

引用格式: 肖云清, 程瑶, 马少军, 等. 基于风险预警的银川市用电负荷气象服务指标 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(1): 157-165. XIAO Yunqing, CHENG Yao, MA Shaojun, et al. Meteorological service indicators of power consumption in Yinchuan City based on risk warning [J]. Southern energy construction, 2024, 11(1): 157-165. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.1.16.

基于风险预警的银川市用电负荷气象服务指标

肖云清^{1,2}, 程瑶^{1,2}, 马少军^{1,2,✉}, 任柏帆³, 赵腾^{1,2}

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏银川 750002;
2. 银川市气象局, 宁夏银川 750002;
3. 中国电信股份有限公司宁夏分公司, 宁夏银川 750002)

摘要: [目的]为保障电力供应的安全性、可靠性和经济性, 文章以银川市为例, 评估了各区域2014~2022年用电气象风险。[方法]基于自动气象站观测资料和用电负荷资料等, 筛选危险性指标、敏感性指标和易损性指标, 采用相关性分析、百分位法、归一化等方法, 建立了用电气象风险评估模型。[结果]用电负荷月变化结果表明: 用电负荷峰值出现在供暖期及过渡期(1月、3月、10~12月)和夏季(6~7月), 低谷出现在4月和9月, 进一步通过相关性分析发现, 气温越高, 用电负荷越大; 相关性分析及专家问卷调查结果表明: 用电灾害风险指标为高温强度、高温频率、日用电量、用电负荷、人口密度、小区用电设施, 其权重为: 0.5、0.5、0.98、<0.01、0.99、<0.01; 用电气象风险模型结果: 银川市用电气象风险高风险区和较高风险区主要在金凤区, 兴庆区主要处于中风险地区, 西夏区以较低风险和低风险为主。[结论]根据用电气象风险评估模型及用电部门的实际需求, 可为区域电力供应提供合理的电力调度和供给策略。

关键词: 银川供电; 气象风险; 用电气象风险模型; 供电策略; 电力负荷

中图分类号: TM7; P49

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)01-0157-09

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.1.16

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

Meteorological Service Indicators of Power Consumption in Yinchuan City Based on Risk Warning

XIAO Yunqing^{1,2}, CHENG Yao^{1,2}, MA Shaojun^{1,2,✉}, REN Baifan³, ZHAO Teng^{1,2}

(1. Key Laboratory for Monitoring, Warning, and Risk Management of Agricultural Meteorological Disasters in Dry Areas of the China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, Ningxia, China;
2. Yinchuan Meteorological Bureau, Yinchuan 750002, Ningxia, China;
3. China Telecom Ningxia Branch, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: [Introduction] To ensure the safety, reliability and economy of power supply, the paper evaluates the power consumption meteorological risk of Yinchuan City from 2014 to 2022. [Method] A power consumption meteorological risk assessment model was established by risk index, sensitivity index and vulnerability index, and the correlation analysis, percentile method, normalization and other methods based on meteorological data from automatic stations and electricity load data. [Result] The results show that the peak of electricity load appeared in heating period and transition period (January, March, October to December) and Summer (June to July), and the lower values in April and September. The results of correlation analysis show that the higher temperature, the greater the electrical load. High temperature intensity, high temperature frequency, daily electricity consumption, power supply load, population density and community power supply facilities are selected as indicators of power consumption by the correlation analysis and the expert questionnaire survey, and the weights are 0.5, 0.5, 0.98, <0.01, 0.99, <0.01. The results of the power consumption meteorological risk model show that the high and higher risk areas of power consumption meteorology in Yinchuan City are mainly located in Jinfeng

收稿日期: 2023-08-25 修回日期: 2023-09-19

基金项目: 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室指令性基金资助项目(CAMP-201918)

District, Xingqing District is mainly located in medium risk areas, and Xixia District is mainly characterized by lower and lower risks. [Conclusion] The research results can provide reasonable power dispatch and supply strategies for regional power supply based on the meteorological risk assessment model for power supply and the actual needs of the power supply department.

Key words: Yinchuan power supply; meteorological risk; meteorological risk model for power supply; power supply strategy; power consumption

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

电力能源是银川市用量最高的清洁能源之一。随着经济的飞速发展,城乡居民生活水平的提高,用电量节节攀升,而气象条件在用电安全方面的影响也越来越大^[1],特别是近年来我国因雨雪冰冻、高温干旱、雷电、雾霾以及台风等灾害性天气对用电安全造成的损失约占 70%^[2]。电力负荷分析及用电气象风险区划是气象为电力服务的技术准备,关系到电力工业的规划和建设。因此,对于银川市用电气象风险的研究具有重要的现实意义。

目前,国内外学者已对用电负荷与气象因素之间的关系及其预测方面开展了相关研究。徐亮亮等^[3]、杜彩月等^[4]、陈潇潇等^[5]均发现城区温度是影响用电量的主要气象因子,特别是夏季用电量对气温变化的反应更加敏感,而吕锬等^[6]发现除了温度,相对湿度和日照时数对用电量的影响也较为显著,胡江林等^[7]更是指出在 25~28℃ 时气温对用电负荷变化最敏感。吕锬等^[6]发现日最大用电负荷出现在上午,而徐亮亮等^[3]和卢山等^[8]发现日最大用电负荷出现在 11 时和 20 时左右。任文义等^[9]发现与城市不同,农村地区降水是影响用电量的主要因子。在用电负荷预测方面,郭崇兰等^[10]和赵娜等^[11]分别采用灰色关联度和温湿指数来研究用电量的变化情况;陈海燕等^[12]采用以气温为基础的降温负荷评估方程来预测用电情况,陈正洪等^[13]建立了最大用电负荷气象预测模型,李艳等^[14]基于逐步回归和 SVR 方法建立了日最大电力负荷预测模型,李丹等^[15]基于分时分区精细化气象数据,研发一套地区电网短期负荷智能预测系统,汪付华等^[16]运用相关分析、多元回归分析和曲线拟合等方法,建立了基于经济指标的趋势负荷预测模型,薛阳等^[17]更是提出了一种新型热气候指数-最大信息系数 (UTCI-MIC) 与振幅压缩灰

