

# 湖南省高等教育自学考试

## 课程考试大纲

### 发电厂动力部分

(课程代码: 02311)

湖南省教育考试院组编  
2017 年 12 月

# 高等教育自学考试课程考试大纲

课程名称：发电厂动力部分

课程代码：02311

## 第一部分 课程性质与目标

### 一、课程性质与特点

发电厂动力部分是高等教育自学考试电力系统及其自动化(本科)专业的选考课程。

能源工业是国民经济发展的动力，电力生产是能源工业在现代高技术下社会经济和文明发展的根基。发电厂动力部分课程介绍合理利用能源、提高效益、保护环境和促进电力生产向高度自动化发展必备的专业知识。电力工业的发展和进步，需要大量懂理论、重实践、知识面宽、综合分析问题和解决问题能力强的专业人才。

本课程的任务是使考生熟悉热能、水能与机械功之间相互转换的基础理论；火力发电厂、水力发电厂动力设备的组成、作用、结构特点和工作原理；系统和布置原则；运行调节与控制原理和方法；具备电厂动力部分安全、经济运行和进行能量转换的效率分析与简单计算的基本能力。

### 二、课程目标与基本要求

1. 掌握基础理论知识，注重它们与发电厂动力设备及系统之间的联系。
2. 在理解的基础上要对基础理论知识，诸如热能与机械能的转换原理、水蒸气动力循环、热量传递的基本规律、水能利用、水流运动规律和水能计算等内容中的定义、定理、表达式，发电厂动力设备及系统中的设备组成、作用、结构特点和工作原理等要求加强识记。对分析问题的方法和重要结论要加深理解。
3. 发电厂动力部分属专业课程内容，除了它的基础理论部分外，动力设备结构和系统布置方法的介绍都是从实例入手的，不可能面面俱到。学习中，要注重相关知识点在理解基础上的相互渗透和融合，在提高综合分析能力上下功夫，才能抓住共性，对结构、布置各异的发电厂动力设备及系统组成，做到举一反三、繁而不乱、条理清楚、学以致用。

### 三、与本专业其他课程的关系

本课程与工程热力学、工程流体力学、传热学等基础课程紧密相关。学习本门课程时，应加强相关课程的学习，与其他课程融会贯通。

## 第二部分 考核内容与考核目标

### 第一章 热力学基本概念与基本定律

#### 一、学习目的与要求

本章是热能与机械功相互转换定性分析和定量计算的理论基础。通过本章的学习，熟悉热力学工质、工质的状态及状态参数；理解热力过程和热力循环概念；熟悉热力学第一、第二定律的实质；掌握不同热力系的能量平衡关系，掌握卡诺循环所揭示的热能与机械功相互转换的客观规律和转换效率的分析、计算方法。

## 二、考核知识点与考核目标

### （一）热力学基本概念（重点）

识记：工质、工质的状态及状态参数

理解：热力过程、热力循环

### （二）热力学第一定律（次重点）

识记：热力学第一定律的实质与表述

理解：稳定流动能量方程

### （三）热力学第二定律（次重点）

识记：热力学第二定律的实质与表述

理解：熵增原理

### （四）卡诺循环与卡诺定理（重点）

识记：组成卡诺循环各热力过程

理解：卡诺循环的意义

应用：卡诺循环热效率的计算

## 第二章 水蒸气及其动力循环

### 一、学习目的与要求

水蒸气是火力发电厂应用的实际工质。本教材后面很多的理论分析都是围绕水蒸气特性展开的，火电厂动力设备的结构和系统都是依据水蒸气特性设计和确定的，是本课程重点学习的内容之一。通过本章的学习，掌握水蒸气物理特性和水蒸气状态参数的确定方法、水蒸气热力过程中热量与功的分析计算；理解水蒸气动力装置循环(朗肯循环、一次中间再热循环和给水回热循环)的系统组成、热效率和热经济性理论分析等内容。

## 二、考核知识点与考核目标

### （一）水蒸气的定压形成过程及图表应用（重点）

识记：水蒸气定压形成过程的几个阶段及状态参数的变化规律

理解：1.水蒸气的一个临界状态点、两条边界线、三个状态区域和五种状态；

2.水蒸气干度、过热度等基本概念

### （二）水蒸气典型热力过程（次重点）

识记：1.火电厂热力设备中水蒸气的热力过程特点；2.喷管的定义和基本形式

理解：1.工质在不同形式的喷管内流动时的能量转换和参数变化规律；2.喷管的“临界”概念和“临界压力比”定义及应用条件；3.蒸汽绝热节流过程的不可逆性和参数变化特点；4.蒸汽经绝热节流过程后，做

