

电网架空导线载流量计算气象参数组合特征及风险分析

顾光芹^{1,2} 李宏宇^{1,2} 郑雄伟^{3*} 井元元^{1,2} 王丙兰⁴

(1 河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050031; 2 河北省气候中心, 石家庄 050031;
3 国网河北省电力有限公司电力科学研究院, 石家庄 050031; 4 北京玖天气象科技有限公司, 北京 100081)

摘要 根据架空导线载流量的计算需求, 选择河北南部电网, 利用 94 个气象站 1974—2018 年月平均最高气温、月极端最高气温和 14:00 的平均风速资料, 结合箱线图方法, 分析了各月平均值、中位数、四分位数、异常值截断点和异常值等变化特征, 并确定了各月高温分析区间和小风速分析区间, 将高温分析区间和小风速分析区间进行组合作为气象参数组合; 利用 94 个站点自动站建站至 2018 年 09:00—20:00 的逐时气温和风速资料, 逐月分析了各种气象参数组合出现的频率和对应的气象风险分布。结果表明最高气温和最小风速组合出现的概率很小, 仅 6、7、8、11 月出现过 4、1、130、1 站时; 总体上, 高风险气象参数组合出现概率在 12 个月都很小, 中风险和低风险气象参数组合在夏季出现概率相对较高; 气象参数组合综合风险呈现一定的空间分布, 沧州、保定和雄安新区风险相对较低, 太行山和山前平原风险相对较高。本研究对了解高影响天气状况下的电网运行风险有一定帮助。

关键词 电网; 载流量; 参数组合; 概率 风险

中图分类号: P49 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200071 **文献标识码:** A

引言

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高, 电力需求快速增长, 电网负荷持续增大。在不改变线路结构的情况下, 利用环境气象要素, 评估输电线路的荷载能力、精细的计算电网架空裸导线载流量, 确保在电网运行安全的情况下, 充分发挥输电线路的载流功能, 提高正常输送容量, 对电网运行和满足经济发展需求具有十分重要的意义^[1-3]。

架空裸导线载流量与环境气象状况息息相关^[4-5]。在输电线路运行环境下, 当线路载流越大、环境温度越高、风速越小、辐射强度越强, 导体温度就越高, 因此气象参数是计算输电线路允许载流量的重要依据。基于架空线路能量平衡方程的控制变量研究^[6-7]表明, 影响线路热扩散和载流量的气象参数按影响程度由高到低分别是风速、气温和日照强度, 并且风速和气温影响程度远高于日照强度, 因此电力部门格外关注架空导线环境风速和气温状

况。如果计算允许载流量所用环境参数温度取值过高、风速取值过小, 则计算载流量偏小, 会导致不必要的拉闸限电, 输电线路效益不能得到有效发挥; 如果所用环境参数温度取值过低、风速取值过大, 则计算载流量会偏大, 输电线路可能过载, 导致设备损坏, 甚至引发重大灾害。

架空线路所能承载的最大热电流主要受限于导体的最高允许运行温度, 传统的静态热定值采用一成不变的苛刻的气象条件(风速 0.5 m/s、风入射角 90°、环境温度 40 °C 和日照强度 1000 W/m²)确定线路的最大允许热载流量^[7]; 静态热定值结果往往偏于保守, 降低了架空线路的利用率, 如何合理地设置环境气象参数充分发挥导线输电能力并减少电网运行风险就成为关键。实际试验计算表明在静态热平衡下, 若导线允许温度设置为 70 °C, 当风速为 2 m/s, 最大允许载流量比保守状态下提高 48.3%, 风向的变化对载流量也有一定影响; 在导线允许温度为 70 °C, 周围环境温度由 40 °C 变为 20 °C 时, 载流量

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

国网河北电力有限公司科技项目(kj2017-18), 国家自然科学基金项目(批准号: 41705075), 国网 2016 年度科技项目(52170216000A)资助
作者简介: 顾光芹, 女, 1963 年生, 正研高工, 主要从事气候服务业务研究, Email: ggq8588@sina.com

收稿日期: 2020 年 3 月 11 日; 定稿日期: 2020 年 12 月 29 日

* 通信作者, Email: hbdkyzxw@qq.com

能提高 34.4%^[8]。河北南部电网传统的载流量计算使用固定气象参数组合:5—9 月,气温 40℃,风速 0.5 m/s;10 月至次年 4 月,气温 25℃,风速 0.5 m/s^[9]。然而电网运行的环境气象要素复杂多变,固定的气象参数组合无论是在空间尺度还是时间尺度上都不够精细。