色模型,其准确率可达 96.91%。田心如等^[18]基于机器学习随机森林算法对用电和气象因素之间的关系拟合较好,武辉芹等^[19]发现广义相加模型在日最大电力负荷的预测上优于逐步回归和多元线性回归。吴旭等^[20]利用气象指标与气象负荷建立了疫情期间南京市负荷预测模型。

以上研究发现,各地气象因子与用电量或用电负荷均有相关关系,但各地的气候特点不同,用电方式不同,相关关系各有其特点。银川市用电负荷逐年增加,但有关气象因子对用电负荷影响的研究较少,故本文基于风险预警的方法对银川用电负荷气象服务指标进行分析研究和界定,通过分析银川市用电负荷与气象因子的相关关系,找到银川市用电负荷气象风险的关键因子,分析各致灾因子对电力指标的影响,以风险预警指标为依据,对银川市用电负荷气象服务指标进行研究分析,以期为电力部门提供更精细化、专业化、基于气象风险的服务产品,为银川市电力调度、运行安排等提供科学的依据。

1 资料与方法

1.1 资料说明

本文所用资料:(1)气象数据:银川市区域内 2014~2020 年 1 个国家气象观测站和 22 个具有代表性的区域气象自动站经过地面数据质量控制标准规范修订后的气象数据(降水、气温、极大风速、天气现象等),数据来源于宁夏气象综合数据库管理系统;(2)基础地理信息资料:1:25 万县界图来自国家基础地理信息中心。地形数据来源于美国国家航空航天局(NASA)发布的 30 m 和 90 m 空间分辨率的 NAS-0A ASTER GDEM2 数据集;(3)灾情资料:银川市 2014~2020 年各灾种的灾情资料,来源于银川市气象局、银川市供电局、银川市市政管理局等灾情统计;(4)用电负荷资料,来源于银川市供电局。

1.2 技术方法

1.2.1 灾害风险模型

根据学者研究,由气象灾害发生的危险性、灾害发生区域的敏感性、灾害发生区域的易损性、灾害发生区域的防灾抗灾能力4个因子构成气象灾害风险模型。气象灾害风险指数定义为^[21]:

$$FDRI = V_e \cdot W_e + V_h \cdot W_h + V_s \cdot W_s + V_r \cdot W_r \quad (1)$$

其中FDRI为气象灾害风险指数,其数值越大,发生灾害风险程度越高; V_e 、 V_h 、 V_s 、 V_r 分别为敏感性、危险性、易损性和防灾抗灾能力; W_e 、 W_h 、 W_s 、 W_r 分别为4个评价因子的权重。

1.2.2 层次分析法

层次分析法(AHP)将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性及定量分析。按总目标、各层次目标、评估指标顺序分解为不同层次结构,每个层次结构中都有若干影响因素,根据划分的评估指标,计算每个影响因素的风险隶属度,进一步构建用于计算各因素权重,最后再加权计算各元素对总目标的最终权重。经归一化后便得到同一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的权值。完成权重向量的计算后,必须进行一致性检验。一致性指标为^[21]:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

当 $CI = 0$,有完全的一致性; CI 接近于0,有满意的一致性; CI 越大,不一致性越严重。

1.2.3 加权评价法

根据各指标的重要性,赋予其不同的权重,以指标乘以权重后相加,获得评价得分。^[21]

$$Y = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (3)$$

式中:

W_i ——不同评价因子的权重;

X_i ——不同评价因子;

Y ——评价指数。

1.2.4 百分位法

如果将一组数据从小到大排序,并计算相应的累计百分位,则某一百分位所对应数据的值就称为这一百分位的百分位数。可表示为:一组 n 个观测值按数值大小排列。如,处于 $p\%$ 位置的值称第 p 百分位数。计算步骤为^[21]:

1)以递增顺序排列原始数据(从小到大排列)。

2)计算指数 $i = n \cdot p\%$ 。

3)若 i 不是整数,将 i 向上取整。大于 i 的毗邻整数即第 p 百分位数的位置;若 i 是整数,则第 p 百分位数是第 i 项与第 $(i+1)$ 项数据的平均值。

1.2.5 归一化计算方法

为消除各影响指标因子间的量纲及数量级差异,对每个评价因子进行归一化处理^[21],即:

$$y = \frac{x - \min x}{\max x - \min x} \quad (4)$$

式中:

y ——指标因子的归一化值;

x ——指标因子的原值;

$\max x$ ——指标因子的最大值;

$\min x$ ——指标因子的最小值。

1.2.6 GIS空间分析方法

本项目使用ArcGIS空间分析模块中的内插分析、栅格计算、掩膜提取、自然断点分级等方法完成银川市用电灾害风险评估计算及风险区划图绘制。其中内插分析采用反距离加权插值法(IDW)进行^[21]。

1.2.7 相关系数分析法

相关分析是统计两个或两个以上的随机变量间的相关程度的分析方法。本文采用Jarque-Bera检验^[22](Jarque and Bera,1987)方法,对统计数据是否符合正态分布的偏度和峰度的拟合优度进行检验,结果发现仅气温三要素服从正态分布,故本文采用斯皮尔曼相关系数(Spearman)^[23]来确定气象因子对用电负荷的影响程度。

