

文章编号: 1000-0550(2011)05-0935-11

金沙江金坪子堆积体形成过程对青藏高原东缘构造、气候的响应^①

胥勤勉¹ 杨达源² 葛兆帅³

(1. 中国地质调查局天津地质矿产研究所 天津 300170;

2. 南京大学地理与海洋学院 南京 210093; 3. 徐州师范大学城市与环境学院 江苏徐州 221116)

摘要 金坪子堆积体位于金沙江河谷之中,处在“康滇地轴”的中部,类似一个大滑坡体。通过对金坪子堆积体的数字高程模型(DEM)、12个钻孔、1个平硐和1个竖井资料的分析,以及实地调查,对金坪子堆积体的沉积物进行沉积学、年代学和岩石地层学等多学科的研究。金坪子堆积体由12层不同的沉积物和8个地貌单位组成,其中1~9层为古金沙江河流相冲积物和坡积物、崩积物相混杂的堆积物,其堆积时间为197~137 kaB. P.; 10~12层则为泥石流相堆积物; 8个地貌单元由金沙江下切形成。金沙江金坪子段在中更新世末期就已形成深切的高山峡谷地貌景观,已到达现今的高度。晚更新世以来处在剥蚀抬升的均衡阶段,金坪子堆积体的发育过程主要受到构造和气候变化的影响。197~137 kaB. P. 气候以冷干为主,堆积体形成了Unit2、4、6和8等四个钙质胶结层; Unit3、5、7和9的沉积特征,反映了金坪子堆积体堆积时期共和运动对其具有一定的影响。137~114 kaB. P. 为冷干向暖湿转变时期,河流下切能力减弱,形成金坪子处的高水位。114~78 kaB. P. ,气候转暖期,降水增多,金沙江金坪子处快速深切; unit11c中泥石流堆积黏土含量高达40%。78~41 ka. B. P. ,气候冷干形成阶地下部的蚀余堆积。40~30 kaB. P. 的大洪水造成河流下切形成阶地。41~0 kaB. P. 为金沙江金坪子段继续深切阶段。

关键词 金坪子堆积体 混杂堆积 中更新世晚期 地貌过程

第一作者简介 胥勤勉 男 1979年出生 硕士 助理研究员 河流与海岸带地貌学 E-mail: xuqinmian@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

Flint首次提出了用混杂堆积物(Diamicton)或混杂堆积岩(Diamictite)来描述成因不明的堆积物^[1]。崔之久认为混杂堆积为:粒经范围从黏土到漂砾,无分选或弱分选,细粒物质填充在粗粒间隙,粗粒物质是细粒基质中的陆缘碎屑沉积物,并提出了各种成因类型的多指标判定原则和成因—环境判定原则^[2]。至今混杂堆积的研究得到了不断完善,对各种成因的沉积物进行了研究,并发现其控制因素一般为构造运动、气候变化和岩性等^[3,4]。对于厚层的连续的混杂堆积物的成因,以及所指示的环境意义,目前是环境地质学界对于混杂堆积研究的重点^[5,6]。因此利用对混杂堆积体的研究,不但可以分析区域构造运动,也可以分析区域古气候的变化。

晚更新世以来,金沙江河谷普遍发育了河流阶地和一些堆积物^[7~10]。金坪子堆积体是分布在金沙江

河谷中的多种成因堆积物的混杂堆积体,是三套分别以老金沙江、古金沙江和现代金沙江为轴心的地貌体系时空更替的产物^[9]。本文对金坪子堆积体已有的地貌分析的基础上,结合金坪子堆积体的沉积特征,综合分析金坪子堆积体的形成过程,及其对青藏高原东缘构造、气候的响应过程。

1 地质概况和研究方法

1.1 地质概况

研究区位于云南高原的北部,扬子地台的西缘,康滇菱形块体的中部,其东邻则木河—小江等断裂带,南有普渡河断裂带,西为汤郎—易门断裂带,并有金沙江断裂和德干断裂在其内相交(图1)。河谷两岸出露的地层,下部主要为震旦系白云岩、灰岩和下元古界白云岩、灰岩,往上至山顶,依次出露寒武系、奥陶系、二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系,以及一些不同时期的火山岩。研究区附近高原面海拔2200

