

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0531-17

# 滇西北永胜地区主要活动断裂 与活动构造体系

黄小龙<sup>1,2</sup>, 吴中海<sup>1</sup>, 吴坤罡<sup>1</sup>, 周春景<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

**摘要:** 位于滇西北断陷带东北部、程海—宾川断裂带北端的永胜地区上新世以来断裂活动强烈, 构造地貌特征显著。永胜地区 1:50000 活动构造填图发现, 区内共存在各类断裂 14 条。其中金官断裂 ( $F_1$ )、永胜断裂 ( $F_2$ )、木耳坪羊坪断裂 ( $F_3$ ) 三者规模最大, 活动性亦远超其他断裂, 属于程海—宾川断裂带的一级分支断裂, 其他断裂为程海—宾川断裂的二级分支断裂。构造地貌特征、错断地质体及擦痕统计等均指示区内断裂现今主要以伸展正断活动为主, 根据活动性的差异可将其分为强、较强、中等、弱、极弱 5 类, 其中金官断裂的活动性最强, 垂向活动速率可达 0.20~0.26 mm/a。对永胜地区主要断裂几何学、运动学特征的研究及动力学机制的讨论可知, 永胜地区主要断裂在平面上构成向东突出的弧形旋扭构造体系, 在剖面上表现为张扭性断裂常见的负花状构造; 程海—宾川断裂带现今活动主要是在近南北向主压应力作用下产生的近东西向的伸展正断, 并因为叠加了旋扭作用而具有一定左旋走滑。永胜地区的弧形旋扭构造体系及滇西北断陷带等均是在川滇内弧带顺时针旋转及南汀河断裂、畹町断裂与理塘断裂的走滑拉分共同作用下形成的。

**关键词:** 滇西北; 永胜; 程海—宾川断裂带; 活动断裂; 弧形旋扭构造体系

**中图分类号:** P546

**文献标识码:** A

受印度板块与欧亚板块碰撞作用<sup>[1~2]</sup>的影响, 处于青藏高原东南缘、川滇菱形块体西南部的滇西北地区, 新构造期间活动显著, 发育了众多受近南北向断裂控制的地堑或半地堑盆地, 构成了“Z”字形的滇西北断陷带<sup>[3~5]</sup>。作为区域上极为显著的活动构造带和地震频发区, 研究其晚新生代以来的构造变形样式, 对于正确理解滇西北地区的构造变形机制及其与青藏高原东南缘地壳变形作用的关系具有十分重要的意义。前人围绕滇西北断陷带及其邻区的主要断裂开展过大量的研究工作, 但受制于区内自然条件及工作程度等因素, 对区内部分关键断裂活动性质的认识还存在分歧, 对滇西北断陷带的构造变形机制亦存在多种不同认识<sup>[3,6~12]</sup>。本文研究的永胜地区, 位于滇西北断陷带东北角、程海—宾川断裂带北端。区内构造活动强烈, 曾发生过滇西北地区有历史记载以来最大震级的地震事件——1515 年永胜

收稿日期: 2016-04-30

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (12120114002101, 121201104000150010)

作者简介: 黄小龙 (1989-), 男, 博士研究生, 从事新构造与地震地质研究。E-mail: tinyloong@163.com

地震,一般认为该地震的震级不小于7.5级<sup>[13-15]</sup>,因此对该区域开展详细的活动断裂调查十分必要。前人在探讨1515年永胜地震时对区内部分断裂进行过介绍<sup>[14-15]</sup>,在对程海—宾川断裂带的研究中亦对永胜地区的断裂进行过部分研究<sup>[5,10,12,16-19]</sup>。但目前对永胜地区断裂特别是活动断裂还缺乏详细的调查,对区内断裂的几何展布、活动性质等还都存在不同的认识。这阻碍了我们对断裂成因及力学机制的探讨,也一定程度上限制了对区域上构造变形机制的认识。本文拟通过对程海—宾川断裂带北段永胜地区主要活动断裂的几何学、运动学特征的调查,为进一步探讨程海—宾川断裂带、滇西北裂陷带的成因及其变形机制提供一定的约束条件。

## 1 研究区概况

### 1.1 研究区地质及构造背景

滇西北断陷带或称大理断裂系统<sup>[10,12,20]</sup>,位于中国云南省的西北部,北纬25°—27°,东经99.5°—101°之间,是由一系列近南北向断陷盆地构造成的菱形断陷区,其西北、西南分别以剑川断裂、通甸—巍山断裂为界,东侧以程海—宾川断裂带为界,北部无清晰边界(见图1)。断陷带南接红河断裂带,北邻德钦—中甸断裂带,区域上位于青藏高原东南缘,川滇菱形块体的西南部,扬子准地台、松潘—甘孜褶皱系、兰坪—思茅褶皱系的交汇地带<sup>[21]</sup>。区内地层发育齐全,从元古界至第四系均有分布,晚新生代以来的地层受断裂控制作用显著,主要分布在沿断裂发育的一系列断陷盆地中。

程海—宾川断裂作为区内最主要的断裂,发育历史悠久,断裂两侧岩相、沉积建造及古地理特征的差异指示断裂可能在震旦纪时期就已形成<sup>[17]</sup>。始新世中—晚期以来,受印度板块与欧亚板块持续碰撞作用的影响,程海—宾川断裂带开始重新活动,主要表现为自西向东低角度的逆冲<sup>[16]</sup>。在永胜盆地西侧,古生界逆冲至三叠系之上便是程海—宾川断裂该时期活动的结果。新近纪中晚期以来,受喜马拉雅运动晚期活动的影响<sup>[16]</sup>,滇西北地区的主压应力方向发生顺时针旋转,由近东西逐渐变为北北西向,至第四纪基本变为近南北向<sup>[22-24]</sup>。受区内主压应力方向变化的影响,程海—宾川断裂带的活动性质发生反转,由压扭性变为张扭性。区内变形则变为以近东西向的伸展正断活动为主,主要发育北东、北西和近南北3组方向的活动断裂,并以近南北向断裂最为发育<sup>[3,12,15]</sup>。作为本文的研究重点,永胜地区发育多组近平行的阶梯状正断层,断裂走向近南北,向北逐渐变为北西向,整体呈向东突出的弧形(见图2)。

### 1.2 研究区构造地貌特征

受程海—宾川断裂带晚新生代以来强烈伸展正断活动的控制,沿断裂带盆岭地貌发育,一系列线性展布的断陷盆地及断层槽谷构成的线性负地貌分割了高原上连绵的山地及晚新生代以来形成的夷平面,并沿主要断裂广泛发育形态清晰的断层崖、断层三角面、拉分盆地、错断水系以及断层槽谷等断层地貌。

永胜地区作为程海—宾川断裂带的最北端,断层在该处撒开,形成多支整体向东突出的弧形断裂,其中以金官断裂、永胜断裂、木耳坪—羊坪断裂的规模最大。受主要断裂活动的影响,永胜地区断陷盆地发育,由东向西发育有3级逐级下降的断陷盆地带,形成东高西低的阶梯状地貌(见图2)。其中一级断陷盆地带受木耳坪—羊坪断裂控制,主要由木耳坪盆地、羊坪盆地2个长条形的断陷盆地构成,盆地面海拔2600~2700 m;二级断陷盆地带发育于永胜断裂带的西侧,主要由新民盆地和永胜盆地共同组成,盆地面海拔1900~2100 m;

