

2.2 建设教学资源库

火力发电专业群、热动骨干专业教学资源库

建设技术规范

1. 概述

火力发电专业群、热动骨干专业的部分课程资源库建设涉及的课程包括：

(1) 专业课：锅炉设备运行，汽轮机设备运行，热力系统分析及运行，泵与风机及运行。

(2) 专业基础课：流体应用技术，热工应用技术。

火力发电专业群、热动骨干专业的课程资源库建设需要开发大量的 2D、3D 动画与视频文件，需要展示一些设备、工艺流程的走向，介质种类和状态变化。要求所开发的资源库动画、视频格式、字幕、片头、片尾的处理与剪辑，满足对学生技能的培养要求。

2. 技术要求

2.1 基本要求

1. 所有资源库文件需制作统一的片头、片尾，统一的视频文件格式。
2. 所有资源库的二维、三维动画按统一格式制作，并满足国家教学资源库对动画的格式要求。
3. 依据课件中授课的需要，制作的二维、三维动画应具有人机交互能力。
4. 所有资源库的动画、视频文件的长度一般为 2~3 分钟，最长的不超过 5 分钟，最短的不低于 1 分钟。
5. 设计开发的设备工作原理演示三维动画，应配置语音讲解，介绍设备的工作原理、工质的流向等知识。
6. 供应商提供的 3D 动画视频、平面动画视频、虚拟实验装置，需要提供完整的技术资料作为项目验收条件。

2.2 视频及图片加工制作参数要求

1. 视频格式 MP4，采用 H.264(MPEG4 Part10: profile=main, level=3.0) 编码方式，码率 3M 以上，帧率不低于 25fps，分辨率 1024×576(16:9)；

2. 视频类素材每帧图像颜色数不低于 256 色或灰度级不低于 128 级；
3. 视频图像清晰，播放时没有明显的噪点，播放流畅；
4. 彩色视频素材每帧图像颜色均为真彩色；
5. 采用统一的视频片头和标题页；
6. 音频与视频图像有良好的同步，音频部分应符合音频素材的质量要求；
7. 视频内容符合我国法律法规，尊重各民族的风俗习惯，版权不存在争议。

2.3 动画制作参数要求

1. Flash 动画，扩展名*.swf；
- 2、动画中如果有文字，文字要醒目，文字的字体、字号与内容协调，字体颜色避免与背景色相近；
- 3、Flash 动画素材可以转成 SVG 文件，可以在 WEB 上显示。
- 4、动画色彩造型应和谐，画面简洁清晰，界面友好，交互设计合理，操作简单；
- 5、动画连续，节奏合适，帧和帧之间的关联性要强；
- 6、如果有解说，配音应标准，无噪音，声音悦耳，音量适当，快慢适度，并提供控制解说的开关；
- 7、动画如果有背景音乐，背景音乐音量不宜过大，音乐与内容相符，并提供控制开关；
- 8、动画演播过程要流畅，静止画面时间不超过 5 秒钟；
- 9、一般情况下，应设置暂停与播放控制按钮，当动画时间较长时应设置进度拖动条
- 10、视频左上角要有资源库的 LOGO，以示版权。
- 11、有解说的动画需要配字幕，字幕要使用符合国家标准规范字，不出现繁体字、异体字(国家规定的除外)、错别字；字幕的字体、大小、色彩搭配、摆放位置、停留时间、出入屏方式力求与其他要素（画面、解说词、音乐）配合适当，不能破坏原有画面；
- 12、音频与动画图像有良好的同步，音频部分应符合音频素材的质量要求；

13、动画内容符合我国法律法规，尊重各民族的风俗习惯，版权不存在争议。

3. 资源库内容的要求

数字化资源库主要用于火力发电专业群、热动骨干专业的辅助教学和学生的学习，因此资源库所包含的内容主要为涉及课程知识点中的重点和难点，简便清晰地说明晦涩难懂的理论，动态展示设备的内部结构，使学生能轻松地掌握专业必备的知识。对于各门课程的资源库要求必须包含但不限于以下内容：

3.1 《锅炉设备运行》课程

本课程主要内容包括锅炉燃料基本特性，锅炉机组热平衡，制粉系统及主要设备，煤粉炉燃烧系统及其主要设备，汽包锅炉水循环系统及其主要设备；直流炉启动系统及其主要设备，锅炉受热面分析，锅炉机组的启动和停运，锅炉的运行调节及维护，锅炉典型事故处理及锅炉热力计算与节能分析。通过本课程的学习，使学生掌握电厂锅炉主要设备的结构原理与工作特性，掌握锅炉安全、经济运行的操作技术，掌握锅炉运行维护的基本知识、工艺和操作技能。

针对上述内容所开发的资源库文件应根据电厂机组的实际系统与设备情况，开发 3D 动画和视频文件，展示各种锅炉及辅助设备的外形、内部结构，主要设备的拆卸与安装，锅炉主要系统的构成，动态展示工质的流向等。

以锅炉汽包为例，所开发的资源库文件应包括以下内容：

标题	镜头	页面内容	制作说明	旁白	备注
汽包内各器件的分布及	1	片头动画	显示有标题内容的文字动画	汽包内各器件的分布及结构展示	
	2	汽包的实物图	汽包的作用	汽包的作用： （1）用来连接省煤器、过热器、上升管和下降管。 （2）维持锅炉水位平衡，增加蓄热能力。 （3）汽水分离和改善蒸汽品质，保证锅炉的安全。	