在电力运行中的气象风险评估方面,目前科学界已经有了一些进展。王艳玲^[7]等利用山东大学(威海)天文台共 7 年的气象数据,对关键气象参数的历史数据进行统计分析,给出不同置信水平、不同时间尺度气象数据子集内的气象参数阈值,利用各气象参数阈值计算线路最大允许热载流量,并评估了设置后的电网运行风险。李宏宇等^[9]的评估表明,在全球变暖背景下,河北南部高温天气日数在年代际尺度上存在增加趋势,但是根据实际气象观测从季节尺度上重新设定允许最大载流量后,在满足一定的运行风险情况下,电网载流能力仍有很大提升空间。一些学者研究了电力负荷与气象因子的关系。张自银等^[10]定量分析了北京市夏季电力负荷逐日变率与主要气象因子的关系,发现与最大电力负荷显著相关的气象因子为温度、风速和空气湿度。付桂琴等^[11]探讨了晴热天气和闷热天气对电力日峰负荷、日谷负荷的影响特征,建立了引入积温热累积效应的日峰负荷、日谷负荷多元回归气象预测模型,提高了电力负荷预测准确率。

本文根据河北南部电网精细化载流量的计算需求,利用河北南网区域 94 个气象站的历史气温和风速资料,对高温和小风速特征进行分析。选择箱线图分析方法,对河北南网传统的载流量计算用气象参数组合进行优化和细化;利用自动站观测的逐时气温和风速资料,分析各种气象参数组合出现频率;评估各种参数组合的气象风险,为电网精细地计算架空导线载流量和风险评估提供参考依据。

1 资料与方法

河北南部电网所辖区域为河北省中南部,包括保定、沧州、邢台、衡水、石家庄、邯郸 6 个市,共 94 个气象观测站,资料来源河北省气象信息中心。所用资料包括 94 个站点 1974—2018 年月平均最高气温、月极端最高气温和逐月 14:00 的平均风速资料;自动站建站至 2018 年 09:00—20:00 的逐时气温、风速资料。

箱线图法:一组样本量为 N 的样本,使用其五个特征值来鉴别数据的异常值、判断数据的偏态和尾重。这 5 个特征值分别是最大值、最小值、中位数 x_m 、下四分位数 $Q_L = (N+1)/4$ 、上四分位数 $Q_U = 3(N+1)/4$;上四分位数与下四分位数的差为四分位距;连接两个四分位数画一个箱子,在箱子内部中位数 x_m 的位置上画出中位线,在 $Q_U + 1.5(Q_U - Q_L)$ 和 $Q_L - 1.5(Q_U - Q_L)$ 处画两条线段,为异常值截断点,异常值截断点以外的值为异常值。

风速订正方法:在近地面层,风速随高度的变化有指数律和对数律,国内外在建筑设计上大都采用指数律公式计算风速随高度的变化,即:

$$V_h = V_z \left(\frac{h}{z} \right)^\alpha$$

其中, h 和 V_h 分别为高度(m)和风速(m/s), z 和 V_z 分别为参考点高度(m)和参考点风速(m/s), α 为地面粗糙度指数,也称大气稳定度指数,与地面情况有关。国家电网公司企业标准 Q/GDW 11005—2013《风区分级标准和风区分布图绘制规则》将空旷平坦地面粗糙度指数取 0.16。

2 结果分析

2.1 月平均和月极端最高气温特征分析

2.1.1 月平均最高气温特征分析

最高气温是影响架空裸导线载流量的重要参数,本文利用河北南部电网 94 个气象站点 1974—2018 年逐月平均最高气温和月极端最高气温资料分析高温特征,其中 1992 年 8 月有 1 个站缺测,用多年平均值代替。

图 1 为各月平均最高气温箱线图,箱线图参数和平均值分析结果表明,河北省南部各月均值和中位数 1—6 月是升高的趋势,6 月为最高值,6—12 月是下降趋势,1 月为最低值,各月均值和中位数差异很小,4 月差异最大(0.3℃),其他月份在 0~0.2℃ 之间;上四分位数变化在 1—6 月是升高趋势,6 月和 7 月到最高值(32.7℃),7—12 月是下降趋势,1 月到最低值(4.6℃);上异常值截断点的变化与上四分位数、均值和中位数变化不同,1—7 月是升高的趋势,7 月到最高值(35.4℃),7—12 月是下降趋势,1 月最低(8.7℃);最高值变化与上异常值截断点变化一致。

四分位距的大小代表了数据的集中程度,四分

位距内集中了数据的50%。由图可见,5—9月箱子扁平,四分位距小于 2°C ,表明这些月份月平均最高气温值比较集中,变化幅度不大。2月和3月的四分位距最大,其值分别为 3.1°C 和 3.2°C ,表明这些月份月平均最高气温值相对离散,变化幅度较大。其他月份的四分位距在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 之间。

