

文章编号: 1674—8247(2019)04—0023—06  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.005

## 川藏铁路金沙江断裂带北段第四纪活动特征探讨

吴富尧<sup>1,2</sup> 蒋良文<sup>1</sup> 张广泽<sup>1</sup> 王 栋<sup>1</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

**摘 要:**川藏铁路跨越金沙江断裂带北段, 后者的第四纪地质地貌特征从构造上控制了川藏铁路的地质选线工作。金沙江断裂带北段由多条断裂组成, 根据区域内地层分布状况、显微构造和岩层变质程度等可以鉴定出4条主要的深切地壳的大型断裂, 这4条断裂自西向东即字嘎寺—德钦断裂、波罗—通麦断裂、金沙江主断裂带和岗托—义敦断裂。通过野外地质地貌调查和地质测年, 本次研究认为字嘎寺—德钦断裂东支、西支马曲河北段和岗托—义敦断裂第四系以来可能不再具有活动性, 而字嘎寺—德钦断裂西支马曲河南段、波罗—通麦断裂和金沙江主断裂带南段部分段落具有Q3活动性。

**关键词:**金沙江断裂带北段; 第四纪活动特征; 川藏铁路

中图分类号: P631.8<sup>+</sup>4 文献标志码: A

## Discussion on Quaternary Activity Characteristics of Northern Section of Jinshajiang Fault Zone along Sichuan-Tibet Railway

WU Fuyao<sup>1,2</sup> JIANG Liangwen<sup>1</sup> ZHANG Guangze<sup>1</sup> WANG Dong<sup>1</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The Sichuan-Tibet railway crosses over the northern section of Jinshajiang fault zone. The Quaternary geological and geomorphological characteristics of the fault zone control the geological route selection of the Sichuan-Tibet Railway from the tectonics. The northern section of Jinshajiang fault zone is composed of several faults. According to the distribution of strata, micro-structure and the degree of rock metamorphism in the region, four major large-scale deep crustal faults can be identified, from west to east they are Zigasi-Deqin fault, Boluo-Tongmai fault, Jinshajiang main fault zone and Gangtuo-Yidun fault. Through geological and geomorphological investigation and geological dating, this study concludes that the Eastern Branch of Zigasi-Deqin fault, the northern section of the Maqu River of the Western Branch and Gangtuo-Yidun fault may no longer be active since the Quaternary, while the southern section of the Western Branch of Zigasi-Deqin fault, the southern section of the Maqu River, Boluo-Tongmai fault and the southern section of Jinshajiang main fault zone may be of Q3 activity.

**Key words:** northern section of Jinshajiang fault zone; Quaternary activity characteristics; Sichuan-Tibet railway

川藏铁路巴塘—贡觉段穿越金沙江断裂带北段, 断裂带的第四纪地质地貌特征从构造上控制了川藏铁

收稿日期: 2018-09-20

作者简介: 吴富尧(1985-), 男, 博士。

引文格式: 吴富尧, 蒋良文, 张广泽, 等. 川藏铁路金沙江断裂带北段第四纪活动特征探讨[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(4): 23-28.

WU Fuyao, JIANG Liangwen, ZHANG Guangze, et al. Discussion on Quaternary Activity Characteristics of Northern Section of Jinshajiang Fault Zone along Sichuan-Tibet Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 23-28.

路的地质选线工作,具有明显的铁路构造工程效应。本文通过野外地质调查和地质年代样品测定,对金沙江断裂带北段的几条主要断裂进行探讨,进而分析其构造工程效应。

## 1 金沙江断裂带北段简介

新生代以来,随着印度-欧亚大陆的碰撞,青藏高原强烈隆升,川滇地块向东侧向挤出<sup>[1]</sup>。金沙江断裂带是羌塘-昌都地块与松潘-甘孜造山带西部碰撞结合带的主缝合带,是区域构造格架上的骨架断裂之一,属于川滇地块的西边界构造<sup>[2]</sup>。

金沙江断裂带平面几何结构复杂,由多条向东凸出的近SN向的弧形逆断裂、NE向的巴塘断裂和NW向的德钦-中甸断裂组成,以NE向的巴塘断裂和NW向的德钦-中甸断裂为界,金沙江断裂带可大致分为北、中、南三段。

