DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.03-02

西藏波密茶隆隆巴曲高位地质灾害类型及发育特征

张田田1,殷跃平2,李 滨1,贺 凯3,王 猛4,赵超英5,刘晓杰5

(1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081; 2. 中国地质环境监测院(自然资源部地质 灾害防治技术指导中心),北京 100081; 3. 中国地质调查局,北京 100037; 4. 四川省地质 调查院,四川成都 610081; 5. 长安大学地质工程与测绘学院,陕西西安 710054)

摘要:茶隆隆巴曲位于帕隆藏布右岸,陡变地形孕育了大量高位地质灾害,威胁下游线性工程。采用多源、多期次高分 辨率遥感数据,建立高位地质灾害遥感解译标志,厘定了研究区高位地质灾害类型,并详细阐述了其发育特征。结果表 明,研究区主要地质灾害类型包括高位冰崩、高位崩塌、高位滑坡。其中高位冰崩发育3处,均位于沟谷上游南坡海拔5000m 斜坡,面积在15×10⁴ m²以上。高位崩塌体发育19处,多分布于沟谷中游及上游主沟两侧高陡岸坡,北坡多于南坡。高位 滑坡发育2处,位于沟谷上游,滑体以冰碛物为主。上述高位地质灾害在强震或强降雨作用下,极易发生失稳、堵沟,且 堵沟后极易诱发洪水、泥石流等次生灾害链,对下游帕隆藏布造成堵江风险。

关键词:茶隆隆巴曲;高分辨率遥感;高位地质灾害;灾害链

中图分类号: P694 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2021)03-0009-08

Types and development characteristics of high geological disasters in Chalonglongbaqu gully, Bomi, Tibet

ZHANG Tiantian¹, YIN Yueping², LI Bin¹, HE Kai³, WANG Meng⁴, ZHAO Chaoying⁵, LIU Xiaojie⁵

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. China Institute of Geo-Environment Monitoring (Guide Center of Prevention Technology for Geo-hazards, MNR), Beijing 100081, China; 3. China

Geological Survey, Beijing 100037, China; 4. Sichuan Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China;

5. School of Geological Engineering and Surveying and Mapping, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Chalonglongbaqu gully is located on the right bank of Parlung Zangbo. The steeply changing topography has bred a large number of high-level geological disasters, threatening the downstream linear engineering. Therefore, this paper uses multisource and multi-phase high-resolution remote sensing data to establish remote sensing interpretation signs of high-level geological disasters, determines the types of high-level geological disasters in the study area, and elaborates their development characteristics. The results show that the main types of geological disasters in the study area include high-level ice avalanches, high-level avalanches, and high-level landslides. Among them, there are 3 high-level ice avalanches, all of which are located on a slope with an altitude of 5 000 m above the south slope of the upper reaches of the valley, with an area of more than 15×10^4 m². There are 19 high-level avalanches, which are mostly distributed in the middle reaches of the valley and high and steep bank slopes on both sides of the upper main ditch. The northern slope is more than the southern slope. There are two high-level landslides located in the upper reaches of the valley, and the landslide is dominated by moraines. Under the action of strong earthquakes or heavy rainfall, the above-mentioned high-level geological disasters are prone to instability and blockage of ditch.

收稿日期: 2021-05-05; 修订日期: 2021-05-10

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20211540)

第一作者: 张田田(1995-), 男, 博士研究生, 主要从事地质灾害防治研究工作。E-mail: 1297385717@qq.com

通讯作者: 殷跃平(1960-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事地质灾害防治技术研究工作。E-mail: yyueping@mail.cgs.gov.cn

After blocking the ditch, it is easy to induce secondary disaster chains such as floods and mudslides, which will cause the risk of blocking the river downstream of Parlung Zangbo.

