

文章编号: 1009-6248 (2003) 02-0001-12

青海共和至甘肃兰州黄河河谷地貌的形成 与青藏高原东北缘隆升的关系

赵振明¹, 刘百箴²

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 依据共和至兰州黄河河谷大量的实测数据, 结合现有的研究成果, 认为构造作用对该区河谷地貌的形成起到一定的决定作用。河谷地貌的抬升速率揭示出两次新构造事件: 一次发生在 20 万年 B. P. 至 15 万年 B. P.; 另一次发生在 1 万年以来。黄河阶地纵剖面反映出青藏高原第四纪挤压力向东北方向逐渐减小, 在兰州出现挤压力在某时段消减的情况。

关键词: 黄河阶地; 横剖面; 纵剖面; 构造事件; 高原隆升

中图分类号: P542 **文献标识码:** A

1 前言

1.1 概述

黄河共和至兰州段直线距离约 280 km (图 1), 位于青藏高原的东北部, 黄河在该区域正好横穿青藏高原东北部各个构造单元, 并在地貌上穿越了共和、贵德、循化、临夏和兰州 5 大盆地以及控制各盆地的各个构造隆起区。黄河在不同的盆地和峡谷中表现出不同的河谷地貌和盆地地貌景观 (图 2), 反映了青藏高原第四纪隆升及构造变形的主要过程。因此, 该区域河谷地貌, 特别是河流阶地纵剖面, 是研究活动构造最理想的场所。

1.2 阶地研究的历史与成果

黄河及其支流发育一系列阶地, 记录了青藏高原阶段性隆升及其黄河溯源侵蚀的全过程^[1], 并且记录了青藏高原第四纪的发展历史^[2]; 高原贯流水系的研究易获得有关隆起的大量信息, 其阶地序列

能够揭示高原隆起幕及运动性质^[3]; 昆仑-黄河运动^[4,5]以及 15 万年的共和运动, 使高原最终达到现今高度^[4]。

通过构造隆起或气候变化导致的增积 (aggradation) 活动河床的抬升为减积 (degradation) 阶地的形成提供了垂直空间。气候和构造扰动导致河流一旦下切单个侵蚀基准面, 就形成阶地。河流基准水面的降低有助于山前地带季节性河流一次下切新事件的发生, 这样创造了新的空间。在这个空间中低下切阶地得以形成^[6]。阶地年代和纵向剖面表明, 复合相互作用发生在相关的基准面, 一种外部因素的改变, 如海平面的降低和气候的变化, 表现在河流切割和随后谷底 (侵蚀) 阶地的起源^[7]。

我们对构造气候旋回的理解是: 河流地貌是内营力 (构造抬升) 和外营力 (气候变化引起的水量变化) 相互耦合的结果, 内营力抬升增加重力势能, 雨量充沛的雨季, 河流下切形成阶地。

收稿日期: 2002-07-25; 修回日期: 2003-04-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“大陆强震机理与预测”子课题“祁连山地区活动地块运动状态及其边界断裂系构造转换关系研究”(编号: 95-13-01-04) 成果之一

作者简介: 赵振明 (1965-), 男, 陕西西安人, 地质工程师, 构造地质学硕士。

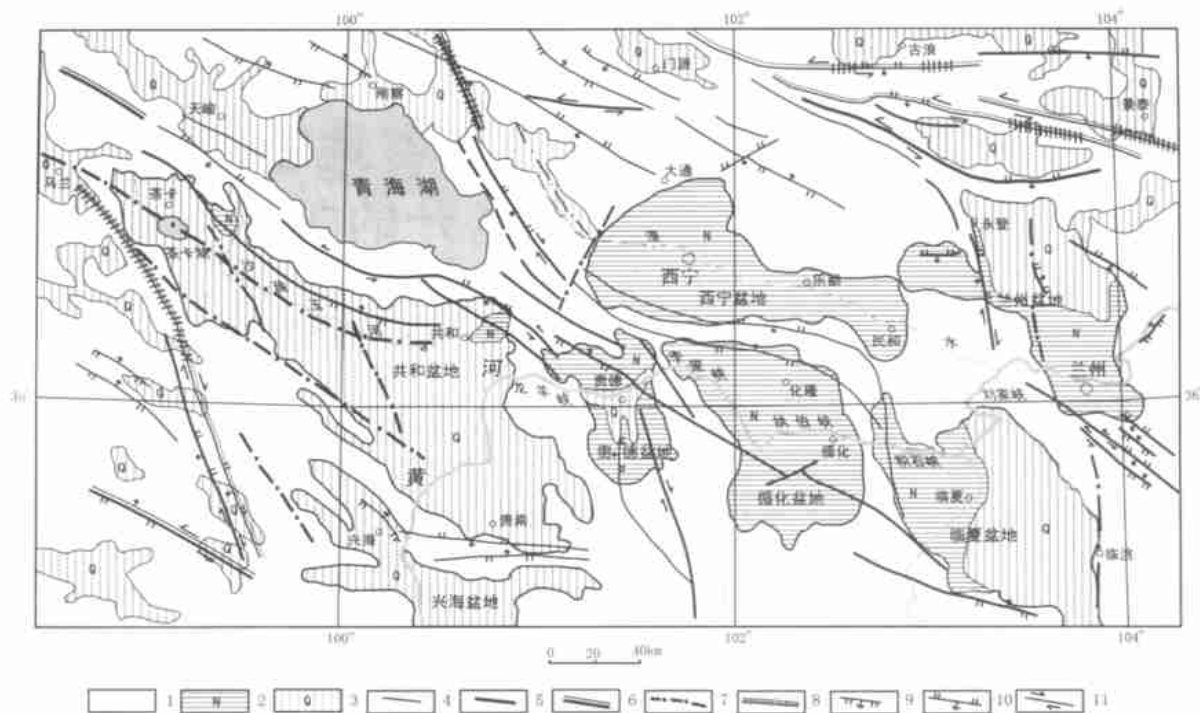


图1 黄河中上游地质略图

Fig. 1 Geological sketch map in the middle and upper reaches of the Yellow River

1. 古近纪以前地层; 2. 新近系; 3. 第四系; 4. 早中更新世活动断层; 5. 晚更新世活动断层; 6. 全新世活动断层;
7. 隐伏断层; 8. 地震断层形变破裂带; 9. 正断层; 10. 逆断层; 11. 走滑断层

