1. 结构脆弱性指标的权重确定方法——熵权法

1.1基本原理：

熵作为热力学中分子运动无序程度的度量，原本用来反映系统蕴含能量的大小。随后被引入到各领域以表征系统无序程度。当分子均匀分布在整个空间内时，分析运动表现出高度的无序性特征，系统的熵很大。当分子集中于系统中的某一子空间内时，分子运动无序程度很小，系统的熵很小。

在信息论中，熵是对不确定性的一种度量。不确定性越大，熵就越大，包含的信息量越小；不确定性越小，熵就越小，包含的信息量就越大。

根据熵的特性，可以通过计算熵值来判断一个事件的随机性及无序程度，也可以用熵值来判断某个指标的离散程度，指标的离散程度越大，该指标对综合评价的影响（权重）越大。比如样本数据在某指标下取值都相等，则该指标对总体评价的影响为0，权值为0.

熵权法是一种客观赋权法，因为它仅依赖于数据本身的离散性。

在本文中，电网拓扑结构的脆弱程度是通过结构脆弱性指标来定量描述的，不同节点对系统脆弱性的影响不同，熵是反映系统内分子离散程度的物理量，所以使用熵的概念定量描述评价指标的离散程度，即电网结构的不均衡度。进而通过熵值进行指标间的权重分配，对电网结构脆弱程度进行综合评价，并分析电力系统的结构异质性和主导因素。

在结构脆弱性指标集中，每个评价指标是考虑不同节点对电网拓扑结构的影响程度而提出的，所以当指标的熵值越大，说明各节点在该指标值下的离散程度比较小，对系统的影响程度比较均衡，系统的异质性较小；反之，熵值越小，该指标的离散程度越大，各节点的脆弱性差异也就比较大，系统具有较强的异质性。由于结构脆弱性各指标是从不同方面考虑提出的，不存在信息重合的情况。所以在评价系统结构脆弱性指标时，基于熵权法的电网结构脆弱性特征分析与评价方法是比较合理的。

1.2熵权法步骤



首先，假设有M个评价对象，根据综合评估问题的需要，选取N个评价指标，计算各评价对象的各指标数值的大小，假设第m个评价对象的第n个评价指标数值为。

然后，由于不同的评价指标在计算结果上存在量纲以及取值范围的差异，所以需要对每个评价指标的数值进行标准归一化处理。其归一化的数值用表示。（其方法为离差标准化）

计算各评价指标的熵，表达式如下：





 表示第n组随机实验中第m个随机事件发生的概率（我们假设一个节点对应的指标值越大，其受到扰动或破坏的概率越大）； 表示第n个指标的熵。

计算各评价指标的熵权，表达式如下：

（）

具体映射：在电力系统结构脆弱性评估中，评价对象有39个，即1-39节点，评价指标有3个，分别为电气度、电气介数和pagerank值，将每个评价指标的数值在评价指标数值总和下所占的比例作为其所发生的概率。

对熵权法的改进：

1.在标准归一化后，在指标数据里不可避免会出现数值为零的指标，而熵权法赋权的要求指标数据必须全部大于零，否则在取对数时，会出现数据异常。为了保证数据的完整性和评价的可靠性，需要对指标数据进行变换，进而对熵权法进行改进。

