

文章编号:1673-8411(2018)04-0026-04

基于回归和判别分析的贵州电线积冰厚度预报方法

宋丹,夏晓玲,张蕾,杜正静

(贵州省气象服务中心,贵州 贵阳 550002)

摘要: 电线覆冰对贵州冬季输电会造成严重影响,覆冰量多以电线积冰厚度来衡量,利用2011~2014年4个冬季常规观测的电线积冰厚度和高影响的气象因子资料,通过多元线性逐步回归和判别分析分类方法建立电线积冰厚度预报模型。结果表明:基于有积冰日的回归模型和判别分析模型预报效果较好,TS准确率综合均超过80%,判别分析模型评价略高,对于首次出现积冰时回归方法更好。实际业务中两种模型同时应用,对比预报结果并结合预报经验加以分析,提高预报准确率。

关键词: 电线积冰;预报;多元线性逐步回归;判别分析;贵州

中图分类号:P426.3+3

文献标识码:A

Guizhou Wire Icing Thickness Forecast Method Based on Stepwise Regression and Discriminant Analysis

Song Dan, Xia Xiaoling, Zhang Lei, Du Zhengjing

(Guizhou Meteorological Service Center, Guiyang Guizhou 550002)

Abstract: Wire icing has a serious impact on winter transmission in Guizhou, and ice amount is measured by the thickness of wire ice. Based on the 4 ice thicknesses of routine observation in winter from 2011 to 2014 and meteorological condition analysis, the high-impact meteorological factors were identified and the ice thickness prediction model was established. In conclusion, the prediction effect is better based on the regression model of ice-covered days and discriminant analysis model, in which the accuracy of TS both are more than 80%. The discriminant analysis model has a slightly better evaluation, while the regression method is better for the first ice appearance. Hence, applying the two models simultaneously in practical operation, comparing results with the forecast, and analyzing with experience can improve the forecast accuracy.

Keywords: wire icing; multiple linear stepwise regression; discriminant analysis; Guizhou

电线积冰的物理过程十分复杂,涉及大气物理学、气象学、流体力学、热力学、电磁学等多种学科。贵州地区的电线积冰多由雨淞、雾淞或是两者的混合淞造成的^[1],冰的密度大,对导线的粘附力强,不易脱落,使得贵州地区的覆冰电缆更容易受损,危害很大。2008年贵州遭受特大凝冻灾害,是全国受灾最严重的省份,对电力行业造成了巨大影响。

我国在电线积冰特征、冰区划分及其与气象条件方面的研究相对较多^[2-7],揭示了积冰厚度同前期

冰冻日数、前1天的最低气温、相对湿度、风速和降水量有很好的相关性^[8-10]。积冰厚度的预测研究相对较少,其估算多以气象条件与积冰增长的关系和相关因子作为模型的基础,建立的电线结冰厚度等级预报的3层人工神经网络BP模型,准确率达到81.3%^[8];回归模型也具有较高的可用性^[11];江志红等研究了覆冰极值的概率分布和序列回归模型^[12-13]。温华洋等也通过人工神经网络和多元线性逐步回归方法建立了标准冰厚的气象估算模型^[14],

收稿日期:2018-04-17

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“导线覆冰的精细化预报和风险评估技术”(GYHY201006033);贵州省气象局2015年度业务技术攻关小组“贵州西部电线覆冰厚度预报方法”。

作者简介:宋丹(1982-),硕士,副高,主要从事公众气象服务及专业气象相关研究工作,E-mail:from1214@163.com。

吴息等还研究了导线积冰重量的模拟方法^[15]。还有一些专家对电线积冰过程进行了环流分析^[16-17]。贵州在电线积冰方面的研究也不少,罗宁等^[18]通过在贵州3个冰区的导线积冰直径、云滴谱、含水量及各气象要素的外场观测试验,研究了导线积冰的云雾特征;唐延婧等^[19]研究了贵州7个冬季电线积冰的变化及对应的气象要素特征;陈百炼等^[20]通过一般统计方法和天气学分析方法对贵州冬季电线积冰特征及天气成因进行了分析;朱君等^[21]研究了贵州产生覆冰的环流特征。

电线积冰及与之紧密相关的雨淞(又称“冻雨”“凝冻”)天气一直是科研人员的研究重点之一。在雨淞产生的环流形势、影响系统、气候特征、预报预测等方面都取得了大量成果。但就电线覆冰的受灾程度而言,其与电线覆冰量有直接关系:在微量覆冰时,导线完全可以承载;当覆冰较重,超出导线承重时,才会导致导线断裂而造成事故。电线覆冰量多以电线积冰厚度来衡量,而贵州相关研究较少,作为实际冰冻灾害严重程度的预报、预测、评估等方面的工作基础,开展电线积冰厚度的研究非常有必要。

