

# 黄河源区河流阶地特征及源区黄河的形成

韩建恩<sup>1</sup> 邵兆刚<sup>1</sup> 朱大岗<sup>1</sup> 孟宪刚<sup>1</sup>  
余 佳<sup>1</sup> 王 津<sup>1</sup> 吕荣平<sup>2</sup> 钱 程<sup>3</sup> 贺承广<sup>4</sup>

(1.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;2.中核集团地矿事业部,北京 100013;3.沈阳地质矿产研究所,辽宁沈阳 110034;4.河南省地质调查院,河南 郑州 450001)

**摘要:**本文通过对黄河源区河流阶地的系统测量和研究,认为黄河源区黄河阶地主要由堆积阶地组成,少量侵蚀阶地,阶地拔河高度低,阶面比较开阔平坦。黄河自源头至入扎陵湖段仅发育一级河流阶地,从鄂陵湖出水口至黄河乡段发育两级河流阶地,从黄河乡以下至久治县东段发育三级河流阶地。结合 ESR 测年结果,黄河源区河流阶地形成的时间主要为中更新世晚期—全新世,  $T_1$  河流阶地的形成时代约为 1 万年;  $T_2$  河流阶地的形成时代为 5.8~1.9 万年;  $T_3$  河流阶地的形成时代为 16.1~2.5 万年。河流阶地研究表明,黄河在源区形成较晚,可能为晚更新世晚期。

**关键词:**黄河源区;河流阶地;黄河形成;青藏高原

**中图分类号:** P931.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1531-11

黄河是世界第五大河流,中国第二大河流,中华民族的摇篮,仰韶文化、蓝田文化、齐家文化、马家窑文化等都起源于黄河流域。黄河水资源在国民经济建设中发挥了重要作用,因而黄河河道发育、黄河贯通以及流域气候变化等历来为人们所重视。一般认为黄河自河南郑州桃花峪到山东利津注入渤海为下游段,从内蒙古托克托县河口镇到桃花峪为中游段,从源头到河口镇为上游段,其中青海贵德龙羊峡以上部分为河源段。

河流阶地是自然界河流演化的一种地貌形态,是河谷地貌中最突出的地貌特征之一;同时阶地亦是它所属的河流范围内古气候变迁、古水文和新构造运动以及河流侵蚀基准面升降的最丰富的史册<sup>[1]</sup>。阶地的成因争议颇多,构造、气候、均衡作用还是多种因子的共同作用?现今,一些学者认为气候对阶地的形成起主导作用<sup>[2]</sup>,但河流的模拟表明,在完全缺乏构造抬升的条件下,仅靠气候变化,河流是无法持续下切

形成多级的阶地<sup>[3]</sup>。所以,尽管气候被认为是影响阶地形成的重要因素,但构造活动对阶地的改造仍然是不可忽视的,国内学者在应用河流阶地地貌特征研究构造活动方面,取得了一些新认识<sup>[4,5]</sup>。前人对黄河河流阶地的研究很多,主要集中在黄河兰州段<sup>[6-8]</sup>和黄河晋陕段<sup>[9-12]</sup>,对黄河源区阶地的系统研究鲜有报道,笔者实测了黄河源区黄河干流 7 条河流阶地剖面,用 ESR 方法测试了阶地的形成时代,据此研究黄河源区河流阶地的特征及源区黄河的形成演化问题。

## 1 实测河流阶地剖面

### 1.1 实测剖面的位置与分布

黄河源区和上游河流阶地发育,在黄河源头宽谷段阶地较为连续分布,在窄谷地段河流阶地往往断续出现。但是,各段阶地形态清晰,类型分明,彼此有可对比性。对不同地段的河流进行横剖面的测量,

收稿日期:2012-12-14;改回日期:2013-07-02

基金项目:中国地质调查局项目“青藏高原气候变化湖泊沉积记录研究”(12120113006100)、“晚新生代构造气候变动对黄河水系演化影响研究”(1212010711705)和地质力学研究所基本科研业务费项目“黄河源晚新生代河湖相地层序列及其环境意义”(DZLXJK200902)资助。

作者简介:韩建恩,男,1980年生,博士,助理研究员,从事青藏高原区域地质、沉积相与古环境研究;E-mail:hanjianen@163.com。

是研究河流阶地特征及形成时代的主要方法。因此,笔者在黄河源头到久治东数百千米的范围内,在河流阶地较为发育的地段,实测了7条黄河阶地横剖面,依次为:卡日曲阶地剖面(P<sub>1</sub>)、扎陵湖乡阶地剖面(P<sub>2</sub>)、黄河乡东南阶地剖面(P<sub>3</sub>)、达日西(50 km)阶地剖面(P<sub>4</sub>)、达日西阶地剖面(P<sub>5</sub>)、久治北阶地剖面(P<sub>6</sub>)及久治东阶地剖面(P<sub>7</sub>),剖面位置分布见图1。

1.2 阶地的主要特征

1.2.1 卡日曲阶地剖面

卡日曲阶地剖面位于青海省曲麻莱县麻多乡,剖面坐标 N34°531.688'、E96°13.715'、H 4501 m。阶地为黄河源头卡日曲冲蚀新近纪红层及第四纪晚更新世湖相地层形成的侵蚀阶地,二者呈角度不整合接触。该处仅形成对称的1级阶地(图2),分布于宽谷之中。阶面距河漫滩的垂直高度约为4.2 m,阶坡较缓,阶面平坦、开阔,宽约2 km,表面分布薄层洪积物。阶地下部为新近系紫红色砂砾岩及粘土岩,厚1.8 m(未见底);上部为第四纪晚更新世湖积灰黄色粗砂层、灰黄色细砂层、土黄色含砾砂质粘土层,厚2.4 m。

1.2.2 扎陵湖乡阶地剖面

该剖面位于青海省玛多县扎陵湖乡,为鄂陵湖出水口下约1 km处,剖面坐标 N35°4.768'、E97°55.77'、H4261 m。该处两级河流阶地不对称(图3),T<sub>1</sub>为小规模堆积阶地,在扎陵湖—玛多县城一带

仅在局部可以见到;T<sub>2</sub>为黄河冲蚀第四纪中晚更新世湖相地层所形成的侵蚀阶地,十分发育,规模巨大。这一带河流呈辫状河,河漫滩总宽度达1~1.5 km。T<sub>1</sub>阶地拔河高度在1~1.5 m,阶面宽仅几米,阶地下部为砂砾石层,具斜层理,上部为砂质粘土层,具河流相的二元结构。T<sub>2</sub>级阶地拔河高5~6.5 m,阶坡陡立,呈垂直产出,阶面在黄河南岸宽300~500 m,较为平坦,小角度向河心(北)倾斜;北岸阶地平坦开阔,向北延伸可达6 km以上。

T<sub>2</sub>阶地南、北两岸岩性有所差异。南岸出露厚6.5 m,自下而上分别为:a.灰绿色砂砾石层,砾石以砂岩和石英岩为主,次棱角一次圆状,砾径在0.5~4 cm,砾石占35%,厚0.5 m;b.灰黄色含细砾粘土层,具水平层理,厚0.75 m;c.土黄色含砾粗砂层,夹灰绿色砂砾石透镜体,本层见水平层理,厚3.3 m;d.土黄色含砾砂质粘土,砾石多呈棱角状,成分以灰绿色辉绿岩、辉长岩为主,另见少量石英岩和砂岩,砾径在0.5~3 cm,含量在20%左右,具水平层理,厚2 m。北岸出露厚5 m,自下而上分别为:a.土黄色含砾粘土层,砾石成分以砂岩为主,次棱角状,大小在1.5 cm左右,含量在15%左右,具水平层理,厚0.5 m;b.灰黄色砂砾石层,砾石成分以砂岩为主,次棱角一次圆状,砾径为0.5~3 cm,间夹含砾粗砂层透镜体,厚2.7 m;c.土黄色含砾砂质粘土层,具水平层理,厚1.8 m。

