

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2024.06.027

松坪沟活断层对地质灾害的影响

满侨侨, 赵其华

(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059)

摘要: 松坪沟流域地质构造复杂且发育断层, 地质灾害频发, 为研究松坪沟断层对地质灾害的影响, 通过野外勘察、物探等方式对松坪沟主沟发育的松坪沟断层进行厘定, 同时对该区地质灾害进行详细勘察分析。结果表明: 松坪沟断层破裂带整体走向为北偏西, 沿着松坪沟主沟发育, 起始于茂县较场弧形构造带及其西侧, 分为三段斜列式展布。地质灾害沿着断层的两侧呈带状分布, 距离断层越近, 地质灾害越发育且规模越大, 断层两头的部分地质灾害发育集中。地质灾害发育的坡向与断层走向呈斜交, 表明受到了断层长期活动的影响; 地质灾害发育规模从断层南东段向北西段依次逐渐减少, 进一步说明断层活动性依次减弱。

关键词: 松坪沟断层; 活断层; 地质灾害; 发育分布影响

中图分类号: P642; P694

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2024)06-0189-07

Impacts of the Songpinggou Active Faults on Geological Hazards

MAN Qiaoqiao, ZHAO Qihua

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: In Songpinggou watershed, characterized by its well-developed faults and frequent geological disasters, studies were conducted to investigate the impacts of the Songpinggou fault on these hazards. Field surveys and geophysical exploration methods were utilized to delineate the development of the fault along the main valley of Songpinggou, and detailed investigations of the geological hazards in the area were carried out. As a result, a better understanding of the fault's influence on geological disasters was achieved, which provide a reference for the prevention and control of such hazards in the region. The research results are as follows. The overall trend of the rupture zone of the Songpinggou fault extends northwestward along the main valley of Songpinggou, starting from the arcuate structure zone in Mao County and its western side, and is divided into three segments arranged in a staggered manner. Geological disasters are distributed in a belt-like pattern along both sides of the fault, with a higher frequency and larger scale of disasters occurring closer to the fault, and a concentration of geological hazards at the endpoints of the fault. The development of geological disasters is seen to be oblique to the trend of the fault, indicating a long-term influence from the fault's activity; the scale of geological disaster development gradually decreases from the southeast end to the northwest end of the fault, further suggesting a gradual weakening of the fault's activity.

Keywords: Songpinggou faults; active fault; geological hazard; impact on development and distribution

活断层往往会造成山体的变形开裂, 从而进一步演化成为地质灾害, 对人民生命财产造成损失。目前业内学者普遍认为地质构造与地质灾害的发生

存在十分密切的联系。如许向宁等^[1]对1933年四川茂县叠溪地震高烈度区斜坡变形破坏的典型特点进行了研究, 进一步揭示了浅表生地震地质灾害是

收稿日期: 2024-07-06

修稿日期: 2024-08-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划973项目(2011CB013501); 国家自然科学基金项目(42272333)

作者简介: 满侨侨(1992—), 男, 硕士, 研究方向为地质工程、地质灾害评价。E-mail: 2442438986@qq.com

通讯作者: 赵其华(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事岩石高边坡工程、地质灾害评价与治理设计等方面工作。E-mail: zhqh@163.com

受内生地质作用控制的结果;黄润秋等^[2-4]、许强等^[5]学者在研究汶川地震诱发地震地质灾害,研究认为四川汶川地震造成的地质灾害的空间发育分布明显受断层控制,地质灾害的分布具有明显的断层效应;这些学者均认为地质灾害发育的规模和地质灾害空间发育的位置均主要受到断层的控制作用,地质灾害均沿着断层发育位置呈带状分布。而也有一些学者认为断层对地质灾害的发育演化的过程起着至关重要的作用,如贺小黑^[6]则研究了断层通过坡体的位置不同,滑坡的成灾模式也相应有所不同;杨帆^[7]则研究了活动断裂对地质灾害地裂缝的发育空间展布起到了控制作用。

