

# 西藏那昌公路滑坡和泥石流病害研究\*

邓晓峰 马东涛

(中国科学院兰州冰川冻土研究所·兰州·730000)

**摘要** 那昌公路线路大致以东西向展布在藏东南大拐弯的北部, 历次构造运动强烈, 地震活动频繁, 分布有规模不一的滑坡、崩塌、岩屑堆、古冰川和泥石流堆积, 这些堆积体因修建公路受到不同程度的削、切和开挖, 在地形、河流、降水等条件下, 不断发生新的滑坡、崩塌和泥石流危害。与公路有关的主要危害类型有: 间歇错落型滑坡和多级牵引式滑坡; 雨洪型泥石流, 滑坡型泥石流和冰湖溃决型泥石流, 这些都极大地危害着公路建设与交通运营。

中图分类号: P642.23

**关键词:** 那昌公路 滑坡 泥石流病害

## Approach on Landslide and Debris Flow Hazards Along Naqu- Changdu Highway in Tibet

Deng Xiaofeng Ma Dongtao

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, PRC)

**Abstract** Naqu- Changdu highway line is located in north part of South-eastern Tibet Great Turner with EW direction, a great deal of landslide, collapses and debris flow deposits distribute due to extensive tectonic movements and frequent earthquake activities. All of these deposits are hazardous to reconstruction and transportation of highway. Some new landslide, collapse, and debris flow disasters are triggered by unreasonable cutting and digging activities. The main disaster types in highway is intermitted collapse type landslide, multi-graded pulling type landslide, rainstorm debris flow, landslide type debris flow and glacial lake outburst type debris flow.

**Keywords** Naqu- Changdu highway; landslide; debris flow hazards

那昌公路东始昌都,西至那曲,也称川藏公路北线段,它虽然可绕避南线以古乡沟、迫龙沟、唐不朗沟等海洋性冰川泥石流为代表的特大型泥石流灾害区和谷地深幽、构造运动强烈、地震活动频繁、各种重力地质灾害十分严重的地区。但是北线仍存在较强的地质地貌作用,更重要的是半湿润与半干旱气候特征突出,短历时降雨强度增大,暴发频率高。公路病害段的数量和路段长度均大于南线。另外,由于海拔高度增加,部分路段还分布于多年冻土地带,少数路段仍存在冰川泥石流和冰湖溃决灾害的危害。从而总体比较,灾害类型较南线复杂多样。如夏秋季节因滑坡、泥石流和冻土层消融、滑塌等灾害频繁发生,经常中断交通。冬春季节,部分路段内的自然积雪厚度可达 70~100cm 左右,风吹雪厚度可达 3~5m,所以推土机也无济于事。从而可知,北线自然灾害并不比南线轻。本文试图对其不同类型的灾害成因进行分析,为公路病害治理提供可靠的资料与可行的措施。

## 1 地质地理及气候特点

该公路以大致东西方向分布于澜沧江与怒江上游地区,主要延展于二级或三级支流的阶地或坡脚部位。在地质构造上属于唐古拉山褶皱带,在地貌上展现为断裂、断块上升和强烈活动的特征,如沿谷地两侧,广泛分布有断裂抬升形成的三角面、断层崖等构造地貌,相应的还广泛分布有非常典型的岩质滑坡与岩崩堆积等。另外,随着高原阶段性抬升和冰期与间冰期演替<sup>[1]</sup>,在山地或谷地两侧不同地貌部位沉积有河流沉积、古泥石流沉积、冰川、冰水沉积,在有些山地还或多或少地保存有古老而巨厚的风花壳,并在曲尼拉山垭口及两侧较宽缓的源区和雪拉山西侧,发育有永久冻土层。由此可知,区内复杂多样的构造和沉积地形均不利于公路建设,从公路选线时起就面临着选择绕避还是治理的难题。因为不论是谷地中滑坡或泥石流危害,还是源区的冰川和冻土融陷危害,都是难以绕避和治理的。

## 2 滑坡类型及危害方式

在线路中,滑坡危害主要分布在丁青、曲尼拉山、雪拉山和荣布区几个路段中,因各路段的地质、地形及气候条件的差异,使它们在形成特点、危害方式和受害程度等方面都有明显的差异。依其发育形式可分为间歇错落型滑坡和多级牵引式滑坡 2 种类型

