

气象旅游资源评估方法与应用研究

侯亚红¹ 徐方姝¹ 明惠青¹ 张蕊² 赵淼¹ 关健华¹

(1 辽宁省气象服务中心, 沈阳 110166; 2 沈阳市东陵区气象局, 沈阳 110168)

摘要: 在对国内气象旅游资源评估方法分析研究的基础上, 从气象旅游资源相关因素中, 筛选出了7个指标, 创建了气象旅游资源评估指标体系, 提出了评估方法。计算每个评估指标的实际数值并进行标准化处理。采用专家咨询和层次分析法相结合的方法对评估指标体系中的每一级指标赋予相应的权重, 最终构建出气象旅游资源评估模型。在实例研究中, 以大连为例, 选取葫芦岛、东港、鞍山和岫岩等4个城市为对照, 结合多年的气候统计数据, 分别计算5个城市的气象旅游资源评估指数, 并进行横向对比分析, 找出各城市气象旅游资源的优势和不足。

关键词: 气象旅游资源, 评估指数, 气候舒适度, 权重, 层次分析法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.01.007

Evaluation and Application of Meteorological Information for Tourism

Hou Yahong¹, Xu Fangshu¹, Ming Huiqing¹, Zhang Rui², Zhao Miao¹, Guan Jianhua¹

(1 Liaoning Meteorological Service Center, Shenyang 110166

2 Meteorological Service in Dongling District of Shenyang, Shenyang 110168)

Abstract: Based on the investigation of domestic evaluation methods of meteorological information for tourism, we selected seven meteorological indicators related to tourism to create the evaluation index system and method of meteorological information for tourism. The actual values of each evaluation index were calculated and standardized. Weights were assigned to the evaluation index system using the expert grading method and analytic hierarchy process. Finally, the evaluation model of meteorological information for tourism was constructed. Dalian municipality was selected as a case study where results of Huludao, Donggang, Anshan, and Xiuyan were compared. Based on historical climate statistics, the assessment indices of meteorological information for tourism were calculated for the four cities. In addition, the comparative analysis was carried out to identify the pros and cons of meteorological information for tourism in each city.

Key words: meteorological information for tourism, evaluation index, climate comfortability, weight, analytic hierarchy process

0 引言

近年来, 随着生活水平的提高, 旅游、度假成为人们闲暇时主要的生活方式。天气、气候条件被认为是一项重要的旅游资源, 也是出游者选择旅游目的地的重要考量指标。气象旅游资源评估是选择旅游地中气象旅游资源及其衍生的大气、物候景观等为评估内容和对象, 运用一定的方法来对气象旅游资源的开发潜力做出评估, 它不仅可以为旅游景区的规划设计、合理利用旅游资源提供科学依据, 而且可以向游客提供尽可能丰富和完善的气象旅游服务。

早在20世纪50年代, 国际上就开始了旅游资源

评估的研究。1966年特吉旺^[1]在美国大陆生理气候评估中创造性地使用了舒适指数和风效指数这两个评估指数, 开创了用定量评估的方法来研究旅游资源的先河; 朝鲜人金圣三提出了温湿指数^[2], 用湿度和温度两种要素来衡量气候的舒适度^[3]; 加拿大气象局建立了舒适指数测评模型^[4]; 1993年史密斯根据气候数据划分旅游适宜区^[5-6], 为旅游者选择目的地提供了依据。国内的旅游气候研究始于20世纪80年代, 初期以定性描述为主, 而后更多的学者从定量的角度将气象指标引入研究。范业正等^[7]运用温湿指数和风效指数进行了中国海滨旅游地气候舒适度评估; 冯粉粉等^[12]开展了华东地区旅游气候适宜性研究; 余志豪^[8]等分析了40°N以北城市夏季气候舒适度及消夏旅游潜力; 马丽君等^[9-11]分析了极端天气气候事件对旅游业的影响和城市气候舒适度与游客网络关注度的关系。近年来气象部门先后有深圳《旅游气象指数等级》《贵州