2 第四纪河流阶地的形成机制

William B. Bull^[6]把阶地分为: 充填阶地(fill terrace), 是通过河谷增积和随后的河流切割冲积物形成, 这种类型相当于堆积阶地; 充填-切割阶地(fill-cut terrace), 是后期河流侵蚀冲积层形成。当河流停留在相同水平面的主要期间内, 随后新的河流下切孤立的阶地级面, 国内研究者一般很少考虑这种阶地, 只是在微地貌的研究时才涉及, 即所谓的次阶地; 谷底阶地(strath terrace), 一般位于构造活跃的山脉, 是河流侵蚀加宽峡谷底面的基岩, 产生较小的(静态均衡)或较大(动态均衡)谷底。较小的谷地阶地一般与充填-切割阶地形态相似, 谷地阶地的表面是平切在基岩上, 而充填-切割阶地的表面则是平切在冲积层上, 充填阶地不同于谷底阶地和充填-切割阶地, 仅在于薄层河流砾石残余在平切表面上, 这些砾石可以被下次大水所带走。谷底阶地的表面可以被来自下次气候导致增积事件的厚

层充填物埋掉, 相当于国内所认为的侵蚀阶地^[8]。

我们认为, 气候和构造两种机制形成两种主要的阶地, 而复合响应阶地或次阶地是在这两种大阶地之上减积或增积形成的小阶地, 对于单个河流阶地而言, 都可把其概括为下切—增积(或沉积)—再下切这样的序列。构造是阶地形成的内在动力和原因, 由于抬升与侵蚀基准面的降低, 这时, 河流搬运力(stream power)大于河流阻力(resisting power)把河床原先的沉积物带走之后又继续下切基岩形成侵蚀阶地或谷底阶地。当构造长时期处于平静期, 那么气候在这时期就对河流阶地的形成起决定作用: 冰期, 水量小, 河水下切能力小, 所搬运、溶解的物质多, 即负荷大, 搬运力小于阻力, 河流主要表现为侧蚀形成河床, 并形成大量沉积(climatic aggradation), 这种沉积可以堆积于此前的原沉积层上, 也可堆积到无沉积物的谷底上; 间冰期, 气候湿润, 冰雪融化, 降雨量增加, 河水水量增大, 河水搬运溶解的物质相对减小, 即负荷变小, 这时就要增加搬运和溶解物质, 搬运力大于

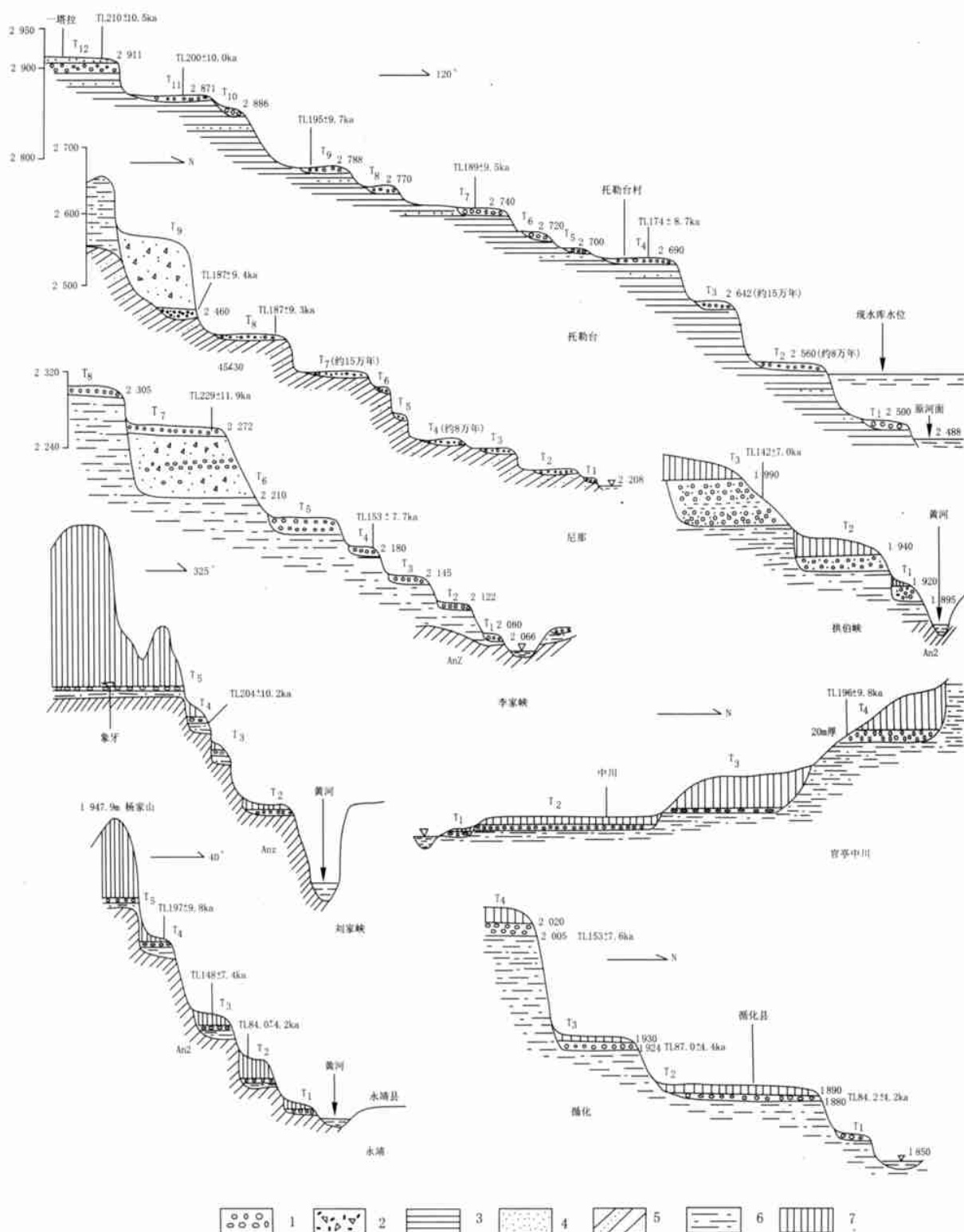


图 2 黄河中上游代表地段实测剖面图

Fig. 2 The measured section in typical area in the middle and upper reaches of the Yellow River

