

“能源动力工程专业”专业课

热 力 发 电 厂

主讲：樊天竞



我国电力工业的现状——概况

- 中国电力工业始于1882年
- 1949~1977年发展缓慢
- 1978年后进入快速发展期，到2000年，我国发电装机和发电量先后超越法、英、加、德、俄、日，居世界第2位，已经成为名副其实的电力大国
- 目前发展速度前所未有（三峡电站及大批超临界机组的建成）
- 火力与水力发电技术跟踪世界最先进水平
- 核电站稳步发展（2005占总发电量2.26%）
- 大力发展新能源发电
- 火、水电、核电比例为：81.5%，15.6%，2.2%

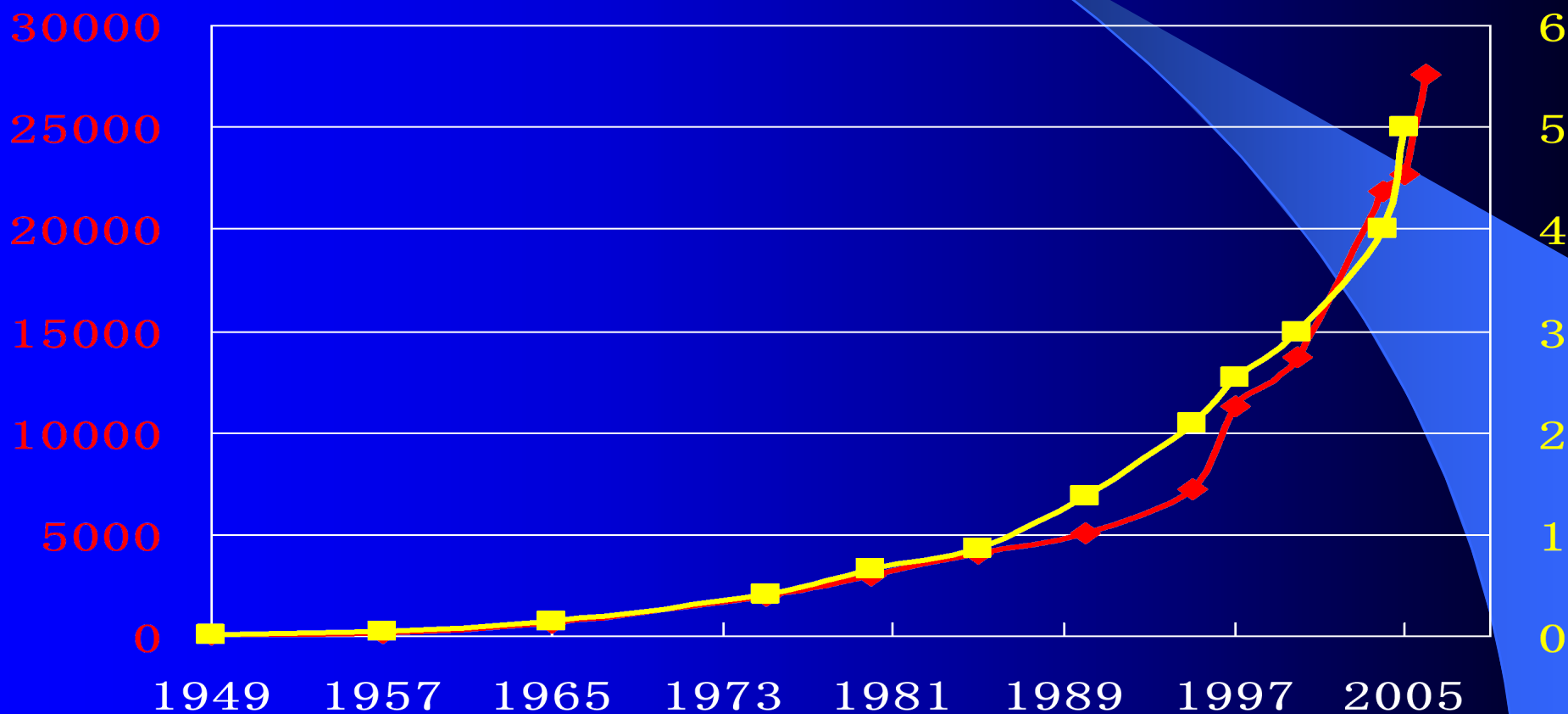
我国电力工业的现状——发电量和装机容量

- 1949年装机容量位于世界21位，发电量位于世界25位
- 1978年装机容量位于世界8位，发电量位于世界7位
- 2000年装机容量和发电量均位于世界2位
- 从1949年到1987年，全国发电装机容量超1亿kW，用了38年的时间
- 从1987年到1994年间，新增装机容量1亿kW，用了7年的时间
- 从1994年底到2004年中，新增装机容量2亿kW，只用了10年时间
- 装机容量从4亿kW千瓦到5亿kW，只用了19个月的时间
- 三年建成投产的总容量投入超过1万亿元
- 2004年批准新建电厂的总装机容量为0.69亿kW

我国电力工业的现状——发电量和装机容量

发电量 (亿KWh)

装机容量 (亿KW)



我国电力工业的现状——电力装备

- ❑ 1949年前基本没有电力设备制造业
- ❑ 1949年后至改革开放之前，我国只能生产12.5万千瓦和20万千瓦等级及以下的机组，输变电设备只能生产220千伏及以下的装置。
- ❑ 随着电力工业的技术装备水平不断提高，我国成批量生产的30万千瓦和60万千瓦机组已成为国内的主力机型。
- ❑ 目前，60万千瓦、90万千瓦超临界机组已经投产发电，国产百万千瓦级超超临界机组也即将投产
- ❑ 通过引进国际先进技术，国内合作生产的30万千瓦大型循环流化床锅炉发电设备、9F级联合循环燃气轮机、60万千瓦级压水堆核电站和70万千瓦三峡水轮机组等发电设备在性价比上已经具有了国际竞争力

