



《新概念热学》
第七章：焓理论

§7.1 焓和焓耗散

教学对象： 三年级本科生

课程类型： 专业基础课

授课院校： 清华大学

全国能源动力类专业教学改革研讨会（镇江·2014.5.11）

§1 问题的提出

§2 焔和焔耗散的概念

(提出—推导—应用)

§3 本讲的小结

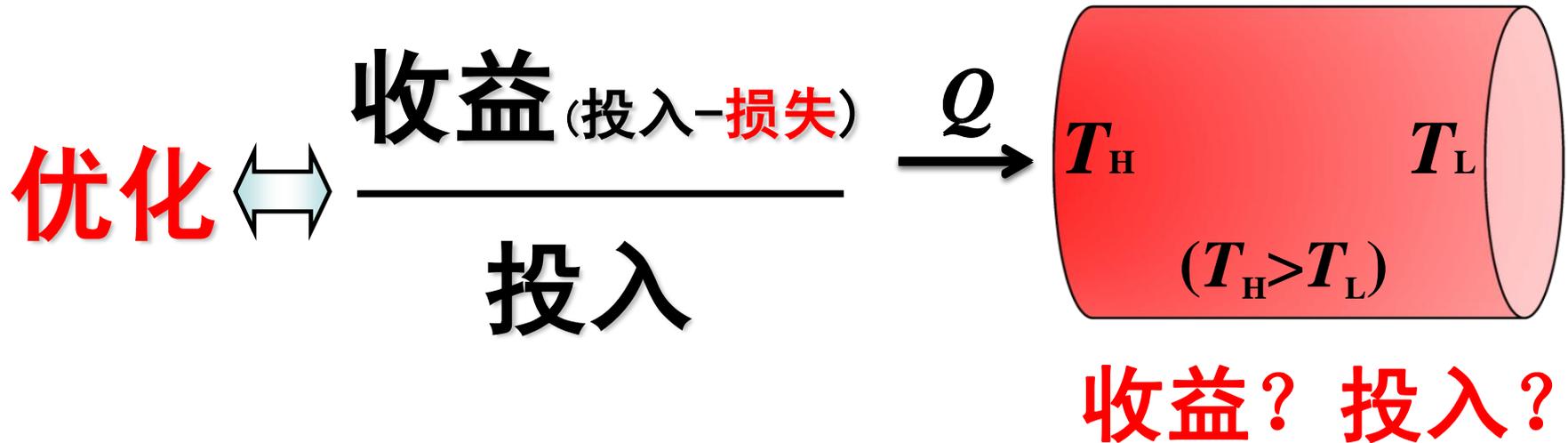
§1 问题的提出

《新概念热学》：

- 性质：对应传统课程《传热学》
- 任务：研究热量的传递规律
- 特点：弥补传统《传热学》的不足

§1 问题的提出

《传热学》的不足



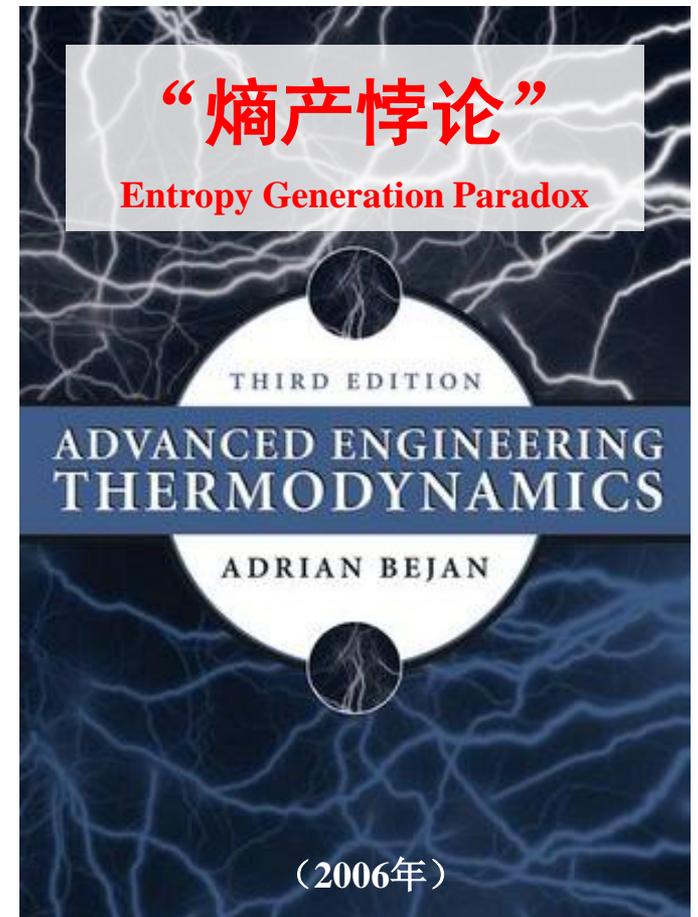
□ 不足:

没有传热过程的**损失**的概念;
不能进行传热过程的**优化**。

热力学优化 (1980, A. Bejan, Duke University)

- 熵：系统的无序度；
表征**热功转换**的能力。
- 熵产：过程的不可逆性；
热功转换能力的损失。

■ 熵产减小与 换热器效能提高 不对应



《传热学》中缺少

基本物理量？

过增元

清华大学教授
中科院院士

焧

1288

自然科学进展 第16卷 第10期 2006年10月

焧——描述物体传递热量能力的物理量*

过增元 梁新刚 朱宏晔

清华大学工程力学系, 传热与能源利用北京市重点实验室, 北京 100084

摘要 从导热过程与导电过程的比拟出发, 引入了与电容器的能量相对应的新的物理量 $E_h = Q_h T/2$. 它具有“能量”的性质, 它描述了一物体所具有的热量传递的总能力. 由于它是热容量与温度乘积之半, 因此把此物理量称之为焧. 热量传递是一个不可逆过程, 在传递过程中部分焧将被

§2 焓和焓耗散

(一) 焓概念的提出



J. Fourier (1768-1830)

$$q = -k\nabla T \text{ (1822年)}$$

导热：傅里叶定律



G.S. Ohm (1789-1854)

$$q_e = -k_e \nabla U \text{ (1823年)}$$

导电：欧姆定律

§2 焠和焠耗散

(一) 焠概念的提出

热电类比

电量	电流	电阻	电势	欧姆定律	电势能
Q_e	I	R_e	U	$q_e = -k_e \nabla U$	$E_{ve} = \frac{1}{2} Q_{ve} U$
[C]	[A]	[Ω]	[V]	[A/m ²]	[J]

热量	热流	热阻	热势	傅里叶定律	“热势能”
Q	\dot{Q}	R_h	T	$q = -k \nabla T$	$G = \frac{1}{2} Q_v T$
[J]	[J/s]	[sK/J]	[K]	[W/m ²]	[JK]

§2 焠和焠耗散

(一) 焠概念的提出

$$G = \frac{1}{2} Q_v T$$

“热势能”：热量传递的能力



铁板烧



铁板饭

§2 焓和焓耗散

(一) 焓概念的提出

焓

(Entransy)

Energy 传递能力

$$dG = \delta Q * T \quad G = \frac{1}{2} Q_v T$$

(表征热量传递的能力)

熵

(Entropy)