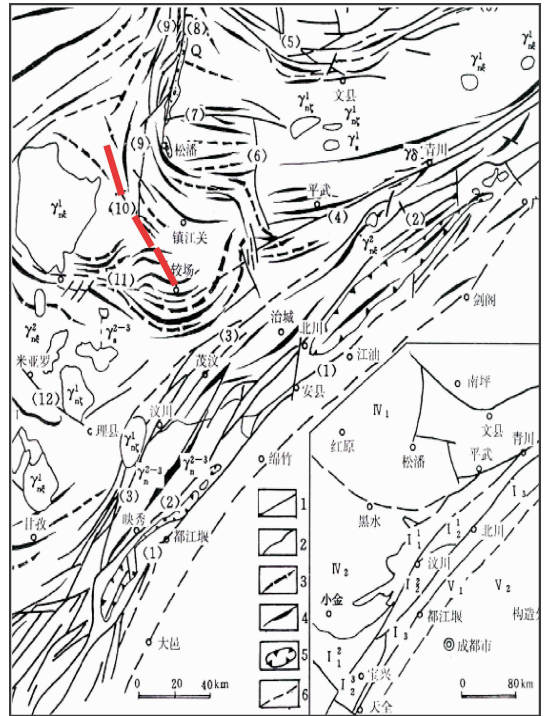
综上,前人研究成果均认为断层控制着地质灾害发育的规模、空间展布,进一步影响着地质灾害发育演化的整个力学过程。本文以茂县松坪沟地质灾害为研究对象,首先通过野外勘察和物理勘探等手段,进一步探究松坪沟断层的具体通过位置以及断层的活动程度,从而进一步揭示松坪沟断层对松坪沟区域地质灾害发育的影响,以期为该区域地质灾害的超前预测以及防治提供一定的参考价值。

1 地质概况

研究区位于我国西南地区的岷江上游茂县松坪沟景区,地处青藏高原东缘的川西北高原与四川盆地接壤的交汇地带,同时也是我国第一级阶地向第二级阶地的过渡地段。该区属邛崃山系中的岷山山脉,研究区内群山连绵不绝,地势险峻,河流深切,沟谷狭窄。地势呈北西高逐渐向南东递减,海拔高 1 200 m~5 600 m。该区位于岷江右侧,自第四系以来强烈的地质活动使得岷江快速下切,该河谷多呈“V”型,水流速较快,河谷断面宽度小,最小仅为数十米左右,两岸岸坡高陡壁立。松坪沟上游沟谷稍宽,岸坡稍缓,下游沟谷狭窄,岸坡陡峻;两岸有大量裸露基岩,上游两岸的岩体多为变质的中三叠统杂谷脑组千枚岩、板岩为主,下游两岸的岩体多为上三叠统的侏倭组硬质变质砂岩为主。而在河床、岸坡坡脚、冲沟地带见第四系的崩坡积物和残坡积物,揭示厚度在 10 m~20 m 不等,河漫滩、阶地均不发育。

其次,从区域地质构造上来看,该研究区位于龙门山造山带和松潘-甘孜褶皱带的交接地带,并位于松潘-甘孜褶皱带的东部边沿。受地质活动的影响,发育了复杂的燕山期与印支期的褶皱变形以及断裂构造破裂带,其最为典型的地质构造为较场弧形构造。此外,新构造时期以来,随着川青块体的强

烈向上抬升作用并同时沿川青板块的边缘产生的走滑运动,在研究区域内主要有发育三组活动断层破碎带,分别为龙门山断层破裂带和岷江断层破裂带以及松坪沟断层破裂带。其中,该研究区主要受到 NW 向的松坪沟断层的控制影响,如图 1 红色标记所示。



1 域主干断裂;2 一般断裂;3 斜向;4 背斜;5 飞来峰;6 推测构造;
(1) 灌县-江油断裂;(2) 映秀-北川断裂;(3) 汶川-茂县断裂;(4) 平武-青川断裂;(5) 塔藏-文县-岸门口断裂;(6) 虎牙断裂;(7) 雪山断裂;(8) 岷江断裂;(9) 牟尼沟-洋洞河断裂;(10) 松坪沟断裂;
(11) 阿坝-黑水-较场弧形构造;(12) 米亚罗-理县断裂;(13) 马尔康-两河口断裂;(14) 武都-成县断裂;(15) 广元-绵竹-大邑隐伏断裂构造单元; I 龙门山巨型推覆断褶带; II 平武-青川(摩天岭构造带)推覆构造带; III 西秦岭地槽褶皱带; VI 松潘-甘孜地槽褶皱带; V 川西前陆盆地

图 1 松坪沟景区及邻区区域构造纲要图

(据四川省地质志,有修改)