^①高等学校博士学科点专项科研基金项目(编号:20060284028)资助。
收稿日期:2010-06-25; 收修改稿日期:2010-11-22

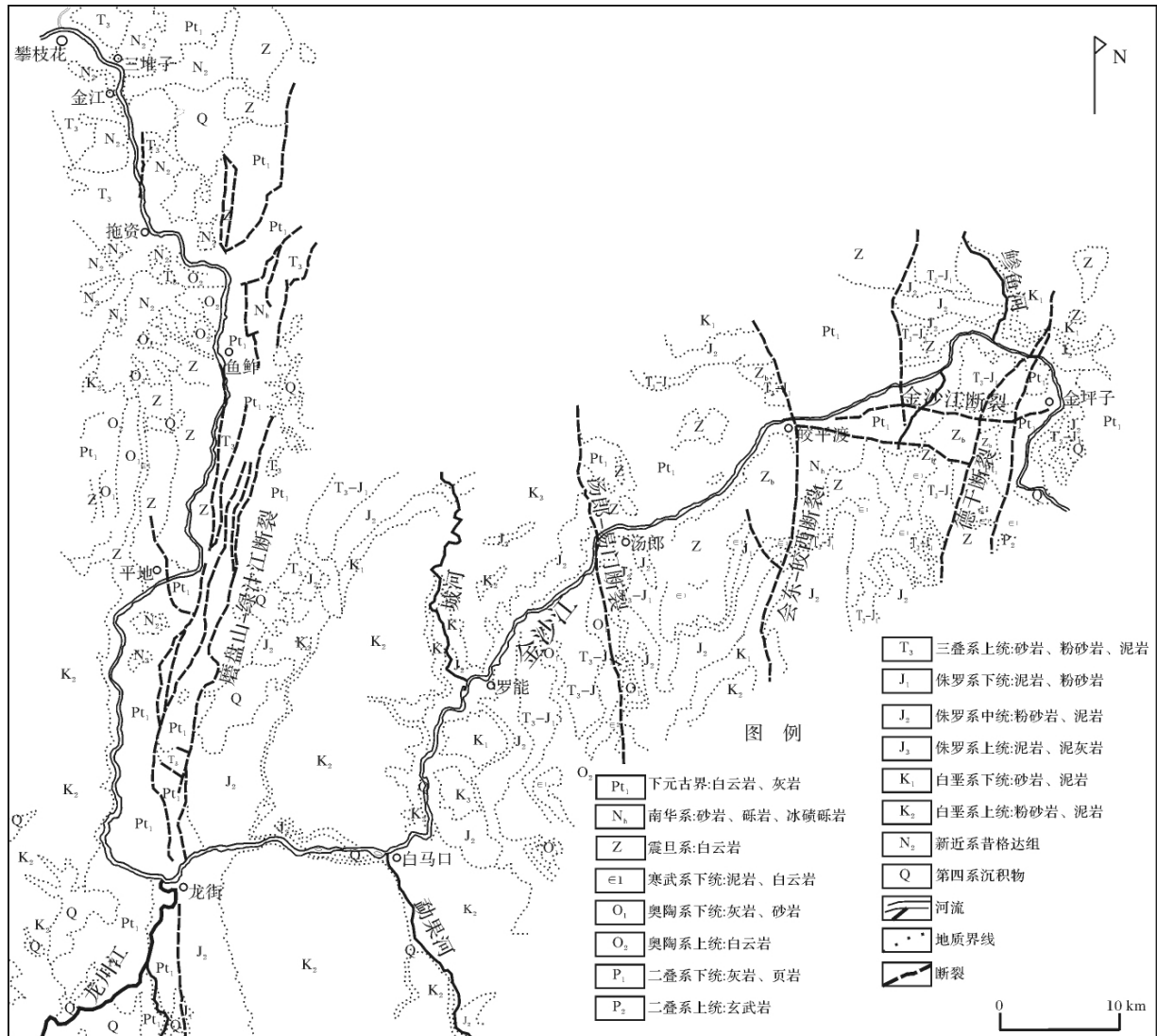


图1 金沙江金坪子段地质和构造简图

Fig.1 Simplified map showing geology and tectonics in the vicinity of Jinpingzi

~2 500 m,金沙江水位高程 800 ~ 820 m,高差 1 380 ~ 1 700 m,水面宽 200 m 左右,谷坡陡斜,倾角约 30° ~ 60°,属于中高山峡谷河段。晚更新世以来,该河段发育四级阶地,峡谷内的平均下切速率为宽谷的 2 ~ 3 倍,这可能是峡谷内的堵江事件,造成按阶地计算的河流下切速率较高^[8]。

金坪子堆积体位于云南省禄劝县北 80 km 的大松树乡,金沙江河谷由东南向西南转折的凸岸,突兀在河谷中,海拔 1 085 m 以下。北侧以硝沟为界,南侧至角砾岩陡崖,体积约 $6 \times 10^8 \sim 7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。金江断裂带的红山断层和梁子断层分别在金坪子堆积体北侧和中部穿过,深刻的影响了堆积体的发育。金坪子堆积体后面的山坡出露的岩石主要有前震旦系灰

岩、大理岩化灰岩和大理岩以及灰绿色千枚岩,堆积体底部为前震旦系大理岩和大理岩化灰岩,而江边出露的岩石主要为前震旦系灰岩和变质灰岩和震旦系白云岩,及硅质条纹隐晶—粉晶白云岩(图 2)。

研究区属于典型的金沙江干热河谷,受西南季风和东南季风影响较强,有明显的干季和雨季之分,年平均气温可达 20℃ 左右,降水量在 800 ~ 1 000 mm,平均年流量为 $1.2 \times 10^{11} \text{ m}^3$,平均年径流量为 $3 800 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[11]。谷坡下段植被以杂草灌丛为主,上段为针叶林。

1.2 研究方法

本文主要采用地貌、沉积和年代学的研究方法。利用金坪子 1:2 000 的地形图生成的数字高程模型

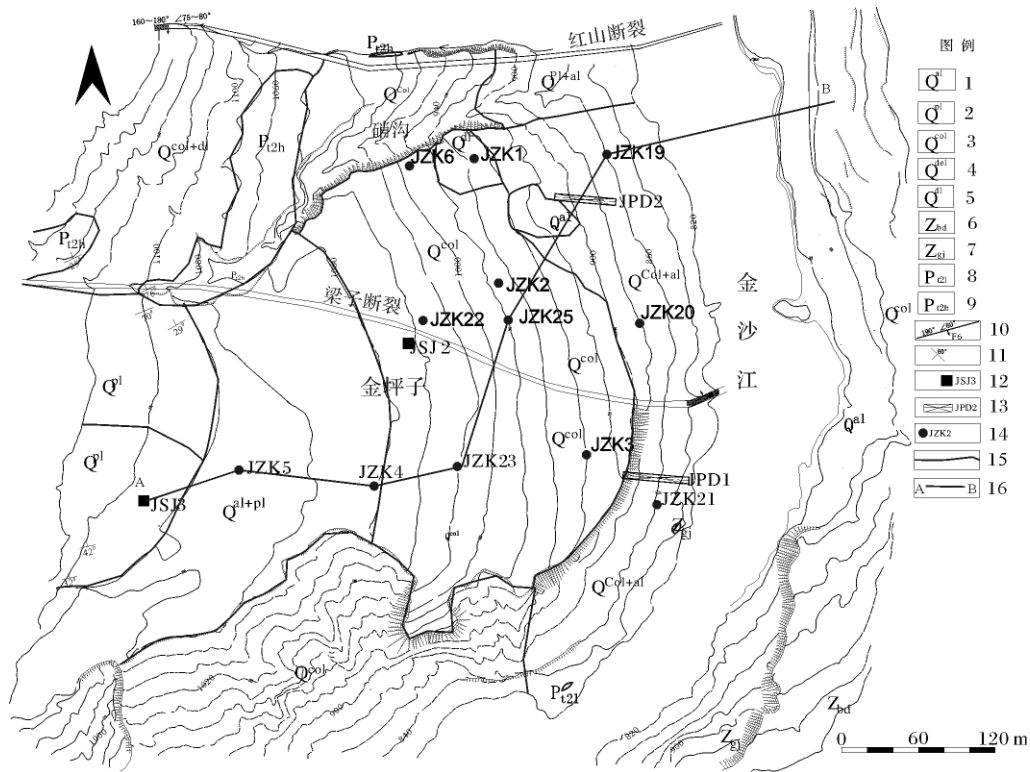


图2 金坪子堆积体地质图

1. 第四系河流冲积层; 2. 第四系洪积层; 3. 第四系崩塌堆积层; 4. 第四系滑坡堆积层; 5. 第四系坡积层; 6. 震旦系灯影组灰、灰白色薄—中厚层硅质条纹隐晶—粉晶白云岩; 7. 震旦系观音岩组灰色薄层白云岩, 紫红色泥质粉砂岩; 8. 前震旦系落雪组灰色—中厚层灰岩、变质灰岩; 9. 前震旦系黑山组灰色厚层、中厚层灰岩、大理岩化灰岩, 灰白色薄层状大理岩及灰绿色千枚岩; 10. 断层编号及产状; 11. 岩石产状; 12. 竖井及编号; 13. 平洞及编号; 14. 钻孔编号; 15. 地质界线; 16. 剖面位置及编号

Fig. 2 Geological map of the diamicton in Jinpingzi and location of cross-section A—B

(DEM) 进行地貌分析, 并利用野外调查和重矿物分析进行验证。从 12 个工程地质钻孔中选取不同地貌部位的 4 个深 160~300 m 钻孔, 利用它们的编录、照片在纵向上分析堆积体的沉积特征; 利用堆积体顶部的 1 个深 20 m 的竖井分析堆积体上部的沉积特征; 利用堆积体下部的 1 个深 210 m 的平洞在横向上分析堆积体的沉积特征。

