

# 北京典型地质灾害软弱夹层矿物谱学研究

路璐, 张长敏, 李军辉, 程素珍, 顾杰, 李晓玮

北京市地质研究所, 北京  
Email: 176224964@qq.com

收稿日期: 2021年3月26日; 录用日期: 2021年4月23日; 发布日期: 2021年4月30日

## 摘要

2018年8月11日北京房山军红路崩塌是北京市近年规模最大的边坡地质灾害。因北京市崩塌具有分布区域广和突发性强的特点, 因此开展崩塌深入研究对北京市指导防灾减灾具有重要意义。本文在现场调查基础上, 理清崩塌发育的地质环境条件, 查明玄武岩柱底部具有软弱夹层作为潜在滑移带, 在边坡开挖和降雨条件下对于岩体失稳具有重要的作用。并且采用多种测试手段研究该软弱夹层的矿物谱学微观特征。

## 关键词

边坡灾害, 软弱夹层, X光衍射, X光荧光, 红外光谱

## Analysis on Weak Interlayer Mineral Spectroscopy of Typical Geological Disaster in Beijing

Lu Lu, Changmin Zhang, Junhui Li, Suzhen Cheng, Jie Gu, Xiaowei Li

Beijing Institute of Geology, Beijing,  
Email: 176224964@qq.com

Received: Mar. 26<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2021; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The collapse of Junhong road in Fangshan district on August 11th 2018 is a relatively large scale slope geological disaster in Beijing in recent years. Due to the collapse with characteristics of wide distribution, high frequency and suddenness, deep analysis on collapse is important to disaster prevention and mitigation. This paper clarifies the developing geology environment of the rock to find out the formation mechanism and key influence factors. The results show that instability pat-

tern of tower rock of Beijing is slide at bottom part. Slope excavation and rainfall play an important role in rock mass instability. The microscopic characteristics of weak interlayer mineral spectroscopy are tested with many testing methods.

## Keywords

Slope Geological Disaster, Weak Interlayer, X-Ray Diffraction, X-Ray Fluorescence, Infrared Spectrum

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

北京市位于华北平原西北隅, 总面积 16,410 km<sup>2</sup>, 其中山区面积 10,072 km<sup>2</sup>, 约占总面积的 61.3%。该区构造上处于燕山隆起南侧, 太行山断裂带以东, 区内地层从太古界变质岩到新生界松散沉积物均有出露。自太古代以来, 区内地壳构造发展经历了由以强烈下陷、褶皱活动为主, 发展至以稳定隆起为主, 形成多旋回螺旋式推进、继承和新生相交替发展演化的过程, 由此形成的褶皱和断裂, 严重破坏了岩体的稳定性和完整性, 节理发育, 岩石破碎, 若有临空面存在, 极易发生崩塌。北京城市的发展是伴随着强烈的人类活动进行的, 而且随着人口的增加和经济建设的迅速发展, 这种活动范围和强度日益增大。目前, 对地质环境带来影响的人类工程活动主要是指北京城市发展需要进行大量的建筑、道路、水利、电力工程的建设活动, 其中, 开山修路造成了大量的稳定的人工边坡, 在地震、降雨等触发因素影响下, 极易发生滑坡、崩塌等地质灾害。由于地质条件复杂、极端天气频发及人类工程活动影响, 北京已成为世界上突发地质灾害较为发育的首都城市之一, 据北京市规划与自然资源委员会突发地质灾害数据库最新数据显示: 全市共有 4614 处地质灾害, 崩塌隐患占比高达 51%, 威胁人数上万人。

