

二郎山电线覆冰厚度序列的重建

王文, 蔡晓军

(南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要:通过对四川省甘孜州二郎山与西南地区108个气象观测站的气象因子之间的相关关系分析, 筛选出13个气候特征比较接近二郎山的站点, 利用二郎山的覆冰资料和邻近站的气象要素对二郎山的覆冰厚度进行重建。使用最优子集回归方法建立了二郎山覆冰序列与康定气象因子之间的数学模型, 恢复了二郎山1951~2001年的覆冰厚度资料。趋势分析表明重建的序列与全球变暖的背景下气候变化的趋势是一致的, 为划分我国西南地区覆冰等级打下了一定的基础。

关键词:二郎山; 电线覆冰; 厚度序列; 气象因子; 重建

中图分类号: P462.3

文献标识码: A

引言

输电线路覆冰和积雪常会引起线路倒杆(塔)断线和绝缘子闪络等重大事故, 给电力系统安全运行带来严重危害。我国有相当多的省份都发生过电线积冰, 较严重的有四川、贵州、云南、湖南、湖北、陕西、山东、河南等省。分析输电线路覆冰特点、规律^[2]对覆冰区输电线路设计、运行以及提高整个电力系统的安全可靠性具有重要的实际意义和指导作用。2008年初的西南冰雪灾害, 线路覆冰导致湖南和贵州绝大部分地区断电, 工厂不能运营, 输电线路因覆冰过重引起的电线塔倒塌, 损失严重, 国家电网公司的直接经济损失达到了104.5亿元。为了抢修线路, 也有不少的同志因公殉职^[1]。

线路覆冰是受微气象、微地形及温度、湿度、冷暖空气对流、环流以及风等因素影响的综合物理现象。按导线覆冰的表观特性分类, 可分为雨淞、粒状雾凇、晶状雾凇、湿雪、混合淞。按冰的形成机理, 覆冰可分为降水覆冰、云中覆冰、凝华覆冰。其中降水覆冰多产生雨淞, 云中覆冰往往产生雾凇, 而凝华覆冰则产生晶状雾凇^[2]。

随着我国电力事业的不断发展, 对覆冰的研究也全面展开。一些电力部门的研究人员对覆冰产生的原因和对线路覆冰分类以及覆冰所造成的灾害做

了全面的分析^[2-3], 也有些学者通过物理测量的方法, 再经过订正, 得出计算覆冰厚度的方法^[4-5]。

季节、海拔高度、导线悬挂高度、微地形、线路走向、导线的刚度、直径、通过的电流大小等因素都是覆冰产生的影响因子。然而, 输电线路导线表面产生覆冰, 必须达到一定的气象条件。由于观冰时间不固定, 和地面气象观测不同步, 再加上不同的地域, 所以不同过程产生覆冰的条件也会不尽相同。林力等^[2]指出, 产生覆冰必须达到的气象条件是: 气温及导线表面温度达到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下; 空气相对湿度在85%以上; 风速 $>1\text{ m/s}$ 。鲁俊等^[6]统计了安徽省有气象记录以来的电线积冰观测资料, 分析了电线积冰的时空分布特征, 同时也对积冰出现时段的气象要素特征进行了详细的总结。发现电线积冰的气象条件基本满足气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $\geq 80\%$, 风速在 $0\sim 3\text{ m/s}$, 同时与风向有关, 积冰直径极大值时出现静风C的频率最多。雾凇积冰极值出现时, 气温 $\leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

既然覆冰与气象要素和微地形等有关, 那么通过天气气候学分析, 根据多年的覆冰观测资料可以在一定的地区划分出覆冰灾害等级, 作为电力部门设计线路时的依据。二郎山位于四川省甘孜州境内($29^{\circ}51'\text{N}$, $102^{\circ}16'\text{E}$), 海拔高度2987 m, 现有的观冰资料相对比较完整。但由于观测资料的记录时间

收稿日期:2009-11-03; 改回日期:2009-11-25

基金项目:西南电力设计院委托科研项目资助

作者简介:王文(1957-), 男, 甘肃人, 副教授, 现从事气候诊断和中尺度动力学的工作。E-mail: wangwen@nuist.edu.cn

较短,为能正确划分西南地区覆冰灾害等级,有必要对其进行长序列的重建。利用二郎山 2001 ~ 2006 年的实际气象资料和观冰站的线路覆冰观测资料,以及西南地区 108 个气象资料站点所观测的近 50 a 气象资料,寻找与二郎山覆冰关系密切的一些站点的气象因子,建立起二郎山覆冰资料与这些因子之间的统计关系,通过这些关系估算出二郎山覆冰的长期序列,找出能够划分西南不同地区的覆冰等级的方法。

