

文章编号: 1000-0550(2017)02-0264-15

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.02.006

新疆库鲁克塔格南华系砂岩碎屑组成对其物源及盆地演化的指示

魏震¹, 郭瑞清¹, 孙敏佳², 吕彪¹, 金建斌¹, 王海培¹, 王明阳¹

1. 新疆大学地质与矿业工程学院, 乌鲁木齐 830047

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

摘要 库鲁克塔格南华系记录了塔里木北缘同期的火山—沉积事件和蚀源区物质组成及演化的信息。该区不同剖面内南华系各组砂岩碎屑组分的统计分析显示, 贝义西组砂岩在不同剖面内组成差异显著; 西山口剖面以岩屑砂岩为主, 且岩屑为火山岩岩屑与沉积岩岩屑, 物源为再旋回地层, 而依格孜塔格剖面以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主, 岩屑主要为变质岩岩屑, 物源为下伏元古代高级变质岩。砂岩碎屑组成在剖面上垂向的变化表明贝义西组沉积期与照壁山组沉积期间(725 Ma±)存在一个沉积转型事件, 导致贝义西组之上的照壁山组、阿勒通沟组及特瑞艾肯组砂岩组成在不同区域趋于一致, 转变为代表基底隆起—过渡大陆区物源的典型“长石砂岩”。南华系砂岩碎屑组成与大陆裂谷盆地沉积砂岩相似, 且物源区存在由前裂谷地层—过渡裂谷肩部—切割裂谷肩部—克拉通内部的连续演化过程, 是库满凹陷早期裂解的岩相学记录。

关键词 库鲁克塔格; 南华系; 砂岩碎屑组成; 沉积转型; 物源分析; 裂谷盆地; 盆地演化

第一作者简介 魏震, 男, 1991年出生, 硕士研究生, 地质资源与地质工程, E-mail: 1273758227@qq.com

通讯作者 郭瑞清, 男, 副教授, E-mail: guoruiqing8888@163.com

中图分类号 P512.2 P534 **文献标识码** A

物源分析的目标就是对造山带、岩浆弧以及裂谷肩部等古老山脉系统已经被严重剥蚀而消失的部分进行重建^[1-4]。在诸多物源分析方法中, 砂岩碎屑(石英、长石、岩屑)组成模式分析的方法, 已经被成功的应用于区分物源区地体成分和构造背景的研究中^[1-2]。按照将今论古的思想, 人们根据已知源岩的现代砂的组成建立了砂岩组成模式, 并利用这一模式限制对古代砂岩物源的解释^[5-12], 使砂岩组成和板块构造背景联系起来^[1-3, 13]。据统计岩浆弧物源以长石岩屑砂(砂岩)为典型特征, 在中性组成的弧物源区, 以斜长石和火山碎屑为主要碎屑物质^[1-2, 13], Marsaglia *et al.*^[13]、Ingersoll^[4]指出, 现代和古代的来自弧物源的砂基本都分布在 Dickinson *et al.*^[14]所定义的弧物源区; 弧陆碰撞缝合带主要产石英岩屑砂(砂岩), 主要由不同成分的单晶石英、多晶石英、变质沉积岩和沉积岩岩屑组成^[1-3, 11]; 前陆盆地具有一个明显的岩屑含量增多的演化趋势特征, 反映逆冲褶皱带再旋回沉积岩物源贡献程度的增加^[15]。因此砂岩碎屑组成可以客观的揭示物源区性质、构造环境及沉积盆地的构造属性和演化历史。

库鲁克塔格南华—震旦系发育完整, 存在全球唯一的4套新元古代冰期沉积和多期火山岩共存的完整剖面, 一直吸引着国际地学界的关注^[16-17]。这套不整合于前南华基底之上的地层, 记录了塔里木北缘同期的火山—沉积事件和蚀源区物质组成及演化的信息。然而, 关于这套地层所处的构造背景目前仍存在两种截然不同的观点: 1) 大陆裂谷^[18-25]; 2) 岛弧相关盆地, 弧后裂谷模式^[26-27]及弧间裂谷模式^[28]等。同时前人研究表明, 这套地层以杂砂岩和长石砂岩类为主^[29], 属于对构造背景判别敏感的碎屑岩类^[30], 且岩石源区并未遭受严重的风化作用^[28, 31]。因此本文的主要目的即通过不同剖面南华系砂岩碎屑组分的统计分析, 揭示其物源区组成及演化的信息。这将有助于塔里木北缘新元古代构造古地理环境的重建。同时对盆地充填组分的分析, 也能从沉积—构造演化的角度对南华系盆地的构造背景和盆地演化进行制约。

1 地质背景及南华系地层特征

库鲁克塔格断隆位于塔里木盆地东北缘(图1a), 北以辛格尔断裂与南天山相邻, 南以孔雀河断

裂与塔里木盆地分隔(图 1b)。该区由大面积前南华系基底和变质变形微弱的南华—震旦系沉积盖层组成,形成典型的双层结构^[32-33]。

区内最古老的岩石被称为托格杂岩,时代可能属于新太古代晚期^[34-35],主要有三种岩石组合:表壳岩系,灰色片麻岩系,侵入灰色片麻岩系中的花岗片麻岩。古元古代中晚期主要发育中酸性岩浆岩和兴地塔格群,其中兴地塔格群由一套中高级变质岩组成,

主要包括石英岩、浅粒岩、变粒岩及黑云斜长片岩(片麻岩),角闪斜长片麻岩、石榴云母片岩(片麻岩)以及少量含石墨的大理岩^[29,36],不整合覆盖在托格杂岩之上,其上又被中元古界地层不整合覆盖;这一时期岩浆岩主要包括片麻状花岗岩、变闪长岩、蓝石英花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等^[37]。中元古代极少有岩浆活动的报道,这一时期主要出露长城系波瓦姆群和杨吉布拉克群、蓟县系爱尔基干群,岩性包

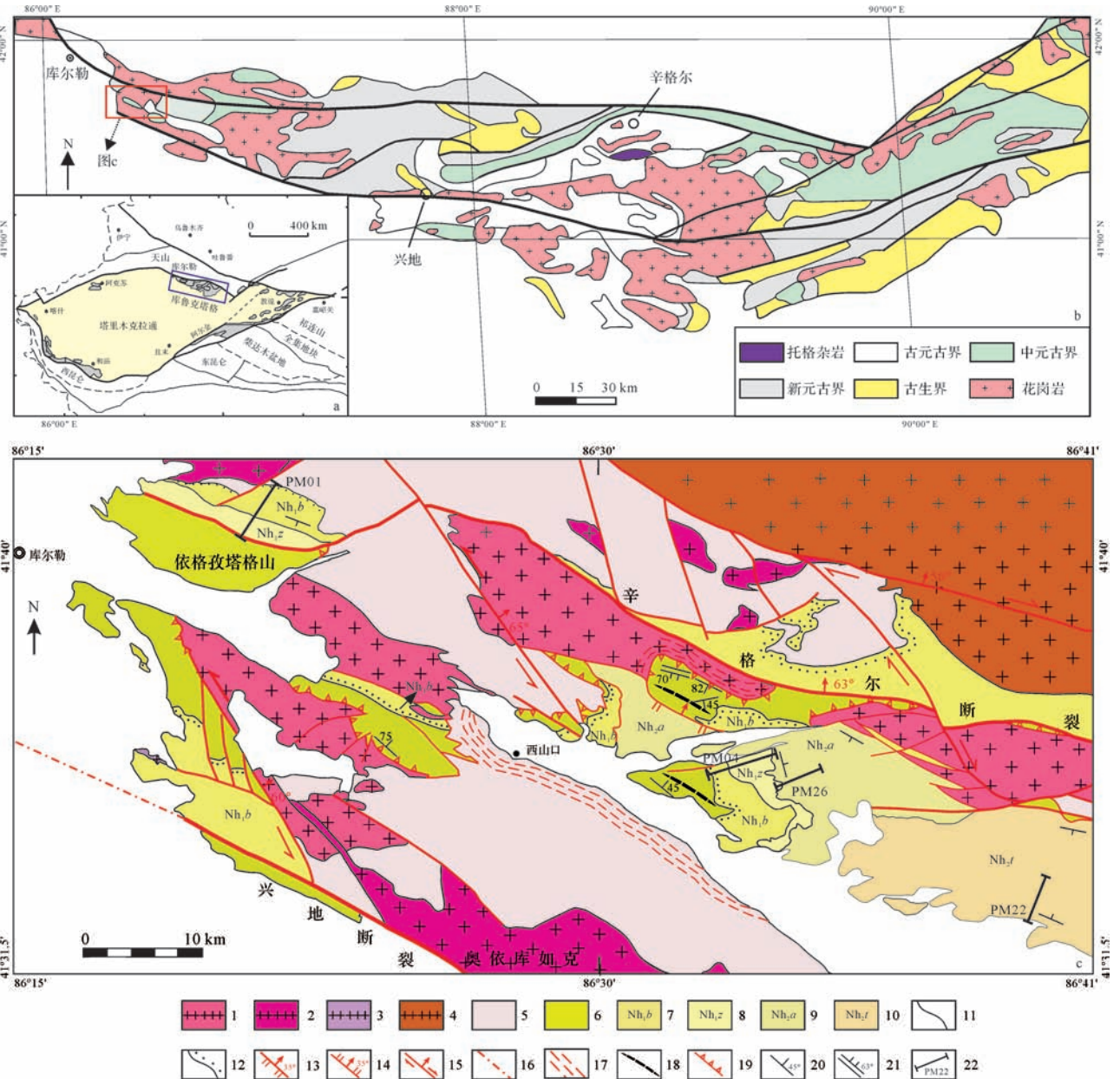


图 1 塔里木克拉通构造略图(a),库鲁克塔格地质概况(b),研究区地质简图及剖面分布位置(c)

