进行了深入讨论.研究显示,早白垩世—古近纪,随着地壳缩短、逆冲断层及造山带发育,盆地北部演化为受构造活动控制的独立坳陷;北部坳陷牛堡组为南北双向物源,北部物源的母岩成分主要为以早白垩世虾别错花岗岩为代表的酸性岩浆岩,南部物源的母岩成分以沉积岩(硅质岩等)和基性岩浆岩为主;碎屑锆石存在105~134 Ma、500~550 Ma、700~900 Ma、1700~2100 Ma及ca.2500 Ma年龄峰值,其中105~134 Ma年龄是对班公湖—怒江洋壳俯冲在周边地体引发的岩浆事件的响应,进一步证实牛堡组碎屑岩的物源来自北部坳陷的南北两侧地体.挤压及逆冲变形决定了盆地北部坳陷的古地理特征、沉积过程及物源与区域隆升、侵蚀和岩浆活动联系密切.

关键词:西藏;尼玛盆地;牛堡组;锆石 U-Pb 测年;物源分析;地球化学.

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2017)02-0240-18

收稿日期: 2016-09-20

Provenance of the Niubao Formation and Its Geological Implications in the North Depression of the Nima Basin in the Tibet

Mi Wentian^{1,2}, Zhu Lidong³, Yang Wenguang³, Yang Lin³, Huang Hui³

1. School of Mines, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China

2. Key Laboratory of Tectonic Controlled Mineralization and Oil Reservoir, Ministry of Land and Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

3. State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Nima basin in the Bangong suture zone documented the geological information of the evolution of Tibetan Plateau, which helps to restore the tecto-paleogeography and provide the sedimentological evidences of uplift of the Plateau. However, the study of the Niubao Formation of Paleogene strata in the north depression of the basin is still relatively weak. The provenance and tectonic evolution of Niubao Formation were analyzed by the methods of petrology, zircon U-Pb chronology and heavy minerals in this study. It is found that the north of Nima basin evolved into a depression controlled by collision and extrusion accompanied by the shortening of the crust and the activation of tectonic movements from Early Cretaceous to Paleogene, the north of Nima basin evolved into an depocenter controlled by tectonism. The Niubao Formation in the north depression is a bidirectional source. The source of north sediments primarily originated from the granites and acid magmatic rocks dominated by Early Cretaceous granitic rocks, while the source of south sediments were primarily sedimentary rocks, and basic or ultra-basic rocks. The detrital zircons of U-Pb ages have 5 peaks, namely 105–134 Ma, 500–550 Ma, 700–900 Ma, 1700–2100 Ma and near 2500 Ma, and 105–134 Ma is believed to be responses to the subduction of the Bangong-Nujiang oceanic crust and volcanic activity in surrounding terranes. It is further confirmed that the Niubao Formation is derived from the north and south terranes of the northern depression. Palaeogeographic characteristics are determined by the extrusion and thrusting deformation.

基金项目:国家自然科学基金项目(No.41002055);教育部博士点基金项目(No.20125122110010);内蒙古工业大学科学研究重点项目(No.ZD201322).

作者简介:密文天(1982—),男,讲师,博士,主要从事古生物学与地层学研究. ORCID: 0000-0002-4761-8639. E-mail: miwentian1982@163.com

引用格式:密文天,朱利东,杨文光,等,2017.西藏尼玛盆地北部古近系牛堡组物源及地质意义.地球科学,42(2):240–257.

Sedimentary processes and sources are closely related to the uplift, erosion and magmatic activities in the Nima basin.

Key words: Tibet; Nima basin; Niubao Formation; zircon U-Pb dating; provenance analysis; geochemistry.

0 引言

青藏高原内部有许多白垩纪以来形成的沉积盆地(宋博文等,2014),这些盆地为构建青藏高原隆升模型提供了重要依据。沉积物记录了古地理环境演化(Zhang *et al.*,2004)、海陆相转变(Zhang *et al.*,2004; Leier *et al.*,2007a)以及构造过程(Kapp *et al.*,2005; DeCelles *et al.*,2007a,2007b; Zhu *et al.*,2016)。在青藏高原腹地,这些内陆盆地提供了由白垩纪海洋环境到新生代高原环境变迁的沉积记录,是科学认识青藏高原演化发展的先决条件,尼玛盆地即是其中的一个代表。

尼玛盆地面积大于1500 km²,包括南北坳陷和中央隆起,北部坳陷面积较大。DeCelles *et al.*(2007a)对盆地内碎屑岩沉积、逆冲推覆构造及地质年代学进行研究,推导出高原隆升模式;黄辉等(2012)根据地层对比将尼玛盆地新生代地层中的河湖相红层归为始新世—渐新世。此外,尼玛盆地演化的各个阶段都与断层作用关系密切,白垩系—古近系的陆相沉积与盆地北部坳陷南倾的逆冲断层和南部边缘北倾的逆冲断层属于同时期形成(Kapp *et al.*,2007)。磁性地层研究将尼玛盆地丁青湖组中上段限定在22.5~25.0 Ma(孟俊,2013),而新生代地壳缩短导致尼玛盆地逐渐变形为当前的地貌。目前,对尼玛盆地北部坳陷古近系牛堡组的研究尚属薄弱,尚未系统地采用年代学、重矿物及碎屑组分分析等方法对物源区进行分析,其盆地演化的构造意义需要深入讨论。

1 区域地质概况

尼玛盆地位于拉萨地体北部,与羌塘地体最南缘相邻,属于班公湖—怒江缝合带内的陆相盆地(张克信等,2010,2015;罗亮等,2014)。该盆地的地层单元、沉积组合、构造属性及演化与以伦坡拉盆地为代表的缝合带内盆地群类似(罗本家等,1996)。Kapp *et al.*(2007)对尼玛盆地白垩系地层所含的火山凝灰岩夹层进行锆石年代学研究,获得117~118 Ma的地层年龄,发现盆地形成始于早白垩世末—晚白垩世初期,并贯穿整个古近纪。尼玛盆地是一个具有复杂结构的叠合盆地,每个阶段都有相对独立的原

型,后期的构造活动对前期原型盆地不断进行改造。在新生代早期及白垩纪,处于演化早期阶段的尼玛盆地明显受到挤压作用的控制,这与相关板块或地体所处的碰撞—汇聚构造背景密切相关;随着新生代印度—亚洲板块碰撞的进行,位于板块汇聚边界的尼玛盆地逐渐呈现挤压和走滑的双重特征,高原内部物质顺走滑断裂呈EW向挤出(许志琴等,2016),但该阶段尼玛盆地整体上仍为一个挤压性盆地。此后,随着印度板块沿NE向挤压的深入,使班公湖—怒江缝合带内的断裂系统及其分支的走滑运动及拉张作用愈加明显,导致缝合带内以尼玛盆地为代表的盆地群逐渐演化并具有了明显的走滑拉分性质(马立祥等,1996;艾华国等,1998;张克银等,2000;黄辉等,2012)。在空间上,尼玛盆地最初作为一个单一广阔的盆地,随着盆地短缩变形,到古近纪时演化为构造上相对独立的两个次级单元——北部甲若错坳陷和南部达则错坳陷,此外还存在中央隆起(图1),现代电磁调查发现盆地内盖层厚度较大(Wang *et al.*,2011)。

达则错坳陷南缘存在整体南倾的改则—色林错逆冲断裂带,将尼玛盆地南部与拉萨地体分隔,并使三叠系及白垩系岩层向北逆冲于盆地内。尼玛盆地的中央隆起多由构造岩片(块)及混杂岩组成,构造岩片(块)有糜棱岩岩片、二叠纪灰岩岩块及蛇绿岩套等;侏罗系木嘎岗日混杂岩群为一套砂岩、粉砂岩组成的复理石建造,构造岩块多混杂其中。此外,该带还包括班公湖—怒江洋闭合后同造山期的火山岩建造。盆地北部边界为北倾的木嘎岗日逆冲推覆带,将虾别错中生代残留海盆与北部坳陷分开,北部坳陷侏罗系沙木罗组、木嘎岗日群等下伏于古近系及下白垩统火山碎屑单元,二者呈角度不整合接触。虾别错残留海盆地包含有晚侏罗世的沙木罗组、吐卡日组沉积组合,其下有以木嘎岗日岩群为代表的混杂岩基底,并有白垩纪花岗岩侵入。

三叠系确哈拉群多分布于南部坳陷南缘,岩性为灰色细粒石英砂岩、黑色泥板岩与石英粉砂岩互层并含少量灰岩;侏罗系沙木罗组和吐卡日组形成于中生代虾别错残留海盆地,沙木罗组为浅海相的灰岩、粉砂岩与砂岩韵律沉积,吐卡日组为一套浅海相碳酸盐岩沉积组合;古新统一始新统牛堡组不整合上覆于竟柱山组红色碎屑岩之上,底部为红色砂

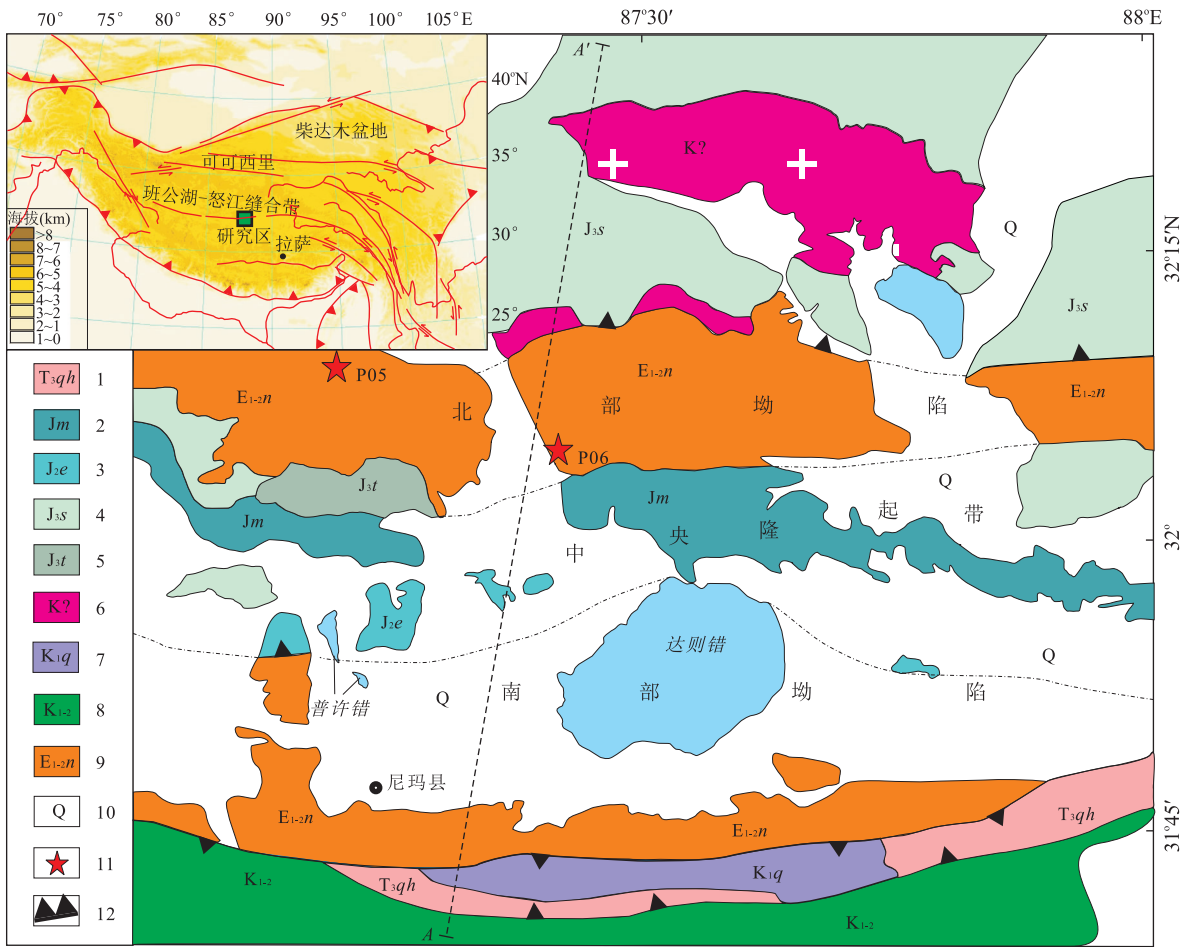


图 1 尼玛盆地地质简图

Fig.1 Geological map of the Nima basin

1. 确哈拉群; 2. 木嘎岗日群; 3. 俄蒙勒组; 4. 沙木罗组; 5. 吐卡日组; 6. 花岗岩体; 7. 去申拉组; 8. 白垩系; 9. 牛堡组; 10. 第四系; 11. 剖面位置; 12. 逆断层; AA' 为构造剖面; 据黄辉等(2012)修改

