

陆露, 钱程, 赵珍, 等. 西藏羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层砾组特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 879–892.  
Lu Lu, Qian Cheng, Zhao Zhen, et al. Gravel fabric characteristics of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in southeast Qiangtang Basin, Tibet, and their geological significance[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 879–892(in Chinese with English abstract).

## 西藏羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层砾组特征及其地质意义

陆露<sup>1</sup> 钱程<sup>2</sup> 赵珍<sup>1</sup> 吴珍汉<sup>1</sup> 叶培盛<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034;  
3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:**通过对环绕聂荣微陆块分布的晚白垩世—古近纪砾岩层的沉积特征和砾组特征分析,结合区域地质情况,阐述了砾岩层的性质、成因、来源、搬运方式及其所反映的构造背景等。研究表明,本套砾岩层为近—中距离搬运的冲洪积作用的产物,砾岩层砾石成分复杂,含量各异,分选性好,其古水流呈现单一水流特征,水动力条件相对较稳定,砾性和砾向分析指示砾石主要来源于聂荣微陆块、班公怒江缝合带以及其周边高山地区,反映冲积为主、洪积为辅的山前或山麓水系分布的沉积特征。结合区域资料综合分析,晚白垩世时期,聂荣微陆块北部地区发生隆升,形成东北高西南低的古地理格局;进入古近纪时期,在继承先前的古地理构造格局基础上,测区整体隆升。由此推断,晚白垩世时期青藏高原的隆升遍布班公—怒江缝合带以北地区,古近纪时期青藏高原整体发生隆升。

**关键词:**砾组分析;白垩纪—古近纪;隆升;羌塘盆地

**中图分类号:**P512.2;P588.21\*2.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-0879-14

青藏高原在新生代的隆升一直以来是地质学家热议的话题之一,其对欧亚大陆乃至全球的构造、沉积、环境及岩浆作用等地质过程产生了巨大的影响<sup>[1-11]</sup>,受其阶段性作用影响在青藏高原内部形成多期次砂砾岩沉积。本文所研究的青藏高原羌塘盆地东南缘主要是指聂荣微陆块及其周边,根据区域1:25万安多幅<sup>①</sup>、那曲幅<sup>②</sup>地质填图资料研究发现,环绕聂荣微陆块四周分布着一系列面积大小不等呈近东西向展布的晚白垩世—古近纪砂砾岩沉积,这些沉积物整体呈条带状夹持在聂荣微陆块和南、北两侧的班公怒江缝合带之间,现代地貌特征

指示其明显低于聂荣微陆块和班公怒江缝合带。研究认为砾岩沉积记录了青藏高原及其内部的隆升和其剥蚀过程<sup>[12-14]</sup>,而针对本区出露的晚白垩世—古近纪砾岩沉积前人研究较少,只局限于区调资料中关于其形成时代和空间展布上的认识,鉴于此,笔者选择了围绕聂荣微陆块分布的9个砾岩层的统计点进行详细的砾石测量统计,收集、整理分析砾性、砾度、砾态和砾向等信息,结合其沉积特征和时空分布,讨论砾岩的沉积环境及成因,从而进一步探讨聂荣微陆块的隆升过程及其对青藏高原隆升的指示意义。

收稿日期:2013-10-31;改回日期:2014-04-25

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(1212011221111、1212011120185、1212011120182)资助。

作者简介:陆露,女,1985年生,博士生,构造地质学专业,主要从事青藏高原北部区域构造地质调查工作;E-mail:yangchunyoulu@163.com。

通讯作者:钱程,男,1985年生,构造地质学专业,主要从事构造地质、沉积相与古环境研究;E-mail:qch1985123@163.com。

①中国地质大学(北京)地质调查研究院. 1:25万安多幅区域地质调查报告,2004。

②西藏自治区地质调查院一分院. 1:25万那曲幅区域地质调查报告,2004。

## 1 地质背景及测点概况

聂荣微陆块位于羌塘盆地的东南缘,大地构造位置上位于冈底斯—念青唐古拉板片与羌塘—三江复合板片之间的班公怒江缝合带内(图1-a),呈透镜体状夹持于班公怒江缝合带中段两条东西走向的蛇绿混杂带之间<sup>[15-16]</sup>。绵延1200 km的班公怒江缝合带横亘在青藏高原的中部<sup>[17-19]</sup>,砾石统计点附近的班公怒江缝合带主要出露侏罗纪—白垩纪蛇绿岩套,中生代碎屑岩、灰岩及少量的火山岩(1:25万安多幅<sup>①</sup>、那曲幅<sup>②</sup>地质报告)(图1-b)。班公怒江缝合带以北是由古老的变质基底和中新生代海相碳酸盐、碎屑岩及火山岩组成的羌塘地块<sup>[20-22]</sup>,以南为拉萨地块,主要由前寒武纪变质基底、古生代—中生代沉积岩和中新生代的岩浆岩组成<sup>[23]</sup>。聂荣微陆块主要由前中生代的变质岩、中生代花岗岩以及中—新生代砂岩、灰岩、砾岩、泥岩组成(图1-b)。

笔者在野外调查的基础上,选择研究区内的9个砾石点进行详细的砾石统计,具体统计点位置见图1-b。统计点D13野外露头出露较好,为紫红色中厚层砾岩,局部夹薄层砂岩,出露厚度约10 m,未见顶底,砾岩中砾石含量占85%左右,胶结物为砂质,产状较缓为 $165^{\circ}\angle 9^{\circ}$ ,1:25万安多幅<sup>①</sup>将其划归为上白垩统阿布山组下部。统计点D06、D22、D32、D44、D61、D63、D78、D87出露的砾岩层均为紫红色、砖红色中厚层砾岩,局部夹薄层砂岩,砂质孔隙式胶结,出露厚度大于10 m,最厚可达30 m左右,均未见顶底,砾岩中砾石含量为75%~90%,地层产状相对较陡,分别为 $332^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 、 $60^{\circ}\angle 52^{\circ}$ 、 $85^{\circ}\angle 27^{\circ}$ 、 $340^{\circ}\angle 36^{\circ}$ 、 $50^{\circ}\angle 23^{\circ}$ 、 $25^{\circ}\angle 55^{\circ}$ 、 $100^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $235^{\circ}\angle 21^{\circ}$ ,1:25万安多幅<sup>①</sup>、那曲幅<sup>②</sup>将其划归为古近系牛堡组。

## 2 砾石统计方法

笔者在研究区内选取了9个不同的统计点,每个统计点任意选取1 m×1 m的砾岩面(图2),然后在这1 m<sup>2</sup>的范围内随机选择100个砾石,分别测量出每个砾石的岩性、长轴(a)、中轴(b)、短轴(c)、ab面

的倾向和倾角、磨圆度、风化度,并进行统计和分析。

## 3 砾石统计分析

### 3.1 砾性分析

砾性是指砾岩(石)层中砾石的岩性成分。根据各测点统计所得的数据(表1),9个测点中D06和D13的砾石成分以砂岩和灰岩为主,平均含量分别为38%和34%,粉砂岩、火山岩、石英岩、硅质岩、粗砂岩次之,且平均含量均不超过10%;D22测点中以粉砂岩和石英岩为主,平均含量为26%和20%,灰岩(平均含量为16%)、片麻岩(平均含量为10%)次之,可见少量的砂岩、花岗岩、火山岩、粗砂岩砾石;D32测点中砾石以粉砂岩为主,平均含量为60%,灰岩(平均含量为23%)次之,砂岩、花岗岩、片麻岩、石英岩、粗砂岩较少;D44测点处砾石成分以花岗岩为主,平均含量为42%,砂岩和石英岩次之,并有少量的粉砂岩、灰岩、火山岩、片麻岩、硅质岩、粗砂岩、泥岩砾石;D61测点以粉砂岩为主,平均含量为64%,泥岩次之,火山岩、粗砂岩、石英岩较少;D63中砾石以花岗岩为主,平均含量为52%,石英岩次之,砂岩、粉砂岩、灰岩、火山岩、片麻岩、粗砂岩、硅质岩含量较少;D78的砾石成分以粉砂岩为主,平均含量为39%,砂岩和石英岩次之,含有少量的灰岩、硅质岩、泥岩;D87测点处的砾石以砂岩为主,平均含量为62%,石英岩、粉砂岩次之,硅质岩和泥岩的含量较少。

砾性分析结果表明:研究区内各个测点的砾石岩性组合复杂,与聂荣微陆块、班公怒江缝合带及周边高山的岩性组合相似;且各测点的砾性含量各异,主要岩性突出,其与周边的地质体分布和岩性组合相一致(图1-b),指示统计点的砾石来源于附近山体,未经历较远距离的搬运。

### 3.2 砾度分析

砾石的砾度数据主要是通过野外测量每个砾石的a轴、b轴、c轴的长度,并根据所测数据计算和统计求得的。9个测点的砾石其测量单位均精确到厘米,首先根据测量数据计算得到每个砾石的平均砾径 $d_a$ 、 $d_b$ 、 $d_c$ ,从而得到等体积平均砾径 $d=(d_a \cdot d_b \cdot d_c)^{(1/3)}$ ;中

①中国地质大学(北京)地质调查研究院. 1:25万安多幅区域地质调查报告, 2004.

