

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.04.18

## 西藏公路交通地质灾害气象预警

德庆卓嘎<sup>1</sup>, 张国平<sup>2</sup>, 胡骏楠<sup>2</sup>, 边巴多吉<sup>1</sup>

(1. 西藏自治区气象局, 西藏 拉萨 850000; 2. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

**摘要:** 从交通气象服务需求和面向公众出行安全出发, 建立公路交通地质灾害预报业务系统, 生成道路安全通行气象条件影响预报服务产品。首先以川藏公路交通地质灾害为普查分析对象, 开展了西藏主要公路交通地质灾害风险普查, 确定地质灾害隐患路段; 结合历史灾害数据统计分析, 利用有效降水与滑坡泥石流灾害的概率关系模型及分析结果, 对灾害区域进行划分评价; 最终用卫星定量估计降水方法, 建立预报系统, 生成影响预报产品。该系统已投入业务使用, 预报产品相继通过西藏自治区交通厅路网中心、西藏公安厅交管局及西藏电视台“路况信息”栏目对外公开发布, 为加强西藏公路交通气象灾害防治提供了参考依据。

**关键词:** 西藏交通; 气象; 地质灾害; 影响预报

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)04-0121-09

## Warning of geological hazard in Tibet along major highways

DEQING Zhuoga<sup>1</sup>, ZHANG Guoping<sup>2</sup>, HU Junnan<sup>2</sup>, BIANBA Douji<sup>1</sup>

(1. Meteorological Bureau of TAR, Lhasa, Tibet 850000, China;

2. Public Weather Service Centre of CMA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To meet the needs of traffic meteorological service and safety of public travel, the paper established geological hazard warning system for road traffic and produced a meteorological warning product for road traffic safety. First, the geological hazard along Sichuan-Tibet road were investigated, the geological hazard investigation of road traffic in Tibet were carried out to determine the geologically dangerous area. Then, combining statistic analysis of historical disaster data, a probabilistic relation mode correlating effective precipitation with landslides and debris flows was used for evaluation and classification of disaster area. Finally, based on satellite rainfall estimating technique, a warning system was established and an warning product was produced. The system has come into use, forecasting information are releasing through road network center of the transportation department of Tibet autonomous region, the traffic management bureau of Tibet public security department, as well as Tibet TV. The study can provide support for strengthening traffic meteorological warning and geological hazard prevention.

**Keywords:** Tibet transportation; meteorology; geological hazard; warning

### 0 引言

随着西藏经济社会的持续快速发展, 人们对交通

气象、环境气象、旅游气象越发关注。尤其是对交通沿线的局地突发性灾害的预报预警需求日益突出, 因此做好交通地质灾害保障服务是当前气象服务一项重要

收稿日期: 2018-02-16; 修订日期: 2018-04-02

基金项目: 西藏自治区科学技术厅 2014 年软科学研究计划项目(Z2014R92F0101); 国家气象局气象关键技术集成与应用面上项目(CMAGJ2014M49)

第一作者: 德庆卓嘎(1972-), 女, 西藏拉萨人, 硕士, 高级工程师, 主要从事交通气象预报服务。E-mail: deching123@aliyun.com

通讯作者: 胡骏楠(1991-), 男, 江苏人, 硕士, 工程师, 主要从事 GIS 与专业气象服务。E-mail: hujunnan2@126.com

内容。交通地质灾害的信息采集、预报预警与信息传递、发布在当前尤为迫切与必要。

许多研究表明,恶劣天气严重影响道路交通安全<sup>[1-6]</sup>。因此,科研工作者研究并建立了相关交通气象灾害预警预报模型和服务系统<sup>[7-12]</sup>,开展了交通气象服务,保障了恶劣天气条件下的交通安全。敖曼等<sup>[13]</sup>对 2000~2005 年公安部全国道路交通事故统计分析发现:每年约有 36% 的高速公路交通事故与不利天气(包括雨、雪、雾、大风、阴、沙尘等)有关,而雨、雪、雾造成的高速公路交通事故占不利天气所致高速公路交通事故的 72%。2013~2015 年,中国气象局在全国 31 个省(自治区、直辖市)开展了公路交通气象灾害风险普查工作。从普查结果来看,强降雨、大雾、团雾、路面结冰、积雪是影响我国公路交通主要气象灾害。同时,全国各区域的主要公路气象灾害存在明显差异<sup>[14]</sup>。就西藏而言,由于各地区气候差异较大,影响交通事故发生的气象因子也不尽相同。通过调查分析发现,川藏公路沿线因强降水导致交通事故频发<sup>[15]</sup>。

