

张沛全, 左天惠, 邹衍, 等. 隆林西南部线性影像条带的地貌特征、成因及其与右江断裂带的关系[J]. 华南地震, 2023, 43(4): 8–16. [ZHANG Peiquan, ZUO Tianhui, ZOU Yan, et al. Geomorphologic Characteristics and Genesis of Linear Image Belt in the Southwest of Longlin and Its Relationship with Youjiang Fault Zone[J]. South China journal of seismology, 2023, 43(4): 8–16]

隆林西南部线性影像条带的地貌特征、成因 及其与右江断裂带的关系

张沛全^{1,2}, 左天惠³, 邹衍³, 米远威², 潘岳怡¹, 钟德伟¹

(1. 广西壮族自治区地震局, 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区震灾风险防治中心, 南宁 530022;
3. 广西壮族自治区自然资源调查监测院, 南宁 530201)

摘要: 为探讨广西隆林西南部一条线性影像带的成因, 分析其与右江断裂带的构造关系, 使用卫星遥感、无人机倾斜摄影测量及地面地质地貌调查的方法开展此项工作。在哨兵卫星影像中, 一条清晰的北西向西线性影像带出现在弄桑屯至隆内屯之间, 长度达 5 km, 且与控制水系同步拐弯的大古城断层谷成 $17^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 夹角。野外调查显示, 线性影像通过隆内断层谷地的南侧谷坡上方, 且表现为倾向南的反坡向陡崖。在陡崖向东延伸的方向上可见倾向南南西的正断层。在其西部弄桑河河流拐弯点附近, 线性影像带上有倾向北北东或北东的正断层发育。在无人机倾斜摄影测量技术的支持下, 弄桑河河流拐弯点的上游河段在河流纵剖面上存在裂点, 其落差约 78 m。裂点河段的上游和下游均有正断层出露。经分析后认为, 控制线性影像条带的断层为走向北西向西的正断层(弄桑—隆内断层)。该正断层与控制水系同步左旋拐弯的大古城断层、右江断裂带旧州—泽屯小段构成了一个左旋走滑的里德尔剪切体系, 它们分别是这个剪切体系中的 T 破裂、R 破裂和 Y 主剪切破裂。该里德尔剪切系统至少在喜马拉雅期期间有过长时间的活动表现。

关键词: 右江断裂带; 里德尔剪切; 构造地貌; 河流裂点; 喜马拉雅期; 无人机; 倾斜摄影测量

中图分类号: P231; P931.1; P931.2; P546 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662(2023)04-0008-09
DOI: 10.13512/j.hndz.2023.04.02

Geomorphologic Characteristics and Genesis of Linear Image Belt in the Southwest of Longlin and Its Relationship with Youjiang Fault Zone

ZHANG Peiquan^{1,2}, ZUO Tianhui³, ZOU Yan³, MI Yuanwei²,
PAN Yueyi¹, ZHONG Dewei¹

(1. Earthquake Agency of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China; 2. Earthquake Risk Prevention Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China; 3. Natural Resources Investigation and Monitoring Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530201, China)

Abstract: In order to explore the genesis of a linear image belt in the southwest of Longlin, Guangxi, and analyze

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 广西自然科学基金项目(2018GXNSFAA281323)

作者简介: 张沛全(1978-), 男, 高级工程师, 构造地质学专业, 主要从事活动构造与构造地貌研究与应用。

E-mail: zhangpeiquan2007@126.com

its tectonic relationship with Youjiang fault zone, the methods of satellite remote sensing, UAV tilt photogrammetry and field geological and geomorphological survey are used to carry out this work. In the sentinel satellite image, a clear NWW linear image belt appears between Nongsangtun and Longneitun, with a length of 5 km and an angle of 17° – 20° with Dagucheng fault valley that controls the synchronous turning of the water system. The field investigation shows that the linear image passes over the southern slope of the Longnei fault valley, and it is shown as a southward-dipping reverse slope steep cliff. A normal fault dipping south-west can be seen in the direction of eastward extension of the cliff. Near the turning point of the Nongsang River in the west, there are normal faults inclined to NNE or NE on the linear image belt. With the support of UAV tilt photogrammetry technology, there are nickpoints on the longitudinal section of the river at the upstream reach of the turning point of the Nongsang River, with a drop of about 78 m. There are normal faults exposed in the upstream and downstream of the nickpoint reach. It is considered that the fault controlling the linear image belt is a normal fault (Nongsang–Longnei fault) trending NWW. This normal fault, the Dagucheng fault, which controls the synchronous left turning of the water system, and the Jiuzhou–Zetun section of the Youjiang fault zone constitute a left-lateral strike-slip Riedel shear system, which are respectively T-fracture, R-fracture and Y-main shear fracture in this shear system. This Riedel shear system has been active for a long time at least during the Himalayan period.

