

龙门山构造带中段新近系砾岩层砾组特征及其构造意义

贺承广 邵兆刚 钱 程 韩建恩 朱大岗 孟宪刚 余 佳 王 津

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:通过对龙门山构造带中段玉堂镇新近系砾岩层的砾组分析,阐述了砾岩层的成因、来源、搬运方式和构造背景等。研究表明,玉堂镇新近系砾岩层为近—中源河流相冲积物,物源为来自北西方向龙门山构造带中的基岩地层,砾石成分复杂,底部砾岩层的砾石成分以盖层沉积岩和浅变质岩为主,中部砾岩层中基底花岗岩砾石成分则大幅度增加,水动力条件不稳定,砾石原始最大扁平面倾向具有向 NW 转变的趋势。反映龙门山地区新近纪地壳运动渐趋强烈,且古构造应力场方向发生过由 NNW 向 NW 向的转变。

关键词:砾岩;砾组分析;新近系;龙门山

中图分类号:P534.62 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)06-1467-10

盆地中的砾岩(石)层是研究沉积盆地物质来源、沉积环境、古地理特征、构造环境及古环境变迁的重要标志之一,一直以来都是国内外地质学家关注的重点^[1-15]。砾组分析研究沉积物的组构特征,基本内容包括砾度分析、砾态分析、砾向分析和砾性分析,对砾岩(石)层中的砾石进行系统全面的测量和统计,进而阐述其搬运、沉积特征、成分及性质^[1-11],是研究砾岩(石)层行之有效的方法,依据砾石统计分析所得到的结果可以得到外营力性质与砾组特征的相关性和规律性,恢复砾岩(石)层形成时的地质环境^[11-16]。

自晚三叠世以来,在龙门山东缘的山前地带堆积了近万米厚的前陆陆源碎屑岩,是四川盆地沉积最厚最全的地区,前人曾对龙门山构造带山前砾岩层做了一些较为详尽细致的工作^[9,14-15,17-21],但目前对新近纪晚期至第四纪的大邑砾岩、雅安砾岩等砾岩层有较详细的研究,而对新近纪早、中期乃至更早期时期的砾岩层仍有较大的研究空间。为此,笔者在龙门

山构造带中段都江堰市玉堂镇地区开展野外地质调查时,对龙门山新近系中、下部砾岩层进行了测量和统计,探讨了新近纪构造运动的强度和变化情况。

1 地质背景

龙门山构造带地处四川盆地与青藏高原东南缘的交接地带,是中国西部地质、地貌和气候的陡变带,其东西两侧分别为四川盆地和松潘—甘孜造山带,总体呈 NE—SW 向展布,长约 500 km,宽 30~40 km。该构造带主要发育有龙门山后山断裂 F_1 (茂汶—汶川断裂)、主中央断裂 F_2 (映秀—北川断裂)和山前断裂 F_3 (灌县—江油断裂)等 3 条主干断裂^[17-19](图 1)。自印支期以来,龙门山构造带经历了印支期、燕山期和喜马拉雅期三期构造活动,区域构造变形呈现前展式发育的逆冲推覆构造变形特征。伴随青藏高原晚新生代的强烈隆升和变形,龙门山地区新构造运动变形强烈,断裂带呈现右旋剪切挤压的运动特征。

收稿日期:2011-02-28;改回日期:2011-06-30

基金项目:科学技术部科技专项“汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)”、中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目(DZLXJK200904 和 DZLXJK200902)、中国地质调查局地质矿产调查评价专项(水[2010]矿研 03-06-01)资助。

