

基于 AHP 的气象预报综合能力评定方法

刘子璐

山东省泰山气象站

DOI:10.12238/eep.v4i4.1408

[摘要] 应用AHP层次分析法以预报员综合能力评定为目标,天气会商、天气图分析、TAF全要素预报、重要要素临界成功指数、趋势预报、预警警报等工作质量为准则,若干名值班预报员为决策对象,构建层次分析结构模型。通过计算各层次单排序和所有层次总排序,得到预报员能力综合评定的排名。同时,在运用AHP层次分析的过程中,应力图克服和化解准则因素过多、判断矩阵不合理的缺点,充分发挥简洁方便、能定量判断决策的优点。

[关键词] AHP预报员能力评定; 结构模型; 综合评定

中图分类号: G712 文献标识码: A

Evaluation method of comprehensive ability of weather forecast based on AHP

Zilu Liu

Taishan meteorological station of Shandong Province

[Abstract] Applying AHP model with forecasters comprehensive ability evaluation as goal, weather consultation, weather map analysis, TAF total factor forecast, critical success index of important factors, trend forecast and yellow alert as criteria, a number of on-duty forecasters as decision-making object to construct the hierarchy analysis structure model. By calculating the single ranking of each level and the total ranking of all levels, the ranking of the comprehensive capability evaluation of forecasters is obtained. By calculating the single ranking of each level and the total ranking of all levels, the ranking of the comprehensive capability evaluation of forecasters is obtained. At the same time, in the process of using AHP, we should try our best to overcome and resolve the shortcomings of too many criteria and unreasonable judgment matrix, and give full play to the advantages of simple, convenient and quantitative decision making.

[Key words] AHP forecaster ability evaluation; structure model; comprehensive evaluation

引言

AHP (Analytic Hierarchy Process), 是层次分析法的英文简称, 是一种多准则或标准的优化决策系统分析方法(1)。本文将AHP层次分析法引入预报员业务能力评定办法之中, 其方法可靠、便捷, 定性与定量相结合, 能有效地解决预报员综合能力评判问题, 继而拓展还能解决多部门绩效决策问题, 为我们衡量决策判别提供客观依据。

1 AHP方法的一般步骤

1.1 AHP一般包含4个步骤。分析系统中各因素之间的关系, 建立递阶层次的结构模型; 对同一层次各元素关于上一层中某一准则的重要性进行两两比

较, 构造判断矩阵; 根据判断矩阵计算被比较的元素对于该准则的相对权重, 并进行判断矩阵的一致性检验; 计算各层次对于系统的总排序权重, 并进行判断矩阵的一致性检验, 最后得到个方案对于总目标的总排序。

1.2 递阶层次结构的建立。应用AHP分析决策问题时, 首先要把问题条理化、层次化, 构造出一个有层次的结构模型。在这个模型下, 复杂问题被分解为元素的组成部分, 这些元素又按其属性及关系形成若干层次, 上一层次元素作为准则对下一层次的有关元素起支配作用^[1]。

1.3 层次单排序及其一致性检验。计算出个判断矩阵的最大特征根 λ_{max} ,

经过归一化后对个判断矩阵的结果进行一致性的检验。一般来说, 如果 $CR < 0.1$, 那么一个多层次单排序的检验结果就通过了一致性的判断矩阵检验, 否则就不一定具有令人满意的结果和一致性, 就可能需要重新设计和修订这个判断矩阵, 直至完全符合判断矩阵一致性的检验要求。

自上而下的计算出每一目标层次所有受到影响的各个因素对于每个目标到底层的相对权重, 并对每个目标的底层影响进行总的的影响一致性数值计算进行检验, 最终通过自动计算机的检验得到结果后就可以直接得出最终所有影响因素到目标底层的所有影响因素。

如果矩阵的计算结果已经通过了成

对一致性的检验,则可以说明该一致性特征向量(归一化构建处理后)本身就是矩阵的加权向量;如果计算结果未通过了一致性的检验,则可以说明任意一个成对比较矩阵的特征根需要重新进行调整和归一化构建。