1.2.8 线性回归方程建立

一元回归方程如下^[21]:

$$y = k \cdot x + b \quad (5)$$

式中:

k ——斜率;

b ——截距。

2 电力负荷与气象要素的相关性分析

分析了电力负荷的变化特征,电力负荷与气温、湿度、蒸发量、风速等相关关系,发现温度为影响银川用电的主要气象因子,特别是夏季用电负荷对气温变化的相关性较为明显。

2.1 电力负荷的变化特征

1) 用电负荷年变化

影响用电量长期变化的因素很多,主要贡献有 3 个方面:社会经济的发展(经济负荷)、环境因素项(主要为气象要素)和随机项^[7]。近年来,银川市经济增长速度加快,如图 1 所示,2017 年 1 月 1 日至 2020 年 7 月 20 日,银川市的日平均用电负荷随时间的变化,呈增长趋势,平均用电负荷每日增加 147.1 kW。

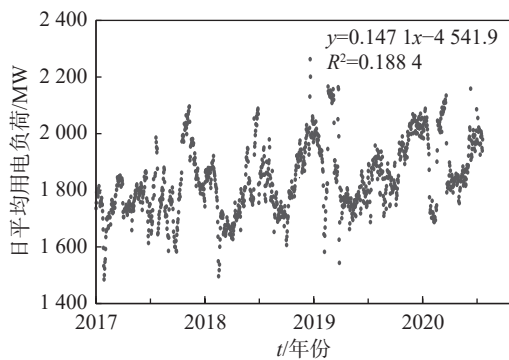


图 1 2017 年 1 月 1 日至 2020 年 7 月 20 日银川市日平均用电负荷

Fig. 1 Daily average electricity load in Yinchuan City from January 1, 2017 to July 20, 2020

2) 用电负荷月变化

如图 2 所示,通过分析银川市平均用电负荷、最大用电负荷和最小用电负荷的月变化,可以看出用电负荷在全年波动变化总体有 3 次达到峰值,其中高峰出现在 11~12 月,次峰值出现在 1 月、3 月、6~7 月和 10 月。相关研究表明,银川市近 60 a 来

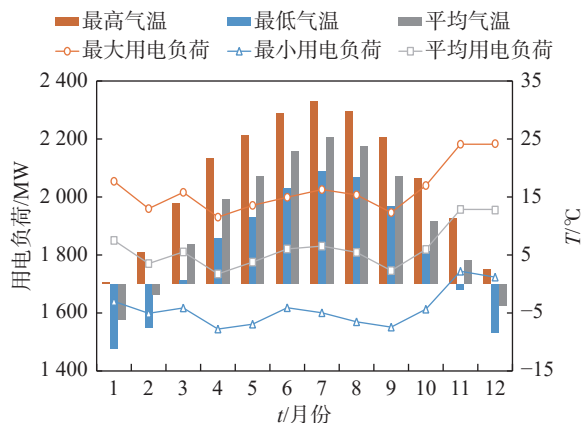


图 2 2017~2019 年银川市最大、最小和平均用电负荷月变化

Fig. 2 Monthly changes in maximum, minimum and average electricity loads in Yinchuan City from 2017 to 2019

实际供暖期基本上统一从每年 11 月 1 日开始,至次年 3 月 31 日结束^[24],而 1 月、3 月、11~12 月均处于供暖期,10 月处于供暖期的过渡月,这些月份用电负荷的增加可能与居民用电取暖有关;6~7 月为夏季月,此时银川市最高气温在 29~30℃,用电负荷的增加可能与居民使用空调降温有关。用电低谷出现在 4 月和 9 月,是春夏季和夏秋季过渡月,气温适宜,不需要空调降温或取暖,用电负荷较低(与汪付华^[16]、程潇潇^[5]和田心如等^[18]研究结果基本一致)。

2.2 电力负荷与气温的相关性分析

为深入研究气象因子对用电负荷的影响,计算 2017~2019 年最大、最小和平均用电负荷与不同气象因子(气温、湿度、蒸发量、风速等)之间的 Spearman 相关系数,并选取相关性较好的因子(最高气温、最低气温和平均气温)进一步分析。如图 3 所示,平均用电负荷与气温要素相关性最好的月份在 7~9 月,呈显著的正相关,相关系数在大部分年月大于 0.5。其中,平均用电负荷与最高气温、平均气温的相关性在 7~8 月较好,甚至在 2017 年 8 月相关系数大于 0.9,与最低气温的相关性在 7~9 月较好。而在气温较低的月份:1 月、3 月、10~12 月,气温与平均用电负荷呈负相关关系,但相关性并不显著,表明供暖期气温对于用电负荷的影响相对较小。进一步分析 7~9 月的最大、最小和平均用电负荷与气温的相关性发现,最大、最小用电负荷与不同气温因子的相关性与平均用电负荷类似,7~8 月总体上与气温的相关性最好,如表 1 所示,呈显著的正相关。

由此可知,气温与用电负荷在 7~9 月有着较好的正相关关系,且气温越高,用电负荷也越大,气温与用电负荷的相关性也越好。比如在 7~8 月,气温总体偏高,月均最高气温在 30~31℃,用电负荷也明显偏大,最大用电负荷达到了 2~2.03 MW。故本文选择高温天气(最高气温 ≥ 35 ℃)为用电气象风险因子。另外,最高气温越高时,高温出现频率也会越高,高温强度越强,在选取危险性指标时,重点考虑高温强度和频率做为二级风险因子。

3 用电气象灾害风险模型的确定

3.1 气象灾害风险指数分析

通过相关性分析等方法分析出气象风险因子为

表 1 2017~2019 年 7~9 月用电负荷与气温相关系数分布

Tab. 1 Distribution of correlation coefficients between electricity load and temperature from July to September in 2017 to 2019