功能力降低的事实和分析方法

应用：依据已知条件正确选择喷管的形式

### （三）水蒸气动力循环（一般）

识记：1. 朗肯循环的组成；2. 一次中间再热循环组成；3. 多级给水回热循环的组成

理解：1. 朗肯循环循环热效率的分析；2. 采用一次中间再热循环的条件和能提高循环热效率的机理；3. 火力发电机组普遍采用多级给水回热循环的意义

## 第三章 热传递的基本原理

### 一、学习目的与要求

火力发电厂的动力设备多与热量传递密切相关。通过本章的学习，熟悉三种基本传热方式的基本概念；掌握各不同换热方式的基本规律、基本定律；理解热量传递的客观条件和微观机理；能应用热量传递公式进行简单传热计算。

### 二、考核知识点与考核目标

#### （一）导热（重点）

识记：1. 导热的基本概念；2. 温度场、温度梯度、等温面、导热系数和热流密度等物理概念

理解：1. 导热的微观机理；2. 傅里叶定律

应用：能进行简单平壁和圆筒壁的一维稳定导热计算

#### （二）对流换热（次重点）

识记：1. 对流换热基本概念；2. 对流换热的类型

理解：1. 对流换热的微观机理；2. 自然对流换热和强制对流换热的特征；3. 影响对流换热的主要因素和各因素影响对流换热过程的强弱程度

应用：用牛顿冷却公式进行对流换热量的计算

#### （三）辐射换热（次重点）

识记：辐射和热辐射的基本概念

理解：黑体、物体的吸收率、反射率、透射率、黑度等的定义及物理意义

应用：能用斯忒藩-玻耳兹曼定律进行物体表面辐射换热量的简单计算

#### （四）传热过程与换热器（一般）

识记：火电厂换热器的类型

理解：换热器强化传热的基本方法

## 第四章 流体力学基本知识

### 一、学习目的与要求

通过本章的学习，了解流体力学的基本特性；理解和掌握绝对压力与表压力的相互关系；理解管流损失的构成；掌握流体运动状态的判别方法。

### 二、考核知识点与考核目标

- (一) 流体力学基本概念（一般）
  - 识记：流体的概念
  - 理解：流体的基本物理性质所包括的内容
- (二) 流体静力学（重点）
  - 识记：流体静压力的特性
  - 理解：绝对压力与表压力的相互关系
- (三) 流体动力学（次重点）
  - 识记：流体动力学相关基本概念
  - 理解：连续流动方程和能量方程
- (四) 管流损失和水击（一般）
  - 识记：1.管流损失的构成；2.水击的概念
  - 理解：流体沿程阻力的影响因素及运动状态的判别方法；

## 第五章 锅炉设备

### 一、学习目的与要求

锅炉是火力发电厂的主要设备之一。通过本章的学习，牢固建立电厂锅炉的整体概念；熟悉电厂锅炉中风、粉、水、烟、汽各类介质的流程、热量传递和状态变化，熟悉燃煤的特性、制粉设备和系统；掌握煤粉燃烧过程和燃烧设备的结构和布置方式；熟悉和掌握电厂锅炉各受热面的基本结构、类型、布置和换热原理；了解电厂锅炉主要辅助设备的作用、类型、结构和基本工作原理。

### 二、考核知识点与考核目标

- (一) 电厂锅炉概述（一般）
  - 识记：1.电厂锅炉的整体布置；2.锅炉设备的特性指标
  - 理解：1.锅炉内风、粉、水、烟、汽各类介质流程；2. 电厂锅炉的分类方法和类型
- (二) 燃料的成分及特性（重点）
  - 识记：1.煤的主要化学成分和质量百分比含量表述方式；2.各元素成分的特点和其在煤中所处的地位；3.煤的主要特性指标
  - 理解：燃煤各元素物理特性的意义，尤其是 $V_{daf}$ 、 $Q_{ar,net}$ 和灰分熔融特性对锅炉内煤粉燃烧和运行安全的重要性。
- (三) 煤粉及其制备系统（次重点）
  - 识记：1. 煤粉特性；2. 煤粉细度和最佳煤粉细度的概念；3.磨煤机的分类与特点
  - 理解：不同类型的煤粉制备系统的组成和运行特点
- (四) 煤粉燃烧及燃烧设备（重点）
  - 识记：1. 过量空气系数和最佳过量空气系数的概念；2. 煤粉燃烧的三个阶段
  - 理解：1. 炉内燃烧所需空气量的确定原则；2.锅炉炉膛出口过量空气系数