川藏公路沿线发生的地质灾害类型主要有泥石流、崩塌、滑坡、冻土冻融等,其中泥石流为主要地质灾害,常常造成交通堵塞、事故、运输中断,严重影响了西

藏自治区的经济发展。据统计,川藏公路各种自然灾害平均每年达 300 多次。因此,本文利用有效降水与滑坡泥石流灾害的概率关系模型<sup>[16-17]</sup>,用高斯分布建立有效降水与地质灾害概率模型<sup>[18-19]</sup>,根据崔林丽等利用卫星定量估计降水的方法<sup>[20]</sup>,结合精细化数值预报模式降水资料和国家级气象观测站监测数据,建立西藏公路交通气象灾害预报系统,生成道路安全通行气象条件影响预报产品。提供准确及时的西藏公路交通影响预报产品,提升气象预报服务能力。

## 1 数据结构

“西藏公路交通地质灾害预报系统”融合了庞大复杂的交通气象地理数据,形成了丰富的交通信息资源。系统一方面为出行者提供多方位、高质量的出行服务,使得交通出行更加顺畅、平稳,提高交通出行安全水平;另一方面能够为各级交通管理部门提供决策和管理所需的数据支持,为工作效率和服务水平,进一步推进交通气象信息化建设奠定了良好的基础。系统由交通地理信息数据、气象基础数据、气象监测数据、气象灾害历史数据,实现数据的综合分析处理,结合模式预报方法等构成,总体结构见图 1。

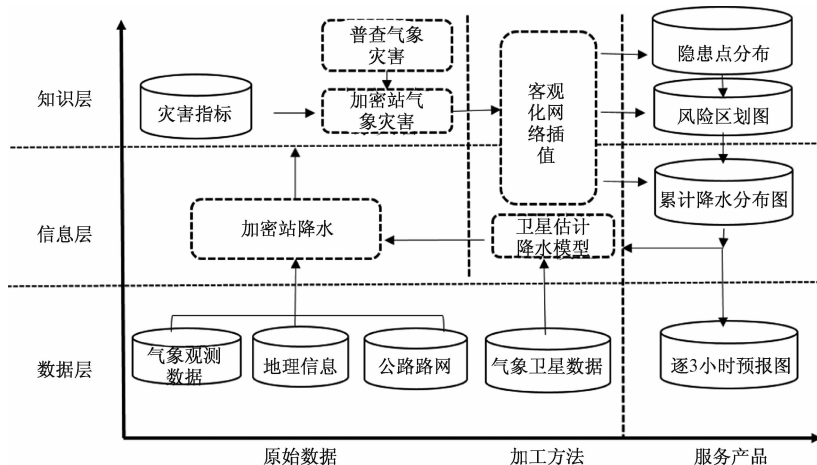


图 1 西藏交通气象预报系统总体架构

Fig. 1 Tibet traffic weather warning system overall structure

主要内容包含如下几个方面:

(1) 数据层:包含了西藏公路交通沿线的气象基础数据、交通数据及地理信息数据;降水估测数据主要利用 FY2D 和 FY2E 卫星资料,结合 G318、G317 沿线经过质量控制的自动雨量站资料,反演 5 km 格点上的降水,以 30 分钟间隔估算降水,建立预报模型是利用了国家级气象观测站监测数据。另外 2013~2015 年西藏自治区主要国道沿线开展了实地调研,调查

G318、G317、G109、G219、G214 等公路沿线地质灾害易发、多发路段公路基本信息、公路沿线因地质灾害造成的交通事故等资料,并确定了气象灾害隐患路段。

(2) 信息层:卫星遥感降水能够有效地反映降水的空间分布,实况站点降水结果能够准确地反映单点降水量,取两者之长,卫星降水估计与站点降水观测结果的融合实质上就是要通过地面雨量计观测去“标定”卫星降水估计结果,利用估计降水实现加密降水,

补充无人区降水观测,以使最终的分析结果能够更准确地反应降水实况。

(3) 知识层:建立灾害指标库,概率统计分析灾害数据,基于客观化网格化插值和卫星估计降水模型,客观处理灾害格点场和累计降水格点场;实现基于 GIS 的灾害区域划分、易发程度评价、隐患点分布及降水累计分布图,最终生成影响预报图。