结构	3	汽包外部的整体展示	整体旋转(展示外部结构)	汽包是由钢板制成的长圆筒形容器,由筒身和封头组成。筒身由钢板卷制而成;封头由钢板模压制成,焊接于筒身。封头上留有人孔门,以备工作人员安装和检修时进出。汽包上开有很多管孔,并焊有称作管座的短管。	对筒身、封头、人孔门、管座、上升管、下降管、汽水混合物引入管、饱和蒸汽引出管等进行文字标注
	4	汽包横截面展示	展示汽包内各器件的分布及结构,内部管道布置如连续排污管、疏水管、加药管等	汽包的内部布置有旋风分离器、均汽孔板、清洗孔板、百叶窗式分离器、事故放水管(紧急放水管)、给水管、加药管、连续排污管。	对旋风分离器、疏水管、均汽孔板、清洗孔板、百叶窗式分离器、事故放水管、给水管、加药管、连续排污管进行文字标注
	6	汽水分离过程	汽水混合物从进入汽包到过热器和进入下降管的汽水分离过程	1.汽水混合物经上升管进入汽包内旋风分离器,利用改变流动方向时的惯性进行一次分离。 2.此时蒸汽仍带有水分,从分离器顶部进入波形板分离器,使水附在金属壁面上形成水膜往下流,进行二次分离。 3.二次分离后的蒸汽经过蒸汽清洗,利用蒸汽和水的密度差进行重力分离。此时蒸汽已经达标,由饱和蒸汽管引出。	用不同颜色的箭头标明各种工质在各器件内的运动及变化,以显示其作用

3.2 《汽轮机设备运行》课程

本课程内容包括汽轮机的认知及系统分析,汽轮机的本体结构,汽轮机的工作原理,多级汽轮机的工作过程,汽轮机的变工况,汽轮机调节和保护,凝汽设备,汽轮机启动与停机操作,汽轮机组运行调整及维护,汽轮机事故处理。通过本课程的学习,学生能够掌握电厂汽轮机运行维护、检修、管理等岗位群中高级工和中级工所具备的知识和技能,同时培养学生的职业素养,使学生能够胜任火力发电厂汽轮机运行维护、检修、生产与安全管理工作岗位。

针对上述内容所开发的资源库文件应根据电厂机组的实际系统与设备情况,开发 3D 动画和视频文件,展示汽轮机及辅助设备的外形、内部结构,设

备的拆装，汽机各主要系统的构成以及工作过程，动态展示工质的流向，运行工况的调节等。

以凝汽器的工作过程为例，凝汽器工作过程的开发脚本如下

标题	镜头	页面内容	制作说明	旁白	备注	时间 (秒)
凝汽器的工作过程	1	片头动画	显示有标题内容的文字动画			10s (可 调)
	2	凝汽器整体	整体旋进，展示进汽口（凝汽器喉部）、外壳、冷却水（循环水）的进出管道、疏水扩容器	凝汽器的作用是将汽轮机的排汽凝结成洁净的凝结水，并在汽轮机的排汽管内建立高度的真空。	对凝汽器喉部、冷却水管进出道、疏水扩容器进行标注	25
	3	蒸汽流程展示	展示蒸汽从凝汽器喉部进入主凝结区→空气冷却区→空气和蒸汽混合物抽出的过程；凝结水下落至下部的热水井，被凝结水泵抽出的过程	汽轮机中做过的蒸汽经过排汽管进入凝汽器，与冷却水管表面接触，在主凝结区，大量的蒸汽凝结下来，剩余少量蒸汽和空气混合物进入空气冷却区继续冷却，进一步减少蒸汽含量，最后从抽气口排出。蒸汽凝结的水靠自重下落到热水井，由凝结水泵抽出。		40
	4	循环水流程展示	展示循环水通过冷却水管进入低压侧凝汽器前水室→冷却水管→后水室→高压侧凝汽器后水室→冷却水管→前水室→循环水出水管流出的全过程	循环水在循环水泵的作用下，进入低压侧凝汽器的水室，然后进入各冷却水管，吸热后流出，进入后水室，通过管道进入高压侧凝汽器，最后通过循环水出水管排出，送往冷却塔降温。		30

3.3 《热力系统分析及运行》课程

本课程的主要内容包括发电厂的经济性指标和计算方法；热力系统主要辅助设备的工作原理；热力系统主要辅助设备的结构；原则性与全面性热力系统的经济性分析和基本运行方式。

针对上述内容所开发的资源库文件应包括火电厂的全面性热力系统，火电厂的生产过程，核电厂的生产过程，以及发电厂的经济指标分析方法等。

3.4 《泵与风机及运行》课程

本课程主要内容包括泵与风机的分类和工作原理认知，叶片式泵与风机结构分析，泵与风机性能分析，泵与风机运行，泵与风机的检修，泵与风机常见的故障及处理等。通过课程学习，学生熟悉掌握热力发电厂常用的泵与风机的作用、特点及其运行的基本知识，能在生产实践中对泵与风机进行操作、调节、故障诊断与排除。

针对上述内容，所开发的资源库文件应包括泵与风机的基本结构、工作原理、泵与风机的性能曲线、泵的汽蚀，以及联合运行等。

3.5 《热力设备检修》课程

本课程主要内容包括设备装配工艺、管道检修、阀门检修、水泵和风机检修。通过学习，使学生能熟练掌握检修工器具的使用及注意事项，管道阀门、锅炉主辅设备、汽轮机主辅设备的检修工艺技能。

针对上述内容，所开发的相关资源库文件主要包括电厂锅炉、汽机、以及主要辅助设备的结构与拆装三维动画，动画中应包括设备的工作原理介绍、外形图片、拆装工艺规程等内容。这些设备 3D 动画文件，可分布在锅炉与汽轮机设备运行中，根据课程的需要，从中选取即可。

3.6 《流体应用技术》课程

本课程主要内容包括流体基本性质、流体静压力特性、静力学基本方程及其应用、流体动力学的基本概念、流动阻力损失的分类及简单管路的计算。通过本课程学习，培养学生具有运用概念和理论分析、解决生产实际问题的能力。

