# 东昆仑山昆仑河纵剖面形貌分析及构造涵义

# 曹 凯,王国灿,王 岸

中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室、中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

摘要: 青藏高原东昆仑北部地区新构造活动强烈,存在一系列活动断层,控制了该地区的地貌格局和水系的发育.其中大部 分活动断层是已经确定下来的,还有一些活动断层还处在定性推测阶段.引进河流长度 – 坡度参数(以下简称"SL参数") 和 Hack 剖面 2 个能够有效反映区域新构造活动的地质参数,对昆仑河纵剖面坡度变化进行详细刻画和研究,并对昆仑河 河流阶地进行空间对比分析.研究结果表明,昆仑河河流的 Hack 剖面 与 SL 参数存在形貌上的对应关系,SL 参数的突变 主要是受断裂构造活动控制;证实了昆仑河 – 野牛沟断裂和东昆中断裂第四纪以来存在构造活动性;第四纪以来强烈的构 造差异隆升作用控制了东昆仑地区的地貌水系发育格局,并将产生更深远的影响.

关键词: 昆仑河; SL 参数; Hack 剖面; 阶地; 昆仑河 - 野牛沟断裂.

中图分类号: P542 文章编号: 1000-2383(2007)05-0713-09 收稿日期: 2007-06-16

# The Analysis of the Tectonics and the Behavior of the Longitudinal Section of Kunlun River in East Kunlun

#### CAO Kai, WANG Guo can, WANG An

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract There are strong, fresh tectonic processes and a series of active faults in the northern part of East Kunlun in Tibet an plateau, controlling the geomorphology and the water system of this area. Most of the active faults have been confirmed, while some are only presumed qualitatively at present. This paper introduces two kinds of geological factors the Stream Length gradient index (SL index) and Hack profile, which can effectively reflect regional tectonics, and particularly de scribes and studies the gradient change of the longitudinal profile of the Kunlun river and the contrast of river terraces in space in Kunlun area. It shows that there exists a corresponding relationship between Hack profile and SL index of the Kun lun river in shape and the mutation of the SL index is mainly controlled by the action of fault. We have also proved the activity of the Kunlunhe Yeniugou fault and the central fault of east Kunlun from Quaternary, and believe that strong differentia uplift controls the geomorphologic evolution and river development of east Kunlun and will exert far reaching influence on them.

Keywords: Kunlun River; stream length gradient index (SL index); Hack profile; terrace; Kunlunhe Yeniugou fault.

前言 0

东昆仑地区第四纪的研究目前已取得了一些重要认识. 崔之久等(1996, 1997, 1998)根据昆仑山垭 口地区地貌、构造、沉积相、地层及其生物组合的特 征,论证了早中更新世之交具有重要意义的高原隆 升事件"昆仑-黄河运动"的发生;伍永秋等(1999) 研究了昆仑山垭口地区第四纪沉积序列,建立了昆 仑山垭口地区第四纪地貌演化过程,并强调了早中 更新世之交的昆-黄运动对昆仑山垭口地区的现代

基金项目: 中国地质调查局项目" 青藏高原新生代地质作用过程与第四纪环境演变综合研究" (No. 1212010610103); 国家自然科学基金 (Nos. 40672137, 40372104); 青海 1 : 25 万库赛湖幅(146C001002)、不冻泉幅(146C001003)区域地质调查"基金(No. 200313000005); 国家地质学理科基地基金(J0530147).

作者简介: 曹凯( 1984 – ), 男, 硕士, 主要从事构造地貌研究. E mail: wgcan@cug. edu. cn ?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地貌格局形成的重要意义; 王国灿等(2002,2003)探 讨了东昆仑东段的成山作用过程, 提出东昆仑山系 成形于第四纪, 而且成山作用随时间推移发生由北 向南的迁移; 李长安等(1998)探讨了昆仑山东段水 系的发展过程以及水系发展与构造隆升的关系; 向 树元等(2003)阐述了东昆仑东段与地貌演化相适应 的水系变迁过程和演化趋势; 王岸等(2003)也根据 东昆仑山北坡发育的主要河流水系的河流沉积和阶 地发育情况探讨了中更新世晚期以来青藏高原的构 造隆升. 张智勇等(2003)讨论了黄河上游第四纪河 流地貌演化. 据伍永秋等(1999)、Cui *et al.*(2001) 和崔之久等(1997,1998)在昆仑山垭口地区的研究, 昆仑山东北缘在早更新世(1.1 M aBP)达到第一临 界高度 1500 m, 在早更新世晚期(0.7 M aBP)的"昆 仑 – 黄河运动"后达到了第二临界高度 3 000 m.

