

# 中尼公路雪害及防灾对策

马东涛<sup>1,2</sup>, 崔鹏<sup>1</sup>, 王忠华<sup>3</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3 中国交通第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710068)

**摘 要:** 本文在大量野外实地调查基础上, 通过对中尼公路沿线风吹雪、积雪和雪崩成因背景的分析, 揭示了中尼公路雪灾的分布规律和形成机制, 并提出各类雪灾的防治对策。对康山桥特大雪崩灾害进行了深入研究, 提出了可供实施的整治方案及进一步工作的建议, 对中尼公路整治改建工程具有重要的指导意义。

**关键词:** 中尼公路; 积雪; 风吹雪; 雪崩; 防灾对策

**中图分类号:** X4

**文献标识码:** A

中尼公路东起中国西藏自治区首府拉萨, 南至中国与尼泊尔交界处的樟木口岸友谊桥, 全长 765km。中尼公路是中国至尼泊尔及南亚地区的重要通道之一, 也是中尼两国人民睦邻友好和维护传统友谊的重要桥梁, 在两国人民政治、文化、经济生活和国防建设中, 具有十分重要的地位和作用。然而, 自 1965 年全线通车以来, 冬春季节频繁发生的雪崩、风吹雪及积雪灾害给沿线交通运输和人民生命财产带来严重危害, 成为中尼公路阻车断道的主要病害之一。

中尼公路雪害包括积雪与风吹雪(风雪流)和雪崩两大类, 雪害地段主要分布在 32°N 以南的拉龙拉山至友谊桥之间的波曲河谷区。该段地形上整体由北向南倾斜, 海拔由高原面拉龙拉山的 5 052m 下降至友谊桥波曲高山峡谷区的 1 770m。受印度洋季风影响, 气温由南向北逐渐降低, 暖湿气流沿峡谷由南向北推进, 随着海拔的升高而减少。平均海拔达 6 000m 的喜马拉雅山, 耸立云端, 成为水汽向北推进的巨大屏障, 使气流在其陡峻的南坡严重受阻, 从而形成气旋降水和山地降水。樟木至聂拉木犹如水汽进入青藏高原的门户, 是冷热气流的交汇处, 降雨和降雪极为丰富, 使拉龙拉山至樟木路段成为我国公路雪害最严重的地区之一。

## 1 雪灾的成因

雪灾的形成有两个基本条件: 一是物质条件, 即丰富的降雪; 二是动力条件, 即风和一定的地形条件。

### 1.1 降雪

据聂拉木气象站资料, 沿线降水量随海拔升高呈递减之势, 海拔 2 000m 的樟木年降水量约 2 500mm, 海拔 3 500m 附近的康山桥年降水 800mm, 海拔 3 800m 的聂拉木县城年降水量 611.9mm, 至海拔 5 000m 的拉龙拉山降水量降至 300mm。每年的 11 月至翌年的 4 月为雪季, 有时早于 10 月, 晚于 5 月, 时间长达半年。聂拉木近 40a 来年平均降雪日数为 69.1d, 年均降雪量为 265mm, 占年降水量的 43%, 降雪随海拔升高逐渐减少, 拉龙拉至通拉山一般年份降雪 30cm~40cm 厚, 较大年份可达 70cm~80cm 厚; 聂拉木县城附近, 自然降雪 30cm~70cm 厚, 1989—01—08 聂拉木降雪量 195.5mm, 降雪深度达 2.3m, 埋没第一层楼, 为我国季节性积雪深度之最<sup>[1]</sup>(表 1)。据日喀则气象局资料, 聂拉木几乎年年发生雪灾, 积雪>30cm, 出现雪灾的频率高达 95% 以上。当路面积雪深度>30cm 时, 就会出现不同程度的阻车现象, 随着积雪深度的增加, 机械清雪的效率也会

