

金沙江涛源盆地构造现象研究*

徐晓雅, 林凤仙, 赵淑芳

(昆明南方地球物理技术开发有限公司, 云南 昆明 650224)

摘要: 通过对金沙江涛源盆地东缘断裂活动性的调查和探测, 在该盆地内发现许多有地震地质意义的构造现象。分析显示: 涛源盆地东缘的金沙江河谷断裂是由一组晚更新世以来活动的铲式正断层组成, 以粘滑为主, 距今大约4.5万年以来的垂直活动速率为0.6 mm/a; 盆地内的NW—NWW向断层是一组与金沙江河谷断裂共轭活动的正断层, 距今2.2~4.4万年发生过一次7级左右的地震位错事件; 程海—宾川断裂中段的潜在震源区震级上限宜取7.5级。

关键词: 涛源盆地; 金沙江河谷断裂; 共轭正断层; 发震构造; 粘滑

中图分类号: P315.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)01-0133-11

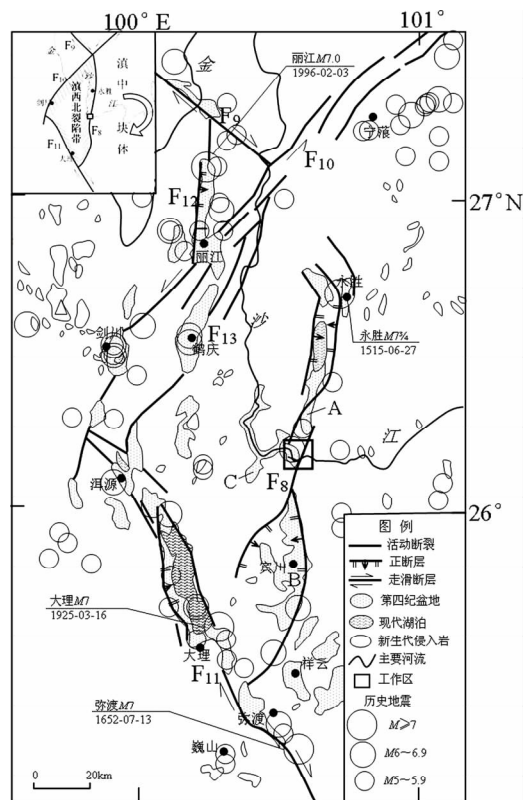
0 引言

对活动断裂的调查研究一直是地震和地质灾害防御的核心工作之一(邓起东, 闻学泽, 2008)。活动断裂的几何形态、活动性质、时代、速率、特性等是其主要的调查和探测内容, 也是地震危险性评价的主要依据(张裕明, 1999; DB/T53—2013)。

地处滇西北的程海—宾川断裂是我国南北向地震构造带南段的主要活动断裂之一。前人对此活动断裂做过不同详尽程度的调查研究, 一致认为其第四纪活动为正—左旋走滑, 但几何形态和地震危险性分段及评价不尽相同(王晋南, 1990; 王晋南, 皇甫岗, 1992; 罗睿洁等, 2015)。2017年1—3月, 笔者在对金沙江涛源盆地东缘的金沙江河谷断裂(程海—宾川断裂中段)的活动性调查和探测中, 发现该盆地内有许多地震地质意义的构造现象。本文基于这些构造现象, 分析了金沙江河谷断裂涛源盆地东缘的晚第四纪活动性, 并探讨了这些现象的地震地质意义。

1 地震地质背景

涛源盆地所在的金沙江河谷断裂是程海—宾川断裂中段的主干活动断裂, 而程海—宾川断裂是滇中活动块体西缘滇西北裂陷带的东边界, 该盆地明显地受控或受约束于金沙江河谷断裂(图1)。



F₈: 程海—宾川断裂; F₉: 德钦—大具断裂; F₁₀: 丽江—小金河断裂;
F₁₁: 红河断裂; F₁₂: 玉龙雪山东麓断裂; F₁₃: 鹤庆—洱源断裂;
A: 期纳拉分盆地; B: 宾川伸展盆地; C: 涛源宽谷盆地

图1 滇西北地震构造图和新生代浅成侵入岩分布
(据云南省地质矿产局, 1990 修改)

Fig. 1 Seismic structure map of the northwestern Yunnan and distribution of Cenozoic shallow intrusive rocks
(based on Yunnan Province Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990)

滇西北裂陷带,历史上曾发生过1515年永胜7 $\frac{3}{4}$ 级地震、1652年弥渡7.0级地震、1925年大理7.0级地震、1996年丽江7.0级地震(国家地震局震害防御司,1995,1999)。其中程海—宾川活动断裂自公元1515年以来,除发生1515年永胜7 $\frac{3}{4}$ 级地震外,还记载有6~6.9级地震3次、5~5.9级地震3次,具有发震频度低、强度大的特征,而中段金沙江河谷断裂仅记录有2001年10月27日永胜6.0级地震(周光全等,2002)。

前人对滇西北裂陷带的认识可归纳为:①呈右阶斜列的NW向德钦—大具断裂和红河断裂尾部的右旋走滑拉分;②NE向丽江—小金河断裂左旋走滑和NW向红河断裂右旋走滑的联合拉分;③滇中活动块体顺时针旋转的拉分;④区域内微断块顺时针旋转与NE向左旋走滑断裂的尾端拉分(吴大宁,邓超东,1985;刘光勋等,1986;虢顺民

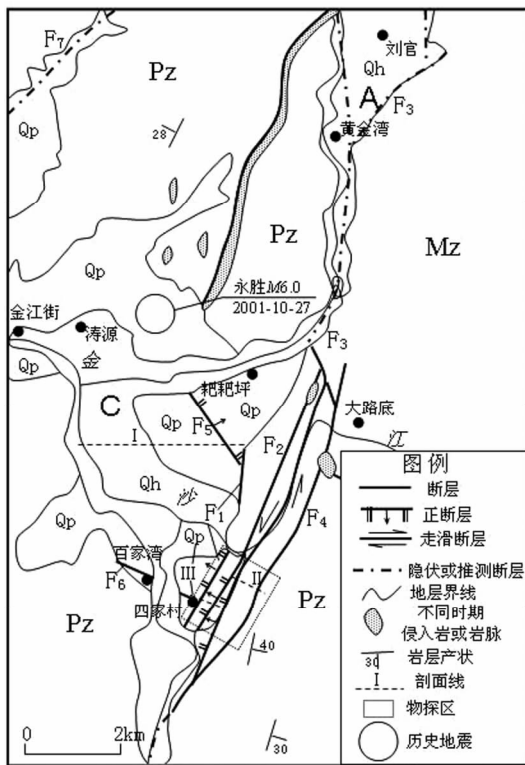
等,1996;徐锡伟等,2003)。由此可见,涛源盆地处于拉分活动的构造环境。

涛源盆地处在金沙江河谷断裂的上盘,历史上此断裂没有关于7级以上地震的文字记载,2001年10月27日永胜6.0级地震的震中位于涛源至耙耙坪之间(图2),显然它的上盘为主动盘。