金沙江断裂带北段的构造线为北西向偏北,在地质图上可见分布的断裂多且杂乱。根据区域内地层分布状况、显微构造和岩层变质程度等可鉴定出4条主要的深切地壳的大型断裂,其余分支断裂均为这四条大型断裂的伴生断裂<sup>[3]</sup>。这四条断裂自西向东分别为字嘎寺-德钦断裂、波罗-通麦断裂、金沙江主断裂带和岗托-义敦断裂。四条断裂带往南均被巴塘断裂带右旋断错,以巴塘断裂为界与金沙江断裂带中南段分开,断裂带北段构造简图,如图1所示。川藏铁路比选线路A在白玉以北以东西向横跨金沙江断裂带北段,而比选线路B在巴塘附近东西向横跨金沙江断裂带北段。

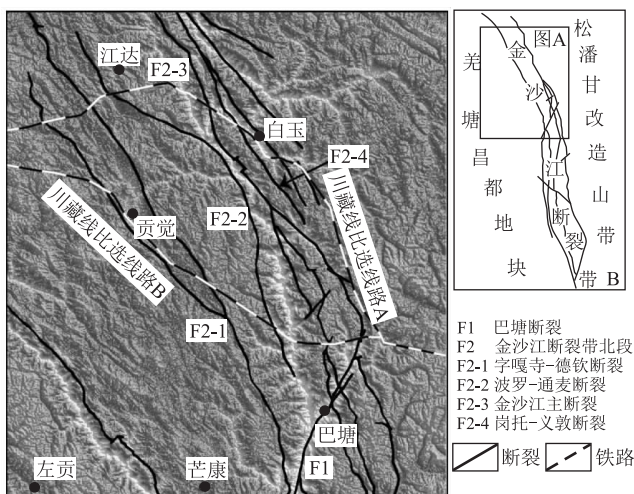


图1 金沙江断裂带北段构造简图,断层数据修改自于文杰(1993),中国地震局地质研究所(2010)

有历史记载以来,断裂带及其邻区有多次大地震的发生<sup>[4]</sup>。但这些大地震或者中强地震多集中发生

于金沙江断裂带中南段,在巴塘断裂以北的金沙江断裂带北段,没有任何大地震或者中强地震发生的记录,GPS观测发现金沙江断裂带北段的滑动速率也微乎其微<sup>[5]</sup>。目前对于金沙江断裂带的活动性特征研究,多集中在金沙江断裂带中南段的巴塘断裂、雄松-苏洼龙断裂、德钦-中甸断裂等断裂上<sup>[6-9]</sup>,而对金沙江断裂带北段的研究成果较少,仅在部分地震安全性评价工作中有所提及<sup>[10]</sup>,其第四纪活动特征有待进一步深入研究。