收稿日期: 2001-12-15。

基金项目: 中国科学院知识创新项目“进藏公路铁路典型路段工程减灾理论与对策研究”资助, 项目编号 KZCX2-306。

作者简介: 马东涛(1965—), 男(汉族), 陕西杨陵人, 副研究员, 在读博士, 主要从事山地灾害研究及工程防治, 已发表相关论文近 30 篇。

表 1 我国公路季节性积雪在不同地区最大积雪深度(cm)  
Table1 The maximum depth of seasonal accumulated snow  
on the highways in China(cm)

东北 白山头	滇北 白茫雪山	藏东南 安久拉山	新疆 天山	藏东南 聂拉木县	新藏路 界山达坂
100	190	130	150	230	200

降低。在我国西部,多年积雪平均深度>30cm,是潜在性雪崩地区;多年积雪平均深度>70cm,是雪崩危害区<sup>[4]</sup>。丰富的降雪为中尼公路雪害的形成提供了充分的物质基础。

1.2 风向和风速

风是风雪流形成的动力条件。当穿过雪源区的气流达到起动风速之后,雪粒即随风运行,形成风雪流。据观测,在气温<-6℃时,新雪在风速2m/s时即可起动;细雪起动风速为4m/s,老的细雪起动风速为6m/s~8m/s<sup>[3]</sup>。聂拉木县城附近冬季主导风向为SE,E,NW向,年平均风速4.3m/s,最大风速可达35m/s。拉龙拉至通拉山段冬半年多为NW和SW向风,风速比聂拉木大而频繁,它们均大于各种积雪的起动风速。因此,当积雪超过30cm时,雪粒即滚动前进,高度可达数10cm或更高。当风雪流经过地形起伏较大的公路或弯道时,涡旋运动增强,破坏了雪粒和风的互相依存关系,风雪流便会减速,使雪粒堆积在路面上。

1.3 地形和地势

拉龙拉山至友谊桥段,路线由朋曲流域横切喜马拉雅山进入波曲河流域。其中拉龙拉山和通拉山以下两段公路均为半挖半填的半路堑半路堤断面型式,公路内侧均有旁侧山坡,严重阻碍风雪流的流通。两个山口及亚来至加曲桥附近的公路地势较平缓,但多为低路堤,且为风口地区,风雪流十分严重。

聂拉木至友谊桥段,属波曲河基岩深切峡谷区。两岸地形陡峻,河谷窄狭,雪峰林立,路线盘旋于高山峡谷之中,两侧支谷高悬于谷坡上,多处形成高悬的瀑布,凌驾于公路之上。据统计,在康山桥至69道班间,波曲河两岸支谷和冲沟的坡度一般在25°~40°之间,而最易发生雪崩的槽谷和坡面坡度为35°~45°<sup>[2]</sup>,由于25°以下接近积雪的稳定坡度,不易发生雪崩;而>50°的山坡,积雪不易保存,往往随降随崩,难以形成雪崩。因此,这里的特殊地形为雪崩的形成提供了有利的条件。

2 积雪和风吹雪灾害及防治

2.1 分布及灾害

中尼公路风吹雪及积雪灾害主要分布在60道班至70道班之间103.9km路段上(图1)。其中风雪流主要分布在60道班至68道班间,该段一般年份自然降雪30cm~40cm厚,较大年份可达60cm~80cm厚,风吹雪主要发生在半挖半填的迎风 and 背风半路堑及高原夷平面、宽谷低路堤上。按风吹雪积雪厚度、活动频率和阻车断通时间将风吹雪分为以下三段:

1. 风吹雪严重段共有6段,主要位于拉龙拉山以北60道班至通拉山口以南的63道班间,平均风吹雪厚1m~2m,其中风吹雪积雪最厚在2m以上,年年阻车断道,影响路段长26km。