2 涛源盆地第四纪地质与地貌

在金沙江中游存在一个醒目的呈“Z”形展布的第四纪宽谷盆地,即涛源盆地。此盆地北始化树,南至下乾,然后转向东,止于程海—宾川断裂的中段金沙江河谷断裂,全长约40 km,一般宽约2 km,临近金沙江河谷断裂加宽至8 km,显示出金沙江河谷断裂对此盆地的控制及约束(图2)。

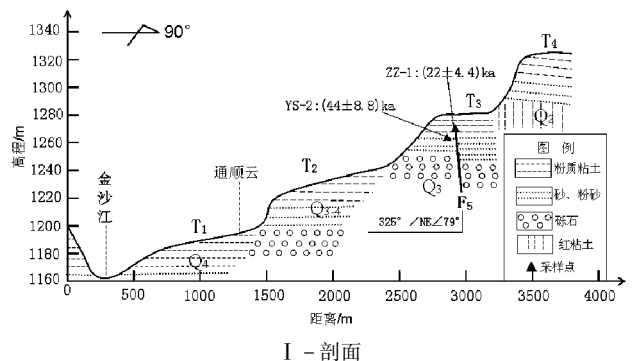
在涛源盆地内发育有4级金沙江干流堆积阶地(图3)。T₁阶地被鲁地拉水库的库水淹埋,T₂阶地保留完整,T₃阶地沟壑纵横,T₄阶地多为残丘。T₃阶地顶部堆积物的电子自旋共振(ESR,下同)测年是(22±4.4)~(44±8.8) ka B.P.,为晚更新世中晚期堆积。T₄阶地顶部、中部堆积物的ESR测年依次是(141±18), (171±33), (195±19) ka B.P.,为中更新世晚期堆积。调查研究表明:金沙江干流T₁阶地的堆积年龄为9~17 ka B.P.,阶地面形成于9~10 ka B.P.左右;T₂阶地的堆积年龄为15~45 ka B.P.,阶地面形成于15 ka B.P.左右(计凤桔等,2000)。



F₁, F₂, F₃, F₄: 金沙江河谷断裂; F₅, F₆: NW向正断层;
F₇: NE向正断层; A: 期纳盆地; C: 涛源盆地;
Qh: 全新统; Qp: 更新统; Mz: 中生界;
Pz: 古生界; I, II, III: 剖面线编号

图2 涛源盆地地质图(据云南省地质局,1966^①修改)

Fig. 2 Geologic map of Taoyuan basin(based on Geological Bureau of Yunnan Province,1966)



F₅: 断裂; T₁, T₂, T₃, T₄: 河流阶地; Q₁: 全新统; Q₂: 中更新统; Q₃₋₄: 上更新统—全新统

图3 涛源盆地金沙江阶地剖面

Fig. 3 Terraces of the Jinshan River in Taoyuan basin

① 云南省地质局. 1966. 中华人民共和国区域地质调查报告鹤庆幅(G-47-XVII)1/20万.

表 1 涛源盆地第四纪地层 ESR 测年结果一览表
Tab. 1 ESR results of quaternary stratum in Taoyuan basin

样品编号	物质成分	地貌位置	地理位置		年龄/ka
			φ_N	λ_E	
ZZ-1	粉砂	T ₃	26°12'09"	100°35'20"	22 ± 4.4
Ys-2	含砂细砾	T ₃	26°12'09"	100°35'20"	44 ± 8.8
Ys-9	含砾粉质黏土	滑坡堆积体 (含 T ₃ 和 T ₄ 堆积物)	26°10'07"	100°34'47"	45 ± 9.0
Ys-6	紫红色黏土	滑坡堆积体 (含 T ₃ 和 T ₄ 堆积物)	26°10'12"	100°34'52"	141 ± 18
Ys-5	冰碛物碎石土	滑坡堆积体 (含 T ₃ 和 T ₄ 堆积物)	26°10'20"	100°35'06"	171 ± 33
Ys-8	紫红色黏土	滑坡堆积体 (含 T ₃ 和 T ₄ 堆积物)	26°09'55"	100°34'53"	195 ± 19

注：ESR 测年由 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室李建平完成。

从堆积阶地的拔河高度分析，涛源盆地的第四系厚度不小于 165 m，其中全新统被库水淹没，未见下更新统出露。根据地层的不整合接触，并参考 ESR 测年结果（表 1），除被库水淹没的河漫滩和 T₁ 阶地，可以将涛源盆地出露的第四纪地层划分为上更新统和中更新统。上更新统主要由浅灰色、浅黄色、灰褐色、浅红色粉质黏土、粉砂、细砂、粗砂、砾石组成，其中底部浅黄色含砾粉质黏土和粉砂略有胶结。中更新统主要由黄色黏土、粉质黏土、粉砂、紫红色和红色黏土组成。这两套地层可分别与丽江盆地的木坚桥组和东元村剖面类比（李鼎容等，1987）。