从该区众多研究成果来看,大多数研究都是从 地层剖面中的沉积记录、生物组合入手,通过 Elee tron Spin Resonance (ESR)、Thermoluminescence (TL)、Optical Stimulated Luminescence(OSL)和 <sup>14</sup>C等测年手段,着重从气候、地貌特征和沉积环境 方面讨论它们与构造运动之间的关系.本文引进了 SL 参数和 Hack 剖面(Hack, 1973; Merritts and Vincent, 1989; Chen *et al.*, 2003)2个地质参数, 主要从昆仑河的河流纵剖面坡度变化,以及昆仑河 河流阶地的空间对比分析入手,讨论昆仑河地貌发 育与构造活动之间的关系,并进一步探讨了东昆仑 地区新构造活动与地貌水系演化模式.

### 1 地质背景

研究区位于东昆仑山脉以北、柴达木盆地以南, 处于柴达木盆地内陆水系、长江源水系(楚玛尔河) 及高原湖泊内湖水系三大水系的交汇处,发育有小 南川、昆仑河、南沟、雪水河和格尔木河等河流,青藏 公路沿着小南川-昆仑河-格尔木河流域由南向北 贯穿研究区.研究区属于典型的高原大陆性气候,干 旱-半干旱,6-9月多雨雪及冰雹.

研究区以南昆仑山主脉南北宽约100km,中间 以东、西大滩谷地为界,分为南北两部分,北部为布 尔罕布达山,山峰海拔多在5000m左右;南部为东 昆仑山主脊,山峰海拔均在5000m以上,为长江外



#### 图1 研究区地质简图

Fig. 1 The relief framework of geology in research area

1. 第四纪地层; 2. 三叠纪中下统洪水川组、闹仓坚沟组和希里可特组; 3. 三叠纪巴颜喀拉山岩群; 4. 泥盆纪和石炭纪碎屑岩群、火山 岩群; 5. 奥陶纪纳赤台岩群; 6. 中元古界万保沟岩群; 7. 太古代、早元古界变质岩; 8. 加里东晚期 – 燕山早期侵入岩; 9. 第四纪以前的 断裂; 10. 活动断裂; 11. 韧性剪切带; 12. 公路及地点; 13. 河流(注; 昆仑桥至大干沟段出露少量第三纪基岩)

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.

流水系与柴达木内流水系的分水岭,其主峰玉珠峰 海拔6178m,终年冰雪覆盖,形成东昆仑山现代冰 川作用中心之一。

东昆仑地区自元古代以来经历了多次复杂而强 烈的构造变动,近东西向构造线特别是系列近东西 向的断裂构造控制着研究区的基本地貌格局(图 1). 主要断裂构造从北向南依次有红石沟断裂 $(F_1)$ , 东昆中断裂( $F_2$ ), 南沟下游断裂( $F_3$ ), 昆仑河 – 野 牛沟断裂 $(F_4)$ 、没草沟 – 拖拉海沟 – 小南川 – 五十 八大沟断裂 $(F_5)$ 、一道沟 – 小南川断裂 $(F_6)$ 、一道 沟头 – 五十九道班断裂( $F_7$ )、西大滩断裂( $F_8$ )和东 昆南断裂(F<sub>9</sub>)等. 这些断裂构造多表现为具有复杂 演化历史的长期活动的区域性断裂构造,一些断裂 是具有板块缝合线性质的区域性构造边界断裂,如 东昆中断裂(高延林等,1988:魏文博等,2006)、西大 滩断裂和东昆南断裂(高延林等,1988:张文秦等, 2002).

西大滩断裂和东昆南断裂表现出明显的活动性, 现代活动性非常强烈, 地震活动频繁, 沿断裂发育地 裂缝和地震鼓包,对研究区构造地貌演化具有深刻的 影响.其中西大滩断裂(F<sub>8</sub>)是左行活动断裂,控制着 西大滩谷地地貌的形成,西大滩谷地具有非常年轻的 形成时代,据崔之久等(1997)对昆仑垭口地区的构造 地貌以及垭口盆地沉积演化的研究,西大滩形成于昆 仑-黄河运动主幕,约为0.7 MaBP.东昆南断裂(F9) 是一条压性左行活动断裂,控制着昆仑山脉与南部青 藏高原腹地的地貌边界,据崔之久等(1996)对垭口盆 地的研究,东昆南活动断裂的形成可以上溯到上新世 阶段(3.4 M aBP 前后), 0.7 M a 以来的走滑分量约为 30 km, 近 10 ka 来的走滑速率为 10~15 mm /a 左右. 断裂在 2001 年曾发生 MS8. 1 级地震, 在山前形成 400 余 km 的地表破裂带,沿地表破裂带发育大量地 震鼓包及次级凹陷构造.