统计分析中,通常将异常值截断点作为阈值,异常值截断点之外的数据认定为异常值,异常值的数量表明异常值的历史出现概率,最高值与异常值截断点的差值表明了异常值的极端性。导线载流量的计算关注的是最高气温,本文仅分析超过上异常值截断点的异常值,称之为上异常值。由图可见,3月、4月、11月无异常值,这些月份月平均最高气温出现异常的概率很小;1月、2月、6月、10月和12月次之,5月异常值最多,为68个,表明该月月平均最高气温出现异常的概率最大;从最高值与上异常值截断点的差异分析,7月差异最大,为 1.7°C ,表明该月月平均最高气温的极端性强;3月、4月、10月、11月的差异较小,表明这些月份月平均最高气温的极端性弱。

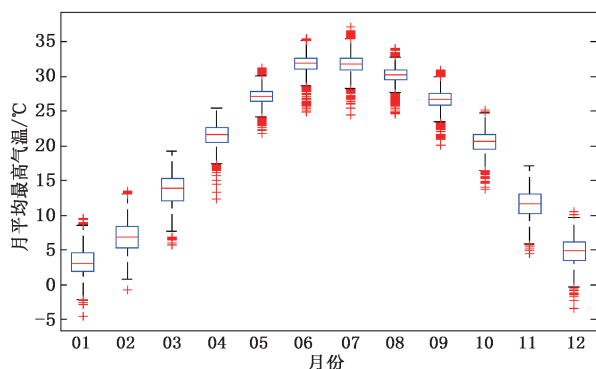


图1 各月平均最高气温箱线

2.1.2 月极端最高气温特征分析

图2为月极端最高气温箱线图,箱线图参数和平均值分析结果表明,河北省南部各月均值和中位数在1—6月呈现升高的趋势,6月达到最高值,6—12月呈现下降趋势,1月最低;均值和中位数差异很小;上四分位数的变化与均值和中位数变化一致;上异常值截断点的变化与上四分位数、均值和中位数变化不同,1—7月表现为升高的趋势,7月达到最高值(42.7°C),7—12月是下降趋势,12月最低(20.1°C);最高值表现为在1—6月呈现上升趋势,6月最高(44.4°C),6—8月为下降趋势,9月再次升高,之后

为下降趋势,最低值出现在1月(20.9°C)。

四分位距分析表明,6月、8月和9月,箱子扁平,四分位距分别为 2.1°C 、 2°C 和 1.9°C ,表明这些月份月极端最高气温值比较集中,变化幅度不大。1月、2月和3月的四分位距最大,其值分别为 4.7°C 、 4.5°C 和 4.6°C ,表明这些月份月极端最高气温相对离散,变化幅度较大。

从异常值个数分析,月极端最高气温上异常值个数明显高于月平均最高气温上异常值个数。1月、8月和11月异常值较少,分别为2个、6个和5个,9月异常值最多,为115个;从上异常值截断点与最高值的差异来看,月极端最高气温异常值的极端性明显高于月平均最高气温,12月、4月和9月差异最大,为 7.5°C 、 4.9°C 和 4.8°C ,11月、1月和7月的差异较小,分别为 0.5°C 、 0.6°C 和 0.7°C ,这表明12月、4月和9月月极端最高气温的极端性较强,11月、1月和7月月极端最高气温的极端性较弱。

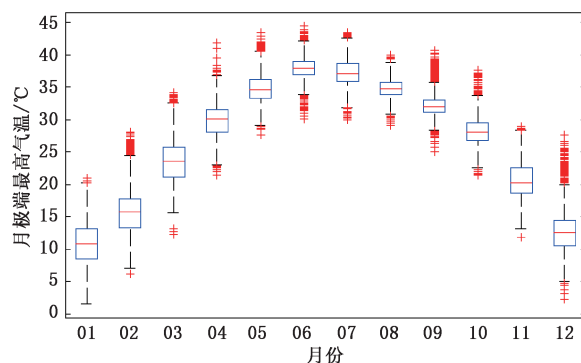


图2 各月极端最高气温箱线

2.2 小风速特征分析

小风速也是影响架空裸导线载流量的重要参数,由于架空裸导线载流量计算关注的是高温出现时的气温、风速组合状况,自动站建站之前,气象站观测为4次定时观测,难以分析最高气温对应时刻的风速。本文利用94个站点1974年至2018年定时观测资料进行分析,一般情况下,4次定时观测得到的最高气温出现在14:00,由于月最小风速序列风速值太小,分析意义不大,本文仅分析14:00的月平均风速,其中缺测5个数据,用平均值代替。