由扎陵湖乡到玛多县城附近,T<sub>2</sub>阶地岩性有所

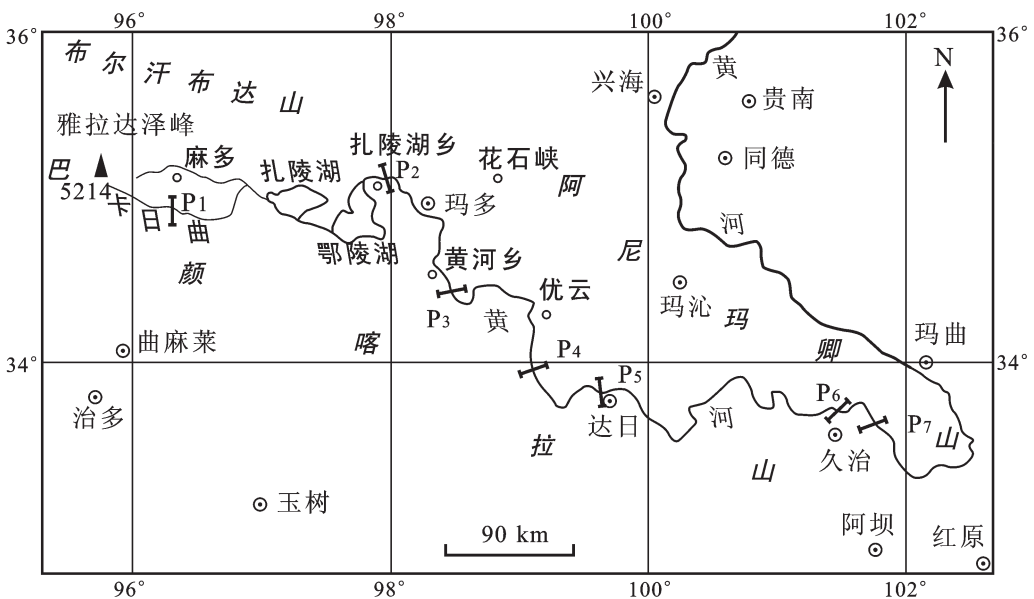


图1 黄河源区实测黄河阶地剖面分布图

Fig.1 Distribution of measured terrace sections of the Yellow River in source region of the Yellow River

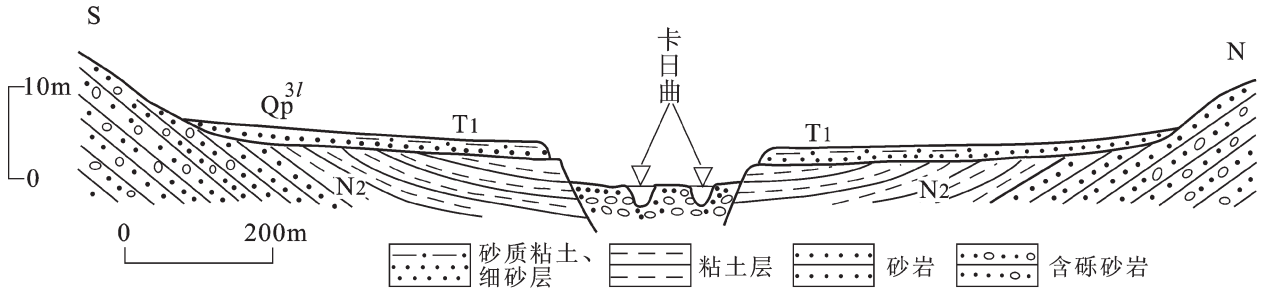


图 2 青海曲麻莱卡日曲侵蚀阶地剖面图(P<sub>1</sub>)

Fig.2 Erosion terrace section of the Kariqu River in Qumarleb County, Qinghai Province(P<sub>1</sub>)

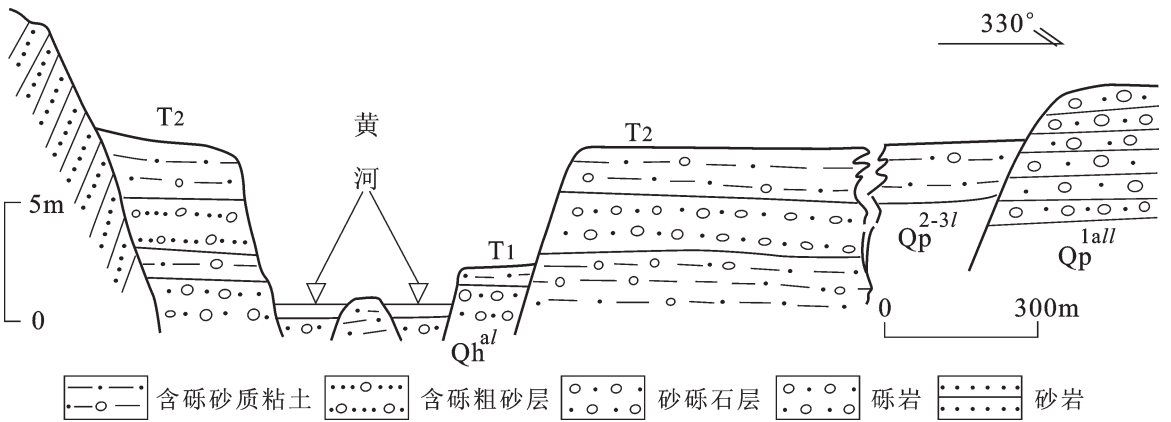


图 3 青海扎陵湖乡黄河侵蚀阶地剖面图(P<sub>2</sub>)

Fig.3 Erosion terrace section of the Yellow River in Zhalinghu Township, Qinghai Province(P<sub>2</sub>)

变化,一般出现上述 b 层和 c 层。但在玛多县城西, T<sub>2</sub> 阶地为厚 5 m 以上的灰色砂砾石层,砾石磨圆度差,分选较好,偶夹灰黄色含砾粘土层,表现出水平层理,呈现出湖相沉积的特征。

### 1.2.3 黄河乡东南阶地剖面

黄河乡东南阶地剖面位于青海省玛多县黄河乡东南白玛拉附近,剖面坐标 N34°28.212'、E98°27.664'、H4197 m。黄河由北向南流动,河床宽约 160 m,河谷东、西两侧为三叠系砂岩。黄河在西岸形成 3 级阶地(图 4),河东岸只保留有 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 阶地,属堆积阶地。

西岸剖面:T<sub>1</sub> 阶地拔河 1~1.2 m,阶坡陡立,阶面宽 5~10 m,连续性差,主要由黄色细砂层组成。T<sub>2</sub> 阶地拔河 2.2 m,阶坡较陡,阶面平坦,宽 40 m 左右。阶地下部为灰黄色砂砾石层,砾石成分以灰绿色砂岩为主,部分为石英岩。砾径在 1~5 cm,多呈次棱角—次圆状,厚 0.9 m 左右;上部为土黄色细砂层,厚 1.3 m 左右,具二元结构。T<sub>3</sub> 阶地拔河 6 m 左右,

