

# 1704 期节能技术串讲讲义

考试题型：单选题、简答题、论述题、计算题、案例分析题。【黄色、红色标注的重点记】

## 第一章 节能基础知识

### 一、节能的定义及必要性

1. 节能的定义：简单地说，节能就是节约能源。就狭义而言，节能就是节约石油、天然气、电力、煤炭等资源；而更为广义的节能是节约一切需要消耗能量才能获得的物质，如自来水、粮食、布料等。节能的定义：1998 年开始实施的《中华人民共和国节约能源法》第三条对节能的定义如下：“节能是指加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，减少从能源生产到消费各个环节中的损失和浪费，更加有效、合理地利用能源。”

2. 节能定义的四个层面：

- (1) 从管理的层面指出节能工作必须从管理抓起，加强用能管理，向管理要能源。
  - (2) 从技术的层面指出节能工作必须是技术上可行，也就是说节能工作必须符合现代科学原理和先进工艺制造水平，它是实现节能的前提。
  - (3) 从经济的层面指出节能工作必须是经济上合理。任何一项节能工作必须经过技术经济论证，只有那些投入和产出比例合理，有明显经济效益项目才可以进行实施。
  - (4) 从环境保护和可持续发展的角度指出任何节能措施必须是符合环境保护的要求、安全实用、操作方便、价格合理、质量可靠并符合人们生活习惯的。
3. 节能并不是少用或者不用能源，而是善用能源，巧用能源，充分发挥所用能源的一切价值，减少不必要的浪费，提高能源的利用率。

### 4. 节能的必要性【要点看看，有可能简答题】

从现在开始，节约能源，善用能源，提高能源利用率及单位能源产生的综合经济效益是目前在能源消耗过程中必须解决的现实问题。世界各国把节能视为一独立能源，称为第五大能源，前面的四大常规能源分别为煤炭、石油、天然气和水利。

我国整体的能源使用效率相对于发达国家是严重偏低，只相当于节能水平最高国家的50%左右。目前，我国的能源整体利用率为30%左右，节能的潜力非常巨大。

我国目前的能源政策是“资源开发与节约并举，把节约放在首位”，依法保护和合理使用资源，保护环境，提高资源的利效率，实现可持续发展。

节能工作是解决能源供需矛盾的重要途径，是从源头治理环境污染的有力措施。

### 二、节能的内容及有关概念

1. 从节能的领域来看，节能的内容包括工业节能、交通节能、建筑节能、农业节能及日常生活节能，每一项领域又可以细分为多项领域。从节能的方法措施领域来看，节能的内容包括

管理节能、技术节能、结构调整节能、合同能源管理节能。而技术节能又可以细分为工艺节能、控制节能、设备节能；结构调整节能又可以分为产业结构调整节能、产品结构调整节能。从能源转换过程来看，节能的内容包括能源开采过程节能、能源加工、转换和储运过程节能及能源终端利用过程节能。

## 2. 节能的有关概念：

标准当量：以该物质的燃烧热值为基准。

1kg 标准煤当量=7000kcal,

1kg 标准油当量=10000kcal

换算：1cal（非国际单位）=4.1868J（国际单位）。

发热量（热值）：单位重量（固体、液体）或体积（气体）物质在完全燃烧，且燃烧产物冷却到燃烧前的温度时发出的热量，单位为 kJ/kg 或 kJ/m<sup>3</sup>。发热量分为高位发热量（燃料完全燃烧，且燃烧产物中的水蒸气全部凝结成水时所放出的热量）和低位发热量（燃料完全燃烧，而燃烧产物中的水蒸气仍以气态存在时所放出的热量）。【简答题】

在数值上：低位发热量=高位发热量-水的汽化潜热。

一个大气压条件下汽化潜热是水显热的 6 倍。

能源系统的总效率=开采效率×中间环节效率×终端利用效率

能源效率=中间环节效率×终端利用效率

中间环节效率是指能源加工、转换和储运的效率。

当量热值（理论热值或实际发热值）：某种能源一个度量单位本身所含热量。【简答题】

等价热值：是指加工转换产出的某种二次能源与相应投入的一次能源的当量【简答题】，即获得一个度量单位的某种二次能源所消耗的，以热值表示的一次能源量，也就是消耗一个度量单位的某种二次能源，就等价于消耗了以热值表示的一次能源量。因此，等价热值是个变动值。如二次能源电力 1 千瓦时当量热值等于 3600 千焦，而等价热值则在热量转化为电的效率不同时，是个变化的数值，当转化效率为 30.4%时，二次能源电力 1 千瓦时等价热值为 11842 千焦。（3600/30.4%=11842）

等价热值×转换效率=当量热值

3. 能源折换系数（折标系数）：在节能统计工作中，为了方便，需将不同能源及物质的消耗折算到某一标准能源，如标准煤、标准油、标准电。能源折换系数中，原煤的折标准煤系数是 0.7143 千克标煤/千克。

4. 能效标识直观地明示了家电产品的能源效率等级，产品的能源效率越高，表示节能效果越好。分为 5 级，1 级达到国际领先水平；3 级平均水平；低于 5 级的产品不允许销售。

5. 能源效率：中间环节效率和终端利用效率的乘积称为能源效率。

6. 单位工业增加值能耗指一定时期内，一个国家或地区每生产一个单位的工业增加值所消耗的能源，是工业能源消费量与工业增加值之比。

两种计算方法：

(1) **生产法**：即从工业生产过程中产品和劳务价值形成的角度入手，剔除生产环节中间投入的价值，从而得到新增价值的方法。

公式： $\text{工业增加值} = \text{现价工业总产值} - \text{工业中间投入} + \text{本期应交增值税}$

(2) **分配法**：即从工业生产过程中制造的原始收入初次分配的角度，对工业生产活动最终成果进行核算的一种方法。

公式： $\text{工业增加值} = \text{劳动者报酬} + \text{固定资产折旧} + \text{生产税净额} + \text{营业盈余}$

### 三、节能工作的四个层次：【简答题】

- (1) **不使用能源**。这是一个**最简单易行**的节能工作，如不开车外出、不用空调。
- (2) **降低能源的使用量**。这是一个比较可行的节能方法，例如通过降低驾车的速度来减少汽油的消耗。
- (3) **通过技术手段提高能源使用效率**。这一层次的节能工作属于目前正在采用的真正意义上的节能工作。
- (4) **通过调整经济和社会结构提高能源利用效率**。这是一个**最高层次**的节能工作。

### 四、从技术层面来说，节能工作的四项基本原则（准则）：【简答题】

**一是最大限度地回收和利用排放的能量**：提高阶梯利用能源，尽可能减少排放到环境中去的能量。

**二是能源转换效率最大化**：能源转换效率最大化原则提示每一次能源状态的转换尽可能采用目前最先进的技术，提高能源转换效率。

**三是能源转换过程最小化**：提示在利用能源的时候，如果可以直接利用，尽量减少能量的转换次数。

**四是能源处理对象最小化**（中央空调或集中供暖系统）。

### 五、节能的方法和措施：

(1) **管理节能**。就是通过能源的管理工作，减少各种浪费现象，杜绝不必要的能源转换和输送，在能源管理调配环节进行节能工作。**建立各种能源消耗定额、节能工作规范、考核指标及奖惩办法属于管理节能。**

**管理节能工作投资不大，甚至可能是零投资，但可以达到 3%~5% 的节能效果。**

(2) **技术节能**：就是在生产中或能源设备使用过程中用各种技术手段进行节能工作。

工业技术节能分为：**工艺节能、控制节能、设备节能，困难程度从高到低。**

**工艺节能是工业节能过程中难度大、投资大**，但也是节能效果最明显的节能措施。

控制节能对整个工艺的影响不大，不改变整个工艺过程，只改变某一个变量的控制方案。

**设备节能是较为容易实施的节能措施**。设备节能就是耗能设备进行改造、替换、采用新材料新技术以及加强管理等各项措施使耗能设备的能源消耗降低。

(3) **结构调整节能**：就是**调整产业结构规模、产业配置结构、产品结构**等进行节能工作。

特点：全局性和超前性。

## 六、能源分类

能源领域对能源的 5 个分类：

一次能源与二次能源、可再生能源与非再生能源、常规能源与新能源、燃料能源与非燃料能源、清洁能源与非清洁能源。

- 一次能源与二次能源
- 可再生能源（水能、风能、生物质能）与非再生能源
- 常规能源（煤炭、石油、天然气、水力、电力）与新能源
- 燃料能源与非燃料能源
- 清洁能源（太阳能、水能、氢能）与非清洁能源

