

基于集成综合评价法的气象服务满意度分析

崔更新¹ 姚秀萍² 杨国孝¹ 吕明辉² 刘东利³

(1 北京理工大学数学学院, 北京 100081; 2 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081;

3 燕山大学理学院, 秦皇岛 066004)

摘要 气象服务满意度分析在公众气象服务满意度评价业务上起着非常关键的作用。针对我国 31 个省市的气象服务满意度现状, 采用 2010 年全国公众气象服务评估调查数据, 分别运用主成分分析法和熵值法进行分析, 得到两种关于城市气象服务满意度的排序结果。但主成分分析法侧重考虑变量的相关性以及熵值法侧重考虑变量的不确定性, 故将两种排序结果在通过一致性检验的基础上, 运用集成综合评价法得到另外一种新的排序结果, 介于以上两种结果之间。因此得到一个关于城市气象服务满意度的新认识, 并给出提高气象服务满意度的建议。

关键词 主成分分析 熵值法 集成综合评价法 气象服务 满意度

引言

随着社会经济和科技的发展, 气象服务^[1-2]对经济建设和人民生活的影响日益明显。国外包括美国、澳大利亚、英国等国家都非常重视气象效益评估, 都把各种气象指标纳入考核之中, 相应的模型也比较成熟。21 世纪美国学者 Dutton^[3]证实美国近 1/3 的 GDP 受天气气候的影响极为敏感。国内在 20 世纪 90 年代将顾客满意度研究引入气象领域, 到 2009 年公众气象服务评价调查在我国共进行了 3 次^[4], 均以“公众对气象服务的总体满意程度”这项单一指标为主^[5]。随后气象研究人员试着运用多指标评价方法来科学定量地评价气象服务满意程度。常用的多指标综合评价法有指数评价法、模糊评价法、多指标加权评价法等。指数评价法各评价因子存在权重的差异, 而且在分析主要影响因素方面还力不从心^[6], 因此方法并不十分精确; 模糊评价法计算烦琐, 不易操作, 不能确定主要因子^[7]; 多指标加权评价法还存在一些现在不能解决的问题, 如怎样正确衡量各评价指标之间的相对重要性及科学地为各指标分配权重等^[8]。为此, 本文集成主成分分析和熵值法得到另一种新的气象服务满意度排序, 兼顾了指标之间的关联性和自身的不确定性, 并

且给出提高满意度的建议。

1 数据来源及处理

1.1 数据来源

本文的数据来自于 2010 年中国气象局与国家统计局联合开展的全国公众气象服务满意度调查, 调查内容分为公众气象服务评价、公众气象服务现状和公众气象服务需求 3 个方面, 共包含我国 31 个省(自治区、直辖市)的 152 个城市和 146 个县, 调查的有效样本为 51800 个。

本文将在所建立的公众气象服务满意度评价指标体系^[9]的基础上(表 1), 利用调查数据对全国 31 个省市的气象服务满意度进行实证研究。

1.2 数据的预处理

由表 1 知, 每个样本都有 13 个三级指标, 分别用变量 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{13}$ 表示。每个三级指标又分为 5 个等级: ①满意(100 分); ②比较满意(80 分); ③一般(60 分); ④不满意(0 分); ⑤说不清(平均分), 用 x'_{ij} 表示第 i 个样本第 j 个指标的量化得分, 计算样本的最终得分, 步骤如下:

(1) 根据问卷中调查者回答关于“二级指标和三级指标哪个指标重要”计算出二级指标权重 C_i 和三级指标权重 W_{ij} , 其中 $i=1, 2, 3; j=1, 2, 3, \dots, 13$ 。

表 1 公众气象服务评价满意度指标体系的构成以及各级权重(%)分布

二级指标	二级指标权重(C _i)	三级指标	变量	三级指标权重(W _{ij})	三级指标折算权重(C _{ij} 或D _j)
气象服务信息内容	42.4	通俗性	x ₁	8.0	3.4
		实用性	x ₂	21.5	9.1
		准确性	x ₃	66.6	28.2
		表现形式	x ₄	1.3	0.6
		种类丰富性	x ₅	2.6	1.1
气象服务信息发布	24.9	发布的及时性	x ₆	66.5	16.5
		发布渠道的多样性	x ₇	13.5	3.4
		获取的方便性	x ₈	20.0	5.0
气象知识宣传普及	32.8	宣传普及渠道	x ₉	21.1	6.9
		可读性	x ₁₀	9.2	3.0
		趣味性	x ₁₁	2.5	0.8
		气象常识普及面	x ₁₂	18.9	6.2
		及时获取气象灾害防御知识	x ₁₃	48.3	15.8
		合计	100.0	合计	