首先,计算可以得出与指标度量值的一致性指标成对进行比较的一阶矩阵两个指标度量A(n>1阶度量方阵),并然后给出一个偏离了与度量指标一致性的两个矩阵。

指标度量两个指标A和CI。

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

式中, λ_{\max} 表示成对比较矩阵的最大特征值。指标CI的值越大,说明该判断矩阵偏离完全一致性的程度越大;反之,指标CI的值越小,甚至趋近于0,指标越判断成对比较矩阵的随机组合一致性越好。对于不同阶的组合成对比较矩阵,如果其判断的随机组合一致性和误差不相同,则其对随机组合指标CI的一致性要求也不尽相同。在随机组合计算最底层对目标和最底层的随机组合权重和向量的误差同时,基于随机组合一致性的条件对随机组合计算结果的平均值进行随机组合权重和一致性的检验,公式的定义如下:

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

当CR<0.1时,得出的一个成对比较矩阵A结果应该应当具有较好的国际一致性,或者说其具有一致性的调整检验结果是完全并且可以直接通过得到相关国际标准认可的,否则就必须对它的成对比较矩阵A应该进行必要的线性调整,直到通过一致性的调整检验得出结果完全得到国际满意结果为止^[2]。

M_i^k 表设第k层为准则层,将准则层对总目标的权数用 M_i^k 表示,将第k-1层准则层对总目标的权数用 M_i^{k-1} 表示,将第k层准则层对第k-1层上属准

则的权数用表示 $M_i^{\frac{k}{k-1}}$, 根据公式

$$M_i^k = M_i^{\frac{k}{k-1}} M_i^{k-1},$$

可以求出最底层相对于最高层的权重,同时,利用公式 $CI_i^k = CI_i^{\frac{k}{k-1}} M_i^{k-1}$, $RI_i^k = RI_i^{\frac{k}{k-1}} M_i^{k-1}$ 对权重计算结果进行总的一致性检验。

不过,实践操作中,通常会省略对总排序的一致性检验。

我们这时可以直接采用“方根法”对其进行成对计算,即成对比较一个矩阵原点A的最大最小特征向量根,并由此求出其原点相应的最大特征向量:

对成对比较矩阵中各行元素的乘积W进行计算,则有:

$$W_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$$

对乘积班的n次方根 \overline{M}_i , 进行计算,则有:

$$\overline{M}_i = n\sqrt[n]{W_i}$$

$$\text{将向量 } \overline{M} = [\overline{M}_1, \overline{M}_2, L, \overline{M}_n]^T$$

进行归一化处理,则有:

$$M_i = \frac{\overline{M}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{M}_j}$$

得到 $\overline{M} = [\overline{M}_1, \overline{M}_2, L, \overline{M}_n]^T$ 为所求的特征向量,也就是要求的权向量。

对成对比较阵的最大特征值进行 λ_{\max} 计算,则有:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} M_j}{n M_i}$$

2 评定过程

2.1建立层次结构模型。层次结构模型,自上而下应按照不同属性分解成若干层次,同一层的各项内容从属于上一

层或对上一层有影响,同时又支配下一层或受下层的影响。一般来说,最上一层为目标层,通常只有1项内容;最下层为方案层或对象层,即为选择的方案或分析的对象;中间层为准则层或指标层,它可以有一个或几个层次,当准则过多时(譬如多于9个),应进一步分解成子准则层。

本案气象预报员综合能力评定的层次结构模型如图1所示,分3个层次:目标层、准则层和对象层。

2.2计算权向量及一致性检验。形成判断矩阵后,还需先对判断矩阵A作一致性检验,其步骤为:

- (1) 计算矩阵A的最大特征根;
- (2) 计算一致性指标CI;
- (3) 查表求得平均随机一致性指标RI;
- (4) 计算随机一致性比率CR;按CR的大小判断A是否有满意的一致性,或A是否要调整。