## 2 金沙江断裂带北段第四纪地质地貌特征

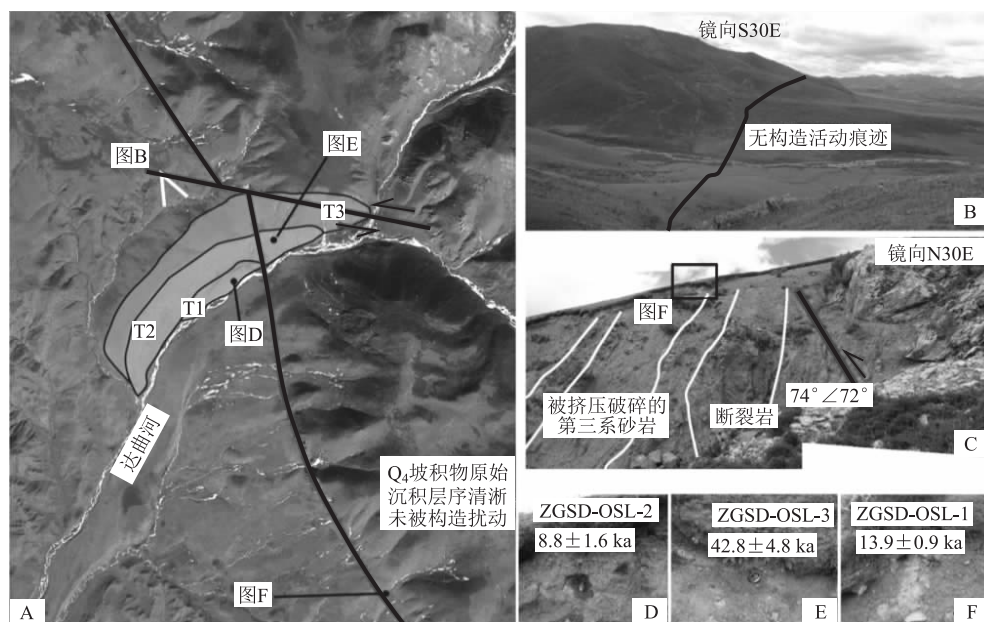
### 2.1 字嘎寺-德钦断裂

字嘎寺-德钦断裂又称金沙江西界断裂,亦被前人称作贡觉涌-热拥断裂<sup>[11]</sup>。该条断裂作为羌塘-昌都陆块与金沙江缝合带的边界断裂,控制了贡觉新生代第三系盆地的形成与发育。字嘎寺-德钦断裂作为贡觉盆地边界,新生代以来以逆冲走滑作为其主要运动特征<sup>[12]</sup>。

字嘎寺-德钦断裂东支断裂沿贡觉盆地的东边界边缘展布,倾向东倾角约60°,以逆冲运动为主要活动特征,部分研究成果认为其地质历史上可能具有右旋走滑性质<sup>[13]</sup>。在贡觉县阿旺乡以东的达曲河达日次尔附近,近南北走向的字嘎寺-德钦断裂东支与近东西走向的达曲河相交切,达曲河上发育的3级阶地记录了断裂第四纪以来的构造活动信息。字嘎寺-德钦断裂东支达曲河阶地附近地质地貌特征如图2所示。野外地质调查证明,达曲河3级阶地的阶地面地貌形态完整,无构造活动痕迹发育,T1和T2阶地面的沉积年龄分别为 $(8.8 \pm 1.6)$  ka和 $(42.8 \pm 4.8)$  ka,证明断裂自Q3以来没有孕育造成地表破裂的地震。

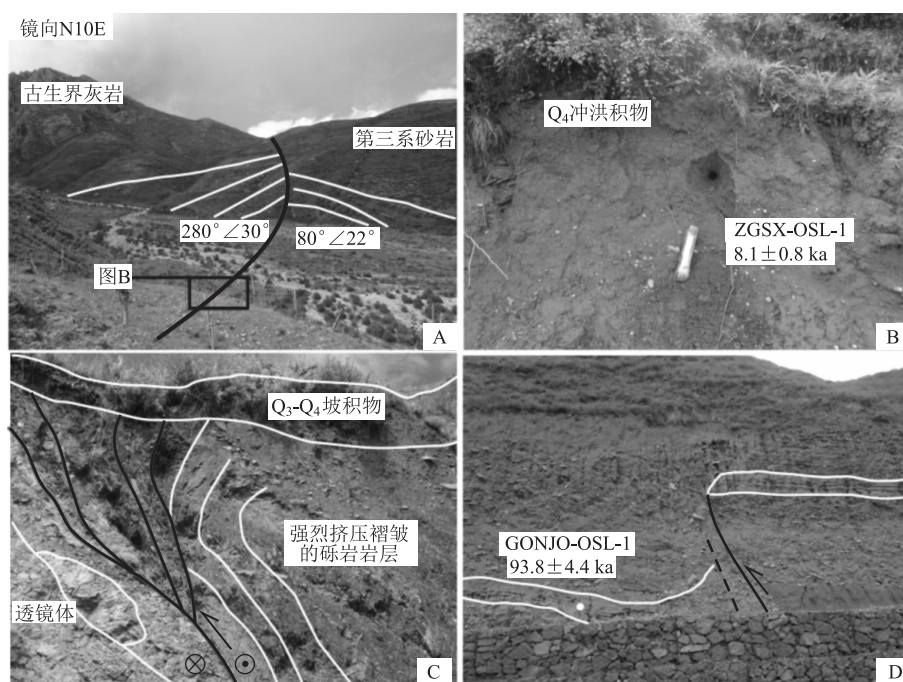
从达曲河南的断裂剖面上可见,断裂东侧上盘的中生界灰岩、砂岩不整合在西侧下盘的贡觉红层之上。断裂在盆地南侧阿旺乡控制了盆地边界,沿盆山交界处一带出露断层剖面,可见贡觉红层红色砂岩被强烈挤压,岩层产状 $74^\circ \angle 72^\circ$ ,在断层挤压带附近强烈褶皱,断裂带产状 $330^\circ \angle 60^\circ$ ,东侧的中生界灰岩亦被挤压得十分破碎(如图2C所示)。断裂带与第四系物质接触部位未发现构造干扰,剖面上地层形态正常,第四系坡洪积物不整合覆盖在中生界灰岩之上,坡积物的沉积年龄为 $(13.9 \pm 0.9)$  ka,也证明断裂自Q3以来无构造活动性。

