

# 川藏公路南线八宿—林芝段滚石灾害 的工程地质调查与评价\*

张路青 许 兵 尚彦军 祝介旺 杨志法

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘要** 对川藏公路南线八宿—林芝段沿线山地灾害的工程地质调查表明,滚石对公路的危害性非常突出,鉴于滚石事件自身的特点应将之作为一个专门的灾种给予高度的重视。通过对滚石灾害的影响因素分析,给出了相应的灾害评价方法,并对19个滚石灾害点进行了灾害评价。针对灾害的相对严重程度,对各段滚石区防护措施的设置提出了初步建议。

**关键词** 工程地质, 川藏公路, 滚石灾害, 灾害评价

**分类号** P 642

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-6915(2004)09-1551-07

## ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION AND ASSESSMENT ON ROCKFALL HAZARD ALONG BASU-LINZHI SECTION OF SOUTH LINE OF SICHUAN-TIBET HIGHWAY

Zhang Luqing, Xu Bing, Shang Yanjun, Zhu Jiewang, Yang Zhifa

(Institute of Geology and Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 China)

**Abstract** Engineering geological investigation on mountainous hazards along Basu-Linzhi section of the south line of Sichuan-Tibet highway, is conducted, which indicates that rockfall hazard is extremely serious and should be treated as a special kind of hazard with great attentions. By analyzing influence factors of the hazard, an assessment approach is presented, with which 19 rockfall sites are assessed. Countermeasures are suggested according to relatively hazardous levels at a rockfall site.

**Key words** engineering geology, Sichuan-Tibet highway, rockfall hazard, hazard assessment

### 1 引 言

川藏公路于1950年开始兴建,是西藏连接内地的两大交通命脉之一,在维护国家统一、巩固国防、加强民族团结和加速西藏经济建设等方面都起到了极大的推动作用。然而,由于公路沿线特定的地质构造、地形地貌、气候等自然条件,使公路沿

线孕育了各种各样的地质灾害。经过川藏公路南线八宿—林芝段的工程地质调查之后发现:除了泥石流、崩塌、滑坡、雪崩及水流冲刷等灾害外,滚石对公路及过往车辆和人员的危害非常突出。从滚石的物源、发生、体积大小、运动方式等方面的特点来看,不能将之完全归于崩塌或滑坡,而应将之作为一个具有自身特点的灾种给予高度的重视。

国外关于滚石灾害及防护措施的较系统研究

2002年7月1日收到初稿,2002年8月20日收到修改稿。

\* 中国科学院知识创新工程(KZCX2-306)资助项目。

作者 张路青 简介:男,29岁,博士,1995年毕业于山东矿业学院矿井建设专业,主要从事工程地质与岩石力学方面的研究工作。E-mail: zhanglqlwj@sohu.com。

始于上世纪 60, 70 年代<sup>[1~7]</sup>, 目前已经发展形成了多个有效的滚石灾害评价系统<sup>[3~5]</sup>。我国对川藏公路滚石灾害的研究刚刚起步<sup>[8~11]</sup>, 随着西部大开发号角的吹响及社会对安全意识的增强, 需要对这类灾害进行全面而深入的研究。

## 2 滚石与滚石灾害

所谓滚石, 是指这样一个过程: 岩块(包括砾石)从坡体(或陡崖)表面分离出来后在空中移动, 经过一定运动方式(比如自由落体、弹跳、沿坡面的滚动和滑动)向下快速运动, 最后在坡脚附近停下来。当在滚石运动范围内有人类活动或人类构筑的设施时, 就可构成滚石灾害。一次滚石事件可能仅涉及到一个块体, 也可能涉及到多个块体。在山区修建的运输通道往往会面临严重的滚石灾害。

由于复杂的地质结构和特殊的地形地貌条件, 川藏公路南线八宿—林芝段沿线滚石灾害的发生具有以下特点: (1) 多物源, (2) 突发性, (3) 不确定性, (4) 高频率。图 1~8 给出了可反映出滚石危害的部分照片。

