

金勇根,龙余良,杨华,等. 2019. 江西省高速公路气象服务效益评估及气象灾害影响分析[J]. 气象与减灾研究,42(1):54-58.
Jin Yonggen, Long Yuliang, Yang Hua, et al. 2019. The evaluation of meteorological service benefit for highway transportation in Jiangxi province and the impact analysis of meteorological disasters[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 42(1):54-58.

江西省高速公路气象服务效益评估 及气象灾害影响分析

金勇根¹, 龙余良², 杨华², 毕晨²

1. 江西省气象灾害防御技术中心, 江西 南昌 330046
2. 江西省气象服务中心, 江西 南昌 330096

摘要: 基于江西省气象服务中心开展的有关高速公路气象服务问卷调查,分析了江西省高速公路气象服务的现状、敏感性、气象服务需求和满意度,在此基础上对江西省高速公路气象服务效益进行评估,并分析了高速公路主要的致灾气象因子。结果表明:1) 高速公路对气象条件有很强的敏感性,高速公路安全对灾害预警、短期天气、重大节假日天气表现最为敏感;高速公路行业对目前的高速公路气象服务总体满意。2) 江西省高速公路应用气象信息产品产生的年综合增值占本行业年总产值的比率为 2.25%—3.15%,且 2009—2013 年高速公路气象服务效益逐年递增。3) 低能见度、路面结冰、路面湿滑是高速公路的主要致灾气象因子;利用相关气象资料 and 高速公路灾害数据,确定低能见度和路面结冰、降雨等高速公路致灾气象因子临界值,对高速公路行业的气象防灾减灾具有一定的指导意义。

关键词: 气象服务,高速公路,需求分析,效益评估

中图分类号: P49

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2019)01-0054-05

doi: 10.12013/qxyjzjy2019-008

The Evaluation of Meteorological Service Benefit for Highway Transportation in Jiangxi Province and the Impact Analysis of Meteorological Disasters

Jin Yonggen¹, Long Yuliang², Yang Hua², Bi Chen²

1. JiangXi Provincial Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanchang 330096, China
2. JiangXi Meteorological Service Center, Nanchang 330096, China

Abstract: Based on the questionnaire investigation of meteorological service on highway transportation by Jiangxi Province Meteorological Service Center, the current status, sensitivity, requirement and satisfaction of the meteorological service for highway transportation in Jiangxi province were analyzed, from which the benefit of meteorological service was evaluated, and the main meteorological factors causing disaster were discussed. The results showed that highway transportation was very sensitive to meteorological conditions and the transportation safety was the most sensitive to the weather disaster warning, short-term weather forecast and holiday weather forecast. The traffic department was satisfied with meteorological service. The annual comprehensive added value of transportation industry produced by the application of meteorological information products accounted for 2.25%—3.15% of the whole transportation industry, and the benefit of meteorological service on highway transportation had increased year by year in recent 5 years. It was also indicated that low visibility, pavement freezing and wet pave-

收稿日期: 2018-12-24; 修订日期: 2019-01-14.

基金项目: 中国气象局“全国公路交通气象灾害风险普查试点工作方案”。

作者简介: 金勇根,高级工程师,主要从事应用气象研究, E-mail: 1298706237@qq.com.

ment were the main meteorological disaster factors for highway transportation industry. Thus, it was significant to determine the threshold values of meteorological disaster factors such as low visibility, pavement freezing and wet pavement by using meteorological data and traffic disaster data, which can provide some guidance on meteorological disasters prevention and mitigation for highway transportation industry.

Key words: meteorological service; highway; demand analysis; benefit evaluation

0 引言

高速公路是连接城市的重要纽带,是现代经济发展的主要动力,是建设和谐社会的基础,给人类社会的发展带来了革命性的进步。近年来,江西省高速公路迅猛发展,已形成了覆盖全省的高速公路网。随着高速公路的飞速发展,其在社会运输通道中的地位越来越高,因此人们对于高速公路的安全运行要求也越来越高。徐雨晴和何吉成(2016)分析指出高速公路的致灾气象因子较多,其中暴雨是最重要的致灾气象因子。高速公路出行容易受到各种恶劣天气影响,如大雾、道路结冰、暴雪、暴雨、大风等气象灾害及其引发的其他次生灾害。因此,气象服务对公路交通必不可少,其对经济社会发展的服务效益也很大。吴先华等(2013)对沪宁高速的气象服务效益进行了评估。近年来,气象学者广泛开展了致灾气象因子、高速公路气象服务效益评估及气象灾害影响等方面的研究(金米娜,2009;赵丽,2014;吴焱等,2014),这对于高速公路部门进行综合防范与治理、降低高速公路事故的发生率具有重要意义。