作者简介:贺承广,男,1985年生,硕士生,主要从事构造地质与构造应力场研究;E-mail: csuhecg@163.com。

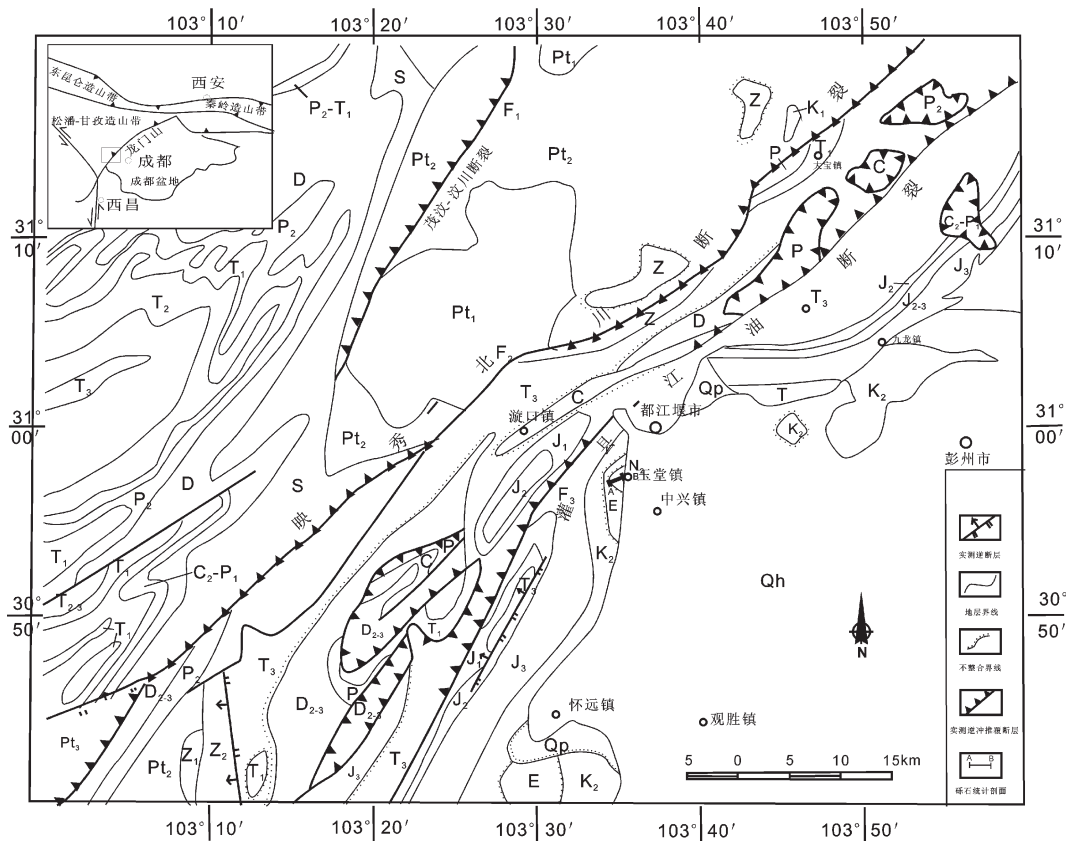


图 1 龙门山构造带中段地质简图

Pt₁—古元古界;Pt₂—中元古界;Pt₃—新元古界;Z—震旦系;S—志留系;D—泥盆系;C—石炭系;P₁—下二叠统;P₂—上二叠统;T₁—下三叠统;T₂—中三叠统;T₃—上三叠统;J₁—下侏罗统;J₂—中侏罗统;J₃—上侏罗统;K₁—下白垩统;K₂—上白垩统;E—古近系;N—新近系;Qh—全新统;F₁—茂汶—汶川断裂;F₂—映秀—北川断裂;F₃—灌县—江油断裂

Fig.1 Simplified geological map of the middle sector of Longmenshan structural belt

Pt₁—Lower Proterozoic;Pt₂—Middle Proterozoic;Pt₃—Upper Proterozoic; Z—Sinian; S—Silurian; D—Devonian; C—Carboniferous; P₁—Lower Permian; P₂—Upper Permian; T₁—Lower Triassic; T₂—Middle Triassic; T₃—Upper Triassic; J₁—Lower Jurassic; J₂—Middle Jurassic; J₃—Upper Jurassic; K₁—Lower Cretaceous; K₂—Upper Cretaceous; E—Paleogene; N—Neogene; Qh—Holocene; F₁—Maowen—Wenchuan fault; F₂—Yingxiu—Beichuan fault; F₃—Guanxian—Jiangyou fault

研究区出露古元古—中元古代花岗岩体及变质—岩浆杂岩体(彭灌杂岩体),主要分布于北西侧后山断裂(F₁)与中央断裂(F₂)之间;震旦纪变质碎屑岩、白云岩和冰碛岩,零星分布于中央断裂(F₂)北段附近;志留纪千糜岩,分布于后山断裂(F₁)北西侧的松潘—甘孜造山带;泥盆纪石英岩、石炭纪—二叠纪碳酸盐岩和玄武岩以及早、中三叠世为碳酸盐岩及碎屑岩,分布于中央断裂(F₂)与山前断裂(F₃)之间以及北西侧松潘—甘孜造山带。至晚三叠世本区结束海相沉积,变为陆相碎屑岩沉积,为侏罗系及白垩系泥岩、粉砂岩及砂砾岩等,主要沿山前断裂(F₃)南东侧分布^[19-20,22-23](图 1)。

笔者在都江堰市玉堂镇地区对龙门山山前砾岩层进行了剖面砾石统计。经野外地质考察,发现古近纪砾岩层与新近纪砾岩层为微角度不整合接触关系(图 2),不整合面产状为 85°∠48°;古近系砾岩层的下部地层为砖红色泥岩、砂质泥岩、泥质砂岩,单层厚 0.5 m 左右;古近纪砾岩层砾石成分则以灰白色大理岩、砂岩为主,磨圆度较好,砾径一般在 3~6 cm,砾石占 75%左右,砂质钙质孔隙式胶结,成岩程度较高,岩石坚硬,单层厚 1~1.5 m;新近纪砾岩层下部砾石成分以灰绿色长石砂岩、泥质砂岩为主,夹褐黄色透镜状岩屑砂岩,中部则以砂岩和花岗岩为主,磨圆度较佳,分选差,砾径一般在 3~8 cm,砾石

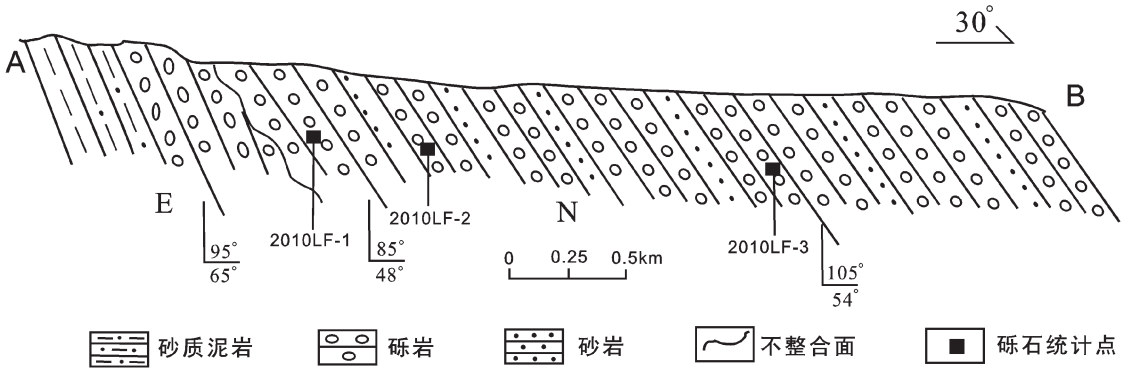


图 2 玉堂镇古近纪—新近纪砾岩层剖面示意图

Fig.2 Schematic section of the Paleogene-Neogene conglomerate layers in Yutang Town