相比较而言,东昆中断裂和控制昆仑河 – 野牛 沟谷地的昆仑河 – 野牛沟断裂由于地震活动记录不 明显,因此其活动性以及对地貌演化的制约并没有 引起足够重视.

- 2 研究方法
- 2.1 SL 参数和 Hack 剖面

通常,河流坡度的变化是很敏感的,能够反映构

al., 1994). SL 参数通常是被用来表达河流纵剖面 坡度变化的地质参数(Hack, 1973; Chen et al., 2003), 如图 2, 与 SL 参数相关的公式如下,

$$H = c - k \times \log L . \tag{1}$$

式(1)中, H 表示剖面的高程, c 是常数, k 就是 SL 参数: L 表示从河流起始点或者分界点开始到测量 点的长度.

对于每个河段来说, SL 参数是采用线性拟合的 方法获得的,但是对于一个非常微小的河段,SL 参 数可以近似用 $SL = (H_i - H_i)/(L_i - L_i)$  来计算, 其中i和i是河流纵剖面上的2点(除了在河流源 头处的纵剖面外).

对于一具体河流, SL 参数是分段拟合的, 可以 反映综合因素(如断层、岩性、差异隆升等)控制下的 河床分段梯度变化,异常高的 k 值表示具有较高的 河流梯度,往往反映流域地区差异降升强烈,相应的 下蚀能力强 反之 异常低的 k 值具有较低的河流侵 蚀能力,反映处于构造稳定区域,区域差异隆升较弱





Fig. 2 Conceptual diagram of Hack profiles a. 渐变河流的纵剖面; b. 渐变河流的半对数图, 即所谓的 Hack 剖 面图, 是一条斜率为 k(SL 参数)的直线; c. 经过抬升后的河流纵 剖面图,在下游突然变陡处有一个明显的裂点;d. 河流抬升后的 Hack 剖面图; e. Hack 剖面曲线可以划分为4个渐变的河段(I、 II、III和IV),每个部分都是线性相关的,它们的SL 参数就构成了 阶梯状的 SL 参数曲线( 据 Chen et al. 修改, 2003)

造活动、岩石抗侵蚀能力和地形变化(Merritts et Dibining House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(Brookfield, 1998).

河流纵剖面的高程 – 河流长度的半对数坐标图 就是河流的 Hack 剖面. 由于河流对外界变化的调 整能力,大多数河流在整个流域内并不只有一个单 一的 Hack 剖面, 而往往是由一系列不同长度的河 流片断连接起来的 Hack 剖面曲线. Chen et al. (2003) 将河源头与河口用一条直线连接起来(图 2e), 直线的斜率就叫均衡坡度, 用 K 表示, 代表河 流的侵蚀能力. 河流侵蚀能力越强, K 就越大: 河流 的侵蚀能力越弱, K 就越小. SL 参数和 Hack 剖面 能够提供很多与河流坡度变化相关的地质信息 (Hack, 1973; Merritts et al., 1994; Chen et al., 2003). Hack(1973) 通过对阿巴拉契亚山脉地区河 流 SL 参数的变化分析得出河流坡度的变化主要是 受岩性控制的, Brookfield(1998)通过在南亚的研究 则强调流经喜马拉雅的大型河流并不是受岩性控 制、河流坡度的突变更多是由构造活动或河流袭夺 控制的. Chen et al. (2003) 在台湾西部丘陵构造带 大量河流的研究显示,对于小型河流(例如,Kwe chuong River, 长度为 33 km, 源头处高程为 185 m), SL 参数的突变首先是受岩性、褶皱和断层等中 小尺度的地质因素控制,其次是构造活动性;而对于 中大型河流(Wu River,长度为 92 km,源头处高程 为576 m), SL 参数的突变更多反映的是构造运动, 基本上不受岩性等因素的影响.

#### 2.2 数据的测量及处理

用经纬仪沿横穿昆仑山的小南川 – 昆仑河 – 格 尔木河(以下简称"昆仑河")进行河谷地形实测,取 得河床长度、绝对高程、阶地的相对高差、相应的阶 地级数以及测量点的经纬度.据野外观测,小南川 – 昆仑桥河段河谷比较宽阔,主要是使用经纬仪进行 测量,并用 GPS 进行辅助定位;昆仑桥 – 格尔木大 部分河段,河流侵蚀严重,落差较大,阶地成陡崖状, 因此使用测绳和标杆(也结合经纬仪)进行直接测 量,同时也使用 GPS 辅助测量高程及定位.测量点 基本覆盖整个昆仑河流域,测量的精度较高,能准确 反映河段的地形变化.