## 2 处理方法

首先以专家评估、实地调查等方式开展了西藏公路交通气象灾害风险普查,确定气象灾害隐患路段,尤其是地质灾害隐患路段;其次用有效降水与滑坡泥石流灾害的概率关系模型及分析结果,降水因子与滑坡泥石流灾害发生的频次之间服从高斯分布,利用密度函数曲线来定量计算有效降水为某一值情况下滑坡泥石流灾害发生的频率,按照川藏公路(G318、G317)沿线内降水和泥石流的关系模型,将地质灾害预报转化为概率问题,为西藏公路气象灾害预报业务建立起基础方法。第三利用卫星定量估计降水的方法,利用精细化数值预报模式降水资料和国家级气象观测站监测数据,结合西藏公路交通沿线的气象基础数据、交通数据及地理信息数据等综合数据进行处理与分析,实现交通干线路况信息。并结合西藏气候背景特点,建立暴雪、暴雨、雷暴等突发性灾害天气在内的高影响天气致灾阈值;通过 T639、EC 等模式产品的试用及订正,形成西藏公路交通气象灾害影响预报产品。

## 3 关键技术分析

根据中国气象局安排,2013~2015年西藏自治区气象服务中心选定 G109 安多至当雄段、G214 芒康至

昌都、G219 日土至拉孜、G317 江达至那曲、G318 聂拉木至芒康路段做了气象灾害普查。普查路段全长 7 548 km,平均海拔 4 500 m 以上,气象灾害隐患路段有 634 处。调查的公路交通气象灾害风险隐患点主要包括三个方面的公路交通气象灾害风险路段:一是气象条件与公路路面状况综合作用造成的交通事故多发、频发或因气象条件导致过重大交通事故的路段;二是特定时间段、季节恶劣气象条件引发的自然灾害严重影响路段;三是潜在气象灾害及衍生灾害可能影响的路段。

调查数据显示(图 2),全线地势险峻,事故多发,普查的风险隐患点分布有明显的地域特点,总体呈现东多西少,南多北少的特点,主要的风险隐患点集中在川藏公路分南北两线(G318 和 G317),而青藏公路(G109)、滇藏公路(G214)和新藏公路(G219)沿线的风险隐患点数量相对较少。

通过调查发现,西藏境内主要公路气象灾害风险依次为强降水、路面积雪结冰、雪崩、大风和闪电,五类灾害占调查西藏公路气象灾害风险的比例约 90%。其中川藏公路南北两线的地质灾害隐患点最多,占总数的 68%。因此以川藏公路交通地质灾害为普查分析对象,重点阐述。

### 3.1 调查隐患点数据分析

经过对川藏公路(G317、G318 线)实地调查发现(图 3):G317 公路气象灾害隐患路段 220 处,主要分布在那曲地区那曲镇、索县,昌都地区丁青、昌都、江达县,主要发生在 6~9 月份。G318 公路气象灾害隐患路段 212 处。灾害主要分布在林芝地区波密、然乌,昌都地区八宿、左贡、芒康县,主要发生在 6~9 月份。致灾气象因子为降水和气温。

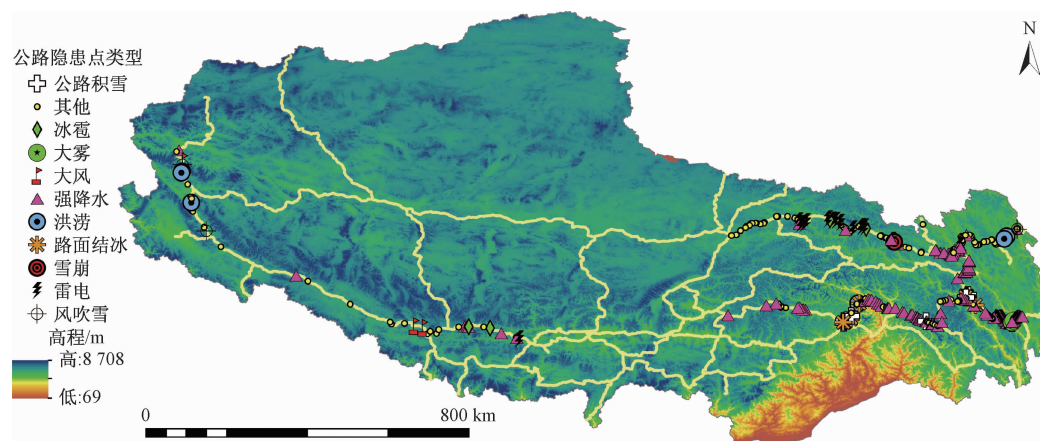


图 2 2013~2015 年西藏公路气象灾害风险隐患点分布图

Fig. 2 Tibet highway weather disaster risk location map from 2013 to 2015



之间,其他路段年均降水量不足 500 mm。

经统计分析,90% 以上的地质灾害由降水导致的,而 6~9 月份集中了全年降水量的 80%~90%,也是地质灾害发生的高峰期。同时是交通事故的高发月份。

通过对降水条件诱发的地质灾害历史数据(248 个)统计表明:

(1)川藏公路沿线地形起伏巨大,在山地局部地形影响下易发生局地暴雨,暴雨基本可决定滑坡泥石流的发生时间。当日降雨量 > 50 mm,发生的滑坡占 85%,其中累计降水量为 100~200 mm 发生的滑坡占 70%。地质灾害发生时,当日平均降雨量达 30 mm,因此也可作为交通部门采取封路管制的临界值。

(2)灾害的发生多与降水同步,与当日或前期连续降水量同步发生的占 90%。例如,昌都地区芒康县 G318K3470 强降雨引发泥石流,芒康县 3 天累计降水量达 115 mm,与历年同期相比多 1 倍,日最大日降水量达 44.2 mm。灾害持续时间为 168 h,发生时间为 2012 年 07 月 09 日 01 时,持续降水导致川藏公路芒康县境内海通沟路段发生泥石流,有 10 个路段的灾情相对严重。泥石流堆积物超过  $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,并有近 400 m 道路被掩埋或冲毁,严重影响到道路的安全通行。

(3)连续性降水和降水总量是滑坡发生的一个不可忽视的因素。6~9 月份是西藏的主要降水期(汛期),汛期期间连续性降水或突发性降水频率很高,降水量大持续时间长。发生于 6~9 月地质灾害数占总数的 76%,与汛期降水量基本成正相关。

(4)当天强降水与滑坡泥石流发生的关系也比较密切。对典型案例进行统计分析,发现当天最大雨量在 5 mm/h 以上,甚至 10 mm/h 以上易出现地质灾害。如 2007 年 9 月 4 日波密县天摩沟出现特大泥石流灾害,当日雨量为 19.7 mm,且降水主要集中在凌晨 8 时之前,8 时雨量达 19.4 mm;最大小时雨量为 6.3 mm,灾害发生前 72h 内波密县总雨量为 27.8 mm,这说明当天及近两天的雨量对这次泥石流发生贡献很大<sup>[23]</sup>。

### 3.4 西藏公路交通地质灾害危险性区划

根据调查获得的西藏公路沿线地质灾害隐患点信息数据和气象信息,对西藏道路沿线做了地质灾害危险性区域区划,其目的是将西藏公路大区域划分为若干个子区域,认为子区域内部地质、地理与气候环境背景是相似的,建立子区域内降水与地质灾害的关系时不考虑环境背景条件的差异。地质灾害区域划分的基础是滑坡、泥石流易发程度评价,其主要内容是建立因子集,直接获取区域内每个栅格点处的地形高程、高

差、坡度、岩石类型、断层密度、植被类型和前期降水 7 个因子的值,根据信息量原理,影响滑坡泥石流发生的各个因素的信息量可以采用式(1)(2)进行计算<sup>[24~25]</sup>,将环境背景因子引入到降水和泥石流关系的分析模型中来,建立区域内降水与泥石流、滑坡关系,并对地质灾害易发程度综合评价<sup>[26]</sup>。

$$I = \sum_{i=1}^n I_{A_{ij}} (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (1)$$

$$I_{A_{ij}} = \lg \frac{N_{ij} \cdot S}{N \cdot S_{ij}} \quad (2)$$

式中: $I$ ——7 个因素不同状态对滑坡泥石流发生的总信息量;

$N_{ij}$ ——区域内各因素  $A_{ij}$  不同状态下发生滑坡的单元数;

$S_{ij}$ ——区域内具有各因素具有各状态的单元数;

$N$ ——区域内发生滑坡的单元数;

$S$ ——区域内单元总数。

对各因子进行相关分析,进一步确定各参评因子的权重。利用主成分分析法,确定的西藏道路交通地质灾害危险性评估各要素类权重见表 1。

表 1 西藏交通地质灾害危险性评估各因子权重表

Table 1 Tibet traffic geological hazard risk assessment of the weight of each factor

| 类别     |          | 各类权重 |
|--------|----------|------|
| 下垫面要素类 | 最大坡度     | 0.12 |
|        | 平均坡度     | 0.16 |
|        | 相对高度     | 0.21 |
|        | 地层岩性     | 0.08 |
|        | 断层密度     | 0.15 |
|        | 土地利用综合指数 | 0.03 |
|        | 地震烈度     | 0.05 |
| 气象要素类  | 年均降水量    | 0.11 |
|        | 年降水量变差系数 | 0.02 |
|        | 年均日照时数   | 0.03 |
|        | 年均温度     | 0.04 |

