

藏东南鲁朗—通麦崩塌滑坡孕灾地质背景特征研究

张佳佳^{1,2}, 陈龙^{1,2}, 王军朝^{1,2}, 李元灵^{1,2}, 高波^{1,2}, 石胜伟^{1,2}

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734;

2. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川成都 611734)

摘要: 藏东南的喜马拉雅东构造结地区作为青藏高原隆升最快的地区之一, 其复杂的地质背景条件决定了该区工程地质问题具有复杂性和特殊性, 并孕育了多种地质灾害。利用测窗、节理裂隙分期配套等野外调查方法以及遥感影像解译, 分析总结了藏东南地区鲁朗至通麦不同区段崩塌滑坡地质灾害的孕灾地质背景, 据此将研究区划分为四段, 分别为鲁朗—东久段、东久—拉月段、拉月—排龙段、排龙—通麦段, 每一区段分别对应了不同的孕灾地质条件特征, 由此也决定了区段内崩滑地质灾害的性质、变形破坏模式、规模。相关成果可用于藏东南崩塌滑坡地质灾害的早期识别和风险评价。

关键词: 孕灾地质条件; 崩塌滑坡; 喜马拉雅东构造结; 藏东南

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

STUDY OF DISASTER-INDUCING GEOLOGICAL CONDITIONS OF COLLAPSE AND LANDSLIDE ALONG LULANG-TONGMAI IN SE TIBET

ZHANG Jiajia^{1,2}, CHEN Long^{1,2}, WANG Junchao^{1,2}, LI Yuanling^{1,2}, GAO Bo^{1,2}, SHI Shengwei^{1,2}

(1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu 611734, Sichuan, China;

2. Technical center for geological hazard prevention and control, CGS, Chengdu 611734, Sichuan, China)

Abstract: Eastern Himalayan Syntaxis, as one of the fastest uplifting region in Tibetan Plateau, its complex geological environment determines that the engineering geological problems have complexity and particularity and give birth to a variety of geo-hazards. Based on the survey results of the project "Geo-hazards investigation in main towns and major highways in SE Tibet", the geological conditions of landslides along Lulang-Tongmai were analyzed. According to the analysis, the study area could be divided into four sections, respectively, which are Lulang-Dongjiu section, Dongjiu-Layue section, Layue-Pailong section, Pailong-Tongmai section. Each section corresponds to different disaster-inducing geological conditions, which determines the nature, deformation and failure mode and scale of landslide in the section. The conclusion could be used in risk assessment and early identification of landslides in SE Tibet.

Key words: disaster-inducing geological conditions; landslide; eastern Himalayan syntaxis; SE Tibet

0 引言

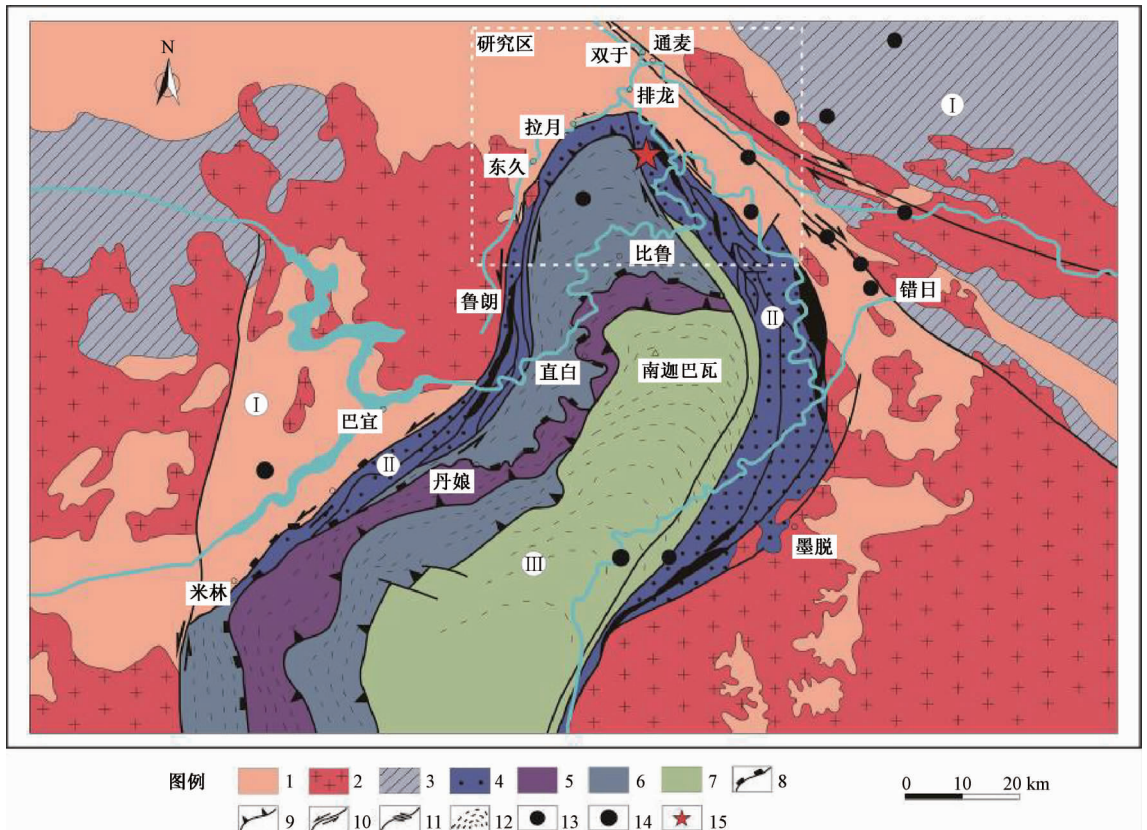
随着我国经济社会的发展和西部大开发战略的实施,川藏铁路和川藏高速建设进一步向地质条件复杂、构造活动强烈的青藏高原东部山区推进,藏东南地区的地质灾害越来越被人关注^[1-3],藏东南的喜马拉雅东构造结地区作为青藏高原隆升最快的地区之一^[4],复杂的地质环境决定了该区工程地质问题具有复杂性和特殊性^[5-6],并孕育了多种地质灾害和不良地质现象^[7-8]。

