藏北长江源地区河流地貌特征及其对新构造运动的响应

李亚林[1]　王成善[1]　王　谋[2]　伊海生[2]　李　勇[2]

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院,青藏高原地质研究中心,北京 100083;
2. 成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059)

提要:对藏北长江源地区河谷地貌和新构造变形调查发现,该区具有平行式水系格局,河谷地貌以形态不同的窄谷和宽谷为特点,新近纪以来该区主要经历了早期挤压和晚期伸展构造演化过程,产生了褶皱-逆冲、走滑剪切、正断层和地堑构造 3 种构造变形样式。长江源区河谷地貌的形成演化明显受新构造运动的影响,新构造运动不仅控制了河谷地貌形态与水系格局,而且影响了河流阶地分布以及洪(冲)积扇的形态、结构。长江源地区主要水系至少自全新世以来是沿新构造运动产生的不同性质断裂构造溯源侵蚀发育而成。

关　键　词:青藏高原;长江源地区;河谷地貌;新构造运动

中图分类号:P512.31　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3657(2006)02-0374-09

位于西藏和青海交界的唐古拉山地区是世界第三大河流长江的发源地,该区发育 5 条规模较大的河流,自西而东依次为沱沱河、通天河(尕尔曲)、布曲、冬曲和当曲,构成长江源主要水系 (图 1)。大地构造位置位于羌塘地块与拉竹龙—金沙江构造带过渡部位,自中生代以来长期处于南北向挤压动力学背景,特别是新生代以来由于受印度与欧亚板块碰撞造山和青藏高原强烈隆升动力学体制影响,新构造运动强烈,并控制着区域地貌的形成与演化。由于自然条件恶劣、交通困难,该区新构造运动与地貌演化研究较为薄弱,仅在上世纪 60~80 年代对区域地貌类型作过划分[1~3]。开展河谷地貌与新构造的关系研究,对探讨长江源区地貌形成、河流起源、水系演化都具有重要意义。近年来,笔者对长江源地区河流地貌和新构造运动进行了调查研究,根据调查成果,本文简述了长江源地区河流地貌和新构造运动特征,分析了新构造与河谷地貌的关系。

1　河流地貌

长江源地区地势上南高北低、西高东低,南部和西部主要为海拔大于 5 200 m 的极高山-高山区, 北部和东部为中山、低山、丘陵和平原区,海拔高度一般小于 5 000 m(图 1)。区内河流主要发源于南部极高山和高山区, 受此地形和地貌格局的影响,区内河流平面形态表现出显著规律性,即在高山-中山区,河流流向大都由南向北,进入北部游丘陵和平原区后,受东西向地势差异的控制呈东西向、北东东向展布,并向东流出该区(图 1)。在高山和中山区,水系平面形态表现出平行式水系格局,如沱沱河坎巴塔钦以南上游段、布曲雁石坪以南、冬曲和当曲改纳—盖巴段,同时在这些地区河流比降较大,河道平直(图 1)。长江源区河流平面形态另一显著特点是,河流平面形态在短距离内发生快速变化,平面上呈“直角状”和不规则的“锯齿状”,如在坎巴塔钦南北流向的沱沱河突然转为东西向,形成直角状水系;在改纳—曲桑扎钦段,当曲流向由东西向→北西向→北东向→北西向,在南北 30 km 范围内,河流流向发生 4 次大的变化,平面上总体呈反“∑”形态(图 1)。

2　河谷地貌特征

2.1　河谷形态与分布

长江源地区河流下蚀强烈, 河谷形态以宽谷和窄谷为主,且不同地段又存在一定差异,河流上游和中游以宽度较小的谷状地貌为特点,窄谷与宽谷交替出现,而下游总体以宽谷为主。

