

南方冰冻交通危险度预警评估技术

杨静, 柳艳香, 郜婧婧*, 李宛育, 郝淑会, 李蔼恂, 潘进军

中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

摘要 通过对南方地区影响公路交通的冰冻过程确定, 利用灰色关联方法, 构建基于过程日平均降水量、日平均气温、降水持续天数、冰冻持续天数等4个因子指标量的冰冻交通危险度预警模型。为了检验危险度预警模型的可信度及预警效果, 采用2016年1月21—25日中国“超级寒潮”事件南方地区地面站实况资料和实时公路阻断灾情数据, 进行冰冻交通危险度预警等级结果与公路阻断灾情的对比分析。结果表明, 预警最高等级(5级)区域内极高交通风险路段与区域内实际发生公路阻断路段呈现非常好的吻合关系; 随着预警等级升高, 更大比例的公路阻断发生在预警区域内。高速、国道、省道等不同等级道路阻断里程百分比都随预警等级的增加而呈现上升趋势, 且国家高速阻断比例在等级较高时表现突出, 省级道路阻断比例在等级较低时开始凸显。体现出预警模型不仅对实际公路阻断灾情有很好的关联性, 而且较好地反映了模型中不同等级道路对冰冻灾害响应的区别, 对公路阻断灾情的预判起到很好指示作用, 为交通运行风险控制提供参考。

关键词 道路交通; 公路冰冻; 预警评估

低温雨雪冰冻天气会对交通运输、电力传输、群众生活产生不同程度的影响, 多年来学者从大气环流特征和天气动力成因等方面对冰冻过程做了详尽的研究^[1-8]。冰冻雨雪天气对交通运行的影响显而易见, 尤其是南方大范围冰冻灾害, 路面结冰成为道路交通阻断的直接原因。自20世纪80年代起, 国内外不少学者在路面结冰机理和预报模型研究方面进行了不少探索。进入21世纪后, 预报模型有了进一步发展, 研究更侧重冰冻对路面交通运

行的影响。李蕊^[9]等、杨亚新等^[10]、谢静芳等^[11]研究路面打滑分类专家系统, 为冬季路面打滑预测提供依据。刘梅等^[12]探讨南京地区雨雪天气路面结冰的类别、标准和预测预报方法。Bouilloud等^[13]建立路面积雪厚度预报模型, 探讨雪覆盖因子的密度、纹理特征对交通运行的影响。Liu等^[14]研究道路黑冰对道路安全的危害, 建立决策支持系统(DSS)预测道路黑冰发生路段, 为道路封闭提供决策参考。

随着防灾减灾需求的日益增长, 从风险角度分

收稿日期: 2019-01-30; 修回日期: 2019-03-30

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY201406029)

作者简介: 杨静, 高级工程师, 研究方向为专业气象服务, 电子信箱: yangjing@cma.gov.cn; 郜婧婧(通信作者), 工程师, 研究方向为专业气象预报服务, 电子信箱: 13521426463@163.com

引用格式: 杨静, 柳艳香, 郜婧婧, 等. 南方冰冻交通危险度预警评估技术[J]. 科技导报, 2019, 37(20): 30-39; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.20.004

析灾害及影响,并实施风险控制已成为灾害风险管理的一项重要手段。近些年,一些学者尝试性地从风险分析及预警评估的角度,对冰雪道路交通安全进行研究。李华蓉等^[15]提出了基于气温、湿度、降雪量及积雪日数的山区公路雪灾强度模型和基于主成分分析法的预警评估模型。刘明明等^[16]将山区公路冰雪灾害每个指标值和冰雪灾害强度标准进行了数字分级,得出冰雪灾害危险度。贺芳芳等^[17]通过构建危险性、敏感性及易损性综合评价指标,得到了上海地区包括交通路网系统在内的冰冻灾害风险区划。刘勇洪等^[18]依据灾害学原理构建了冰雪灾害对北京城市交通运行的预警评估指标体系。张金满等^[19]基于气象、路面和地形因素,建立河北省冰雪天气公路通行预警指标体系。Fu等^[20]综合考虑冬季路面状况、能见度、降水量、温度、风速和交通流量等要素,计算不利天气条件发生道路交通事故相对风险指数(RRI),对冬季路面条件类型危险等级进行评估。Toms等^[21]分析3种道路结冰机制(白霜、雾凇、冻雨),建立路面结冰预测模型,得出道路结冰交通安全风险。冰冻灾害的形成以及造成交通安全运行风险的机理具有复杂性,尤其针对区域性大范围的冰雪道路交通安全风险预警模型的研究还不多。

本研究从冰冻雨雪对公路交通运行是否产生影响的角度,确定南方冰冻判别条件,构建南方地区冰冻交通危险度风险预警模型,通过对2016年1月21—25日“超级寒潮”南方冰冻交通危险度预警的实况检验与公路阻断灾情的对比,分析冰冻交通危险预警区域与公路阻断区域的吻合关系。

