

文章编号: 1674—8247(2021)01—0017—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.01.004

涎流冰对西部某铁路的影响研究

王崇艮¹ 赵 文² 王国生² 唐 川² 徐正宣¹

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

摘 要:涎流冰是高寒地区典型的地质灾害现象,青藏高原具备产生涎流冰的气象和水文地质条件,涎流冰对川西—藏东地区交通廊道的影响不可忽视。本文通过卫星地图识别和现场调查,对川西—藏东交通廊道涎流冰的发育特征进行了统计分析。川西—藏东交通廊道区涎流冰主要位于以阴坡为主的缓坡地带,以坡面溢流型为主,主要位于海拔 3 500~4 500 m 之间,宽度以 5~10 m 为主。涎流冰对铁路路基、桥梁和隧道工程均有不同程度的影响,建议铁路线路应尽量避免影响隧道进出口和桥台的涎流冰发育点,绕避难以防治的严重影响路基的涎流冰点。对于具备排泄引流条件的涎流冰点,设计时应加强工程防治措施。

关键词:涎流冰; 铁路; 川西—藏东; 交通廊道; 发育特征; 防治措施

中图分类号: P694

文献标志码: A

Study on Impact of Salivary Flowice on a Railway in Western China

WANG Chonggen¹ ZHAO Wen² WANG Guosheng² TANG Chuan² XU Zhengxuan¹

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. SouthWest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Salivary flow ice is a typical geological disaster phenomenon in an arctic-alpine area. The Qinghai-Tibet Plateau has meteorological and hydrogeological conditions for salivary flow ice. The impact of salivary flow ice on the traffic corridor in western Sichuan-eastern Tibet shall not be ignored. Through satellite map recognition and field investigation, this paper makes a statistical analysis on the development characteristics of salivary flow ice in the traffic corridor between western Sichuan and eastern Tibet. The salivary flow ice in the western Sichuan-eastern Tibet traffic corridor area is mainly located in the gentle slope zone dominated by the shady slope, mainly in the overflow type, which is mainly located between 3 500 and 4 500 m above sea level and mainly in the width of 5~10 m. Salivary flow ice has different impacts on railway subgrade, bridge, and tunnel engineering. It is suggested that railway lines should avoid the development point of salivary flow ice which affects tunnel portals and abutments, and avoid the places of salivary flow ice that impact the subgrade and are difficult for prevention and control. For the places of salivary flow ice with drainage conditions, engineering prevention measures should be strengthened in design.

Key words: salivary flow ice; railway; western Sichuan-eastern Tibet; traffic corridor; developmental characteristics; preventive measures

在寒冷气候条件下,地表水或地下水露头,并沿斜坡表层一直渗漏到路面,由下至上在短时间内凝结成冰状,这样的冰体在道路工程中称为涎流冰^[1]。涎流

冰是高寒地区突出的冰雪害现象,涎流冰会使行车道光滑、不平,或产生冰坎、冰槽等,进而影响正常交通。在春季,涎流冰会因温度上升而消融,冰变成水后出现

收稿日期:2020-04-20

作者简介:王崇艮(1974-),男,高级工程师。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科技发展计划项目(KYY2019068(19-21))

引文格式:王崇艮,赵文,王国生.涎流冰对西部某铁路的影响研究[J].高速铁路技术,2021,12(1):17-21.

WANG Chonggen, ZHAO Wen, WANG Guosheng, et al. Study on Impact of Salivary Flowice on a Railway in Western China[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1):17-21.