根据地质灾害危险性评估各因子与地质灾害频率间的关系分析,将各评估因子输入建立的地质灾害危险性评估模型,得到地质灾害危险性评估区划分布图(图 5)。

又根据陈洪凯等<sup>[27]</sup>利用层次分析法和 GIS 技术,把川藏公路地质灾害危险性评价模型与地质灾害危险性评价数据库相结合,将川藏公路沿线的地质灾害危险性分为极高危险区、高度危险区、中度危险区、低度危险区和极低危险区。其中高度危险区占的比例最大,占线路总长的 48.77%,主要分布在雅江流域、金



沙江流域和帕隆藏布流域。

通过上述综合分析考虑,结合川藏公路沿线实地调研数据、交通管理部门咨询信息、地质条件、地貌类

型和气候背景特征等,进行了恶劣天气条件对道路通行产生的影响分析,并给出了公路沿线地质灾害诱发的道路交通安全危险性区划分布图(图 6)。

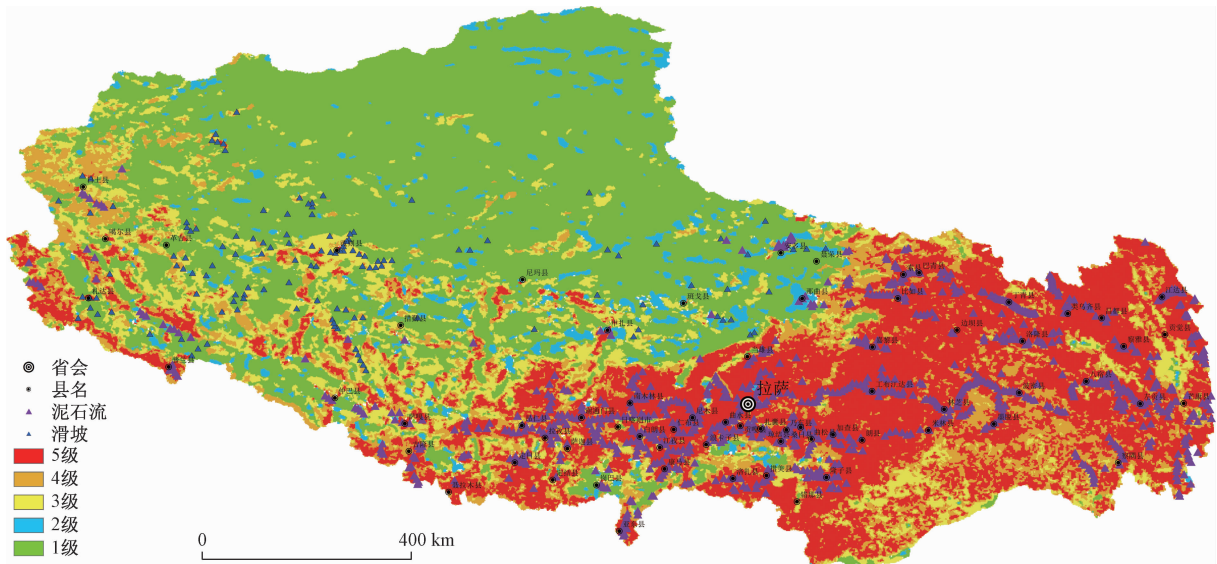


图 5 西藏地质灾害危险性评估区划分布图

Fig. 5 Division of geological hazard assessment in Tibet

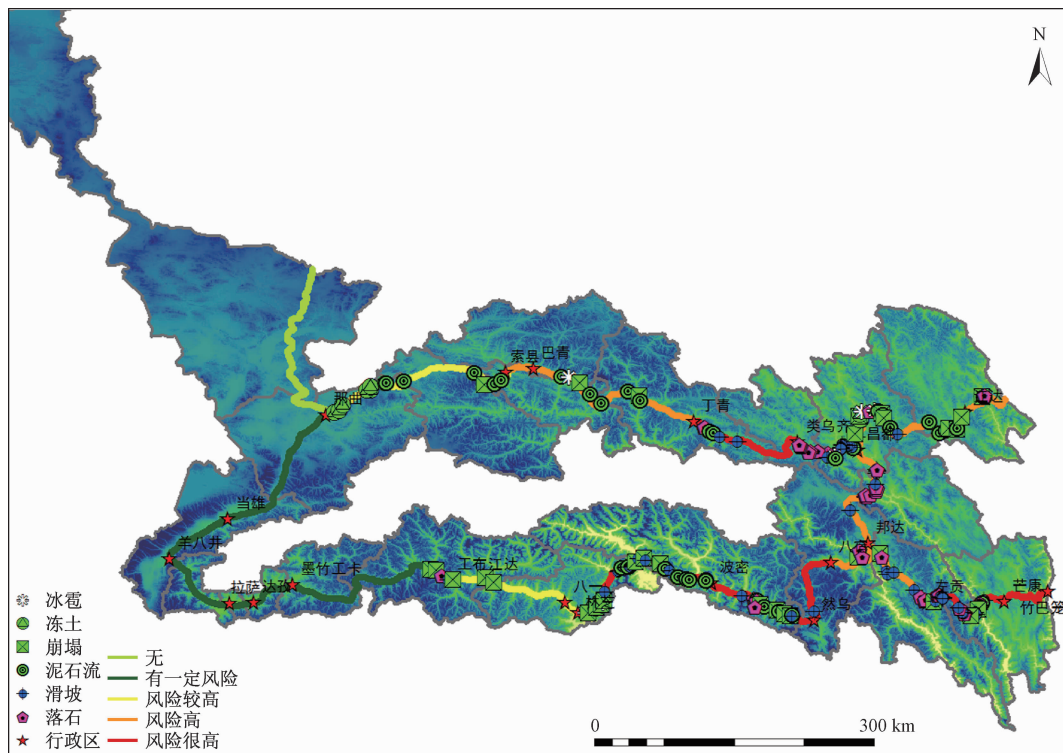


图 6 地质灾害诱发交通安全危险性区划分布图

Fig. 6 Division of traffic safety risk zones caused by geological hazard

图 5 所示,G317 国道那曲 - 索县 - 巴青段有一定地质灾害风险,灾害主要以冻融和泥石流为主;当日降水量达到中等量级(雨 > 15 mm,雪 > 5 mm)时,该路

段极易发生冰雪灾害。巴青 - 丁青 - 类乌齐 - 昌都段滑坡、泥石流、崩塌、落石等灾害都有,尤其是类乌齐至昌都段风险等级极高,因构造断裂活动强烈、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<sup>[28]</sup>。

G318 国道工布江达-林芝段以崩塌为主,划分级别为有一定风险;林芝-波密以滑坡、泥石流灾害为主,是地质灾害诱发道路交通安全的高风险路段;波密-然乌-八宿段多种灾害重叠共存,是地质灾害诱发道路交通安全的极高风险路段。该路段主要分布在帕隆藏布、易贡藏布的汇合处和念青唐古拉山脉东段与横断山脉伯舒拉岭结合部,山高谷深,冰川较多。从气象角度,泥石流活跃区域也是季风气候区,持续性降水明显增加了滑坡泥石流的发生次数<sup>[29-30]</sup>。