岩、砾岩,中上部为灰绿色泥页岩夹泥灰岩、油页岩及凝灰岩。尼玛盆地牛堡组向东与伦坡拉盆地牛堡组地层相连并可对比。渐新统丁青湖组为一套夹有油页岩、灰岩的河湖相碎屑岩地层,平行不整合于牛堡组之上。

2 地层及沉积特征

尼玛盆地北部坳陷测制有 2 条剖面。P05 剖面位于北部坳陷西北部,起点坐标 N32°10'10"、E87°11'30",终点坐标 N32°10'33"、E87°11'53",厚约 450 m。该剖面上未见顶,从上到下分别为中—厚层砾岩与红色砂质泥岩、红色砂质泥岩夹薄—中层细砾岩、黄灰色中厚层粗砂—细砾岩、红色厚层砂质泥岩夹不规则细砾岩及浅灰色巨厚层泥岩、中层砾岩、砂岩,向下推测与白垩系呈角度不整合;剖面下段古

水流方向为 SW225°。P06 剖面起点坐标 N32°05'10"、E87°24'45",终点坐标 N32°05'42"、E87°24'22",厚度大于 690 m,包含的沉积相类型有湖泊相、河流相及冲积扇相等(图 2)。根据风成波痕、风成沙纹、砂砾霜面及泥裂等现象,盆地北部坳陷还可能在与河流水系和湖泊环境相关的风成沙丘(DeCelles *et al.*, 2007a);波纹砂岩和含泥裂的砂岩层代表沙地进积沉积过程,是短暂浅湖的充填物。P06 剖面下部无蒸发岩层说明当时为开放式水系,滨浅湖相地层古水流方向向南,这可能与湖水向南超覆有关;上部石膏层显示局部蒸发环境的出现,河流相的古流向多为 S 及 SE 方向,与 DeCelles *et al.*(2007a)的研究结果类似。总体上,尼玛盆地北部的古湖泊大多数较浅且为暂时性的,沉降中心在坳陷北缘。

砂岩组结构特征对揭示物源区类型及盆地发育过程有重要意义, Dickinson 三角图解常被应用于构造

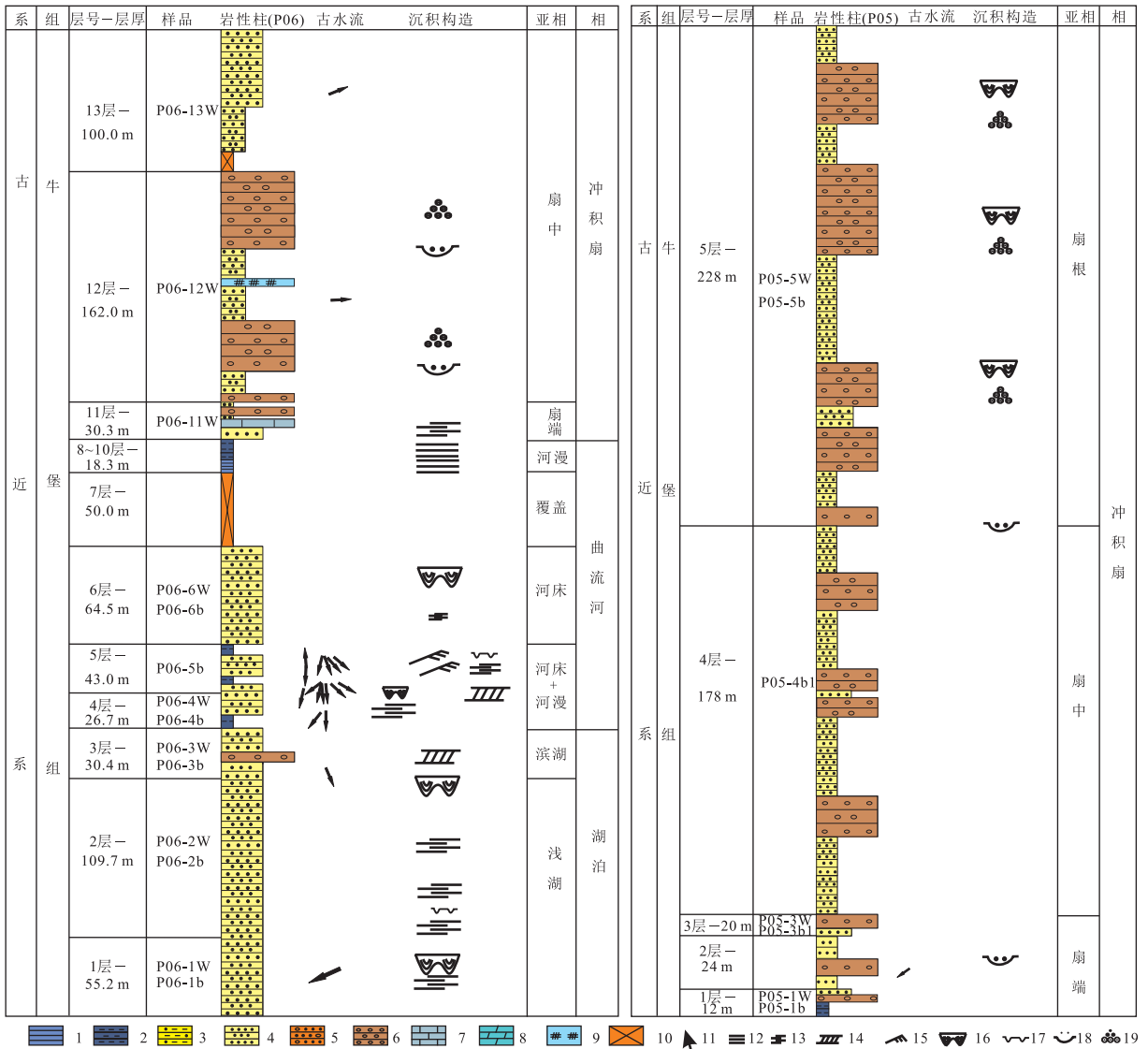


图 2 西藏尼玛盆地北部拗陷古近系柱状图

Fig.2 Stratigraphic column of Paleogene strata in northern Nima basin, Tibet

1.页岩;2.泥岩;3.砂质泥岩;4.砂岩;5.含砾砂岩;6.砾岩;7.灰岩;8.泥灰岩;9.含石膏层;10.第四系覆盖;11.古流向;12.水平层理;13.平行层理;14.板状交错层理;15.爬升波纹层理;16.槽状交错层理;17.泥裂;18.底冲刷面;19.粒序层理

表 1 尼玛盆地北部拗陷古近系碎屑砂岩组分相对含量 (%)

Table 1 Detrital compositions of sandstones (%) from Paleogene strata in northern Nima basin

样品编号	Qm	F	Lt	Qt	F	L	Qm	P	K	Lm	Lv	Ls
P05-1b	65	23	13	72	22	6	74	24	2	48	0	52
P05-3b	76	21	3	77	21	2	78	15	7	67	33	0
P05-4b	57	29	13	66	29	5	66	19	15	25	55	20
P05-5b	46	43	11	49	43	8	51	49	0	88	0	13
P06-2b	42	11	47	74	10	16	80	11	9	65	6	29
P06-3b	35	11	54	72	11	17	76	24	0	83	9	8
P06-4b	61	16	23	74	16	10	79	20	0	57	16	28
P06-5b	52	6	41	77	6	17	89	11	0	73	9	17
P06-6b	58	5	37	80	5	16	92	8	0	75	9	16

注:Qm.单晶石英,Qt.石英颗粒总量,Lv.岩浆岩岩屑,Lm.变质岩岩屑(燧石和石英岩等除外),Ls.沉积岩岩屑,Lt.岩屑总量,L.所有非硅质岩屑(岩浆岩岩屑、泥岩、碳酸盐岩屑、片岩、干枚岩岩屑),F.单晶长石颗粒(斜长石+钾长石);砂岩组分分析在成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室进行。

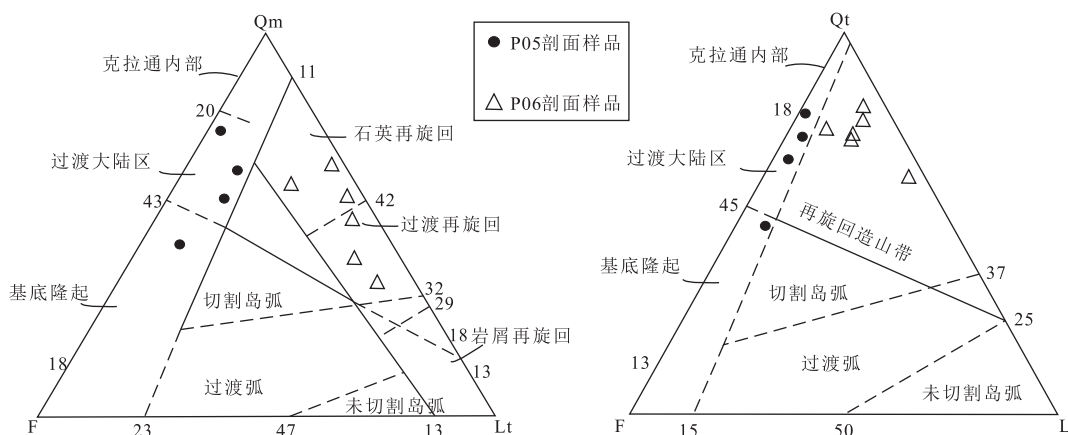


图 3 尼玛盆地北部古近纪砂岩颗粒组分模式

Fig.3 Modal framework grain compositions of sandstones from Paleogene strata of the northern Nima basin

底图据 Dickinson and Suczek (1979)和 Dickinson *et al.*(1983)

表 2 尼玛盆地北部坳陷砂岩样品碎屑组成 (%)

Table 2 Detrital compositions of sandstones (%) in the north depression of Nima basin

编号	石英	硅质岩	斜长石	正长石	变质岩	白云岩	灰岩	云母碎片	金属矿物	砂岩	花岗岩	脉石英	玄武岩
P06-6b	47	3	8	—	3	2	18	—	0.5	—	—	—	1
P06-5b	45	5	9	—	4	—	18	—	0.5	—	—	—	1
P06-4b	50	6	10	—	5	—	12	—	0.5	—	—	—	1
P06-3b	45	4	12	—	5	—	15	—	0.5	—	—	—	1
P06-2b	50	10	9	—	3	2	8	—	0.5	—	—	—	1
P06-1b	61	8	5	—	3	—	4	—	0.5	1.5	—	—	—
P05-5b	40	1	36	—	5	—	—	2	0.5	—	—	—	—
P05-4b	33	—	15	25	—	—	3	1	0.5	—	5	—	—
P05-3b	35	—	24	20	1	—	—	1	0.5	—	3	5	—
P05-1b	42	—	40	5	2	—	—	—	0.5	—	—	—	—

注:表中百分含量均是碎屑所占的面积百分比;碎屑组成分析在成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室进行,“—”表示该矿物含量几乎为 0。

表 3 尼玛盆地北部坳陷剖面砾石

Table 3 Gravel compositions in the north depression of Nima basin

剖面名称	层位	砾石成分	磨圆度	砾径(mm)
尼玛康玛儿勒古近系牛堡组剖面 (P06)	12 层	石英、泥板岩、灰岩、硅质岩	次棱—次圆	20~50,最大 100
	10 层	细砂岩为主	次圆	5~30
	3 层	细砂岩、硅质岩	次棱—次圆	3~30
尼玛次布扎勒古近系牛堡组剖面 (P05)	5 层	花岗质为主	次棱—次圆	2~20
	4 层	石英、花岗质为主	次棱—次圆	2~5
	3 层	花岗质为主	次棱—次圆	2~7
	2 层	花岗质为主	次棱—次圆	20~30,最大 250
	1 层	灰岩、变砂岩为主	次棱—次圆	10~40