字嘎寺-德钦断裂西支断裂沿贡觉盆地的西边界边缘展布,地质地貌特征如图3所示。野外地质调查发现,大致以马曲河为界,断裂具有明显的分段构造活



A. 达曲河阶地卫星图片; B. 达曲河阶地地貌特征; C. 字嘎寺 - 德钦断裂剖面; D, E, F. 地质样品采样剖面

图2 字嘎寺 - 德钦断裂东支达曲河阶地附近地质地貌特征



A. 马曲河北边仁次巴村段的地质特征; B. 地质样品采样剖面; C. 字嘎寺 - 德钦断裂构造挤压带; D. 断裂剖面与被位错的地层

图3 字嘎寺 - 德钦断裂西支地质地貌特征

动性特征。

从马曲河北的色然村附近可见,断裂发育在第三系红色砂岩之中,断裂穿过的第四纪冲积扇没有构造活动反应,冲积扇沉积年龄为 $(8.1 \pm 0.8)$  ka,说明断裂不具有Q4活动性。从马曲河南觉贡村北可见,字嘎寺 - 德钦断裂发育在第三系红色砂岩之中,断层带

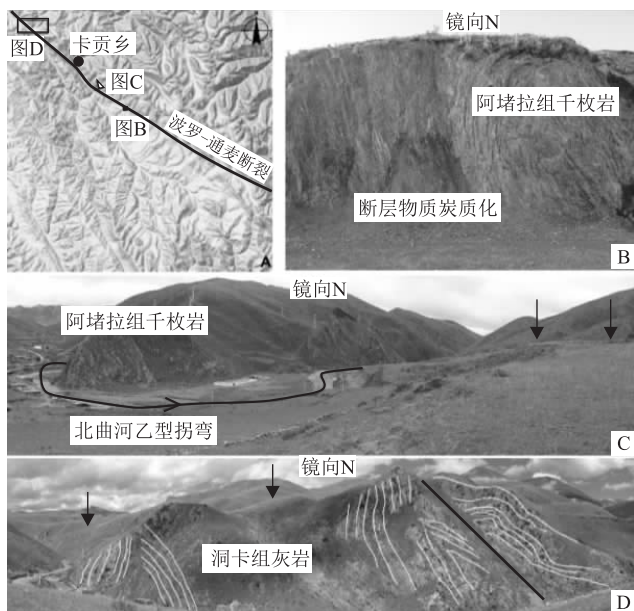
附近砂岩被强烈挤压和褶皱,但顶部Q4坡积物未被错动。觉贡村往南501省道附近可见断裂剖面发育,标志地层被位错约1.5 m,其沉积年龄为 $(93.8 \pm 4.4)$  ka,但标志层沉积以来断裂未具有构造活动痕迹,说明断裂具有Q3活动性,垂直滑动速率约为0.016 mm/a。

从调查的断裂活动特征来看,字嘎寺 - 德钦断裂

具有走滑兼逆冲的运动特征,东支和西支都具有明显的Q4活动性地质地貌特征,但西支南段具有较弱的Q3活动性。断裂所控制的贡觉盆地在地质历史上是一个典型的向斜或活动褶曲,但自仪器记录以来,贡觉盆地并没有任何强震显示,加之地质资料显示其内部的Q4地层也没有明显构造扰动,说明贡觉盆地可能已不是Q4活动向斜。值得注意的是,2010年玉树7.1级地震使字嘎寺-德钦断裂西北和东南段应力增加,未来断裂是否会重新复活,需长期观测确定<sup>[14]</sup>。

## 2.2 波罗-通麦断裂

波罗-通麦断裂是金沙江主断裂带的派生断裂,断面东倾,倾角 $55^{\circ} \sim 65^{\circ}$ ,与金沙江缝合带产状基本一致,断裂主要发育在阿堵拉组千枚岩和洞卡组灰岩之中。波罗-通麦断裂卡贡段地质地貌如图4所示。从图中可以看出,在江达县卡贡乡处,地貌凹陷突变,地貌特征明显,北曲河在卡贡乡一带呈现“之”字型形态,断裂对北曲河的走向展示了控制作用。在洞卡组灰岩之中,断裂展示出强烈的挤压作用,灰岩在强烈褶皱后被后期断层活动再挤压,褶皱也因此被破坏了原有形态。断层展示出多期次活动特征,整个断层带影响范围宽达上百米,从出露的地层剖面上分析出,至少受两期构造应力的作用。