1 资料与方法

1.1 资料

1) 气象实况资料:中国气象局国家气象信息中心整编的国家基本和基准气象站中国南方(共1295个站)2016年1月20—29日逐小时气温和地表温度、24小时累积降水量、逐日天气现象。

2) 公路阻断信息:从交通运输部路网中心公路通阻数据库中,提取出2016年1月21—25日间

受降雪、积雪及冰冻等三类原因造成的全国公路阻断信息566条,其中影响南方区域共281条。该公路阻断信息按照交通运输部2011年4月发布的《全国公路交通阻断信息报送制度》报送入库,采集的交通阻断信息主要包括,所属道路、路段、所属行政区、公路等级、阻断原因、阻断开始桩号、阻断结束桩号、阻断发生时间、阻断恢复时间、处理措施等相关信息。其中,公路等级包括国家高速、国道及省道。对研究公路阻断影响,公路阻断里程数(km)非常重要^[22],本研究利用道路桩号信息GIS(地理信息系统)动态分段技术^[23],结合GIS基础地理信息和公路网道路信息,绘制出公路阻断路段及阻断里程分布。

1.2 研究区域

南方区域以1981—2010年共30年的1月份平均气温0℃等温线作为南、北方结冰源相态主要界线选取(图1),西部等温线曲折较大处界线参考800 mm等降水线^[24]。

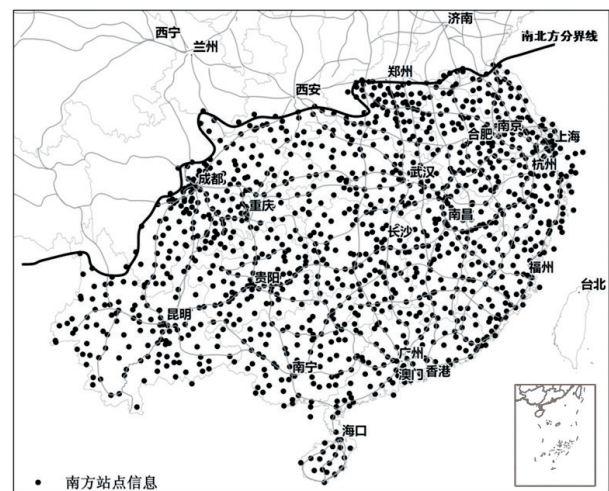


图1 研究资料站点分布及结冰源相态南北方主要分界线
Fig. 1 Data site distribution and the North-South dividing line of the rain-snow phase

1.3 模型构建

1.3.1 影响交通“冰冻过程”选取及模型评估指标确定

针对影响公路交通的冰冻过程包括两个阶段:
1) 雨雪冰冻形成期,即有造成交通运行风险的降

雪或降雨;2) 冰冻持续期,即雨雪过后,已改变了交通路面物理性质,并有一定持续期,这两个阶段共同构成一次冰冻过程。本研究以影响公路交通为判断标准界定南方冰冻过程,以出现“路面结冰”为控制条件,且将冰冻过程分成3种情况判定^[25]。

1) “雪降至严寒路面”情况:日降水量 ≥ 0.1 mm,且日平均气温 $\leq 0^\circ\text{C}$ (冰冻形成期);且日最低地表温度 $\leq 0^\circ\text{C}$,直到日最低地表温度 $> 0^\circ\text{C}$ 时截止(冰冻持续期),该过程定为1次冰冻过程。

2) “大雪以上量级降至温暖路面,但未来经历降温过程”情况:日降水量 ≥ 5 mm,且日平均气温 $\leq 0^\circ\text{C}$;虽当日最低地表温度 $> 0^\circ\text{C}$,但未来24 h后日最低地表温度 $\leq 0^\circ\text{C}$,直到日最低地表温度 $> 0^\circ\text{C}$ 时截止,定为1次冰冻过程。

3) “雨或雨夹雪降至严寒路面”情况:日降水量 ≤ 4 mm,且日平均气温 $> 0^\circ\text{C}$;但日最低地表温度 $\leq 0^\circ\text{C}$,直到日最低地表温度 $> 0^\circ\text{C}$ 时截止,定为1次冰冻过程。

在判定出南方区域站点的多个冰冻过程后,计算出每一个冰冻过程的日平均降水量、日平均气温、降水持续天数、冰冻持续天数等4个因子指标量,综合评估一次冰冻过程对交通运行的影响程度。

1.3.2 基于灰色关联方法的冰冻交通危险度预警模型

灰色关联分析法是一种多因素统计分析的客观方法,根据所给出的参考序列,通过计算参考序列与比较序列的关联度大小,判断其接近程度,来评定该比较序列的强弱、大小和次序^[26-28]。