我国电力的发展

- 从2002年6月至今，在整整4年的时间里，全国的平均电力增长保持两位数快速增长，高于GDP增长速度
- 2004年底，全国发电装机4.42亿千瓦，比上年增长5100万千瓦，2005年发电装机突破5亿千瓦
- 2005年全国发电量24747亿千瓦时，同比增长12.3%
- 今年1—4月份新增发电装机2389万千瓦（其中水电151万千瓦，火电2220万千瓦，其它18万千瓦）
- 截至目前，全国在建电站项目规模为2.5亿千瓦，其中水电6900万千瓦，占32.4%，火电17600万千瓦，占64.4%，核电400万千瓦，占2.3%，其他100万千瓦，占0.9%

“十一五”电力工业发展展望

- 电力工业保持稳定有序发展，为经济社会发展提供可靠电力保障。
- 加快能耗高、污染大的小火电机组的关停步伐，加大电力结构调整力度。总装机规模1600万千瓦，共计1200台机组（占全国3.2%）
- “十一五”期间通过“上大压小”、“上煤压油”的举措，关停5万千瓦及以下凝汽式燃煤小机组1500万千瓦，以及关停老小燃油机组700万千瓦以上
- 展望2010年全国发电装机容量估计将接近8亿千瓦
- 西电东送等跨区电力交换规模进一步扩大，电源结构进一步优化，水电、
- 核电、气电、清洁煤发电和新能源发电等清洁电力比重争取超过35%

我国电力工业的现状——存在的问题

- 人均发电量少，中国人均拥有的装机容量只有0.3W，人均用电只有1923kW.h，平均约为世界人均水平的一半，仅为发达国家的1/5~1/10
- 现代发电设备的国产化和具有自主知识产权的技术开发
- 发电能耗偏高
- 大量小容量、低参数机组仍在运行
- 火电机组的污染仍然严重
- 发电设备及其电网的稳定性、安全性需要提高
- 核电及新能源发电需要发展

我国的电力体制改革——历程

- 经历电力部、水力电力部、能源部、电力部
- 1997年1月16日成立国家电力公司，公司注册资本1600亿元人民币。 下设东北、华中、华东、西北、南方、电网建设6个分公司
- 2002年底我国电力体制改革方案正式出台
 - 成立国家电网公司
 - 中国电力监管委员会
 - 五大发电公司（华能、大唐、华电、国电、中电投）
 - 四家辅业集团公司
 - 两大电网