2. 风吹雪较严重段共有4段,主要位于章东河宽谷段至聂拉木间,平均风吹雪厚1m,时有阻车断道现象,影响路段长28km。

3. 风吹雪轻微段指风雪流较轻,但不阻碍交通,主要分布于上述两个风雪流危害区以外的其余路段,长26km,主要表现为路面降雪堆积和轻微的风吹雪。

积雪灾害主要分布在聂拉木至70道班间24km路段上,由于该段地处冷暖气流交汇处,自然降雪量大,冬季积雪严重,积雪厚度一般年份为0.6m~0.8m,较大年份可达1m~2m,最大年份曾达3m,埋没第一层楼<sup>[1]</sup>。该段公路地处波曲峡谷区内,公路依河而建,除三道线和70道班、五道线公路与主导风向斜交外,其余地段风向与公路走向大致相同,故风吹雪轻微,但积雪严重。1989-01聂拉木积雪深2.3m,阻塞交通6个月;1994-01-15~16降雪,积雪62cm,风速31m/s,聂拉木交通中断10d;1995-11-09~11聂拉木降雪深度55cm,最大积雪厚200cm,聂樟段交通中断;1999-01-29聂拉木段K5345至K5364路面积雪45cm,交通中断2d,受阻车辆38台,人员150人;尤其是三道线及五道线的几个回头弯,积雪十分严重,清雪难度大,再加上康山桥、曲乡、友谊隧洞等几处雪崩,使该段成为沿线雪灾最严重的路段。

据不完全统计,中尼公路雪害已造成10余人伤亡,数辆汽车被埋,两个道班数10间房屋被摧毁,数千头牲畜死亡,每年阻车断道4~6个月。聂拉木养护段每年都要耗费大量人力、物力清除积雪。1989年春季清除雪崩和风吹雪就耗费人民币24万元,在6个月的公路阻塞期间,交通运输损失费就达500

万元。据估计, 中尼公路通车至今 36a 间, 仅清理积雪就耗资 700 余万元, 因雪灾造成的直接和间接损失在 5 000 万元以上。随着交通运输和国防、社会

经济、贸易等各项事业的发展, 雪灾造成的损失呈递增之势。

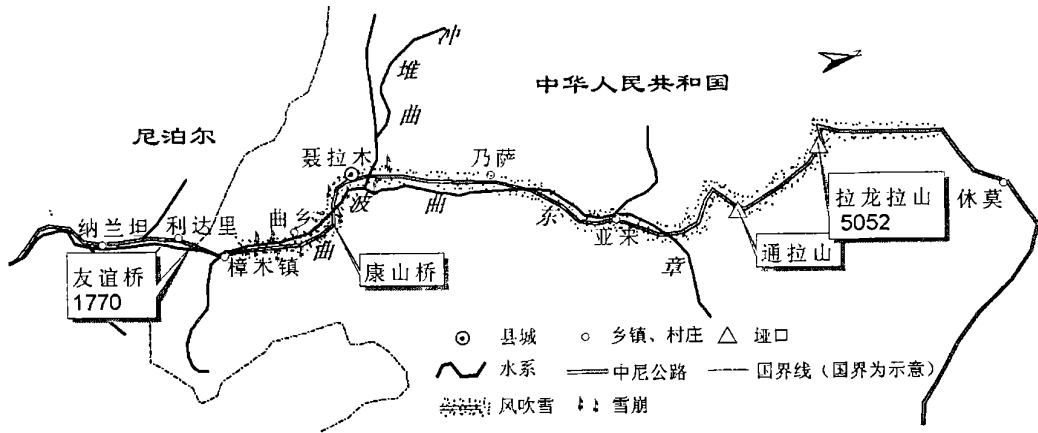


图 1 中尼公路拉龙拉—友谊桥段雪害分布略图(国界为示意)

. 1 Distribution sketch of snow avalanches and snow drift from Mt. Nalongna to Youyiqiao along Sino-Nepalese Highway

