



中国工程院
Chinese Academy of Engineering



山西焦煤
SHANXI COKING COAL



ICE-CMM
卓越瓦斯

净剩能量观

Net Energy Analysis

— 化石能源开发与利用
Development and Utilization of Fossil Fuels

金智新

Zhixin Jin

2107 年 11 月

November, 2017

汇报内容 (Contents)

一、问题提出

Problem statement

二、化石能源固流二相性

Energy curing and circulation properties of fossil fuels

三、能量流分析理论

Energy flow analysis theory

四、净剩能量最大化评价体系.

Evaluation system for maximization of net energy

五、结论与思考

Conclusions and thoughts

一、问题提出 (Problem statement)

■ 化石能源总量有限、不可再生

Fossil fuels are limited and non-renewable

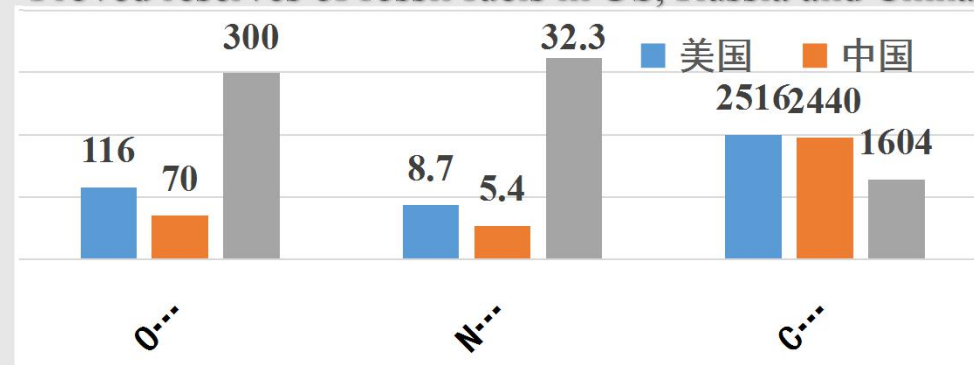
到2016年底世界主要化石能源探明储量：

	煤炭	石油	天然气
储量	11393.31 亿吨	240.7 亿吨	186.6万亿立方米
储产比	153	50.6	52.5

数据来源：BP世界能源统计年鉴2017



世界部分国家化石能源探明储量
Proved reserves of fossil fuels in US, Russia and China



数据来源：BP世界能源统计年鉴2017

中国人均化石能源相对占有量

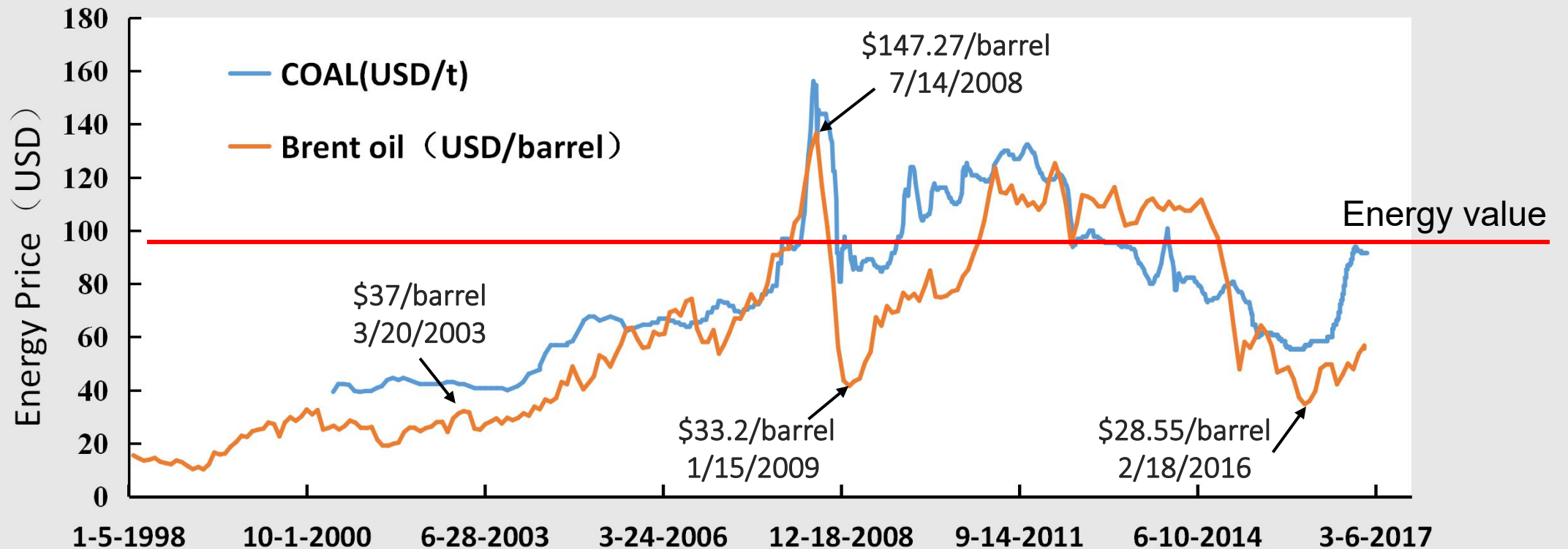
Relative per capita availability of fossil fuels in China

	Coal	Oil	Nature gas
US	22.28%	13.86%	14.25%
Russia	15.85%	2.43%	1.74%

一、问题提出 (Problem statement)

■ 货币不能衡量化石能源自身能量价值

Monetary value cannot represent the true value of fossil fuels



1998-2017年能源价格走势
Variation of energy price from 1998 to 2017

一、问题提出 (Problem statement)