我国的电力体制改革——指导思想

- ❑打破垄断，引入竞争，提高效率，降低成本
- ❑健全电价机制，优化资源配置，促进电力发展
- ❑推进全国联网
- ❑政府监管下的政企分开、公平竞争、开放有序、健康发展的电力市场体系。
- ❑实现“厂网分开”，将国家电力公司管理的电力资产按照发电和电网两类业务进行划分。
- ❑发电环节按照现代企业制度要求，将国家电力公司管理的发电资产直接改组或重组为规模大致相当的5个全国性的独立发电公司，逐步实行“竞价上网”，开展公平竞争。

火力发电技术的发展趋势

□参数更高

1000MW-30/600/610的机组，600MW空冷机组

□能耗更低

□自动化程度更高

FCS系统，先进的计算机（网络、数据库）技术，新型传感器

□污染更低

脱硫，脱硝，大型循环流化床技术，联合循环发电技术

□材料、工艺更新

全三维设计，长叶片，新型汽封材料

□热力系统更先进

10级回热，二次再热、超低背压（深水冷却水）、烟气余热利用

□更先进的辅助设备

多背压凝汽器，一体化除氧器，新型旁路设备等

火力发电厂的类型

□按能源利用情况分

化石燃料、核能、地热、太阳能

□按能量供应情况分

凝汽式电厂、热电厂

□按进入汽轮机的蒸汽参数分

中低压 ($>3.43\text{MPa}$)、高压 (8.83MPa)、超高压 (12.75MPa)、亚临界 (16.18MPa) 超临界 (23.54MPa) 超超临界 ($>24\text{MPa}$)