所开发的相关资源库文件应包括，流体的压缩性、流体的膨胀性、牛顿内摩擦定律、粘度测量、伯努力方程、雷诺实验，以及测压计的工作原理，边界层等二维或三维动画文件。

以牛顿内摩擦力定律为例，所开发的资源文件应包括以下内容：

■ 牛顿内摩擦定律

设某一流层速度为 u ，与其相邻流层速度为 $u + du$ ， du 为其流速变化值，设流层间沿 y 轴距离差为 dy ，若两板间的距离很小，

则两板间的流速变化无限接近线性，即可化为流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 。

设 F 为流体各层间的内摩擦力，流体间接触面积为 A 。

大量实验证明，流体的内摩擦力大小与流体性质有关，与流体速度变化梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面积 A 成正比。若将比例系数设为 μ 。

$$F =$$

则各物理量关系满足

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$

此理论为牛顿内摩擦定律。

上式说明流体在流动过程中流体层间所产生的剪应力与法向速度梯度成正比，与压力无关。

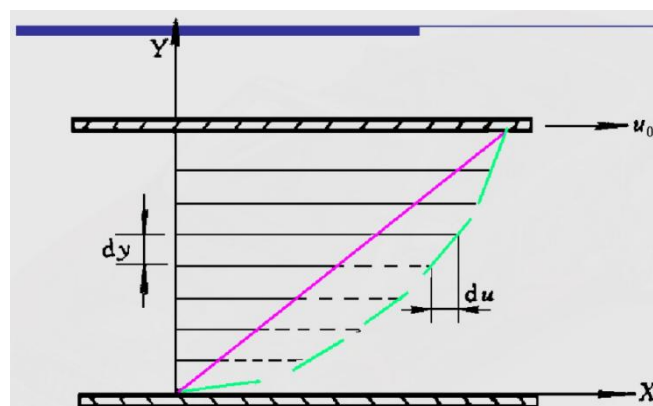
■ 两块平行平板间的黏性实验

考虑一种流体，它介于面积相等的两块大的平板之间，如下图所示，这两块平板处处以一很小的距离分隔开，该系统原先处于静止状态。假设让上面一块平板以恒定速度 v 在 x 方向上运动。

紧贴于运动平板下方的一薄层流体也以同一速度运动。当 v 不太大时，板间流体将形成稳定层流。靠近运动平板的液体比远离平板的液体具有较大的速度，且离平板越远的薄层，速度越小，至固定平板处，速度降为零。

速度按某种曲线规律连续变化。这种速度沿距离 y 的变化称为速度分布。

该实验反应了牛顿内摩擦力与法向速度梯度成正比，与压力无关。



3.7 《热工应用技术》

本课程主要内容涵盖工程热力学、传热学等知识，包括热力学基本定律、水蒸气热力学性质、传热过程分析及换热器应用。通过本课程学习，熟悉热功转换和热量传递的基本理论及规律，为各种热动力装置的设计、制造、安装、运行、检修与改进奠定理论基础。

所开发的资源库相关文件包括平衡状态、准平衡过程、推动功、压气机、焓湿图、朗肯循环、热力过程、蒸汽制冷循环、空气制冷循环，导热基本原理、黑体、温室效应等。

以导热的基本原理为例，所制作的资源文件应包括以下内容：

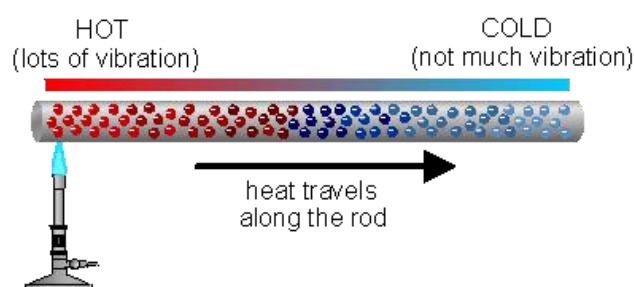
■ 定义

由于物体内部分子、原子和电子等微观粒子的热运动，而组成物体的物质并不发生宏观的位移，将热量从高温区传到低温区的过程称为导热。

■ 机理

在气体中，导热是气体分子不规则热运动时相互碰撞的结果。气体温度越高，其分子运动动能越大，不同能量水平的分子相互碰撞的结果使热量从高温处传到低温处。在导电固体中，相当多的自由电子在晶格之间像气体分子那样，通过相互碰撞传递能量。在不导电的固体中，热量的传递是通过晶格结构的振动，即原子、分子在平衡位置附近的振动来实现的。而对于液体的导热机理目前尚未获得统一的认识：一种观点认为液体的导热原因类似于气体分子的相互碰撞，只是液体分子之间的距离较小，分子间的作用力影响大于在气体分子间的作用力对碰撞过程的影响；另一种观点认为液体的导热原因类似于非导电固体，主要依靠弹性波的作用。

■ 动画展示



上图可以理解为无限大平板的导热，取一单位直径的圆柱来观察分子的振动。从左到右分子的振动幅度逐步减小，代表热量从高温端向低温端传递。

4.虚拟发电技术要求

（一）总体功能要求

集火发电机组集控运行职业技能训练、培训、实际操作、鉴定考核，教科研开发于一体。该实训装置为第五代激励式仿真，一机多模，包括模拟现场火电机组模型、集控系统、装置；60人同时实训的网络式培训系统和装置。能满足电厂热能动力装置专业、火电厂集控运行专业等专业的教学与实际操作。

（二）主要技术参数

1. 以LN2000为集散控制系统，LN2000 DCS架构；
2. 600MW超超临界机组火电虚拟仿真系统；
3. 一机多模，第五代火电仿真系统；
4. 具备火电仿真和物理控制LN2000 DCS；
5. 能同时满足60人同时进行的火电集控运行仿真训练。
6. 具备按操作进行分项考核、评分功能。

（三）结构及配置

1. 软件配置

第五代600MW超超临界机组火电仿真系统。

2. 硬件配置

模型站、工程师站、服务器、操作员站、教练员站、仿真终端、显示设备、交换机等。

（四）可实现的功能

建成后具有如下功能：

1. 一机多模，即根据需要可以进行 600MW 机组全能值班员的职业能力训练和培训。
2. 可以进行热工 DCS 系统职业技能训练和培训。
3. 可以同时进行 60 人的单机培训。
4. 教师可以进行科研开发。

（五）600MW 火力发电厂机组动态仿真模型

5.过程考核评价系统

过程考核评价方式，采用互联网+的形式进行，通过手机终端 APP 实现。

山西电力职业技术学院

热能与动力工程专业课程数字化资源库建设

技术规范

1. 概述

为贯彻落实国务院关于《国家职业教育改革实施方案》（2019），遵照高等职业教育创新发展行动计划的指导思想，大量引入和积极推进网络技术、信息技术在教学实践中的应用，提高学生的学习兴趣，提高教学质量。我系将采购热能与动力工程专业部分基础课程与专业课程的数字化教学资源库软件，资源库的建设将对提高我系教师的数字化课件、数字化教材，以及拓宽学生的视野，提高学生的学习兴趣等起重要作用。