在这些钻孔、平洞、竖井和不同的地貌单元上采集 13 个 TL 样品、24 个重矿物样品。尽管热释光测年技术有其自身的缺陷性, 其误差在 10%~20%, 但对晚更新世的河流沉积物堆积年龄的测定得到其他独立的测年结果的支持^[12]。TL 样品由国家地震局地壳应力研究所测试, 采用文献中提及的实验流程^[13], 测量对象是样品中的粗颗粒矿物集合体, 使用附加剂量法测量古剂量, 年剂量根据核工业北京地质研究院所测量的样品的放射性元素含量而定。根据同—层位的年龄是否一致、同层位的年龄是否符合地层层序来判断测年结果的可靠性^[17]。重矿物在南京

大学分析, 主要用于判断河流相沉积物 and 不同地貌单元的性质。

2 地形地貌特征

金坪子堆积体凸在金沙江河谷中, 呈弧形弯曲, 弧长约 2 350 m, 似已将金沙江河道向左岸推移许多, 像是一个“大滑坡体”(图 3)。

金坪子对岸的陡崖可分为上、中、下三段, 呈现阶梯状, 上段海拔 1 000~2 000 m, 上接缓倾平台, 该段多发育有悬谷, 由震旦系灯影组薄—中厚层硅质条纹隐晶—粉晶白云岩组成; 中段海拔在 920~1 000 m, 坡度减缓大约 45°, 悬谷在该段消失, 由震旦系观音岩薄层白云岩组成; 下段海拔在 920 m 以下至江边, 为直壁陡崖, 由前震旦系落雪组灰岩和变质灰岩组成, 岩层向东北缓倾, 江边发育倒石堆(图 4a)。

金坪子堆积体分布在海拔 1 085~800 m, 其地貌单元可以细分为上斜坡、坡麓坡积裙与泥石流扇、金坪子古沟谷堆积平台、金沙江谷坡、金沙江阶地、现代

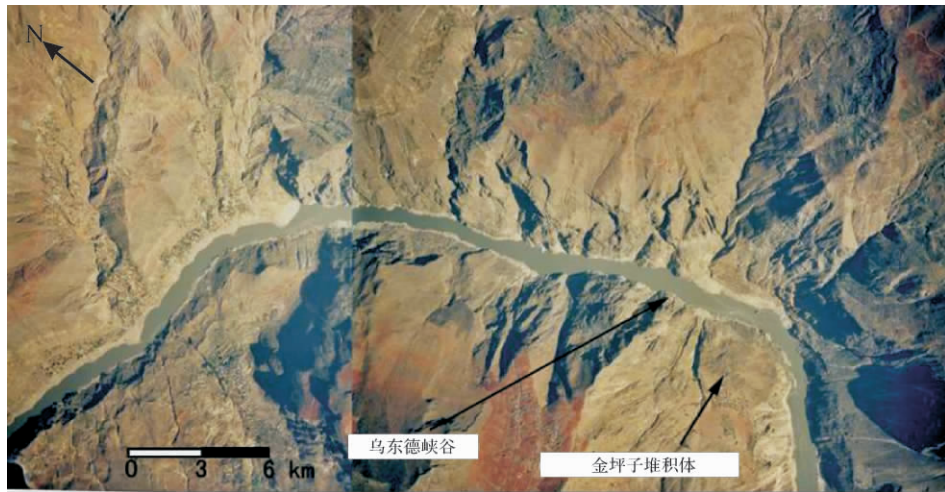


图3 金坪子河段河谷影像图

Fig. 3 Photograph of the Jinpingzi reach of Jinsha River

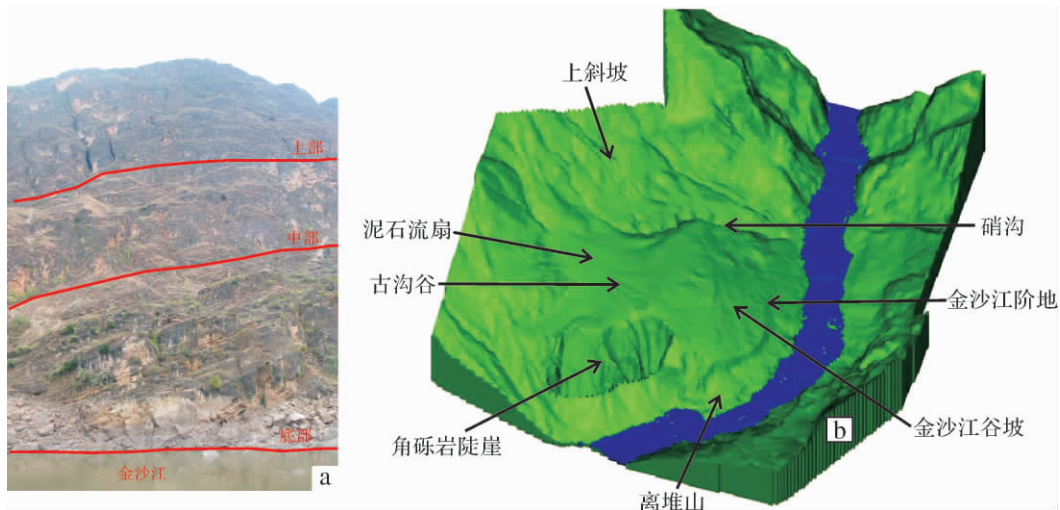


图4 金沙江金坪子段河谷两岸地貌特征

a. 金沙江左岸的地貌特征; b. 金坪子堆积体地貌结构图

Fig. 4 Geomorphological characteristics of bank of the diamicton in Jinpingzi

金沙江滩地、金沙江离堆山和硝沟等八个部分(图4b)。海拔1 085 m以上为一长斜坡,主要由前震旦系白云质灰岩、浅变质灰岩和千枚岩组成,为顺向坡;斜坡的下段具有古谷坡的形态特征,即具有明显的坡折。坡麓泥石流扇和金坪子古沟谷堆积平台均位于金坪子堆积体的平台上,海拔1 075~1 085 m,主要为洪积物和坡积物。金沙江谷坡分布在海拔915~1 075 m,主要为崩积物、坡积物、残坡积物以及洪积物,角砾岩陡崖也属于金沙江谷坡的一部分。金沙江阶地分布在海拔870~915 m,由蚀余堆积、主流线相堆积和漫滩相堆积组成,厚约40 m左右,蚀余堆积层厚约34 m,卵石层厚约4 m,卵石层上的砂层只有约

1 m,河漫滩相堆积厚约1.6 m,上覆后生洪坡积物,主流线相堆积物中砂层上部的TL的年龄为 41.13 ± 3.49 kaB. P.。现代金沙江滩地分布在海拔840 m左右,主要为白云质灰岩、白云岩和角砾岩的岩块;金沙江离堆山在现代金沙江的岸边,海拔为835 m,主要为震旦系灯影组白云岩。硝沟为沿红山断层发育的沟谷,主要为一些坡积物、洪积物和崩积物。