岩石破碎易风化剥蚀,极易产生滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,边坡稳定性差,交通事故多发,是极高风险区。另外,三江流域高山峡谷地带,山坡纵比降较大,山体破碎,山坡上部残积物丰富,在春季融雪水流和夏季暴雨洪水作用下地质灾害频繁暴发。

### 3.5 西藏公路地质灾害气象预警预报产品

利用 FY2D 和 FY2E 卫星资料,结合西藏国道沿

线经过质量控制的自动雨量站资料,利用卫星定量估计降水的方法和精细化数值预报模式降水资料,反演 5 km 格点上的降水,以 30 min 间隔估算降水,获取较高空间和时间分辨率的降水估测数据,并结合国家级气象观测站监测数据,精细化地质灾害分析预报技术与公路路段灾害性天气预报技术结合起来,建立西藏公路交通气象灾害预报系统,将西藏主要公路细网格上地质灾害发生等级预报产品转换为道路安全通行气象条件影响预报产品。对西藏公路进行逐段道路的气象条件与滑坡泥石流影响程度分析,结合对道路通行产生的影响,给出了公路沿线地质灾害诱发的道路交通安全风险区划,并揭示在何种强度的地质灾害下,公路交通安全通行会发生何种程度的影响;针对汽车等交通工具,将道路安全通行气象条件影响预报分为汽车无碍通行、慢速通行、谨慎通行、限制通告、管制通告等几种通告方式。并每天提供 3 h、6 h、12 h、24 h 西藏公路沿线道路安全通行气象条件预报图(图 7)。主要产品见图 7。



图 7 公路安全通行气象条件预报产品

Fig. 7 Road safety traffic weather conditions warning products

## 4 结论及应用

(1) 2013~2015 年西藏境内的 5 条国道的公路风险普查,表明:灾害隐患点分布有明显的地域特点,

总体呈现东多西少,南多北少的特点,主要的风险隐患点集中在川藏公路南北两线(G318 和 G317),占总数的 68%。气象灾害风险依次为强降水、路面积雪结冰、雪崩、大风和闪电,五类灾害占调查西藏公路气象

灾害风险的比例在 90%。隐患路段主要分布在那曲地区那曲镇、索县,昌都地区丁青、昌都、江达县,林芝地区波密、然乌,昌都地区八宿、左贡、芒康县。

(2) 西藏公路沿线地质灾害发生频次最高的是滑坡,占总数的 32%,其次是飞石落石,占 26%,第三是泥石流占 19%,第四和第五是崩塌和冰雪灾害,分别占 12% 和 11%。