的意义和取值范围；3. 不同类型的煤粉燃烧器的基本结构、运行特点和在锅炉上的布置方式

应用：分析锅炉受热面结渣的机理、危害性及应采取的措施

#### （五）锅炉受热面（次重点）

识记：1.循环流速和循环倍率的概念；2.按水冷壁管内工质流动的动力不同，电厂锅炉的分类；3. 省煤器的作用、基本结构；4. 空气预热器的作用、基本结构和布置方式

理解：1.自然循环原理；2. 不同类型的过(再)热器基本结构、布置、换热方式和蒸汽流程

#### （六）锅炉的主要辅助设备（一般）

识记：锅炉辅助设备的种类与作用

理解：静电除尘器的基本结构、工作原理

## 第六章 电厂锅炉运行

### 一、学习目的与要求

电厂锅炉运行是锅炉方面的一个重要环节。通过本章的学习，理解锅炉热平衡的意义和锅炉各项热损失存在的机理及主要影响因素；掌握锅炉热效率测算方法；熟悉锅炉运行中各被调量的变化原因和变化规律及其调整方法；概括性的了解锅炉运行、启动和停炉工况的基本操作过程和注意事项。

### 三、考核知识点与考核目标

#### （一）锅炉热平衡（次重点）

识记：1. 锅炉热平衡方程式；2.锅炉热效率的表达式

理解：1.形成锅炉各项热损失的原因和热平衡方程式中各项热量的意义；2. 燃煤特性、过量空气系数、煤粉细度、介质温度等对热损失大小的影响

应用：正平衡方法和反平衡方法的应用和它们各自的优点和不足

#### （二）锅炉的运行调节（重点）

识记：1. 不同形式锅炉蒸汽压力调节的一般方法；2. 过热蒸汽和再热蒸汽的调温方法；3.三冲量给水调节系统

理解：1.蒸汽压力变化原因和危害；2.不同形式的蒸汽过热器(再热器)蒸汽温度随锅炉负荷变化的特点和蒸汽温度变化的原因；3.FSSS 和 CCS 系统的基本功能

应用：1.造成汽包“水位过低”、“满水”事故的原因和危害；2. 锅炉燃烧调整的任务和基本调整方法

#### （三）锅炉启动和停运（一般）

识记：1. 自然循环锅炉启动的基本操作过程；2.锅炉停运分类

理解：直流锅炉启动的主要特点

## 第七章 汽轮机设备

### 一、学习目的与要求

汽轮机是火力发电厂中热能与机械功转换的原动机。通过本章的学习，理解汽轮机“级”内能量转换原理；了解多级汽轮机结构和主要部件的作用；掌握汽轮机经济性分析方法和评价指标；了解汽轮机主要辅助设备结构、功能和系统。

### 二、考核知识点与考核目标

#### （一）汽轮机的一般概念（一般）

识记：汽轮机的分类

理解：汽轮机的型号及意义

#### （二）汽轮机本体主要结构（次重点）

识记：1.汽轮机主要静止部件和转动部件的构成；2.汽缸的作用；3.转子的分类；4. 转子临界转速的含义

理解：1. 汽轮机轴承的分类和作用；2. 盘车装置的作用；3. 滑销系统的作用

#### （三）汽轮机级的工作过程（次重点）

识记：1.汽轮机级的定义；2.级的反动度定义及其物理意义

理解：1.蒸汽在静叶栅内流动的能量转换过程和静叶栅速度系数的意义；2. 蒸汽在动叶栅内流动的能量转换过程和动叶栅速度系数的意义

#### （四）汽轮机损失、效率和功率（重点）

识记：1.汽轮机级内损失的种类； 2. 汽耗率、热耗率的定义

理解：1.汽轮机级内各项能量损失产生的原因；2. 汽轮机相对内效率的意义及数学表达式

应用：汽轮机级内各项能量损失产生的原因，能判断多级汽轮机各级内会产生哪些级内损失

#### （五）汽轮机的主要辅助设备（一般）

识记：1.抽气器的作用与分类；2.回热加热器的作用与分类；

理解：1.汽轮机凝汽设备的组成和任务；2.水环式真空泵的结构及工作原理；3.除氧器的工作原理

## 第八章 汽轮机运行

### 一、学习目的与要求

通过本章的学习，熟悉汽轮机调节系统的组成和工作原理；理解调速系统的静态特性和同步器的作用；了解功频电液调节系统的优点和汽轮机保护系统的作用；了解影响汽轮机启动、停机和变负荷安全的主要因素；在领会汽轮机基本运行知识的基础上，熟悉单元机组滑参数启动和停机的一般过程。