占 80%左右,孔隙式砂泥质胶结,固结不佳,易风化松散,砾岩中常见水平产出的张性节理。

2 砾石统计分析

笔者在研究区选取了 3 个不同的统计点 (图 2),其中 2010LF-1、2010LF-2 位于新近系砾岩层的底部,2010LF-3 位于新近纪砾岩层的中部。在每个统计点任意选取 1 m×1 m 的砾岩面,在此范围内随机选取 100 个砾石,分别测量每个砾石的岩性、长轴(a)、中轴(b)、短轴(c)的长度、倾向和倾角、磨圆度及风化程度等,并进行统计和分析。

2.1 砾性

砾性(Conglomerate)指砾岩(石)层砾石的岩性成分。各测点统计结果显示(表 1): 2010LF-1 的砾石成分以砂岩为主,平均含量为 62%,石英岩、灰岩次之; 2010LF-2 的砾石成分以砂岩和灰岩为主,平均含量分别为 34%和 35%,石英岩和大理岩次之,并含少量辉长岩; 2010LF-3 的砾石成分以砂岩和花岗岩为主,平均含量分别为 39%和 35%,大理岩、灰岩、硅质岩、辉长岩、闪长岩和炭质板岩次之,且平均含量都不超过 10%。各测点砾石成分复杂,除砂岩、

灰岩、石英岩外,花岗岩、辉绿岩和闪长岩等岩浆岩也有出现。新近纪砾岩层由下至上分别为:底部砾岩层的砾石成分主要以盖层砂岩、灰岩等沉积岩和浅变质岩为主,花岗岩砾石含量很低;中部的砾石成分则以花岗岩、砂岩等岩浆岩和沉积岩为主,辉长岩和闪长岩也呈增加趋势,变质岩含量由下至上含量则有所减少。砾石成分变化表明自新近系底部砾岩层至中部砾岩层沉积阶段,盖层岩石逐渐剥蚀殆尽,基底岩石剥露抬升而开始遭受剥蚀。

2.2 砾度

砾石砾度数据是通过野外测量每个砾石的 a 轴(长轴)、b 轴(中轴)和 c 轴(短轴)的长度,然后进行计算和统计求得^[1-3,12,13,16](表 2,图 3)。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、离散等情况,所以选择各测点砾石的 a 轴频数分布曲线图进行分析(图 4)。

由 3 个测点砾石砾度数据分析结果(图 3~4,表 2)可以看出:各测点平均砾径大于中值砾径,差值在 0.53~0.97 cm,差值(<1 cm)较小,这表明众数(峰值)略靠近砾径较小的砾径,砾径较小的砾石百分比含量略大于较大砾石的含量(图 4);各测点砾石 a

表 1 玉堂镇新近纪砾岩层砾性统计

Table 1 Statistics of gravel composition of Neogene conglomerate layers in Yutang Town

| 采样编号 | 砂岩(个) | 灰岩(个) | 大理岩(个) | 花岗岩(个) | 辉长岩(个) | 闪长岩(个) | 石英岩(个) | 炭质板岩(个) |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 2010LF-1 | 62 | 13 | 11 | 1 | | | 13 | |
| 2010LF-2 | 34 | 35 | 18 | | 3 | | 10 | |
| 2010LF-3 | 39 | 7 | 4 | 35 | 3 | 1 | 9 | 2 |

表 2 玉堂镇新近纪砾岩层的砾度特征
Table.2 Granulometric features of the Neogene conglomerate layers in Yutang Town

| 砾度参数 | 2010LF-1 | 2010LF-2 | 2010LF-3 |
|----------------|----------|----------|----------|
| \bar{d} | 4.60 | 5.54 | 6.72 |
| \bar{d}_{50} | 3.63 | 4.59 | 6.19 |
| \bar{d}_a | 7.2 | 8.78 | 10.91 |
| \bar{d}_b | 5.2 | 6.105 | 8.72 |
| \bar{d}_c | 2.6 | 3.365 | 5.21 |
| d_{a50} | 6.0 | 6.9 | 9.5 |
| d_{b50} | 4.0 | 4.9 | 6.7 |
| d_{c50} | 2.0 | 2.5 | 4.0 |
| S_a | 2.37 | 1.81 | 2.03 |
| S_b | 2.11 | 1.75 | 2.22 |
| S_c | 2.08 | 2.5 | 2.6 |
| δ | 2.15 | 2.72 | 4.5 |
| Ski | 1.43 | 1.28 | 1.87 |
| Kg | 2.65 | 2.21 | 6.56 |

轴砾径的分布具有比较明显的特征:砾径的长度在 1~30 cm 均有分布,砾径跨度大;峰值分布范围较宽且靠前;砾径较大的砾石虽然数量较少,但明显呈多低峰分布,分布较分散。2010LF-1、2010LF-2 和 2010LF-3 曲线图具有较明显的双峰或多峰不对称态,显示为河流冲积成因。2010LF-1 和 2010LF-2 的标准偏差 (δ) 为 2~4,分选性差,2010LF-3 的 $\delta > 4.0$,分选极差;3 个测点的偏度 (Ski) 为 0.70~2.67,属于很正偏度,也指示砾石为冲积成因;2010LF-1 和 2010LF-2 的峰态 (Kg) 在 1.56~3.00,而 2010LF-3 的峰态更大(6.56),范围很大,属窄峰尖锐曲线,反映可能是两组或多组沉积物混合沉积造成的,指示水动力条件不稳定。综合砾石的砾径分布特征、a 轴砾径频数曲线图及偏差 (δ)、偏度 (Ski) 和峰态 (Kg) 等参数特征分析,研究区新近系砾岩层为冲积成因,沉积过程中水动力条件不稳定。