将每一次冰冻过程的日平均降水量、日平均气温、降水持续天数、冰冻持续天数等4个预警指标量作为比较序列 X_i ,将所有冰冻过程中4个指标量标准化后的最大值即最优样本值做为参考序列 $X_0=(1,1,1,1)$,通过计算灰色关联度值,反映每次冰冻过程相对与最大冰冻过程的接近程度,从而表征每次冰冻过程之间的强弱。本研究采用了线性内插法将4个指标量进行了标准化处理^[24]。

定义参考序列:

$$X_0=(1,1,1,1);$$

令有 n 个比较序列(表示有 n 个冰冻过程样本),任意比较序列可表示为

$$X_i=(x_i(1),x_i(2),\dots,x_i(j)) \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,3,4)$$

计算求差序列

$$\Delta_{oi}(j)=|X_0(j)-X_i(j)| \quad (1)$$

求比较序列和参考序列之间的最大差和最小差

$$\Delta_{\max}=\max_i \max_j |X_0(j)-X_i(j)| \quad (2)$$

$$\Delta_{\min}=\min_i \min_j |X_0(j)-X_i(j)| \quad (3)$$

关联系数反映样本值与最优样本值的关联程度,各参考序列与比较序列在各时刻(即曲线上的各点)的关联系数 $\xi_{oi}(j)$ 可由式(4)计算

$$\xi_{oi}(j)=\frac{\Delta_{\min}+\eta\Delta_{\max}}{(\Delta_{oi}(j)+\eta\Delta_{\max})} \quad (4)$$

式中, η 为分辨系数,在0与1之间,通常取 $\eta=0.5$;

最后,计算关联度值 R

$$R=\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_{oi}(j), \quad (m=4) \quad (5)$$

关联度 R 越大,表明比较序列对参考序列的依赖性越强,两者关系越紧密,它所对应的冰冻过程对交通影响的程度就越强,反之越轻;因此,将4个指标量通过计算灰色关联度值的客观方法来确定南方地区冰冻交通危险度等级(表1)。

表1 南方冰冻交通危险度等级及灰色关联度对应表
Table 1 Correspondence table of grey relation degree and hazard degree of freezing process in southern road traffic

预警等级	冰冻交通危险度级别	灰色关联度 R
5级	极高危险	$R \geq 0.485$
4级	高危险	$0.391 \leq R < 0.485$
3级	较高危险	$0.287 \leq R < 0.391$
2级	中危险	$0.179 \leq R < 0.287$
1级	低危险	$R < 0.179$

2 危险度预警实例分析

2016年1月21日夜间至25日早晨,中国出现全国性“超级寒潮”事件,尤其是南方地区气温下降剧烈,出现大到暴雪,南方多省出现严重的路面结冰和积雪,对公路交通运行产生较大影响^[29]。下面

将详细分析此次寒潮事件的冰冻交通危险度预警结果与实际公路阻断灾情的对应关系。

2.1 危险度预警指标量空间分布特征

一次冰冻雨雪过程发生时,日降雪量越大,降雪的时间越长,积雪就越厚;日平均气温越低,且日平均气温低于0℃的时间越长,积雪就越不容易融化,气象灾害对公路交通的影响就越重。

将危险度预警4个指标量和日最低地表温度(冰冻过程重要判别条件)进行时空分析,发现本次冰冻过程的日平均降水量 > 5 mm 的大值区主要集中在3个区域:安徽南部—江苏南部—浙江大部—江西东北部—福建西北部,重庆西南部,以及贵州西北部和云南东北部等地(图2(a))。尤其是浙江

中西部、重庆南部、贵州西北部和云南东北部的局部区域日平均降水量在 10~20 mm,达到暴雪量级,成为浙江、云南、贵州和重庆等省份或直辖市严重的公路阻断的主要原因。整个南方区域过程降水基本都为 1~2 d,浙江中北部降雪持续 2 d(图2(b)),重庆东南部、贵州西部局地降雪持续 3~4 d,江淮、江南及西南地区东部等地出现 1~10 cm 积雪,浙江杭州及临安积雪深度 22 cm,贵州习水 24 cm^[29],严重的道路雪阻势必对公路交通产生严重影响。冰冻过程的日平均气温分布呈现两个比较明显的低值区(图2(c)),分别在武汉—南昌—福州一线以东的区域,以及贵州中西部、云南东部。这些区域的过程日平均气温几乎都在 0℃以下,尤其