1. 砾石; 2. 洪积物; 3. 泥岩; 4. 粉砂岩; 5. 灰绿色变砂岩; 6. 上新统红层; 7. 黄土

阻力,这样就下切原河床形成阶地,这种下切可以在原沉积层上,也可在谷底基岩上,无论在那里,它所下切的幅度要远远小于构造抬升后所下切的幅度,这种阶地就是所谓的次阶地或复合响应阶地(complex-response terrace)。

3 河流纵剖面反映的构造过程

3.1 纵剖面所反映的整体活动构造

在该地区所采集的 21 个 TL 样品由中国科学院地质与地球物理研究所热释光实验室测定,并经过详细的校正,21 个 20 万年以来的测试结果可使用数据,兰州 T_1 — T_7 阶地及循化 T_5 阶地数据引用李吉均 (1996.8)^[1]、潘保田 (1995)^[9] 等文章,临夏和兰州一级阶地年代为 1 万年 (李吉均, 1996.8)^[1],笔者暂把研究区域的一级阶地定为 1 万年;高程结合地形图由气压测高仪测定。根据平均抬升速率换算出阶地剖面上部分未测试数据,由上述数据构成表 1、表 2,根据表 1、表 2 数据作出共和至兰州黄河阶地纵剖面图 (图 3)。从剖面图来看,托勒台—龙羊峡—尼那为一个构造活动频繁,过程又很复杂的一个地区。共和盆地相对龙羊峡 20 万年以来一直为一个抬升区,尼那、循化—积石峡和刘家峡也为抬升区。

(1) 兰州第五级阶地为 110 万年^[9],积石峡切开为 110 万年^[10],循化孟达山第五级阶地为 110 万年^[9],李家峡第八级阶地之上暂定 110 万年 (剖面未测完),在刘家峡最高一级阶地 T_5 顶面,黄土底面海拔 1 874~1 880 m 处发现一颗长 1.4 m 的象牙化石,据兰州大学谷祖纲教授初步鉴定为剑齿象 (? *stegodon* sp.) 或纳玛象 (? *palaeoloxdon* sp.), 年代为 Q_1^{2-3} (115 万年以前),这样构成 110 万年的抬升曲线,其特点是循化、积石峡为抬升区;拱伯峡切开为 60 万年^[11],循化孟达山剖面布容正极性时下限 78 万年^[12],结合兰州 T_4 60 万年^[9],那么,拱伯峡这次被切开的构造事件,从拱伯峡到兰州并延续到兰州以下。

(2) 如果每一级阶地为一次小范围抬升,那么,托勒台即共和盆地东部,除过 T_{12} 为 20 万年, T_4 — T_{11} (约 20~17 万年) 共抬升了 8 次,而距离很近的

龙羊峡 T_7 — T_9 只抬升 3 次。龙羊峡 20 万年前切开之后 T_{10} — T_9 有所抬升, T_9 之后到 T_6 即倒数 T_5 一直为沉降阶段,这一时期为龙羊峡切开之后,构造抬升为该峡谷继续下切提供水的动力来源即提供了重力势能,河流表现为快速下切。15~8 万年龙羊峡又有所抬升,表现在纵剖面上为托勒台的 T_2 、 T_3 与其同期龙羊峡处,喇叭口 (强祖基 1992.8 认为的“辐散”) ^[13] 开向龙羊峡。8 万年以来的两次构造事件刚好相反,喇叭口开向托勒台,说明 8 万年以来龙羊峡进入沉降期,所以龙羊峡在地理、地质这种特殊的位置,表现出了其构造作用的复杂性,同时又反映出青藏高原隆升过程的复杂性。

(3) 贵德尼那,作为贵德盆地的最西端,其大地构造位置与龙羊峡有所区别,但仍受到龙羊峡及其以西块体主体运动的影响,20 万年到 15 万年表现为与龙羊峡同步,但约 12 万年的一次构造抬升从尼那开始到拱伯峡西尖扎洼家滩消失,此范围刚好为贵德盆地和循化盆地的一部分,可能为青藏块体较深部的向北东方向的挤压,在较低海拔高度体现出来。 T_4 (8 万年) 到 T_2 (约 1 万年) 之间贵德盆地的特殊性表现为西端尼那有 3 次抬升,中部贵德县城附近只有一次抬升,与上述 15 万年到 8 万年的情况相比较,此阶段更活跃,范围只到贵德中部结束,这说明此阶段青藏块体的抬升机制与上述 15 万年到 8 万年的相同,而能量变小,反应灵敏的地方就是尼那。所以说,尼那这一特殊位置对于研究青藏块体运动具有很重要的意义。再从断层角度看,龙羊峡上盘上升,小角度逆断层推覆体表现为上、下两部分的接触地方,任何一种“后方”的力的作用,在该处的表现都不一样,可以这样讲,较强大的浅部推力,使上盘表现很明显,而相对较小的深部的推力则明显地表现在下盘 (尼那) 处,相同年龄黄河阶地在纵剖面上的长度代表着这一推力的大小。

(4) 从贵德盆地东到拱伯峡西,尽管在李家峡具有一逆断层比龙羊峡角度小的推覆活动构造带,但没有产生特殊的抬升与沉降 (除约 12 万年构造抬升波及到洼家滩外)。所考察的李家峡 8 级阶地 (图 2) 而未能考察到最高的一级阶地的这种多数量阶地,说明李家峡的抬升情况受到贵德盆地的影响,与贵德盆地的机制相同并先于贵德盆地抬升。

