

东昆仑东段新生代高原隆升重大事件的沉积响应

向树元¹, 王国灿¹, 邓中林²

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 2. 青海省地质调查研究院, 青海西宁 810012)

摘要: 根据新生代沉积盆地的地层序列、环境演变及地貌和水系变迁分析将研究区新生代高原隆升过程划分为5个重大事件。首次在研究区内海拔5400 m的主夷平面上发现古土壤、岩溶角砾岩及钟乳石等, 认为沱沱河组上段细碎屑沉积及五道梁组石膏沉积(中新世)是主夷平面形成期的沉积响应, 提出了主夷平面高程具有东西向排列的盆岭地貌特点, 这种高程差异反映了后期构造隆升的不均衡, 应该是上新世以来差异断块抬升的结果; 早更新世中期(1525.5 ka后)一套河流砂砾卵石沉积是青藏运动C幕的沉积响应, 体现在布尔汗布达山的强烈上升和成山; 早更新世晚期(1113.9~836.3 ka)先湖滨砾石沉积, 后转为河流砂砾卵石沉积, 是昆黄运动在研究区的沉积响应, 并体现在马尔争—布青山的强烈上升和成山, 中更新世早期冰碛物的发育说明昆黄运动后研究区已隆升达到“水汽冻结高度”; 研究区T₅阶地沉积前的强烈下蚀, 柴达木盆地内陆水系溯源侵蚀切过布尔汗布达山主分水岭, 袭夺了昆南断裂带原由西向东流向共和古湖的东西向水系并到达阿拉克湖一带, 晚更新世洪冲积角度不整合于中更新世洪冲积之上等是共和运动的具体表现。

关键词: 高原隆升; 夷平面; 昆黄运动; 新生代; 东昆仑。

中图分类号: P548

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)06-0615-06

作者简介: 向树元(1960—), 男, 副教授, 1982年毕业于武汉地质学院地质学专业, 1987年获构造地质学专业硕士学位, 现在攻读古生物学与地层学博士学位, 从事区域地质调查及第四纪地质研究和教学工作。E-mail: xshy@cug.edu.cn

青藏高原的形成是地球历史上最伟大的事件之一, 虽然它的隆升仅是最近几百万年以来的事件, 但究其根源却有着漫长的地质历史。通常认为是冈瓦纳大陆与欧亚大陆长期相互作用的结果^[1]。对青藏高原的隆起过程及其机制的研究仍然是一个争论的问题。关于高原隆升过程基本上有2种观点: (1)高原的隆起是两大陆碰撞后持续挤压—隆升的结果^[2]; (2)阶段性隆起^[3~6]。此外对隆升过程和加速上升发生的时间仍存在着重大分歧。比如 Harrison等^[4]主张青藏高原在8.0 Ma之前, 大体上已达到现代高程的高度, 并因此强化或激发了印度洋季风; Coleman和Hodges^[5]则主张青藏高原在14 Ma前已达到最大海拔高度, 以后因地壳减薄, 发生东西向拉伸塌陷。施雅风等^[7]、李吉均等^[3]则强调3.4 Ma

开始的青藏运动是高原加速上升的起始时间, 高原现在的巨大高度是通过上新世以来多次阶段性隆升到中更新世末的共和运动后才获得的。

研究区位于青藏高原东北缘东昆仑东段阿拉克湖—黄河源地区。北部东昆仑主脉布尔汗布达山, 呈近东西向; 中部东昆仑南分支脉马尔争—布青山, 呈北西西向; 马尔争—布青山以南为巴颜喀拉山丘陵盆地地区。与山系伴生发育的新生代沉积盆地特别是第四纪沉积盆地分布广泛, 地层较为齐全, 为研究该地区高原隆升过程提供了极为重要的物质基础。盆地演化主要受构造活动控制, 在一个大山脉周围, 普遍出现低洼盆地, 并伴随粗大山麓相砾石堆积, 应当说代表着山脉地形高度的增加。强烈的风化和相对集中的降水, 固然是导致以山洪、泥石流所成的砾石广泛发育的条件之一, 但隆升引起的地貌反差增大更是基础的条件。对于缺少新生代火山喷发的东昆仑东段来说, 利用沉积建造反演高原隆升过程的重大事件不失为一重要手段^[8]。