■ 货币不能衡量化石能源自身能量价值

Monetary value cannot represent the true value of fossil fuels

- ◆ 能量流是隐藏在货币后面推动社会发展的客观存在的动力。
- ◆ 刻画能量在社会网络中能源生产与消费效益的是流动的**能量价值**。



流动的能量价值

一、问题提出 (Problem statement)

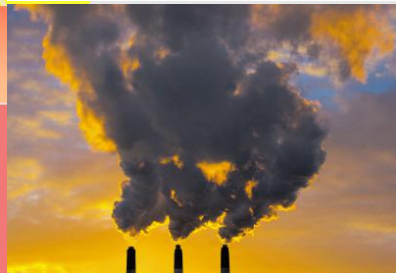
■ 化石能源开发与利用的本质没有被充分认识

The essence of development and utilization of fossil fuels is not uncovered

净剩能量

社会经济发展

能源开发与利用



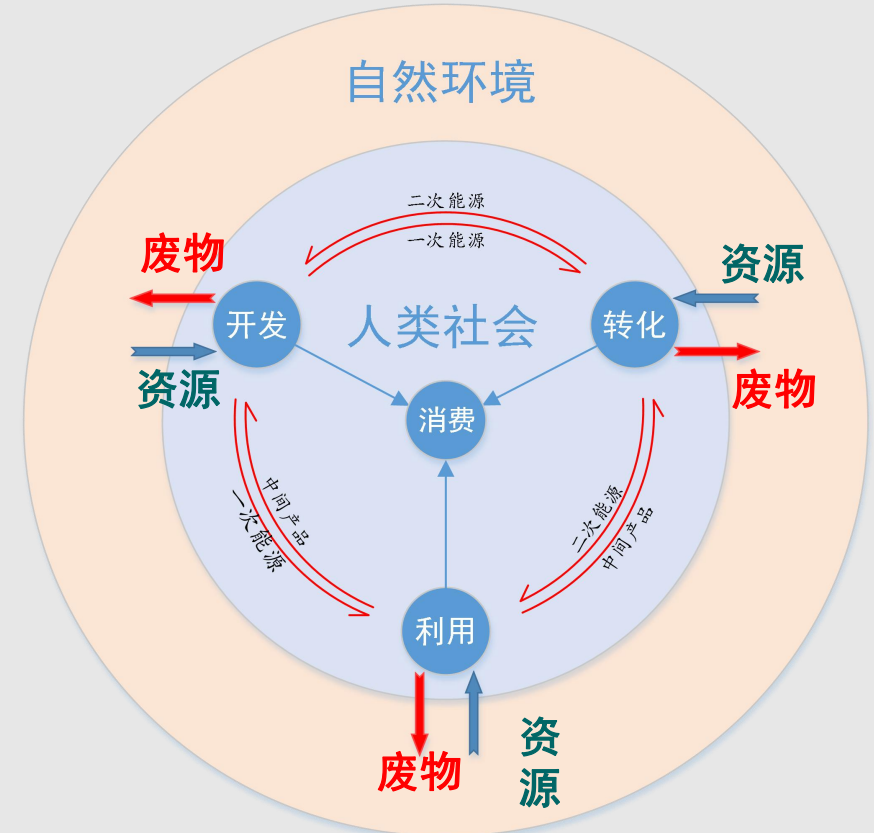
- ◆ 获取最大**净剩能量 (maximized net energy)** 的观点在能源开发与利用的本质没有被充分认识。
- ◆ 能源开发与利用的评价中偏重于经济评价，对考虑资源、环境等因素的评价方法以定性为主。
- ◆ 化石能源全生命周期效率评价目前尚无以**能级**作为评价指标，以**能量**作为统一折标量的评价方法。
- ◆ 新能源开发与推广也要符合净剩能量最大化原则。

一、问题提出 (Problem statement)

■ 能量流分析理论与能效评价方法不完善

There is no method for calculation and evaluation of energy flow

- ◆ 能量 (energy) 是能源在社会网络中流通的**客观本质 (objective essence)**
- ◆ 现有的能效标准缺乏对**非能源要素 (non-energy elements)**间接能耗的全面考量。
- ◆ 能量在社会网络中的分配与调控 (distribution and control) 缺乏分析方法与标准。
- ◆ 科技进步在能量流网络中**放大作用 (amplification effect)**的度量与评价方法缺失



能量流示意图

Schematic diagram of energy flow

汇报内容 (Contents)

一、问题提出

Problem statement

二、化石能源固流二相性

Energy curing and circulation properties of fossil fuels

三、能量流分析理论

Energy flow analysis theory

四、净剩能量最大化评价体系.

Evaluation system for maximization of net energy

五、结论与思考

Conclusions and thoughts

二、化石能源固流二相性 (Energy curing and circulation properties of fossil fuels)

■ 固流二相性

Energy curing and circulation properties

化石能源开发与利用遵循从自然态(nature state)到物能态(energy state)的固流二相性

固 是指化石能源固有的能量属性

Energy curing is an intrinsic property that fossil fuels have

流 是指能量与负熵能之间转化、传递、固定及熵增过程中的流动属性

Circulation is another property of fossil fuels, in which, the fossil fuels in terms of energy will be transformed, transferred and cured into negentropy.