表 1 共和至兰州黄河阶地数据及年代表

Tab. 1 Data and ages of the Yellow River terraces from Gonghe to Lanzhou

阶地	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)
	海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河				
		相对			相对			相对			相对			相对		相对		
T ₁₂	2 911	423 4	TL 210 ± 10. 5															
T ₁₁	2 871	383 4	TL 200 ± 10. 0															
T ₁₀	2 867	379 79	199. 7	2 960	500 140	TL 209 ± 10. 5												
T ₉	2 788	300 18	TL 195 ± 9. 7	2 820	360 52	200. 3	2 460	252 35	TL 187 ± 9. 4									
T ₈	2 770	282 30	193. 0	2 768	308 36	TL 197 ± 9. 9	2 425	217 55	TL 187 ± 9. 3				2 305	250 55				
T ₇	2 740	252 18	TL 189 ± 9. 5	2 732	272 56	174. 1	2 370	162 40	140. 0				2 250	195 40	TL 229 ± 11. 5			
T ₆	2 722	234 22	184. 0	2 676	216	138. 2	2 330	122 20	105. 2	2 370	162 20		2 210	155 4				
T ₅	2 700	212 10	177. 0	以下水淹			2 310	102 41	87. 9	2 350	142 60		2 206	151 30		2 221	271 99	
T ₄	2 690	202 48	TL 174 ± 8. 7				2 269	61 11	52. 6	2 290	82 38	TL 119 ± 6. 0	2 176	121 31	TL 153 ± 7. 7	2 122	172 60	
T ₃	2 624	154 82	140. 0				2 258	50 29	43. 1	2 252	44 14	64. 1	2 146	90 55		2 062	112 72	
T ₂	2 560	72 60	66. 3	(2585)		80. 0	2 229	21 11	18. 1	2 238	30 15	43. 7	2 090	35 18		1 990	40 20	
T ₁	2 500	12 12	12. 5				2 218	10 10	8. 6	2 223	15 15	23. 6	2 072	17 17		1 970	20 20	
河面	2 488			2 460 据原地形图			2 208			2 208			2 055			1 950	1 895	
地方	共和托勒台			龙羊峡			贵德尼那			贵德县城南			李家峡			尖扎 洼家滩		拱伯峡
阶地	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (万年)
	海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河		海拔	拔河				
		相对			相对			相对			相对			相对		相对		
T ₇																1 840	340 100	
T ₆																1 740	240 200	
T ₅	2 300	460 295	(110 万年) *				1 914	124 12					1 868	158 38		1 860	240 37	

续表																			
阶地	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (ka)	高度 (m)		年代 (万年)		
	海拔	拔河 相对		海拔	拔河 相对	海拔	拔河 相对		海拔	拔河 相对		海拔	拔河 相对		海拔	拔河 相对			
T ₄	2 005	165 81	TL 153 ± 7. 6	2 410	610 380	1 902	112 42	1 905	155 125	TL 196 ± 9. 8	1 830	120 35	TL 204 ± 10. 2	1 813	193 95	TL 197 ± 9. 8	1 650	150 70	60
T ₃	1 924	84 44	TL 87. 0 ± 4. 4	2 030	230 130	1 860	70 45	1 780	30 14		1 795	85 23		1 718	98 58	TL 148 ± 7. 4	1 580	80 45	15. 5
T ₂	1 880	40 20	TL 84. 2 ± 4. 2	1 900	100 80	1 815	25 24	1 766	16 8		1 772	62 32		1 660	40 25	TL 84 ± 4. 2	1 535	35 25	3. 6
T ₁	1 860	20 20		1 820	20 20	1 791	1 1	1 758	8 8		1 740	30 30		1 635	15 15		1 510	10 100	0. 7
河面	1 840			1 800		1 790		1 750			1 710			1 620			1 500		
地方	循化			积石峡		官亭张家		官亭中川			刘家峡			永靖县			兰州*		

注: 上表中 21 个 TL 样品由中国科学院地质与地球物理研究所热释光实验室测定, * 数据引用文献 [1]、[9]。

表 2 共和至兰州黄河纵剖面同年代阶地数据表

Tab. 2 Equal age data of the Yellow River longitudinal section from Gonghe to Lanzhou															
年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代
20 万年	T ₁₂	2 911	TL 210 ± 10. 5ka	T ₁₀	2 960	TL 209 ± 10. 5ka	T ₉	2 469	TL 187 ± 9. 4ka	T ₇	2 272	TL 229 ± 11. 5ka			
15 万年	T ₃	2 642	15 万年	T ₆	2 676	15 万年	T ₇	2 370	15 万年	T ₄	2 180	TL 153 ± 7. 7ka	T ₃	1 960	TL 142 ± 10. 9ka
8 万年	T ₂	2 560	8 万年	T ₂	2 585	8 万年	T ₅	2 269	8 万年	T ₂	2 122	8 万年	T ₂	1 930	8 万年
地方	托勒台			龙羊峡			贵德尼那			李家峡			拱伯峡		
年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代	阶地	高度 (m)	年代
20 万年				T ₄	1 905	TL 196 ± 9. 8ka	T ₄	1 830	TL 204 ± 10. 2ka	T ₄	1 813	TL 197 ± 9. 8ka			
15 万年	T ₄	2 005	TL 153 ± 7. 6ka	T ₃	1 780	15 万年	T ₃	1 795	15 万年	T ₃	1 718	TL 148 ± 7. 4ka	T ₃	1 580	15 万年
8 万年	T ₂	1 880	TL 84 ± 4. 2ka	T ₂	1 766	8 万年	T ₂	1 772	8 万年	T ₂	1 660	TL 84 ± 4. 2ka			
地方	循化县			官亭			刘家峡			永靖县			兰州市		

(5) 笔者把拱伯峡划到循化盆地内, 作为拉脊山和扎马山所包围的中心地带, 虽然与两边保持着同步性, 但受到上述两山的制约, 其抬升幅度较小, 相对于两边为沉降区。拉脊山这一庞大的山系制约了拱伯峡, 但在循化盆地东部循化县城到积石峡, 黄河切穿它的地方而大幅度的隆升起来, 孟达山经过 110 万年B. P. 至 80 万年B. P. 的 140m, 长时期的沉积后^[10]被快速地抬升近 300 m (2 005~ 2 300 m), 而后在 20 万年之内被大幅度 (超过拱伯峡) 抬

升 4 次。其中, T₃ 为循化盆地东与积石峡的区域抬升未涉及到两边遥远的地方 (图 3)。

(6) 比较积石峡与龙羊峡, 比较共和盆地与循化盆地的拱伯峡—积石峡之间的部分, 为什么在循化盆地形成 T₅ 与 T₄ 之间有约 300 m 的高差, 而托勒台 T₁₂ 与 T₁₁ 之间只有 14 m 的高差 (2 915~ 2 871 m)? 除过考虑抬升幅度外, 还得考虑水位的下降速率, 如果抬升幅度大, 而水位下降慢, 那么相邻的两级阶地高差仍然很小, 也就是说, 要在抬升过程