金沙江右岸寨子村至四家村还出露有浅灰色灰岩、白云质灰岩碎石和块石，与上覆的上更新统呈不整合接触，初步确定为中更新世冰期堆积物。

在地质构造上，涛源盆地处在金沙江河谷断裂的上盘，毗邻北端的期纳第四纪拉分盆地和南部的宾川第四纪伸展断陷盆地，金沙江河谷呈现出 3.3 km 的左旋走滑错扭。

涛源盆地内中更新统与上更新统的角度不整合接触，反映此盆地在中更新世末经历一次比较强烈的地壳运动。根据测年，这次地壳运动发生在距今 15 万年前后。

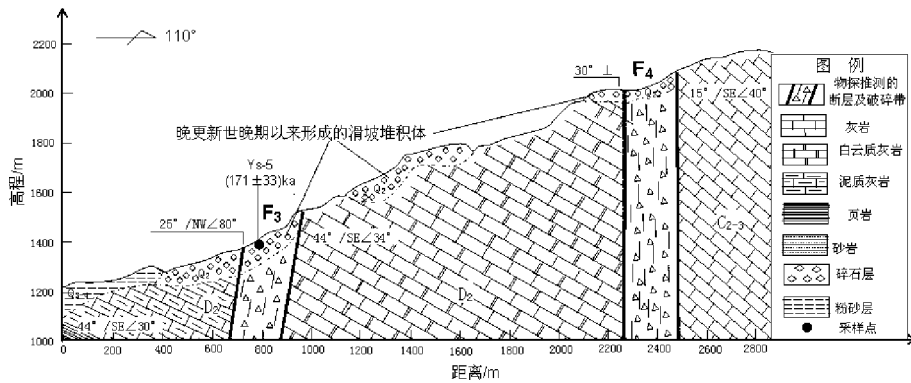
3 涛源盆地的构造现象

3.1 盆地东缘 NNE 向断层

在涛源盆地东缘有先存的 NNE 向断层 F₄（图 2）。该断层有清晰的地形地貌显示（图 4a），沿上盘的中泥盆统灰岩及其断裂破碎带发生滑塌，形成巨型滑坡群，且与该断裂活动及其引发的地震有关（杜泽等，2012；张家明等，2012）。在寨子村，T₂ 阶地面被滑坡堆积体覆盖（图 4b），且滑



图 4 涛源盆地东缘滑坡与断裂
Fig. 4 The landslips and faults in the eastern margin of Taoyuan basin



II - 剖面

F₃, F₄: 断裂; Q₃₋₄: 上更新统一全新统; Q₂: 中更新统; D₂: 中泥盆统; C₂₋₃: 中-上石炭统

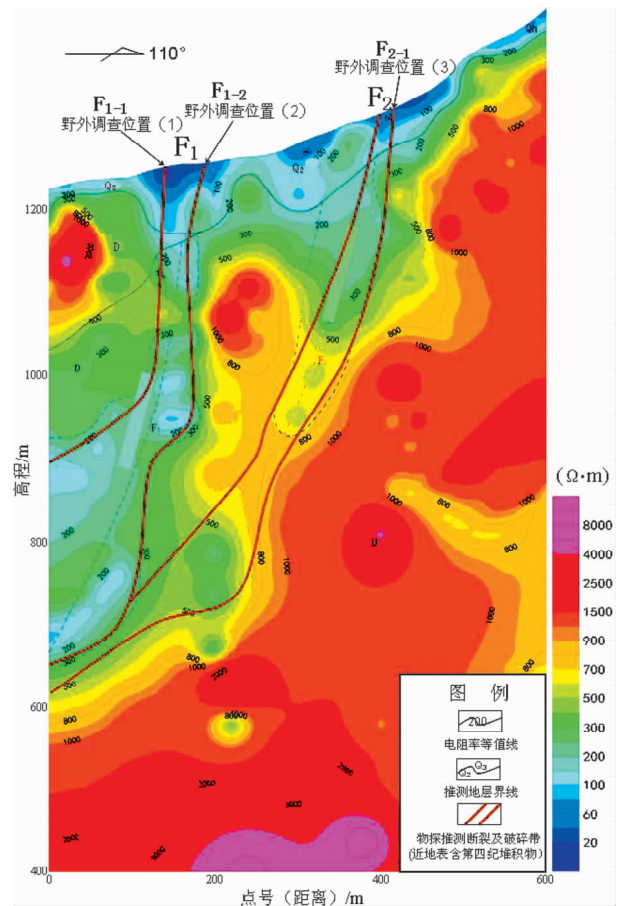
图5 涛源盆地东缘断层F₃和F₄剖面图Fig. 5 A section across F₃ and F₄ faults in the eastern margin of Taoyuan basin

坡体上覆有堰塞湖沉积 (张家明等, 2012), 表明与此断层活动相关的大规模滑塌是发生在 T₂ 阶地面形成之后, 即距今 1.5 万年之后, 即晚更新世末以来。地形地貌显示 F₃ 的存在, 不仅表现为金沙江河谷左旋走滑错扭 3.3 km, 也表现为滑坡堆积体的阶梯状台地和后缘张性沟槽或纵向裂隙, 且充填有全新世腐殖土。滑坡堆积体主要由灰岩、白云质灰岩破碎带的角砾和中更新世冰碛物组成, 中部顶层冰碛物的 ESR 测年为 (171 ± 33) ka B. P.。经野外调查, F₄ 和 F₃ 切错晚更新世末以来形成的滑坡堆积体 (图 4c 和图 5); F₄ 走向 30°, 倾角直立; F₃ 走向 25°, 倾向西, 倾角 80°, 为高角度正断层。由图可知, 这两条断层在晚更新世末以来有过强烈的活动, 诱发大规模滑塌。

为了探测在涛源盆地内是否有隐伏断层, 在四家村一带布设了 3 条 EH4 大地电磁测线, 图 6 是其中 EH4-3 号剖面电阻率反演拟断面。由图可知, 在滑坡堆积体和 T₃ 阶地之下隐伏有两条 NNE 向断层破碎带 F₁ 和 F₂, 横剖面呈铲式正断层。野外调查验证, 这两条断层在地表均有出露, 产状分别为 30°/NW ∠85° 和 30°/NW ∠80°, 皆为高角度正断层 (图 7)。

在野外调查位置 1 (图 8a-1), 人工开挖露头揭示 F₁₋₁ 断面切错晚更新世浅黄色含砾黏土层和中更新世含砾红粘土及浅灰色碎石层, 其中浅黄色含砾黏土层的 ESR 测年为 (45 ± 9.0) ka B. P.。此层位在省道 220 两侧有 25 m 的垂直断距。据此推算 F₁ 距今约 4.5 万年以来的垂直活动速率为 0.6 mm/a。