阶坡较缓,阶地保留不完整,阶面向河床(向东)倾斜,阶面宽约 80 m。T<sub>3</sub> 阶地下部出露不佳,多见砂砾石层,上部为土黄色砂质粘土层,含少量次棱角—次圆状砂岩砾石,砾径在 1~2 cm。

东岸阶地:T<sub>2</sub> 阶地拔河 2.25 m,阶坡陡立,阶面平坦开阔,宽约 400 m,表面有风成砂包分布,岩性同西岸 T<sub>2</sub> 阶地。T<sub>3</sub> 阶地相对 T<sub>2</sub> 阶地高约 2.9 m,阶坡较缓。阶面起伏不平,宽 500 m,其上有风成砂丘。其下部为土黄色含砾粗砂层,砾石成分以砂岩和石英岩为主,砾石砾径以 0.5~3 cm 居多,大者可达 5~8 cm,为次棱角—次圆状,厚 0.4 m;其上部为土黄色中细粒砂层,厚 2.5 m。

### 1.2.4 达日县城西 50 km 阶地剖面

该剖面位于达日县城西 50 km 处的黄河主流,剖面坐标 N33°57.618'、E99°3.951'、H4104 m。黄河在这一段进入窄谷地段,河水自北西向南东流动,两岸间河床及河漫滩宽 60 余米。该处西南岸 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 阶地十分发育,而不见 T<sub>1</sub> 阶地,东北岸则堆积了

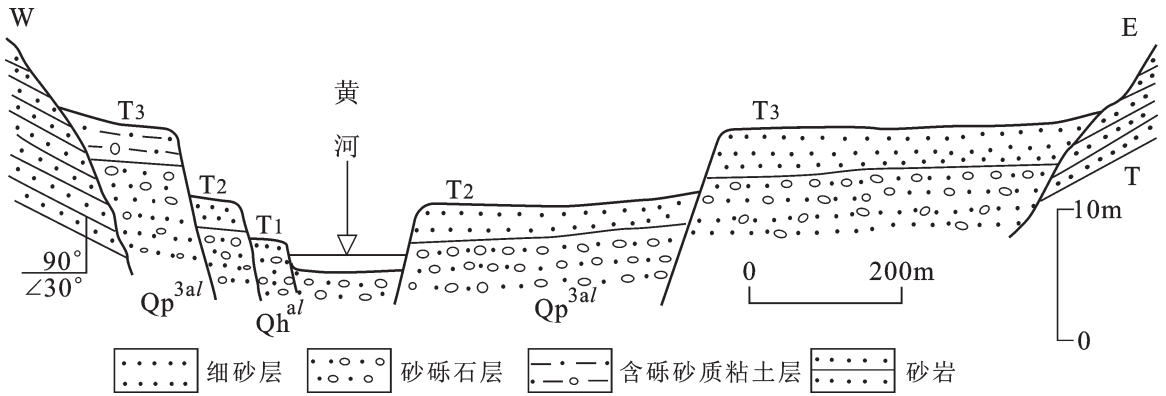


图4 青海黄河乡东南黄河堆积阶地实测剖面图(P<sub>3</sub>)

Fig.4 Accumulation terrace section of the Yellow River in southeastern Yellow River Township, Qinghai Province(P<sub>3</sub>)

T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>阶地(图5)。现以西南岸的T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>阶地为例加以描述。T<sub>2</sub>阶地拔河高8 m左右,阶坡陡立,阶面较为平坦,宽约35 m。下部为河床相灰色砂砾石层,具斜层理,砾石占70%左右,成分主要为灰绿色细砂岩,砾径为1~6 cm,呈次圆状,厚6.5 m;上部为河漫滩相土黄色砂质粘土层,具交错层理,厚1.5 m。T<sub>3</sub>阶地相对高7 m左右,阶坡陡立。阶面向河床方向倾斜,宽60~80 m。其下部为河床相灰色砂砾石层,具交错层理,砾石占60%~70%,成分以灰绿色砂岩为主,砾径为2~5 cm,多为次棱角状,厚5 m左右;上部为河漫滩相土黄色砂质粘土层,含少量砂岩砾石,具斜层理,厚2 m左右。

1.2.5 达日西4 km阶地剖面

达日西阶地剖面位于青海省达日县城西,剖面坐标N 33°45.967'、E 99°37.595'、H3963 m。黄河进入这一段后,河谷变宽,呈辫状河流。河床及河漫滩

最宽处可达1.5 km以上。河流东南岸发育有3级阶地(图6),均为堆积阶地。T<sub>1</sub>阶地拔河高1.8 m,阶面宽15 m,阶坡较缓;T<sub>2</sub>阶地拔河高2.5 m,阶面宽约35 m,阶坡较陡;T<sub>3</sub>阶地拔河高17.5 m,阶面较平坦,宽度为50~80 m,阶坡较陡立,其顶部见厚20 cm左右的灰黑色表土层。该处3级阶地岩性相似,阶地二元结构明显。其顶部均为河漫滩相土黄色含砾泥质粗砂层,具斜层理,砾石大小0.5~2 cm,岩性以细砂岩为主,多为次棱角一次圆状,砾石占10%~15%,厚0.5~1.5 m。其下部为河床相灰色砂砾石层,具交错层理。砾石占70%,砾石成分以灰黄色细砂岩为主,砾石大小多在2~5 cm,小者0.5~1 cm,大者可达10~20 cm,多为圆状。

1.2.6 久治北阶地剖面

该剖面位于青海省久治县城北,剖面坐标N33°40.323'、E101°33.310'、H3531 m。黄河在久治北的河

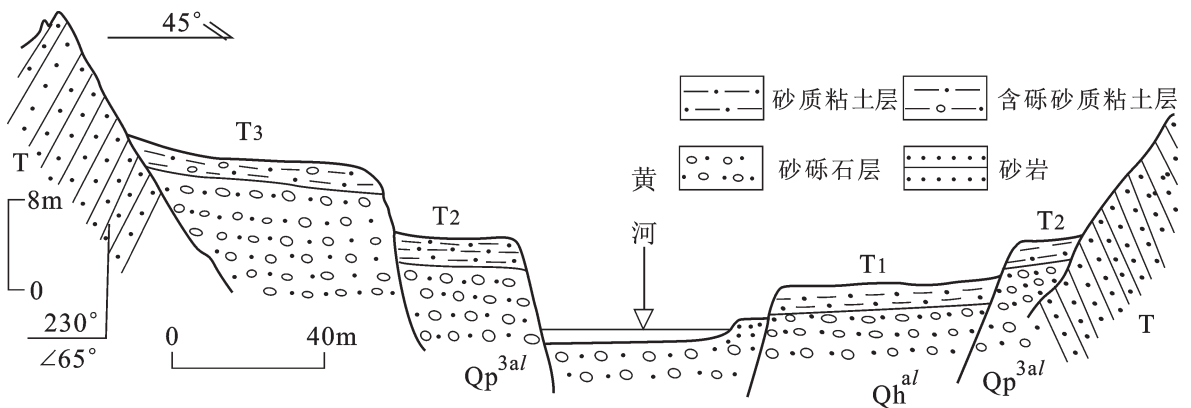


图5 青海达日西(50 km)黄河堆积阶地实测剖面图(P<sub>4</sub>)

Fig.5 Accumulation terrace section of the Yellow River in western Dariang County (50 km), Qinghai Province(P<sub>4</sub>)