2.3 砾态

砾态 (Pseplitic) 分析包括砾石的风化程度、扁度、磨圆度、球度等。各测点的砾态数据也是通过测量每个砾石 a 轴(长轴)、b 轴(中轴)和 c 轴(短轴)的长度统计计算求得的。砾石的扁度 ($F=(a+b)/2c$) 和球度 ($\varphi=\sqrt[3]{abc}/a$), 均用平均砾径 $\bar{d}_a, \bar{d}_b, \bar{d}_c$ 计算而得到 [1-3, 12-16, 19]。磨圆度 P 是根据四级分法估计值(0

级——棱角状、1 级——次棱角状、2 级——次圆状、3 级——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的, 以百分数表示^[10,11]。风化程度的划分与磨圆度相似, 但采用目估法(0 级——未风化、1 级——弱风化、2 级——中等风化、3 级——强风化)表示^[9, 10]。

砾岩层各岩性砾石的砾态特征具有很好的分布特征(表 3)。风化特征上, 由于岩石物性差异, 不同岩性的岩石在同一层位上具有不同的风化特征, 石英岩的风化程度多为 0-1 级风化, 砂岩、大理岩和灰岩为 1-2 级风化, 而花岗岩、辉长岩等岩浆岩则显示较强的 2-3 级。结合以上各种岩石的抗风化强度差异推测, 砂岩、大理岩、灰岩经受了近—中距离的搬运, 而花岗岩、辉长岩等可能由于形成时代较早, 经受了长期的物理化学风化作用, 才会形成这样的风化组合。3 个测点砾石扁度均分布在 2.0~3.0, 较为集中; 球度均分布在 0.6~0.75。结合前人冰碛和河流相的砾石沉积特征^[12,13], 各测点扁度具有小于河流相、大于冰碛的砾石特征, 球度均具有略大于河流相、小于冰碛砾石的特征, 结合本区地质演化特征, 排除冰碛物成因, 应为不稳定河流冲积物成因。各测点砾态参数比值 F/ψ 分布值为 2.52~4.42, 对比前人冰碛、冰水堆积和河流相的 F/ψ 值^[10,11], 这些值分布于河流和冰碛物, 结合当时的地质、地貌条件, 分析其为冲积作用的结果。砾石的磨圆度变化不大, 1~3 级均有分布, 0 级棱角状的较少, 而石英岩、灰岩的磨圆度百分数最小, 砂岩和岩浆岩最大, 磨圆度百分数愈小, 表示磨圆度越差, 反之, 磨圆度越佳, 冲积物的磨圆度较好。结合上述砾态数据分析, 研究区砾岩层应为近—中源流水搬运的冲积成因。

2.4 砾向

砾向 (Trend of Gravel) 是指砾石扁平面 (ab 面) 和各轴的产状要素。由于本套砾岩层已发生了 SE 向倾斜, 所以在做砾向分析时首先必须把这些砾石恢复到它的原始产状, 采用相关数据计算公式^[24], 恢复出砾石最大扁平面 (ab 面) 原始产状, 做出各层位砾石原始最大扁平面 (ab 面) 倾向玫瑰花图及其方位等密图 (图 5)。

测点 2010LF-1、2010LF-2 和 2010LF-3 砾石原始最大扁平面 (ab 面) 倾向玫瑰花图和等密图具有相似的分布特征, 倾向玫瑰花图和等密图 (图 5) 显示砾石 ab 面的倾向优势产状较为突出。测区砾石