1 资料与方法

由于贵州2008~2010年电线积冰厚度观测以“8号铁丝”为主,与规范后的电缆线(直径为26.8mm)在形成积冰时机制会有差异,故选取2011年1月1日~2015年3月31日观测规范统一后的典型易积冰区域的西部海拔较高的7个站(包括威宁、毕节、大方、黔西、纳雍、织金和水城)和贵阳站的积冰厚度资料和地面常规气象要素作为分析数据,利用SPSS的多元线性逐步回归(以下简称:多元回归)和判别分析两种方法,建立积冰厚度预报模型,并通过TS准确率、空报率、漏报率 and 无误差准确率的指标来对模型预报效果进行评价。

定义TS准确率为预报有积冰和无积冰的正确次数与样本数之比,与降雨TS评分有所差异,空报率和漏报率与降雨评分的一致,无误差准确率(以下简称:无误差)为厚度预报值完全与实况相符的准确率。各指标公式如下:

$$\text{TS准确率: } TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \times 100\%;$$

$$\text{空报率: } FAR = \frac{NB}{NA + NB} \times 100\%$$

$$\text{漏报率: } PO = \frac{NC}{NA + NC} \times 100\%;$$

$$\text{无误差: } TS = \frac{NA_0}{NA + NB + NC} \times 100\%$$

式中NA为有无积冰预报正确次数,NB为空报次数,NC为漏报次数,NA₀为预报和实况完全相符的次数。

2 积冰厚度与气象要素的相关分析

根据贵州省电线积冰变化的气象特征^[19],为了预报积冰厚度,需要选取与积冰有关且具有可预报性的气象要素同积冰厚度做相关性分析,要素包括:日最低气温、日最高气温、日降水量、持续时间(积冰)、平均湿度、气温日较差、日变温,其中气温日较差为预报厚度日的高低温变化,日变温为厚度预报的前日最高温度与厚度预报的日最低气温的变化。各相关系数均通过0.01的双侧显著性检验(见表1),积冰厚度与日最低气温、日最高气温呈显著负相关,与持续时间呈显著正相关,这三个要素相关性相对较高,相对系数的数值均超过0.4;与气温日较差和日变温呈负相关,与日平均温度、日降水量呈正相关。另外积冰厚度与前日积冰厚度的正相关性也高达0.702。

表1 积冰厚度与气象要素的相关系数

	日最低 气温	日最高 气温	气温日 较差	日变温	日平均温 度	持续 时间	日降 水量
积冰厚度	-0.461	-0.414	-0.215	-0.194	0.242	0.438	0.061

3 积冰厚度预报模型

3.1 多元回归模型

我们通过三种思路利用多元回归方法建立预报模型,一是挑选有积冰日的数据作为建模源数据(模型I),二是对全部数据(即包括无积冰)进行建模(模型II),其中以上两种思路建模时如前一日无积冰,前日厚度默认为26mm,三是基于有积冰日并将前日厚度不作为预报因子(模型III),单从气象条件来分析,利用SPSS软件分别得到以下三个模型:

$$D = 11.904 + 0.569D_0 - 0.152T_a - 0.048t \quad (1)$$

$$D = 9.585 + 0.642D_0 - 0.034T_h + 0.019\Delta T \quad (2)$$

$$D = 26.866 - 0.269T_a + 0.048t \quad (3)$$

其中D为积冰厚度预报值,D₀为预报前一日积冰厚度,T_a为最低温度预报值,t为电线积冰持续时

间, T_h 为最高温度预报值, ΔT 为日变温。

模型建好后, 通过指标评价, 选择预报效果较好的作为积冰厚度的多元回归模型。利用2015年12月~2016年3月11日(最晚积冰观测日)冬季出现的电线积冰和气象观测要素进行效果评价。

评价分为预报方法评价和模型结果评价, 模型 I、III 是基于最低气温低于 0°C 和有降雨时的计算结果, 否则厚度为 0, 模型(II) 是不假设任何条件下都要计算。因此模型 I、III 牵涉到方法效果的评价(含全数据)和模型结果的评价(仅含模型预报数据), 模型 II 方法评价为剔除无积冰站的预报效果。将所有模型预报数据低于 27mm 的定义为无积冰。评价结果见表 2。