缓,到第 3 个主成分变化趋势已经很缓慢。所以只需要保留 3 个主成分。

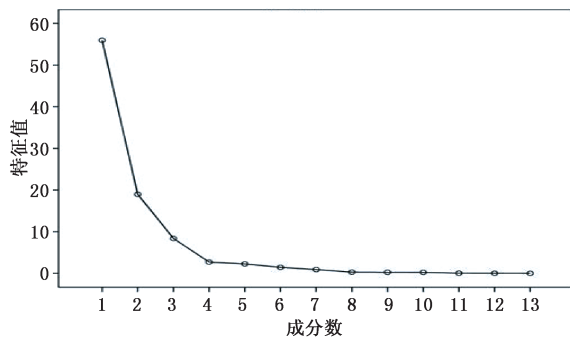


图 1 碎石图

从表 2 得知,各主成解释原始变量总方差的情况。第 1 个主成分的方差为 55.97,提取了原始变量 61.15% 的信息,第 2 个主成分的方差为 18.97,提取了原始变量 20.73% 的信息,第 3 主成分以此类推。前 3 个主成分总共提取了原始变量 91.04% 的信息。可见,选取 3 个主成分损失的信息量不足 10%。

表 2 解释的总方差

主成分	初始特征值 a			提取平方和载入		
	合计	方差的 %	累积 %	合计	方差的 %	累积 %
1	55.97	61.15	61.15	55.97	61.15	61.15
2	18.97	20.73	81.88	18.97	20.73	81.88
3	8.39	9.16	91.04	8.39	9.16	91.04
4	2.70	2.95	94.00			

(2) 计算三级指标折算权重

$$C_{ij} = C_i W_{ij}, \text{ 令 } D_j = C_{ij}$$

(3) 计算样本的最终得分

$$x_{ij} = x'_{ij} D_j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

2 主成分分析

原始数据经过预处理得到了样本的最终得分,但是多指标之间往往存在着各种各样的关联关系,如果不对指标进行有效处理就会造成信息的重叠,从而影响分析效果。主成分分析^[10]可以对多指标进行重新组合得到少数几个相互独立的指标。但是传统的主成分分析大都是从相关系数矩阵出发对原始数据进行标准化处理,而标准化在消除量纲和数量级的同时也抹杀了各指标变异程度的差异信息^[11]。考虑到本文所用数据各个指标之间处于同一量纲级别,也为了避免原始信息的流失,因此本文从协方差矩阵出发求解主成分。

2.1 主成分个数的选取

由 KMO 检验^[12]、巴特莱球形检验^[12]和相关性矩阵验证,得出原始数据能够运用主成分分析。

碎石图^[12]是根据主成分方差由大到小的顺序画出的随主成分个数变化的散点图。由图 1 发现,从第 1 个主成分开始,曲线迅速下降,然后下降平

综合上述两个方面,选择提取 3 个主成分是合理的。

2.2 主成分得分

主成分可以用标准化以后的原始变量线性表示,从成分得分系数矩阵可以得到:

$$\begin{aligned}
 p_{rin1} &= 0.03Z_2 + 0.85Z_3 + 0.10Z_6 + 0.01Z_8 + 0.02Z_9 + 0.02Z_{12} + 0.17Z_{13} \\
 p_{rin2} &= 0.02Z_2 - 0.62Z_3 + 0.20Z_6 + 0.01Z_7 + 0.02Z_8 + 0.07Z_9 + 0.01Z_{10} + 0.09Z_{12} + 0.84Z_{13} \\
 p_{rin3} &= 0.01Z_1 + 0.07Z_2 - 0.30Z_3 + 1.03Z_6 + 0.02Z_7 + 0.03Z_8 + 0.03Z_9 + 0.01Z_{10} - 0.03Z_{12} - 0.56Z_{13} \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中, Z_1, Z_2, \dots, Z_{13} 分别为 x_1, x_2, \dots, x_{13} 标准化以后的变量。

根据上式主成分的结果得各个样本的得分(s_{core})。

$$s_{\text{core}} = \frac{\lambda_1 p_{\text{rin1}} + \lambda_2 p_{\text{rin2}} + \lambda_3 p_{\text{rin3}}}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \quad (2)$$