# 3 昆仑河纵剖面分析

#### 3.1 河流纵剖面的空间特征

昆仑河的 Hack 剖面图大体上可以划分为小南 川,昆仑河(三岔口--昆仑桥)和格尔木河(昆仑桥西 南山口) 三个河段. 河流总长度约为 110 km, 河源头 的高程为 4 166 m, 坡度 K = 640; 小南川河段, 长度 约为 17 km, 坡度  $K_1 = 284$ ; 昆仑河段, 长度约为 16 km, 坡度  $K_2 = 137$ ; 格尔木河段, 长度约为 67 km, 坡度  $K_3 = 569$ (图 3). 从图 3 中可以看出, 昆仑 河的 Hack 剖面图整体上呈凸形, 局部出现两次凸 凹形变化; *SL* 参数出现两个峰值, 表现为特殊的双 峰式特征, 但是第一个峰值要明显小于第二个峰值 (见 F4 和 F1 处). 并且, Hack 剖面凸显的位置大致 对应于 *SL* 参数值相对较小(如昆仑桥附近)的地 方, 凹陷的位置恰好对应于 *SL* 参数突变的地方(见 F4 和 F1 处), 这种现象在 Chen *et al.*(2003)的研究 中也可以观察到, 表明河流的 Hack 剖面与*SL* 参数 存在形貌上的对应关系.

#### 3.2 河流纵剖面坡度变化的地质响应

3.2.1 *SL* 参数变化的岩性分析 *SL* 参数可以反 映岩石抗侵蚀能力的大小,抗侵蚀能力强的岩石往往 *SL* 参数较大,反之,抗侵蚀能力弱的岩石往往 *SL* 参数较小(Merritts *et al.*,1994; Chen *et al.*,2003). 昆仑河主要发育在第四纪的松散沉积物上,局部切穿第三纪的基岩. 据野外观察,第四纪的松散 沉积物主要为上更新世的冲积和残坡积,主要成分为褐色、灰褐色砾石层,泥质粉砂层和灰色砾石层黄 色粘土层,抗侵蚀能力很弱;第三纪的基岩主要为昆 仑河底部的一套砾岩,该砾岩固结程度很高,砂、泥 质胶结,杂基支撑,砾石含量高于 50%,分选较差,磨圆度为次棱角状 – 次圆状,抗侵蚀能力较强.

从图 3 中可以看到, 当河流流经第四纪的松散 沉积物时, *SL* 参数值整体较小, 整个曲线处于较低 的阶梯水平分布; 当河流从第四纪的松散沉积物流 经第三纪的基岩时, *SL* 参数值发生突变, 而且在第 三纪基岩范围内的曲线整体处于较高的阶梯水平分 布. 当河流再次流经第四纪沉积物时, *SL* 参数则呈 现出明显减小的趋势. 岩性的变化从整体上印证了 *SL* 参数的变化, 对于各自的岩性区内的局部存在的 突变则不能给予解释.

因此,岩性的变化只是在整体上说明了昆仑河 SL 参数的变化,而 SL 参数的局部突变则更有可能 反映的是构造方面的信息.

3.2.2 河流纵剖面坡度变化的构造意义 当河流 斜切一道沟头 – 五十九道班断裂时(F<sub>7</sub>),*SL*参数 明显增大,横切一道沟 – 小南川断裂(F<sub>6</sub>)时,*SL*参 数减小,但仍然要比F<sub>7</sub>之前的*SL*参数大,F<sub>6</sub>和F<sub>7</sub>







是两条韧性剪切带,其活动性对河流坡度的增加起 到一定作用,但是 F<sub>6</sub>的作用没有 F<sub>7</sub> 表现的明显;接 着,河流在三岔口处发生近 90°转弯汇合到昆仑河, 几乎垂直切过昆仑河 – 野牛沟断裂(F<sub>4</sub>),在图 3 中 表现为没草沟 – 拖拉海沟 – 小南川 – 五十八大沟断 裂(F<sub>5</sub>)和昆仑河 – 野牛沟断裂(F<sub>4</sub>)之间出现 *SL* 参 数的第一个峰值,这两个断裂的活动性导致了 *SL* 参数第一个峰值的产生.

由于昆仑河河段是沿着昆仑河 – 野牛沟断陷谷 地呈东西流向的,与昆仑河 - 野牛沟断裂(F<sub>4</sub>)几乎 平行,使得该断层对昆仑河东西向的控制作用没有 能够直接体现出来,然而与昆仑河斜交的南沟中上 游断裂 $(F_3)$ 对其的控制作用还是有的,虽然 SL 参 数暂时呈递减的趋势,但是  $F_7$  之前的 SL 参数值要 大得多,在昆仑桥附近,昆仑河与雪水河汇集转而向 北形成格尔木河,河流横切东昆中断裂 $(F_2)$ 和红石 沟断裂(F1), SL 参数又呈现出增大的趋势,并在东 昆中断裂 $(F_2)$ 附近达到第二个峰值,对于中大型河 流 SL 参数的突变更多反映的是构造运动 (Brookfield, 1998; Chen et al., 2003), 从整个昆仑 河来看,表明断裂的活动性对 SL 参数第二峰值的 产生很可能产生了作用.但是,第二个峰值要比第一 个峰值大很多,而该河段经过了两种岩性的分界处, 岩性能干性的增强也可能引起了河流 SL 参数一定 程度上的增加.