图3为14:00月平均风速箱线图,可见河北省南部各月14:00月平均风速上异常值截断点以外的数据较多,即上异常值较多,而下异常值很少,表明

各月平均风速较小,整个盒子(50%的样本)集中在较小的风速区间。

箱线图参数和平均值分析结果表明,均值和中位数在 1—4 月呈现增大的趋势,4 月达到最大值,4—8 月是减小趋势,8—11 月又呈增大的趋势,但波幅很小;均值和中位数差异很小;下四分位数的变化与均值和中位数变化一致,4 月达到最高值(3.3 m/s),4—8 月是减小趋势,从 3.3 m/s 减小到 2.0 m/s,8—10 月再呈增加趋势,之后再次减小,但波动很小。由于载流量计算仅关心小风速,本文仅对下异常值截断点和下异常值进行分析。

下异常值截断点 1—5 月呈现增加的趋势,5 月达到最大值(1.5 m/s),5—9 月是减少趋势,9 月最低(0.9 m/s),10 月略上升后再下降,最小值出现在 12 月和 1 月。从四分位距分析来看,7 月、8 月和 9 月箱子相对扁平,四分位距相对较小,分别为 0.8 m/s、0.7 m/s 和 0.8 m/s,表明这些月份月平均风速值比较集中,变化幅度不大。3 月和 4 月四分位距较大,其值分别为 1.2 m/s 和 1.3 m/s,表明这些月份月平均风速值相对离散,变化幅度较大。从各月异常值个数来看,各月平均风速值下异常值很少,3 月、4 月、10 月和 12 月无下异常值。

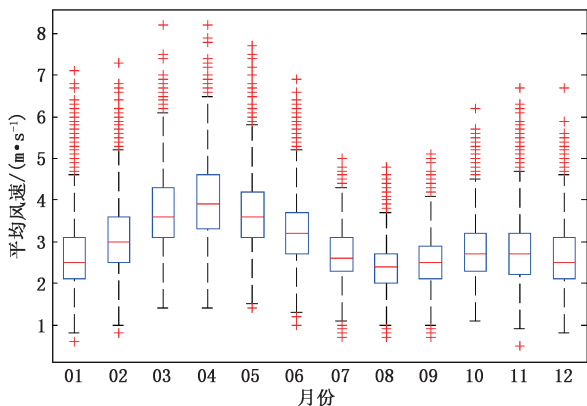


图 3 各月 14:00 平均风速箱线

2.3 高温和小风速组合特征分析

高温和小风速组合特征是计算允许载流量的重要参数,本文用 09:00—20:00 的逐时气温和风速资料,分析高温和小风速组合特征。

高温分析范围:各月极端最高气温的平均值、中位数、上四分位数、上异常值截断点和最高值等参数,明显高于月平均气温。为确保电网运行安全,参

考各月极端最高气温的上异常值截断点和最高值,分析范围从低于上异常值截断点的第 1 个被 5 整除的数开始,到高于最高值的第 1 个被 5 整除的数,如果分析范围仅 5℃,再将分析范围向低温处延长 5℃,使分析范围扩展为 10℃。按此标准,1 月分析范围为 $15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25^{\circ}\text{C}$,2 月分析范围为 $20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$,3 月分析范围为 $25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 35^{\circ}\text{C}$,4 月分析范围为 $35^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$,5 月分析范围为 $35^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$,6 月分析范围为 $35^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$,7 月分析范围为 $35^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$,8 月分析范围为 $30^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$,9 月分析范围为 $35^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$,10 月分析范围为 $30^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$,11 月分析范围为 $20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$,12 月分析范围为 $20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$,分析区间以 5℃为间隔,分 2 个区间,以下称为高温区间和低温区间。

小风速分析范围:参考月平均风速箱线图的下四分位,各月下四分位最小值为 2 m/s(8 月),选择 2 m/s 为小风速分析范围,分析区间以 0.5 m/s 为间隔,分 4 个区间: $0 \leq V \leq 0.5 \text{ m/s}$ 、 $0.5 \text{ m/s} < V \leq 1 \text{ m/s}$ 、 $1 \text{ m/s} < V \leq 1.5 \text{ m/s}$ 、 $1.5 \text{ m/s} < V \leq 2 \text{ m/s}$,以下称 $0 \leq V \leq 0.5 \text{ m/s}$ 为最低风速区间, $0.5 \text{ m/s} < V \leq 1 \text{ m/s}$ 和 $1 \text{ m/s} < V \leq 1.5 \text{ m/s}$ 为中风速区间, $1.5 \text{ m/s} < V \leq 2 \text{ m/s}$ 为最高风速区间。