其中, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 为原始变量协方差矩阵的前 3 个特征值,也是前 3 个主成分的方差。

最后,对主成分分析得出的各个样本的得分按着省(市)进行均值化处理,各个省(市)的主成分得分以及排序如下表 3 所示。

表 3 主成分得分及排序

	主成分得分	排序		主成分得分	排序
辽宁	0.26	1	海南	0	17
黑龙江	0.26	2	甘肃	-0.01	18
吉林	0.14	3	河北	-0.03	19
陕西	0.13	4	江西	-0.03	20
内蒙	0.1	5	广西	-0.04	21
江苏	0.08	6	新疆	-0.04	22
安徽	0.08	7	上海	-0.05	23
山西	0.08	8	青海	-0.08	24
河南	0.08	9	福建	-0.09	25
山东	0.07	10	湖南	-0.12	26
重庆	0.05	11	北京	-0.18	27
四川	0.04	12	天津	-0.19	28
宁夏	0.03	13	云南	-0.21	29
广东	0.02	14	贵州	-0.22	30
湖北	0.01	15	西藏	-0.36	31
浙江	0	16			

从主成分的公式(1)可知,影响 $p_{\text{rin1}}, p_{\text{rin2}}$ 和 p_{rin3} 的最大三级指标依次为 x_3 (准确性), x_{13} (及时获取灾害防御相关知识)和 x_6 (发布的及时性)。称 p_{rin1} 为准确性因子, p_{rin2} 为及时获取灾害防御相关知识因子, p_{rin3} 为及时性因子。

3 熵值法

主成分分析考虑了指标之间的相关性,但是没有考虑指标自身的不确定性。下面采用熵^[13]去度量这种不确定性,同时也克服了主成分分析得出的 3 个主成分权重之和小于 1 的缺点^[14]。根据熵的特性可以计算熵值来对多元指标进行综合评价,并且用综合指标的重要性 (D_j) 和指标提供的信息量 (W_j) 这两方面来确定各指标的最终权重。具体步骤如下:

(1)将变量 x_{ij} 标准化,设有 n 个样本,每个样本都有 k 项指标, M_j 是第 j 项指标的最大值,将数据转化为

$$u_{ij} = x_{ij} / M_j$$

(2)计算第 j 项指标下第 i 个样本的比重

$$p_{ij} = u_{ij} / \sum_{i=1}^n u_{ij}$$

(3)计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

(4)计算第 j 项指标的熵权

$$w_j = 1 - e_j / \sum_{j=1}^k (1 - e_j)$$

(5)确定指标的综合权重(表 4)

$$\beta_j = D_j W_j / \sum_{j=1}^k D_j W_j$$

(6)计算第 i 个样本的综合评价价值^[15]

$$v_i = \sum_{j=1}^k \beta_j p_{ij}$$

对于熵值法得出的各个样本的得分按省(市)进行均值化处理,得到各省(市)的熵值法得分以及排序结果(表 5)。

表 4 综合权重

%

变量	综合权重	变量	综合权重
x_3	31.74	x_{10}	2.25
x_{13}	24.32	x_7	2.22
x_{12}	10.60	x_1	1.48
x_6	8.90	x_{11}	1.09
x_9	7.92	x_5	0.90
x_2	4.90	x_4	0.40
x_8	3.28		

表 5 熵值法得分及排序

	熵值法得分	排序		熵值法得分	排序
黑龙江	2.10	1	河北	1.92	17
辽宁	2.10	2	海南	1.91	18
吉林	2.01	3	上海	1.91	19
陕西	2.00	4	江西	1.91	20
山西	1.99	5	新疆	1.91	21
江苏	1.99	6	甘肃	1.90	22
安徽	1.98	7	广西	1.90	23
内蒙	1.98	8	青海	1.88	24
河南	1.98	9	福建	1.88	25
山东	1.97	10	湖南	1.84	26
四川	1.96	11	天津	1.84	27
重庆	1.95	12	北京	1.83	28
广东	1.94	13	云南	1.81	29
浙江	1.94	14	贵州	1.81	30
湖北	1.94	15	西藏	1.71	31
宁夏	1.93	16			

根据表 4,对满意度贡献最大的 4 个指标依次为准确性(x_3)、及时获取气象灾害防御知识(x_{13})、气象常识普及面(x_{12})和发布的及时性(x_6)。