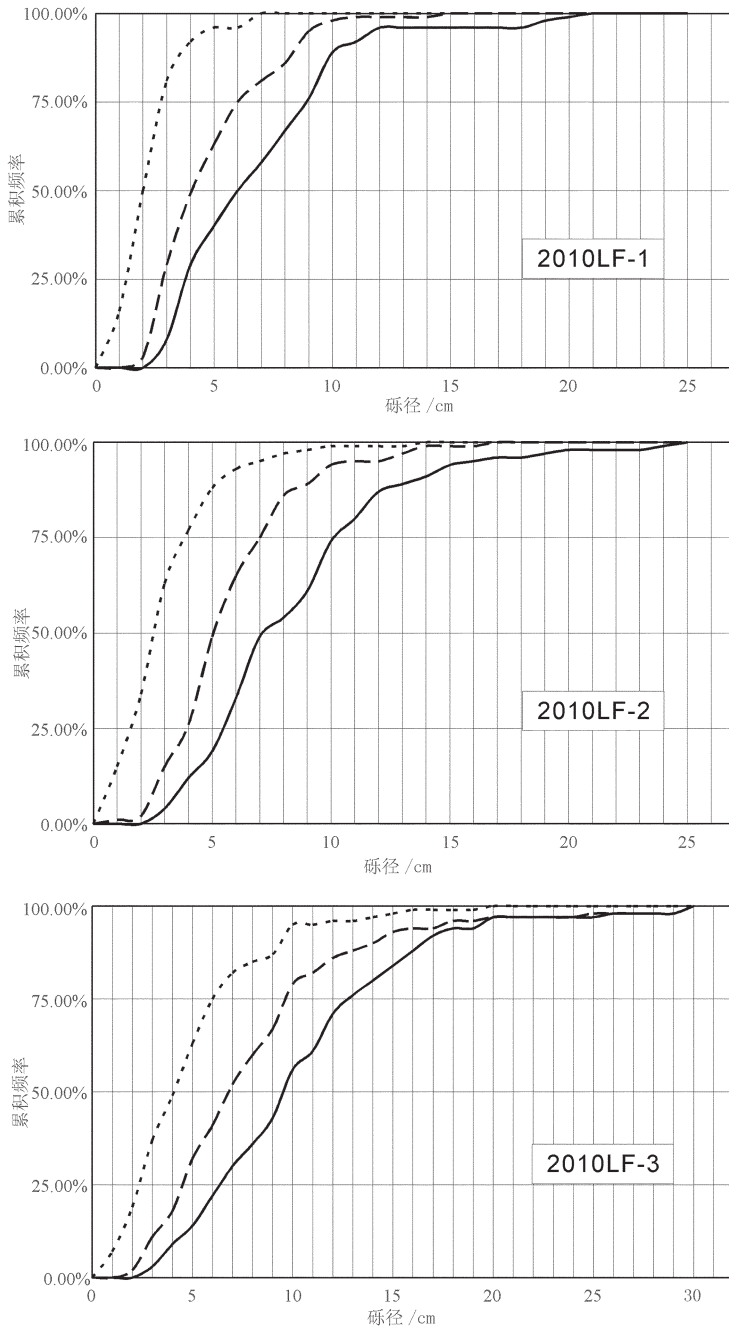


图 3 玉堂镇新近纪砾岩层的砾径各轴累计频率曲线图

1-a 轴频率曲线;2-b 轴频率曲线;3-c 轴频率曲线

Fig.3 Cumulative curvilinear of frequency distribution of each axis of gravel of Neogene conglomerate layers in Yutang Town

1-Frequency distribution of a-axis;2-Frequency distribution of b-axis;3-Frequency distribution of c-axis

排列具有较明显的定向性、呈叠瓦构造等特点,砾石原始最大扁平面优势指向能够代表古水流方向。测点 2010LF-1 和 2010LF-2 砾岩层在沉积过程中 NWW 方向为主水道方向,测点 2010LF-3 砾岩层在沉积过程中 NW 方向为主水道方向,表明新近系

砾岩层由下至上其河流主水道方向具有从 NWW 向 NW 方向迁移的趋势。

3 讨论

青藏高原周缘地区对青藏高原晚新生代的强烈

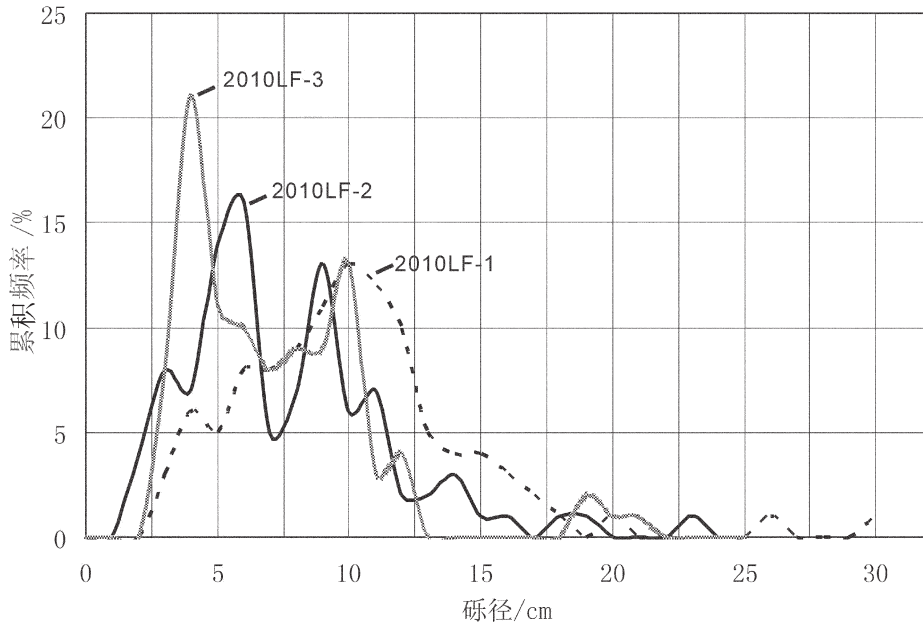


图 4 玉堂镇新近纪砾岩层的砾径 a 轴的频数曲线图

Fig.4 Curvilinear of a-axis frequency distribution of gravel of Neogene conglomerate layers in Yutang Town

表 3 玉堂镇新近系砾岩层的砾态特征

Table 3 Psephitic features of Neogene conglomerate layers in Yutang Town

| 测点编号 | 岩性 | 风化程度 | F (扁度) | ψ (球度) | P (磨圆度)% | F/ψ |
|----------|---------|-------|----------|-------------|------------|----------|
| 2010LF-1 | 砂岩 | 2 级 | 2.79 | 0.63 | 68.8 | 4.42 |
| | 大理岩 | 1 级 | 2.86 | 0.61 | 60.6 | 4.68 |
| | 灰岩 | 2 级 | 2.66 | 0.64 | 58.8 | 4.20 |
| | 石英岩 | 1 级 | 2.0 | 0.70 | 44 | 2.9 |
| 2010LF-2 | 砂岩 | 2 级 | 2.93 | 0.60 | 74.5 | 4.88 |
| | 大理岩 | 1 级 | 2.53 | 0.65 | 64.8 | 3.89 |
| | 灰岩 | 1~2 级 | 2.51 | 0.65 | 74.3 | 3.86 |
| | 石英岩 | 0~1 级 | 2.03 | 0.68 | 60 | 2.99 |
| | 辉长岩 | 2~3 级 | 2.36 | 0.61 | 55.5 | 3.82 |
| 2010LF-3 | 砂岩 | 2 级 | 2.28 | 0.67 | 81 | 3.4 |
| | 花岗岩等岩浆岩 | 2~3 级 | 2.03 | 0.75 | 75.2 | 2.71 |
| | 灰岩 | 1 级 | 2.01 | 0.66 | 62 | 3.0 |
| | 石英岩 | 1 级 | 2.14 | 0.68 | 67 | 3.14 |
| | 大理岩 | 1 级 | 1.89 | 0.75 | 58.3 | 2.52 |