### 2.1 间歇错落型滑坡

在丁青县向下游约 30 km 范围内,地质构造和不良地质现象十分活跃,古滑坡与泥石流沉积对谷地有极强的阻塞作用,使上游侧谷地淤积变宽,物质主要由滑坡块砾、古泥石流和巨厚的黄土沉积所构成。由于地形限制,公路则分布在滑坡体的中下部位。加之卸曲河从古滑坡堆积体前端流过。山体上升和河流下切作用引起堆积体前端临空面增大,使古滑坡体失稳,在自重作用下发生座落式下滑,在古滑坡堆积体上形成新滑坡,其范围与河流侵蚀长度和局部地形密切相关。发生的新滑坡主要分布在公路里程 K9+ 10, K12+ 600 m, K12+ 850 m, K13+ 150 m, K14+ 330 m 处。主要灾害特征是滑坡体整体性下滑,使路基发生错断。除滑坡体前下方河流侵蚀,引起滑坡体向下错落外,降雨形成的坡面水流顺错断裂隙向下渗入,又引起滑坡体向下滑移,使路基发生断错性危害,错断幅度一般在 0.3~ 1.5 m 之间。这类滑坡有极明显的间歇性特点,在遇每年夏季时,滑坡体总要或多或少的向下滑移,所以危害严重,防治难度大。

### 2.2 多级牵引式滑坡

这类滑坡是在修建公路过程中,破坏了古滑坡堆积体的内部结构而诱发的。在许多路段中都有所分布。其形成的主要原因是该区位于怒江和澜沧江上游地区,受唐古拉山褶皱断裂带强烈活动的影响<sup>[2]</sup>。在谷地两侧不但广泛分布有历次不同规模的古滑坡堆积体,而且受后期山地上升和频繁的地震活动<sup>[3,4]</sup>,发生过局部断裂塌陷、沉降、剪切等,使滑坡体内部形成裂隙与活动层,地表水易于向内部灌入和下渗。由于山谷地形的限制,在许多地段,公路难以避开滑坡堆积体,通常为满足公路宽度,削切古滑坡堆积体前缘部位。为使线路裁弯取直,在滑坡和泥石流等堆积体上开挖路堑通过。另外,还利用大型滑坡堆积体的台坎地形修盘山公路。如公路在雪拉山垭口东坡的大型古基岩滑坡体上盘绕,分布有 6 个回头弯,7 条线路,每年发生病害,每年整修,是这段公路病害的癌症段。因为开挖公路,增大了古滑坡堆积体的临空面,降低了稳定性,在古滑坡体前缘形成多级牵引式滑坡群。分布的路段主要有:(1) 曲尼拉山垭口西坡,公路里程为 K30+ 700~ 733 m, K33~ K34+ 86 m。(2) 雪拉山东坡,古滑坡宽度达 2 km (K88~ K90),新滑坡危害段有: K87+ 700~ K88 m, K88~ K88+ 60 m, K88+ 150 m, K88+ 737~

876 m

在荣布区与雪拉山之间,即 K119+ 500~ 580 m, K138+ 150 m~ K138+ 200 m, K140+ 130 m~ K14+ 160 m, K146+ 200~ 250 m, K148+ 200~ 350 m, K155+ 519 m等几处新滑坡均为公路靠近古滑坡前缘,由修路开挖所引起的多级牵引式滑坡。

### 3 泥石流危害

在该线路中,泥石流灾害主要分布在丁青至索县一带。因历次构造断裂活动强烈,岩体软弱破碎,加之降雨强度大,泥石流与群状滑坡总是相互伴随,分布于同一地带。其实二者相比较,泥石流的发育条件更为充分,在此路段内,危害性泥石流沟有 100多条。

#### 3.1 泥石流成因

区内地质地理及气候特点均有利于泥石流发育,该区处于雅鲁藏布江大拐弯西北部,海拔 3 000~ 3 800 m,到索县、那曲上升到 4 000~ 4 500 m,随之年平均气温从波密的 8.5℃ 逐渐降低到那曲的 - 3℃,多年平均降水量在波密高达 876.9 mm,昌都 477.7 mm,索县 653.3 mm,丁青 572.9 mm,那曲 406.9 mm,仍为向西北有逐渐降低的趋势(表 1)。

表 1 川藏公路南线与北线气温与降水基本特征

| 站名 | 地理位置   |        | 海拔 / 年均温 / 年与夏季降水 |      |       | 多年平均时段降雨量 / (mm·h <sup>-1</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |     |
|----|--------|--------|-------------------|------|-------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|    | N      | E      | m                 | ℃    | 年均    | 7-8月                              | 24   | 12   | 6    | 3    | 2    | 1    | 1/2  | 1/6 |
| 那曲 | 31°09' | 92°04' | 4507.0            | -1.9 | 406.9 | 198.6                             | 24.2 | 18.5 | 15.8 | 13.0 | 11.6 | 9.1  | 5.8  | 3.4 |
| 索县 | 31°53' | 93°47' | 4022.8            | 1.5  | 572.9 | 238.5                             | 25.9 |      | 16.6 | 13.4 |      | 8.6  |      | 5.6 |
| 丁青 | 31°25' | 95°36' | 3873.1            | 3.2  | 653.3 | 271.9                             | 23.5 |      | 18.5 | 14.8 |      | 8.0  |      | 7.0 |
| 昌都 | 31°09' | 97°10' | 3306.0            | 7.5  | 477.7 | 207.4                             | 31.4 | 26.7 | 21.3 | 15.0 | 10.8 | 9.3  | 5.8  | 6.0 |
| 拉萨 | 29°40' | 91°08' | 3648.7            | 7.5  | 444.8 | 268.2                             | 31.6 | 26.3 | 23.8 | 18.6 | 16.6 | 14.4 | 10.6 | 7.6 |
| 林芝 | 29°34' | 94°28' | 3000.0            | 8.5  | 654.1 | 232.3                             | 33.8 | 27.4 | 23.0 | 16.1 | 12.2 | 9.8  | 7.8  | 5.0 |
| 波密 | 29°52' | 95°46' | 2736.0            | 8.5  | 876.9 | 182.9                             | 38.9 | 28.8 | 20.2 | 13.0 | 10.2 | 6.8  | 3.8  | 2.0 |