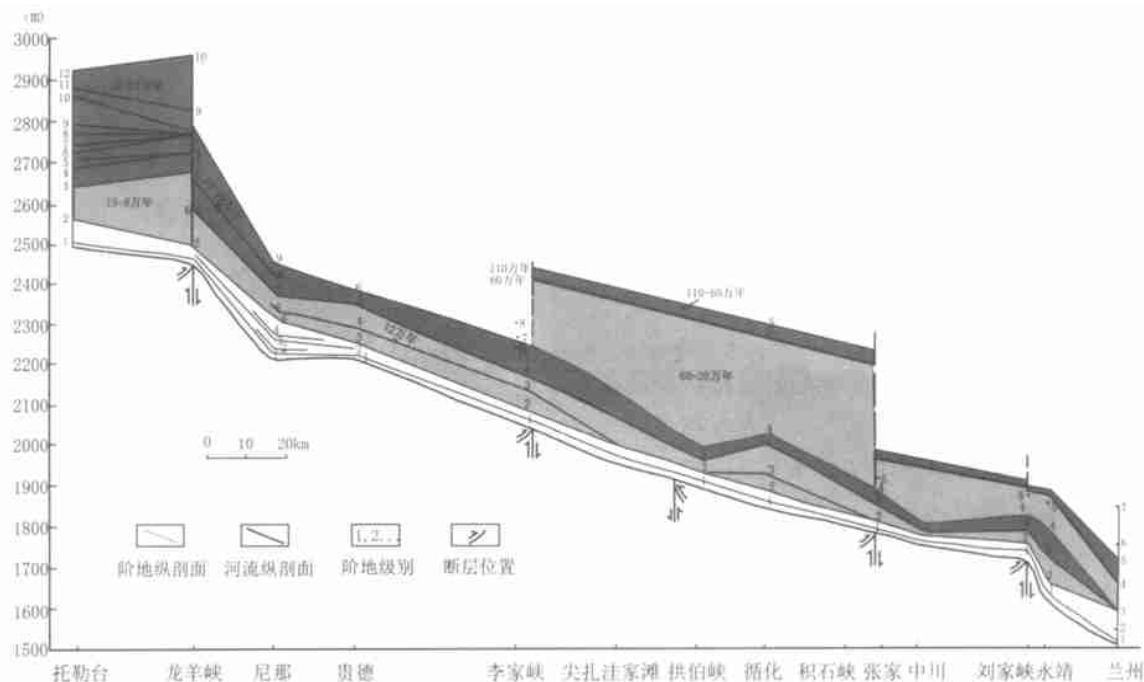


图 3 共和至兰州黄河阶地纵剖面图

Fig. 3 The longitudinal section of the Yellow River terraces from Gonghe to Lanzhou

中形成相邻两级阶地的大高差, 水位就必须在同时, 快速下降到一定高度。孟达山 140 m 的砾石层结束年代为 78 万年^[12], 有时也看作 80 万年^[10, 14], 早于拱伯峡切开年代 60 万年^[11], 即就是循化水体结束沉积时与拱伯峡上尖扎流域水体不通, 那么这时循化水体 (今拱伯峡东口—积石峡西口) 面积为东西长 28 km, 南北宽近 10 km (海拔 2 450 m 以下), 而共和盆地面积东西长 200 km, 西端宽 45 km, 东端宽 70 km, 在龙羊峡切开前盆地内水体是相通的 (共和水体干枯在 10 万年 B. P. 袁保印, 1995^[2]), 暂不管水体深度, 仅从面积这一项, 共和水体要远远大于循化水体, 这样以相同方式切开峡谷, 循化水体要下降得快而共和水体要下降得慢, 这就是为什么没有在托勒台形成 T_{12} 与 T_{11} 之间很大的高差的一个重要原因。

(7) 分析拱伯峡到积石峡的地壳断层情况可看出, 积石峡逆断层推覆体倾角加大, 而西端拱伯峡出现一反向的逆断层推覆体, 改变了主体的同方向的推覆体, 这种作用的结果不再是一个重叠一个, 而是把拱伯峡—积石峡之间的循化盆地抬升起来, 抬

升机制的影响, 西没有超过拱伯峡, 东没有到达官亭, 由于这抬起之后受当时地貌及地形高度的影响, 或者积石峡推覆体幅度小, 而拱伯峡反推覆体幅度大, 从而为循化水体向东流出切穿积石峡创造了条件。所以, 从拱伯峡到官亭, 盆地中部及积石峡西端大幅度抬升 (较两边), 而两边 (拱伯峡以西未切开, 官亭以东积石峡 110 万年 B. P. 切开^[10]) 托着这一盆地小幅度上升, 水向东流出溯源切完积石峡, 水位快速下降。

笔者认为随后拱伯峡和李家峡切开的主体机制与龙羊峡、积石峡切开相同, 局部有其各自的特点。

(8) 官亭处于积石峡中的特殊地方, 上新世 N_2 的沉积厚度为 291.5 m, 上部为砾石层、黄土, 尽管 T_1 — T_4 表现出 4 次构造抬升, 但抬升幅度较小, 属于相对沉降区; 刘家峡、永靖远离循化盆地, 也远离青藏高原主体, 在纵剖面上表现的不像龙羊峡那样复杂, 整体表现为: 较官亭抬升, 较兰州抬升, 其附近也没有大规模的正、逆断层推覆体。刘家峡位于临夏盆地的北端, 大夏河正断层^[15]的东盘上升, 临夏盆地不再完全受青藏高原的控制。因此,

刘家峡与临夏盆地、陇中盆地的整体变化状况有关,当来自青藏高原主应力到达大夏河一带,由于方向等有所改变,也不再是把大夏河断层的上盘向上推,而使上盘有所下降,把下盘推上为正断层,刘家峡随之上升,但刘家峡东边的巴米山花岗岩岩体使这一应力停止,于是刘家峡、永靖的抬升终止到巴米山,同时巴米山在这里也改变了黄河的方向,由北东变为北西。