1.古元古代岩浆岩;2.青白口纪岩浆岩;3.南华纪岩浆岩;4.古生代岩浆岩;5.兴地塔格群;6.青白口系;7.南华系贝义西组;8.南华系照壁山组;9.南华系阿勒通沟组;10.南华系特瑞艾肯组;11.地质界线;12.角度不整合界线;13.逆断层及产状;14.正断层及产状;15.平移断层及产状;16.推测断层;17.韧性变形带;18.褶皱;19.滑脱面;20.层理及产状;21.劈理及产状;22.剖面位置及编号

Fig.1 An outline of the Tarim Craton and adjacent areas (a); simplified geological map of the Quruqtagh Block (b); geological map of the study area and sampling section (c)

括片岩、大理岩等中—低级副变质岩和变质砾岩、砂岩、泥岩等。新元古代早期地层为青白口系帕尔岗塔格群,主要由塞纳尔塔格组细碎屑岩和北塞纳尔塔格组灰岩、白云岩、少量钙质板岩等组成,岩石具低绿片岩相变质。近来,吕彪等^[38]在西山口一带北塞纳尔塔格组中发现了较厚的流纹岩,锆石 U-Pb 定年为 841 Ma,说明北塞纳尔塔格组可能是底部为碳酸盐顶部为火山岩的沉积组合,但多数地区顶部火山岩被剥蚀。另外,新元古代岩浆岩广泛分布于库鲁克塔格地块,Zhang *et al.*^[33]对这一时期的岩浆岩做过总结,将其归纳为:超镁铁—镁铁—碳酸岩杂岩、角砾状云母橄榄岩脉、超镁铁—镁铁—花岗岩双峰式侵入杂岩、巨量的基性岩墙群和大规模的花岗岩等,主要发育于 820~800 Ma、780~760 Ma、740~735 Ma、650~630 Ma。上述地质体除 800~630 Ma 的新元古代晚期岩浆岩外,其余皆作为前南华地质体被贝义西组不整合覆盖^[26,29,32],因此这些地质体都是南华纪砂岩的潜在物源。

库鲁克塔格地区南华—震旦系库鲁克塔格群总厚可达 6 km,主要由四期冰川沉积、数层火山岩和砂岩、泥岩及灰岩等组成,与下伏岩层呈角度不整合接触^[39],自下而上分为南华系贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组、特瑞艾肯组及震旦系扎摩克提组、育肯沟组、水泉组和汉格乐乔克组。本文研究区位于库鲁克塔格西段(图 1b,c),主要出露南华系贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组、特瑞艾肯组,这套地层出露完整,下部角度不整合于青白口系帕尔岗塔格群、兴地塔格群及同期花岗岩之上,各组间整合接触(图 2)。贝义西组为第一冰期沉积,其厚度不均,在 400~1 061 m 之间,底部一层厚约 7 m 的底砾岩以角度不整合的形式覆盖于下伏地质体之上,向上为砾岩—含砾粗砂岩组成的韵律性沉积,可能是河流相沉积产物^[39],再向上由一套细砾岩、细砂岩、粉砂岩组成,属海岸碎屑岩相沉积^[39-40],冰川沉积和火山岩夹于上述各相沉积间;照壁山组为第一间冰期,厚约 1 048 m,也主要由含砾砂岩—砂岩—粉砂岩组成,粒度由粗逐渐变细,连续反复形成韵律层理(图 3a),高振家等^[39]将其归为陆缘较深部碎屑岩相,本文在剖面测制过程中还发现该组发育大量粗尾正粒序层理(图 3b),底部含砾砂岩中砾石皆直立状,多以漂浮状态产出(图 3c),部分块状砂岩厚度可达 3.5 m,岩层略弯曲(图 3b),局部可见同生塑性变形构造(图 3d),这些特征显示其应当是重力流沉积的产物^[41],部分重力流

旋回顶部发育板状交错层理(图 3c),代表了重力流后期的牵引流沉积;阿勒通沟组属第二冰期沉积,厚约 840 m,底部为冰筏—海洋相的含冰砾岩,中上部主要由粒度较细的砂岩—粉砂岩组成,顶部可见具枕状构造的玄武岩;特瑞艾肯组为第三冰期沉积,厚约 530 m,主要发育厚层块状冰砾岩,为陆相冰川堆积^[39-40]。近年来,Xu *et al.*^[20-21]、高林志等^[17]、Zhang *et al.*^[42]、He *et al.*^[43]在库鲁克塔格群时代限定上起到了十分重要的作用,通过他们的工作可知贝义西组沉积时限在 743~725 Ma,照壁山组到阿勒通沟组的沉积时限在 725~654 Ma,特瑞艾肯组的沉积时限小于 654 Ma。

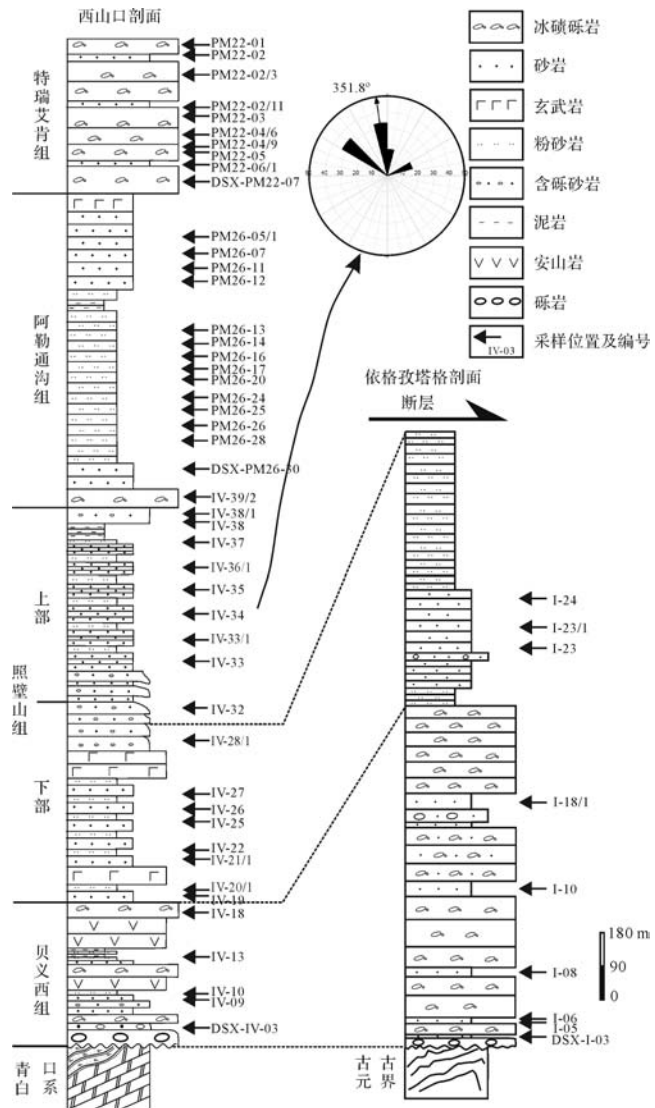


图 2 研究区南华系综合柱状图、样品分布及古水流玫瑰花图
Fig.2 Columnar sections and the sample distribution layers of Nanhua system of the study area as well as rose diagram of paleocurrent

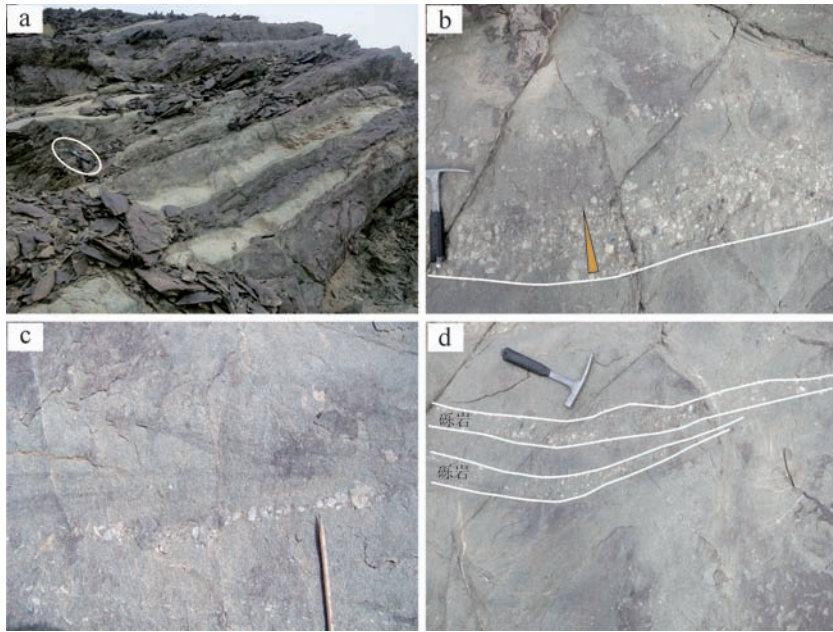


图3 照壁山组重力流沉积构造照片

a.照壁山组具粒序层理的砂岩和粉砂岩构成韵律层理;b.杂基支撑的砾岩层,因同沉积变形作用而弯曲;c.直立状砾石及板状交错层理;d.同生塑性变形构造

Fig.3 The photos of sedimentary structures of turbidite from Zhaobishan Formation

2 样品与方法

研究区南华系主要分布于依格孜塔格山和西山口一带,二者为辛格尔断裂所分割。为了更好的控制南华系碎屑组成在时空上的变化,本研究于西山口以东6 km处测PM04、PM22、PM26剖面,于库尔勒以东依格孜塔格山北侧测PM01剖面(图1c)。沿剖面系统的采集了薄片样品,在原始层理保留较好地区测量了古水流数据,并于后期分别完成了碎屑组分统计及古水流恢复工作。为了方便探讨砂岩组成在空间上的变化分别将两侧剖面命名为依格孜塔格剖面(PM01)和西山口剖面(PM04、PM22、PM26)。

共统计碎屑组分样品56件,具体采样层位见图2。研究中采用多碎屑分析法中的Dickinson图解法,因为它是研究最细、研究时间最长、最全面、引用最多的一种物源区分析方法^[44-45]。本文碎屑组分镜下统计采用Gazzi-Dickinson法,记点原则基于Dickinson *et al.*^[1], Dickinson^[2], Ingersoll *et al.*^[46]和李忠等^[47]的原则。为了客观反映砂岩的组成特征,单个样品统计点总数大于400个,统计过程中,岩屑类型、基质类型和其他组分的区分标准参考Dickinson^[30], Ingersoll *et al.*^[1]。此外,纯净的硅质岩当做多晶石英统计,含有陆缘碎屑的硅质岩当做沉积岩岩屑统计,具优势面理