收稿日期: 2003-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40072062); 中国地调局1:25万阿拉克湖幅区域地质调查项目(No. 19991300004021); 国土资源部科技青藏高原新生代填图方法集成研究项目(No. 2000201-2-2)。

笔者根据新生代沉积盆地的地层序列、环境演变及地貌和水系变迁分析对研究区新生代高原隆升过程划分了 5 个重大事件。

1 喜马拉雅运动

研究区最老的新生代地层为沱沱河组(图 1), 为一套红色陆相碎屑岩建造。下段具明显的旋回结构特征, 即由砾岩—含砾砂岩—泥质粉砂岩构成的旋回沉积。中部岩性段基本层序特征为含砾粗砂岩与粉砂质泥岩构成的韵律性旋回沉积。上段表现为由粉砂岩、泥岩构成的向上变细的沉积韵律, 整套地层均为紫红色色调, 反映了干旱炎热的气候环境。沱沱河组分布于马尔争—布青山一带, 特别是在马尔争内部的断裂带中及研究区西部的布尔汗布达山南

北两侧均有分布, 并在靠近山系处往往为向山系外倾斜的中等角度倾角状, 说明沉积时马尔争—布青山和布尔汗布达山山系尚未形成。沱沱河组下段和中段以复成分砾岩为主的粗碎屑沉积物的出现, 揭示出研究区沱沱河组沉积的早中期发生了较强烈的构造运动, 但强氧化色反映的干旱炎热气候环境说明海拔高度低于 2 000 m。此期地面抬升发生于沱沱河组沉积的早中期, 笔者未获得沱沱河组时代资料。与区域资料对比, 沱沱河组中下段相当于沱沱河组正层型剖面——格尔木市唐古拉山乡阿布日阿加宰剖面的沱沱河组全部, 其精确沉积时代尚有争议, 大多数资料将其归于古近纪^[9]。根据其整合接触的上覆地层为中新世沱沱河组上段和中新世五道梁组, 其时代可能为渐新世, 此期构造运动属于喜马拉雅运动。

2 夷平阶段

青藏高原夷平面的确认被认为是 20 世纪 70 年代以来大规模地貌考察的重要成果之一。崔之久等^[10]认为青藏高原存在两级夷平面, 一级夷平面为山顶面; 二级夷平面为主夷平面。夷平面调查结果表明研究区只有一期经过后期构造隆升不均一改造的主夷平面。主夷平面上普遍发育一层暗褐色粘土, 在马尔争海拔 5 400 m 的灰岩区夷平面上可见钟乳石、岩溶角砾岩和砖红色粘土等。主夷平面的高程具有东西向排列的盆岭地貌特点, 从北到南依次为布尔汗布达山一带, 高程 5 300~5 500 m; 雅玛托—浩特洛哇一带, 高程 4 800~5 000 m; 马尔争—乌兰乌拉一带, 高程 5 300~5 500 m; 扎拉依—扎加—错尼一带, 高程 5 000~5 300 m。这种高程差异反映了后期构造隆升的不均衡, 应该是上新世青藏运动以来多次差异断块抬升的结果。夷平面的形态保存状况也与高原差异隆升关系密切, 相对隆升强烈的布尔汗布达山和马尔争—布青山一带的夷平面保存面积较小, 而相对隆升较小的雅玛托—浩特洛哇和扎拉依—扎加一带及高原腹地的巴颜喀拉山区的夷平面保存面积较大, 可见明显的平顶山地貌。

