

# 科技评价灵敏度分析研究<sup>1</sup>

## ——单个指标与组合指标

俞立平 潘云涛 武夷山

中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘要：本文从指标值灵敏度分析和权重灵敏度分析的角度，进行科技评价中单个指标与组合指标灵敏度分析。认为灵敏度分析的角度不同，用途不同；单个指标与组合指标的灵敏度分析应该结合使用；在评价对象较多的情况下灵敏度分析的效果一般较差，可以适当选取部分评价对象进行灵敏度分析；单指标权重灵敏度分析的区间变化范围之和可以用来衡量不同权重赋值评价方案的稳定性。

关键词：灵敏度分析 单个指标 组合指标 权重 科技评价

## Study on sensitivity analysis in science and technology evaluation

Yu Liping, Pan Yuntao, Wu Yishan

Institute of Scientific and Technical information of China Beijing, 100038

Abstract: This paper analyzes sensitivity of single indicator and combined indicators from indicator value and weight. The function of sensitivity analysis varies with the analysis angle. It is necessary to combine sensitivity analysis of single indicator and combined indicators. The result of sensitivity analysis isn't so good with too many evaluation objects. The summarizing range of weight Sensitivity analysis of single indicator may measure different evaluation methods' stability.

Keywords: sensitivity analysis, single indicator, combined indicator, weight, S&T evaluation

### 1 引言

科技评价是科技管理工作的重要组成部分，是推动国家科技事业持续健康发展，促进科技资源优化配置，提高科技管理水平的重要手段和保障。灵敏度分析是一种广泛应用于多属性决策、多属性评价的方法。在科技评价中，灵敏度分析可以用来分析指标值及指标权重的变化对评价结果的影响，从而在评价方法稳定性判断、科技政策模拟、权重赋值优化、指标选取等领域发挥重要作用。

关于灵敏度分析的研究涌现出许多成果。Myers J. H. (1968)<sup>[1]</sup>主要研究某一属性权重的变化对方案排序结果的影响程度。Starr<sup>[2]</sup>、Isaacs<sup>[3]</sup>、Fishburn<sup>[4]</sup>和Evans<sup>[5]</sup>等人分别研究了方案排序保持不变情况下属性权重的最大变化区域问题。French、Rios、Insua<sup>[6]</sup>采用最小距离法来确定当前最优方案的潜在竞争者。针对层次分析法(AHP)，Masuda<sup>[7]</sup> Armacost<sup>[8]</sup>分别研究了灵敏度分析方法。Ringuest<sup>[9]</sup>还研究了最接近集合与原始权重距离 $L_p$ 模的灵敏度分析。国内学者樊治平、李洪燕<sup>[10]</sup> (2004)提出了基于OWA算子的群决策方法的灵敏度分析。孙世岩、邱志明<sup>[11]</sup> (2006)提出了一种基于PROMETHEE II的权重敏感性分析方法。马良<sup>[12]</sup> (2001)提出了基于集对分析的群决策灵敏度分析方法。李盛阳、张晓武<sup>[13]</sup> (2004)利用灵敏度分析进行动态指标的选取。此外，蒋艳、向学军<sup>[14]</sup> (2004)、吴超、胡昆<sup>[15]</sup> (2004)等

<sup>1</sup>国家十一五支撑计划项目(2006BAH03B05)；国家自然科学基金资助(70673019)

作者简介：俞立平(1967-)男，江苏泰州人，博士，扬州职业大学教授，主要从事信息经济、科学计量领域的教学科研工作。Email: chinayangzhou@yahoo.com.cn