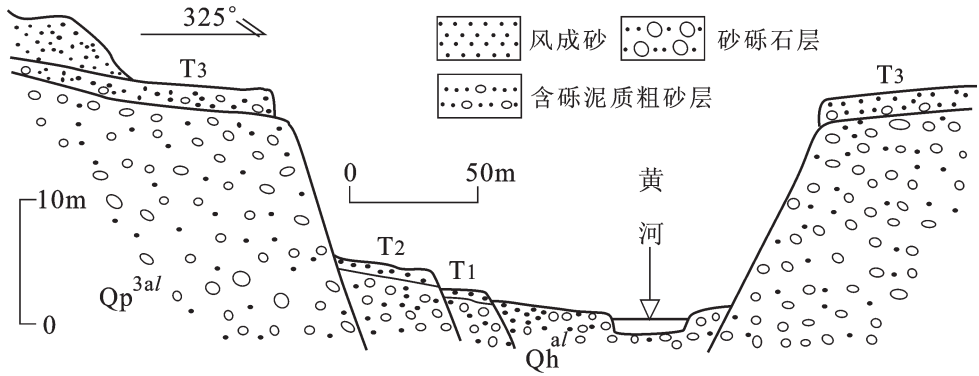


图 6 青海达日西黄河堆积阶地实测剖面图(P<sub>5</sub>)

Fig.6 Accumulation terrace section of the Yellow River in west Dariang County, Qinghai Province(P<sub>5</sub>)

床宽度为 45 m 左右,在其两岸形成堆积阶地。其东北岸发育有 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 阶地,但在西南岸只保留了 T<sub>3</sub> 阶地(图 7)。各阶地岩性相似,现以西南岸 T<sub>3</sub> 阶地进行说明。T<sub>3</sub> 阶地拔河高 25 m,阶面平坦,宽 50 m 左右,阶坡陡立。阶地下部为灰色砂砾石层,厚 12 m。砾石占 70%~80%,砾径在 1~3 cm,大者 10~20 cm,个别可达 40 cm,砾石多为次圆—圆状,砾石成分以砂岩为主(占 80%),另见少量板岩、黑云母花岗岩、石英脉岩等。砾石扁平面向北西(河流上游)倾斜;阶地上部为河床相和河漫滩相交替出现,为灰色砂砾石层与灰黄色泥质粉砂层互层,厚 13 m。该处黄河东北岸,虽然发育 3 级阶地,但 T<sub>1</sub>、T<sub>3</sub> 阶地并不发育,规模较小,只有 T<sub>2</sub> 阶地阶面宽达 100 余米。

1.2.7 久治东阶地剖面

该剖面位于青海省久治县城东,剖面坐标 N33° 27.182'、E101°55.98'、H3475 m。久治东黄河河床宽 40 m 左右。其西岸为侵蚀岸,三叠纪砂板岩裸露,未见冲积物出现。而在其东岸,可见 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 两级阶地,

属于堆积阶地(图 8)。T<sub>1</sub> 阶地拔河高 1~1.5 m,阶坡陡立,阶面宽 50 m 左右,阶地下部为灰色砂砾石层,上部为灰黄色细砂层。T<sub>2</sub> 阶地拔河高 3 m,阶坡较陡,阶面平坦,宽 100 m 左右。阶地下部为灰色砂砾石层,厚约 2 m,砾石占 80%以上,砾石成分以砂、板岩为主,砾石磨圆度和分选性极佳,砾石直径大多在 1~3 cm,本层交错层理发育;阶地上部为灰黄色砂、砂质粘土层,厚 1 m 左右。T<sub>2</sub> 阶地表面有洪积物覆盖。

2 黄河源区河流阶地特点

野外由黄河源头第一大支流—卡日曲沿黄河主流向下游观察,至青海省久治县一带。通过阶地剖面测量,发现黄河源头至上游河流阶地具有明显的特点(表 1)。

2.1 阶地数量由少增多

在黄河源头卡日曲两岸仅发育有 1 级阶地;黄河进入“两湖”后,从鄂陵湖北部流出,在扎陵湖乡附

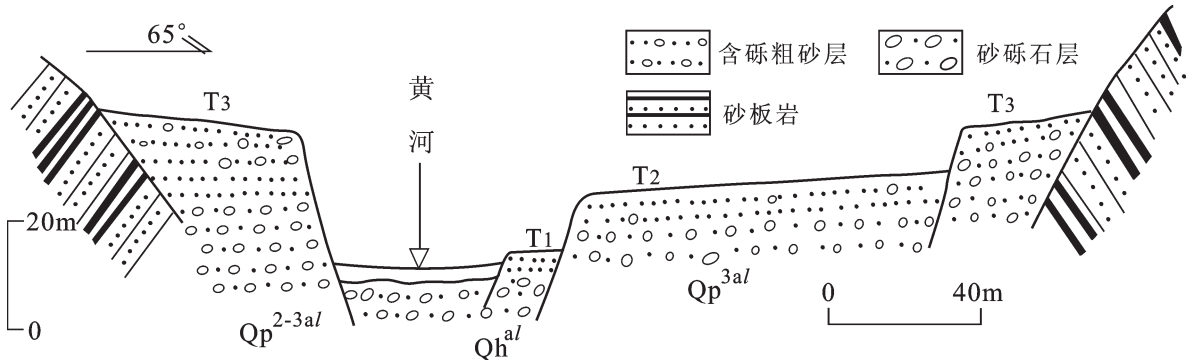


图 7 青海久治北黄河堆积阶地实测剖面图(P<sub>6</sub>)

Fig.7 Accumulation terrace section of the Yellow River in north Jiuzhi county, Qinghai province(P<sub>6</sub>)

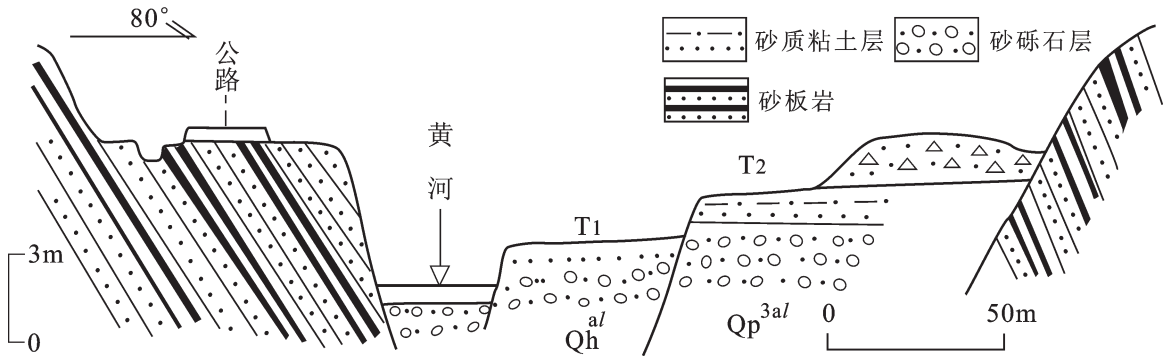


图8 青海久治东黄河堆积阶地实测剖面图(P<sub>7</sub>)

Fig.8 Accumulation terrace section of the Yellow river in east Jigzhi County, Qinghai Province(P<sub>7</sub>)