3 TL 测年分析

金坪子堆积体的钻孔、竖井和平硐中堆积物及堆积体上金沙江阶地的测年数据见表1。

JZK25 和 JZK23 中的第1套地层中的测年数据

表1 金坪子堆积体 TL 测年数据
Table 1 The TL date of the diamictin in Jinpingzi

野外编号	采样地点及样品岩性	样品年龄/kaB. P.
KD-P2	堆积体上部金沙江阶地堆积物上部砂层	41.13 ± 3.49
KD-P1	堆积体上部金沙江阶地堆积物砾石层	38.11 ± 3.24
JPD1-1	JPD1 平硐内 63.5 m 处, 高程 830 m, 黄褐色黏土, 硬塑性	175.00 ± 8.70
J1	JPD1 平硐内 80 m 处, 高程 830 m, 灰褐色黏土	120.80 ± 6.00
J2-1	JPD1 平硐内 84.5 m 处, 高程 830 m, 灰褐色黏土	180.00 ± 9.20
J6-1	JPD1 平硐内 140 m 处, 高程 830 m, 粉土夹碎砾及砂	157.60 ± 7.90
J5-1	JZK25 高程 777.29 ~ 782.49 m, 粉土夹碎砾	55.60 ± 2.80
J5-2	JZK25 高程 754.89 ~ 755.89 m, 粉质黏土夹碎砾	195.00 ± 9.70
JZK23-1	JZK23 高程 746.98 ~ 752.52 m, 灰黄色、灰褐色黏土夹碎石, 少量砾石	197.70 ± 9.90
JSJ3-1	JSJ3 高程 1074.6 ~ 1075.0 m, 粉细砂夹砾石	137.00 ± 6.80
JSJ3-2	JSJ3 高程 1075.8 ~ 1076.2 m, 杂色砾石	111.20 ± 5.80
JSJ3-3	JSJ3 高程 1076.8 ~ 1077.2 m, 粉质黏土	123.00 ± 6.20
JSJ3-4	JSJ3 高程 1078.8 ~ 1084.2 m, 粉质黏土夹砾石	115.00 ± 5.80
JSJ3-5	JSJ3 高程 1084.8 ~ 1085.2 m, 碎石夹砂土	103.00 ± 5.10

分别为(195.00 ± 9.70) kaB. P(J5-2) 和(197.70 ± 9.90) kaB. P(JZK23-1), 可见金坪子堆积体开始形成于19万年前, 而 JPD1 中第1套地层的年代分别为(175.00 ± 8.70) kaB. P(JPD1-1) 和(180.00 ± 9.20) kaB. P(J2-1), 但其堆积物和 JZK25 和 JZK23 中的第1套地层的相似, 因此可以看出第1套地层形成历时约2万年。JPD1 中硐深140 m 处的测年数据为(157.60 ± 7.90) kaB. P(J6-1), 对应于 JZK25 第3套地层。JSJ3 号竖井, 井深8.6 ~ 9.0 m 为碎石夹砂土, TL 样测年为(103.0 ± 5.1) kaB. P(JSJ3-5); 井深14.6 ~ 15.0 m 为粉质黏土夹碎石, TL 样测年为(115.0 ± 5.8) kaB. P(JSJ3-4); 井深16.6 ~ 17.0 m 为粉质黏土夹碎石, TL 样测年为(123.0 ± 6.2) kaB. P(JSJ3-3); 井深17.6 ~ 18.0 m 为杂色砾石, TL 样测年为(111.2 ± 5.8) kaB. P(JSJ3-2); 井深18.8 ~ 19.2 m 为粉细砂夹砾石, TL 样测年为(137.0 ± 6.8) kaB. P(JSJ3-1)。

金坪子堆积体的堆积速率随年代的不同有明显的差别, 大体可以分为三段, 15 ~ 19 万年堆积速率为1.3 m/ka; 13 ~ 15 万年堆积速率为135 m/ka; 13 万年以来堆积速率为0.2 m/ka。造成堆积速率不同的原因可能是: 1) 气候变化导致冲积物和坡积物量的变化较大; 2) 构造运动导致河谷中堆积物增加。

4 沉积特征

根据金坪子堆积体上的钻孔 JZK19(a)、JZK25(b)、JZK23(c) 和 JZK5(d), 竖井 JSJ3(e) 和平硐 JPD1(f), 依据堆积物的成分、大小、包含物和胶结特

征, 以及沉积构造, 划分金坪子堆积体的层序(图5)。金坪子堆积体主要为冲积层或坡积层和角砾岩, 在不同的地貌部位岩性略有差异, 具有不同的地层组合特征(图6)。

第1层(Unit 1): 碎块石夹砾石、卵石、砂和黏土

碎块石和砾石成分主要为辉绿岩、变质灰岩、白云岩和石英岩, 有一定的分选, 碎块石粒径5 cm 左右, 砾石粒径1 ~ 2 cm, 棱角状, 含量约40%; 卵石成分主要石英岩和砂岩, 粒径2 ~ 5 cm, 磨圆度较好, 呈浑圆状, 含量较少, 为上游的物质成分; 砂为中粗砂, 粒径1 ~ 2 mm, 含量约60%, 具水平层理, 其重矿物以黄铁矿和赤褐铁矿等一些铁的氧化物为主, 含多种多源矿物。其沉积特征和现代金沙江岸边的坡积物和冲积物的混杂堆积相似, 指示该套沉积物也为河流相冲积物和坡积物的混杂堆积。

JZK25 号钻孔中孔深217 m 处粉质黏土的 TL 年龄为(195.00 ± 9.70) ka. B. P., JPD1 号平硐中硐深63.5 m 处黄褐色黏土的 TL 年龄为(175.00 ± 8.70) ka. B. P., JZK23 号钻孔中孔深270 m 处灰褐色黏土的 TL 年龄为(197.70 ± 9.90) ka. B. P.。

第2层(Unit 2): 角砾岩

角砾岩成分主要为白云岩、碎石碎屑, 为近源物质; 碎石碎屑粒径一般0.5 ~ 1 cm, 棱角状, 钙质胶结, 胶结致密。其重矿物组合比较单一, 以碳酸盐类矿物为主, 含有多种常见的变质矿物。此层可能代表了金沙江水位较低, 坡积物在谷坡上经历较长距离搬运, 且经历了较强的风化, 形成较小的碎石。

第3层(Unit 3): 碎石夹零星卵石

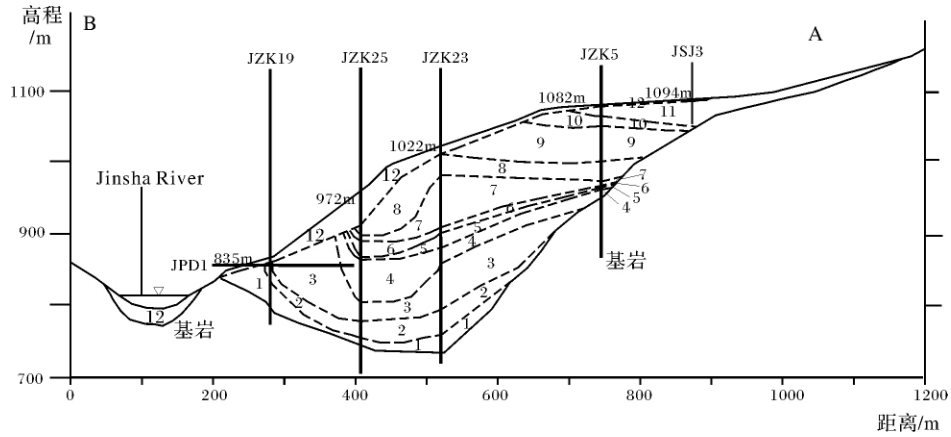


图5 金坪子堆积体横剖面及钻孔位置图(数字代表堆积体内部的层序)