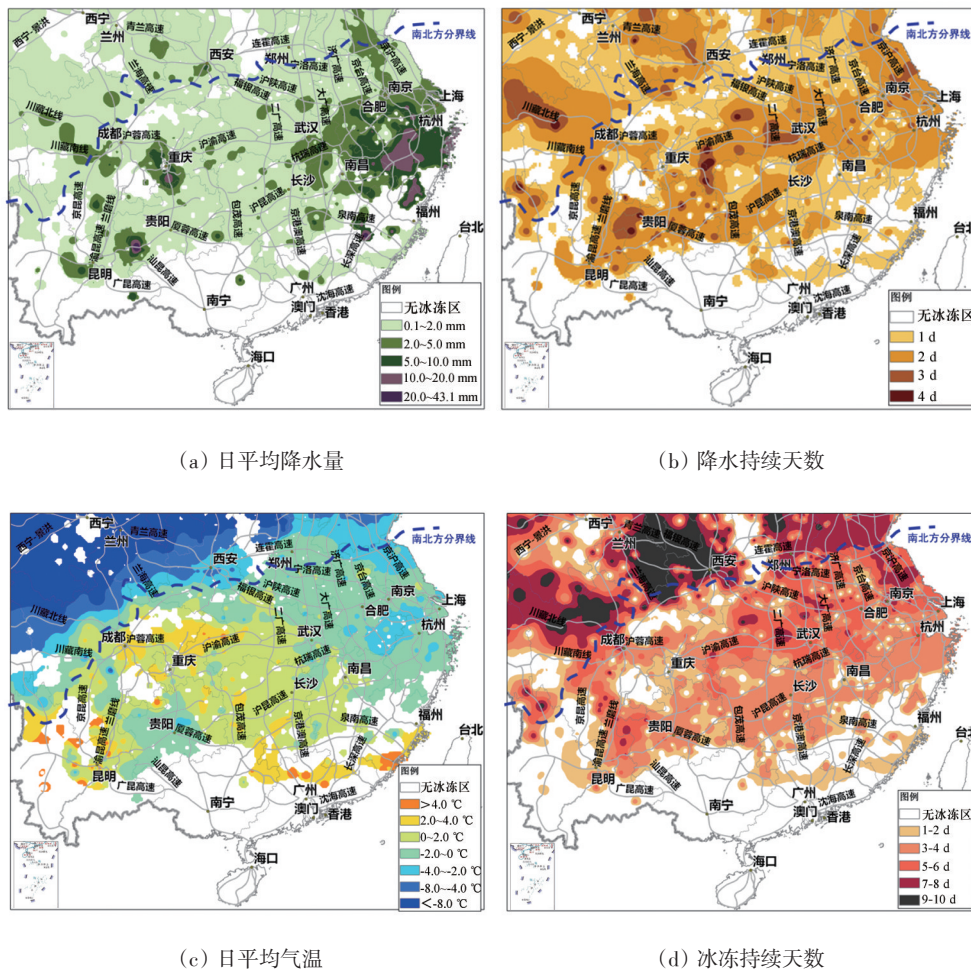


图2 2016年1月“超级寒潮”南方冰冻过程4个预警指标量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of four early warning indexes in the freezing process of the "super cold wave" in southern China during Jan. 2016

是浙江中部、安徽南部、江苏北部的过程日平均气温在 $-4\sim-2^{\circ}\text{C}$,而且冰冻持续时间都在 $3\sim 4\text{ d}$ (图2(d));同时,浙江中北部、贵州西南部—云南东北部等地处于日平均最低地表温度(图3(a))和过程最小日最低地表温度(图3(b))分布的低值区,这

就为道路结冰的形成提供了温度条件。同时,广东岭南地区、福建南部、湖南南部、广西东北部冰冻持续时间为 1 d (图2(d)),这是因为1月24日雪线历史罕见地南压至广州及珠三角一带,后续气温迅速回升所致。

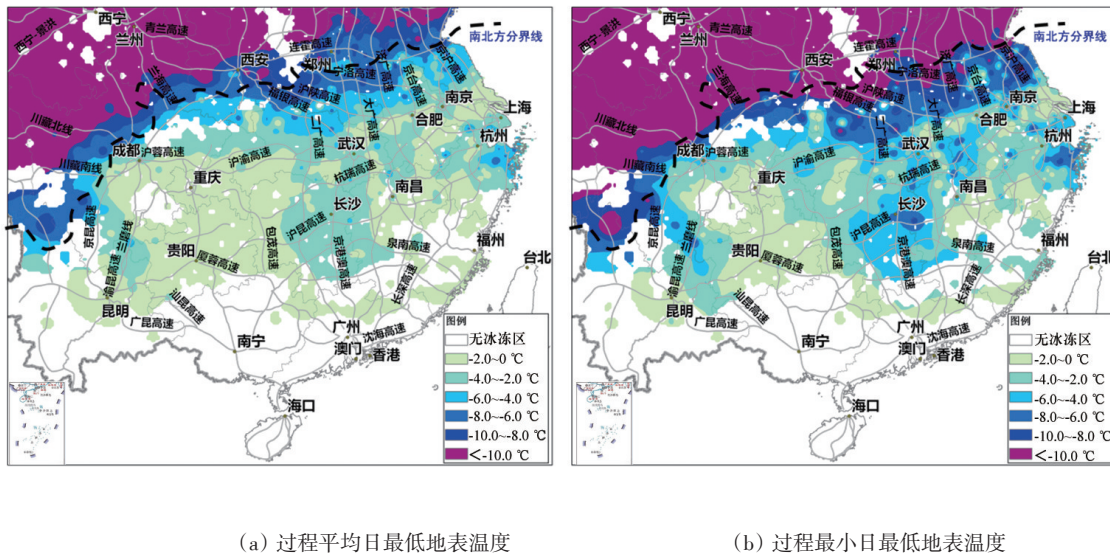


图3 2016年1月“超级寒潮”南方冰冻过程日最低地表温度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the minimum surface temperature in the freezing process of the "super cold wave" in southern China during Jan. 2016