②西藏自治区地质调查院一分院. 1:25万那曲幅区域地质调查报告, 2004.

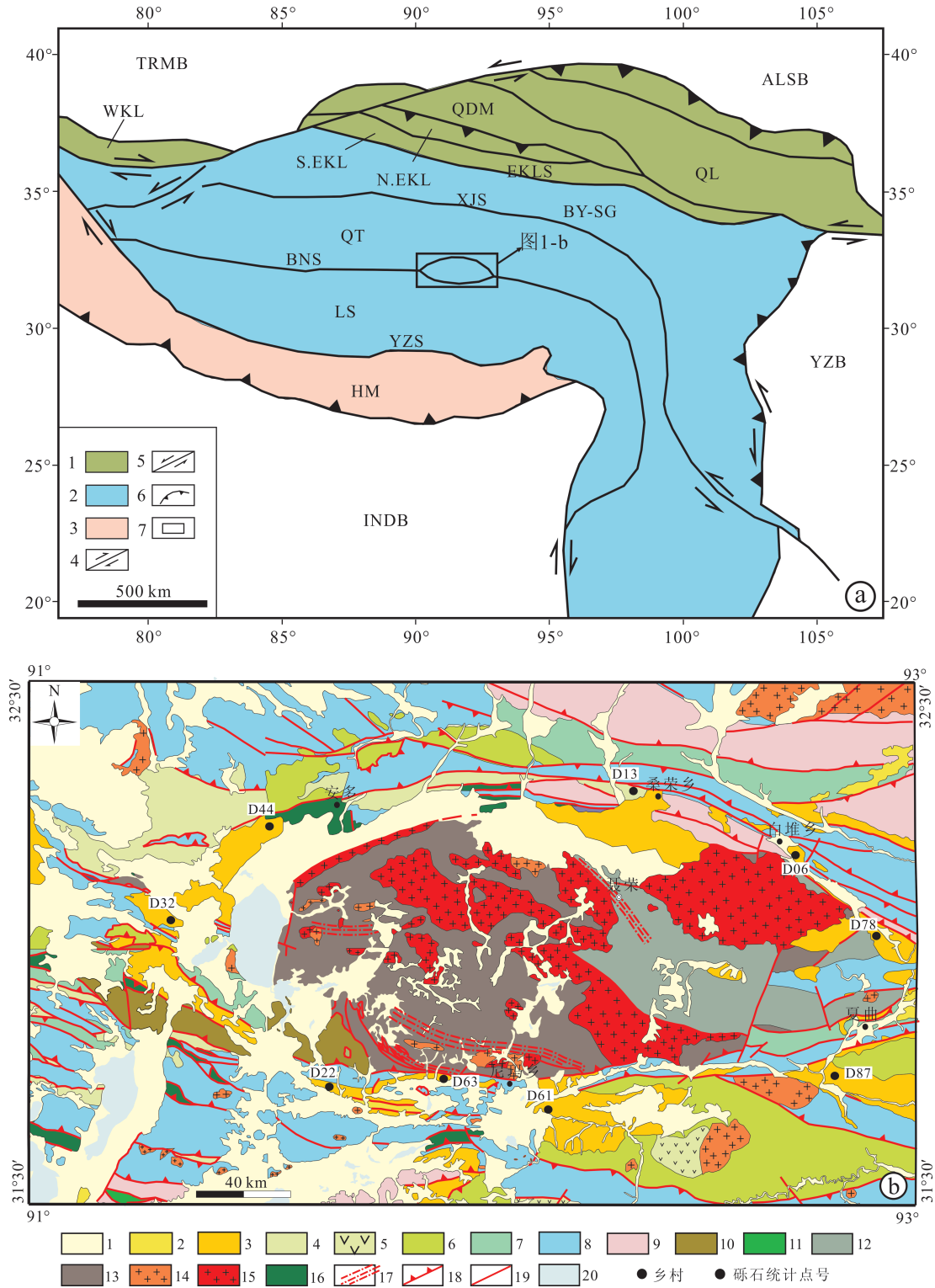


图1 西藏羌塘盆地东南缘地质简图  
(图a据[6]修改;图b据1:25万安多幅<sup>①</sup>和那曲幅<sup>②</sup>修改)

①中国地质大学(北京)地质调查研究院. 1:25万安多幅区域地质调查报告, 2004.

②西藏自治区地质调查院一分院. 1:25万那曲幅区域地质调查报告, 2004.

图a: 1—早古生代复合地体; 2—中生代增生复合地体; 3—新生代增生地体; 4—右行走滑断裂; 5—左行走滑断裂; 6—逆冲断裂;  
7—研究区位置; QL—祁连地体; QDM—柴达木地体; N.EKL—东昆仑北地体; S.EKL—东昆仑南地体; BY—SG—巴颜喀拉—松潘  
甘孜地体; QT—羌塘地体; LS—拉萨地体; HM—喜马拉雅增生地体; TRMB—塔里木陆块; ALSB—阿拉善陆块; INDB—印度陆块;  
YZB—扬子陆块; EKLS—东昆仑—阿尼玛卿缝合带; XJS—金沙江缝合带; BNS—班公怒江缝合带; YZS—雅鲁藏布江缝合带  
图b: 1—第四系; 2—新近纪砂岩、砾岩及泥岩; 3—古近纪牛堡组砾岩、砂岩; 4—晚白垩世阿布山组砾岩、砂岩及泥岩; 5—上白垩统  
火山岩; 6—下白垩统碎屑岩; 7—下白垩—上侏罗统碎屑岩、灰岩; 8—侏罗系灰岩、粉砂岩、泥岩; 9—三叠系砂岩、灰岩、火山岩;  
10—二叠系大理岩; 11—泥盆系; 12—古生代嘉玉桥岩群浅变质岩; 13—新元古代—晚古生代变质岩; 14—白垩纪花岗岩; 15—侏罗  
纪花岗岩; 16—蛇绿岩; 17—韧性剪切带; 18—逆冲推覆断裂; 19—断裂; 20—湖泊

Fig.1 Simplified geological map of the southeast Qiangtang Basin

(Fig.a after Xu et al., 2007; Fig.b after 1:250000 Amdo Sheet and Naqu Sheet)

Fig.a: 1—Early Palaeozoic composite terrane; 2—Mesozoic accretionary composite terrane; 3—Cenozoic complex terrane; 4—Right—lateral  
strike slip fault; 5— Left—lateral strike slip fault; 6—Thrust fault; 7—Location of the study area; QL—Qilian block; QDM—Qaidam block;  
N.EKL— Northern East Kunlun terrane; S.EKL—Southern East Kunlun terrane; BY—SG—Bayabhar—Songpan Gangzi terrane; QT—Qiangtang  
terrane; LS—Lhasa terrane; HM—Himalayan terrane; TRMB—Tarim block; ALSB—Alashan block; INDB—India plate; YZB—Yangtze block;  
EKLS—East Kunlun suture; XJS—Xil—Jinshajiang suture; BNS—Bangong Co—Nujiang River suture; YZS—Yarlung Zangbo River suture  
Fig.b: 1—Quaternary; 2—Neogene siltstone, sandstone and conglomerate; 3—Paleogene Niubao Formation sandstone and conglomerate;  
4—Late Cretaceous Abushan Formation conglomerate, siltstone and sandstone; 5—Late Cretaceous volcanic rock; 6—Early Cretaceous  
clastic rocks; 7— Early Cretaceous—late Jurassic clastic rocks and limestone; 8—Jurassic limestone, siltstone and mudstone; 9—Triassic  
sandstone, limestone and meta—volcanic rock; 10—Permian marble; 11—Devonian rocks; 12— Paleozoic Jiayuqiao Group epimetamorphic  
rock; 13—Neoproterozoic—late Paleozoic metamorphic rock; 14—Cretaceous granite; 15—Jurassic granite; 16—Ophiolite; 17— Ductile shear  
belt; 18— Thrust fault; 19— Fault; 20—Lake