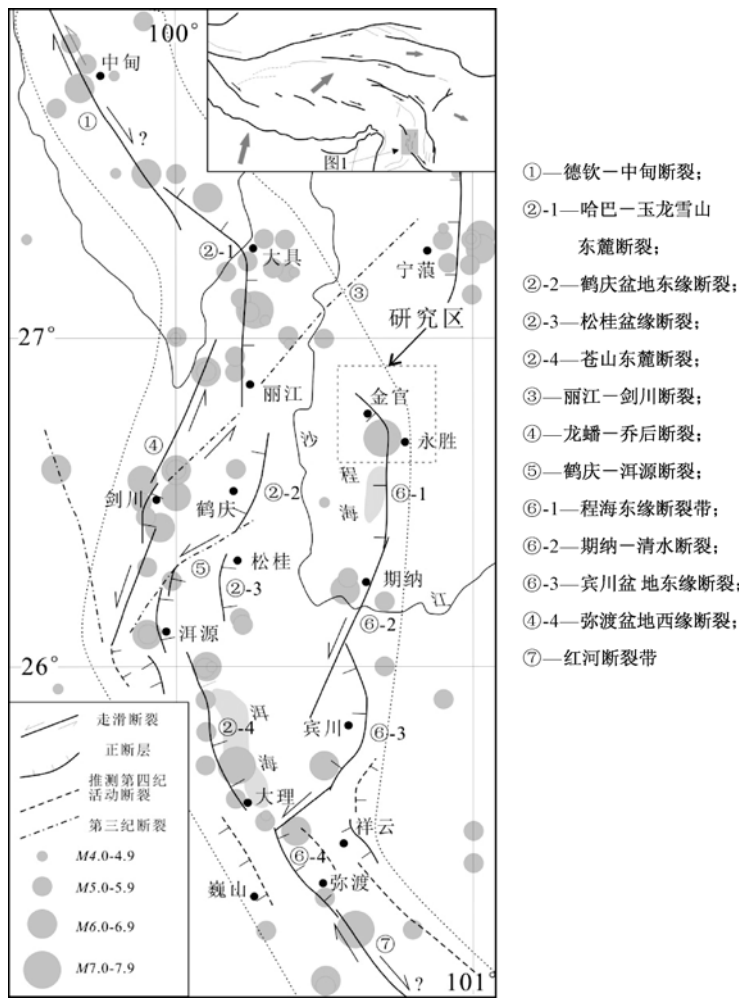


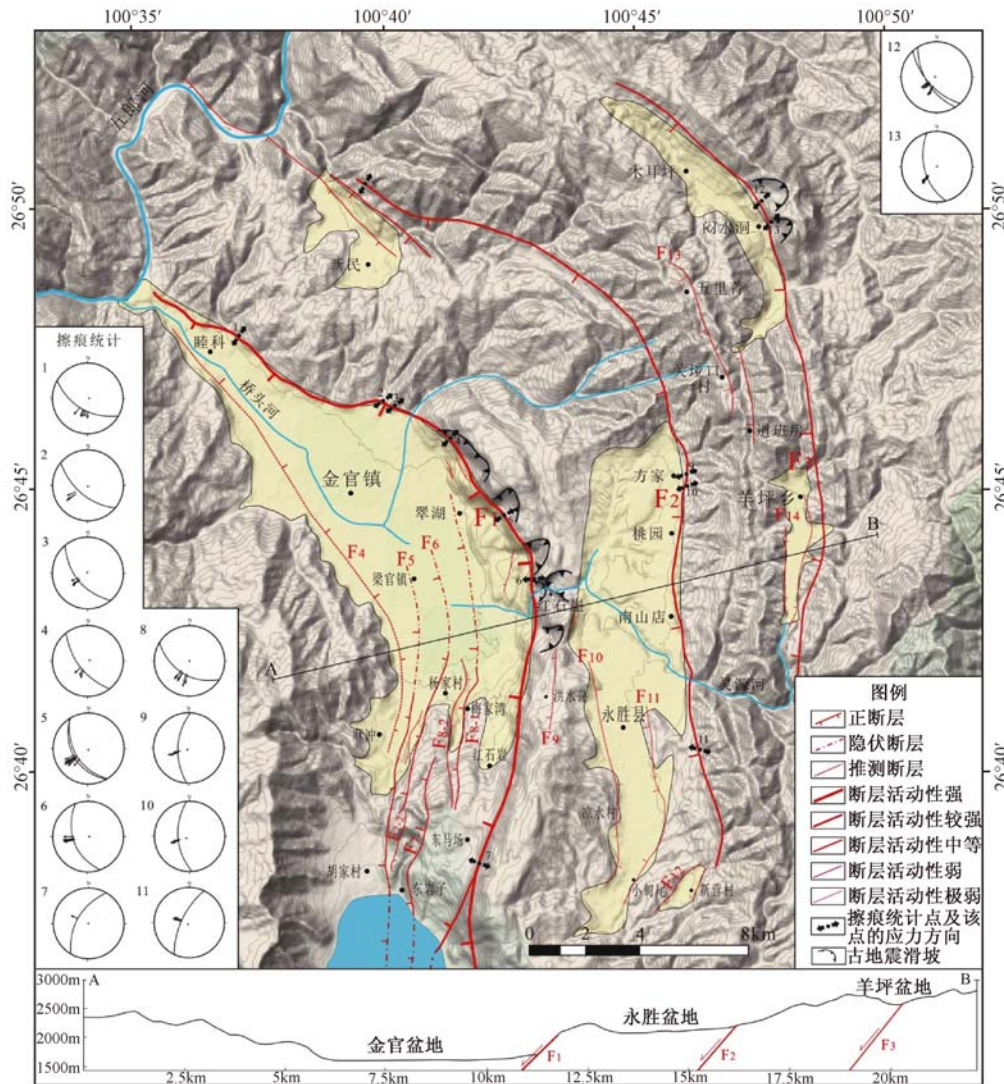
图1 滇西北区域活动构造简图<sup>[3]</sup>

Fig.1 Regional active structure schematic of northwest Yunnan

三级断陷盆地由弧形的金官盆地构成, 盆地海拔 1600 m。在约 15 km 宽的断裂带内 3 级断陷盆地间累计高差可达 1000 余米, 指示断裂永胜地区具有十分显著的垂向活动性质。

## 2 区内主要活动断裂

结合遥感解译及 1:50000 活动断裂调查所收集的资料, 在永胜—金官地区笔者共梳理出各类活动断裂 14 条。根据断裂产状、规模及活动性质等方面的差异可将其分为 2 类, 分别为程海—宾川断裂带一级分支断裂和程海—宾川断裂带二级分支断裂。前者共计 3 条, 分别为金官断裂 (F<sub>1</sub>)、永胜断裂 (F<sub>2</sub>)、木耳坪—羊坪断裂 (F<sub>3</sub>), 它们三者在规模上远大于其他断裂, 一般长达数十千米, 活动性质亦远超其他断裂, 分别控制了 3 级断陷盆地的发育 (见图 2), 属于程海—宾川断裂带的一级分支断裂。其他断裂多为二级分支断裂, 它们的规模较小, 延伸一般不超过十千米, 活动性也较弱, 属于程海—宾川断裂带一级分支断裂的次级断裂。这其中以金官断裂的次级断裂最多, 共计 6 条; 永胜断裂次之, 共 3 条; 木耳坪—



F<sub>1</sub>—金官断裂; F<sub>2</sub>—永胜断裂; F<sub>3</sub>—木耳坪羊坪断裂; F<sub>4</sub>—永胜盆地西缘断裂; F<sub>5</sub>—胡家村断裂;  
 F<sub>6</sub>—杨家村断裂; F<sub>7</sub>—东岩石断裂; F<sub>8</sub>—梅家湾断裂; F<sub>9</sub>—洪水荡断裂; F<sub>10</sub>—凉水村断裂;  
 F<sub>11</sub>—小甸尾断裂; F<sub>12</sub>—新营村断裂; F<sub>13</sub>—五里管断裂; F<sub>14</sub>—羊坪水库断裂

图2 永胜地区主要活动断裂分布及地形剖面图

Fig. 2 Major active faults and topographic profile of Yongsheng area

羊坪断裂最少, 仅有2条次级断裂。以下笔者将以程海—宾川断裂的一级分支断裂为主, 对区内主要活动断裂的几何形态及其活动性质等方面进行介绍。

### 2.1 金官断裂及其次级断裂

#### 2.1.1 金官断裂 (F<sub>1</sub>)

金官断裂北起睦科村北部, 向南延伸至程海湖的北端, 全长约25 km, 倾向西—南西。在金官镇北部断层走向北西, 地貌上为一系列线性特征显著的断层三角面, 三角面下部为晚更新世冲洪积扇体组成的冲、洪积裙带。卫星影像显示, 该处的断层三角面可分为3级, 其中最高一级三角面的海拔高2100 m, 较之盆地底部存在至少540 m左右的高差, 反映了该

断裂具有显著的垂向活动。沿该断裂的水系、山脊等分布正常无错动迹象,指示断裂该段无明显的走滑活动分量。野外调查发现,在睦科村东南部的采石场中出露产状 $210^{\circ}\angle 53^{\circ}$ 的断面,断面上擦痕产状统计指示断层的活动以正断为主,与构造地貌反应的断层活动性一致。

在金官镇与红石崖之间,断层走向由北西向逐渐变为近南北向,沿断裂地貌上表现为高大、陡峭的断层崖,断层崖平均高度700~800 m(见图3a)。于断层崖上发育有至少6个宽度在1 km左右的巨型古地震崩滑塌体(见图2),1515年永胜地震便是该断层活动引发<sup>[15]</sup>。野外调查发现,在翠湖村东侧断崖下部出露大量由钙质胶结的灰岩角砾岩构成的滑塌堆积物。在近东西向的采石剖面中出露产状 $220^{\circ}\angle 60^{\circ}$ 的断面,断面垂直错断滑塌堆物,于其中发育多条近直立的张裂隙,并与上部的断层崖相衔接(见图3b)。在该点南部于断层崖上发育一处宽约1 km的巨型古地震滑坡,在滑坡的前缘滑床被垂向错断,形成高约200 m的断崖(见图3c)。断层崖中部出露的断面产状 $238^{\circ}\angle 47^{\circ}$ ,断面擦痕统计指示断层以正断为主(见图2)。因古地震滑坡发育,在金官至官丫口之间的山麓低台地上堆积了大量的滑塌堆积物,其中部分滑塌堆积物上部呈红土化,指示其可能于中更新世就已经形成。若以上述滑塌体200 m左右的错断量计算,则中更新世以来金官断裂的垂向活动速率可达0.25 mm/a。