Fig. 5 Cross-section A—B through the diamicton and location of boreholes , silo and adit. The number indicate stratum

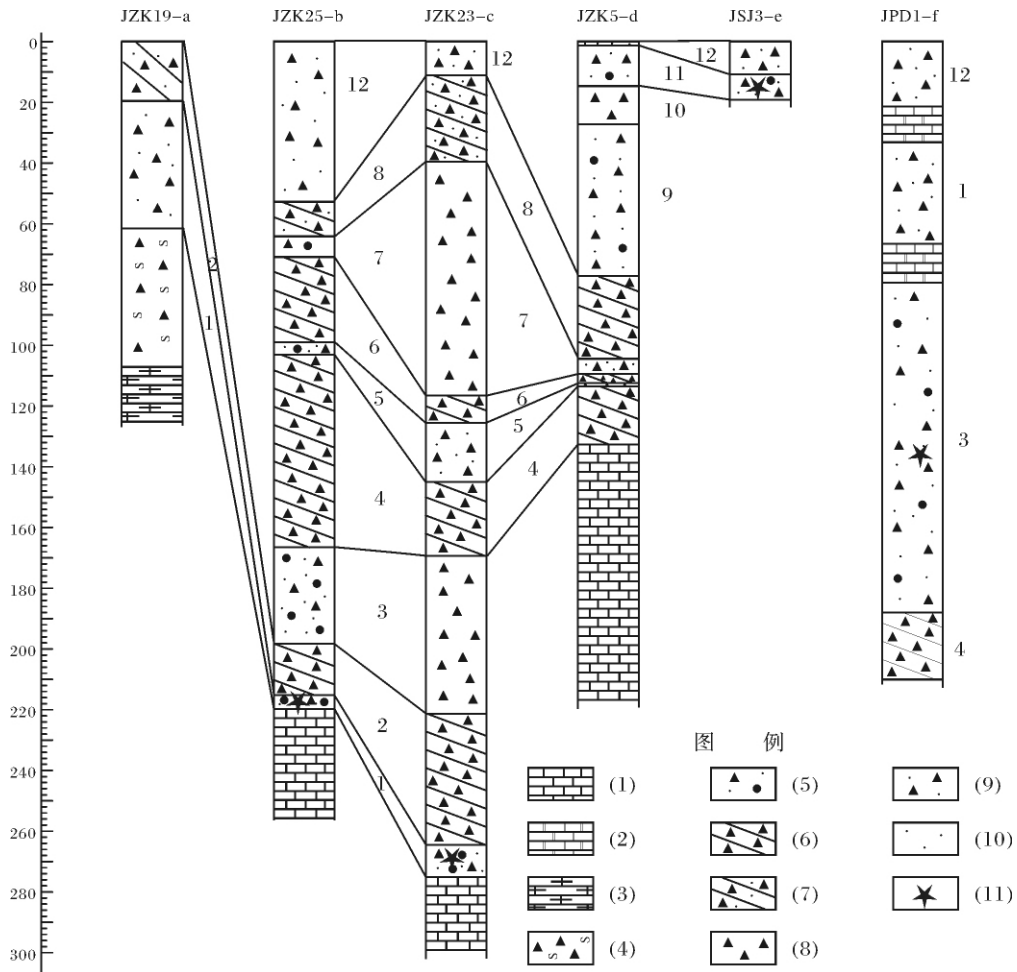


图6 金坪子堆积体各钻孔剖面图

(1)灰岩;(2)白云岩;(3)千枚岩;(4)断层角砾;(5)砾石、卵石和黏土;(6)角砾岩;(7)钙泥质胶结;
(8)砾石;(9)黏土夹砾石;(10)黏土;(11)TL年代采样点

Fig. 6 Vertical sequences displayed by borings on the diamicton in Jinpingzi.

Shown are lithologic log and condensed units (numbers)

碎石土夹碎石块及零星卵石,碎石成分主要为白云岩、变质灰岩、千枚岩夹石英,粒径一般2~8 cm,呈棱角一次棱角状,微具层理,倾角40°,结构松散;块石成分主要为变质灰岩和千枚岩,粒径一般15~20 cm;卵石成分主要为千枚岩和灰岩,粒径一般2~3 cm,磨圆度较好;明显的具有坡积物和河流相冲积物混杂堆积的特点,且水动力条件要比第1套地层要弱;其重矿物以稳定矿物和变质矿物为主,且稳定矿物锆石呈浑圆状,说明其具有一定的搬运距离。JPD1号平硐中硐深80、84.5和140 m处灰褐色黏土的TL的年龄分别为(120.80±6.00) ka. B. P.、(180.00±9.20) ka. B. P.和(157.60±7.90) ka. B. P.

第4层(Unit 4):角砾岩或钙泥质胶结

a:角砾成分主要为灰白色、灰黄色石英质白云岩、白云岩,角砾粒径一般1~8 cm,呈棱角一次棱角状,具有一定的分选性。局部见溶蚀孔洞,洞径一般1~2 mm,说明角砾岩形成时有一定的溶蚀作用。

第5层(Unit 5):卵石、碎块石、黏土

卵石成分为硅质白云岩、白云质石英岩,磨圆度中等,粒径均一,一般在3~5 cm;少量碎石成分为硅质白云岩,粒径一般3~7 cm,呈棱角一次棱角状,局部具有层理,层面倾角42°。黏土具有硬塑性。其沉积特征说明该层沉积也为坡积物和河流相冲积物的混杂堆积,且河流水动力条件类似第1套地层。

第6层(Unit 6):角砾岩

硅质、钙质胶结的白云岩碎石,碎石直径一般在1~6 cm,呈棱角一次棱角状,分选性较差。局部见有1~3 mm溶蚀孔洞。

第7层(Unit 7):碎石、碎屑夹块石和少量砾石

碎石成分为白云质石英岩、白云岩,粒径3~6 cm,碎石含量60%左右,呈棱角一次棱角状,碎石表面具有溶蚀孔洞,溶蚀孔径0.3~0.5 cm,且发育有方解石晶体少量呈次圆状。

第8层(Unit 8):钙质、钙泥质胶结角砾

钙泥质胶结的石英岩、白云岩碎石碎屑,碎石直径一般1~3 cm左右,含量约50%~55%,碎块石直径一般5 cm,含量15%~20%,呈棱角状,少量次棱角状,说明角砾岩形成时,碎石搬运距离较小,且分选性较差。

第9层(Unit 9):灰褐色黏土、砂夹碎石、卵石

砾石成分主要为白云岩、灰岩、千枚岩以及大理岩,碎石直径一般1~3 cm,次棱角状,在下部含量达到25%~30%,微具层理,倾角60°;卵石直径3~5

cm,次圆状,在上部含量达到25%;砂为中粗砂,成分较杂。从其沉积特征可以判断,金坪子堆积体的冲积物和坡积物相混杂堆积的过程在该层结束。

第10层(Unit 10):碎块石层

碎块石成分为白云岩、灰岩和千枚岩,直径一般6 cm,呈棱角状,少量呈次棱角状,说明碎石在坡地上的搬运距离较短。该层夹有薄层黏土,可能是雨水在斜坡上滞水形成的沉积。

第11层(Unit 11):黏土夹碎石

碎石成分为白云岩、灰岩和千枚岩,粒径变化较大,多为2~20 cm,呈棱角状,含量达60%,黏土含量达40%。该层为泥石流堆积。JSJ3号竖井中井深8.6~9.0 m处碎石夹砂土的TL年龄为(103.00±5.10) ka. B. P.,井深14.6~15.0 m和16.6~17.0 m处粉质黏土夹碎石的TL年龄分别为(115.00±5.80) ka. B. P.和(123.00±6.20) ka. B. P.,井深17.6~18.0 m和井深18.8~19.2 m处粉细砂夹砾石的TL年龄为(112.20±5.80) ka. B. P.和(137.00±6.80) ka. B. P.。说明泥石流相堆积物形成与137 ka. B. P.

