

四川省北川县活动断裂的地质响应^{*}

陈浩¹, 李勇²

(1. 绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621006;
2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059)

摘要:【目的】探讨北川县不同区域对断裂活动的地质响应机制。【方法】从岩层年龄、岩石类型、岩层产状、滑坡点密度、地貌高程等角度分析断裂上、下盘差异活动对北川县不同地区地质特征的影响。【结果】断裂上盘岩石类型相对单一,主要发育以千枚岩为主的变质岩,断裂下盘岩石类型复杂,各类沉积岩广泛分布;相对于下盘区域,断裂上盘地势高峻、地表出露岩层更古老、岩层倾角更大、滑坡点密度更高;另外,以北川-映秀断裂为界,上、下盘区域均表现出岩层年龄值与岩层距断裂距离值成反比的特征。【结论】总体来看,龙门山地区构造应力强度的区域差异及北川-映秀断裂的逆断层性质导致了北川县不同区域对断裂活动产生不同的地质响应方式。

关键词:活动断裂;地质响应;地貌标志;北川县

中图分类号:P94

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)01-0108-06

区域地质演化状况对断裂的差异活动表现出不同的响应方式,某一区域岩层新老关系、岩石类型、岩层产状、地质灾害点分布、地貌高程、水系样式等受活动断裂的影响和制约。前人的研究大多集中于对更为直观的断裂活动的地貌响应方式进行探讨^[1-7],而对活动断裂影响区域的岩石结构、岩层分布、岩石成因及演化历史等地质响应机制研究甚少。本研究在探讨北川-映秀断裂逆冲运动导致差异性构造隆升的基础上,着重分析四川省北川县不同区域对断裂活动的地质响应机制。研究结果有助于进一步认识北川县地质地貌演化规律,进而为深入研究龙门山区地质格局与断裂活动的耦合关系奠定理论基础。

1 研究区概况

北川县位于青藏高原向四川盆地过渡的龙门山区,在构造上属于扬子准地台与松潘-甘孜地槽褶皱区的交界地带,2008年汶川地震后该县进行了行政区划调整,安县215 km²区域划入新北川。研究区内几乎全境皆山,沟壑纵横,地层岩性和地质构造复杂。作为汶川地震的发震断裂,北川-映秀断裂贯穿县境东南部^[8-9]。北川境内寒武系地层到白垩系地层广泛出露,第四系松散堆积层分布于河流两侧和山前沟口地带的阶地及洪积扇上,岩石类型包括千枚岩、白云岩、灰岩、砾岩等动力变质岩和各类沉积岩。研究区位于鹿头山暴雨区之中,雨量充沛,年均降雨量达到1 399.1 mm;溪流密布,潺潺溪水分别汇集于湍江、通口河、安昌江和都坝河,顺山势自西北向东南奔流出境。湍江是北川县主要河流,发源于该县西北部青片大山,从县境东南角流出后注入涪江^[10](图1)。总体来看,研究区地质构造、地形地貌及水文、气候条件使该区域成为各类地质灾害易发区。

2 活动断裂的地貌标志

北川-映秀断裂又被称为龙门山主中央断裂,南西端始于泸定两河口以南,向北插入陕西境内与勉县-阳平关断裂相交,斜贯整个龙门山。沿断裂带,断错山脊、断层陡坎、冲沟侧壁位错等活动构造地貌保存较为完好,在北川县境内,亦有断层地貌发育。在北川老县城(曲山镇)湍江右岸,由于构造挤压作用导致断裂北西盘(上盘)相对上升,再加上沿断层线两侧岩石性质不同而产生的差异侵蚀,使断层面露出地表,形成断层崖。断层崖受到冲沟侵蚀切割,形成“V”形谷,谷与谷之间形成一系列连续分布的断层三角面(图2)。