军红路是 1975 年修建的县级公路, 路面宽 6 米, 边坡开挖高度 15~20 米, 坡面直立, 裸露无防护。2018 年 8 月 11 日军红路发生崩塌是自北京市 2002 年地质灾害应急调查以来规模最大的汛期塌方, 落石方量约 30,000 m<sup>3</sup>, 造成军红路双向阻塞, 砸毁长约 80 m 道路, 由于群测群防员拦截及时, 未造成人员伤亡及车辆受损。此外边坡岩体存在多处裂隙, 坡体上仍然有约 50,000 m<sup>3</sup> 岩体存在再次发生崩塌的可能, 将对下方公路和来往车辆行人构成重大威胁, 后经市政府组织专家商定于 2018 年 9 月 13 日对剩余危岩进行爆破清理。针对此次崩塌已有多位学者开展相关研究, 赵忠海[1]认为灾害类型属滑移式崩塌, 定性指出陡峻的地形、软硬相间的岩层以及发育的节理裂隙构造提供了条件, 降雨是灾害发生的主要诱因; Shu Zhou [2]利用深度积分模型同时考虑岩滑过程和最终沉积区, 研究了其破坏机理和动力特性; 张田田 [3]运用水力劈裂理论剖析该崩塌机制。由于崩塌关键层的强度变化对崩塌的稳定性有重要的影响, 是控制危岩稳定性和活动机制的关键指标[4], 而其微观结构特征、物质组分和形成机理又主导了强度的变化。因此本文在军红路崩塌野外详细地质调查的基础上, 采用 X 射线衍射、X 射线荧光和红外吸收光谱手段对该崩塌的关键层的微观特征进行研究。

## 2. 崩塌概况

### 2.1. 地形地貌条件

军红路崩塌坐标为 E: 115°45'47.94", N: 39°53'12.36", 位于北京房山区大安山乡北, 县道军红路



致拉裂, 损伤不断加剧。崩塌的铲刮区和堆积区为出露新鲜的砂岩, 具有较高的力学强度和抗变形能力。围岩体地下水类型主要为块状岩类裂隙水, 中等透水。

## 2.4. 降雨情况

北京市房山区处于暖温带半湿润地区, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥。气温和降水量分布不均匀, 年平均气温 11℃, 夏季气温最高月平均 23.80℃, 冬季气温最低月平均-3.2℃。年平均降水量 625 mm, 主要集中在 6~8 月份。崩塌点附近的雨量站为房山区史家营乡金鸡台北港沟雨量站, 收集此站点自进入汛期(2018 年 6 月 1 日)到崩塌发生当日(2018 年 8 月 11 日)共计 72 天的雨量数据。数据分析表明, 崩塌发生前该地有三次明显的降雨过程, 累计降雨为 527.2 mm, 第一次为 7 月 2 日到 7 月 12 日, 11 天累计降雨量为 126.4 mm, 第二次为 7 月 16 日到 7 月 24 日, 9 天累计降雨量为 250.0 mm, 第三次为 8 月 5 日到 8 月 9 日, 5 天累计降雨量为 130.8 mm, 而且崩塌发生当日也有 20.0 mm 的降雨量(见图 2)。崩塌前发生的这三次暴雨对危岩体失稳发生崩塌灾害起到重要作用, 一方面降雨沿裂隙入渗, 导致岩体强度降低, 孔隙水压力增加[3], 另一方面是水对崩塌岩体底部软弱夹层的润滑作用, 降低了坡体的整体稳定性。