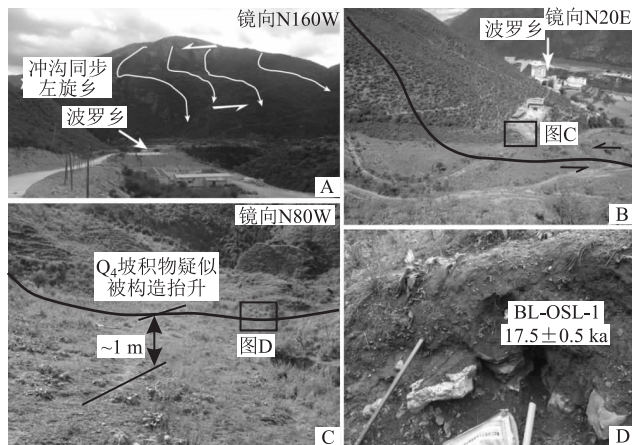


A 断裂活动形成的地貌凹陷;B 阿堵拉组千枚岩中出露的炭质化断层物质;C 受断裂控制的北曲河Z型拐弯;D 洞卡组灰岩中发育的两期构造作用

图4 波罗-通麦断裂卡贡段的地质地貌

自卡贡乡往南,卫星图片上可见明显的线性地貌延伸至波罗乡一带。波罗-通麦断裂波罗乡地形地貌

如图5所示。野外地质调查发现,断裂在波罗乡附近沿河谷西侧展布,冲沟同步左旋位错和断层反向槽谷发育在波罗乡西侧山后位置(如图5所示),为典型走滑断层构造地貌。沿该断裂进行追溯,在波罗乡南塔贡果园附近,断层构造活动使坡积物被构造抬升约2 m,坡积物沉积年龄为 $(17.5 \pm 0.5)$  ka,说明断裂具有Q3构造活动性,长期的隆升速率约为 $0.05 \text{ mm/a}$ 。



A. 波罗-通麦断裂波罗乡段发育的反向断层槽谷和水系同步位错; B. 波罗-通麦断裂波罗乡段的地貌特征; C. 被断裂构造抬升的坡积物; D. 地质样品采样剖面

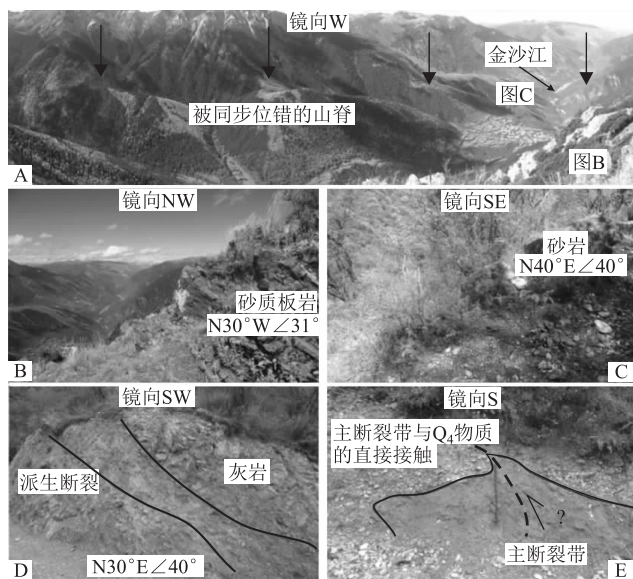
图5 波罗-通麦断裂波罗乡的地形地貌

综上所述,波罗-通麦断裂的地质特征和地表地貌形态不具有Q4强活动断裂的性质,具有Q3活动性。目前来看,波罗-通麦断裂经历了多期的挤压运动,其侧向走滑运动性质在地貌上有明显反映,但波罗乡往南断裂在地表的展布情况不清晰。