收稿日期: 2018年7月10日; 修回日期: 2019年3月4日
第一作者: 侯亚红(1971—), Email: hyhlyt@sina.com
资助信息: 辽宁省科技厅基金项目(2013229031); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106001)

省旅游气象舒适度标准》^[13]和吉林《旅游气象指数》等相关地方标准出台。但总体来说,我国在气象旅游评估研究上,科学性不够,还偏重于经验归纳,具有科学基础的定量成分偏少,缺乏对气象旅游开发深入系统的研究。因此,有必要对气象旅游资源开发潜力进行研究,建立气象旅游资源评估标准,对气象旅游资源的开发潜力进行评估,针对气象旅游资源开发的优、劣势进行分析,并据此提出针对性的建议及相应的对策。

1 数据和方法

1.1 资料

采用2006—2015年(6—9月)辽宁62个国家级自动站天气现象、气温、风速、相对湿度、日照时数、台风日数、暴雨日数;中国空气质量在线监测分析平台2014—2017年6—9月空气质量指数(AQI)日报数据。

1.2 标准化处理

标准化是将有量纲的数值转化为无量纲的数值,进而消除各指标的量纲差异。

本文采用的正向指标计算公式^[14]为:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max(X_{ij})}, \quad (1)$$

逆向指标计算公式为:

$$Y_{ij} = \frac{\min(X_{ij})}{X_{ij}}, \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 是j站点第i个指标的标准化值, X_{ij} 是j 站点第i个原始值, $\max(X_{ij})$ 和 $\min(X_{ij})$ 分别是第i个指标值中的最大值和最小值。

1.3 权重确定方法

气象旅游资源评估采取层次分析法^[15]和专家打分法相结合确定各指标权重。层次分析法的原理是把一个复杂系统中的每个指标分解为若干个有序层次,每一层次中的元素具有大致相等的地位,并且每一层与上一层的某个指标和下一层次的若干指标有着一定的联系,每一个层次之间按照隶属关系组成一个有序的递阶层次结构模型。在这个层次结构模型中,根据客观事实的判断,通过两两比较判断的方式确定同一层次中每个指标的相对重要性,以数字的方式建立判断矩阵,然后利用向量的计算方法得出同一层次中每个指标的相对重要性权重系数,最后通过组合计算所有层次的相对权重系数得到每个最底层指标相对于目标的重要性权重系数。

1.3.1 建立层次结构

将问题所含的因素按照相互关系进行分层,各因素可分别归入不同的层次结构,以框架结构说明各结

构之间的从属关系。

1.3.2 构造判断矩阵

判断矩阵是对各指标的重要性定量化的基础,它反映了决策者对各指标的相对重要性的认识。采用1~9标度法对各指标进行成对比较,确定各指标之间的相对重要性并给出相应的比值,见表1。

表1 两两比较赋值表

Table 1 Assigned values and their explanation for pairwise comparison

标度	含义
$a_{ij}=1$	因素 A_i 与因素 A_j 具有相等的重要性
$a_{ij}=3$	因素 A_i 比 A_j 稍显重要
$a_{ij}=5$	因素 A_i 比 A_j 明显重要
$a_{ij}=7$	因素 A_i 比 A_j 强烈重要
$a_{ij}=9$	因素 A_i 比 A_j 极度重要
$a_{ij}=2, 4, 6, 8$	因素 A_i 与因素 A_j 相比, 介于结果的中间值
倒数	$a_{ji}=1/a_{ij}$

即上述过程得出的判断矩阵A为:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中: $a_{ii}=1$, $a_{ji}=1/a_{ij}$ 。

然后计算相对权重,通过求解判断矩阵A的最大特征值及最大特征值对应的特征向量W,得出同一层次各指标的相对权重系数。

最后计算合成权重,这一过程叫层次总排序。当所有层次的相对权重计算得出后,利用各层次指标的层次单排序结果,进一步计算递阶层次结构模型中最底层指标相对于总目标的组合权重。