夷平面是外营力长期侵蚀的结果, 它的形成需要长时期的构造相对稳定。研究区沱沱河组上段表现为巨厚的紫红色粉砂岩与泥岩构成的细碎屑沉积及新近纪五道梁组石膏沉积, 表明研究区存在一段长时期低地貌反差及构造稳定期。沱沱河组上部整

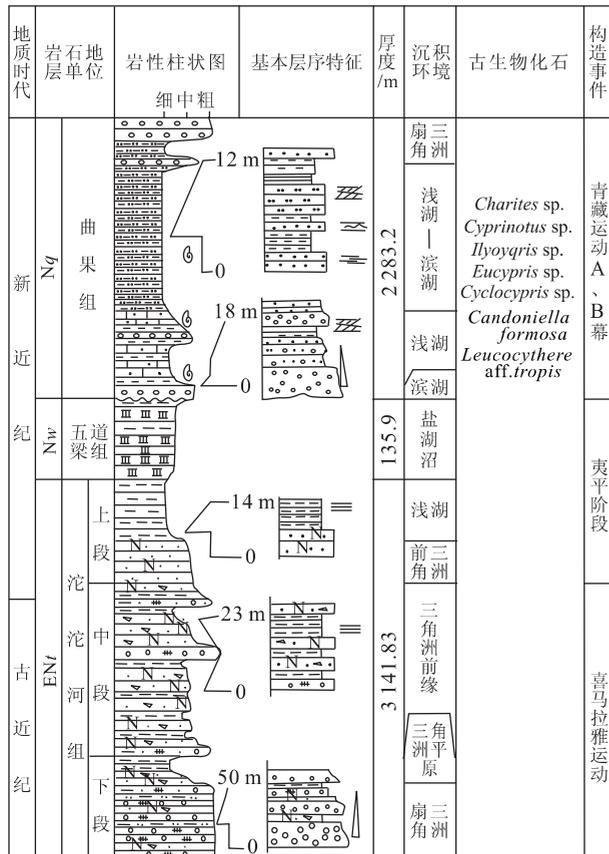


图 1 东昆仑阿拉克湖地区古近纪—新近纪地层序列、环境演变及与构造事件的关系

Fig. 1 Paleogene-Neogene stratigraphic sequences and its environmental change showing the relationship between the deposits and the major tectonic events in the Alake Lake area, eastern Kunlun Mountains

合于可作为标志层的含石膏层五道梁组之下,相当于正层型剖面——格尔木市唐古拉山乡阿布日阿加宰剖面的雅西措组(因位于产石膏的五道梁组之下的雅西措组以碳酸盐岩为主,而研究区以细碎屑岩为主,故将其并入沱沱河组),区域上雅西措组含轮藻;*Obusochara brevicylindrica*;介形虫:*Eucypris mutilis*, *Candoniella* sp.;腹足类:*Voluto* sp. 总体时代属中新世^[9],部分资料显示可达渐新世。五道梁组含介形虫:*Eucypris qaibeigouensis*;孢粉:*Abietinaepollenites*, *Tricolpopollenites*. 时代相当于中新世^[9]. 夷平面溶洞中新生方解石的裂变径迹年龄在 19~7 Ma 之间^[10]及主夷平面上的岩溶洼地沉积中发现的三趾马动物群,大部分为晚中新世的代表分子^[11]. 主夷平面的形成时代应为中新世。

3 青藏运动

经历了中新世构造稳定时期后,于上新世开始了新一轮粗碎屑沉积(曲果组),表明地貌反差增大,构造活动重趋活跃。曲果组下部为以砾岩为主的湖滨及河道粗碎屑沉积环境;随着湖进的发展,水体逐渐加深,中部出现泥岩、泥灰岩与细砂岩与粉砂岩互