2.2 时间分布特征

图4为本次“超级寒潮”南方地区每日公路阻断频次和阻断里程百分比与气象要素日平均的时间变化图。阻断时间变化特征上看,1月21—25日,公路阻断频次和阻断里程在1月22日出现猛增,阻断频次和阻断里程占5 d总阻断频次和总阻断里程的53%和69.8%。而将南方区域24小时降水量、气温和最低地表温度进行逐日平均,得出日平均最低地表温度从22日开始低于 0°C ,日平均气温也逐渐呈现下降趋势,而日平均降水量在22日同样出现峰值,与公路阻断时间的趋势相吻合。分析阻断信息发现,22日阻断频次和里程比例最高的省份出现在浙江、安徽、河南和江西,这与图2(a)中日平均降水量大于 5 mm 的分布区域非常吻合,这些区域降水日数都为 $1\sim 2\text{ d}$ (图2(b)),充分

说明这次冰冻过程对公路阻断的影响更多是强降雪造成的降雪积雪型道路阻断,到降雪停止后,由于高速公路比一般等级公路在天气应急处置方面存在优势,浙江、安徽等高速公路比较快地恢复了道路通行。值得关注的是,阻断频次在24日持续下降后,25日出现小的增幅。分析阻断信息数据发现,1月25日47条阻断信息主要反映在四川、重庆、贵州、云南和广东,而且以云南的阻断里程数比例最高,且云南省上报的阻断原因中87.5%为“道路结冰”。从图2(c)和(d)看到,云南地区尤其是云南东南部的文山、玉溪和东北部的昭通等高海拔地区的G80线(广昆高速)、G60线(沪昆高速)、S325线(冷文线)、S102线(昆富线)等高速及省道,冰冻持续天数只有 $1\sim 2\text{ d}$,但冰冻过程的日平均气温却达到 0°C 以下,日平均降水量也在 $2\sim 5\text{ mm}$ 。

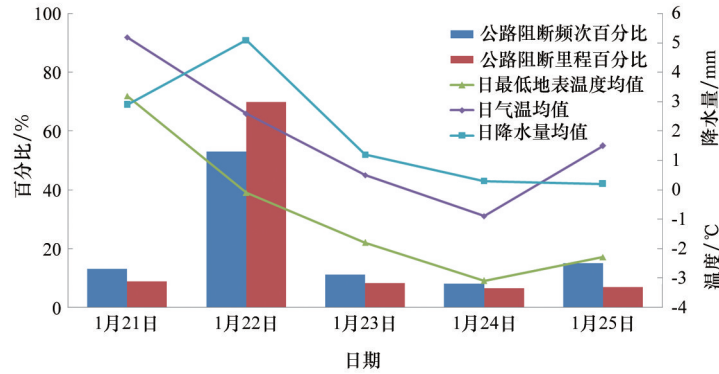


图4 2016年1月21—25日“超级寒潮”南方公路阻断频次、阻断里程与气象要素日均值关系

Fig. 4 Analysis of meteorological factors and the frequency and mileage of road block of the "super cold wave" freezing process in southern China during Jan. 21-25, 2016

2.3 预警等级与公路阻断的关系

如图5所示,冰冻交通危险度5级—极高危险区主要分布在浙江北部和中部、江西东北部、安徽南部和江苏南部,以及福建北部、贵州西部和重庆南部的局部地区。危险度4级—高危险区主要分布在江苏大部、安徽西部、河南南部、湖北大部、重庆西南部和东南部、贵州西南部、云南东北部和东南部的局部地区。危险度3级—较高危险区主要分布在河南中南部、湖南大部和江西南部,重庆、贵州、云南、广东、广西、福建均有分布。

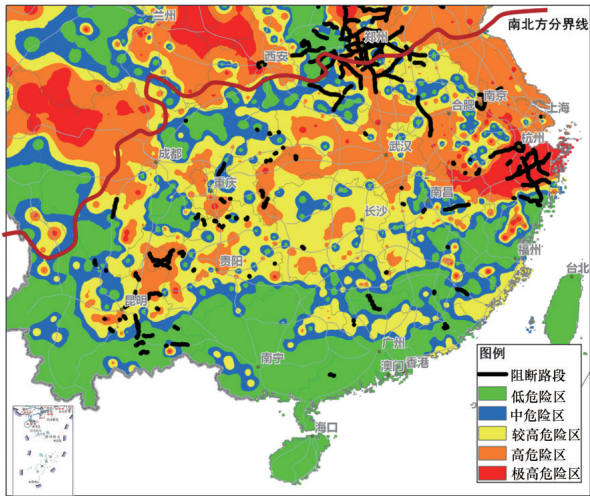


图5 2016年1月“超级寒潮”南方冰冻交通危险度等级分布及公路阻断路段

Fig. 5 Spatial distribution of road block and hazard degree of the "super cold wave" freezing process in southern China during Jan. 2016