2.3.1 高温和小风速组合出现频率

河北南网各站自动站建站时间不一样,最早的是 2003 年建站,最晚的是 2010 年建站。为了充分利用每个逐时资料观测样本,利用 94 个自动气象站建站至 2018 年 09:00—20:00 的逐小时气温和风速数据,结合上述气温和小风速范围分析各月高温和小风速组合出现的站时,统计结果见表 1。分析表明,各气象参数组合出现的总站时数在 8 月最多,共 62576 站时,12 月最少,出现 0 次;各月高温区间和最低风速区间组合出现的站时数很少,6、7、8、11 月分别为 4、1、130、1 站时,占总站时数的比例为万分之 0.12、0.03、3.83、0.03,其他月份该组合出现站时为 0;各月低温区间和最高风速区间组合 1—12 月出现的站时数为 29、5、233、0、275、2704、3836、24749、7、56、495、0,占总站时数的比例为万分之 0.85、0.16、6.87、0、8.11、82.36、113.09、729.60、0.21、1.65、15.08、0。

表 1 河北省各月高温($T,^{\circ}\text{C}$)与小风速($V,\text{m/s}$)区间组合出现站时数

月 份	总站 时数	T	站时数				占比/ 10^{-4}			
			$0\leq V\leq 0.5$	$0.5<V\leq 1$	$1<V\leq 1.5$	$1.5<V\leq 2$	$0\leq V\leq 0.5$	$0.5<V\leq 1$	$1<V\leq 1.5$	$1.5<V\leq 2$
1	339203	$15\leq T<20$	7	30	47	29	0.21	0.88	1.39	0.85
		$20\leq T\leq 25$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	308967	$20\leq T<25$	0	2	5	5	0.00	0.06	0.16	0.16
		$25\leq T\leq 30$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	339215	$25\leq T<30$	15	67	186	233	0.44	1.98	5.48	6.87
		$30\leq T\leq 35$	0	8	11	20	0.00	0.24	0.32	0.59
4	328288	$35\leq T<40$	0	0	2	0	0.00	0.00	0.06	0.00
		$40\leq T\leq 45$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	339217	$35\leq T<40$	12	64	176	275	0.35	1.89	5.19	8.11
		$40\leq T\leq 45$	0	1	7	10	0.00	0.03	0.21	0.29
6	328301	$35\leq T<40$	157	840	1931	2704	4.78	25.59	58.82	82.36
		$40\leq T\leq 45^{\circ}\text{C}$	4	17	24	50	0.12	0.52	0.73	1.52
7	339188	$35\leq T<40$	231	1372	2844	3836	6.81	40.45	83.85	113.09
		$40\leq T\leq 45$	1	9	45	44	0.03	0.27	1.33	1.30
8	339212	$30\leq T<35$	2609	10872	21584	24749	76.91	320.51	636.30	729.60
		$35\leq T\leq 40^{\circ}\text{C}$	130	495	976	1161	3.83	14.59	28.77	34.23
9	328304	$35\leq T<40$	3	3	4	7	0.09	0.09	0.12	0.21
		$40\leq T\leq 45$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	339232	$30\leq T<35$	8	19	58	56	0.24	0.56	1.71	1.65
		$35\leq T\leq 40$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
11	328162	$20\leq T<25$	59	270	456	495	1.80	8.23	13.90	15.08
		$25\leq T\leq 30$	1	6	8	2	0.03	0.18	0.24	0.06
12	339161	$20\leq T<25$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
		$25\leq T\leq 30$	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

为了分析架空输电线路高度处高温和小风速组合出现的站时数,将气象站(10 m)风速订正到架空输电线路高度(15 m 和 20 m),气温仍用气象站观测数据。15 m 高度处各气象参数组合结果与 10m 高度组合结果比较,参数组合站时数总体低于 10 m 高度,高温度区间和最低风速区间组合 6 月和 8 月分别为 3 站时和 86 站时,其他月份均为 0;20 m 高度处各气象参数组合结果与 15 m 高度组合结果比较,参数组合站时数总体低于 15 m 高度,高温度区间和最低风速区间组合出现的站时数与 15 m 高度相同。

2.3.2 参数组合气象风险分析

为了分析载流量计算用各种气象参数组合的风险,本文根据上述确定的各月温度分析区间和小风

速分析区间,规定了载流量计算用气象参数组合的风险(以下称参数组合气象风险),分 3 个等级,1 级参数组合:风速在最小风速区间($0\leq V\leq 0.5\text{ m/s}$),气温在高温度区间,该参数组合气象风险为高风险,如果利用该组合,计算得到的允许载流量最小;3 级参数组合:风速在最大风速区间($1.5<V\leq 2\text{ m/s}$),气温在低温度区间,该参数组合气象风险为低风险,如果利用该组合,计算得到允许载流量最大;2 级参数组合:1 级参数组合和 3 级参数组合之外的各种组合,该参数组合气象风险称为中等风险,利用该组合计算得到的允许载流量一般。