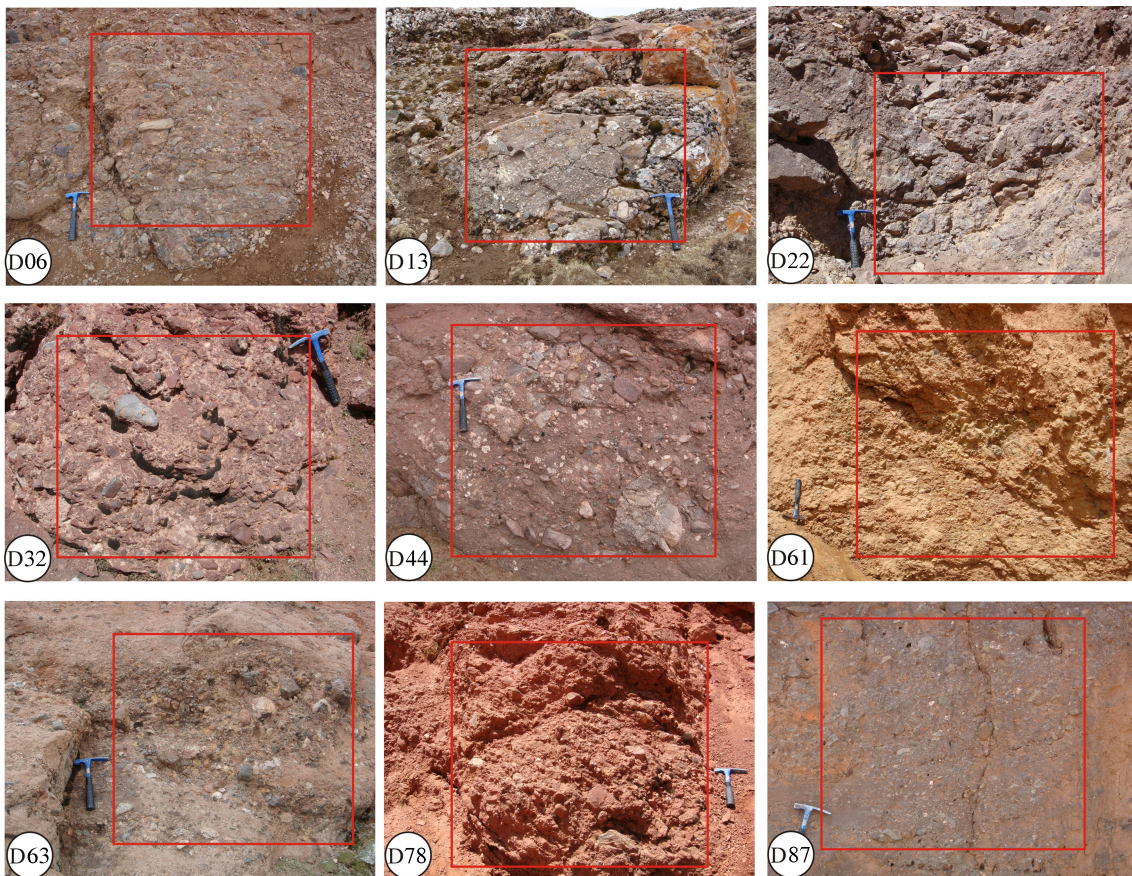


图2 研究区砾石统计点的野外照片

Fig.2 Field photos of gravel statistic points of the study area

表1 羌塘盆地东南缘白垩纪—古近纪砾岩层的砾性特征  
Table 1 Gravel compositional features of Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

测点编号	砂岩/个	粉砂岩/个	灰岩/个	花岗岩/个	火山岩/个	片麻岩/个	石英岩/个	硅质岩/个	粗砂岩/个	泥岩/个
D06	38	9	34	—	8	—	7	1	3	—
D13	13	4	59	—	7	—	8	1	8	—
D22	8	26	16	7	4	10	20	—	7	2
D32	1	60	23	7	—	4	4	—	1	—
D44	20	3	1	42	1	9	18	3	2	1
D61	—	64	—	—	3	—	4	—	4	25
D63	9	5	3	52	1	8	14	7	1	—
D78	19	39	9	—	—	—	27	4	—	2
D87	62	10	—	—	—	—	17	9	—	2

值砾径  $d_{50} = (d_{a50} \cdot d_{b50} \cdot d_{c50})^{(1/3)}$ , 其中  $d_{a50}$ 、 $d_{b50}$ 、 $d_{c50}$  分别为 a 轴、b 轴、c 轴的中值砾径, 可分别在累计曲线上 (图3) 求得<sup>[24-25]</sup>。分选系数 ( $S$ ) 是指砾石的分选程度, 它是根据累计频率曲线上的四分位数 ( $d_{25}$ 、 $d_{75}$ ) 求得 (图3), a 轴的分选系数  $S_a = d_{75} / d_{25}$ , b 轴、c 轴的分选系数  $S_b$ 、 $S_c$  的计算方法相同<sup>[26-27]</sup>。各测点的标准偏差 ( $\sigma_i$ )、偏度 ( $Ski$ ) 和峰态 ( $Kg$ ) 根据富克和沃德公

式计算求得, 具体计算公式及分类见表2<sup>[28]</sup>。另外, 砾石轴径频数分布曲线图可以大致反映每个测点砾石砾度的分布特征和分选、均匀、对称及离散等情况<sup>[26]</sup>, 因此, 本文选择各统计点砾石的 a 轴频数分布曲线图进行分析 (图4)。

由9个测点的砾石砾度分析数据 (表3, 图3) 可以看出, 每个测点的平均砾径  $d$  均大于中值砾径  $d_{50}$ ,

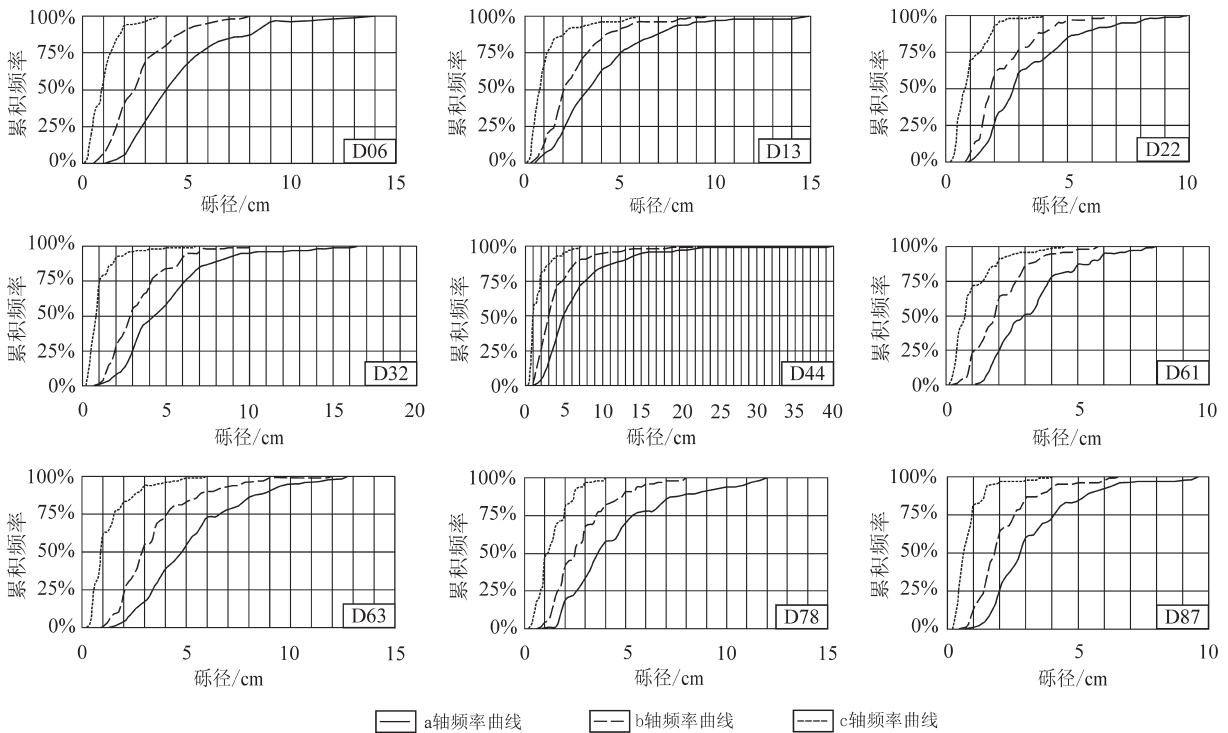


图3 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层的各轴砾径的累计频率曲线图  
Fig.3 Accumulative frequency curves of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