1.3.3 专家打分法

专家打分法^[16]是通过发送问卷调查,向有关专家和游客咨询打分,通过反馈的问卷构成判别矩阵,经计算后得出气象旅游评估体系中所有指标的权重。专家和游客在指标权重中所占的比例分别为0.7和0.3^[17]。

1.3.4 权重计算结果

气候舒适度、有旅游价值的气象及衍生景观、日照和灾害性天气因子的权重计算结果见表2。

2 气象旅游评估体系

2.1 评估指标

气象旅游评估主要是对旅游景区内气象旅游资源的整体评估。评估范围主要包括现有的气象旅游资源和潜在的气象旅游资源,包括大气中的风、云、雨、雪、霜、雾、光等各种天气现象和赏花、观鸟、采摘、赏枫等物候现象所构成的旅游资源。评估的目的

表2 气象相关因子的权重
Table 2 Weight of meteorological factors

代表因子	在指标体系中的权重
W_1	温湿指数所占权重 0.23
W_2	风寒指数所占权重 0.11
W_3	穿衣指数所占权重 0.04
W_4	大气现象所占权重 0.12
W_5	物候指标所占权重 0.12
W_6	日照指标所占权重 0.17
W_7	灾害天气指标所占权重 0.21

是对不同地域的气象旅游资源进行开发价值比较。评估方法为定性与定量相结合。

根据气象旅游资源的特点和气象对旅游的影响，建立气象旅游评估体系，该体系由4个一级指标和5个二级指标构成。

从图1可以看出，气象旅游评估指标体系中的一级指标由气候舒适度、有旅游价值的气象及衍生景观、日照和灾害性天气等4个因子组成。其中气候舒适度由温湿指数、风寒指数和穿衣指数3个二级指标组成。温湿指数^[18]反映了评估地区人体对环境温度和湿度的综合感受。风寒指数^[19]反映了评估地区人体对风和温度的综合感受。穿衣指数是反映人们通过选择不同的衣服来改变气候带来的不舒适性，它综合了气温、太阳辐射、人体代谢和风速等多种因素。有旅游价值的气象及衍生景观由大气现象和物候现象两个二级指标组成。大气现象包括云雾、海市蜃楼、佛光、雾凇、雨凇等种类的多少和出现频率的高低，反映了评估地区大气现象旅游资源质量的高低。物候景观是指评估地区内各种植物、动物、气象的季变现象或其形成的景观（包括赏花、观鸟、赏枫等）。日照指评估地区多年平均日照时数，反映了旅游地区光照资源的充沛程度和晴天的多少。灾害性天气指评估地区有暴风雨（雪）、台风、空气污染等气象灾害，用年平均发生次数来表示，反应灾害性天气发生频率的高低。

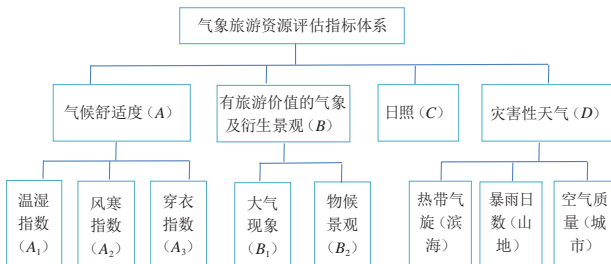


图1 气象旅游资源评估指标体系

Fig. 1 The evaluation index system of meteorological information for tourism

2.2 评估方法

气象旅游资源评估公式设计为：

$$MI = (A_1W_1 + A_2W_2 + A_3W_3 + B_1W_4 + B_2W_5 + CW_6 + DW_7) \cdot 100 \quad (3)$$

式中： MI 为气象旅游资源评估指数； A_1 为温湿指数标准值； W_1 为温湿指数所占权重； A_2 为风寒指数标准值； W_2 为风寒指数所占权重； A_3 为穿衣指数标准值； W_3 为穿衣指数所占权重； B_1 为大气现象指标标准值； W_4 为大气现象指标所占权重； B_2 为物候景观指标标准值； W_5 为物候景观指标所占权重； C 为日照指标标准值； W_6 为日照指标所占权重； D 为灾害性天气指标标准值； W_7 为灾害性天气指标所占权重。