◆ 热力学第一定律：能量守恒

$$\Delta U = Q + W$$

◆ 热力学第二定律：能量在转化过程中有损失。

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

◆ 负熵能：产品中的有序化能量。

$$dS = \frac{\partial Q}{T} < 0$$

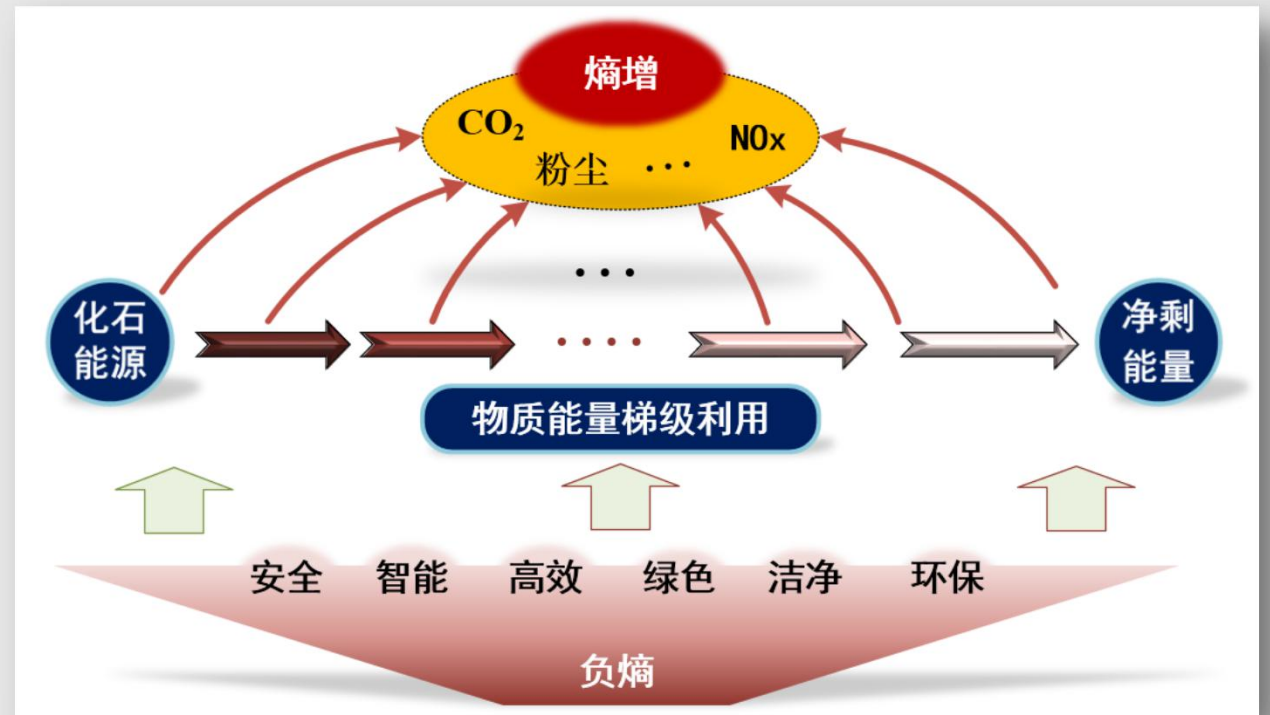
二、化石能源固流二相性 (Energy curing and circulation properties of fossil fuels)

■ 化石能源开发与利用系统

The system for development and utilization of fossil fuels

化石能源开发与利用系统是通过注入负熵维持稳定的开放系统

- ◆ 化石能源开发与利用是在开放系统中注入负熵、获取负熵 (provide and obtain the negentropy) 的过程
- ◆ 获取负熵与注入负熵之差为**净剩能量**(net energy)

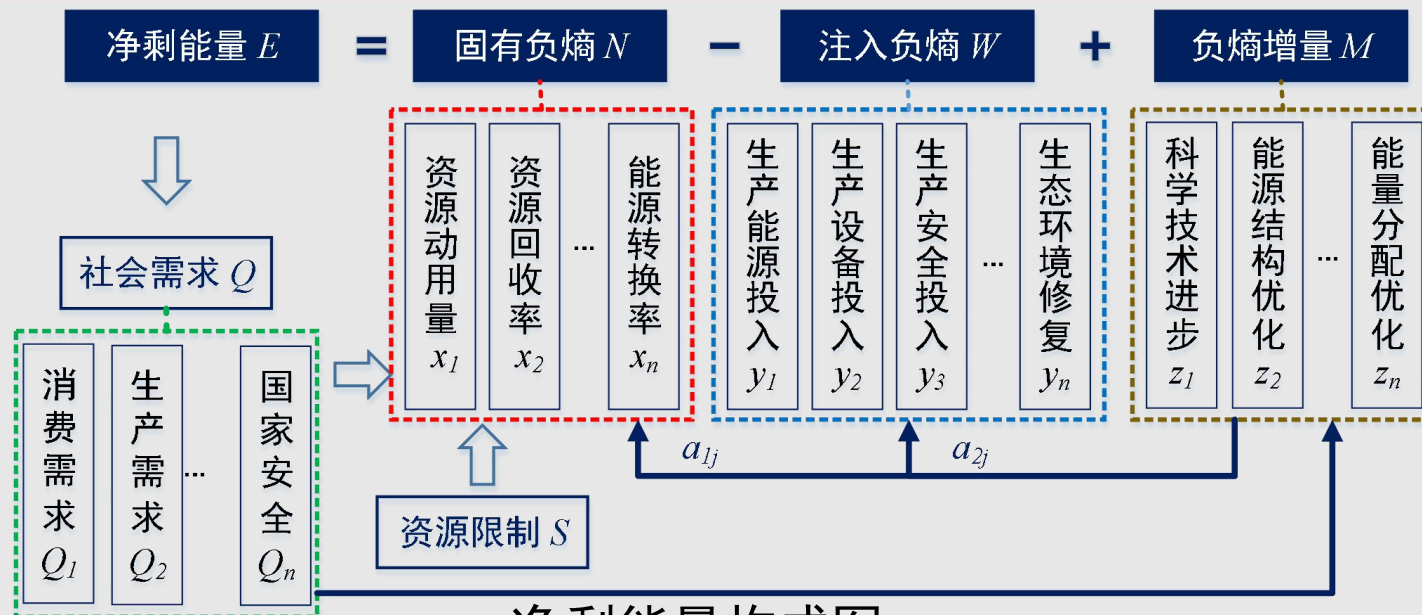


二、化石能源固流二相性 (Energy curing and circulation properties of fossil fuels)