Keywords: Youjiang fault zone; Riedel shear; Tectonic geomorphology; Knick point; Himalayan period; UAV; Tilt photogrammetry

0 引言

右江断裂带是我国西南地区的一条重要的活动构造带和地震构造带^[1-5]。过去的研究多集中在百色以东地区的段落^[2-10],百色以西段落的研究相对较少^[4,11-12]。要全面认识右江断裂带的第四纪活动特性,加强百色以西段的研究是一项重要课题。近年来对百色以西段的研究表明,在隆林县西南部的google影像中,存在一条3 km线性影像带^[12],但其成因未明。该影像带既不与水系同步拐弯点连线重合,也不被标注在二十万分之一地质图上。当时姑且称之为“陡坎”。由于造成遥感上的线性影像原因有很多,包括道路、岩溶作用、冰川作用、地层不整合等。因此,有必要探讨这一线性影像带具体成因。而该线性影像带毗邻右江断裂带组成断层,是否与右江断裂带存在构造联系,这是值得关注的科学问题。

遥感影像的地质解译工作目的之一就是要寻找和识别线性影像特征,解译线性构造,确定断裂构造的存在和它的性质^[13]。其中,探索遥感影像中线性影像的性质已经成为工程遥感^[14]、构造理论^[15]、第四纪地质及第四纪断层活动特性的重要课题^[16-19]。目前,线性影像的地质解译已被列入到国家标准《活动断层探测》(GB/T36072-2018)中,作为活动断层探测的重要技术步骤之一。右江断裂带中研究相对较多的段落(百色—思林段和思林

—坛洛段),也得益于前期的遥感地质学研究^[1,3,7,9-10]。后来,对右江断裂带百色以西段南支的落央小段和北支棒蚌—旧州段的研究也使用了遥感地质学的方法^[11-12]。然而,过去使用的遥感数据精度较低。而已有的研究案例表明,哨兵影像和无人机倾斜摄影技术在活动构造、地震与构造地貌学等领域的应用有助于提高工作精度与工作效率^[20-24]。

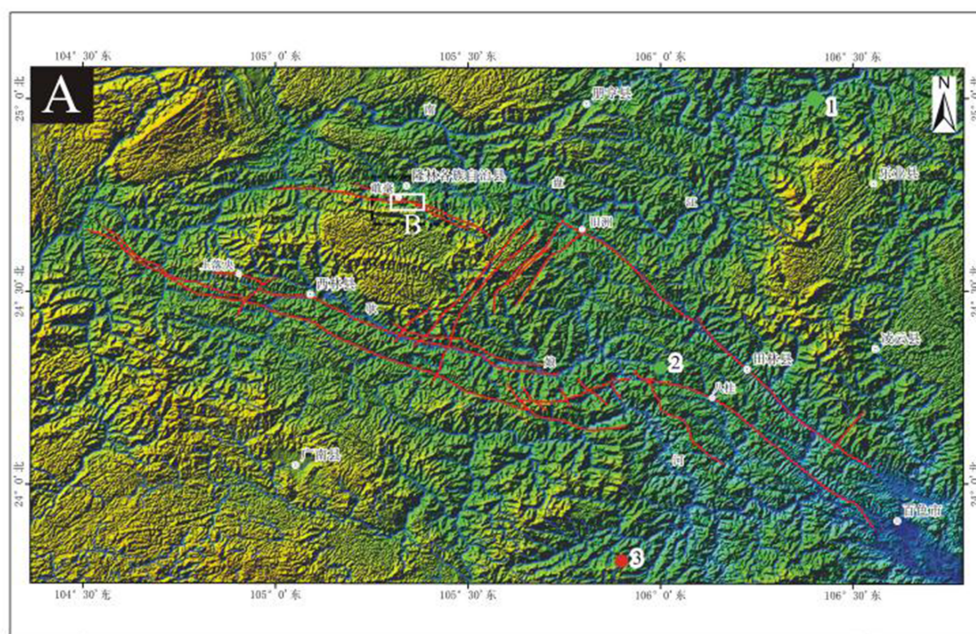
为此,本文拟使用精度更高的哨兵遥感影像,重新识别该线性影像。使用无人机倾斜摄影测量技术对线性影像带中的特征区域开展拍摄工作,然后运用倾斜摄影测量中产生的数字高程模型数据开展构造地貌参数提取工作。对线性影像特征地段、倾斜摄影反映的特征地段开展地质地貌调查,确定线性影像区内的地质构造的性质。最后,讨论控制该线性影像条带的成因,分析其与右江断裂带的构造生成关系。

1 右江断裂带的概况

根据宋方敏等^[4],右江断裂带西北起于兴义、棒蚌以东,向东隆林、西林,往东南经过百色、平果至坛洛,长约410 km。该断裂带由1组走向 310° – 320° 的断裂组成,大致以百色、思林为界,可分为3大段,即百色以西段、百色—思林段、思林—坛洛段,各大段进一步分成若干小段(图1)。其中①百色以西段有南北两支。北支分为棒蚌—