## 七、能源效率：

- 1、一个国家的综合能源效率指标：增加单位国内生产总值的能源需求，即单位产值能耗。
- 2、部门能源效率指标分为：经济指标（单位产值能耗）和物理指标（工业部门为单位产品能耗，服务业和建筑物为单位面积能耗和人均能耗）。
- 3、衡量能源效率的指标分为：经济能源效率（又分为：单位产值能耗和能源成本效率）和物理能源效率（又分为：物理能源效率热效率）和单位产品或服务能耗）。
- 4、单位产品或服务能耗：生产单位产品或提供单位服务所消耗的能源量。提供服务的单位能耗指标，主要是服务业和建筑物单位面积能耗和人均能耗。

八、【只本科考】能源强度：一个国家或地区、部门或行业，一定时间内单位产值消耗的能源量，以每万吨（或千克）油当量（或煤当量）来表示。一个国家或地区的单位产值能耗，通常以单位国内生产总值（GDP）能耗量来表示。它反映经济对能源的依赖程度，以及能源利用的效益。

能源消费弹性系数：反映能源消费增长速度与国民经济增长速度之间的比例关系指标。

能源消费量增长率与经济增长率的比：
$$e = \frac{dE / E}{dG / G} = \frac{G}{E} \times \frac{dE}{dG}$$

## 九、节能监测

1. 节能监测：依据国家有关节约能源的法规（或行业、地方规定）和能源标准，对用能单位的能源利用状况所进行的监督检查、测试和评价工作。
2. 节能监测的最终目的是：要求企业改进自己的能源管理、改进用能状况、提高能源利用效率、减少能源环境污染。节能监测国家标准要求节能监测机构在作出“合格”或“不合格”判断的同时应当向企业提出改进的建议，指出改进的途径。
3. 在我国目前的状况下，节能监测是政府进行节能监管、获取能源使用信息的最有效途径。
4. 节能监测分为：综合节能监测（对重点用能单位）与单项节能监测（对一般企事业单位）。

十、节能量：统计报告期内能源实际消耗量与按比较基准值计算的总量之差。【定义记住】

节能率：在一定生产条件下，采取节能措施之后节约能源的数量，与未采取节能措施之前能

源消费量的比值，它表示所采取的节能措施对能源消费的节约程度，也可以理解为能源利用水平提高的幅度。

## 第二章 工业锅炉及窑炉节能

### 一、工业锅炉的节能诊断的步骤（工作过程）：【简答题】

1. 对锅炉的历史状况进行调查；
2. 查阅锅炉机组的设计资料；
3. 对锅炉进行性能测试；
4. 进行数据对照分析；
5. 寻找问题和判断造成问题的原因；
6. 制订改造或改进措施；
7. 措施实施后进行复验性测试，以确定改造效果和证明初期评价的正确性。

### 二、燃烧系统改造技术

链条锅炉分层燃烧的过程：将煤仓中落下来的原煤经过转动的辊筒疏松后，落到筛板上。粒度大的从筛板上落到炉排上，粒度小的漏到筛下的炉排上。随着炉排的转动，形成了下大上小的给煤层次。使煤层通风均匀，提高了炉膛的温度，利于燃尽。【简答题】

链条锅炉分层燃烧的效果：

1. 增加锅炉对煤种的适应性，出力提高；
2. 降低各项热损失，锅炉热效率可提高5%~8%；
3. 提高锅炉运行的可靠性，减少维修费用；
4. 改造工期短、投资回收快，一般为3~6个月。

### 三、炉拱【只本科考】

（一）炉拱：突出于链条炉炉膛内部且墙面向下的那部分倾斜式或水平。

（二）炉拱的作用：

1. 加强炉内气流的混合；
2. 合理组织炉内的热辐射和热烟气流。这两个作用可以通过不同拱形的良好配合达到。炉拱设置得当可使炉前燃料着火快速、炉后灰渣燃烬良好，从而降低物理未燃尽热损失，提高热效率。

（三）炉拱按位置不同可分为：前拱、后拱、中拱。针对某特定煤种设计。

（四）前拱的主要作用：创造燃料引燃所需的高温环境因而又称引燃辐射拱。

后拱的作用：1. 提高燃烧区的温度，强化燃烧；2. 提高燃烬区的温度，促进燃料燃尽。

炉拱布置是否合理对锅炉的燃烧工况影响极大，对应于不同的燃料特性，应该有不同的拱形及尺寸。链条炉炉拱都是针对某特定煤种而设计的，使用煤种改变。

（五）炉拱的改造

1. 对劣质和中质烟煤、贫煤和无烟煤，应着重于煤的着火；



## 2. 对挥发分高的烟煤，应着重于气体良好混合。

### 四、配风【只本科考】

（一）火床下配风的方法：配风是保证锅炉正常燃烧的重要环节

1. 尽早配风法（适用于燃用高挥发分煤）；
2. 强风后吹法（适用于低挥发分煤）；
3. 推迟配风法（适用于多种煤种）。

（二）二次风

火床上配风称为二次风。由于二次风起到帮助引燃、加强混合及消除黑烟的作用，广泛应用于锅炉燃烧设备改造中，尤其是对抛煤机炉效果十分明显。

### 五、锅炉运行自动控制技术

1. 锅炉运行自动控制技术包括：

1. 负荷控制系统；2. 空燃比控制系统；3. 炉膛负压控制系统；4. 给水控制系统。

2. 负荷控制系统：以蒸汽压力为主信号，以蒸汽流量为前馈信号。在蒸汽流量已变化，蒸汽压力尚未变化之前，控制器就提前改变送风量；当蒸汽压力发生变化时，由控制器按比例积分调节控制送风机转速或其挡板开度，调节送风量，以消除蒸汽压力偏差。

3. 空燃比控制系统：锅炉合理燃烧的关键是保持最佳的空燃比，既保证煤能完全燃烧，又不因过多的不能参与燃烧的空气带走大量热量。以送风量为主信号，以炉排电机转速所代表的送煤量为反馈信号，将其偏差或将其比值与设定的风煤比的偏差作为调节信号，通过控制器调节炉排电机转速，以维持合理的风煤比，保证合理和节约地燃烧。

4. 炉膛负压控制系统：保持炉膛负压稳定是平衡通风锅炉燃烧稳定的前提。以炉膛负压为主信号，以送风量为前馈信号。当送风量变化时，控制器马上相应改变引风量。当炉膛负压变化时，由控制器按比例积分调节引风机转速或其挡板开度，以保持炉膛负压的稳定。

5. 给水控制系统：蒸汽锅炉在运行中必须保持汽包水位稳定在规定范围内。给水自动控制系统包括：单冲量水位控制系统、双冲量水位控制系统、三冲量水位控制系统。

（1）单冲量水位控制系统

单冲量水位控制系统，直接以水位信号与设定值进行比较。该系统比较简单，但不能克服“假水位”现象。

（2）双冲量水位控制系统，以水位信号为主控制信号，以蒸汽流量为前馈信号。避免了“假水位”现象，保证了水位稳定。

（3）三冲量水位控制系统

三冲量水位控制系统，以汽包水位为主控信号、蒸汽流量为前馈信号、给水流量为反馈信号来控制给水流量。不仅能克服“假水位”的影响，也能克服给水压力变化等因素引起的给水流量变化的影响，使整个系统保持良好的动态响应和静态特性，是较理想的水位控制系统。

## 六、辅机改造节能技术

### 泵和风机改造：

离心式：工业锅炉用泵和鼓、引风机均为离心式，当其容量和扬程（压头）不够时一般均应更换，当其容量和扬程偏大或锅炉负荷变动大或经常在低负荷运行时，最好采用调速技术改造来替代节流调节，可大幅节约电能。这是由于离心式风机（水泵）流量与转速的一次方正比。

二次风装置：用于细煤多、挥发分高的煤；

双重燃烧：适用于劣质煤燃烧，可提高锅炉出力和效率。

## 七、选择锅炉机组节能改造方案

### 锅炉烟气余热回收装置换热特点：

1. 使用翅片管换热，有效面积大，换热效率高；
2. 采用逆流换热的方式，系统最终排烟温度逼近常态空气温度；
3. 余热回收效果比原系统提高 15%以上；
4. 总体上降低了引风机的负荷，改善了风机的工况条件。