由官丫口往南,该断裂走向转为北北东,地貌上为线性特征显著平直的断层崖(见图3d),虽然其上也发育古地震滑塌体,但规模相对较小。在东马场村东侧,上述断崖的下部出露一处由碎裂灰岩构成的光滑断面,产状 $300^{\circ}\angle 53^{\circ}$ ,擦痕 $295^{\circ}\angle 52^{\circ}$ ,指示断层以正断活动为主。

#### 2.1.2 金官盆地西缘断裂( $F_4$ )

该断裂属于推测断裂,主要沿盆地西侧边界分布。虽然在野外调查过程中未发现明显的断层出露,但沿金官盆地的西侧边界特别是其西南段具有明显的线性特征,并且保存有受部分侵蚀破坏的断层三角面(见图2),故笔者推测该处可能存在一条沿盆地西缘分布、倾向东—北东的正断层。但断裂晚第四纪以来的活动性可能极弱或根本不活动,以至于受断裂控制的金官盆地的西侧边界遭受严重侵蚀破坏,断裂本身也被晚第四纪沉积物覆盖。

#### 2.1.3 胡家村( $F_5$ )

该断裂总体走向近南北,倾向西,与其他3支程海-宾川断裂带的二级分支断裂共同控制了金官盆地与程海盆地之间阶梯状地貌的发育。断裂出露长度约7 km,南起东岩子村西侧,北至杨家村西侧,向两端延伸的部分分别隐伏于程海湖及金官盆地内晚第四纪沉积地层之下。沿该断裂,断层错断古生代灰岩地层形成断崖,在麻冲村东侧受断裂控制的断崖高约60 m,走向 $190^{\circ}$ ,断崖上灰岩破碎,发育碎裂后经钙质胶结的角砾状岩。往北延伸,断裂错断了上新世河湖相地层,与杨家村断裂( $F_6$ )共同控制了上新世地层形成的地垒(见图4)。

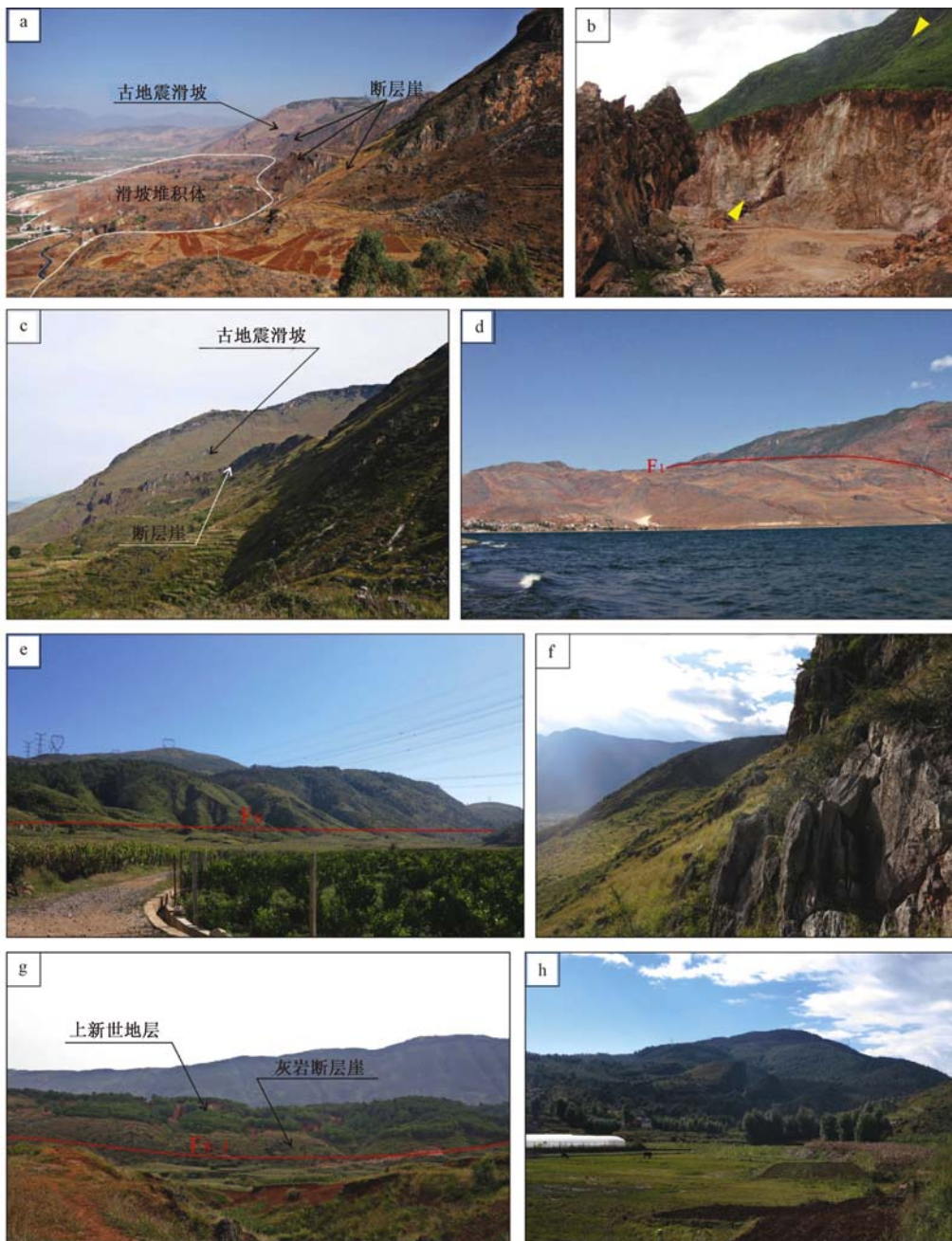
#### 2.1.4 杨家村断裂( $F_6$ )

该断裂可分为2支,其中主要断裂( $F_{6,1}$ )走向与金官断裂基本平行,倾向西,出露长度约5 km,南端与 $F_5$ 汇聚形成一支,在杨家村北部断裂隐伏于金官盆地内晚第四纪河湖相地层之下。沿该断裂,地貌上线性特征显著,存在高约150 m的断层三角面(见图3e)。断裂中部发育一处断层楔,其上主断面产状 $275^{\circ}\angle 67^{\circ}$ ,擦痕产状 $298^{\circ}\angle 70^{\circ}$ , $280^{\circ}\angle 66^{\circ}$ ,指示断层活动以伸展正断为主。此外在该断裂中部还存在一支与断裂反倾的次级断裂( $F_{6,2}$ ),其与主断裂( $F_{6,1}$ )一起控制了两断裂间地堑槽谷的发育(见图2),与 $F_5$ 共同控制了上新世地层构成的地垒凸起(见图4)。

#### 2.1.5 东岩子断裂( $F_7$ )

该断裂可分为东西2支,2支断裂走向基本一致,呈近南北向,其中东支断裂( $F_{7,1}$ )





a—金官断裂上的断崖及古地震滑坡（镜像北）；b—灰岩地层中发育的断层面及断层崖（镜像北东，黄色箭头标注的为断面位置）；c—被金官断裂错断的古地震滑坡体（镜像北东）；d—沿金官断裂南段发育的断层崖（镜像北东）；e—杨家村断裂控制的断层三角面（镜像南东）；f—东岩子断裂上发育的断层破碎带（镜像南西）；g—被梅家湾断层错断的上新世地层（镜像东）；h—洪水荡微型断陷盆地及三刀山地貌（镜像南东）

图3 金官断裂及其次级断裂的地表证据

Fig. 3 The field evidences of Jinguan fault and its secondary faults

倾向西，出露长度约 5 km，起于东岩子村东侧，向北延伸至红石岩村西侧，在东岩子村东侧，断裂隐伏于程海湖中。西支断裂（ $F_{7.2}$ ）长约 2.5 km，倾向东。沿该断裂断层槽谷发