■ 净剩能量的构成

Definition of net energy

净剩能量是在资源、环境、安全(resource, environment, safety)等约束条件下，化石能源固有负熵(inherent negentropy)、周期内负熵增量(negentropy increment)与注入负熵(the provided negentropy)之差。



净剩能量构成图

Diagram of net energy

二、化石能源固流二相性 (Energy curing and circulation properties of fossil fuels)

■ 净剩能量的数学表达 Mathematical model of net energy

根据净剩能量的综合影响因素（固有负熵产出、负熵注入、科技发展等因素）分析，净剩能量可以用如下数学形式进行表达：

$$\begin{aligned}\text{净剩能量公式: } E &= N(x_1, x_2, \dots, x_n) - W(y_1, y_2, \dots, y_n) + M(z_1, z_2, \dots, z_n) \\ &= N(x(a_{ij})) - W(y(a_{ij})) + M(z(a_{ij}))\end{aligned}$$

$$\text{约束条件: } Q(E) \geq q, s_1 \leq S(E) \leq s_2$$

为了优化净剩能量，引入**负熵需求系数(negentropy demand coefficient)** (a_{ij})，将所有影响因素用负熵需求系数表示。

通过科学调控社会网络中的负熵需求系数，能够提升固有负熵产出效率、降低负熵投入和增大负熵增量，实现系统**净剩能量最大化(Maximization of net energy)**。

汇报内容 (Contents)

一、问题提出

Problem statement

二、化石能源固流二相性

Energy curing and circulation properties of fossil fuels

三、能量流分析理论

Energy flow analysis theory

四、净剩能量最大化评价体系.

Evaluation system for maximization of net energy

五、结论与思考

Conclusions and thoughts

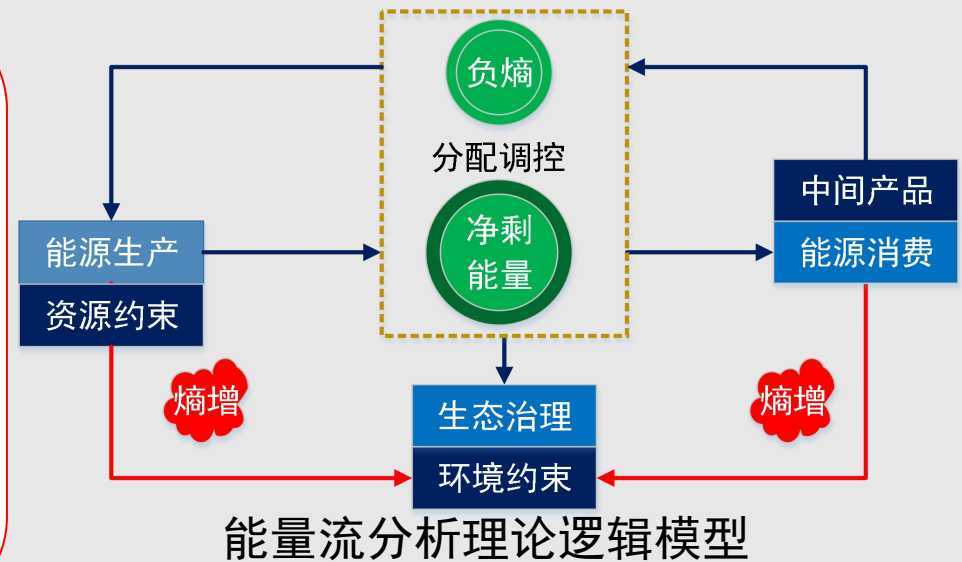
三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 能量流分析理论的提出

Negative entropy demand coefficient is proposed

能量流分析理论(Energy flow analysis theory)是分析净剩能量的一种理论，可用于揭示负熵流动规律、建立能量流调控机制及评价净剩能量等。

- ◆ 负熵流动规律(Negentropy flow)是指社会网络中负熵产出、分配以及熵增之间的数量关系；
- ◆ 调控机制(regulatory mechanism)是在满足社会发展需求条件下，通过调整需求系数进行负熵的分配，最终实现社会净剩能量最大化的一种手段；
- ◆ 评价(Evaluation)是净剩能量大小与质量的度量方法。