收稿日期:2005-03-26;**改回日期**:2005-12-25

基金项目:国家自然科学基金项目(40202022)、四川省重点学科建设项目(SZD0408)和中国地质调查局地质大调查项目(200213000002)资助。

作者简介:李亚林,男,1968 年生,教授,长期从事青藏高原地质演化与油气地质研究;E-mail:liyalin@cugb.edu.cn。

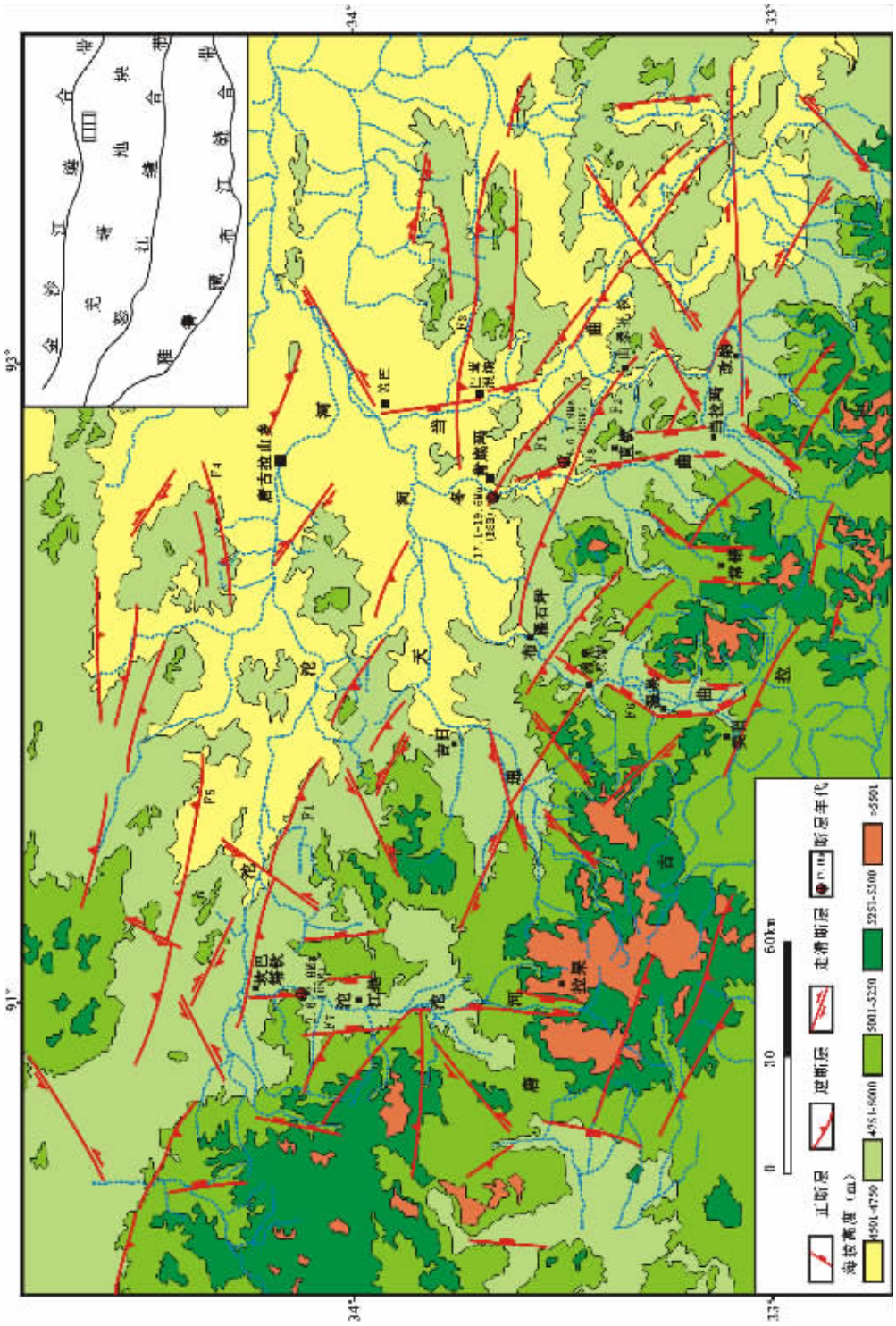

图 1　长江源地区构造地貌简图

Fig.1　Tectono-morphological map of the source region of the Yangtze River

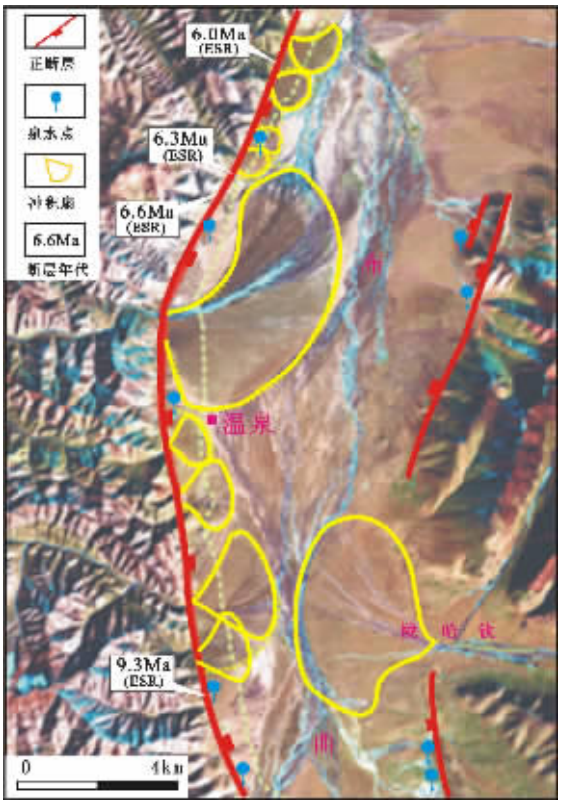

图 2 温泉地区布曲河谷地貌特点(DEM 影像)

Fig.2 Geomorphology of the Bi Qu valley in the Wenquan area (DEM image)

上游和中游窄谷一般分布于河流源头以及宽谷或宽谷与冲积平原之间,如沱沱河拉果段、布曲雁石坪—温泉兵站段和冬曲直钦段。窄谷段谷底海拔高度一般为 5 500~4 700 m,河谷宽度小于 500 m,两岸谷坡大于 50°,谷底与谷肩高差一般大于 500 m,河道单一。中上游宽谷宽度一般为数百米至数千米,长度数千米至数十千米。谷底平坦,谷内支流、心滩、边滩与河漫滩发育,如布曲温泉段(图 2,图版Ⅰ-1)。