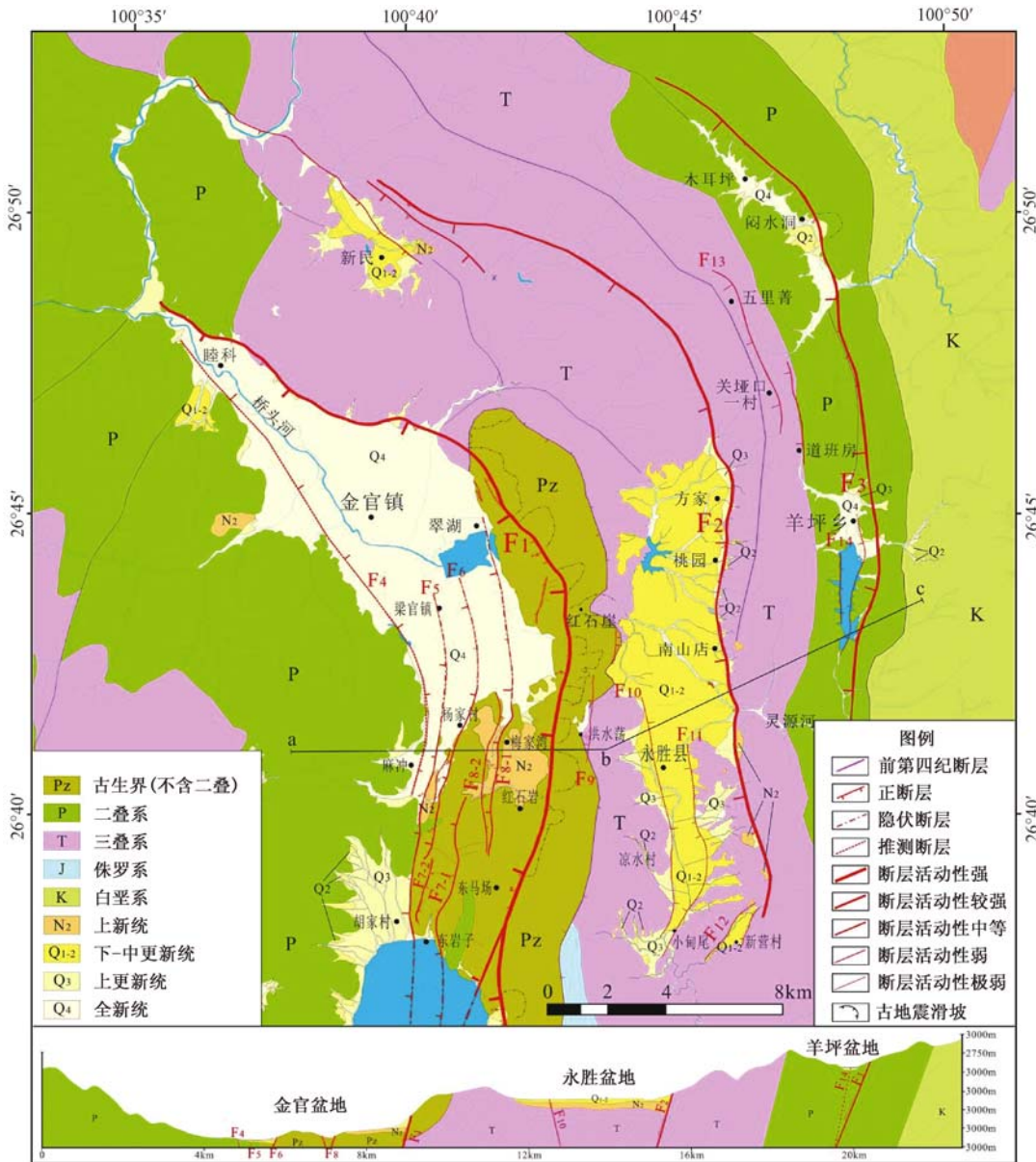


图4 永胜地区地质及地质剖面图

Fig. 4 Geological and geological profile map of Yongsheng area with major active faults

育, 在主断裂 (F<sub>7.1</sub>) 一侧于古生代灰岩地层中发育最高可达 200 m 的断层崖, 为断裂正断活动的显著证据。在断裂的中部于一处山垭口处产状 285°∠38°的灰岩地层被断层错断, 形成由多组近直立破裂面构成的断层破碎带 (见图 3f)。

### 2.1.6 梅家湾断裂 (F<sub>8</sub>)

该断裂由相对倾斜的两支断裂组成。东支断裂 (F<sub>8.1</sub>) 为主断裂, 倾向西, 断裂出露长度 4.5 km 左右, 南起东马场村北部, 向北延伸至杨家村东侧, 继而向北延伸并隐伏于金官盆地内晚第四纪沉积物之下。西支断裂 (F<sub>8.2</sub>) 倾向东, 出露长度约 4 km, 与东支断裂共同控制了宽 0.4 ~ 0.5 km 的地堑式断层槽谷的发育 (见图 2)。东支断裂 F<sub>8.1</sub> 错断了不整合覆盖

于古生代灰岩地层之上的上新世地层,垂向错断量达 220 m,此外该断裂还在灰岩地层中形成了高约 160 m 的灰岩断层三角面(见图 3g);西支断裂上出露产状  $86^{\circ} \angle 63^{\circ}$  的灰岩断面,并同样错断了上新世地层。

### 2.1.7 洪水荡断裂 ( $F_9$ )

该断裂走向近南北,倾向西,长约 2 km,控制了近南北向、长 1200 m、宽约 200 m 的洪水荡微型断陷盆地的发育(见图 4)。在该断裂北端,3 条平行的近南北向断裂将山体一分为四,断裂通过处山体被垂直错动形成豁口,宽 20 ~ 40 m(见图 3h),构成三刀山的特殊地貌。前人根据三刀山内文化层中  $^{14}\text{C}$  样品的分析,认为三刀山至少形成于 7740 a 前<sup>[9]</sup>。据此笔者认为,洪水荡微型断陷盆地的形成则至少也在 7740 a 之前,其与三刀山一样都是多次古地震事件活动效应累计的结果。

## 2.2 永胜断裂及其次级断裂

### 2.2.1 永胜断裂 ( $F_2$ )

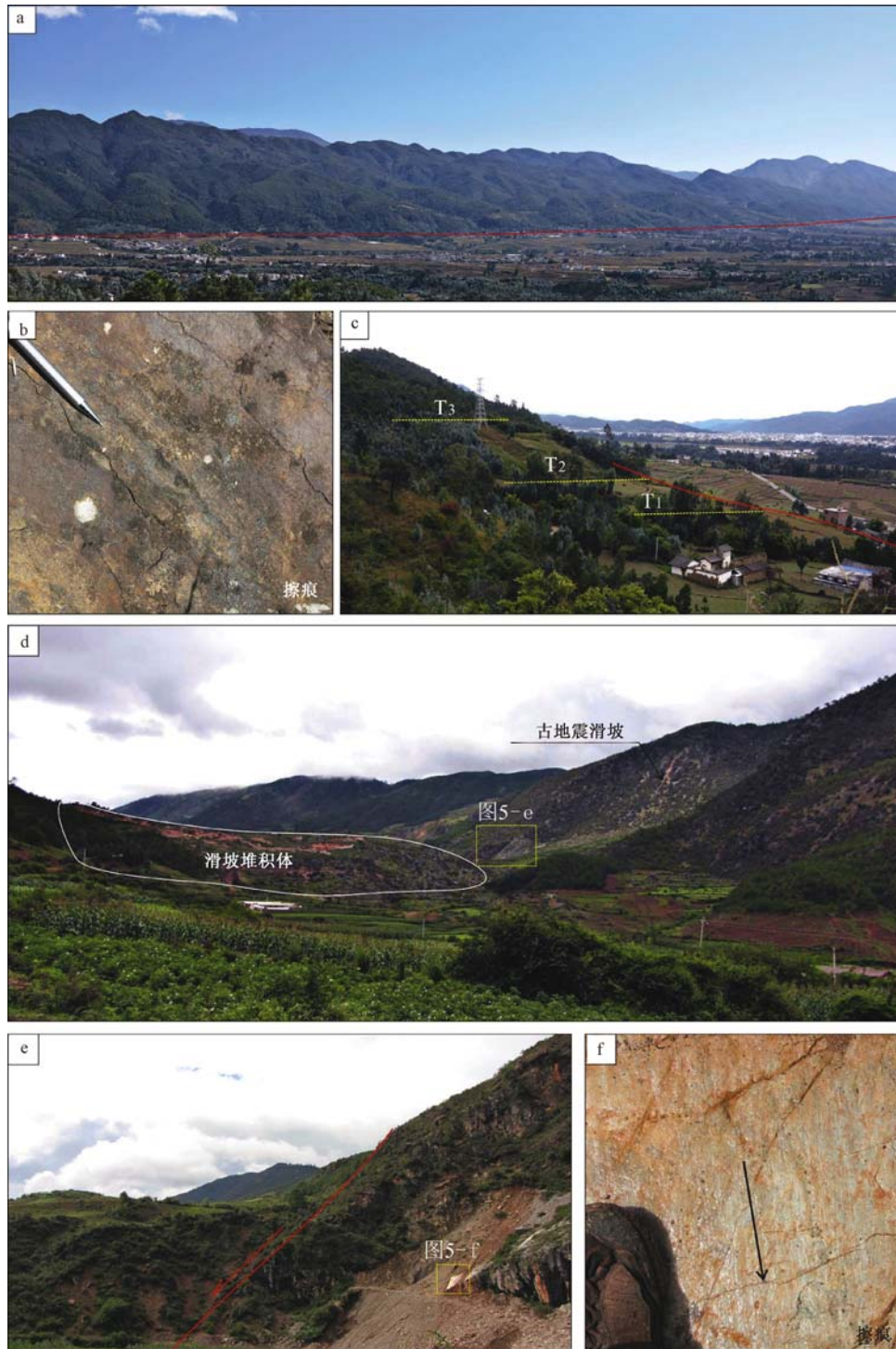
断裂北起新民盆地北部金沙江一级支流五郎河的拐弯处,向南延伸至永胜县城南部,全长约 35 km,形态与金官断裂一致,呈向东突出的弧形,倾向西—南西。断裂控制了 2 个第四纪盆地的发育,分别为断裂北部的新民盆地和断裂中南部的永胜盆地。其中新民盆地规模较小,且盆山边界模糊,指示断裂该段活动性相对较弱。在新民盆地东侧断裂分为 3 支,分别控制了三级断层三角面的发育,最高一级断层三角面位于半山腰位置处,高出盆地底部约 500 m。野外调查中发现在该级断层三角面下发育产状  $212^{\circ} \angle 47^{\circ}$  的断面,断面上擦痕统计数据指示断层活动性为伸展正断(见图 2)。