## 八、工业窑炉节能改造的内容

工业窑炉节能改造的内容有：热源改造、燃烧系统改造、窑炉结构改造、窑炉保温改造、烟气余热回收利用、控制系统节能改造。

热源改造，有的是将交流电改成直流电源，对送电短网进行改造，对电极进行自控改造；有的窑炉由燃油改为燃用各种回收的可燃气，有的由燃料、燃气改为电加热，总之，都是为了减少能源消耗。

**炉型结构改造的目的：**改善燃烧状况、缩小散热面积、增大炉窑的有效容积。其效果：既可减少能源消耗，又可提高产品质量和增加产量。

工艺节能：对窑炉热工过程进行分析，针对窑炉结构、所用燃料和工艺要求与特点，不断改进窑炉结构和提高窑炉热工性能，合理改变工艺过程、安排热利用子过程或与外界热利用系统合理配置和引入到新工艺流程中去，这样不仅可以合理用能、节能，还可改进产品质量。

**九、热平衡测试：**通过对窑炉的现场热平衡测试，全面地了解窑炉的热工过程，计算窑炉收入和支出的能量、供给能量、有效能量及损失能量的平衡关系，从而了解窑炉的热工状况，判断其能量有效利用程度，查明各项损失的分布情况，分析窑炉运行工况，及时调整运行工艺参数，使其达到运行的最佳状态。

热平衡有正平衡和反平衡两种不同测试方法，通过反平衡测试，能够了解窑炉的主要能量损失，为节能改造提供科学依据。

## 十、燃烧装置与燃烧技术

燃烧器是工业窑炉的核心部件。平焰烧嘴最适合在加热炉上使用。

常见的节能燃烧技术有高温空气燃烧技术、富氧燃烧技术、重油掺水乳化技术、高炉富

氧喷粉煤技术、普通炉窑燃料入炉前的磁化处理技术。其中应用广泛的有高温空气燃烧技术和富氧燃烧技术。

**高温空气燃烧技术：**高温空气燃烧技术包含两项基本技术措施：一是采用温度效率高、热回收率高的蓄热式换热装置，极大地回收燃烧产物中的显热，用于预热助燃空气，获得温度为 800~1000℃，甚至更高温的助燃空气；二是采取燃料分级燃烧和高速气流卷吸炉内燃烧产物，稀释反应区的含氧体积浓度，获得浓度为 1.5%~2%的低氧气氛。

**富氧燃烧技术：**助燃空气中氧气含量大于 21%所采取的燃烧技术。

火焰温度随富氧空气氧浓度的提高而增高，富氧空气浓度取 23%-27%为宜。

#### **富氧燃烧技术的特点【简答题】**

- 1、富氧燃烧可以提高燃烧区的火焰温度；
- 2、富氧燃烧改变了燃料与助燃气体的接触方式，降低了燃料的燃点温度，可明显缩短火焰根部的黑区，增大有效传热面积；
- 3、富氧燃烧可以加快燃烧速度，改善燃料的燃烧条件，使燃烧在窑内充分完成，减少了在蓄热室内的残余燃烧，因而能充分地利用燃料；
- 4、富氧燃烧使燃烧所需空气量减少，废气带走的热量下降。
- 5、富氧燃烧可以增加热量利用率。
- 6、合理的富氧供给方式提高了传热效率。

### 十一、余热

余热是工业窑炉回收利用潜力最大的一部分热损失。在能源耗费中占相当大的比重。据统计，目前中国的工业余热占总工业能源耗费的 15%。实践证明，在中、高温炉窑中，热损失的绝大部分都由烟气所带走，主要指烟气的显热损失（潜热损失和化学热损失是少量的）。有资料表明，当烟气排烟温度为 1000℃~1300℃时，烟气余热将占窑炉总能耗的 50%~70%。一般情况下，工业窑炉烟气带走的热量占燃料总供热量的 30%~70%，因此，将烟气余热回收利用，降低排烟温度是实现炉窑节能的一项有力措施和重要途径。

#### **工业窑炉烟气余热利用的途径：【简答题】**

- 1、装设预热器，利用烟气预热助燃空气和燃料；
- 2、装设余热锅炉，产生热水或蒸汽，供生产或生活用；
- 3、利用烟气作为低温炉的热源或用来预热冷的工件或炉料。

回收烟气余热的最有效和应用最广的是换热器。蓄热式换热器是今后的技术发展趋势，其余热利用后的废气排放温度在 200℃以下，节能效益达到 30% 以上。

### 十二、工业窑炉节能技术

#### **（一）热处理火焰炉**

- 对于 927℃的操作炉，烟气带走的热损失约占 50%。
- 连续式加热炉热效率为 40%，周期式炉的热效率只有 30%。



- 震底式炉具有热效率 54% 最高，一般选震底式，便于节能，其次是井式 43%。
- 同容积的圆柱形炉体较方型炉体节能。因为：外壁的面积越大，散热面和散热损失就越大。
- 根据红外物理的黑体理论及燃料炉炉膛传热数学模型，制成集“增大炉膛面积、提高炉膛发射率和增加辐照度”三项功能于一体的工业标准黑体-黑体元件。
- 锅炉全自动燃烧节能控制系统的节能原理为：

①风煤比燃烧控制曲线；②炉膛恒负压燃烧方式；③连续燃烧控制模式。

高温炉膛的炉温在 900℃ 以上，炉膛内的传热方式以辐射为主；

中温炉膛其炉温介于 600~900℃ 之间，绝大部分热处理炉均属此类型，传热方式主要依靠热辐射与对流换热；

低温炉膛的炉温不超过 600℃，所有干燥炉及部分低温热处理炉属此类型，热量传递方式以对流换热为主。

#### （一）热处理火焰炉的节能途径

1、（1）采用集中生产方式，减少热损失 ①减少辅件及运输装置的热损失。②减少炉体热损失。（炉衬的热损失包括炉衬的散热损失和炉衬的蓄热损失）；

（2）改进燃烧与控制技术；（3）回收排烟余热。

2、将交流电源改成直流电源，对送电短网进行节电改造，对电极进行自控改造等。

#### （三）流化床热处理炉技术【只本科考】

在流化床热处理炉中，采用氧化铝用作流化介质，但不参与燃烧，可回收烟气 50%-60%。

流化床热处理炉技术的优点：

- 1、可广泛应用于中性硬化、热化学、碳化、氮化或其结合过程；
- 2、具有良好的负荷调节性能；
- 3、良好的环保性能，基本无环境污染；
- 4、升温速率快、升温时间短，具有良好的温度均匀性，可自由选取淬火介质。

### 十三、工业锅炉及窑炉节能改造实例

- 1、炉体采用轻质的耐火材料，可以降低炉墙的容积比热容，减小墙体的蓄热损失。
- 2、在炉墙内壁设置反射系统，减少炉墙吸收的辐射热，从而减小墙体的散热与蓄热损失。
- 3、黑体材料目的：可以强化炉内的辐射传热。

加热炉强化辐射黑体技术：

关键技术：（1）高辐射系数黑体元件；（2）黑体元件烧结安装固定技术。

主要技术指标：

- （1）黑体元件辐射系数大于 0.95；（2）寿命大于 3 年；（3）节能率 10%~20%。

## 第三章 余热利用技术

一、余热资源：在目前条件下有可能回收和重复利用而尚未回收利用的那部分能量。余热资

源，被认为是继煤、石油、天然气和水力、电力之后的第六大常规能源。通常用温度高低来评价热能品位是一种比较简单和直观的方法。获得热量的温度越高，则利用越方便。

## 二、余热资源的分类

### （一）余热资源按来源划分

按来源划分：

1、高温烟气的余热；2、高温产品和炉渣的余热；3、冷却介质的余热；4、可燃废气、废液和废料的余热；5、废汽、废水的余热；6、化学反应的余热。

### （二）余热资源按温度划分

按温度划分：

1、高温余热（高于 500℃）；2、中温余热（200～500℃之间）；  
3、低温余热（低于 200℃的烟气及低于 100℃的液体）。

## 三、余热利用的原则？【简答题】

- 1、对于排出高温烟气的各种热设备，其余热应优先由本设备或本系统加以利用。
- 2、在余热无法回收用于加热设备本身，或用后仍有部分可回收，应用来生产蒸汽或热水，以及产生动力等。
- 3、要根据余热的种类，排出的情况，介质温度、数量及利用的可能性，进行企业综合热效率及经济可行性分析，决定设置余热回收利用设备的类型及规模。
- 4、应对必须回收余热的冷凝水，高、低温液体，固态高温物体，可燃物和具有余压的气体、液体等的温度、数量和范围制定利用的具体管理标准。