野外调查位置 2 (图 8b-1), 公路开挖的

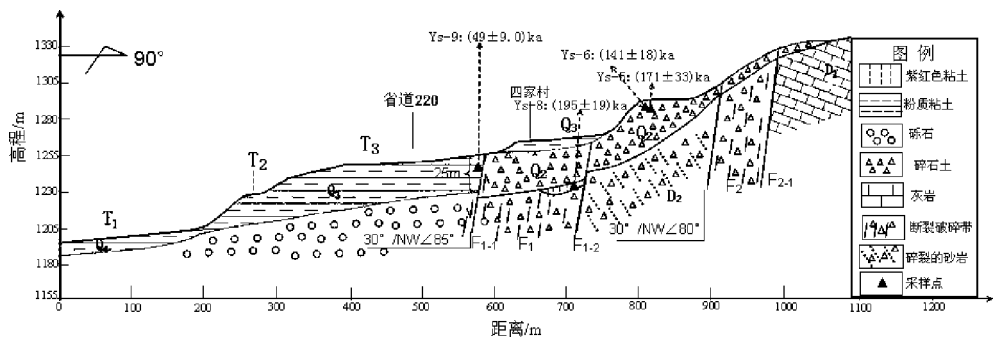


F₁₋₁, F₁₋₂, F₂₋₁: 断裂面; Qh: 全新统; Q₃: 上更新统; Q₂: 中更新统; D: 泥盆系

图6 EH4-3 号剖面电阻率反演拟断面

Fig. 6 Inversion pseudo section of resistivity of EH4-3 section

露头揭示 F₁₋₂ 断面切错晚更新世含灰岩滚石的坡积碎石层和中更新世半胶结的碎石层, 碎石层中紫红色粘土的 ESR 测年为 (195 ± 19) ka B. P., 断面下盘见碎裂状砂岩。



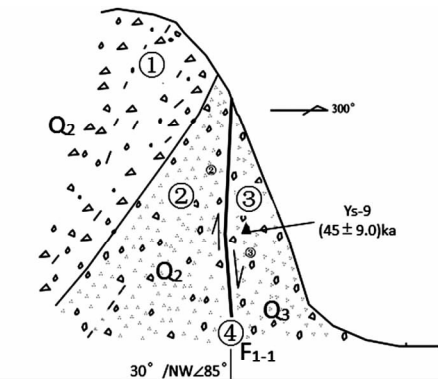
III - 剖面
T₁, T₂, T₃: 河流阶地; F₁₋₁, F₁₋₂, F₂₋₁: 断裂面; Q₄: 全新统;
Q₃: 晚更新统; Q₂: 中更新统; D₂: 中泥盆统

图 7 涛源盆地四家村一带 NNE 向断裂 F₁ 和 F₂ 剖面图

Fig. 7 A section across the F₁ and F₂ faults in NNE strike at the Sijia Village in Taoyuan basin



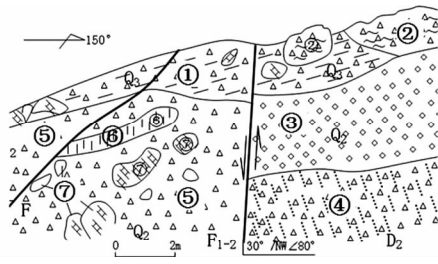
①浅灰色碎石层; ②含砾石红粘土层; ③浅黄色含砾粉质粘土层; ④断层; ▲采样点; Q₂: 中更新统; Q₃: 上更新统
(a-1) 野外调查位置 1



(a-2) F₁₋₁ 剖面



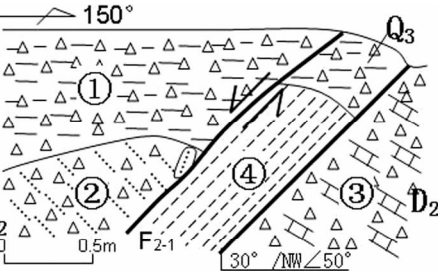
①含砾石堆积碎石; ②胶结的碎石滚石; ③粒径均匀的积岩碎石; ④灰绿色破裂的砂岩; ⑤含灰岩滚石的碎石土;
⑥紫红色粘土; ⑦灰岩滚石; Q₂: 中更新统; Q₃: 上更新统; D₂: 中泥盆统
(b-1) 野外调查位置 2



(b-2) F₁₋₂ 剖面



①坡积碎石土; ②碎裂的砂岩; ③破碎的灰岩; ④黑色断层泥; Q₃: 上更新统; D₂: 中泥盆统
(c-1) 野外调查位置 3



(c-2) F₂₋₁ 剖面

图 8 野外调查位置与断裂剖面

Fig. 8 The sites for field investigation and sections of faults

在野外调查位置 3 (图 8c-1), 公路开挖揭露出 F_2 的破碎带宽约 20 m, 由碎裂状砂岩组成, 破碎带西缘出露有宽约 0.5 m 厚的黑色断层泥, 西缘 F_{2-1} 断面切错顶部晚更新世坡积碎石层。断层 F_2 的破碎带有分带特征, 由 F_{2-1} 断面向西至破碎带中心依次为断层泥→碎裂状砂岩→灰岩角砾岩。