2 松坪沟断层的厘定

在前人有关松坪沟断层的研究当中,唐荣昌等^[8]、黄祖智等^[9]认为松坪沟断层发育在较场弧形构造带及其西翼,展布在麦石寨、松坪乡、观音崖一带,大致沿松坪沟断续分布,长度大约 30 km,断层产状在松坪乡以南走向北偏西 52°,倾向南西,倾角 80°;以北为走向北偏西 55°,倾向北东,倾角 65°。王新民^[10]通过卫星遥感得出麦石寨至松坪沟乡之间存在一条走向北西、倾向北东的逆断层;王兰生等^[11-12]也认为叠溪地震的发生与松坪沟断层有着

直接的联系。而钱洪等^[13-14]对松坪沟进行勘查未发现断层痕迹,否定了松坪沟断层的存在。故而松坪沟断层在松坪沟主沟内的具体展布,断层破碎带的宽度、断层的活动性等尚有争议,这需要进一步研究。通过野外地质勘察及物探手段进一步厘定了松坪沟断层在松坪沟内的具体展布情况、断层的破碎带出露情况,并以此标记在图 2 上,红色线段为断层通过的位置。下面将以此将断层划分为 3 段详细阐述断层发育情况。

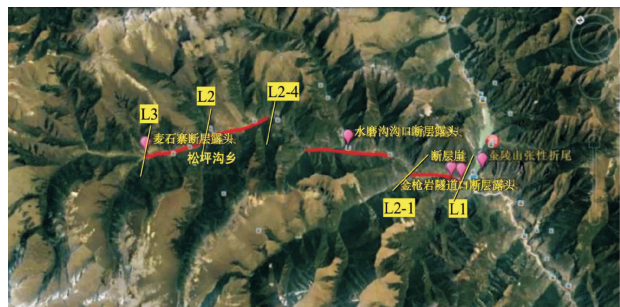


图 2 松坪沟断层平面展布及露头位置图 (红点为露头出露点)

2.1 松坪沟断层北西段

在麦石寨附近的松坪沟左侧位置(如图 1)的一支沟的沟口处可见一断层破碎带的出露点,如图 3。断层破碎带的宽度约为 30 m,坡面上部有植被覆盖,下部有 2 m~3 m 的裸露部分,且在出露点的范围内并未有完整基岩出露,由此可推测实际断层破碎带宽度应该要大于 30 m。其中可以观察到断层破碎带有片理化现象并出现糜棱岩化,在某些局部

位置还形成了岩粉,多处观察到出露的石英脉被错断割裂,可知此处应该明显受到由断层运动产生的强烈挤压。

结合物探资料,如图 4 所示,在桦子林松坪沟乡、麦石寨电阻率断面中均呈现明显的相对极低阻条状带,相对于周围岩体的电阻率其变化梯度很大且低阻带一直延伸下去,宽度大约在 220 m 左右。根据低阻条状带相对两侧围岩电阻率明显偏低,电阻率梯度变化极大,说明此处应为断层破裂带位置,这也证明松坪沟断层北西段从麦石寨向南可延伸至桦子林。结合前人的研究资料,研究认为松坪沟断层北西段自桦子林起,顺松坪沟向北西方向延伸至麦石寨附近,断层长度约 8.5 km 左右,整体走向北偏西,断面倾向北东,倾角 65°。