年份	用电负荷	气温	7月	8月	9月
2017	最大用电负荷	最高气温	0.36	0.92**	0.18
		最低气温	0.64**	0.64**	0.22
		平均气温	0.48**	0.91**	0.39*
	最小用电负荷	最高气温	0.13	0.75**	0.11
		最低气温	0.60**	0.76**	0.18
		平均气温	0.27	0.83**	0.39*
平均用电负荷	最高气温	0.31	0.92**	0.11	
	最低气温	0.67*	0.71**	0.15	
	平均气温	0.45*	0.93**	0.33	
2018	最大用电负荷	最高气温	0.63**	0.40*	0.46*
		最低气温	0.34	0.43*	0.35
		平均气温	0.65**	0.48**	0.43*
	最小用电负荷	最高气温	0.49**	0.11	0.32
		最低气温	0.44*	0.45*	0.21
		平均气温	0.55**	0.14	0.29
平均用电负荷	最高气温	0.71**	0.35	0.49**	
	最低气温	0.45*	0.61**	0.47**	
	平均气温	0.73**	0.45*	0.56**	
2019	最大用电负荷	最高气温	0.73**	0.40*	0.29
		最低气温	0.40*	0.30	0.56**
		平均气温	0.82**	0.33	0.63**
	最小用电负荷	最高气温	0.21	0.25	-0.01
		最低气温	0.51**	0.24	0.76**
		平均气温	0.41*	0.37*	0.36
平均用电负荷	最高气温	0.58**	0.32	0.23	
	最低气温	0.52**	0.40*	0.78**	
	平均气温	0.74**	0.32	0.57**	

注: *表示在0.05水平(双侧)上显著相关; **表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温天气, 将日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 称为一次高温灾害。通过收集整理, 筛选出银川市高温灾害天气过程 2014~2019 年银川市高温灾害天气共计 16 次, 2020 年共计 4 次。选取国家气象观测站和区域自动站共 22 站, 用于分析计算银川城区高温频率和高温强度。其他风险因子如: 用电气象风险指数的危险性、脆弱性和易损性指标, 是通过数据统计分析结合实地调研走访、调查问卷、专家打分、网络查询等方法确定。

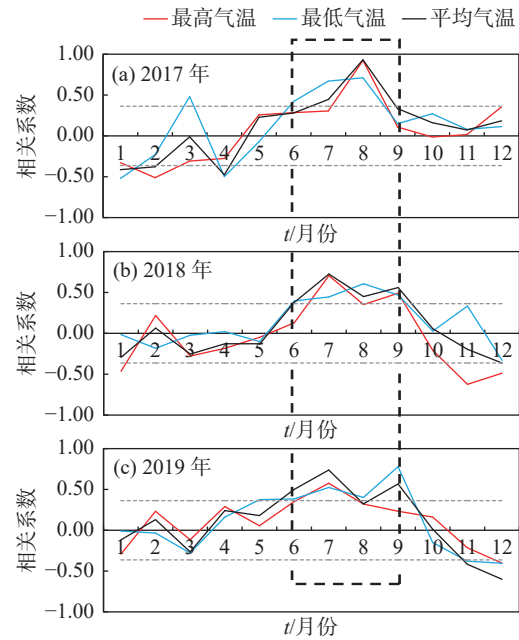


图 3 2017~2019 年平均用电负荷与气温的 Spearman 相关系数

Fig. 3 Monthly average electricity load and Spearman correlation from 2017 to 2019

3.2 危险性指标

通过相关性分析及专家问卷调查, 确定用电气象风险的危险性一级指标是日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 危险性二级指标为高温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 强度、高温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 频率。

3.3 敏感性指标

通过调研走访、调查问卷、专家打分、网络查询等确定用电风险敏感性的一级指标为生活用电、工业用电, 二级指标为日用电量、用电负荷。

3.4 易损性指标

通过实地调研、调查问卷、专家打分、网络查询等, 确定了用电气象风险易损性一级指标为小区概况, 包括小区的人口、绿化面积、新旧等情况, 易损性的二级指标为人口密度、小区用电设施等情况。用电气象风险指标如表 2 所示。

3.5 气象灾害风险指标权重

根据表 2 中各指标的重要性, 利用专家问卷打分、调查、网络查询等方法, 赋予表 2 中各指标不同的权重, 以指标乘以权重后相加, 获得评价得分。各因子权重的确定: 设计了高温对用电的调查问卷模型(问卷内容如图 4 所示), 根据相关行业 100 名专家问卷调查, 每份问卷 5 页内容, 通过相关专家选择

表 2 用电灾害风险指标

Tab. 2 Risk indicators for power supply disasters

指标体系	一级指标	二级指标	资料来源
危险性	气温	高温强度	气象资料
		高温频率	
敏感性	生活用电	日用电量	银川市用电局
	工业用电	用电负荷	
易损性	小区概况	人口密度	用电、市政部门及银川年鉴
		小区用电设施	

回答问卷内容,再根据问卷的结果和统计,确定了主要影响因子及权重,其中权重小于 0.01 时,按 0 计算,权重为 0 的因子省略,得到用电灾害风险各指标权重,如表 3 所示。