构造的浅粒岩、变粒岩、片麻岩等岩屑作为变质岩岩屑统计,而仅具定向特征发育叶理构造的火山岩岩屑和沉积岩岩屑,若能识别出原岩类型并不作为变质岩岩屑统计。

3 碎屑组分统计结果与古水流

3.1 砂岩碎屑组分特征

表1,表2列出了南华系砂岩各碎屑组分统计的结果,并按照Folk^[48]提出的分类方案进行了分类(图4)。结果显示两地贝义西组砂岩组成差别较大,西山口剖面贝义西组砂岩主要为岩屑砂岩,并有一个样品落入长石岩屑砂岩区,而依格孜塔格剖面贝义西组则主要为长石砂岩和少量岩屑长石砂岩(图4)。西山口地区砂岩中含量最高的碎屑为岩屑,主要由火山岩岩屑(图5a,b)和沉积岩岩屑(图5c)组成,平均含量68.5%(L/QFL, QFL指所有骨架颗粒,下同),长石和石英含量都很低(图5a);依格孜塔格地区砂岩主要碎屑为石英(图6a),与西山口剖面相比其岩屑含量极低,平均含量仅5%,且岩屑类型也有较大差异,主要为浅变粒岩、片麻岩等变质岩岩屑。

照壁山组在西山口剖面 and 依格孜塔格剖面上并未表现出较大的差别。西山口一带照壁山组按砂岩组成特征可分为上下两个部分,下部主要为岩屑长石

表1 西山口剖面南华系砂岩碎屑组分统计结果

Table1 Detrital model of sandstones from the Nanhuan System at Xishankou Section

| 样号 | 地层 | Qm | Qp | Qt | P | K | F | Lv | Ls | L | Lt |
|----------------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DSX-pm22-01 | 特瑞艾肯组 | 219 | 0 | 219 | 84 | 1 | 85 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| DSX-pm22-02 | | 548 | 6 | 554 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 9 |
| DSX-pm22-02/3 | | 176 | 3 | 179 | 346 | 43 | 389 | 3 | 3 | 6 | 9 |
| DSX-pm22-02/11 | | 264 | 0 | 264 | 237 | 1 | 238 | 3 | 53 | 56 | 56 |
| DSX-pm22-03 | | 347 | 1 | 348 | 182 | 28 | 210 | 0 | 3 | 3 | 4 |
| DSX-pm22-04/6 | | 181 | 1 | 182 | 372 | 1 | 373 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| DSX-pm22-04/9 | | 173 | 2 | 175 | 341 | 17 | 358 | 3 | 31 | 34 | 36 |
| DSX-pm22-05 | | 374 | 2 | 376 | 181 | 2 | 183 | 2 | 7 | 9 | 11 |
| DSX-pm22-06/1 | | 178 | 4 | 182 | 205 | 83 | 288 | 0 | 79 | 79 | 83 |
| DSX-pm22-07 | 341 | 0 | 341 | 209 | 1 | 210 | 0 | 4 | 4 | 4 | |
| DSX-PM26-05/1 | 阿勒通沟组 | 97 | 2 | 99 | 346 | 123 | 469 | 1 | 12 | 13 | 15 |
| DSX-PM26-07 | | 96 | 1 | 97 | 396 | 85 | 481 | 2 | 2 | 4 | 5 |
| DSX-PM26-11 | | 208 | 0 | 208 | 316 | 43 | 359 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| DSX-PM26-12 | | 151 | 1 | 152 | 215 | 2 | 217 | 0 | 198 | 198 | 199 |
| DSX-PM26-13 | | 292 | 0 | 292 | 264 | 3 | 267 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| DSX-PM26-14 | | 238 | 1 | 239 | 276 | 1 | 277 | 11 | 50 | 61 | 62 |
| DSX-PM26-16 | | 226 | 1 | 227 | 332 | 3 | 335 | 0 | 18 | 18 | 19 |
| DSX-PM26-17 | | 198 | 1 | 199 | 327 | 29 | 356 | 5 | 6 | 11 | 12 |
| DSX-PM26-20 | | 192 | 2 | 194 | 283 | 82 | 365 | 8 | 6 | 14 | 16 |
| DSX-PM26-24 | | 374 | 0 | 374 | 152 | 38 | 190 | 0 | 11 | 11 | 11 |
| DSX-PM26-25 | | 125 | 1 | 126 | 419 | 5 | 424 | 1 | 21 | 22 | 23 |
| DSX-PM26-26 | | 128 | 0 | 128 | 425 | 3 | 428 | 0 | 9 | 9 | 9 |
| DSX-PM26-28 | | 149 | 0 | 149 | 392 | 15 | 407 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| DSX-PM26-30 | | 95 | 0 | 95 | 457 | 2 | 459 | 0 | 19 | 19 | 19 |
| DSX-PM04-39/2 | | 346 | 2 | 348 | 202 | 28 | 230 | 4 | 3 | 7 | 9 |
| DSX-IV-38/1 | | 照壁山组 | 182 | 1 | 183 | 287 | 98 | 385 | 0 | 6 | 6 |
| DSX-IV-38 | 135 | | 2 | 137 | 318 | 101 | 419 | 9 | 6 | 15 | 17 |
| DSX-IV-37 | 328 | | 0 | 328 | 213 | 25 | 238 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| DSX-IV-36/1 | 127 | | 1 | 128 | 346 | 97 | 443 | 0 | 4 | 4 | 5 |
| DSX-IV-35 | 264 | | 4 | 268 | 42 | 16 | 58 | 24 | 211 | 235 | 239 |
| DSX-IV-34 | 319 | | 5 | 324 | 180 | 67 | 247 | 3 | 13 | 16 | 21 |
| DSX-IV-33/1 | 373 | | 3 | 376 | 151 | 36 | 187 | 0 | 21 | 21 | 24 |
| DSX-IV-33 | 397 | | 1 | 398 | 125 | 39 | 164 | 0 | 7 | 7 | 8 |
| DSX-IV-32 | 347 | | 6 | 353 | 71 | 15 | 86 | 3 | 117 | 120 | 126 |
| DSX-IV-28/1 | 319 | | 8 | 327 | 98 | 39 | 137 | 2 | 99 | 101 | 109 |
| DSX-IV-27 | 401 | | 7 | 408 | 72 | 17 | 89 | 3 | 68 | 71 | 78 |
| DSX-IV-26 | 374 | | 4 | 378 | 153 | 38 | 191 | 0 | 24 | 24 | 28 |
| DSX-IV-25 | 317 | | 6 | 323 | 181 | 43 | 224 | 2 | 35 | 37 | 43 |
| DSX-IV-22 | 169 | | 1 | 170 | 205 | 3 | 208 | 1 | 175 | 176 | 177 |
| DSX-IV-21/1 | 123 | | 3 | 126 | 374 | 32 | 406 | 43 | 4 | 47 | 50 |
| DSX-IV-20/1 | 237 | | 17 | 254 | 173 | 26 | 199 | 0 | 114 | 114 | 131 |
| DSX-IV-19 | 258 | 6 | 264 | 165 | 2 | 167 | 37 | 84 | 121 | 127 | |
| DSX-IV-18 | 贝义西组 | 137 | 28 | 165 | 42 | 1 | 43 | 306 | 47 | 353 | 381 |
| DSX-IV-13/1 | | 165 | 2 | 167 | 154 | 4 | 158 | 16 | 243 | 259 | 261 |
| DSX-IV-10 | | 15 | 1 | 16 | 71 | 1 | 72 | 479 | 0 | 479 | 480 |
| DSX-IV-09 | | 16 | 3 | 19 | 62 | 1 | 63 | 485 | 2 | 487 | 490 |
| DSX-IV-03 | | 155 | 2 | 157 | 39 | 1 | 40 | 0 | 369 | 369 | 371 |

注:Qt.石英颗粒总数(Qm+Qp);Qm.单晶石英;Qp.多晶石英质碎屑(包括燧石);F.单晶长石总数(P+K);P.斜长石;K.钾长石;Lt.多晶质岩屑(L+Qp);L.不稳定岩屑(Lv+Ls);Lv.火山岩岩屑;Ls.沉积岩岩屑。

表 2 依格孜塔格剖面南华系砂岩碎屑组分统计结果

Table 2 Detrital model of sandstones from the Nanhua System at Yigezitage Section

| 样号 | 地层 | Qm | Qp | Qt | P | K | F | Lv | Lm | Ls | L | Lt |
|--------|------|-----|----|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|-----|
| I-24 | 照壁山组 | 168 | 59 | 227 | 57 | 8 | 65 | 11 | 1 | 13 | 26 | 85 |
| I-23/1 | | 172 | 83 | 255 | 60 | 10 | 70 | 16 | 0 | 10 | 26 | 109 |
| I-23 | | 237 | 39 | 276 | 55 | 13 | 68 | 0 | 0 | 5 | 5 | 44 |
| I-18/1 | 贝义西组 | 227 | 3 | 230 | 81 | 0 | 81 | 6 | 6 | 26 | 38 | 41 |
| I-10 | | 232 | 10 | 242 | 75 | 6 | 81 | 16 | 5 | 5 | 26 | 36 |
| I-08 | | 191 | 5 | 196 | 105 | 4 | 109 | 10 | 5 | 8 | 23 | 28 |
| I-06 | | 199 | 2 | 201 | 136 | 7 | 143 | 0 | 4 | 5 | 9 | 11 |
| I-05 | | 201 | 11 | 212 | 94 | 5 | 99 | 2 | 12 | 0 | 14 | 25 |
| I-03 | | 155 | 16 | 171 | 75 | 17 | 92 | 0 | 41 | 0 | 41 | 57 |