表2 砾度分析参数计算公式及分类  
Table 2 Classification and calculation formula of grain size distribution parameters

统计量参数	范围	分类
标准偏差 ( $\sigma_1$ )	<0.35	分选非常好
	0.35~0.5	分选好
	0.50~0.71	分选中等好
	0.71~1	分选中等
	1~2	分选较差
	2~4	分选非常差
偏度 (Ski)	>4	分选极差
	1~0.3	强烈偏向细粒
	0.3~0.1	偏向细粒
	0.1~-0.1	近对称
峰度 (Kg)	-0.1~-0.3	偏向粗粒
	-0.3~-1	强烈偏向粗粒
	<0.67	非常宽峰
	0.67~0.9	宽峰
	0.9~1.11	中等峰度
	1.11~1.5	尖峰
	1.5~3	非常尖峰
	>3	极尖峰

注:  $\sigma_1 = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{84} - \Phi_{16})/6.6$ ;  $Ski = (\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16}) + (\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_5)$ ;  $Kg = (\Phi_{95} - \Phi_5)/2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})$ 。

除D13、D44测点平均砾径与中值砾径的差值(分别为1.2、1.24)大于1 cm外,其余测点的差值范围在0.32~0.63,差值(均小于1 cm)较小。表明众数(峰值)略靠近砾径较大的砾径,砾径较大的砾石百分含量略大于较小砾石的百分含量。由图3~4分析得出:除D44测点a轴砾径跨度较大,在1~40 cm均有分布,其他测点砾径跨度较小,在1~17 cm;a轴砾径的频数曲线图(图4)基本服从正态分布,峰值的范围较宽且靠前,砾径较大的砾石数量较少,多呈低峰分布,分布较分散。上述特征指示了各个统计点的砾石经历了一定距离的搬运。

标准偏差( $\sigma_1$ )表示颗粒大小的均匀程度,代表了分选程度的参数, $\sigma_1$ 值越小越接近0值,表明其分选越好,一般说明当时的动力作用比较稳定,速度变化不大,反之则相反。偏度(Ski)是以个用来判别粒度分布的不对称程度的参数, $Ski=0$ 表明粗、细粒砾石各占一半或砾石粗细程度相一致; $Ski>0$ 表明粗粒的砾石居多,值越大粗粒砾石含量越高; $Ski<0$ 表明细粒的砾石居多,值越大细粒砾石含量越高。峰度(Kg)是用来衡量粒度频率曲线尖锐程度的参数<sup>[28]</sup>。

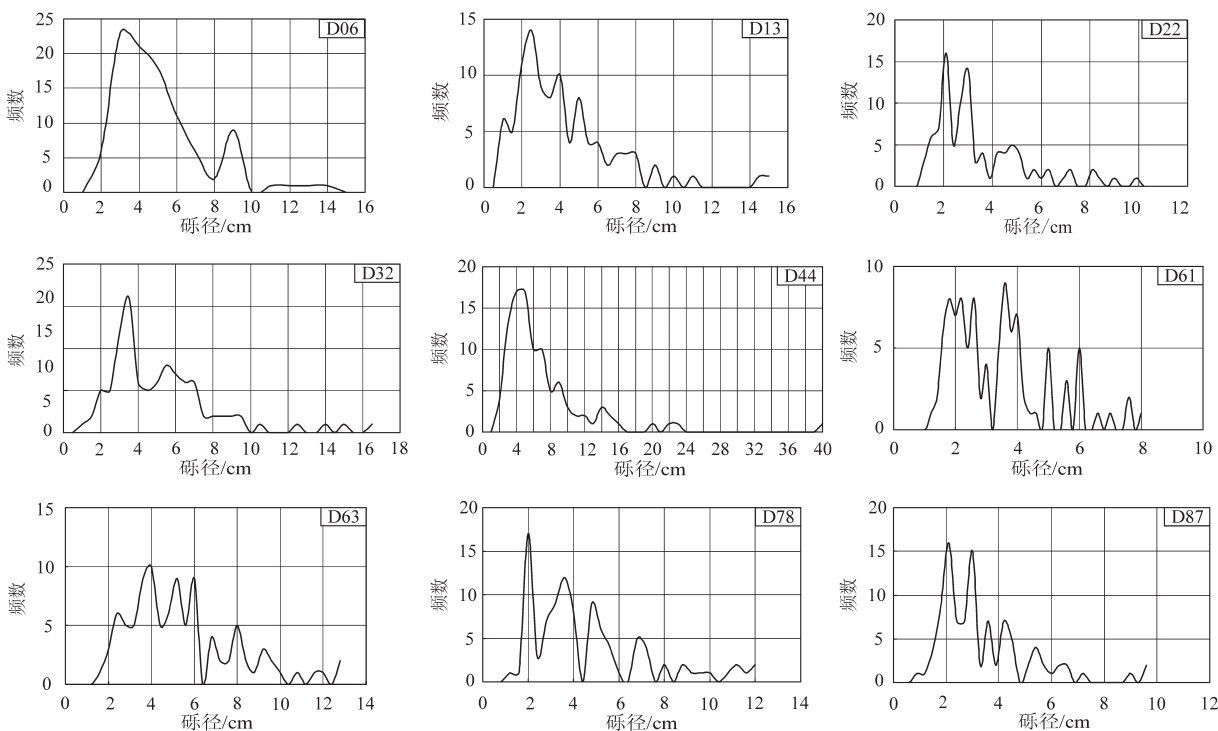


图4 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层的a轴的频数曲线图

Fig.4 Curvilinear map of a-axis frequency distribution of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

表3 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层的砾度特征  
Table 3 Granularity features of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

砾径参数	D06	D13	D22	D32	D44	D61	D63	D78	D87
$d/cm$	2.40	2.92	2.03	2.63	3.67	1.92	2.95	2.64	1.83
$d_{50}/cm$	2.08	1.72	1.62	2.14	2.43	1.57	2.32	2.17	1.45
$d_a/cm$	4.61	4.01	3.38	5.02	6.77	3.33	5.31	4.46	3.30
$d_b/cm$	2.81	2.63	2.38	3.36	4.30	2.08	3.50	2.89	2.18
$d_c/cm$	1.07	1.14	1.04	1.08	1.69	1.02	1.38	1.42	0.85
$d_{a50}/cm$	4.00	3.30	2.89	4.30	4.90	2.93	4.80	3.60	2.80
$d_{b50}/cm$	2.50	2.05	1.85	2.85	3.00	1.85	2.88	2.50	1.81
$d_{c50}/cm$	0.90	0.75	0.80	0.80	0.98	0.72	0.90	1.14	0.60
$S_a$	2.00	2.38	2.19	2.06	2.24	1.93	1.93	2.07	2.42
$S_b$	2.17	2.09	1.95	2.11	2.53	2.44	2.16	2.19	1.83
$S_c$	2.89	2.84	2.86	2.60	2.44	3.50	2.66	2.46	2.14
$\sigma_1$	0.70	0.93	0.71	0.70	0.85	0.63	0.69	0.87	0.65
$S_{ki}$	-0.25	0.53	-0.48	0.18	-0.75	0.14	0.11	0.03	-0.42
$K_g$	0.85	1.64	1.01	1.00	1.31	0.78	0.84	1.26	0.85