学者在多属性决策权重灵敏度应用方面做过一些研究。在科技评价中进行灵敏度分析的则比较鲜见。此外，基于指标权重的灵敏度分析较多，基于指标值的灵敏度分析较少。

总体上，从多属性决策角度进行灵敏度分析的研究较多，从多属性评价角度进行灵敏度分析的较少。二者虽然都牵涉到指标选取、权重赋值、结果排序，有许多一致之处，但还是有许多区别的，比如基于决策的角度进行灵敏度分析，许多方法都涉及到运筹学中的线性规划问题，但是在多属性评价中线性规划的作用是极其有限的。评价的重点是为了进行不同方案之间的比较，重在区别，并不需要寻找某种权重的最佳组合，使评价结果值最大，或者说，使评价结果最大的权重组合并不一定就是最佳评价方法，如果这样，多属性评价方法问题已经彻底解决了，不会涌现出几十种各种各样的评价方法。决策灵敏度分析与评价灵敏度分析本质上并不相同。

在多属性评价灵敏度分析的应用上，往往是基于不同评价对象之间的比较，比如权重的变化引起评价对象 A 与评价对象 B 的排序变化；或者是某个指标值数据变化对排序影响；或者是某个指标权重变化的范围分析。由于权重之和一定，一个指标权重增加必定带来其他指标权重的减小，某些研究往往选取其中两个指标进行此消彼长分析。考虑一两个指标进行分析显然是片面的，比如在科技评价中，总被引频次、影响因子、即年指标三个指标性质类似，都是说明期刊影响力的，可以采取使三个指标同时增长，但很难采取措施使总被引频次增加而影响因子不变，因此，除了分别进行三个指标的灵敏度分析外，还应该考虑三个指标整体组合后的灵敏度分析，这更具有实用价值。

本文利用中国科学技术信息研究所医科院校学报期刊数据，采用专家打分法赋予权重，然后进行单个指标及组合指标的数据灵敏度分析和权重灵敏度分析，在此基础上进行进一步讨论。

## 2 研究方法

### 2.1 指标值灵敏度分析

指标值灵敏度分析可以在两个评价对象之间进行，也可以是所有指标值按照某个百分比同时变化；既可以是单个指标变化分析，也可以是多个指标变化分析。本文以指标值的整体同步变化为例，进行单个指标值与组合指标值的灵敏度分析。

假设有  $m$  个评价对象， $n$  个评价指标，分别为  $X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}, \dots, X_{i,n}$ ，采用专家打分法给每个指标赋予权重，分别为  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ ，显然有  $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n = 1$ ，评价值为  $Y$  为：

$$Y_i = \omega_1 X_{i,1} + \omega_2 X_{i,2} + \dots + \omega_n X_{i,n} \quad (1)$$

对于指标  $X_{i,j}$ ，考虑所有评价对象全部按照某个百分比增加或减少的情形，假设变动幅度为  $r$ ，则新评价值为：

$$Y'_i = \omega_1 X_{i,1} + \omega_2 X_{i,2} + \dots + \omega_j X_{i,j}(1+r_j) + \dots + \omega_n X_{i,n} \quad (2)$$

为了进行单个指标  $X_{i,j}$  变化的灵敏度分析，首先将原有评价结果进行排序，并且标出每个评价对象的序号。然后设定  $r$  的初始值  $r_0$  和终值，再设定步长  $\Delta r$  进行循环，每次都计算  $X_{i,j}$  变化后的评价价值，然后重新进行排序，并比较新排序与原有排序的一致性，一旦不一致，就停止循环，此时的  $r_j$  值就是临界点的阈值。由于  $r_j$  变化可以是增加，也可以是减少，因此要分别进行计算。单个指标值的灵敏度分析流程如图1所示。