自上世纪60年代我国第一次青藏高原科考开始,国内许多科研单位和学者从不同角度对东构造结区域的地质灾害进行了分析和研究^[9-11],纵观这些研究多关注崩滑流灾害体本身,对区域内的孕灾地质背景往往缺乏深入分析,尤其缺少聚焦喜马拉雅东构造结西侧孕灾地质背景的系统研究,而川藏公路两侧一级分水岭范围内的斜坡是

目前崩塌滑坡灾害高发区域,同时也是规划中的川藏铁路和川藏高速公路的关键区域,文章利用测窗、节理裂隙分期配套等野外调查方法以及遥感影像解译,分析总结藏东南地区鲁朗到通麦不同区段崩塌滑坡地质灾害的孕灾地质背景特征及其对应的崩塌滑坡的性质、变形破坏模式、规模,以期对藏东南地区崩滑灾害的风险评价和早期识别提供一定借鉴。

1 区域地质概况

研究区整体位于喜马拉雅东构造结西侧(见图1),北西侧的冈底斯山脉与南东侧喜马拉雅山脉之间一级分水岭内的峡谷区域,构造上属拉萨地块,整体位于东久—米林韧性剪切带上^[12],根据不同区段断裂性质不同自南向北又可进一步细分为鲁朗—东久左行走滑剪切带、东久—排龙韧性逆冲剪切带、通灯—通麦左行走滑断裂^[4],主要出露基岩为念青



I—拉萨地块; II—雅鲁藏布江缝合带; III—喜马拉雅东构造结; 1—念青唐古拉变质岩系; 2—冈底斯花岗岩带; 3—古生代岩石; 4—雅鲁藏布江蛇绿混杂岩带; 5—直白组高压麻粒相带; 6—派乡组角闪岩相变质岩; 7—多雄拉组混合岩化角闪岩相变质岩; 8—拆离断裂; 9—逆冲断裂; 10—左行走滑断裂; 11—右行走滑断裂; 12—面理产状; 13—里氏6.0~7.0级地震; 14—大于里氏7.0级地震; 15—11.18米林6.9级地震震中

图1 喜马拉雅东构造结区域地质、历史地震分布图^[4]

Fig. 1 Regional geology and historical earthquake distribution of Eastern Himalayan Syntaxis^[4]

唐古拉岩群片麻岩、雅鲁藏布江蛇绿混杂岩以及少量新近纪黑云母二长花岗岩（见图1）。第四系松散堆积主要分布于斜坡表面和河谷谷坡地带，以坡积物、冲洪积物、冰川堆积物居多。地貌上，研究区属高山峡谷地貌，整体呈“V”字型，仅在拉月村、东久新村存在阶地地貌。区内水系主要由帕隆藏布和鲁朗河及其支流组成，其中帕隆藏布流向由北向南，鲁朗河（拉月曲）流向由南向北，并于排龙汇入帕隆藏布。这两条主要水系纵贯整个研究区，河道纵比降大，流速大，搬运能力强（见图2）。青藏高原的快速隆升，使得区内地壳稳定性变差，构造活动性增强，地震频发^[13-14]。