注: Lm. 变质岩岩屑, 统计中只包括浅粒岩、变粒岩、片麻岩、片岩等区域变质岩岩屑。

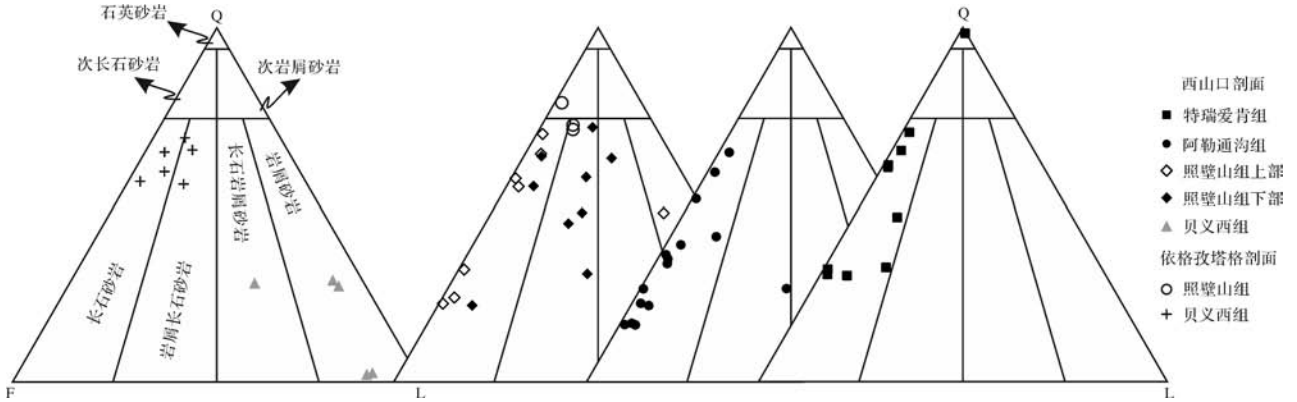


图 4 南华纪砂岩分类(底图据文献[48])

Fig.4 The classification diagrams of the sandstones from the Nanhua System (after reference[48])

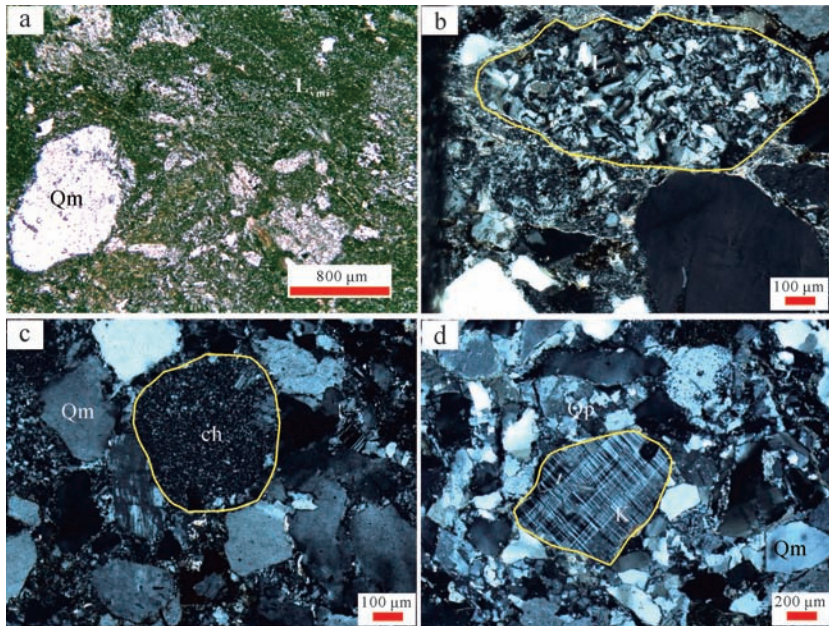


图 5 西山口剖面南华系各组砂岩岩性特征(正交偏光)

a. 西山口剖面贝义西组含大量火山岩岩屑的砂岩; b. 长英质火山岩岩屑(贝义西组); c. 硅质岩岩屑(照壁山组); d. 微斜长石(照壁山组); Qm. 单晶石英; Qp. 多晶石英质碎屑; K. 钾长石; Lv. 长英质火山岩岩屑; Lvmi. 微晶火山岩岩屑; ch. 硅质岩岩屑。

Fig.5 Lithology characteristics of the sandstones from the Nanhua System at Xishankou section (Orthogonal polarized light)

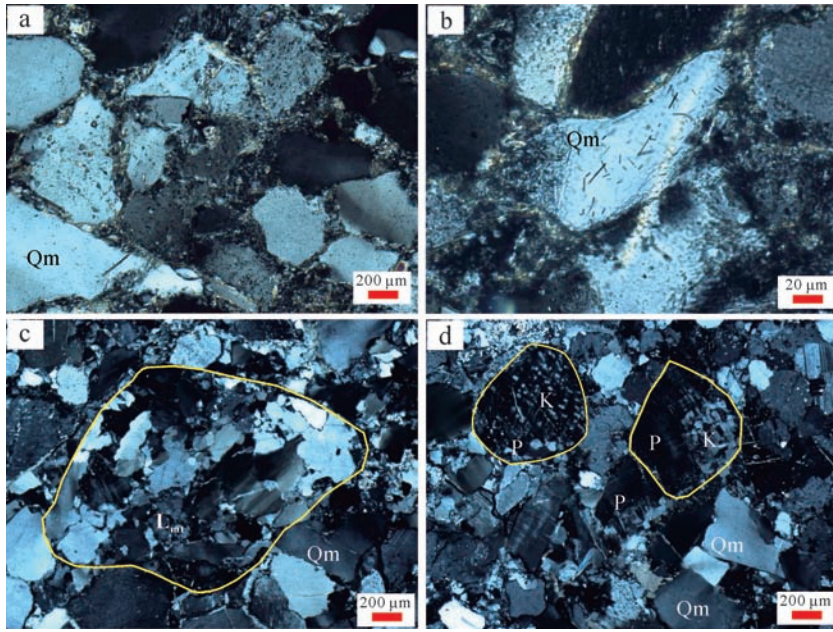


图6 依格孜塔格剖面南华系各组砂岩岩性特征(正交偏光)

a.依格孜塔格剖面贝义西组砂岩;b.富含金红石包裹体的单晶石英(贝义西组);c.石英岩岩屑(贝义西组);d.斜长石内发育钾长石出溶体(贝义西组);L_m:变质岩岩屑。

Fig.6 Lithology characteristics of sandstones from the Nanhua System at Yigezitage section (Orthogonal polarized light)

砂岩,上部主要为长石砂岩(图4),相比该区贝义西组,其长石含量增加,可见微斜长石(图5d),岩屑含量减少,岩屑类型与下伏贝义西组基本一致。依格孜塔格剖面照壁山组为岩屑长石砂岩和次长石砂岩(图4),仅相当于西山口剖面照壁山组的下部(图2),这一地区照壁山组以硅质岩、沉积岩和火山岩岩屑的出现为特征区别于下伏贝义西组。该组碎屑颗粒整体磨圆较好,呈次棱角—圆状,部分圆状,反映岩石结构成熟度较高。

阿勒通沟组碎屑岩主要为长石砂岩(图4),仅一个样品落入岩屑长石砂岩区。该组砂岩长石含量很高,主要由斜长石和钾长石组成,其中斜长石含量在40%~80%(P/QFL)之间,钾长石含量仅5%(K/QFL)左右;石英主要为单晶石英,次棱—圆状;岩屑不足2%(L/QFL)。

特瑞爱肯组主要发育含冰碛砂岩等冰碛岩和砂岩—粉砂岩等正常碎屑岩,本文碎屑组分统计主要针对含冰碛砂岩的基质以及正常沉积砂岩。统计结果表明该组样品主要为长石砂岩,并有一个样品为石英砂岩(图4)。该组砂岩中石英主要为单晶石英,含量60%~70%(Q/QFL),多晶石英不足1%(Q_p/QFL),多数石英具波状、带状消光,有的具变形纹,部分石英颗粒具次生加大边,冰碛岩杂基中石英为棱

角状—次棱角状,少数为次圆状,间冰期砂岩中石英为次圆状—圆状。该组碎屑岩中长石含量较高,主要由斜长石组成,多为棱角状—次棱角状,各别斜长石形态复杂,整体反应气候干燥寒冷的特征。

3.2 古水流

在西山口剖面照壁山组重力流成因的含砾砂岩中测量了6组前积纹层产状,测量结果分别为:69°∠46°;69°∠40°;65°∠28°;60°∠40°;55°∠25°;83°∠60°,地层产状为91°∠40°。通过Stereo软件进行原始产状矫正并绘制玫瑰花图,指示古水流方向为351.8°(图2),说明碎屑物质来自库鲁克塔格南部,可能来自古老的塔里木克拉通。

4 讨论

4.1 砂岩碎屑组分垂向变化特征指示的沉积转型事件

表1、2和图7显示了研究区南华系砂岩各碎屑组分含量在各剖面垂向上的变化特征。图7中每个横线代表了一个统计样品,其不同碎屑类型在横线中所占比例即其相对的百分含量,如图7a反映了西山口剖面所有样品长石、石英和岩屑的相对含量在垂向的变化关系。