### 二、考核知识点与考核目标

#### （一）汽轮机的调节与保护（重点）

识记：1.调节系统速度变动率；2. 调节系统的静态特性；3.保护系统的作用

- 理解：1.汽轮机调节的任务；2.DEH 调节系统的优点  
应用：调节系统中同步器的作用分析
- (二) 汽轮机运行基本知识（次重点）
- 识记：1.启动方式分类；2. 汽轮机变压运行的定义
- 理解：1. 汽轮机正常运行中主要监视参数；2.影响机组启停及变负荷安全的主要因素

## 第九章 发电厂的生产系统及热经济性

### 一、学习目的与要求

锅炉、汽轮机等主辅设备，按照某种特定的方式用管道及附件连接起来，就形成了火电厂的生产系统，通常称为热力系统。通过本章的学习，了解火力发电厂局部热力系统的布置和特点；培养自学者对凝汽式发电厂原则性热力系统的识读能力；了解发电厂供水系统的作用和特点；理解和掌握凝汽式发电厂主要热经济指标。

### 二、考核知识点与考核目标

- (一) 凝汽式发电厂的热力系统（次重点）
- 识记：1.热力系统的分类；2. 单元制系统的定义
- 理解：原则性热力系统的特点及大型机组原则性热力系统构成
- (二) 发电厂供水系统（一般）
- 识记：供水系统的作用与分类
- 理解：自然通风冷却塔循环供水系统的工作原理
- (三) 凝汽式发电厂的热经济性评价（重点）
- 识记：1. 凝汽式发电厂主要热经济指标种类；2.厂用电率和发电设备年利用小时数的概念
- 理解：煤耗率的定义及发电标准煤耗率、供电煤标准耗率的区别
- 应用：全厂发电热效率与供电热效率的联系及区别

## 第十章 水力学基础和水力发电开发利用方式

### 一、学习目的与要求

利用水能发电是清洁能源利用和转换的一种重要方式。通过本章的学习，了解我国水利水电开发和利用总体情况；熟悉水力发电的基本原理；掌握水电厂的基本类型和特点。

### 二、考核知识点与考核目标

- (一) 我国水利水电开发状况和水电开发方针（一般）
- 识记：我国大型的水电工程
- 理解：大力发展水电的优势
- (二) 水能资源特征和水力发电基本原理（一般）
- 识记：1. 水系的定义； 2.水资源和水利开发的定义



理解：水力发电的基本原理

(三) 水资源开发方式和水电厂基本类型（重点）

识记：1. 水电厂的基本类型； 2. 抽水蓄能式水电厂的布置特点

理解：抽水蓄能式水电厂在电力系统中的运行方式与功能

## 第十一章 河流径流调节和水电厂装机容量的选择

### 一、学习目的与要求

水电厂是将水能转换成电能的工厂。通过本章的学习，熟悉河流径流调节的主要调节类型；熟悉水电厂的运行方式；掌握与火电厂相比，水电厂的工作特点；掌握水电厂的主要经济指标。

### 二、考核知识点与考核目标

(一) 河流径流和径流调节（一般）

识记：河流径流的概念

理解：河流径流调节的主要调节类型及特点

(二) 水电厂的特点及其在电力系统中的运行方式（重点）

识记：电力系统代表性的三个特征负荷

理解：水电厂的运行方式

应用：与火电厂相比，水电厂的工作特点

(三) 水电厂装机容量的选择和主要技术经济指标（次重点）

识记：1. 水电厂的工作容量、备用容量和重复容量的概念； 2. 水电厂的年利用小时数

理解：水电厂的主要经济指标的种类及所表达的概念

## 第十二章 水电厂主要水工建筑物和动力设备

### 一、学习目的与要求

水工建筑物和水轮机是水力发电必不可少的组成部分。通过本章的学习，了解水电厂主要水工建筑物作用与特点；掌握各种类型水轮机的组成、主要部件的结构和作用；熟悉水轮机工作原理和水轮机能量损失、效率、功率的基本分析和简单计算；熟悉水轮机单调节机械液压调速器的组成和调节过程；了解水轮机启动、停机和正常运行中的基本操作和注意事项。