第12层(Unit 2):现代的坡积、崩积和洪积作用形成的堆积物

金坪子堆积体的下部,主要为坡积物,成分主要为硅质白云岩、白云岩和石英岩,直径一般7 cm左右,呈棱角状,含量达40%,碎屑直径一般在0.2 cm左右,其含量达60%;结构松散。

金坪子堆积体顶部沟谷中的堆积物主要为碎石和黏土质粉砂,碎块石成分主要为白云岩、灰岩和千枚岩,直径一般4~7 cm,呈棱角一次棱角状,含量达70%~80%,其余为黏土质粉砂,其沉积特征说明该层堆积物是坡积和洪积共同作用的堆积物。

金坪子堆积体顶部泥石流扇主要为粉砂质黏土夹碎石,碎石成分主要为灰绿色千枚岩,直径变化较大,多在2~20 cm之间,含量达45%,其余为粉砂质黏土。

金坪子堆积体的后缘为粗大岩体构成的崩积,块石的主要成分主要为千枚岩和白云岩,直径超过10 cm,岩块大小混杂,多呈棱角状,排列不规则。

碎石和粉细砂,碎石以为白云岩、石英岩为主,直径在1~7 cm之间,呈棱角状;粉细砂结构松散,具有层理。其沉积特征说明该层为坡积物和冲积物相混杂堆积的特点。

5 讨论

依据金坪子堆积体的沉积、地貌和年代特征,以及堆积体对岸的地貌特征,结合金坪子堆积体上游2 km处凹嘎阶地的沉积、地貌和年代特征,恢复了金坪子堆积体的形成过程,探讨其对构造、气候的响应过程。

5.1 堆积过程(197~137 ka. B. P.)

中更新世元谋运动后,青藏高原东缘进入相对稳定的构造环境^[14],但金沙江大约在此时间内贯通^[7],金沙江深切河谷开始发育。红山断层和梁子断层交汇处的金坪子则在金沙江贯通后发育形成深槽,深槽底部海拔约740 m。现今金沙江金坪子处河床海拔约770 m。这说明中更新世末期,金沙江金坪子段就已形成高山峡谷的地貌景观。晚更新世以来,金沙江在该处仍没有下切到原有的高程,说明青藏高原东缘整体隆升幅度不大。也有研究表明青藏高原东缘在10~15 Ma. B. P.就已隆升到现在的高度^[15]。晚更新世以来,青藏高原东缘处在剥蚀隆升的阶段,金坪子堆积的发育过程更多的可能受到气候变化的影响。

云南高原在197~157 ka. B. P.处于相对构造稳定时期,气候处于相对冷干时期,气温比现今低6℃,且波动频繁^[16,17]。冷干的气候有利于岸坡上崩落的岩块风化后再次风化,产生较多的细小碎石,并在长斜坡上运移到深槽底部沉积,故第1层内碎石直径一般在1~2 cm,个别达5 cm。而JPD1 砾深21.5~33.0 m处的直径近12 m巨大白云岩石块为崩塌残留的岩块。同时,冷干的气候有利于岸坡上部的针叶林下移,起到固定岸坡物质的作用,深槽中堆积厚度较小,而随气候的波动,碎石在深槽内堆积后也略具层理。JZK25的Unit1中碎石含量为40%,粗砂含量为60%,说明JZK25位于金沙江河床边部;JZK23的Unit1中碎石含量尽为5%,其余主要为粉砂和细砂,说明JZK23可能位于当时金沙江河床的心滩。岸坡和河槽沉积较厚,而河床边部沉积较薄。

0.17~0.14 Ma. B. P.则是海洋氧同位素(MIS)6的冷期^[16,17],碎石强烈风化成碎石小块,针叶林的下移造成碎石运移速率较慢,碳酸岩碎石在淋溶和蒸发作用下形成角砾岩。角砾岩在河床附近沉积通量较大,可能由于金沙江干热河谷的特征造成岸坡下部堆积物易胶结。

157~137 ka. B. P.,青藏高原东缘经历了一次显著的构造运动——共和运动^[16,18,19],山体强烈隆升。

JPD1 砾深66.2~79.5 m处直径近13 m的白云岩岩块说明当时崩塌作用较强。Unit3中碎石的直径主要集中在5~8 cm和15~20 cm这两部分,且多棱角一次棱角状,也说明当时构造隆升后,岸坡碎石在崩落后经历较快速的运移和堆积,再次的物理风化较弱。而随着构造活动趋于稳定,河床和岸坡中堆积碎石的直径也逐渐较小,如Unit5、Unit7、Unit9中碎石的直径分别为3~5、3~5和1~3 cm,且碎石的磨圆度逐渐增加。同时,由于山体的构造隆升,157~137 ka. B. P.金坪子堆积速率也最高,其中Unit3和Unit4沉积厚度分别为32 m和62 m,说明山体隆升的最初阶段,河床和岸坡上堆积的碎石无论是直径还是通量方面都是最大的。随着构造趋于稳定,碎石的直径和通量都逐渐变小。Unit4、Unit6和Unit8的角砾岩沉积特征也反映了构造作用对河床和岸坡沉积物质的影响,同时也指示了157~137 ka. B. P.出现了三次较为冷干的时期。

金坪子堆积体在堆积的同时,金沙江主泓线也不断的向左岸偏移,其原因可能为金沙江断裂不断的右旋走滑,金沙江沿德干断裂侵蚀。

5.2 高水位(137~114 ka. B. P.)

据JZK5中Unit9的沉积特征分析,古金沙江最高水位曾达到海拔1055 m。据凹嘎阶地发育特征,其T5阶地为侵蚀阶地,后被次生风成堆积覆盖^[13]。同时,受水位控制,金坪子对岸岸坡发育悬谷。造成高水位的原因可能为:1)山体隆升后,金沙江从四川盆地开始溯源侵蚀,其裂点还没有上溯到金坪子;2)该时期处于MIS6向MIS5转变的时期,气候变化导致岸坡植被覆盖率降低,入江物质增多,河流下切能力减弱。

5.3 下切时期(114~78 ka. B. P.)