3.2 从纵剖面得出的认识

- (1) 青藏高原向北东方向剧烈的挤压,表现在远离高原主体的地区;非剧烈挤压,表现在靠近高原主体的地区。110~20 万年,表现为高原向北东方向的挤压力逐渐减小。
- (2) 共和—兰州各盆地作为一个整体,一般西端抬升的次数多于东端,西端抬升的幅度大于东端,反映了地块北部的翘起运动。
- (3) 由于 SW—NE 向的挤压力在该区域出现某段地区抬升,产生一级新阶地,这一级阶地据其挤压力的大小,决定其在纵剖面的延长长度。

(4) 龙羊峡具有特殊情况,在某时段抬升,某时段相对沉降;某一区域可以在一个时段内抬升数次而不波及兰州,如尼那 T₂—T₄,托勒台 T₆—T₁₀。

(5) 在兰州出现挤压力消减的情况。

(6) 主体为北东向逆断层推覆体构造,但局部出现反向逆断层推覆体(拱伯峡)、正断层(大夏河)。

3.3 抬升幅度与抬升速率

按照表 3 的数据作出抬升幅度图(图 4),110~20 万年以来幅度最大的地方在循化—积石峡,20~15 万年在托勒台—龙羊峡,15~8 万年最大的地方在循化,有循化黄河阶地剖面图(图 2) T₃ TL 87.0 ± 4.4 ka, T₄ TL 153 ± 7.6 ka 作依据,8~1 万年幅度最大的地方又转向龙羊峡。整体上,幅度的峰值按照波浪式推移,并逐渐减小。

从抬升速率分析,按照表 4 数据作出图 5 抬升速率图,从图中可看出,速率从共和向兰州逐渐减小,这可能就是整个青藏高原在抬升过程中能量在边缘地带的体现。

表 3 共和至兰州各时段的平均抬升幅度表 (m)
Tab. 3 The average lifting range in every period from Gonghe to Lanzhou (m)

年代 (万年)	平均抬升幅度 (m)										
	托勒台	龙羊峡	尼那	贵德	李家峡	拱伯峡	循化	积石峡	刘家峡	永靖	兰州
110~60							140	211			70
60~20							44	169			7.8
20~15	269	284	99	94	92	32	16	125	35	95	8
15~8	82	91	101	64	59	30	125	80	23	58	30
8~1	60	91	51	48	50	30	20	60	32	25	41
1~0	12	34	10	15	17	15	20	20	20	15	10
与共和距离 (km)	5	34	55	75	115	160	178	216	244	256	265

表 4 共和至兰州各时段的平均抬升速率 (mm/a)
Tab. 4 The average lifting rate in every period from Gonghe to Lanzhou (mm/a)

年代 (万年)	平均抬升幅度 (mm/a)										
	托勒台	龙羊峡	尼那	贵德	李家峡	拱伯峡	循化	积石峡	刘家峡	永靖	兰州
110~60							0.280	0.345			0.140
60~20							0.010	0.420			0.020
20~15	5.380	5.680	1.980	1.880	1.840	0.630	0.320	2.500	0.700	1.900	0.160
15~8	1.171	1.300	1.429	0.914	0.829	0.429	1.786	1.143	0.329	0.829	0.429
8~1	0.857	1.300	0.729	0.686	0.714	0.429	0.286	0.867	0.457	0.357	0.143
1~0	1.2	3.4	1.0	1.5	1.7	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0
与共和距离 × 20 km	0.25	1.70	2.75	3.75	5.75	8.00	8.90	10.80	12.20	12.80	13.25

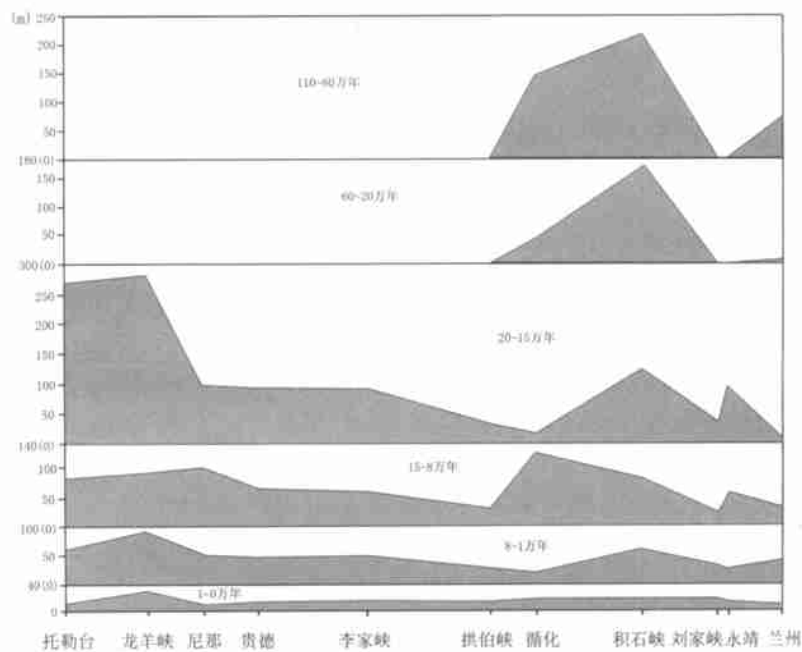


图 4 共和至兰州 110 万年 B.P. 以来抬升幅度图

Fig. 4 The lifting ranges from Gonghe to Lanzhou since 1.10 Ma B.P.