热能与动力工程专业的部分课程资源库建设涉及的课程包括：

（1）专业课：锅炉运行与维护，汽轮机运行与维护，热力发电厂系统分析，热力设备检修，泵与风机运行与检修；

（2）专业基础课：流体力学与应用，热工理论与应用

热能与动力工程专业的课程资源库建设需要开发大量的 2D、3D 动画与视频文件，需要展示一些设备、工艺流程的走向，介质种类和状态变化。要求所开发的资源库动画、视频格式、字幕、片头、片尾的处理与剪辑，满足对学生技能的培养要求。

2. 技术要求

2.1 基本要求

1. 所有资源库文件需制作统一的片头、片尾，统一的视频文件格式。
2. 所有资源库的二维、三维动画按统一格式制作，并满足国家教学资源库对动画的格式要求。
3. 依据课件中授课的需要，制作的二维、三维动画应具有人机交互能力。
4. 所有资源库的动画、视频文件的长度一般为 2~3 分钟，最长的不超过 5 分钟，最短的不低于 1 分钟。

5. 设计开发的设备工作原理演示三维动画，应配置语音讲解，介绍设备的工作原理、工质的流向等知识。
6. 供应商提供的 3D 动画视频、平面动画视频、虚拟实验装置，需要提供完整的技术资料作为项目验收条件。

2.2 视频及图片加工制作参数要求

1. 视频格式 MP4，采用 H.264(MPEG4 Part10: profile=main, level=3.0) 编码方式,码率 3M 以上,帧率不低于 25fps,分辨率 1024×576(16:9);
2. 视频类素材每帧图像颜色数不低于 256 色或灰度级不低于 128 级;
3. 视频图像清晰，播放时没有明显的噪点，播放流畅;
4. 彩色视频素材每帧图像颜色均为真彩色;
5. 采用统一的视频片头和标题页;
6. 音频与视频图像有良好的同步，音频部分应符合音频素材的质量要求;
7. 视频内容符合我国法律法规，尊重各民族的风俗习惯，版权不存在争议。

2.3 动画制作参数要求

1. Flash 动画，扩展名*.swf;
- 2、动画中如果有文字，文字要醒目，文字的字体、字号与内容协调，字体颜色避免与背景色相近;
- 3、Flash 动画素材可以转成 SVG 文件，可以在 WEB 上显示。
- 4、动画色彩造型应和谐，画面简洁清晰，界面友好，交互设计合理，操作简单;
- 5、动画连续，节奏合适，帧和帧之间的关联性要强;
- 6、如果有解说，配音应标准，无噪音，声音悦耳，音量适当，快慢适度，并提供控制解说的开关;
- 7、动画如果有背景音乐，背景音乐音量不宜过大，音乐与内容相符，并提供控制开关;
- 8、动画演播过程要流畅，静止画面时间不超过 5 秒钟;
- 9、一般情况下，应设置暂停与播放控制按钮，当动画时间较长时应设置

进度拖动条

- 10、视频左上角要有资源库的 LOGO，以示版权。
- 11、有解说的动画需要配字幕，字幕要使用符合国家标准规范字，不出现繁体字、异体字(国家规定的除外)、错别字；字幕的字体、大小、色彩搭配、摆放位置、停留时间、出入屏方式力求与其他要素（画面、解说词、音乐）配合适当，不能破坏原有画面；
- 12、音频与动画图像有良好的同步，音频部分应符合音频素材的质量要求；
- 13、动画内容符合我国法律法规，尊重各民族的风俗习惯，版权不存在争议。

2.4 其他要求

1. 提供设备的 3D 动画视频、平面动画视频、虚拟实验装置必须以全国电力职业教育教学指导委员会热动专委会指定的 660MW 超超临界机组仿真机为参考原型。
2. 供应商的仿真产品被热动专委会指定为职业院校仿真大赛使用软件的，本项目将优先选择。

3. 资源库内容的要求

数字化资源库主要用于热能与动力工程专业的辅助教学和学生的学习，因此资源库所包含的内容主要为涉及课程知识点中的重点和难点，简便清晰地说明晦涩难懂的理论，动态展示设备的内部结构，使学生能轻松地掌握专业必备的知识。对于各门课程的资源库要求必须包含但不限于以下内容：

3.1 《锅炉运行与维护》课程

本课程主要内容包括锅炉燃料基本特性，锅炉机组热平衡，制粉系统及主要设备，煤粉炉燃烧系统及其主要设备，汽包锅炉水循环系统及其主要设备；直流炉启动系统及其主要设备，锅炉受热面分析，锅炉机组的启动和停运，锅炉的运行调节及维护，锅炉典型事故处理及锅炉热力计算与节能分析。通过本课程的学习，使学生掌握电厂锅炉主要设备的结构原理与工作特性，掌握锅炉安全、经济运行的操作技术，掌握锅炉运行维护的基本知识、工艺

和操作技能。

针对上述内容所开发的资源库文件应根据电厂机组的实际系统与设备情况，开发 3D 动画和视频文件，展示各种锅炉及辅助设备的外形、内部结构，主要设备的拆卸与安装，锅炉主要系统的构成，动态展示工质的流向等。