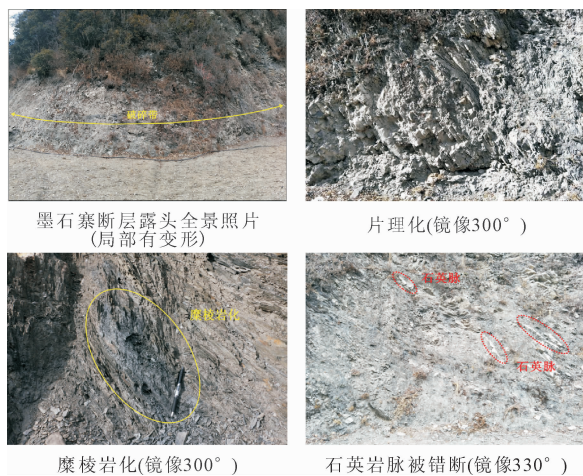


图 3 露头点照片

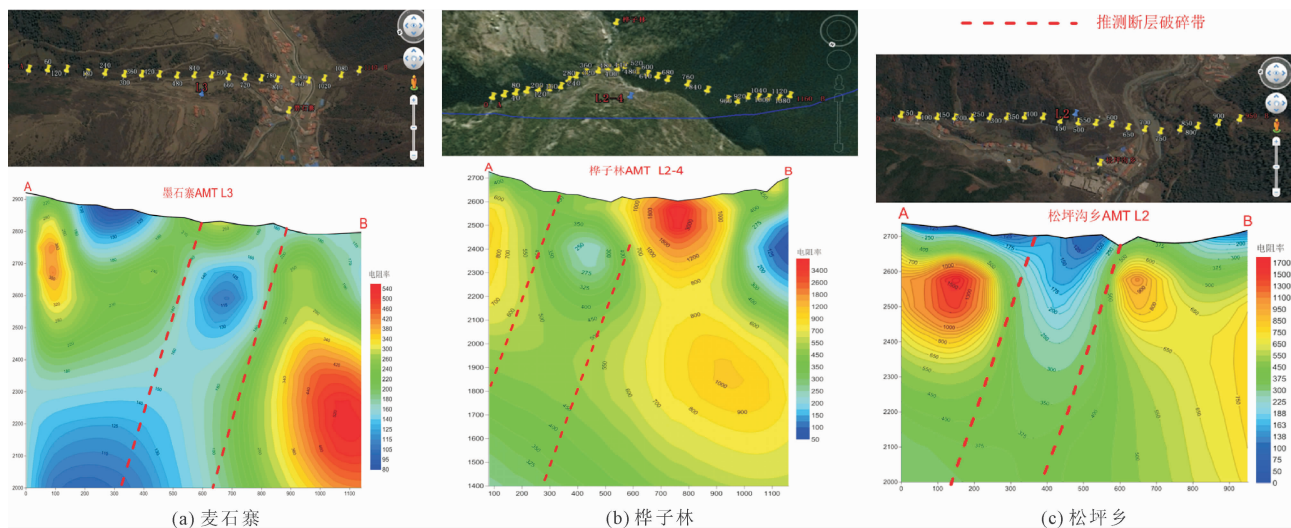


图 4 桦子林、麦石寨、松坪乡电阻率断面图

2.2 松坪沟断层中间段

在松坪沟与水磨沟交汇处,可见一断层露头。该断面产状为北偏西 75° , 倾向南偏西, 倾角 56° , 出露点的断面整体上较为平直, 断层破碎带的宽度在 13.5 m 左右, 破碎带中的物质主要由粒径小于 2 cm 的呈扁平状的断层角砾和受到挤压形成的岩粉以及混合在其中的构造透镜体所组成。根据断层破碎带的破碎程度, 将可见范围内的断层破碎带划分为两部分, 见图 5。其中, 左侧①破碎较为严重, 破碎带①宽度 2.5 m, 物质主要由粒径小于 2 cm 的断层角砾及岩粉组成; 破裂带中发育两组结构面, 节理 1 产状与断层一致; 节理 2 近于垂直发育, 产状北偏西 $N75^\circ$, 倾向南西, 倾角 85° 。破碎带胶结较弱, 用地质锤可抠动。此外, 在两侧边界可见糜棱岩化。破碎带②宽 11 m, 局部破碎带③局部发育劈理化、糜棱岩化, 向松坪沟主沟方向, 被地震崩塌堆积物所覆盖。这证实了松坪沟断层中间段通过此处。

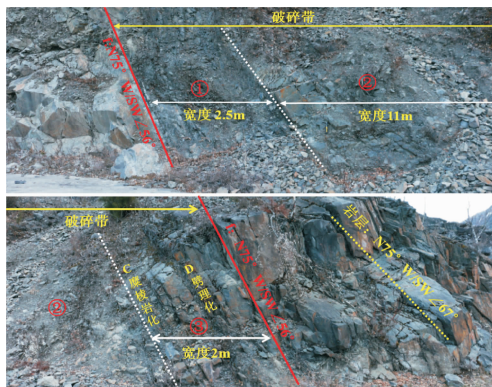


图 5 断层破碎带

2.3 松坪沟断层南东段

松坪沟断层南东段沿途多被地震崩塌物掩盖, 但在金枪岩隧道北出口附近, 可见松坪沟断层错断第四纪湖相沉积层。该出露点断面产状为 $205^\circ \angle 72^\circ$, 整个断面整体平直, 断层破碎带宽度在 0.5 m ~ 1.5 m 之间, 断层的下盘主要为湖相沉积物, 由于受到挤压作用呈片状、角砾状结构。断层南西盘岩性主要为深灰色粉砂质板岩和灰色钙质石英细砂岩的不等厚互层, 岩层产状为南偏西 33° , 倾角 30° 。断层北东盘岩性为淡黄色薄-中层泥质湖相沉积物, 其中有夹杂着的青灰色粉砂质湖相沉积物, 有一定的胶结强度, 呈半成岩状态, 水平向层理, 层厚 5 cm ~ 40 cm 不等, 粉砂质夹层厚度约 10 cm, 上部覆盖为崩塌堆积物, 见图 6。在断层北东盘靠近断面的位置可见轴向为 310° 的牵引构造, 推断为在东西向