背景判断,本研究在砂岩层采集的粉砂岩到粗砂岩样品(表 1),采用 Ganzz-Dickinson 栅格计数法进行颗粒统计(Decelles *et al.*,2007a),每件样品统计的颗粒数大约为 300,颗粒粒径大于粉砂级(Ingersoll *et al.*, 1984)。图 3 显示 P06 剖面样品落于与再旋回造山带有关的砂岩范围内,可能与构造混杂岩带有关;P05

剖面样品落于与陆块有关的砂岩范围内,物源可能来自北部陆块。显微镜下碎屑组成分析表明 P05 剖面砂岩样品中正长石为 12.50%,石英平均含量为 37.50%,斜长石为 28.75%,岩屑为 7.75%,长石具有条纹及蠕虫状结构,这种轻矿物组成显示物源可能来自酸性岩浆岩;P06 砂岩样品中石英平均含量为 51.30%,斜长

石为 8.30%，正长石极少，岩屑为 23.71%，显示物源可能存在沉积岩等的输入(表 2)。

砾岩分布于接近物源区的盆地周缘,对于近源分析十分重要(王成善等,2003),根据砾岩的成分、粒度及含量能够判断物源区及母岩特征.笔者对剖面特定层位进行砾石的成分、磨圆及砾径统计,分析发现 P05 剖面底部以灰岩夹变砂岩成分为主,第 2 层向上即以花岗质为主并存在石英质砾石,说明物源以花岗岩为主、存在少量变质岩;P06 剖面砾石成分复杂,包含泥板岩、灰岩、石英及硅质岩,说明物源有可能存在沉积岩(硅质岩、碳酸盐岩)、变质岩的输入(表 3)。

3 碎屑锆石测年

3.1 测试方法与结果

本研究在北部坳陷的次布扎勒、康玛儿勒剖面牛堡组下段分别挑出 2 件砂岩,即 P05-1W(87°11'30"E,32°10'10"N),P06-1W(87°24'45"E,32°05'10"N),采集层位砂岩有槽状、平行层理及底冲刷等构造.岩样经常规方法粉碎后,通过电磁选、浮选开始分选,将典型锆石粘贴在环氧树脂表面,抛光制备锆石样品靶,进行显微照相.阴极发光图像在中国地质大学(武汉)的电子探针显微分析系统中完成.锆石 U-Pb 同位素年龄在地质过程与矿产资源国家重点实验室采用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法测得,采用 Agilent7500a 型 ICP-MS 和 Geo-Las2005 激光剥蚀系统,以 He 作为载气,剥蚀深度为 20~40 μm,激光束斑直径为 32 μm.每 5 个样品的同位素分析完成后,间隔一个国际标准锆石 91500 作为外标,元素含量计算采用 NIST SRM610 进行校

正,²⁹Si 作为内标元素进行校正.数据处理采用 ICPMSDataCal 软件(Liu *et al.*, 2010),用 Anderson 软件进行数据的普通铅校正(Andersen, 2002);年龄数据直方图及谐和图采用 Isoplot 软件完成(Ludwig, 2003).对年轻锆石(<1 000 Ma)采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,对较早锆石(>1 000 Ma)使用 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄;单个测试数据误差和 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值误差均为 1σ.砂岩样品中的锆石测年结果见表 4。

透射光下大多数锆石粒径约为 50~200 μm,一类长宽比较大,较自形,柱状;另一类长宽比较小,半自形,浑圆状,表明经过长距离搬运;P06-1W 磨圆度好于 P05-1W.锆石多呈次棱角—浑圆状,透射光下部分呈现褐色或玫瑰色;部分 CL 图像呈核幔构造,为岩浆结晶成因.有些原始岩浆成因的锆石发育变质重结晶边,有些环带发生模糊化,极个别显示无环带,在边部生长的变质增生锆石呈冷杉状或扇形环带.绝大多数锆石年龄位于谐和线上.样品 P06-1W 锆石的 Th/U 比值多大于 0.4,仅 1 个小于 0.1. Corfu *et al.* (2003)认为 Th/U 比值大于 0.4 的锆石为岩浆成因,小于 0.1 为变质成因.所以,P06-1W 样品的锆石以岩浆成因为主,原始岩浆成因锆石环带结构指示其经历了多期构造—热事件改造.P05-1W 的锆石 Th/U 比值均大于 0.4,表明其也为岩浆锆石成因。

P06-1W 样品获得的有效测年数据为 69 个,年龄值变化范围为(105±1)~(2 541±19) Ma(表 4).图 4 表明锆石年龄跨度大,主要有以下几个区间:105~134 Ma 的年龄共有 30 个,占总数据的 43%,其中 109~119 Ma 的加权平均值为 111.9 Ma,频度最高的 126~134 Ma 的加权平均值为 129.5 Ma;

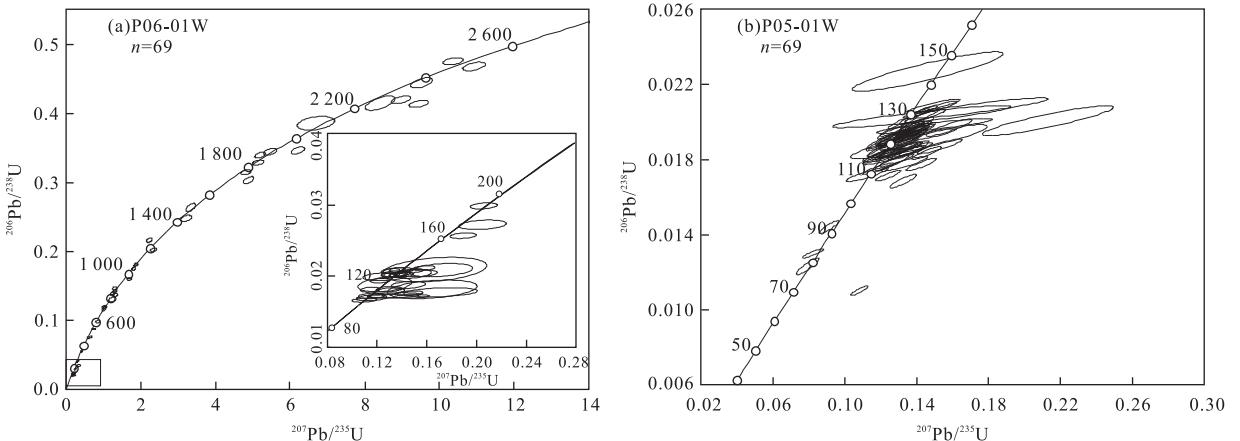


图 4 尼玛盆地北部坳陷牛堡组碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.4 Detrital zircon U-Pb concordia plot of the Niubao Formation in the north depression of Nima basin, Tibet

表 4 尼玛盆地牛堡组剖面砂岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测试结果
Table 4 LA-ICP-MS U-Pb results of detrital zircons from the sandstones of the Niubao Formation, Nima basin

测点号	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素值				年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
P06-01W-1	1 499	882	1.699	0.0531	0.0019	0.18876	0.00697	0.02556	0.00026	334	65	176	6	163	2
P06-01W-2	664	1 220	0.544	0.0732	0.0011	1.82817	0.03473	0.17871	0.00159	1 022	24	1 056	12	1 060	9
P06-01W-3	462	255	1.809	0.0828	0.0021	2.29973	0.06003	0.20004	0.00161	1 266	38	1 212	18	1 176	9
P06-01W-4	95.1	39.0	2.437	0.0481	0.0029	0.10873	0.00661	0.01639	0.00020	105	139	105	6	105	1
P06-01W-5	714	559	1.277	0.0496	0.0036	0.11448	0.00813	0.01673	0.00027	178	166	110	7	107	2
P06-01W-6	304	226	1.344	0.1468	0.0052	8.37970	0.26278	0.41393	0.00701	2 309	63	2 273	28	2 233	32
P06-01W-7	18.1	11.2	1.607	0.0705	0.0083	0.17049	0.01972	0.01752	0.00044	945	254	160	17	112	3
P06-01W-8	259	499	0.517	0.0594	0.0022	0.69934	0.02603	0.08529	0.00076	584	85	538	16	528	5
P06-01W-9	288	403	0.714	0.0754	0.0020	1.65120	0.04246	0.15813	0.00144	1 080	37	990	16	946	8
P06-01W-10	356	630	0.564	0.1130	0.0025	5.10249	0.10731	0.32724	0.00239	1 850	41	1 837	18	1 825	12
P06-01W-11	674	425	1.585	0.0550	0.0037	0.20429	0.01271	0.02709	0.00045	440	109	189	11	172	3
P06-01W-12	998	279	3.578	0.0655	0.0019	1.27374	0.03774	0.14035	0.00133	792	46	834	17	847	8
P06-01W-13	1 143	470	2.430	0.0627	0.0018	0.63621	0.01732	0.07383	0.00074	699	41	500	11	459	4
P06-01W-14	935	952	0.982	0.1549	0.0032	8.93939	0.16917	0.41847	0.00368	2 401	36	2 332	17	2 254	17
P06-01W-15	2 227	2 405	0.926	0.0470	0.0015	0.13074	0.00426	0.02003	0.00018	70	57	125	4	128	1
P06-01W-16	2 418	1 780	1.358	0.0500	0.0016	0.13945	0.00448	0.02019	0.00021	196	55	133	4	129	1
P06-01W-17	670	429	1.560	0.1640	0.0028	9.41579	0.16984	0.41265	0.00356	2 502	19	2 379	17	2 227	16
P06-01W-18	1 116	951	1.172	0.0506	0.0013	0.26812	0.00686	0.03819	0.00031	225	44	241	5	242	2
P06-01W-19	910	718	1.267	0.0605	0.0032	0.14487	0.00755	0.01736	0.00022	622	119	137	7	111	1
P06-01W-20	209	183	1.143	0.0493	0.0018	0.13619	0.00490	0.02001	0.00021	164	65	130	4	128	1
P06-01W-21	737	589	1.251	0.0475	0.0022	0.13237	0.00656	0.02009	0.00032	76	80	126	6	128	2
P06-01W-22	1 121	1 869	0.599	0.0520	0.0016	0.14870	0.00469	0.02060	0.00019	286	55	141	4	131	1
P06-01W-23	524	442	1.186	0.0548	0.0038	0.12893	0.00798	0.01767	0.00031	407	108	123	7	113	2
P06-01W-24	569	372	1.527	0.0460	0.0044	0.12536	0.01178	0.01974	0.00037	—	200	120	11	126	2
P06-01W-25	250	272	0.919	0.0489	0.0021	0.13978	0.00642	0.02059	0.00026	144	82	133	6	131	2
P06-01W-26	1 689	1 517	1.113	0.0457	0.0019	0.12153	0.00530	0.01916	0.00020	—15	72	116	5	122	1
P06-01W-27	328	160	2.050	0.0686	0.0024	1.26943	0.04442	0.13439	0.00154	889	53	832	20	813	9
P06-01W-28	555	179	3.098	0.0611	0.0027	0.81219	0.03901	0.09594	0.00131	645	80	604	22	591	8
P06-01W-29	1 542	1 196	1.289	0.1288	0.0021	6.17980	0.12158	0.34499	0.00345	2 082	21	2 002	17	1 911	17
P06-01W-30	538	262	2.054	0.1146	0.0024	5.42689	0.11725	0.34279	0.00335	1 874	25	1 889	19	1 900	16
P06-01W-31	1 138	397	2.866	0.1546	0.0029	9.48962	0.19591	0.44323	0.00480	2 398	21	2 387	19	2 365	21
P06-01W-32	1 621	416	3.901	0.0540	0.0033	0.14819	0.00979	0.02015	0.00042	373	112	140	9	129	3
P06-01W-33	1 805	1 316	1.371	0.0460	0.0017	0.12972	0.00486	0.02056	0.00024	—2	56	124	4	131	1
P06-01W-34	169	76.6	2.208	0.0660	0.0106	0.28610	0.04530	0.03143	0.00102	807	361	255	36	199	6
P06-01W-35	1 907	1 188	1.605	0.0460	0.0021	0.11349	0.00523	0.01791	0.00023	3	73	109	5	114	1