层为特征的沉积序列,生物大量繁殖;上部以砾岩为主的粗碎屑沉积明显增加,生物衰亡,沉积环境逐渐从滨湖向扇三角相转变。曲果组产轮藻:*Charites* sp.;腹足类:*Galba* sp.;介形类:*Candona* sp., *Candoniella* sp., *Cyclocypris* sp., *Ilyocypris* sp., *Eucypris* sp., *Leucocythere* aff. *tropis*, *Candoniella formosa*. 其中 *Leucocythere* aff. *tropis* 常见于共和盆地上新世曲沟组和早更新世阿乙亥组, *Candoniella formosa* 见于柴达木盆地上新世晚期狮子沟组,区域上该套地层广泛分布于唐古拉山与巴颜喀拉山地区,局部地区见不整合覆于五道梁组之上。时代归为上新世^[9]. 曲果组两套粗碎屑夹一套细碎屑沉积组合,反映了研究区上新世发生了两期构造活动和一期相对构造稳定时期,而沉积物颜色由沱沱河组的紫红色变为曲果组的灰褐色与黄灰色、灰色交替变化,反映了研究区气候已由中新世的干旱炎热转为上新世的温暖潮湿,这种变化可能与上新世构造隆升造成的海拔升高有关。这两期构造活动相当于青藏运动 A、B 幕。

早更新世早期,阿拉克湖盆地发育一套下部为粉砂质、泥质湖相沉积,上部为砾、砂、粉砂、粉砂质粘土旋回发育的湖三角洲沉积(图 2), ESR 年龄为

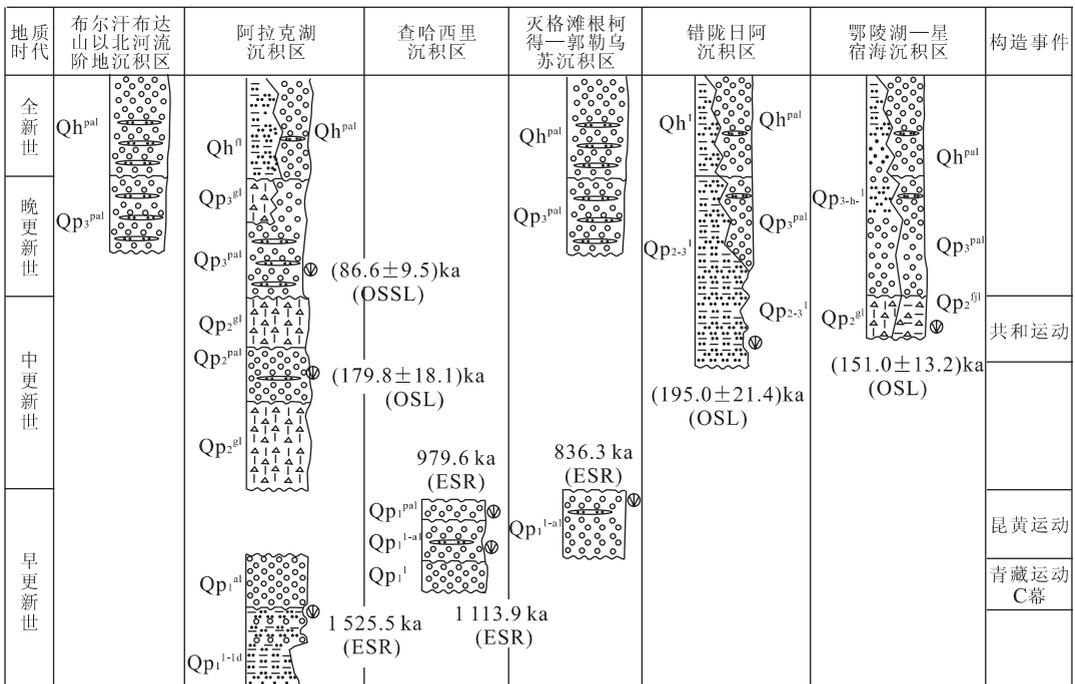


图 2 东昆仑阿拉克湖地区第四纪地层沉积序列及与构造事件的关系

Fig. 2 Quaternary stratigraphic sequences in different areas showing the relationship between the deposits and the major tectonic events, in the Alake Lake area, eastern Kunlun Mountains