2.2.1 温湿指数

根据评估地区多年平均气温和相对湿度^[18]计算得到：

$$THI = (1.8t + 32) - 0.55(1 - f)(1.8t - 26) \quad (4)$$

式中： THI 为温湿指数； t 为某评估时段平均气温（℃）； f 为某评估时段平均相对湿度（%）。

2.2.2 风寒指数

根据评估地区多年平均气温和风速计算得到：

$$WCI = (33 - t) \cdot (9.0 + 10.9\sqrt{v} - v) \quad (5)$$

式中： WCI 为风寒指数； v 为某一评估时段平均风速（m/s）。

2.2.3 穿衣指数

$$ICL = \frac{33 - t}{0.155H} - \frac{H + aR\cos\alpha}{(0.62 + 19.0\sqrt{v})H} \quad (6)$$

式中， ICL 为穿衣指数^[20]； H 为人体代谢率的75%，本文取轻活动下的代谢率， $H=87 \text{ W}\cdot\text{m}^2$ ； a 为人体对太阳辐射的吸收情况，本文取0.06； R 为垂直于阳光的单位面积土地所接受的太阳辐射， $R=1385 \pm 7 \text{ W}\cdot\text{m}^2$ ； α 为太阳高度角，当纬度为 ϕ 时，夏季、冬季和春秋季节太阳高度角分别为 $90^\circ - \phi + 23^\circ 26'$ 、 $90^\circ - \phi - 23^\circ 26'$ 和 $90^\circ - \phi$ 。

2.2.4 大气现象指标

大气现象指标包括区域内具有旅游价值的大气现象种类的多少和出现频率的高低，该评估体系中评估的大气现象包括日出、云海、海市蜃楼、佛光和雾（雨）凇等5类。通过横向比较分级评估将其指标量化，等级分为5个标度，大气现象的种类越多、出现频率越高，标度越高，见表3。

2.2.5 物候景观指标

物候景观指标包括评估地区内各种植物、动物、气象的季变现象或其形成的景观，该评估体系中评估的物候景观包括赏花、观鸟、秋叶、采摘、潮汐等5类。通过横向比较分级评估将其指标量化，等级分为

表3 大气现象评估等级

Table 3 Assessment level of atmospheric phenomena

标度	标准
1	具有1类大气现象
2	具有2类大气现象
3	具有3类大气现象
4	具有3类以上大气现象
5	具有3类以上大气现象且景区级别达到5A或5A级以上

5个标度,物候景观的种类越多、出现频率越高标度越高。见表4。

表4 物候景观评估等级

Table 4 Assessment level of landscape

标度	标准
1	具有1类物候景观
2	具有2类物候景观
3	具有3类物候景观
4	具有3类以上物候景观
5	具有3类以上物候景观且景区级别达到5A或5A级以上

2.2.6 日照时数指标

根据评估地区的多年平均日照时数计算得到,反映了评估地区光照资源的充沛程度和晴天的多少。

2.2.7 灾害性天气指标

反映评估地区灾害性天气发生频率的高低。该评估体系中滨海旅游景区以热带气旋年平均登陆次数、暴雨年平均日数和空气质量指数(AQI)为评估指标;山地和城市旅游景区以暴雨年平均日数和空气质量指数(AQI)为评估指标。