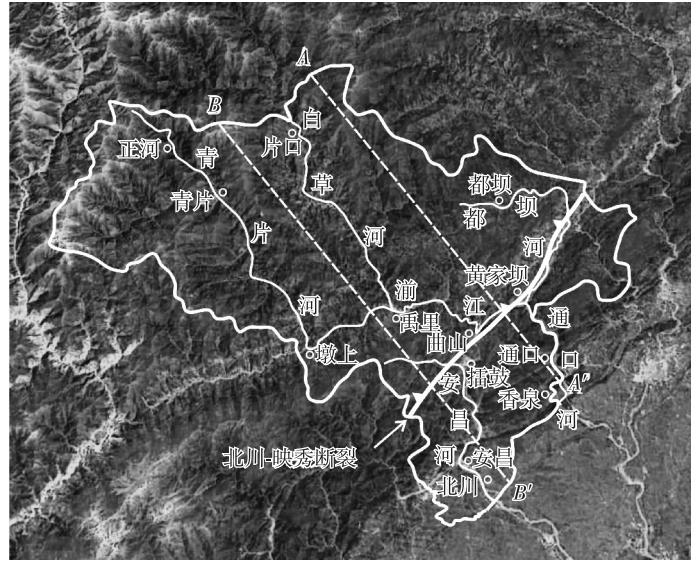
^{*} 收稿日期:2016-03-16 修回日期:2016-12-04 网络出版时间:2017-01-12 11:29

资助项目:国家自然科学基金(No. 41172162);四川省教育厅自然科学基金(No. 14ZB0265)

第一作者简介:陈浩,男,博士,副教授,研究方向为构造地貌与第四纪环境,E-mail: chen hao11611@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20170112.1129.008.html>

在北川县,断裂活动也在一定程度上控制着河流的发育。从图3可以较为直观地看出,湔江曲山至黄家坝河段、都坝河杜家坝至黄家坝河段均沿北川-映秀断裂发育。受新生代以来断裂活动的影响,曲山镇附近湔江水系发生了河流袭夺、水系重组现象。古湔江经青片、墩上、禹里到达曲山后继续南流,经擂鼓、安昌,注入涪江,即现代安昌江实为古湔江的下游河道。沿北川-映秀断裂发育的古都坝河在曲山汇入古湔江,发源于银屏口分水岭南东坡的通口河溯源侵蚀切穿分水岭,袭夺古都坝河上段,古都坝河上段水流改道注入通口河;古都坝河下段(即黄家坝到曲山河段)断头,因得不到水源补充而干涸,在早更新世晚期,曲山到擂鼓这一局部区域构造隆升,古湔江南流受阻,被迫在曲山镇沿干涸的古都坝河下段河道逆流,进入通口河。断头的古湔江下段河道(今安昌江)中的水流继续向南东方向流动与涪江在绵阳南山寺附近交汇。



注:AA'和BB'分别为贯穿北川县全境、横切北川-映秀断裂的剖面线。

图1 研究区概况(行政区划调整后)

Fig. 1 The generality of study region (after adjustment of administrative division)

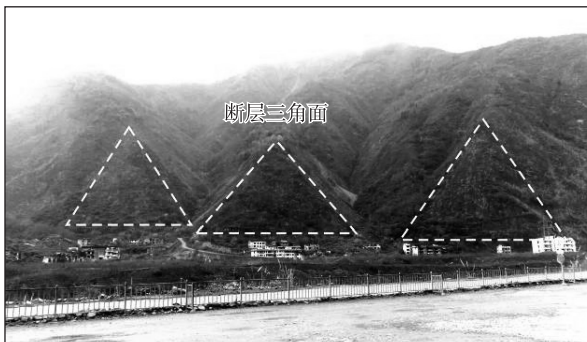


图2 曲山镇湔江右岸的断层三角面

Fig. 2 The fault facet at right bank of Jian river in Qushan town

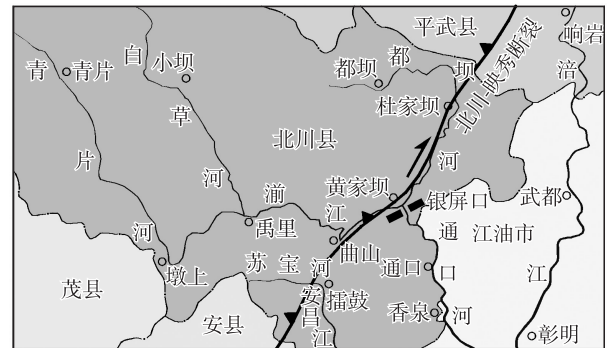


图3 沿断裂发育的都坝河、湔江河段

Fig. 3 The reach of Dubei river and Jian river along fault

3 活动断裂的地质响应

3.1 岩层年龄

从北川县地质图(图4)可以较为直观地看出,北川-映秀断裂上盘区域出露岩层的年龄总体大于下盘。断层上盘广泛分布志留系(S_{mx}^3 、 S_{mx}^2)等早古生代形成的岩层,断层下盘主要分布晚古生代(D、C、P)和中生代(T、J、K)形成的岩层。其中原因主要是北川-映秀断裂这一逆断层的上盘相对上升,由于山脉的机械剥蚀速率与区域高度和隆升幅度通常呈正相关关系^[11],因而断层上盘区域的剥蚀速率大于下盘,上盘地表出露更古老的岩层。