图7a~d直观的显示出西山口地区砂岩具如下

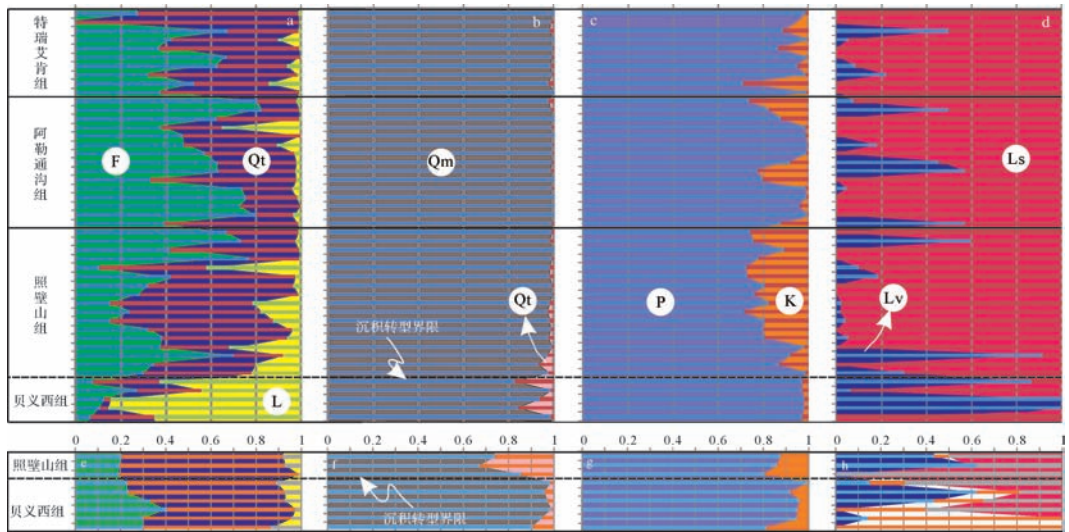


图7 南华系砂岩碎屑组成变化特征

a~d.为西山口剖面砂岩组成垂向变化特征,e~h.依格孜塔格剖面砂岩组成垂向变化特征;图中每一个横线代表一个样品的统计结果,各碎屑类型在横线中的长度占比即其相对百分含量。

Fig.7 Vertical changes of detrital composition of sandstone from the Nanhua System

规律:1)自南华系贝义西组沉积期至特瑞艾肯组沉积期,砂岩中石英、长石含量显著增多,岩屑含量急剧减少;2)在贝义西组沉积期和照壁山组沉积期之间,碎屑组成发生了突变,岩屑含量减少了6倍,石英和长石的含量分别增加了2~3倍。另外贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组和特瑞艾肯组砂岩中多晶石英的平均含量分别为8%、2%、0.5%和0.7%(Qp/Qt),钾长石的含量分别为2%、20%、10%和16%(K/F),也说明贝义西组沉积期和照壁山组沉积期之间存在沉积转型事件。

同理图7e~h反映依格孜塔格地区照壁山组和贝义西组相比其多晶石英明显增多,变质岩岩屑基本消失,这是因为至照壁山组沉积期,岩屑由变质岩转变为硅质岩、沉积岩的原因导致的。横向对比两地剖面,贝义西组沉积时期,西山口剖面岩屑以火山岩岩屑为主平均含量约73%(Lv/L),部分层位高达100%(Lv/L),沉积岩岩屑含量波动较大(图7d),而依格孜塔格剖面岩屑以变质岩岩屑为主(图7h),然而照壁山组及以后的各组中,两地岩屑均以沉积岩岩屑为主,火山岩岩屑和变质岩岩屑的平均含量极低,这也是沉积转型的有力证据,说明自照壁山组开始岩石组成南北差异消失,不同区域上趋于一致。

Xu et al.^[21]精确测定贝义西组顶部火山岩年龄为725 Ma,因此我们认为下南华统贝义西组和中南华统照壁山组沉积之间,即725 Ma±,库鲁克塔格地区发生

了一个重大的沉积转型事件,使碎屑组分发生明显变化,且越过此界线后不同地区砂岩组成趋于一致。

4.2 物源分析

西山口地区贝义西组砂岩中含量最高的碎屑为岩屑,均由火山岩(流纹岩、安山岩及少量的英安岩)和沉积岩(黏土岩、砂质黏土岩、粉砂岩、变质黏土质粉砂岩、变质粉砂岩等)组成,二者交替成为砂岩的主要岩屑,说明物源区曾出露对应的岩石组合,这一岩石组合与下伏帕尔岗塔格群岩石组成十分相近。砂岩内再旋回火山岩屑的时代能通过相关碎屑锆石的年龄分布来制约^[49],西山口地区贝义西组砂岩中岩屑平均占比约70%(L/QFL),且其中70%~100%(Lv/L)为火山岩岩屑,结合该区贝义西组碎屑锆石829 Ma的峰值(该峰值占比为50.53%)信息^[43],可以推知其源岩时代为829 Ma±,和前裂谷地层帕尔岗塔格群中酸性火山岩基本对应^[38],因此其物源为下伏帕尔岗塔格群的推论成立。依格孜塔格地区贝义西组砂岩主要碎屑为石英,单晶石英平均含量为60%,内含丰富的金红石等矿物包裹体(图6b),说明母岩可能为高级变质岩,多晶石英平均含量2%,主要为纯净的石英岩(图6c),长石中可见钾长石出溶体(图6d)及大量矿物包裹体,也说明其物源为高级变质岩,岩屑主要为变质岩岩屑,包括浅变粒岩、片麻岩等,与下伏兴地塔格岩群岩石组成一致。

经725 Ma沉积转型事件后,照壁山组及以后各

组砂岩岩石组成近于一致,皆以石英和长石为主要骨架颗粒,岩屑含量明显降低。其极高的 Q_m/Q 比值可能指示长距离的搬运或其物源主体为岩体或老的再旋回沉积岩^[50],但是大量的长石不支持长距离的搬运和再旋回沉积岩物源。石英的波状消光和较多的气、液包裹体也是对岩体物源的指示,说明下伏地层已不是主要剥蚀区,主要物源转为岩浆岩区。

由以上分析可知,南华系主要物源为下伏帕尔岗塔格群碎屑岩和火山岩、兴地塔格群变质岩以及古元古代和青白口纪的多期岩浆岩。贝义西组源岩具有地域差异性,以下伏地质体的近源堆积为主,碎屑物质流通不足,该组之上经历沉积转型事件后物源趋于统一,以岩浆岩等基底物质的剥蚀为主。

4.3 物源区构造背景演化

三角图解能直观的揭示砂岩组成在时空上的显著变化^[51]。为了减少砂岩骨架颗粒数据的统计误差,量化差异并以评估各组砂岩组成模式在时空上的演化,图中将各组的所有数据和平均值及一次标准差全部标识在内(图8,9)。

南华系各组Q-F-L图解(图8)的综合对比显示了其明显且规律的物源变化。贝义西组沉积时期西山口地区物源来自火山弧物源区,虽然整体表现出了未切割岛弧—过渡弧的性质,但沿自下而上层序来看并非如此,而是毫无规律的分布(图8A中虚线),依格孜塔格地区物源区主体为过渡大陆区属性;照壁山组时期来自火山弧的物源基本消失,两地物源区构造背景皆向克拉通转变(图8中线a-b),同时又有再旋回造山带物源的加入,指示由贝义西组—照壁山组物源区变得更加复杂,这也是对上述沉积转型事件的反映,其中照壁山组下部整体以再旋回造山带为主要物

源,上部以大陆板块为主要物源(图8B中虚线);阿勒通沟组沉积时期,再旋回造山带物源消失,物源转为成熟度或稳定性较差的克拉通地块(图8中线c-d),主要物源类型有基底隆起和过渡大陆区两类;到特瑞艾肯组沉积阶段物源区由成熟度或稳定性较差的克拉通地块转移至稳定性和成熟度较好的克拉通地块(图8中e-f),并有一个样品落入了克拉通内部区域。值得注意的是南华系砂岩除西山口地区贝义西组外其余砂岩组成和典型裂谷盆地(红海—亚丁湾)^[10]砂岩的组成十分一致(图8)。

Qm-F-Lt图解将Q-F-L图解所能反映的物源区信息进行了保留和加强,尤其是对大陆板块物源的确定和对再旋回造山带物源的强调^[1]。在这个图解上(图9),西山口地区贝义西组物源区显示出了火山弧和再旋回造山带的特征,且再旋回造山带属岩屑再旋回造山带,而依格孜塔格地区几乎全部属于过渡大陆区物源;照壁山组主要为基底隆起和过渡大陆区,少量为石英再旋回物源,另外还有些混合物源;阿勒通沟组和特瑞艾肯组几乎所有样品都落入了大陆板块物源区,分布范围主要包括基底隆起和过渡大陆区,这说明照壁山组之后物源区变的简单,之前的造山带物源已剥蚀殆尽。

综合以上分析,西山口地区南华系物源区的构造背景存在火山弧、再旋回造山带→大陆板块的演化趋势,而依格孜塔格地区物源区则长期显示大陆板块属性。

4.4 南华纪盆地构造背景及演化

Dickinson^[2]指出在Q-F-L及Qm-F-Lt图解中,物源来自基底隆起,说明盆地可能为裂谷肩部或大陆板块平移断层相邻的线状地堑盆地或拉张盆地,物源来

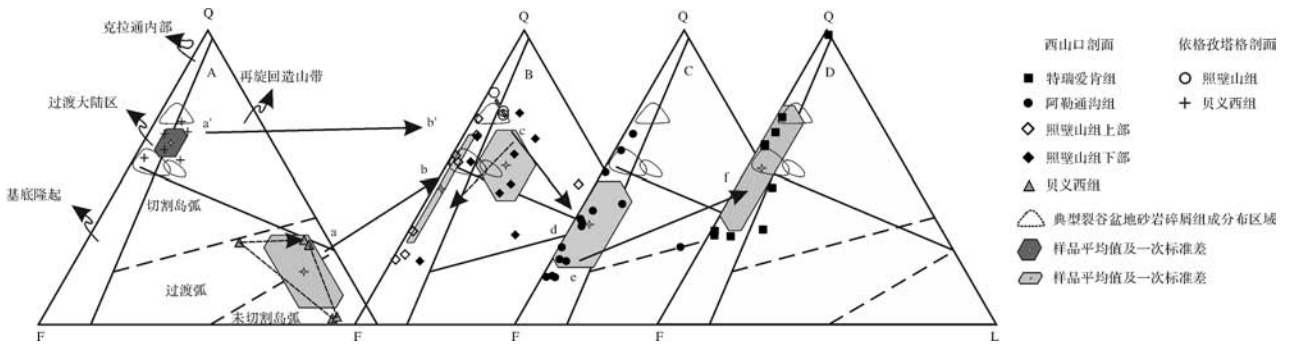


图8 Q-F-L图解指示的库鲁克塔格南华系物源区构造背景及演化信息(底图据文献[2])