构造应力场作用下, 断层的两盘发生左旋逆冲运动, 从而形成的牵引褶皱, 可判定该断面断层具有左旋走滑兼逆冲的性质。除此之外, 在金枪岩隧道口附近发现一松坪沟断层活动形成的地貌标志——断层崖, 如图 7 所示。

结合物探资料, 如图 8 所示, 叠溪、两河口断面中均存在明显的相对极低阻条状带, 且一直向下延伸, 证实了断层破碎带的存在。此外, 两河口剖面横跨松坪沟和其南侧的滚水沟, 断面图中的低阻条状带主要分布在南侧滚水沟, 因此根据两河口剖面推测断层破碎带向滚水沟延伸, 宽度约 220 m。

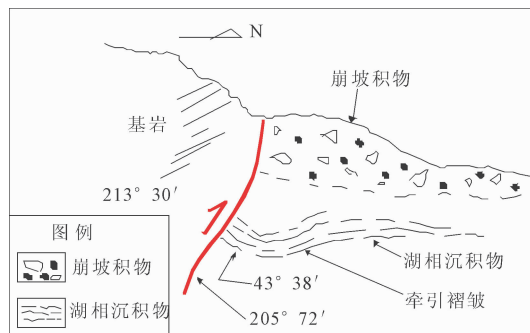


图 6 出露点素描图



图 7 断层崖

综合前人研究, 认为松坪沟断层南东段自滚水沟沟口附近向南延伸可达松坪沟沟口周围, 断层长度约 4 km, 整体走向北偏西, 断层倾向南西, 倾角约 70° 。

综合上述分析, 松坪沟断层破裂带发育起始于茂县较场弧形构造带之中及其西侧, 走向为北偏西, 整体上沿着松坪沟主沟发育, 具体为三段斜列式进行展布: 断层的南东段从松坪沟沟口附近向北延伸至滚水沟沟口附近; 断层的中间段南起上白蜡寨向北延伸至娃儿堡周围; 断层中间段与断层南东段断面均倾南西。断层的北西段起始于桦子林附近, 向北延伸至麦石寨周围, 断面的产状为走向北偏西 55° , 倾向北偏东。