## 2.3 金沙江主断裂带

金沙江断裂带的主断裂亦称金沙江主缝合带,整体走向NNW。断裂平面几何形状不规则,在矮拉山一带成NW向槽谷展布,再往南至波罗乡一带断裂走向变为NWW。在白玉县协塘村往南断裂分为东西两支,西支延伸进山体内部,东支则在翻过麦拉山之后平行于降曲河展布,两支断层最后均斜接到巴塘断裂之上。断裂在斜塘村的地质地貌特征,如图6所示。从图中可以看出,在白玉县斜塘村一带,山体中部发育明显的被同步位错的山脊和水系,山体东侧为明显的断层槽谷,明确指示断裂经过的位置(如图6A所示)。主断裂东盘为三叠统下逆松多组砂质板岩,岩层产状 $N30^{\circ}W \angle 31^{\circ}$ ,向东倾,西盘为熊松群砂岩、灰岩,岩层产状 $N40^{\circ}E \angle 40^{\circ}$ ,断层发育于两套地层之中。山体附近公路旁出露的剖面显示金沙江主断裂发育在熊松群灰岩之中,灰岩被挤压得十分破碎,派生的断裂产状为

$N30^{\circ}W \angle 40^{\circ}$ , 揭露的断层露头显示, 断裂有疑似 Q3 ~ Q4 的活动性存在, 断层顶部明显向上楔入至冲击物的底部)。

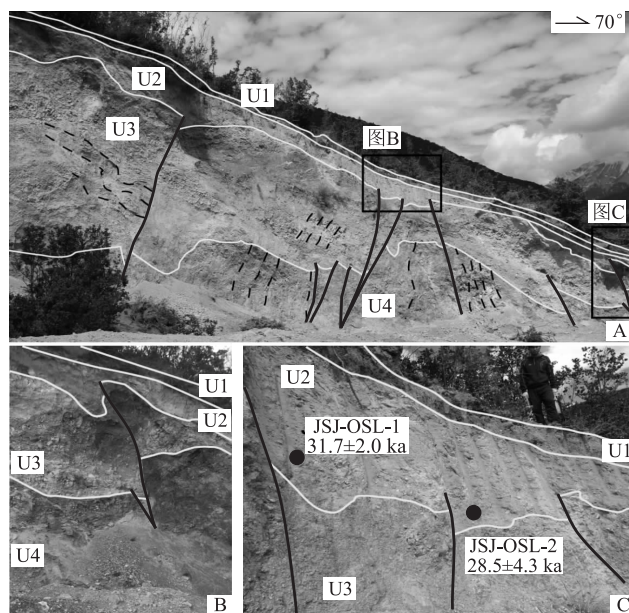


A. 协塘村槽谷地貌, 可见同步位错的山脊; B. 断裂东盘发育的砂质板岩; C. 断裂西盘发育的砂岩; D. 断裂西盘灰岩中发育的派生断裂; E. 断裂带与 Q4 冲积物直接接触

图6 金沙江主断裂协塘村段的地质地貌特征

自协塘村往南, 金沙江主断裂分叉为东西两支, 西支延伸进山体内部, 因交通原因无法追溯, 东支在地貌上有明显的线性特征, 以盖玉槽谷和上莫西槽谷为主要的线性地貌。其中上莫西槽谷是金沙江主断裂东支与巴塘断裂斜接的端部部位, 是构造应力最为集中之处, 在上莫西槽谷西侧可见明显的基岩断层剖面出露。上莫西槽谷段的断层剖面如图7所示, 剖面上断层总体走向 NNW, 倾角陡且无统一的倾向, 顶部可见小型地堑发育, 出露地层可按组分从上到下大致分为4层, 顶部的 U1 和 U2 为 Q4 坡面沉积物, 下部的 U3 和 U4 为砂质板岩, 风化严重。从地层形态和几何交切关系分析, 该断裂带应经过不止一次的古地震记录, U2 层位的明显断错和弯曲是最近一次的古地震事件, 在 U2 层中取得的测年样品的沉积年龄分别为  $(31.7 \pm 2.0)$  ka 和  $(28.5 \pm 3.4)$  ka, 说明断裂最后一次构造地震的发震时间为 Q3。从断裂的产状特征分析, 推断断层活动性质以走滑运动为主, 在剖面中部可见类地堑的构造样式, 在剖面东部可见 U3 层位的逆冲和 U2 层位的类褶皱构造。