### 二、考核知识点与考核目标

(一) 水电厂主要水工建筑物（一般）

识记：1. 坝的作用及种类； 2. 引水渠的作用及种类

理解：水击现象产生的机理及预防

(二) 水轮机（重点）

识记：1. 水轮机的主要类型； 2. 水轮机“比转速”的物理意义； 3. 水轮机型号及意义

理解：1. 反击式水轮机的组成和主要部件(水轮机室、导水机构、转轮、尾

水管)的结构及作用；2. 冲击式水轮机的组成和主要部件(转轮、喷嘴与针阀、偏流器、机壳)的结构及作用

应用：1. 反击式水轮机“气蚀现象”发生的原因和危害；2.反击式水轮机安装高程的确定原则与方法

### （三）水轮机工作原理及效率（次重点）

识记：1.水轮机能量损失的种类； 2.水力效率和容积效率的概念

理解：1.水轮机工作原理；2.水力损失和容积损失产生的原因

### （四）水轮机转速调节和运行（一般）

识记：1.水轮机转速调节的任务； 2.水轮发电机组启动、停机的一般步骤

理解：水轮机单调节机械液压调速器的组成和调节过程

## 第三部分 有关说明与实施要求

### 一、考核的能力层次表述

本大纲在考核目标中，按照“识记”、“理解”、“应用”三个能力层次规定其应达到的能力层次要求。各能力层次为递进等级关系，后者必须建立在前者的基础上，其含义是：

识记：能知道有关的名词、概念、知识的含义，并能正确认识和表述，是低层次的要求。

理解：在识记的基础上，能全面把握基本概念、基本原理、基本方法，能掌握有关概念、原理、方法的区别与联系，是较高层次的要求。

应用：在理解的基础上，能运用基本概念、基本原理、基本方法联系学过的多个知识点分析和解决有关的理论问题和实际问题，是最高层次的要求。

### 二、教材

#### 1. 指定教材：

发电厂动力部分，关金峰、李加护，中国电力出版社，2015年第3版

#### 2. 参考教材：

发电厂动力部分，全国高等教育自学考试指导委员会组编，关金峰，中国电力出版社，2000年版

发电厂动力部分，关金峰，中国电力出版社，1998年版

### 三、自学方法指导

1. 在开始阅读指定教材某一章之前，先翻阅大纲中有关这一章的考核知识点及对知识点的能力层次要求和考核目标，以便在阅读教材时做到心中有数，有的放矢。

2. 阅读教材时，要逐段细读，逐句推敲，集中精力，吃透每一个知识点，对基本概念必须深刻理解，对基本理论必须彻底弄清，对基本方法必须牢固掌握。

3. 在自学过程中，既要思考问题，也要做好阅读笔记，把教材中的基本概念、

原理、方法等加以整理，这可从中加深对问题的认知、理解和记忆，以利于突出重点，并涵盖整个内容，可以不断提高自学能力。

4. 完成书后作业和适当的辅导练习是理解、消化和巩固所学知识，培养分析问题、解决问题及提高能力的重要环节。在做练习之前，应认真阅读教材，按考核目标所要求的不同层次，掌握教材内容，在练习过程中对所学知识进行合理的回顾与发挥，注重理论联系实际和具体问题具体分析，解题时应注意培养逻辑性，针对问题围绕相关知识点进行层次（步骤）分明的论述或推导，明确各层次（步骤）间的逻辑关系。

#### 四、对社会助学的要求

1. 应熟知考试大纲对课程提出的总要求和各章的知识点。
2. 应掌握各知识点要求达到的能力层次，并深刻理解对各知识点的考核目标。
3. 辅导时，应以考试大纲为依据，指定的教材为基础，不要随意增删内容，以免与大纲脱节。
4. 辅导时，应对学习方法进行指导，宜提倡“认真阅读教材，刻苦钻研教材，主动争取帮助，依靠自己学通”的方法。
5. 辅导时，要注意突出重点，对考生提出的问题，不要有问即答，要积极启发引导。
6. 注意对应考者能力的培养，特别是自学能力的培养，要引导考生逐步学会独立学习，在自学过程中善于提出问题，分析问题，做出判断，解决问题。
7. 要使考生了解试题的难易与能力层次高低两者不完全是一回事，在各个能力层次中会存在着不同难度的试题。
8. 助学学时：本课程共 3 学分，建议总课时 54 学时，其中助学课时分配如下：