文中在深入了解 2009—2013 年江西省高速公路气象服务需求的基础上,探讨气象对经济社会发展的服务效益,找出影响高速公路安全的关键气象因子,从而进一步开展高速公路气象服务效益评估及气象灾害影响分析,为江西省高速公路提供高密度、多时次的气象监测信息,以及更具精细化和针对性的气象预报预警服务。

1 资料与方法

1.1 资料

收集整理了 2009—2013 年江西全省高速公路运输量(货运量和客运量)、江西省 GDP 数据、高速公路灾害数据(主要包括沪昆高速 G60、大广高速 G45、杭瑞高速 G56、厦蓉高速 G76),检索统计了 2009—2013 年逐日气象观测数据,以及灾害性天气和高速公路气象服务情况的统计数据。高速公路运输量资料来源于江西省交通厅,GDP 资料来源于江西省统计局,高速公路灾害数据来源于江西省交警总队,气象观测数据和高速公路气象服务情况来源

于江西省气象信息中心和江西省气象服务中心。

1.2 方法

1.2.1 问卷调查法

问卷调查是目前国内外社会调查广泛使用的一种方法,通过统计和调查所用的、以设问的方式对所研究的问题进行度量,从而搜集到可靠的资料(钟飞等,2013)。为了获取可靠数据,江西省气象服务中心与江西省高速公路投资集团和江西省交通警察总队联合开展实地调查工作,严格控制数据质量。

1.2.2 专家评估法

专家评估法又名德尔菲法(Delphi method),是一种凭借专家的经验判断,分阶段、交互式的预测评估方法(钟飞等,2013)。

为了更好地开展高速公路气象服务效益评估,特邀请江西省高等级公路管理局、南昌市公路局、昌九高速、昌樟高速、昌泰高速、银三角互通立交等高速公路运输单位的 15 名专家组成评估专家组,基于 2009—2013 年江西省出现的灾害性天气及高速公路气象服务情况的统计数据,采用专家评估法,依据专家在相关部门或行业中的权威地位和实际经验,从气象服务的重要性及其产品的可用性、高速公路气象服务新的需求等方面,去了解高速公路、气象部门的相关服务技术指标和产品需求,得到气象服务对江西省高速公路的影响情况(表 1)。

2 高速公路气象服务效益评估分析

2.1 高速公路对气象服务的敏感度

从江西省高速公路气象服务影响调查评估表(表 1)可知,高速公路除了对生态与农业气象服务不敏感外,其他均具有不同程度的敏感度,其中高速公路对灾害预警、短期天气预报、节假日专项服务最为敏感,对中期(4—7 d)天气预报、气候预测、气候资源利用、人工影响天气服务、气象实况和资料、雷电防护服务均为较敏感。总体来说,江西省高速公路气象敏感度综合服务评估为较敏感。

2.2 高速公路对气象服务的需求度

分析表 1 中的气象服务需求度可知,其与气象敏感度一致,不敏感的气象服务类型(生态与农业气象服务)为不需求,高速公路气象服务队雷电防护服

表1 江西省高速公路气象服务影响调查评估结果
Table 1 Survey results of meteorological service impact on highway traffic in Jiangxi

气象服务类型	气象敏感度	气象服务需求度	现有气象服务满意度
灾害预警	敏感	需求	满意
短期天气预报	敏感	需求	满意
中期(4—7 d)天气预报	较敏感	需求	较满意
气候预测	较敏感	需求	较满意
节假日专项服务	敏感	需求	满意
气候资源利用服务	较敏感	较需求	较满意
人工影响天气服务	较敏感	较需求	较满意
气象实况和资料	较敏感	需求	满意
雷电防护服务	较敏感	一般	一般
生态与农业气象服务	不敏感	不需求	

务的需求度为一般,气候资源利用服务、人工影响天气服务为较需求,其他均为需求。因此,江西省高速公路气象服务需求度综合评估为需求。

2.3 高速公路对气象服务的满意度

分析表1还可知,高速公路对雷电防护服务的满意度为一般,对中期(4—7 d)天气预报、气候预测、气候资源利用服务、人工影响天气服务的满意度为较满意,其他均为满意。由于高速公路对生态与农业气象服务为不需求,因此没有满意度调查结果。