Keywords: Chalonglongbaqu gully; high-resolution remote sensing; high-level geological disasters; disaster chain

0 引言

帕隆藏布位于印度板块与欧亚板块的碰撞、挤压 地带,属于雅鲁藏布江一级支流。强烈的构造活动导致 该地区海拔高低悬殊,山高动辄上千米甚至几千米。此 外,该地区地震活动频繁,加之近年来全球气温上升趋 势明显,冰川融化速率加剧,使得该地区高位地质灾害 频发。这些高位地质灾害常常诱发一连串次生地质灾 害,形成灾害链。尤其是在高山峡谷地区,植被茂密、 降雨充沛、强震频发、地形陡变,其地质灾害具有隐蔽 性强、规模巨大、突发性高、成灾范围广等特点。崩滑 体自高位剪出后,碰撞解体后迅速转换为碎屑流,沿沟 谷快速向下游运动,形成堵江-溃坝洪水灾害链。如 2000年西藏易贡扎木弄沟发生大规模山体滑坡,滑体 体积 2.8×10⁸ ~ 3.0×10⁸ m³, 滑程约 8 km, 截断了易贡藏 布河,形成巨型堰塞湖[1-2]。2005年7月西藏波密古乡 发生高位滑塌,滑坡体在下滑过程中不断分解,在冰川 融水作用下,形成大型冰川泥石流灾害[3]。

传统地面地质调查手段在高山峡谷区调查难度 大、存在工作盲区。而遥感作为获取地表及地物信息 的一种重要手段,具有实时、快速、准确、经济等特点, 在地质灾害调查中扮演着重要角色,尤其是在大尺度的 地质灾害调查与监测中,遥感成为最有效的方法和技术 手段之一^[4-13]。特别是震后地区地质灾害调查,地震导 致道路毁坏,人工调查相当困难。王猛等^[14]采用多源遥 感数据,有效查明了汶川县地震地质灾害体的位置、类 型、规模等形态特征。梁京涛等^[15]基于多期无人机遥 感影像,分析了文家沟震后6次泥石流灾害运动过程, 确定了物源分布位置、面积及堆积特征等。为更好地 进行高位地质灾害的早期识别及风险评估,本文以茶隆 隆巴曲为研究区,探索了遥感技术在高山峡谷地区地质 灾害识别、类型、发育特征等方面的有效性,并深入剖 析了灾害发育特征,以期为开展此类地质灾害风险评估 提供地质依据。

1 地质条件

研究区地处一级构造单元岗底斯-喜马拉雅造山 系,东构造结北缘,构造活动十分强烈。受板块挤压活 动,区内地面发生强烈隆升,发育一系列北西向断裂。 其中嘉黎断裂带横穿研究区,断裂走向 NW 60°—70°, 倾向不定,是影响研究区斜坡稳定性的一条重要活动断 裂带。断裂长期活动造成近断裂带附近岩体结构面十 分发育,岩体破碎,不利于斜坡稳定。从流域水系分布 来看(图 1), 流域呈树枝状, 主沟沟长 10.38 km, 与帕隆 藏布的交汇口海拔为 2 225 m, 流域内最高点海拔 5 826 m, 最大高差达到 3 601 m, 平均坡度可达 34.7°, 陡 坡主要位于主沟、冲沟两侧。另外,主沟上游与下游横 剖面形态特征不一,上游段呈"U"型、下游段呈"V" 型。"U"型河谷一般为冰川运动所成,为上部物质堆积 提供了有利空间。而"V"型谷往往由河流下切而成,这 种形态有利于形成强劲的水动力条件。研究区出露元 古界、石炭系地层以及第四系松散堆积层(图1)。



图 1 研究区三维遥感地形 (左)及地层岩性分布图 (右)

Fig. 1 Three-dimensional remote sensing topography (left) and stratum lithology distribution map (right) of the study area

图 2 为茶隆隆巴曲工程地质剖面图,流域上游坡度 整体在 40°以上,为冰雪覆盖区,岩性为诺错组大理岩、 灰岩,夹少量变砂岩、板岩、凝灰岩,地表径流作用强, 易形成强水动力条件。高位崩滑形成大量冰碛物堆积 于斜坡之上,易引发二次滑动。中下游整体坡度在 20°以下,可见念青唐古拉岩群地层,岩性以英云闪长岩 为主,岩体表面风化强烈。该段坡度小,有利于两岸岸 坡崩滑体碎屑、剥蚀等松散物质堆积以及降雨、冰川融 水聚集,为泥石流物源提供了良好的储藏及运移通道。 综上可得,研究区地形陡变、构造活动强烈,具备良好 的孕灾地质条件。