由上可知, 在涛源盆地东缘的金沙江河谷断裂是由 4 条侧列的晚更新世以来活动的断层 $F_1 \sim$

F_4 组成, 在横向上有铲式阶梯状正断层的组合特征, 破碎带的结构特征显示为脆性断层, 距今 4.5 万年以来的平均垂直活动速率为 0.6 mm/a。

3.2 盆地内部 NW—NWW 向断层

在涛源盆地晚更新世和中更新世地层中, 可见一组 NW—NWW 向正断层, 均分布在金沙江河谷断裂的上盘 (图 2), 且有晚更新世中晚期的活动表现。

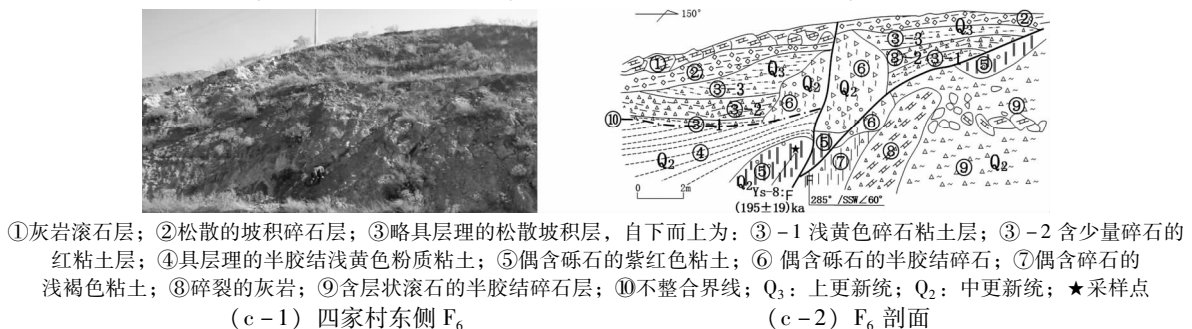
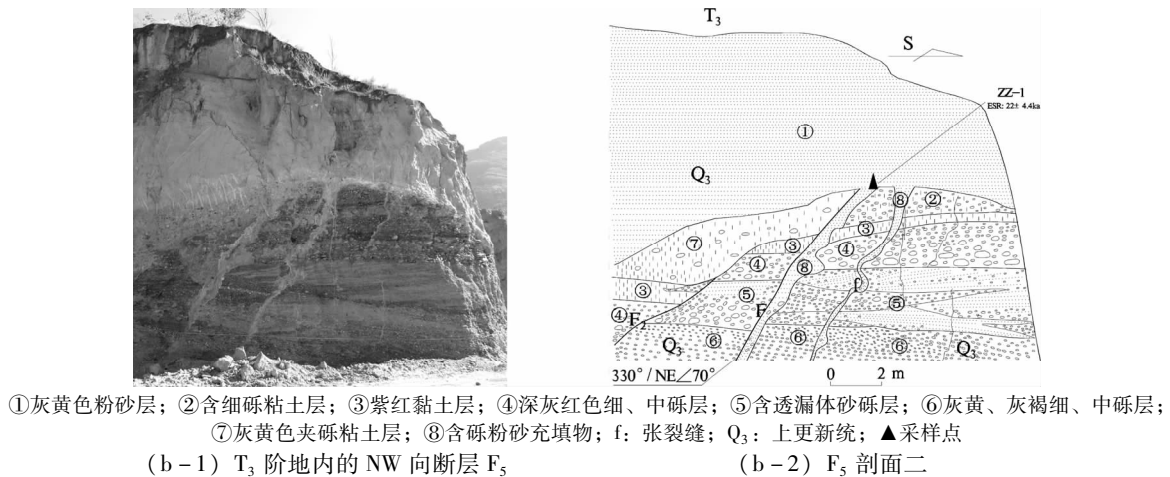
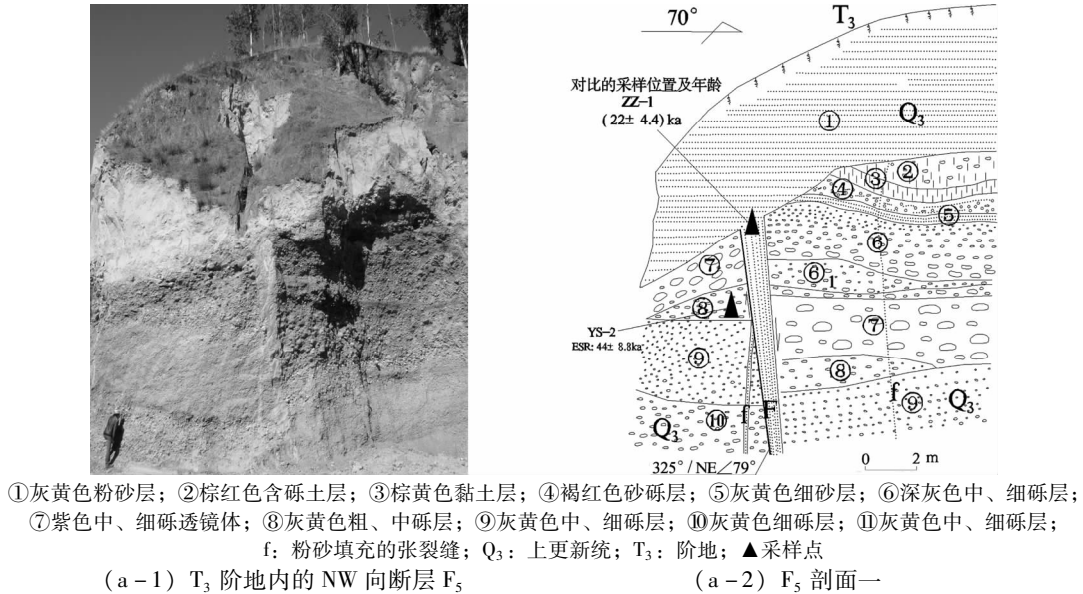


图 9 NW—NWW 向断裂剖面

Fig. 9 The sections of the NW—NWW strike faults

F_5 是一条与张性裂隙共生的 NW 向正断层 (图 9a, b), 产状 $325 \sim 330^\circ/\text{NE} \angle 60 \sim 79^\circ$ 。剖面上表现为张裂隙, 充填有粉砂, 裂隙宽度 $0.41 \sim 0.75 \text{ m}$ 。两盘砾石层有明显的位错, 倾滑位错 $2.1 \sim 2.5 \text{ m}$, 有阶梯状正断层的组合特征。此断层断错 ESR 测年为 $(44 \pm 8.8) \text{ ka B. P.}$ 的细砾层, 被 ESR 测年为 $(22 \pm 4.4) \text{ ka B. P.}$ 的粉砂层覆盖, 显示晚更新世中晚期倾滑活动。

F_6 是一条邻近 F_1 的 NWW 向正断层 (图 9c), 产状 $285^\circ/\text{SSW} \angle 60 \sim 75^\circ$, 有张裂显示, 张裂宽度 $0.05 \sim 0.1 \text{ m}$, 充填有碎石, 有楔状的组合特征, 破碎带由碎裂的灰岩和偶含碎石的黏土组成, 宽约 5 m 。此断层不仅断错露头下部 ESR 测年为 $(195 \pm 19) \text{ ka B. P.}$ 的紫红色粘土, 也断错上覆中更新世具有层理的半胶结浅黄色粉质粘土、晚更新世略具层理的松散坡积层、不具层理的坡积碎石层和滚石层, 显示晚更新世活动。图 9c 中的②松散坡积碎石层有 0.7 m 的倾滑位错, ⑥偶含砾石的半胶结碎石透镜体显示有走滑活动分量。

由上可知, 处在金沙江河谷断裂上盘的涛源

盆地内的 NW—NWW 向断层晚更新世中晚期活动, 活动性质为正—走滑, 横向的组合特征为阶梯状或楔状正断层, 晚更新世中晚期 (距今 $2.2 \sim 4.4$ 万年之间) 的一次性倾滑位错为 $2.1 \sim 2.5 \text{ m}$, 相当于一次 7 级左右地震的地表位错统计量 (邓起东等, 1992)。

3.3 晚更新世和中更新世地层的构造形变

除上述断层现象之外, 在涛源盆地晚更新世和中更新世地层中还见有断褶、褶曲和倾斜形变现象 (图 10)。在金沙江与达旦河交汇处百家湾的 T_3 阶地内, 晚更新世沉积的粉质黏土和粉砂层呈现断褶, 断层走向 NWW 向, 上盘有明显的牵引褶皱 (图 10a)。金沙江右岸四家村省道 220 东侧 T_3 阶地, 晚更新世沉积的粉砂和细砂层呈现褶曲 (图 10b)。四家村省道 220 西侧的 T_2 阶地, 晚更新世沉积的粉砂、砂、粉质黏土和砾石层呈现与地形的反向倾斜 (图 10c)。地层与地形的反向倾斜也见于金沙江两岸的中更新世红粘土、粉砂质粘土和冰碛层 (图 10d, e), 在反向倾斜的冰碛层中也见有断层 (图 10f)。