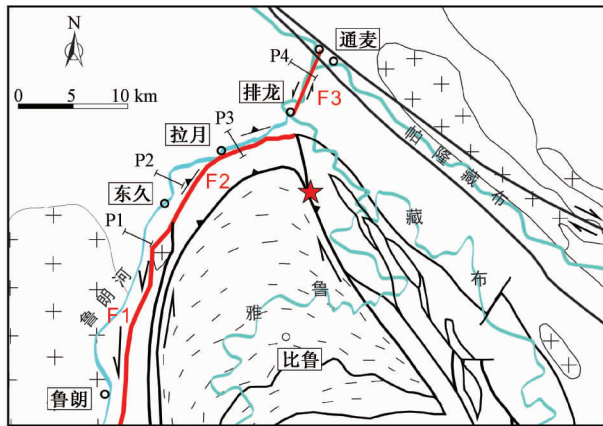
2 孕灾地质背景特征

2.1 鲁朗—东久段

整体位于鲁朗—东久左行走滑剪切带上，基岩以念青唐古拉岩群黑云斜长片麻岩和雅鲁藏布江蛇绿混杂岩为主（见图1），岩体中发育片麻理，沟谷两侧斜坡坡度在 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ，临河流及公路的高陡第四纪松散堆积体因河流切坡以及人工开挖，形成高陡边坡，物质组成为块碎石土，稳定性差（见图3）。因此，鲁朗—东久段主要发育土质滑坡，根据诱发因素的不同，可分为两种模式，模式I：鲁朗河西侧边坡以发育浅表溜滑和小型崩塌落石为主，为浅表径流引发边坡表层的松散堆积物启动形成（见图4a），主要威胁对象为过往行人车辆和G318公路，雨季6—9月多发，事实上鲁朗河西侧边坡曾于1987年9月失稳形成滑坡，掩埋公路达350m长^[7]；模式II：东侧边坡因临河缘故，以发育河流侧蚀诱因的土质滑坡为主（见图4b），同样雨季多发，每次形成的堆积物均会被流水带走，虽不具堵河风险，但形成的堆积物会一定程度改变流水方向，造成对另外一岸的集中冲刷，形成河岸坍塌。

2.2 东久—拉月段

整体位于东久—排龙韧性逆冲剪切带上，基岩岩性为念青唐古拉岩群黑云斜长片麻岩，属块状岩体，岩体中发育片麻理，沟谷两侧斜坡坡度在 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间，以北侧边坡发育北西倾向叠瓦状逆冲断裂和顺面理（片麻理）发育的逆坡向节



F1—鲁朗—东久左行走滑剪切带；F2—东久—排龙韧性逆冲剪切带；F3—通灯—通麦左行走滑断裂；P1—鲁朗—东久灾害地质剖面；P2—东久—拉月灾害地质剖面；P3—拉月—排龙灾害地质剖面；P4—排龙—通麦灾害地质剖面

图2 鲁朗—东久—通麦研究区地质简图

Fig.2 Simplified geologic map of Lulang-Dongjiu-Tongmai area

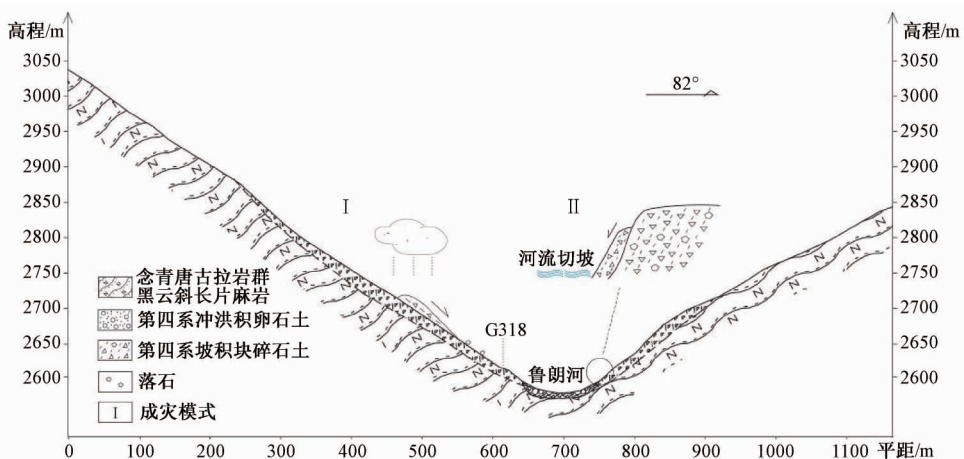
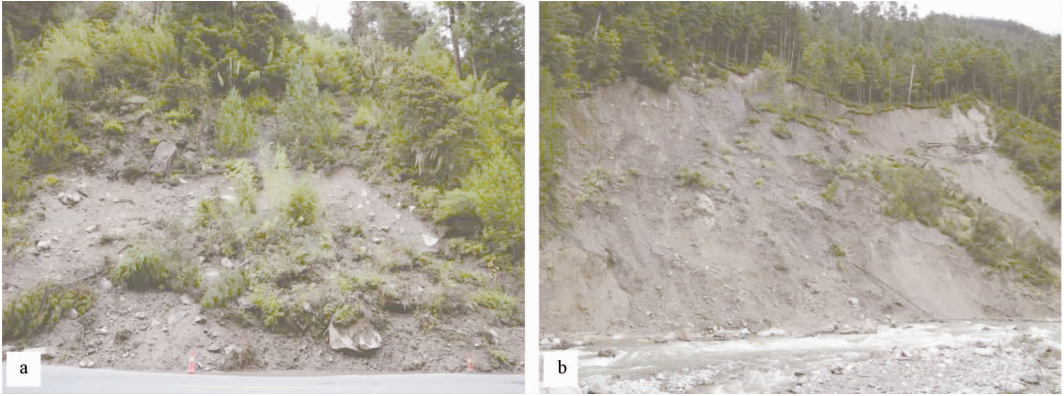