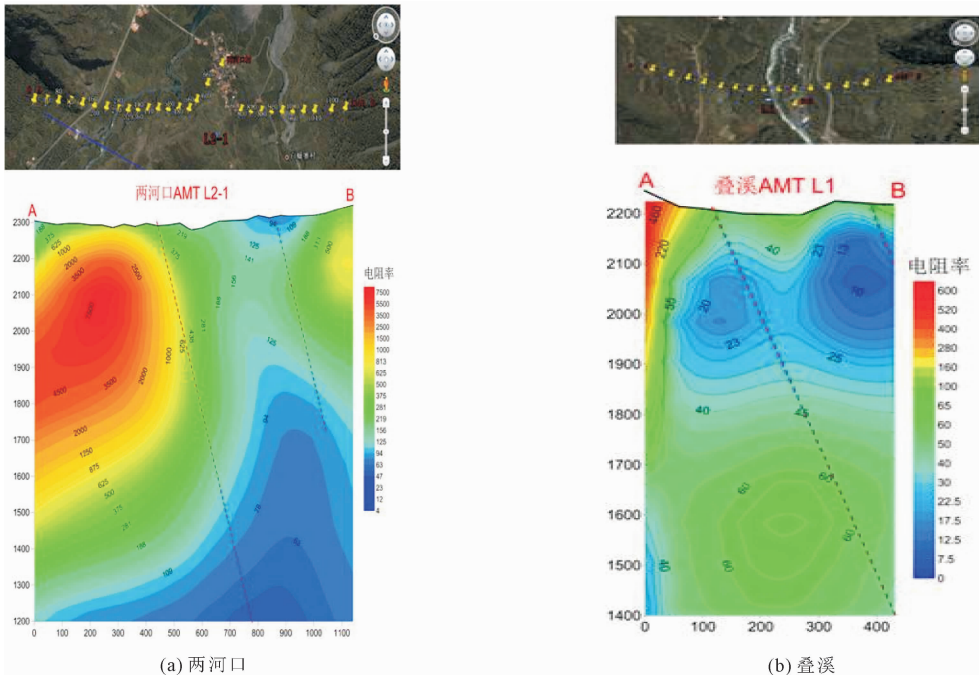


图 8 两河口、叠溪电阻率断面图

3 断层对地质灾害发育的影响

本次研究主要针对于松坪沟景区地质灾害,松坪沟景区地质灾害共发育 15 处,如图 9 所示,且滑源区、崩源区多为高陡的坡顶,并根据现场变形迹象

推断与松坪沟断层长期活动有直接的关系。这些地质灾害主要分布在松坪沟主沟的两侧,其中崩塌 10 处,占比 66.7%;滑坡发育有 4 处,占比 26.7%;不稳定斜坡 1 处,占比 6.6%。

下面我们将讨论断层与地质灾害发育的关系。

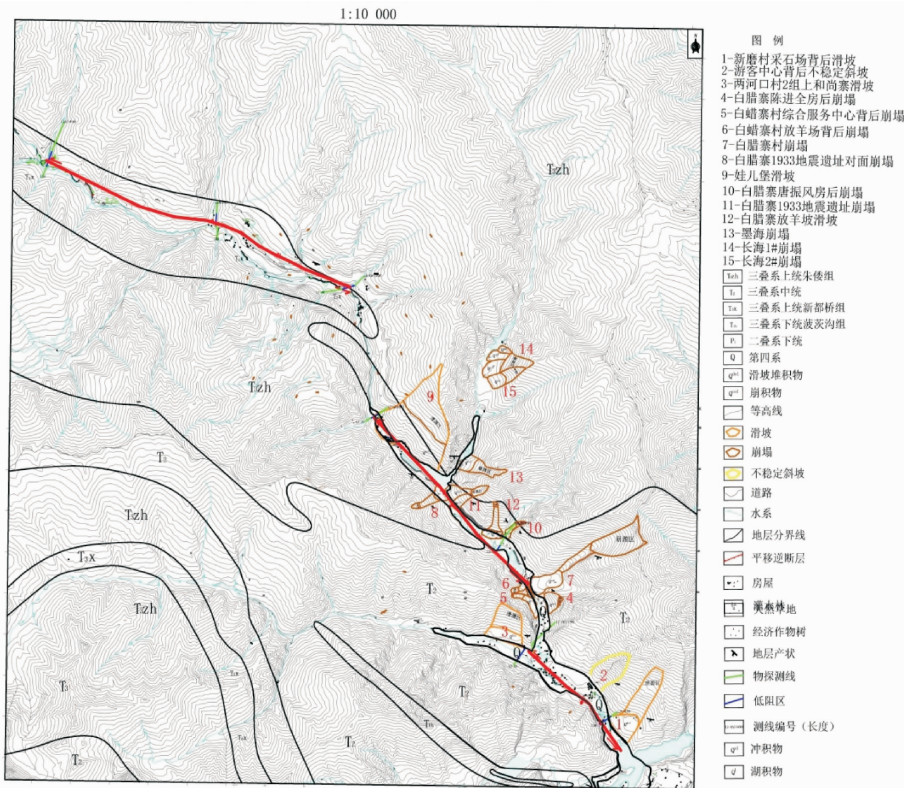


图 9 松坪沟景区地质灾害发育分布图

3.1 地质灾害发育位置受与断层的距离影响

松坪沟景区地质灾害发育分布与断层走向呈带状分布,距松坪沟断层 1 km 内,地质灾害大于 4 处,占总数的 26.6%;距断层 2 km 之内,地质灾害发育占总数的一半以上;距断层 2 km 以上的总数占 13.3%;4 km 以上未调查有地质灾害。因此,距离松坪沟断层 2 km 之内是地质灾害发育的敏感距离,随着距离的增加断层影响进一步减弱,地质灾害发育频率也大幅度减少。其次,断层锁固段效应凸出,锁固段即断层的两侧的端点处,根据地质灾害平面分布图可以得到共计有 5 处发育在断层端点处,占总数的 33.3%。