三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 能量流矩阵

Energy flow matrix

社会生产网络中产品的流通，其本质是负熵的流动。为刻画社会生产系统中的负熵流动关系，以能量作为负熵的计量标准，建立相应的能量流矩阵：

		能源产品生产				非能源产品生产				消费
		I ₁	I ₂	...	I _m	II ₁	II ₂	...	II _n	
能源系统内部负熵供给	供给									
	I ₁	x ₁₁	x ₁₂	...	x _{1m}	x _{1,m+1}	x _{1,m+2}	...	x _{1,m+n}	q ₁
	I ₂	x ₂₁	x ₂₂	...	x _{2m}	x _{2,m+1}	x _{2,m+2}	...	x _{2,m+n}	q ₂
	...	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
非能源产品对能源产品生产行业的负熵供给	I _m	x _{m1}	x _{m2}	...	x _{mm}	x _{m,m+1}	x _{m,m+2}	...	x _{m,m+n}	q _m
	非能源产品									
	II ₁	x _{m+1,1}	x _{m+1,2}	...	x _{m+1,m}	x _{m+1,m+1}	x _{m+1,m+2}	...	x _{m+1,m+n}	q _{m+1}
	II ₂	x _{m+2,1}	x _{m+2,2}	...	x _{m+2,m}	x _{m+2,m+1}	x _{m+2,m+2}	...	x _{m+2,m+n}	q _{m+2}
非能源产品系统内部负熵供给	...	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
	II _n	x _{m+n,1}	x _{m+n,2}	...	x _{m+n,m}	x _{m+n,m+1}	x _{m+n,m+2}	...	x _{m+n,m+n}	q _{m+n}
	折旧									
固定资产折旧负熵投入	D	d ₁	d ₂	...	d _m	d _{m+1}	d _{m+2}	...	d _{m+n}	d _Q
	环境									
环境治理负熵投入	W	ω ₁	ω ₂	...	ω _m	ω _{m+1}	ω _{m+2}	...	ω _{m+n}	ω _Q

能源产品对非能源产品生产行业的负熵供给

能源产品对消费的负熵供给

非能源产品系统内部负熵供给

非能源产品对消费的负熵供给

三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 能量流矩阵

Energy flow matrix

社会生产网络中产品的流通，其本质是负熵的流动。为刻画社会生产系统中的负熵流动关系，以能量作为负熵的计量标准，建立相应的能量流矩阵：

		能源产品生产				非能源产品生产				消费
		I_1	I_2	...	I_m	Π_1	Π_2	...	Π_n	
能源产品	供给	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}	$x_{1,m+1}$	$x_{1,m+2}$	...	$x_{1,m+n}$	q_1
	I_1	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}	$x_{2,m+1}$	$x_{2,m+2}$	...	$x_{2,m+n}$	q_2
	I_2	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
	I_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mm}	$x_{m,m+1}$	$x_{m,m+2}$	...	$x_{m,m+n}$	q_m
非能源产品	Π_1	$x_{m+1,1}$	$x_{m+1,2}$	...	$x_{m+1,m}$	$x_{m+1,m+1}$	$x_{m+1,m+2}$	...	$x_{m+1,m+n}$	q_{m+1}
	Π_2	$x_{m+2,1}$	$x_{m+2,2}$	...	$x_{m+2,m}$	$x_{m+2,m+1}$	$x_{m+2,m+2}$	...	$x_{m+2,m+n}$	q_{m+2}
	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
	Π_n	$x_{m+n,1}$	$x_{m+n,2}$	...	$x_{m+n,m}$	$x_{m+n,m+1}$	$x_{m+n,m+2}$	...	$x_{m+n,m+n}$	q_{m+n}
折旧	D	d_1	d_2	...	d_m	d_{m+1}	d_{m+2}	...	d_{m+n}	d_Q
环境	W	ω_1	ω_2	...	ω_m	ω_{m+1}	ω_{m+2}	...	ω_{m+n}	ω_Q

传统
能耗

I_1 能源行业
负熵产出

I_1 能源行业
负熵投入

非能源生产
负熵产出

三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 非能源生产行业负熵投入产出量解算

Calculation of input and output of negentropy in non-energy production industry

非能源产品的**负熵属性(negentropy property)**是其生产过程消耗的能量和负熵固化转移的结果。因此，假定非能源行业负熵投入量与产出量相等，建立非能源产品负熵产出的解算模型 (calculation model for negentropy production of non-energy product)，步骤如下：

1、非能源生产行业能量消耗

$$N = (n_1, n_2, \dots, n_n) , \quad n_j = \sum_{i=1}^m x_{i,m+j}$$

3、折旧及环境补偿负熵投入

$$W + D = (d, d_2, \dots, d_{m+n}) + (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{m+n})$$

2、非能源行业产品内部消耗比例矩阵

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

4、非能源生产行业负熵投入产出量的解算

$$Y = N + YB + W + D$$
$$= (N + W + D)(I - B)^{-1} \iff y_i = \sum_{k=1}^{m+n} x_{ki} + \omega_i + d_i$$

三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 负熵需求系数与优化调控

Negentropy demand coefficient and optimization control

负熵需求系数(Negentropy demand coefficient)是某种负熵投入与行业总负熵产出的比例,反映了行业间负熵的流动分配情况,包含环境保护、安全及科技研发等非生产性负熵投入。

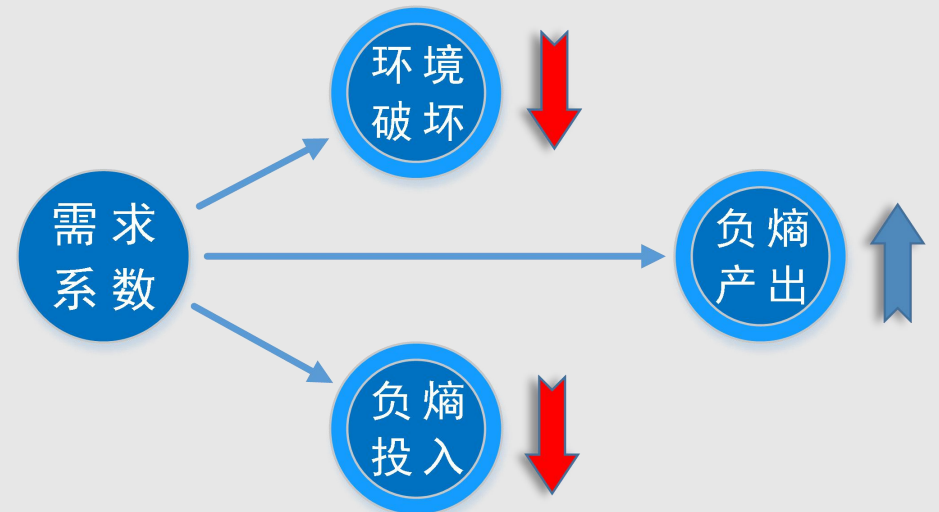
需求系数调控目标:

- 增加产出负熵
increase the negentropy produced
- 降低负熵投入
decrease the negentropy input
- 减少对环境的破坏
reduce the environmental damage

➤ 需求系数 $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$ 其中 $x_j = \sum_{i=1}^{m+n} x_{ij}$

➤ 负熵产出和负熵投入

$$\begin{cases} x_i = \sum_{j=1}^{m+n} a_{ij} \cdot x_j + q_i \\ y_i = \sum_{k=1}^{m+n} a_{ki} \cdot x_i + \omega_i + d_i \end{cases}$$



需求系数调控作用示意图

Diagram of regulatory effect of the demand coefficient

三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 增量系数及综合能量效益函数

■ Relationship between demand coefficient and increment of negative entropy

三种增量系数与负熵增量的数学表达式：

	负熵增量	增量系数	作用
负熵产出	$\Delta x_j = \sum_{i=1}^{m+n} \rho_{ij} \cdot a_{ij}$	$\rho_{ij} = x_i / a_{ij}$	$\rho_{ij} \geq 0$ 时产出负熵增加
负熵投入	$\Delta y_j = \sum_{i=1}^{m+n} \varepsilon_{ij} \cdot a_{ij}$	$\varepsilon_{ij} = y_j / a_{ij}$	$\varepsilon_{ij} \leq 0$ 时投入负熵减少
环境熵增	$\Delta \omega_j = \sum_{i=1}^{m+n} \varphi_{ij} \cdot a_{ij}$	$\varphi_{ij} = \omega_j / a_{ij}$	$\varphi_{ij} \leq 0$ 时环境破坏程度降低

综合能量效益函数：

$$x_i / y_i = \frac{\sum_{j=1}^{m+n} x_{ij} + q_i}{\sum_{k=1}^{m+n} x_{ki} + \omega_i + d_i}$$

$i = 1, 2, \dots, m + n$

- 资源动用——保证中长期持续供给
- 环境保护——满足协调发展需求
- 安全投入——保障人员生命健康
- 科技研发——保证能量效益稳步提升

其中，增量系数是随需求系数的改变导致负熵投入、产出以及环境熵增的变化率。增量系数可以利用国家统计数据进行预测。负熵增量是需求系数改变量与增量系数的线性组合(linear combination)。

三、能量流分析理论 (Energy flow analysis theory)

■ 系统净剩能量最大化调控模型

Regulation and control model for net energy maximization of the system

将所有能源行业的能量效益综合函数作为优化目标，将资源限制、社会发展需求、环境保护等要素作为约束条件，得到如下非线性规划模型：

$$\text{Max} E_S(\alpha) = \text{Max} \frac{\sum_{j=1}^{m+n} (x_j + \rho_{ij}) \cdot a_{ij} + q_i}{\sum_{k=1}^{m+n} (x_i + \varepsilon_{ki} + \varphi_{ki}) \cdot a_{ki} + \omega_i + d_i} \quad \text{S.t} \begin{cases} x_i - \sum_{j=1}^{m+n} \alpha_{ij} \cdot x_j \geq \omega_j + q_i \\ x_i^{(1)} \leq x_i \leq x_i^{(2)} \\ \alpha_{ij} \geq K_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, m+n \\ *K_{ij} \text{为国家规定和发展需求下限} \end{cases}$$

通过模型求解，可得到社会网络的最优负熵需求系数解 $A=[a_{ij}]$ ；通过最优需求系数来调整社会能源生产与消费的结构，进而实现在资源、环境、安全和社会发展需求约束条件下的社会生产网络净剩能量最大化。

汇报内容 (Contents)

一、问题提出

Problem statement

二、化石能源固流二相性

Energy curing and circulation properties of fossil fuels

三、能量流分析理论

Energy flow analysis theory

四、净剩能量最大化评价体系.

Evaluation system for maximization of net energy

五、结论与思考

Conclusions and thoughts

四、净剩能量最大化评价体系 (Evaluation system for maximization of net energy)

■ 质量评价指标体系

Quality evaluation index system

一级指标	负熵投入 Negentropy provide	资源效率 Efficiency for resource utilization	环境保护 Environmental protection	安全生产 Safety production	...	社会发展 Society development
二级指标	1. 直接注入 2. 间接注入 3. 下游影响	1. 资源动用量 2. 资源回收率 3. 能源转化率	1. 资源消耗 2. 水资源破坏 3. 地表破坏 4. 废弃物排放	1. 危险源管控 2. 职业健康 3. 合规性 .....	...	1. 生产依存度 2. 持续供给能力 3. 科技创新能力

四、净剩能量最大化评价体系 (Evaluation system for maximization of net energy)

■ 净剩能量质量的评价过程

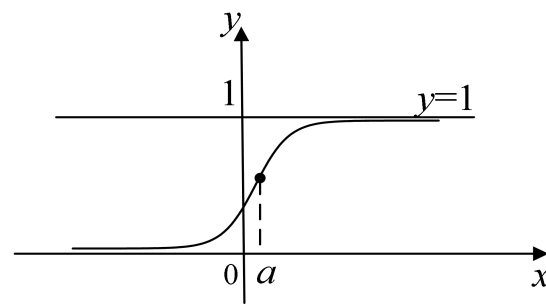
The evaluation process of the net energy quality