从总体上来看, 昆仑河的 SL 参数阶梯状曲线表 现为双峰式特征, 第一个峰值的出现主要是由于断裂 的活动性引起的, 而第二个峰值的产生则很可能是由



图 4 断层引起的渐变河流的变化和调整(据 Brookfield, 1998, 修改)

Fig. 4 Change in graded river profile by fault movement and the resulting adjustments

a 渐变河流剖面, b. 由于突然的断层位错移至; c. 侵蚀 – 沉积拐点保 持常数. 实际上, 它会从下游迁移到上游在断层附近侵蚀要早于沉 积 连续的剖面 1 – 5反映了河流朝着可能发生的新的平衡剖面演变 的趋势

断裂活动性外加岩性能干性增强共同引起的.

Brookfield(1998)提出了渐变河流在受到断层 作用时的演变模型(图4),连续的河流剖面反映了 河流一直朝着新的平衡剖面演化的趋势,当发生变 化的剖面再次回到新的渐变状态的时候,渐进型的 侵蚀曲线清楚地反映了Hack 剖面由凸形变为凸 – 凹形,而这种变化需要很长时间.他还作出了一系列 产生于南亚新生代印 – 亚板块碰撞产生的大型河流 系统呈凸形的 Hack 剖面图. Merritts *et al*.(1994) 也通过加尼福利亚北部 Mendocino 三角带海岸河 的研究发现河流纵剖面在抬升速率快的区域呈凸 形,而在中、低抬升速率地区则几乎呈直线形或微凹 形.据崔之久等(1996)、李长安等(1998)在昆仑山地 区的研究,东昆仑地区经历了阶段性的强烈隆升,而 且现在仍处干强烈降升阶段.

昆仑河的 Hack 剖面总体上是呈凸形的,表明 第四纪以来研究区处于强烈的构造隆升状态,局部 表现为凸 – 凹形变化则反映了在东昆仑地区强烈构 造降升背景下,构造活动的时间较新,河流在发展过 程中还来不及作出调整而留下的痕迹(图4)。

综合昆仑河 SL 参数曲线和 Hack 剖面的情况, 一方面说明了断裂的活动性确实引起了 SL 参数的 变化,并且岩石的能干性差异也很可能对 SL 参数 有一定的影响作用;另一方面,也反映了在东昆仑地 区强烈的构造隆升背景下,研究区的断裂进入第四 纪以后仍然表现出了一定的活动性, 昆仑河 – 野牛 沟断裂 $(F_4)$ 表现得尤为明显,东昆中断裂 $(F_2)$ 有待 于进一步研究.

3.2.3 河流侵蚀能力分析 影响河流侵蚀能力大 小很重要的一个因素就是水动力的大小,由于水动 力与水流量成正比(梁成华,2002),因此,河流的侵 蚀能力的大小可以由水流量的大小来体现:另一个 重要因素就是由于差异性构造抬升导致侵蚀基准面 下降,进而导致河流严重下切(程绍平等,2004),同 时河流向上游溯源侵蚀.

3 9 5 0

3 9 3 0

3 920

T

2 9 9 0

2960

2930 2 900

:0:0:0

砂砾石岩

高程(m) 3 01

3 7 4 0

3 700

3 6 8 0

高程(m)

砾岩

高程(m) 3 7 2 0

从整个河流的分级坡度值来看,K = 640,反映 了整个河流具有很强的侵蚀能力:从各个分段来看, 格尔木河河段侵蚀能力最强 $(K_3 = 569)$ ,小南川河 段次之( $K_1 = 284$ ), 昆仑河河段最弱( $K_2 = 137$ ).

格尔木河汇集了南沟、昆仑河和雪水河的水源, 再加上季节性降水,水源比较充足,因此,河流侵蚀 能力比较大,据野外观察,从昆仑桥到大干沟河段, 河流深切河谷,最大落差达百米,但是到了格尔木河 下游,河谷宽阔,侵蚀能力明显减小,极有可能是东 昆中断裂( $F_2$ )的活动所产生的影响;小南川发源于 昆仑山脉,水源主要来自冰川融水,相对比较匮乏, 从其分级坡度值来看,河流的侵蚀能力较强,由于昆  $\dot{C}$ 河 – 野牛沟断裂( $F_4$ )的活动引起区域性隆升,导 致河流侵蚀基准面相对下降,使得河流流域一日具 备了水动力条件就开始了侵蚀作用:昆仑河河段发 源于野牛沟上游的湖泊黑海,水源一部分来自冰川 融水,水源相对比较充足,但是其侵蚀能力在三者中 最弱,也说明了格尔木河段极强的侵蚀能力很可能 是受到了东昆中断裂(F2)活动的影响。