进一步分析可知,以北川-映秀断裂为界,岩层年龄分别沿北西方向和南东方向依次变小,即越接近断裂岩石越古老,越远离断裂岩石越年轻。随着距断裂距离值的增加,在上盘区域,出露岩石年龄由寒武纪(C)向三叠纪(T)过渡;在下盘区域,年龄由泥盆纪(D)向第四纪(Q)过渡。岩层年龄的这一分布特征表明,断裂的逆冲和右旋走滑作用导致越接近断裂的岩石越容易因构造挤压而破碎,破碎的岩石更易遭受剥蚀;因此越接近北川-映秀断裂,剥蚀作用越强烈,强烈的剥蚀使年龄更古老的岩层出露于地表。

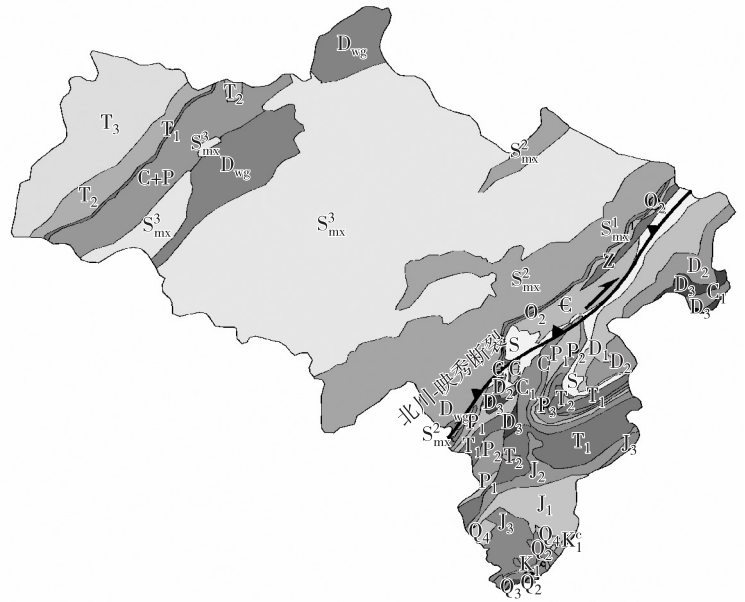
3.2 岩石类型

以北川-映秀断裂为界,断层线两侧岩石类型存在显著差异。从图4可见,断裂北西侧上盘区域岩石类型相对单一,主要发育上志留统上岩组千枚岩夹变质细砂岩(S_{mx}^3)、上志留统中岩组千枚岩夹灰岩(S_{mx}^2)、泥盆系危关群炭质千枚岩及千枚岩石英岩互层(D_{wg})。断裂南东侧下盘区域岩石类型复杂,泥盆系岩层到白垩系岩层均有分布,主要岩石类型为白云岩、白云质灰岩、灰岩、砾岩及第四系洪冲积层、残坡积层等。总体来看,断裂上盘区

域主要发育千枚岩等动力变质作用形成的岩石,下盘区域主要发育各类沉积作用形成的岩石。其中原因主要是龙门山构造应力强度有自北西向南东减弱的趋势^[12-13],断裂北西侧受到高强度挤压,岩石及其组成矿物发生变形、破碎,并伴随一定程度的重结晶作用,使岩石中片状和柱状矿物在垂直于应力方向上拉长和压扁,形成定向排列,从而使断裂北西盘的岩石由沉积岩向变质岩转化。

3.3 岩层产状

由于北川-映秀断裂南东侧构造应力强度弱于北西侧,断裂南东侧岩层大多为呈近水平状态产出或岩层面与水平面低角度相交的缓倾岩层,倾角基本小于 30° (图 5)。与之相反,断裂北西侧岩层因受到高强度构造挤压,形成倾角大于 30° 的陡倾岩层 (图 6),部分区域甚至发育成倾角大于 60° 的陡立岩层。另外,上盘区域的岩层在一定范围内倾斜方向和倾角大体一致,岩层倾向大多为北西方向,形成典型的单斜构造。



注:该图根据绵阳市地质图改绘。

图 4 北川县地质图

Fig. 4 The geological map of Beichuan county



a 测量点位置(圆圈所示)



b 缓倾岩层(砾岩)