1 840.6~1 525.5 ka^[11]。介形虫反映主要为淡水环境,介形虫化石数量多,但壳壁都很薄,反映当时湖泊面积较大,水体平静。古地理景观为平缓高原上内陆湖泊发育,尚未发育大河流。

早更新世中期(1 525.5 ka 以后),阿拉克湖盆地由湖三角洲沉积转为以冲积砾卵石层为主、部分洪积砾石层的山区河流相沉积,宽广的湖泊萎缩到南侧的查哈西里一带且为分选性和磨圆度较好的粗碎屑沉积,说明布尔汗布达山地区出现了明显的地貌反差,是青藏运动 C 幕的沉积响应。因该地层主要分布于布尔汗布达山南坡,反映该构造运动时期布尔汗布达山的强烈上升。

4 昆黄运动

早更新世晚期马尔争—布青山一线开始控制沉积作用,两侧沉积由分选和磨圆极好的湖滨砂砾石层逐渐转为地貌反差较大的冲积砂砾石层,在查哈西里一带为灰绿色—灰黄色砂砾石层。下部砾石成分以灰绿色砂岩和脉石英占绝大部分,未见北侧现广泛出露的沱沱河组紫红色砂砾岩的砾石,说明此时查哈西里一带滨湖沉积的物源区主要为南部的巴颜喀拉山群分布区;中上部砾石层中除仍有较多的灰绿色砂岩、板岩和脉石英外,沱沱河组紫红色砂砾岩占有极大的比例,最高含量达 50%,反映物源为北侧的沱沱河组分布区,山顶最高层位的冲洪积物的砾石扁平面产状统计也反映物源来自北部。在马尔争南坡灭格滩根柯得及马尔争北坡的郭勒乌苏一带为黄灰色块层状弱胶结砾岩—卵石岩,砾石成分灰白色灰岩占 50% 以上,其他砾石成分为紫红色及灰绿色砂岩、花岗岩类等,反映物源区为马尔争一带,下部砾石扁平面叠瓦状排列不明显,上部砾石扁平面叠瓦状排列明显,能反映沉积时水流方向,水流方向反映为以马尔争为中心向南东和向北东流。该套砂砾石层的物源和古流向示踪反映此时期马尔争—布青山发生了强烈隆升。在查哈西里中下部 ESR 年龄 1 113.9 ka,上部 ESR 年龄 979.6 ka^[11],在灭格滩根柯得北侧 ESR 年龄为 836.3 ka(地质矿产部海洋地质实验测试中心测试,样品号 ATL1293—1)。该套地层应是崔之久等^[12]命名的昆黄运动的沉积响应。

除沉积响应外,昆黄运动在研究区的地貌和水系变迁、环境变化和构造变形等方面均有明显表现。

查哈西里山一带及北侧未见中更新世沉积,但南侧错陇日阿地区发育内陆盆地沉积,OSL 年龄为(195±21.4)ka,说明昆黄运动后查哈西里已上升并将沉积中心迁移到南侧错陇日阿一带,使昔日的古湖盆隆升为今日的分水岭;昆黄运动使得研究区差异升降加剧,形成了东西向盆岭格局;差异升降导致地貌反差加大,中更新世以后除查哈西里—扎加以南少数内陆沉积盆地外,洪冲积砾卵石发育成为其主要特色;此外,昆黄运动后形成了两山相隔的三大水系,即北区的柴达木南缘内陆水系、阿拉克湖—托索湖东流水系和错陇日阿内陆水系及扎陵—鄂陵两湖内陆水系(此时还未与黄河连通)^[11];昆黄运动的强烈隆升也使高原达到了“水汽冻结高度”,将研究区带入了冰冻圈。在布尔汗布达山南坡、布青山、扎加—扎日加和琼走—错尼等山区均可见中更新世冰碛物分布。