在南部断裂控制了走向南北、长约 15 km 的永胜盆地的发育。相对于新民盆地,永胜盆地的规模大许多,盆地边界也更为清晰,指示断裂该段的活动性相对较强。盆地东部沿盆山边界发育线性特征显著的断层三角面(见图 5a)。在永胜盆地南部靠近断裂端部的位置处盆山边界逐渐模糊,并且与新民盆地东侧一样出现多级断层三角面,指示断层在该处具弥散状分布特征。沿断裂的水系正常无明显错动,指示断层在该段的活动性以伸展正断为主。野外调查发现,在方家村东侧断层三角面下部发育一处断层跌水,冲沟被垂直错断了 17.5 m。在跌水东部上升盘一侧,发育一级拔河高度约 15 m 相当于区内  $T_2$  阶地的冲积阶地,在该处同样被垂向错断,这些都是断层新近活动的证据,指示断层在晚更新世以来存在明显的垂向活动。在断层跌水的北侧出露产状  $266^{\circ} \angle 54^{\circ}$  的断面,断面上擦痕产状指示断层以正断活动为主(见图 5b)。此外在桃源村一带,断层的上升盘一侧普遍存在一级侵蚀台地,台地顶部覆盖有上新世的湖相地层,该级台地山前位置处被错断,形成较低的断层三角面,为断层第四纪以来垂直活动的结果。在南山店村东侧于断层的下盘发育三级阶地,分别为海拔 2220 m 的  $T_3$  侵蚀阶地、海拔 2170 m 的  $T_2$  阶地以及海拔 2150 m、拔河 8 ~ 10 m 的  $T_1$  阶地,它们在山前被垂向错断,其中  $T_1$  阶地错断 5 ~ 8 m,  $T_2$  阶地错断 20 m 左右,  $T_3$  阶地错断可达 70 m(见图 5c),反映该断裂晚第四纪以来持续的正断活动。

### 2.2.2 凉水村断裂 ( $F_{10}$ ) 和小甸尾断裂 ( $F_{11}$ )

二者与金官盆地西侧断裂一样均属于推测断裂,沿两断裂的野外调查中未发现明显的断层出露,但沿盆地边界的线性地貌特征指示该处可能存在断裂,只是其晚第四纪以来活动性极弱或根本不活动,导致断裂被晚第四纪沉积地层覆盖。其中凉水村断裂位于永胜县城的西侧,断裂走向北北西,倾向东。小甸尾断裂整体呈向东突出的弧形,倾向西—北西,二者共同控制了永胜盆地南侧的盆山边界(见图 2)。





a—永胜盆地东侧线性的断层三角面 (镜像南东东); b—方家村东侧断层出露面上的擦痕;  
 c—南山店东侧被错断的阶地 (镜像南); d—木耳坪盆地东侧线性的断层地貌及古地震滑坡体 (镜像北);  
 e—木耳坪—羊坪断裂上出露的断面 (镜像北); f—断面上的擦痕

图5 永胜断裂、木耳坪-羊坪断裂及其次级断裂的地表证据

Fig. 5 The field evidences of Yongsheng fault, Muerping-Yangping fault and their secondary faults

### 2.2.3 新营村断裂 ( $F_{12}$ )

该断裂由南北两支组成,共同控制了新营地坳盆地的发展。断裂总体走向北东,其中北支( $F_{12-1}$ )倾向南东,南支( $F_{12-2}$ )倾向北西。北支断裂长约2.5 km,沿断裂发育线性特征显著的向南东侧倾斜的断层三角面(见图2)。在该断裂的东端,断层下盘可见上新世河湖相地层不整合覆盖在产状 $277^{\circ}\angle 59^{\circ}$ 的三叠纪砂岩地层之上;而在断层的上盘,上述地层被错断并被埋藏于盆地内第四纪沉积地层之下。仅就地形而言,在该处至少存在60 m左右的垂直位错量。断裂的南支整体上呈一向南突出的弧形,沿断裂亦存在清晰的断层三角面,并与北支断裂共同构成了新营盆地的边界,其活动亦是以伸展正断活动为主。该断裂可能属于永胜断裂尾端与之呈锐角的次级断裂。

## 2.3 木耳坪—羊坪断裂及其次级断裂

### 2.3.1 木耳坪—羊坪断裂 ( $F_3$ )

该断裂北起木耳坪盆地北部,向南延伸至羊坪水库南端,断裂全长约30 km,倾向西—南西。断裂北段走向北西,向南逐渐变为近南北向,整体呈向北东突出的弧形。断裂伸展正断活动显著,控制了木耳坪、羊坪2个狭长的第四纪盆地的发育。其中木耳坪盆地规模相对较大,盆山边界也更为清晰,显示该断裂北段第四纪特别是晚第四纪以来活动性质更为显著。在木耳坪盆地东部,线性特征显著的断层三角面构成了盆地的东部边界(见图5d),正常分布的水系及山脊指示断裂在该段的活动以伸展正断为主,无明显走滑活动分量。此外,在闷水洞村附近由二叠纪灰岩、玄武岩构成的断层三角面上发育2处宽度1 km左右、与金官盆地东侧规模相当的古地震滑坡,指示其与金官断裂一样第四纪以来发生过强烈的地震活动。

野外调查发现,在盆地中部闷水洞村东侧的断层三角面下部,出露产状 $255^{\circ}\angle 51^{\circ}$ 的灰岩断面(见图5e, 5f),断面光滑,其上擦痕数据的统计指示断层的活动性以伸展正断为主,与构造地貌反映的活动性一致。由该点往南于二叠纪灰岩断层三角面上发育一个宽约1 km的古地震滑坡体,滑坡堆积物构成的堰塞体将盆地拦腰截断(见图5d)。该滑坡目前形态完整,滑坡后壁及侧壁的陡坎清晰完整,指示滑坡体的形成时间较短,滑坡后壁陡坎上钙膜的铀系年龄指示滑坡体形成时间应该为距今 $188327 \pm 2928$  a。在该滑坡体的前缘滑床被错断形成一处与断层走向一致的断层陡坎,跨断层的测线测量显示其错断量在9.3 m左右。此外,被错断的滑床的下降盘上覆盖有厚约15 m的冲洪积物,则该滑床累计被错断了至少24.3 m,据此计算该断裂垂向的活动速率可达0.13 mm/a。在该点北部存在一处更老的古地震滑坡,滑坡体发育于二叠纪玄武岩地层中,受后期水流侵蚀破坏严重,但基于滑坡体的总体轮廓及前缘的破碎玄武岩堆积物,仍可判断出其为一期古地震崩滑塌体。在该滑坡的前缘发育有产状 $243^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 的断面,断面光滑,其上发育擦痕、滑槽、阶步等一系列断面构造,指示断层以伸展正断活动为主。在断面处,上述古地震滑坡被断层垂直错断,以滑床前端与下部堆积体的高差计算错断距离至少在200 m。同样作为错断量200 m左右的滑坡体其现今形态破坏比金官盆地东侧滑坡体要严重许多,在气候及岩性条件均十分接近的情况下,说明该滑坡体形成的时间更早,也即意味着木耳坪—羊坪断裂的活动性弱于金官断裂。

### 2.3.2 五里箐断裂 ( $F_{13}$ )

该断裂属于木耳坪—羊坪断裂的次级断裂,断裂整体走向北西,呈略向东突出的弧形,由2支左阶斜列的次级断裂构成(见图2、图4),断裂总长约8 km。其中东支断裂起于羊坪盆地北西,止于关垭口一村东侧,长约4 km;沿断裂发育长条形谷地,谷地东侧为线性特征清晰、向西侧倾斜的断层三角面;此外断裂东侧地形明显高于西侧,高差约200 m,显

示断裂西侧存在明显的下降,指示该断裂向西倾斜,具有正断层活动性质。西支断裂南起关垭口一村南侧,向北延伸至五里箐村北侧,断裂全长约7 km;与东支断裂一样,它控制了狭长的断层槽谷的发育,沿断裂发育向西侧倾斜的断层三角面;跨断层三角面存在至少100 m的高差,指示该断层也存在显著的伸展正断活动。