图3 鲁朗—东久灾害地质剖面图（P1）

Fig.3 Profile of geo-hazards in Lulang-Dongjiu section



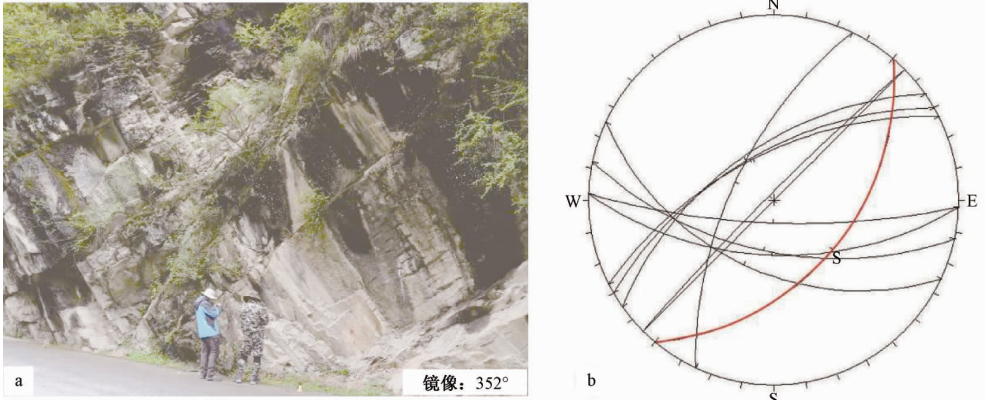
a—鲁朗河西侧边坡表层溜滑; b—鲁朗河东侧河流切坡诱发形成的土质滑坡

图 4 鲁朗—东久段主要地质灾害

Fig. 4 Major geo-hazards in Lulang-Dongjiu section

理为特征, 野外典型斜坡结构如图 5a 所示, 区段内优势节理赤平投影也有很好的显示 (图 5b), 故东久—拉月段斜坡为块状岩体斜坡中由逆坡向节

理控制的“类反向坡”(见图 6), 无特殊工况条件下(地震)边坡整体稳定性较好, 仅以小规模崩塌落石灾害为主。



a—东久—拉月段野外典型斜坡结构; b—东久—拉月段边坡节理赤平投影(红色线条为斜坡投影, 黑色线条为节理投影)

图 5 东久—拉月段典型斜坡结构及节理特征图

Fig. 5 Typical ramp structure and joint stereographic projection in Dongjiu-Layue section

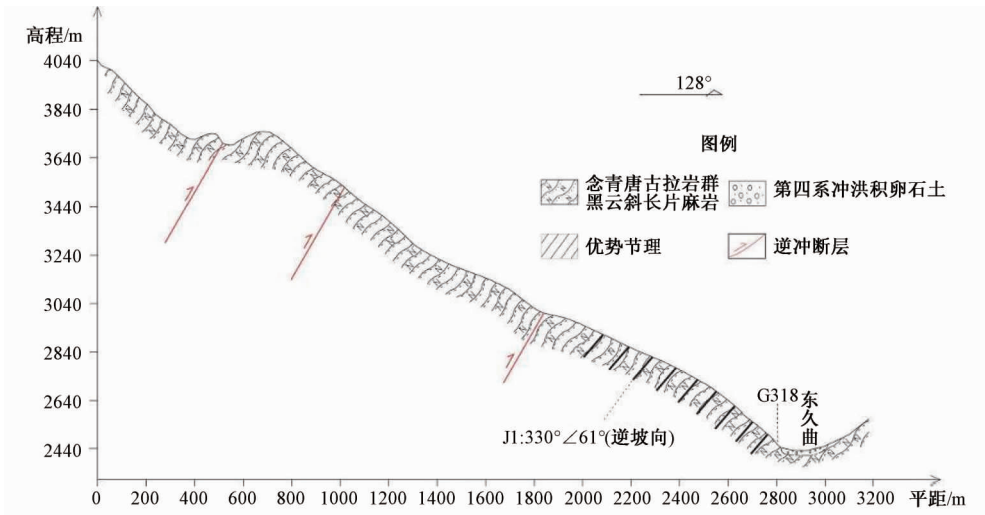


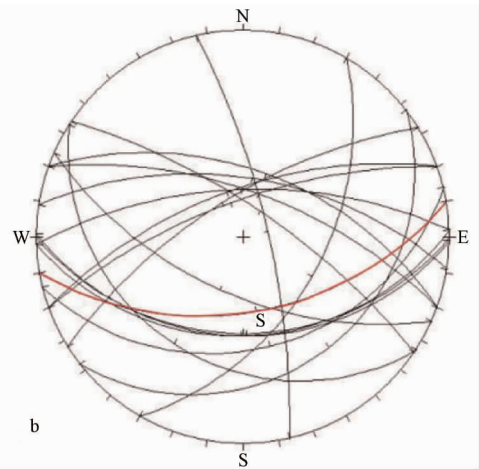
图 6 东久—拉月灾害地质剖面图 (P2)