综上所述, 金沙江主断裂带在协塘村以南段具有明显的 Q3 活动性指示, 尤其是在与巴塘断裂交切的端部, 可见多次古地震遗迹。



A. 金沙江主断裂东支上莫西段断层剖面; B. 断裂顶部被位错的第四系沉积物; C. 被位错的黑色风化基岩

图7 金沙江主断裂上莫西槽谷段的断层剖面

## 2.4 岗托-义敦断裂

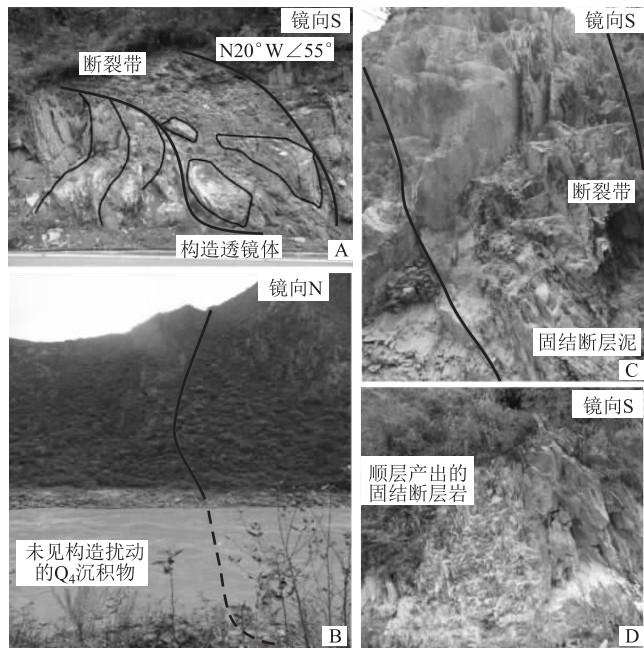
岗托-义敦断裂是金沙江主断裂的分支断裂, 其 NNW 走向几乎与金沙江主断裂平行。断裂主要发育在三叠统下逆松多组千枚岩、砂板岩中, 断面在地质图上显示为南西倾。断面附近的构造变形十分强烈, 牵引褶皱发育, 劈理十分密集。沿着 1:20 万地质图和线性地貌进行追溯, 在白玉县城北德格至白玉的沿江公路旁, 可见明显的断层剖面。剖面上可见宽约 2 m 的断层带物质, 断裂带整体产状为  $N20^{\circ}W \angle 55^{\circ}$ , 向西倾, 断层带东侧见被褶皱的千枚岩, 带中可见大型构造透镜体出露, 岗托-义敦断裂金沙江段地质地貌特征, 如图8所示。

从图8中可以看出, 断层顺层产出, 被强烈挤压, 具逆冲性质, 带中的断层泥物质已完全固结成岩。此外, 断层通过金沙江河谷部位并未见受构造扰动而变形的 Q4 沉积物。在白玉县城往南, 岗托-义敦断裂延伸进入麦拉山山体内部, 沿巴白公路旁可见明显的断层挤压痕迹, 但未见明显的断层剖面出露。

岗托-义敦断裂在卫星图上线性特征并不明显, 局部地段也无构造异常出现, 且出露断层剖面上断层物质固结程度很高(已固结成断裂岩), 故综合上述野外地质调查结果, 判定断裂自第四系以来可能不再具有构造活动性。

## 3 结论及建议

本文通过对金沙江断裂带北段的野外详细地质调



A. 岗托-义敦断裂剖面中发育的固结构造透镜体;B. 金沙江河道旁未见构造扰动的Q4沉积物;C,D. 断裂带中顺层产出的固结断层物质

图8 岗托-义敦断裂金沙江段地质地貌特征

查,初步确认金沙江断裂带北段部分断裂具有Q3活动性。在金沙江断裂带中南段明显Q4活动的构造背景下,金沙江断裂带北段作为承受西部构造应力的第一媒介具有构造活动性,也从另一角度证实了川滇地块变形和侧向挤出的动力来源来自西部,即印度-欧亚大陆的碰撞、青藏高原的隆升和川滇块体的侧向挤出。具体来说,确认金沙江断裂带北段主要由4条深大断裂组成,自西向东依次为字嘎寺-德钦断裂、波罗-通麦断裂、金沙江主断裂带和岗托-义敦断裂,其中字嘎寺-德钦断裂东支、字嘎寺-德钦断裂西支马曲河北段和岗托-义敦断裂自第四系以来可能不再具有活动性,而字嘎寺-德钦断裂西支马曲河南段、波罗-通麦断裂和金沙江主断裂带南段具有Q3活动性,具体活动参数,如表1所示。