图5黑色线条为本次寒潮因冰冻雨雪而产生的公路阻断路段及里程分布。2016年1月21—25日,因降雪、积雪及冰冻造成南方范围内公路封闭及通行阻断信息共281条,占全国因冰雪造成阻断数量(566条)的49.6%。公路阻断影响范围涉及浙江、河南、云南、贵州、重庆、安徽、四川、江西、江苏、湖北、广东、福建及湖南等13个省(区、市),共涉及24条国家高速、6条国道和56条省级道路。据统计,从公路阻断影响范围及里程数上,以浙江和河南最为严重,其次为云南、贵州和重庆。

1) 所有公路。

由图5可知,冰冻交通危险度最高等级5级区域与公路阻断路段吻合度最好。浙江境内G56线(杭瑞高速)杭州段、G1512线(甬金高速)金华宁波段、S28线(台金高速)台州段、G60线(沪昆高速)金华段、S26线(诸永高速)温州绍兴段、G15W线(常台高速)天台段等干线因降雪(积雪)通行受阻的阻断路段都落在5级—冰冻交通风险极高危险区内。

1~5级预警等级间的比值体现出实际阻断灾情与危险度预警级别的吻合程度,预警最高等级(5级)区内实际公路阻断占5级区内总公路里程值的11.19%,即表示11.19%的阻断都落在5级区域内。同时,5个等级间百分比呈现出随预警等级升高而依次增大的趋势,说明冰冻交通危险度模型的预警等级结果对冰冻交通灾害严重性的反映能力很好。而且,预警最高等级5级的百分比(11.19%)为

5个等级中最高,且超出4级百分比(4.89%)1个量级,说明模型的预警能力对最严重交通灾害体现地更为灵敏(表2)。

表2 2016年1月“超级寒潮”南方冰冻交通危险度预警等级区内公路阻断数据分析

Table 2 Analysis of road block in the hazard degree area of the "super cold wave" freezing process in southern China during Jan 2016

危险度预警等级	南方整体区域						浙江	河南
	等级区内道路里程总值/km	等级区内公路阻断里程值/km	等级区内公路阻断里程占同等级区内道路里程的百分比/%			等级区内公路阻断里程值/km	等级区内公路阻断里程值/km	
			总百分比	高速	国道			省道
5级	10868.79	1216.22	11.19	31.63	8.48	4.49	1086.48	0
4级	64772.88	3167.66	4.89	13.76	2.90	2.40	385.88	1062.41
3级	97020.26	2426.17	2.50	8.96	0.20	1.44	100.53	1223.39
2级	41919.21	987.11	2.35	7.01	0.01	1.53	46.54	462.28
1级	98191.57	2099.12	2.14	5.30	0.37	1.43	116.20	575.52

注:河南省阻断数据为南北方分界线以南区域内的阻断数据。

2) 不同等级公路。

表3中,南方整体区域中实际的公路道路里程中主要以省道(62.16%)为主,高速(20.32%)和国道(17.52%)占比较少。但2016年1月“超级寒潮”事件造成的公路阻断灾情中高速在3种道路类型中占比最高,达59.33%,反映出这次冰冻过程的严

重程度,即对国家高速的交通出行影响最大。同时,省道(34.31%)的阻断里程比国道(6.36%)的阻断里程多,这也反映出在恶劣天气灾害发生时,通常高速关闭,同方向的国道作为备用通道,并不会轻易关闭的通行管理模式。

表3 2016年1月“超级寒潮”南方公路阻断里程道路类型分析

Table 3 Analysis of road block mileage for different road types of the "super cold wave" in southern China during Jan. 2016

道路类型	南方整体区域		浙江		河南	
	道路里程中不同类型道路占比/%	阻断里程中不同类型道路占比/%	道路里程中不同类型道路占比/%	阻断里程中不同类型道路占比/%	道路里程中不同类型道路占比/%	阻断里程中不同类型道路占比/%
高速	20.32	59.33	22.15	58.62	14.61	48.84
国道	17.52	6.36	19.18	16.34	16.71	0
省道	62.16	34.31	58.67	25.04	68.68	51.16

注:河南地区为南北方分界线以南区域。

从预警等级对不同等级公路阻断的反映程度上看,高速、国道、省道的阻断里程比值都随着预警等级的增加而呈现上升趋势(表2第5~7列),即反映出冰冻灾害越严重,高速、国道及省道公路的关闭和阻断的范围势必会更大,阻断里程会更长。阻断类型百分比的横向进行比较,发现5级和4级区域中,高速、国道的比例比省道要多,而2级和1级区域中,省道的比例开始凸显,比较好地反映出危