下游宽谷谷底海拔高度为 4700~4500 m, 河谷宽度一般大于 1000 m。河床与谷肩高差小于 300 m,谷坡坡度一般30°~40°。河床两侧边滩、河漫滩与心滩发育,具有平原河道的特点,同时河床两岸一般对称发育多级阶地,阶面宽阔,反映出河流侧蚀作用显著增强。如沱沱河唐古拉山乡东段、布曲雁石坪北段和通天河吉日东段(图 1,图版Ⅰ-2)。

2.2 河流阶地

对沱沱河、布曲、当曲和冬曲等河流的阶地进行系统测量和研究表明,该区河流阶地具有以下特点。

阶地发育程度在河流上、中、下游存在明显差异。一般从下游平原区向中、上游中高山区递减,下游一般发育 4~7 级阶地,而中游和上游一般发育 1~4 级阶地(图 3)。此外,在不同河谷地貌中,阶地发育程度也存在较大差异,表现在中游宽谷段普遍缺失阶地, 而在宽谷两侧窄谷处阶地均较发育。如布曲在温泉宽谷段尽管第四系沉积厚度巨大[4],但河谷两侧普遍缺失阶地,取而代之的是上叠加积的宽阔河谷和支流冲积扇的广泛发育(图 2),而在宽谷相邻的南北窄谷处不同程度地发育 3~4 级阶地(图 3),同时自宽谷向窄谷,由近而远,阶地级数明显增加,并由堆积阶地渐变为基座阶地[5]。

研究区阶地大都以基座阶地为主, 部分为侵蚀阶地,堆积阶地少见。在基座阶地中,河流相物质在结构上表现为一个简单的二元结构,冲积层厚度一般小于 10 m,包括下部厚度不大的砾石层(1~2 m)和上部河漫滩相沉积(5~6 m),砾石层中砾石分选较好、磨圆度高;并且相邻阶地基座间高差较大,一般数米至数十米,不具有气候阶地发育多个二元结构、

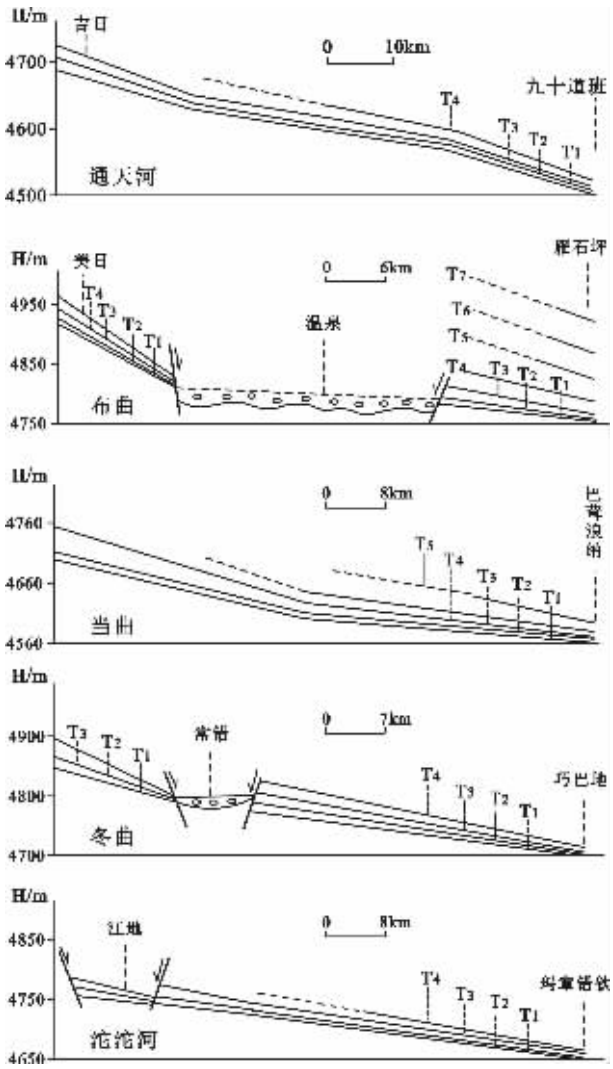

图 3 长江源区主要河流阶地纵剖面

Fig.3 Longitudinal section of the main rivers in the source region of the Yangtze River

砾石层厚度大、砾石分选差、磨圆度低以及相邻阶地基座间高差较小的特点。此外,基座在河流纵剖面上靠近上游阶地高度大,向下游高度降低,这种阶地相位变化既不同于基准面下降形成的向上游辐聚的相位变化,也不同于气候变化形成的中游阶地最高,向下游尖灭的相位变化特点,表明基准面变化和气候变化不是阶地形成的主要原因,本区阶地主要为构造抬升作用形成,这也与青藏高原新生代晚期多阶段、快速隆升造成阶地大量发育的结论一致[6~8]。

表 1 长江源区主要河流阶地年龄

Table 1 Ages of terraces of main rivers in the source region of the Yangtze River

河流名称与位置	阶地基数	拔河高度/m	ESR 年龄/ka
布曲(雁石坪)	T7	202	765
	T6	142	574
	T5	92	446
	T4	55	319
	T3	17	196
	T2	7	88
	T1	2	30
布曲(美日)	T4	22	161
	T3	15	91
	T2	8	79
	T1	2	48
通天河(九十道班)	T4	16	16
	T3	10	13
	T2	6	7.33
	T1	3	7.12
当曲(巴茸浪纳)	T5	87	391
	T4	52	–
	T3	21	–
	T2	4	98
	T1	2	61
沱沱河(江地)	T3	34	
	T2	12	1100
	T1	3	300