由于没有获得金坪子堆积体表层金沙江阶地开始形成的年代,以及凹嘎T2开始形成的年代,但依据构造相对稳定的时期,河流阶地的发育多受气候变化的影响^[20~22],依据区域气候的特征来大体推断金坪子堆积体下切的年代。140~78 ka. B. P.属于暖段,气温比今高4.5℃,78~10 ka. B. P.属于冷段,气温比今低4.5℃^[16,17],所以我们将T2阶地开始形成的年代定为78ka. B. P.。114~78 ka. B. P.,气候转暖期,降水增多,金沙江水动力增强,且溯源侵蚀的裂点可能上溯到金坪子,故而造成该事情金沙江在此快速下切。同时由于金沙江断裂的不断左旋走滑,河流不断侵蚀左岸,形成不对称河谷,且河流的快速下切。气候的转

暖也使金坪子堆积体后缘植被覆盖率增加,基岩风化减弱,使得 Unit11 中泥石流堆积黏土含量高达 40%。

5.4 阶地发育(78 ~ 41 ka. B. P.)

阶地的下部为蚀余堆积,说明阶地在形成是气候转冷,河流水动力减弱,岸坡物质入江后多堆积在河床。阶地上部为叠瓦状卵石层和砂层,卵石直径一般在 6 cm 左右,大者达 20 cm,而砂层中也质地较纯,无本地碎石混入,这和现在的金沙江岸边的坡积物和冲积物相混杂的堆积完全不同,说明当时金沙江经历了一次大水过程,河流流量的增加不仅带来了大量的外来卵石,也造成金沙江下切形成阶地。此时期的洪水在长江三峡坝址区的深槽中也得到验证^[23],进一步说明了 40 ~ 30 kaB. P. 中国大陆的暖湿气候^[24]。

5.5 继续深切阶段(41 ~ 0kaB. P.)

41 kaB. P. 以来,金沙江继续深切,且深切幅度较大,并下切到古金沙江的基岩岸坡以下,形成离堆山,金沙江左壁也形成直壁陡崖,其原因可能为云南高原在共和运动后,造成金沙江的次级构造裂点或岩性裂点上溯到金坪子,使得下切加强。

而现代金沙江河谷中厚约 20 m 河床堆积则可能是由于全新世气候转暖,河谷中干热气候增强,岸坡上针叶林上移,入江物质增多,形成现今河床堆积。

6 结论

通过金坪子堆积体的 DEM、钻孔、平硐和竖井资料的分析,以及实地调查,金坪子堆积体可以分为上斜坡、泥石流扇、金坪子古沟谷堆积平台、金沙江谷坡、金沙江阶地、现代金沙江巨砾岩块滩地、金沙江离堆山、硝沟沟谷等 8 个地貌单元和 12 层层序,其中其中 1 ~ 9 层为古金沙江河流相冲积物和坡积物、崩积物相混杂堆积的层序,其堆积时间为 197 ~ 137 kaB. P.; 而 10 ~ 12 层则为泥石流相堆积物。

中更新世末期,金沙江金坪子段就已形成深切的高山峡谷地貌景观。晚更新世以来,金沙江在金坪子段并没有下切到中更新世末期的高程,可能说了青藏高原东缘在中更新世末期就已到达现今的高度,并处在剥蚀抬升的均衡阶段。晚更新世以来,金坪子堆积体的发育过程主要受到构造、气候变化的影响。云南高原在 197 ~ 157 ka. B. P. 处于相对构造稳定时期,气候处于相对冷干时期,岸坡上部的针叶林下移,金沙江河谷内堆积物较少,谷坡上坡积物经历多次风化形成较细的碎石,且经长距离搬运,形成层理。0.17 ~ 0.14 MaB. P 则是 MIS6 的较冷时期,碳酸岩碎石在

谷坡上在淋溶和蒸发作用下形成角砾岩。157 ~ 137 ka. B. P., 青藏高原东缘经历了一次显著的构造运动—共和运动,山体强烈隆升。金沙江谷坡上堆积了直径 13 m 的巨大岩块,岸坡上堆积较多粒径 5 ~ 20 cm 的碎石,分选差。随着构造活动趋于稳定,河床和岸坡中堆积碎石的直径也逐渐较小,磨圆度逐渐增加。构造活动不仅影响了沉积物的粒径,而且也形成较大沉积通量。三层角砾岩指示了 157 ~ 137 ka. B. P. 出现了三次较为冷干的时期。137 ~ 114 ka. B. P., 气候由冷干向暖湿转变时期,气候变化导致岸坡植被覆盖率降低,入江物质增多,河流下切能力减弱,金坪子处河谷被堆积充填,金沙江水位曾达到海拔 1 055 m。114 ~ 41ka. B. P., 气候转为暖湿,金沙江水量增加,金坪子处快速深切。40 ~ 30 kaB. P., 中国大陆的暖湿气候,发育形成阶地。41 kaB. P. 以来,金沙江继续深切,且深切幅度较大,并下切到古金沙江的基岩岸坡以下,形成离堆山,

参考文献(References)

- 1 Flint R E, Sanders J, Rodgers J. Diamiction, a substitute term for symmetricite [J]. Bulletin of the Geology Society American, 1960, 77: 1809-1810
- 2 崔之久. 论混杂堆积和混杂岩的成因判别原则与标志[J]. 地质论评, 1988, 34(4): 369-376 [Cui Zhijiu. Symbol and principia of distinguishing the cause of formation of diamiction and mixtite [J]. Geological Review, 1988, 34(4): 369-376]
- 3 南凌, 崔之久. 甘肃武都古崩塌堆积体的沉积特征及其形成环境[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 351-356 [Nan Ling, Cui Zhijiu. The depositional characteristics and generative environment of Paleo-rock avalanche in Wudu Country, Gansu Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 351-356]
- 4 南凌, 崔之久. 西安翠华山古崩塌性滑坡体的沉积特征及其形成过程[J]. 山地学报, 2000, 18(6): 502-507 [Nan Ling, Cui Zhijiu. The deposit characteristics of the paleo-avalanchine landslide in Xi'an Cuihua Mountain and analysis of its generative process [J]. Journal of Mountain Science, 2001, 18(6): 502-507]
- 5 Wang Y H, Yan D P. Fluvial gravel facies architecture of late Pleistocene age at Po Chue Tam, Lantau Island, Hong Kong: tectonic versus climatic control? [J]. Journal of Asian Earth Science, 2003, 21: 1113-1123
- 6 Levson V M, Rutter N W. Influence of bedrock geology on sedimentation in Pre-Late Wisconsinan alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains [J]. Quaternary International, 2000: 68-71, 133-146
- 7 杨达源, 韩志勇, 葛兆帅, 等. 金沙江石鼓—宜宾河段的贯通与深切地貌过程的研究[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 564-568 [Yang Dayuan, Han Zhiyong, Ge Zhaoshuai, et al. Geomorphic process of the formation and incision of the section from Shigu to Yibin of the Jin-