上述3个参数对于判别沉积环境具有一定的意义。

根据 Folk 和 Ward (1957)<sup>[28]</sup>对这3个参数的分类(表2),研究区各个砾石统计点的标准偏差( $\sigma_1$ )为0.63~0.93,其中点D06、D32、D61、D63、D87的 $\sigma_1$ 值范围为0.63~0.7,属于分选中等好;D13、D22、D44、D78的 $\sigma_1$ 值为0.71~0.93,属于分选性中等;总体来说9个统计点的分选性中等,反映其经历过水流搬运作用,且水动力条件相对较稳定。偏度( $S_{ki}$ )有正有负;D06、D22、D44、D87为负值,范围在-0.25~-0.75,其中D06属于偏向粗粒,D22、D44、D87属于强烈偏向粗粒;D13、D32、D61、D63、D78为正值,为0.03~0.53,D13属于偏向细粒,D32、D61、D63属于强烈偏向细粒;而D78则属于近对称的范围内;上述特征综合指示各个统计点砾石所遭受的风化程度不尽相同。峰度( $K_g$ )分布在0.78~1.64,D06、D61、D63、D87表现为宽峰,D22、D32表现为中等峰度,D44、D78表现为尖峰,D13表现为非常尖峰;整体均呈现出流水沉积的特征,且水动力条件相对较强。

### 3.3 砾态分析

砾态分析主要包括砾石的风化程度、偏度、磨圆度及球度等。各个测点的砾态数据是通过测量每个砾石的a轴、b轴和c轴的长度统计计算求得的。砾石的扁度( $F=(a+b)/2c$ )和球度( $\Psi=(abc)^{1/3}/a$ )其中的a、b、c均为平均砾径 $d_a$ 、 $d_b$ 、 $d_c$ <sup>[24-25,27,29-31]</sup>。磨圆度P是根据四级分法估计值(0级为棱角状、1级为

次棱角状、2级为次圆状、3级为圆状),然后赋值求和,再与全部为圆状时的和值相比计算求得,以百分数表示<sup>[23-25]</sup>。风化程度的划分与磨圆度相似,但采用目估法(0级为未风化,1级为弱风化,2级为中等风化,3级为强风化)表示<sup>[23-25]</sup>。

风化特征上,9个统计点的砾石风化程度各不相同,从统计结果(表4)可以得出:石英岩和硅质岩的风化程度多为1级风化,砂岩、粉砂岩、粗砂岩、片麻岩及泥岩的风化程度多为1~2级风化,花岗岩、灰岩和火山岩的风化程度多为2~3级风化。结合以上各种岩石的抗风化强度,推测石英岩、硅质岩、砂岩、粉砂岩、粗砂岩、片麻岩、泥岩、花岗岩、灰岩和火山岩经受了近—中距离的搬运,与砾性分析所得到的结论较为一致,进一步指示砾石主要来源于各个统计点周围的聂荣微陆块或班公怒江缝合带内出露的地质体,揭示了二者当时已处于隆升状态。

各个测点的扁度分布范围在2.59~3.89,较为集中;球度均在0.52~0.60,一致性分布特征明显,由此可以推断9个统计点的砾岩层在成因上存在一致性;砾态参数比值 $F/\Psi$ 分布在4.39~7.42,比值较大;砾石的磨圆度变化不大,除了D78、D87测点外,其余统计点的数值范围在61.67%~67%,磨圆度中等(表5)。对比前人对于河流相(冲积)、冰碛相、冲洪积砾石的特征<sup>[23-25,27,32]</sup>,以及统计点砾石层出露的地貌和地质特征,分析研究区砾岩层为冲积作用为

表4 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层不同岩性砾石风化程度

Table 4 Weathering degrees of different lithologic gravels of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

采样编号	砂岩	粉砂岩	灰岩	花岗岩	火山岩	片麻岩	石英岩	硅质岩	粗砂岩	泥岩
D06	2	2	2~3	—	3	—	1~2	3	2	—
D13	1	1	2~3	—	2~3	—	2	1	1	—
D22	1~2	3	2~3	2	1	1	1	—	1~2	2
D32	1	2~3	1	2~3	—	1	1	—	3	—
D44	1	2	1	2~3	2	2	1~2	1	1	1
D61	—	1	—	—	1	—	1	—	1	3
D63	1	1	1	2	2	1~2	1~2	1~2	1	—
D78	1	1	2	—	—	—	1	1	—	1
D87	1	1	—	—	—	—	1	1	—	1

主、洪积作用为辅形成的,结合区域资料分析,其反映了山体隆升,为山前河流和山麓洪积扇较为发育的古地理环境。

### 3.4 砾向分析

砾向是指砾石扁平面(ab面)和各轴的产状要素<sup>[26,33]</sup>,对于单个的砾石来说,一般用ab面的倾向和倾角来表示它的产状。研究发现,砾石原始最大扁平面优势方向能够反映砾岩形成地区的古水流方向<sup>[26,33]</sup>,在野外工作中,笔者对各个统计点中的砾石扁平面进行了大量的测量和统计,从而能对形成砾岩层地区的古水流方向进行分析。研究区内的9个统计点的砾岩层地层产状由于受到后期构造运动的影响,地层均发生了不同程度的倾斜,所以,野外露头上测得的砾石ab面产状需要在室内经过地层产状的校正<sup>[26,33-34]</sup>,然后绘制不同测点位置砾石最扁平面倾向的玫瑰花图及其方位等密度图(图5)。

9个统计点砾岩的倾向玫瑰花图和等密度图

表5 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层的砾态特征  
Table 5 Psephitic features of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

测点编号	F(扁度)	Ψ(球度)	P(磨圆度)	F/Ψ
D06	3.47	0.52	67%	6.67
D13	2.90	0.57	64%	5.08
D22	2.78	0.60	63%	4.63
D32	3.89	0.52	61.67%	7.42
D44	3.27	0.54	65%	6.03
D61	2.65	0.58	64.33%	4.60
D63	3.20	0.56	64.33%	5.75
D78	2.59	0.59	58%	4.39
D87	3.21	0.55	54.33%	5.79

(图5)各有特点,各不相同,但总体上具有一定的相似性。总体上来说,各个测点的倾向玫瑰花图显示出砾石ab面的倾向相对较简单,且主方位十分突出;等密度图显示最大扁平面的投图范围均比较小,产状相对较单一,优势产状较突出。由此推测各个测点的砾石属于稳定水流成因,单一主水流方向特点较为明显,个别统计点呈现多个主水流方向特征。测点D06中砾石主要倾向方位为NW向,SE向分布较少,扁平面的产状极密区也位于NW向,倾角较大且较为集中,这些特征表明该测点处的砾岩层在砾石主要来源于NW方向,且水动力条件较为强烈。测点D13和D32的玫瑰花图和等密图具有相似的特征,扁平面的产状均较大且相对集中,主倾向方位为NEE向,其他方向分布量较少或无分布,不同的是D13测点的倾角比D32的分布范围大,相对复杂,表明砾石均主要来源于NEE方向,水动力条件相对较强烈,且D13处的水动力条件略显不稳定。测点D22的主要倾向方位为NEE向,其他方向均有分布且相对均一,扁平面的产状极密区也分布范围较大,倾角较为紊乱,主倾角较小,由此分析该点砾石来源较为复杂,NEE向略显主要,水动力条件不甚稳定且相对较弱。测点D44的主要倾向方向为NNE向,NE次之,其他方向均有较少分布,扁平面的产状极密区位于NE—NNE向,倾角范围较大,偏向NE向的倾角较大,上述特征表明砾石主要来源于NE—NNE方向,且NNE向的水动力条件较稳定,NE向水动力条件略显强烈但不稳定。测点D61的主要倾向方向为SW向,W向分布次之,其他方向零星分布,扁平面的产状等密图分布较简单,极密区域