由于阶地发育和分布的差异性,研究中对不同河流选择有代表性的阶地进行了年代学研究。分析对象为阶地砾石层上部漫滩相细砂,测年工作由成都理工大学电子核磁自旋共振(ESR)实验室完成(表 1)。年龄数据反映出长江源地区河流阶地的形成大致可以划分为以下 12 个时期:1.1 Ma、0.75 Ma、0.57 Ma、0.40 Ma、0.3 Ma、0.19 Ma、0.16 Ma、0.08 ~0.09 Ma、0.05~0.06 Ma、0.03 Ma、0.015 Ma 和 0.007 Ma,同时阶地形成时间反映出,由老至新阶地形成的时间间隔逐渐变小,表明研究区隆升频率具有逐渐变大的趋势。

2.3 洪(冲)积扇

研究区河流及其支流洪(冲)积扇发育,洪(冲)积扇的分布、形态与区域地貌、河谷地貌有着密切联系。在分布上,区内与主干水系有关的洪(冲)积扇主要分布于中下游低山、丘陵与平原的过渡区以及中上游窄谷与宽谷过渡区,洪(冲)积扇规模较大、形态完整。主干水系支流洪(冲)积扇形态和规模上变化较大,主要沿宽谷两侧大量发育,形成洪(冲)积扇群,而窄谷段不发育或仅发育规模较小的洪(冲)积扇。如布曲温泉宽谷两侧,发育了一系列规模不等的洪(冲)积扇,构成冲积扇群(图 2),对宽谷西侧调查发现,规模较大的大支流多发育两期洪(冲)积扇,晚期洪(冲)积扇一般叠加于早期扇体的北侧,形态完整,早期扇顶部位常发生偏转表现为“歪头扇”(图 2)。

3 新构造变形特征与阶段划分及其对河谷地貌的控制作用

3.1 新构造变形特征与阶段划分

长江源地区地处青藏高原腹地,新构造变形受印度—欧亚板块碰撞后持续挤压造山和高原隆升动力学体制控制,发育多期不同性质的断裂和褶皱构造为特点。通过大量野外地质调查,结合年代学分析,将长江源地区新构造变形过程划分为 3 个阶段,即早期近南北向挤压应力作用下的褶皱–逆冲变形阶段、递进的走滑剪切变形阶段和晚期伸展变形阶段。

早期褶皱–逆冲变形主要表现在一系列走向北西西–北西的逆断层(图 1),规模较大的包括肯底玛断层(F_1)、曲桑扎钦断层(F_2)、巴茸浪纳断层(F_3)、拉卜查断层(F_4)、斜日贡尼断层(F_5)等。野外调查发现,这些逆断层规模较大,以脆性–脆韧性变形为特点,在构造组合样式上表现出由南向北逆冲的褶皱–逆冲带❶,即唐古拉山逆冲推覆构造带(Tanggula Thrust System,TTS),其根带位于拉果—美日一带,以高角度逆冲叠瓦构造为特点,中带位于江地—温泉兵站—常错一线,变形样式表现为隔档式褶皱逆冲带,肯底玛—坎巴塔钦一线为其锋带,锋带内逆断层走向一般为 290°~310°,倾角 30°~60°,断层面南倾,以低角度叠瓦状构造为特点,并使晚古生界和中生界地层逆冲于推覆于古近系—新近系之上❶。如沿肯底玛逆冲断裂(F_1)石炭系和三叠系逆冲于渐新世沱沱河组—雅西错组之上,地貌上该断层构成南部中—高山与北侧丘陵的分界。从 F_1 断层切过最新地层为中新统五道梁组(23.0~16.0 Ma)[9],以及本次获得的 F_1 断层时代(17.1~19.6 Ma),表明逆冲推覆构造属新构造变形。褶皱变形主要表现为渐新统沱沱河组—中新统五道梁组中发育的轴向北西、北西西向的背斜和向斜构造,并与逆冲断层构成褶皱逆冲构造,表明新近纪早期研究区仍处于挤压缩短体制。

走滑剪切变形主要表现为在区内广泛发育的北东向和北西西向两组走滑断层,尤以北东向断层最为发育(图 1)。野外研究表明,本期走滑变形以脆韧性变形为特点,断层规模相对较小,断层倾角较大,一般为 60°~85°。其中北西西向断层走向为 275°~290°,主要表现为左行,北东向断层走向为 30°~60°,表现为右行。两组断层空间上相互截切,具共轭特点。从区域上看,本期走滑变形在整个羌塘地块中普遍发

❶ 成都理工大学地质调查研究院. 1:5 万温泉兵站幅区域地质调查报告, 2005.