- sha River[J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4): 564-568]
- 8 胥勤勉, 杨达源, 葛兆帅, 等. 金沙江三堆子乌东德河段阶地研究[J]. *地理科学*, 2006, 26(5): 609-615 [Xu Qinnian, Yang Dayuan, Ge Zhaoshuai, *et al.* Terraces along Sanduizi-Wudongde reach of Jinsha River[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 26(5): 609-615.]
 - 9 胥勤勉, 杨达源, 葛兆帅, 等. 金沙江金坪子堆积体成因的初步研究[J]. *山地学报*, 2006, 24(4): 403-409 [Xu Qinnian, Yang Dayuan, Ge Zhaoshuai, *et al.* The preliminary study on origin of the diamicton in Jinpingzi of Jinsha River[J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(4): 403-409]
 - 10 Chen Jian, Dai Fuchu, Yao Xin. Holocene debris-flow deposits and their implications on the climate in the upper Jinsha River valley, China[J]. *Geomorphology*, 2008, 93: 493-500
 - 11 程尊兰, 朱平一, 刘雷激. 金沙江下游地区水文特征[J]. *山地研究*, 1997, 15(3): 201-204 [Cheng Zhunlan, Zhu Pingyi, Liu Leiji. Hydrological characteristics in the lower reach area of Jinsha River[J]. *Mountain Research*, 1997, 15(3): 201-204]
 - 12 韩志勇, 李徐生, 任雪梅, 等. 三峡库区长江阶地冲积物的年代测定[J]. *地理学报*, 2006, 61(11): 1200-1207 [Han Zhiyong, Li Xusheng, Ren Xuemei, *et al.* Dating of river terraces in the Three Gorges reservoir area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1200-1207]
 - 13 王峰, 王驹, 范洪海, 等. 甘肃北山旧井地区晚第四纪活动断裂分布及其构造意义[J]. *地质论评*, 2005, 51(3): 250-256 [Wang Feng, Wang Ju, Fan Honghai, *et al.* Distribution of late Quaternary active faults and its tectonic significance in the Beishan region, Gansu province, China[J]. *Geological Review*, 2005, 51(3): 250-256]
 - 14 张岳桥, 杨农, 陈文, 等. 中国东西部地貌边界带晚新生代构造变形历史与青藏高原东缘隆升过程初步研究[J]. *地学前缘*, 2003, 10(4): 599-612 [Zhang Yueqiao, Yang Nong, Chen Wen, *et al.* Late Cenozoic tectonic deformation history of the east-west geomorphological boundary zone of China and uplift process of the eastern margin of the Tibetan plateau[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 599-612]
 - 15 Molnar Peter, William R Boos, David S Battisti. Orographic controls on climate and paleoclimate of Asia: thermal and mechanical roles for the Tibetan plateau[J]. *Annual of Review Earth Planetary Science*, 2010, 38: 77-102
 - 16 Shen J, Lü H Y, Wang S M, *et al.* A 2.8 Ma record of environmental evolution and tectonic events inferred from the Cuoe core in the middle of Tibetan Plateau[J]. *Science in China Series D: Earth Science*, 2004, 47(11): 1025-1034
 - 17 童国榜, 刘志明, 王苏民, 等. 云南鹤庆盆地近1Ma来的气候序列重建初探[J]. *第四纪研究*, 2002, 22(4): 332-339 [Tong Guobang, Liu Zhiming, Wang Shumin, *et al.* Reconstruction of climatic sequence of the past 1Ma in the Heqing Basin, Yunnan province[J]. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(4): 332-339]
 - 18 Li J J. The environmental effects of the uplift of the Qinghai-Xizang plateau[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1991, 10: 479-483
 - 19 Cui Z J, Wu Y Q, Liu G N, *et al.* On Kunlun-Yellow river tectonic movement[J]. *Science in China Series D: Earth Science*, 1998, 41(6): 592-600
 - 20 Bridgland D R. River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change, uplift and early human occupation[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 1293-1303
 - 21 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: 23-36
 - 22 Vandenberghe J. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22: 2053-2060
 - 23 Yang D Y, Li X S, Ke X K, *et al.* A note on the troughs in the Three Gorges channel of the Changjiang River, China[J]. *Geomorphology*, 2001, 41: 137-142
 - 24 施雅风, 于革. 40~30ka B. P. 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 1-11 [Shi Yafeng, Yu Ge. Warm-humid climate and transgressions during 40~30 ka B. P. and their potential mechanisms[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 1-11]

The Response of Geomorphological Process of the Diamicton in Jinpingzi in Jinsha River to Neotectonics and Climate Change of Eastern Tibet

XU Qin-mian¹ YANG Da-yuan² GE Zhao-shuai³

(1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170;

2. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093;

3. School of City and Environmental, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116)

Abstract The diamicton of Jinpingzi, which looks like a slide according to morphological character, lies on the Kangdian tectonic zone. It is a composite diamicton that formed due to several dynamic actions at the different periods, and is a product of three geomorphic systems i. e. the ancient Jinsha river, the old Jinsha river and the modern Jinsha river, which occurred alternately.

According to the DEM of the diamicton of Jinpingzi and the field investigation, there are eight geomorphic units in the diamicton of Jinpingzi, which are the upside slope, the debris flow fan, the accumulative platform on palaeogully of Jinpingzi, the valley slide of the Jinsha river, the terrace of the Jinsha river, the beach face composed of boulders and rock masses, the meander core and the Xiaogou gully. The TL age of the terrace in the surface of the diamicton of Jinpingzi is (41.13 ± 3.49) kaB. P..

The multidisciplinary study (sedimentology, chronology, lithostratigraphy) of the sediment of the dill of the landform suggests that the diamicton of Jinpingzi is composed of twelve stratum. The stratum from the first to the ninth are composed of colluviums, alluviums and slope wash, while the others are composed of debris flow.

According to geomorphologic and sedimentologic characters of the diamicton of Jinpingzi, we can conclude that there are three geomorphologic processes, which are accumulation and sidesway (197 ~ 137 kaB. P.), divagation and incision (137 ~ 41 kaB. P.) and intensity incision (41 ~ 0 kaB. P.). Finally the meander core formed after the deeply-incising of Jinsha river, and the cliff of the breccia formed.

The Alpine Gorges has been formed during Late Medio-Pleistocene in the Jinpingzi reach of Jinsha river, and has reached the modern attitude. During Late Pleistocene, the uplift of the study area is driven by erosional unloading, the development of diamicton in Jinpingzi has been effected by climate change. 197 ~ 137 ka B. P., which was a relatively cold-dry period, the breccias of unit 2, 4, 6 and 8 had formed, the sedimentary characteristics of unit 3, 5, 7 and 9 had form by effect of Gonghe tectonic movement. When the period changed from MIS6 to MIS5, fluvial incision dynamics descended, and higher water level had formed during 137 ~ 114 ka B. P. The Jinsha River had incised intensively during 114 ~ 78 ka B. P. because fluvial dynamics of the older Jinsha River increased under the warm-wet climate. The main body of terrace is composed of fluvial lag which had been formed in cold-dry period in 78 ~ 41 ka B. P., the upper terrace is composed of imbricate gravels and sands which had been formed in an inundation period in 41 ka B. P. The Jinsha River has penetrated the diamicton and into the bedrock, then the meander core and the cliff opposite to the diamicton have formed since 41 ka B. P.

Key words diamicton; the late middle Pleistocene; geomorphological process