Energy 转换能力

$$dS = \delta Q / T_{(可逆)} \quad S = Q_v \ln(T)$$

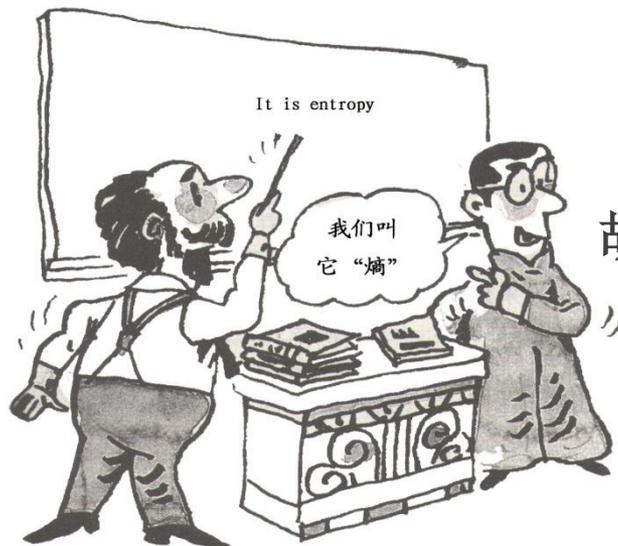
(表征热功转换的能力)



R. Clausius (1822-1888)

1854年提出

Planck



胡刚复

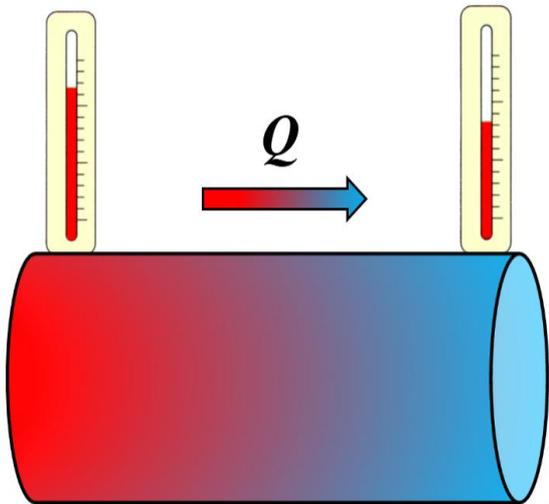
1923年报告

§2 焓和焓耗散

(二) 焓耗散的概念

热量
(守恒)

热势能/焓
(耗散)



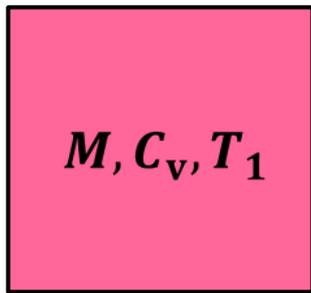
热流



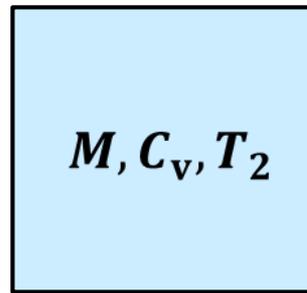
电流



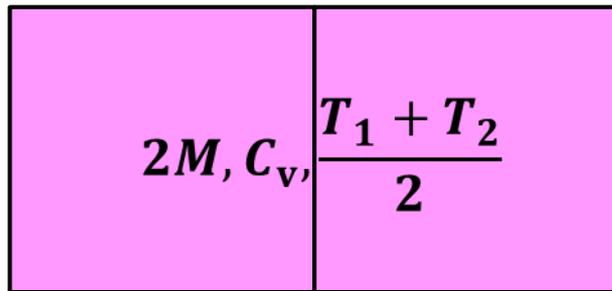
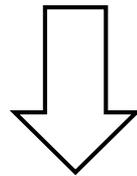
水流



$T_1 > T_2$



$$G_0 = \frac{1}{2} M C_v (T_1^2 + T_2^2)$$



$$G' = \frac{1}{2} M C_v \frac{(T_1 + T_2)^2}{2}$$

$$G_0 - G' = \frac{1}{2} M C_v \frac{(T_1 - T_2)^2}{2} \geq 0$$

总熵减少（耗散）！

焠耗散的表达式

欧姆定律	电势能耗散 (焦耳热)
$q_e = -k_e \frac{dU}{dn}$	$\varphi_e = q_e \cdot \nabla U = k_e (\nabla U)^2$
傅里叶定律	焠耗散
$q = -k \frac{dT}{dn}$	$\varphi_g = q \cdot \nabla T = k (\nabla T)^2$