隆升有着较为显著的响应。目前通过对青藏高原周缘诸如酒西、临夏盆地新生代地层研究揭示了青藏高原周缘在 5~3 Ma 期间的强烈构造活动^[12,25]。龙门山构造带作为青藏高原东南缘一条强烈活动带,地形高差和地质构造变化之大实非其他地区可以比

拟,对高原隆升应有很好的地质和地貌响应,来庆州、张毅和 Burchfiel 等^[26-28]从外部环境变化记录和地球内部过程方面也揭示了龙门山地区在 5 Ma± 的加速隆升,与青藏高原其他周缘地区的隆升效应在时间上有较好的一致性,龙门山的快速隆升所形

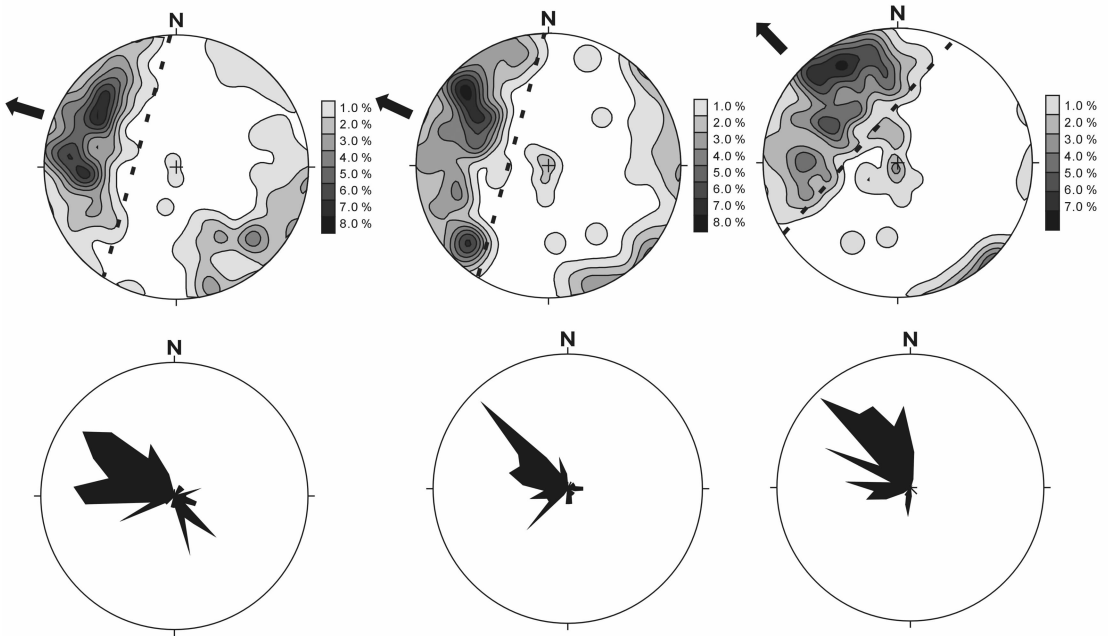


图 5 玉堂镇新近系砾岩层砾石原始 ab 面倾向玫瑰花图及其方位等密图

Fig.5 Rosette diagram of gravel primeval ab-plane and its orientation contour diagram of Neogene conglomerate layers in Yutang Town

成的构造和古地貌格局为新近系砾岩层的沉积提供了重要的空间条件。

由玉堂镇新近系砾岩层在沉积特征上为砾岩层夹透镜状粗砂岩层,砾石磨圆度较好。各统计点的标准偏差(δ)分布、偏度(Ski)分布、峰态(Kg)特征及各轴砾径的分选系数等综合指示研究区新近系砾岩层为冲积成因,且沉积过程中水动力条件不稳定,砾态分析进一步确定研究区砾岩层应为近—中源流水搬运的冲积成因;3个测点砾岩层的倾向玫瑰花图和最大扁平面(ab面)等密图具有相似的特征,主倾向和优势产状较为突出,但并非稳定水流成因,存在一个或多个次集密部位。由此综合确定本套砾岩层为近—中源冲积成因。

研究区砾岩层砾石成分由下至上,底部砾岩层的砾石成分主要以盖层砂岩、灰岩等沉积岩和浅变质岩为主,新近系中部砾石层砾石成分则以花岗岩、砂岩等岩浆岩和沉积岩为主,辉长岩和闪长岩也呈增加趋势,而变质岩含量由下至上含量有所减少。砾石成分变化表明自新近系底部砾岩层至中部砾岩层沉积阶段,物源区盖层沉积岩和变质岩被逐步剥蚀殆尽,分布面积减小,而基底变质杂岩则剥露抬升,分布面积增大,成为砾石层主要物源区岩石。且砾岩

层中部沉积时的水动力条件也比底部要不稳定。进一步反映物源区构造抬升作用渐趋强烈,盖层岩石逐渐被剥蚀殆尽,基底岩石被剥露抬升而开始遭受剥蚀。

现今龙门山构造带与山前平原过渡地带地势较陡,山前水系大都垂直龙门山构造带走向发育,且河道对山脉走向的变化非常敏感。测点 2010LF-1 和 2010LF-2 主水道方向变化不是很大,而测点 2010LF-3 主水道则有较大的改变,从而可能指示区域古构造应力场在新近系中砾岩层沉积时曾发生过由 NWW 向 NW 的转变。