表1 黄河上游阶地特征

Table 1 Characteristics of the Yellow River in the upper reaches

阶地	特征	卡日曲 阶地	扎陵湖乡 阶地	黄河乡 东南阶地	达日西 50 km 阶地	达日西 4 km 阶地	久治北 阶地	久治东 阶地
T <sub>1</sub>	类型	侵蚀	堆积	堆积	堆积	堆积	堆积	堆积
	阶高/m	4.2	1.5	1.2	4	1.8	1.6	1.5
	阶宽/m	2000	数米	10	70	15	20	50
	海拔/m	4501						3475
	时代/万年	2.6~2.0						
T <sub>2</sub>	类型		侵蚀	堆积	堆积	堆积	堆积	堆积
	阶高/m		6.5	2.2	8	2.5	16	3
	阶宽/m		6000	40~388	35	35	100	100
	海拔/m		4261	4197	4104			3475
	时代/万年		19.7~8.6	1.9	3.0			5.8~5.1
T <sub>3</sub>	类型			堆积	堆积	堆积	堆积	
	阶高/m			2.9~6	7	17.5	25	
	阶宽/m			80~500	60~80	50~80	50	
	海拔/m					3963	3531	
	时代/万年			4.3~2.5	11.5~8.6		16.1~4.6	

近发育有 2 级阶地；黄河流至黄河乡东南白玛纳村附近时已可见 3 级河流阶地，自白玛纳至久治县一带，黄河两岸均发育 3 级河流阶地。

2.2 阶地面由宽变窄

卡日曲两岸 1 级阶地阶面宽在 2~3 km。在黄河乡东南黄河东岸 2 级阶地宽 400 m, 3 级阶地宽 500 m。而在达日县黄河 1~3 级阶地面宽一般在 30~50 m; 在久治东, 黄河最宽的 2 级阶地也未超过 100 m。

2.3 阶地厚度由薄增厚

在卡日曲河流阶地仅形成薄层河床相冲积物，尚未形成河流相阶地，多见河流侵蚀阶地。在扎陵湖乡一带黄河两岸只形成 1~1.5 m 厚的 1 级堆积阶地, 2 级堆积阶地厚 6 m 左右。达日县城西 4 km 处

黄河 3 级阶地堆积物厚度已达约 17.5 m。而在久治北黄河西南岸 3 级阶地厚可达 25 m。

2.4 阶地堆积物由以河漫滩相为主变为以河床相为主

沿黄河向南东下游观察，在黄河乡东南的 2、3 级阶地下部，均出现厚 0.5~1 m 的河床相砂砾石层，其上部的河漫滩相细砂层和砂质粘土层厚度大于 2.5 m, 二元结构清晰。向东南观察到距达日县西 50 km 处，黄河进入窄谷区，其 2、3 级阶地河床相砂砾石层厚 5~6 m, 河漫滩相砂质粘土厚 1~2 m。在距达日县城西 4 km 处，见黄河 3 级阶地河床相厚达 16.5 m, 河漫滩相厚仅 1 m 左右。久治北黄河西南岸厚 25 m 的 3 级阶地，均为河床相的砂砾石层。

## 2.5 阶地类型不同

黄河源头卡日曲两岸所形成的阶地为侵蚀阶地,阶地由新近纪紫红色砂砾岩、砂岩和粘土岩及第四纪晚更新世湖相地层组成。黄河流经扎陵湖乡后,形成了广阔的侵蚀阶地( $T_2$ ),黄河在这一地区,冲蚀了第四纪中晚更新世所沉积的湖相地层,该地层为具水平层理的砂砾石层、含砾粗砂层及含砾粘土层。自黄河乡向南东至久治东,这一段黄河所形成的阶地,均为堆积阶地,而且堆积物较厚,最厚处可达 25 m 以上。

## 2.6 阶地发育程度不同

在黄河源宽谷区,黄河两岸多形成对称的阶地;而在窄谷区,多形成不对称的阶地。如在源头卡日曲两岸形成开阔的 1 级阶地。在流经扎陵湖乡—玛多一带,黄河形成了广阔的 2 级阶地,1 级堆积阶地仅在两岸断续形成。在黄河乡东南黄河两岸均形成了 1~3 级堆积阶地。黄河向南东流经特合土乡—久治县(东)一带,所形成的阶地多为不对称。如在达日县城西 50 km 处,黄河西南岸形成 2、3 级阶地,而东北岸却形成了 1、2 级阶地。在达日县城西 4 km 处,黄河东南岸形成了 1、2、3 级阶地。而西北岸只见 3 级阶地。在久治县城北黄河西岸只见 3 级阶地,而在其东北岸堆积了 1、2、3 级阶地。黄河转到久治东,黄河的西岸成为侵蚀岸,未形成堆积阶地,而在其东岸却堆积了 1、2 级阶地。也就是在源区宽谷地段阶地对称,连续性好,在窄谷地段,阶地一般不对称,而呈断续状出现。

## 2.7 在黄河河流凸岸阶地保存好,凹岸保存差

这种现象主要出现于黄河的窄谷地段,由特合土乡向东南观察到久治东,在黄河的凸岸段阶地呈弧形展布,较为连续,而且阶地发育较为齐全。而在凹岸,阶地发育不良,并且保存也较差。这些特点与前人研究相一致<sup>[13]</sup>。

# 3 河流阶地的形成时代及其演化

## 3.1 河流阶地的形成时代

黄河源区河流阶地的形成发育与青藏高原隆起、高原古气候变化、以及黄河源区盆地的发育演化有着密切的关系。但是,在黄河源区河流阶地中缺乏古生物资料,年龄测试资料不够系统,前人对河流阶地时代的划分,多根据阶地地貌、出露位置、海拔高

度及沉积类型来推测<sup>[13]</sup>。依据这些方法能对各级阶地时代做出某些较为合理的划分和确定,但总显依据不足和数据欠缺。因此,笔者对黄河源区黄河阶地进行了系统的年代学研究(表 2)。对有代表性的阶地上部河漫滩相细砂层、砂质粘土层采集电子自旋共振(ESR)样品,所有样品在成都理工大学核工系电子自旋共振(ESR)实验室完成测试工作。

(1)黄河源头卡日曲所形成的侵蚀阶地,是由卡日曲河水侵蚀新近纪的红层,以及第四纪晚更新世晚期所形成的湖相地层而形成。所以黄河源头的侵蚀阶地,是在第四纪晚更新世晚期(2.0 万年)之后形成的。

(2)黄河在扎陵湖乡—玛多一带所形成的侵蚀阶地,是由黄河冲切侵蚀了第四纪中更新世晚期—晚更新世早期(19.7~8.6 万年)所形成的湖相地层而形成的。所以,在扎陵湖乡—玛多一带黄河所形成的侵蚀阶地( $T_2$ ),应在第四纪晚更新世早中期(8.6 万年)之后,侵蚀湖相地层形成的。可以推断这一带黄河侵蚀阶地,应在第四纪晚更新世中晚期形成的。扎陵湖乡—玛多一带,在岸边有时形成规模小、连续性差的堆积阶地( $T_1$ ),这类堆积阶地应在第四纪全新世早期形成。

(3)在多石峡以下的黄河乡东南黄河形成的堆积阶地( $T_3$ ),其形成时代为晚更新世中晚期(4.3~2.5 万年)。堆积阶地( $T_2$ ),形成的时代为第四纪晚更新世晚期(1.9 万年)。堆积阶地( $T_1$ )初始时期应在第四纪晚更新世末或全新世初期。

(4)在达日县西 50 km 附近,在黄河堆积阶地( $T_3$ )下部及上部所获得的年龄数据为 11.5~8.6 万年,其形成时代为第四纪晚更新世早期。堆积阶地( $T_2$ )中部获得的年龄数据为 3.0 万年,其形成时代为第四纪晚更新世中晚期。因此,这一带堆积阶地( $T_1$ ),开始堆积时期应在第四纪全新世早期或晚更新世末。