下渗,进而引发道路翻浆、路基下沉等严重问题,甚至会威胁高寒地区道路的施工及运营安全^[2]。

众多学者对涎流冰的形成机理进行过研究,并提出了相应的防治工程措施^[3-7]。水文条件、气候和气象条件、地质地貌条件等是涎流冰形成的必备要素。青藏高原独特的地形地貌、气候等自然条件都适合于涎流冰的形成。涎流冰作为一种常见病害,将严重影响川西-藏东交通廊道的建设和运营。为此,本文对川西-藏东交通廊道穿越区的涎流冰发育特征进行了调查分析,分析了涎流冰形成的条件和成因,并评价了其对某铁路工程的影响。

1 某铁路工程概况

某铁路位于四川省和西藏自治区境内,线路起于四川省成都市,经雅安、康定、理塘,在岗托跨金沙江后进入西藏自治区,经昌都、波密、林芝至终点拉萨市,全线长度约1 838 km。

该铁路横穿藏东南横断山区和川西高海拔原区,中途经过高海拔高寒地域。全年降雨量充足,且冬季气温偏低,最低月平均温度均在0℃左右,极端最低温度为-10℃~-30℃。昼夜温差较大,具备发生涎流冰病害的气象条件,该铁路不可避免涎流冰的工程危害问题,特别是新都桥(甘孜)至拉萨段。

2 川西-藏东交通廊道区涎流冰发育特征

通过调研查明川西-藏东交通廊道区涎流冰的发育特征及统计规律,本文主要调查范围为康定~昌都段,调研主要包括:地理位置、高程、地形地貌、坡向、坡位、岩性、地下水类型、涎流冰类型、涎流冰规模、对工程的影响程度等。

2.1 调研方法

(1) 现场调查

对康定-雅江-理塘-巴塘-贡觉-昌都-八宿-左贡-芒康一线国道及省道附近的涎流冰点进行实地调研,包括G318、S215、G317、G214等道路,共计调查涎流冰387处。

(2) 卫星图像判识

受交通限制,现场调查不能全面查明川西-藏东交通廊道区的涎流冰分布,因此通过Google earth卫星图像对该区的涎流冰进行判识。选取卫星图片时,尽量选择11月至次年2~3月且精度较高的图像。图1所示为DK 384~DK 384段发育的两处涎流冰。以DK 384-1为例,该点海拔3 551 m,经度101.572 085°,纬度30.072 549°,通过Google earth软件可测得其坡

向325°,坡度约7.5°,规模约45 m×130 m,为沟槽型涎流冰,出露于沟口坡积物中,影响线路范围约50 m。通过卫星图片判识,川西-藏东交通廊道区康定~昌都区段共发现涎流冰1 982点。

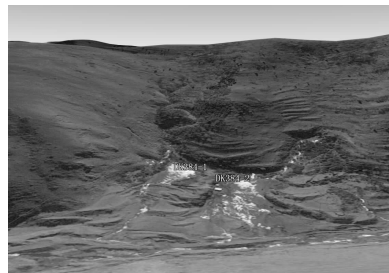


图1 涎流冰卫星图像判识示例图

2.2 川西-藏东交通廊道区涎流冰类型

通过卫星图片分析和现场调查,川西-藏东交通廊道康定-昌都段共发现涎流冰点2 369点,调研的涎流冰点主要集中在某铁路线路附近。涎流冰类型为基岩裂隙型、土石界面型、沟槽型、坡面溢流型、坡脚渗流型、河流型等。

基岩裂隙型涎流冰发育于基岩之中,为基岩裂隙水渗流冻结形成,如图2(a)。沟槽型涎流冰发育于冲沟、溪沟、沟谷等之中,为地表或地下水汇集并溢出地表冻结而成,如图2(b)。土石界面型涎流冰发育于松散覆盖层与基岩接触部位,为松散覆盖层孔隙水沿土石界面渗流冻结而形成,如图2(c)。坡面溢流型涎流冰一般发育于松散覆盖层缓坡地带,为孔隙水在坡面溢流冻结所致,如图2(d)。坡脚渗流型涎流冰为地下水在坡脚渗流冻结而成,如图2(e)。河流型涎流冰是青藏高原河流的普遍现象,不作单独分析。