□按电厂位置分

坑口、路口、负荷中心电厂

□按承担电网负荷性质分

基本负荷、中间负荷、调峰

□按服务规模分

区域性、企业自备、移动式（列车）、孤立（不并网）

本课程的特点与要求

□目的

以火力发电厂整体为对象研究火力发电厂热力设备和热力系统的安全性，经济性

□要求

了解大型发电厂的组成，熟悉系统分析，掌握和运用所学理论进行热经济性分析和技术经济分析

□前续课程

工程热力学、传热学、流体力学、汽轮机原理、锅炉原理

□特点

综合性、政策性、技术经济分析、定性与定量结合、理论与实际结合

第一章 火力发电厂动力循环及其热经济性

□ 火力发电厂热经济性的评价方法

评价方法

热量法：以热力学第一定律为基础

锅炉，管道，汽轮机，全厂

熵方法：以热力学第二定律为基础

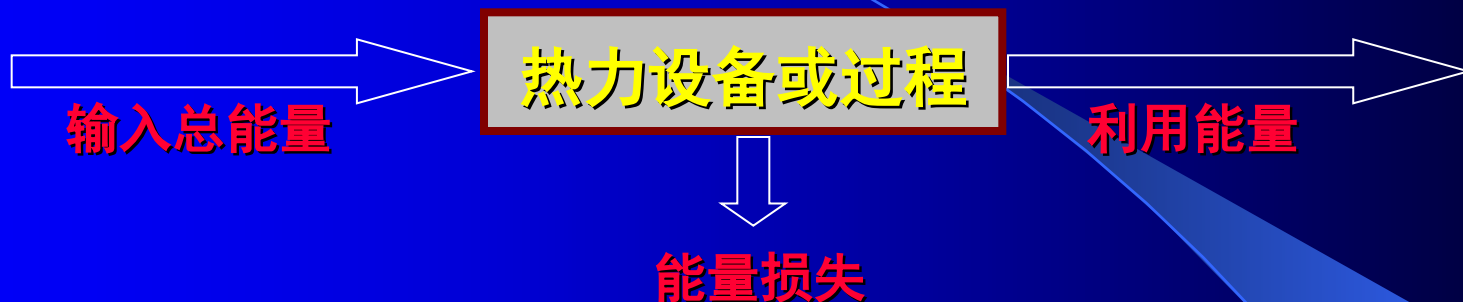
典型的做功能力损失，凝汽式电厂各种损失及效率

火用方法：以热力学第二定律为基础

□ 凝汽式发电厂的主要经济指标

□ 发电厂的动力循环

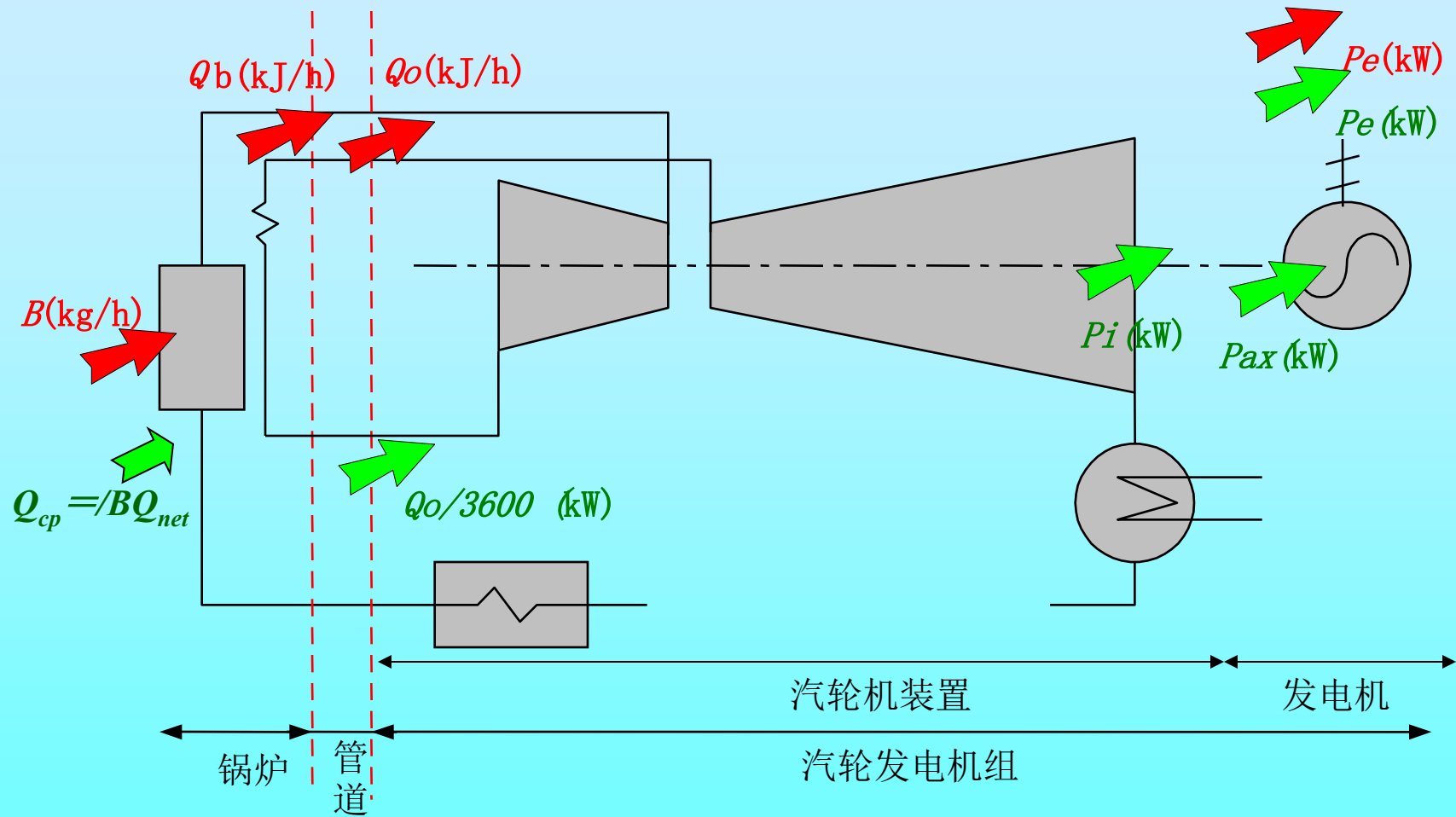
1.1.2 热量法（效率法）



热平衡式 输入总能量 = 利用能量 + 能量损失

热效率 $\eta = \text{利用能量} / \text{输入总能量}$