章 次	内 容	学 时
第一章	热力学基本概念与基本定律	4
第二章	水蒸气及其动力循环	6
第三章	热传递的基本原理	6
第四章	流体力学基本知识	2
第五章	锅炉设备	6
第六章	电厂锅炉运行	4
第七章	汽轮机设备	6
第八章	汽轮机运行	4
第九章	发电厂的生产系统及热经济性	4
第十章	水力学基础和水力发电开发利用方式	4
第十一章	河流径流调节和水电厂装机容量的选择	3
第十二章	水电站主要水工建筑物和动力设备	5
合 计		54

## 五、关于命题和考试的若干规定

1. 本大纲各章所提到的内容和考核目标都是考试内容。试题覆盖到章，适当突出重点。

2. 试卷中对不同能力层次的试题比例大致是："识记"为 30 %、"理解"为 40%、"应用"为 30%。

3. 试题难易程度应合理：易、较易、较难、难比例为 2：3：3：2。

4. 每份试卷中，各类考核点所占比例约为：重点占 60%，次重点占 30%，一般占 10%。

5. 试题类型一般分为：单项选择题、多项选择题、填空题、名词解释、简答题、应用题（含计算题）。

6. 考试采用闭卷笔试，考试时间 150 分钟，采用百分制评分，60 分合格。

## 六、题型示例（样题）

### 一、单项选择题（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

在每小题列出的四个备选项中只有一个是符合题目要求的，请将其选出并将“答题卡”上的相应字母涂黑。错涂、多涂或未涂均无分。

1. 容积为  $112\text{m}^3$  的刚性储气罐，在标准状态下最多能贮存氢气  
A. 1kg                      B. 10kg                      C. 100kg                      D. 1000kg
2. 进入水轮机转轮的水流对水轮机轮轴产生旋转力矩，推动水轮机做出机械功的力是  
A. 水流作用于转轮流道叶栅上的径向分力  
B. 水流作用于转轮流道叶栅上的轴向分力  
C. 水流作用于转轮流道叶栅上的切向分力  
D. 水流作用于转轮流道叶栅上的总力

### 二、多项选择题（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

在每小题列出的五个备选项中至少有两个是符合题目要求的，请将其选出并将“答题卡”上的相应字母涂黑。错涂、多涂或未涂均无分。

1. 汽轮机汽缸的作用包括  
A. 密闭                      B. 固定叶轮                      C. 固定隔板  
D. 支撑固定进、排汽和抽汽管道      E. 支撑主轴

### 三、填空题（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

1. 煤粉锅炉的燃烧器具有一次风口、二次风口和三次风口，该锅炉配备的是\_\_\_\_\_制粉系统。
2. 汽轮机调节级内，“级的部分进汽度”是由\_\_\_\_\_定义的。

### 四、名词解释（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

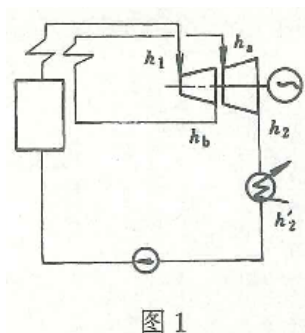
1. 经济煤粉细度
2. 发电标准煤耗率

### 五、简答题（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

1. 汽轮机的轴承分为哪几类？它们各自的作用是什么？
2. 简述反击式水轮机发生“汽蚀现象”的原因和危害。

### 六、应用题（本大题共■小题，每小题■分，共■分）

1. 若超高压火力发电机组在朗肯循环下工作，效率  $\eta_{th,i} = 43.78\%$ ；采用一次中间再热循环后的循环装置如图所示。



$$h_1 = 3410 \text{ kJ/kg}; h_a = 3545 \text{ kJ/kg}$$

$$h_b = 2940 \text{ kJ/kg}; h_2 = 2215 \text{ kJ/kg}$$

$$h'_2 = 121.4 \text{ kJ/kg}$$

(1) 做出该一次中间再热循环相应的温—熵图。

(2) 忽略水泵功，计算一次中间再热循环的热效率，并比较该一次中间再热循环的热效率比朗肯循环的热效率相对变化了多少？