2.4 气象信息产品产生的年综合增值

由于高速公路运输受气象条件影响较大,其产值也出现明显波动。专家根据其经验和专业性的评估,分别对高速公路应用气象信息产品产生的年综合增值占本行业年产值的比率进行选择,选择比率参考值为0.01%—0.5%的有1人,0.6%—1.8%的有2人,1.9%—3.0%的有5人,3.1%—4.3%的有5人,4.4%—5.0%的有2人。通过加权平均后,得到江西省高速公路应用气象信息产品产生的年综合增值占本行业年产值的比率为2.25%—3.15%。

2.5 高速公路气象服务效益评估

采用专家评估数学模型(杨昱等,2018):

$$BVT_R = \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^5 N_i \cdot W_i \right) \cdot C \quad (1)$$

式中, BVT_R 为高速公路气象服务总效益; M 为专家人数; i 为等级,共分为5个等级,即 $i=1,2,\dots,5$; N_i 为评估 i 等级的专家人数; W_i 为气象服务效用权重,为第2.4节中的比率参考值; C 为江西省高速公路行业GDP。

根据评估数学模型和江西省高速公路行业GDP,计算得出江西省2009—2013年高速公路行业逐年的气象服务效益(表2)。分析可知,江西省高

速公路行业的气象服务效益呈逐年增加的趋势,2013年约为2009年的2倍。

表2 江西省高速公路行业的气象服务效益
Table 2 Benefits of meteorological services on highway transportation industry in Jiangxi

年度	气象服务效益/亿元
2009	6.16147—7.27141
2010	5.73837—7.04252
2011	7.52107—9.85306
2012	10.31225—12.11067
2013	12.14242—14.77775

3 高速公路气象灾害的影响分析

3.1 气象灾害风险隐患点(段)的确定

高速公路气象灾害风险隐患点(段)是指受天气条件影响,公路道路长度、高速公路流量和单位时间内高速公路事故率明显高于路段平均事故率的上限,发生事故明显较多的路段。

表3为高速公路气象灾害风险隐患点(段)的选取条件。参照该条件,收集整理G60(沪昆)、G45(大广)、G56(杭瑞)、G76(厦蓉)四条高速公路2009—2013年高速公路灾害数据和沿线气象观测数据,确定了四条高速公路气象灾害风险隐患点(段)。G60(沪昆)、G45(大广)、G56(杭瑞)、G76(厦蓉)分别确定12、12、11、8个气象灾害风险隐患点(段)。其中,沪昆高速公路确定的12个灾害隐患点包括4座大桥(弋阳信江大桥、清湖大桥、棠墅港大桥、药湖大桥)、3座高架桥(岗上高架桥、长睦岭高架桥、曾家高架桥)、1座公路跨线桥(东乡铜矿公路跨线桥)。这12个隐患点坡度不大,植被覆盖率较高,有3个隐患点为弯道,4个长直道,可见,低能见度和路面结冰、路面湿滑为隐患点的主要灾害。

表3 高速公路气象灾害风险隐患点(段)的选取条件
Table 3 Selection conditions of hidden danger points (segments) of highway meteorological disasters

道路长度/m	道路概况	1 a内高速公路事故/次
0—500	任何条件	3
0—2000	任何条件	3
全程道路	桥、涵洞	3
超过2000	气象条件造成公路封闭、高速公路堵塞	3
超过2000	气象条件造成高速公路设施损坏	3

注:高速公路设施包括信号灯、高速公路标志、路面标线、护栏、隔离栅、照明设备、视线诱导标、防眩设施等。

3.2 高速公路致灾气象条件

从G60(沪昆)、G45(大广)、G56(杭瑞)和G76

(厦蓉)四条公路中各选取1个隐患点,对气象灾害引发的高速公路事故记录进行整理。

表4为隐患点2009—2013年的事故发生次数。分析可知,沪昆高速药湖大桥共发生高速公路事故319起,由气象灾害而引起的高速公路事故122起,占38.25%,其中由雨天导致高速公路事故102起,占31.97%。由于药湖大桥属于特大桥,周围水域面积大,在相同的气象条件下,更容易引发雾和道路结冰,再加上桥长9 km,所以容易产生高速公路事故。由此可知,药湖大桥隐患点的主要致灾因子是雨,其次是雪和雾。

由表4还可知,4个隐患点2009—2013年共发生449起高速公路事故,有193起事故是由不利气象条件引发的,占总事故的42.98%。降雨因素引发的高速公路事故42起,占9.35%,低能见度引发的高速公路事故130起,占28.95%,路面冰雪引发的高速公路事故21起,占4.68%。可见,引发高速公路灾害的主要气象条件是低能见度、降雨、冰雪。