2.3形成判断矩阵。在准则层每个因素上预报员y1、y2、y3、y4、y5作两两比较,即比较他们在天气会商x1、天气图分析X2、TAF全要素X3、重要要素临界成功指数X4、趋势预报X5、预警警报X6的工作质量的重要性,得到每个因素上预报员的重要程度矩阵。

预报员在每个因素上重要程度的比较,可采用排名比较法、区间比较法或嵌套子AHP方法,或者是它们的结合方法网吼它们的结合主要是指综合应用上述方法,具体内容同上,不再赘述。其优点为更加精细,缺点为计算繁琐。

对于天气会商B1运用排名比较法,假设预报员y1、y2、y3、y4、y5排名分别为3、2、1、5、4,第一名相对最后一名的重要程度为5(即第一名比最后一名重要),其他人员重要程度由公式 $PF_n = (5-1) / (5-1) * (5-n) + 1$ 计算得到;故预报员的重要程度分别为3、4、5、1、2,成对比较各预报员的天气会商工作质量的重要程度,得成对比较矩阵B1:

$$B1 = \begin{pmatrix} 1 & 3/4 & 3/5 & 3 & 3/2 \\ 4/3 & 1 & 4/5 & 4 & 2 \\ 5/3 & 5/4 & 1 & 5 & 5/2 \\ 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1 & 1/2 \\ 2/3 & 1/2 & 2/5 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

B1的最大特征根 $\lambda_{\max}(B1)=5$, $CI=(\lambda_{\max}(A)-n)/(n-1)=0$, 查表 $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0$; 即一致性检验通过, B1具有完全的一致性。由此, 判断矩阵B1权向量为 $W_{p1}=(0.40450.53940.67420.13480.2697)$, $\lambda_{\max}(B1)=5$ 。

对于天气分析B2运用区间比较法, 假设总区间(或档位)共为3, 第一区间相对最后一区间的重要程度为5(即第一区间比最后一区间重要), 预报员 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 、 y_5 所处区间(或档位)分别为1、1、1、1、2, 其他人员重要程度由公式 $Pr=(5-1)/(3-1)*(3-Q_{rn})+1$ 计算得到; 故预报员的重要程度分别为5、5、5、5、3, 成对比较各预报员的天气分析工作质量的重要程度, 得成对比较矩阵B2:

$$B2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 5/3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 5/3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 5/3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 5/3 \\ 3/5 & 3/5 & 3/5 & 3/5 & 1 \end{pmatrix}$$

B2的最大特征根 $\lambda_{\max}(B2)=5$, $CI=(\lambda_{\max}(A)-n)/(n-1)=0$, 查表 $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0$; 即一致性检验通过, B2具有完全的一致性。由此, 判断矩阵B2权向量为 $W'_{B2}=(-0.4789-0.4789-0.4789-0.4789-0.2873)$, $\lambda_{\max}(B2)=5$ 。

对于预警警报B6运用AHP方法, 假设预报员 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 、 y_5 的预警警报质量用预警提前量、预报偏离量和强度准确率三个子元素去衡量, 建立AHP方法, 最终得到各预报员排名, 分别为2、1、3、4、5, 及对应的重要程度4、5、3、2、1, 成对比较各预报员的预警警报工作质量的重要程度, 得成对比较矩阵B6:

$$B6 = \begin{pmatrix} 1 & 4/5 & 4/3 & 2 & 4 \\ 5/4 & 1 & 5/3 & 5/2 & 5 \\ 3/4 & 3/5 & 1 & 3/2 & 3 \\ 1/2 & 2/5 & 2/3 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

B6的最大特征根 $\lambda_{\max}(B6)=5$, $CI=(\lambda_{\max}(A)-n)/(n-1)=0$, 查表 $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0$; 即一致性检验通过。B6具有完全的一致性。由此, 判断矩阵B6权向量为 $W_{p6}=(0.53940.67420.40450.26970.1348)$, $\lambda_{\max}(B6)=5$ 。