## 3 灾害背景

### 3.1 地质基础

川藏公路南线八宿—林芝段位于西藏境内, 全长 430 多公里, 行政上属八宿、波密和林芝管辖(图 9)。八宿—安久拉(79 道班)属怒江的一级支流



图 1 80 道班南侧的陡崖段(II<sub>d1</sub>)及防滚石木棚  
Fig.1 Steep cliff (II<sub>d1</sub>) and wood shed against rockfall at squad 80

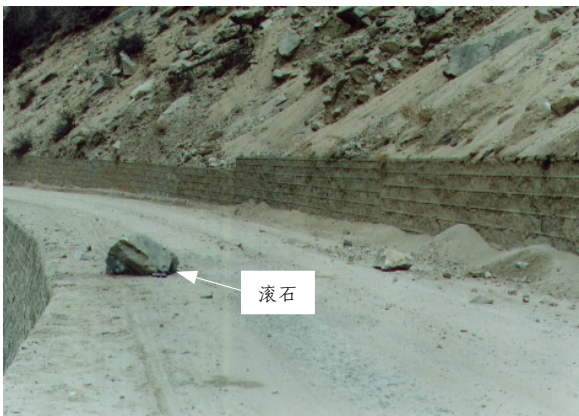


图 2 84 道班西侧坡面碎屑流段(III<sub>x1</sub>)路面上的滚石(尺寸约 1.0 m×0.8 m×0.8 m)  
Fig.2 One rockfall (about 1.0 m×0.8 m×0.8 m), rolling down slope (III<sub>x1</sub>) behind retaining wall at squad 84



图 3 84~85 道班被滚石砸坏的混凝土护墩  
Fig.3 Concrete piers damaged by rockfall between squad 84 and 85



图 4 84~85 道班一滚石击穿 1 m 多厚的石砌挡土墙  
Fig.4 Stone-built retaining wall 1 m thick, hit by one rockfall between squad 84 and 85

冷曲河流域, 长约 70 km; 安久拉—色季拉(112 道班)属帕隆藏布流域, 长约 330 km; 色季拉—林芝





图 5 85~86 道班路面上一个滚石(尺寸约 1.0 m×0.7 m×0.5 m)

Fig.5 One rockfall on road (about 1.0 m×0.7 m×0.5 m) between squad 85 and 86



图 6 大老虎嘴北侧的岩石陡崖段(VI<sub>45</sub>)

Fig.6 Rock cliff (VI<sub>45</sub>) at north of Dalaohuzui bend



图 7 大老虎嘴北侧岩石崩塌体斜坡(VI<sub>x1</sub>)

Fig.7 Slope (VI<sub>x1</sub>) with rock blocks distributed at north of Dalaohuzui bend



图 8 棚顶滚落的 20 多个滚石(最大直径约 2 m)

Fig.8 More than 20 rockfalls on the roof of wood shed (the biggest one is about 2 m diameter)

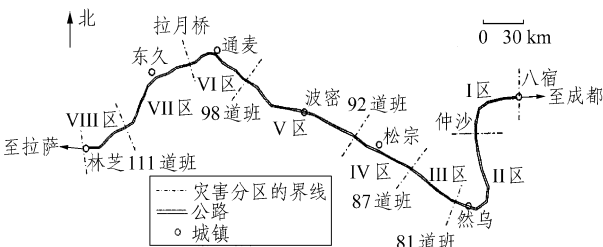


图 9 地质灾害的工程地质分区

Fig.9 Engineering geological zonation of geological hazards

段属尼洋曲流域，长约 30 km。

八宿—林芝段公路的主体在帕隆藏布江流域内，是印度板块与欧亚板块碰撞挤压作用的接触带，两大板块的强烈挤压作用使岩层陡倾或近乎直立<sup>[11]</sup>，并使岩体内的断层、节理、裂隙等非常发育，使坚硬岩层被切割成块状结构。

总的说来，特殊的地层分布、地质构造条件和地貌特征为滚石灾害的发生提供了基本的物质条件。新构造运动强烈、地震活动频繁、特殊的气候条件、人类活动等直接或间接地成为了滚石发生的触发因素。另外，较差的路况也加大了滚石灾害的严重性。