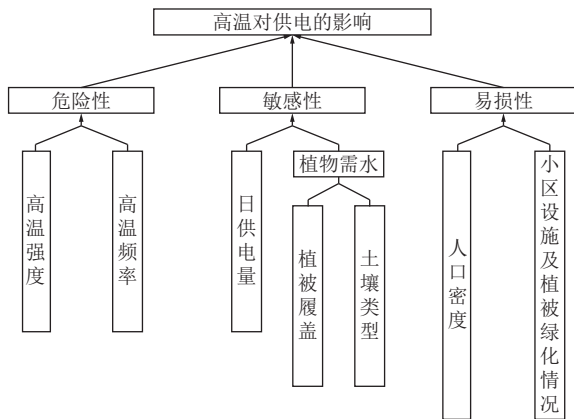


图 4 高温对用电的影响调查问卷模型

Fig. 4 Questionnaire model on the Impact of high temperature on power supply

表 3 用电灾害风险指标权重

Tab. 3 Weighting of power supply disaster risk indicators

指标体系	指标	各指标权重
危险性	高温强度	0.5
	高温频率	0.5
敏感性	日用电量	0.98
易损性	人口密度	0.99

3.6 用电气象灾害风险评价模型的建立

为消除各影响指标因子间的量纲及数量级差异,对每个评价因子进行归一化处理。利用银川城区用电致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性(易损性)等因子构建银川市用电气象风险评估模型,利用层次分析法结合专家打分情况,得出了风险

评估模型:

$$F = aI_1 + bI_4 + cI_3 \quad (6)$$

其中 F 为用电气象灾害风险指数,其数值越大,发生灾害风险程度越高; I_1 、 I_4 、 I_3 分别为致灾因子的危险性、敏感性、易损性, a 、 b 、 c 分别为敏感性、危险性、易损性评价因子的权重;危险性因子为高温强度和高温频率两项,因此评价模型可写为:

$$F = (a1I_{11} + a2I_{12}) + bI_4 + cI_3 \quad (7)$$

用电气象灾害风险评价模型如下式所示:

$$F = (0.2910 \times I_{11} + 0.0856 \times I_{12}) \times + 0.4052 \times I_4 + 0.2181 \times I_3 \quad (8)$$

式中:

F ——用电气象风险指数;

I_{11} ——高温强度;

I_{12} ——高温频率;

I_4 ——日供水量;

I_3 ——人口密度。

按照百分位法确定银川城区用电气象风险区划指数等级划分标准。计算临界百分位数(98%、95%、90%、80%、60%),根据不同百分位数临界值将用电气象风险致灾因子的危险性、敏感性、易损性划分为 5 个等级,如表 4 所示,按百分位数,分别计算银川城区用电气象风险区划指数等级,如表 5 所示。

表 4 用电气象风险致灾因子指数等级

Tab. 4 Index level of meteorological risk factors causing disasters in power supply

等级	五级	四级	三级	二级	一级
百分位数/%	60~80	80~90	90~95	95~98	≥98

利用 GIS 中的空间分析方法,按银川城区用电气象风险区划指数等级区间,将致灾因子危险性、敏感性、易损性图层按照公式(11)进行图层计算,并根据表 5 所示风险指数等级区间划分标准,得到银川城区用电气象灾害风险区划图和风险级别,如图 5 所示。

由图 5 可知,银川市用电气象风险区划的高风险区和较高风险区主要在金凤区,兴庆区主要处于中风险地区,西夏区以较低风险和低风险为主。

根据用电风险区划图,划分了风险级别、风险预警颜色、风险指数区间,并根据风险级别的高低提出相应的建议及措施,如表 6 所示。

表5 银川城区用电气象风险区划指数等级标准

Tab. 5 Index level standard for meteorological risk zoning of power supply in Yinchuan urban area

指标	低	较低	中	较高	高
危险性	0.003~0.075	0.076~0.123	0.124~0.203	0.204~0.290	0.291~0.376
敏感性	0.001~0.021	0.022~0.031	0.032~0.507	0.508~0.660	0.661~1.000
易损性	0.001~0.153	0.154~0.391	0.392~0.333	0.334~0.667	0.668~1.000
区划指数	0.221~0.318	0.319~0.402	0.403~0.511	0.512~0.608	0.609~0.708

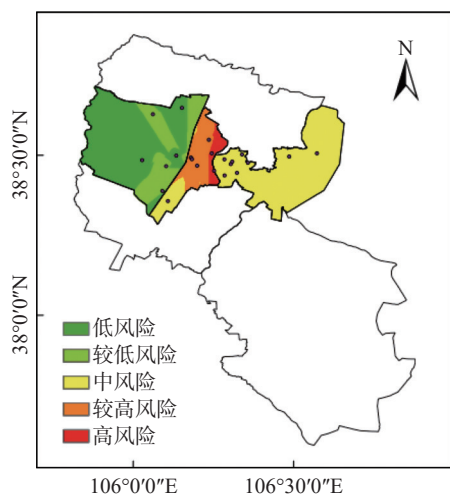


图5 用电风险区划图

Fig. 5 Power supply risk zoning map

表6 用电气象风险产品指标

Tab. 6 Meteorological risk product indicators for power supply

风险级别及预警颜色	风险指数区间	建议采取的措施
0级	0.000 ~ 0.220	无风险,正常用电,无需采取措施。
4级 蓝色	0.221 ~ 0.318	轻度影响: $35\text{ }^{\circ}\text{C} \geq \text{最高气温} \geq 34\text{ }^{\circ}\text{C}$, 气温较高,用电四级风险,需采取合理的电力调度和供给策略。
3级 黄色	0.319 ~ 0.402	中度影响: $37\text{ }^{\circ}\text{C} \geq \text{最高气温} \geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用电三级风险,需采取合理的电力调度和供给策略,需满负荷运行状态。
2级 橙色	0.403 ~ 0.511	重度影响: $40\text{ }^{\circ}\text{C} \geq \text{最高气温} \geq 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用电二级风险,需采取合理的电力调度和供给策略,需满负荷运行状态,可能造成部分用电紧张,请调节生活和工业及农业用电,错开用电高峰,以防跳闸或线路火灾。
1级 红色	0.512 ~ 0.708	严重影响: 最高气温 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用电一级风险,需强制采取合理的电力调度和供给策略,分时段满负荷运行,可能造成部分用电紧张,请调节生活和工业及农业用电,错开用电高峰,以防跳闸或线路火灾。