险度预警模型中不同等级道路对冰冻灾害响应的区别。由于在应急管理及道路养护上的差别,气象灾害越严重,灾害对国家高速的影响和应急响应更为敏感。

从公路阻断影响范围及里程数上,虽然浙江省和河南省最为严重,但表2第8~9列所示,浙江公路阻断(1086.48 km)比较多落在5级一极高风险区域中,而河南(南北分界线以南区域)公路阻断

(1223.39 km)比较多地落在3级—较高危险区域中。通过对阻断里程和国、省道阻断比例的分析发现(表3),浙江省和河南省实际公路网分布中道路类型的里程比例较为一致,但公路阻断的道路类型分布有差别,也体现出天气对交通的影响程度。河南在本次冰冻过程中,日平均降水量虽在0~2 mm的强度范围内,但足以对省级道路(51.16%)的通行造成影响。反观浙江大部地区日平均降水量在10~20 mm达暴雪量级,处于冰冻交通危险度风险极高时,最高等级的高速公路(58.62%)对冰冻灾害的响应更为凸显。

3 结论

1) 通过对南方地区影响公路交通的冰冻过程确定,利用灰色关联方法,构建了基于过程日平均降水量、日平均气温、降水持续天数、冰冻持续天数等4因子指标量的冰冻交通危险度预警模型。

2) 模型危险度预警结果显示,“超级寒潮”冰冻交通极高危险度区(5级)主要分布在浙江北部和中部、江西东北部、安徽南部和江苏南部,以及福建北部、贵州西部和重庆南部的局部地区。部分区域日平均降水量在10~20 mm(达到暴雪量级),日平均气温及日最低地表温度在低值区,冰冻过程持续时间长,成为浙江、云南、贵州和重庆等省份或直辖市严重公路阻断的主要原因。同时,整个南方地区气象要素均值变化与公路阻断频次和里程在时间变化上趋势相吻合。

3) 通过对“超级寒潮”南方冰冻交通危险度预警的实况检验与公路阻断灾情的对比,得出预警最高等级(5级)区内极高交通风险路段与5级区实际发生公路阻断路段呈现非常好的吻合关系;随着预警等级的升高,更大比例的公路阻断发生在预警区域内。同时,高速、国道、省道等不同等级道路阻断里程占比都随着预警等级的增加而呈现上升趋势,且高速、国道的阻断比例在等级较高时表现突出,省道的阻断比例在等级较低时开始凸显。体现出预警模型不仅对实际公路阻断灾情有较好的关联性,而且能较好反映出模型中不同等级道路对冰冻

灾害响应的区别,对公路阻断灾情的预判起到一定指示作用,为下一步基于公路承灾体暴露性及脆弱性的冰冻交通综合风险的预警评估做好基础。

目前,公路交通阻断数据与气象数据相结合的分析研究还较少,以实际发生道路阻断落入预警区域公路占比的检验方法,是一种全新的尝试。本研究为了消除预报数据带来的误差,模型采用了实况数据进行灾情检验,这并不妨碍用预报数据来做风险预警分析时的服务意义与应用价值,但使用预报数据带来的不确定性,的确是不能回避的问题。采用多种模式预报结果的集成是提高交通风险预警客观模型的预报稳定性的有效途径,同时,对风险客观模型产品的主观订正,也是未来一个非常重要的研究方向。

预警模型对公路阻断灾情的预判有一定指示作用,但在预警实际效果中,仍存在如阻断信息G4线(京港澳高速)广东韶关段;S201线(广马线)、S102线(昆富线)云南文山段虽出现严重的道路结冰阻断,但处于1级—低交通危险区域内的情况,这与以上区域道路沿线气象站点缺失造成插值结果的不合理有很大关系。目前,中国道路沿线气象观测站点布设还存在地区差异性,尤其是西部地区和高山地形复杂区布设缺失更为明显。当然,一场降雪能否成灾造成通行受阻是多因子综合作用的结果,从灾害体系角度,该区域的孕灾环境、承灾体的脆弱性都会受到影响,今后将通过健全预警模型的因子体系,逐渐完善判别因子体系,健全分级标准,从而达到对降雪道路交通事故风险给出快速准确的判别,为抗灾救灾服务。

致谢:中国气象局公共气象服务中心专业气象台江滢提出宝贵意见。

参考文献(References)

- [1] 万素琴,周月华,李兰,等. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术[J]. 气象, 2008, 34(11): 40-46.
- [2] 杨贵名,孔期,毛冬艳,等. 2008年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 737-750.