### 3.2 滚石灾害的分区

为便于滚石灾害的评价，作者对该灾害进行了分区(图 9)。在分区时考虑了各山地灾害的分布特点、地层岩性、地形地貌、地质结构和气候条件。在八宿—林芝约 430 km 长的公路沿线，滚石灾害主要分布在 I, II, III, VI 和 VII 区内，而在 IV, V 和 VIII 区不太发育。也就是说，整个考察区内的滚石灾害与地貌及地层岩性有非常好的对应关系：

(1) 高山峡谷段多出现滚石灾害且灾害较严重；(2)

滚石灾害发生的地带多出露侵入岩(如花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩等)和变质岩(如变质砂岩、板岩、片麻岩、片岩等)。当公路从松散堆积物(冲洪积、冰碛物、坡残积等)斜坡或陡崖下通过时,也会出现较严重的滚石灾害。

为对各滚石区进行灾害评价,作者根据紧邻公路的地貌特征将滚石灾害分为 2 种类型:陡崖滚石区(坡角  $> 60^\circ$ )和斜坡滚石区(坡角  $< 60^\circ$ )。分区代号脚码 d 代表陡崖滚石区,脚码 x 代表斜坡滚石区,脚码 1, 2, 3 等代表滚石区的顺序编号。

## 4 滚石灾害的影响因素分析

通过滚石灾害发育地段的工程地质考察,作者认为影响滚石灾害的基本因素主要包括边坡条件、块体条件、路况、防护措施、气候、地震活动、人类活动等。

### (1) 边坡条件

#### ① 边坡的长度、高度、坡角

滚石区所在边坡的长度和高度在一定程度上决定滚石灾害规模,而坡角的大小将直接影响坡面上块体的稳定性和运动路径。

#### ② 坡面地形

坡面的凹凸性、主要转折点、冲沟及边坡后方是否有陡崖等条件将影响滚石的产生和运动方式。

#### ③ 坡面的物质组成及物理力学性质

主要包括岩石和松散堆积物两种。其中,松散堆积物可来自冲洪积物、坡残积物和冰碛物等。另外,坡面的物质组成及物理力学性质将决定滚石在坡面上运动时的摩擦系数(包括滑动摩擦和滚动摩擦)、回弹系数及冲击是否引起滚石崩解等问题。

#### ④ 坡体的地质结构

对于岩石边坡,坡体的地质结构包括层面、断层、节理、裂隙、软弱带等结构面及其组合而成的岩体结构。这些地质结构面及其物理力学性质将影响块体的稳定性及破坏方式。对于松散堆积物边坡,本文所谈到的地质结构则指砾石的尺寸及与土或砂的含量比。

### ⑤ 地表水和地下水

地表水的冲刷和侵蚀将会改变坡面的形态,与地下水一样会弱化块体和结构面的力学性质并影响坡面物质的风化速度。另外,地表水和地下水都可以荷载的形式(水压力、冻胀压力等)存在于坡体和坡面。

### ⑥ 植被

包括植被的类型、密度和对滚石的形成及发生所起的作用。植被的根系可以固定边坡表层土体,但也可通过根劈等形式加速岩体中块体的生成和失稳。另外,坡面上的某些植被可减少坡面与块体间的摩擦系数,但也可以降低回弹系数(比如坡面表层为松软的腐殖土和枝叶)或直接成为滚石运动的障碍物。

### (2) 块体条件

这里谈到的块体包括岩体中被结构面切割而成的岩块和松散堆积物坡体中的砾石。

#### ① 块体的尺寸、最高位置及分布范围

块体的尺寸和滚落时的速度决定一个滚石的冲击力和危害性。块体(指潜在的滚石)的最高位置及分布范围在一定程度上由滚石区所在边坡的坡长和坡高来决定。

#### ② 块体的稳定性

坡面岩体中块体的失稳形式有滑动(包括平面滑动和楔形滑动)、倾倒、溃屈、拉伸破坏等,可根据边坡的倾角、结构面的力学性质及切割条件、块体的力学性质及暴露程度进行稳定性判断<sup>[7]</sup>。对松散堆积物边坡中存在的砾石可根据边坡的倾角、砾石的暴露程度及支撑情况进行稳定性判断<sup>[7]</sup>。

#### ③ 块体(包括砾石)的形状

块体的形状将会对具体的运动方式产生影响,比如:在同样条件下,接近球状的块体更易于产生滚动和跳跃,板状的块体更易于产生滑动,而块状和条状的块体的运动趋势处于上述两类块体之间。