(3) 90% 以上的地质灾害由降水导致的,川藏公路强降雨的分布区域决定滑坡的群发区。降水是诱发滑坡等地质灾害的外部强迫因子,也是导致川藏公路事故多发的直接因素,一般发生在 6~9 月份。

(4) 据川藏公路沿线地质灾害诱发的道路交通安全风险区划评价,G318 国道波密-然乌-八宿段多种灾害重叠、共存,是地质灾害诱发道路交通安全的极高风险路段。G317 国道类乌齐至昌都段风险等级较高,通常降雨强度大,泥石流与群状滑坡总是相互伴随,分布于同一地带。

(5) 根据卫星定量估计降水,建立西藏公路交通气象灾害预报系统,生成道路安全通行气象条件影响预报产品。并每天提供 3 h、6 h、12 h、24 h 西藏公路沿线道路安全通行气象条件预报图。本方法已于 2015 年 6 月投入业务使用,预报产品相继通过西藏自治区交通厅路网中心、西藏公安厅交管局及西藏电视台“路况信息”栏目对外公开发布,效果良好。

#### 参考文献:

- [1] 潘娅英,陈武. 引发公路交通事故的气象条件分析[J]. 气象科技, 2006,34(6):778-782.  
PAN Yaying, CHEN Wu. Analysis of meteorological conditions for traffic accidents [J]. Meteorological Science and Technology, 2006,34(6):778-782.
- [2] 吴建平. 交通事故与天气气候的关系分析[J]. 交通与运输, 2008,24(1):20-22.  
WU Jianping. Analysis of the relationship between traffic accidents and climate [J]. Traffic & Transportation, 2008,24(1):20-22.
- [3] 田伟平,马保成,刘春焕,等. 沿河公路水毁灾害的风险识别[J]. 交通企业管理, 2009,24(6):66-67.  
TIAN Weiping, MA Baocheng, LIU Chunhuan, et al. Risk identification for flood damage of highway along rivers [J]. Transportation Enterprise Management, 2009,24(6):66-67.
- [4] 张曼. 高速公路气象灾害监测建站思路[J]. 科学之友, 2012(2):429-432.
- ZHANG Man. Highway meteorological disaster monitoring Jianzhan ideas [J]. Friend of Science Amateurs, 2012(2):429-432.
- [5] 白永清,何明琼,刘静,等. 高速公路交通事故与气象条件的关系研究[J]. 气象与环境科学, 2015,38(2):66-71.  
BAI Yongqing, HE Mingqiong, LIU Jing, et al. Study on the relationship between highway traffic accidents and meteorological conditions [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2015,38(2):66-71.
- [6] 李岚,唐亚平,孙丽,等. 辽宁省高速公路不良气象条件分析及服务探讨[J]. 气象与环境学报, 2010,26(1):49-53.  
LI Lan, TANG Yaping, SUN li, et al. Analysis of disadvantageous weather conditions on highway and countermeasures in Liaoning Province [J]. Journal of Meteorology Environment, 2010,26(1):49-53.
- [7] 罗慧,李良序,胡胜,等. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型状[J]. 应用气象学报, 2007,18(3):350-357.  
LUO Hui, LI Liangxu, HU Sheng, et al. The relationship between road traffic crashes and meteorological condition with construction of its road weather warning model [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007,18(3):350-357.
- [8] 孟春雷,张朝林. 路面气象数值预报模型及性能检验[J]. 应用气象学报, 2012,23(4):49-52.  
MENG Chunlei, ZHANG Chaolin. Development and verification of a numerical forecast model for road meteorological services [J]. Journal of Applied meteorological Science, 2012,23(4):49-52.
- [9] 赵连伟,金巍,张运福,等. 辽宁冬季气温时空分布特征及其预测概念模型[J]. 气象与环境学报, 2009,25(1):19-22.  
ZHAO Lianwei, JIN Wei, ZHANG Yunfu, et al. Spatiotemporal distributions of winter air temperature and its conceptual prediction model in Liaoning Province [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2009,25(1):19-22.
- [10] 赵淼. 辽宁交通气象预报方法研究[D]. 兰州:兰州大学, 2015.  
ZHAO Miao. Research on the forecasting method of traffic meteorology in Laoning [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- [11] 王志,韩焱红,李嵩恂. 我国公路交通气象研究与业