5 共和运动

大约 150 ka 开始,青藏高原东北部又经历了一次强烈的构造运动,构造抬升与河流侵蚀基准面下降及流域扩大的水量增长相结合,使峡谷受到前所未有的强烈切割。如龙羊峡自 150 ka 以来下切达 800 m 左右。这次运动被称为共和运动^[1]。

共和运动使得研究区河流下蚀作用加剧,北区哈图和哈拉郭勒的河流阶地均为以 T₅ 阶地为基座的内叠阶地,T₅ 阶地阶地面非常宽广,大多数地段被切割深度达 40~50 m 后仍未见基座^[13]。说明在 T₅ 阶地沉积前经历过强烈下蚀作用,反映了当时该区地壳的强烈隆升,T₅ 阶地年龄最大值为(52.4±5.6)ka(中国科学院地球环境研究所测试,实验号 TL13—1),阿拉克湖地区的高阶地年龄值为(86.6±9.5)ka(中国地震局新年代学开放实验室测试,实验号 2001—97),说明此期隆升时间应为中更新世末至晚更新世初,与区域上的共和运动时间相当。

共和运动也使中更新世河湖相地层变形变位^[14],在阿拉克湖扎木吐一带可见晚更新世地层角度不整合覆于中更新世地层之上^[11]。

共和运动也使得研究区水系格局发生了重大变化,东部加鲁河高阶地年龄为 113.0 ka 左右,标志着此时加鲁河发生强烈的溯源侵蚀,并切过昆仑山主分水岭,袭夺了昆南断裂带原由西向东流向共和古湖的东西向水系^[15]。与此同时,西部的格尔木河

也切过昆仑山主分水岭溯源侵蚀到研究区西部的灭格滩根柯得盆地,北面的诺木洪郭勒也切过昆仑山主分水岭进入哈拉郭勒及马尔争北坡一带,与加鲁河争夺和分享原东西向水系。

参考文献:

- [1] 孙鸿烈,郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州:广东科技出版社,1998. 1—230.
SUN H L, ZHENG D. Formation, evolution and development of Qinghai-Xizang (Tibet) plateau [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998. 1—230.
- [2] Mercier J L, Armijo R, Tapponnier P. Changes from Late Tertiary compression to Quaternary extension in southern Tibet during the India-Asia collision [J]. *Tectonics*, 1987, 6(3): 275—304.
- [3] 李吉均,方小敏,潘保田,等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(5): 381—391.
LI J J, FANG X M, PAN B T, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(5): 381—391.
- [4] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Raising Tibet [J]. *Science*, 1992, 255: 1663—1670.
- [5] Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension [J]. *Nature*, 1995, 374: 49—52.
- [6] 钟大赉,丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4): 289—295.
ZHONG D L, DING L. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and its mechanism [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 289—295.
- [7] 施雅风,李吉均,李炳元. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化[M]. 广州:广东科技出版社,1998.
SHI Y F, LI J J, LI B Y. Uplift and environmental changes of Qinghai-Xizang (Tibet) plateau in the Late Cenozoic [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998.
- [8] 刘志飞,王成善,伊海生,等. 藏北可可西里盆地老第三纪沉积物源区分析及其高原隆升意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(1): 1—6.
LIU Z F, WANG C S, YI H S, et al. Provenance of Paleogene sediments in Hoh Xil basin, north of Qingzang plateau, and its significance for plateau uplift [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(1): 1—6.
- [9] 青海省地质矿产局. 全国地层多重划分对比研究——青海省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997. 273—300.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Multiple classification and correlation of the stratigraphy of China—Stratigraphy (lithostratic) of Qinghai Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 273—300.
- [10] 崔之久,高全洲,刘耕年,等. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆升[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4): 378—386.
CUI Z J, GAO Q Z, LIU G N, et al. Planation surfaces, palaeokarst and uplift of Xizang (Qinghai-Xizang) plateau [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 378—386.
- [11] 向树元,王国灿,林启祥,等. 东昆仑阿拉克湖地区第四纪水系演化过程及其趋势[J]. *地质科技情报*, 2003, 22(4): 35—40.
XIANG S Y, WANG G C, LIN Q X, et al. Evolution of the drainage system in the Alake Lake area during Quaternary, eastern Kunlun Mountains, Qinghai Province, China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2003, 22(4): 35—40.
- [12] 崔之久,伍永秋,刘耕年. 关于“昆仑—黄河运动”[J]. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(1): 53—59.
CUI Z J, WU Y Q, LIU G N. On Kunlun-Yellow River tectonic movement [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(1): 53—59.
- [13] 王岸,王国灿,向树元. 东昆仑山东段北坡河流阶地发育及其与构造隆升的关系[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2003, 28(6): 675—679.
WANG A, WANG G C, XIANG S Y. Characteristics of river terraces in north slope of eastern Kunlun Mountains and their relationship with plateau uplift [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2003, 28(6): 675—679.
- [14] 王国灿,侯光久,张克信,等. 东昆仑东段中更新世以来的成山作用及其动力转换[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002, 27(1): 4—12.
WANG G C, HOU G J, ZHANG K X, et al. Mountain building and its dynamic transition since Middle Pleistocene in the east of eastern Kunlun, northeast Tibetan plateau [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(1): 4—12.
- [15] 李长安,骆满生,于庆文,等. 东昆仑晚新生代沉积、地貌与环境演化初步研究[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1997, 22(4): 347—350.
LI C A, LUO M S, YU Q W, et al. A preliminary