焠耗散： 热量传递能力的损失

类比 + 演绎

大胆假设 小心求证

——胡适 《清代学者的治学方法》（1921）

§2 焓和焓耗散

(三) 推导：焓平衡方程

导热微分方程：
$$\rho C_v \frac{dT}{dt} + \nabla \cdot q = 0$$

两边乘以 T ：
$$T\rho C_v \frac{dT}{dt} + T\nabla \cdot q = 0$$

焓平衡方程：
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \rho C_v T^2 \right) + \nabla \cdot (qT) - q \cdot \nabla T = 0$$

焓变化率

焓的净流量

焓耗散

传热优化
理论、方法、技术

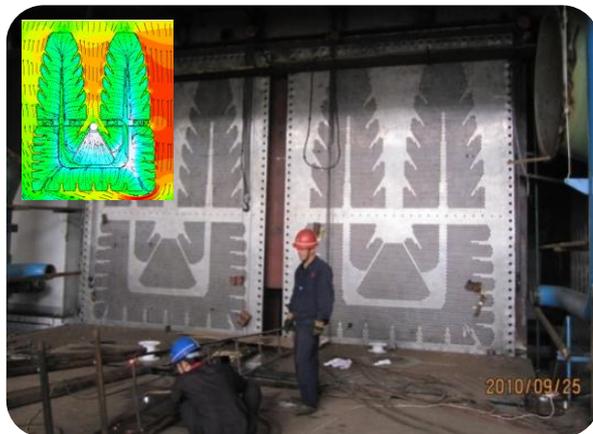
传热优化：设计最佳温度场，改变焓耗散

§2 焔和焔耗散

(四) 应用: 节能优化



换热器



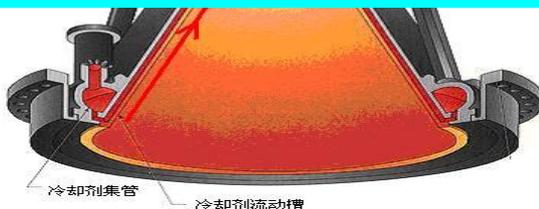
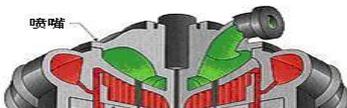
电厂凝汽器



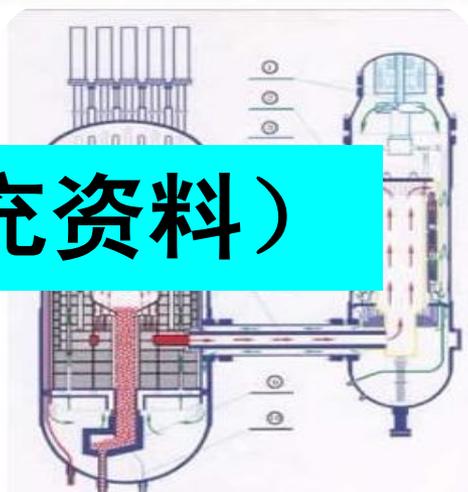
燃气热水器



分离式热管空调



航天器热防护



高温气冷堆冷却

存在争论和争议 (课后补充资料)

§3 本讲小结

1. 知识：新概念

焵（热势能） $dG = \delta Q * T$ $G = \frac{1}{2} Q_v T$

焵耗散（**损失**） $\varphi_g = q \cdot \nabla T = k(\nabla T)^2$

建立焵平衡**方程**；
进行传热过程**优化**。

§3 本讲小结

2. 方法：类比

A具有性质 a, b, c, d

B具有性质 a', b', c'

B具有性质 d'

由一类事物的属性
推测与其**类似**的事物
也具有这种属性。

类比可以**发现**“战利品”；
演绎用来**验收**“战利品”。

§3 本讲小结

3. 文字：“熵”和“絜”

熵 ← Entropy 外国概念，中国造字

絜 → Entransy 中国概念，造外国字

科学中蕴涵的**精神内涵**和**人文文化**。

谢谢！

请各位老师指正！