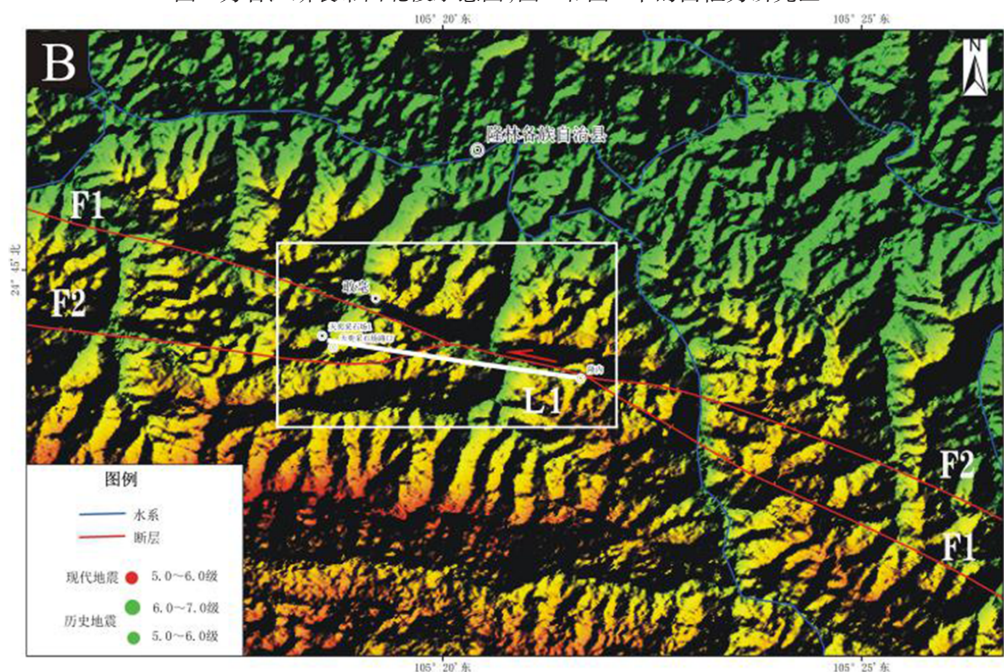
旧州段,走向北东东—东西—北西西;旧州—泽屯段,走向北西。该支全长约230 km。南支分为西林—那曲段、八桂—百色段,走向北西西—北西,共长250 km。南支的西林—那曲段有4条长短不一的近平行的断裂组成;②百色—思林段控制了百色—田东盆地南、被两侧边缘,长约80 km。

盆地南侧断裂从那坡向东经过那满、田东南、至林逢,走向北西西。盆地北侧由3小段组成;③思林—坛洛段西北起西林,向东南经平果、隆安,止于坛洛,长约90 km。由3个小段组成,走向北西。本次工作的区域位于隆林西南部的弄桑、隆内一带,见图1。



1-1875.06 $^{\circ}$ 西乐业6 $^{1/2}$ 级地震; 2-1962.04 $^{\circ}$ 西田林西5级地震; 3-1982.10云南富宁县5.7级地震

图A为右江断裂带西北段示意图,图A和图B中的白框为研究区



图B中的F1为大古城断层,F2为皓岭断层;白线L1为线性影像带位置

图1 右江断裂带百色以西段展布略图及本文研究区位置图

Fig.1 Distribution sketch of the western section of Baise in Youjiang fault zone and location map of the study area

2 遥感解译

2.1 数据与数据处理

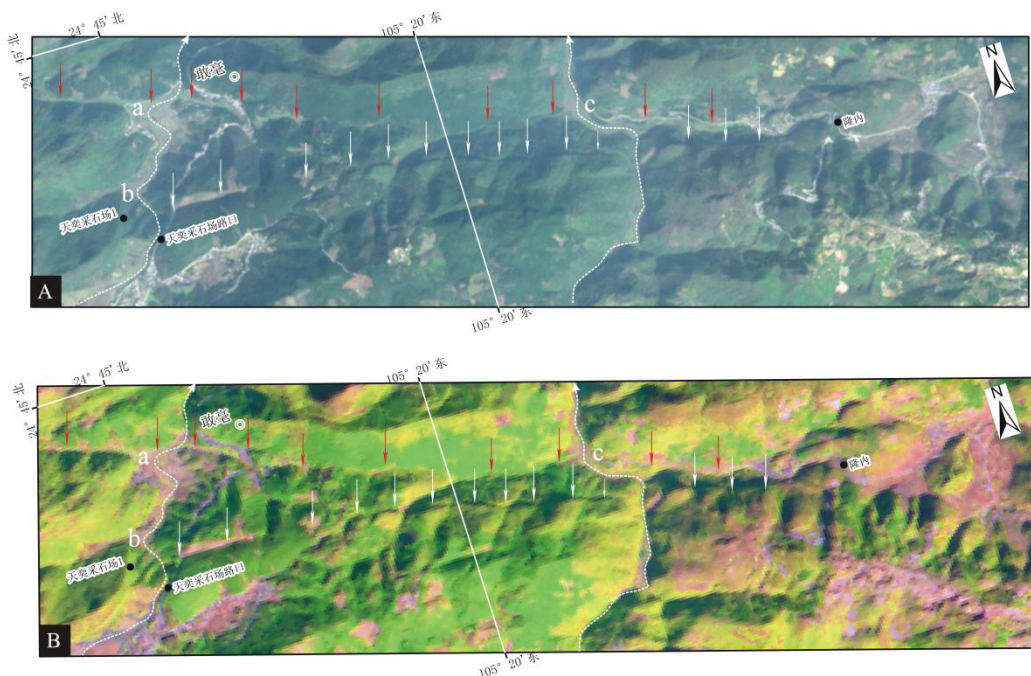
本次工作采用 sentinel-2B(哨兵 2B)卫星数据。该卫星于2017年3月7日发射,高度786 km,覆盖13个波段,幅宽290 km。数据来自 <http://www.gscloud.cn/sources/index?pid=446&rootid=1&ptitle=Sentinel%E6%95%B0%E6%8D%AE>。本次共分别使用了2、3、4波段和4、8、11波段制作真彩和假彩合成影像。2、3、4波段分别为可见光的蓝、绿、红波段,4、8、11波段中4波段为可见光的红波段,8波段近红外波段(宽)、11波段为短红外波段。在分辨率方面,2、3、4、8波段为10 m,11波段为20 m。数据在ArcGIS软件中进行镶嵌、融合、合成等,合成真彩影像(图2A)和假彩影像(图2B)。