(5)在久治北黄河所形成的堆积阶地( $T_3$ )的下部、中部及上部获得的年龄为 16.1 万年、9.6 万年、4.6 万年,指示这一带  $T_3$  堆积阶地的形成时代为第四纪中更新世晚期—晚更新世。

(6)在久治东黄河所形成的堆积阶地( $T_2$ )的中部和上部获得的年龄数据为 5.8 万年和 5.1 万年,其形成时代为第四纪晚更新世中期。推测这一带堆积阶地( $T_1$ )开始堆积的时期应在第四纪晚更新世—全

表 2 黄河源区河流阶地 ESR 测年结果

Table 2 ESR dating of the river terrace in the source region of the Yellow River

野外编号	实验编号	采样 经纬度	采样位置	测试 物质	古剂量 / Gy	年剂量 / mGy	年龄 / 万年
09KE-1	C7	N 34°53.688' E 96°13.715'	卡日曲 T <sub>1</sub> 阶地底部	石英	114.6	4.467	2.6±0.2
09KE-2	C8	N 34°53.688' E 96°13.715'	卡日曲 T <sub>1</sub> 阶地顶部	石英	72.9	3.636	2.0±0.2
2010H1ESR1	B1	N 35°4.768' E 97°55.773'	扎陵湖乡南岸 T <sub>2</sub> 阶地底部	石英	526.8	3.068	17.2±1.5
2010H1ESR2	B2	N 35°4.768' E 97°55.773'	扎陵湖乡南岸 T <sub>2</sub> 阶地中部	石英	323.2	2.621	12.3±1.1
2010H1ESR3	B3	N 35°4.768' E 97°55.773'	扎陵湖乡南岸 T <sub>2</sub> 阶地顶部	石英	341.4	3.963	8.6±0.8
2010H2ESR1	B4	N 35°5.615' E 97°55.182'	扎陵湖乡北岸 T <sub>2</sub> 阶地顶部	石英	432.1	4.793	9.0±1.0
2010H2ESR2	B5	N 35°5.615' E 97°55.182'	扎陵湖乡北岸 T <sub>2</sub> 阶地底部	石英	743.2	3.771	19.7±2.0
2010H4ESR1	B6	N 34°28.061' E 98°28.058'	黄河乡东南 T <sub>1</sub> 阶地东岸	石英	63.5	3.196	1.9±0.2
2010H4ESR2	B7	N 34°28.061' E 98°28.058'	黄河乡东南 T <sub>2</sub> 阶地东岸	石英	70.6	2.876	2.5±0.2
2010H3ESR2	B8	N 34°28.212' E 98°27.664'	黄河乡东南 T <sub>2</sub> 阶地西岸	石英	185.5	4.282	4.3±0.4
2010H6ESR2	B9	N 33°57.618' E 99°3.951'	达日西 50 km T <sub>2</sub> 阶地顶部	石英	95.3	3.196	3.0±0.3
2010H6ESR3	B10	N 33°57.618' E 99°3.951'	达日西 50 km T <sub>3</sub> 阶地底部	石英	310.3	2.685	11.5±1.0
2010H6ESR4	B11	N 33°57.618' E 99°3.951'	达日西 50 km T <sub>3</sub> 阶地顶部	石英	340.0	3.963	8.6±0.8
09JE-1	C10	N 33°40.323' E 101°33.310'	久治北 T <sub>3</sub> 阶地底部	石英	671.0	4.147	16.1±1.5
09JE-2	C11	N 33°40.323' E 101°33.310'	久治北 T <sub>3</sub> 级阶地中部	石英	398.9	4.129	9.6±1.0
09JE-3	C12	N 33°40.323' E 101°33.310'	久治北 T <sub>3</sub> 级阶地顶部	石英	166.6	3.636	4.6±0.4

注:ESR 样品由成都理工大学核工系 ESR 实验室梁兴中教授测定。

新世。

前人在玛曲附近发育的黄河三级阶地冲积砂砾层下部的 <sup>14</sup>C 年龄为 (21540±395) aB.P.<sup>[13]</sup>, 可见该处河段形成时代早于 22 kaB.P.。从笔者在黄河源区已经获得的 ESR 测年数据看, 堆积阶地的 T<sub>1</sub> 为 1 万年左右; T<sub>2</sub> 为 5.8~1.9 万年; T<sub>3</sub> 为 16.1~2.5 万年, 卡日曲侵蚀阶地 T<sub>1</sub> 在 2 万年之后。值得注意的是, 侵蚀阶地被侵蚀地层的形成年龄不是阶地的年龄, 代表的是阶地形成年龄的下限, 可能要比阶地真正的形成年龄大得多。综上所述, 黄河源区河流阶地主要形成于中更新世晚期—全新世。

### 3.2 黄河的形成演化

在早更新世时期昆仑山东段的地势较为低平<sup>[14]</sup>, 发育有一系列的 NWW—SEE 向湖盆谷地, 沉积了一套河湖相地层<sup>[15]</sup>, 此时的水系特征是以湖泊为汇聚中心的面状水系, 并没有大的河流出现, 只有短程的汇聚湖泊的内陆河流, 与现今藏北高原的水系相似<sup>[16]</sup>。

早更新世末—中更新世初发生的昆—黄运动<sup>[18,17]</sup>, 使早更新世的湖泊发生迁移或消亡, 黄河此时切开了积石峡, 进入了临夏和兰州盆地; 而中更新世末—晚更新世初的共和运动, 则使黄河产生了更强的溯源侵蚀, 进而切开龙羊峡口, 使共和古湖湖水外泻<sup>[18]</sup>; 在晚更新世晚期, 黄河又袭夺了若尔盖古湖, 使黄河延伸至若尔盖地区<sup>[18-19]</sup>, 随着若尔盖古湖的消亡, 黄河的溯源侵蚀加强, 并不断向黄河源区延伸, 那么黄河又是什么时候出现在黄河源区的呢?

程捷等(2005)根据黄河源湖区多石峡河流阶地和多石峡至鄂陵湖的湖积层, 认为晚更新世—全新世期间黄河切穿外流<sup>[20]</sup>; 向树元等(2003)据玛多以上发育阶地和 <sup>14</sup>C 年代 (6970±176 aB.P.), 认为这段黄河形成于全新世<sup>[21]</sup>; 王云飞等(1995)据若尔盖盆地 RH 孔岩性变粗、有机碳、氢指数和色素突降变化层位的 <sup>14</sup>C 年代, 认为黄河切穿盆地为 (37630±1070) aB.P.<sup>[18]</sup>; 杨达源等(1996)通过对鄂陵湖—贵德



盆地间河流阶地研究,认为唐乃亥—玛曲间的黄河形成于 20 kaB.P.,龙羊峡段黄河形成于 60 kaB.P.<sup>[13]</sup>;徐叔鹰等(1984)通过对共和盆地地貌特征及环境演化、共和组的沉积时代及环境的探讨,认为约 0.15 MaB.P.黄河形成<sup>[2]</sup>。