根据各种组合出现的站时数以及总站时数,计算了各月不同等级参数组合气象风险概率(各级参数组合出现站时数与总站时数之比),图 4 是各级参

数组合的概率分布情况,可见,各月高风险气象参数组合出现概率很小,有中、低风险气象参数组合出现。其中,除了夏季(6—8月),中级和低级参数组合气象风险概率均低于1%,而8月中低气象风险参数组合概率最大,分别为11.1%和7.3%,6月和7月中、低气象风险参数组合概率仅次于8月,中风险分别为0.9%和1.3%,低风险分别为0.8%和1.1%。总体分析结果表明,河北南部各月高气象风险组合概率很小,夏季(6—8月)中低气象风险组合概率较大,其他月份中低气象风险组合概率很小,可以认为高风险气象参数组合是极端气候事件。

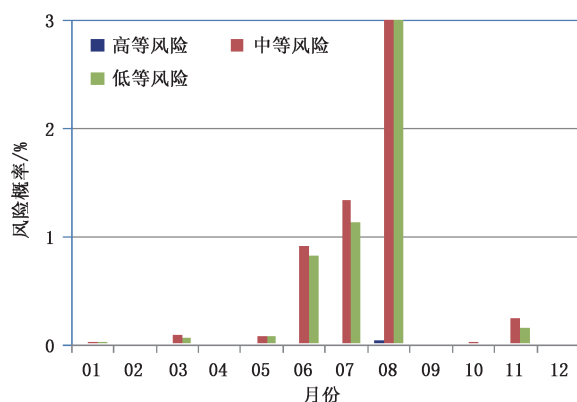


图4 河北南部各级参数组合气象风险概率

2.3.3 参数组合气象风险空间分布

为了分析各级参数组合气象风险空间分布,综合各级参数组合出现的概率,计算了94个气象站点各月参数组合气象综合风险指数。定义参数组合气象综合风险指数 $=0.5 \times \text{高风险概率} + 0.3 \times \text{中级风险概率} + 0.2 \times \text{低风险概率}$ 。赋予高风险概率较高的权重是为了突出高风险可能造成的严重危害。

自然断点法是一种根据数值统计分布规律分级和分类的统计方法,它基于数据中固有的自然分组对分类间隔加以识别,可对相似值进行最恰当地分组,并在数据值的差异相对较大的位置设置其分类边界,可使各个类之间的差异最大化。基于自然断点法的空间区划使气象风险区划更为科学合理,空间分布具有更强的可辨识度。根据参数组合气象综合风险指数,利用自然断点法将河北南部各站分为4类:无风险区(即风险指数为0的区域)、低风险区、中级风险区和高级风险区。图5为各季典型月份(1、4、7和10月)的参数组合气象综合风险指数空间分布,总体上来看,春季参数组合气象综合风险

最低,夏季最高;沧州沿海和保定部分地区各季参数组合气象综合风险相对较低,太行山及其东麓较高,其原因可能与该地区常年风速偏小,同时受太行山东麓焚风效应的影响有关,特别是石家庄、衡水和邢台西部^[12]。

1月,沧州大部分区域和保定、衡水、雄安新区北部是无风险区,石家庄和保定以及邢台东部为低风险区,其他地区为中风险区;4月,无风险区范围扩大,仅在邢台、邯郸西部存在气象参数组合中、低风险;7月,河北南部均存在高、中、低气象参数组合风险,以中风险为主,高风险区在石家庄中东部一带,可能与城镇化造成的城市热岛有关,有研究表明石家庄市是华北地区典型的城市热岛之一,尤其是石家庄市中东部近20年来城镇化进程加快,城市热岛强度接近 0.7°C ,热岛强度增温率为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,显著高于河北其他地区^[13-16];10月,保定、雄安新区以北是无风险区,邢台、衡水和沧州东部为中风险区。

为了评估线路高度处的气象参数组合风险,利用15 m和20 m高度风速进行组合分析(图略),表明不同高度风速的气象风险空间分布与图5相比较是一致的,但风险等级有所降低。因此,利用气象站资料确定的气象参数组合计算载流量,与15 m和20 m高度资料比较,其标准更高,要求更严,能够最大程度减少电力运行中的风险。

3 结论

选择河北南部94个气象站历史气象资料,结合箱线图方法,确定了各月高温分析区间、小风速分析区间和气象参数组合;利用自动站建站以来09:00—20:00的逐时气温和风速资料,逐月分析了各种气象参数组合出现的频率和电网载流量计算用参数组合的气象风险,主要结论如下:

(1)各月极端最高气温的平均值、中位数、上四分位数、上异常值截断点和最高值等参数,明显高于月平均气温,且异常值个数也明显高于月平均最高气温。

(2)各月高温区间和最低风速区间组合出现的站时数很少,6、7、8、11月分别为4、1、130、1站时,其他月份该组合出现站时为0;15 m高度处各气象参数组合结果与10 m高度组合结果比较,参数组合站时数总体低于10 m高度,高温区间和最低风速区间组合6、8月分别为3、86站时,其他月