2.3 川西-藏东通廊道涎流冰分布特征

(1) 涎流冰类型

川西-藏东交通廊道区涎流冰的类型统计如图3所示。从图3可以看出,川西-藏东交通廊道区涎流冰以坡面溢流型为主,占71.7%,其次为沟槽型(19.6%)、沟谷型(7.3%)、坡脚渗流型(5.9%)、基岩裂隙型(2.6%),土石界面型很少。

(2) 涎流冰地形特征

川西-藏东交通廊道区涎流冰地形统计如图4所示。缓坡出现涎流冰的频率为1 298次,占总比例的54.8%,其次是陡坡地形、沟槽和冲沟,洪积扇上发育较少。涎流冰通常发生在山前斜坡的缓坡地带,是因为这种地形有较大的汇水面积,有利于降水的汇集和渗入。山坡坡度一般为20°~30°,局部可达30°~40°。

(3) 涎流冰坡位特征

坡位根据坡向确定,坡向315°~360°、0°~45°为

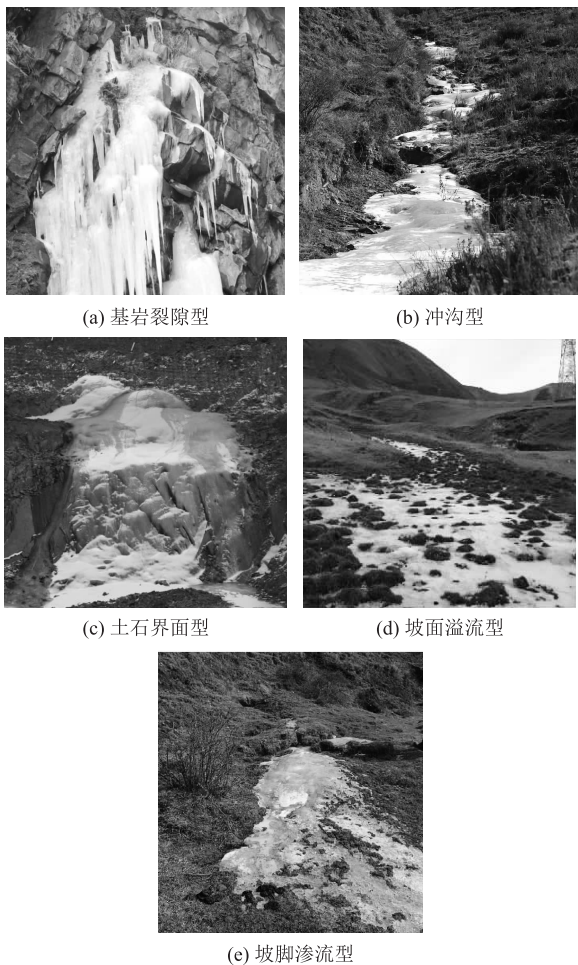


图 2 涎流冰主要类型图

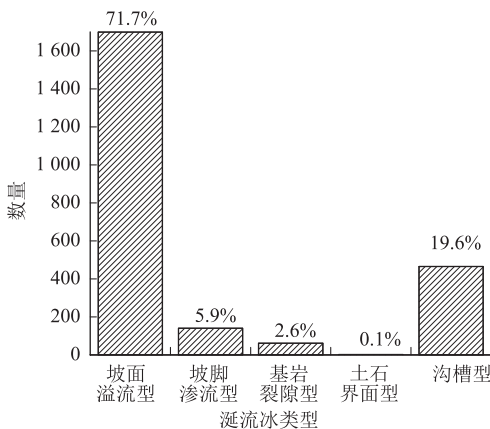


图 3 涎流冰类型统计图

阴坡、 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 为半阴坡、 $135^{\circ} \sim 225^{\circ}$ 为阳坡、 $225^{\circ} \sim 315^{\circ}$ 为半阳坡。涎流冰坡位统计结果如图 5 所示。统计表明,涎流冰主要发生在阴坡,阴坡通常气温更低,对形成涎流冰更有利。其次为半阳坡、半阴坡,阳坡最少。还有部分涎流冰发育在高原平缓地带,如理塘盆地。