Fig. 6 Profile of geo-hazards in Dongjiu-Layue section

2.3 拉月一排龙段

整体位于东久—排龙韧性逆冲剪切带上，基岩岩性为念青唐古拉岩群黑云斜长片麻岩，岩体中发育片麻理，区内以大型—特大型岩质滑坡灾害为典型特征，主要孕灾地质条件为：①沟谷两侧斜坡陡立，坡度在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间，临空面一侧为 G318 公路；②北侧边坡发育北西倾向叠瓦状逆冲断裂，属拉月—排龙韧性逆冲剪切带，断裂破碎带为岩体中的软弱带，同时为雨水入渗提供通道；③岩体中发育有一组顺坡向发育的优势节理（见图 7），节理密

度 $4 \sim 6$ 条/m，野外典型斜坡结构如图 7a 所示，区段内优势节理赤平投影也有很好的显示（见图 7b），故拉月—排龙段斜坡为块状体斜坡中由顺坡向节理控制的“类顺向坡”（见图 8），该组结构面是控制拉月—排龙段岩质滑坡和滑移式崩塌的主控结构面。另外区段内还发育有一组顺面理发育的逆坡向节理，和一组垂直于斜坡向内的节理（见图 7），两组优势节理为区域构造作用形成，它们将岩体分割成大小不一的块体（见图 8），对滑坡灾害的形成同样起到一定程度的控制作用。



a—拉月—排龙段野外典型斜坡结构；b—拉月—排龙边坡节理赤平投影（红色线条为斜坡投影，黑色线条为节理投影）

图 7 拉月—排龙段典型斜坡结构及节理特征图

Fig. 7 Typical ramp structure and joint stereographic projection in Layue-Pailong section

区域内以大型—特大型岩质滑坡灾害为典型特征，滑坡后部山体中发育的断裂和岩体中的顺坡向及逆坡向的两组优势节理为岩质滑坡的主控因素（见图 8），一旦发生岩质滑坡将直接威胁过往行人人身财产安全，阻塞 G318 公路，并有堵河风险，事

实上历史上该段区域有多次暴发案例，例如著名的拉月大塌方，滑坡堆积体阻断拉月曲，形成高达 $70 \sim 90$ m 的堰塞坝^[15]。因为两组优势结构面的存在，区段内小型—中型的岩质滑坡以及滑移式崩塌也经常发生，威胁过往行人车辆和 G318 公路。