典型裂谷盆地指红海—亚丁湾,据 Garzanti *et al.*^[10]

Fig.8 Tectonic setting and evolution of source area of the Nanhua System from Quruqtagh indicated by the Q-F-L diagrams (after reference [2]). Typical rift basin are referred to Red Sea and Gulf of Aden, from Garzanti *et al.*^[10]

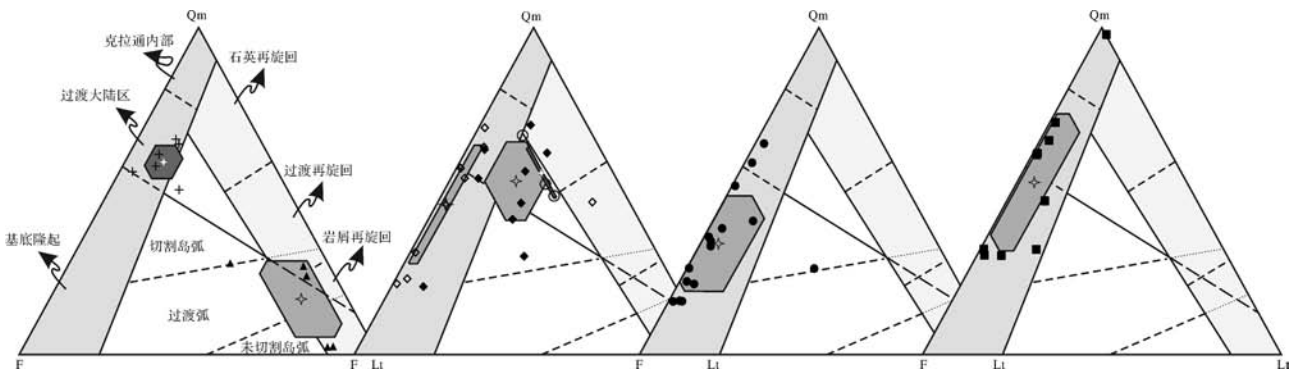


图9 Qm-F-Lt图解指示的物源区构造背景及演化信息,图例同图7(底图据文献[2])

Fig.9 Tectonic setting and evolution of source area indicated by the Qm-F-Lt diagrams, the legend as in figure 7 (after reference[2])

自稳定克拉通,说明盆地构造背景为大陆内部或被动大陆边缘,因此物源类型和构造背景能有机的对应起来。引言中也已介绍了几类典型盆地砂岩的岩石组成特征。然而大陆裂谷并没有被明确的包含在大多数构造—物源类型图解中(比如 Dickinson 三角图解)^[2],这种排除是由以下两个原因导致的:1)多数裂谷盆地的源岩变化大,当在一级水域采样时,不同的源岩导致极其不同的砂岩组成;2)当采样在二级或三级水域时,隆起的基底和上覆地层控制了砂岩成分,使其产生“大陆板块”的组成,因此大陆裂谷主要产石英长石砂(理想的长石砂岩),和前陆山间盆地相似^[6]。但 Garzanti *et al.*^[10]和 Arribas *et al.*^[12]近年分别对红海—亚丁湾和西班牙典型裂谷盆地的砂岩组成模式进行了系统研究,并取得了较为理想的结果,可以为其他地区裂谷盆地研究提供一定的借鉴。他们的研究表明裂谷边缘砂主要来自构造扩张高潮之前、之时、之后侵入的火山—深成岩和来自前裂谷的地层以及裂谷板块隆升过程中逐渐去顶的下伏结晶基底(即裂谷肩部物源,根据去顶情况又可以分为未切割的裂谷肩部、过渡裂谷肩部和切割的裂谷肩部)。裂谷作用早期裂谷边缘沉积物的主要物源为前裂谷地层,主要产出石英岩屑砂岩,且岩屑类型与前裂谷地层一致;第二阶段主要发育石英长石砂岩,物源来自刚刚被切割的裂谷肩部出露的基底岩石中的低—中级变质地体,产出的砂和典型长石砂岩相比具有较高的石英含量;裂谷肩部能阻挡裂谷外物源的进入,待裂谷肩部被剥蚀后外部物源进入,形成克拉通内部物源^[10,12]。基于上述认识,就能将砂岩的碎屑组成和其所处大地构造背景联系起来,并根据碎屑组成模式在时空上的变化来探讨盆地的演化。

库鲁克塔格除西山口地区贝义西组外其余各组

砂岩在 Q-F-L 及 Qm-F-Lt 图解中多数都分布在大陆板块区域内(图 8,9),迥异于岛弧相关盆地的砂岩组成特征^[1-2,4,13-14],各组砂岩的组成在时间上存在显著的石英、长石含量增加,岩屑含量急剧减少的特征,在三角图解中反映出从基底隆起到过渡大陆区再到克拉通内部的连续变化,这些特点也迥异于岛弧相关盆地和前陆盆地^[15,52]。由前述岩石分类可知,南华系砂岩主要为长石砂岩,且石英含量略高于“典型长石砂岩”,另有少量岩屑长石砂岩,仅西山口贝义西组发育岩屑砂岩,这样的岩石组成与大陆裂谷相同(图 8)^[10],且其岩石组成在时间上的演化也与典型裂谷盆地一致^[10,12]。此外,岛弧相关盆地的岩屑以火山碎屑为主,而南华系各组(贝义西组除外)的岩屑以沉积岩屑为主,也和岛弧相关盆地不一致。所以南华系应当沉积于裂谷盆地,碎屑组分在时间上规律的变化正是对裂谷盆地不同演化阶段的反映。

西山口地区贝义西组在 Q-F-L 及 Qm-F-Lt 图解中显示岩浆弧和岩屑再旋回物源区的特征,有两种可能的原因:1)其沉积于岩浆弧相邻的盆地,较多的岩屑是从同期火山弧上产生;2)过多的岩屑来自裂谷前的地层。前文已证明其火山岩岩屑来自下伏地层,否定了第一种可能性。同时 Ingersoll^[6]及 Ingersoll *et al.*^[7]指出在一级水域下,砂岩的组成模式反映的仅仅是物源区的岩石组成信息,二级水域下能用于在给定的构造背景中确定物源区域,三级水域下(大洋盆地和大陆)砂岩的碎屑组成模式才和沉积盆地的构造背景及物源区的构造背景有关。贝义西组沉积于盆地底部,为陆相—海陆过渡相的初始地堑沉积^[39-40],其物源来自地堑底部和地堑边部,属于 Ingersoll 定义的 1-2 级样品,其岩石组成反映的仅仅是相邻物源区的物质组成信息,不反映板块构造背景,

因此西山口贝义西组物源区显火山弧特征而依格孜塔格地区物源区却属于过渡大陆区。

Gawthorpe *et al.*^[53]指出海相裂谷盆地的演化经过半地堑盆地的相互连通和作用过程,导致原轴向水系为主的物源供给方式转变为横向物源供给,且形成肩部来源的三角洲。这种物源区的转变必定会导致砂岩组成上的变化,因此贝义西组—照壁山组间的沉积转型事件正是对半地堑盆地互相连通、相互作用的记录。照壁山组沉积构造指示其物源来自南部塔里木克拉通且为重力流搬运,早期为岩屑长石砂岩,岩石组成显示出再旋回造山带物源的加入,说明物源区尚处于浅切割状态,基底并未完全暴露,应当属于过渡裂谷肩部环境,而后期才转为切割裂谷肩部环境。

阿勒通沟组物源全部来自基底隆起、过渡大陆区,说明其物源可能为成熟裂谷的肩部,特瑞艾肯组沉积物主要来自过渡大陆区甚至到克拉通内部,说明其构造背景相对稳定,裂谷肩部已被完全剥蚀,可能已经形成了被动大陆边缘的构造背景^[2]。

综合以上物源分析和构造背景讨论的结果,总结如下:自南华系与下伏地质体的不整合面为起点,裂谷盆地开始发育;贝义西组沉积时期为初始大陆裂谷,盆内发育多个半地堑型盆地,物质流通差,物源主要来自地堑盆地内及斜坡带的前裂谷地层(帕尔岗塔格群)或先期隆升变质基底(兴地塔格群),物源方向为轴向(为主)和横向两个方向^[54],物源局限(图10a);随后裂谷盆地进入快速沉降期,海平面不断上

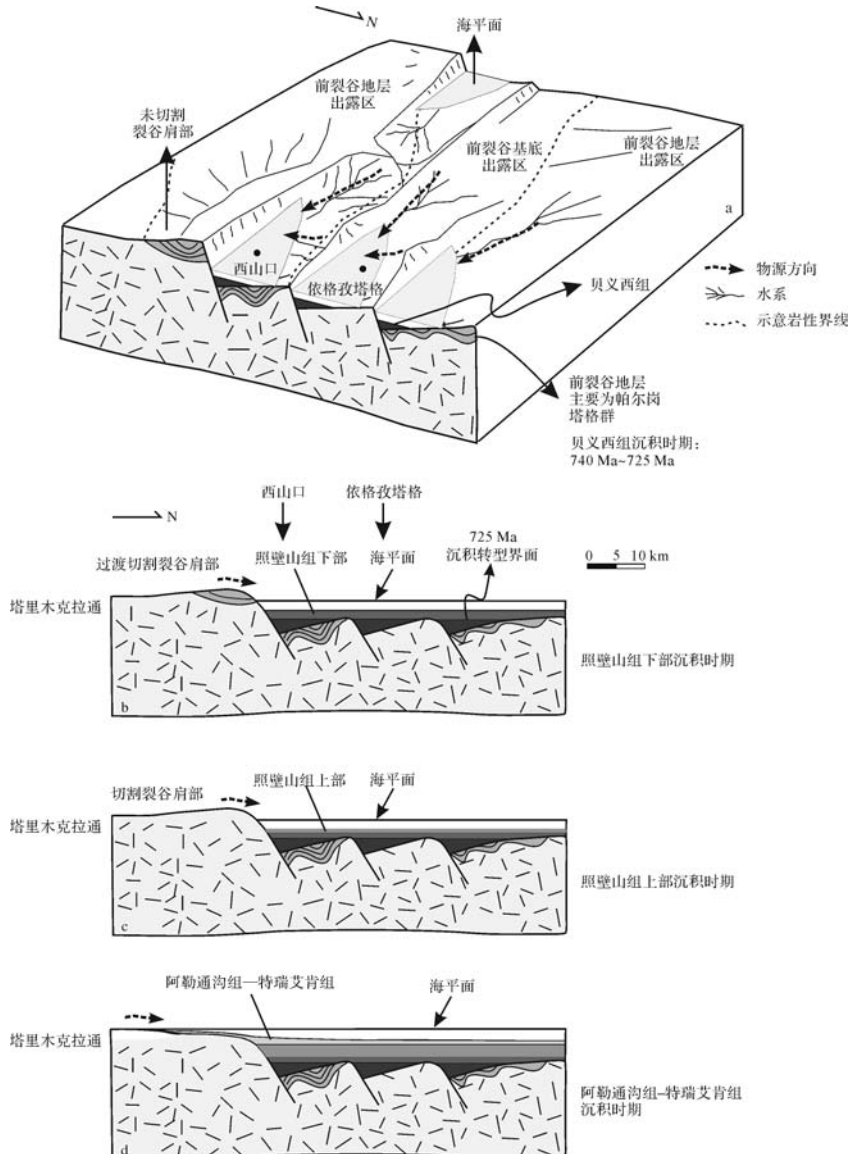


图10 南华系物源区变化及裂谷盆地演化模式简图(据文献[53,55])