(4)涎流冰海拔高程

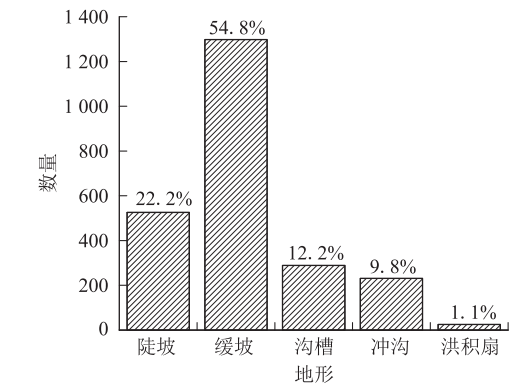


图 4 涎流冰地形统计图

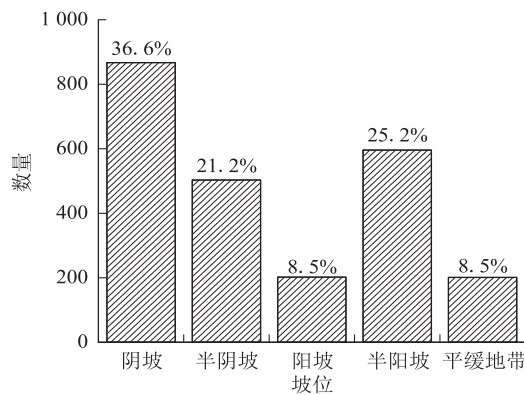


图 5 涎流冰坡位统计图

涎流冰发育海拔统计结果如图 6 所示。涎流冰病害发生区域的海拔统计结果表明,川西 - 藏东交通廊道区内涎流冰主要发育于海拔 $3\,500 \sim 4\,500\text{ m}$ 之间的高海拔高寒地区,频率为 2 115 次,所占比例为 89.3%。高海拔高寒地区冬季昼夜温差大,平均气温低,为涎流冰发育提供了良好的条件。

(5)涎流冰规模

涎流冰规模统计结果如图 7 所示。川西 - 藏东交通廊道区涎流冰的规模统计结果表明,区域内涎流冰

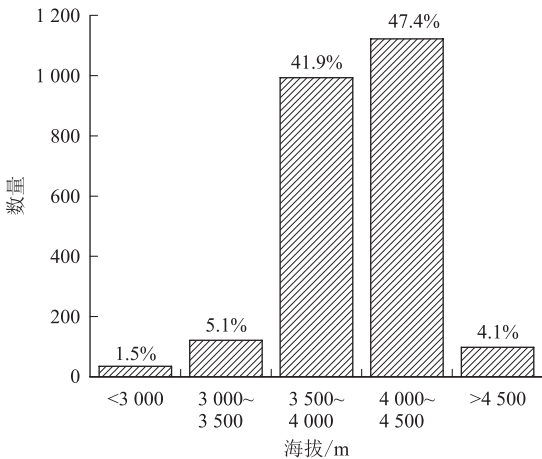


图 6 涎流冰发育海拔统计图

的规模分布广泛,从宽度小于5 m至宽度大于50 m的涎流冰都有分布。以宽度5~10 m为主,占29.3%,其次为10~15 m,占19.5%。涎流冰的规模与水源水量有着极大的关系,规模较大的涎流冰会严重影响工程建设,应予以高度重视。