表 2 西藏液态降水类泥石流分类指标\*

| 类型  | 年降水量 /<br>mm | 不同时段最大平均降水量 / mm |        |        | 特征               |
|-----|--------------|------------------|--------|--------|------------------|
|     |              | 1 d              | 1 h    | 10 min |                  |
| 暴雨型 | > 600        | > 50             | 8~ 10  | 3~ 5   | 层流泥石流居多,稳流性泥石流次之 |
| 降雨型 | > 1 000      | 40~ 50           | 6~ 8   | < 3    | 多形成层流性泥石流        |
| 雨洪型 | 250~ 600     | 25~ 50           | 10~ 15 | 4~ 8   | 多属稳流性泥石流         |

\* 唐邦兴等, 1979,《西藏泥石流》(铅印稿, 150~ 157)

按对西藏泥石流分类指标的划分(表 2),该地带泥石流属于雨洪型。从表 1可看出,日降水量在 25~ 50 mm, 1 h降雨量接近 10~ 15 mm, 10 min降雨量在 4~ 8 mm, 这种历时短,强度大的降水造成了泥石流暴发频率高,对公路危害严重的特点。另外,广泛分布的滑坡堆积、黄土沉积、古泥石流和古冰川沉积,均是该区泥石流固体物质的丰富来源。因此,粘性泥石流分布十分广泛,对公路桥涵有很强的淤积堵塞性破坏作用。另外区内山高谷深,山坡纵比降较大,是青藏高原南缘强切割地区向高原宽缓的内陆过渡地带<sup>[1]</sup>,是产生泥石流的极有利的地质地理条件。

#### 3.2 泥石流分布特点

泥石流分布随不同地段地质地理及降水等条件的差异性而有所区别。

3.2.1 沙贡至 青段泥石流 该段公路长约 30 km,分布有 20多条泥石流沟,岩性主要由炭

质板岩和砂砾岩构成,岩石破碎山坡陡峻,滑坡成群分布,是泥石流发育的物质基础。年降水量 700 mm,夏季 6—9 月的降水量可占全年的 77%,7 月和 8 月的降水量可占全年的 42%,年内雷暴雨日数可达 85 d,居我国其它泥石流地区之首。

3.2.2 青县至索县之间的泥石流 该公路沿线的泥石流灾害主要分布在丁青县至索县之间,由于地质地貌条件的差异所致,在不同的路段内亦有集中分布的特点。如丁青至曲尼拉山和雪拉山西坡,有 70 多处泥石流。由于大部分山地海拔接近或高于 5 000 m,物质来源以古冰川、冰水沉积和残积物所补给,冰雪消融融水和高山雷暴雨是泥石流主要水源。有形成规模小,危害亦小的特点;在从八达松多至荣布区之间有 10 多条沟为暴雨泥石流,由洪水冲蚀沟岸所引起的坍塌、滑塌物补给。有沟谷流域面积小,暴发频率高的特点;在荣布区至热都乡之间,有 10 多条暴雨泥石流沟,危害严重,经常淤塞桥涵。如 1988 年和 1989 年泥石流普遍暴发,近 10 km 路段内的 7 个涵洞全被堵塞,冲毁小桥 4 座,泥石流淤积路面;索县位于怒江二级支流,即索曲河流域。向东南进入峡谷区,谷地两侧山地高峻陡峭,公路缠绕于西岸山坡,高距索曲河面数十米不等。区内岭谷高差大,山体破碎,山坡上部残积物丰厚,在春季融雪水流和夏季暴雨洪水作用下泥石流频繁暴发。虽然泥石流流量并不大,但每次众多泥石流沟有普遍暴发的特点,对踞高临下的公路有极严重的因冲毁、阻塞而中断交通的危害。