- 务进展[J]. 气象科技进展, 2017(1):85-89.
- WANG Zhi, HAN Yanhong, LI Aixun. Advance in research and operation in traffic meteorological service in China[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2017(1):85-89.
- [12] LI H. A meteorological risk assessment model for geological disasters in the southwest of Guangxi[J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008,10(4):79-82.
- [13] 敖曼, 翟润平. 气象条件对道路交通的影响分析[J]. 公路与汽运, 2011(2):58-62.
- AO Mian, ZHAI Runpin. Influence of meteorological conditions on road traffic[J]. Highways & Automotive Applications, 2011(2):58-62.
- [14] 崔丙维, 刘颖杰, 王昕, 等. 公路气象灾害风险隐患点特征分析研究[C]. 第32届中国气象学会年会 S14 第五届气象服务发展论坛——气象服务与信息化, 2015.
- CUI Bingwei, LIU Yingjie, WANG Xin, et al. Research on the characteristics of hidden points of meteorological disaster risk in highway[C]. The 32nd Annual Meeting of China Meteorological Society Fifth Meteorological Services Development Forum——Meteorological Services and Information Technology, 2015.
- [15] 格央, 周振波, 德庆卓嘎. 川藏公路交通气象等级预报方法研究[J]. 西藏科技, 2010(8):61-65.
- GE Yang, ZHOU Zhenbo, DEQING Zhuoga. Research of the forecast method of meteorological grade of traffic of Sichuan-Tibet Road[J]. Tibet's Science & Technology, 2010(8):61-65.
- [16] 张国平, 晁瑗, 许凤雯, 等. 站点密度对泥石流当日雨量和前期有效雨量计算的影响[J]. 地理研究, 2011,30(7):1237-1243.
- ZHANG Guoping, CHAO Yuan, XU Fengwen, et al. The influence of gauge density on the interpolation of critical and antecedent effective precipitation that triggered the debris flow[J]. Geographical Research, 2011,30(7):1237-1243.
- [17] 张国平, 许凤雯, 赵琳娜. 中国降水型泥石流研究现状[J]. 气象, 2010,36(2):81-86.
- ZHANG Guoping, XU Fengwen, ZHAO Linna. Review of the study of rainfall-triggered debris flows[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(2):81-86.
- [18] 何险峰, 薛勤. 山地等价雨量[J]. 气象科技, 2013,41(4):771-776.
- HE Xianfeng, XUE Qin. Mountain equivalent rainfall[J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(4):771-776.
- [19] 张国平. 有效雨量和滑坡泥石流灾害概率模型[J]. 气象, 2014,40(7):886-890.
- ZHANG Guoping. Study on the relation between effective precipitation and landslide/debris-flow with probabilistic model[J]. Meteorological Monthly, 2014,40(7):886-890.
- [20] 崔林丽, 杨引明, 游然, 等. FY-3A/MWHS 数据在定量降水估计中的应用研究[J]. 高原气象, 2012,31(5):1439-1445.
- CUI Linli, YANG Yinming, YOU Ran, et al. Application study of FY-3A/MWHS in quantitative precipitation estimation[J]. Plateau Meteorology, 2012,31(5):1439-1445.
- [21] 邓明枫, 陈宁生, 丁海涛, 等. 2007年西藏东南部群发性泥石流的水热条件及其形成机制[J]. 自然灾害学报, 2013,22(4):128-134.
- DENG Mingfeng, CHEN Ningsheng, DING Haitao, et al. The hydrothermal condition and formation mechanism of the group-occurring debris flows in the southeast Tibet in 2007[J]. Journal of Natural Disasters, 2013,22(4):128-134.
- [22] 中国科学院青藏高原研究所. 藏东南高山环境综合观测研究站[EB/OL]. (2007-10-08). <http://www.itpcas.ac.cn/jgsz/kyxt/zdngshj/>.
- China Institute of Tibetan Plateau Research Chinese Academy of Sciences. Tibet southeastern alpine environment comprehensive observation station[EB/OL]. (2007-10-08). <http://www.itpcas.ac.cn/jgsz/kyxt/zdngshj/>.
- [23] 余忠水, 德庆卓嘎, 罗布次仁, 等. 西藏波密县天摩沟“9·4”特大泥石流灾害成因初步分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009,20(1):6-10.
- YU Zhongshui, DEQING Zhuoga, LUOBU Ciren, et al. Preliminary analysis about the cause of “9.4” debris flow disaster in Tian Mo-gou, Bomi in Tibet[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009,20(1):6-10.
- [24] 白利平, 孙佳丽, 张亮, 等. 基于GIS的北京地区泥石流危险度区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008,19(2):12-15.
- BAI Liping, SUN Jiali, ZHANG Liang, et al. GIS-based risk factors zoning of debris flow in Beijing Region[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008,19(2):12-15.