## 余热利用应注意的问题？【简答题】

- 1、在能源管理中，企业的注意力首先要放在提高现有设备的效率上，尽量减少能量损失，决不要把回收余热建立在大量浪费能源的基础之上。
- 2、余热资源很多，不是全部都可以回收利用，余热回收本身也还有个损失问题。
- 3、余热的用途从工艺角度来看有两类：一类是用于工艺设备本身，另一类是用于其他工艺设备（通常把余热用于生产工艺本身比较合适）。

## 四、蒸汽回收利用

### （一）蒸汽回收原理

蒸汽余热的利用方式：

- 1、热利用，即把余热当做热源来使用；
- 2、动力利用，即把余热通过动力机械转换为机械能输出对外做功。

1 千克水每升高 1℃，需要加入的热量大约是 4.2 千焦，这部分热量叫显热。水从常温 20℃加热到 100℃，吸热量大约是 340 千焦。水在 100℃时沸腾，此时获得的热量使水转变为蒸汽，1 千克水转化为蒸汽需要输入的热量是 2257 千焦。可见一个大气压条件下汽化潜热是水显热的 6 倍。

用汽设备（如蒸发器、干燥机）排出的凝结水，其热量占蒸汽能量的 12%~15%。

蒸汽回收技术：

（1）在动力利用方面，主要是通过蒸汽透平等设备带动水泵、风机、压缩机等直接对外做功，或带动发电机转换为电力。

（2）在热利用方面，可通过换热器、加热器等设备去预热燃料、空气、物料、干燥物品，加热给水，生产蒸汽，供应热水。

无论是余热的动力回收还是热利用，都离不开换热设备。因此各种类型的热交换器仍是余热利用最主要和最基本的设备。

从水蒸气的生成过程可以看到：压力越高，饱和蒸汽温度也越高；过热度越大，过热蒸汽的温度也越高。压力和温度是表征蒸汽特性的主要参数，参数越高，蒸汽的品味越高，做功能力越大。

蒸汽有一个特性，就是用过以后还可继续使用，用的次数越多，能量的利用就越充分。

参数较高的蒸汽，先用来背压发电，再去带动工业汽轮机做功，然后再加热产品或物料，最后用于蒸煮或供暖、供热水，这个利用是合理的使用。

## （二）凝结水回收利用

1. 凝结水回收的主要障碍是水泵输送高温凝结水时的汽蚀现象。凝结水的排放过程通常由蒸汽疏水器完成。蒸汽疏水器是使蒸汽与凝结水分离并使后者自行排出的疏水装置。冷凝水的最佳利用方式，就是将冷凝水送回锅炉房，作为锅炉给水。

2. 防止气蚀的措施：提高水泵入口处的压力，使凝结水温度低于该处压力对应的饱和温度。

3. 按防气蚀原理分类，凝结水回收装置的种类：

（1）蒸汽加压法；

（2）位差防汽蚀法；

（3）喷射增压防汽蚀法；

（4）往复式压缩机输送汽水两相流装置；

（5）无疏水阀回收系统。

4. 凝结水的排放过程通常由蒸汽疏水器完成。在蒸汽供热系统中，用汽设备凝结水的回收是一项重要的节能措施。蒸汽疏水器按结构可分为：机械式、热静力式、热动力式。

5. 冷凝水的最佳回收利用方式，就是将冷凝水送回锅炉房，作为锅炉给水。

## 6. 凝结水回收技术的选择按用气设备使用蒸汽的压力和温度选择

（一）凝结水回收技术的选择：

按用汽设备使用蒸汽的压力和温度选择：

（1）用汽设备疏水压力小于 0.15MPa 时，凝结水可以利用重力自流回收。

（2）用汽设备疏水压力为 0.15~0.6MPa 时，多数采用增压回收方式回收凝结水。

（3）用汽设备凝结水压力大于 0.6MPa 时，采用高压、中压回水系统闪蒸装置，闪蒸汽供中

压或低压用汽设备。

## 五、常压蒸汽回收利用

常压二次蒸汽回收的汽源：

- 1、**余热蒸汽**其汽源主要来自汽锤、活塞泵、蒸汽压力机、汽轮机等动力设备。
- 2、**闪蒸蒸汽**是高温凝结水经过扩容减压后所得到的余热回收蒸汽。
- 3、**二次蒸汽**：在蒸发器中利用新汽加热得到的水蒸汽就是二次蒸汽。在单效蒸发器中，每蒸发 1kg 水所需的新汽量为 **1.18kg/kg**；在双效蒸发器中，蒸发 1kg 水所需的新汽量为 **0.59kg/kg**；在三效蒸发器中，需要 **0.39kg/kg**；在四效蒸发器中，则需 **0.29kg/kg**。这就是说，从单效改为双效，可节约加热新汽量 50%；从三效改为四效则可节约 25%；从六效改七效，则可节约 15%。

## 六、热泵技术及应用

热泵：**将低温物体中的热能传递至高温物体中的一种装置。**

热泵技术的特点：**【简答题】**

- 1、能长期的、大规模地利用江河湖海、城市污水、工业污水、土壤或空气中的低温热能。
- 2、是目前世界上最节省一次能源的供热系统。热泵技术消耗的一次能源仅是前两种供热方式的 1/5 或近 1/6。
- 3、在一定条件下可以逆向使用，即可供热，也可用以制冷，而不必搞两套设备的投资。

压缩式热泵：

（一）压缩式热泵由**蒸发器、压缩机、冷凝器、膨胀阀**四部分组成。通过让工质不断完成**蒸发（吸取环境中的热量）—压缩—冷凝（放出热量）—节流—再蒸发**的热力循环过程，从而将环境里的热量转移到工质中。

（二）从热力学原理可知，要将热能从低温处传至高温处，必须消耗一定的能量。热泵传给高温处的热量  $Q_1$  为从低温处吸取的热量  $Q_2$  与所消耗能量  $W$  之和。即  **$Q_1 = Q_2 + W$**

在理论上逆卡诺循环工作时，若以温度来表示，热泵的 COP 最高，为

$$COP_{\max} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

当用热泵与电能直接加热来对比时，热泵的 COP 至少要等于 3，否则是不合算的。

## 七、热管技术及应用

（一）热管原理

在众多的传热元件中，热管是最有效的传热元件之一。热传递分为**传导、辐射、对流**三种。热管的传热现象，并不属于以上热传递中的任何一种，它是**传导、蒸发、对流及冷凝**等现象的组合。其导热热量之大小比同体积的任何金属棒高千倍以上。

（二）热管的工作过程**【简答题】**

1. 管内吸液芯中的液体受热汽化；

2. 汽化了的饱和蒸汽向冷端流动；

3. 饱和蒸汽在冷端凝结放出热量；

4. 冷凝液体在吸液芯毛细力作用下回到热端继续热汽化。

**热管在工业领域应用：**热管换热器属于热流体与冷流体互不接触的表面式换热器。

**热管换热器的特点：【简答题】**

1、结构简单；

2、换热效率高；

3、在传递相同热量的条件下，热管换热器的金属耗量少于其他类型的换热器；

4、换热流体通过换热器时的压力损失比其他换热器小，因而动力消耗也小。

从热管换热器结构形式来看，热管换热器分为整体式、分离式、组合式三种类型。

**整体式热管换热器特点：【简答题】**

①热效率高；②有效地避免冷、热流体的串流；③有效地防止露点腐蚀；④有效地防止积灰；⑤无任何转动部件，没有附加动力消耗，不需要经常更换元件；⑥单根热管的损坏不影响其他的热管。