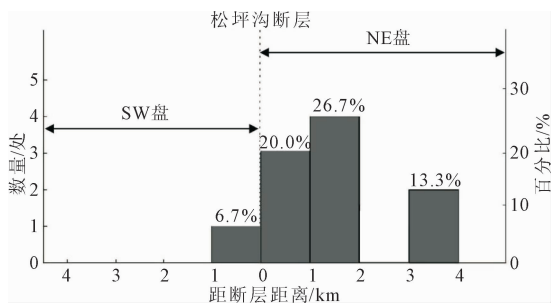


图 10 地质灾害与断层发育关系图

表 1 地质灾害与断层位置距离关系统计表

地质灾害名称	位置	距离/m
新磨村采石场背后滑坡	NE 盘	1610
游客中心背后不稳定斜坡	NE 盘	1410
两河口村上和尚寨滑坡	锁固段	—
白蜡寨陈进全房后崩塌	锁固段	—
白腊寨村综合服务中心背后崩塌	锁固段	—
白腊寨村放羊场背后崩塌	锁固段	—
白蜡村崩塌	锁固段	—
白腊寨 1933 地震遗址对面崩塌	SW 盘	850
娃儿堡滑坡	NE 盘	1450
白腊寨唐振峰房后崩塌	NE 盘	900
白腊寨 1933 地震遗址崩塌	NE 盘	850
白腊寨放羊坡滑坡	NE 盘	940
长海 1#崩塌	NE 盘	3600
长海 2#崩塌	NE 盘	3280
墨海崩塌	NE 盘	1220

3.2 地质灾害发育坡向受断层影响

卢鑫樾等^[15]认为滑坡发育的方向跟断层活动有直接的关系,与断层发育方向近于平行发育的地质灾害规模要远远大于与断层相互垂直的地质灾害。前文说明了松坪沟断层的发育是沿着主沟发育的,而研究区的地质灾害发育的优势坡向为主要优

势方向为 270°∠40°,如图 11 所示;松坪沟主沟发育方向约北偏西 55°,地质灾害发育的优势方向与主沟呈斜交状态,说明松坪沟地质灾害不应为简单的重力作用下的破坏,而是长期受到松坪沟断层活动,导致山体变形开裂后经过演化为地质灾害。

表 2 地质灾害坡度坡向统计表

地质灾害名称	坡度/(°)	坡向/(°)
新磨村采石场背后滑坡	36	212
游客中心背后不稳定斜坡	41	237
两河口村上和尚寨滑坡	37	210
白蜡寨陈进全房后崩塌	48	260
白腊寨村综合服务中心背后崩塌	31	100
白腊寨村放羊场背后崩塌	37	76
白蜡村崩塌	40	240
白腊寨 1933 地震遗址对面崩塌	40	58
娃儿堡滑坡	34	205
白腊寨唐振峰房后崩塌	70	260
白腊寨 1933 地震遗址崩塌	40	253
白腊寨放羊坡滑坡	37	182
长海 1#崩塌	37	271
长海 2#崩塌	40	258
墨海崩塌	38	287

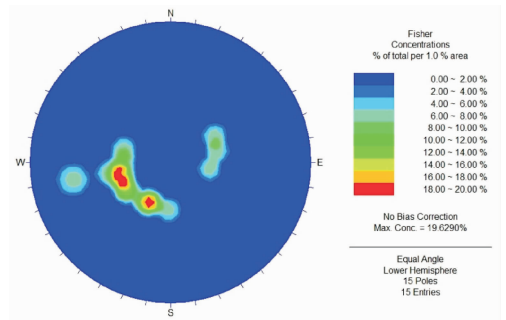


图 11 坡度坡向赤平投影图

特别是受 1933 年叠溪地震的影响最大,根据四川省地震局发布的叠溪地震烈度,可推断叠溪地震波传播的方向可近似为自南东向北西方向,进一步推断松坪沟地质灾害发育坡向受到了断层活动的作用从而向北西方向发生偏离。

3.3 地质灾害发育规模受断层活动性影响

松坪沟断层南东段地质灾害发育数量相对较少共计有 3 处,地质灾害发育体积平均都较大。而松坪沟断层中间段发育数量较多,共有 12 处,其绝大多数地质灾害发育体积都相对断层南东段小得多。松坪沟断层北西段地质灾害则是发育小规模的土质或碎石土滑坡。从整体上看地质灾害沿断层发育有一定的规律性,断层活动强度依次从南东段到北西