2.3 评估等级

根据气象旅游资源评估指数MI综合得分,将其分为5个等级,从高到低见表5。

表5 气象旅游资源评估等级

Table 5 Assessment level of meteorological information for tourism

等级	MI值
1级	90~100
2级	80~90
3级	70~80
4级	60~70
5级	0~60

3.1 城市选取

选取大连作为气象旅游资源评估案例,对比城市为东港、葫芦岛、岫岩和鞍山,大连、东港和葫芦岛为滨海代表站点,岫岩为山地代表站点,鞍山为城市代表站点。

大连地处辽东半岛最南端,东濒黄海,西临渤海,南与山东半岛隔海相望,北依辽阔的东北平原,

海岸绵延曲折,海域广阔,岛屿众多,是著名的旅游胜地。大连6—9月的平均气温为22.1℃,平均降水量为412 mm,日照总时数为935 h。东港市位于辽东半岛东端,南邻黄海,东依鸭绿江,和朝鲜隔江相望,拥有沿海、沿江、沿边的地理优势,是中国海岸线上最北端的县级市。东港市是东北地区降水量较多地区,6—9月降水量为619 mm,平均气温为21.4℃,日照总时数是744 h。葫芦岛位于辽宁西南沿海,是东北地区进入关内的重要门户,其南邻渤海湾,地势西北高东南低。滨海平原东西长100多千米,素有“辽西走廊”之称。葫芦岛6—9月平均气温22.4℃,平均降水量436 mm,日照总时数834 h。

鞍山位于辽宁省中部,南邻渤海,北接长白,东依鸭绿江,西俯辽河。夏季雨量充沛,气温高但少酷暑,6—9月平均气温23℃,平均降水量510.7 mm,日照总时数为947 h。岫岩位于辽东半岛北部,境内多山,地势北高南低,地形以山地、丘陵为主,间有小块冲积平原和盆地,山地约占总面积的78%以上。岫岩6—9月平均气温21.1℃,平均降水量594 mm,日照总时数为663 h。

3.2 指标的标准化处理

按照气象旅游资源评估指标体系,首先将各级指标分为正向指标和负向指标^[2],正向指标包括温湿指数、风寒指数、穿衣指数、区域内具有旅游价值大气现象、区域内具有旅游价值的物候景观和日照时数。逆向指标包括台风登陆次数、暴雨日数和空气质量指数。然后,根据气象旅游资源评估模型将各指标原始值(表6)通过标准化转化为标准值(表7)。

表6 气象旅游资源评估指标原始值

Table 6 Original evaluation index value of the meteorological information for tourism

城市	温湿指数	风寒指数	穿衣指数	大气现象	物候景观	平均日照时数/h	台风年均登录次数	空气质量AQI	暴雨日数/d
大连	70.64	249.56	0.72	5	5	935	1	77	1.5
东港	70.28	243.05	0.79	3	4	744	3	57	4.1
葫芦岛	70.58	244.34	0.77	3	2	834	1	87	1.4
鞍山	71.51	210.70	0.70	2	5	947	-	79	2.0
岫岩	69.01	247.89	0.85	3	4	663	-	68	3.4

3.3 评估结果分析

对评估指标体系中各指标进行专家咨询和游客调查。共发放调查问卷40份,其中专家10份、游客30份。采用专家和游客咨询和层次分析法(AHP)相结合的方法对评估指标体系中的每一级指标赋予相应的权重(表2)。

根据计算公式(3)分别计算出大连、东港、葫

表7 气象旅游资源评估指标标准值
Table 7 Standard evaluation index value of the meteorological information for tourism

城市	温湿指数	风寒指数	穿衣指数	大气现象	物候景观	平均日照时数/h	台风年均登录次数	空气质量AQI	暴雨日数/d
大连	0.99	1.00	0.85	1.00	1.00	0.99	1.00	0.74	0.93
东港	0.98	0.97	0.93	0.60	0.80	0.79	0.33	1.00	0.34
葫芦岛	0.99	0.98	0.91	0.60	0.40	0.88	1.00	0.66	1.00
鞍山	1.00	0.84	0.82	0.40	1.00	1.00	-	0.72	0.70
岫岩	0.97	0.99	1.00	0.60	0.80	0.70	-	0.84	0.41