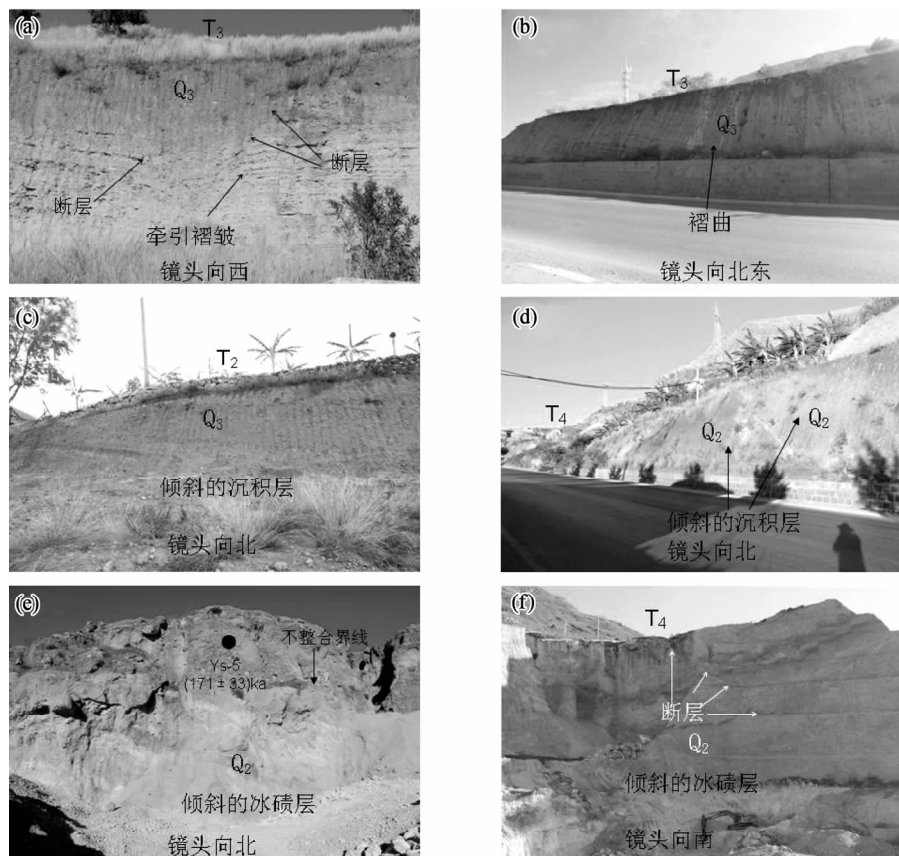


图 10 在涛源盆地内第四纪地层的构造形变

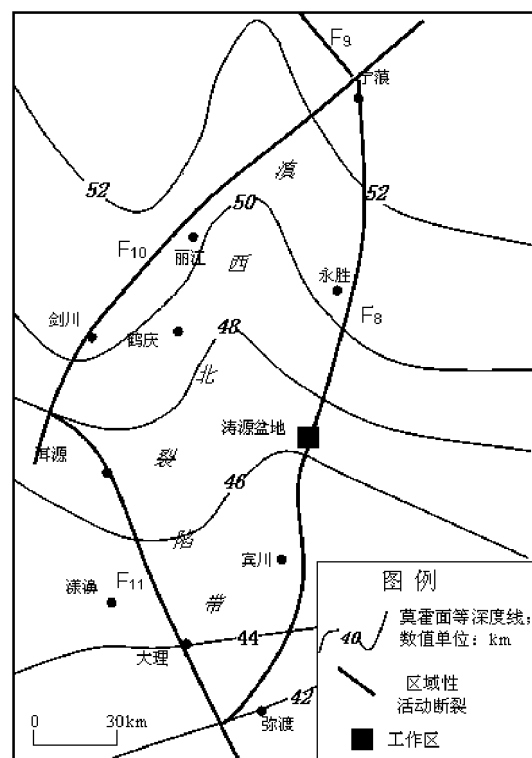
Fig. 10 The structural deformations within the Quaternary stratum in Taoyuan basin

上述地层的构造形变,既有快速(脆性)形变(图 10a, c, d, e, f),也有缓慢(塑性)形变(图 10b)。从形变程度来看,涛源盆地晚更新世和中更新世地层的构造形变是以快速形变为主。它从另一个侧面揭示金沙江河谷断裂是一条以粘滑活动为主的断层。

4 地震地质意义

控制或约束涛源盆地的金沙江河谷断裂是程海—宾川断裂的主要组成部分之一,而后者又是滇西北裂陷带的东边界。据陈学波等(2001)的研究,滇西北裂陷带的莫霍面深度显示为近 SN 向的幔隆(图 11)。在滇西北地区,1981—1985 年的地壳垂直形变显示永胜—宾川一带是一个显著的形变隆起区,最大垂直形变速率为 8 mm/a ; 1985—1992 年永胜—宾川一带的形变隆起区分解,期纳至永胜处在 NE—SW 向隆起带,涛源盆地仍显示为独立的小隆起,隆起速率为 1 mm/a (周光全, 2003)。在滇西北裂陷带的周边和内部出露有规模不等的数十个新生代浅成侵入岩体(图 1),它们相对集中在剑川西侧老君山、永胜东侧分水岭、巍山南侧热水塘、鹤庆至北衙间、涛源盆地东侧鲁地拉至多白、宾川西南侧大尖山,这些地区是新生代岩浆侵入活跃区,现今地热仍有较强的活动,如洱源地热异常区。在这些新生代浅成侵入岩体集中出露地带,也出露有中生代深成侵入岩体和晚古生代基性侵入岩体,乃至早古生代及其之前的侵入岩,如宾川盆地的宾居西侧。这表明本地区的岩浆侵入活动具有继承性,即多期次的原位侵入。在涛源盆地的北侧出露有晚古生代辉长岩,东侧出露有晚中生代石英闪长岩和新生代浅成玢岩,可以推测涛源盆地长期以来处在岩浆侵入活动区。在地壳隆升产生的垂向最大主压应力和水平向最小主张应力的作用下,形成两组具有共轭活动性的剪切正断层,加之区域水平拉分作用,呈现出今日在涛源盆地所见的 NNE—SN 向和 NW—NNW 向活动正断层的共轭构造现象(图 12)。这从另一角度反映滇西北裂陷带不仅仅是水平拉分作用的结果,也叠加有地壳隆升作用。