**分离式热管换热器的特点：【可能简答题】**

- ①装置的受热段和放热段可视现场情况分开布置，可实现远距离传热
- ②工作介质的循环依靠冷凝液的位差和密度差的作用，不需要外加动力。
- ③放热段与受热段彼此独立，易于实现流体分割、密封。
- ④受热段与放热段管束可根据冷、热流体的性能及工艺要求选择不同的结构参数和材质，从而可有效地解决设备的露点腐蚀和积灰问题。
- ⑤根据工艺要求，可以将流体顺、逆流混合布置，以适应较宽的温度范围。
- ⑥系统换热元件由多片热管管束组成，各片之间相互独立，因此，其中一片甚至几片损坏或失效不会影响整个系统的安全运行。

## 八、板式换热器【只本科考】

板式换热器是由一系列具有一定波纹形状的金属片叠装而成的一种新型高效换热器。各种板片之间形成薄矩形通道，通过半片进行热量交换。板式换热器是液汽进行热交换的理想设备。

**板式换热器的特点：**

它具有换热效率高、热损失小、结构紧凑轻巧、占地面积小、安装清洗方便、应用广泛、使用寿命长等特点。在相同压力损失情况下，其传热系数比管壳式换热器高 3~5 倍，占地面积为管壳式换热器的三分之一，热回收率可高达 90%以上。目前被广泛地应用在采暖、生活热水、空调、化工等领域。

**板式换热器选型时应注意的问题？**

- 1、板型选择板片型式或波纹式根据换热场合的实际需要而定。



- 2、流程和流道的选择。
- 3、压降校核在板式换热器的设计选型。

## 第四章 供电系统节能

### 一、供电系统组成

#### (一) 供电损耗

供电损耗：在企业内部的电能输送和分配过程中，电流经过线路和变压器等设备时，会产生功率损耗和电能损耗，这些损耗称为供电损耗。

#### (二) 线损率

供电损耗电能占输入电能的百分比（或功率损耗占输入功率的百分比），简称线损率。  
线损率是一项技术经济指标，它的高低直接反映了企业电力网络输送分配电能的效率。因此，降低线路损耗是企业节约电能的重要途径之一。

#### (三) 线损

线损可分为：可变损耗和固定损耗。

可变损耗是指当电流通过导体时所产生的损耗，导体截面、长度和材料确定后，其损耗随电流的大小而变化。可变损耗包括降压变压器、配电变压器的铜损及线路和接户线的铜损。

固定损耗与电流大小无关，只要设备通电，就有损耗。固定损耗是指降压变压器、配电变压器的铁损，电力电容器的介质损失，电度表电压线圈的损耗等。

### 二、功率因数对供电系统的影响

功率因数的基本概念：

对于感性负载来说，其有功功率  $P$ ，无功功率  $Q$  及视在功率  $S$  之间关系：

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

功率因数： $\cos \phi = P/S$

**功率因数对供电系统的影响：【简答题】**

#### 1、供电线路及变压器的电压损失增大。

供电线路的电压损失大部分是由于输送无功功率产生的。可以认为变压器的电压损失几乎全部是输送无功功率产生的。

#### 2、供电线路及变压器的损耗增大。

有功功率损耗与电流平方成正比，与功率因数的平方成反比。

#### 3、发电机的出力降低

### 三、降低变压器损耗的技术措施

#### (一) 降低线路损耗的技术措施？【简答题】

(1) 对电网进行升压改造，减少电容量

(2) 确定电网经济合理的运行方式

(3) 适当提高运行电压输送同样的功率时，提高运行电压就可降低电流，减少损耗。

(4) 提高功率因数

(5) 合理调整日负荷

(二) 无功功率经济当量是根据电网或变配电所的功率因数而确定的。无功功率减少的经济效益，可用无功功率的经济当量来表示，即每减少 1 千乏的无功功率所降低的有功功率损耗值，用 K 来表示。企业变电所变压器安装点距无功电源越远，无功功率经济当量越大。企业变电所的 K 值为 0.02—0.1，经过两级变压为 0.05—0.07，经过三级变压为 0.08—0.1。

(三) 降低变压器损耗实例：【计算题】

#### 四、电力品质改善

(一) 电力品质恶化的典型表现【简答题】

1、功率因数低 2、谐波超标：畸变电流波形：150 赫兹。 3、频率波动 4、电压波动 5、三相不平衡 6、掉脉冲或断相。

谐波频率是电源基波频率的整数倍，即基波为 50Hz，3 次谐波为 150Hz，5 次谐波为 250Hz。

谐波源的主要设备：所有电压与电流的关系为非线性的用电设备都是谐波源。如电力变压器、电弧炉、气体放电光源，旋转电机、电机车、电焊机、家用电器（如电视机）以及使用电力、电子装置的用电设备，也都会产生谐波。

谐波超标的危害性有哪些？【简答题】【只本科考】

谐波超过一定标准，会对电网及各用电负载带来严重的影响。

(1) 同次的谐波电压和谐波电流之间会形成谐波有功功率，在负载中产生附加的损耗而发热，产生谐波转矩，轻则转矩脉动，重则咬死在谐波转矩对应的低转速下，使之不能正常启动而烧坏。

(2) 谐波频率较高，在电容中产生附加损耗与发热，甚至使这些电容器“放炮”炸裂。

(3) 把电网中的某些相连接的用电器烧毁。

(4) 畸变无功，造成系统的功率因数下降。

(5) 谐波还会产生线路噪声，给电磁兼容带来一系列问题。

(6) 在三相四线（五线）带零线的系统中，各相中 3 的倍数次谐波具有相同的相位，它们将在零线上叠加而使零线严重超载，甚至引起火灾。

(二) 改善电力品质的措施

1. 提高自然功率因数

提高自然功率因数的措施：

(1) 选择低损耗节能变压器，使变压器在最佳经济负载系数下运行。

(2) 选择高效节能电动机。

(3) 合理安排和调整工艺流程，改善机电设备的运行状况，采取技术措施限制机电设备在

轻载或空载状态下运行。

(4) 适当降低供电电压。

(5) 采用同步电动机替代异步电动机。

2. 无功补偿技术

无功功率补偿技术所起的作用就是滤除非线性负载产生的基波相移无功和谐波畸变无功。

3. 供电系统的谐波治理【只本科考】

解决途径是抑制谐波电流，使用户注入电网的谐波电流或是用电网电压正弦波形畸变率减少到允许的范围。

- (1) 变压器采用：Y、d 或 D、y 联结组可以抑制所有 3 的倍数高次谐波。
- (2) 增加整流机组的等效相数，可以降低 5 次、7 次谐波电流。
- (3) 增加系统承受谐波能力，提高系统短路容量，提高谐波源负荷的供电电压等级。从而可减小谐波电流在该电压级系统中所占的百分比，减小系统的电压畸变值，改善电压波形。
- (4) 装设谐波滤波器、无源滤波装置或有源滤波装置。

第五章 电动机系统节能

一、异步电动机的损耗分成五种：【简答题】

- 1. 定子铜耗
- 2. 转子铜耗（铜耗与电流平方成正比，随负载变化而改变）
- 3. 铁芯损耗
- 4. 风摩损耗；主要包括通风系统损耗（ $P_v$ ）及轴承摩擦损耗（ $P_f$ ）
- 5. 杂散损耗。简称杂耗，主要为漏磁场在金属件中的涡流损耗以及气隙中谐波磁场在定转子铁芯和导体中引起的损耗等。

五种损耗可以分成两部分，即不随负载变动的不变损耗和随负载变动的可变损耗。不变损耗包括铁耗及风摩损耗，可变损耗包括铜耗及杂耗。

二、异步电动机的合理使用

电动机功率的选择：

500 伏以下称为低压，500 伏以上称为高压。

电动机负载特性的选择：

负载特性		工程实例
恒转矩	转矩 $M$ 恒定，输出功率 $P_2$ 与转速 $n$ 成正比	造纸机、压缩机、印刷机、卷场机等摩擦负载和动力负载。
平方递减 转矩	转矩与转速的平方成正比，因此转矩随转速的减少而平方递减	流体负载，如风机、泵类
恒功率	输出功率恒定，转矩和转速成正比	卷绕机

递减功率	输出功率随转速的减少而减少，转矩随转速的减少而增加	各种机床的主轴电动机
负转矩	负载反向旋转的恒转矩为负转矩	吊车、卷扬机的重物 W 下吊
恒性体	电动机的转动惯量比负载的转动惯量小得多	离心分离机、高速鼓风机等