葫芦岛、鞍山和岫岩等地的气象旅游资源评估指数。

图2是大连、东港、丹东、鞍山和岫岩等5个城市舒适度因子、有价值的大气和物候景观因子、日照时数和灾害性天气因子的对比情况。

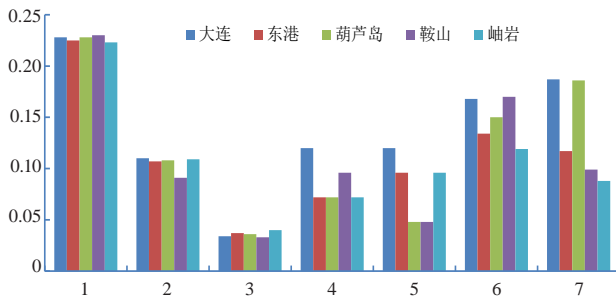


图2 气象旅游资源评估因子图

(1温湿指数, 2风寒指数, 3穿衣指数, 4区域内有旅游价值的大气现象, 5区域内有旅游价值的物候景观, 6日照时数, 7灾害性天气)

Fig. 2 Evaluation index of meteorological information for tourism (1 temperature humidity index, 2 wind chill index, 3 dressing index, 4 atmospheric phenomenon with tourism value, 5 phonological landscape with tourism value, 6 sunshine duration, 7 disastrous weather)

从表8和图2中可以看出, 5个城市都比较适合夏季旅游, 其中大连的旅游气象资源最优越。在气象旅游相关因子中, 大连在温湿指数、风寒指数、大气现象和日照时数这几方面都占有一定的优势, 尤其是大气现象和日照时数的优势比较明显, 这主要是由于大连具有云雾、海市蜃楼等气象景观。另外, 大连的物候景观也十分丰富, 基本涵盖了评估指标中的赏花、观鸟、秋叶、采摘、潮汐等5大类。从日照时数来

表8 气象旅游资源评估结果

Table 8 Assessment results of meteorological information for tourism

城市	M值	等级
大连	94.3	1级
东港	78.8	3级
葫芦岛	82.8	2级
鞍山	83.9	2级
岫岩	74.7	3级

看, 大连夏季(6—9月)平均日照时数是935 h, 除略低于鞍山外, 明显高于其他三个城市, 适宜滨海旅游的时间较长。

在5个城市当中, 葫芦岛和鞍山气候较舒适, 但在物候景观因子如观鸟、赏枫等项目上不占优势, 所以区域内有旅游价值的物候景观因子得分略低于其他几个城市, 但葫芦岛暴雨日数较少、鞍山日照时数较长, 对旅游出行有利。东港的优势是空气质量指数(AQI)较低, 空气清新, 夏季相对凉快, 比较适合滨海旅游, 劣势是夏季降水量多, 平均日照时数较少, 这对于滨海旅游这种需要较多晴天的旅游活动有一定影响, 同时, 东港是三个滨海城市中台风登陆次数最多的地方, 也对夏季旅游有一定的影响。岫岩的优势是气候舒适度的3个因子得分都比较高, 温度、湿度配置较好, 人体舒适度较高, 空气质量仅次于东港, 劣势是暴雨日数较多, 日照时数相对较少。

结论与讨论

1) 在对国内气象旅游资源评估方法研究的基础上, 从气候舒适度、气象景观、日照和灾害性天气等相关因素中, 筛选出了7个指标, 建立了气象旅游资源评估指标体系。

2) 对评估指标体系中各指标进行专家咨询和游客调查。共发放调查问卷40份, 其中专家10份、游客30份。采用专家和游客咨询和层次分析法(AHP)相结合的方法对评估指标体系中的每一级指标赋予相应的权重。

3) 在实例研究中, 以大连地区为例, 并选取葫芦岛、东港、鞍山、岫岩等4个城市为对照, 结合多年的气候统计数据, 分别计算5个城市的气象旅游资源评估指数, 并进行横向对比分析, 找出各城市气象旅游资源的优势和不足。

4) 由于数据样本收集有限, 气象旅游资源评估指标还存在着一定的局限性, 在今后的研究中应在更大范围进行专家咨询和游客调查, 不断改进和完善气象旅游资源评估体系。评估体系中各指标要素的赋值还不是很规范, 尤其是不能量化的指标要素, 在取值标准上仍需要进一步探讨。

5) 在评估体系的普适性方面, 由于不同类型旅游景区, 气象旅游资源有很大差别, 要建立一个全国普适性的评估体系还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] Terjung W H. Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man. *Annals of the Association of American Geographers*, 1966, 56(1): 141-179.