## 2 2 风吹雪及积雪灾害防治

根据中尼公路风吹雪、积雪灾害的危害程度、风向以及路基断面型式、路线布局的情况, 初步提出以下几点防治建议:

1. 拉龙拉山口及通拉山口间严重风吹雪的低路堤路段, 在原 0.3m ~ 0.5m 高路基基础上, 再提高 1.5m, 路基背风边坡按 1:1 ~ 1:2 设计, 迎风边坡  $\geq 1:4$ 。同时在迎风坡路基外侧开挖储雪场, 风雪流最严重的 1km 路段, 拟修建 4m 高的木质导雪板;

2. 章东河宽谷段较严重风吹雪路堤, 拟提高路基 1.0m, 高出该路段的最大积雪深度, 在迎风侧路基外开挖储雪场;

3. 对 4 段半挖半填的迎风半路堑和背风半路堑, 加宽路基 2m ~ 3m, 削缓内边坡, 并在内边坡以下设置储雪场。部分地段可考虑设计成敞开式路基, 风雪流严重的 1km 路段, 拟建 4.0m 高的木质导雪板;

4. 其它风吹雪较轻路段以及积雪严重的路段如聂拉木、三道线和五道线等地段, 难以实施防雪工程, 建议以人工和机械清雪为主。在冬季养路时, 应铺洒粗沙或粗骨料等硬质材料, 以增加路面粗糙度, 加速积雪融化和增强路面防滑作用, 以防积雪经汽车反复碾压而形成冰害。

## 3 雪崩灾害及防治

### 3. 1 雪崩分布及灾害

雪崩主要发生在聂拉木至 70 道班之间长 21.2km 路段上(图 1)。该段属波曲高山峡谷区, 公路内侧是陡峭的基岩山坡和高悬的槽谷, 外侧是湍急的波曲。据野外调查统计, 该段较大的雪崩有 33 处, 雪害最严重的 1989—01 有 44 处发生雪崩。雪崩主要集中在三道线、康山桥、老 69 道班、曲乡宾馆、友谊隧道及 70 道班附近等 7 个地段, 其中以康山桥雪崩灾害最为严重。依据雪崩发生的地形, 该段雪崩可分为坡面雪崩和沟槽雪崩两种类型; 坡面雪崩一般沿线长几米至几十米, 厚仅数米, 山坡坡度大, 积雪较薄, 暴发频率高, 故规模小, 灾害较轻微; 沟槽雪崩因其雪源区面积大, 积雪厚, 落差大, 故势能也大, 但暴发频率较低, 规模巨大, 长几十米至几百米, 厚几米至几十米, 灾害也较严重, 是该路段雪崩灾害的主要类型。

雪崩发生时, 经常冲毁桥梁、路基、车辆、通讯线路, 埋没道班、隧洞口及其它设施, 堆积在公路上的雪崩雪经常阻碍交通。有时雪崩锥还堵断河流, 形成雪堆坝, 造成回水淹没公路、冲毁路基的事故。1989—01, 曲乡沟槽雪崩将路旁部队的 8 间弹药库全部摧毁, 弹药被冲入波曲并流至尼泊尔境内, 造成恶劣影响; 70 道班沟槽雪崩摧毁原道班房, 埋没公路三个回头弯和路基, 路面积雪厚 10m ~ 20m, 埋没公路 300m ~ 500m。

3 2 雪崩灾害整治

中尼公路雪崩源地和路线高差达数百米以上,雪崩挟带大量巨石、碎石、树木等,动能和冲击破坏较大,大部分雪崩暴发地段不十分固定,一般工程处理措施难当此任,而特殊工程处理措施耗费巨大,且大部分雪崩用清雪机械 1h~2h 可清理掉。根据中尼公路雪崩危害程度及清雪的难易程度和我国现有的经济承受能力,建议对阻车断道严重的康山桥雪崩进行整治或改线避让,其它雪崩暂不考虑工程处理措施,而以增加机械设备人员及时清修来维持和保障公路通行。