#### 四、异步电动机轻载调压节能技术【本科】

评价电动机空载、轻载运行时节能性能的指标是其最低运行电压的大小。

#### 五、异步电动机调速系统节能技术

转子的转速（在电动机状态）总是低于同步磁场转速即异步。

异步电动机，其转速公式：
$$n = n_0(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s)$$

由上式可看出，调节电动机的转速，只要改变下列任何一个参数，就可以实现调速的目的：  
（1）定子绕组的极对数  $p$ 。（2）电源的频率  $f$ 。（3）电动机的转差率  $s$ 。

电动机调速应用的领域分为四大类：

1. **节能调速**：节能调速是针对节能目的进行的电动机的调速。
2. **工艺调速**：现代许多工业部门都把电动机当原动机，由于工艺的需要，要求电动机调速运行。
3. **牵引调速**：牵引调速既包括电气火车、电传动的内燃机车、地下铁道、轻轨机车、无轨电车，乃至磁悬浮列车和电动汽车等水平运输的电动车辆，也包括电梯、自动扶梯、矿井卷扬机和龙门起货吊车等电动垂直牵引系统。
4. **精密调速**：在电动机拖动的某些应用场合，用户对调速范围和调速精度有严格的要求。

#### 六、异步电动机变频调速技术

电动机容量的选择，以普通异步电动机为例。在选择电机容量时，应考虑以下因素：【本科】

- 1、电机的容量应大于负载所需的功率。
- 2、**电机的最大转矩应大于负载的启动转矩，并要有足够的裕量。**
- 3、若电源电压下降了 10% 时，电机仍能输出足够的转矩。
- 4、电机应在规定的温升范围内使用。
- 5、针对负载的性质，选择适合的电机运行方式。实际的电机容量可由下式求得：电动机的容量=驱动负载所需的动力+加速（减速）所需的动力。

变频调速系统中变频器的选择：

根据其性能及控制方式不同可分为通用型、多功能型、高性能型。

- 1、**变频器种类的选择**：根据负载机械的工作特点，结合对调速范围、调速精度和经济性的要求，用户可以选择不同种类的变频器来控制调速运行。

（1）**通用型变频器**：一般采用控制方式，适用于风**机**、**泵类**负载场合。其节能效果显著，调速范围和调速精度较低，因此成本较低。

(2) **多功能通用变频器**：多功能变频器主要适应工业自动化，自动仓库、升降机、搬运系统、小型 CNC 机床、挤压成型机、纺织及包装机械等高速、高效需求。

(3) **高性能通用变频器**：无速度传感器矢量控制技术的引入和实用化，使变频器的性能大大提高。目前，高性能变频器驱动交流异步电动机系统已大量取代直流电动机驱动系统，广泛应用于数控机床、挤压成型机、电线和橡胶制造设备中。

### 变频调速的节能应用：

#### (一) 变频调速的节能应用

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{或} \quad Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{或} \quad H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \text{或} \quad P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

**流量与转速的一次方成正比，压力与转速的平方成正比，功率与转速的三次方成正比。**

例如：当转速降低到 80% 时，流量也减少到 80%，而轴功率却下降到原来的  $(80\%)^3 \approx 51\%$ ；若流量减少到 40%，则转速相应减少到 40%，此时轴功率下降到原来的  $(40\%)^3 \approx 6.4\%$ 。

#### (二) 风机、水泵负载应用变频调速条件

- 1、风机、泵类的运行工况点偏离高效区；
- 2、压力、流量变化幅度较大，运行时间长的系统；（流量在额定流量的 90% 以上 变化时，风机、泵类负载不宜用变频调速装置）
- 3、使用挡风板、阀门截流以及旁路分流等方法调节流量的系统。

与目前常用的定风量系统和风机盘管加新风系统比较起来，**变风量系统具有的优点：【简答题】**

(1) 避免风机盘管凝水污染吊顶。(2) 无霉菌滋生问题，室内空气质量好。(3) 更灵活，更易于改建或扩建。(4) 能比较好地同时满足不同房间的温度要求。

(三) 控制系统为常见的**四环节控制**，(1) **末端风量控制**：这是保证房间温度的最主要的控制环节；(2) **送、回风机转速控制**：这是变风量系统稳定运行的关键环节，也是系统节能的主要体现。(3) **新风控制**。

### 七、高效异步电动机

我国高效异步电动机系指达到或超过国家标准 GB 18613—2006《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》中的节能评价价值，相当于欧盟 Eff1 标准，即能效等级为 2 级的异步电动机，称为高效电动机。澳大利亚标准即能效等级为 1 级的异步电动机，称为超高效电动机。



## 第六章 过程能量综合技术【只本科考】

一、过程能量综合技术是以能量系统为主线，研究能流与物流的最佳结合关系，用多种技术集成，实现最优技术条件的科学方法。该技术是过程工业科学技术与计算机技术相结合、研究更有效地利用能量和提高生产工艺水平的边缘科学。主要包括系统设计、系统操作和系统控制三个方面的内容。

2、过程系统设计优化包括两部分：物料优化和能量优化。

### 3、过程能量优化工作程序【简答题】

选择服务对象，现场调研，提出诊断咨询意见，服务对象（企业）研究确认，确定项目可研报告，立项、设计、采购，实施、现场监督，投用、标定。

### 二、过程挟点技术分析方法及应用

1、冷流：需要被加热的工艺物流称为冷流，其温度一般升高，即初始温度低于目标温度。

2、热流：被冷却的工艺物流称为热流。热流的初始温度一般高于目标温度。

3、热容流率 CP：是指工艺物流单位时间每变化 1K 所发生的焓变。

4、最小接近温差（挟点温差）：对单个换热台位而言，换热的冷、热端温差较小者，称接近温差。对一个换热网络而言，所有换热台位接近温差中的最小值称为最小接近温差，也称挟点温差。

当通过挟点的热流量为零时，公用设施加热及冷却负荷最小，即热回收最大。挟点技术合成换热网络的三项基本原则如下：（1）不通过挟点传递热量；（2）挟点以上的热阱部分不适用冷公用工程；（3）挟点以下的热源部分不适用热公用工程。

### 三、过程能量系统综合应用

低温热利用：同级利用：直接或间接向温位更低的热阱供热。

升级利用：用热泵技术向更高温位热阱供热。

低温热利用系统的设计优化原则：

①热阱、热源需在企业及邻近区域系统内统筹考虑，可统一规划，分批、分期实施；

②源、阱匹配要运用换热网络优化设计技术，按热力学规则，考虑各种工程的辅助设施投资；

③ 同级利用与升级利用措施统筹考虑。

## 第七章 照明系统节能

### 一、光源选择原则与依据

（一）绿色照明是节约能源、保护环境，有益于提高人们生产、工作、学习效率和生活质量，保护身心健康的照明。实现高效、舒适、安全、经济、有益的环境并充分体现现代文明的照明。

（一）光源选择的原则：光源选择的总原则是选用高光效、寿命长、显色性好的光源。

选择电光源首先要满足照明设施的使用要求，如所要求的照度、显色性、色温、启动、再启动时间等；然后要考虑使用环境的要求，如使用场所的温度、是否采用空调、供电电压波动情况等；最后根据所选用光源一次性投资费用以及运行费用，经综合技术经济分析比较后，确定选用何种光源为最佳。

高压钠灯光效最高，主要用于道路照明。其次是金属卤化物灯（要求照度较高且光色较好场所），在荧光灯中尤以稀土三基色荧光灯光效最高；高压汞灯光效较低；而卤钨灯和白炽灯光效最低。

## 二、合理选择光源的措施【简答题】

- 1、尽量减少白炽灯的使用量（但其光效低，耗能大，寿命短，应尽量减少其使用量）。
- 2、逐步减少高压汞灯的使用量。高压汞灯因其光效较低、显色性差，不是很节能的电光源，特别是不应使用耗能高的自镇流高压汞灯。
- 3、推广使用直管型细管径荧光灯和紧凑型荧光灯。荧光灯光效较高，寿命长，节约电能。
- 4、积极推广高光效，寿命长的高压钠灯和金属卤化物灯。