### 2.3.3 羊坪水库断裂 ( $F_{14}$ )

该断裂属于木耳坪—羊坪断裂的分支断裂,断裂可分为东西2支。其中东支断裂( $F_{14.1}$ )属于推测断裂,发育在水库东侧,沿断裂地貌上为线性的断层三角面,倾向东,控制了羊坪盆地的东侧边界;西支断裂( $F_{14.2}$ )主要发育于羊坪水库西侧,倾向东,长约3 km,沿断裂有线性断层三角面发育,活动性以伸展正断为主。

## 2.4 主要断裂活动性强弱及其分级

由上述可知,永胜地区的主要断裂在几何形态、活动性质等方面存在许多共性。如:在金官镇以南断裂主要是近南北走向,向北逐渐变为北西向,呈向东凸出的弧形;断裂活动主要以近东西向的伸展正断为主。但就各个断裂的地貌特征来看却又存在着显著的差异,这种差异一来与断裂的规模有关,再有就是与断裂的活动性强弱有关。

要确定断裂的活动性强弱,首先需要确定断裂伸展正断活动开始的时间。前人研究一般认为永胜地区主要断裂伸展正断活动开始于第四纪早期<sup>[16~18]</sup>,但笔者调查认为在上新世早期区内的伸展正断活动就已经开始了。主要证据如下:①在永胜地区1:50000活动断裂填图过程中发现,该区与程海—宾川断裂带的其他区域一样广泛存在一套受区内断裂控制的上新世河湖相地层(见图4);②丽江幅1:200000水文地质图指示永胜盆地内早—中更新世地层下为一套上新世湖相地层。故笔者认为永胜地区的主要断裂在上新世时期就已经开始伸展正断活动,并控制了上新世地层的形成,断层活动速率的计算应该从上新世早期开始。以下笔者将以上新世作为断裂开始活动的时间,对永胜地区主要断裂的活动性强弱进行介绍,并根据活动性强弱对断裂进行分级。

金官断裂( $F_1$ ):受金官断裂控制的金官盆地属于典型的半地堑盆地,现今盆地内部地势平坦,平均海拔约1580 m。在不考虑风化剥蚀作用的情况下,金官断裂的垂向位移量等于盆地地面与东部夷平面的高差加上盆地内晚新生代沉积物的厚度。金官盆地内部地形平坦,相对于盆地东侧的夷平面存在着800~1000 m的垂直位错量,加上盆地内部200~300 m厚的晚新生代沉积地层<sup>[16]</sup>,断裂的累积垂向位错量可达1000~1300 m,则断层上新世以来的平均活动速率可达0.20~0.26 mm/a。从该段的规模及活动性来看金官断裂活动性分级为强。

永胜断裂( $F_2$ ):永胜盆地属于半地堑盆地,盆地中部地势平坦,平均海拔2150 m左右,与东侧2800 m左右的夷平面间的盆高差达650 m左右,加之盆地内厚150~200 m的晚新生代沉积地层<sup>[16]</sup>,永胜断裂的累积垂向位错量可达800~850 m。据此计算断层上新世以来的活动速率可达0.16~0.17 mm/a。从该段裂的规模及活动性来看永胜断裂活动性分级为较强。

木耳坪—羊坪断裂( $F_3$ ):从盆地整体形态来看,受木耳坪—羊坪断裂控制的木耳坪盆地虽然狭窄,但底部地形还算平坦,盆地底部沉积有少量的第四纪冲、洪积地层以及滑坡堆积物等粗碎屑的沉积物。盆地底部平均海拔高度2680 m左右,相对于西部高约3200 m的夷平面存在约500 m的高差,加上盆地少量的新生代沉积地层的厚度,木耳坪—羊坪断裂的累计垂向位移量可达500~600 m。据此计算断层上新世以来的活动速率可达0.10~0.12 mm/a。断裂活动性分级为中等。

其他断裂:具体活动速率及活动性分级见表1。

表1 永胜地区主要活动断裂及其活动性

Table 1 Main active faults in Yongsheng area and their activity

断层名称	断裂编号	产状		长度/ km	性质	垂向位移量/ m	活动速率/ (mm·a <sup>-1</sup> )	活动性 分级
		倾向	倾角/(°)					
金官断裂	F <sub>1</sub>	W—SW	60	25	正断	1000~1300	0.20~0.26	强
永胜断裂	F <sub>2</sub>	W—SW	54	35	正断	800~850	0.16~0.17	较强
木耳坪—羊坪断裂	F <sub>3</sub>	W—SW	41	30	正断	500~600	0.10~0.12	中等
金官盆地西缘断裂	F <sub>4</sub>	E—NE	—	—	正断	—	—	极弱
胡家村断裂	F <sub>5</sub>	W	—	7	正断	60	0.012	弱
杨家村断裂	F <sub>6-1</sub>	W	67	5	正断	150	0.03	弱
	F <sub>6-2</sub>	E	—	1.3	正断	—	—	极弱
东岩子断裂	F <sub>7-1</sub>	W	—	5	正断	200	0.04	弱
	F <sub>7-2</sub>	E	—	2.5	正断	—	—	极弱
梅家湾断裂	F <sub>8-1</sub>	W	—	4.5	正断	220	0.044	弱
	F <sub>8-2</sub>	E	65	4	正断	—	—	极弱
洪水荡断裂	F <sub>9</sub>	W	—	2	正断	—	—	极弱
凉水村断裂	F <sub>10</sub>	E	—	—	正断	—	—	极弱
小甸尾断裂	F <sub>11</sub>	W	—	—	正断	—	—	极弱
新营村断裂	F <sub>12-1</sub>	SE	—	2.5	正断	>60	>0.012	弱
	F <sub>12-2</sub>	NW	—	2	正断	—	—	极弱
五里箐断裂	F <sub>13</sub>	W	—	8	正断	200	0.04	弱
羊坪水库断裂	F <sub>14-1</sub>	W	—	—	正断	—	—	极弱
	F <sub>14-2</sub>	E	—	3	正断	—	—	弱

### 3 讨论

#### 3.1 永胜地区活动构造体系

通过上述介绍可知,程海—宾川断裂带在永胜地区主要分为3支近乎平行的一级分支断裂,分别为金官断裂、永胜断裂、木耳坪—羊坪断裂。它们又分别控制了一系列与之走向基本一致、倾向相同或相反的二级分支断裂,共同构成了永胜地区宽约15 km,南段走向近南北,北段走向北西,整体呈向东突出的弧形活动断裂束(见图6)。活动断裂束内各断裂的活动主要以伸展正断活动为主,3支一级分支断裂中以金官断裂的活动性最强,垂向活动速率可达0.20~0.26 mm/a,永胜断裂次之,木耳坪—羊坪断裂最弱,这种活动性的变化可能与断裂尾端的侧向迁移活动有关<sup>[19]</sup>。擦痕统计指示弧形断裂束的北段主要受北东向伸展应力控制,而断裂束的南端伸展应力方向则为近东西向,这种伸展应力方向的差异是简单的伸展变形难以实现的。考虑到滇西北断陷带“Z”字形旋扭构造格局<sup>[3-5]</sup>,笔者认为永胜地区的弧形断裂束与哈巴—玉龙雪山东麓断裂一样,同属于滇西北断陷带端部典型的弧形旋扭活动构造体系<sup>[3]</sup>,属于程海—宾川断裂带反“S”形旋扭构造体系的一部分。

此外,作为程海—宾川断裂带的分支断裂,弧形断裂束内的断裂在向下延伸过程中必然会逐渐汇聚成一支。笔者根据区内主要断裂的产状和断裂的级次关系推测了断裂向深部延伸的状态(见图6),可见永胜地区弧形弯曲的断裂束在深部逐渐汇聚成一支,并构成了张扭性活动断裂带中常发育的负花状构造。综上可知,永胜地区的主要活动断裂在平面上构成了弧形的旋扭构造体系,而在剖面上则构成了张扭性断裂中常见的负花状构造。