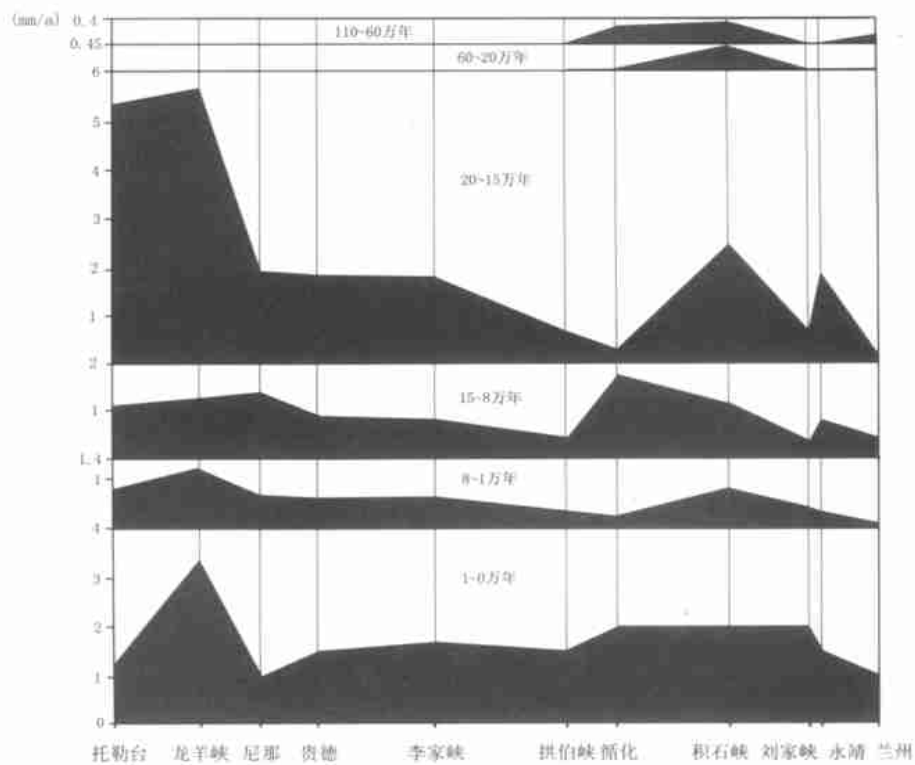


图 5 共和至兰州 110 万年 B.P. 以来抬升速率图

Fig. 5 The lifting rate from Gonghe to Lanzhou since 1.10 Ma B.P.

3.4 20~15 万年的构造事件在地貌上的表现

从图 5 抬升速率图可以看出, 20~15 万年、1 万年以来具有一定规模的构造抬升。

在图 2 中, 一塔拉 T_{12} 形成之后, 总的平均抬升速率为 2.01 mm/a , 但在 T_{12} — T_{11} 之间为 4.4 mm/a , T_{11} — T_4 之间为 6.96 mm/a , T_4 — T_1 之间为 1.17 mm/a , 在这一剖面上有一个大幅度隆起期, 如果要详细研究 10 万年以来的情况, 需把重点放在 T_4 — T_1 这 4 级阶地以及附近 T_3 — T_1 阶地上, 分析哪个时期相对静止, 哪个时期强烈隆起。20 万年的这一次构造事件在兰州地区黄河阶地上没有体现, 我们初步认为该次构造事件对兰州波及很小, 或阶地分岔, 或沉积物与 T_4 60 万年的沉积物之间没有明显界线且厚度很薄。

从沉积物特征看, 托勒台 T_{12} 砾石层厚 6 m, 上为水积沙 6~7 m, 最厚处达 28 m, 下为早更新世地层, 砾石层具有定向排列, 大小均匀, 磨圆度较高, 直径 $\Phi 5 \sim 10 \text{ cm}$ 占 90%, 龙羊峡最高阶地砾石层仍然分选较好, 大小均匀, $\Phi 5 \text{ cm}$ 占多数, 厚 4 m, 下为花岗岩。贵德尼那阶地剖面数据见表 5, T_9 砾石层厚 15~20 m, 加上上边洪积物总厚为 115 m, 砾石中 $\Phi 40 \sim 50 \text{ cm}$ 占一半, 其中有一颗粒体积为 $100 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$, 已为大巨砾。从这 3 个剖面的 20 万年的沉积特征来看, 一塔拉表现为水平静, 龙羊峡最高阶地表现为水运动 (湖岸水荡漾, 切开时水流动), 而尼那 T_9 则表现为大水, 携带大巨砾砾石及洪积物向东。

表 5 贵德尼那黄河阶地数据表 (m)

Tab.5 Data of the Yellow River terrace in Guide N in a (m)

	T_9	T_8	T_7	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	水面
底面高度	2 460	2 425	2 370	2 330	2 310	2 269	2 258	2 229	2 218	2 208
顶面高度	2 575	2 460	2 425	2 370	2 330	2 310	2 269	2 258	2 229	
沉积物厚度	115	35	55	40	20	41	11	29	11	
级面宽度	500	197	145	15	6	60	30	50	10	总宽 1 013

贵德盆地东西长 30 km, 南北宽 50 km (图 1), 参考 T_1 — T_9 级面总宽度 1 013 m (表 5), 取横向长度, 即南北长度 2 km, 再参考 T_9 沉积物厚 115 km, 这样可算出贵德盆地黄河河床宽 2 km, 长 30 km, 高 115 m 的体积约为 70 亿 m^3 。即龙羊峡被完全切开时, 水冲走的体积为 70 亿 m^3 , “根据保存的河流沉积物可以推断当时搬运这些沉积物时的河流流速, 如果能找到合适的古河道剖面, 则原则上可估计当时的流量。”^[16]

出了贵德盆地, 在李家峡 T_6 阶地洪积物底面高度为 2 210 m, 顶面 2 272 m, 总厚为 62 m, 为龙羊峡切开时河水携带堆积所致, 砾石颗粒相对尼那变小, 大小均匀, 在砾石层下洪积物中又具一层与顶部特征相似的砾石层, 初步认为这两层砾石与当时流水的速度有关。在刘家峡、永靖县 T_4 阶地砾石层厚只有 3~5 m, 颗粒直径在 10~30 cm 和 10 cm 以下, 已变为慢速流水。

4 讨论

朱照宇 (1994)^[17]认为龙羊峡是一个气候和构

造变动频繁的地区, 可能是黄河主干流发育的一个变化点 (至少是个裂点)。结合刘东生、施雅风等 (2000.3)^[18]磁化率的研究成果 (在 60 万年 B.P. 以来以 10 万年、41 万年和 23 万年周期为主)、陈克造 (1990)^[19]青藏高原 4 万年以来气候的研究成果 (4 万年来全球性的重大气候事件在世界屋脊——青藏高原内部同样有明显的反映)、William B. Bull (1991)^[20]地球轨道离心率的研究成果 (离心率周期 96 ka, 倾角周期 41 ka, 分点岁差周期 23 ka), 笔者认为以龙羊峡的形成为起点, 研究共和至兰州黄河河谷地貌的形成过程, 揭示了第四纪构造变形, 对研究 20 万年以来青藏高原的隆升和气候的变化具有重要的意义。笔者提出的 20~15 万年的构造事件与共和运动^[21, 22, 12, 1, 10, 14]的关系, 还需用其他的方法作进一步的研究, T_1 阶地所体现的 1 万年以来的构造事件与人类生存环境^[23]的关系也仍有大量工作可做。