4 结论

1) 用电负荷峰值出现在供暖期及过渡期(1月、3月、10~12月)和夏季(6~7月),低谷出现在4月和9月。

2) 高温与用电负荷有很好的正相关关系,7~9月用电负荷与气温相关性最好,为显著的正相关关系。日平均气温、最高气温、最低气温是影响用电负荷的主要的气象因子,且气温越高,气温与用电负荷相关性越好。

3) 通过实地调研、调查问卷、专家打分、网络查询等方法,确定银川用电气象风险指数的危险性指标为高温($\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$)强度和高温频率,脆弱性指标主要为日用电量,易损性指标主要为人口密度。

4) 银川市用电气象风险区划中,高风险区和较高风险区主要在金凤区,而在兴庆区主要处于中风险地区,西夏区主要以较低风险和低风险为主。

5) 依照用电气象风险产品指标,并结合用电部门的需求,经过实际调研试用,最后确定用电需采取的合理电力调度和供给策略,用电系统的绝缘、低压配电装置、低压电器检查等方面给出了用电气象风险预警(共4个级别及颜色)防御指南。

参考文献:

- [1] 周海松,陈佩琳,张建伟. 格点气象数值预报在电网防灾减灾中的应用[J]. 山西电力, 2013(2): 1-3.
ZHOU H S, CHEN P L, ZHANG J W. The application of grid-based numerical weather prediction in the disaster prevention and mitigation of the electric power grid [J]. Shanxi electric power, 2013(2): 1-3.
- [2] 任双赞,李力,蒲路,等. 气象灾害信息在输电线路运行维护中的应用分析[J]. 南方能源建设, 2017, 4(3): 141-144,118. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.026.
REN S Z, LI L, PU L, et al. Application and analysis of meteorological disaster information on the operation and maintenance of transmission line [J]. Southern energy construction, 2017, 4(3): 141-144,118. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.026.
- [3] 徐亮亮,徐艳琴,温建伟,等. 基于Apriori算法的城乡居民用