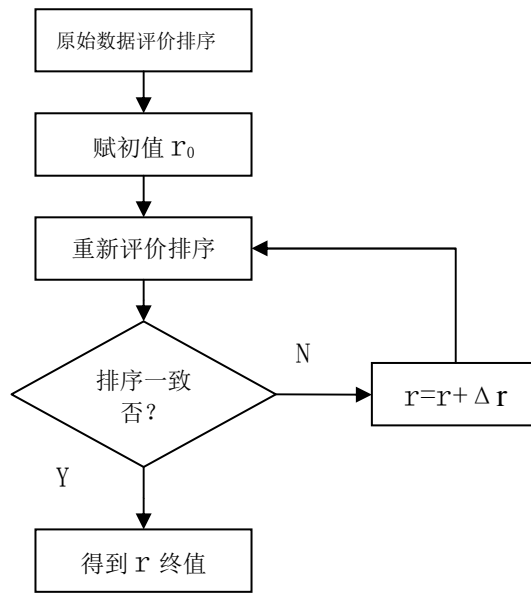


图1 单指标值灵敏度分析流程图

在实际应用中，有时某几个相似指标会同时变化，比如某个宏观政策会带来内容相近的几个指标同时变化，也存在灵敏度分析问题，方法和单个指标值灵敏度分析类似。组合指标灵敏度分析的最大优点是可以用来分析组合指标变化后导致的评价结果排序变化，可以广泛应用于政策模拟中。

## 2.2 指标权重灵敏度分析

指标权重的灵敏度分析应用较广，与指标值灵敏度分析不同的是，权重之和必需为1，一个指标权重的增加必然会导致其他指标权重的减少。指标 $X_{ij}$ 的权重为 $\omega_j$ ，若该权重增加 $\sigma_j$ ，则新权重为 $\omega_j + \sigma_j$ ，为了保证权重之和为1，本文采取在其他 $n-1$ 个指标中平均缩减 $\sigma_j$ 的方式，因此，权重调整后的评价值为：

$$Y'_i = (\omega_1 - \frac{\sigma_j}{n-1})X_{i,1} + (\omega_2 - \frac{\sigma_j}{n-1})X_{i,2} + \dots + (\omega_j + \sigma_j)X_{i,j} + \dots + (\omega_n - \frac{\sigma_j}{n-1})X_{i,n}$$

具体处理流程与图1类似，也是首先设一个 $\sigma_j$ 的初始值，然后根据一定的步长逐步增加，每次都进行新的评价和排序，并且和原始数据评价排序对比，直到排序不一致为止，从而得到使排序不变的权重容许改变值，当然，权重改变也包括增加和减少，要分别进行计算。

对于 $k$ 个组合指标权重同时变化的情形，初始值可以设定为 $\sigma_j/k$ ，其他指标权重的初始值为 $-\sigma_j/(n-k)$ ；组合指标步长为 $\Delta\sigma/k$ ，其他指标步长为 $-\Delta\sigma/(n-k)$ ，从而保证权重之和为1。当然，也要考虑到权重增加和减少的情形。

对于单个权重的灵敏度分析，为了进行不同方案稳定性的比较，可以分别对不同赋权方案进行灵敏度分析，最后将所有指标阈值范围汇总，总区间范围最大的方案灵敏度最低，鲁棒性和稳定性最好，这可以作为一个评价不同权重赋值方案稳定性的指标。

## 2.3 灵敏度分析适用范围

从灵敏度分析的原理看，无论是指标值灵敏度分析还是权重灵敏度分析，当评价对象较多时，灵敏度分析的效果是很差的，因为此时评价结果数据比较接近，权重或指标的任何细小变化都容易导致排序的变化。此时可以考虑选择部分关键评价对象进行灵敏度分析。

还有一种极端情况，评价结果排序后， $Y_i > Y_{i+1}$ ，若同时有 $X_{i+1,j} > X_{i,j}$ ，即所有指标值的排序结果和评价值的排序结果相同，此时是无法做灵敏度分析的，因为无论指标值和权重作任何变化， $Y_i$ 总是大于 $Y_{i+1}$ ，也就是说，评价值不会作任何改变。

### 3 数据

本文数据来自于中国科学技术信息研究所 CSTPC 数据库,本文以医科院校学报数据为例进行分析。中国科学技术信息研究所从 1987 年开始对中国科技人员在国内外发表论文数量和被引情况进行统计分析,并利用统计数据建立了中国科技论文与引文数据库,同时出版《中国科技期刊引证报告》,本文数据是 2006 年的医科院校学报数据,共有 58 种期刊。作为一种灵敏度分析的尝试,选取的指标有总被引频次、被引半衰期、影响因子、即年指标、基金论文比 5 个指标,权重采取专家打分法确定,依次为 0.5、0.05、0.3、0.05、0.1。