- 应用广泛，简单直观
- 未体现能量质量
- 效率与损失对应



返回

1.1.2.1 锅炉的热损失与锅炉效率

见图

■ 锅炉效率 $\eta_b = Q_b / Q_{cp} = Q_b / Bq_{net}$

Q_b —— 锅炉热负荷, kJ/h $Q_b = D_b (h_b - h_{fw}) + D_{rh} q_{rh}$

Q_{cp} —— 全厂热耗量, kJ/h

B —— 锅炉煤耗量, kg/h

q_{net} —— 燃料的低位发热量, kJ/kg

D_{rh} —— 再热蒸汽量, kg/h

■ 锅炉热损失中排烟损失所占比例最大: 40~50%

■ 大型锅炉一般在90~84%

见图

1.1.2.2 管道热损失与管道效率

□ 管道效率 $\eta_p = Q_0/Q_b$

Q_b ——锅炉热负荷, kJ/h

Q_0 ——汽轮发电机组热耗量, kJ/h

□ 只反映了管道的散热损失

□ 一般为98~99%

1.1.2.3 汽轮机的冷源损失及汽轮机内效率

见图

□ 汽轮机的冷源损失

- 理想情况下汽轮机排汽在凝汽器的放热量
- 蒸汽在汽轮机实际膨胀工程中使做功减少而增加的冷源损失

□ 汽轮机内效率 $\eta_i = W_i / Q_o = W_i / W_a * W_a / Q_o = \eta_{ri} \eta_t = w_i / q_o$