此外, 对于 T_1 阶地的研究, 可以为评价该区各大中型水库所在位置的地壳稳定性提供重要的理论依据。

5 结论

(1) 青海共和至甘肃兰州黄河河谷各个峡谷, 在溯源侵蚀的背景下, 构造作用对其形成起了一定的决定作用。

(2) 共和至兰州黄河河谷地貌的抬升速率反映出 20 万年 B.P. 至 15 万年 B.P. 的一次新构造事件和 1 万年以来的另一次新构造事件。

(3) 黄河阶地反映出青藏高原第四纪向北方方向的挤压力逐渐减小, 在兰州出现了挤压力在某时段消减的情况。

致谢: 本文是在刘百箴研究员指导下的硕士学位论文的主要研究成果, 成文时得到西安地矿所冯益民研究员的指点, 兰州大学李吉均院士审稿时提出了重要的修改意见, 在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (4): 316-322.
- [2] 袁保印, 王振海. 青藏高原隆起与黄河地文期 [J]. 第四纪研究, 1995, (4): 353-359.
- [3] 程绍平, 邓起东, 闵伟, 等. 黄河晋峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动 [J]. 第四纪研究, 1998, (3): 238-248.
- [4] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. 科学通报, 1998, 43 (15): 1569-1574.
- [5] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年. 昆仑-黄河运动的发现及其性质 [J]. 科学通报, 1997, 42 (18): 1986-1989.
- [6] William B Bull. Stream-terrace genesis: implication for soil development [J]. Geomorphology, 1990, (3): 351-367.
- [7] Searle M P. Geological evidence against large-scale Pre-Holocene offset along the Karakoram Fault: Implication for the limited extrusion of the Tibetan plateau [J]. Tectonics 15, (1): 171-186.
- [8] 杨景春. 地貌学教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1985, 61-65, 232-237.
- [9] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机与放大器 II, 青藏高原隆起的基本过程 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1995, 31 (4): 160-167.
- [10] 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化 [J]. 地理学报, 1999, 54 (1): 10-21.
- [11] Li Jijun. The environmental effects of the uplift of the Qinghai-Xizang plateau [M]. Quaternary Science Reviews, printed in Great Britain, 1991, 10: 479-483.
- [12] 潘保田, 李吉均, 曹继秀. 黄河中游的地貌与地文期问题 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1994, 30 (1): 115-123.
- [13] 强祖基, 王洪涛. 活动构造研究 [M]. 北京: 地震出版社, 1992. 34-51.
- [14] 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.
- [15] 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分 [J]. 科学通报, 1997, 42 (14): 1457-1471.
- [16] 刘东生, 等编译. 第四纪环境学 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 87-87.
- [17] 朱照宇, 丁仲礼. 中国黄土高原第四纪气候与新构造演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 142-209.
- [18] 刘东生, 施雅风, 王汝建, 等. 以气候变化为标志的中国第四纪地层的对比表 [J]. 第四纪研究, 2000, 20 (2): 109-128.
- [19] 陈克造. 四万年青藏高原的气候变迁 [J]. 第四纪研究, 1990, (1): 21-31.
- [20] William B Bull. Geomorphic Responses to Climatic Change [M]. Oxford University Press, 1991. Page: 39.
- [21] 徐叔鹰, 徐德馥, 石生仁. 共和盆地地貌发育与环境演化探讨 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1984, 20 (1): 146-157.
- [22] 徐叔鹰. 青海共和组地层的沉积时代与沉积环境 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1987, 23 (2): 109-119.
- [23] 王仁湘. 发掘史前的灾难——青海喇家村遗址考古记 [J], 中国国家地理. 2002, (3): 70-75.

Relation between the formation of the Yellow River valley landforms from Gonghe, Qinghai to Lanzhou, Gansu and the uplifting in northeast part of Qinghai-Xizang plateau

ZHAO Zhen-ming¹, LIU Bai-chi²

(1. X i'an Institute of Geology and M ineral Resources, X i'an 710054, China;

2. L anzhou Institute of Seism ology China Seism ological Bureau, L anzhou 730000, China)

Abstract: According to a great deal of data measured practically in the typical area of the Yellow River valley from Gonghe to Lanzhou, and referring to the research results before, we propose that the valley landforms is formed by tectonic process under some conditions, and uplift rate of the valley landforms reflects two new tectonic events: one from 0.2Ma.B.P. to 0.15Ma.B.P., and another from 0.01Ma.B.P. to present. Since Quaternary, directing to northeast, the gradual reduction stress is indicated by the longitudinal section of the Yellow River terrace in Qinghai-Xizang plateau, the stress is disappeared in some period in Lanzhou.

Key words: the Yellow River terrace; transverse section; longitudinal section; tectonic event; plateau uplifting

铜矿床新类型: 破碎带蚀变岩型

西安地质矿产研究所在承担国土资源部“九·五”资源攻关项目(95-02-004)过程中,在夏林圻博士指导下,杨合群、赵东宏等通过对北祁连山桦树沟、柳沟峡铜矿床的研究,首次提出“破碎带蚀变岩型铜矿床”新类型,有关论著发表于:《西北地质科学》1999, 20(1);《西北地质》2001, 34(4)和2002, 35(3);《矿床地质》2002, 21(增刊)和22(1);中国大地出版社《北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学》第七章。

该类铜矿床的特点是,含铜硫化物呈细脉状、网脉状和浸染状赋存于构造破碎带的蚀变岩中。根据铜矿工业类型一般按容矿岩石划分的原则,赋存于构造破碎带蚀变岩中的铜矿床理应确定为“破碎带蚀变岩型铜矿床”。这一新概念可提示勘查人员,寻找该类铜矿的地质体为含铜构造破碎蚀变带。

(西安地质矿产研究所资源室供稿)