黄河在黄河源区的出现较晚,而与黄河源区相连的黄河乡附近的多石峡被切开的时间就是黄河流出源区的时间,亦即黄河形成的时间。笔者对多石峡地区进行了野外调查,发现多石峡谷地较狭窄,在多石峡以上河谷区仅发育有二级阶地,以下则发育有三级阶地,而在峡谷两侧的谷坡上并未发现更多的台阶地形。对黄河源区的三级阶地的年代学研究表明,第二级阶地形成于晚更新世中期至晚更新世晚期(5.8~1.9 万年),第三级阶地形成于中更新世晚期至晚更新世晚期(16.1~2.5 万年),前人对黄河源区与第二级阶地同时形成的洪积物所做的热释光测年年龄为(39.83±3.84) kaB.P.<sup>[23]</sup>。从测年的数据上可以看出,多石峡的切开时间应在晚更新世的晚期。基于 ASTER-GDEM 数据的构造地貌分析表明,黄河源盆地东南切口为河谷地貌,从地貌特征推测黄河源水系为发育较为年轻的水系<sup>[24]</sup>。在黄河源头,早更新世早期为内陆湖相沉积环境,木本植物花粉占绝对优势,呈现亚热带山地针叶林植被景观,多处发现木本植物茎干化石<sup>[25]</sup>,为温暖潮湿的气候环境<sup>[26]</sup>,早更新世黄河源头的扎陵湖和鄂陵湖地区的环境与现今存在明显差异,黄河源头和长江源头分水岭的形成是在早更新世以后<sup>[27]</sup>。以上均说明黄河在黄河源区的出现较晚。

随着多石峡的切开、黄河源区的古湖开始泄水、现今黄河开始出现,黄河源区支流的溯源侵蚀作用进一步加强,黄河不断向高海拔地区沿伸,到达卡日曲的年龄为 2 万年之后。另外,由于海拔高度和分布面积的不同,巴颜喀拉山北坡的汇水面积大,而布青山南坡的汇水面积小,因此这个时期的黄河南岸支流的溯源侵蚀作用强于北岸,而使河流不断向南延伸。

## 4 结 论

(1)黄河源区黄河阶地特征明显,主要由堆积阶地组成,少量侵蚀阶地。相对于黄河上游兰州段,阶地拔河高度较低,阶面较为开阔平坦。阶地以简单的二元结构为主,阶地的下部(或中下部)为河床相砂砾石层,砾石磨圆度较佳,分选性较差;上部(或顶

部)为河漫滩相砂质粘土层。

(2)黄河源区河流阶地的  $T_1$  为 1 万年左右; $T_2$  为 5.8~1.9 万年; $T_3$  为 16.1~2.5 万年,卡日曲侵蚀阶地  $T_1$  在 2 万年之后,侵蚀阶地的年龄代表的是河流阶地形成时代的下限,可能比阶地真正的形成年龄要大,黄河源区河流阶地主要形成于中更新世晚期—全新世。

(3)早更新世末—中更新世初黄河切开积石峡,进入了临夏和兰州盆地;中更新世末—晚更新世初黄河溯源侵蚀切开龙羊峡口,使共和古湖湖水外泻;在晚更新世晚期,黄河又袭夺了若尔盖古湖,使黄河延伸至若尔盖地区;随着若尔盖古湖的消亡,黄河的溯源侵蚀加强,并不断向黄河源区延伸。

(4)黄河在黄河源区的出现较晚,多石峡被切开的时间为黄河流出源区的时间,亦即黄河形成的时间,时间应在晚更新世晚期。

**致谢:**野外工作期间得到中国地质调查局西宁安全保障工作站刘彦赤等的帮助和全力支持,论文撰写中得到地质力学研究所孙立菊、王建平、马天林研究员的指导和帮助,审稿专家提出的修改意见使本人获益匪浅,在此谨致谢忱。

## 参考文献(References):

- [1] 沈玉昌, 龚国元. 河流地貌学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1986.  
Sheng Yuchang, Gong Guoyuan. Outline of River Geomorphology [M]. Beijing: Science Press, 1986(in Chinese).
- [2] Starkel L. Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas [J]. Quaternary Science Review, 2003, 22:2189-2198.
- [3] Maddy D, Bridgland D, Westaway R. Uplift-driven valley incision and climate-controlled river terrace development in the Thames Valley, UK [J]. Quaternary International, 2001, 79(1): 23-36.
- [4] 李亚林, 王成善, 王谋, 等. 藏北长江源地区河流地貌特征及其对新构造运动的响应 [J]. 中国地质, 2006, 33(2): 374-382.  
Li Yalin, Wang Chengshan, Wang Mou, et al. Morphological features of river valleys in the source region of the Yangtze River, northern Tibet, and their response to neotectonic movement [J]. Geology in China, 2006, 33 (2): 374-382 (in Chinese with English Abstract).
- [5] 王永, 李德贵, 肖序常, 等. 西昆仑山前晚新生代构造活动与青藏高原西北缘的隆升 [J]. 中国地质, 2006, 33(1): 41-47.  
Wang Yong, Li Degui, Xiao Xuchang, et al. Late Cenozoic tectonic movement in the front of the West Kunlun Mountains [J]. Geology in China, 2006, 33 (1): 41-47 (in Chinese with English Abstract).
- [6] 潘保田, 苏怀, 刘小丰, 等. 兰州东盆地最近 1.2Ma 的黄河阶地序列与形成原因 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 172-180.