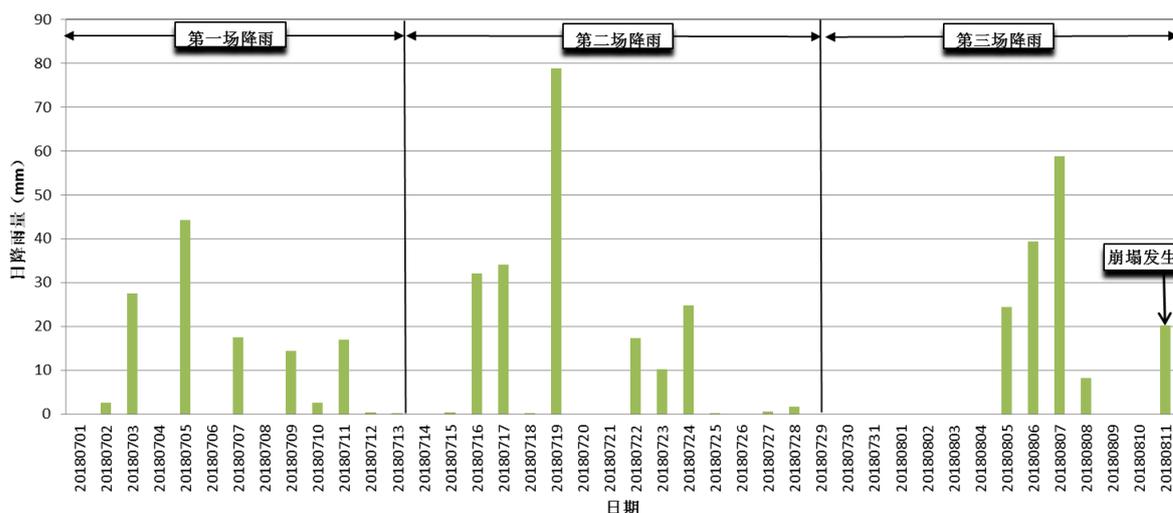


Figure 2. The rainfall of BeiGang gully before collapse happened

图 2. 北港沟雨量站崩塌前雨量

## 3. 软弱岩层微观特征及分析

软弱夹层样品采于玄武岩与砂岩不整合接触带的破碎带内, 分布连续, 呈土黄色。X 射线衍射(XRD)、X 射线荧光(XRF)和傅里叶红外吸收光谱(FIR)测试均在北京北达燕园微构分析测试中心进行。X 射线衍射仪型号为 Bruker D8, 发射狭缝与散射狭缝均为 1°, 扫描速度 2°/min, 采样步宽 0.02, 扫描范围 3°~70°, 利用 Jade 9.0 进行五相分析, 黏土类型及含量 X 射线衍射分析经过三个步骤: 1) 制作自然定向片; 2) 乙二醇饱和片; 3) 加热 450℃高温片; X 射线荧光仪采用 ARL ADVANT XP+, 将样品粉碎 200 目以下, 称取样品 5 克, 加入行腔模具中, 加压 30 mPa, 恒压 1 分半钟上机测试, X 光管电流 30 ma, 电压 80 kV; 红外光谱仪型号为 FTIR-650, 测试范围为 4000~400 cm<sup>-1</sup>。

### 3.1. 测试结果

#### 3.1.1. X 射线衍射

利用 X 射线衍射对软弱夹层样品进行全岩分析, 分析结果如表 1 所示。样品主要矿物成分为石英,

极少量的斜长石、微斜长石、辉石和叶腊石，含有 42% 的黏土矿物。对软弱夹层中黏土矿物进行 X 射线衍射分析表明样品中黏土矿物以伊利石/蒙脱石混层、伊利石为主，含一定量的绿泥石/蒙脱石混层及少量高岭石(表 2)。

**Table 1.** Major minerals in the weak interlayer

**表 1.** 软弱夹层主要矿物含量(%)

石英	微斜长石	斜长石	辉石	叶腊石	黏土总量
43	3	4	5	3	42

**Table 2.** Principle clay compositions of the weak interlayer (%)

**表 2.** 软弱夹层主要黏土矿物含量(%)

黏土矿物相对含量						混层比/S	
S	I/S	It	Kao	C	C/S	I/S	C/S
-	34	30	14	-	22	55	40

注: S 为蒙脱石, It 为伊利石, Kao 为高岭石, C 为绿泥石, I/S 为伊蒙混层, C/S 为绿蒙混层。

### 3.1.2. X 射线荧光

通过 X 射线荧光光谱分析, 获得了软弱夹层样品的化学成分, 见表 3。样品化学组分均以  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为主, 反映样品以硅酸盐矿物为主, 与全岩分析结果一致, 样品中含有较多的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{K}_2\text{O}$ , 及少量的  $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{CaO}$ , 反映了其黏土矿物组成特征。