育,断层力学机制分析以及与逆冲断裂和晚期正断层的叠加改造关系表明,本期变形为早期南北向挤压作用递进变形的结果[10]。

晚期伸展变形主要表现为近东西向伸展作用下近南北的正断层和地堑构造,如沱沱河地堑、温泉地堑、常错地堑和当拉玛地堑(图 1~2)。地堑由断陷盆地、两侧正断层系和断隆带构成,地貌上断陷盆地宽度一般为 3~10 km,长 30~50 km,盆地内地势平坦,表现为平原地貌特点,与两侧断隆带高差数百米。正断层走向近南北,断面倾角一般为 65°~80°,地貌上表现为断崖、断坎(图版Ⅰ-1)。断层带内断层泥、角砾岩发育,盆地边部规模较大的正断层带一般为断隆带基岩和断陷盆地第四系河流沉积的界线,如温泉断层(F_6)、沱沱河断层(F_7)和冬曲断层(F_8)等(图 2)。据断层 ESR 年代学分析,温泉正断层时代为 9.3 Ma、6.6 Ma、6.3 Ma、6.0 Ma, 冬曲正断层时代为 4.6 Ma、1.9 Ma,沱沱河地堑正断层时代为 2.6 Ma、2.8 Ma(图 1~2)。这些正断层不仅截切了上述逆断层和走滑断层,而且错断第四系沉积, 同时沿断层带发育线状展布的泉水点(图 2,图版Ⅰ-3),表明它们属活动构造。

3.2 新构造运动对河谷地貌的控制作用

河流对新构造运动极其敏感, 并在地貌形态上做出响应[11~12]。本次调查发现,长江源地区新构造运动对河谷地貌形态、河流阶地以及河流冲(洪)积扇都有显著的影响和控制作用。

3.2.1 新构造运动对河流平面形态的控制作用

大比例尺填图发现,沱沱河坎巴塔钦段、冬曲直钦段南北向水系与南北向正断层空间上具有较好的对应性关系,水系主要沿正断层发育(图 1,图 4-b-c);当曲改纳—曲桑段河流平面形态与不同性质的断裂构造的对应关系(图 4-a)以及坎巴塔钦段沱沱河“直角”状形态与北西西向逆断层(F_1)和南北向正断层(F_7)空间上的对应性(图 4-b-c)表明,研究区水系格局与河流平面形态变化受活动断裂构造控制,河流沿断裂构造的溯源侵蚀作用不仅使平面形态快速多变,特别是沿南北向断裂构造带的溯源侵蚀作用奠定了本区平行式水系格局(图 1)。

3.2.2 新构造运动对河谷形态的控制作用

研究区河谷形态空间上与地堑构造存在很好的对应性,如布曲温泉宽谷、冬曲常错宽谷分别对应于温泉断陷盆地和常错断陷盆地(图 1~2),断陷盆地内河谷宽度变化与断陷盆地两侧边界正断层间距离变化呈线性关系(图 2)。而窄谷常与不对称地堑或正断层具有对应性(图 4-b-c),如沱沱河桑

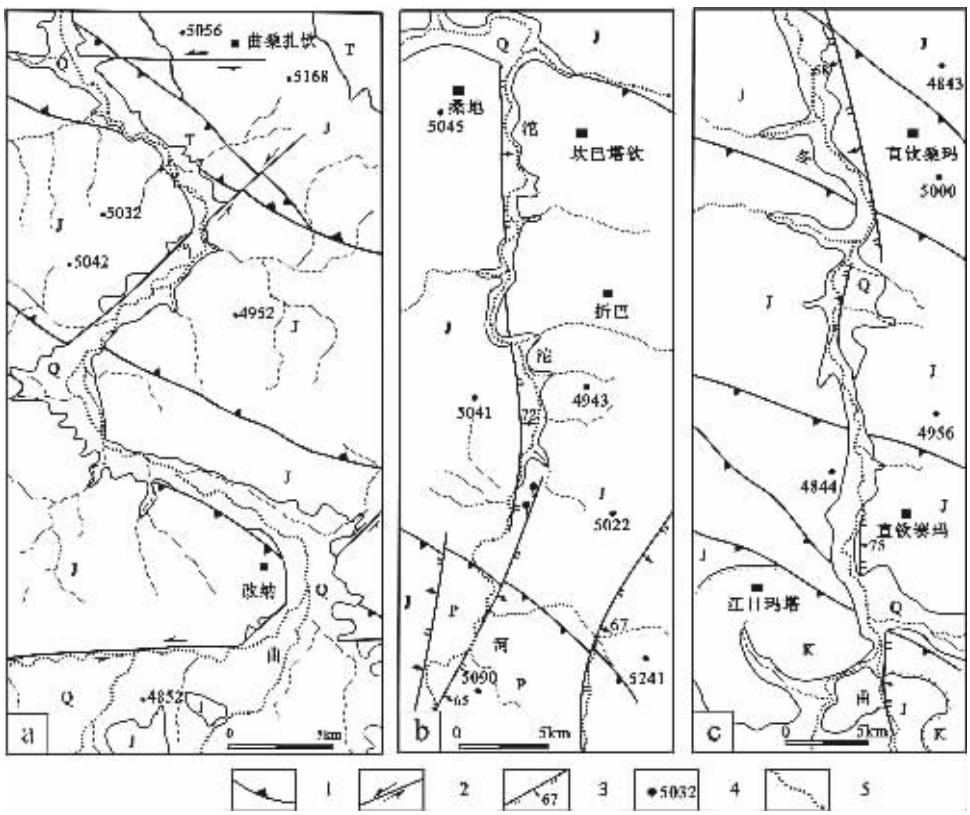

图 4 河流平面形态与新构造

Q—第四系;K—白垩系;J—侏罗系;T—三叠系;P—二叠系;1—逆断层;2—走滑断层;3—正断层;4—高程点;5—河流

Fig.4 Relationship of river distribution and neotectonics

Q-Quaternary;K-Cretaceous;J-Jurassic;T-Triassic;P-Permian;1-Thrust;2-Strike-slip fault;3-Normal fault;4-Elevation above sea level;5-River