原始数据必需进行标准化处理,本文设定每项指标最大值为 100,其他数据分别与最大值相除后得到各自标准化后的结果。此外,被引半衰期是反向指标,也进行了必要的处理。

### 4 灵敏度分析结果

#### 4.1 指标值灵敏度分析

本文的数据标准化后所有指标的最大值均为 100,在进行指标值灵敏度分析时考虑到指标值的增减变化,有两套参数设定方法:数据增加时设定初始值为 0.01,步长也为 0.01,终值为 1.00;数据减少时设定初始值为-0.01,步长也为-0.01,终值为-1.00。

为了根据指标属性进行组合指标的灵敏度分析,还必须对指标进行分类,如图 2 所示,总被引频次、影响因子、基金论文比都是期刊影响力指标,被引半衰期是期刊时效性指标,即年指标比较特殊,既是期刊影响力指标,也是期刊时效性指标,因此有两套分类方案。

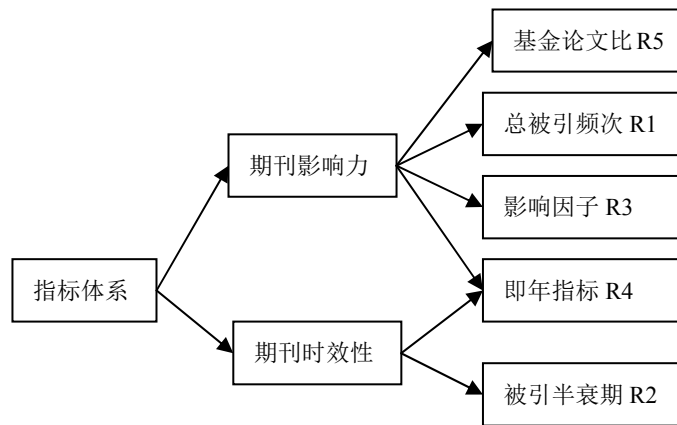


图 2 指标分类体系

采用 VFP 编程,灵敏度分析结果如表 1 所示,其中区间范围为阈值之差。共分三组,第一组和第二组是组合指标灵敏度分析,第三组是单个指标灵敏度分析。第一组被引半衰期的灵敏度最低,其阈值变化范围为-9%~25%,总被引频次、影响因子、即年指标、基金论文比的灵敏度也不高,其阈值范围都是-20%~9%。第二组总被引频次、影响因子、基金论文比的组合灵敏度最低,其阈值范围分别为-3%~7%。即年指标和被引半衰期的组合灵敏度略高,其阈值范围为-5%~3%。第三组是单个指标的灵敏度分析,被引半衰期、即年指标的灵敏度较低,总被引频次灵敏度较高。

指标值灵敏度分析中阈值范围的含义是,如果所有评价对象的某个指标或指标组合在该范围内同时变化,排序结果不受影响。以基金论文比为例,如果所有期刊该指标值在-3%~3%范围内变化,则排序结果不变,一旦越过这个范围,排序有可能变化。这个特性可以用来进行政策模拟,比如采用指标体系进行地区创新评价,各地区引进国外技术支出等比例增长,可以通过引进国外技术支出指标的灵敏度分析来考察增长率在什么范围内不会影响原有的地区排序。

表 1 指标值灵敏度分析

灵敏度分类	指标变量	指标值变化阈值 (按百分比变化%)	区 间 范围 (%)	区 间 范围 (%)
第一组	R1, R3, R4, R5	-20	9	29
指标组合灵敏度分析	R2	-9	25	34
第二组	R2, R4	-5	3	8
指标组合灵敏度分析	R1, R3, R5	-3	7	10
第三组	R1	-1	1	2
单个指标灵敏度分析	R2	-9	25	34
	R3	-1	3	4
	R4	-11	3	14
	R5	-3	3	6