理想循环热效率 $\eta_t = W_a / Q_o$

汽轮机相对内效率 $\eta_{ri} = W_i / W_a$

□ 汽轮机汽耗量为 D_o 时的实际内功 W

计算问题：各种汽流的做功之和；输入输出能量之差；用反平衡求

1.1.2.3 汽轮机的冷源损失及汽轮机内效率

见图

□ 汽轮机汽耗量为 D_o 时的机组热耗（循环吸热量）

$$Q_o = D_o h_o - D_{fw} h_{fw} + D_{rh} q_{rh} \quad \text{kJ/h}$$

$$q_o = h_o - h_{fw} + \alpha q_{rh} \quad \text{kJ/kg}$$

□ 汽轮机机械损失及机械效率

$$\eta_m = 3600 P_{ax} / W_i$$

□ 发电机能量损失及电机效率

$$\eta_g = P_e / P_{ax}$$

□ 全厂总耗量损失及总效率

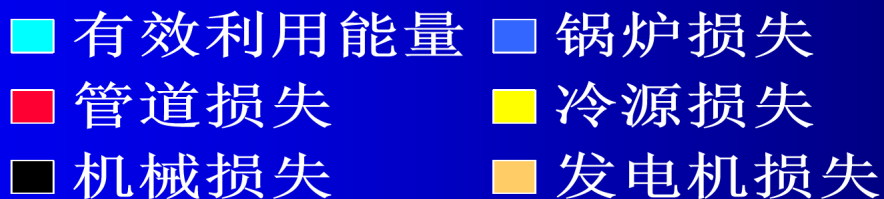
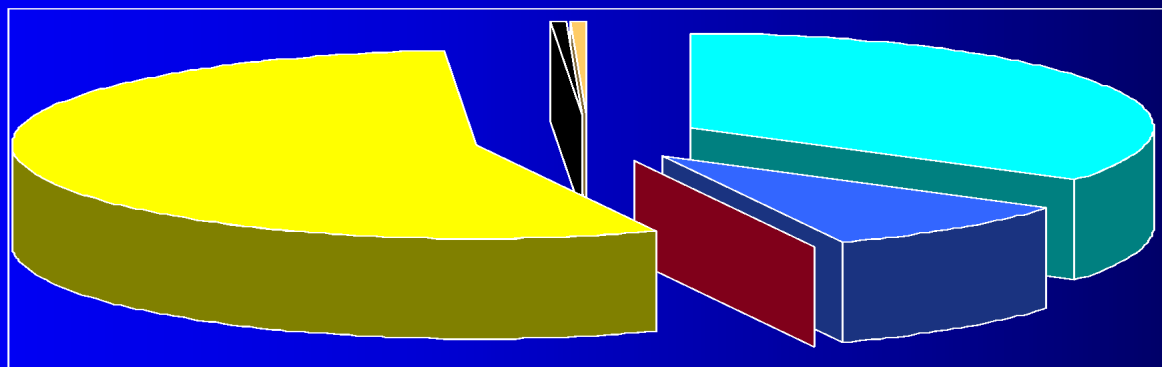
$$\eta_{cp} = \eta_i \eta_b \eta_p \eta_m \eta_g$$