2.2 解译结果

在图2A的真彩合成影像中,弄桑河与隆内河同步左旋拐弯。同步拐弯点之间北西向线性谷地明显(图2上图中的红色箭头所示)。过去的研究显示,在敢毫发现过左旋走滑性质的断层露头。那么

红色箭头所示的谷地应是断层谷地。在该断层谷地的西南侧,一系列的山脊止于一条断续出露的阴影带(即图1中的L1)前。L1东北侧至断层谷地前的坡度舒缓,没有明显的脊状突起,也没有明显的水系切割痕迹。L1的西南侧,山脊成排出露,山脊与山脊之间的鞍部清晰。L1在宏观上构成了一条线性的地形阶梯,但在西部表现为类似于断层三角面的地貌。根据阴影的方向初步判断,L1整体上东北侧高度低于西南侧。西部则相反,表现出一个明亮的面状地形面。经测量,本次解译出的L1长度为5 km,较之前的研究结果3 km^[12]增加了2 km。

在图2B的假彩合成影像中,上述所有现象均有表现,经测量后长度一致。值得一提的是,通过影像对比发现,在真彩影像中道路呈现为白色线条,而在假彩影像中道路被消隐。这种影像特点更有利于对线性影像带的解译。通过这一特性,可以排除该线性影像带为人工切坡或道路开挖而产生的地形阶梯。因此,推测该线性影像带可能是一条线性构造带。此外,L1西部的似三角面表现为淡紫红色,对照影像其他区域可以发现,河流拐弯的部位有相似的紫红色图斑出现。因此认为,该“三角面”部位可能含水量较高。同时注意到,在“三角面”部位的西南部,弄桑河上游存在另外一处河流拐弯点(图2A、2B,图4中的b点)。



(图A为 sentinel-2B的2、3、4波段合成的真彩影像;图B为 sentinel-2B的4、8、11波段合成假彩影像;红色箭头为大古城断层的断层谷地,白色箭头为经解译后获得的线性影像条带;白色虚线为河流)

图2 哨兵遥感影像中的线性影像条带

Fig.2 Linear image belts in sentinel remote sensing images

3 无人机倾斜摄影测量

上述工作表明,在平面上L1可能穿越了弄桑河上游。为了进一步研究这一现象,本次工作将运用无人机倾斜摄影测量技术,构建局部数字高程模型,提取河流纵剖面,以考察线性影像带L1对河流纵剖面的影响。

3.1 原理与流程

无人机倾斜摄影测量原理可参考文献[24]的《数字摄影测量学》。主要技术路线以倾斜摄影影像为基础,经过空三加密处理后,生成测区实景三维模型、数字真正射影像、数字线划图和数字高程模型,其流程如图3所示。

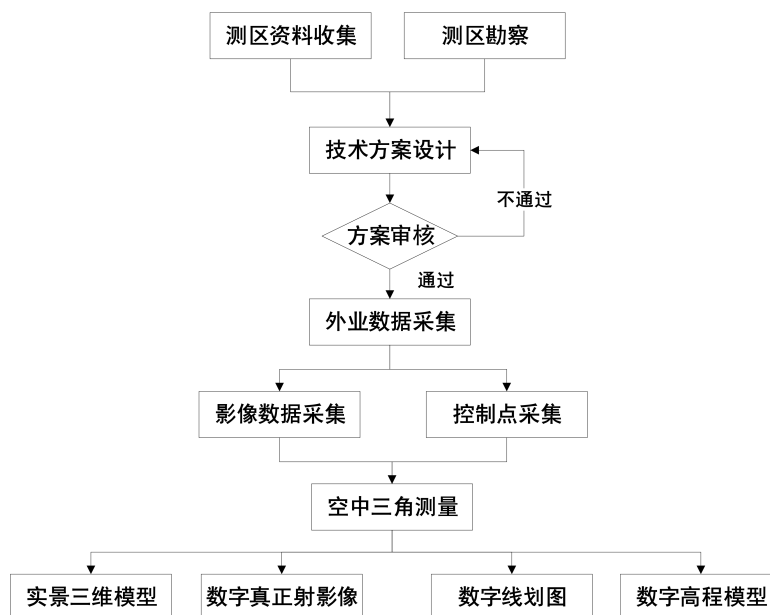


图3 无人机倾斜摄影建模流程图

Fig.3 Flow cart of UAV tilt photography modeling

3.2 数据采集与处理

本次工作的野外拍摄(数据采集)工作选择在植被覆盖较少的冬季开展。工作时使用了飞马D2000五镜头倾斜摄影多旋翼无人机和大疆精灵4-RTK无人机。飞行数据使用Context Capture倾斜摄影建模软件进行处理,获得特征地段的倾斜模型,DSM和DOM影像(图4)。内外业作业流程与精度控制按照参考文献[26]~[29]等中华人民共和国测绘行业标准化指导性技术文件执行。