#### 3.2 程海—宾川断裂带现今主要活动方式

程海—宾川断裂带作为一条张扭性活动断裂,前人研究中更多地强调断裂的左旋走滑活



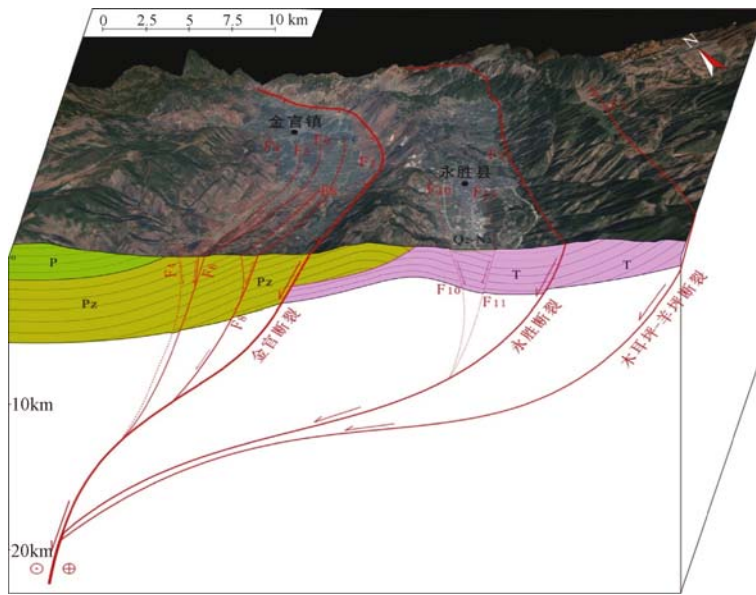


图6 永胜地区活动断裂弧形旋扭构造体系图

Fig. 6 The active fault arc rotating structure system in Yongsheng area

动, 认为断裂带内的伸展正断作用多是走滑断裂拉分或尾端拉张作用的结果<sup>[10,12,19]</sup>。但笔者通过对程海—宾川断裂带北端永胜地区主要活动断裂的调查认为, 近东西向的伸展正断活动才是程海—宾川断裂带最主要的活动方式。主要依据如下: ①永胜地区主要断裂无论走向北西、近南北、北北东, 其活动性质均以伸展正断为主并无明显的走滑活动; ②整体呈北西走向的金官盆地其成因如果与走滑断裂的尾端拉张作用有关, 那么在金官断裂的南端应该具有明显的左旋走滑性质, 但构造地貌特征及断裂上擦痕统计均指示断裂在该段的活动以近东西向的伸展为主(见图2); ③如果永胜地区主要伸展正断是受北东向断裂左旋走滑尾端拉张作用的控制, 那么其只能形成近南北向的正断活动, 难以解释永胜地区多条整体呈向东突出的弧形断裂的成因, 亦无法解释伸展应力方向的变化。故笔者认为程海—宾川断裂带现今的活动主要是在近南北向主压应力作用下<sup>[22~24]</sup>, 产生的近东西向的伸展正断, 并因为叠加了旋扭作用而发育了一系列左旋走滑断裂。

### 3.3 永胜地区弧形旋扭构造体系及滇西北断陷带的动力学机制

探讨永胜地区弧形旋扭构造体系的成因必须与程海—宾川断裂带及滇西北断陷的成因相联系。对于滇西北裂陷带的成因前人提出了多种模式, 主要包括: 红河断裂带的尾端拉张变形效应<sup>[7,9]</sup>; 右阶斜列的北西向或左阶斜列的北东向大型走滑断裂带斜列阶区的走滑拉分变形结果<sup>[6]</sup>; 川西北和滇中活动断块顺时针旋转过程中的端部拉张变形产物<sup>[11,25]</sup>; 近南北向右旋剪切背景下, 区域内的微断块顺时针旋转作用与伴生的北东向左旋走滑断裂带的尾端拉张变形相互叠加的结果<sup>[10,12]</sup>; 由理塘断裂、滇西北裂陷带、南汀河断裂、畹町断裂等构成的理塘—大理—瑞丽构造带的顺时针旋扭作用<sup>[3,26]</sup>。

上述模式均在一定程度上解决了滇西北裂陷带形成机制中的部分问题, 特别是红河断裂带的尾端拉张模式<sup>[7,9]</sup>和微断块旋转与尾端拉张叠加的模式<sup>[10,12]</sup>。这其中前者很好地解释了滇西北地区普遍存在的近东西向的伸展变形问题。但其无法合理解释以下问题: ①永胜地区弧形断裂体系及滇西北裂陷带反“S”型形态的形成机制, 这种形态属于典型的旋扭活动结

果，单纯的尾端拉张无法解释其成因；②与形态问题类似，在永胜地区根据擦痕统计得出张应力方向并非稳定不变（断裂南段的张应力方向为北东向，断裂北段的张应力方向为近东西向，见图2），按照尾端拉张模式，区内应该处于一种稳定的近东西向的拉张环境，这种应力方向的变化是单纯的尾端拉张模式无法解释的。而微断块旋转与尾端拉张叠加的模式<sup>[10,12]</sup>则为解决上述问题提供了一些思路，右旋剪切背景下块体的顺时针旋转为一种典型的旋扭作用，自然可以解释弧形旋扭构造体系的样式及应力方向的变化。但是该模式认为在右旋剪切背景下滇西北裂陷带内北东向左旋次级断裂的尾端拉张控制了裂陷带内诸多断陷盆地的发育，这与永胜地区及程海—宾川断裂带上现今伸展正断活动为主的活动性质不相符合，也就是说该模式解释了旋转变形，但无法解释东西向的伸展。

前人对青藏高原东南缘主要活动断裂进行梳理后提出了川滇双弧形旋扭构造体系的概念。其定义为：由弧形的玉树—鲜水河—小江—莫边府断裂系与近南北向右旋走滑的实皆断裂所夹持的以川滇地区为主体的弧形断块区及其中旋转、剪切和伸展变形为主的活动构造区带所共同构成的活动构造系统（见图7）。这其中以理塘—大理—瑞丽构造弧形构造带为边



I—川滇外弧带，I-1—玉树-鲜水河-小江-莫边府弧形构造边界带；I-2—雅江-楚雄-景洪断块区；  
II—川滇内弧带；II-1—理塘-大理-瑞丽弧形构造边界带；II-2—德钦-保山断块区

图7 弧形旋扭构造体系成因模式图

Fig. 7 Genetic model of arc rotating structure system

界可将川滇双弧形构造体系进一步划分为由玉树—鲜水河—小江—奠边府弧形构造带及其内部块体共同构成的川滇外弧带, 以及由理塘—大理—瑞丽构造弧形构造带及其西侧块体共同构成的川滇内弧带<sup>[26]</sup>。笔者认为, 处于左旋走滑的理塘—大理—瑞丽构造带中部的永胜地区, 同时受川滇内弧带顺时针旋转作用及南汀河断裂、畹町断裂与理塘断裂的走滑拉分作用, 在这两种力的叠加作用下, 同时发生近东西向的伸展及顺时针旋转变形, 进而形成现今以近东西向伸展变形为主的弧形旋扭构造体系。

## 4 主要结论

滇西北永胜地区发育以金官断裂、永胜断裂、木耳坪—羊坪断裂为主的各类断裂共 14 条, 断裂活动以伸展正断活动为主。其中金官断裂活动性最强, 垂向活动速率可达 0.20 ~ 0.26 mm/a。根据区内主要断裂的规模及其活动性的差异可将其分为强、较强、中等、弱、极弱 5 个等级。

区内主要断裂在平面上构成了整体向东突出的弧形旋扭构造体系, 剖面上表现为张扭构造体系中常见的负花状构造。

程海—宾川断裂带现今的活动主要是在近南北向主压应力作用下产生的近东西向伸展正断, 并因为叠加了旋扭作用而发育一系列左旋走滑断裂, 伸展正断是断裂的主体活动。

永胜地区的弧形旋扭构造体系及滇西北断陷带的形成, 可能是在川滇内弧带顺时针旋转作用及南汀河断裂、畹町断裂与理塘断裂的走滑拉分共同作用的结果。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Dewey J F, Sun Y. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 1988, 327 (1594): 379 ~ 413.
- [ 2 ] Rowley D B. Age of initiation of collision between India and Asia: A review of stratigraphic data [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 1996, 145 (1/4): 1 ~ 13.
- [ 3 ] 吴中海, 张永双, 胡道功, 等. 滇西北哈巴—玉龙雪山东麓断裂的晚第四纪正断层作用及其动力学机制探讨 [J]. *中国科学*, 2008, (11): 1361 ~ 1375.  
WU Zhong-hai, ZHANG Yong-shuang, HU Dao-gong, et al. The normal faulting and its dynamic of eastern Haba-Yulong Mountains Piedmont Fault in northwest Yunnan in the Late Quaternary [J]. *Science China*, 2008, (11): 1361 ~ 1375.
- [ 4 ] 黄小巾, 吴中海, 李家存, 等. 滇西北裂陷带的构造地貌特征与第四纪构造活动性 [J]. *地质通报*, 2014, 33 (4): 578 ~ 593.  
HUANG Xiao-jin, WU Zhong-hai, LI Jia-cun, et al. Tectonic geomorphology and Quaternary tectonic activity in the northwest Yunnan rift zone [J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33 (4): 578 ~ 593.
- [ 5 ] 罗睿洁, 吴中海, 黄小龙, 等. 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*, 2015, 34 (1): 155 ~ 170.  
LUO Rui-jie, WU Zhong-hai, HUANG Xiao-long, et al. The main active faults and the active tectonic system of Binchuan area, northwestern Yunnan [J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34 (1): 155 ~ 170.
- [ 6 ] 吴大宁, 邓起东. 滇西北裂陷区的基本特征及其形成机制 [C] // 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, 1985: 118 ~ 132.  
WU Da-ning, DENG Qi-dong. The basic characteristics and its formation mechanism in the northwest Yunnan rift zone [C] // Institute of Geology, China Earthquake Administration. Contemporary crustal movement research (1): Continental rift and deep process. Beijing: Seismological Press, 1985: 118 ~ 132.
- [ 7 ] Allen C R, Gillespie A R, Yuan H, et al. Red river and associated faults, Yunnan Province, China: Quaternary geology,