#### 4.2 权重灵敏度分析

同样采用 VFP 编程，对于单个指标权重的灵敏度分析。考虑到权重分析一般精确到小数点后 3 位，权重增加时，设定初始值为 0.001，步长为 0.001，终值为 1.00，其他所有指标的初始值为 $-0.001/(n-1)$ ，步长为 $-0.001/(n-1)$ ，终值为-1.00。权重减少时，设定初始值为-0.001，步长为-0.001，终值为-1.00，其他所有指标的初始值为 $0.001/(n-1)$ ，步长为 $0.001/(n-1)$ ，终值为 1.00。

对于 k 个指标组合的权重灵敏度分析，权重增加时，设定初始值为 $0.001/k$ ，步长为 $0.001/k$ ，终值为 1.00，其他各指标的权重初始值为 $-0.001/(n-k)$ ，步长为 $-0.001/(n-k)$ ，终值为-1.00。权重减少时，设定初始值为 $-0.001/k$ ，步长为 $-0.001/k$ ，终值为 1.00，其他各指标的权重初始值为 $0.001/(n-k)$ ，步长为 $0.001/(n-k)$ ，终值为 1.00。权重灵敏度分析的结果如表 2 所示，其中区间范围为阈值之差。

表 2 权重灵敏度分析

灵敏度分类	指标变量	权重值变化阈值	区间范围	区间范围汇总
第一组	R1, R3, R4, R5	-0.003 0.001	0.004	0.020
指标组合权重灵敏度分析	R2	-0.004 0.012	0.016	
第二组	R2, R4	-0.003 0.003	0.006	0.010
指标组合权重灵敏度分析	R1, R3, R5	-0.002 0.002	0.004	
第三组	R1	-0.002 0.002	0.004	0.052
单指标权重灵敏度分析	R2	-0.006 0.014	0.020	
	R3	-0.006 0.002	0.008	
	R4	-0.006 0.002	0.008	
	R5	-0.006 0.006	0.012	

第一组中，被引半衰期权重灵敏度最低，其阈值范围为-0.004~0.012，被引半衰期权重在 $0.05_{-0.004}^{+0.012}$ 即 0.046~0.062 范围变化，期刊的原有排序不会变化。总被引频次、影响因子、即年指标、基金论文比的组合权重灵敏度较高，其阈值范围为-0.003~0.001。第二组被引半衰期、即年指标的组灵敏度最低，其阈值范围为-0.003~0.003，总被引频次、影响因子、基金论文比的组合权重灵敏度较高，其阈值范围为-0.002~0.002。第三组是单个指标的权重灵敏度分析，灵敏度最低的是被引半衰期，其阈值范围为-0.006~0.014，灵敏度最高的是总被引频次，阈值范围仅在-0.002~0.002 之间。

第一组、第二组组合灵敏度区间变化范围之和分别为 0.020、0.010，第三组单个指标灵敏度区间变化范围之和为 0.052，单个指标的灵敏度区间范围之和似乎比组合指标的灵敏度

低，该指标可以用来比较各权重赋值方案的稳定性程度。

权重灵敏度总体偏高，主要原因是期刊总数共 58 种，数量较多，评价值比较接近的期刊较多，因此权重的微小变化容易带来评价结果次序的变化。

## 5 结论与讨论

### 5.1 灵敏度分析角度不同，用途不同

灵敏度分析的角度有多种，基于指标值灵敏度分析可以用来进行政策模拟，比如科技创新评价，其中有科技经费投入指标，国家拟追加科技经费投入，假如各个地区该指标按同样比例增加，可以通过科技投入指标值的灵敏度分析来考察科技经费等比例增加后各地区科技创新排序的变化。灵敏度分析还可以用来分析假如所有评价对象的同类指标按照相同比例变化对排序的影响，如发明专利、实用新型专利、外观设计专利的同步增长，虽然实际应用中这种情况几乎永远不可能出现，但仍然具有比较重要的参考价值。此外，单指标值灵敏度分析也可以作为统计数据误差范围的一个指标，即在此误差范围内，总体排序大致稳定。