3 3 康山桥雪崩灾害及其防治建议

康山桥雪崩是闻名中外的一处特大型灾害性雪崩,该雪崩区位于中尼公路聂拉木三道线以下至康山桥之间的波曲河右岸基岩峡谷区,沿路线长达 550m。该段共有大小沟槽雪崩 5 处,其中以 K5353

+860 处雪崩为最严重,暴发频率最高,危害也最大,是中尼公路上严重阻车断通的“盲肠”路段之一。

该段公路路面高程 3 480m, K5353+860 雪崩槽谷口高出路面 30m,槽谷口以上为一坡长 1.5km,坡度 38°的基岩斜坡,高程 4 690m 至 4 860m 为一 500m 长的平缓台地,4 860m 以上为冰川和常年积雪所覆盖,极为平缓。因此,这种地形极有利于降雪的积累和运动。该段路面宽 8.0m,公路外边坡以下 20m 为波曲河常年流水,河宽约 20m,对岸为基岩陡坡,并伴有小规模坡面雪崩,这种特殊的峡谷地形使公路及整个河谷区成为雪崩危害的场所。据实地调查,当该区降雪量大于 30cm 时,该雪崩槽便发生雪崩,一般年份该雪崩均发生数次,雪崩堆高 10m 左右,长 150m 左右,在河对岸堆积厚 2m~3m(图 2),公路在雪——雪路堑和雪隧洞中通过该段。现将历年来该雪崩灾害汇总于表 2。

表 2 历年来康山桥雪崩灾害一览表

Table 2 The historical disasters caused by Kangshanqiao snow avalanche in sino-Nepalese Highway

发生时间	雪情	灾情
1963—12	雪崩堆高达 80 余 m	公路中断,在雪崩堆积体上凿一临时隧洞,维持通车
1972—11	积雪 3m,雪崩堆高 27m,宽 500m	断道多日
1989—12	积雪 2.3m,雪崩堆 28m	埋没公路 500m,雪崩体在对岸路面形成 5m 高雪崩坝,堵断波曲河,阻车半年
1999—11	积雪 40cm,雪崩厚 10 余 m	阻车 47h
2000—04	雪崩堆厚 7m,宽 76m,在河上形成一座长 40m 的雪桥	雪崩体覆盖波曲河,公路在雪路堑上通过

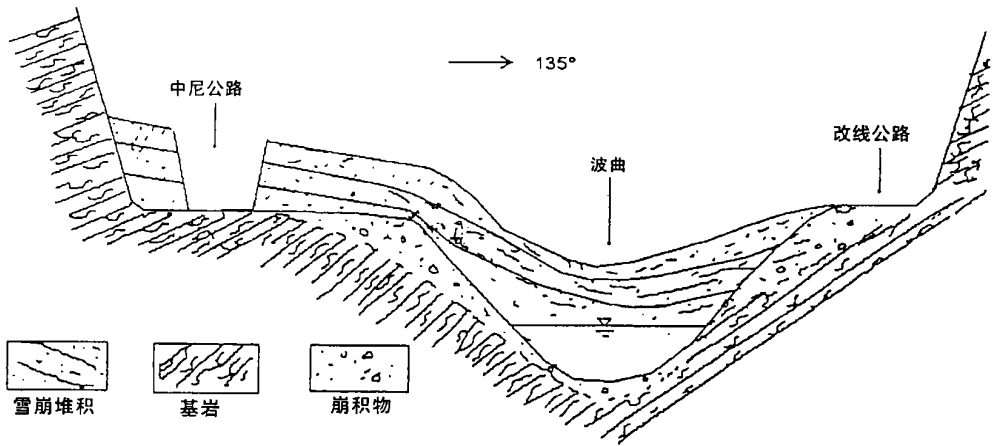


图 2 康山桥 k5353+860 雪崩及波曲河谷剖面图(2000—04—15)