- 电负荷与气象因子关系分析 [J]. *内蒙古气象*, 2019(2): 39-42. DOI: [10.14174/j.cnki.nmqx.2019.02.009](https://doi.org/10.14174/j.cnki.nmqx.2019.02.009).
- XU L L, XU Y Q, WEN J W, et al. Analysis of relationship between urban and rural residents' electricity load and meteorological factors based on Apriori algorithm [J]. *Meteorology journal of Inner Mongolia*, 2019(2): 39-42. DOI: [10.14174/j.cnki.nmqx.2019.02.009](https://doi.org/10.14174/j.cnki.nmqx.2019.02.009).
- [4] 杜彩月, 张国平, 刘玉巧, 等. 许昌市供电量与气象要素相关分析 [J]. *气象与环境科学*, 2007, 30(4): 85-87. DOI: [10.3969/j.issn.1673-7148.2007.04.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-7148.2007.04.022).
- DU C Y, ZHANG G P, LIU Y Q, et al. Correlation analysis between power supply and meteorological element in Xuchang [J]. *Meteorological and environmental sciences*, 2007, 30(4): 85-87. DOI: [10.3969/j.issn.1673-7148.2007.04.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-7148.2007.04.022).
- [5] 陈潇潇, 夏健. 无锡市用电量最高负荷与气象条件的关系 [C]//中国气象学会. 第 27 届中国气象学会年会——城市气象, 让生活更美好, 北京, 2010-10-21. 北京: 第 27 届中国气象学会年会论文集, 2011: 1-5.
- CHEN X X, XIA J. The relationship between the maximum load of power supply and meteorological conditions in Wuxi [C]// Chinese Meteorological Society. Proceedings of the 27th Annual Conference of the Chinese Meteorological Society: Urban Meteorology, Make Life Better, Beijing, 2010-10-21. Beijing: Proceedings of the 27th Annual Conference of the Chinese Meteorological Society, 2010: 1-5.
- [6] 吕锟, 姜帅, 沈瑾, 等. 惠州城区供电量与气象要素的关系及其预测模型 [J]. *广东气象*, 2019, 41(4): 51-53, 57. DOI: [10.3969/j.issn.1007-6190.2019.04.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-6190.2019.04.013).
- LÜ K, JIANG S, SHEN J, et al. The relationship between power supply and meteorological elements in Huizhou urban area and its prediction model [J]. *Guangdong meteorology*, 2019, 41(4): 51-53, 57. DOI: [10.3969/j.issn.1007-6190.2019.04.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-6190.2019.04.013).
- [7] 胡江林, 陈正洪, 洪斌, 等. 华中电网日负荷与气象因子的关系 [J]. *气象*, 2002, 28(3): 14-18, 37. DOI: [10.3969/j.issn.1000-0526.2002.03.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0526.2002.03.003).
- HU J L, CHEN Z H, HONG B, et al. A relationship between daily electric loads and meteorological elements in central China [J]. *Meteorological monthly*, 2002, 28(3): 14-18, 37. DOI: [10.3969/j.issn.1000-0526.2002.03.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0526.2002.03.003).
- [8] 卢山, 商泽浩, 罗森, 等. 固始县夏季用电负荷对气象因子的响应及预测 [J]. *河南科技*, 2021, 40(13): 125-127. DOI: [10.3969/j.issn.1003-5168.2021.13.048](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-5168.2021.13.048).
- LU S, SHANG Z H, LUO S, et al. Characteristics and forecast of electricity load in Summer in Gushi county [J]. *Henan science and technology*, 2021, 40(13): 125-127. DOI: [10.3969/j.issn.1003-5168.2021.13.048](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-5168.2021.13.048).
- [9] 任文义, 陈天锡, 袁春风. 气象条件对供电量的影响 [J]. *河南气象*, 1996(3): 34. DOI: [10.16765/j.cnki.1673-7148.1996.03.029](https://doi.org/10.16765/j.cnki.1673-7148.1996.03.029).
- REN W Y, CHEN T X, YUAN C F. The influence of meteorological conditions on the amount of power supply [J]. *Meteorology journal of Henan*, 1996(3): 34. DOI: [10.16765/j.cnki.1673-7148.1996.03.029](https://doi.org/10.16765/j.cnki.1673-7148.1996.03.029).
- [10] 郭崇兰, 徐晓霞, 现在武. 杭州市气象因子与气象电量的灰色关联分析 [C]//中国优选法统筹法与经济数学研究会. 第 25 届全国灰色系统学术会议, 北京, 2014. 北京: 第 25 届全国灰色系统学术会议论文集, 2014: 182-189.
- GUO C L, XU X X, GONG Z W. Grey correlation analysis between meteorological factors and meteorological electricity in Hangzhou [C]// China Association for Optimal Selection, Unified Research and Economic Mathematics. The 25th National Conference on Grey Systems, Beijing, 2014. Beijing: Proceedings of the 25th National Conference on Grey Systems, 2014: 182-189.
- [11] 赵娜, 石玉恒, 李乃杰, 等. 温湿变化对北京城区气象敏感电力负荷的影响分析 [J]. *中国电力*, 2017, 50(2): 175-180. DOI: [10.11930/j.issn.1004-9649.2017.02.175.06](https://doi.org/10.11930/j.issn.1004-9649.2017.02.175.06).
- ZHAO N, SHI Y H, LI N J, et al. The relationship of temperature humidity index and meteorology sensitive power load in Beijing [J]. *Electric power*, 2017, 50(2): 175-180. DOI: [10.11930/j.issn.1004-9649.2017.02.175.06](https://doi.org/10.11930/j.issn.1004-9649.2017.02.175.06).
- [12] 陈海燕, 周剑波, 骆月珍, 等. 浙江盛夏降温用电负荷评估模型研究 [J]. *气象科技*, 2006, 34(6): 758-762. DOI: [10.3969/j.issn.1671-6345.2006.06.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-6345.2006.06.023).
- CHEN H Y, ZHOU J B, LUO Y Z, et al. Evaluation model of electricity loads in midsummer in Zhejiang province [J]. *Meteorological science and technology*, 2006, 34(6): 758-762. DOI: [10.3969/j.issn.1671-6345.2006.06.023](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-6345.2006.06.023).
- [13] 陈正洪, 魏静. 武汉市供电量及其最大负荷的气象预报方法 [J]. *湖北气象*, 2000(3): 25-28. DOI: [10.3969/j.issn.1004-9045.2000.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2000.03.010).
- CHEN Z H, WEI J. Meteorological forecasting method of Wuhan's power supply and its maximum load [J]. *Meteorology journal of Hubei*, 2000(3): 25-28. DOI: [10.3969/j.issn.1004-9045.2000.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9045.2000.03.010).
- [14] 李艳, 徐卫立, 裴顺强, 等. 基于逐步回归和 SVR 方法的上海夏季日最大电力负荷的模拟研究 [J]. *气象与环境科学*, 2021, 44(4): 1-7. DOI: [10.16765/j.cnki.1673-7148.2021.04.001](https://doi.org/10.16765/j.cnki.1673-7148.2021.04.001).
- LI Y, XU W L, PEI S Q, et al. Simulation study on the summer daily maximum electric load in shanghai based on stepwise regression analysis and SVR method [J]. *Meteorological and environmental sciences*, 2021, 44(4): 1-7. DOI: [10.16765/j.cnki.1673-7148.2021.04.001](https://doi.org/10.16765/j.cnki.1673-7148.2021.04.001).
- [15] 李丹, 张远航, 李黄强, 等. 基于精准气象数据的地区电网短期负荷智能预测系统设计 [J]. *中国电力*, 2022, 55(7): 128-133. DOI: [10.11930/j.issn.1004-9649.202108026](https://doi.org/10.11930/j.issn.1004-9649.202108026).
- LI D, ZHANG Y H, LI H Q, et al. Design of a short-term load intelligent forecasting system for regional power grid based on accurate weather data [J]. *Electric power*, 2022, 55(7): 128-133. DOI: [10.11930/j.issn.1004-9649.202108026](https://doi.org/10.11930/j.issn.1004-9649.202108026).
- [16] 汪付华, 周后福, 戴金源, 等. 基于经济气象因素的月用电负荷预测模型研究 [J]. *电力需求侧管理*, 2020, 22(5): 78-82. DOI: [10.3969/j.issn.1009-1831.2020.05.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-1831.2020.05.015).
- WANG F H, ZHOU H F, DAI J Y, et al. Study on the forecasting model of monthly power load based on economic and meteorological factors [J]. *Power demand side management*, 2020, 22(5): 78-82. DOI: [10.3969/j.issn.1009-1831.2020.05.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-1831.2020.05.015).
- [17] 薛阳, 张宁, 吴海东, 等. 基于 UTCI-MIC 与振幅压缩灰色模型的用户侧微电网短期负荷预测方法 [J]. *电网技术*, 2020, 44(2): 556-563. DOI: [10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1870](https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1870).
- XUE Y, ZHANG N, WU H D, et al. Short-term load forecasting method for user side microgrid based on UTCI-MIC and amplitude compression grey model [J]. *Power system technology*, 2020, 44(2): 556-563. DOI: [10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1870](https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1870).
- [18] 田心如, 蔡凝昊, 张志薇. 基于气象因子及机器学习回归算法

的夏季空调负荷预测 [J]. *气象科学*, 2019, 39(4): 548-555. DOI: 10.3969/2019jms.0018.