从表 2 中可看出, 对于样本数为全部数据的模型评价效果相差不大, 但总体上模型 I 的效果略好, 由于样本数包含无积冰站无误差和 TS 准确率都较高, 空报率和漏报率较低。对于小样本的预报效果差距略大一些, 其中模型 I、III 预报结果样本数相同为 366, 模型 II 剔除无积冰站后样本数剩余 309 个, 对于无误差和 TS 准确率来说, 模型 I 较其它两个模型效果好, 模型 II 的空报率最低而漏报率最高, 模型 III 的漏报率最低而空报率最高, 模型 I 的空报率和漏报率均介于其它两模型之间。综合 TS 准确率为模型评价和方法评价的平均, 其中模型 I 的评分超过 80%, 其余两个模型略低于 80%。综合以上评价结果, 模型 I 的效果较好, 可作为多元回归模

型的首选。

3.2 判别分析模型

把电线积冰厚度近似作为等级来划分, 可利用判别分析法形成预报模型, 通过 SPSS 软件, 自动筛选出模型自变量, 分类函数系数见表 3。其中前日积冰厚度为 X_1 , 如无积冰定义为 26, 预报厚度日最低气温为 X_2 , 气温日较差为 X_3 , 日变温为 X_4 , 持续时间为 X_5 。Y 为积冰厚度预报值。

根据已出现过的厚度值得到 12 个预报模型, 计算每个模型的结果, 最大值对应的就是预报的电线积冰厚度, 例如 31 列的模型值大于其他列的, 电线积冰厚度的预报值就为 31mm。

同样对 2015 年 12 月~2016 年 3 月 11 日贵州省范围内 84 个站点的电线积冰进行预报效果评价。总样本数为 8484, 误差为 2mm 以内的准确率为 99.8%, 误差为 1mm 以内的准确率为 99.1%, 完全相符的预报准确率为 97.2%, 空报率为 1.0%, 漏报率为 1.2%, 由于样本量大, 且包含无积冰站, 所以效果较为理想。

为了掌握实际有积冰时的模型预报准确率, 我们给定判别前提条件, 即当最低气温 $X_2 \leq 0^{\circ}\text{C}$, 且有降雨时, 再代入模型计算积冰厚度。在此情况下评价模型的预报效果, 样本数为 366, TS 准确率为 66.1%, 完全相符的预报准确率为 52.2%, 其空报率为 29.2%, 漏报率为 9.0%, 相对于无条件判别方法, 各参数效果降低, 综合 TS 有准确率为 82.0%, 较多元回归模型略高。两种情况的参数对比如表 4。

表 2 多元回归方法和模型指标评价(单位:%)

模型	模型评价					方法评价					综合 TS
	样本数	TS	空报	漏报	无误差	样本数	TS	空报	漏报	无误差	
模型 I	366	62.8	21.0	24.3	55.2	8484	98.1	0.7	0.9	98.1	80.5
模型 II	309	97.9	0.3	1.7	97.9	8484	61.5	18.8	28.0	52.4	79.7
模型 III	366	59.8	36.2	9.5	48.1	8484	97.8	1.4	0.3	97.8	78.8

表 3 分类函数系数

要素	预报厚度											
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38
前日厚度	94.13	95.23	96.58	98.81	100.6	101.4	97.7	114.5	119.4	115.5	116.9	127.0
最低气温	1.942	1.509	1.503	1.469	1.474	1.578	1.363	1.829	1.909	1.553	1.799	1.821
气温日较差	-1.013	-1.147	-1.188	-1.179	-1.24	-1.305	-1.313	-1.420	-1.614	-1.36	-1.494	-1.604
日变温	2.147	2.21	2.167	2.2	2.26	2.314	2.498	2.54	2.717	2.554	2.607	2.828
持续时间	-14.68	-14.38	-14.48	-14.69	-14.56	-14.68	-13.63	-16.23	-16.98	-17.02	-16.08	-19.62
常数	-1236	-1265	-1301	-1362	-1414	-1435	-1338	-1832	-1991	-1863	-1912	-2248

表4 判别分析模型参数检验(单位:%)

	TS准确率	空报	漏报	无误差
无条件判别检验	97.8	1.04	1.21	97.2
有条件判别检验	66.1	29.2	9.0	52.2

综合多元回归模型 I 和有条件判别分析法,发现后者 TS 准确率和漏报率略好于前者,但空报率和无误差准确率略差,并且发现凡单站第 1 次出现积冰时,判别分析法效果不好,不如多元回归模型。

4 结论和讨论

本文利用贵州 2011~2014 年冬季常规电线积冰观测的积冰厚度值和高相关的气象因子,通过多元逐步回归和判别分析分类两种方法,建立了贵州电线积冰厚度预报模型,得出如下结论:

(1)通过多元回归方法建立的三个预报模型,其中基于有积冰日的数据建立的预报模型总体效果较好,TS 准确率综合超过 80%;判别分析模型对于有积冰时的预报效果与多元回归模型 I 的效果相差不多,且综合 TS 准确率略高,但对于首次出现积冰的情况较多元回归方法差,所以在实际业务中可将两种方法同时应用,对比预报结果并结合预报经验加以分析,提高预报准确率。

(2)多元回归模型 I 的空报率高于模型 II、漏报率高于模型 III,显得有些不足,其中有模型自身预报能力,再次电线积冰观测值是否真实缺乏考证,虽然经过质控入库,但有些异常值还是不合理,比如前几日连续有积冰值,之后 1d 在全天气温都低于 0℃且有降雨的情况下,积冰厚度为 0,这样的值还不少,因此也降低了模型的 TS 准确率,增加了空报率。那么,怎样能降低各个模型的空报率或漏报率,来综合预报电线积冰厚度,是在接下来工作中所要努力的方向。

(3)运用判别分析对电线积冰的预报其优势在于,导线积冰的观测值为 ≥ 27 的整数,其变化规律更接近于聚类分析,故选用此方法。但是判别分析有其局限性,建立预报模型时使用的实况数据中没有出现过积冰厚度为 37mm 和大于 38mm 的情况,故预报值中也不会出现该数值。因此在实际业务运行中需要根据实际情况,利用新数据及时改进预报模型。

参考文献:

[1] 李登文,杨静,吴兴洋.2008 年低温冰冻雨雪灾害天气过

程中贵州电线积冰气象条件分析[J].气象,2011,37(2):161-169.

- [2] 赵文灿,龙余良,阙志萍,等.江西省电线积冰特征及温度层结分析[J].气象科技,2018,46(1):178-181.
- [3] 胡艳楠,牛生杰,吕晶晶,等.湖北电线积冰统计分析及积冰逆温层结研究[J].气候与环境研究,2017,22(1):35-44.
- [4] 武辉芹,张金满,赵增保.河北省输电线路冰害的气象要素时空分布特征[J].干旱气象,2017,35(6):991-997.
- [5] 刘赫男,张洪玲,朱红蕊,等.黑龙江省电线积冰的气候特征及电网冰区划分[J].冰川冻土,2014,36(3):555-562.
- [6] 程肖侠,方建刚.中国西北东部电线积冰气候特征及分区[J].干旱区研究,2013,30(2):341-346.
- [7] 周悦,高正旭,周月华,等.湖北省电线积冰特征及其冰区划分[J].自然灾害学报,2013,22(6):169-177.
- [8] 殷水清,赵珊珊,王遵娅,等.全国电线结冰厚度分布及等级预报模型[J].应用气象学报,2009,20(6):722-728.
- [9] 陶云,吴星霖,段旭,等.2008 年云南滇东北电线覆冰的气象条件[J].灾害学,2009,24(2):82-86.
- [10] 赵晓萌,李栋梁,熊海星,等.西南地区覆冰气象要素的变化特征及综合评估[J].自然资源学报,2011,26(5):802-813.
- [11] 廖玉芳,段丽洁.湖南电线覆冰厚度估算模型研究[J].大气科学学报,2010,33(4):395-400.
- [12] 江志红,刘冬,刘渝,等.导线覆冰极值的概率分布模拟及其应用试验[J].大气科学学报,2010,33(4):385-394.
- [13] 江志红,杭月荷,刘冬,等.我国南方输电线路覆冰极值序列重建试验[J].气候与环境研究,2013,18(5):407-413.
- [14] 温华洋,田红,唐为安,等.安徽省电线积冰标值冰厚的气象估算模型[J].应用气象学报,2011,22(6):747-752.
- [15] 吴息,胡欣欣,陈百炼,等.导线积冰重量模拟方法探讨[J].气象科技,2014,42(2):319-323.
- [16] 刘丹,牛生杰.两次电线积冰过程气象条件实时观测研究[J].大气科学学报,2015,38(3):428-432.
- [17] 顾光芹,田国强,周须文.河北省电线积冰的气候特征及一次电线积冰天气过程分析[J].气象与环境科学,2012,35(1):8-13.
- [18] 罗宁,文继芬,赵彩,等.导线积冰的云雾特征观测研究[J].应用气象学报,2008,19(1):91-95.
- [19] 唐延婧,宋丹,廖波,等.贵州省积冰变化的气象特征[J].冰川冻土,2015,37(4):867-875.
- [20] 陈百炼,吴战平,张艳梅,等.贵州冬季电线积冰及其天气成因分析[J].气象,2014,40(3):355-363.
- [21] 朱君,向卫国,赵夏菁.贵州导线覆冰的致灾机理研究[J].高原山地气象研究,2011,31(4):42-50.