段逐渐减弱。

表3 地质灾害体积统计表

地质灾害名称	位置	体积 / $\times 10^6 \text{ m}^3$
新磨村采石场背后滑坡	断层南东端	5.28
游客中心背后不稳定斜坡		—
两河口村上和尚寨滑坡		5.60
白蜡寨陈进全房后崩塌		1.90
白蜡寨村综合服务中心背后崩塌	断层中间段	0.36
白蜡寨村放羊场背后塌		0.73
白蜡村崩塌		4.74
白蜡寨1933地震遗址对面崩塌		0.12
娃儿堡滑坡		31.00
白蜡寨唐振峰房后崩塌		0.53
白蜡寨1933地震遗址崩塌		2.93
白蜡寨放羊坡滑坡		0.87
长海1#崩塌		3.60
长海2#崩塌		2.10
墨海崩塌	1.20	

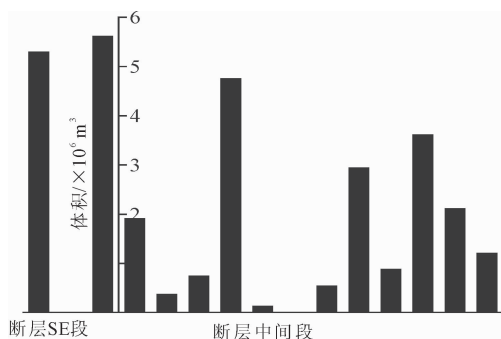


图12 地质灾害发育分布图

4 结论

根据野外地质勘察以及物探资料厘定了松坪沟断层的走向,并据此分析断层与地质灾害发育的关系。主要得到以下结论:

(1) 松坪沟断层破裂带发育起始于茂县较场弧形构造带之中及其西侧,走向为北偏西,总体沿着松坪沟主沟发育,具体为三段斜列式进行展布:断层的南东段从松坪沟沟口附近向北延伸至滚水沟沟口附近;断层的中间段南起上白蜡寨向北延伸至娃儿堡周围;断层中间段与断层南东段断面均倾南西。断层的北西段起始于桦子林附近,向北延伸至麦石寨周围,断面的产状为走向北偏西 55° ,倾向北偏东。

(2) 地质灾害沿着断层发育的两侧呈带状分布,地质灾害距离效应明显;断层两端地质灾害频

发,锁骨端效应明显;地质灾害发育的坡向与断层发育的走向呈斜交状态,地质灾害发育坡向受到断层活动的影响。

(3) 地质灾害发育的规模从断层南东段,中间段,北西段依次逐渐减弱;进一步说明松坪沟断层的活动性从南东段,中间段,北西段活动性依次减弱。

参考文献:

- [1] 许向宁,王兰生. 岷江上游叠溪地震区斜坡变形破坏分区特征及其成因机制分析[J]. 工程地质学报, 2005, 13(1): 68-75.
- [2] 黄润秋,李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585-2592.
- [3] 黄润秋,李为乐. 汶川大地震触发地震地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19-28.
- [4] 黄润秋,裴向军,李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 730-741.
- [5] 许强,李为乐. 汶川地震诱发大型滑坡分布规律研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(6): 818-826.
- [6] 贺小黑,谭建民,裴来政. 断层对地质灾害的影响——以安化地区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(3): 150-155.
- [7] 杨帆,臧浩. 昌邑-大店一带活动断裂对地质灾害影响研究[J]. 中州煤炭, 2021, 43(5): 91-96.
- [8] 唐荣昌,蒋能强,刘盛利. 迭溪7.5级地震的地质构造背景及其对发震构造条件的认识[J]. 地震研究, 1983, 6(3): 327-328.
- [9] 黄祖智,唐荣昌,刘盛利. 四川较场弧形构造与1933年叠溪地震发震构造的再讨论[J]. 中国地震, 2002, 18(2): 65-74.
- [10] 王新民. 叠溪地区遥感图像判释及1933年7.5级大震的发震断层[J]. 四川地震, 1986(4): 7-11.
- [11] 王兰生,王小群,许向宁,等. 岷江上游近两万年前发生了什么事件? [J]. 学前缘, 2007, 14(4): 189-196.
- [12] 王兰生,杨立铮,李天斌,等. 四川岷江叠溪较场地震滑坡及环境保护[J]. 地震地质灾害与环境保护, 2000, 11(3): 195-199.
- [13] 钱洪,周荣军,马声浩,等. 关于1933年叠溪7.5级地震若干问题的讨论[J]. 四川地震, 1999(3): 11-17.
- [14] 钱洪,周荣军. 岷江断裂南段与1933年叠溪地震研究[J]. 中国地震, 1999, 15(4): 41-46.
- [15] 卢鑫樵,吴其伟,黄大庭,等. 受活动断层控制的滑坡实例[C]//滑坡文集(第四集). 北京:中国铁道出版社, 1984: 78-84.