地、冬区直钦段,正断层上下盘的差异运动与沿正断层带河流强烈侵蚀作用造就窄谷地貌。年代学分析表明正断层发育时代为上新世初,早于河流时代,并具有长期活动特点,因此,现今窄谷地貌是新构造运动与河流侵蚀共同作用的多成因谷。

3.2.3 新构造运动对洪(冲)积扇的控制作用

以温泉盆地为代表,对断陷盆地洪(冲)积扇群形态与盆地边界断裂构造关系调查表明,盆地洪(冲)扇群的扇顶连线呈直线,并且与盆地边界温泉断裂走向一致(图 2)。温泉断裂断层面上擦痕、阶步等运动学标志分析表明,断裂为具有左行走滑运动分量的走滑-正断层[13],而扇体叠加关系、偏转形态与现代河床弯曲形态等特征也指示该断裂具有左行走滑性质。表明受正断层上、下盘的差异运动的控制,洪(冲)积扇沿断层带的大量发育, 而断层走滑分量的存在使得古河道发生左行位移,导致扇体形态发生偏转和不同期次扇体平面上的叠加。

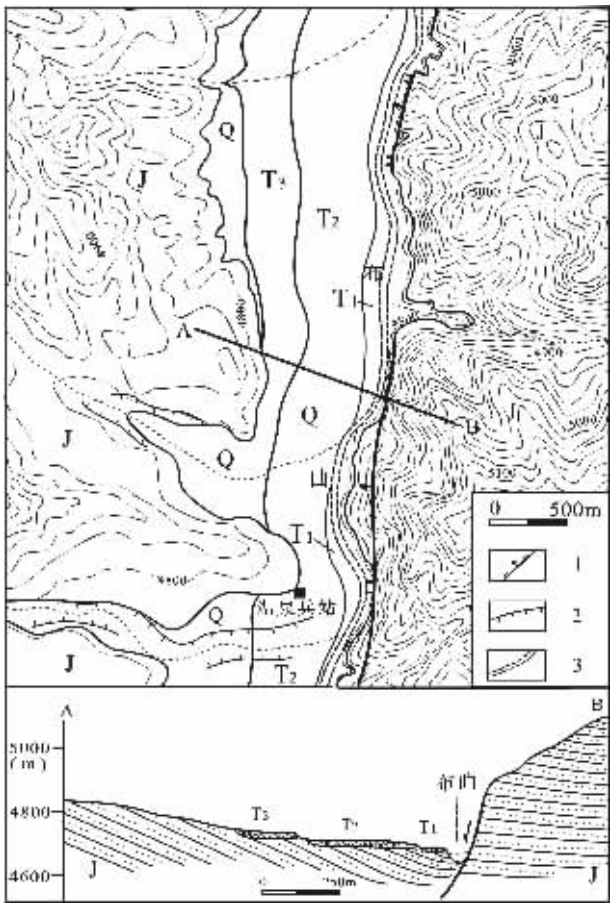

图 5 温泉兵站河流阶地与正断层关系

Q—第四系;J—侏罗系;T_{1-3}—阶地;1—正断层;2—布曲;3— 陡坎;A-B—剖面线

Fig.5 Relation of terraces and normal faults in the Wenquanbingzhan area

Q-Quaternary;J- Jurassic;T_{1-3}- Terraces;1-Normal fault;2-Bi Qu;3-Steep slope;A-B-section line

3.2.4 新构造运动对河流阶地的控制作用

研究区阶地的发育与分布同样受新构造运动控制。在分布上,受地堑两侧正断层产生断陷作用的影响,断陷盆地属于相对沉降区,导致宽谷河段阶地普遍缺失(图 3)。窄谷段阶地受正断层上下盘差异运动和沿断层带侵蚀作用的影响,阶地仅发育于正断层上盘,下盘不发育,如布曲温泉兵站—雁石坪段(图 5,图版Ⅰ-4)。此外,由于受活动正断层的影响,阶地常被断层错断,在阶面上产生高度几十厘米到数米的断坎(图版Ⅰ-5~6),呈现不同级阶地的假象,如在冬曲直钦地区二级基座阶地被错断,地貌上表现为高 2~2.5 m 的断坎(图版Ⅰ-6),并在基座断面上可见擦痕构造。

3.2.5 河道变迁对新构造运动的响应

河流袭夺、河道变迁是新构造运动的重要表现。冬曲支流那若曲在雁石坪冲断隆起区流向近南北向,在流入隆起区前缘的冲积平原后转为近东向,并在河流转向处发育规模较大的古冲积扇(图 6),冲积扇形态和古河道分布表明,那若曲早期河床呈南北向展布。同时构造调查表明,沿现今河道发育一活动走滑断层,河床与走滑断层走向的一致性以及古冲积扇的形态表明,早期近南北流向的那若曲,受到沿走滑断裂发生快速溯源侵蚀河流的袭夺,发生改道,致使古河道被遗弃,在断裂构造与古河道交汇处残留了早期近南北向的古河道和冲积扇。