- slip rates, and seismic hazard [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1984, 95 (6): 686 ~ 700.
- [ 8 ] 刘光勋, 李方全, 李桂荣. 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*, 1986, 8 (1): 1 ~ 10.  
LIU Guang-xun, LI Fang-quan, LI Gui-rong. Active tectonics and state of stress in seismic region of north-west Yunnan Province, China [J]. *Seismology and Geology*, 1986, 8 (1): 1 ~ 14.
- [ 9 ] 虢顺民, 向宏发, 计凤桔, 等. 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*, 1996, 18 (4): 301 ~ 309.  
GUO Shun-min, XIANG Hong-fa, JI Feng-ju, et al. A study on the relation between Quaternary right-lateral slip and tip extension along the Honghe Fault [J]. *Seismology and Geology*, 1996, (4): 301 ~ 309.
- [ 10 ] Wang E, Burchfiel B C, Royden L H, et al. Late Cenozoic Xianshuihe-Xiaojiang, Red River, and Dali fault systems of southwestern Sichuan and central Yunnan, China [J]. *Geological Society of America*, 1998, 327: 1 ~ 108.
- [ 11 ] 徐锡伟, 闻学泽, 郑荣章, 等. 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: D 辑*, 2003, 33 (z1): 151 ~ 162.  
XU Xi-wei WEN Xue-ze, ZHENG Rong-zhang, et al. Activity block tectonic changes in new style and dynamic origin in Sichuan and Yunnan [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 33 (z1): 151 ~ 162.
- [ 12 ] Fan Chun, Wang Gang, Wang Shifeng, et al. Structural interpretation of extensional deformation along the Dali fault system, southeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *International Geology Review*, 2006, 48 (4): 287 ~ 310.
- [ 13 ] 张受生. 解析 1515 年永胜 8 级地震及其相关地区地震的年代问题 [J]. *地震研究*, 1985, (3): 387 ~ 394.  
ZHANG Shou-sheng. An analysis on the 1515 Yongsheng earthquake (M=8) and events in its related areas [J]. *Journal of Seismological Research*, 1985, (3): 387 ~ 394.
- [ 14 ] 韩源. 永胜地震之我见——并就某些问题与邓瑞生、韩慕康等同志商榷 [J]. *地震研究*, 1983, 6 (2): 123 ~ 132.  
HAN Yuan. My point of view on the Yongsheng earthquake; Discussing some questions with DENG Ruisheng, HAN Mukang and others [J]. *Journal of Seismological Research*, 1983, 6 (2): 123 ~ 132.
- [ 15 ] 虢顺民, 向宏发. 1515 年云南永胜地震形变带和震级讨论 [J]. *地震研究*, 1988, 17 (2): 153 ~ 162.  
GUO Shun-min, XIANG Hong-fa. Discussion on the deformation band and the 1515 Yongsheng earthquake in Yunnan Province [J]. *Journal of Seismological Research*, 1988, 17 (2): 153 ~ 162.
- [ 16 ] 李光容, 金德山. 程海断裂带晚近期活动性研究 [J]. *云南地质*, 1990, 9 (1): 1 ~ 24.  
LI Guang-rong, JIN De-shan. Neoid activity on the Chenghai fracture [J]. *Yunnan Geology*, 1990, 9 (1): 1 ~ 24.
- [ 17 ] 国家地震局地质研究所, 云南省地震局, 云南省地震局. 滇西北地区活动断裂 [M]. 北京: 地震出版社, 1990.  
Geological Research Institute of the State Seismological Bureau, Seismological Bureau of Yunnan Province. Active fault in the northwest of Yunnan Province [M]. Beijing: Seismological Press, 1990.
- [ 18 ] 俞维贤, 王彬, 毛燕, 等. 程海断裂带断层泥中石英碎砾表面 SEM 特征及断层活动状态的分析 [J]. *中国地震*, 2004, 20 (4): 347 ~ 352.  
YU Wei-xian, WANG Bin, MAO Yan, et al. The SEM characteristics of the surface of quartz grains in the gouge of Chenghai fault and evaluation of its activity [J]. *Earthquake Research in China*, 2004, 20 (4): 347 ~ 352.
- [ 19 ] 王晋南, 皇甫岗. 程海断裂尾端侧向迁移与地震的相关性 [J]. *地震研究*, 1992, 15 (2): 180 ~ 185.  
WANG Jin-nan, HUANGPU Gang. Correlation between the lateral migration and seismicity at the ends of Chenghai fault zone [J]. *Journal of Seismological Research*, 1992, 15 (2): 180 ~ 185.
- [ 20 ] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. On the mechanics of the collision between India and Asia [J]. *Geological Society London Special Publications*, 1986, 19 (1): 113 ~ 157.
- [ 21 ] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. Regional geology of Yunnan Province, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [ 22 ] 邓起东, 张裕明, 许桂林, 等. 中国构造应力场特征及其与板块运动的关系 [J]. *地震地质*, 1979, 1 (1): 11 ~ 22.  
DENG Qi-dong, ZHANG Yu-ming, XU Gui-lin, et al. On the tectonic stress field in China and its relation to plate movement [J]. *Seismology and Geology*, 1979, 1 (1): 11 ~ 22.
- [ 23 ] 冉勇康, 李祥根. 滇西北新构造运动时期构造应力场变化特征的探讨 [J]. *西北地震学报*, 1987, 9 (3): 84 ~ 91.  
RAN Yong-kang, LI Xiang-gen. The evolution fo the tectonic stress field in Northwest Yunnan During Neotectonic period [J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1987, 9 (3): 84 ~ 91.



- [24] 崔效锋, 谢富仁. 利用震源机制解对中国西南及邻区进行应力分区的初步研究 [J]. 地震学报, 1999, 21 (5): 513 ~ 522.  
CUI Xiao-feng, XIE Fu-ren. A preliminary study of the stress partitioning in the southwest China and its adjacent regions by focal mechanism solutions [J]. Acta Seismologica Sinica, 1999, 21 (5): 513 ~ 522.
- [25] 韩竹军, 向宏发, 虢顺民. 滇西北丽江盆地北部区第四纪时期的左旋剪切拉张 [J]. 科学通报, 2005, 50 (4): 356 ~ 362.  
HAN Zhu-jun, XIANG Hong-fa, GUO Shun-min. Left lateral shear tension in the northern Lijiang basin, northwest of Yunnan Province [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (4): 356 ~ 362.
- [26] 吴中海, 龙长兴, 范桃园, 等. 青藏高原东南缘弧形旋扭活动构造体系及其动力学特征与机制 [J]. 地质通报, 2015, (1): 1 ~ 31.  
WU Zhong-hai, LONG Chang-xing, FAN Tao-yuan, et al. The arc rotational-shear active tectonic system on the southeastern margin of Tibetan Plateau and its dynamic characteristics and mechanism [J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34 (1): 1 ~ 31.

## THE MAIN ACTIVE FAULTS AND TECTONIC SYSTEM IN YONGSHENG AREA, NORTHWESTERN YUNNAN

HUANG Xiao-long<sup>1,2</sup>, WU Zhong-hai<sup>1</sup>, WU Kun-gang<sup>1</sup>, ZHOU Chun-jing<sup>1</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Yongsheng located in the northeast of Dali fault system and the north end of Chenghai-Binchuan fault zone. Faults in Yongsheng area have been strongly active since the Pliocene and with significantly tectonic geomorphology characteristics. According from 1: 50000 active fault mapping, there are 14 faults in Yongcheng-Jinguan area. Jinguan Fault (F1), Yongsheng Fault (F2) and Muerping-Yangping Fault (F3) are the largest scale and with strongest activity among them. They belong to the first class branch faults of Chenghai-Binchuan fault zone, the others belong to the second class branch faults. Tectonic landform characteristic, geological bodies broken by fault and the results of striations statistics all indicate that faults in Yongsheng area normal fault activities was the predominance. According to the activity, faults in this area are divided in to five classes, including stronger, strong, medium, weak and weaker. Jinguan fault is the most active fault among them, the vertical movement rate up to 0.2 ~ 0.26 mm/a. The geometry, kinematics and dynamics features of the main faults in Yongsheng area have been discussed. The result shows that the faults in Yongsheng area make up an east protruding curved rotational shear tectonic system in the plane, and form a negative flower structure in profile which was very common among transtension fault system. The current activity of Chenghai-Binchuan fault zone is near EW extension is mainly caused by the near SN compressive stress. And it has a certain left lateral strike slip because of the superposition of the twisting action. The curved rotational shear tectonic system in Yongsheng area and the Northwest Yunnan rift zone are all form from arc belt clockwise in Sichuan-Yunnan and the strike slip pull apart process of Nandinghe fracture、Wanding fracture and Litang fracture.

**Key words:** northwest Yunnan; Yongsheng; Chenghai-Binchuan fault zone; active fault; arc rotating structure system