小结:

(1) 各能量转换环节的热平衡式和发电厂的热平衡式

凝汽式电厂的热平衡式: $Q_{cp} = 3600P_e + \Sigma\Delta Q$

其中 $\Sigma\Delta Q$ 为各环节损失之和, 包括锅炉损失 ΔQ_b 、管道损失 ΔQ_p 、冷源损失 ΔQ_c 、机械损失 ΔQ_m 、发电机损失 ΔQ_g



锅炉的热平衡式: $Q_{cp} = Q_b + \Delta Q_b$

管道的热平衡式: $Q_b = Q_0 + \Delta Q_p$

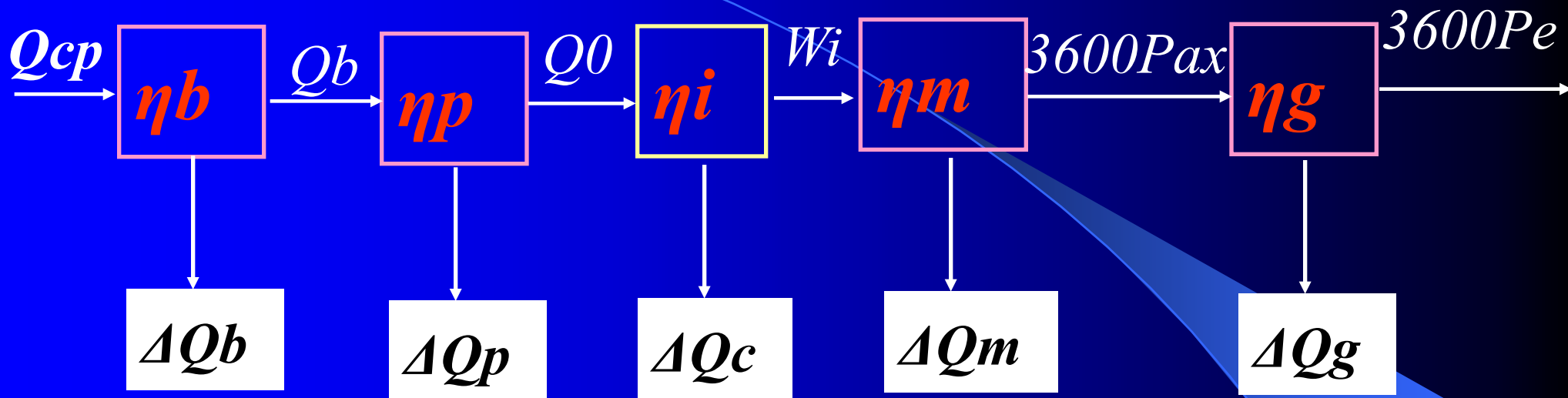
汽轮机装置的热平衡式: $Q_0 = W_i + \Delta Q_c$

机械联轴器的热平衡式: $W_i = 3600P_{ax} + \Delta Q_m$

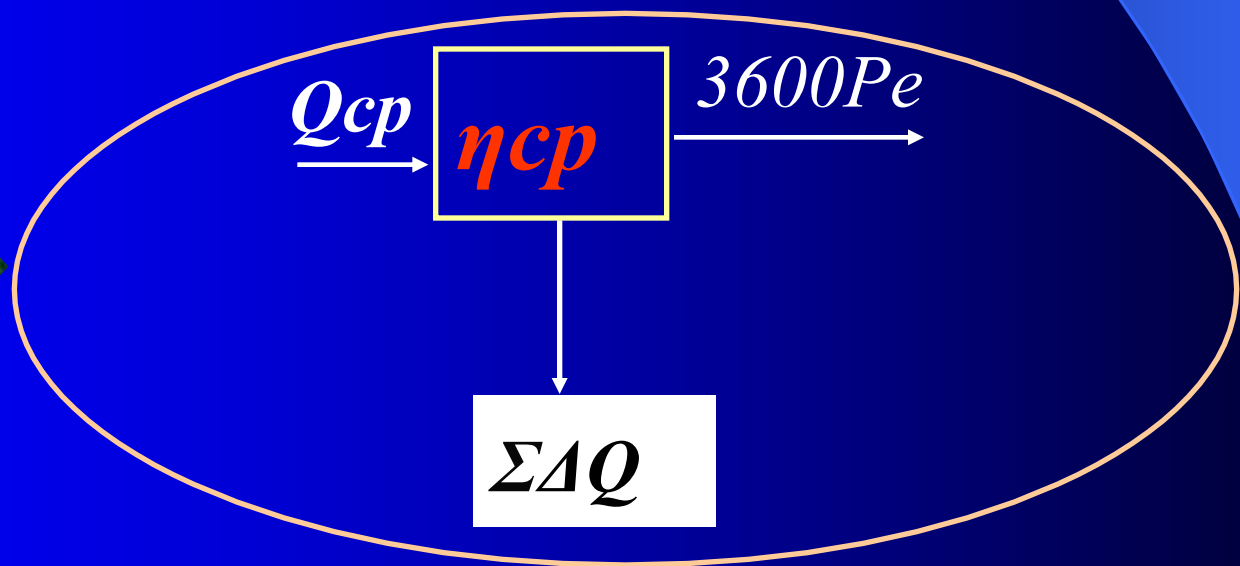
发电机的热平衡式: $3600P_{ax} = 3600P_e + \Delta Q_g$