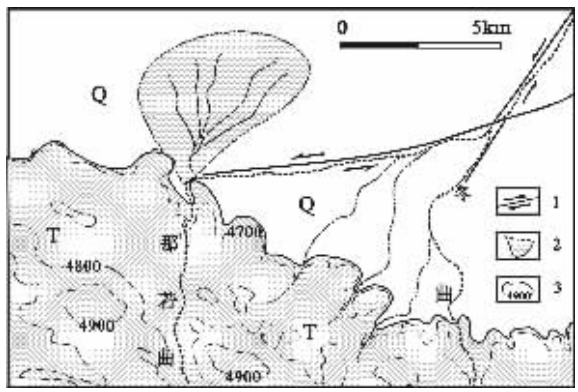

图 6 那若曲河流改道

Q—第四系;T—三叠系;1—走滑断层;2—冲积扇;3—等高线

Fig.6 Watercourse diversion of the Naruoqu River

Q-Quaternary;T-Triassic;1-Slip fault;2-Alluvial fan;3-Contour line

4 初步结论

(1)长江源地区河流以近南北向展布的平行式水系为主,局部地段变化较大,河谷地貌表现窄谷与宽谷,洪(冲)积扇、阶地发育。

(2)研究区河流阶地以基座和侵蚀阶地为主。阶地结构

图版Ⅰ(plate Ⅰ)

1—温泉平坦谷底与正断层地貌(→15°);2—雁石坪北布曲宽阔谷地地貌(→35°);3—沿温泉正断层分布的泉水点(→3°);4—温泉兵站河流、阶地分布与正断层关系(→220°);5—温泉兵站处正断层错断阶地现象(→112°);6—冬曲直钦处正断层错断阶地现象(→87°)

1−Morphological features of the wide flat valley bottom and normal fault in the Wenquan area (→15°);2−Wide valley geomorphology of the Bi Qu in the northn of Yanshiping (→35°);3−Springs disrubuted along the Wenquan normal fault (→3°);

4−Relationship of river and terrace distribution with normal faults in the Wenquanbingzhan area (→220°);

5−Terrance cut by an active normal fault in the Wenquanbingzhan area (→112°);

6−Dongqu River terrace cut by an active normal fault in the Zhiqin area (→87°).

一般表现为一个简单的二元结构,砾石层中砾石分选、磨圆好,相邻阶地基座间高差较大,同时阶地相位变化也不同于基准面下降和气候变化形成的阶地,且阶地发育受活动断裂构造控制,这些特点表明,基准面变化和气候变化不是阶地形成的主要原因, 构造作用是影响本区阶地发育主要因素。研究区阶地发育大致经历了 12 个时期, 表明长江源区第四纪以来构造隆升具有多次、多阶段的特点。

(3)构造变形分析和断裂构造年代学分析表明,长江源地区新构造变形过程经历了中新世早期褶皱-逆冲、走滑剪切变形和中新世晚期以来的伸展变形 3 个阶段,其中晚期近东西向伸展作用下产生的正断层和地堑构造属于活动构造。研究区新近纪以来变形过程与整个高原新构造运动的性质、特点和演化过程具有一致性[14-16],表明研究区新构造变形总体受控于青藏高原新近纪以来构造演化和隆升过程。

(4)长江源区新构造运动对该区河流地貌形成演化具有显著的控制作用。研究区河谷地貌和水系格局总体受控于新构造变形产生的断裂构造样式,但不同性质与类型的断裂构造对河谷地貌影响程度存在差异,早期逆冲和走滑断裂对河流平面形态具有控制作用,而晚期正断层和地堑构造对研究区水系格局、河谷地貌形态、阶地的分布以及洪(冲)积扇的分布、形态、叠加关系等都具有显著的控制作用,是控制本区河流地貌形成演化的主要构造。

(5)根据本次研究获得河流沉积物最老时代为沱沱河二级阶地(1.1 Ma),横向对比来看该阶地属于低级阶地,新构造变形调查显示该阶地处于沱沱河地堑构造内。笔者认为该阶地形成较早,之后发生强烈断陷作用,高度下降,现今低级阶地应为后期断陷的结果。另外从该处一级阶地时代也相对较老(0.3 Ma)以及沱沱河河道最长、流量最大也反映出,该河流具有较长的演化史。因此,综合分析认为,长江源区河流主要形成于全新世以来(1.1 Ma),并且沿新构造运动产生的断裂构造溯源侵蚀发育而成。从整个长江演化来看,在 2.0 Ma 时巧家以下的金沙江与川江贯通, 最迟在 1.54 Ma 金沙江全线贯通[17],至全新世初金沙江溯源侵蚀达到长江源地区。

参考文献(Reference):

[1] 青藏高原综合科学考察队. 西藏地貌[M]. 北京:科学出版社, 1983. 230~238.
Research Group of the Science Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau. Geomorphology of Xizang (Tibet) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1983. 230~238(in Chinese with English abstract).

[2] 沈玉昌. 长江上游河谷地貌[M]. 北京:科学出版社, 1965. 1~162.
Shen Yuchang. Upriver Fluvial Geomorphology of the Yangtse River [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1965. 1~162(in Chinese).