续表 4

测点号	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素值				年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$				
P06-01W-36	362	326	1.110	0.054 6	0.002 2	0.552 12	0.023 91	0.072 64	0.000 84	399	76	446	16	452	5
P06-01W-37	1 205	469	2.567	0.063 0	0.001 9	1.262 08	0.038 75	0.144 69	0.001 56	710	47	829	17	871	9
P06-01W-38	2 862	497	5.759	0.056 2	0.006 0	0.132 75	0.014 09	0.017 12	0.000 24	462	244	127	13	109	2
P06-01W-39	1 020	755	1.350	0.156 5	0.002 6	10.341 00	0.178 04	0.474 70	0.063 44	2 419	19	2 466	16	2 504	15
P06-01W-40	669	314	2.129	0.090 9	0.002 2	3.300 16	0.084 97	0.262 14	0.063 95	1 445	27	1 481	20	1 501	20
P06-01W-41	965	1 700	0.567	0.049 5	0.001 7	0.205 20	0.007 16	0.029 77	0.000 3	172	63	190	6	189	2
P06-01W-42	207	271	0.763	0.050 3	0.002 0	0.138 91	0.006 49	0.020 02	0.000 22	211	112	132	6	128	1
P06-01W-43	236	821	0.287	0.073 5	0.001 5	1.767 14	0.036 24	0.172 85	0.001 27	1 030	29	1 033	13	1 028	7
P06-01W-44	583	351	1.660	0.049 6	0.002 6	0.266 60	0.013 95	0.038 91	0.000 61	179	92	240	11	246	4
P06-01W-45	997	971	1.027	0.109 9	0.002 2	4.782 88	0.094 68	0.313 38	0.002 62	1 799	24	1 782	17	1 757	13
P06-01W-46	789	338	2.335	0.063 2	0.001 8	1.198 99	0.036 41	0.136 62	0.001 5	718	46	800	17	826	9
P06-01W-47	405	782	0.517	0.115 8	0.002 0	4.850 29	0.095 11	0.301 81	0.003 35	1 893	20	1 794	17	1 700	17
P06-01W-48	336	93.0	3.613	0.069 3	0.004 0	1.198 30	0.063 48	0.128 06	0.002 09	909	82	800	29	777	12
P06-01W-49	681	725	0.939	0.168 2	0.002 8	10.901 80	0.197 03	0.467 41	0.004 08	2 541	19	2 515	17	2 472	18
P06-01W-50	3 158	1 473	2.144	0.057 2	0.006 2	0.136 14	0.016 51	0.016 99	0.000 2	502	251	130	15	109	1
P06-01W-51	210	1 44	1.459	0.125 1	0.006 1	6.651 94	0.330 04	0.384 41	0.006 48	2 031	64	2 066	44	2 097	30
P06-01W-52	822	488	1.683	0.061 2	0.006 0	0.170 52	0.016 93	0.020 67	0.000 63	646	162	160	15	132	4
P06-01W-53	1 804	1 327	1.359	0.049 0	0.005 6	0.125 33	0.014 45	0.018 62	0.000 68	149	190	120	13	119	4
P06-01W-54	67	29	2.270	0.067 8	0.009 9	0.163 71	0.024 00	0.017 94	0.000 86	864	228	154	21	115	5
P06-01W-55	37	31	1.171	0.057 9	0.009 7	0.165 36	0.027 97	0.020 75	0.001 15	528	276	155	24	132	7
P06-01W-56	365	459	0.795	0.053 0	0.002 9	0.128 80	0.006 78	0.017 98	0.000 26	332	94	123	6	115	2
P06-01W-57	410	1 050	0.390	0.047 7	0.001 5	0.135 62	0.004 26	0.020 69	0.000 21	86	54	129	4	132	1
P06-01W-58	214	445	0.479	0.051 5	0.001 5	0.371 91	0.010 98	0.052 32	0.000 51	265	50	321	8	329	3
P06-01W-59	96	241	0.396	0.061 1	0.001 5	0.978 58	0.033 10	0.114 79	0.002 49	646	38	693	17	701	14
P06-01W-60	304	314	0.967	0.049 1	0.003 1	0.114 60	0.007 19	0.017 02	0.000 25	156	115	110	7	109	2
P06-01W-61	128	144	0.886	0.074 0	0.001 8	2.188 59	0.054 44	0.214 54	0.002 16	1 042	34	1 177	17	1 253	11
P06-01W-62	71	292	0.243	0.109 7	0.001 7	5.157 84	0.089 86	0.338 13	0.002 64	1 795	20	1 846	15	1 878	13
P06-01W-64	362	1 408	0.257	0.053 9	0.001 9	0.156 99	0.005 67	0.020 95	0.000 23	370	62	148	5	134	1
P06-01W-65	289	331	0.875	0.056 9	0.003 6	0.144 17	0.009 30	0.018 55	0.000 33	488	111	137	8	118	2
P06-01W-66	81	270	0.297	0.053 7	0.004 0	0.149 73	0.011 80	0.020 20	0.000 33	361	185	142	10	129	2
P06-01W-67	301	706	0.426	0.047 8	0.002 8	0.136 07	0.007 97	0.020 60	0.000 29	94	135	130	7	131	2
P06-01W-68	43	110	0.389	0.093 8	0.002 0	3.186 22	0.095 33	0.245 82	0.003 06	1 505	38	1 454	23	1 417	16
P06-01W-69	16	281	0.056	0.060 6	0.002 0	0.980 57	0.034 32	0.116 97	0.001 47	626	54	694	18	713	8
P06-01W-70	203	438	0.463	0.049 8	0.002 2	0.253 52	0.011 60	0.036 86	0.000 51	189	81	229	9	233	3
P05-01W-1	493	926	0.530	0.051 9	0.001 9	0.138 56	0.005 06	0.019 26	0.000 21	280	63	132	5	123	1
P05-01W-2	470	1 631	0.288	0.048 4	0.002 2	0.127 40	0.005 51	0.019 09	0.000 24	119	102	122	5	122	2

续表 4

测点号	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素值				年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
P05-01W-3	1 088	3 494	0.311	0.072 12	0.002 29	0.108 18	0.003 23	0.010 98	0.000 17	989	36	104	3	70	1
P05-01W-4	300	1 008	0.297	0.047 80	0.001 91	0.132 28	0.005 30	0.019 96	0.000 24	90	68	126	5	127	2
P05-01W-5	138	371	0.371	0.050 87	0.002 66	0.141 52	0.007 36	0.020 27	0.000 28	235	95	134	7	129	2
P05-01W-6	255	828	0.308	0.051 66	0.001 98	0.139 14	0.005 34	0.019 47	0.000 21	270	69	132	5	124	1
P05-01W-7	1 147	1 142	1.005	0.050 45	0.001 89	0.136 69	0.005 26	0.019 49	0.000 21	216	69	130	5	124	1
P05-01W-8	289	801	0.360	0.051 17	0.002 11	0.134 75	0.005 45	0.019 18	0.000 23	248	71	128	5	122	1
P05-01W-9	394	765	0.515	0.049 71	0.002 21	0.125 07	0.005 34	0.018 33	0.000 22	181	77	120	5	117	1
P05-01W-10	257	624	0.412	0.050 86	0.003 62	0.129 78	0.009 03	0.018 51	0.000 28	234	163	124	8	118	2
P05-01W-11	478	1 326	0.360	0.052 21	0.001 93	0.142 04	0.005 33	0.019 54	0.000 21	295	66	135	5	125	1
P05-01W-12	348	1 057	0.329	0.050 74	0.001 84	0.143 83	0.005 11	0.020 54	0.000 20	229	64	136	5	131	1
P05-01W-13	238	560	0.42	0.052 84	0.002 74	0.134 35	0.007 08	0.018 36	0.000 24	322	96	128	6	117	2
P05-01W-14	294	572	0.514	0.048 82	0.002 58	0.126 62	0.006 37	0.019 14	0.000 27	139	89	121	6	122	2
P05-01W-15	454	714	0.636	0.051 18	0.002 35	0.138 48	0.006 42	0.019 59	0.000 28	249	81	132	6	125	2
P05-01W-16	364	1 161	0.313	0.052 56	0.002 31	0.152 17	0.006 84	0.020 76	0.000 21	310	84	144	6	132	1
P05-01W-17	420	660	0.636	0.049 95	0.002 53	0.124 96	0.006 29	0.018 22	0.000 23	192	93	120	6	116	1
P05-01W-18	293	711	0.411	0.051 76	0.002 75	0.144 69	0.007 53	0.020 28	0.000 23	275	125	137	7	129	1
P05-01W-19	84	220	0.380	0.051 77	0.003 29	0.133 11	0.008 15	0.019 07	0.000 37	275	104	127	7	122	2
P05-01W-20	719	1 343	0.535	0.058 79	0.002 38	0.142 62	0.005 54	0.017 70	0.000 22	559	63	135	5	113	1
P05-01W-21	555	3 070	0.181	0.046 87	0.002 69	0.079 39	0.004 15	0.012 28	0.000 29	43	126	78	4	79	2
P05-01W-22	310	829	0.374	0.052 27	0.002 27	0.141 38	0.006 18	0.019 63	0.000 21	297	80	134	5	125	1
P05-01W-23	143	294	0.487	0.050 72	0.004 57	0.127 18	0.011 27	0.018 18	0.000 31	228	206	122	10	116	2
P05-01W-24	484	1 065	0.454	0.051 70	0.001 75	0.142 30	0.004 80	0.019 91	0.000 21	272	58	135	4	127	1
P05-01W-25	259	670	0.386	0.051 78	0.003 27	0.149 45	0.009 83	0.020 83	0.000 24	276	130	141	9	133	2
P05-01W-26	337	513	0.658	0.051 57	0.002 81	0.129 71	0.006 93	0.018 47	0.000 26	266	97	124	6	118	2
P05-01W-27	334	873	0.382	0.051 20	0.011 81	0.142 98	0.032 87	0.020 26	0.000 39	250	419	136	29	129	2
P05-01W-28	521	1 587	0.328	0.049 97	0.001 46	0.140 95	0.004 02	0.020 43	0.000 19	194	49	134	4	130	1
P05-01W-29	332	715	0.465	0.047 24	0.001 92	0.119 71	0.004 77	0.018 45	0.000 22	61	66	115	4	118	1
P05-01W-30	230	634	0.363	0.047 11	0.002 53	0.122 04	0.006 32	0.018 97	0.000 28	55	85	117	6	121	2
P05-01W-31	463	927	0.499	0.046 96	0.001 98	0.126 48	0.005 44	0.019 42	0.000 23	47	71	121	5	124	1
P05-01W-32	385	845	0.456	0.055 12	0.007 85	0.150 15	0.021 30	0.019 76	0.000 26	417	322	142	19	126	2
P05-01W-33	400	1 500	0.266	0.050 40	0.001 73	0.137 30	0.004 59	0.019 71	0.000 20	214	59	131	4	126	1
P05-01W-34	354	1 328	0.266	0.051 54	0.001 97	0.138 17	0.005 21	0.019 44	0.000 23	265	65	131	5	124	1
P05-01W-35	226	534	0.422	0.049 25	0.003 09	0.129 43	0.007 94	0.019 06	0.000 26	160	143	124	7	122	2
P05-01W-37	366	607	0.603	0.049 45	0.002 37	0.119 04	0.005 60	0.017 49	0.000 20	169	88	114	5	112	1
P05-01W-38	1 088	2 017	0.539	0.046 05	0.001 98	0.091 25	0.003 63	0.014 37	0.000 23	—	91	89	3	92	1
P05-01W-39	531	696	0.762	0.052 82	0.002 09	0.124 20	0.004 70	0.017 11	0.000 19	321	66	119	4	109	1