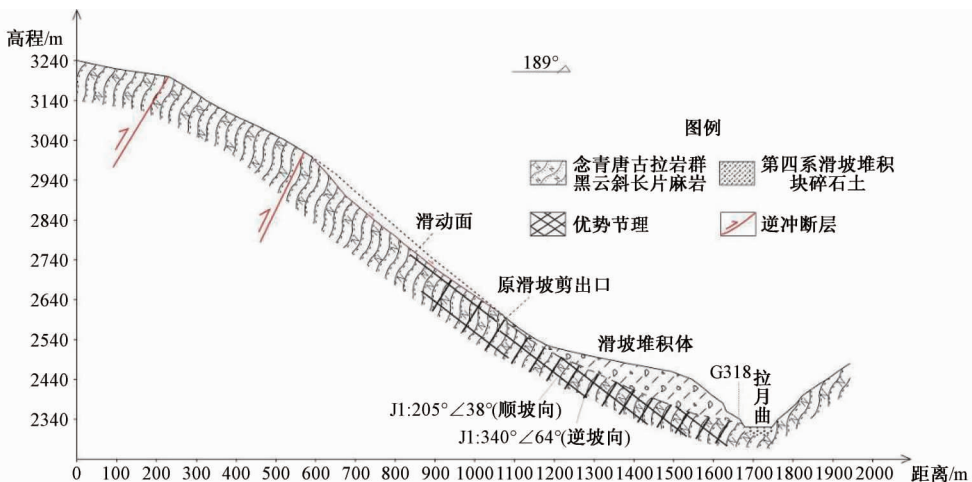


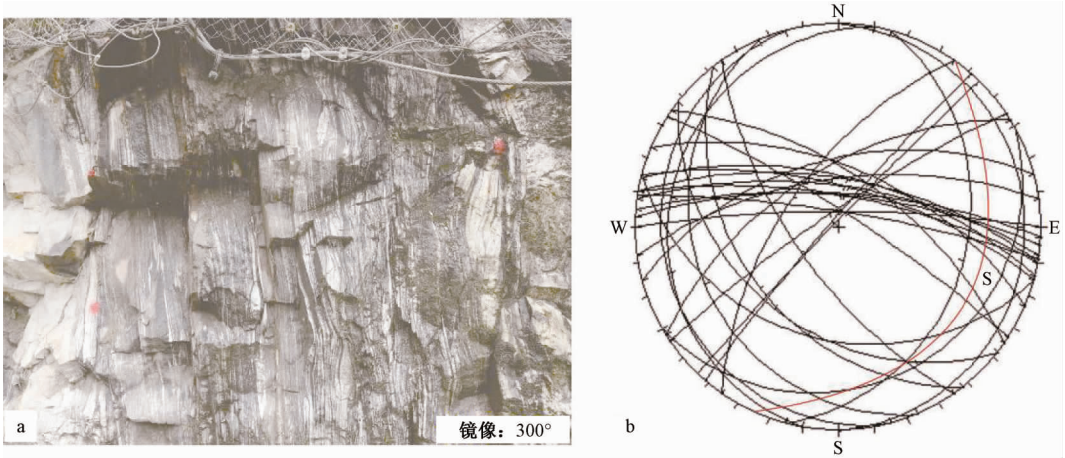
图 8 拉月—排龙灾害地质剖面图 (P3)

Fig. 8 Profile of geo-hazards in Layue-Pailong section

2.4 排龙—通麦段

该段整体位于通灯—通麦左行走滑断裂上, 基岩岩性为念青唐古拉岩群片麻岩, 岩体中发育片麻理, 沟谷两侧斜坡陡立, 坡度在 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 之间, 岩体面理 (片麻理) 与斜坡坡向近垂直, 而优势节理为区域构造作用形成, 顺片麻理发育,

故该段斜坡结构为块状体斜坡中由垂直坡向节理控制的“类横向坡” (见图 9、图 10), 但临公路边坡岩体中发育有其他产状杂乱的结构面 (见图 10), 为公路修建爆破, 开挖边坡形成, 易产生中—小规模崩塌落石地质灾害。



a—排龙—通麦段野外典型斜坡结构; b—排龙—通麦边坡节理赤平投影 (红色线条为斜坡投影, 黑色线条为结构面投影)

图 9 排龙—通麦段典型斜坡结构及节理特征图

Fig. 9 Typical ramp structure and joint stereographic projection in Layue-Tongmai section

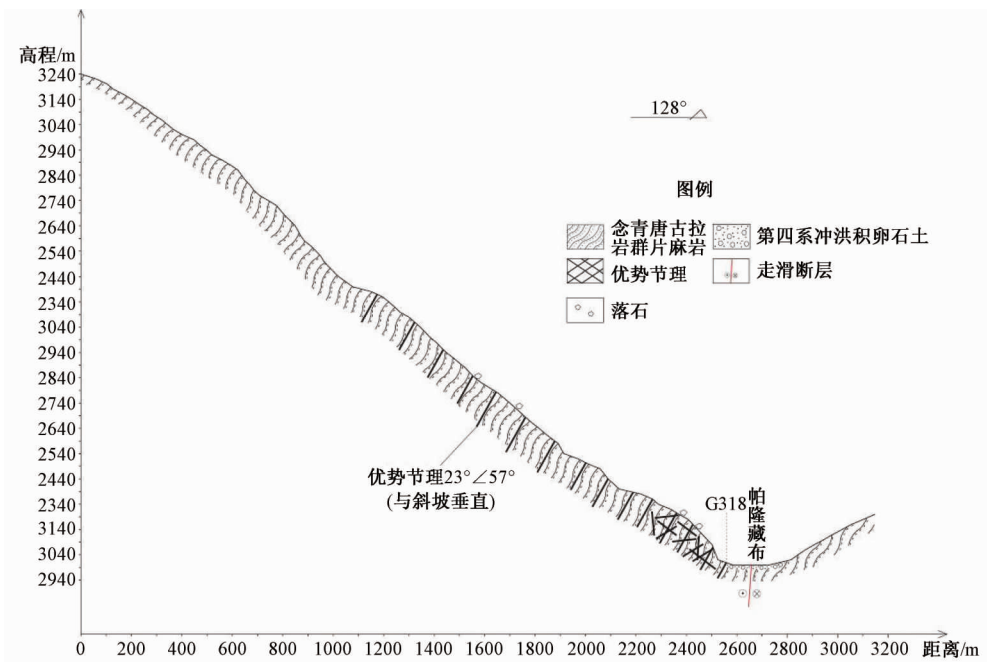


图 10 排龙—通麦灾害地质剖面图 (P4)