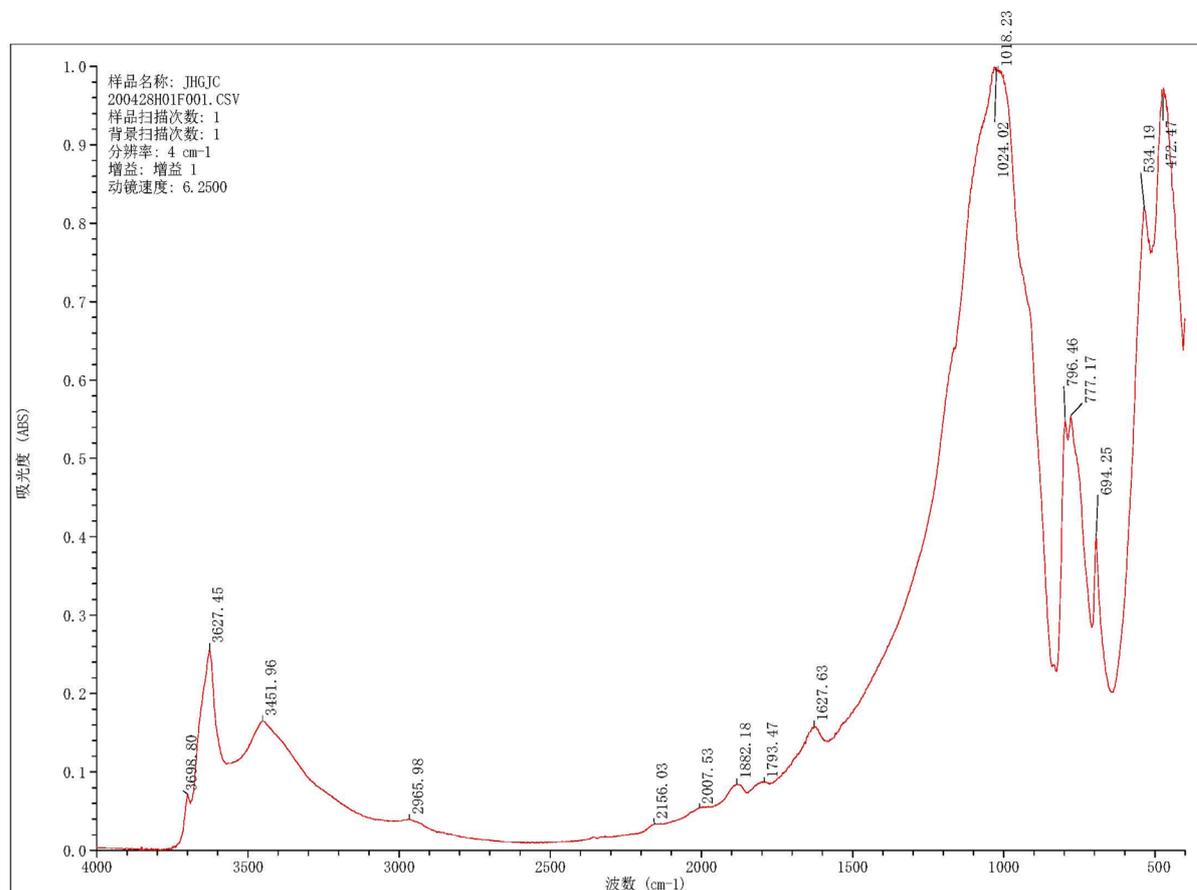
**Table 3.** Chemical compositions of the weak interlayer/%

**表 3.** 软弱夹层中化学成分含量/%

化学成分	含量	化学成分	含量
$\text{SiO}_2$	56.44	$\text{MgO}$	0.89
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18.37	$\text{CaO}$	0.48
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	13.73	$\text{Na}_2\text{O}$	0.39
$\text{K}_2\text{O}$	3.20	$\text{ZrO}_2$	0.18
$\text{TiO}_2$	1.12	$\text{ZnO}$	0.15

### 3.1.3. 红外光谱

软弱夹层样品的红外吸收图谱谷形在  $3698$ 、 $3627$ 、 $3453$ 、 $1628$ 、 $1027$ 、 $775$ 、 $694$ 、 $532$  与  $467 \text{ cm}^{-1}$  位置出现较强的谱谷(图 3), 其中  $3698 \text{ cm}^{-1}$  的吸收谷为黏土矿物中羟基(O-H)伸缩振动引起,  $1628 \text{ cm}^{-1}$  的吸收谷表明样品黏土矿物层间含有大量吸附水, 这也验证了样品中存在一定量的伊利石/蒙脱石混层,  $1027 \text{ cm}^{-1}$  的吸收谷代表了长石类矿物  $\text{Si}(\text{Al})\text{-O}$  的伸缩振动,  $775 \text{ cm}^{-1}$  为长石的  $\text{Si-Si}$  伸缩振动,  $694 \text{ cm}^{-1}$  附近谱谷由石英双峰振动引起; 其中低波段谱谷反应了样品中  $\text{Si-O-Si}$  的弯曲振动。红外吸收光谱测试没有发现  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  或 C-H 等振动相应产生的吸收谷, 表明软弱夹层处于封闭系统, 没有力学性质较差的碳酸盐等外来矿物或含腐殖质的次生黏土沿夹层充填进去。