- [3] 王海军, 覃军, 张峻. 中国南方7省冰冻天气时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(7): 839-846.
- [4] 赵珊珊, 高歌, 张强. 中国冰冻天气的气候特征[J]. 气象, 2010, 36(4): 34-38.
- [5] 王遵娅, 赵珊珊, 张强. 我国冰冻日出现的气象条件分析及其判别模型[J]. 高原气象, 2011, 30(1): 158-163.
- [6] 吴古会, 彭芳, 崔庭. 2011年冬季贵州低温雨雪冰冻天气的成因分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 291-299.
- [7] 宗志平, 马杰, 张恒德, 等. 近几十年来冻雨时空分布特征分析[J]. 气象, 2013, 39(7): 813-820.
- [8] 毛淑君, 李栋梁. 基于气象要素的我国南方低温雨雪冰冻综合评估[J]. 冰川冻土, 2013, 37(1): 14-26.
- [9] 李蕊. 路面温度和结冰预报模式研制及应用[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2010.
- [10] 杨亚新, 范德新, 魏昆. 南通市高等级公路冬季路面打滑情况分析[J]. 气象科学, 2002, 22(3): 321-327.
- [11] 谢静芳, 吕得宝, 王宝书. 高速公路路面摩擦气象指数预报方法[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(6): 18-21.
- [12] 刘梅, 尹东屏, 王清楼, 等. 南京地区冬季路面结冰天气标准及其预测[J]. 气象科学, 2007, 27(3): 685-690.
- [13] Bouilloud L, Martin E, Habets F. Road surface condition forecasting in France[J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2009, 48(12): 2513-2527.
- [14] Liu T, Pan Q, Sanchez J, et al. Prototype decision support system for black ice detection and road closure control[J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2017, 9(2): 91-102.
- [15] 李华蓉, 赵一, 潘建平. 山区公路雪灾预警评估模型初探[J]. 城市勘测, 2010(2): 116-119.
- [16] 刘明明, 潘建平, 杨海明. 山区公路冰雪灾害预警评估模型研究[J]. 公路交通技术, 2011(3): 27-30.
- [17] 贺芳芳, 邵步粉. 上海地区低温、雨雪、冰冻灾害的风险区划[J]. 气象科学, 2011, 31(1): 33-39.
- [18] 刘勇洪, 扈海波, 房小怡, 等. 冰雪灾害对北京城市交通影响的预警评估方法[J]. 应用气象学报, 2013, 24(3): 373-379.
- [19] 张金满, 谭桂容, 李飞. 冰雪天气公路通行条件预警指标[J]. 气象科技, 2016, 44(2): 331-335.
- [20] Fu L, Thakali L, Kwon T J, et al. A risk-based approach to winter road surface condition classification[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2017, 44(3): 182-191.
- [21] Toms B A, Basara J B, Yang H. Usage of existing meteorological data networks for parameterized road ice formation modeling[J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2017, 56(7): 1959-1976.
- [22] 燕科, 董雷宏. 全国公路交通阻断信息数据统计与分析[J]. 公路交通科技, 2009, 26(3): 121-125.
- [23] 朱求安, 张万昌, 余钧辉. 基于GIS的空间插值方法研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 183-188.
- [24] 王颖, 王晓云, 江志红, 等. 中国低温雨雪冰冻灾害危险性评估与区划[J]. 气象, 2013, 39(5): 585-591.
- [25] 杨静, 柳艳香, 邵婧婧, 等. 一种影响公路交通的冰冻强度计算方法[J]. 气象科技进展, 2017, 7(1): 149-154.
- [26] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 79-81.
- [27] 刘伟东, 扈海波, 程丛兰, 等. 灰色关联度方法在大风和暴雨灾害损失评估中的应用[J]. 气象科技, 2007, 35(4): 563-566.
- [28] 魏海宁. 灰色关联度方法在灾害性天气评估中的应用研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [29] 江琪, 马学款, 王飞. 2016年1月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2016, 42(4): 514-520.

A study of early warning technique of hazard degree from freezing processes in southern road traffic

YANG Jing, LIU Yanxiang, GAO Jingjing*, LI Wanyu, HAO Shuhui, LI Aixun, PAN Jinjun

Public Weather Service Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract With the definition of the freezing process under the influence of the road traffic, an early warning model is built based on the gray correlation method for monitoring the hazard from the freezing processes in the road traffic in the south area. For each process, the four indexes, including the average daily precipitation and air temperature, the overall rainy days and frozen days, contain the metric to quantify its hazard degree. With the analysis of the meteorological factors and the road - blocking disaster of the freezing process in south China during January 21-25, 2016, it is concluded that the extremely high risk area (Grade 5) and the road block area have a very good coincidence relationship, and as the level of the hazard degree rises, the ratio of the hit road block rises accordingly. The relationship is applicable for the state highways, the national highways and the provincial highways, while the peak value of the ratio is at the high hazard degree for the state highways but it is at a lower hazard degree for the provincial highways. These characteristics show that the early warning model proposed in this paper not only gives a good indication, but also discriminates the roads of different grades, to provide a sound reference for the traffic risk control.

Keywords road traffic; highway freezing; early warning ●



(责任编辑 傅雪)