## 三、照明灯具及其附属装置的选择

灯具除具有机械和电气性能外，最重要的是光学性能，该性能对于节约能源有重要的影响。灯具的光学性能通常以光强分布（配光）、遮光角、灯具效率三项指标来表示。

- 1、光强分布（配光）：通常灯具的光强分布有两种类型，一种是光分布为轴对称灯具，点光源灯具的光强分布曲线在空间各个截面上都是相同的，故可用一个极坐标表示光强分布曲线；另一种是光分布为非轴对称灯具，如管形荧光灯灯具，其光强分布曲线在各截面上是不同的。
- 2、灯具的遮光角是用来表示灯具防止眩光的范围，它是指灯罩边沿和发光体边沿的连线与水平所成的夹角 $\gamma$ ，遮光角越大，虽防眩光效果好，但光的出射率变小，即灯具的亮度随之降低，造成能源的效率降低；反之，则可节约能源。如何解决两者之间的矛盾，是照明设计所应解决的问题。
- 3、灯具效率即在规定条件下，测得的灯具发出的总光通量占灯具内所有光源发出的总光通量的百分比，称为灯具效率。灯具效率永远是小于1的数值，灯具的效率越高说明灯具发出的光通量越多，入射到被照面上的光通量也越多，被照面上的照度越高，越节约能源。

### 照明灯具的选择：

- 1、选择配光合理的灯具 如在学校和办公室宜采用宽配光的灯具，在高大（高度六米以上）的工业厂房采用窄配光的深罩型灯具。
- 2、选择高效率灯
- 3、选择光利用系数高的灯具
- 4、选择高光通量维持率的灯具
- 5、尽可能选择不带光学附件的灯具

6、采用空调和照明一体化灯具

7、灯具的反射面采用计算机的辅助设计

室内灯具效率不宜低于 70%。荧光灯灯具效率：敞开式灯具效率 75%。

**镇流器定义：**在荧光灯的点灯电路中，在电源和一只或几只荧光灯之间跨接的、用于平衡荧光灯负阻特性的具有正阻特性的装置或元件，称作镇流器。【定义记住】

**镇流器选择原则：**（1）采用电子镇流器 （2）T8 直管型荧光灯应配用电子镇流器或节能型电感镇流器，T5 直管型荧光灯（大于 14 瓦）应采用电子镇流器。（3）对于功率小于或等于 150 瓦的高压钠灯和金属卤化物灯可配用电子镇流器。

#### 四、照度标准值的选择

**照度是照明的数量指标。照度值为作业面或参考平面上的维持平均照度值。**所谓作业面或参考平面，一般是指距地面 0.75 米的水平面。

**凡符合下列条件之一时，参考平面或作业面的照度值应提高一级。**

- （1）当眼睛至识别对象的距离大于 500 毫米时；
- （2）连续长时间紧张的视觉作业，对视觉器官有影响时；
- （3）识别对象在活动面上，识别时间短促而辨认困难时；
- （4）视觉作业对操作安全有特殊要求时；
- （5）识别对象的反射比小或低对比时；
- （6）当作业精度要求较高，且产生差错会造成很大损失时；
- （7）工作人员年龄偏大，长时间持续的视觉工作时；
- （8）建筑水准要求较高时。

**凡符合下列条件之一时，参考面或作业面的照度值应降低一级。**

- （1）进行临时工作时；
- （2）当工作精度和识别速度无关紧要时；
- （3）当反射比或亮度对比特别高时；
- （4）建筑水准较低时；
- （5）能源比较紧张的地区。

#### 五、照明节能

##### （一）照明节能

建筑利用天然采光的方法不少，概况起来主要有被动式采光法和主动式采光法两类。

1、被动式采光法：是通过或利用不同类型的建筑窗户进行采光的方法。

2、主动式采光法：是利用集光，传光，和散光灯设备与配套的控制系统将天然光传送到需要照明部位的采光法。

3、目前主动式天然采光法主要分为六类：【简答题】

（1）镜面反射采光法（2）利用导光管道光的采光法（3）光纤导光采光法

(4) 棱镜传光的采光法 (5) 光伏效应间接采光照明法

(6) 卫星反射镜采光法 (人们所说的人造“月亮”或称“不夜城计划”。)

## 第八章 建筑节能

### 一、建筑设计节能技术

#### (一) 建筑节能的概念【简答题】

1、建筑节能：在建筑材料生产、房屋建筑施工及使用过程中，合理有效地利用能源，以便在满足同等需要及达到相同的条件下，尽可能降低能耗，以达到提高建筑舒适性和节省能源的目标。

2、建筑节能的三层主要含义：

(1) 建筑节能涉及建筑物的整个生命周期过程，包含建筑的设计、建造、使用等过程；

(2) 建筑节能的前提条件是在满足同等需要及达到相同目的的情况下，达到能源消耗的减少；

(3) 建筑节能不能简单地认为是少用能，其核心是提高能源使用效率。

#### 二、建筑设计节能技术【简答题】

##### (一) 建筑工程设计

建筑格局朝向设计节能技术：坐落于坐北朝南的方向，即建筑物的轴线为东西走向，有利于冬暖夏凉。在相同体积的建筑中，以立方体的形体系数为最小。

##### (二) 外形结构设计节能技术

建筑物的体形系数是指建筑物与室外大气接触的外表面积与其所包围的体积的比值。在其他条件相同的情况下，建筑物耗热量指标随体形系数的增长而增长。研究表明，体形系数每增大 0.01，能耗指标大约增加 2.5%。从有利于节能角度出发，体形系数应尽可能小，一般宜控制在 0.30 及 0.30 以下。在相同体积的建筑中，以立方体的体形系数为最小。

在加热工况下，室内计算温度每降低 1℃，能耗可减少 5%—10%；在冷却工况下，室内计算温度每升高 1℃，能耗可减少 8%—10%。

##### (三) 热工参数优化设计节能技术

所谓建筑物热工参数就是建筑物在制冷和供暖时的工作参数，它包括建筑物室外的热工参数、建筑物本体的热工参数、建筑物室内的热工参数。建筑物热工参数的改变，对建筑物的能源消耗有较大的影响。

建筑物室外的热工参数主要受气象控制，只能适应，无法改变。

室内热环境参数主要包括室内空气温度、空气湿度、气流速度和环境热辐射等。在加热工况下，室内计算温度每降低 1℃，能耗可减少 5%—10%；在冷却工况下，室内计算温度每升高 1℃，能耗可减少 8%—10%。

舒适性标准：冬季取暖只要不低于 18 度，夏季制冷不高于 28 度即可。

参数选择的原则：冬季取低，夏季取高的原则。

（四）其他设计节能技术：如在建筑照明、用能设备选择等方面预先作出设计。

### 三、建筑维护结构节能技术

建筑物的围护结构主要由窗体、墙体、楼顶、地面四大维护部件组成。

#### （一）墙体节能技术

墙体是围护结构的重点。目前在建筑物墙体中可选择新型墙体材料主要是新型砖材料（如煤矸石烧结空心砖、粉煤灰烧结空心砖、页岩烧结空心砖等）、建筑砌块及新型保温节能墙板三大类。

屋顶节能工作应注意的问题：

（1）屋面保温层不宜选用吸水率较大的保温材料，以防止屋面湿作业时，保温层大量吸水，降低保温效果。

（2）屋面保温层不宜选用堆密度较大、热导率较高的保温材料，以防止屋面质量、厚度过大。

（3）在确定具体屋面保温层时，应根据建筑物的使用要求、屋面的结构形式、环境气候条件、防水处理方法和施工条件等因素，经技术经济比较后确定。

#### （二）窗体节能技术

窗体对于室内负荷的影响主要是通过空气渗透、温差传热以及辐射热的途径。根据窗体的能耗来源，可以通过相应的有效措施来达到节能的目的。对建筑物而言，环境中最大的热能是太阳辐射能。

1、采用合理的窗墙面积比，控制建筑朝向、在兼顾一定的自然采光的基础之上，尽量减少窗墙面积比。根据模拟计算结果，窗墙比取值在 30%~50%范围内时，年总耗能大致相同，当窗墙比超过 50%之后，负荷将随窗墙比的增加明显升高。在国家节能标准窗墙比的要求中，北向的窗墙比为 0.25，东西向的窗墙比为 0.3，南向的窗墙比为 0.35；