- Pan Baotian, Su Huai, Liu Xiaofeng, et al. River terraces of the Yellow River and their genesis in Eastern Lanzhou Basin during last 1.2Ma [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27 (2):172-180 (in Chinese with English Abstract).
- [7] 鹿化煜, 安芷生, 王晓勇, 等. 最近 14Ma 青藏高原东北缘阶段性隆升的地貌证据[J]. *中国科学(D 辑)*, 2004, 34(9):855-864.
- Lu Huayu, An Zhisheng, Wang Xiaoyong, et al. Geomorphologic evidence of phased uplift of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau since 14 million years ago[J]. *Science in China(Series D)*, 2004, 34 (9):855-864(in Chinese).
- [8] 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升[J]. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(4):316-322.
- Li Jijun, Fang Xiaomin, Ma Haizhou, et al. Geomorphological and environmental evolution of the Yellow River during the late Cenozoic[J]. *Science in China(Series D)*, 1996, 26(4):316-322(in Chinese).
- [9] 朱照宇. 黄河中游河流阶地的形成与水系演化 [J]. *地理学报*, 1989, 44(4):429-440.
- Zhu Zhaoyu. The formation of river terraces and evolution of drainage system in the middle Yellow River [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(4):429-440(in Chinese with English Abstract).
- [10] 岳乐平, 雷祥义, 屈红军. 黄河中游水系的阶地发育时代 [J]. *地质论评*, 1997, 43(2):186-192.
- Yue Leping, Lei Xiangyi, Qu Hongjun. The age of terrace development in the middle reaches of the Yellow River [J]. *Geological Review*, 1997, 43(2):186-192(in Chinese with English Abstract).
- [11] 吴锡浩, 蒋复初, 王苏民, 等. 关于黄河贯通三门峡东流入海问题[J]. *第四纪研究*, 1998, 2:188.
- Wu Xihao, Jiang Fuchu, Wang Sumin, et al. On problem of the Yellow River passing through the Sanmen Gorge and flowing east into sea [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, 2:188 (in Chinese with English Abstract).
- [12] 蒋复初, 傅建利, 王书兵, 等. 关于黄河贯通三门峡的时代[J]. *地质力学学报*, 2005, 11(4):293-301.
- Jiang Fuchu, Fu Jianli, Wang Shubing, et al. The age of the Yellow River passing through the Sanmen Gorge [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (4):293-301 (in Chinese with English Abstract).
- [13] 杨源达, 吴胜光, 王云飞. 黄河上游的阶地与水系变迁 [J]. *地理科学*, 1996, 16(2):137-143.
- Yang Yuanda, Wu Shengguang, Wang Yunfei. Variance of terrace and drainage in the up-stream of Yellow River [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16(2):137-143(in Chinese with English Abstract).
- [14] 李长安, 殷鸿福, 于庆文, 等. 昆仑山东段的构造隆升、水系响应和环境变化[J]. *地球科学*, 1998, 23(5):456-460.
- Li Chang'an, Yin Hongfu, Yu Qingwen, et al. Tectonic uplift, water system response and environment evolvement in the eastern part of the Kunlun Mountains[J]. *Earth Science*, 1998, 23(5): 456-460(in Chinese with English Abstract).
- [15] 王国灿, 吴燕玲, 向树元, 等. 东昆仑东段第四纪成山作用过程与地貌变迁[J]. *地球科学*, 2003, 28(6):583-592.
- Wang Guocan, Wu Yanling, Xiang Shuyuan, et al. Mountain building process and geomorphic migration of Eastern Kunlun Mountains during Quaternary[J]. *Earth Science*, 2003, 28(6): 584-592(in Chinese with English Abstract).
- [16] 刘志杰, 孙永军. 青藏高原隆升与黄河形成演化[J]. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(1):79-82.
- Liu Zhijie, Sun Yongjun. Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and formation, evolution of the Yellow River [J]. *Geography and Geoinformation Science*, 2007, 23 (1):79-82 (in Chinese with English Abstract).
- [17] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 昆仑-黄河运动的发现及其性质[J]. *科学通报*, 1997, 42(18):723-725.
- Cui Zhijiu, Wu Yongqiu, Liu Gengnian, et al. Discovery and character of the Kunlun-Yellow River Movement [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42 (18):723-725 (in Chinese with English Abstract).
- [18] 王云飞, 王苏民, 薛滨, 等. 黄河若尔盖古湖时代的沉积学依据[J]. *科学通报*, 1995, 40(8):723-725.
- Wang Yunfei, Wang Sumin, Xue Bin, et al. Sedimentological evidence of the piracy of fossil Zoige Lake by the Yellow River[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40 (8):723-725 (in Chinese with English Abstract).
- [19] 张智勇, 于庆文, 张克信, 等. 黄河上游第四纪河流地貌演化——兼论青藏高原 1:25 万新生代地质图地貌演化调查[J]. *地球科学*, 2003, 28(6):621-626.
- Zhang Zhiyong, Yu Qingwen, Zhang Kexin, et al. Geomorphological evolution of Quaternary river from upper Yellow River and geomorphological evolution investigation for 1:250 000 scale geological mapping in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Earth Science*, 2003, 28(6):621-626(in Chinese with English Abstract).
- [20] 程捷, 姜美珠, 笈立宏, 等. 黄河源区第四纪地质研究的新进展[J]. *现代地质*, 2005, 19(2):239-246.
- Cheng Jie, Jiang Meizhu, Zan Lihong, et al. Progress in research on the Quaternary geology in the source area of the Yellow River[J]. *Geoscience*, 2005, 19 (2):239-246 (in Chinese with English Abstract).
- [21] 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):16-20.
- Xiang Shuyuan, Wang Guocan, Lin Qixiang, et al. Evolvement 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):16-20 (in Chinese with English Abstract).
- [22] 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.
- Xu Shuying, Xu Defu, Shi Shengren. A discussion on the development of landforms and evolution of environments in the

- Gonghe Basin[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 1984, 20(1):146-157(in Chinese with English Abstract).
- [23] 程捷, 田明中, 张绪教. 黄河源区黄河袭夺长江水系之初探[J]. 地学前缘, 2007, 14(1):251-256.
- Cheng Jie, Tian Mingzhong, Zhang Xujiao. The Yellow River in its source area captured the branches of the Yangtze River[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (1):251-256 (in Chinese with English Abstract).
- [24] 钱程, 韩建恩, 朱大岗, 等. 基于 ASTER-GDEM 数据的黄河源地区构造地貌分析[J]. 中国地质, 2012, 39(5):1247-1260.
- Qian Cheng, Han Jianen, Zhu Dagang, et al. An analysis of geomorphologic characteristics of the Yellow River source region based on ASTER-GDEM[J]. Geology in China, 39(5):1247-1260 (in Chinese with English Abstract).
- [25] 张森琦, 王永贵, 辛元红, 等. 黄河源区早更新世含植物化石地层的发现及意义[J]. 中国地质, 2006, 33(1):78-85.
- Zhang Senqi, Wang Yonggui, Xin Yuanhong, et al. Discovery of early Pleistocene strata containing plants fossils in the source area of the Yellow River and significance [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):78-85(in Chinese with English Abstract).
- [26] 韩建恩, 余佳, 朱大岗, 等. 青海黄河源盆地早更新世以来环境演变[J]. 地质通报, 2011, 30(12):1941-1949.
- Han Jianen, Yu Jia, Zhu Dagang, et al. The palaeoenvironmental evolution of the Yellow River headwater basin in Qinghai Province since Early Pleistocene [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(12):1941-1949 (in Chinese with English Abstract).
- [27] 赵越, 钱方, 朱大岗, 等. 青藏高原第四纪冰川的早期记录及其构造与气候含义[J]. 中国地质, 2009, 36(6):1195-1207.
- Zhao Yue, Qian Fang, Zhu Dagang, et al. Early records of Quaternary glaciation in Qinghai-Tibet plateau and their tectonic and climatic implications[J]. Geology in China, 2009, 36(6):1195-1207(in Chinese with English Abstract).

## Characteristics of river terraces and formation of the Yellow River in the source region of Yellow River

HAN Jian-en<sup>1</sup>, SHAO Zhao-gang<sup>1</sup>, ZHU Da-gang<sup>1</sup>, MENG Xian-gang<sup>1</sup>, YU Jia<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>,  
LV Rong-ping<sup>2</sup>, QIAN Cheng<sup>3</sup>, HE Cheng-guang<sup>4</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Department of Geology & Mining, CNNC, Beijing 100013, China; 3. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China; 4. Geological Survey Institute of Henan Province, Zhengzhou 450001, Henan, China)

**Abstract:** Based on the systematic measurement and research, this paper considers that the terrace of the Yellow River is composed mainly of the accumulation terraces and subordinately of erosion terraces in the source region of the Yellow River, the height of the terrace is low, and the surface of the terrace is relatively flat. First-level river terraces are only developed in the segment from the source of the Yellow River to the Gyaring Lake. Second-level river terraces are developed in the segment from the outlet of the Ngoring Lake to Yellow River Township. Third-level river terraces are developed in the segment from Yellow River Township to eastern Jigzhi County. Combined with ESR dating results, the authors hold that terraces of the source region of the Yellow River were formed mainly from late Middle Pleistocene to Holocene. T<sub>1</sub> river terrace was formed about 10 kaB.P., T<sub>2</sub> was formed from 58 kaB.P.~19 kaB.P., and T<sub>3</sub> was formed from 161 kaB.P.~25 kaB.P. The study of river terraces has shown that the Yellow River of the source region was probably formed in late Late Pleistocene.

**Key words:** source region of the Yellow River; river terraces; formation of the Yellow River; Tibetan Plateau

**About the first author:** HAN Jian-en, male, born in 1980, doctor, mainly engages in the study of regional geology, sedimentary facies and paleoenvironment of Tibetan Plateau; E-mail: hanjianen@163.com.