4 集成综合评价法

4.1 一致性检验

通过主成分分析和熵值法得到的两种评价结果是否一致,需要进行一致性检验。

Kendall-W 协和系数^[16]可衡量不同的评价方法对不同的样本的评价结果是否一致,它可以衡量彼此之间的差异程度,检验多个样本是否来自同一总体分布。为此运用协和系数进行一致性检验:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n R_i^2 - 3m^2 n(n+1)^2}{m^2 n(n^2 - 1)}$$

其中 m 表示评价方法的个数, n 表示样本的个数, R_i 表示各评价对象的等级之和。

计算 R_i 的具体步骤如下:设 Z_{ij} 表示第 i 个样本第 j 种方法的得分值,首先将每一种方法各样本的得分值 Z_{ij} 进行标准化处理得到变量 R_{ij} ,再计算

$$R_i = \sum_{j=1}^m R_{ij}, m = 2, n = 31.$$

运用统计软件 SPSS19.0 检验结果见表 6,协和系数 $W=0.99$,检验统计量 $\chi^2=59.45$,在显著性水平为 0.05 的条件下, $\chi^2 \geq \chi_{0.05}^2(30) = 43.77$,并且 $p=0.00 < 0.05$,故拒绝原假设,认为两种评价结果具有一致性(表 6)。

表 6 Kendall-W 检验统计量

检验方法种类数	2
Kendall-Wa	0.99
χ^2	59.45
自由度	30
渐近显著性	0.001

4.2 Copeland 计分排序法

Copeland 计分排序法^[17]是一种将各评价指标等权处理、“少数服从多数”的计分排序方法,具体规则如下:设有 n 个样本 (y_1, y_2, \dots, y_n) ,每个样本有 m 维指标,且各指标值的大小都和气象服务满意度得分呈正相关。通过两两比较样本的各个指标,两样本中指标值大者,记为 +1;指标值小者,记为 -1;指标值相等者,则记为 0。最后将各样本的指标值相加计分,并依此来排序。

具体步骤如下:①把主成分得分和熵值法得分作为各个城市的两个指标。②运用 Copeland 计分排序法计算各个省(市)的得分。③得到各个省(市)

的气象服务满意度排序(表 7)。

表 7 Copeland 计分排序法得分及排序

	得分	排序		得分	排序
黑龙江	58	1	海南	-6	17
辽宁	58	2	河北	-8	18
吉林	52	3	甘肃	-16	19
陕西	48	4	江西	-16	20
江苏	40	5	上海	-20	21
内蒙	38	6	新疆	-22	22
山西	38	7	广西	-24	23
安徽	36	8	青海	-32	24
河南	28	9	福建	-36	25
山东	24	10	湖南	-40	26
四川	18	11	北京	-46	27
重庆	18	12	天津	-46	28
广东	10	13	云南	-52	29
宁夏	6	14	贵州	-56	30
湖北	4	15	西藏	-60	31
浙江	4	16			

最终得出的各个省份排名大部分都介于主成分和熵值法结果之间,也验证了集成综合评价法充分融合了两种方法的优势,所得结果也在情理之中。例如:山西的综合排名为 7,介于 5 和 8 之间。

5 结论和讨论

从主成分分析结果得到, p_{rin1} 为准确性因子, p_{rin2} 为及时获取灾害防御相关知识因子, p_{rin3} 为及时性因子。同时,熵值法的结果表明,对满意度贡献最大的 4 个指标依次为准确性(x_3)、及时获取气象灾害防御知识(x_{13})、气象常识普及面(x_{12})和发布的及时性(x_6)。结合主成分和熵值法的结果可以得到,两者共有的指标有 3 个,分别为 x_3 、 x_6 和 x_{13} 。故要提高一个城市的气象服务满意度,要注重 3 个方面:①在气象服务信息内容方面要注重气象预报的“准确性”;②在气象服务信息发布方面要注重气象“发布的及时性”;③在气象知识宣传普及方面要注重宣传“及时获取灾害防御知识”。

例如,在中国气象局公共气象服务中心的文献《公众气象服务满意度评价模型的设计和实证研究》中,得到了三级指标“及时获取气象灾害防御知识”、“准确性”、“发布及时性”、“实用性”和“气象常识普及面”这五项对公众气象服务综合满意度的影响最为显著,这也验证了本文前面证明的结论。