续表 4

测点号	Th(10^{-6})	U(10^{-6})	Th/U	同位素值				年龄(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
P05-01W-40	261	747	0.349	0.047 74	0.001 79	0.125 39	0.005 12	0.018 86	0.000 19	86	73	120	5	120	1
P05-01W-41	108	264	0.409	0.077 13	0.008 98	0.213 16	0.024 17	0.020 04	0.000 53	1 125	243	196	20	128	3
P05-01W-42	90	249	0.359	0.054 19	0.009 79	0.141 41	0.025 14	0.018 92	0.000 60	379	369	134	22	121	4
P05-01W-43	52	166	0.315	0.046 78	0.008 99	0.146 15	0.027 73	0.022 66	0.000 69	38	333	139	25	144	4
P05-01W-44	585	1 027	0.569	0.051 03	0.002 19	0.132 68	0.005 40	0.018 81	0.000 22	242	72	127	5	120	1
P05-01W-45	285	890	0.320	0.051 19	0.002 16	0.134 13	0.005 58	0.018 55	0.000 23	281	73	128	5	119	1
P05-01W-47	235	905	0.259	0.046 94	0.001 88	0.120 23	0.004 75	0.018 42	0.000 21	46	65	115	4	118	1
P05-01W-48	231	536	0.430	0.049 96	0.002 76	0.130 77	0.007 39	0.018 86	0.000 28	193	102	125	7	120	2
P05-01W-49	219	631	0.347	0.047 12	0.002 42	0.118 82	0.005 98	0.018 18	0.000 22	55	87	114	5	116	1
P05-01W-50	771	2 446	0.315	0.047 58	0.003 37	0.112 66	0.007 81	0.017 17	0.000 25	78	158	108	7	110	2
P05-01W-51	174	327	0.531	0.054 84	0.003 58	0.133 31	0.008 58	0.017 75	0.000 26	406	118	127	8	113	2
P05-01W-52	392	780	0.503	0.057 78	0.002 32	0.145 57	0.005 58	0.018 32	0.000 22	522	63	138	5	117	1
P05-01W-53	397	798	0.498	0.050 48	0.001 87	0.133 76	0.004 97	0.019 18	0.000 23	217	64	127	4	122	1
P05-01W-54	528	1 592	0.331	0.057 44	0.002 17	0.132 66	0.004 90	0.016 82	0.000 24	508	56	126	4	108	2
P05-01W-55	239	467	0.512	0.059 00	0.003 07	0.158 04	0.008 47	0.019 67	0.000 30	567	90	149	7	126	2
P05-01W-56	255	783	0.326	0.052 12	0.002 70	0.126 25	0.006 19	0.017 81	0.000 28	291	83	121	6	114	2
P05-01W-57	403	1 453	0.277	0.050 16	0.001 57	0.137 52	0.004 41	0.019 77	0.000 22	203	53	131	4	126	1
P05-01W-58	546	1 195	0.457	0.056 25	0.003 10	0.149 83	0.008 09	0.019 32	0.000 20	462	125	142	7	123	1
P05-01W-59	276	750	0.367	0.051 44	0.002 46	0.135 13	0.006 27	0.019 08	0.000 23	261	84	129	6	122	1
P05-01W-60	464	1 428	0.325	0.054 13	0.002 16	0.138 73	0.005 40	0.018 58	0.000 26	377	63	132	5	119	2
P05-01W-61	329	762	0.432	0.049 54	0.002 99	0.130 95	0.007 74	0.019 17	0.000 24	174	138	125	7	122	2
P05-01W-63	206	473	0.435	0.048 57	0.002 89	0.121 27	0.007 18	0.018 19	0.000 26	127	107	116	7	116	2
P05-01W-64	282	786	0.358	0.046 05	0.001 87	0.118 99	0.004 67	0.018 74	0.000 20	—	86	114	4	120	1
P05-01W-65	270	857	0.315	0.047 05	0.001 91	0.127 21	0.004 98	0.019 56	0.000 23	52	64	122	4	125	1
P05-01W-66	481	1 388	0.347	0.052 13	0.002 62	0.128 97	0.006 28	0.017 94	0.000 23	291	118	123	6	115	1
P05-01W-67	142	381	0.373	0.053 76	0.003 16	0.136 70	0.008 12	0.018 49	0.000 26	361	109	130	7	118	2
P05-01W-68	270	455	0.593	0.058 78	0.003 02	0.152 94	0.008 24	0.018 68	0.000 26	559	94	145	7	119	2
P05-01W-69	426	943	0.45	0.047 70	0.001 67	0.126 40	0.004 34	0.019 20	0.000 21	84	58	121	4	123	1
P05-01W-70	564	1 791	0.315	0.051 18	0.002 19	0.138 16	0.005 74	0.019 58	0.000 20	249	101	131	5	125	1
P05-01W-71	411	590	0.695	0.060 62	0.009 38	0.173 07	0.026 60	0.020 71	0.000 36	626	347	162	23	132	2
P05-01W-72	434	1 697	0.256	0.046 06	0.002 21	0.082 35	0.003 83	0.012 97	0.000 16	1	103	80	4	83	1

注:P06-01W-24、P05-01W-38、P05-01W-64和P05-01W-72均为无效测年数据的测点。

163~246 Ma 的有 7 个年龄;700~900 Ma 的年龄共有 8 个,占 11.6%;1 000~2 500 Ma 共有 20 个年龄,占 28.9%。测试谐和性皆大于 90%,落在谐和线上或其附近,能代表它们的真实形式年龄,锆石很可能经历了一次或多次搬运、循环过程,说明可能存在源自古老基底剥蚀区的物源输入。P05-1W 获得 69 个有效数据,年龄范围为 $(70 \pm 1) \sim (144 \pm 4)$ Ma,集中于 $(109 \pm 1) \sim (133 \pm 2)$ Ma 的年龄共 63 个,占 87.5%,加权平均值为 121.7 Ma。

3.2 尼玛盆地区域物源对比

除传统的沉积学分析方法外,碎屑锆石 U-Pb 年龄也能提供物源信息。P06 样品测年值大于 2.0 Ga

的年龄数据有 8 个,羌塘与拉萨地体也有类似年龄出现(谭富文等,2009;何世平等,2013),可能与太古宙末超大陆拼合事件中的岩浆活动有关。南羌塘地体碎屑锆石年龄存在 530 Ma、650 Ma、800 Ma、950 Ma 和 ca.2 500 Ma 等峰值(Pullen *et al.*, 2008; Dong *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2011)(图 5),而拉萨地体以 550 Ma 和 1 170 Ma 为特征年龄峰值(Zhu *et al.*, 2011)。笔者对尼玛盆地北部坳陷碎屑锆石年龄数据统计,发现其存在 500~550 Ma、ca.800 Ma 和 ca.2 500 Ma 等特征峰值,500~550 Ma 年龄峰值可以与南羌塘地体、拉萨地体对比,ca.800 Ma 年龄峰值能与南羌塘地体对比,ca. 2 500 Ma 年龄峰值能

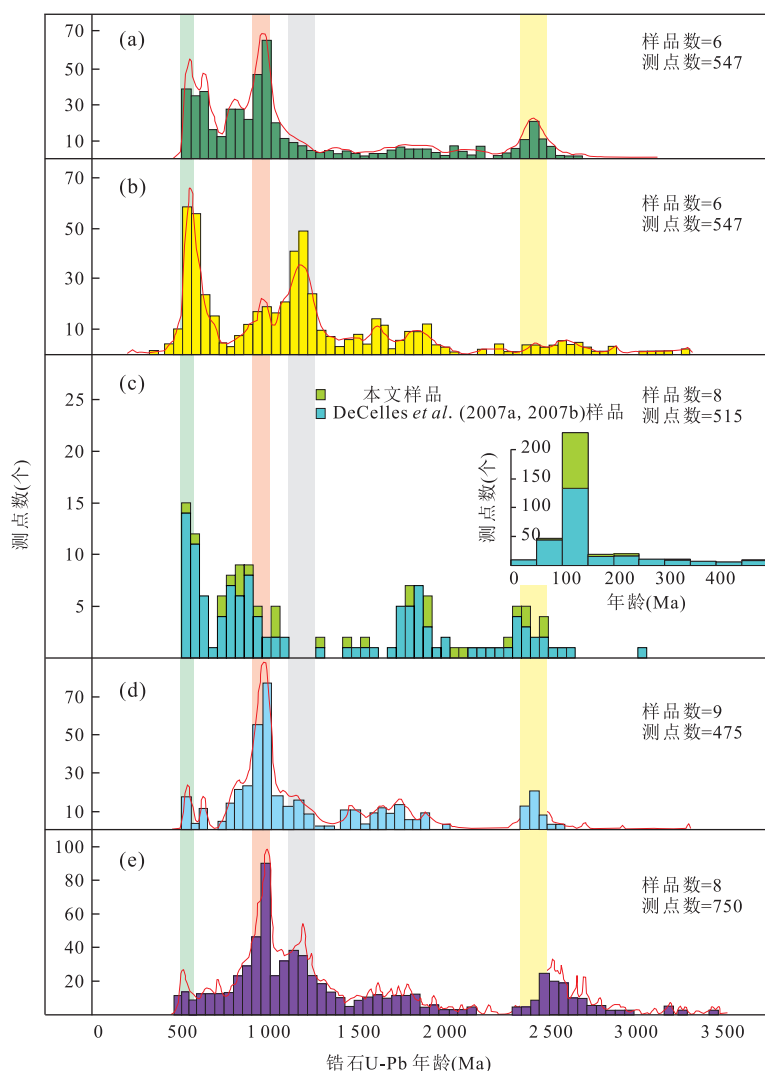


图 5 不同地区碎屑锆石年龄对比

Fig.5 Relative U-Pb age probability for detrital zircons from different area

a.南羌塘地体,数据来自 Pullen *et al.*(2008), Dong *et al.*(2011)和 Zhu *et al.*(2011); b.拉萨地体,数据来自 Leier *et al.*(2007a, 2007b)和 Zhu *et al.*(2011); c.尼玛盆地,部分数据来自 DeCelles *et al.*(2007a, 2007b); d.特提斯喜马拉雅,数据来自 Mc Quarrie *et al.*(2008), Myrow *et al.*(2009, 2010)和 Zhu *et al.*(2011); e.高喜马拉雅,数据来自 Gehrels *et al.*(2006a, 2006b); 绿色、红色、灰色和黄色柱形阴影分别代表 4 组锆石年龄峰值区间

与南羌塘、特提斯喜马拉雅和高喜马拉雅对比。此外,700~900 Ma、1 700~2 100 Ma 年龄区间与拉萨地块上古生界(DeCelles *et al.*, 2007b)和尼玛逆冲带上盘下白垩统海相浊积砂岩的碎屑锆石年龄相似(Kapp *et al.*, 2007),而且拉萨地体已被证实存在元古代乃至更早的古老基底(Zhu *et al.*, 2013; Lin *et al.*, 2013),所以北部坳陷南缘的牛堡组碎屑锆石也可能来自南部的拉萨地体及缝合带内的逆冲岩席。总体来看,图5显示尼玛盆地北部坳陷的物源可能来自羌塘地体和拉萨地体的双向输入。

P06-1W 样品的 163 ± 2 Ma~ 246 ± 4 Ma 年龄可能与羌塘地体古特提斯洋盆的关闭有关(谭富文等, 2009),即中一晚二叠世在拉萨地体北部由于古特提斯洋脊的持续扩张,导致约 263 Ma 时古特提斯洋壳岩石圈向南开始俯冲于拉萨地体之下(朱弟成等, 2009)。样品年龄为 100~140 Ma 的频率最高(图 5c),该年龄值与尼玛中央隆起带内的普许错花岗岩年龄接近(Kapp *et al.*, 2007),并且拉萨地体北部及羌塘地体最南缘广泛分布有 100~140 Ma 的白垩纪火成岩(Coulon *et al.*, 1986; Zhu *et al.*, 2009; Ma *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014; Meng *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2015; 丁慧霞等, 2015),尤其是在拉萨地体北部出现有盐湖—班戈岩浆弧带(吴旌等, 2014; Zhu *et al.*, 2016),它们的出现可能与向南俯冲的班公湖—怒江洋壳俯冲板片的断离引发的岩浆活动有关,该年龄是对此次构造岩浆事件的响应(张志等, 2015)。尼玛盆地北部坳陷的南缘褶皱和南倾的逆冲断层发育,下伏的早白垩世火山碎屑岩