(2) 各能量转换环节的热效率和发电厂的热效率

能量转换环节示意图

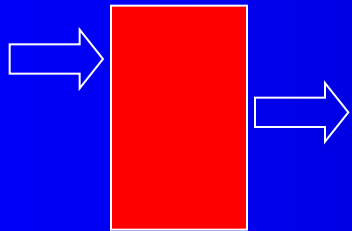


凝汽式电厂

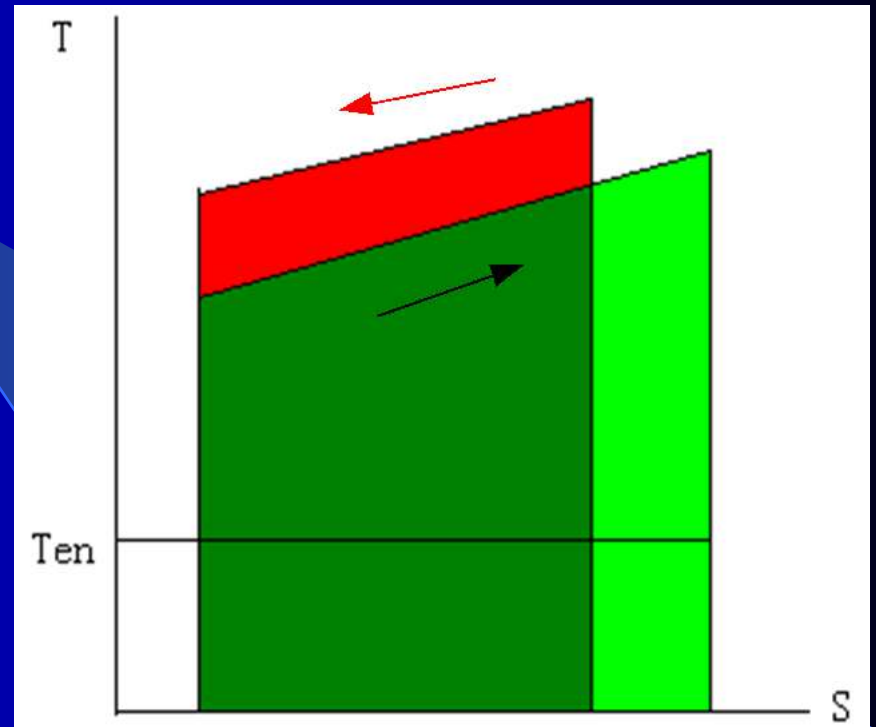


1.1.3 熵方法

- 以热力学第二定律为理论基础
- 以锅炉的能量关系为例



- 热量法：锅炉效率高达92%
- 熵方法：做功能力损失很大
- 输出能量成为品质较低的热能



1.1.3.1 典型的做功能力损失

- 有温差的传热

锅炉、加热器、凝汽器、除氧器

- 有摩阻的膨胀和压缩

汽轮机、水泵

- 流体的节流

管道、阀门

- 不同参数工质的混合

喷水减温设备，混合式加热器

1.1.3.1.1 有温差的传热过程

□ 做功能力损失: $I = T_{en} \Delta s$ kJ/kg

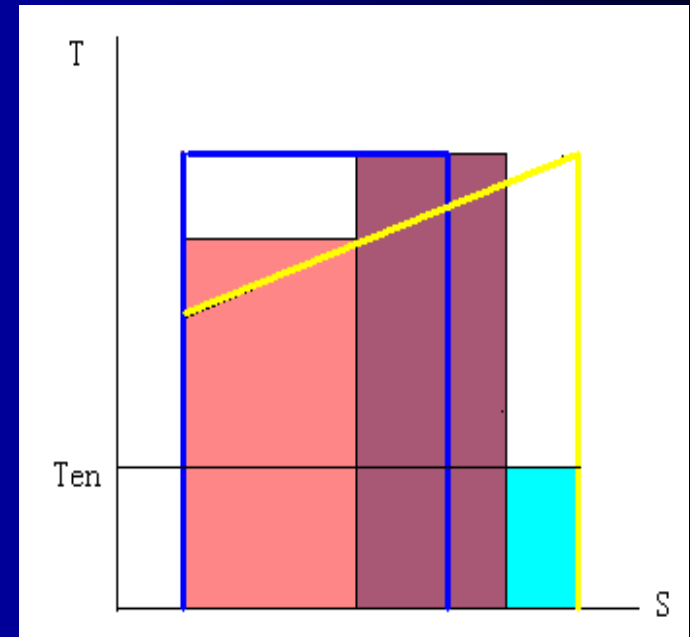
□ 减小温差传热的措施

分级加热

减小温差

1.1.3.1.2 工质节流过程

□ 做功能力损失: $I = T_{en} \Delta s$ kJ/kg



	热损失的份额（第一定律计算）	热损失的份额（第二定律计算）
锅炉	9%	56.35%
蒸汽管道	0.22%	0.21%
汽轮机	55.09%	5.23%
凝汽器		2.5%
机械损失	0.71%	0.73%
发电机	0.46%	0.46%
全厂效率	34.52%	34.52%

用**第二定律**分析凝汽式电厂能量转换过程：

(1) 做功能力损失**最大**的部分不是汽轮机装置（包括凝汽器），而是**锅炉**，其原因主要是锅炉的**巨大传热温差**，此外还有散热损失和化学能转换成热能的损失

(2) 凝汽器只是冷源损失的排出部位，而不是损失发生的原因；**做功能力损失发生在能量转换的各个环节**

(3) 能量转换过程中的**不可逆性**是导致做功能力损失的**本质原因**

(4) 提高发电厂的效率的根本途径：**提高循环平均温度、尽量减少不可逆性**

1.2 凝汽式电厂主要热经济指标

- 衡量机组的热经济性
- 汽轮发电机组的定义
- 主要经济指标：
 - 能耗量：汽耗量、热耗量、煤耗量
 - 能耗率：汽耗率、热耗率、煤耗率
 - 效率：各种效率
- 经济指标的意义
- 经济指标的实时监测
- 运行中对经济性的控制：耗差分析，能损分析，小指标竞赛
- 各种指标的应用场合
- 国产汽轮发电机组经济指标范围（表1-3）

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/997024032140010016>