从整个河流的发育以及研究区的气候情况来 看,水源相对比较匮乏,但是河流却表现出较强的侵 蚀能力,究其原因,主要是和研究区区域性的构造活 动相关,而不同河段的侵蚀能力的差异一方面是由



·····

Fig. 5 Comparison of the typical river terrace in different section of Kunlun River a.为小南川下游河流阶地剖面图;b.为三岔口至纳赤台一带河流阶地剖面图;c.为大干沟水电站阶地剖面图;图中虚线表示阶地的空间对比线

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(a)

T

0.0.0.0 130 m

160 m

100 m

0000

砾石层

小南川

150 m

宽度(m)

(b)

昆仑河

(省略450m) 宽度(m)

(c)

格尔木河

50 m

宽度(m)

透镜体

500 m

T

110 m

NE

E

100 m

 $\nabla$ 

河床

Ts

阶地级数

Т

719

于不同河段的水量大小不同,另一方面则反映了不同区域构造活动的差异性,并且这种差异性控制了当前河流地貌的形成.

#### 3.3 河流阶地剖面的空间对比分析

河流阶地形成的原因是多方面的(魏全伟等, 2006),但是在处于强烈隆升的东昆仑地区(崔之久 等,1996;李长安等,1998),间歇性新构造活动起主 导作用.昆仑河发育多级河流阶地,其中野牛沟沟口 东侧的三岔河大桥至纳赤台一带发育最好,共发育 5级阶地(图 5),在整个昆仑河都可以进行空间对比 (王岸等,2003).从昆仑河各级阶地的形成时代来 看,T<sub>2</sub> T<sub>5</sub> 级阶地发育于上更新世,T<sub>1</sub> 级阶地发育 于全新世,野牛沟 – 纳赤台一带自上更新世到全新 世以来由于野牛沟 – 纳赤台断裂(F4)的阶段性活动 发生过不同程度的阶段性差异隆升,这种差异性隆 升使河流脉动式下切河床,从而产生了昆仑河典型 的阶地发育形式.

综上所述, 昆仑河阶地在空间上的对比和 *SL* 参数阶梯状曲线的双峰式特征是可以相互印证的, 河流阶地的发育与河流纵剖面的发育是一个完整的 发育体系, 两者共同说明了东昆仑地区在阶段性的 强烈隆升的背景下, 昆仑河 – 野牛沟断裂(F4) 在第 四纪以来发生过多次阶段性活动, 并且导致了昆仑 河 – 野牛沟一带的差异隆升; 东昆中断裂(F2) 在第 四纪以来也很可能具有一定程度的活动性.

# 4 讨论

据野外调查,在昆仑河谷地发现了早期谷地断 陷作用的一套山间磨拉石相混杂砾岩的相关沉积, 初步分析和对比认为该砾岩的形成时代为上新世前 后,与昆仑山垭口盆地开始断陷的年代相当.因此可 以定性获知,谷地的形成年代相对西大滩要早.

在昆仑河 – 野牛沟一带, 昆仑河呈线性分布, 并 且野牛沟、昆仑河两侧众多支流和冲沟与断裂近于 垂直(如小南川), 显示出断裂存在左旋平行运动特 征. 沿着野牛沟和昆仑河众多泉眼呈串珠状分布, 其 中研究区内的纳赤台有著名的昆仑神泉. 2001 年 11 月 14 日, 沿着库赛湖 – 东昆仑垭口一带发生的 8. 1 级强震, 也触动了该断层的活动, 造成了纳赤台一带 的房屋倒塌, 活动断层上昆仑神泉及其附近的建筑 物破坏更为严重. 这些都进一步反映了断层的活动 控制下的水系发育格局

昆仑山北部的水系表现出强烈的溯源侵蚀特 征. 南沟切过布尔汗布达山直指昆仑山主脊, 伴随昆 仑河谷晚更新世晚期以来的新一轮侵蚀作用,在东、 西大滩谷地南侧的昆仑主脊山前,多处切割深度已 经达到百米以上. 昆仑河上游分支已触及黑海, 以晚 更新世晚期以来的谷地侵蚀速率,估计黑海在数千 年的短时间内就会被完全疏通,成为昆仑河支流的 一部分 昆仑河小南川分支经西大滩已经上溯到昆 仑山主脊以南的垭口附近,而原本属于主脊南坡水 系分支已显得支离破碎,纷纷转而向北;而红水河则 完全切穿了昆仑主脊进入东昆南活动断裂谷地,其 支流的溯源侵蚀趋势丝毫没有减弱,上游东支正向 库赛湖挺进,库赛湖不久将会成为现在的"黑海",并 最终也会成为红水河上游分支的一部分,综上所述, 研究区断层的新构造活动控制了水系的发育格局, 在东昆仑地区的隆升作用持续目前的强劲势头下, 柴达木内陆水系将会继续溯源侵蚀,最终蚀穿昆仑 丰谷.