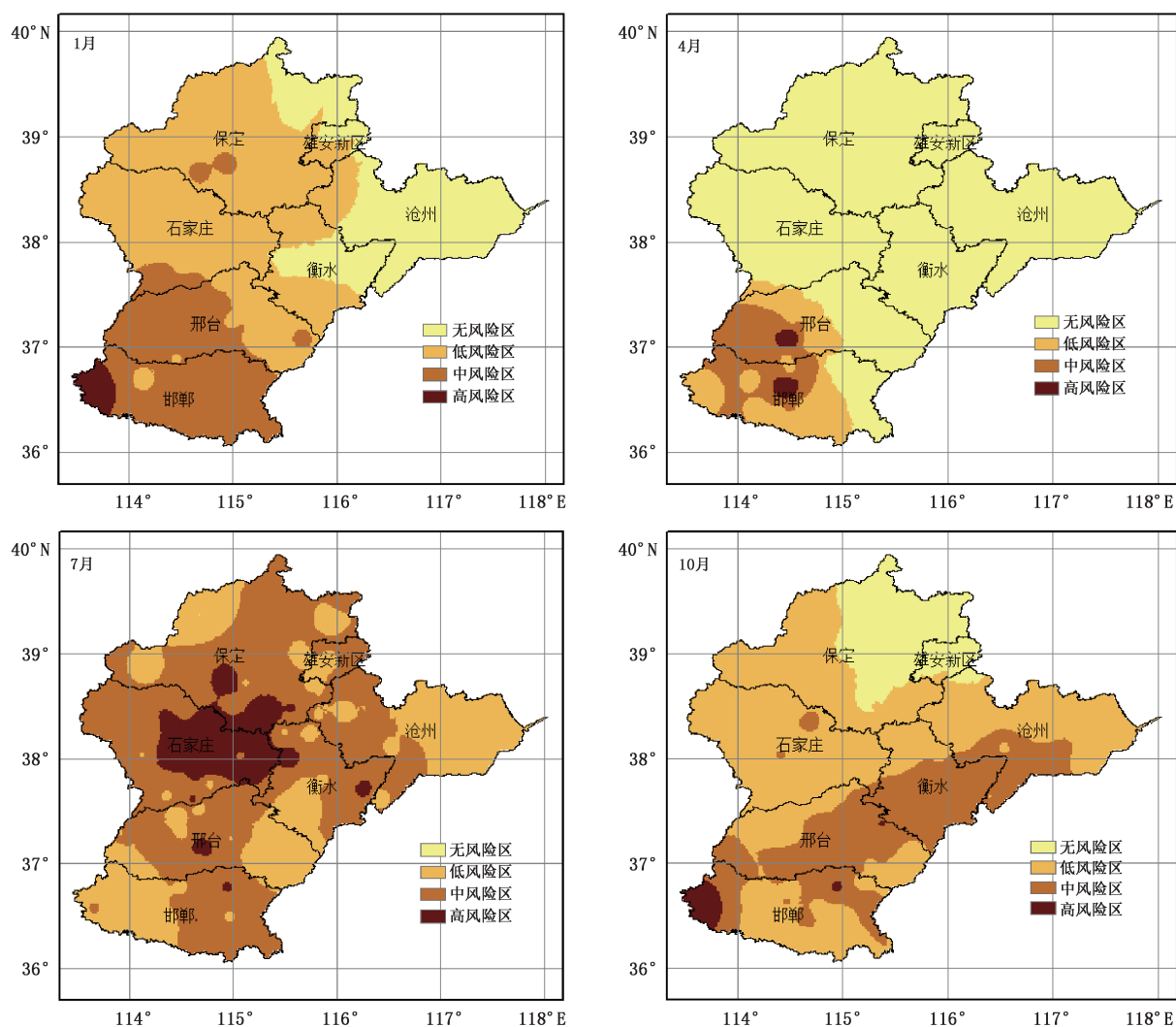


图5 河北南部典型月份风险区划分布

份均为0;20 m高度处各气象参数组合结果与15 m高度比较,与上述结果相同。

(3)高风险(风速在最小风速区间、气温在高温度区间)的气象参数组合出现概率在12个月份都很小;中风险和低风险的气象参数组合出现概率相对较高,8月最高,6、7月次之。

(4)参数组合气象综合风险的空间分布总体呈现为,沧州、保定和雄安新区综合风险比较低,石家庄、邢台、邯郸综合风险比较高,其中石家庄风险最高,这一结论与该区域气温高、风速小的气候分布规律是一致的。