表1 金沙江断裂带北段构造活动时代和抗震/抗断参数表

断裂带段落	断裂名	活动时代	抗震/抗断参数
金沙江断裂带北段	字嘎寺-德钦断裂东支	Q1-Q2	不影响
	字嘎寺-德钦断裂西支马曲河北段	Q1-Q2	不影响
	字嘎寺-德钦断裂西支马曲河南段	Q3	长期逆冲速率0.02mm/a
	波罗-通麦断裂	Q3	长期逆冲速率约0.05mm/a
	金沙江主断裂	Q3	未获得
	岗托-义敦断裂	Q1-Q2	不影响

根据GB 50021-2001《岩土工程勘察规范》<sup>[15]</sup>(2009年版)5.8节对断裂地震工程分类的规定,金沙江断裂带北段的各条断裂不能被定义为全新世活动断裂,对铁路工程影响不大。但考虑到川藏铁路的重要工程意义,建议对金沙江断裂带北段Q3段落加强大比例尺详细填图及地质年代样品测定等工作,必要时增加钻探量,以探明断裂段落的精确分布。

参考文献:

[1] Christopher Studnicki-Gizbert, Burrell Clark Burchfiel, Li Zhen, et al. Early Tertiary Gonjo Basin, Eastern Tibet: Sedimentary and Structural Record of the Early History of India-Asia Collision [J]. Geosphere, 2008, 4(4): 713-735.

[2] 徐锡伟,张培震,闻学泽,等. 川西及其邻近地区活动构造基本特征与强震复发模型 [J]. 地震地质, 2005, 27(3): 446-461. XU Xiwei, ZHANG Peizhen, WEN Xueze, et al. Features of Active Tectonics and Recurrence Behaviors of Strong Earthquakes in the Western Sichuan Province and Its Adjacent Regions [J]. Seismology and Geology, 2005, 27(3): 446-461.

[3] 于文杰. 金沙江结合带中段地质特征 [J]. 西藏地质, 1993, 9(2): 26-37. YU Wenjie. The Geologic Characteristics of Middle Section of Jinshajiang Suture Zone [J]. Tibet Geology, 1993, 9(2): 26-37.

[4] 伍先国,蔡长星. 金沙江断裂带新活动和巴塘6.5级地震震中的确定 [J]. 地震研究, 1992, 15(4): 401-410. WU Xianguo, CAI Changxing. New Activity of Jinshajiang Fault Zone and Determination of M6.5 Earthquake Epicenter in Batang [J]. Journal of Seismological Research, 1992, 15(4): 401-410.

[5] 王闯昭,王恩宁,沈正康,等. 基于GPS资料约束反演川滇地区主要断裂现今活动速率 [J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2008, 38(5): 582-597. WANG Yanzhao, WANG Enning, SHEN Zhengkang, et al. GPS-Constrained Inversion of Present-day Slip Rates along Major Faults of the Sichuan-Yunnan Region [J]. Science in China (Series D): Journal of Earth Science, 2008, 38(5): 582-597.

[6] WANG Pengfei, CHEN Jian, DAI Fucu, et al. Chronology of Relict Lake Deposits around the Suwalong Pale Landslide in the Upper Jinsha River, SE Tibetan Plateau: Implications to Holocene Tectonic Perturbations [J]. Geomorphology, 2014, 217: 193-203.

[7] 常祖峰,张艳凤,李鉴林,等. 德钦-中甸-大具断裂晚第四纪活动的地质与地貌表现 [J]. 地震研究, 2014, 37(1): 46-52. CHANG Zufeng, ZHANG Yanfeng, LI Jianlin, et al. The Geological and Geomorphic Characteristic of Late Quaternary Activity of the Deqin-Zhongdian-Daju Fault [J]. Journal of Seismological Research, 2014, 37(1): 46-52.

[8] 王明明,刘韶,史丙新,等. 2013年香格里拉-得荣M<sub>s</sub>5.9级地震震中区地质地貌调查 [J]. 华南地震, 2017, 37(1): 80-88. WANG Mingming, LIU Shao, SHI Bingxin, et al. Geological and Geomorphic Investigation in the Epicenter Area of the Shangrila-Dêrong Ms5.9 Earthquake in 2013 [J]. South China Journal of Seismology, 2017, 37(1): 80-88.