层可能为牛堡组砂岩提供物源输入(117~118 Ma; Kapp *et al.*, 2007),构造混杂岩带的白垩纪火成岩也可能提供了物源。坳陷北部的 P05 剖面锆石年龄值区间较窄,年龄峰值大约在 120 Ma,与北部的虾别错花岗岩体年龄(118 Ma)接近(Kapp *et al.*, 2007),说明锆石可能来自北部花岗岩体的剥蚀搬运。尼玛盆地碎屑锆石还存在 40~70 Ma 的年龄(图 5c),这与拉萨地体林子宗火山岩类似。

4 样品重矿物组合

碎屑重矿物具有稳定性强、反映母岩特征及受后期影响小的特性,是物源分析的重要手段,其矿物组合类型对物源反应十分敏感(Morton and Hallsworth, 1999)。自下而上笔者对 P05-01W、P05-03W、P05-05W 样品进行重矿物分析。P05-01W 主要矿物有电气石、锆石、锐钛矿、白钛矿,磷灰石为次要矿物,其他矿物有磁铁矿、黄铁矿、石榴石、绿帘石及角闪石;自形的岩浆锆石+电气石+磷灰石为主要组合,指示酸性岩浆岩为主要物源,碎屑锆石与白钛矿指示碎屑沉积岩可能为其物源。P05-03W 主要矿物为岩浆成因锆石,次要矿物为电气石、磷灰石、锐钛矿、黑云母;岩浆锆石、电气石、磷灰石及黑云母也指示酸性岩浆岩为主要物源。P05-05W 主要矿物为黑云母(赤褐铁矿原型),次要矿物为锆石,存在少量电气石、磷灰石、锐钛矿及白钛矿;岩浆锆石、电气石、磷灰石及黑云母组合指示花岗岩为物源。综合古

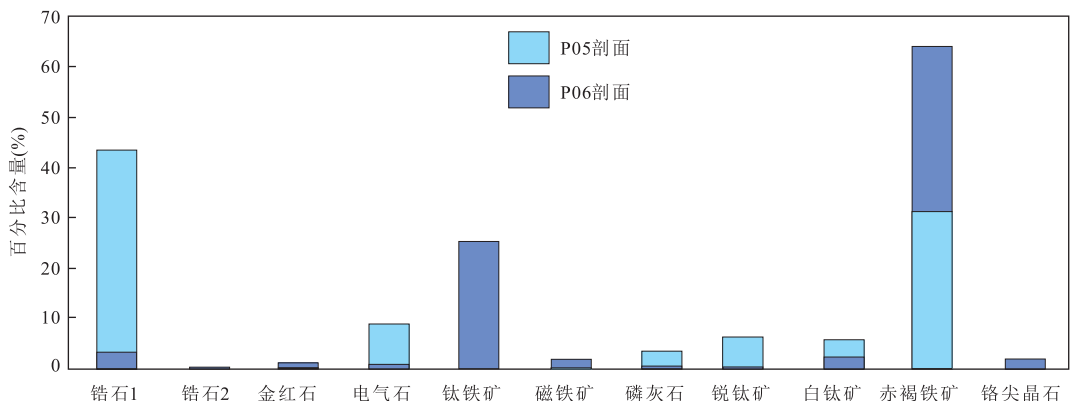


图6 尼玛盆地北部坳陷牛堡组重矿物平均含量分布

Fig.6 The distribution of average content of heavy minerals in Niubao Formation of the north depression, Nima basin

锆石1为自形的岩浆成因锆石,锆石2为磨圆较好的碎屑锆石。重矿物筛选在廊坊市宇能岩石矿物分选公司进行,先经无污染粉碎至20目(最大岩块粒径约为1 mm),利用标准干筛筛选40~100目(粒径约0.15~0.45 mm,近似大于砂岩分析样品的最小平均粒度),以保证分离出的重矿物为碎屑成因颗粒;然后通过重液、精淘分离和电磁分离出电磁、无磁和强磁3部分重矿物;接着通过双目镜和偏光镜鉴定重矿物;使用高精度天平计量,采用颗粒统计法,换算成体积百分比。样品质量大于1 kg

流向、砾石成分、砂岩碎屑组分及重矿物进行分析,笔者认为 P05 剖面所代表的北部物源母岩成分以花岗岩为主,存在低级变质岩和沉积岩.北部的中生代被动大陆边缘侏罗系残留海盆地,发育轻微变质的海相碎屑岩及碳酸盐岩组合(潘桂棠, 2004);而早白垩世虾别错花岗岩体的侵入,使得花岗岩体和侏罗纪海相沉积成为北部拗陷北缘的物源区.

P06 剖面主要矿物为钛铁矿、磁铁矿及黄铁矿(赤褐铁矿原型),次要矿物有锆石、铬尖晶石及白钛矿,存在少量的金红石、电气石、磷灰石、锐钛矿及石榴石(图 6),采样层位见图 2.钛铁矿、磁铁矿及黄铁矿可能源于基性火山岩,铬尖晶石可能源于超基性岩的橄榄岩,属于蛇绿岩套的组分;碎屑锆石、粒状白钛矿及次圆状金红石可能来自沉积岩;岩浆锆石、电气石、柱状金红石及磷灰石可能来自岩浆岩输入.锆石等稳定重矿物整体含量较低,而铬尖晶石与非稳定的钛铁矿、磁铁矿较多,属于造山带物源重矿物组合;极低的长石含量特征与构造混杂岩复理石建造相一致.综上所述,P06 剖面物源应以基性岩浆岩及沉积岩(硅质岩等)为主,并存在超基性岩浆岩、低级变质岩输入,中央隆起区木嘎岗日群构造混杂岩带应是其物源区.

5 讨论

拉萨地体和羌塘地体在中生代的碰撞导致了地体之间能量持续汇聚,并在尼玛盆地形成木嘎岗日、普许错、尼玛、改则-色林错等逆冲断层(图 7),尼玛盆地开始缩短变形且缩短量被逆冲构造所吸收.到白垩纪中期伴随着地壳缩短变形及山脉地形隆

起,尼玛盆地在约 118 Ma 开始由海相转变为陆相沉积,北部拗陷南缘开始隆起,北缘的虾别错花岗岩体也开始侵入侏罗纪(Kapp *et al.*, 2007).

在新生代,印度板块和欧亚板块的碰撞使班公湖-怒江缝合带内部早先形成的逆冲推覆构造体系重新激活(Murphy and Yin, 2003; 吴珍汉等, 2013),导致地壳缩短及地形变化加剧(Li *et al.*, 2015).构造运动和动力学机制必然会影响盆地沉积过程及古地理特征.该时期尼玛盆地的演化可分为初始扩张期、强烈扩张期、扩张减弱期和收缩期 4 个阶段(杨林, 2011).其中, P06 剖面下段发育以湖泊相为主的河湖相沉积,岩性以紫红色砂岩为主,湖水浅且湖盆范围较大,属于构造活动较稳定的扩张减弱期; P05 及 P06 剖面上段发育冲积扇沉积体系,进积的砂砾岩将盆地迅速充填,气候变干导致风成沙丘及石膏等蒸发岩层出现,属于构造活动较强的收缩期. P06 剖面砾石层在岩层中的比例从下至上逐渐增高(图 2),砾岩单层厚度及砾石粒径均呈增大趋势(表 3); P05 剖面砾岩以花岗质砾石和岩屑为主,这些特征显示构造活动呈增强趋势.

笔者利用碎屑锆石年代学特征、重矿物、碎屑组分、古流向及其他沉积学证据进行了新生代尼玛盆地的构造及古地理模型的重建(图 7, 8).在古近纪,由于构造碰撞导致的缩短变形及逆冲断层活动,尼玛盆地北部拗陷北缘逐渐隆起,南缘的普许错逆冲断层上盘也开始活动并抬升,拗陷的南北两侧邻区成为沉积物质的物源区,碎屑组分及重矿物分析等证据也指示其存在南北双向物源.此时北部拗陷的冲积扇、古河流及古湖泊等相互联系的沉积体系开始出现,逐渐形成独立的沉积中心.例如,较大的湖

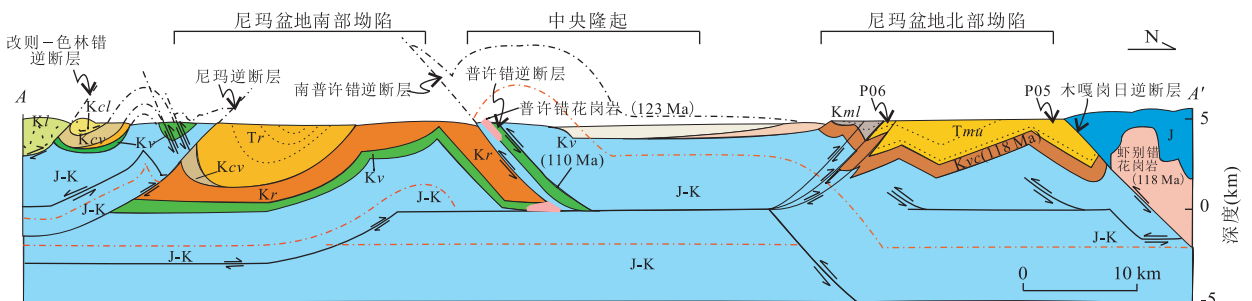


图 7 尼玛盆地地质构造模型

Fig.7 Geological tectonic model of Nima basin

J. 侏罗系泥岩、页岩、粉砂岩、灰岩、浊积砂岩、变质火山岩; J-K. 侏罗系-白垩系页岩, 粉砂岩, 浊流砂岩, 构造混杂岩; Kl. 下白垩统朗山组灰岩; Koc. 下白垩统火山碎屑岩; Kv. 下白垩统火山熔岩、凝灰岩及火山角砾岩; Kr. 白垩系红层; Kcv. 上白垩统含火山碎屑砾岩; Kcl. 上白垩统碳酸盐质砾岩; Kml. 上白垩统一古新统; Tmu. 北尼玛盆地古近系; Tr. 南尼玛盆地古近系; P05 和 P06 箭头所指为两剖面在 AA' 剖面上的投影位置; 据 Kapp *et al.* (2007) 修改

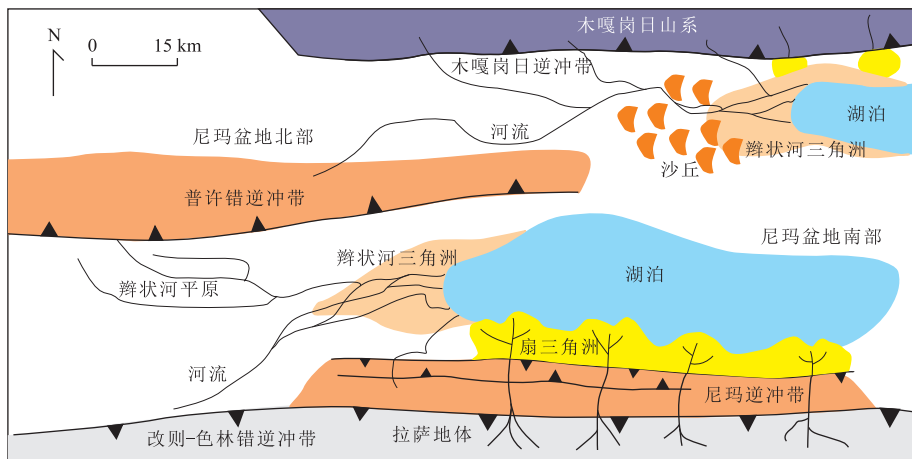


图8 晚白垩世—古近纪尼玛盆地模型

Fig.8 The model of Nima basin in Late Cretaceous to Tertiary

泊形成于盆地内部干枯的地形低洼处,其周缘为低缓起伏的蒸发沙地,湖泊由多条含沙的河流系统补充;湖泊局部与陡峭且含粗碎屑的扇三角洲相连,扇三角洲多形成于靠近逆冲断裂的高地一侧;在北部拗陷靠近湖泊、周期性淹没的沙地及河流水系的地方形成了许多大型沙丘(图8),而冲积扇侧面与隆起的山脉相接,并与河流体系相互联系。这些沙丘、沙地等地貌类型属于局限性的沙漠沉积,但是其与河流、冲积、风成及湖泊等沉积体系联系密切,其成因类型和第四纪很多大型湖泊周边的局部性沙漠相同,如青海湖、鄱阳湖等周边广泛分布的风成沙丘沉积体(李徐生等,2006;王璐琳和武法东,2012)。同时,局限性的沙漠沉积也指示当时的环境转为干燥气候,尼玛盆地古土壤碳酸盐岩和湖相泥灰岩的碳氧同位素证据也表明晚白垩世—古近纪西藏内陆为干旱气候类型,并且显示土壤呼吸速率低而湖水蒸发率高(DeCelles *et al.*, 2007a)。因此,西藏中部古近纪的气候趋于干燥。