综合以上分析表明,对于河北南部允许载流量的计算,在夏季(6、7和8月)可参考高温区间和最小风速区间组合,其他月份可参考其他的参数组

合计算;如果分区域计算,可适当提高石家庄、邢台、邯郸的计算标准。

参考文献

- [1] 卢珊,浩宇,王百朋,等.引入积温效应预测夏季西安市电力气象负荷[J].气象科技,2017,45(6):1090-1094.
- [2] 成丹,刘静,郭淳薇,等.基于积温效应的华中电网电力负荷预测[J].气象科技,2018,46(4):814-821.
- [3] 傅新姝,谈建国.基于滤波技术的上海日最大电力负荷气象预报模型[J].气象科技,2015,43(6):1209-1212.
- [4] Hosek J, Musilek P, Lozowski E, et al. Effect of time resolution of meteorological inputs on dynamic thermal rating calculations [J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2011,5(9):941-947.
- [5] Morgan V T. Rating of bare overhead conductor for continuous currents [J]. Proc IEE, 1967, 114(10): 1473-1482.

- [6] 黄新波,孙钦东,张冠军,等.输电线路实时增容技术的理论计算与应用研究[J].高电压技术,2008,34(6):1138-1143.
- [7] 王艳玲,严志杰,梁立凯,等.气象数据驱动的架空线路载流动态定值分析[J].电网技术,2018,42(1):315-321.
- [8] 张辉,韩学山,王艳玲.架空输电线路运行载流量分析[J].电网技术[J],2008,32(14):31-35.
- [9] 李宏宇,郑雄伟,贾伯岩,等.河北南电网架空导线载流量相关气象参数分析[J].气象科技,2019,47(4):705-712.
- [10] 张自银,马京津,雷杨娜.北京市夏季电力负荷逐日变率与气象因子关系[J].应用气象学报,2011,22(6):760-765.
- [11] 付桂琴,尤凤春,曹欣,等.积温效应在电力日峰谷负荷中的应用及检验[J].应用气象学报,2015,26(4):492-499.
- [12] 宋善允.河北省天气预报手册[M].北京,气象出版社,2017.
- [13] 卞韬,任国玉,张翠华,等.石家庄气象站记录的城市热岛效应及其趋势变化[J].南京信息工程大学学报,2012,35(5):402-408.
- [14] 任国玉,张雷,卞韬,等.城市化对石家庄站日气温变化的影响[J].地球物理学报,2015,58(2):398-410.
- [15] Bian T, Ren G Y, Zhang B X, et al. Urbanization effect on long-term trends of extreme temperature indices at Shijiazhuang station, North China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2015, 119(3-4): 407-418.
- [16] Ren G Y, Zhou Y Q. Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over mainland China, 1961 — 2008 [J]. Journal of Climate, 2014, 27(6): 2340-2360.

Combination Characteristics and Risk Analysis of Meteorological Parameters for Carrying Capacity Calculation of Overhead Line in a Power Grid

GU Guangqin^{1,2} LI Hongyu^{1,2} ZHENG Xiongwei³ JING Yuanyuan^{1,2} WANG Binglan⁴

(1 Key Laboratory of Meteorological and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021; 2 Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050031; 3 Electric Power Research Institute of Hebei Electric Power Co., Ltd., State Grid Corporation, Shijiazhuang 050031; 4 Beijing Jiutian Meteorological Technology Co., Ltd., Beijing 100081)

Abstract: According to the calculation demand of the carrying capacity of the overhead lines, this paper analyzes the monthly average, median, and quartile values, as well as the cut-off points of the abnormal values, by using the monthly extreme maximum temperature and the average wind speed at 14:00 of 94 meteorological stations in the southern Hebei power grid area from 1974 to 2018. Then the monthly high temperature analysis interval and the small wind speed analysis interval are determined and each high temperature analysis interval and the small wind speed analysis interval are grouped into meteorological parameter combinations. Based on the hourly temperature and wind speed data of 94 automatic stations in the southern Hebei power grid area from the station construction to 20 September in 2018, combined with the combination of meteorological parameters determined by the box plot method, the frequency of combination of various meteorological parameters and the meteorological risk of combination of parameters for the carrying capacity calculation of the southern Hebei power grid are analyzed month by month. The results show that the probability of combination of the maximum temperature and the minimum wind speed is very small, only 4, 1, 130 and 1 station in June, July, August and November. In general, the occurrence probability of combination of high-risk meteorological parameters is very small in 12 months, and the occurrence probability of combination of medium risk and low-risk meteorological parameters is relatively high in summer. The comprehensive meteorological risk of combination of meteorological parameters is different in space. The risks of Cangzhou, Baoding and the Xiong'an new district are relatively low, while the risks of the Taihang Mountains and the plain in front of the mountain are relatively high. This study is helpful to understand the risk of power grid operation under high-impact weather conditions.

Keywords: power grid; carrying capacity; parameter combination; probability; risk