表4 隐患点2009—2013年的事故发生次数(单位:次)
Table 4 Number of accidents between 2009 and 2013 (unit: times)

隐患点	事故总数	天气状况		
		雾天	雨天	冰雪
G60K740(药湖大桥)	319	11	102	9
G45K2968	15	6	2	4
G56K466 鄱阳湖大桥	100	16	22	6
G76K386	15	9	4	2

3.3 高速公路气象致灾因子临界值

事件概率回归方法的基本思想是把预报量与预报因子作为随机事件,一般用二值变量“1”和“0”来表征随机事件是否出现(高洁等,2005)。 y 是预报量, x 是预报因子, x_1, x_2, \dots, x_n 表示 n 个预报因子,即 y 和 x 的关系是在出现 n 个预报因子的条件下,预报量 y 出现的概率,即可以建立对预报量 y 的条件期望。假定这一期望与因子事件出现的关系是线性的,则可表示为

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k x_k \quad (2)$$

式中, β_0, \dots, β_k 为系数。根据数学期望定义,条件期望可以表示为

$$E(y) = \sum_{j=0}^1 y_j p(y) \quad (3)$$

式中,将 $y=1$ 记为 y_1 ,表示预报量事件出现;将 $y=0$ 记为 y_0 ,表示预报量事件不出现。则事件概率的全部回归关系为

$$p = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k x_k \quad (4)$$

式中, β_0, \dots, β_n 为事件概率回归系数,回归系数采用最小二乘法计算。

以能见度作为致灾气象因子,研究高速公路“稍有影响”、“有一定影响”、“有较大影响”、“有严重影响”四种等级的能见度临界警戒值。在因低能见度引起的130起公路交通事故中,分别以能见度的30%分位数500 m、中位数200 m、70%分位数100 m、90%分位数50 m分别作为“稍有影响”、“有一定影响”、“有较大影响”、“有严重影响”的警戒初始临界值,并进行“0,1”化处理,表5即为采用事件概率回归法求得的回归系数。

表5 能见度警戒临界值回归模型参数估计

Table 5 Parameters of visibility warning threshold regression model

对公路交通影响	参数 β_0			参数 β_1		
	β_0	t 值	显著水平	β_1	t 值	显著水平
稍有影响 p_1	0.161	6.52	0.085	0.612	11.28	<0.01
有一定影响 p_2	0.378	20.36	0.163	0.436	13.29	0.067
有较大影响 p_3	0.567	19.03	<0.01	0.379	6.39	<0.01
有严重影响 p_4	0.435	11.49	<0.01	0.327	6.08	<0.01

对能见度对高速公路交通影响的预测方程进行回报检验可知,“稍有影响”、“有一定影响”、“有较大影响”警戒预报效果都较好,准确率分别为81.2%、78.3%、74.4%,对“有严重影响”警戒预报的效果较差,准确率为68.8%。因此,以能见度500、200、100、50 m分别作为“稍有影响”、“有一定影响”、“有较大影响”、“有严重影响”的警戒初始临界值具有一定的参考意义,可以为高速公路部门出巡检查提供一定的指导作用。

基于高速公路灾害数据、灾害程度、主要致灾因子和高速公路事故时相关气象资料,根据表5的回归结果,并多次咨询高速公路、交警等领域的专家,确定了低能见度、路面结冰和降雨等致灾气象因子的临界值(表6)。由表6可知,除低能见度外,降雨对高速公路影响程度的临界值指标从10.0—14.9 mm/h,或0.8—1.2 mm/min且能见度降至500 m到 ≥ 45.0 mm/h,或 > 3.0 mm/min且能见度降至100 m共划分为4个等级,降雪和积雪深度也从小到大划分为4个等级。气象部门可据表6的警戒值为高速公路和交警提供更有针对性的高速公路交通安全专业气象服务,高速公路和交警部门也可据此作出相应的防范措施以保障高速公路交通安全。

表6 四类致灾气象因子对高速公路影响的警戒值

Table 6 Warning values of four meteorological disaster factors affecting highway transportation

致灾气象因子	临界值指标划分标准			
	稍有影响	有一定影响	有较大影响	有严重影响
低能见度 L/m	$200 < L \leq 500$	$100 < L \leq 200$	$50 < L \leq 100$	$L \leq 50$
强降水	10.0—14.9 mm/h, 或 0.8—1.2 mm/min 且能见度降至 500 m	15.0—29.9 mm/h, 或 1.3—2.0 mm/min 且能见度降至 200 m	30.0—44.9 mm/h, 或 2.1—3.0 mm/min 且能见度为 100—150 m	≥ 45.0 mm/h, 或 > 3.0 mm/min 且能见度降到 < 100 m。
降雪 积雪深度 M/cm	小雪或雨夹雪 $M < 1.0$	中雪 $1.0 \leq M < 2.9$	大雪 $3.0 \leq M < 4.9$	暴雪 $M \geq 5.0$

