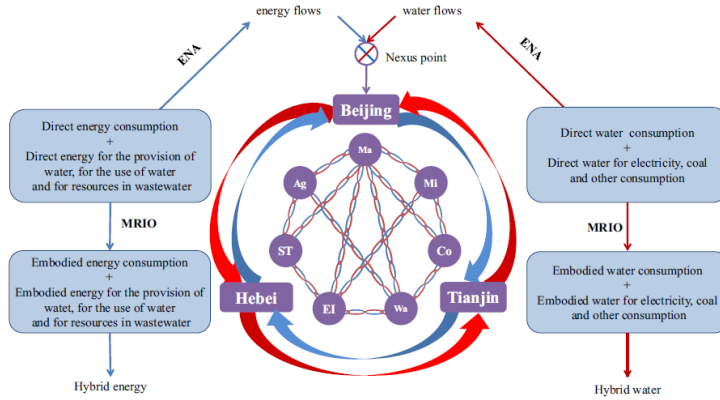


# 能源-水关联模型

彭焜介绍

模型框架和结构（以北京-天津-河北城市群能源-水关联网络为例）：



其中：ENA 指的是生态网络分析，MRIO 指的是多区域投入产出分析。注解：Ma, 制造业；Mi, 矿业；Co, 建造；Wa, 水资源供应；EI, 电力供应部门；ST, 服务业和交通；Ag, 农业。

## 能源-水关联建模：

多区域关联网络采用生态网络分析对城市群的物质循环和恢复力进行评估。将生态网络分析中的系统稳定性（SR），芬恩循环指数（FCI）运用于多区域关联网络中，分别对系统稳定性和混合能源或水的循环进行阐释，以及运用控制分配系数（CA），依赖分配系数（DA）等指标量化部门和地区之间的控制和依赖关系。

### 1. 芬恩循环指数（FCI）

用来模拟整个系统能源或水流动的循环率，计算方法如下：

$$N=(n_{ij})=\sum_0^{\infty} G^n=(I-G)^{-1} \quad (1)$$

$$FCI=\sum_{i=1}^n \left( \frac{n_{i,i}-1}{n_{i,i}} T_i \right) / TST \quad (2)$$

其中， $N=(n_{ij})$ 指的是代谢物质流（各节点由于新陈代谢活动引发的物质在系统网络中的流动）的积分无量纲矩阵； $G=(g_{ij})$ 指的是代谢流的直接无量纲矩阵； $\sum_0^{\infty} G^n$ 指的是代谢流的间接无量纲矩阵； $g_{ij}=f_{ij}/T_i$ ； $f_{ij}$ 指的是从部门 j 流向部门 i 的体现能源或体现水；整个系统的总输入或总输出  $TST=\sum_{i=1}^n T_i$ ， $T_i$ 指的是 i 部门的输入或输出。

### 2. 系统稳定性（SR）

SR-基于系统的一个指标，通过考虑流动效率和冗余之间的平衡来表示多区域关联网络的可持续性。SR 通过多区域关联网络的容量（capability (C)）和优势（ascendency (A)）来计算。

容量和优势的定義以及 SR 计算过程如下：

$$C=-TST^2 \sum_{i,j} \frac{f_{ij}}{TST} \ln \frac{f_{ij}}{TST} \quad (3)$$

$$A = TST^2 \sum_{i,j} \frac{f_{ij}}{TST} \ln \frac{f_{ij} TST}{T_i T_j} \quad (4)$$

$$\alpha = A/C \quad (5)$$

$$SR = -\alpha \log(\alpha) \quad (\text{这里的 } \log \text{ 指的是以 } 10 \text{ 为底的对数}) \quad (6)$$

### 3. 控制分配系数 (CA), 依赖分配系数 (DA)

结合控制分配系数 (CA) 和依赖分配系数 (DA) 可以量化部门间的控制和依赖关系, 具体方程如下:

$$N' = (n'_{ij}) = \sum_0^\infty G'^n = (I - G')^{-1} \quad (7)$$

$$CA = (ca_{ij}) = \begin{cases} n_{ij} - n'_{ji} > 0, ca_{ij} = \frac{n_{ij} - n'_{ji}}{\sum_{i=1}^m n_{ij} - n'_{ji}} \\ n_{ij} - n'_{ji} \leq 0, ca_{ij} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$DA = (da_{ij}) = \begin{cases} n_{ij} - n'_{ji} > 0, da_{ij} = \frac{n_{ij} - n'_{ji}}{\sum_{i=1}^m n_{ij} - n'_{ji}} \\ n_{ij} - n'_{ji} \leq 0, da_{ij} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $G' = (g'_{ij})$ ,  $g'_{ij} = f_{ij}/T_j$ ,  $T_j$  指的是  $j$  部门的输入或输出。