◆ 指标无量纲归一化

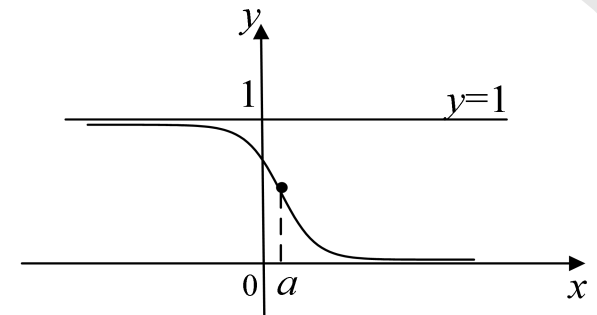
净剩能量质量评价的二级指标

可分为四种类型：

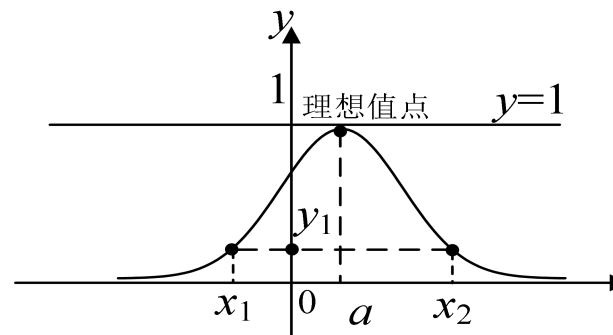
- ✓ 正指标 (Positive indicator)
- ✓ 负指标 (Negative indicator)
- ✓ 中间型指标 (Intermediate indicator)
- ✓ 复合型指标 (Compound indicator)



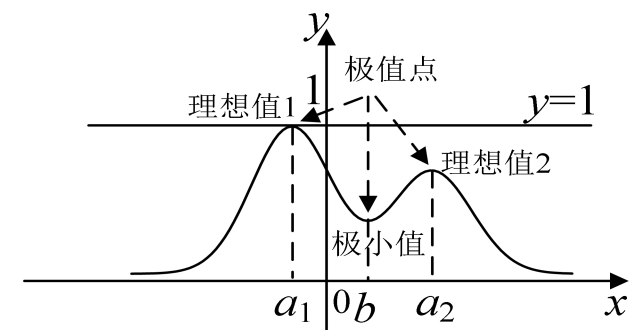
✓ 正指标



✓ 负指标



✓ 中间型指标



✓ 复合型指标

四、净剩能量最大化评价体系 (Evaluation system for maximization of net energy)

■ 净剩能量质量的评价过程

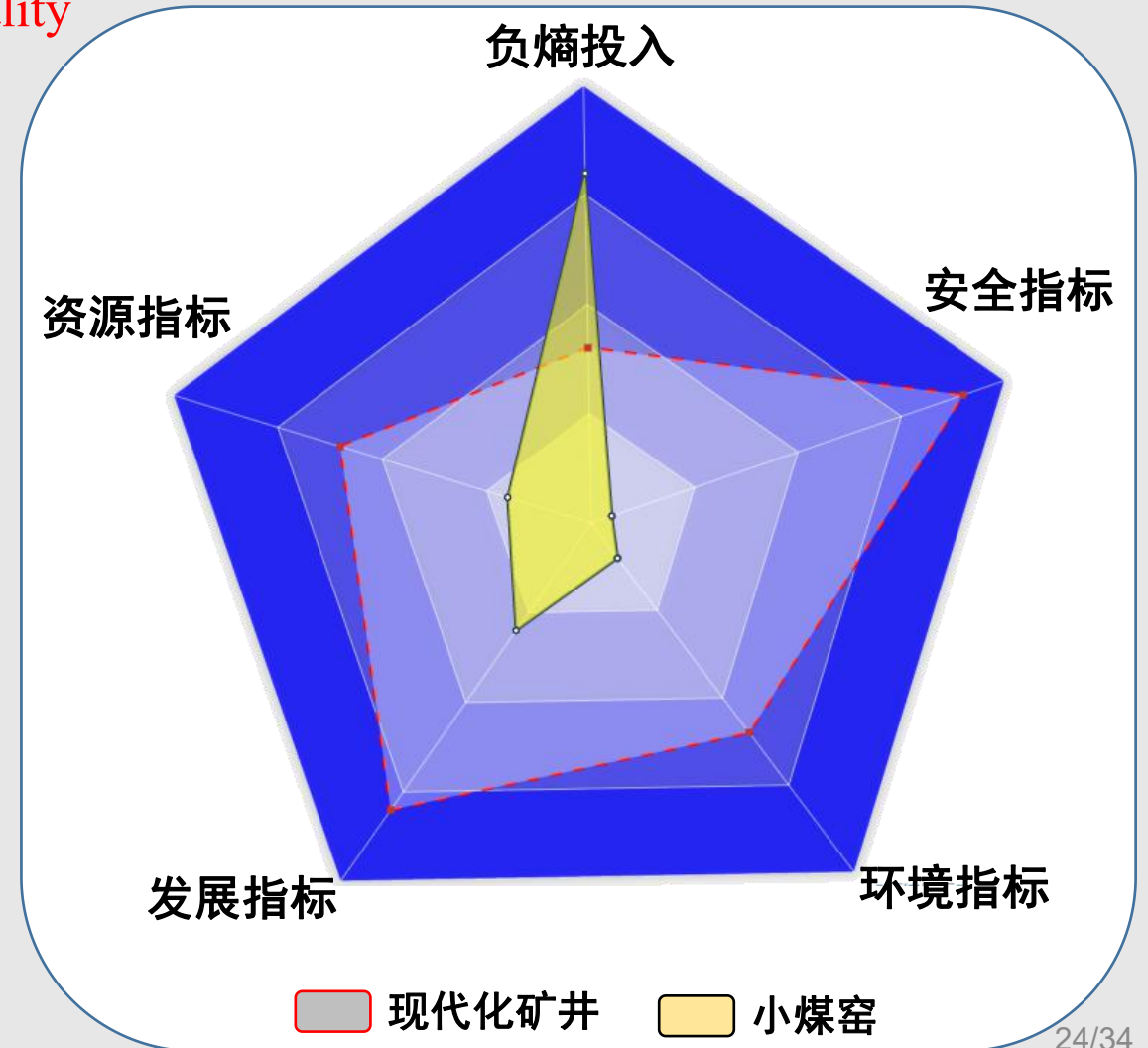
The evaluation process of the net energy quality