以锅炉汽包为例，所开发的资源库文件应包括以下内容：

标题	镜头	页面内容	制作说明	旁白	备注	时间(秒)
汽包内各器件的分布及结构	1	片头动画	显示有标题内容的文字动画	汽包内各器件的分布及结构展示		5
	2	汽包的实物图	汽包的作用	汽包的作用： (1) 用来连接省煤器、过热器、上升管和下降管。 (2) 维持锅炉水位平衡，增加蓄热能力。 (3) 汽水分离和改善蒸汽品质，保证锅炉的安全。		15
	3	汽包外部的整体展示	整体旋转(展示外部结构)	汽包是由钢板制成的长圆筒形容器，由筒身和封头组成。筒身由钢板卷制而成；封头由钢板模压制成，焊接于筒身。封头上留有人孔门，以备工作人员安装和检修时进出。汽包上开有很多管孔，并焊有称作管座的短管。	对筒身、封头、人孔门、管座、上升管、下降管、汽水混合物引入管、饱和蒸汽引出管等进行文字标注	30
	4	汽包横截面展示	展示汽包内各器件的分布及结构，内部管道布置如连续排污管、疏水管、加药管等	汽包的内部布置有旋风分离器、均汽孔板、清洗孔板、百叶窗式分离器、事故放水管（紧急放水管）、给水管、加药管、连续排污管。	对旋风分离器、疏水管、均汽孔板、清洗孔板、百叶窗式分离器、事故放水管、给水管、加药管、连续排污管进行文字标注	30
	6	汽水分离过程	汽水混合物从进入汽包到过热器和进入下降管的汽水分离过程	1. 汽水混合物经上升管进入汽包内旋风分离器，利用改变流动方向时的惯性进行一次分离。 2. 此时蒸汽仍带有水分，从分离器顶部进入波形板分离器，使水附在金属壁面上形成水膜往下流，进行二次分离。	用不同颜色的箭头标明各种工质在各器件内的运动及变化，以显示其作用	60

				3.二次分离后的蒸汽经过蒸汽清洗，利用蒸汽和水的密度差进行重力分离。此时蒸汽已经达标，由饱和蒸汽管引出。		
--	--	--	--	--	--	--

3.2 《汽轮机运行与维护》课程

本课程内容主要包括汽轮机的认知及系统分析，汽轮机的本体结构，汽轮机的工作原理，多级汽轮机的工作过程，汽轮机的变工况，汽轮机调节和保护，凝汽设备，汽轮机启动与停机操作，汽轮机组运行调整及维护，汽轮机事故处理。通过本课程的学习，学生能够掌握电厂汽轮机运行维护、检修、管理等岗位群中高级工和中级工所具备的知识和技能，同时培养学生的职业素养，使学生能够胜任火力发电厂汽轮机运行维护、检修、生产与安全管理工作岗位。

针对上述内容所开发的资源库文件应根据电厂机组的实际系统与设备情况，开发 3D 动画和视频文件，展示汽轮机及辅助设备的外形、内部结构，设备的拆装，汽机各主要系统的构成以及工作过程，动态展示工质的流向，运行工况的调节等。

以凝汽器的工作过程为例，凝汽器工作过程的开发脚本如下

标题	镜头	页面内容	制作说明	旁白	备注	时间 (秒)
凝汽器的工作过程	1	片头动画	显示有标题内容的文字动画			10s (可 调)
	2	凝汽器整体	整体旋进，展示进汽口（凝汽器喉部）、外壳、冷却水（循环水）的进出管道、疏水扩容器	凝汽器的作用是将汽轮机的排汽凝结成洁净的凝结水，并在汽轮机的排汽管内建立高度的真空。	对凝汽器喉部、冷却水管进出道、疏水扩容器进行标注	25
	3	蒸汽流程展示	展示蒸汽从凝汽器喉部进入主凝结区→空气冷却区→空气和蒸汽混合物抽出的过程；凝结水下落至下部的热水井，被凝结水泵抽出的过程	汽轮机中做过的蒸汽经过排汽管进入凝汽器，与冷却水管表面接触，在主凝结区，大量的蒸汽凝结下来，剩余少量蒸汽和空气混合物进入空气冷却区继续冷却，进一步减少蒸汽含量，最后从抽气口排出。		40

				蒸汽凝结的水靠自重下落到热水井，由凝结水泵抽出。		
	4	循环水流程展示	展示循环水通过冷却水管进入低压侧凝汽器前水室→冷却水管→后水室→高压侧凝汽器后水室→冷却水管→前水室→循环水出水管流出的全过程	循环水在循环水泵的作用下，进入低压侧凝汽器的水室，然后进入各冷却水管，吸热后流出，进入后水室，通过管道进入高压侧凝汽器，最后通过循环水出水管排出，送往冷却塔降温。		30

3.3 《热力发电厂系统分析》课程

本课程的主要内容包括发电厂的经济性指标和计算方法；热力系统主要辅助设备的工作原理；热力系统主要辅助设备的结构；原则性与全面性热力系统的经济性分析和基本运行方式。

针对上述内容所开发的资源库文件应包括火电厂的全面性热力系统，火电厂的生产过程，核电厂的生产过程，以及发电厂的经济指标分析方法等。

3.4 《泵与风机运行检修》课程

本课程主要包括泵与风机的分类和工作原理认知，叶片式泵与风机结构分析，泵与风机性能分析，泵与风机运行，泵与风机的检修，泵与风机常见的故障及处理等。通过课程学习，学生熟悉掌握热力发电厂常用的泵与风机的作用、特点及其运行的基本知识，能在生产实践中对泵与风机进行操作、调节、故障诊断与排除。

针对上述内容，所开发的资源库文件应包括泵与风机的基本结构、工作原理、泵与风机的性能曲线、泵的汽蚀，以及联合运行等。

3.5 《热力设备检修》课程

本课程主要包括设备装配工艺、管道检修、阀门检修、水泵和风机检修。通过学习，使学生能熟练掌握检修工器具的使用及注意事项，管道阀门、锅炉主辅设备、汽轮机主辅设备的检修工艺技能。

针对上述内容，所开发的相关资源库文件主要包括电厂锅炉、汽机、以及主要辅助设备的结构与拆装三维动画，动画中应包括设备的工作原理介绍、

外形图片、拆装工艺规程等内容。这些设备 3D 动画文件，可分布在锅炉与汽轮机运行与维护中，根据课程的需要，从中选取即可。

3.6 《流体力学及应用》课程

本课程主要内容包括流体基本性质、流体静压力特性、静力学基本方程及其应用、流体动力学的基本概念、流动阻力损失的分类及简单管路的计算。通过本课程学习，培养学生具有运用概念和理论分析、解决生产实际问题的能力。