利用 P 波初动方向求解 2001 年 10 月 27 日永胜 6.0 级地震的主震震源机制解 B 节面产状为 $213^\circ/\text{NW} \angle 87^\circ$,主震震源断层的错动是以左旋走滑活动为主,兼有正断分量(周光全等, 2003)。



F₈: 程海—宾川断裂; F₉: 德钦—大具断裂;
F₁₀: 丽江—小金河断裂; F₁₁: 红河断裂

图 11 滇西北裂陷带莫霍面深度分布
Fig. 11 Moho depth distribution in the northwest Yunnan rift zone

由该地震序列中的 120 个余震精确定位和余震震源机制解系统聚类分析确定的余震震源断层如图 13 中的 AA' 所示,产状为 $304^\circ/\text{SW} \angle 80 \sim 85^\circ$,右旋走滑(王曰风等, 2008)。这一震源破裂现象,一方面佐证了涛源盆地的 NNE—SN 向断层与 NW—NNW 向断层具有共轭活动性;另一方面也可以推测,在 SSE—NNW 向区域主压构造应力场的作用下,涛源盆地内的 NW 或 NNW 向活动断层可视为独立的发震构造,并非一定是 NNE 向金沙江河谷断裂的左旋走滑拉分效应。在滇中块体内部发生的 $M \geq 6.0$ 地震的余震分布都有 NW—SE 向分布的特征,如 2000 年姚安 6.5 级地震。按 NW 向断层 F₅ 一次性倾滑位错 $2.1 \sim 2.5 \text{ m}$ 估计,在晚更新世中晚期(距今 2.2 ~ 4.4 万年之间),可以推测涛源盆地曾发生过一次相当于 7 级左右的强震。从古地震事件的尺度分析,程海—宾川断裂中段的潜在震源区震级上限宜取 7.5 级。

断层的活动可分为粘滑和蠕滑,在地震方面的表现是有震和无震活动,粘滑活动具有脆性快速剪

切破裂滑动的形貌特征。涛源盆地东缘第四纪地层的反向倾斜和纵向沟槽，实质上是金沙江河谷断裂快速倾滑位错形成的反牵引褶皱（图 14）。此外，按照构造岩成因分类，碎裂岩（含角砾岩和断层

泥）属于断层粘性运动的产物（Wise *et al*, 1984）。如前所述，在涛源盆地东缘的金沙江河谷断裂出露的破碎带是由角砾岩、碎裂岩和断层泥组成，显示此断裂具有与地震相关的粘滑特性。

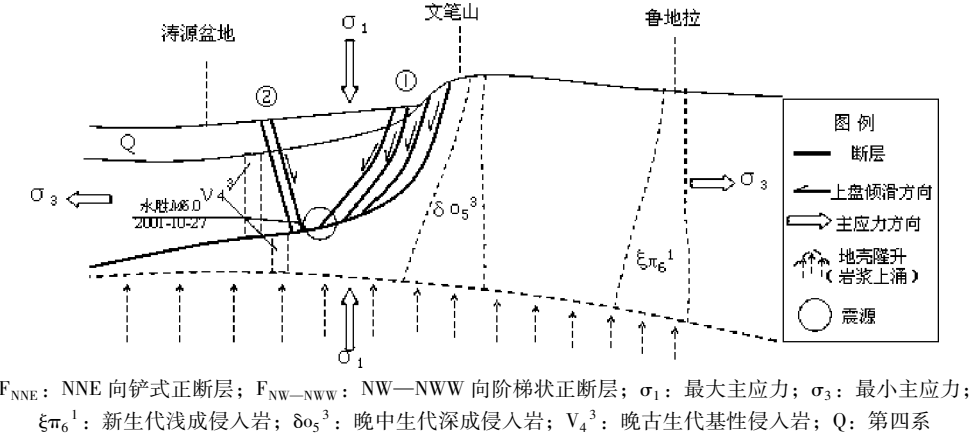
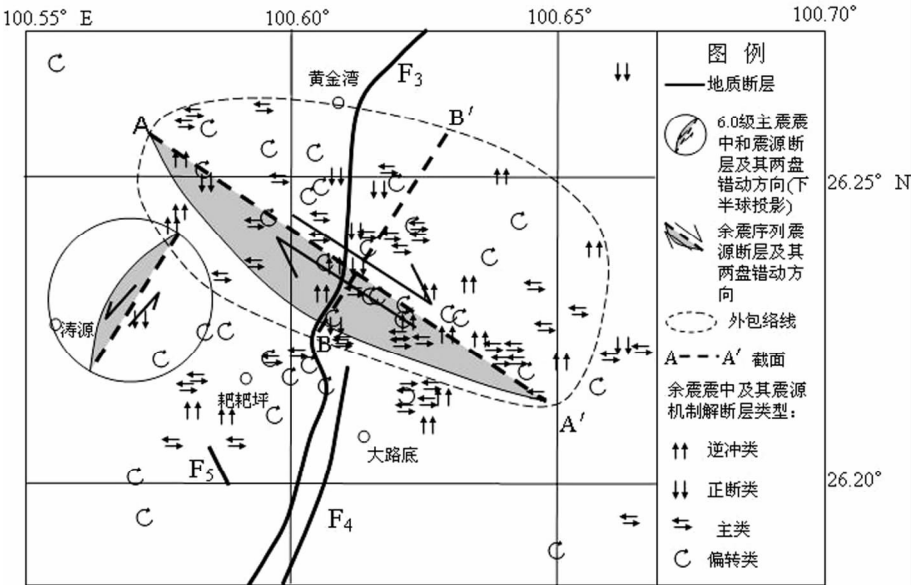


图 12 涛源盆地构造现象的成因机制
Fig. 12 Formation mechanism of structural phenomena in Taoyuan basin



注：图中所示的主类系指与美国哈佛大学的永胜 6.0 级主震 CMT 解一致的余震震源机制解，偏转类系指与主类偏转或者稍显倾斜的余震震源机制解（王曰风，2008）。