(下转64页)

频率上约有7%的偏差；2#塔实测值主导风向为SSW方向，模拟结果主导风向为S方向，频率上约有8%的偏差。

4 结论

基于不同参数化方案的CALMET模式对江西省境内山地风场的模拟，优选出最佳参数化方案并进一步进行全年山地风场模拟，得出以下结论。

1) 采用动力降尺度CALMET模式对江西省山地风场2016年7月和2017年1月风速进行模拟时，通过5组参数化方案模拟结果的比对分析得到：第5组参数化方案最优，即CALMET模式以不采用地形动力效应参数调整和Froude数调整，采用下坡气流效应调整和O'Brien垂直风速调整时，对江西省境内山地风场50 m以上高度层风场模拟效果最佳。

2) 采用CALMET模式最优参数化方案对江西省山地风场进行整1年的风速进行模拟，模拟结果表明：CALMET模式能较好的模拟出山地风场测风塔逐时风速，全年四个季节模拟指标效果差别较小，夏季相关系数优于其他季节，秋季误差较其他季节最小。其不仅能较好地模拟出风速及风能密度月均变化，对全年风速段分布模拟也与实测值较为一致，在峰值区分布概率有2%~5%的偏差。风向分布方面，CALMET模式能较好地模拟出实际测风塔全年主导风向，但模拟与实测结果主导风向分布约有一个方位的偏差，主导风向频率有7%~8%的偏差。

参考文献

[1] 刘郁珏, 李军, 胡非, 等. 一种考虑海拔高度的风速测量相关推测法. 应用气象学报, 2013, 24(1): 109-116.
[2] 王晶晶, 金健. 模块化模糊神经网络训练策略研究. 南京气象学院

学报, 2007, 30(2): 274-278.
[3] 陈靖, 解以扬, 李大鸣, 等. 天津市典型区域立体多重城市内涝模型研究. 气象与环境学报, 2017, 33(3): 36-44.
[4] 程兴宏, 陶树旺, 魏磊, 等. 基于WRF模式和自适应偏最小二乘回归发的风能预报试验研究. 高原气象, 2012, 31(51): 1461-1469.
[5] 李泽椿, 朱蓉, 何晓凤, 等. 风能资源评估技术方法研究. 气象学报, 2007, 65(5): 708-717.
[6] Kang S L, Lenschow D H. Temporal evolution of low-level winds induced by two-dimensional mesoscale surface heat-flux heterogeneity. Bound Layer Meteorol, 2014, 151(3): 501-529.
[7] Ramirez-Rosado I J, Fernandez-Jimenez L A, Monteiro C, et al. Comparison of two new short-term wind-power forecasting systems. Renewable Energy, 2009, 34(7): 1848-1854.
[8] 顾沈旦, 于丽娟, 尹承美, 等. WRF模式对济南地区夏季近地面气象场模拟效果评估. 气象与环境学报, 2016, 32(1): 1-8.
[9] 李得勤, 陈力强, 周晓珊, 等. 风电场风速降尺度预报方法对比分析. 气象与环境学报, 2012, 28(6): 25-31.
[10] 姜创业, 孙娴, 徐军昶. MMS5/CALMET数值模拟在陕北风能资源评估中的应用. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1606-1610.
[11] 祖繁, 樊曙先, 王咏薇, 等. 复杂下垫面风电场风速数值模拟及误差特征. 大气科学学报, 2016, 39(5): 672-682.
[12] Morales L, Lang F, Mattar C. Mesoscale wind speed simulation using CALMET model and reanalysis information: an application to wind potential. Renewable Energy, 2012, 48: 57-71.
[13] 周荣卫, 何晓凤, 朱蓉. MMS5/CALMET模式系统在风能资源评估中的应用. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2101-2113.
[14] Santos-Alamillos F J, Pozo-Vázquez D, Ruiz-Arias J A, Lara-Fanego V, et al. Analysis of WRF model wind estimate sensitivity to physics parameterization choice and terrain representation in Andalusia (Southern Spain). Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2013, 52(7): 1591-1609.
[15] 杨光焰, 吴息, 周海. WRF模式对福建沿海风电场风速预测的效果分析. 气象科学, 2014, 34(5): 530-535.
[16] 张小培, 银燕. 复杂地形地区WRF模式四种边界层参数化方案的评估. 大气科学学报, 2013, 36(1): 68-76.
[17] 孙学金, 李岩, 张燕鸿, 等. 基于WRF-LES的干旱湖区近地面风场模拟与敏感性研究. 高原气象, 2017, 36(3): 835-844.
[18] 姚琳, 沈竟, 温新龙, 等. WRF模式参数化方案对江西山地风电场的风模拟研究. 长江流域资源与环境, 2018, 27(7): 1509-1516.
[19] 辛渝, 陈洪武. XJRUC/CALMET及CALMET不同参数调整对达坂城一小草湖区风场预报影响. 高原气象, 2014, 33(6): 1674-1686.
[20] 祖繁, 樊曙先, 王咏薇, 等. 复杂下垫面风电场风速数值模拟及误差特征. 大气科学学报, 2016, 39(5): 672-682.