1 资料和方法

选取西南地区(25° ~ 35°N, 95° ~ 110°E) 108 个观测站 1950 ~ 2007 年的气象资料,包括日平均温度、最高温度、最低温度、平均相对湿度、日降水量、日平均风速、日照时数等。二郎山观冰站 2001 ~ 2006 年冬季覆冰资料以及气象资料,有覆冰厚度、日最高温度、最低温度、相对湿度、平均风速等。

二郎山的观测资料较短,为建立长序列的覆冰序列,利用二郎山的气象资料与选取的 108 站相应的观测资料求相关,以便选取与二郎山站点气候特征相近的台站,通过这些站点与二郎山覆冰进行拟合,求出二郎山站的长序列覆冰资料,研究其气候特征。

2 站点的选取

西南地区 108 气象站与二郎山 2001 ~ 2006 年冬季日最高温度的相关系数 > 0.13 的都通过了相关系数显著性检验,相关性最好的站点主要分布在四川中部靠南一点的位置上,相关性其次的站点一部分位于青海、甘肃、四川 3 省交界处,一部分位于四川东南部、云南东北部以及贵州西北部。但由于二郎山属于高山站,考虑到位置的临近以及所受影响的天气系统因素,所以选取相关性较好的站点应该在四川东南部选取。其中相关性最好的站点为峨眉山站,位于二郎山东南侧(29°31'N、103°2'E),相关系数达 0.9485。

冬季日最低温度通过相关系数显著性检验的区域主要集中在四川东南部,其中与二郎山最低温度相关最好的站点也是峨眉山观测站。平均相对湿度相关系数显著的区域主要在西南地区的西北侧,基本是在青藏高原东侧,而西南地区恰好是青藏高原的东侧背风坡,由于冬季的青藏高原处于西风带里,高原使 500 hPa 以下的西风环流明显分支,在背风

坡形成“死水区”,冬春季的西南地区位于其内部,处于孟加拉湾地形槽前,以致低涡活动特别多,主要受孟加拉湾地形槽影响所致。因二郎山处于青藏高原背风坡,并且属于高原向成都盆地的过渡带,地形比较复杂,山间有峡谷,相邻地区风速相关性较差。风速相关系数值最大地区主要分布在四川东北侧、南部及贵州东南,而且相关系数都不是很高。

通过以上 4 项气象因子的相关性分析,主要结合最高温度、最低温度以及相对湿度,挑选出这 3 项相关比较好的站点。表 1 中列出了与二郎山气象因子之间相关系数较好并且地理位置相对临近的 13 个站点,各列分别给出了按不同气象因子的相关性排序。可以看出峨眉山气象观测站是总体相关最好的站点:最高温度相关系数为 0.9485,最低温度相关系数为 0.9179,湿度相关系数为 0.8391,风速的相关系数为 -0.2182,样本长度为 476,4 个气象因子相关系数全部通过显著性检验。13 个气象站中,康定气象站是地理位置距离二郎山最近的一个站,其中风速没有通过相关系数显著性检验,这与二郎山一带地形复杂,风速又会受地形的影响有关。但是因为地理位置十分临近,并且温度与湿度的相关很好,海拔高度也相近,都属于高山站,所以认为康定气候特征与二郎山较为接近。因峨眉山总体相关最好,所以本文就以峨眉山气象观测站为例重点分析。

图 1 中五角星标记为二郎山所在地理位置,在所选取的 108 个气象观测站中,圈形标记为与二郎山气象因子之间的相关较好的 13 个站点,叉形标记为相关性一般的站点。

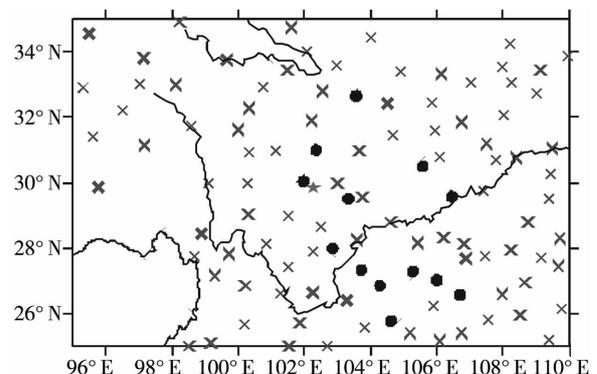


图 1 站点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the 108 meteorological stations in Southwest China