6 结论

(1)尼玛盆地北部拗陷古近纪存在双向物源,北部物源母岩类型主要为早白垩世虾别错花岗岩为代表的酸性岩浆岩,其次为沉积岩和变质岩;南部物源母岩以沉积岩(硅质岩等)、基性岩浆岩为主,其次为低级变质岩、超基性岩浆岩,主要来自中央隆起带构造混杂岩。

(2)早白垩世的锆石年龄峰值是对班公湖—怒江洋壳俯冲在相关地体引发的岩浆事件的响应;碎

屑锆石 U-Pb 年龄分布特征进一步证实牛堡组碎屑岩的物源来自北部拗陷的南北两侧地体。

(3)尼玛盆地早白垩世—古近纪期间构造活动逐渐增强,伴随着地壳缩短、逆冲断层及造山系统的发育,其北部逐渐演化为一个受逆冲断层控制的独立次级盆地,盆地内沉积物的输入与该区域的隆升、剥蚀和岩浆活动关系密切。

致谢:中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室胡兆初教授在实验分析上给予了大力支持,在此表示感谢。同时,衷心感谢评审专家对本文提出的学术指导和帮助;感谢国土资源部构造矿成藏重点实验室对本文的帮助。

References

- Ai, H. G., Lan, L. Y., Zhu, H. Q., et al., 1998. The Forming Mechanism and Petroleum Geology of Tertiary Lunpola Basin, Tibet. *Acta Petroleii Sinica*, 19(2): 21-27 (in Chinese with English abstract).
- Andersen, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses that do not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79. doi:10.1016/s0009-2541(02)00195-x
- Chen, Y., Zhu, D. C., Zhao, Z. D., et al., 2014. Slab Breakoff Triggered ca. 113 Ma Magmatism around Xainza Area of the Lhasa Terrane, Tibet. *Gondwana Research*, 26(2): 449-463. doi:10.1016/j.gr.2013.06.005
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., et al., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy Geochemistry*, 53: 469-495. doi:10.2113/0530469
- Coulon, C., Maluski, H., Bollinger, C., et al., 1986. Mesozoic and Cenozoic Volcanic Rocks from Central and Southern Tibet: ^{39}Ar - ^{40}Ar Dating, Petrological Characteristics

- and Geodynamical Significance. *Earth and Planetary Science Letters*, 79 (3–4): 281–302. doi: 10.1016/0012-821x(86)90186-x
- DeCelles, P. G., Quade, J., Kapp, P., et al., 2007a. High and Dry in Central Tibet during the late Oligocene. *Earth and Planetary Science Letters*, 253 (3–4): 389–401. doi: 10.1016/j.epsl.2006.11.001
- DeCelles, P. G., Kapp, P., Ding, L., et al., 2007b. Late Cretaceous to Middle Tertiary Basin Evolution in the Central Tibetan Plateau: Changing Environments in Response to Tectonic Partitioning, Aridification and Regional Elevation Gain. *Geological Society of America Bulletin*, 119 (5–6): 654–680. doi: 10.1130/b26074.1
- Dickinson, W. R., Beard, S. L., Brakenridge, G. R., et al., 1983. Provenance of North American Phanerozoic Sandstones in Relation to Tectonic Setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94 (2): 222–235. doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<222:ponaps>2.0.co;2
- Dickinson, W. R., Suczek, C., 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164–2182.
- Ding, H. X., Zhang, Z. M., Xiang, H., et al., 2015. The Petrogenesis and Tectonic Significance of the Early Cretaceous Volcanics from the Northern Lhasa Terrane, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 31 (5): 1247–1267 (in Chinese with English abstract).
- Dong, C. Y., Li, C., Wan, Y. S., et al., 2011. Detrital Zircon Age Model of Ordovician Wenquan Quartzite South of Lungmuco-Shuanghu Suture in the Qiangtang Area, Tibet: Constraint on Tectonic Affinity and Source Regions. *Science China Earth Sciences*, 54 (7): 1034–1042. doi: 10.1007/s11430-010-4166-x
- Gehrels, G. E., DeCelles, P. G., Ojha, T. P., et al., 2006a. Geologic and U-Th-Pb Geochronologic Evidence for Early Paleozoic Tectonism in the Kathmandu Thrust Sheet, Central Nepal Himalaya. *Geological Society of America Bulletin*, 118 (1–2): 185–198. doi: 10.1130/b25753.1
- Gehrels, G. E., DeCelles, P. G., Ojha, T. P., et al., 2006b. Geologic and U-Pb Geochronologic Evidence for Early Paleozoic Tectonism in the Dadeldhura Thrust Sheet, Far-West Nepal Himalaya. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28 (4–6): 385–408. doi: 10.1016/j.jseas.2005.09.012
- He, S. P., Li, R. S., Wang, C., et al., 2013. Discovery of the Paleoproterozoic Terrane in Lhasa Block, Qinghai-Tibet Plateau. *Earth Science*, 38 (3): 519–528 (in Chinese with English abstract).
- Huang, H., Zhu, L. D., Yang, W. G., et al., 2012. Cenozoic Basin Sedimentary Record and Basin-Controlling Mechanism of Northern Nyima, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 31 (6): 936–942 (in Chinese with English abstract).
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., et al., 1984. The Effect of Grain Size on Detrital Modes: A Test of the Gazzi-Dickinson Point-Counting Method. *SEPM Society for Sedimentary Geology*, 54 (1): 103–116. doi: 10.1306/212f83b9-2b24-11d7-8648000102c1865d
- Jia, Y. Y., Xing, X. J., Sun, G. Q., 2015. The Paleogene-Neogene Paleoclimate Evolution in Western Sector of Northern Margin of Qaidam Basin. *Earth Science*, 40 (12): 1955–1967 (in Chinese with English abstract).
- Kapp, P., DeCelles, P. G., Gehrels, G. E., et al., 2007. Geological Records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian Collisions in the Nima Area of Central Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 119 (7–8): 917–932. doi: 10.1130/b26033.1
- Kapp, P., Yin, A., Harrison, T. M., et al., 2005. Cretaceous-Tertiary Shortening, Basin Development, and Volcanism in Central Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 117 (7): 865–878. doi: 10.1130/b25595.1
- Leier, A. L., DeCelles, P. G., Kapp, P., et al., 2007a. The Tena Formation of the Lhasa Terrane, Southern Tibet: The Record of a Late Cretaceous Retroarc Foreland Basin. *Geological Society of America Bulletin*, 119 (1–2): 31–48. doi: 10.1130/b25974.1
- Leier, A. L., DeCelles, P. G., Kapp, P., et al., 2007b. Lower Cretaceous Strata in the Lhasa Terrane, Tibet, with Implications for Understanding the Early Tectonic History of the Tibetan Plateau. *Journal of Sedimentary Research*, 77 (10): 809–825. doi: 10.2110/jsr.2007.078
- Li, X. S., Han, Z. Y., Yang, D. Y., et al., 2006. Aeolian-Dust Deposit to the Southwest of the Poyang Lake during the Last Glacial Age. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 26 (1): 101–108 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Wang, C. S., Dai, J. G., et al., 2015. Propagation of the Deformation and Growth of the Tibetan-Himalayan Orogen: A Review. *Earth-Science Reviews*, 143: 36–61. doi: 10.1016/j.earscirev.2015.01.001
- Lin, Y. H., Zhang, Z. M., Dong, X., et al., 2013. Precambrian Evolution of the Lhasa Terrane, Tibet: Constraint from the Zircon U-Pb Geochronology of the Gneisses. *Precambrian Research*, 237: 64–77. doi: 10.1016/j.precamres.2013.09.006
- Liu, Y., Gao, S., Hu, Z., et al., 2010. 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. *Journal of Petrology*, 51 (1–2): 537–571. doi: 10.1093/petrology/egp082

- Ludwig, K. R., 2003. User's Manual for Isoplot 3.0; A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, Berkeley.
- Luo, B. J., Dai, G. Y., Pan, Z. X., 1996. Oil and Gas Potential in Paleogene Terrestrial Bangonghu-Dingqing Suture Zone. *Earth Science*, 21(2): 163—167 (in Chinese with English abstract).
- Luo, L., An, X. Y., Wu, N. W., et al., 2014. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins in Bangonghu-Shuanghu-Nuijiang-Changning-Menglian Suture Zone. *Earth Science*, 39(8): 1170—1179 (in Chinese with English abstract).
- Ma, L., Wang, Q., Li, Z. X., et al., 2013. Early Late Cretaceous (ca. 93 Ma) Norites and Hornblendites in the Milin Area, Eastern Gangdese; Lithosphere-Asthenosphere Interaction during Slab Roll-Back and an Insight into Early Late Cretaceous (ca. 100—80 Ma) Magmatic “Flare-Up” in Southern Lhasa (Tibet). *Lithos*, 172—173: 17—30. doi: 10.1016/j.lithos.2013.03.007
- Ma, L. X., Zhang, E. H., Ju, J. C., et al., 1996. Basic Characteristics of Paleogene Deposition Systems Tract in Lunpola Basin, Tibet. *Earth Science*, 21(2): 174—178 (in Chinese with English abstract).
- McQuarrie, N., Robinson, D., Long, S., et al., 2008. Preliminary Stratigraphic and Structural Architecture of Bhutan; Implications for the along Strike Architecture of the Himalayan System. *Earth and Planetary Science Letters*, 272(1—2): 105—117. doi: 10.1016/j.epsl.2008.04.030
- Meng, F. Y., Zhao, Z. D., Zhu, D. C., et al., 2014. Late Cretaceous Magmatism in Mamba Area, Central Lhasa Subterranean; Products of Back-Arc Extension of Neo-Tethyan Ocean? *Gondwana Research*, 26(2): 505—520. doi: 10.1016/j.gr.2013.07.017
- Meng, J., 2013. Paleomagnetic Constraints and Implications for Late Mesozoic and Cenozoic Tectonic Events of Tibetan Plateau (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Morton, A. C., Hallsworth, C. R., 1999. Processes Controlling the Composition of Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. *Sedimentary Geology*, 124(1—4): 3—29. doi: 10.1016/s0037-0738(98)00118-3
- Murphy, M. A., Yin, A., 2003. Structural Evolution and Sequence of Thrusting in the Tethyan Fold-Thrust Belt and Indus-Yalu Suture Zone, Southwest Tibet. *Geological Society of America Bulletin*, 115(1): 21—34. doi: 10.1130/0016-7606(2003)115<0021:seasot>2.0.co;2
- Myrow, P. M., Hughes, N. C., Goodge, J. W., et al., 2010. Extraordinary Transport and Mixing of Sediment across Himalayan Central Gondwana during the Cambrian-Ordovician. *Geological Society of America Bulletin*, 122(9—10): 1660—1670. doi: 10.1130/b30123.1
- Myrow, P. M., Hughes, N. C., Searle, M. P., et al., 2009. Stratigraphic Correlation of Cambrian-Ordovician Deposits along the Himalaya: Implications for the Age and Nature of Rocks in the Mount Everest Region. *Geological Society of America Bulletin*, 121(3—4): 323—332. doi: 10.1130/b26384.1
- Pan, G. T., 2004. Geological Map of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and Adjacent Areas, Scale 1 : 1 000 000. Chengdu Cartographic Publishing House, Chengdu (in Chinese).
- Pullen, A., Kapp, P., Gehrels, G. E., et al., 2008. Triassic Continental Subduction in Central Tibet and Mediterranean-Style Closure of the Paleo-Tethys Ocean. *Geology*, 36(5): 351—354. doi: 10.1130/g24435a.1
- Song, B. W., Xu, Y. D., Liang, Y. P., et al., 2014. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Western China. *Earth Science*, 39(8): 1036—1044 (in Chinese with English abstract).
- Tan, F. W., Wang, J., Fu, X. G., et al., 2009. U-Pb Zircon SHRIMP Age of Metamorphic Rocks from the Basement of the Qiangtang Basin, Northern Tibet, and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 139—146 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. S., Li, X. H., Hu, X. M., 2003. Age of initial Collision of India with Asia; Review and Constrains from Sediments in Southern Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 16—24 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. C., Wang, C. S., Li, Y. L., et al., 2011. Organic Geochemistry of Potential Source Rocks in the Tertiary Dingqinghu Formation, Nima Basin, Central Tibet. *Journal of Petroleum Geology*, 34(1): 67—85. doi: 10.1111/j.1747-5457.2011.00494.x
- Wang, L. L., Wu, F. D., 2012. Main Geheritages of the Qinghai Lake National Geopark in Qinghai Province and Their Geological Significance. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(5): 835—842 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H., Li, C., Xu, M. J., et al., 2015. Early Cretaceous Adakitic Magmatism in the Dachagou Area, Northern Lhasa Terrane, Tibet; Implications for Slab Roll-Back and Subsequent Slab Break-Off of the Lithosphere of the Bangong-Nuijiang Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 51—66. doi: 10.1016/j.jseaes.2014.10.014
- Wu, J., Xu, Y. D., An, X. Y., et al., 2014. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins in Gangdese Area, Tibetan Plateau. *Earth Science*, 39(8): 1052—1061 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z. H., Ye, P. S., Yin, C. Y., 2013. The Early Cenozoic Gerza Thrust System in Northern Tibet. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(1): 31—38 (in Chinese with English abstract).