Fig. 10 Profile of geo-hazards in Pailong-Tongmai section

3 讨论

对比研究区四段区域,鲁朗—东久段因为高陡边坡坡脚较厚第四纪松散堆积体的存在,在降雨和河流切坡的诱发下极易经过蠕滑—拉裂的变形破坏,形成土质滑坡;东久—拉月、拉月—排龙、排龙—通麦三段中地质灾害的主要载体为基岩岩体,区别于其他新构造运动不活跃区域的岩质斜坡,构造节理发育以及斜坡中的活动断裂是该区域的典型特征。三段中以拉月—排龙段地质灾害暴发规模最大,地质灾害类型以大型—特大

型岩质滑坡为典型特征,受控于顺坡向发育的优势节理,其主要的变形破坏模式为滑移—拉裂式,另外两段因为位于断裂带上,岩体多被节理裂隙切割破碎,在无特殊工况条件下主要的地质灾害类型为小—中型崩塌落石为主,变形破坏模式为倾倒、拉裂式。综合对比三段的孕灾地质背景,仅有拉月—排龙段存在顺坡向的优势节理,这也是该段暴发整体滑移式岩质滑坡的控制因素。因此,喜马拉雅东构造结北西侧相邻的区域内发生类型、规模差别如此之大的地质灾害,显然是由不同区段具体的孕灾地质背景条件所决定的,如表1所示。

表1 鲁朗—通麦崩滑地质灾害类型、孕灾地质条件对比

Table 1 Contrastive analysis of the geologic conditions and disaster-inducing features along Lulang-Tongmai

区段名称	崩滑灾害类型及规模	岩性组合	斜坡结构	变形破坏模式
鲁朗—东久段	小型土质滑坡	高陡边坡坡脚的坡积物	类均质土质斜坡	蠕滑—拉裂式
东久—拉月段	小型崩塌	节理裂隙发育的块状变质岩	类反向坡	倾倒、拉裂式
拉月—排龙段	大型—特大型岩质滑坡	节理裂隙发育的块状变质岩	类顺向坡	滑移—拉裂式
排龙—通麦段	小—中型崩塌	节理裂隙发育的块状变质岩	类横向坡	倾倒、拉裂式

4 结论

根据藏东南地区鲁朗到通麦不同区段崩塌滑坡地质灾害的孕灾地质背景特征,据此将川藏公路鲁朗到通麦具体划分为四段,分别为鲁朗—东久段、东久—拉月段、拉月—排龙段、排龙—通麦段,孕灾地质背景决定了每一段的变形破坏模式和规模:(1)鲁朗—东久段,以斜坡表层的松散堆积物,经降雨诱发和河流侧蚀形成的土质滑坡为特征,破坏模式为蠕滑—拉裂式;(2)东久—拉月段,以块状体斜坡中由逆坡向节理控制的“类反向坡”斜坡结构为特征,无特殊工况条件下(地震)边坡整体稳定性较好,仅以小规模崩塌落石灾害为主;(3)拉月—排龙段,以大型—特大型岩质滑坡灾害为典型特征,山体中发育的断裂和岩体中的顺坡向及逆坡向的两组优势节理为崩滑灾害的主控因素,破坏模式为滑移—拉裂式;(4)排龙—通麦段,以块状体斜坡中由垂直坡向节理控制的“类横向坡”斜坡结构为特征,临公路边坡因公路修建爆破、开挖,发育有其他产状杂乱的结构面,易产生小—中规模崩塌落石地质灾害。

致谢:成都理工大学的邹任洲、田海、李鸿儒、钱宏在野外调查中给予帮助,研究团队司机

何均宴在野外工作中提供了良好的后勤保障,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献/References

- [1] 尚彦军,杨志法,廖秋林,等.雅鲁藏布江大拐弯北段地质灾害分布规律及防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,2001,12(4):30~40.
SHANG Yanjun, YANG Zhifa, LIAO Qiulin, et al. Geological hazard distribution and prevention in North of Yalu Canyon, Tibet [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2001, 12 (4): 30 ~ 40. (in Chinese with English abstract)
- [2] 丁继新,杨志法,尚彦军.川藏公路然乌—鲁朗段泥石流灾害成因分析及量化分区[J].地质力学学报,2006,12(2):203~210,226.
DING Jixin, YANG Zhifa, SHANG Yanjun. Cause analysis and quantitative zonation of mudflow hazards along the Rawu-Lunang section, Sichuan-Tibet highway [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (2): 203 ~ 210, 226. (in Chinese with English abstract)
- [3] 宋章,张广泽,蒋良文,等.川藏铁路主要地质灾害特征及地质选线探析[J].铁道标准设计,2016,60(1):14~19.
SONG Zhang, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen, et al. Analysis of the characteristics of major geological disasters and Geological alignment of Sichuan-Tibet railway [J]. Railway Standard Design, 2016, 60 (1): 14 ~ 19. (in Chinese with English abstract)