Fig.10 Schematic model showing the provenance changes of the Nanhua System and the evolution of rift basin

升,海侵范围不断扩大,多个地堑盆地相互连通,致使贝义西组和照壁山组间存在了一个显著的沉积转型事件(图 10b),该事件使物源区变的更加广阔和统一;照壁山组沉积时期,由于盆地的沉降和相对海平面的升高,原先的地堑盆地构造斜坡已不能提供物源,大量碎屑物质自盆地南部的裂谷肩部以浊流的形式搬运而来,照壁山组下部沉积时期物源区尚出露有浅切割的前裂谷地层,属于过渡裂谷肩部物源区(图 10b),照壁山组上部沉积时期南部裂谷肩部已完全去顶,属于切割裂谷肩部物源区(图 10c);阿勒通沟组—特瑞艾肯组沉积时期,该裂谷近于成熟阶段,形成了初始的被动大陆边缘,构造背景稳定,物源以南部来自塔里木克拉通的过渡大陆区和大陆内部物源为主(图 10d)。

其实对塔北裂谷带的研究由来已久,尤以贾承造^[19,56]、段吉业等^[18]的研究最为详细。贾承造^[19,56]以兴地断裂和阿尔金山地区巴什考供断裂为界于塔里木东北缘划分出库鲁克塔格—满加尔坳拉槽(库—满坳拉槽),并将其分为南华—震旦纪“早期裂谷”、寒武—早奥陶世“拗拉槽沉降”、中奥陶世“拗拉槽充填”及晚奥陶世“拗拉槽消亡”四个演化阶段。段吉业^[18]又将该裂陷槽的范围进一步扩大,认为其可能北延至南天山一带。研究区位于库鲁克塔格西段,南华系砂岩完整记录了南华纪裂谷盆地自半地堑盆地形成—半地堑盆地连通—裂谷肩部剥蚀—初始被动大陆边缘形成的完整演化过程,正是对该坳拉槽早期演化的岩相学反映。

来自南华系砂岩碎屑组成的信息良好的揭示了库鲁克塔格南华纪裂谷盆地由次稳定大陆边缘向稳定大陆边缘转变的过程,但更为详细的裂谷盆地演化的信息还应当进一步从沉积环境和物源的配套上进行,这也是我们日后工作的重点。

5 结论

(1) 贝义西组沉积时期南北剖面碎屑岩岩石组成存在显著差异,西山口地区砂岩为岩屑砂岩,依格孜塔格地区砂岩为长石砂岩,之后各组这一差异消失,说明下南华统贝义西组沉积期和中南华统照壁山组沉积期间(725 Ma±)存在一个沉积转型事件,促使岩石组成趋于一致。

(2) 南华系砂岩的岩石组成和变化表明其主要物源为下伏帕尔岗塔格群碎屑岩和火山岩、兴地塔格群变质岩以及古元古代和青白口纪的多期岩浆岩,贝

义西组物源具有地域差异性,以下伏地层的近源堆积为主,碎屑物质流通不足,贝义西组后经历沉积转型事件,物源趋于统一,转为岩体等基底物质。

(3) 南华系砂岩碎屑组成与大陆裂谷砂岩一致,其物源区多为大陆板块属性,迥异于岛弧相关盆地、前陆盆地等,说明其处于大陆裂谷背景。贝义西组—特瑞艾肯组分别代表了裂谷演化的不同阶段,且其物源区存在由前裂谷地层—过度裂谷肩部—切割裂谷肩部—克拉通内部的连续演化过程。

参考文献 (References)

- [1] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(12): 2164-2182.
- [2] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones [M]//Zuffa G G. Provenance of Arenites. Netherlands: Springer, 1985: 333-361.
- [3] Ingersoll R V, Suczek C A. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218 [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1979, 49(4): 1217-1228.
- [4] Ingersoll R V. Composition of modern sand and Cretaceous sandstone derived from the Sierra Nevada, California, USA, with implications for Cenozoic and Mesozoic uplift and dissection [J]. Sedimentary Geology, 2012, 280: 195-207.
- [5] Dickinson W R, Valloni R. Plate settings and provenance of sands in modern ocean basins [J]. Geology, 1980, 8(2): 82-86.
- [6] Ingersoll R V. Actualistic sandstone petrofacies: discriminating modern and ancient source rocks [J]. Geology, 1990, 18(8): 733-736.
- [7] Ingersoll R V, Kretchmer A G, Valles P K. The effect of sampling scale on actualistic sandstone petrofacies [J]. Sedimentology, 1993, 40(5): 937-953.
- [8] Critelli S, Pera E, Ingersoll R V. The effects of source lithology, transport, deposition and sampling scale on the composition of southern California sand [J]. Sedimentology, 1997, 44(4): 653-671.
- [9] Garzanti E, Andò S, Vezzoli G. The continental crust as a source of sand (Southern Alps cross section, northern Italy) [J]. The Journal of Geology, 2006, 114(5): 533-554.
- [10] Garzanti E, Vezzoli G, Andò S, et al. Petrology of rifted-margin sand (Red Sea and Gulf of Aden, Yemen) [J]. The Journal of Geology, 2001, 109(3): 277-297.
- [11] Garzanti E, Vezzoli G, Lombardo B, et al. Collision-orogen provenance (Western Alps): detrital signatures and unroofing trends [J]. The Journal of Geology, 2004, 112(2): 145-164.
- [12] Arribas J, Alonso Á, Mas R, et al. Sandstone petrography of continental depositional sequences of an intraplate rift basin: western Cameros Basin (North Spain) [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(2): 309-327.
- [13] Marsaglia K M, Ingersoll R V. Compositional trends in arc-related, deep-marine sand and sandstone: a reassessment of magmatic-arc provenance [J]. The Geological Society of America Bulletin, 1992,

- 104(12): 1637-1649.
- [14] Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, et al. Provenance of north American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. The Geological Society of America Bulletin, 1983, 94(2): 222-235.
- [15] Hulka C, Heubeck C. Composition and provenance history of late Cenozoic sediments in southeastern Bolivia; implications for Chaco foreland basin evolution and Andean uplift[J]. Journal of Sedimentary Research, 2010, 80(3): 288-299.
- [16] 高林志, 郭宪璞, 丁孝忠, 等. 中国塔里木板块南华纪成冰事件及其地层对比[J]. 地球学报, 2013, 34(1): 39-57. [Gao Linzhi, Guo Xianpu, Ding Xiaozhong, et al. Nanhua glaciation event and its stratigraphic correlation in Tarim Plate, China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2013, 34(1): 39-57.]
- [17] 高林志, 王宗起, 许志琴, 等. 塔里木盆地库鲁克塔格地区新元古代冰碛岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄新证据[J]. 地质通报, 2010, 29(2): 205-213. [Gao Linzhi, Wang Zongqi, Xu Zhiqin, et al. A new evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of the Neoproterozoic diamictite in Quruqtagh area, Tarim Basin, Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2): 205-213.]
- [18] 段吉业, 夏德馨, 安素兰. 新疆库鲁克塔格新元古代—早古生代裂陷槽深水沉积与沉积—构造古地理[J]. 地质学报, 2005, 79(1): 7-14. [Duan Jiye, Xia Dexin, An Sulan. Deep-water sedimentation and sedimento-tectonopaleogeography of the Neoproterozoic-Early Palaeozoic Aulacogen in Kuruktag, Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1): 7-14.]
- [19] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. [Jia Chengzao. Tectonic Characteristics and Petroleum Tarim Basin China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.]
- [20] Xu Bei, Jian Ping, Zheng Haifeng, et al. U-Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China; implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations[J]. Precambrian Research, 2005, 136(2): 107-123.
- [21] Xu Bei, Xiao Shuhai, Zou Haibo, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China [J]. Precambrian Research, 2009, 168(3/4): 247-258.
- [22] Zhu Wenbin, Zhang Zhiyong, Shu Liangshu, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Neoproterozoic Korla mafic dykes in the northern Tarim Block, NW China; implications for the long-lasting breakup process of Rodinia[J]. Journal of the Geological Society, 2008, 165(5): 887-890.
- [23] Zhu Wenbin, Zheng Bihai, Shu Liangshu, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Korla mafic dykes: constraints on the Neoproterozoic continental breakup in the Tarim Block, northwest China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42(5): 791-804.
- [24] Shu L S, Deng X L, Zhu W B, et al. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: new geochronological insights from the Quruqtagh domain[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 42(5): 774-790.
- [25] 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 新疆古块体的形成与演化[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 43-60. [Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, et al. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang [J]. Geology in China, 2013, 40(1): 43-60.]
- [26] Ge Rongfeng, Zhu Wenbin, Wilde S A, et al. Neoproterozoic to Paleozoic long-lived accretionary orogeny in the northern Tarim Craton[J]. Tectonics, 2014, 33(3): 302-329.
- [27] Ge Rongfeng, Zhu Wenbin, Zheng Bihai, et al. Early Pan-African magmatism in the Tarim Craton: insights from zircon U-Pb-Lu-Hf isotope and geochemistry of granitoids in the Korla area, NW China [J]. Precambrian Research, 2012, 212-213: 117-138.
- [28] 张英利, 王宗起, 闫臻, 等. 库鲁克塔格地区新元古代贝义西组的构造环境: 来自碎屑岩地球化学的证据[J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1785-1796. [Zhang Yingli, Wang Zongqi, Yan Zhen, et al. Tectonic setting of neoproterozoic Beiyixi Formation in Quruqtagh area, Xinjiang: Evidence from geochemistry of clastic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(6): 1785-1796.]
- [29] 高振家. 前寒武纪地质: 新疆北部前寒武系. 第6号[M]. 北京: 地质出版社, 1993. [Gao Zhenjia. The Precambrian Geology in Northern Xinjiang. Number Sixth[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.]
- [30] Dickinson W R. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose[J]. Journal of Sedimentary Research, 1970, 40(2): 695-707.
- [31] 刘兵, 徐备, 孟祥英, 等. 塔里木板块新元古代地层化学蚀变指数研究及其意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1664-1670. [Liu Bing, Xu Bei, Meng Xiangying, et al. Study on the chemical index of alteration of neoproterozoic strata in the Tarim Plate and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(7): 1664-1670.]
- [32] Lu Songnian, Li Huaikun, Zhang Chuanlin, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments[J]. Precambrian Research, 2008, 160(1/2): 94-107.
- [33] Zhang Chuanlin, Zou Haibo, Li Huaikun, et al. Tectonic framework and evolution of the Tarim Block in NW China[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1306-1315.
- [34] Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Min, et al. The discovery of the oldest rocks in the Kuluketage area and its geological implications [J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(3): 342-348.
- [35] Zhang Chuanlin, Li Huaikun, Santosh M, et al. Precambrian evolution and orationization of the Tarim Block, NW China: petrology, geochemistry, Nd-isotopes and U-Pb zircon geochronology from Archaean gabbro-TTG - potassic granite suite and Paleoproterozoic metamorphic belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 47: 5-20.
- [36] 孙敏佳, 郭瑞清, 帕拉提·阿布都卡迪尔, 等. 新疆库鲁克塔格富铝片麻岩变质作用及锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 新疆地质, 2015, 33(4): 449-455. [Sun Minjia, Guo Ruiqing, Palati