所开发的相关资源库文件应包括，流体的压缩性、流体的膨胀性、牛顿内摩擦定律、粘度测量、伯努力方程、雷诺实验，以及测压计的工作原理，边界层等二维或三维动画文件。

以牛顿内摩擦力定律为例，所开发的资源文件应包括以下内容：

■ 牛顿内摩擦定律

设某一流层速度为 u ，与其相邻流层速度为 $u + du$ ， du 为其流速变化值，设流层间沿 y 轴距离差为 dy ，若两板间的距离很小，

则两板间的流速变化无限接近线性，即可化为流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 。

设 F 为流体各层间的内摩擦力，流体间接触面积为 A 。

大量实验证明，流体的内摩擦力大小与流体性质有关，与流体速度变化梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面积 A 成正比。若将比例系数设为 μ 。

$$F =$$

则各物理量关系满足

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$

此理论为牛顿内摩擦定律。

上式说明流体在流动过程中流体层间所产生的剪应力与法向速度梯度成正比，与压力无关。

■ 两块平行平板间的黏性实验

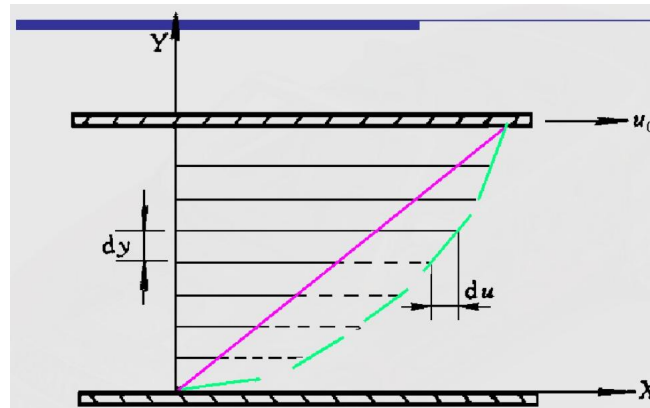
考虑一种流体，它介于面积相等的两块大的平板之间，如下图所示，这两块平板处处以一很小的距离分隔开，该系统原先处于静止状态。假设让上面一块平板以恒定速度 v 在 x 方向上运动。

紧贴于运动平板下方的一薄层流体也以同一速度运动。当 v 不太大时，板间流体将形成稳定层流。靠近运动平板的液体比远离

平板的液体具有较大的速度，且离平板越远的薄层，速度越小，至固定平板处，速度降为零。

速度按某种曲线规律连续变化。这种速度沿距离 y 的变化称为速度分布。

该实验反应了牛顿内摩擦力与法向速度梯度成正比，与压力无关。



3.7 《热工理论及应用》

本课程主要内容涵盖工程热力学、传热学等知识，包括热力学基本定律、水蒸气热力学性质、传热过程分析及换热器应用。通过本课程学习，熟悉热功转换和热量传递的基本理论及规律，为各种热动力装置的设计、制造、安装、运行、检修与改进奠定理论基础。

所开发的资源库相关文件包括平衡状态、准平衡过程、推动功、压气机、焓湿图、朗肯循环、热力过程、蒸汽制冷循环、空气制冷循环，导热基本原理、黑体、温室效应等。

以导热的基本原理为例，所制作的资源文件应包括以下内容：

■ 定义

由于物体内部分子、原子和电子等微观粒子的热运动，而组成物体的物质并不发生宏观的位移，将热量从高温区传到低温区的过程称为导热。

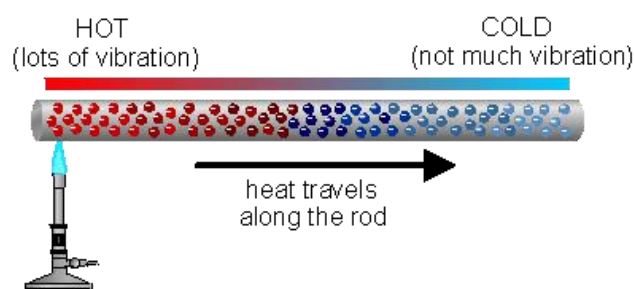
■ 机理

在气体中，导热是气体分子不规则热运动时相互碰撞的结果。气体温度越高，其分子运动动能越大，不同能量水平的分子相互碰撞的结果使热量从高温处传到低温处。在导电固体中，相当多的自由电子在晶格之间像气体分子那样，通过相互碰撞传递能量。在不

导电的固体中，热量的传递是通过晶格结构的振动，即原子、分子在平衡位置附近的振动来实现的。而对于液体的导热机理目前尚未获得统一的认识：一种观点认为液体的导热原因类似于气体分子的相互碰撞，只是液体分子之间的距离较小，分子间的作用力影响大于在气体分子间的作用力对碰撞

过程的影响；另一种观点认为液体的导热原因类似于非导电固体，主要依靠弹性波的作用。

■ 动画展示



上图可以理解为无限大平板的导热，取一单位直径的圆柱来观察分子的振动。从左到右分子的振动幅度逐步减小，代表热量从高温端向低温端传递。

4. 教学资源库内容列表

根据我校教学课程的设置，所开发的资源库文件总数不少于 150 个，至少包含但不限于以下内容：

4.1 《锅炉运行与维护》部分：

1. 煤粉炉的本体结构
2. 汽包的结构
3. 动叶可调轴流风机的结构
4. 静叶可调轴流风机的结构
5. 三分仓空预器的工作过程
6. 双进双出钢球磨煤机的结构
7. 中速磨煤机的工作过程
8. 离心式通风机的结构

9. 自然循环锅炉水循环动态演示
10. 强制循环锅炉水循环动态演示
11. 直流锅炉水循环动态演示
12. 中速磨煤机正压直吹式系统
13. 双进双出钢球磨煤机正压直吹式系统
14. 投运锅炉底部加热
15. 启动空气预热器
16. 投运送风机油站
17. 投运火检风机
18. 投运烟温探针
19. 启动引风机运行
20. 启动送风机运行
21. 启动一次风机运行
22. 炉膛吹扫
23. 投运暖风器系统
24. 投运密封风系统
25. 投运等离子点火系统
26. 启动制粉系统
27. 空预器吹灰
28. 投运机组旁路系统
29. 除氧器汽源切换
30. 锅炉定期排污
31. 锅炉连续排污
32. 过热器减温水投运
33. 再热器减温水投运