2 研究数据与方法

2.1 数据源

由于研究区海拔高程大、植被发育、发生地点偏远 且难以接近,人工地面调查对灾害的识别难度大。而借 助高分辨率遥感影像,能够快速、准确的进行灾害识 别。本文收集了研究区 2013—2020 年 7 年间资源三 号、高分一号、Google 地球、无人机影像等多源遥感数 据,数据分辨率有中低分辨率 8 m,也包括中高分辨率 2.0 m、0.2 m(图 3)。遥感数据主要用于:①研究区高位 地质灾害精细化解译;②研究区高位地质灾害光学遥感 特征分析(表 1)。

2.2 高位地质灾害解译标志

不同地质灾害体形态特征、阴影、纹理、色调等方 面在遥感影像上表现不一。根据野外地质调查,建立不 同灾害类型遥感解译标志,其解译标志如下所述。

(1)高位冰崩:①由于不稳定冰体运动,表面形成多组横向裂隙、测裂隙、纵裂隙,影像上呈暗色纹理状。②形态上,不稳定冰体呈舌状、长条状等特点,多位于冰川末端。

(2)高位崩塌:①在形态上表现为舌形、扇形、长条 形等形态;②危岩体位于陡峻的山坡地段,其纵断面形 态上陡下缓,影像上颜色呈亮灰色、棕灰色,形态呈条带状,基本无植被;③危岩体有时可见到张节理形成的 裂缝或基岩整体破碎;④崩塌堆积体特征显著,一般堆 积在谷底或斜坡平缓地段,表面坎坷不平,影像具粗糙 感,局部零星分布少量灌木。

(3)高位滑坡:①岩质滑坡遥感影像上呈簸箕形、 舌形、不规则形等形态,色调较浅,具有明显的色调和 纹理异常;②滑坡壁等滑坡要素清晰可见,地势陡峭的 滑坡壁常表现为弯曲的弧形影像,滑坡堆积体堵塞河道 形成有堰塞湖;③冰碛物形成的土质滑坡周界表现为圆 滑的凸弧形、马蹄形,滑坡前缘溜滑现象明显,具有平 行于滑动方向的带状、斑点状纹理,滑坡体后缘可见横 向拉裂缝。

3 高位地质灾害类型及发育特征

根据高分辨率遥感解译结果,研究区共发育高位地 质灾害 24 处。其中高位冰崩 3 处,分布于主沟南侧海 拔 5 000 m 以上极高山地区。高位崩塌 19 处,多数位 于主沟北侧,少数沿上游主沟左岸高陡斜坡处分布。高 位滑坡 2 处,分布于上游宽谷岸坡。

(1)高位冰崩

研究区最小冰川面积约 18.5×10⁴ m², 最大冰川面积



图 3 研究区高位地质灾害分布图 Fig. 3 Distribution map of high-level geological disasters in the study area

表 1 研究区光学遥感数据一览表 Table 1 Summary of optical remote sensing data in the study area

序号	日期	数据来源	分辨率	备注
1	2 013-10-11	资源三号卫星	全色2.1 m,多光谱5.8 m	
2	2 015-07-25	高分一号	全色2 m, 多光谱8 m	
3	2 016-12-22	资源三号卫星	全色2.1 m,多光谱5.8 m	
4	2 019-11-07	高分一号	全色2 m, 多光谱8 m	
5	_	Google地球	2.0 m	融合数据
6	2 020-08-18	无人机航空 正射影像	0.5 m	沟道中下部
7	2 020-08-18	无人机航空 倾斜影像	0.5 m	沟道中下部

约 72.0×10⁴ m², 总面积达 1.11×10⁶ m²。冰川前缘高程在 3 600~4 500 m, 后缘高程在 4 800~5 200 m, 高差约 400~1 500 m, 后缘距离沟口约 2 600~3 000 m(表 2)。 其中, BC01 冰崩堆积体面积约 0.72 km², 距离沟底的最 大高程落差达 2 km, 积雪较多。从高分辨率遥感影像 上来看, 表面横向裂缝发育, 影像上呈黑色条线状(图 4)。