同理, 对于TAF全要素运用区间比较法, 对于重要要素临界成功指数、趋势预报运用排名比较法, 分别得到TAF全要素的判断矩阵B3(各预报员排名均达标在同一区间)、重要要素临界成功指数的判断矩阵B4(各预报员排名分别为2、4、1、5、3, 对应的重要程度4、2、5、1、3)、趋势预报的判断矩阵B5(各预报员排名分别为1、4、2、3、5, 对应的重要程度5、2、4、3、1)。

经计算,

B3的权向量 $W'_{B3}=(0.44720.44720.44720.44720.4472)$, $\lambda_{\max}(B3)=5$;

B4的权向量 $W_{2g4}=(0.53940.26970.67420.13480.4045)$, $\lambda_{\max}(B4)=5$;

B5的权向量 $W_{2B5}=(0.67420.26970.53940.40450.1348)$, $\lambda_{\max}(B5)=5$;

B3、B4、B5均具有完全的一致性。

3 方法的优缺点分析

AHP层次分析法的优点如下:

(1) 简洁实用。层次分析法既不追求高深的数学模型, 也不仅仅依赖定性的逻辑推理, 而是将定性方法与定量方法巧妙地结合起来, 把复杂的系统进行分解、分层, 从而将多目标、多准则又难以全部量化的决策问题转化为多层次、单目标的问题^[3]。计算过程简洁, 结构清晰, 结果明确, 易为决策者了解和掌握。(2) 兼容定性和定量数据信息。该决策方法能够解决复杂的定性问题, 可以不浦要太多的定量, 能够兼容定性和定量的数据信息。它从评价者对评价目标或要素的本质出发, 模拟人们决策时的思维方式, 把判断要素的相对重要性留给大脑, 只保留大脑对要素的印象, 转化为数学权重进行计算。准则中各要素的相互关系可以比较主观而无需过多的定量数据。

该方法的缺点如下:

(1) 当准则因素过多(超过9个)时, 定性转定量的两两对比判断标度的工作量过大, 易引起判断混乱和判断专家的反感; 当因素过多时, 建议引入子准则层或嵌套子层次分析结构模型。(2) 判断矩阵的合理性需要控制。我们对判断矩阵的一致性讨论较多, 但还需重视判断矩

阵的合理性, 提高判断矩阵的质量。判断矩阵一致性差肯定是不合理的, 它是把握判断矩阵质量的首要标准。其次, 判断矩阵一致性好也并非合理, 因为判断矩阵一致性好说明判断专家的逻辑思路清晰、前后协调一致, 但并不代表其重要性或价值取向的合理性一定正确。因此, 可选取多专家综合判断各准则之间的相互重要性, 以控制判断矩阵的合理性。

4 总结

(1) AHP层次分析法是一种多准则或标准的优化决策系统分析方法, 它是通过建立一个多层次的分析结构模型, 将笼统的评判目标优劣、好坏的诸多标准转化为定量的判断结果和依据, 利用数学方法计算得到最优结果或方案。(2) AHP层次分析法能够用于评定预报员综合能力。评定预报员综合能力过程中, 目标层为预报员综合能力评定; 准则层选取天气会商、天气图分析、TAF全要素预报、重要要素临界成功指数、趋势预报、预警警报等6个工作质量作为评判指标; 决策层或对象层为以5名值班预报员为例。(3) 建立预报员综合能力评定的层次分析结构模型, 计算各层次单排序和所有层次总排序, 得到预报员能力综合评定的排名, 最终得出预报员 y_i 的综合能力最强。

AHP层次分析法有优点也有缺点。在使用时, 应力图克服和化解准则因素过多、判断矩阵不合理的缺点, 充分发挥简洁方便、能定量判断决策的优点, 将层次分析法应用于日常的系统决策工作中。

【参考文献】

- [1] 马立平. 层次分析法[J]. 数据, 2000(7): 38-39.
 [2] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004(9): 51-60.
 [3] 夏正洪, 胡玉农, 白松浩, 等. 基于层次分析法的管制中心系统效能评估[J]. 计算机应用, 2008(12): 3264-3267.

作者简介:

刘子璐(1992--), 男, 汉族, 山东济南人, 学士学位, 助理工程师, 山东省泰山气象站, 研究方向: 气象、大气。