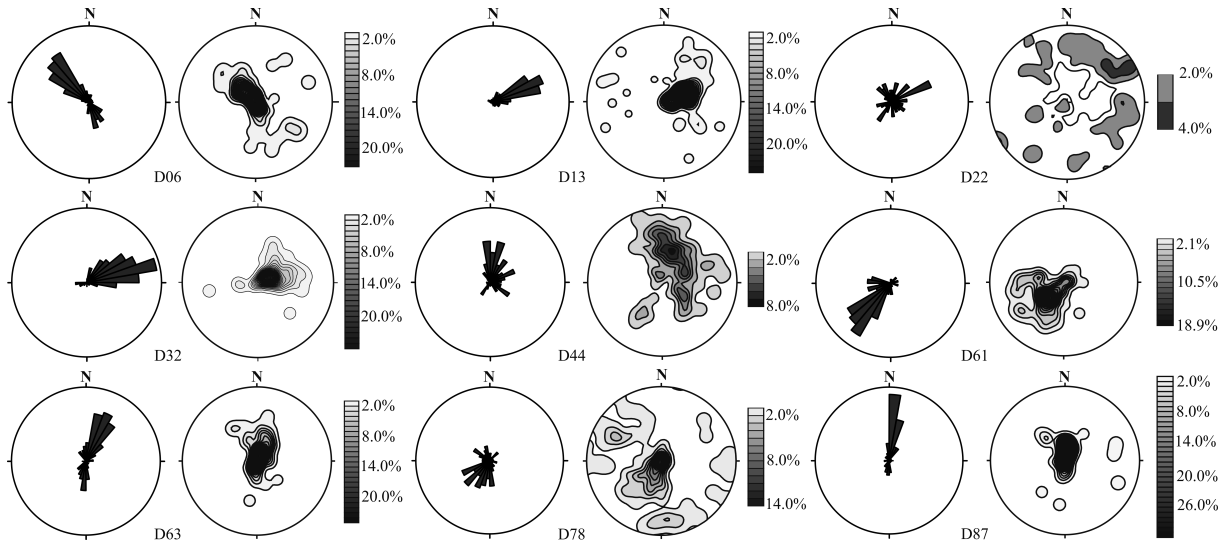


图5 羌塘盆地东南缘晚白垩世—古近纪砾岩层砾石原始ab面倾向玫瑰花图及其方位等密度图

Fig.5 Rosette diagram and orientation contour diagram of gravel primeval ab-plane of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in the southeast of Qiangtang basin

为SW方向,且倾角略大,表明SW方向为主水道方向且水动力条件相对较强,为砾石的主要来源方向,W向水动力条件不稳定。测点D63的主要倾向方向为NNE向,S方向的分布次之,其余方向分布较少或无分布,扁平面的产状极密区域为NNE向,且倾角较大,由此分析该点的砾石主要来源于NNE向,且水动力条件较强相对稳定。测点D78点处的主倾角方向为SW向,其余方向分布较少,扁平面的产状极密区域为SW向,倾角范围较大,主倾角较陡,存在多个次级的密度中心,表明主水流和砾石来源的主要方向为SW向,水动力条件较强且不稳定。测点D87处的主倾角为N向,扁平面的产状等密图也显示相同的特点,倾角稳定且较陡,表明主水流和砾石来源于N向,水动力条件较强且稳定。综上分析,除了测点D22外,其他均为单一主水流特征,其中测点D61和D78的主水流来源于SW向、测点D06的主水流来源于NW外,其他均来源于NEE—N向,指示砾石冲积成因特征较为明显,局部呈现洪积特征,且水动力条件相对较为稳定、局部较为强烈,主要分布在水系的中—上游,具有山前或山麓水系分布特征。

除了测点D09砾岩层产状较缓,其他砾岩层倾角都较大,且倾向各异,指示砾岩形成后均经受了不同程度的构造变形,分析其原因可能与其后的构造隆升密切相关。

#### 4 砾石的沉积环境及成因

由环绕聂荣微陆块出露的砾岩的沉积特征和砾组特征分析,9个统计点的砾岩层具有很好的一致性,为不同时期同种成因环境下形成的。各个统计点的岩性组合均为砾岩层局部夹有少量的薄层状粉砂岩层和粗砂岩,韵律性较差;砾石岩性同聂荣微陆块及其周边地区出露的岩石一致,指示砾石未经历较远距离的搬运;砾度分析上,各个统计点的标准偏差( $\sigma_1$ )、偏度( $Sk_1$ )、峰度( $Kg$ )特征及各轴砾径的分选系数等综合指标均反映其经过了一定距离的水流作用搬运,且指示水动力条件相对较稳定;砾态分析上,各统计点的扁度、球度和磨圆度分布范围较稳定,指示其为洪冲积作用的结果;砾向分析上,各统计点单一主水流特征明显,水动力条件相对较为稳定、局部较为强烈,具有山前或山麓水系分布特征。由此综合确定晚白垩世—古近纪的砾岩层为较稳定型的山前流水作用洪冲积形成。

对于山前砾石的成因前人做了大量的研究,认为其成因主要有2种:一种认为山前砾石是由于构造隆升导致形成的<sup>[35-36]</sup>;另一种观点则是认为这些砾石由于气候变化导致的剥蚀作用加强形成的<sup>[31,37-38]</sup>。本文所研究的砾岩层在露头上颜色单一,主要为砂质砾岩、偶夹薄层砂岩,整体粒序变化不明显,砾岩层

中所夹的薄层砂岩层理特征不发育,其未有反映气候变化的沉积特征,而研究区内的砾石沉积特征及砾组特征均指示了统计点周围山体的隆升,反映了区域构造隆升作用的存在。

## 5 对聂荣微陆块及其青藏高原中—新生代隆升的启示

聂荣微陆块四周分布着大小不等的晚中生代—新生代的陆相沉积物。晚中生代的砾岩沉积物仅分布在聂荣微陆块的西北及北侧,主要赋存于上白垩统阿布山组砾岩中,本套砾岩层(统计点D13)的砾组特征显示其成因为区域构造隆升造成的山前砾石沉积,其古主水流主方向为NEE向,表明研究区北东东侧山体已经开始隆升,而其他古水流方向分布较少,主要为W向、N向和SEE向,指示北侧山体和南侧的聂荣微陆块趋于隆升,不甚强烈,综合分析当时的地形呈现出北东(或北)(班公怒江缝合带及其北侧地区)高、南(聂荣微陆块)低的特征。

而测区的古近纪的砾岩层围绕聂荣微陆块广泛分布,赋存于古近系牛堡组中,D06和D44的砾向分析指示其古主水流方向分别为NW向和NNE-NE向,砾性特征与测点北侧的班公怒江缝合带及其以北山区的岩石组合特征一致,指示其沉积时班公怒江缝合带及其以北地区已经开始隆升;D22、D32、D63、D78和D87的砾向分析指示其古主水流方向分别为NEE、NEE、NNE、SW和N向,砾性特征反映测点与聂荣微陆块及其以北地区的岩石组合特征一致,表明其沉积时聂荣微陆块及其以北地区已经开始隆升;D61的砾向分析指示其古主水流方向为SW向,表明其砾石来源于聂荣微陆块南侧地区,反映该点沉积时聂荣微陆块以南地区已经开始隆升。上述特征表明,聂荣微陆块及其南、北两侧地区在古近纪时期整体隆升。

综上,在晚白垩世时期,聂荣微陆块北部地区(主要指班公怒江缝合带及其以北地区)发生隆升,形成东北高西南低的古地理格局,东北侧遭受强烈剥蚀,仅在研究区北侧地区分布有砾岩沉积;进入古近纪时期,在继承先前的古地理构造格局之上,聂荣微陆块及其周边地区(包括其南北两侧的班公怒江缝合带)整体隆升,遭受剥蚀,在测区形成大面积

砾岩沉积。

关于青藏高原的隆升问题前人做了大量的科学研究,大多数地质学者认为青藏高原的隆升是一个多阶段、不均匀、非匀速的过程,且具有强烈的时空差异<sup>[39-42]</sup>。肖序常等<sup>[43]</sup>在20世纪90年代将青藏高原的隆升划分为3个阶段:俯冲碰撞隆升阶段( $K_2-E_2$ )、汇聚挤压隆升阶段( $E_3-N_1$ )、均衡调整隆升阶段( $N_2-Q$ )。大多数地质学家关注于古近纪以来的青藏高原的隆升较多,而对于白垩纪时期青藏高原的隆升研究较少。李海兵等<sup>[44]</sup>通过对青藏高原北部阿尔金断裂的观测及研究,识别出了高原北部白垩纪隆升的证据,并认为白垩纪青藏高原北部已经开始隆升。杨经绥等<sup>[45]</sup>也提出青藏高原隆升是两次俯冲碰撞的结果,一次为发生在中特提斯班公湖—怒江洋盆在白垩纪时期的闭合,高原北部开始隆升;另一次则是印度板块的新生代碰撞,造成青藏高原的整体抬升。而本文所得到的研究区晚白垩世—古近纪的区域隆升特征与前人结论<sup>[44-45]</sup>较为一致,表明在晚白垩世时期青藏高原的隆升遍布班公怒江缝合带以北地区,直到古近纪时期青藏高原整体抬升。

## 6 结 论

(1)环绕聂荣微陆块的晚白垩世—古近纪砾岩层砾石成份复杂,含量各异,且砾石成份及含量的变化均与聂荣微陆块、班公怒江缝合带及周边高山的岩性相一致,分选性好,为近—中距离搬运的洪冲积成因,古水流呈现较为明显的单一水流特征,反映冲积为主、洪积为辅的山前或山麓水系分布的沉积特征,水动力条件相对较稳定。