4.2 《汽轮运行与维护》部分

1. 汽轮机整体结构简介
2. 蒸汽在汽轮机中的三维流动

3. 除氧器的结构
4. 低压压加热器的结构
5. 电动给水泵的结构
6. 电动滤水器的结构
7. 高压加热器的结构
8. 汽轮机的结构
9. 凝结水泵的结构
10. 汽泵前置泵的结构
11. 驱动给水泵汽轮机的结构
12. 疏水冷却器的结构
13. 水环式真空泵设备的结构
14. 循环水泵的结构
15. 轴封加热器的结构
16. 660MW 汽轮发电机的机构
17. 低压加热器运行演示
18. 高压加热器运行演示
19. 管壳式换热器
20. 循环水系统投入
21. 投运开式循环冷却水系统
22. 投运工业水系统
23. 投运压缩空气系统
24. 凝汽器补水
25. 启凝结水泵
26. 除氧器上水
27. 投运辅助蒸汽系统
28. 除氧器投加热
29. 启动电动给水泵
30. 汽包上水
31. 主油箱补油

32. 主机润滑油投运
33. 顶轴油系统投运
34. 投入主机盘车
35. 小机润滑油系统补油
36. 投运 A 小机润滑油
37. 投运汽泵前置泵
38. 投运小机盘车
39. 投运 EH 油系统
40. 投运密封油系统
41. 投运发电机氢冷系统
42. 投运发电机定子冷却水系统
43. 投运真空系统
44. 投运轴封系统
45. 汽轮机冲转
46. 汽轮机摩擦检查
47. 汽轮机冲转到中速暖机
48. 汽轮机冲转到高速暖机
49. 汽轮机冲转到定速
50. 低压加热器投运
51. 高压加热器投运
52. 小机冲转
53. 汽泵并入运行
54. 厂用电切换
55. 给水主旁路切换
56. 机组协调投入
57. 小机汽源切换
58. 辅汽汽源切换
59. 阀切换

4.3 《热力发电厂系统分析》部分

1. 300MW 亚临界机组电厂原则性热力系统
2. 600MW 超临界机组电厂原则性热力系统
3. 汽轮机本体疏放水系统
4. 全厂疏放水系统
5. 燃煤电厂生产过程

4.4 《泵与风机运行与检修》部分

1. 泵与风机的基本结构
2. 泵与风机的工作原理
3. 泵与风机叶轮中的速度三角形
4. 泵与风机的性能曲线
5. 泵的汽蚀
6. 泵与风机的启动
7. 泵与风机的工作点
8. 泵与风机的联合运行

注：本课程需要的其他视频、动画文件，可参考锅炉与汽机运行与维护可的内容。

4.5 《流体力学与应用》部分

1. 流体的压缩性
2. 流体的膨胀性
3. 牛顿内摩擦定律
4. 粘度测量
5. 平面受力
6. 曲面受力
7. 连续性方程
8. 伯努力方程
9. 沿程损失与局部损失

4.6 《热工理论与应用》部分

1. 导热基本原理
2. 温室效应
3. 旋风分离器
4. 自然对流换热
5. 换热的几种形式
6. 换热器简介
7. 板式换热器的基本原理
8. 管式换热器的基本原理
9. 热力过程
10. 朗肯循环
11. 再热循环
12. 回热循环
13. 射汽式抽气器
14. 射水式抽气器
15. 水环式真空泵工作原理
16. 压气机
17. 内燃机
18. 喷管的计算

5. 技术文档

供应商需要提供以下技术文档

1. 所有动画设计的脚本，Word 格式
2. 所有语音解说的解说词

6. 售后服务

自项目验收之日起，质保期为 3 年，供应商需提供规范、良好的售后服务，提供多种形式的技术支持和技术服务，如网络、电话、传真、电子邮件等。

供应商需提供 24 小时的全方位技术服务和支持，如有需要，卖方需在 24

小时内赶到现场，进行现场服务。

购置专业书目录

书名	出版社	主编	单价	标准书号
分布式发电及微电网应用技术	机械工业出版社	胡平, 杨洪权	39.00	9787111608370
分布式发电	机械工业出版社	N. 詹金斯 [英] J. B. 埃克纳亚克 著 G. 托巴克	59.00	9787111540809
分布式发电及储能技术基础	中国水利水电	杨秀	21.00	9787517001249
水处理新技术、新工艺与设备	化学工业出版社	白瑞英	58.00	9787122295279
脱硝运行技术问答 1100 题	中国电力出版社	朱国宇	78.00	9787519836993
脱硫运行技术问答 1100 题	中国电力出版社	朱国宇	50.00	9787512369962
烟气脱硫脱硝技术手册(二版)	化学工业出版社	蒋文举	148.00	9787122130136
脱硫脱硝值班员培训考核题库	中国电力出版社	大唐环境产业集团股 份有限公司	70.00	9787519831875
燃煤电厂烟气脱硝技术及典型案例	中国电力出版社	国网湖南省电力有限 公司电力科学研究院	48.00	9787519833701
工业废水处理及再生利用	化学工业出版社	余淦申等编著	98.00	9787122150301
水处理化学品手册	化学工业出版社	刘明华主编	268.00	9787122262653
垃圾焚烧发电运行与维护技能等 级证书培训教材(初级)	中国电力出版社	博努力(北京)仿真 技术有限公司编	48.00	9787519849016
垃圾焚烧发电运行与维护技能等 级证书培训教材(中级)	中国电力出版社	博努力(北京)仿真 技术有限公司编	42.00	9787519849214
垃圾焚烧发电运行与维护技能等 级证书培训教材(高级)	中国电力出版社	博努力(北京)仿真 技术有限公司编	48.00	9787519849412
太阳能光伏发电技术	机械工业出版社	谢军 编	29.8	9787111588399
新能源发电技术	机械工业出版社	朱永强 赵月红 编 著	38	9787111658221
光伏电站运行与维护(第二版)	中国铁道出版社	张清小, 葛庆 著	38	9787113258504
光伏发电技术及应用	机械工业	廖东进\房庆圆\闫树 兵	45	9787111660583
西门子 S7-200 SMART PLC 编程及 应用(视频微课版)	清华大学出版社	徐宁, 赵丽君	98.00	9787902568728
电路(第五版)	高等教育出版社	邱关源, 罗先觉	69.90	9787040196719
简明线性代数	北京大学出版社	丘维声	22.50	9787301053973
自动控制原理基础教程(第四版)	科学出版社	胡寿松	44.80	9787030510051