# 5 结论

河流纵剖面和典型的阶地是河流的一套完整的 发育体系,两者结合起来有效地识别出了典型构造 地貌区的活动断裂及其活动历史.通过野外数据的 分析以及对前人资料的总结可以得出以下几点认 识:第一,河流的 Hack 剖面与 *SL* 参数存在形貌上 的对应关系,对于中大型河流的 *SL* 参数的突变主 要是受构造活动控制的,岩性等因素也会产生一定 的影响;第二,第四纪以来,昆仑河 – 野牛沟断裂 (F<sub>4</sub>)存在构造活动,导致了昆仑河 – 野牛沟一带的 差异隆升,而东昆中断裂(F<sub>2</sub>)则很有可能具有一定 程度的活动性;第三,强烈的构造隆升作用控制了东 昆仑地区的水系发育格局,并且还会产生更深远的 影响.

致谢:本文野外数据的获得和处理得到了王岸 博士、研究生董绍鹏同学和谢德凡老师的鼎立协助, 论文的成文和修缮还得到了王国灿教授、张克信教 授和王岸博士的认真指导,在此一并致谢!

#### References

Brookfield M. E., 1998. The evolution of the great river sys

tems of southern Asia during the Cenozoic India Asia

控制下的水系发育格局. 2014-2017 Cliffind Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 2:285 - 312.

- Chen, Y. C., Sung, O. C., Cheng, K. Y., 2003. Along strike variations of morphotectonic features in the western Foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream gradient and hypsometric analysis. Geomorphologv, 56: 109 - 137.
- Cheng, S. P., Deng, O. D., Li, C. Y., et al., 2004. Dynamical mechanism, physical erosion processes and influence factors of fluvial incision; A review and prospect. Qua ternary Science, 24(4): 421 - 429 (in Chinese with Eng lish abstract).
- Cui Z. J., Gao, O. Z., Liu G. N., et al., 1996. Planation sur faces, palaeokarst and uplift of Xizang (Tibet) plateau. Science in China (Ser. D), 39(4); 391 - 400.
- Cui, Z.J., Wu, Y.Q., Liu, G.N., 1997. Discovery and char acter of the Kunlun Yellow river movement. Chinese Science Bulletin, 42(18): 1986 - 1989 (in Chinese).
- Cui, Z. J., Wu, Y. Q., Liu, G. N., et al., 1998. On Kunlun Yellow river tectonic movement. Science in China (Ser. D, 41(6): 53 - 59.
- Cui, Z. J., Wu, Y. Q., Liu, G. N., et al., 2001. Quaternary geomorphologic evolution of the Kunlun pass area and uplift of the Qinghai Xizang (Tibet) plateau. Geomor phology, 36: 203 - 216.
- Gao, Y. L., Wu, X. N., Zuo, G. C., 1988. The characters and tectonic significance of ophiolite fist discovered in the East Kunlun area. Northwest Geoscience, 21: 664 - 669 (in Chinese with English abstract).
- Hack, J. T., 1973. Stream profile analysis and stream gradi ent index. U. S. Geol. Surv. J. Res., 1: 421 - 429.
- Li, C. A., Yin, H. F., Yu, Q. W., et al., 1998. Evolution of drainage system and its development trend in connection with tectonic uplift of eastern Kunlun Mt. Earth Sci ence-Journal of China University of Geosciences, 23 (5): 456-460 (in Chinese with English abstract).
- Liang, C. H., 2002. Geology and Geomorphology. China Ag ricultural Press, Beijing, 176 - 205 (in Chinese).
- Merritts, D. J., Vincent, K. R., 1989. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift Mendocino Triple Junction region, northern Cali fornia. Geol. Soc. Amer. Bull., 110: 1373 - 1388.
- Merritts, D.J., Vincent, K. R., Wohl, E. E., 1994. Long river profiles tectonism and eustasy: A guide to interpreting fluvial Terraces. J. Geophys. Res., 99(B7): 14031 -14050.
- Wang, A., Wang, G. C., Xiang, S. Y., 2003. Characteristics

mountains and their relationship with plateau uplift. Earth Science—Journal of China University of Geo sciences, 28(6): 675-679 (in Chinese with English ab stract).