表 1 与二郎山相关系数较好的 13 个站点的相关系数排序及相应相关系数

Tab. 1 Correlations coefficients of meteorological variables of Erlangshan and other 13 stations

最高温度	最低温度	湿度	风速	平均相关系数
峨眉山 0.9485	峨眉山 0.9179	峨眉山 0.8391	小金 0.36	峨眉山 0.6218
康定 0.8987	威宁 0.8098	康定 0.7341	昭通 0.3386	康定 0.6151
昭觉 0.8282	贵阳 0.8073	松潘 0.4683	贵阳 0.3157	昭通 0.5547
毕节 0.7818	毕节 0.7977	小金 0.4232	遂宁 0.304	昭觉 0.55
昭通 0.7732	康定 0.7969	昭觉 0.4207	昭觉 0.2793	威宁 0.5128
松潘 0.7545	黔西 0.7461	威宁 0.4027	松潘 0.2153	贵阳 0.4888
黔西 0.7237	重庆沙坪坝 0.7376	昭通 0.3933	重庆沙坪坝 0.1721	毕节 0.4743
威宁 0.7046	遂宁 0.7331	毕节 0.3222	威宁 0.1342	小金 0.4733
贵阳 0.6918	昭通 0.7136	盘县 0.2175	盘县 0.0931	松潘 0.4641
盘县 0.637	昭觉 0.6717	重庆沙坪坝 0.1642	康定 0.0306	重庆沙坪坝 0.4141
重庆沙坪坝 0.5823	盘县 0.6592	黔西 0.1506	黔西 0.0001	黔西 0.4051
小金 0.5788	小金 0.5313	贵阳 0.1402	毕节 -0.0044	盘县 0.4017
遂宁 0.5311	松潘 0.4184	遂宁 0.0339	峨眉山 -0.2182	遂宁 0.4002

3 二郎山覆冰厚度的拟合和重建

黄新波等^[7]发现采用单一环境温度、湿度、风速等气象要素进行覆冰预测可靠性差,尤其误报率过高,如采用风速进行预测误报率高达 248%;采用多气象因素进行覆冰预测的准确率能达到 67%,误报率、漏报率为 18% 和 39%。有必要进行多元分析。多元统计分析方法较多^[8-9],通过比较本文选取了最优子集回归方法。

与二郎山气象资料相关性最好的 2 个站是峨眉山和康定,也是距二郎山较为接近的测站,都属于高山站。因此选取峨眉山和康定的观测资料利用最优子集回归方法对二郎山覆冰序列进行拟合,所取的因子有日最高温度、日最低温度、相对湿度、平均风速、日照时数等。分析结果表明,用康定的观测资料拟合的覆冰厚度更接近于二郎山的观测值。其预报方程如下:

$$\begin{aligned}
 Y = & -44.907 + 107.536 x_3 - 0.295 x_4 \\
 & + 9.583 x_5 - 0.230 x_6 + 0.052 x_7 \\
 & - 0.106 x_8 - 32.533 x_9 - 0.089 x_{11} \\
 & - 1.548 x_{12} - 0.089 x_{15} - 11.837 x_{16}
 \end{aligned}$$

其中, x_1 为最高温度, x_2 为最低温度, x_3 为相对湿

度, x_4 为日降水量, x_5 为平均风速; x_6 为日照时数, $x_7 = x_1^2$, $x_8 = x_2^2$, $x_9 = x_3^2$, $x_{10} = x_5^2$, $x_{11} = x_1 x_2$, $x_{12} = x_1 x_3$, $x_{13} = x_1 x_5$, $x_{14} = x_2 x_3$, $x_{15} = x_2 x_5$, $x_{16} = x_3 x_5$ 。图 2 是 2001 年 12 月至 2007 年 12 月的拟合结果。

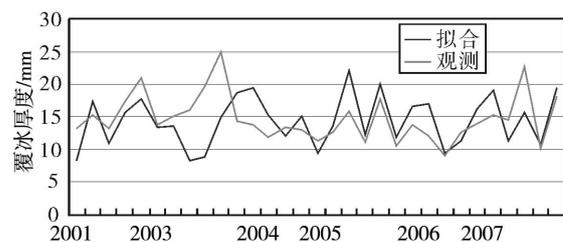


图 2 二郎山覆冰厚度的观测和拟合对比

Fig. 2 Contrast of observed and fitted line ice-cover in Erlangshan Mountain region from 2001 to 2007