表 2 高位冰崩发育特征 Table 2 Development characteristics of high ice avalanche

		1		8		
编号	位置	前缘高程/m	后缘高程/m	前后缘高差/m	落差/m	面积/m ²
BC01	南坡	3 692	5 208	1 516	2 983	719 633
BC02	南坡	4 490	4 973	483	2 748	204 033
BC03	南坡	4 471	4 878	407	2 653	185 347

这些横向裂隙的发育将冰川切割成多个局部连通的块体,部分块体在重力等作用下已发生崩落。但在极端工况下,该冰崩堆积体可出现冰崩,对下游将造成严重威胁。

BC02 冰崩堆积体位于 BC01 冰雪堆积体附近,其 表面特征与上述 BC01 冰崩堆积体类似,可见拉裂缝条 纹。对比冬季和夏季的影像数据,发现该处由于地处阴 面坡的沟谷,受冰川冻融作用较小,坡体变形以下部变 形后牵引上部冰川产生拉裂为主(图 5)。侧部边缘裂 缝也出现局部的闭合趋势,整体处于欠稳定状态,极端 条件下可出现冰岩崩现象。

BC03 冰崩堆积体距离沟口较远,长期有积雪覆盖, 积雪表面可见明显的横向裂隙。图 6 展示了该处 10 月 的影像,从中可以看出周边岩体上的积雪已经消融,故 推断该处沟谷较深且积雪量相对较大。但考虑到该堆 积体位于沟谷深处,距离沟口较远,整体影响有限。

基于升轨 ALOS/PALSAR-2 及降轨 Sentinel-1 数据,利用 Stacking-InSAR 技术获取了冰崩区年均地表形 变速率,其中升轨 ALOS/PALSAR-2 数据获取时间为 2016 年 7 月—2019 年 5 月,结果如图 7(a)所示。降轨 Sentinel-1 数据获取时间为 2017 年 3 月至 2020 年 7 月,结果如图 7(b)所示。从图 7 可以看出以上三处冰崩区 区域坡顶由于冰雪覆盖等因素造成地表失相干现象, InSAR 未能获得有效监测点,冰崩体中部存在明显形 变,最大 LOS 向年均形变速率分别达到-40 mm/a 和



图 4 BC01 冰崩堆积体多期光学遥感解译

Fig. 4 Multi-phase optical remote sensing interpretation of BC01 ice avalanche deposits



图 5 BC02 冰崩体多期遥感影像

Fig. 5 Multi-phase remote sensing image of BC02 ice avalanche



Fig. 6 Multi-phase remote sensing image of BC03 ice avalanche

-60 mm/a, 表明该冰崩体部分区域存在变形。

(2)高位崩塌

沟谷中游、上游发育大量高位崩塌体灾害。从崩 塌体规模、数量上来看,北岸岸坡远远超多南坡。而造

成南北岸坡灾害发育不一的原因可能是北坡处于阳面, 冰雪冻融作用强,岩体力学性质劣化速率大于南坡,故 造成北坡崩塌危岩体较南坡发育。其中 B002、B003、 B004 高位崩塌位于南坡,坡向朝北,距离沟底落差多在 1000~1500 m,势能大、坡度陡,表面常年积雪覆盖 (表3)。从规模上来看,该三处高位崩塌体体积大,临 空条件好,少量植被发育或无植被,表面可见一条或多 条支沟发育。局部岩体出露良好,结构面发育,沟内碎 石堆积(图 8)。极端条件下,发生岩崩和雪崩可能性 大,易对主沟形成堵塞,其物质为泥石流提供物源,对下 方沟谷造成威胁。

B009、B011、B016 高位崩塌位于沟谷中游及上游, 距离沟底落差在880~1100 m,均位于北部岸坡(表3)。 其中 B009、B011 岩体出露良好, 植被不发育, 左侧发 育1~2条冲沟,且坡陡、落差大,为崩塌体灾害的孕育 提供了良好的临空条件。从影像上来看,岩体表面可见

· 13 ·





Fig. 7 InSAR deformation rate diagram in the ice avalanche zone

表 5 研究区典型局位朋项友育符(

Table 3 Development characteristics of typical high-level avalanches in the study area