(2)各砾岩统计点的野外沉积均呈现了山体隆升、山前砾石沉积特征,体现了区域构造隆升作用的存在。

(3)根据区域资料及各个统计点的野外沉积特征和砾组特征综合分析,晚白垩纪时期,聂荣微陆块北部地区发生隆升,形成东北高西南低的古地理格局;进入古近纪时期,在继承先前的古地理构造格局之上,测区整体隆升。综合前人研究成果,晚白垩纪时期青藏高原的隆升遍布班公怒江缝合带以北地区,古近纪时期青藏高原整体发生隆升。

## 参考文献(References):

- [1] Molnar P. Mio-Pliocene growth of the Tibetan Plateau evolution of East Asian climate[J]. *Palaeontol. Elect.*, 2005, 8: 1-23.
- [2] Molnar P, Boos W R, Battisti D S. Orographic controls on climate and paleoclimate of Asia: Thermal and mechanical roles for the Tibetan Plateau[J]. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 2010, 38: 77-102.
- [3] An Z, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan Plateau since Late Miocene times[J]. *Nature*, 2001, 411: 62-66
- [4] Garzzone C Z. Garzzone C N. Surface uplift of Tibet and Cenozoic global cooling[J]. *Geology*, 2008, 36: 1003-1004.
- [5] 莫宣学. 青藏高原岩浆岩成因研究: 成果与展望[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1693-1703.  
Mo Xuanxue. A review of genesis study on magmatic rocks of the Qinghai-Tibet Plateau: achievements and remaining problems[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1693-1703(in Chinese with English abstract).
- [6] 许志琴, 李海兵, 杨经绥. 造山的高原—青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型[J]. *地学前缘*, 2006, 13(4): 1-17.  
Xu Zhiqin, Li Haibing, Yang Jingsui. An orogenic plateau—the orogenic collage and orogenic types of the Qinghai-Tibet plateau[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(4): 1-17(in Chinese with English abstract).
- [7] Yin A. Cenozoic tectonic evolution of Asia: A preliminary synthesis[J]. *Tectonophysics*, 2010, 488: 293-325
- [8] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J]. *中国地质*, 2002, 29(4): 346-350.  
Ge Xiaohong Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault[J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 346-350(in Chinese with English abstract).
- [9] 谢远云, 李长安, 张序强, 等. 青藏高原东北缘黄土的气候演化与高原隆生的耦合[J]. *中国地质*, 2003, 30(4): 436-441.  
Xie Yuanyun, Li Zhang'an, Chang Xuqiang, et al. Climatic evolution of loess on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau and its coupling with plateau uplift[J]. *Geology in China*, 2003, 30(4): 436-441(in Chinese with English abstract).
- [10] 曾胜强, 王剑, 冯兴雷, 等. 北羌塘盆地沃若山地区中—下侏罗统雀莫错组一段沉积环境分析[J]. *中国地质*, 2014, 41(1): 162-172.  
Zeng Shengqiang, Wang Jian, Feng Xinglei, et al. A sedimentary environment analysis of the first member of the Quemo Co Formation in Woruo Mountain area of the North Qiangtang Basin[J]. *Geology in China*, 2014, 41(1): 162-172(in Chinese with English abstract).
- [11] 韩建恩, 邵兆刚, 朱大岗, 等. 黄河源区河流阶地特征及源区黄河的形成[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1531-1541.  
Han Jianen, Shao Zhaogang, Zhu Dagang, et al. Characteristics of river terraces and formation of the Yellow River in the source region of Yellow River[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1531-1541(in Chinese with English abstract).
- [12] Armstrong F C, Steven S O. Tectonic development of Idaho-Wyoming thrust belt[J]. *AAPG Bulletin*, 49(10): 1847-1866.
- [13] 刘训, 王军, 张招崇, 等. 第四纪磨拉石组与青藏高原隆升的关系[J]. *地质通报*, 2002, 21(11): 759-763.  
Liu Xun, Wang Jun, Zhang Zhaocong, et al. Relation between the components of Quaternary molasse and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau—Preliminary understanding of the results of measurements of the Quaternary pebble composition at the Kokyar section, Yecheng, Xijing[J]. *Geological bulletin of China*, 2002, 21(11): 759-763(in Chinese with English abstract).
- [14] 伊海生, 王成善, 李亚林, 等. 构造事件的沉积响应——建立青藏高原大陆碰撞、隆升过程时空坐标的设想和方法[J]. *沉积与特提斯地质*, 2001, 21(2): 1-15.  
Yi Haisheng, Wang Chengshan, Li Yalin, et al. Sedimentary response to tectonic events: Reconstructed spatio-temporal scale of the Indo-Asian continental collision and Qinghai-Xizang Plateau uplift[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2001, 21(2): 1-15(in Chinese with English abstract).
- [15] Coward M P, Kidd W S F, Yun P, et al. The structure of the 1985 Tibet Geotraverse, Lhasa to Golmud[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A—Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 1988, 327: 307-336.
- [16] 谢超明, 李才, 苏黎, 等. 藏北安多地区花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 定年[J]. *地质通报*, 2010, 29(12): 1737-1744.  
Xie Chaoming, Li Cai, Su Li, et al. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon from granite-gneiss in the Amdo area, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(12): 1737-1744 (in Chinese with English abstract).
- [17] Shi Rendeng, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, et al. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 438-457.
- [18] Wang Weiliang, Aitchison J C, Lo Chinghua, et al. Geochemistry and geochronology of the amphibolite blocks in ophiolitic mélanges along Bangong-Nujiang suture, central Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 33: 122-138.
- [19] Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, Xin Hongbo, et al. Age and petrogenesis of A-type in the middle segment of the Bangonghu-Nujiang suture, Tibetan plateau[J]. *Lithos*, 2012, 146/147: 264-275.
- [20] 黄继钧. 藏北羌塘盆地构造特征及演化[J]. *中国区域地质*, 2011, 20(2): 178-180.