由图 2 可以看出,拟合值与观测值比较接近,所以利用其拟合公式和 1951 年 12 月至 2001 年 12 月康定的气象资料,对二郎山的覆冰厚度序列进行了重建。图 3 中 2001 年 12 月以前是通过关系方程估算的二郎山覆冰厚度,2001 年 12 月至 2008 年 3 月为二郎山实测的覆冰厚度。通过趋势线可以看出近 58 a 来二郎山的覆冰厚度呈微弱的下降趋势,这与全球气候变暖是相一致的。

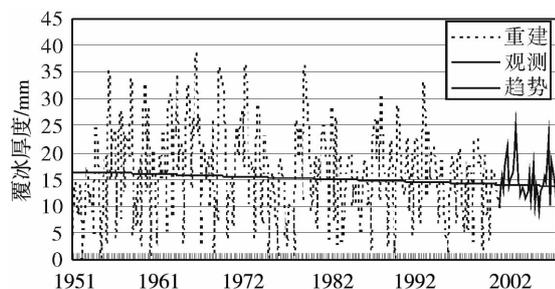


图3 二郎山1951~2008年覆冰厚度的观测和重建序列

Fig. 3 Series of reconstructed and observed line ice - cover in Erlangshan from 1951 to 2008

4 结 论

通过对二郎山与西南地区108个气象观测站的气象因子之间的相关分析,筛选出13个气候特征比较接近二郎山的站点,重点对峨眉山和康定进行了分析。利用最优子集回归方法建立了二郎山覆冰序列与康定气象因子之间的数学模型,恢复了二郎山1951~2001年的覆冰厚度资料。趋势分析表明,重

建的序列与全球变暖的背景下气候变化的趋势是一致的,为划分我国西南地区覆冰等级打下了一定的基础。

参考文献:

- [1] 陆佳政,蒋正龙,雷红才,等. 湖南电网2008年冰灾事故分析[J]. 电力系统自动化,2008,32(11):16-19.
- [2] 林力,徐隽,赵奥明,等. 输电线路覆冰形成机理分析[J]. 江西电力职业技术学院学报,2008,21(2):4-6.
- [3] 汪秀丽. 输电线路覆冰浅论[J]. 水利电力科技,2008,34(2):14-26.
- [4] 郭永涛,朱晓霞. 电力线路覆冰测量及换算[J]. 农村电工,2008(8):29.
- [5] 郭庆雄. 送电线路覆冰厚度的检测方法[J]. 华中电力,1992,5(6):71-73.
- [6] 鲁俊,吴必文,卢燕宇. 安徽省电线积冰的特征及气象条件分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(24):10570-10572.
- [7] 黄新波,孙钦东,张冠军,等. 线路覆冰与局部气象因素的关系[J]. 高压电器,2008,44(4):289-294.
- [8] 李艳春,梁旭,纳丽,等. 宁夏春季首场透雨的气候预测探索[J]. 干旱气象,2005,23(4):46-51.
- [9] 陈红玉,高志伟,李建美,等. 多层递阶回归分析法在全国初夏雨量预测中的应用[J]. 干旱气象,2008,26(4):80-85.

Reconstruction of Wire Ice - covering Series in Erlang Mountain of Sichuan Province

WANG Wen, CAI Xiaojun

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: This article deals with the data from 108 meteorological stations and the Erlang Mountain ice station in the southwest China. Based on the climate statistical principles and methods, we find 13 stations which climatic characteristics are similar to Erlang Mountain, and the analysis focuses on the meteorological factors over the Emei Mountain and Kangding station in order to reconstruct wire ice - covering series in the Erlang Mountain. The mathematical model of the relationship between the meteorological factors of Kangding station and wire ice - covering series in Erlang Mountain is established based on the optimal subset regression method. Through the fitting equation, the inter - annual ice - cover sequence in the Erlang Mountain is estimated from the year 1951 to 2001, and combined with the sequence of Erlang Mountain's ice - cover in winter from 2001 to 2008, we confirm the reconstructed sequence is coincident with climate trend under the background of global warming.

Key words: the Erlang Mountain ; wire ice - covering; sequence; meteorological factor; reconstruction