◆ 设定各级指标权重

将底层指标归一化后，可以利用层次分析法（AHP）确定各级指标权重(indicator weight)。

◆ 净剩能量质量的综合评价

在上述指标权重确定后，利用多属性决策(multi-attribute decision-making)等多种方法可以对单一能源生产或社会能源生产净剩能量质量进行评价。



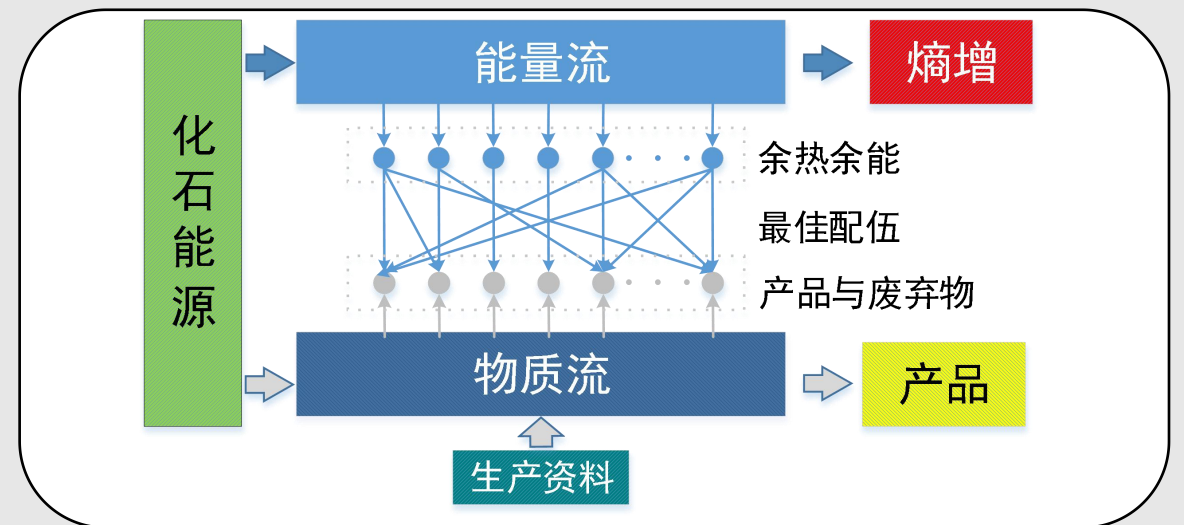
四、净剩能量最大化评价体系 (Evaluation system for maximization of net energy)

■ 循环经济是能量利用最大化的有效途径

Circular economy is an effective way to maximize energy utilization

- ◆ 传统循环经济理论：以资源的高效利用和循环利用(*high-efficiency and recyclable utilization*)为目标，以“减量化、再利用、再循环”为原则，以物质流指导物质循环、能量梯级利用的生态经济(*ecological economy*)。
- ◆ 新循环经济理论：通过物质流和能量流最佳结合形成配伍(*matching*)，达到净剩能量最大化。

以物质流、能量流最佳配伍为核心，通过节点技术创新(*technology innovation on the node*)、链条结构重组 (*structural reorganization in the chain*)、网络综合优化 (*comprehensive optimization of the network*)，逐步实现全产业链净剩能量最大化。



产业集群能量利用最大化

Maximization of energy utilization in industrial cluster ^{25/34}

汇报内容 (Contents)

一、问题提出

Problem statement

二、化石能源固流二相性

Energy curing and circulation properties of fossil fuels

三、能量流分析理论

Energy flow analysis theory

四、净剩能量最大化评价体系.

Evaluation system for maximization of net energy

五、结论与思考

Conclusions and thoughts

五、结论与思考 (Conclusions and thoughts)

化石能源的固流二相性是提出净剩能量观的基础，净剩能量观是评价能源生产与消费革命的新价值观

1 The concept of net energy is a new value in evaluating energy production and consumption revolution

能量是隐藏在货币之后的客观本质，能效水平下的能量GDP是评价社会发展水平的新途径

2 净剩能量最大化是能源开发与利用的核心目标，发展循环经济是实现净剩能量最大化的有效途径

3 Energy curing and circulation properties of fossil fuels is the basis for proposing net energy concept

能量流计算理论的建立是调控社会网络中负熵流动，进而实现净剩能量最大化的重要工具

4 Energy flow theory is an important tool for regulating negentropy flow in social network, and then realizing the maximization of net energy.

Energy GDP associated with energy efficiency is a new way to evaluate social development

谢谢各位专家！

Thank you for your attention !