编号	位置	崩源区面积/m ²	崩塌堆积区面积/m²	总体积/m ³	落差/m
B002	南坡	88 912	63 029	1.50×10 ⁶	1 000
B003	南坡	55 894	56 498	10.8×10^{4}	1 400
B004	南坡	122 602	56 498	2.15×10^{6}	1 500
B009	北坡	284 287	83 414	4.04×10^{6}	1 000
B011	北坡	158 946	397 191	5.14×10 ⁶	880
B016	北坡	53 017	17 352	0.35×10 ⁶	1 100





多组结构面发育,这些结构面与坡面耦合形成多个易滑 结构体,在外动力作用下下,进一步演化成危岩体(图 9)。 B016高位崩塌位于南坡上游近山顶处,高程接近 5000 m,其下部发育一条冲沟,具有良好的临空条件。 从夏季遥感影像可知,岩体表面无植被覆盖,右侧边缘 痕迹明显,疑似崩塌侧壁,而下半部分岩体可见沿坡向 发育密集分节理(图 9)。另外,北坡位于阳面,冻融作 用强、岩体力学性质劣化速率快,极端工况下 B016 危 岩体崩落可能诱发 BC03 冰崩、雪崩等次生地质灾害。

(3)高位滑坡

高位冰碛物滑动主要指堆积于冰川谷中上部相对

宽缓部位的冰碛物失稳后向下滑动的这一地质现象,发 育高程多超过4000m,与河谷高差一般大于500m(图2)。 其中 HP1 滑坡面积约0.36 km²,植被覆盖较周围稀疏。 这些冰碛物易在地震、降雨等因素作用下失稳滑动,也 易受上部其他高位地质灾害所激发转化成为泥石流地 质灾害链(图3)。部分冰川谷中的冰碛物体积巨大,一 旦从高位滑落,威胁范围广泛且存在一定的堵江风险。

4 结论

(1)茶隆隆巴曲地势险要,难以现场进行地质灾害 调查与验证。而多期遥感影像在高山地区地质灾害调



图 9 B009、B011、B016 高位崩塌危岩体影像图 Fig. 9 Image of dangerous rock masses of B009, B011, and B016 high-level collapse

查过程中发挥重要作用,通过建立的高位地质灾害解译标志,研究区共解译了高位地质灾害共计24处,其类型包括高位冰崩、高位崩塌、高位滑坡。其中高位冰崩发育3处,均分布于海拔5000m以上斜坡。高位崩塌发育19处,主要分布于主沟中游及上游。高位滑坡2处,分布于海拔4000m以上的斜坡,与河谷高差一般大于500m。

(2)高位冰崩堆积体在高清遥感影像上可见一系列 横向裂缝发育,横向裂缝将冰川体切割成多个局部连通 的块体。冰裂缝主要是由于冰川长期在季节性冻融条 件下发生不均匀变形引起的,夏季变形大,冬季变形 小。整体上,研究区高位冰崩堆积体处于稳定状态,且 距离沟口远,受地形和植被的拦挡作用,运动距离有限, 对下游沟口影响较小。

(3)高位崩塌在南、北两岸岸坡发育规模不一,北 坡整体大于南坡。其中北坡发育3处大型崩塌体,且坡 面高陡、临空条件好,失稳风险概率大。鉴于距离沟口 位置较远,对下游影响有限。而高位滑坡由于体积大, 失稳破坏后极易形成堵沟。整体而言,研究区高位地质 灾害对沟口产生的直接影响有限,但堵沟形成的次生灾 害链威胁下游干流,存在一定堵江风险。

参考文献(References):

- [1] 殷跃平.西藏波密易贡高速巨型滑坡概况[J].中国地质灾害与防治学报,2000,11(2):1. [YIN Yueping. Overview of giant landslides on the Bomi-Yigong Expressway in Tibet [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2000, 11(2):1. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 殷跃平.西藏波密易贡高速巨型滑坡特征及减灾研究[J].水文地质工程地质,2000,27(4):8-11.[YIN Yueping. Research on the characteristics and disaster mitigation

of giant landslides on the Bomi-Yigong Expressway in Tibet [J].Hydrogeology&EngineeringGeology, 2000, 27(4): 8-11. (in Chinese with English abstract)]