3.3 河流纵剖面提取

河流纵(高程)剖面中蕴含了许多构造活动的重要信息^[30-33]。本次工作将利用上述倾斜摄影中产生的数字高程数据^[34]开展河流纵剖面提取工作。

河流纵剖面提取过程如下。首先利用平差后符合精度要求的空三加密成果,自动匹配生成数字地形模型(DTM),并在三维测图软件中编辑点云,最后生成特征区(弄桑河天奕采石场一带)高

精度数字高程模型。由于高分辨率数字高程模型数据主要为采集了关键区域,范围较小,未解决小区域DEM提取河网可能存在流向和流域范围误差问题。本次工作利用NASA 12.5 m高程DEM数据结合特征区高分辨率DEM数据进行拼接,将全部DEM数据的分辨率即网格大小统一为核心区DEM数据分辨率(0.1 m)。为保证河流位置准确性,研究过程中利用高分辨率正射航空影像数据手动矢量化结合DEM自动提取河网两种方法,在ArcSWAT软件中通过人工干预方式,先将手动矢量的河网数据Buin-In,然后再根据DEM数据进行提取,提取的河网空间位置准确性大幅提升。利用提取的河网数据,在ArcGIS软件中,利用Stack Profile工具快速提取河网纵剖面信息并输出图件(图4下图)。

在图4下图中,河流纵剖面中出现一个清晰的裂点河段Ab段,落差约为78 m。该裂点段分为两小段,即AB段与Bb段(图4),其中b点为弄桑河上游第二次拐弯点(见图2)。A点以上河段坡降为

0.47‰, AB段坡降为24.19‰, Bb段为3.47‰, bC段为0.36‰, C点以下坡降为1.66‰。AB段的坡降是最大的区段。

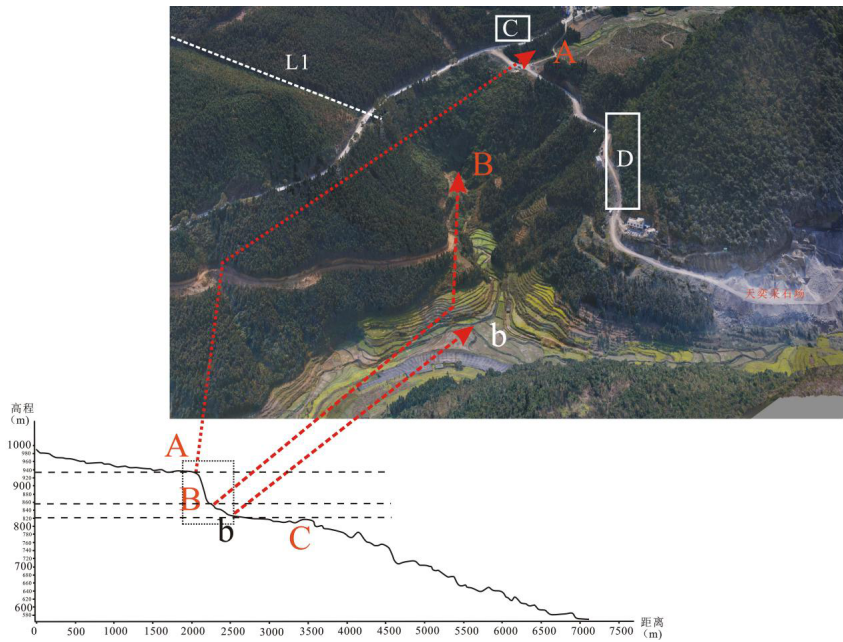
4 线性影像条带的野外调查

4.1 线性影像带的地貌与构造特征

野外地貌调查显示,线性影像带在隆内表现为不连续的陡崖,如图5白色箭头所示。该陡崖位于断层谷地(图5左红色箭头所示)上方。该处的陡崖的倾向与下方断层谷地的谷坡(倾向北)倾向相反,陡崖倾向南,因而在遥感影像上形成了浓重阴影带(图5右)。另外,陡崖并不平行于大古城断层的断层谷地,而呈现出17°~20°的小角度夹角