- Xu, Z. Q., Wang, Q., Li, Z. H., 2016. Indo-Asian Collision: Tectonic Transition from Compression to Strike Slip. *Acta Geologica Sinica*, 90(1):1–23 (in Chinese with English abstract).
- Yang, L., 2011. Study of Paleogene Sedimentary Record in the Northern Depression of Nima Basin, Tibet (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. J., Xia, B. D., Wang, G. M., et al., 2004. Early Cretaceous Stratigraphy, Depositional Environments, Sandstone Provenance, and Tectonic Setting of Central Tibet, Western China. *Geological Society of America Bulletin*, 116(9):1202–1222. doi:10.1130/b25388.1
- Zhang, K. X., Pan, G. T., He, W. H., et al., 2015. New Division of Tectonic-Strata Super Region in China. *Earth Science*, 40(2):206–233 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Luo, M. S., et al., 2010. Evolution of Tectonic Lithofacies Paleogeography of Cenozoic of Qinghai-Tibet Plateau and Its Response to Uplift of the Plateau. *Earth Science*, 35(5):697–712 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. Y., Mu, Z. H., Zhu, H. Q., et al., 2000. Analysis of the Dynamic System for Forming Reservoirs in Lunpola Basin (Tibet). *Xinjiang Petroleum Geology*, 21(2):93–96 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z., Chen, Y. C., Tang, J. X., et al., 2015. Zircon U-Pb Age and Geochemical Characteristics of Volcanic Rocks in Gaerqiong-Galale Cu-Au Ore District, Tibet. *Earth Science*, 40(1):77–97 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Li, S. M., Cawood, P. A., et al., 2016. Assembly of the Lhasa and Qiangtang Terranes in Central Tibet by Divergent Double Subduction. *Lithos*, 245:7–17. doi:10.1016/j.lithos.2015.06.023
- Zhu, D. C., Mo, X. X., Niu, Y. L., et al., 2009. Geochemical Investigation of Early Cretaceous Igneous Rocks along an East-West Traverse Throughout the Central Lhasa Terrane, Tibet. *Chemical Geology*, 268(3–4):298–312. doi:10.1016/j.chemgeo.2009.09.008
- Zhu, D. C., Mo, X. X., Zhao, Z. D., et al., 2009. Permian and Early Cretaceous Tectonomagmatism in Southern Tibet and Tethyan Evolution: New Perspective. *Earth Science Frontiers*, 16(2):1–20 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2011. Lhasa Terrane in Southern Tibet Came from Australia. *Geology*, 39(8):727–730. doi:10.1130/g31895.1
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2013. The Origin and Pre-Cenozoic Evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 23(4):1429–1454. doi:10.1016/j.gr.2012.02.002
- 附中文参考文献**
- 艾华国, 兰林英, 朱宏权, 等, 1998. 伦坡拉第三纪盆地的形成机理和石油地质特征. *石油学报*, 19(2):21–27.
- 丁慧霞, 张泽明, 向华, 等, 2015. 青藏高原拉萨地体北部早白垩世火山岩的成因及意义. *岩石学报*, 31(5):1247–1267.
- 何世平, 李荣社, 王超, 等, 2013. 青藏高原拉萨地块发现古元古代地体. *地球科学*, 38(3):519–528.
- 黄辉, 朱利东, 杨文光, 等, 2012. 西藏尼玛北部新生代盆地沉积记录及控盆机理. *地质通报*, 31(6):936–942.
- 李徐生, 韩志勇, 杨达源, 等, 2006. 末次冰期鄱阳湖西南缘地区的风尘堆积. *海洋地质与第四纪地质*, 26(1):101–108.
- 罗本家, 戴光亚, 潘泽雄, 1996. 班公湖—丁青缝合带老第三纪陆相盆地含油前景. *地球科学*, 21(2):163–167.
- 罗亮, 安显银, 吴年文, 等, 2014. 班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连新元古代—中生代沉积盆地演化. *地球科学*, 39(8):1170–1179.
- 马立祥, 张二华, 鞠俊成, 等, 1996. 西藏伦坡拉盆地地下第三系沉积体系域基本特征. *地球科学*, 21(2):174–178.
- 孟俊, 2013. 青藏高原晚中生代以来重要构造事件的古地磁学约束 (博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 潘桂棠, 2004. 青藏高原及邻区地质图. 成都: 成都地图出版社.
- 宋博文, 徐亚东, 梁银平, 等, 2014. 中国西部新生代沉积盆地演化. *地球科学*, 39(8):1036–1044.
- 谭富文, 王剑, 付修根, 等, 2009. 藏北羌塘盆地基底变质岩的锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 25(1):139–146.
- 王成善, 李祥辉, 胡修棉, 2003. 再论印度—亚洲大陆碰撞的启动时间. *地质学报*, 77(1):16–24.
- 王璐琳, 武法东, 2012. 青海省青海湖国家地质公园主要地质遗迹类型及其地学意义. *地球学报*, 33(5):835–842.
- 吴旌, 徐亚东, 安显银, 等, 2014. 冈底斯新元古代—中生代沉积盆地演化. *地球科学*, 39(8):1052–1061.
- 吴珍汉, 叶培盛, 殷才云, 2013. 藏北改则新生代早期逆冲推覆构造系统. *地球学报*, 34(1):31–38.
- 许志琴, 王勤, 李忠海, 等, 2016. 印度—亚洲碰撞: 从挤压到走滑的构造转换. *地质学报*, 90(1):1–23.
- 杨林, 2011. 西藏尼玛盆地北部坳陷古近纪沉积记录研究 (硕士学位论文). 成都: 成都理工大学.
- 张克信, 王国灿, 骆满生, 等, 2010. 青藏高原新生代构造岩相古地理演化及其对构造隆升的响应. *地球科学*, 35(5):697–712.
- 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等, 2015. 中国构造—地层大区划分新方案. *地球科学*, 40(2):206–233.
- 张克银, 牟泽辉, 朱宏权, 等, 2000. 西藏伦坡拉盆地成藏动力学系统分析. *新疆石油地质*, 21(2):93–96.

张志,陈毓川,唐菊兴,等,2015.西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区火山岩年代学及地球化学.地球科学,40(1):77-97.

朱弟成,莫宣学,赵志丹,等,2009.西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化:新观点.地学前缘,16(2):1-20.

“沉积盆地源—汇系统研究”中文专辑征稿启事

一、专辑的目的和意义

目前,“源—汇”研究已逐渐成为世界范围内地球科学领域颇为关注的重要课题,而这些方面的研究不仅源于人们对环境科学或环保的关注,而且也源自人们不断认识到理解地球表层动力学过程对揭示地球整体动力学过程的重要性.近十年来,“源—汇”系统研究领域主要进展集中于 3 大部分,即:(1)构造、气候、海平面变化等控制因素如何影响沉积物和溶解质从源到汇的产出、转换与堆积;(2)物质侵蚀、转换过程及其相伴生的反馈机制;(3)全球变化历史记录和地层层序形成如何响应于沉积过程的变化.

国内也于 2000 年启动了国家重大基础研究规划项目“中国边缘海的形成演化及重要资源的关键问题”,研究人员在莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地、渤海湾盆地等地区综合运用多种分析手段,开展了洋陆边缘或封闭的陆相湖盆内主要含油层系的“源—汇”系统研究.通过将物源区的构造、剥蚀作用,沉积物的搬运方式,以及最终的沉积样式作为一个完整的系统,对控制该系统的内、外因之间的相互作用及其产生的结果进行综合分析,建立较为准确的“源—汇”系统定量模型,进而指导相应地质事件的预测,为我国油气实际勘探工作,尤其是复杂陆相断陷盆地油气储层预测工作中的应用与发展提供设想与借鉴.

国际上的研究侧重于洋陆边缘从造山带的物源区到冲积平原、浅海陆架,最终到深海盆地的源—汇系统,研究以盆地尺度为主,且集中于第四纪地层.本次申请的专辑结合我国主要含油气盆地发育特征,以陆相盆地的多尺度(盆地—坳陷—凹陷—洼陷)源—汇系统研究为主,研究层段覆盖主要含油层系.

“源—汇”系统研究作为一项跨学科领域的课题,较多的概念和思想已融入并正深刻影响着沉积学理论的发展,可预见将取得更大的进展.但是,针对不同类型的盆地、不同的时间尺度的“源—汇”系统及相关理论的研究大多仍处于定性—半定量分析阶段,研究方法、理论与技术手段还有待完善.为进一步推动我国沉积盆地“源—汇”系统研究的发展进程和总结相关研究成果,完善陆相盆地“源—汇”系统理论,及时刊登陆相盆地“源—汇”系统具有原创性、创新性的科学理论和实践技术成果,同时也给广大石油地质、地球物理科研工作者提供一个交流平台,经国内外相关领域的知名专家和学者联名与《地球科学》编辑部协商,决定出版“沉积盆地源—汇系统研究”专辑,欢迎国内外广大专家学者踊跃投稿.

二、专辑召集人

朱红涛,教授,中国地质大学(武汉);徐长贵,教授级高工,中海石油(中国)有限公司天津分公司;朱筱敏,教授,中国石油大学(北京);姜在兴,教授,中国地质大学(北京);刘可禹,教授,澳大利亚科廷科技大学;曾洪流,教授,美国德州大学奥斯汀分校.

三、征稿启事

现将征稿的具体事宜通知如下:

(1) 征稿主题(包括但不限于):①“源—汇”系统驱动机制及地球动力学过程;②“源—汇”系统和深时古气候;③沉积盆地古物源区演化恢复与古水系重建;④“源—汇”系统要素分析;⑤“源—汇”系统剥蚀—搬运—沉积过程耦合模式;⑥“源—汇”系统定量分析技术及方法;⑦“源—汇”系统实际应用分析.

(2) 征稿要求

①论文应属于作者的原创成果,数据真实、可靠,未在正式出版物上发表过,严禁一稿多投.②内容需突出作者的创新成果,具有一定的学术价值和推广应用价值.③论文各部分完整,论文格式参照《地球科学》投稿要求.④录用稿件,作者自理版面费.⑤投稿方式:登陆《地球科学》投稿网站.(<https://mc03.manuscriptcentral.com/es>)进行投稿,投稿时选择“沉积盆地源—汇系统研究”专辑.⑥投稿截止日期:2017 年 5 月 15 日.