图 13 永胜 6.0 级地震序列震源机制分布图

Fig. 13 The focal mechanism distribution map of the Yongsheng M_s 6.0 earthquake

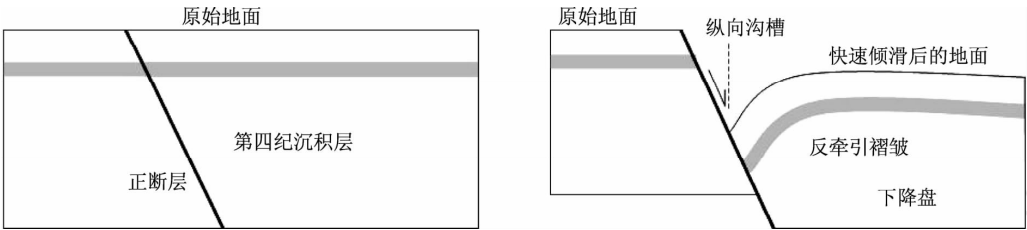


图 14 涛源盆地东缘第四纪地层的反牵引成因

Fig. 14 The reverse-drag mechanism of the Quaternary stratum in the eastern margin of Taoyuan basin

5 结论

通过对金沙江涛源盆地东缘断裂活动性的调查和探测,在该盆地内发现许多有地震地质意义的构造现象。这些构造现象及其地震地质意义可归纳如下:

(1) 中更新世末(距今大约 15 万年前后),涛源盆地经历了一次比较强烈的地壳运动,造成盆地内中更新统与上更新统的角度不整合接触。

(2) 涛源盆地东缘的金沙江河谷断裂是由 4 条 NNE—SN 向晚更新世中晚期以来活动的铲式正断层组成,且以快速(脆性)形变的粘滑活动为主,距今约 4.5 万年以来的平均垂直活动速率为 0.6 mm/a。此断裂的倾滑活动不仅与区域上的拉分作用关联,而且也与地壳隆升相关。

(3) 涛源盆地内的 NW—NWW 向晚更新世活动断裂是与地壳隆升相关的另一组共轭正断层,晚更新世中晚期(距今 2.2~4.4 万年之间)发生过一次相当于 7 级左右的地震位错事件。从金沙江河谷断裂和 NW—NWW 向晚更新世断裂活动的共轭性以及古地震位错事件的尺度分析,程海—宾川断裂中段的潜在震源区震级上限宜取 7.5 级。

参考文献:

- 陈学波,张景发,唐荣余,等. 2001. 中国及外围地区莫霍面深度分布图[M]. 北京:地震出版社.
- 邓起东,于贵华,叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[M]//《活动断裂研究》编委会. 活动断裂研究理论与应用. 北京:地震出版社,247-264.
- 邓起东,闻学泽. 2008. 活动构造研究——历史、进展与建议[J]. 地震地质,30(1):1-30.
- 杜泽,王品,官琦. 2012. 程海断裂带金沙江段滑坡群的发现[J]. 科学技术与工程,12(33):8815-8821.
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录(公元前 23 世

- 纪—公元 1911 年)[M]. 北京:地震出版社,490-494.
- 国家地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元 1912 年—1900 年 $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京:中国科学技术出版社,511-524.
- 虢顺民,向宏发,计凤桔,等. 1996. 红河断裂带第四纪右旋走滑与尾端拉张转换关系研究[J]. 地震地质,18(4):301-309.
- 计凤桔,郑荣章,李建平,等. 2000. 滇东、滇西地区主要河流低阶地地貌面的年代学研究[J]. 地震地质,22(3):265-276.
- 李鼎容,黄兴根,王安德,等. 1987. 滇西北第四系的划分[J]. 地质论评,33(2):105-114.
- 刘光勋,李方全,李桂荣. 1986. 我国滇西北地震活动区的活动构造与应力状态[J]. 地震地质,8(1):1-10.
- 罗睿洁,吴中海,黄小龙,等. 2015. 滇西北宾川地区主要活动断裂及其活动构造体系[J]. 地质通报,34(1):155-170.
- 王晋南. 1990. 程海断裂带[M]//国家地震局地质研究所,云南省地震局. 滇西北地区活动断裂. 北京:地震出版社,106-116.
- 王晋南,皇甫岗. 1992. 程海断裂尾端侧向迁移与地震的相关性[J]. 地震研究,15(2):180-185.
- 王曰风,刁桂苓,张秀萍,等. 2008. 2001 年云南永胜 6.0 级地震余震序列震源机制解与震源区应力场分析[J]. 地震研究,31(2):119-123.
- 吴大宁,邓起东. 1985. 滇西北裂陷区的基本特征及其形成机制[M]//国家地震局地质研究所. 现代地壳运动研究(1)——大陆裂谷与深部过程. 北京:地震出版社,118-132.
- 徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等. 2003. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. 中国科学:地球科学,33(增刊 1):151-162.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 张家明,徐则民,李乾坤,等. 2012. 永胜金沙江寨子村古滑坡的新发现及地质构造约束[J]. 吉林大学学报(地球科学版),42(增刊 3):206-213.
- 张裕明. 1999. 地震安全性评价中的地质问题[M]//胡聿贤. 地震安全性评价技术教程. 北京:地震出版社,43-170.
- 周光全,苏有锦,王绍晋. 2003. 2001 年 10 月 27 日永胜 6.0 级地震成因探讨[J]. 中国地震,19(2):166-174.
- 周光全,王晋南,王绍晋,等. 2002. 永胜 6.0 级地震的地质构造背景及震害构造[J]. 地震研究,25(4):356-361.
- Wise D U, Dunn D E, Engelder J T, et al. Fault-related rocks: Suggestions for terminology[J]. Geology, 1984, 12:391-394.
- DB/T53—2013. 1:50000 活动断层填图[S].

Research on Tectonic Phenomena of Taoyuan Basin in the Jinsha River

XU Xiaoya, LIN Fengxian, ZHAO Shufang

(*Kunming Nanfang Geophysical Technology Development Co. Ltd, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

Through investigating and detecting the activity of faults in the east margin of the Taoyuan basin, some structure phenomena with seismic geological significance have been discovered. The analyze results show that the Jinsha River Valley faults on the eastern margin of the Taoyuan basin are composed of a group of listric normal faults with stick slip mainly since late – Pleistocene, and its vertical movement rate was 0.6 mm/a since about 45 ka. The NW—NWW strike faults in the basin are a group of normal faults conjugate with the Jinsha River Valley fault, and an earthquake about $M7$ occurred between 22 ka and 44 ka. The upper limit of the magnitude of the potential earthquake source in the middle section of the Chenghai – Binchuan faults should be taken as 7.5.

Keywords: Taoyuan basin; Jinsha River Valley fault; conjugate normal faults; seismogenic structure; stick slip