(图2、图5)。

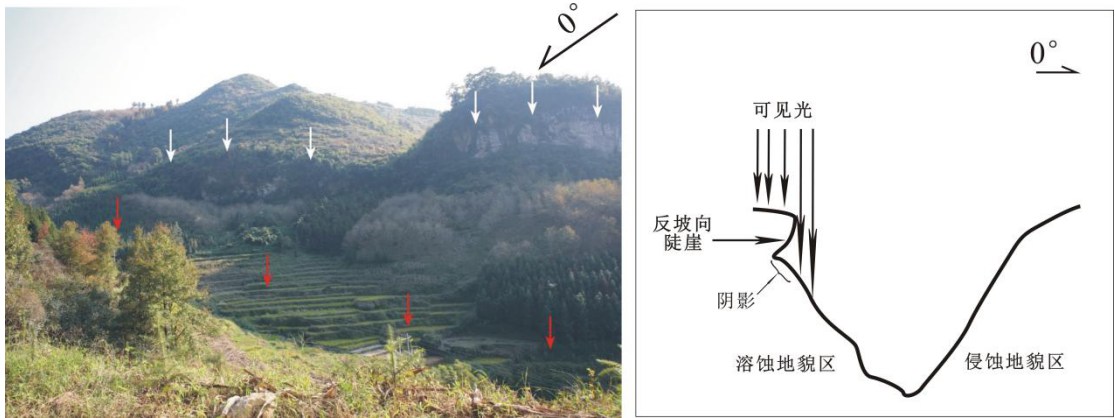
为了查明该陡崖的构造成因,在野外开展了地质调查。在陡崖往东的延长线上(图2中标注为“隆内”的点),发现了一处断层露头。该露头的破碎带宽5 m,可见2条断层。断面倾向南,倾角陡,产状195°∠75°的断层为正断性质,破碎带宽约1 m。产状215°∠85°的断面,上有擦痕,擦痕指示断层为左旋走滑性质。断面上部有一构造透镜体,其大小为2 m×0.5 m。该露头说明了两种地质现象,一是正断层的倾向与反坡向陡崖L1的倾向一致。二是该露头是走滑断层与正断层的交汇部位,且在该点左旋走滑断层F1经过该点后往南东延伸,如图1B中所示。从露头的倾向转换为走向后可以发现,两条断层的夹角为17°~20°。



上图为DTM影像,下图为河流纵剖面,C点在上图范围以外

图4 河流纵剖面及河流裂点(段)位置图

Fig.4 River longitudinal profile and location of river knick points (segments)



左图中的红色箭头示断层谷地,白色箭头示反坡向陡崖

图5 隆内一带的断层谷地(左图)及线性条带的成因(右图)

Fig.5 Fault valley in the Longnei area (left) and the origin of linear belt (right)

4.2 河流裂点附近的地貌与构造特征

地质调查表明在天奕采石场附近分别发现了两处断层露头(图4C、4D)。这两处断层露头为倾

向北东或北北东的正断层(图7)。而这两处正断层一处位于图4河流纵剖面的上游裂点A附近,一处位于河流纵剖面的下游裂点B附近。

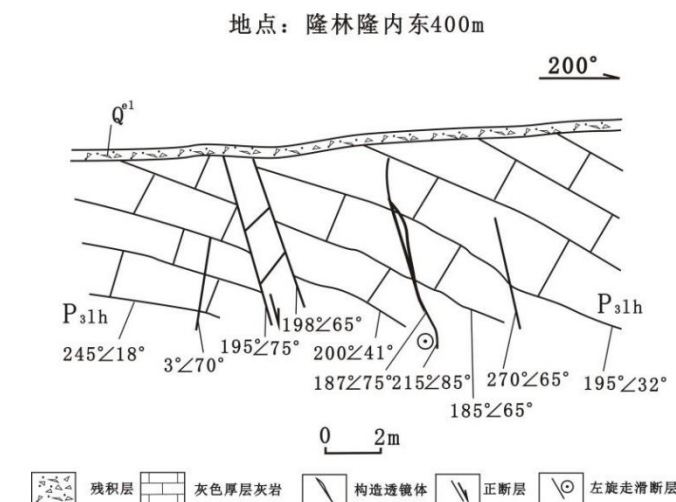
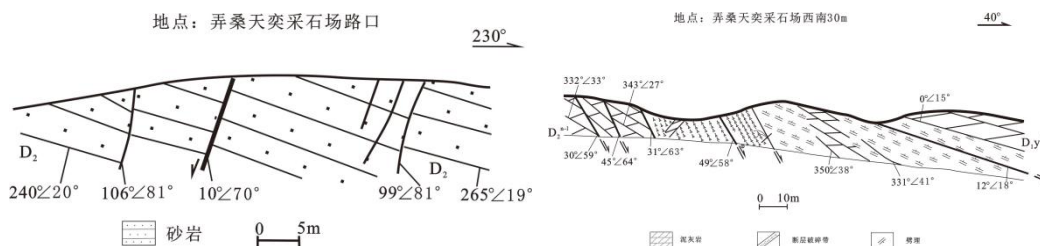


Fig.6 Geological section at the intersection of normal fault and left-lateral strike-slip fault near Longnei village



左图为图4中的C部位,右图为图4中的D部位

图7 天奕采石场附近的两处正断层剖面

Fig.7 Sections of two normal faults near Tianyi Quarry

5 讨论

上述的地质地貌特征显示,线性影像带L1走向北西西,沿L1的三处露头显示,L1受正断层控制。为方便讨论,称通过L1的正断层为弄桑—隆内断层。而F1大古城断层走向北西,前期工作^[12]与本次工作显示,F1大古城断层为左旋走滑性质。弄桑—隆内断层与大古城断层两者夹角约 $17^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。对照一个左旋走滑断层控制的里德尔剪切模型^[35](图8)和图1可知,图1中的右江断裂带百色以西段旧州—泽屯段左旋走滑断层相当于主剪切Y;沿L1发育的弄桑—隆内断层为一条正断层,对应于图8中近东西向的T破裂;F1大古城断层为左旋走滑性质的断层,与图8中北西向的R破裂相对应。而弄桑—隆内断层与大古城断层的夹角,略