- Huang Jijun. Tectonic characteristic and evolution of Qiangtang basin[J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(2): 178–186(in Chinese with English abstract).
- [21] 和钟铎, 杨德明, 李才. 藏北羌塘盆地褶皱形变研究[J]. *中国地质*, 2003, 30(4): 357–360.
- He Zhonghua, Yang Deming, Li Cai. Folds in the Qiangtang basin, northern Tibet[J]. *Geology in China*, 2003, 30(4): 357–360 (in Chinese with English abstract).
- [22] 郑洪伟, 贺日政, 杨贵. 羌塘地体内部双湖—冈玛错—龙木错构造带地质与地球物理特征[J]. *中国地质*, 2012, 39(5): 1229–1235.
- Zheng Hongwei, He Rizheng, Yang Gui. Geological and geophysical characteristics of Shuanghu–Gangmacuo–Longmucuo structural belt in Qiangtang area[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1229–1235(in Chinese with English abstract).
- [23] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 521–533.
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. Spatial–temporal framework of the Gangdise Orogenic Belt and its evolution[J]. *Acta Petrologia Sinica*, 2006, 22(3): 521–533(in Chinese with English abstract).
- [24] 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 等. 西藏阿里地区札达盆地第四纪砾石统计及其意义[J]. *地质通报*, 2005, 24(7): 630–636.
- Han Jianen, Yu Jia, Meng Qingwei, et al. Analysis of Quaternary gravels in the Zhada basin, Ngari area, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(7): 630–636(in Chinese with English abstract).
- [25] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 念青唐古拉主峰地区第四纪砾石层砾组分析[J]. *地质力学学报*, 2002, 8(4): 323–332.
- Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. Fabric analysis of gravel in Quaternary gravel beds on backbone area of Nyainqentanglha Range[J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, 8(4): 323–332(in Chinese with English abstract).
- [26] 钱程, 韩建恩, 余佳, 等. 山西榆社盆地新近系马会组砾岩层砾组特征及其地质意义[J]. *现代地质*, 2011, 25(4): 778–788.
- Qian Cheng, Han Jianen, Yu Jia, et al. Gravel fabric characteristic of the Neocene Mahui formation in Yushe Basin, Shanxi and its geological significance[J]. *Geoscience*, 2011, 25(4): 778–788(in Chinese with English abstract).
- [27] 林秀斌, 陈汉林, Karl–Heinz WYRWOLL, 等. 青藏高原东北部隆升: 来自宁夏同心小洪沟剖面的证据[J]. *地质学报*, 2009, 83(4): 455–467.
- Lin Xiubing, Chen Hanlin, Karl–Heinz WYRWOLL, et al. Uplift of the northeastern Tibetan plateau: Evidences from the Xiaohonggou section in Tongxia, Ningxia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(4): 455–467(in Chinese with English abstract).
- [28] 赵澄林, 朱筱敏. *沉积岩石学*[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1–404.
- Zhao Chenlin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary Petrology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1–404(in Chinese).
- [29] 吴磊伯, 沈淑敏. 海滨砾石组结构分析的一个实例[J]. *地质学报*, 1962, 42(4): 353–363.
- Wu Leibo, Shen Shumin. An example of beach gravel fabric analysis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1962, 42(4): 353–363(in Chinese).
- [30] 何培元, 浦庆余. 沅水瓮洞—安江段第四纪砾石层的组构分析[C]//中国地质科学院地质力学所刊. 第二号. 北京: 地质出版社, 1962: 117–130.
- He Peiyuan, Pu Qinyu. Textural and structural analysis for Quaternary gravel beds on Wengdong–Anjiang section of Yuanshui valley[C]// *Bull. Ins. Geomechanics, Chinese Acad. Geol. Sci.* Beijing: Geological Publishing House, 1962: 117–130 (in Chinese).
- [31] 傅开道, 方小敏, 高军平, 等. 青藏高原北部砾石粒径变化对气候和构造演化的响应[J]. *中国科学(D辑)*, 2006, 36(8): 733–742.
- Fu Kaidao, Fangxiaomin, Gao Junpin, et al. The climate and tectonic evolution response on the change of gravel size on northern of the Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Science in China(Serise D)*, 2006, 36(8): 733–742(in Chinese).
- [32] 廖林, 陈汉林, 程晓敢, 等. 帕米尔东北缘新生代隆升活动: 来自奥依塔格剖面砾石统计的证据[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2012, 37(4): 791–804.
- Liao Lin, Chen Hanlin, Cheng Xiaogan, et al. Cenozoic uplift of the Northeastern Pamir: Evidence from the Gravel counting results of the Oyttag section[J]. *Earth Science——Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37(4): 791–804(in Chinese with English abstract).
- [33] 贺承广, 邵兆刚, 钱程, 等. 龙门山构造带终端新近系砾岩层砾组特征及其构造意义[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1467–1476.
- He Chengguang, Shao Zhaogang, Qian Cheng, et al. Gravel fabric characteristics of Neogene conglomerate layers in the middle sector of the Longmenshan structural belt and its tectonic significance[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1467–1476(in Chinese).
- [34] 白万成. 费氏大数据和地质产状旋转变换程序[J]. *黄金地质科技*, 1992, (2): 31–34.
- Bai Wancheng. A rotation transtormation program for data of geological occurrence and Fedorov stage[J]. *Science of Gold Geology*, 1992, (2): 31–34(in Chinese with English abstract).
- [35] 陈杰, Wyrwoll K H, 卢演铸, 等. 祁连山北缘玉门砾岩的磁性地层年代与褶皱过程[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(1): 20–31.
- Chen Jie, Wyrwoll K H, Lu Yanchou, et al. Magnetochronology of the Yumen conglomerates and multipulsed folding and thrusting in the northern Qilianshan[J]. *Quaternary Sciences*,

- 2006, 26(1): 20–31(in Chinese with English abstract).
- [36] 陈杰, Heermance R V, Brubank D W, 等. 中国西南天山西域砾岩的磁性地层年代与地质意义[J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 576–587.
- Chen Ji, Heermance R V, Brubank D W, et al. Magnetostratigraphy and its implications of Xiyu conglomerate in the southwestern Chinese Tianshan foreland[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(4): 576–587(in Chinese with English abstract).
- [37] 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 157–164.
- Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinglin, et al. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin[J]. Chinese J. Geophys., 2005, 48(1): 157–164(in Chinese with English abstract).
- [38] Zhang Peizhen, Molnar P, Downs W R. Increased sedimentation rates and grain sizes 2–4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates[J]. Nature, 2001, 410: 861–897.
- [39] 潘裕生. 青藏高原的形成与隆升[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 153–163.
- Pan Yusheng. Formation and uplifting of the Qinghai–Tibet Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 153–163(in Chinese with English abstract).
- [40] 裴军令, 李海兵, 司家亮, 等. 早更新世以来青藏高原隆升作用在塔里木盆地腹地的响应[J]. 岩石学报, 2011, 27(11): 3487–3498.
- Pei Junling, Li Haibing, Si Jialiang, et al. The response of the Tibet uplift since Lower Pleistocene in the center of Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(11): 3487–3498(in Chinese with English abstract).
- [41] 刘瞭, 迟效国, 李才, 等. 青藏高原的形成和隆升机制综述[J]. 世界地质, 2001, 20(2): 105–112.
- Liu Liao, Chi Xiaoguo, Li Cai, et al. The summarizing for forming and uplift mechanism of Qinghai–Tibet Plateau[J]. World Geology, 2001, 20(2): 105–112(in Chinese with English abstract).
- [42] 张克信, 王国灿, 洪汉烈, 等. 青藏高原新生代隆升研究现状[J]. 地质通报, 2013, 32(1): 1–18.
- Zhang Kexin, Wang Guocan, Hong Hanlie, et al. The study of the Cenozoic uplift in the Tibet Plateau: A review[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(1): 1–18(in Chinese with English abstract).
- [43] 肖序常, 王军. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 372–381.
- Xiao Xuchang, Wang Jun. A brief review of tectonic evolution and uplift of the Qinghai–Tibet Plateau[J]. Geological Review, 2001, 20(2): 105–112(in Chinese with English abstract).
- [44] 李海兵, 杨经绥. 青藏高原北部白垩纪隆升的证据[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 345–359.
- Li Haibing, Yang Jingsui. Evidence for Cretaceous uplift of northern Qinghai–Tibet plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 345–359(in Chinese with English abstract).
- [45] 杨经绥, 李海兵. 走滑断裂对超高压变质岩石折返的贡献及青藏高原北部白垩纪隆升之新思考[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 80–90.
- Yang Jingsui, Li Haibing. Contributions of strike–slip faulting to exhumation of ultrahigh pressure metamorphic rocks and the Cretaceous uplift of the northern Qinghai–Tibet plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(4): 80–90(in Chinese with English abstract).

## Gravel fabric characteristics of the Late Cretaceous–Paleogene conglomerate layers in southeast Qiangtang Basin, Tibet, and their geological significance

LU Lu<sup>1</sup>, QIAN Cheng<sup>2</sup>, ZHAO Zhen<sup>1</sup>, WU Zhen-han<sup>1</sup>, YE Pei-sheng<sup>3</sup>

(1. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China;*

2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;*

3. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)*

**Abstract:** Based on an analysis of gravel fabric characteristics of conglomerate layers around the Late Cretaceous–Paleogene Amdo microcontinent in southeast Qiangtang Basin of Tibet, this paper elaborates characteristics, origin, source, transport way and tectonic background of the conglomerate in combination with the regional geology. Studies show that conglomerate layers are alluvial–proluvial products that have experienced short–middle distance transportation. The gravels have the characteristics of complex composition, different constituents and good sorting. The paleocurrent of the statistical points possesses the characteristics of a single flow direction, and the condition of hydrodynamic force is relatively stable. The analytical results of the compositional features and orientations of the gravel reveal that the gravels were derived from Amdo microcontinent, Bangongnujiang suture zone and their surrounding mountains, indicating the sedimentary features of the piedmont water system formed by alleviation and subsequent proluvial action. In combination with regional geology, the authors hold that in the Late Cretaceous the north of Amdo microcontinent experienced uplifting and formed the palaeogeographic pattern which was higher in the northeast and lower in the southwest, and in Paleogene, the study area which preserved the previously palaeogeographic pattern was subjected to integral uplifting. It is thus concluded that the uplifted area of Tibet occurred in the north of Bangongnujiang suture zone in the Late Cretaceous, and Tibet experienced uplifting as a whole in Paleogene.

**Key words:** gravel fabric; Late Cretaceous–Paleogene; Qiangtang Basin; uplift; Tibet

---

**About the first author:** LU Lu, female, born in 1985, doctor candidate, engages in the study of tectonic geology of the Tibetan Plateau; E-mail: yangchunyoulu@163.com.