#### ④ 块体的力学性质

块体与坡面物质的力学性质一起决定滚石在坡面上运动时的摩擦系数、回弹系数及冲击是否引起块体崩解等问题。大的块体崩解后,块体携带的总机械能减少很多,以致每个小块体携带的能量更小,但多个小块体落至路面的概率要比原来的单个大块体的概率大。

#### ⑤ 可能的运动路线及对公路的危害程度

由边坡地形和滚石的尺寸、起点高度和分布范围可以对滚石可能的运动路线进行大致的估计,进而对滚石危害公路的程度进行初步判断。紧邻公路的那部分坡体的地貌特征对滚石是否会冲击路面起到一定的控制作用。

#### ⑥ 滚石事件的记录

查阅有关部门对滚石事件的历史记录可获得较详细的发生过程及危害程度,但这样的记录是很

少的。另外,还可以通过调查滚石冲击路面及周围构筑物的痕迹来大致估计滚石发生的频率及危害程度。

### (3) 路况

主要包括路宽、受滚石灾害影响的路段长度、视距等。

### (4) 公路两侧防护措施的有效性

### (5) 气候

气候条件包括降水量和温度条件。因为两者对边坡条件、块体条件及路况都有直接的影响。根据研究<sup>[3]</sup>,1 a内滚石发生的次数与降水量和温度有一定的对应关系,即降水量的增加和气温的降低将会使滚石事件的次数增加。气候对滚石灾害的影响已经反映在边坡条件、块体条件、路况等条件中,所以,不再将气候单独作为灾害评价的影响因素。

### (6) 地震活动

由于没有不同区段地震活动的详细资料,在具体的灾害评价时按相同的影响程度来考虑。

### (7) 人类活动

包括人工爆破、人工开挖及来往车辆产生的振动等对滚石发生的影响。

## 5 滚石灾害的初步评价

### 5.1 评价方法

综合考虑各因素间的相互影响后,作者选择其中比较独立的主要影响因素对滚石灾害进行评价。按照每个因素(比如第*i*个)对滚石灾害的影响程度打分,其值为 $H_i$ , $H_i$ 值越高说明该因素引起的灾害越严重。 $H_i$ 值可以通过经验判断方法和定量的数学计算方法的综合考虑来获得,其中,经验判断方法是打分的基础。本文主要根据经验判断方法对 $H_i$ 进行打分,而定量数学计算的方法将在另外的论文中考虑。滚石区内滚石灾害的危害度(rockfall hazard)  $RH$  为

$$RH = \sum_{i=1}^N H_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中: $N$ 为滚石灾害的影响因素的个数。将不同滚石区的 $RH$ 值进行比较,即可得到滚石灾害的相对评价,其中, $RH$ 值越高说明该段滚石区的灾害相对越严重。

在利用经验判断方法对 $H_i$ 进行打分时主要是根据是否有利于滚石的产生、灾害危害程度的增

加、块体运动速度的加大等。每个影响因素的 $H_i$ 值都分为4个档,可达到的最高分由灾害严重性受该因素影响的程度而定。表1给出了19个主要影响因素的评分方法。

### 5.2 灾害评价

利用表1给出的评分方法,作者对19个考察点的滚石灾害进行评价(表2)。需要强调的是,作者在具体分析时将对 $H_i$ 值不敏感的车流量这一因素去掉,并将路宽、滚石区长度/坡长和视距/滚石区长度这3个影响因素进行综合考虑后合并为路况条件。按照各段灾害的 $RH$ 值将灾害严重性分为极严重( $1\ 300$ 分以上)、非常严重( $1\ 200 \sim 1\ 300$ 分)、严重( $1\ 100 \sim 1\ 200$ 分)、较严重( $1\ 000 \sim 1\ 100$ 分)和一般( $1\ 000$ 分以下)等5种程度。

## 6 关于防护措施的初步建议

为达到较好的防治效果,需要进行多方面的工作,比如:详细的工程地质调查、危岩体的分布及稳定性判断、滚石的可能运动路线、滚石的速度和弹跳高度、防护措施对滚石冲击的反应等。