[3] 杜榕恒. 青藏公路(昆仑山至唐古拉山段)地貌特征的初步观察[J]. 地理学报, 1964, 3(2):6~14.
Du Rongheng.Geomorphology observation from Kunlun Tanggula Mountains along the Qinghai-Tibet highway [J]. Acta Geographica Sinica, 1964, 3(2):6~14(in Chinese with English abstract).

[4] 浦庆余, 吴锡浩, 钱方.青藏公路沿线唐古拉山地区的第四纪地质问题[A]. 见:青藏高原地质文集(4)[C]. 北京:地质出版社,1982. 19~33.
Pu Qingyu, Wu Xihao, Qian Fang. The Quaternary geology along Qinghai-Tibet road in Tanggula area [A]. In:Contributions to the Geology of the Qinghai-Xiang(Tibet) Plateau(4)[C]. Beijing:Geological Publishing House.1982,19~33 (in Chinese with English abstract) .

[5] 周继颐. 从江源地区某些地貌标志看该区新构造活动性[J] .长江志季刊, 2001, (3):79~91.
Zhou Jiyi. Relationship of some geomorphology signals in source river and neotectonic activities [J]. Yangtse River Journal,2001, (3): 79~91 (in Chinese with English abstract).

[6] Li J J , Wen S X,Zhang Q S , et al. The time, range and style of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Science in China,1979, 6:608~616.

[7] Ding Lin, Zhong Dalai, Pan Yusheng, et al. Fission track evidence for Neogene to Quaternary uplift of eastern Himalayan Syntaxis [J]. Chinese Sci. Bull. 1995, 40(15):1497~1500.

[8] Li J J, Fang X X, Ma H Z. Geomorphological and environment evolution in the upper researches of the Yellow River [J].Science in China (Series D),1996, 26(4):316~322.

[9] Liu Zhifei,Wang Chengshan,Yi Haisheng.Magnetostratigraphy of Tertiary sediments from the Hoh Xil Basin:implications for the Cenozoic tectonic history of the Tibetan Plateau [J].Geophysical Journal International,2003,154:233~252.

[10] 黄继钧. 藏北羌塘盆地构造特征及演化[J]. 中国区域地质, 2001, 20 (2):78~186.
Huang Jijun. Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang basin [J]. Regional Geology of China, 2001, 20 (2):178~186 (in Chinese with English abstract) .

[11] Holbrook, S A Schumm. Geomorphic and sedimentary response of rivers of rivers to tectonic deformation:a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings [J]. Tectonophysics, 1999, 305:287~306.

[12] 史兴民, 杨景春. 河流地貌对构造活动的响应[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3):48~51.
Shi Xingmin, Yang Jingchun. Response of fluvial geomorphology to tectonic movement [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(3):48~51(in Chinese with English abstract).

[13] 李亚林, 王成善, 伊海生. 西藏北部长江源地区新生代地堑构造特征与形成机制[R]. 2006.
Li Yalin, Wang Chengshan, Yi Haisheng. Characteristics and formation mechanism of grabens in the source region of Yangtze River, North Tibet[R]. 2006.

[14] 马宗晋, 张家声, 汪一鹏.青藏高原三维变形的时段划分和新构造分区[J]. 地质学报, 1998, 72(3):211~227.
Ma Zongjin, Zhang Jiasheng, Wang Yipeng. The 3-D deformational movement episodes and neotectonic domains in the Qing-

hai-Tibet P1ateau [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(3): 211~227 (in Chinese with English abstract).

[15] Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet [J]. Journal of Geophysical Research, 1978, 85: 5361~5375.

[16] Li Yalin, Wang Chengshan, Yi Haisheng. Characteristics of the Shuanghu graben and Cenozoic extension in the northern Tibet [J]. Science in China (D), 2001, 44(s): 284~291.

[17] Zhang Y C, Li J J. Study of the development of the Jinsha River and uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau during Late Cenozoic times [A]. In: XIV INQUA Abstracts Bonn: Schriften der Alfred-wegener-Stiftung, 1995, 314.

Morphological features of river valleys in the source region of the Yangtze River, northern Tibet, and their response to neotectonic movement

LI Ya-lin[1], WANG Cheng-shan[1], WANG Mou[2], YI Hai-sheng[2], LI Yong[2]

(1. *Research Center of Tibetan Plateau Geology, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *Sichuan, China*)

Abstract: Field investigations of the geomorphology of river valleys and neotectonic deformations in the source region of the Yangtze River, northern Tibet, show that the region is characterized by a parallel type drainage pattern and wide and narrow valleys of different shapes. Since the Neogene, the region mainly has undergone a tectonic evolution from compression in the early stage and extension in the late stage, thus forming three tectonic deformation styles, i.e.: folds-thrusts and strike-slip shear in the early stage and normal faults and grabens in the late stage. Neotectonic movement has not only controlled the geomorphological features of the river valleys and drainage pattern but also affected the distribution of the river terraces and shape and structure of diluvial (alluvial) fans. The main drainage system in the source region of the Yangtze River formed at least by headward erosion along the faults of different natures generated by neotectonic movement during the Holocene.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; source region of the Yangtze River; valley geomorphology; neotectonic movement

---

About the first author: LI Ya-lin, male, born in 1968, professor, has long engaged in the study of the geological evolution and petroleum geology on the Qinghai-Tibet Plateau; E-mail: liyalin@cugb.edu.cn.