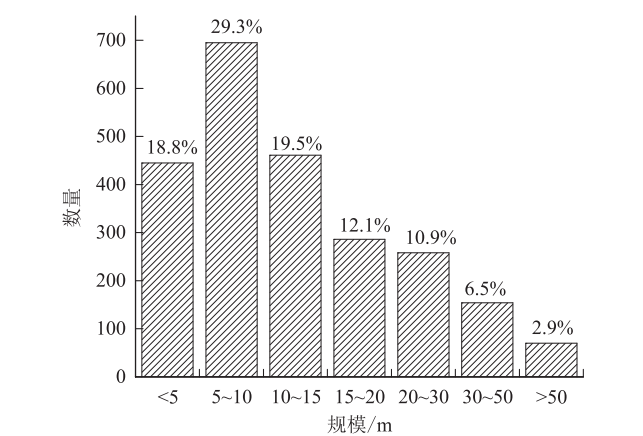


图7 涎流冰规模统计图

3 川西-藏东交通廊道区涎流冰成因

3.1 涎流冰发育特征

川西-藏东交通廊道区冬季最低气温在-11℃~-30℃左右,从每年10月底到次年的2月份平均气温均在0℃以下。雪层的覆盖和地表植被的存在,使水分的蒸发量降低,丰富的地下水被储存于地表浅层中,为涎流冰的发育提供了有利条件。

| 表1 川西-藏东交通廊道区涎流冰发育的主要特征表 | | |
|--------------------------|--|---|
| 时间 | 气象、水文特征 | 涎流冰特征 |
| 9月~10月中旬 | 气温开始下降,丰富的潜水被储存 | 无 |
| 10月下旬~12月中旬 | 气温大幅下降,最低可达-15℃左右,地表下一定范围内土层开始冻结,潜水受压 | 涎流冰开始形成,常见于阴坡、半阴坡的坡面处 |
| 12月下旬~次年2月上旬 | 气温处在最低阶段,地温明显下降,冻结深度进一步加大,潜水受到的压力越来越大,当活动层冻结深度继续变大,直到与多年冻土层衔接时,构成隔水层,潜水从地表薄弱处被挤出 | 潜水只能从地表薄弱处被挤出,白天汇集融化的雪水,在夜晚降温时形成大规模涎流冰,发育直至最大规模 |
| 2月中旬~3月 | 日平均气温高于0摄氏度 | 涎流冰开始消融,直至消失 |

3.2 涎流冰形成条件

根据野外调查结果,涎流冰形成必须具备3种必不可少的条件,即水文条件、地质地貌条件和气象条件。

- (1)水文条件
- 水源是涎流冰形成的内在因素,同时也是必不可少的条件。水文地质条件取决于区域的地形地貌以及

地质构造,同时也影响到浅层地下水的形成、补给、径流、排泄及动态变化。

川西-藏东交通廊道区内,冰川积雪融化而形成的支流较多,地下水的补给量较大,埋藏着松散岩类孔隙水(潜水)和承压水。据调查可知,涎流冰的水源主要是埋藏较浅的浅层地下水。浅层地下水与人类工程活动的关系密切,遭到人工破坏后,浅层地下水易出露,夏季以泉水的形式出露,冬季则会形成涎流冰。

(2)地形地貌条件

地形地貌条件对涎流冰的形成非常重要。通过对康定~昌都沿线涎流冰的调查发现,低山地貌地区、山前坡地缓坡以及沟谷地区的涎流冰发育频率较大,这些区域山坡的坡度一般为20°~30°,局部可达到30°~60°。这些地形的共同特点就是具有较大的汇水面积。较缓的地形给大气降水的汇聚与下渗提供了便利的条件,也为地下水的径流带来了良好的水力梯度^[8-9]。同时,在沿线的低山地貌地区、山前坡地缓坡以及沟谷地区存在着厚度较大的第四纪沉积层,该沉积层具有良好的透水性能和较强的富水能力,地下水含量普遍较为丰富。