study on sediment, geomorphology and environmental evolution of Late Cenozoic in eastern Kunlun [J].

Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(4): 347—350.

Deposit Response to Important Tectonic Events of Cenozoic Plateau Uplift, East Segment of Eastern Kunlun Mountains

XIANG Shu-yuan¹, WANG Guo-can¹, DENG Zhong-lin²

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Institute of Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China)

Abstract: Five important tectonic events in Cenozoic can be divided according to the study of its stratigraphic sequences and relief, drainage system and environment change in the east of the eastern Kunlun Mountains. The first discovery of the paleosol and paleokarst, including karst breccia and stalactite, on the main planation surface about 5 400 m high in the area suggests that the fine clastic deposits of the upper Tuotuohe Formation and the gypsum deposits of the Wudaoliang Formation are the response to the forming period of the main planation surface in Miocene epoch. The distribution of the main planation surface nowadays shows a range and basin relief style with E-W extension. This elevation differentia reflects disequilibrium in the post-tectonic uplift, which should be the result of differentiated block uplifting since Miocene. While a series of alluvial sand and gravel deposits in middle Early Pleistocene, about 1 525.5 ka, can be regarded as the deposit response to the C episode of the Qinghai-Xizang tectonic movement, reflected in the intensive relief uplifting and formation of the Buerhanbud a Mountain near the Alake Lake. However, in the late Early Pleistocene, about 1 113.9—836.3 ka, lakeshore gravel deposits were deposited first and then they changed into alluvial gravel and sand deposits at the Chahaxili area. This could be regarded as the deposit responding to the Kunlun-Yellow River movement, indicated in the intensive uplifting and formation of the Maerzheng-Buqing Mountains. The development of the moraine deposits in the early Middle Pleistocene suggested that the elevation in the study area could have reached a hydrosphere frozen altitude after the Kunlun-Yellow River tectonic movement. Whereas the Gonghe tectonic movement is represented by the strong erosion of the Qaidam drainage system before the terrace T₅ deposition along the main river, cutting through the main Buerhanbuda Mountain divide, capturing the Gonghe paleolake drainage system, and the unconformity of the Late Pleistocene pluvial and alluvial deposits over the Middle Pleistocene pluvial and alluvial deposits.

Key words: plateau uplift; planation surface; Kunlun-Yellow River tectonic movement; Cenozoic; eastern Kunlun Mountains.