(上接46页)

[2] 蒋国碧, 龙良碧. 重庆市旅游气候研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 1992, 17(4): 529-533.
[3] 罗晓玲, 兰晓波, 李岩瑛, 等. 人体舒适度指数预报体系研究. 干旱区资源与环境, 2004, (S2): 59-62.
[4] Houghton D M. Handbook of Applied Meteorology. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1985: 778-811.
[5] Li P W, Chan S T. Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. Meteorological Applications, 2000, 7(4): 369-375.
[6] Smith K. The influence of weather and climate on recreation and tourism. Weather, 1993, 48(12): 398-404.
[7] 范业正, 郭来喜. 中国海滨旅游地气候适宜性评价. 自然资源学报, 1998, 13(4): 304-311.
[8] 余志豪, 孙根年, 罗正文, 等. 40° N以北城市夏季气候舒适度及消暑旅游潜力分析. 自然资源学报, 2015, 30(2): 327-339.
[9] 马丽君, 孙根年, 李馥丽, 等. 陕西省旅游气候舒适度评估. 资源科学, 2007, 29(6): 40-44.
[10] 马丽君, 孙根年, 马耀峰, 等. 极端天气气候事件对旅游业的影响——以2008年雪灾为例. 资源科学, 2010, 32(1): 107-112.
[11] 马丽君, 孙根年, 杨睿, 等. 城市气候舒适度与游客网络关注度时空相关分析. 地理科学进展, 2011, 30(6): 753-759.
[12] 冯粉粉, 温家洪, 王慧敏. 基于GIS的华东地区旅游气候舒适度分析. 上海师范大学学报(自然科学), 2012, (2): 196-202.
[13] 向红琼, 于飞. 贵州山地高分辨率旅游气象舒适度时空分布特征. 贵州气象, 2010, 34(3): 196-202.
[14] 于庚康, 徐敏, 于堃, 等. 近30年江苏人体舒适度指数变化特征分析. 气象, 2011, 37(9): 1145-1150.
[15] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评估中的应用. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 184-185.
[16] 马丽君, 孙根年. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评估. 地理科学进展, 2009, 28(5): 713-722.
[17] 周文丽. 生态旅游资源综合评估指标体系及评估模型研究. 西北林学院学报, 2007, 22(3): 198-202.
[18] 任健美, 牛俊杰, 胡彩虹, 等. 五台山旅游气候及其舒适度评估. 地理研究, 2004, 23(6): 856-861.
[19] 田志会, 郑大玮, 郭文利, 等. 北京山区旅游气候舒适度的定量评估. 资源科学, 2008, 30(12): 1846-1851.
[20] 李东, 杨兆萍, 时卉, 等. 乌鲁木齐市旅游气候与旅游气候舒适度分析. 干旱区研究, 2014, 31(3): 404-409.
[21] 高峻. 滨海地区自然旅游资源开发潜力评估研究——以上海为例. 上海: 上海师范大学, 2008.