(3)气象条件

温度是形成涎流冰的外部条件。温度在0℃以下时,涎流冰都有发生的可能。水文条件及地质条件相同时,温度因素对涎流冰的发育起主导因素,一般情况下,气温越低,涎流冰的规模越大。康定-昌都区域冬季较低的温度为涎流冰的发育创造了良好的气候条件。川西-藏东交通廊道区气象条件如表2所示。

| 表2 川西-藏东交通廊道区该区气象特征表 | | | | | |
|----------------------|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| 区段 | 气候类型 | 最小月平均气温/℃ | 极端最低气温/℃ | 年平均降水量/mm | 平均蒸发量/mm |
| 康定 | 山地寒温带气候 | -1.2 | -13.8 | 896 | 1 269.2 |
| 雅江 | 高原亚湿润气候 | 2.2 | -11.5 | 756.5 | 1 801.1 |
| 理塘 | 高原气候 | -2.1 | -30.6 | 764.5 | 1 478.2 |
| 巴塘 | 高原季风气候 | 4.1 | -11.6 | 497 | 1 192.2 |
| 贡觉 | 山地寒温带气候 | -5.3 | -20.2 | 380 | - |

降水量的大小也会直接影响涎流冰发育的规模。当降水充足时,涎流冰的规模一般偏大。大气降水会对地表水、浅层地下水、有渗流通道的基岩裂隙水以及河流进行直接补给。因此,由上述几类水源形成的涎流冰的规模也会受到大气降水的较大影响。

4 涎流冰对某铁路线路的影响

通过现场实际调查和卫图判识,铁路附近对线路可能存在影响的涎流冰共150处,厚度从几厘米至数米不等,面积从数平方米到数百平方米不等,沿路线纵向坡度向低处延伸扩展。若防治措施不当,会对工程造成严重的影响。铁路沿线涎流冰的统计分析结果表

明,康定~昌都段的涎流冰主要以理塘(占 34.2%)、甘孜(21.5%)、察雅(占 20.9%)为主。涎流冰发育的区域以缓坡地形为主,坡位以阴坡为主,主要为坡面溢流型涎流冰,分布在 3 500~4 500 m海拔高程范围内,规模以 5~15 m 为主。

4.1 影响工程类型

铁路康定-昌都段规划线路附近涎流冰影响的工程类型主要为路基、桥梁和隧道进出口。路基段涎流冰点最多,占总比例的 43.3%。其次为桥梁段,占 38%,并对隧道的进出口也有一定的影响。

表 3 涎流冰影响工程类型统计表

| 工程类型 | 涎流冰点 | 百分比/% |
|------|------|-------|
| 路基 | 64 | 42.7 |
| 桥梁 | 57 | 38.0 |
| 隧道口 | 29 | 19.3 |

4.2 影响程度

铁路目前正在勘察设计阶段,线路方案、工程类型等尚未完全确定,每个涎流冰发育点对工程的影响程度还不能具体评价。但根据其规模及距线路距离可予以初步判定:(1)若涎流冰位于线路上或线路上方 20 m以内,且影响线路的范围大于 20 m,则其影响程度为严重;(2)若涎流冰位于线路上或线路上方 20 m以内,但影响范围小于 10 m,则其影响程度为一般;(3)除此以外的其它情况,影响程度为轻微。涎流冰危害程度统计结果如表 4 所示。

表 4 康定-昌都段涎流冰危害程度统计表

| 危害程度 | 数量 | | | | 百分比/% | | | |
|------|----|----|----|----|-------|------|------|-----|
| | 整体 | 路基 | 桥梁 | 隧道 | 整体 | 路基 | 桥梁 | 隧道 |
| 轻微 | 10 | 5 | 1 | 4 | 6.7 | 3.3 | 0.7 | 2.7 |
| 一般 | 75 | 31 | 32 | 12 | 50 | 20.7 | 21.3 | 8.0 |
| 严重 | 65 | 28 | 24 | 13 | 43.3 | 18.7 | 16.0 | 8.6 |