图 5 北川县城客运站附近(北纬 $31^\circ35'48''$, 东经 $104^\circ28'18''$)缓倾砾岩层

Fig. 5 The gently dipping conglomerate near the passenger station in Beichuan county ($N31^\circ35'48''$, $E104^\circ28'18''$)



a 测量点位置(圆圈所示)



b 陡倾岩层(千枚岩)

图 6 禹里镇湔江右岸(北纬 $31^\circ51'35''$, 东经 $104^\circ18'48''$)陡倾千枚岩层

Fig. 6 The steep dipping phyllite at right bank of Jian river in Yuli town ($N31^\circ51'35''$, $E104^\circ18'48''$)

3.4 滑坡点密度

汶川地震发生后,以每隔 2 km 的距离作为研究区段,通过对北川-映秀断裂(发震断裂)10 km 以内的滑坡灾害点进行缓冲分析可知:在每一个研究区段范围内,上盘滑坡点密度均大于下盘(图 7),即滑坡灾害点沿断层的空间分布具有显著的上、下盘效应;在研究区域,两者的滑坡点密度值分别为 0.42,0.17 个 $\cdot\text{km}^{-2}$,相差达 2.47 倍。黄润秋等人^[14-15]的研究也表明,整个汶川地震波及区上下盘地质灾害发育程度均表现出类似特征。这主要是逆冲断裂发震时,上盘地表的加速度峰值高于下盘,上盘破坏比下盘更为严重。陈运泰^[16]从建筑物损毁的角度同样提出了这一现象的存在,在北川县城,断层上盘建筑物损毁程度显著高于下盘。大范围的震后地质灾害调查结果表明^[14],上下盘效应在地质灾害发生方面的区域差异性比建筑物损毁程度方面的区域差异性更为突出。

3.5 地貌高程

选取贯穿北川县全境、横切北川-映秀断裂的区域,作地形剖面图 AA' 和 BB'(图 1、图 8)。从图 8 可以较为直观地看出,断裂上盘的逆冲作用导致上盘区域的海拔高程明显高于下盘区域,前者山顶面海拔高度几乎都在 1 500 m 以上,后者山顶面均不超过 1 500 m。另外,由于龙门山构造应力强度自北西向南东减弱^[12-13],因而研究区海拔高度也呈现出北西高、南东低的特征(图 8)。如前所述,在上盘区域,越接近北川-映秀断裂的岩石更容易因断裂的逆冲及右旋走滑活动而遭受剥蚀,加剧了北西高、南东低这一地貌特征的显现。在下盘区域,虽然越接近断裂剥蚀作用越强烈,但接近断裂处的下盘地块因上盘的推挤而大幅隆升,再加上龙门山地区北西侧构造应力总体更强,导致接近断裂的下盘地表隆升幅度远高于剥蚀幅度,因此下盘区域北西侧地貌仍然更高。前已述及,以北川-映秀断裂为界,上盘区域变质岩广泛分布,下盘区域成为沉积岩主要发育区(图 8),地貌高程差异与岩石类型差异呈现出对应关系。其中主要原因是龙门山构造应力驱动的挤压作用与该区域构造应力强度变化特征一致,也呈自北西向南东减弱的趋势,高强度挤压导致高海拔地貌的形成,同时,高强度挤压使沉积岩逐渐转化为变质岩。