小于图8中T破裂与R破裂的夹角。因此认为,控制L1的正断层弄桑—隆内断层和控制水系同步左旋拐弯的大古城断层是处于一条左旋走滑断层(右江断裂带旧州—泽屯段)控制的剪切体系中的两种不同形式的破裂。

那么,该剪切系统的活动年代是什么?从构造应力场方面入手,上述里德尔剪切体系活动需要在近东西向的主压应力场中才能获得最合理的解释。游象照通过卫星影像判读和地质分析后认为,广西新构造应力场主压应力方向为东西向或近东西向^[9,36]。即该剪切系统应该在新构造期间有活动表现。进一步从L1出露的地貌部位观察,其海拔高于F1大古城断层,但又影响了河流纵剖面,说明该断层的活动时间较长。从主剪切Y旧州—泽屯段断层的活动时间段可知,该断层形成于印支运动,早期为右旋剪切性质,喜马拉雅期再次强

烈活动,并表现为左旋剪切活动^[2]。即,该左旋走滑的里德尔剪切系统至少在喜马拉雅期期间的晚新生代是有过长时间的活动表现。主剪切Y旧州—泽屯段断层最新的活动年代为晚更新世^[4],本次活动是否波及到整个剪切系统,仍需进一步研究。

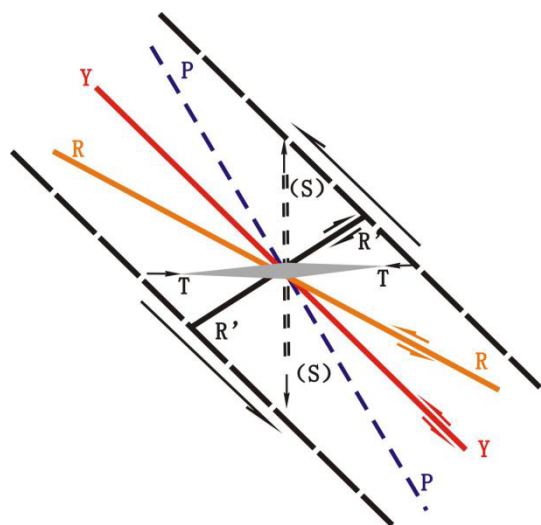


图8 左旋走滑断层的里德尔剪切模型(据文献[35]修改)

Fig.8 Ridel shear model of left-lateral strike-slip fault
(modified from reference [35])

6 结论

为了探讨隆林南部线性影像带的成因,分析其与右江断裂带百色以西段是否存在构造联系,本次工作借助卫星遥感数据、无人机倾斜摄影测量技术,结合地面地貌与地质调查工作,获得了如下认识:

(1)在哨兵2影像中获得了一条清晰的北西向线性影像带,该带出现在弄桑至隆内之间,长度达5 km,较之前解译出的长度为3 km增加了2 km。

(2)无人机倾斜摄影提供的数据经处理后获得了线性影像带西端河流拐弯点附近的河流纵剖面。纵剖面中出现了裂点河段,其落差达78 m左右。

(3)地貌调查显示,该线性影像带为一条倾向南的反坡向陡崖带。地质调查显示,沿线性影像带有三处正断层露头,即该线性影像带受正断层(弄桑—隆内断层)控制。在影像带东部的反坡向陡崖段,该正断层倾向南南西。在影响带西部河流裂点段,断面倾向北北东或北东。

(4)控制线性影像带的正断层(弄桑—隆内断层)与控制断层的谷地的左旋走滑断层(大古城断层)服从于一个北西向左旋走滑断层(右江断裂带

百色以西段旧州—泽屯段)的里德尔剪切系统控制。其中,控制线性影像带的正断层(弄桑—隆内断层)属于T破裂,控制水系同步拐弯的左旋走滑断层(大古城断层)属于R剪切破裂,右江断裂带旧州—泽屯段断层属于Y主剪切破裂。该里德尔剪切系统至少在喜马拉雅期有过长时间的活动表现。