## 4 冰湖溃决型泥石流特征

在距该线路的荣布区以北 15.2 km 的坡戈冰湖(表 3),曾于 1972 年 7 月 16 日发生溃决,形成冰湖溃决型泥石流,冲毁了沟口的一座钢架与部分公路和农田,造成了较大危害。

表 3 布加岗日南坡主要冰川、冰湖基本情况

| 冰川名称 | 冰 川 |        |                     |         |         | 冰 湖   |                     |
|------|-----|--------|---------------------|---------|---------|-------|---------------------|
|      | 朝向  | 长度 /km | 面积 /km <sup>2</sup> | 末端高度 /m | 雪线高度 /m | 高度 /m | 面积 /km <sup>2</sup> |
| 足学会  | S   | 11     | 35                  | 4194    | 5475    | 4192  | 0.80                |
| 坡戈   | S   | 10     | 21.2                | 4332    | 5465    | 4332  | 0.25                |
| 平均值  |     | 10.5   | 28.1                | 4263    | 5180    | 4262  | 0.53                |

冰湖溃决与冰川的进退变化密切相关。据研究,坡戈冰川 1968 年之前为冰进阶段,冰舌伸进湖内 700 m,冰体方量约  $5.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,所以才使 1972 年冰湖发生溃决。而且,喜马拉雅山系的许多冰湖溃决原因都有类似之处。笔者曾对珠穆朗玛峰地区朋曲河和波曲河流域溃决湖进行的考察结果同样表明<sup>[5]</sup>:冰湖暴发,是由冰舌突然发生断裂性滑崩,跌入湖内,引起湖水猛涨,形成溢流洪水,侵蚀冰碛堤而造成的。这一溃决形式表明:冰舌末端底床的坡度,距湖面的距离,高差及冰体一次下滑量,湖泊堤岸高度等,则是冰湖溃决的必要条件。盛夏强烈消融的冰融水下渗,润滑床底,促使冰舌滑崩部分处于临界平衡状态,则是引发条件。从冰川气候学研究<sup>[6]</sup>和冰川进退变化研究表明<sup>[7]</sup>,近数十年来全球气候趋于变暖,冰川以萎缩后退为主,这与西藏地区广泛发生的冰湖溃决所做出的反应相一致。即冰川萎缩,冰舌末端位置发生向源后退升高,底床坡度发生变化,使冰湖溃决的必要条件逐渐形成。因此,曾危害该公路的此两条冰川和冰湖,在目前全球气候仍趋于变暖和区内地震多发等不利因素的影响下<sup>[2,3]</sup>,仍潜在冰湖溃决性危害。

## 5 结语与建议

(1) 西藏那昌公路延展于怒江中上游,即雅鲁藏布江大拐弯北部地带。历次构造运动强

烈,断裂发育,岩石破碎,地表松散碎屑物质丰富。受东南海洋性气流的影响,降水量主要分布在夏季,而且有历时短、强度大的特点。因而,区内地形、物质和降雨均具有滑坡和泥石流发生的充分条件。

(2) 在修建公路中,对遇到的古滑坡、泥石流和岩屑等堆积体,欠深入分析,为保证公路等级与标准要求,在进行削切、开挖路堑等工程中,缺少防护措施,从而造成了人为的不同类型的滑坡和泥石流灾害。

(3) 公路已运营多年,病害基本全被暴露出来。在对滑坡病害的治理中,为达到滑坡体内软弱层免受下渗水浸润软化,不形成滑动面的目的,要采取护坡和坡面水流拦截、引排的方式;在对泥石流病害治理时,要尽可能利用高原荒山草地条件,以人工排导沟、停淤场等拦排方式为主,减少流域治理的其它工程措施及不必要的投资。对已在泥石流扇形地上开挖路堑招来的泥石流病害,要沿扇形地主脊纵坡修排导沟,在路堑上方以渡槽的方式将泥石流排汇到下游地方,可免除每次泥石流淤积路堑之患,达到根治的目的。

#### 参 考 文 献

- 1 李吉均. 西藏冰川. 北京: 科学出版社, 1986, 149- 154
- 2 肖序常, 等. 雅鲁藏布江缝合带及邻区构造演化. 地质学报, 1983, 57( 1)
- 3 陈家进. 西藏地震史料汇编. 拉萨: 西藏人民出版社, 1982
- 4 马东涛, 石玉成. 试论地震在泥石流形成中的作用. 西北地震学报, 1996, 18( 4)
- 5 Deng Xiaofeng. Glaciology and Glacier Lakes, Report on the First Expedition to Glaciers and Glacier Lakes in the Pumqu and Poqu River Basins, Xizang China, 1988
- 6 姚檀栋. 敦德冰川记录与过去 5 000 a 温度变化. 中国科学, B, 1992, 10, 1089- 1092
- 7 丁永建. 近 40 a 来全球冰川波动对气候变化的反应. 中国科学 (B) 辑, 1995, 25, 10, 1093- 1098