对于 $I_{x1}$ 陡坎斜坡滚石区( $RH=1\ 220$ ,属非常严重区),可先清除部分危岩体,然后在坡面陡坎处设置挡网,并定时清理网后的滚石。对于 $I_{x2}$ 碎石斜坡滚石区( $RH=1\ 140$ ,属严重区),可在公路内侧设置滚石挡墙、挡网或栅栏,并对路内侧有空地的路段修筑截石沟。鉴于 $I_{x3}$ 坡面碎屑流斜坡滚石区( $RH=1\ 110$ ,属严重区)的物源仅在坡面本身,只要在坡脚处修筑挡土墙来维持坡面的自然休止状态即可。与此同时,应采取措施减少对坡面的人为扰动和碎屑流坡面的进一步扩大。由于滚石在到达坡脚前一般仅沿坡面滚动,所以,只要挡土墙有一定的高度即可达到有效的防治。当然,在坡脚较开阔的路段最好结合截石沟进行联合防治。

对于 $II_{d1}$ 岩石陡崖滚石区( $RH=1\ 360$ ,属极严重区),除了对崖顶和陡壁上存在的危岩进行可能的清除外,可考虑采用锚杆、锚索等加固方法稳固大的危岩体。另外,还可在陡壁上设置挡网或在路面上设置防滚石木棚。由于危岩体分布很广,该段需要进行综合治理。

$III$ 区(其中, $III_{x1}$ 及 $III_{x2}$ 为极严重区)是岩石陡崖和坡面碎屑流交互出现且灾害极其严重的地段,需要对多种防护措施的使用进行全面和深入的研究。