2、加强窗体的隔热性能、增强热反射、合理选择窗玻璃及窗框；

3、增加窗体外遮阳，减少热辐射；

4、安设窗体密封条，减少能量渗漏。

### 四、建筑暖通空调系统节能技术

建筑暖通空调系统是建筑物当中对建筑物内的空气进行调节的由设备组成的系统，该系统通过空调及空调相关设备创造并保持能够满足人民需求和一定要求的室内环境。【简答题】

#### （一）建筑暖通空调系统的主要节能技术有：【简答题】

1. 中央空调余热回收技术 2. 中央空调闭环变频节能技术 3. 中央空调机组自动清洗技术 4. 热泵空调技术 5. 冰蓄冷空调技术 6. 变频调速技术。

（二）【只本科考】蓄热方式主要有三种，即显热蓄热、潜热蓄热和化学反应热蓄热。以上三种类型的蓄热方式中，潜热蓄热方式最具有实际发展前途，也是目前应用最多和最重要的储热方式。



## 第九章 交通节能

一、单位重量、单位距离运输耗油最小的为海洋运输，耗油最多的为民航飞机耗油。

交通节能包括陆路的汽车节能、火车节能，水路的内河船舶节能、远洋船舶节能、航空的飞机客运与货运节能。

对于城市交通，要求合理规划交通运输发展模式，加快发展轨道交通等公共交通，提高综合交通运输系统效率。

二、公路运输结构性节能包括优化基础设施结构、优化车辆运力结构和优化车辆能源消费结构三个方面。

车辆节能技术：提高发动机的指示效率是汽车节能的源头。

燃油消耗率越低，发动机的经济性越好。

发动机的节能工作主要就是将燃料的化学能最大限度地转化为驱动功率。

汽车行驶时，发动机克服空气阻力所消耗的功率与车速的三次方成正比。

汽车的空气阻力主要为形状阻力。

高速行驶时不要打开车窗等都是降低空气阻力的有效措施。

智能交通系统就是将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子控制技术、传感器技术以及计算机处理技术等有效地综合运用于整个交通运输体系，从而建立起的一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的交通综合管理系统。【简答题】

智能交通系统中的一个核心问题是最优路径的选择。

三、汽车发动机节能技术：

① 指示效率 $\eta_i$  ②有效功率 $P_e$  ③机械功率 $\eta_m$  ④燃油消耗率 $b_e$  ⑤传动功率 $\eta_t$

发动机指示效率是推动活塞所做功的有效热量与发动机内燃料燃烧的总热量之比，表明了发动机内热量转变为功的使用程度。提高发动机的指示效率是汽车节能的源头。

有效功率是发动机经飞轮输出的功率，是发动机机械效率和指示功率的两者乘积。

机械效率是发动机有功功率和指示功率之比，它反映了发动机机械性能的好坏程度。

燃油消耗率：发动机每发出 1kW 的有效功率，在 1h 内所消耗的燃油的质量。

**发动机节能的几个主要途径：**

1. 提高充气效率 2. 提高发动机的机械效率 3. 提高发动机循环热效率 4. 提高发动机的压缩比 5. 采用可变压缩比发动机

四、水路运输是所有运输形式中能源利用效率最高的一种运输方式。

水路运输节能：结构性节能、技术性节能、管理性节能。

**管理性节能：**（1）水路运输组织管理 （2）船舶营运节能管理：尽量使用经济航速。

航速的变化与主机功率及燃油消耗量呈三次方关系。

五、【本科】所谓节能坡就是在地下轨道交通的两站之间，车辆从 A 站静止出发，到 B 站停止，其所消耗能量最小的坡度。【定义记住】

节能坡的设计使用应遵循以下几个原则：【可能简答题】

- ① 轨道交通的列车再生制动功能，不能代替节能坡。
- ② 轨道交通凡有条件的区间，都应设计成节能坡，即遵循“高站位，低区间”的设计原则。
- ③ 节能坡的使用必须与施工方法相结合。
- ④ 节能坡应尽量符合列车运行规律。
- ⑤ 节能坡的应用必须结合工程实际，必须与区间线路沿线的地形、地质、地物和桩基等的实际情况相结合。

## 六、铁路运输节能

铁路运输每人千米的能源消耗量约是小汽车的  $\frac{1}{6}$ 。

对于平道或坡度变化很小的线路，理论证明存在最优的操纵序列为“最大加速、匀速运行、惰性、最大制动”。

电力机车的节能技术包括：①降低机车运行阻力 ②减轻车辆质量 ③采用再生制动系统 ④改善功率因数 ⑤降低机器损耗。

计算题：

1. 已知一家化纤企业当年的单位化纤用电量为 620 千瓦时/吨，上一年的单位化纤用电量为 654 千瓦时/吨和当年的产量 8 万吨，计算当年节能量和单位产品节电率。

解：（1）当年节能量

$$\begin{aligned}\Delta E_c &= (620 - 654) \times 80000 \\ &= -2720000 (\text{千瓦时}) = -272 (\text{万千瓦时})\end{aligned}$$

（2）单位产品节电率

$$\zeta_c = (620 - 654) / 654 \times 100\% = -5.2\%$$

答：当年的节能量为 272 万千瓦时，节电率为 5.2%。

2. 某化纤企业，上一年度产品产量和单位产品能耗分别为 20000t 和 0.9tce/t，当年度产品产量和单位产品能耗分别为 30000t 和 0.8tce/t，求当年的节能量和节能率。

解：当年节能量  $= \Delta E_c = (0.8 - 0.9) \times 30000 = -3000 (\text{tce})$

$$\text{节能率 } \zeta_g = (0.8 - 0.9) / 0.9 \times 100\% = -11\%$$

答：该化纤企业的当年节能量为 3000tce，节能率 11%。

3. 若室内采暖温度为  $18^\circ\text{C}$ ，室外温度为  $-9^\circ\text{C}$ ， $\eta_e = 0.6$  时，如直接用电炉取暖，每消耗 1 千瓦时电能，可得热量 3600 千焦，若直接用热泵从室外冷空气吸取热量来取暖，计算此时热泵 COP 的公式为：

$$COP = \eta_e \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 0.6 \times \frac{273 + 18}{(273 + 18) - [273 + (-9)]} = 6.47$$

即热泵每消耗 1 千瓦时电能,可向室内供应热量 23292 千焦,是直接用电取暖的 6.47 倍。

4. 已知某企业 2009 年 12 月份有功电量为 54000kWh,无功电量为 23000kvar,计算该用户按当月统计考核的加权平均功率因数  $\cos \phi$ 。

解: 当月加权功率因数等于:

$$\cos \phi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{23000}{54000}\right)^2}} = 0.92$$

5.

某变电所安装两台 S9-630/10型变压器, 经查手册 S9-630/10型变压器的有关数据为:  $\Delta P_0=1.2\text{kW}$ ,  $\Delta P_k=6.2\text{kW}$ ,  $I_0=0.9\%$  (空载电流占额定电流的百分率),  $U_k=4.5\%$  (短路电压占定电压的百分率)。

变压器的空载无功损耗近似等于:

$$\Delta Q_0 \approx I_0 \cdot S_N = 630\text{kVA} \times 0.009 = 5.67\text{kvar}$$

变压器额定负荷时无功损耗近似为:

$$\Delta Q_N \approx U_k \cdot S_N = 630\text{kVA} \times 0.045 = 28.35\text{kvar}$$

取  $K_q=0.1$ , 两台变压器经济运行的临界负荷为:

$$S_{cr} = S_N \sqrt{2 \times \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}} = 630\text{kVA} \times \sqrt{2 \times \frac{1.2 + 0.1 \times 5.67}{6.2 + 0.1 \times 28.35}} = 394\text{kVA}$$

当负荷  $S$  小于 394kVA 时, 宜采取一台变压器运行; 当负荷  $S$  大于 394kVA 时, 宜采取两台变压器运行。

6. 企业配有一台额定功率为 55kW 的引风机, 额定风量为 20000Nm<sup>3</sup>, 电机的转速为 900 转/分钟, 当风机出口压力不变情况下, 计算风机出口风量为 15000Nm<sup>3</sup> 时, 电机的转速和运行功率?

解: (1) 电机转速:

$$n_2 = \frac{Q_2 n_1}{Q_1} = \frac{15000 \times 900}{20000} = 675 \text{ 转 / 分钟}$$

(2) 运行功率:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = 55 \times \left(\frac{675}{900}\right)^3 = 23.2\text{kW}$$