Fig. 2 Profile of Kangshanqiao snow avalanche and Boqu River valley(April 15, 2000)

据统计, 在一般年份该段雪崩积雪, 需 2 台推土机工作 3d~4d, 才能推出一个雪槽单行道; 在大雪年份须一周, 甚至更长。每年阻车时间 4~6 个月, 有时前面推出的雪槽又被后面的雪崩埋没, 灾害十分严重, 成为影响中尼公路畅通的重要地段。根据康山桥雪崩活动特点、现状及对岸地形条件等, 提出以下两个整治方案:

#### 1. 原线防雪走廊方案

在原线路面以上新建一座 200m 长防雪棚洞, 让雪崩通过洞顶流入河中, 使公路从洞中通过, 其洞宽 7.5m, 高 4.5m, 采用框架式砼构件。为减小雪崩对棚洞顶部的冲击, 宜将明洞适当往公路内侧移 2m~3m, 紧靠基岩陡坡。

#### 2. 对岸改线方案

该方案设想在 K5353+450 处以 1 孔 40m 中桥跨过波曲, 将公路由右岸改向左岸, 以避免五个雪崩的危害, 在 K5354+400 处(康山桥左岸)与原线相接, 改线路段长 950m。由于该雪崩属散落式雪崩, 雪崩对对岸的冲击很小, 在对岸的积雪最厚达 5m。因此, 在 K5353+800 至 K5353+900 间设计一道 100m 长、5m 高的砼挡雪墙, 防止雪崩雪埋没公路,

同时应适当抬高路基。该段路线除了基岩岸坡上有几处很小坡面雪崩外, 再无其它不良病害, 是目前较为理想的方案。

## 4 建议

1. 尽快开展中尼公路雪害专项研究, 通过定位观察、测量、试验等手段, 为各类雪害的整治提供坚实的科学理论依据。

2. 开展不同路基断面、坡向、雪害类型雪灾的防雪试验示范工程, 为工程设计提供技术保障。

3. 开展道路雪灾快速救灾反应系统研究, 包括灾情的传输、物资的调配、人员及机械设备的组织等。

## 参考文献:

- [1] 王彦龙. 中国雪崩研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 54~56, 70~74
- [2] 王彦龙, 黄茂恒. 我国危害较大的湿雪雪崩, 冰川冻土[J]. 1986. 8(1): 52~60.
- [3] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 风雪流及其防治方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 1978. 4~12, 41~48

# An Approach on Snow Hazards and Their Countermeasures Along Sino-Nepalese Highway

MA Dong-tao<sup>1,2</sup>, CUI Peng<sup>1</sup> and WANG Zhong-hua<sup>3</sup>

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, the Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041 China;*

2. *Institute of Cold and Arid Region Environment and Engineering, the Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000 China;*

3. *The First Highway Survey and Design Institute of China, Xi'an 710068 China)*

**Abstract:** Influenced by the high altitude of Mt. Himalaya, the warm and moist air current from the Indian Ocean Monsoon is blocked under the south slope of Mt. Himalaya and forms cyclone and mountain precipitation, a great deal of snowfall drops in the area from Mt. Nalongna to Zhangmu along the Sino-Nepalese Highway. It is investigated that 103.9km road is threatened by snow drift and accumulated snow cover, the maximum depth of snow reaches to 2.3m. There are 33 slope and gully type snow avalanches along Boqu River valley, among which Kangshanqiao Bridge snow avalanche is the largest and most dangerous to the highway. The snow hazards occur in the winter and spring season and generate huge damages to road, bridge, maintenance squad, transportation and environment. The countermeasures such as enhancing roadbed height, construction anti-snow drift roadbed and snow avalanche shed, choosing a new route et al are suggested.

**Key words:** Sino-Nepalese Highway; accumulated snow; snow avalanche countermeasures; snow drift