表 1 主要影响因素的评分标准  
Table 1 Score standards of main factors for rockfall hazard

| 影响因素                                |      | 评分方法    |         |          |       | 备注                                 |
|-------------------------------------|------|---------|---------|----------|-------|------------------------------------|
| 边坡长度/m                              | 条件   | <60     | 60~180  | 180~500  | >500  |                                    |
|                                     | 打分/分 | 20      | 80      | 140      | 200   |                                    |
| 边坡高度/m                              | 条件   | <30     | 30~70   | 70~150   | >150  | 此处的坡高是指提供滚石的斜坡或陡崖的最高点相对公路水平的高度     |
|                                     | 打分/分 | 15      | 60      | 105      | 150   |                                    |
| 坡角/(°)                              | 条件   | /       | /       | /        | /     | 不对坡角进行打分                           |
| 坡面地形                                | 条件   | 不利      | 一般      | 有利       | 极有利   | 根据是否有利于产生机械能迅速增加的运动方式              |
|                                     | 打分/分 | 0       | 20      | 50       | 80    | (比如跳跃和滚动)                          |
| 地质结构                                | 条件   | 不利      | 一般      | 有利       | 极有利   | 根据地质结构面及坡面物质的风化程度是否有利于块体的形成和失稳     |
|                                     | 打分/分 | 0       | 50      | 80       | 100   |                                    |
| 坡面物质的缓冲性能                           | 条件   | 好       | 一般      | 差        | 极差    | 缓冲性能差则利于块体速度的增加, 当块体仅做自由落体运动时属极差   |
|                                     | 打分/分 | 20      | 40      | 60       | 80    |                                    |
| 地表水和地下水的作<br>用                      | 条件   | 不利      | 一般      | 有利       | 极有利   | 根据是否有利于块体的生成和失稳                    |
|                                     | 打分/分 | 0       | 20      | 45       | 60    |                                    |
| 植被的作用                               | 条件   | 不利      | 一般      | 有利       | 极有利   | 根据是否有利于块体的失稳和下落速度的增加, 几乎无植被时取 20 分 |
|                                     | 打分/分 | 0       | 10      | 30       | 40    |                                    |
| 块体尺寸/m                              | 条件   | 0.1~1.0 | 1.0~3.0 | 3.0~6.0  | >6.0  | 取坡面上有代表性块体的较大粒径(其值为块体长宽高的平均值)      |
|                                     | 打分/分 | 30      | 60      | 90       | 120   |                                    |
| 块体的形状                               | 条件   | 板状      | 条状      | 块状       | 球状    | 应取代表性块体的形状, 其中球状块体易于跳跃和滚动, 板状易于滑动  |
|                                     | 打分/分 | 15      | 30      | 45       | 60    |                                    |
| 块体的稳定性判断                            | 条件   | 稳定      | 一般      | 不稳定      | 极不稳定  | 根据坡角、暴露程度、支撑状况等来判断岩块或砾石的稳定性        |
|                                     | 打分/分 | 0       | 80      | 160      | 200   |                                    |
| 可能运动路线的危害性                          | 条件   | 不严重     | 一般      | 严重       | 极严重   | 主要根据紧邻公路的地貌特点判断下落块体的运动路线及其危害程度     |
|                                     | 打分/分 | 20      | 40      | 80       | 100   |                                    |
| 车流量/(辆·d <sup>-1</sup> )            | 条件   | <50     | 50~300  | 300~1000 | >1000 | 川藏公路在不同的季节车流量差别较大, 应区分不同的季节而定      |
|                                     | 打分/分 | 20      | 40      | 60       | 80    |                                    |
| 路宽/m                                | 条件   | >6      | 5~6     | 4~5      | <4    | 应根据考察段的实际情况而定                      |
|                                     | 打分/分 | 15      | 30      | 45       | 60    |                                    |
| $\frac{\text{滚石区长度}}{\text{坡长}}/\%$ | 条件   | <10     | 10~40   | 40~80    | >80   | 滚石区长度是指沿公路的某段边坡中受滚石灾害影响的公路段长度      |
|                                     | 打分/分 | 20      | 40      | 60       | 80    |                                    |
| $\frac{\text{视距}}{\text{滚石区长度}}/\%$ | 条件   | >80     | 40~80   | 10~40    | <10   |                                    |
|                                     | 打分/分 | 15      | 30      | 45       | 60    |                                    |
| 防护措施的有效性                            | 条件   | 极有效     | 有效      | 一般       | 无效    | 无效包括有防护措施但不起任何作用和没有任何防护措施          |
|                                     | 打分/分 | 15      | 45      | 75       | 150   |                                    |
| 滚石记录/次                              | 条件   | <1      | 1~5     | 5~10     | >10   | 通过在案记录或现场观察估计最近滚石事件发生的次数           |
|                                     | 打分/分 | 15      | 30      | 45       | 60    |                                    |
| 人类活动的影响                             | 条件   | 很少      | 一般      | 严重       | 非常严重  | 主要包括人工开挖、爆破、车辆振动等对滚石灾害发生的影响        |
|                                     | 打分/分 | 20      | 40      | 60       | 80    |                                    |

注: 坡角作为滚石灾害的主要影响因素与很多其他因素共同起作用, 所以, 不对其打分; 块体的力学性质已在多个影响因素中得到反映且不考虑冲击后块体的崩解问题, 所以, 该表不将之作为独立的影响因素列出。

表 2 公路沿线各区段的滚石灾害评价  
Table 2 Rockfall hazard assessment along the road

| 区段编号              | RH 值 | 区段编号              | RH 值 |
|-------------------|------|-------------------|------|
| I <sub>x1</sub>   | 1220 | VI <sub>d1</sub>  | 1090 |
| I <sub>x2</sub>   | 1140 | VI <sub>d2</sub>  | 1060 |
| I <sub>x3</sub>   | 1110 | VI <sub>d3</sub>  | 995  |
| II <sub>d1</sub>  | 1360 | VI <sub>d4</sub>  | 1015 |
| III <sub>d1</sub> | 1125 | VI <sub>d5</sub>  | 1305 |
| III <sub>d2</sub> | 1145 | VI <sub>x1</sub>  | 1320 |
| III <sub>d3</sub> | 1275 | VI <sub>x2</sub>  | 975  |
| III <sub>d4</sub> | 1235 | VII <sub>d1</sub> | 1060 |
| III <sub>x1</sub> | 1355 | VII <sub>x1</sub> | 965  |
| III <sub>x2</sub> | 1355 | /                 | /    |