**Figure 3.** FTIR spectrum of the weak interlayer  
**图 3.** 软弱夹层的 FTIR 图谱

### 3.2. 软弱夹层滑动特征分析

正断层滑动面、滑坡面与软弱夹层具有非常相似的力学过程，断层泥或夹层中的伊利石和蒙脱石是伊/蒙混层的两个端元组成的黏土矿物，温度较高的环境下，蒙脱石部分层间水脱出，形成伊/蒙混层，温度越高，混层比越大，直至形成伊利石。而且，在台湾集集 Mw 7.6 地震、汶川 Mw 8.0 地震的断层泥成分研究表明伊利石和蒙脱石分别为岩体快速滑动和缓慢滑动伴生的黏土矿物[5] [6]。在军红路采集的软弱夹层中伊利石占黏土矿物总量的 30%，没有检测出蒙脱石，反映出该崩塌事件没有出现蠕变特征，而是在很短的时间内完成，软弱夹层滑动速率非常高。

### 3.3. 软弱夹层稳定性特征分析

软弱夹层的黏土矿物是重要固相组成单元，主要来源于造岩矿物的次生变化、泥屑岩的泥化、崩解以及搬运沉积。研究表明，黏土矿物在干燥条件下具有较高的摩擦强度值，当黏土矿物占到 10% 并且在剪切过程中特别是有水参与时，具有晶体表面吸附水或者含层间吸附水的黏土矿物如蒙脱石、伊/蒙混层、皂石及高岭石的摩擦强度值相对于干燥条件下减小约 20%~60%，而且伊/蒙混层对滑带土或断层泥产生明显的胀缩性影响，从而反应并影响滑体的稳定性。在军红路采集的软弱夹层中伊/蒙混层和高岭石占黏土矿物总量的 48%，该黏土组合很大程度上降低了滑动面的摩擦强度值，从而提高了塔柱状危岩失稳的危险性。

## 4. 结论

1) 军红路崩塌所在边坡的二叠系石盒子组砂岩和侏罗系南大岭组玄武岩呈火山喷发不整合接触关系, 不整合接触带发育多层破碎带, 形成厚层体中的相对软弱夹层, 易发生层间滑动是塔柱状危岩失稳的关键层位, 崩塌前降雨累计为 527.2 mm 则构成主要诱因。

2) 软弱夹层化学成分除以  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为主外, 还含有较多的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{K}_2\text{O}$  反映黏土矿物组成特征。黏土含量高达 42%, 伊/蒙混层和高岭石为主的黏土组合很大程度上降低了滑动面的摩擦强度值, 从而提高了塔柱状危岩失稳的危险性, 没有检测出蒙脱石, 反映软弱夹层滑动速率非常高。

## 基金项目

本研究由北京市自然科学基金项目(编号: 8194062)和北京市科技计划课题(Z191100001419015)资助。

## 参考文献

- [1] 赵忠海, 李敏. 北京房山军红路边坡地质灾害特征及成因分析[J]. 城市地质, 2018, 13(4): 32-36.
- [2] Zhou, S., Ouyang, C., An, H., Jiang, T. and Xu, Q. (2020) Comprehensive Study of the Beijing Daanshan Rockslide Based on Real-Time Videos, Field Investigations, and Numerical Modeling. *Landslides*, **17**, 1217-1231. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01345-2>
- [3] 张田田, 杨为民, 孟华君. 区域性节理控制的反倾岩质斜坡水力劈裂破坏机制——以北京“8·11”大安山岩质崩塌为例[J]. 华北地震科学, 2020, 38(1): 1-6.
- [4] 蒋秀姿, 文宝萍. 缓慢复活型滑坡滑带土的蠕变性质与特征强度试验研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(2): 495-501.
- [5] Vrolijk, P. and Van der Pluijm, B.A. (1999) Clay Gouge. *Journal of Structural Geology*, **21**, 1039. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00103-0)
- [6] Isaacs, A.J., Evans, J.P., et al. (2007) Structural, Mineralogical, and Geochemical Characterization of the Chelungpu Thrust Fault, Taiwan. *Atmospheric and Oceanic Sciences*, **18**, 183. [https://doi.org/10.3319/TAO.2007.18.2.183\(TCDP\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2007.18.2.183(TCDP))