- [3] 鲁安新,邓晓峰,赵尚学,等. 2005年西藏波密古乡沟泥石流暴发成因分析[J].冰川冻土, 2006, 28(6): 956-960.
 [LU Anxin, DENG Xiaofeng, ZHAO Shangxue, et al. Analysis of the causes of the debris flow outbreak in the Guxiang Gully, Bomi, Tibet in 2005[J]. Glaciology and Geocryology, 2006, 28(6): 956-960. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 陶明刚. Landsat-TM遥感影像岸线变迁解译研究——以九龙江河口地区为例[J].水文地质工程地质,2006,33(1):107-110. [TAO Minggang. Research on interpretation of shoreline changes of Landsat-TM remote sensing image: Taking Jiulong River Estuary as an example [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 33(1):107-110. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 薛东剑,张东辉,何政伟.多源遥感影像融合技术在地质灾害调查中的应用[J].遥感技术与应用,2011,26(5):664-669. [XUE Dongjian, ZHANG Donghui, HE Zhengwei. Application of multi-source remote sensing image fusion technology in geological disaster investigation [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(5): 664-669. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 方成,孙晓明,康慧,等.遥感技术在曹妃甸海岸带地质环境调查中的应用[J].水文地质工程地质,2015,42(3):119-127. [FANG Cheng, SUN Xiaoming, KANG Hui, et al. Application of remote sensing technology in the geological environment investigation of Caofeidian coastal zone [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015,42(3):119-127. (in Chinese with English abstract)]
- [7] LAUKNES T R, PIYUSH S A, DEHLS J F, et al. Detailedrockslidemapping in northern norway with small baseline and persistent scatterer interferometric SAR time series methods [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 2097 – 2109.

- [8] FRANCESCA B, IVAN C, PAOLO M, et al. Displacement patterns of a landslide affected by human activities: Insightsfromground-based InSAR monitoring [J]. Natural Hazards, 2011, 59: 1377 – 1396.
- [9] HU X, WANG T, PIERSON T C, et al. Detecting seasonal landslide movement within the cascade landslide complex(Washington) using time-series SAR imagery [J]. RemoteSensing of Environment, 2016, 187: 49-61.
- [10] 孙家抦.遥感原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,
 2003. [SUN Jiabing. Principle and application of remote sensing [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. (in Chinese)]
- [11] 刘佳,赵海军,马凤山,等.基于改进变异系数法的G109拉萨—那曲段泥石流危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(4):63-70. [LIU Jia, ZHAO Haijun, MA Fengshan, et al. Risk assessment of G109 Lhasa-Naqu Debris flow based on improved coefficient of variation [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(4):63-70. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 王立朝,温铭生,冯振,等.中国西藏金沙江白格滑坡灾害研究[J].中国地质灾害与防治学报,2019,30(1): 1-9. [WANG Lichao, WEN Mingsheng, FENG Zhen, et al. esearches on the baige landslide at Jinshajiang river, Tibet, China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard

and Control, 2019, 30(1): 1–9. (in Chinese with English abstract)]

- [13] 杨军杰,张志,王旭,等.汶川县地震次生山地地质灾害 遥感调查[J].山地学报,2008,26(6):755-760.
 [YANG Junjie, ZHANG Zhi, WANG Xu, et al. Remote sensing survey of secondary mountain geological disasters in Wenchuan County [J]. Journal of Mountain Research, 2008, 26(6):755-760. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 王猛,王军,江煜,等.汶川地震地质灾害遥感调查与空间特征分析[J].地球信息科学学报,2010,12(4): 480-486. [WANG Meng, WANG Jun, JIANG Yu, et al. Wenchuan Earthquake Geological Disaster Remote Sensing Investigation and Spatial Feature Analysis [J]. Journal of Geo-Information Science, 2010, 12(4): 480-486. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 梁京涛,成余粮,王军,等.基于无人机遥感技术的汶川 震区典型高位泥石流动态监测——以绵竹文家沟泥石 流为例[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(3): 54-61.[LIANG Jingtao, CHENG Yuliang, WANG Jun, et al. Dynamic monitoring of typical high-level debris flow in Wenchuan earthquake area based on UAV remote sensing technology: taking Wenjiagou debris flow in Mianzhu as an example [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3): 54-61. (in Chinese with English abstract)]