VI 岩石陡崖滚石区(VI<sub>d1</sub>, VI<sub>d2</sub> 和 VI<sub>d3</sub>, 其 RH 值分别为 1 090, 1 060 和 995)的长度和高度都不大, 所涉及的滚石运动范围不会太大。可考虑在清除部分危岩体后, 在公路内侧设置防滚石的挡墙或栅栏即可。由于 VI<sub>d4</sub> 陡崖滚石区(RH=1 015)陡立但路段不长, 可架设木棚或在崖壁上布置向下倾斜的挡网以使块体滚向路外侧的河谷。VI 区中的迫龙天险段(其中, 图 6, 7 所示的 VI<sub>d5</sub> 和 VI<sub>x1</sub> 属灾害极严重区)涉及到滚石的多种发生机制, 并且物源区分布范围很大, 需要对多种防护措施的联合使用进行全面和深入的研究。

对于 VII 区的松散堆积物陡崖滚石区 VII<sub>d1</sub> (RH=1 060), 可采用与陡崖滚石区 VI<sub>d1</sub>, VI<sub>d2</sub> 和 VI<sub>d3</sub> 相似的防护措施。从 VII<sub>x1</sub> 斜坡滚石区(RH=965)的防滚石木棚(图 8)的效果来看, 这种防护措施在该处是很有效的, 在确定受滚石影响的范围后可考虑继续使用这种防护措施。

7 结 论

(1) 通过川藏公路南线八宿—林芝段沿线山地灾害的工程地质调查, 发现公路沿线的滚石灾害十分严重。鉴于该灾害自身的特点应对其进行深入的调查、评价和综合治理措施的研究。

(2) 滚石灾害多发生在高山峡谷及深成岩类与变质岩类出露的地段。当公路紧邻松散堆积物斜坡或陡崖时, 坡面上砾石的失稳也会引起滚石事件的发生。

(3) 通过对滚石灾害的影响因素分析, 给出了

相应的灾害评价方法。  
(4) 对分布在公路沿线的 19 个考察点的滚石灾害评价表明: 然乌北侧的陡崖区和 83~86 道班间的坡面碎屑流区是滚石灾害极其严重的地段, 需要对其进行综合治理; 迫龙天险段(大老虎嘴以北)的公路虽然进行了拓宽, 但仍然是滚石灾害极其严重的地段; 另外, 73 道班西侧陡坎斜坡段的滚石灾害也十分严重。

参 考 文 献

1 Fookes P G, Sweeney M. Stabilization and control of local rock falls and degrading rock slope[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1976, 9: 37~55

2 Peckover F L, Kerr J W G. Treatment and maintenance of rock slopes on transportation routes[J]. Can. Geotech. J., 1977, 14: 487~507

3 Franklin J A, Senior S A. The Ontario rockfall hazard rating system[A]. In: Tsiambaos & Stoumaras ed. Engineering Geology and the Environment, Marinos, Koukis[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997, 647~656

4 Abbott B, Bruce I, Savigny W, et al. A methodology for the assessment of rockfall hazard and risk along linear transportation corridors[A]. In: Paper presented at the 8th International IAEG Congress[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1998, 1 195~1 200

5 Cancelli A, Crosta G. Hazard and risk assessment in rockfall prone areas[A]. In: Risk and Reliability in Ground Engineering[C]. London: Thomas Telford, 1993, 177~190

6 Ando M, Ueda Y, Nishi M, et al. Countermeasures against falling rocks in mountain highway[A]. In: Wu & Barret ed. Transportation Facilities through Difficult Terrain[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1993, 443~452

7 Kay G B, Euge K M, Vidra L M, et al. Rockfall mitigation strategies along US 89A in scenic Oak Creek Canyon, Sedona, Arizona: a process for improving safety without compromising environmental integrity[A]. In: Wu & Barret ed. Transportation Facilities through Difficult Terrain[C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1993, 431~442

8 Chau K T, Wong R H C, Lee C F. Rockfall problems in Hong Kong and some new experimental results for coefficients of restitution[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 1998, 35(4/5): 662~663

9 楼向东, 张年学, 许 兵. 崩塌的防治与模拟[A]. 见: 第五届全国工程地质大会文集[C]. 北京: 地震出版社, 1993, 127~136

10 杨志法, 张路青, 尚彦军. 两个值得关注的工程地质力学问题[J]. 工程地质学报, 2002, 10(1): 10~14

11 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 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