4 结论

根据龙门山构造中段玉堂镇新近系砾石层的沉积特征及各测点砾石的砾性、砾度、砾态和砾向分析,对砾岩层本身的成因、来源和搬运方式以及砾岩层沉积时构造条件等总结如下。

(1)研究区新近系砾岩层为近—中距离搬运的河流冲积成因,各砾岩层在沉积过程中水动力条件不稳定,新近系底部砾岩层相对新近系中部砾岩层其分选性相对要好,且水动力条件相对新近系中部砾岩层沉积时相对要稳定一些。

(2) 砾岩层的主要物源区位于研究区北西侧的龙门山构造带, 砾向分析表明古水流主方向为北西向, 为砾石的主要来源方向, 新近系底部砾岩层的砾石成分以盖层沉积岩和浅变质岩为主, 岩浆岩等砾石成分较少; 而新近系中部砾岩层中基底花岗岩砾石成分大幅度增加。

(3) 自下而上新近系砾岩层砾组特征表明, 新近纪龙门山地区地壳运动渐趋强烈, 古构造应力场方向可能发生过由 NWW 向 NW 向的转变, 物源区盖层岩石逐渐被剥蚀殆尽, 在中部砾岩层沉积阶段, 基底岩石被剥露抬升而开始遭受剥蚀, 新近系中部砾岩层中花岗岩砾石的大幅度增加可能对应于北西侧彭灌杂岩体剥露抬升速率加快。

致谢: 在野外考察和室内分析中得到孙立蓓、马天林和韩同林研究员的大力支持和指导, 数据整理得到张瑞丰教授级高级工程师和郭初笋工程师的热情帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 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研究所所刊. 第2号. 北京: 地质出版社, 1982: 117-130.
He Peiyuan, Pu Qingyu. 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(in Chinese), 1982: 117-130.
- [2] 王凤林, 李勇, 李永昭, 等. 成都盆地新生代大邑砾岩的沉积特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(2): 139-146.
Wang Fenglin, Li Yong, Li Yongxu, et al. Sedimentary characteristics of the Cenozoic Dayi conglomerate in Chengdu basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(2): 139-146(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘运明, 李有利, 吕红华, 等. 从阶地砾石的统计特征看保德至克虎段河流演化[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 567-572.
Liu Yuanming, Li Youli, Lv Jianghua, et al. Implication of statistical features of terrace pebbles to river evolution from Baode County to Kehu Town[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(4): 567-572 (in Chinese with English abstract).
- [4] 章泽军. 根据砾石统计确定红色盆地中洪积扇体的基本原理与方法[J]. 中国区域地质, 1995, (2): 181-188.
Zhang Zejun. The fundamental principle and method for defining the proluvial fans in a small red basin according to the statistics of gravels [J]. Regional Geology of China, 1995, (2): 181-188 (in Chinese with English abstract).
- [5] 申顺喜, 陈丽容, 李安春, 等. 黄、东海陆架砂岩砾石的地质意义[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 70-75.
Shen Shunxi, Chen Lirong, Li Anchun, et al. Geological significance of sandstone gravel from the shelves of the Yellow Sea and East China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(5): 70-75(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄培华. 黄山山麓第四纪粘土砾石层形成机制和环境的研究[J]. 地理科学, 1994, 14(3): 211-216.
Huang Peihua. A study on the sedimentation mechanism and environments of Quaternary Boulder clay deposits at piedment in Mount Huangshan, Anhui Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 1994, 14(3): 211-216.
- [7] Mc Lane M. Sedimentology [M]. Now York Oxford: Oxford University Press, 1995: 12-46.
- [8] 温泉波, 刘永江, 李俊杰, 等. 鸡西、勃利盆地白垩纪砂岩的物源分析及构造意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(3): 52-59.
Wen Quanbo, Liu Yongjiang, Li Junjie, et al. Provenance analysis and tectonic implications for the Cretaceous sandstones in the Jixi and Boli Basins, Heilongjiang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 28(3): 52-59(in Chinese with English abstract).
- [9] 崔秉荃, 龙学明, 李元林. 川西拗陷的沉降与龙门山的崛起[J]. 成都地质学报, 1991, 18(1): 39-45.
Cui Bingkui, Long Xueming, Li Yuanlin. The subsidence of western Sichuan depression and the rise of Longmenshan mountains [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 1991, 18(1): 39-45.
- [10] 韩建恩, 余佳, 孟庆, 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 Qing, et al. Analysis of Quaternary gravels in the Zhanda basin, Ngari area, Tibet, China [J]. Regional Geology of China, 2005, 24(7): 630-636(in Chinese with English abstract).
- [11] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 念青唐古拉山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 Nianqingtangulashan Mountains [J]. Journal of Geomechanics, 2002, 8(4): 323-332(in Chinese with English abstract).
- [12] 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 构造、气候与砾岩——以积石山和临夏盆地为例[J]. 第四纪研究, 2006, 26(1): 63-69.
Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinglin, et al. Tectonic events, climate and conglomerate: Example from Jishuishan mountain and Linxia Basin [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26 (1): 63-69 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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 Xiumin, Chen Hanlin, Karl-Heinz WYRWOLL, et al. Uplift of the northeastern Tibetan plateau: Evidences from the Xiaohonggou section in Tongxin, Ningxia [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(4): 455-467.
- [14] 李勇, 黎兵, Steffen D, 等. 青藏高原东缘晚新近生成都盆地物源