权重灵敏度分析可以用来协助专家对权重进行调整，比如若干专家对指标体系权重打分各不相同，可以事先将所有专家的打分进行平均，得到初始权重，然后进行单指标的权重灵敏度分析，看看每个指标权重的大致变化范围，然后在此基础上进行调整。组合指标的灵敏度分析，同样可以用来分析某类指标权重同时变化对排序的影响，便于专家对该类指标的权重进行修正。

单指标权重灵敏度分析还可以用来进行指标的选取，对于灵敏度极低的指标，由于其变化对排序影响较小，可以适当进行删除。

总体上，无论是指标值还是权重灵敏度分析，灵敏度较低的评价方案稳定性好，评价结果较为可信。

### 5.2 组合指标与单个指标的灵敏度应该结合使用

与单个指标的灵敏度分析相比，组合指标的灵敏度分析更加贴合实际。如果某类指标尤其是二级指标内容相近，无论是指标数值还是权重的变化，往往都是同时进行的，因此进行组合指标的灵敏度分析更具有应用价值。组合指标和单个指标灵敏度分析应结合在一起使用，从而可以进行综合分析。

### 5.3 评价灵敏度分析有一定的适用范围

无论是指标值灵敏度分析还是权重灵敏度分析，指标数据本身的特点对灵敏度的影响较大，极端情况甚至无法做灵敏度分析，比如在评价对象较多时灵敏度分析较差，在评价对象排序与指标排序一致时，是无法对该指标进行灵敏度分析的。

灵敏度分析更多地应用于决策中，由于决策方案一般总是有限的，因此效果往往较好。在科技评价中，如果评价对象较多，评价结果之间必然比较接近，无论是指标值还是权重的微小变化，都可能带来评价结果排序的变化，因此，灵敏度分析的效果较差。在评价对象较多的情况下，可以适当选取某些关键评价对象进行灵敏度分析。

## 参考文献

- [1]Myers J H. Alpert M I. Determinant buying attributes :meaning and measurement [J]. Marketing , 1968 , 32 (10) :13-20
- [2]Starr M K. A discussion of some normative criteria for decision making under uncertainty[J]. Industrial Management Review , 1966 , 8 :71 - 78.
- [3]Isaacs H H. Sensitivity of decisions to probability estimation errors[J]. Operations Research ,

1963,11 :536 - 552.

[4]Fishburn P C. Analysis of decisions with incomplete knowledge of probabilities[J]. Operations Research, 1965 (13) :217 - 237.

[5]Evans J R. Sensitivity analysis in decision theory[J]. Decision Sciences, 1984 ,15 :239 - 247.

[6]French S , Rios Insua D. Partial information and sensitivity analysis in multi objective decision making[A]. In Lockett P. Improving Decision Making in Organizations [M]. LNEMS, London , England: Springer2Verlag , 1989. 23 -41.

[7]Masuda T. Hierarchical sensitivity analysis of the priorities used in analytic hierarchy process[J]. Systems Science, 1990,21 (2) :415 - 427.

[8] Armacost R L , Hosseini J C. Identification of determinant attributes using the analytic hierarchy process[J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 1994 ,22 (4):383 - 392.

[9]Ringuest J L.  $L_p$ -metric sensitivity analysis for single and multi attribute decision analysis[J]. European Journal of Operations Research, 1997 ,98 :563 - 570.

[10]樊治平、李洪燕等. 基于 OWA 算子的群决策方法的灵敏度分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2004(11): 1114-1117

[11]孙世岩,邱志明. 一种基于PROMETHEE II的权重敏感性分析方法[J]. 运筹与管理, 2006(12): 44-47

[12]马良. 基于集对分析的群决策灵敏度分析[J]. 上海理工大学学报, 2001(1): 30-34

[13]李盛阳、张晓武. 基于灵敏度分析的动态指标选取方法[J]. 计算机仿真, 2005(3): 120-123

[14]蒋艳、向学军多目标决策中的权重敏感性分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2004(10): 447-449

[15]吴超、胡昆. 区间数多属性决策中权重灵敏度分析[J]. 系统工程与电子技术, 2004(9): 1217-1219