- Wang, G. C., Hou, G. J., Zhang, K. X., et al., 2002. Moun tain building and its dynamic transition since middle Pleistocene in east of eastern Kunlun, northeast Tibet Plateau. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 27(1); 4 – 12 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. C., Wu, Y. L., Xiang, S. Y., et al., 2003. Mountain building process and geomorphic migration of eastern Kunlun mountains during Quaternary. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 28(6): 583 - 592 (in Chinese with English abstract).
- Wei, Q. W., Tan, L. H., Wang, S. J., 2006. Formation and e volution of river terrace and environment responses. Progress in Geography, 25(3): 55 - 61 (in Chinese with English abstract).
- Wei, W. B., Jin, S., Ye, G. F., et al., 2006. Features of the faults in Center and North Tibetan plateau: Based on re sults of INDEPTH( III) MT. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 31(2): 257 - 265 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. Q., Cui, Z. J., Ge, D. K., et al., 1999. When the Qinghai Xizang (Tibet) Plateau uplift to present alti tude take the Kunlun pass area for example. Geomor phology, 19(6): 481 - 484 (in Chinese with English ab stract).
- Xiang, S.Y., Wang, G. C., Deng, Z. L., 2003. The sedimental response to important tectonic events of Cenozoic plat eau uplift, cast segment of eastern Kunlun mountains. Earth Science—Journal of China University of Geo sciences, 28(6): 616-620 (in Chinese with English ab stract).
- Zhang, W.Q., Wang, C. F., Liu, C. D., et al., 2002. A dis cussion on geological background of the east Kunlun ar ea by geochemical exploration data. Geoscience, 16(30): 257 – 262 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Y., Yu, Q. W., Zhang, K. X., et al., 2003. Geo morphological evolution of Quaternary river from upper Yellow River and geomorphologic evolution investiga tion for 1 : 250 000 scale geological mapping in Qinghai Tibet Plateau. Earth Science-Journal of China Uni versity of Geosciences, 28(6): 621 - 626 (in Chinese with English abstract).

21994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

#### 附中文参考文献

- 程绍平,邓起东,李传友,等,2004. 流水下切的动力学机制、 物理侵蚀过程和影响因素评述和展望. 第四纪研究,24 (4):421-429.
- 崔之久,高全洲,刘耕年,等,1996.夷平面、古岩溶与青藏高 原隆升.中国科学(D辑),26(4):378-386.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 1997. "昆仑-黄河运动"的发现及 其性质. 科学通报, 42(18): 1986 – 1989.
- 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等, 1998. 关于"昆仑-黄河运动". 中国科学(D辑), 28(10): 53-59.
- 高延林,吴向农,左国朝,1988.东昆仑山清水泉蛇绿岩特征 及其大地构造意义.西北地质科学,21:664-669.
- 李长安,殷鸿福,于庆文,等,1998.昆仑山东段的构造隆升、 水系响应与环境变化.地球科学——中国地质大学学 报,23(5):456-460.
- 梁成华,2002.地质与地貌学.北京:中国农业出版社,176-205.
- 王岸,王国灿,向树元,2003.东昆仑山东段北坡河流阶地发 育及其与构造隆升的关系.地球科学——中国地质大 学学报,28(6):675-679.
- 王国灿, 侯光久, 张克信, 等, 2002. 东昆仑东段中更新世以来 的成山运动及其动力转换. 地球科学——中国地质大

学学报,27(1):4-12.

- 王国灿, 吴燕玲, 向树元, 等, 2003. 东昆仑东段第四纪成山作 用过程与地貌变迁. 地球科学——中国地质大学学报, 28(6):583-592.
- 魏全伟, 谭利华, 王随继, 2006. 河流阶地的形成、演变及环境 效应. 地理科学进展, 25(3):55-61.
- 魏文博,金胜,叶高峰,等,2006.西藏高原中、北部断裂构造 特征:INDEPTH(III)MT观测提供的依据.地球科 学——中国地质大学学报,31(2):257-265.
- 伍永秋,崔之久,葛道凯,等,1999.青藏高原何时隆升到现代的高度一以昆仑山垭口地区为例.地理科学,19(6): 481-484.
- 向树元,王国灿,邓中林,2003.东昆仑东段新生代高原隆升 重大事件的沉积响应.地球科学——中国地质大学学 报,28(6):616-620.
- 张文秦, 汪彩芳, 刘成东, 等, 2002. 依据化探成果对东昆仑地 质背景的讨论. 现代地质, 16(3): 257 – 262.
- 张智勇, 于庆文, 张克信, 等, 2003. 黄河上游第四纪河流地貌 演化兼论青藏高原 1:25 万新生代地质填图地貌演化 调查. 地球科学——中国地质大学学报, 28(6):621 – 626.