为此，为了不改变指标数据的原始分布，我们对指标数据归一化到[0.002,0.998]之间。

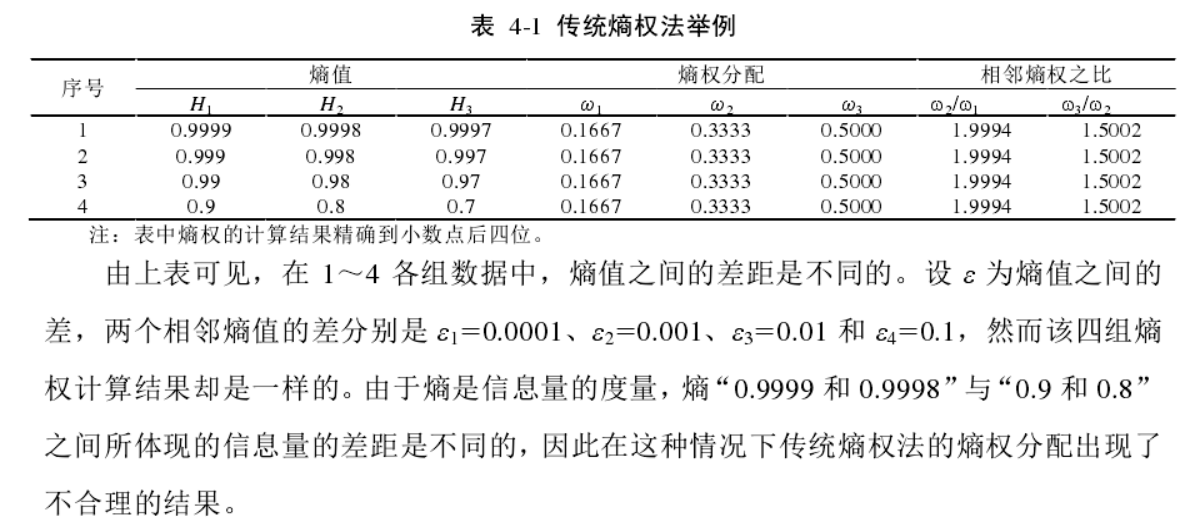
用方差来定义信息损失容忍度：

当满足，称 为在信息损失容忍度为的指标数据。（方差表征了变量与均值的偏离程度，用处理过的信息的方差与原始信息进行对比，可以得到信息损失的情况，若满足一定的容忍度，那么处理过的信息可用于系统评价）

经过计算，归一化数据的信息损失容忍度。

均方误差（mean-square error, MSE）是反映[估计量](https://baike.baidu.com/item/%E4%BC%B0%E8%AE%A1%E9%87%8F/6395750)与被估计量之间差异程度的一种度量。

2.改进2(改变后存在指标间权重差异不大的情况，对此暂不进行改进)



不合理的地方：如第一行，三个评价指标的熵值相差不大，理论上讲，其权重分配比较均衡，按照传统熵权法公式计算，其熵权分配的差距比较大，当熵值差以数量级变动时，其权值不变。

定义：为熵值比重，其表达式为，重新定义评价指标的熵权表达式：



传统熵权法的不足之处在于，先计算了理论最大熵值与实际熵值的差，从而导致在熵值差在成数量级变化的情况下，其权值分配不变；改进的熵权法，通过先计算每个指标的熵值占总和的比例，通过重新定义指标间的熵值比重来进行权重分配，从熵权分配之初就避免了传统方法的不足，使熵权分配更加合理。

为了符合熵权法的原理，当时，令，即当指标数据离散程度为0时，该指标对系统综合评价无参考意义，在权重分配时，。





1.3实验结果

为了缩小极端值对综合评价的影响，并保证赋值的客观性，可以对极端值或者负值指标进行平移，然后再按熵权法的步骤进行计算。变换公式为：



其中， ，

在本文的指标集中，仅有数据为零的异常数据，因此只需要对零数据进行变换即可。

问题：在状态脆弱性指标权重确定上，采用主观法还是客观法？

主观法是由决策分析这对各个属性（指标）的重视程度来分配权重，按项目的需求和决策者的目的，在一定程度上是需要在这一领域有丰富经验的专家进行分析决策。主要有专家调查法、环比评分法、层次分析法等。

客观法是单纯利用属性的客观信息而确定权重的方法,主要有熵信息法 、离差最大法 、基于方案满意度法 、基于方案贴近度法等 ;组合赋权法是指近几年兴起的将不同赋权法所得权重系数按照一定的方法进行组合的方法。这些属性权重的方法各有不同的特征。

1. 状态脆弱性指标的权重确定方法——离差最大化法

大多应用于多属性决策，在经济，工程设计，管理，以及军事领域有广泛的应用，主要优点在于概念清楚，含义明确，排序结果准确可信，不具有主观随意性。

对于多属性决策问题，X={x1,x2…xn}为方案集，U={u1,u2...um}为指标值，yij表示在指标j下，方案i的指标值。

经过文献查阅和理解，离差最大化的基本思想，在指标i下，各方案的指标值的离散程度，其表征的意义在于，如果指标uj对于所有的方案i而言，均无差别，那么指标i对方案决策与排序将不起作用。这样的评价指标可令其权系数为0；如果 Uj 指标能使所有决策方案的指标值有较大差异 ,这样的评价指标对方案决策与排序将起重要作用 ,应该给予较大的权系数。具体的离差公式可参照论文《运用离差最大化方法进行多指标决策与排序》

在状态脆弱性的权重确定方面，在某一状态指标下，电网各节点的状态指标值是不同的，当电力系统各节点的状态指标值的差别很小时，说明选取的指标在电力系统的量化评估中起到的作用很小，应赋予小的权重，这在一定程度反映一个问题，这就是为什么我们在选取评价指标时，要从不同方面考虑，做的全面客观地选取指标。当电力系统各节点的状态指标值离散程度大时，说明选取的指标使各节点的状态值产生了很大的变化，不同节点在此指标下的状态值差别很大，说明选取的指标在电力系统的量化评估中起到的作用很大，应赋予较大的权重。

3．结构和状态指标融合

信息增益法确定权重：

意义：当一个指标的信息增益值越大，说明在该指标下，各节点的指标值的无序离散程度大，说明该指标对各节点的影响程度差别很大，极易对某些脆弱节点造成极大影响，进而形成故障，导致电力系统产生连锁故障，破坏电力系统正常的均衡状态。