本文为了对各省(市)气象服务满意度有个直观的认识,考虑到变量之间的相关性和自身的不确定性,在主成分和熵值法结果通过一致性检验的基础

上,运用集成综合评价法综合,得到一种新的排序结果,并给出提高满意度的具体建议。文中有一些考虑不足的地方,如:两种方法对各个城市综合得分只是简单的进行了均值化处理,而没有从抽样方法出发得出相应的权重再经过加权处理,这对最终的结果会有一定的影响。本文排名是根据各省的调查数据得出的,是否能真实反映气象服务满意度有待进一步研究。

参考文献

- [1] 何险峰,马力,罗永康,等. 近实时公共气象服务分析图网站发布[J]. 气象科技, 2012,40(4): 578-584.
- [2] 贾朋群,任振,周京平. 国际上气象预报和服务效益评估综述[J]. 气象软科学, 2006,(4): 84-121.
- [3] Morss R E, Wilhelmi O V, Downton M W, et al. Flood risk, uncertainty, and scientific information for decisionmaking: Lessons from an interdisciplinary project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86: 1593-1601.
- [4] 姚秀萍,吕明辉,范晓青,等. 我国气象服务效益评估业务的现状与展望[J]. 气象, 2010, 36(7): 62-68.
- [5] 崔维军,顾春霞. 公众气象服务满意度及其影响因素研究[J]. 气象科技, 2012,40(6): 1061-1067.
- [6] 朱小雷. 指数评价法的应用—深圳市建设银行营业厅内环境综合评价[J]. 重庆建筑大学学报, 2005, 27(4): 28-32.
- [7] 曾永,樊引琴,王丽伟,等. 水质模糊综合评价法与单因子指数

- 评价法比较[J]. 人民黄河, 2007, 29(2): 45-45.
- [8] 梁苗苗,林强,王洋. 运用多指标数据归一化加权法综合评价我国护理期刊的学术影响力[J]. Journal of Nursing Science, 2011, 26(21): 88-90.
- [9] 中国气象局公共气象服务中心. 2010年全国公众气象服务评估分析报告[R]. 北京:中国气象局公共气象服务中心, 2010.
- [10] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2004:140-268.
- [11] 张卫华,赵铭军. 指标无量纲化方法对综合评价结果可靠性的影响极其实证分析[J]. 统计与信息论坛, 2005, 20(3): 33-36.
- [12] 傅德印. 主成分分析中的统计检验问题[J]. 统计教育, 2007(9): 4-7.
- [13] 李晓锋,王双双. 基于熵值法的高科技产业科技需求能力比较分析研究——以天津市为例[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(12): 58-61.
- [14] 张毅. 学生评教信息的主成分分析模型[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2005, 10(4): 53-57.
- [15] 王建鹏,金丽娜,薛荣,等. 基于加权综合法的西安城市内涝灾害区划分析[J]. 气象科技, 2012, 40(6): 1056-1060.
- [16] 叶建华,代金鹭,向萍,等. 基于改进的主成分分析和集成综合评价法的水质评价[J]. 成都大学学报:自然科学版, 2011, 30(4): 320-324.
- [17] 李成东,金青,黄颖,等. Copeland 计分排序法在化学物质生态危害评价中的应用[J]. 环境科学研究, 2011, 24(10): 1161-1165.

Analysis of Meteorological Service Satisfaction Based on Comprehensive Evaluation Method

Cui Gengxin¹ Yao Xiuping² Yang Guoxiao¹ Lyu Minghui² Liu Dongli³

(1 Beijing Institute of Technology Institute Applied Statistics, Beijing 100081; 2 Public Weather Service Center of CMA, Beijing 100081; 3 College of Science, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract: Meteorological service satisfaction analysis plays a very important role in public meteorological service satisfaction evaluation. The principal component analysis and the entropy value method are used to gain two sets of ranking results about the satisfaction with the status quo of meteorological service for 31 provinces and cities in China, based on the assessment survey data of national public meteorological service in 2010. The principal component analysis emphasizes the correlation of variables, and the entropy value method emphasizes the uncertainty of variables; so the two ranking results are combined, under the prerequisite of passing the consistency test, to establish another new ranking result by using the integrated comprehensive evaluation method. A new understanding of the satisfaction of meteorological service in a city is obtained, and suggestions about improving meteorological service satisfaction are provided.

Key words: principal component analysis, entropy method, integrated comprehensive evaluation method, meteorological service, satisfaction