4 结 论

文中基于江西省气象服务中心开展的有关高速公路气象服务问卷调查,分析了江西省高速公路气象服务的现状、敏感性、气象服务需求和满意度,在此基础上对江西省高速公路气象服务效益进行评估,并分析了高速公路主要的致灾气象因子,得到:

1) 高速公路对气象条件有很强的敏感性,高速公路运输安全对灾害预警、短期天气、重大节假日天气表现最为敏感。

2) 2009—2013年江西省高速公路气象服务效益逐年递增,2013年气象服务效益较2009年增加了1倍多。

3) 不利气象条件是引发高速公路事故的重要原因,低能见度和路面结冰、路面湿滑是公路高速公路的主要气象灾害。利用相关气象资料和高速公路灾害数据,确定低能见度和路面结冰、降雨等高速公路灾害致灾气象因子临界值,对高速公路行业的气象防灾减灾有一定的指导意义。

高速公路气象服务是多学科交叉的研究型业务,需要气象、高速公路、交警等部门不断加强科研合作,深化气象灾害风险普查,建立统一的灾害隐患点的判定标准,加强研究致灾因子及临界阈值的确定。高速公路气象服务产品还不够丰富,缺乏针对性,需要高密度、多时次的高速公路气象监测信息和精细化、针对性的高速公路气象预报预警服务,现代化的高速公路气象服务还需要进一步完善高速公路、交警、气象等多部门的信息共享机制和合作联动机制。

参考文献 (References)

高洁,刘端次,靳英燕. 2005. 用事件概率回归方法预报咸阳机场辐

射雾消散[J]. 气象,31(4):81-84. Gao J, Liu D C, Yan Y Y. 2005. Forecasting radiation fog dissipation in Xianyang airport by event probability regression method[J]. Meteor Mon, 31(4):81-84.(in Chinese)

金米娜. 2009. 江西省汛期暴雨气候特点及预报方法综合分析[J]. 气象与减灾研究,32(1):69-72. Jin M N. 2009. Comprehensive analysis of climate characteristics and forecast methods of rainstorms in Jiangxi province[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 32(1):69-72.(in Chinese)

吴焱,钱振邦,王建军,等. 2014. 高速公路交通安全风险评价与敏感性分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 34(4):134-141.

Wu W, Qian Z B, Wang J J, et al. 2014. Risk assessment and sensitivity analysis of expressway traffic safety[J]. J Chang'an University (Nat Sci Edi), 34(4):134-141.(in Chinese)

吴先华,赵飞,郭际,等. 2013. 交通气象服务效益评估:以沪宁高速公路为例[J]. 气象科学,33(5):555-560. Wu X H, Zhao F, Guo J, et al. 2013. Evaluation of traffic meteorological service benefits: taking Shanghai-Nanjing expressway as an example [J]. Scientia Meteor Sinica, 33(5):555-560.(in Chinese)

徐雨晴,何吉成. 2016. 气候变化对公路交通的影响研究进展[J]. 气象与减灾研究,39(1):1-8. He J C, Xu Y Q. 2016. A review of studies on the impacts of climate change on road transportation [J]. Meteor Disaster Reduction Res, 39(1):1-8.(in Chinese)

杨昱,郝立生,孙玫玲,等. 2018. 天津市公路交通气象灾害风险监测预警系统分析[J]. 通讯世界, (1):280-282. Yang Y, Hao L S, Sun M L, et al. 2018. Analysis of Tianjin highway traffic meteorological disaster risk monitoring and early warning system[J]. Telecom World, (1):280-282.(in Chinese)

赵丽. 2014. 道路交通气象环境能见度检测器检测方法研究[J]. 交通运输研究,42(6):1-4. Zhao L. 2014. Research on detection method of road traffic meteorological environment visibility detector[J]. Transport Res, 42(6):1-4.(in Chinese)

钟飞,马中元,聂秋生,等. 2013. 基于德尔菲法的江西省“三农”气象服务效益评估[J]. 气象与减灾研究,36(4):39-44. Zhong F, Ma Z Y, Niu Q S, et al. 2013. Benefit assessment for meteorological service for three rural issues in Jiangxi based on Delphi method[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 36(4):39-44.(in Chinese)