- 分析与水系演化[J]. 沉积学报, 2006, 24(3):309-320.
- Li Yong, Li Bing, Steffen D, et al. Provenance analysis and drainage evolution in late Cenozoic Chengdu basin on eastern margin of Tibetan plateau[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3):309-320(in Chinese with English abstract).
- [15] 黎兵, 李勇, 张开均, 等. 青藏高原东缘晚新生代大邑砾岩的物源分析与水系变迁[J]. 第四纪研究, 2007, 27(1):64-74.
- Li Bing, Li Yong, Zhang Kaijun, et al. Provenance of the aliclastic rocks of the late Cenozoic Dayi formation and drainage change at eastern margin of the Tibetan plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(1): 64-74(in Chinese with English abstract).
- [16] 马永法, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原周老镇钻孔砾石统计及其与长江三峡贯通的关系[J]. 地质科技情报, 2007, 26(2):40-44.
- Ma Yongfa, Li Changan, Wang Qiuliang, et al. Statistics of gravels from a bore in Zhoulaotown, Jianghan plain and its relationship with cut-through of the Yangtze Three Gorges, China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(2):40-44(in Chinese with English abstract).
- [17] 李勇, 侯中健, 司光影, 等. 青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件[J]. 中国地质, 2002, 29(1):30-36.
- Li Yong, Hou Zhongjian, Si Guangying. Cenozoic tectonic sequence and tectonic events at the eastern margin of the Qinghai Tibet plateau [J]. *Geology in China*, 2002, 29 (1):30-36 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈竹新, 贾东, 魏国齐, 等. 川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换[J]. 中国地质, 2008, 35 (3):472-481.
- Chen Zhuxin, Jia Dong, Wei Guoqi, et al. Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin [J]. *Geology in China*, 2008, 35 (3):472-481 (in Chinese with English abstract).
- [19] 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地形成演化 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1993:1-122.
- Liu Shugen. Formation and Evolution of Longmenshan Mountain Thrust Belt and Western Sichuan Foreland Basin [M]. Chengdu: Press of University of Electronic Science and Technology, 1993: 1-122(in Chinese with English abstract).
- [20] Li Y, Allen P A, et al. Depositional patterns of Longmen Shan foreland basin and sedimentary responses to thrusting and strike-slipping along eastern margin of Tibetan Plateau [C]//全国沉积学大会摘要论文集 (Collected work of National Sedimentology Conference in 2001), 2001:191-192.
- [21] 苟宗海. 四川大邑—汶川地区侏罗—第三系砾岩特征及沉积环境[J]. 中国区域地质, 2001, 20(1):25-32.
- Gou Zonghai. Characteristics of Jurassic-Tertiary conglomerates and depositional environment in the Dayi-Wenchuan area, Sichuan[J]. *Regional Geology of China*, 2010, 20(1):25-32.
- [22] 李勇, 周荣军, Alexander L.Densmore, 等. 青藏高原东缘大陆动力学过程及地质响应[M]. 北京:地质出版社, 2006:1-148.
- Li Yong, Zhou Rongjun, Alexander L.Densmore, et al. Continental Dynamics and Geological Responses of the Eastern Margin of Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2006:1-148(in Chinese).
- [23] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan. Regional Geology of Sichuan [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese), 1991.
- [24] 白万成. 费氏台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 transformation program for data of geological occurrence and fedorovstage [J]. *Science of Gold Geology*, 1992, (2):31-34(in Chinese with English abstract).
- [25] 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏, 等. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升[J]. 沉积学报, 2002, 20(4):552-559.
- Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin, et al. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi basin in the northern margin of Tibetan plateau since the late Cenozoic[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20 (4):552-559 (in Chinese with English abstract).
- [26] Xu G. Thermo-tectonic history of eastern Tibetan Plateau and western Sichuan Basin, China, assessed by fission track thermochronology [D]. Hamilton, New Zealand: University of Waikato, 1997.
- [27] 张毅, 李勇, 周荣军, 等. 晚新生代以来青藏高原东缘的剥蚀过程——来自裂变迹的证据 [J]. 沉积与特提地质, 2006, 26 (1):97-102.
- Zhang Yi, Li Yong, Zhou Rongjun, et al. The denudation of the eastern margin of the Qinghai-Xizang Plateau since the Late Cenozoic: Evidence from the fission-track ages [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2006, 26 (1):97-102 (in Chinese with English abstract).
- [28] Burchfiel B C, et al. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, Central China [J]. *International Geology Review*, 1995, 37 (8):661-735.

Gravel fabric characteristics of Neogene conglomerate layers in the middle sector of the Longmenshan structural belt and its tectonic significance

HE Cheng-guang, SHAO Zhao-gang, QIAN Cheng, HAN Jian-en,
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, YU Jia, WANG Jin
(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Based on an analysis of gravel fabric features of Neogene conglomerate layers at Yutang Town in the middle sector of the Longmenshan structural belt, this paper describes the origin, source, hydrodynamic condition and tectonic setting of the Neogene conglomerate layers. Studies show that the conglomerate layers are proximal alluvial deposits and their source rocks are bedrocks of the Longmenshan structural belt, and the composition of gravels is complex. The gravel components from the lower conglomerate layers are mainly composed of sedimentary rocks and epimetamorphic rocks from the caprocks. Gravels of basement granite largely increase in the middle conglomerate layers. The hydrodynamic condition is not stable. The original maximum flat surface of the gravels tends to turn northwestward, suggesting the increasingly intense crustal movement and a NWW to NW change of paleotectonic stress field during Neogene in the Longmenshan area.

Key words: conglomerate; gravel fabric analysis; Neogene; Longmenshan

About the first author: HE Cheng-guang, male, born in 1985, master, mainly engages in the study of regional geology and structural stress field; E-mail: csuhecg@163.com.