由表 4 可以看出,对铁路影响严重的涎流冰点路基有 28 个,桥梁有 24 个,隧道有 13 个。对铁路影响一般的涎流冰点路基有 31 个,桥梁有 32 个,隧道有 12 个。对铁路影响一般和严重的区段均应采取防治涎流冰危害的工程措施。

5 结论

本文通过对川西-藏东交通廊道区涎流冰进行统计调查,得出结论如下:

(1)川西-藏东交通廊道区的地质条件、气象条件、水文条件都有利于涎流冰病害的发生。川西-藏东交通廊道区涎流冰类型主要为坡面溢流型、坡脚渗流型、基岩裂隙型、土石界面型和沟槽型。

(2)川西-藏东交通廊道区涎流冰类型以坡面溢流型为主;发育地形以缓坡为主;发育坡为以阴坡为主;主要发育于 3 500~4 500 m 海拔高程范围;宽度以

5~10 m 为主。

(3)涎流冰对铁路路基工程影响最大,其次为桥梁工程和隧道进出口。

(4)铁路线路方案应尽量避免影响隧道进出口和桥台的涎流冰发育点,绕避难以防治的严重影响路基的涎流冰点,对于具备排泄引流条件的涎流冰点,设计时加强涎流冰工程防治措施。

参考文献:

[1] 张浩. 公路涎流冰形成机理与防治技术研究[D]. 西安:长安大学, 2016.
ZHANG Hao. Study on Formation Mechanism and Control Techniques of Extruded Ice for Highway[D]. Xi'an: Changan University, 2016.

[2] 陶国新. 高寒地区公路涎流冰病害的治理[J]. 公路, 1994, 39(5): 39-41.
TAO Guoxin. Treatment of Highway Salivary Flow ice Disease in an Arctic-lpine Area[J]. Highway, 1994, 39(5):39-41.

[3] 王影,刘轶平. 公路涎流冰形成特征、条件及分类[J]. 黑龙江交通科技, 2006, 29(6): 47-48.
WANG Ying, LIU Yiping. WANG Ying, LIU Yiping. Characteristic and Condition and Sort of Highway Saliva Floe Ice [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2006, 29(6): 47-48.

[4] 杨鹏. 公路涎流冰病害成因及主要影响因素分析[D]. 西安:长安大学, 2015.
YANG Peng. Analysis of Disease Causes and Influence Main Factors for Highway Extruded Ice[D]. Xi'an: Changan University, 2015.

[5] 李明宇. 公路涎流冰发生机理[J]. 黑龙江交通科技, 2010, 33(10): 12.
LI Mingyu. Mechanism of Generation of Highway Salivary Flow ice [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2010, 33(10): 12.

[6] 邹学义,李舜,杨可铭. 公路涎流冰防治技术试验研究:林区公路涎流冰的形成及治理[J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1986(2): 134-143.
ZOU Xueyi, LI Shun, YANG Keming. Experimental Researches on Preventing and Curing the Saliva-Ice on Highway [J]. Journal of Harbin Institute of Architecture and Engineering, 1986(2): 134-143.

[7] 刘鑫,赵振国. 公路涎流冰成因类型、发育机理及防治措施[J]. 西南公路, 2014(4):33-36.
LIU Xin, ZHAO Zhenguo. Genetic Types, Development Mechanism and Prevention Measures of Highway Salivary Flow ice[J]. Southwest Highway, 2014(4):33-36.

[8] 崔维孝. 季节冻土地区高速铁路路基设计[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 118-123.
CUI Weixiao. Design of High-Speed Railway Subgrade in Seasonal Frozen Soil Area [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 118-123.

[9] 孙志利. 高寒地区潜水型涎流冰病害成因分析及处治措施[J]. 科技致富向导, 2011(7):271.
SUN Zhili. Analysis on Cause of Submerged Salivary Flow ice Disease in Arctic-alpine Area and Treatment Measures [J]. Keji Zhifu Xiangdao, 2011(7):271.