- [4] 许志琴, 蔡志慧, 张泽明, 等. 喜马拉雅东构造结——南迦巴瓦构造及组构运动学 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (7): 1463 ~ 1476.
XU Zhiqin, CAI Zhihui, ZHANG Zeming, et al. Tectonics and fabric kinematics of the Namche Barwa terrane, Eastern Himalayan Syntaxis [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (7): 1463 ~ 1476. (in Chinese with English abstract)
- [5] 何易平, 胡凯衡, 韦方强, 等. 川藏公路迫隆藏布流域段泥石流活动特征 [J]. 水土保持学报, 2001, 15 (3): 76 ~ 80.
HE Yiping, HU Kaiheng, WEI Fangqiang, et al. Characteristics of debris flow in Polongzangbu basin of Sichuan-Tibet highway [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15 (3): 76 ~ 80. (in Chinese with English abstract)
- [6] 程尊兰, 田金昌, 张正波, 等. 西藏江河堵溃灾害及成灾环境分析 [J]. 灾害学, 2009, 24 (1): 26 ~ 30.
CHENG Zunlan, TIAN Jinchang, ZHANG Zhengbo, et al. Analysis on environment of disasters resulting from river blockage in Tibet [J]. Journal of Catastrophology, 2009, 24 (1): 26 ~ 30. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张佳佳, 刘建康, 高波, 等. 藏东南嘎龙曲冰川泥石流的物源特征及其对扎墨公路的影响 [J]. 地质力学学报, 2018, 24 (1): 106 ~ 115.
ZHANG Jiajia, LIU Jiankang, GAO Bo, et al. Characteristics of material sources of Galongqu glacial debris flow and the influence to Zhamo road [J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24 (1): 106 ~ 115. (in Chinese with English abstract)
- [8] 蒋忠信. 西藏帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流的分布规律 [J]. 地理研究, 2002, 21 (4): 495 ~ 503.
JIANG Zhongxin. Differential distribution regularity of collapse-landslides and debris flows along Palong Zangbu River Valley in Tibet [J]. Geographical Research, 2002, 21 (4): 495 ~ 503. (in Chinese with English abstract)
- [9] 中国科学院—水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通厅科学研究所. 西藏泥石流与环境 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999, 1 ~ 245.
Chinese Academy of Sciences-Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Ministry of Water Resources, Institute of Science, Ministry of Communications, Tibet Autonomous Region. Debris flow and environment in Tibet [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology University Press, 1999, 1 ~ 245. (in Chinese)
- [10] 中国科学院—水利部, 西藏交通科学研究院. 川藏公路典型山地灾害研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999, 1 ~ 243.
Chinese Academy of Sciences-Ministry of Water Resources, Tibet Institute of Transportation Science. Study on typical mountain hazards along Sichuan-Tibet highway [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology University Press, 1999, 1 ~ 243. (in Chinese)
- [11] 廖秋林, 李晓, 尚彦军, 等. 水岩作用对雅鲁藏布大拐弯北段滑坡的影响 [J]. 水文地质工程地质, 2002, 29 (5): 19 ~ 21.
LIAO Qiulin, LI Xiao, SHANG Yanjun, et al. Effect of water-rock interaction on the slope in the north of the great turn of Yaluzangbu [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002, 29 (5): 19 ~ 21. (in Chinese with English abstract)
- [12] 丁林, 钟大赉. 印度与欧亚板块碰撞以来东喜马拉雅构造结的演化 [J]. 地质科学, 2013, 48 (2): 317 ~ 333.
DING Lin, ZHONG Dalai. The tectonic evolution of the eastern Himalaya syntaxis since the collision of the Indian and Eurasian plates [J]. Chinese Journal of Geology, 2013, 48 (2): 317 ~ 333. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张永双, 郭长宝, 姚鑫, 等. 青藏高原东缘活动断裂地质灾害效应研究 [J]. 地球学报, 2016, 37 (3): 277 ~ 286.
ZHANG Yongshuang, GUO Changbao, YAO Xin, et al. Research on the Geohazard effect of active fault on the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2016, 37 (3): 277 ~ 286.
- [14] 唐方头, 宋键, 曹忠权, 等. 最新GPS数据揭示的东构造结周边主要断裂带的运动特征 [J]. 地球物理学报, 2010, 53 (9): 2119 ~ 2128.
TANG Fangtou, SONG Jian, CAO Zhongquan, et al. The movement Characters of main faults around Eastern Himalayan Syntaxis revealed by the latest GPS data [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53 (9): 2119 ~ 2128. (in Chinese with English abstract)
- [15] 孔纪名. 川藏公路拉月滑坡破坏过程模型试验研究 [J]. 山地学报, 2003, 21 (S1): 133 ~ 138.
KONG Jiming. The model test research of breakdown process of Layue landslide on the highway from Sichuan to Tibet [J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21 (S1): 133 ~ 138. (in Chinese with English abstract)