- Abudukadir, et al. Metamorphism and U-Pb dating of Al-rich gneisses in Quruqtagh, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 2015, 33(4): 449-455.]
- [37] 曹晓峰,吕新彪,高翔,等. 新疆库鲁克塔格前寒武纪地块岩浆热事件及构造演化[J]. *新疆地质*, 2012, 30(4): 384-391. [Cao Xiaofeng, Lü Xinbiao, Gao Xiang, et al. Magmatic activities and tectonic evolution of Xinjiang Precambrian Kuluketage Block, NW China[J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(4): 384-391.]
- [38] 吕彪,郭瑞清,王海培,等. 新疆库鲁克塔格青白口系北塞纳尔塔格组流纹岩的成因及其地质意义[J]. *地质科学*, 2016, 51(3): 806-823. [Lü Biao, Guo Ruiqing, Wang Haipei, et al. Petrogenesis and geological implication of the Qingbaikouan System Beisainartag Formation metarhyolite in Quruqtagh, Xinjiang[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2016, 51(3): 806-823.]
- [39] 高振家,林蔚兴,陆松年,等. 新疆库鲁克塔格地区震旦系沉积特征的初步研究[C]//中国地质科学院沈阳地质矿产研究所文集. 北京:中国地质学会, 1982; 15-29. [Gao Zhenjia, Lin Weixing, Lu Songnian, et al. Preliminary analysis of the sedimentary features of Quruqtagh Group in Quruqtagh area, Xinjiang region[C]//*Bull Shenyang Inst. Geol. Min. Res, Chinese Acad. Geol. Sci.* 1982; 15-29.]
- [40] 张艳,王璞珺,刘万洙,等. 库鲁克塔格地区震旦系冰碛岩沉积环境及意义[J]. *新疆地质*, 2006, 24(4): 365-368. [Zhang Yan, Wang Pujun, Liu Wanzhu, et al. Sedimentary environment of the Neoproterozoic in Quruqtagh region[J]. *Xinjiang Geology*, 2006, 24(4): 365-368.]
- [41] 裴羽,何幼斌,李华,等. 高密度浊流和砂质碎屑流关系的探讨[J]. *地质论评*, 2015, 61(6): 1281-1292. [Pei Yu, He Youbin, Li Hua, et al. Discuss about relationship between high-density turbidity current and sandy debris flow[J]. *Geological Review*, 2015, 61(6): 1281-1292.]
- [42] Zhang Yingli, Wang Zongqi, Yan Zhen, et al. Neoproterozoic volcanic rocks in the southern Quruqtagh of northwest China: geochemistry, zircon geochronology and tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2013, 87(1): 118-130.
- [43] He Jingwen, Zhu Wenbin, Ge Rongfeng. New age constraints on Neoproterozoic diamictites in Kuruktag, NW China and Precambrian crustal evolution of the Tarim Craton [J]. *Precambrian Research*, 2014, 241: 44-60.
- [44] 王成善,李祥辉. 沉积盆地分析原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2003. [Wang Chengshan, Li Xianghui. *Sedimentary Basin: From Principles to Analyses*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003.]
- [45] 马收先,孟庆任,曲永强. 轻矿物物源分析研究进展[J]. *岩石学报*, 2014, 30(2): 597-608. [Ma Shouxian, Meng Qingren, Qu Yongqiang. Development on provenance analysis of light minerals[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 597-608.]
- [46] Ingersoll R V, Bullard T F, Ford R L, et al. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1984, 54(1): 103-116.
- [47] 李忠,李任伟,孙枢,等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组及其物源构造属性[J]. *岩石学报*, 1999, 15(3): 438-445. [Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, et al. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, South Hefei Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3): 438-445.]
- [48] Folk R L. *Petrology of Sedimentary Rocks*[M]. Austin, Texas: Hemphill Publishing Company, 1974: 182.
- [49] Bussien D, Gombojav N, Winkler W, et al. The Mongol - Okhotsk Belt in Mongolia—an appraisal of the geodynamic development by the study of sandstone provenance and detrital zircons[J]. *Tectonophysics*, 2011, 510(1/2): 132-150.
- [50] Johnsson M J. The system controlling the composition of clastic sediments[J]. *Geological Society of America Special Papers*, 1993, 284: 1-20.
- [51] Yan Zhen, Wang Zongqi, Yan Quanren, et al. Geochemical constraints on the provenance and depositional setting of the Devonian Liuling Group, East Qinling Mountains, Central China: implications for the tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2012, 82(1): 9-20.
- [52] Nagel S, Castellort S, Garzanti E, et al. Provenance evolution during arc - continent collision: sedimentary petrography of Miocene to Pleistocene sediments in the western foreland basin of Taiwan[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2014, 84(7): 513-528.
- [53] Gawthorpe R L, Leeder M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins[J]. *Basin Research*, 2000, 12(3/4): 195-218.
- [54] Gawthorpe R L, Fraser A J, Collier R E L. Sequence stratigraphy in active extensional basins: implications for the interpretation of ancient basin-fills[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1994, 11(6): 642-658.
- [55] 吕明胜,薛良清,苏永地,等. 裂谷作用对层序地层充填样式的控制——以西非裂谷系 Termit 盆地下白垩统为例[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2012, 42(3): 647-656. [Lü Mingsheng, Xue Liangqing, Su Yongdi, et al. Rifting controls on sequence stratigraphic architecture: A case study in the lower Cretaceous of Termit Basin, West African Rift System[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2012, 42(3): 647-656.]
- [56] 贾承造. 塔里木盆地板块构造与大陆动力学[M]. 北京:石油工业出版社, 2004. [Jia Chengzao. *Plate Tectonic and Continental Dynamics of Tarim Basin*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.]

Changes of Detrital Composition of Sandstones from the Nanhua System, Quruqtagh Area: Implications on their provenance and the evolution of basin

WEI Zhen¹, GUO RuiQing¹, SUN MinJia², LÜ Biao¹, JIN JianBin¹, WANG HaiPei¹,
WANG MingYang¹

1. School of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: The Nanhua System in Quruqtagh area could record a synchronous volcanic-sedimentary events along the northern margin of the Tarim craton. The characteristics of the detrital components of Nanhua System sandstones from various sections indicate that sandstones from Bayisi Formation in different section have different detrital components. In Xishankou section, litharenites are the key components, in which the rock fragments are volcanic rocks and sedimentary rocks, obviously, indicating a recycled sedimentary provenance. Whereas, in Yigezitage section, the key components are arkoses and lithic arkoses, and the rock fragments are metamorphic rocks while there are lots of mineral inclusions in quartz, which all indicate a metamorphic provenance. Vertical variation of sandstone's detrital components recorded a transform event between the boundary of Bayisi Formation and Zhaobishan Formation(725 Ma±), which causes Zhaobihsan, Altungol and Tereeken Formation have a uniform sandstone component. Converted to a typical arkose composition those represent a basement uplift - transitional continental provenance. The detrital component of Nanhua System sandstones and temporal-spatial variation demonstrates a continental rift setting of Nanhua System at Quruqtagh area. Meanwhile, it also shows a successive provenance evolution from pre-rift sedimentary successions to transitional rift-shoulder to dissected rift-shoulder to transitional continental and craton interior. Consequently, the petrography of sandstones in Quruqtagh area records the early breakup of Quruqtagh-Mangar aulacogen.

Key words: Quruqtagh; Nanhua System; modal data on sandstones; transformation event; provenance; rift basin; evolution of the basin