TIAN X R, CAI N H, ZHANG Z W. Summer air-conditioning load forecasting in Nanjing based on meteorological factors and machine learning regression algorithm [J]. *Journal of the meteorological sciences*, 2019, 39(4): 548-555. DOI: 10.3969/2019jms.0018.

- [19] 武辉芹, 杨琳哈, 张中杰. 基于3种模型的石家庄日最大电力负荷变幅预报效果分析 [J]. *干旱气象*, 2021, 39(4): 709-715. DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2021)-04-0709.

WU H Q, YANG L H, ZHANG Z J. Analysis on forecast effect of daily maximum power load variation in Shijiazhuang based on three models [J]. *Journal of arid meteorology*, 2021, 39(4): 709-715. DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2021)-04-0709.

- [20] 吴旭, 王正风, 李有亮, 等. 基于气象-负荷相关性的疫情期间用电负荷及复产负荷分析 [J]. *电器与能效管理技术*, 2021(1): 16-21. DOI: 10.16628/j.cnki.2095-8188.2021.01.003.

WU X, WANG Z F, LI Y L, et al. Analysis of power load and resumed load during epidemic period based on meteorological-load correlation [J]. *Electrical & energy management technology*, 2021(1): 16-21. DOI: 10.16628/j.cnki.2095-8188.2021.01.003.

- [21] 翟颖佳, 杨苑媛, 张建荣, 等. 银川市主要旅游景区大风灾害风险区划 [J]. *农业灾害研究*, 2022, 12(11): 138-140. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3305.2022.11.045.

ZHAI Y J, YANG Y Y, ZHANG J R, et al. Wind disaster risk zoning of main tourist attractions in Yinchuan [J]. *Journal of agricultural catastrophology*, 2022, 12(11): 138-140. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3305.2022.11.045.

- [22] JARQUE C M, BERA A K. A test for normality of observations and regression residuals [J]. *International statistical review*, 1987, 55(2): 163-172. DOI: 10.2307/1403192.

- [23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(2版) [M]. 北京: 气象出版社, 2007.

WEI F Y. Modern climate statistical diagnosis and prediction techniques (2nd ed.) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.

- [24] 杨文军, 肖云清, 陈荣, 等. 银川市采暖期变化及供暖气象指数分析 [J]. *宁夏工程技术*, 2021, 20(4): 304-307. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7244.2021.04.004.

YANG W J, XIAO Y Q, CHEN R, et al. Analysis of heating period change and heating meteorological index in Yinchuan city [J]. *Ningxia engineering technology*, 2021, 20(4): 304-307. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7244.2021.04.004.

作者简介:



肖云清

肖云清(第一作者)

1965-, 女, 正高级工程师, 主要从事天气预报及气象服务研究的工作(e-mail)xiaoyunqing00@163.com。

程瑶

1995-, 女, 助理工程师, 硕士, 主要从事天气气候变化分析研究的工作(e-mail)special_cl@163.com。



马少军

马少军(通信作者)

1972-, 男, 高级工程师, 主要从事气象信息网络维护与气象服务研究的工作(e-mail)nxmsj@163.com。

任柏帆

1990-, 男, 学士, 主要从事通讯工程技术研究的工作(e-mail)18995113931@189.cn。

赵腾

1996-, 男, 硕士, 主要从事大气污染机理与控制技术研究的工作(e-mail)1424316764@qq.com。

项目简介 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室、宁夏气象局指令性项目, 项目完成银川市供水、供电、供暖、交通、旅游等基于风险预警的灾害灾害风险区划和基于风险预警的服务产品指标, 完成银川市供暖期精细化供暖指数预报, 对银川市市区城市内涝风险预警指标进行订正的优化, 并将5类指标与银川市城市气象服务平台和银川市葡萄服务平台进行对接。形成银川市旅游、银川市交通、银川市城市运行保障(供水、供电、供暖)、银川市城市内涝、酿酒葡萄等五大气象风险指标并业务化、流程化, 利用智能化3级平台预报预警产品与各类气象风险预警指标相比对形成检验评估机制, 自动生成银川市城市气象服务平台相应模块的预报预警产品, 为各行业联动及决策提供气象服务产品参考。

项目名称 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室指令性基金资助项目(CAMP-201918)

承担单位 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室

项目概述 该项目为中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室、宁夏气象局指令性项目, 基于风险预警的银川市气象灾害风险模型建设, 建立气象灾害风险评估模型并完成风险区划, 构建和更新基于风险预警的银川市气象服务指标体系。项目完成银川市供水、供电、供暖、交通、旅游等基于风险预警的灾害灾害风险区划和基于风险预警的服务产品指标, 完成银川市供暖期精细化供暖指数预报, 对银川市市区城市内涝风险预警指标进行订正的优化, 并将5类指标与银川市城市气象服务平台和银川市葡萄服务平台进行对接。

主要创新点 (1)完成了供水、供电、供暖气象风险模型和风险区划, 完成基于风险的气象服务指标, 自动发布滚动发布银川市供暖期精细化供暖指数预报及供水、供电、供暖基于风险的气象服务产品; (2)建立银川市主要旅游景点气象风险模型, 研发银川市旅游气象风险指标, 自动发布银川市旅游景点基于风险预警的气象服务产品; (3)更新和优化银川市城市内涝原有气象风险指标; (4)在天气预警的基础上研发对交通有影响的灾害性天气气象风险预警指标, 确定了灾害性天气对交通影响的临界风险指标, 自动生成预警产品。

(编辑 孙舒)