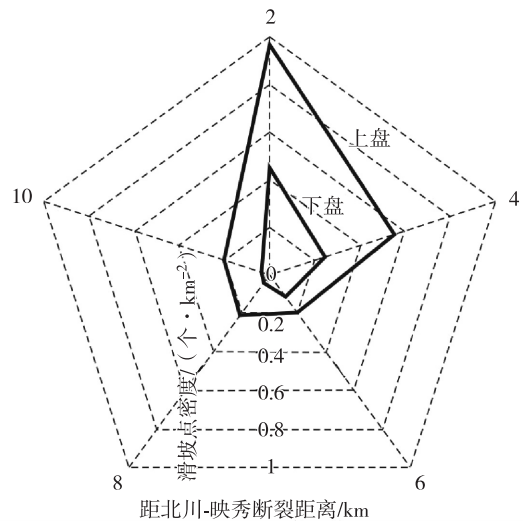
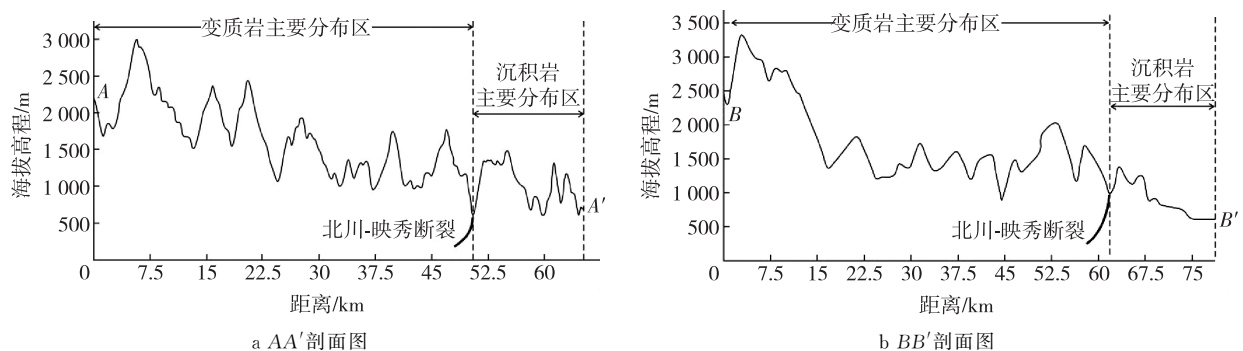


图 7 距北川-映秀断裂不同距离上、下盘滑坡点密度统计图

Fig. 7 The statistical graph about the density of landslide sites on the hanging wall and the footwall at different distance from Beichuan-Yingxiu fault



注:AA',BB'剖面位置见图 1。

图 8 研究区地形剖面图

Fig. 8 The topographical profile graph of study region

4 结论

龙门山构造应力强度自北西向南东减弱,再加上北川-映秀断裂作为逆断层上盘区域相对上升的这种性质,导致断裂上、下盘承受的挤压强度存在显著差异,因而断裂横贯县境的北川县不同区域对断裂活动表现出不同的地质响应机制。断裂上盘区域岩石的年龄总体大于下盘,并且以断裂为界,在整个研究区,均表现出岩层年龄值与岩层距断裂距离值成反比的特征。与构造应力强度变化趋势一致,北川县海拔高程也呈现出北西高、南东

低的特征;同时,挤压强度的差异导致地貌高程与岩石类型、岩层产状呈现出对应关系,上、下盘加速度峰值的不同使断层上盘滑坡灾害点的发育密度远高于下盘。

参考文献:

- [1] 贾营营,付碧宏,王岩,等. 青藏高原东缘龙门山断裂带晚新生代构造地貌生长及水系响应[J]. 第四纪研究,2010,30(4):825-836.
JIA Y Y, FU B H, WANG Y, et al. Late cenozoic tectono-geomorphic growth and drainage response in the Longmenshan fault zone, east margin of Tibet[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(4): 825-836.
- [2] 黎兵. 青藏高原东缘晚新生代隆升的沉积记录与地貌响应[D]. 成都:成都理工大学,2005.
LI B. Sedimentology record and geomorphology response for the uplift of eastern margin of Tibet plateau in the late cenozoic[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2005.
- [3] 李勇,周荣军, Densmore A L, 等. 青藏高原东缘龙门山晚新生代走滑-逆冲作用的地貌标志[J]. 第四纪研究,2006,26(1):40-51.
LI Y, ZHOU R J, DENSMORE A L, et al. Geomorphic evidence for the late cenozoic strike-slipping and thrusting in Longmen mountain at the eastern margin of the Tibetan plateau[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(1): 40-51.
- [4] 付碧宏,时丕龙,贾营营. 青藏高原大型走滑断裂带晚新生代构造地貌生长及水系响应[J]. 地质科学,2009,44(4):1343-1363.
FU B H, SHI P L, JIA Y Y. Late cenozoic tectono-geomorphic growth and drainage response along the large-scale strike-slip fault system, Tibetan Plateau[J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 44(4): 1343-1363.
- [5] 梁明剑,李大虎,郭红梅,等. 成都盆地南缘第四纪构造变形及地貌响应特征[J]. 地震工程学报,2014,36(1):98-106.
LIANG M J, LI D H, GUO H M, et al. Quaternary tectonic deformation and geomorphologic response characteristics in the southern margin of Chengdu basin[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(1): 98-106.
- [6] 李传友,张培震,袁道阳,等. 西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪水平位移特征及其微地貌响应[J]. 地震地质,2006,28(3):391-404.
LI C Y, ZHANG P Z, YUAN D Y, et al. Late-quaternary horizontal displacement and its associated microgeomorphology of the western Qinling fault zone at Huangxiang-gou[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 391-404.
- [7] 李亚林,王成善,王谋,等. 藏北长江源地区河流地貌特征及其对新构造运动的响应[J]. 中国地质,2006,33(2):374-382.
LI Y L, WANG C S, WANG M, et al. Morphological features of river valleys in the source region of the Yangtze river, northern Tibet, and their response to neotectonic movement[J]. Geology in China, 2006, 33(2): 374-382.
- [8] 方丹. 基于 GIS 的北川地区地震滑坡空间分布特征分析及敏感性评价[D]. 北京:首都师范大学,2012.
FANG D. Spatial distribution characteristic and sensitivity evaluation of earthquake-induced secondary landslide disaster in Beichuan county based on GIS[D]. Beijing: Capital Normal University, 2012.
- [9] 方丹,胡卓玮,王志恒. 基于 GIS 的北川县地震次生滑坡灾害空间预测[J]. 山地学报,2012,30(2):230-238.
FANG D, HU Z W, WANG Z H. Spatial prediction of earthquake-induced secondary landslide disaster in Beichuan county based on GIS[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(2): 230-238.
- [10] 齐信,唐川,铁永波. 基于 GIS 技术的汶川地震诱发地质灾害危险性评价—以四川省北川县为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(2):160-167.
QI X, TANG C, TIE Y B. Hazard assessment of geohazards triggered by the Wenchuan earthquake using GIS technology—taking Beichuan county of Sichuan province for example[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37(2): 160-167.
- [11] 杨坤光,马昌前. 大陆剥蚀速率与造山隆升速率研究的某些进展[J]. 地质科技情报,1996,15(4):89-96.
YANG K G, MA C Q. Some advances in the rates of continental erosion and mountain uplift[J]. Geological Science and Technology Information, 1996, 15(4): 89-96.
- [12] 陈浩,李勇. 岷江上游河流阶地对龙门山断裂带逆冲作用的响应[J]. 山地学报,2014,32(5):535-540.
CHEN H, LI Y. River terrace responding to the obduction of the Longmenshan fault zone in the upper Min river basin[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 32(5): 535-540.
- [13] 陈浩,李勇. 岷江上游水系对龙门山断裂带右旋走滑作用的响应[J]. 山地学报,2013,31(2):211-217.
CHEN H, LI Y. Water system responding to the dextral strike-slipping of the Longmenshan fault zone in the upper Min river basin[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(2): 211-217.
- [14] 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.
HUANG R Q, LI W L. Research on development and dis-

- tribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th may, 2008[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(12): 2585-2592.
- [15] 黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19-28.
- HUANG R Q, LI W L. Fault effect analysis of geo-hazard triggered by Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19-28.
- [16] 陈运泰. 汶川地震何以如此严重[EB/OL]. (2008-09-23) [2016-03-11]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews>.
- CHEN Y T. Why was Wenchuan earthquake so serious [EB/OL]. (2008-09-23) [2016-03-11]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews>.
- [17] 宋春青, 邱维理, 张振春. 地质学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- SONG C Q, QIU W L, ZHANG Z C. Geological fundamental[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

The Geological Response of Active Fault in Beichuan County, Sichuan Province

CHEN Hao¹, LI Yong²

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang Sichuan 621006;

2. National Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: [Purposes] Investigate the geological response mechanism of active fault in Beichuan County. [Methods] The effect of differential activity of the hanging wall and foot wall to geological characteristics in different regions of Beichuan county was analyzed from the perspective of diagenetic age, rocks type, attitude of rocks, the density of landslide sites, geomorphology. [Findings] The main rock type is simple on the hanging wall of the fault; the phyllites are mainly developed in the region. The rock types are complicated on the foot wall; the various kinds of sedimentary rocks are widely distributed. Compared with the geological response modes on the foot wall, the elevation is higher and dating of rock is older and strata inclination is larger and the density of landslide sites is bigger on the hanging wall of the fault. In addition, the dating of rock is inversely proportional to the distance between strata and fault on the hanging wall and foot wall of Beichuan-Yingxiu fault. [Conclusions] As a whole, the different geological response modes of active fault was produced in different regions of Beichuan county because of the regional difference of stress intensity in Longmen Mountain and reverse fault property of Beichuan-Yingxiu fault.

Keywords: active fault; geological response; geomorphologic marks; Beichuan County

(责任编辑 方 兴)