参考文献

- [1] 广西壮族自治区地矿局遥感地质站. 广西遥感图象解译地质构造图(1:50万)说明书[R]. 南宁:广西壮族自治区地矿局,1984.
- [2] 广西壮族自治区地矿局. 广西壮族自治区地质志[M]. 北京:地质出版社,1984.
- [3] 广西壮族自治区地方志编纂委员会. 广西通志·地震志[M]. 南宁:广西人民出版社,1990.
- [4] 宋方敏,李传友,陈献程,等. 右江断裂带晚更新世活动的若干地质地貌证据及位移速率[J]. 地震地质,2004,26(4):611-621.
- [5] 邓起东,冉永康,杨晓平,等. 中国活动构造图(1:4 000 000)[M]. 北京:地震出版社,2007.
- [6] 中国地质科学院矿床地质研究所. 中国陆地线性构造图(据卫星影像解译)1:6 000 000[M]. 北京:地图出版社,1981.
- [7] 刘以宣. 华南沿海区域断裂构造分析[M]. 北京:地震出版社,1981.
- [8] 刘以宣. 华南沿海的活动断裂[J]. 海洋地质与第四纪地质,1985,5(3):11-21.
- [9] 游象照,秦火保. 从卫星影像看广西北西向断裂特征及其与地震的关系[C]//国家地震局地质研究所. 遥感地震地质文集. 北京:地震出版社,1985.
- [10] 刘锡大,侯建军,游象照. 右江断裂带的新构造活动[J]. 地震研究,1987,10(2):175-183.
- [11] 张沛全,左天惠,王林,等. 右江断裂带央落小段的断层眉脊带探讨[J]. 华南地震,2016,36(4):65-70.
- [12] 张沛全,左天惠. 右江断裂带百色以西段北支棒蚌—旧州段小段第四纪活动特征研究进展[R]. 北京:中国地球物理学会,2019.
- [13] 朱亮璞. 遥感地质学[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [14] 胡庭辉,谢广林,李志良,等. 线性构造图像信息空间滤波的综合处理方案[J]. 测绘学报,1987,16(4):297-305.
- [15] 张文佑. 断块构造导论[M]. 北京:石油工业出版社,1984.
- [16] 魏永明,李剑南,陈玉,等. 不同类型发震断层的同震地表破裂光学遥感特征研究[J]. 第四纪研究,2021,41(06):1513-1531.
- [17] 王今飞. 遥感卫星图像中线性地质特征的自动提取[J]. 第四纪研究,2000,20(3):252-258.

- [18] 陈述彭. 星遥感信息与华北平原第四纪环境变迁研究[J]. 第四纪研究, 1990, 10(1): 51-63.
- [19] 姚生海, 盖海龙, 刘伟, 等. 柴达木盆地北缘断裂(阿木尼克山段)构造地貌及晚第四纪活动速率研究[J]. 第四纪研究, 2020, 40(5): 1312-1322.
- [20] 叶梦旒, 张绪教, 叶培盛, 等. SPOT-6与无人机航测技术在第四纪地质及活动构造填图中的应用——以内蒙古1:50 000呼勒斯太苏木等四幅填图试点为例[J]. 地质力学学报, 2016, 22(2): 366-378.
- [21] 李辉, 余忠迪, 蔡晓斌, 等. 基于无人机遥感的河流阶地提取[J]. 地球科学, 2017, 42(5): 734-742.
- [22] 孙稳, 何宏林, 魏占玉, 等. 基于无人机航测获取高分辨率DEM数据的断层几何结构精细解译与分析——以海原断裂唐家坡为例[J]. 地震地质, 2019, 41(6): 1350-1365.
- [23] 贺礼家, 冯光财, 冯志雄, 等. 哨兵-2号光学影像地表形变监测: 以2016年 M_w 7.8新西兰凯库拉地震为例[J]. 测绘学报, 2019, 48(3): 339-351.
- [24] 刘计洪, 胡俊, 李志伟, 等. 融合哨兵1号和ALOS-2数据的2021年青海玛多地震高精度三维同震形变场研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(5): 882-892.
- [25] 张祖勋, 张剑清, 编著. 数字摄影测量学(第二版)[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2012.
- [26] 国家测绘地理信息局. 数字航空摄影测量控制测量规范: CH/T 3006-2011 [S]. 北京: 测绘出版社, 2012.
- [27] 国家测绘地理信息局. 三维地理信息模型生产规范: CH/Z 9016-2012 [S]. 北京: 测绘出版社, 2012.
- [28] 国家测绘局. 低空数字摄影测量内业规范: CH/Z 3003-2010 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [29] 国家测绘局. 低空数字摄影测量外业规范: CH/Z 3004-2010 [S]. 北京: 测绘出版社, 2010.
- [30] Keller E A, Pinter N. Active tectonics: earthquake, uplift and landscape[M]. New York: Prentice-Hall, 1996: 121-147.
- [31] Kirby E, Whipple K X, Tang W, et al. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles[J/OL]. J Geophys Res, 2003, 108(B4): 2217[2024-04-10]. https://www.researchgate.net/publication/215614423_Distribution_of_active_rock_uplift_along_the_eastern_margin_of_the_Tibetan_Plateau_Inferences_from_bedrock_channel_longitudinal_profiles.
- [32] 张会平, 张培震, 吴庆龙, 等. 循化—贵德地区黄河水系河流纵剖面形态特征及其构造意义[J]. 第四纪研究, 2008, 28(2): 299-309.
- [33] 王一舟, 张会平, 郑德文, 等. 稳态河道高程剖面分析的新方法——积分法[J]. 地震地质, 2017, 39(6): 1111-1126.
- [34] 蔡小超, 唐红涛. 运用倾斜摄影测量技术精细提取新疆皮山县地质构造定量参数[J]. 地震研究, 2022, 45(3): 468-478.
- [35] Lin A, Nishikawa M. Riedel shear structures in the coseismic surface rupture zone produced by the 2001 M_w 7.8 Kunlun earthquake, northern Tibetan Plateau[J]. Journal of Structural Geology, 2011, 33(9): 1302-1311.
- [36] 游象照. 广西地震活动与地震地质特征[J]. 广西地质, 1988, 6(1): 63-73.