电机学（第七版）	电子工业出版社	（美）斯蒂芬·乌曼	55.00	9787121243448
模拟电子技术基础（第五版）	高等教育出版社	童诗白，华成英	67.00	9787040425055
数字电子技术基础（第六版）	高等教育出版社	阎石	62.90	9787040444933
信号与系统（第二版）	电子工业出版社	奥本海姆	69.00	9787121388378
PWM 整流器及其控制	机械工业出版社	张兴	52.10	9787111368229



虚拟发电车间数字化资源

目录

1、虚拟数字资源构成

本项目建设内容主要包括火电厂专业群、热动骨干专业的专业课和专业基础课，如表 1 所示。

2. 数字化资源的内容

为了提高资源文件的针对性，资源文件的内容为典型的 600MW 超超临界机组、330MW 亚临界机组。

对于数字化资源要求必须包含但不限于以下课程内容：

《锅炉运行与维护》、《汽轮机运行与维护》、《热力发电厂系统分析》、《泵与风机运行检修》、《热力设备检修》、《流体力学及应用》《热工理论及应用》。

330MW 亚临界火电仿真系统、600MW 超超临界火电仿真系统。

2.1 教学资源内容列表

根据我校教学课程的设置，所开发的资源文件总数不少于 300 个，至少包含但不限于以下内容：

序号	虚拟资源名称	序号	虚拟资源名称
1	煤粉炉的本体结构	117	启动引风机运行
2	循环流化床锅炉的本体结构	118	启动送风机运行
3	铸铁省煤器的结构	119	启动一次风机运行
4	钢管省煤器的结构	120	炉膛吹扫
5	鳍片管省煤器的结构	121	投运暖风器系统
6	膜式水冷壁的结构	122	投运密封风系统
7	后屏过热器的结构	123	投运等离子点火系统
8	包覆壁过热器的结构	124	启动制粉系统
9	低温过热器的结构	125	空预器吹灰
10	汽包的结构	126	投运机组旁路系统
11	立式管式空气预热器的结构	127	除氧器汽源切换
12	卧式管式空气预热器的结构	128	锅炉定期排污
13	仓泵的结构	129	锅炉连续排污
14	圆盘式电磁除铁器的结构	130	过热器减温水投运
15	静电除尘器的结构	131	再热器减温水投运
16	动叶可调轴流风机的结构	132	《汽轮运行与维护》部分
17	动叶可调轴流风机的工作过程	133	汽轮机整体结构简介
18	静叶可调轴流风机的工作过程	134	汽轮机做功过程
19	静叶可调轴流风机的结构	135	汽轮机级内损失
20	皮带称重式给煤机的工作过程	136	蒸汽在汽轮机中的三维流动

21	吹灰器的工作过程	137	除氧器的结构
22	三分仓空预器的工作过程	138	除氧器的工作过程
23	刮板捞渣机的结构	139	低压压加热器的结构
24	密封风机的结构及工作过程	140	低压加热器的工作过程
25	双进双出钢球磨煤机的结构	141	电动给水泵的结构
26	中速磨煤机的结构	142	电动滤水器的结构
27	中速磨煤机的工作过程	143	定子冷却水系统的结构
28	叶轮给粉机的结构	144	高压加热器的结构
29	渣仓的结构	145	高压加热器的工作过程
30	球磨机的结构	146	凝汽器的工作过程
31	罗茨风机的结构及工作过程	147	汽轮机的工作过程
32	皮带秤的结构及工作过程	148	汽轮机的结构
33	离心式通风机的结构	149	板式换热器的结构及工作过程
34	布袋除尘器的结构	150	胶球清洗系统设备的结构
35	电磁除铁器的工作过程	151	高压抗燃油系统的结构
36	调速定量电子皮带秤的结构及工作过程	152	冷却塔的结构
37	螺旋输送机的结构及工作过程	153	凝结水泵的结构
38	斗式提升机的结构	154	盘车的结构及工作过程
39	溢流型湿式球磨机的结构	155	汽泵前置泵的结构
40	吸收塔的结构	156	驱动给水泵汽轮机的结构
41	真空皮带脱水机的结构	157	疏水冷却器的结构
42	中速磨煤机正压直吹式系统	158	水环式真空泵设备的结构
43	双进双出钢球磨煤机正压直吹式系统	159	循环水泵的结构
44	钢球磨煤机中间储仓式乏气送粉系统	160	汽轮机再热主汽阀的结构
45	钢球磨煤机中间储仓式热风送粉系统	161	汽轮机主汽阀的结构
46	投运锅炉底部加热	162	轴封加热器的结构
47	启动空气预热器	163	止回阀的结构
48	投运送风机油站	164	安全阀的结构
49	投运火检风机	165	弹簧式安全阀的结构
50	投运烟温探针	166	闸阀的结构
51	蝶阀的结构	167	小机汽源切换
52	截止阀的结构	168	辅汽汽源切换
53	330MW 机组除氧器管道系统	169	阀切换
54	330MW 机组回热抽汽系统	170	《热力发电厂系统分析》部分
55	水压液动式旁路保护装置	171	300MW 亚临界机组电厂原则性热力系统
56	330MW 机组疏水放气系统	172	600MW 超临界机组电厂原则性热力系统
57	电气旁路保护装置	173	汽轮机本体疏放水系统

58	多压式凝汽器的凝结水回热方式	174	全厂疏放水系统
59	球阀的结构	175	燃煤电厂生产过程
60	660MW 汽轮发电机的机构	176	《泵与风机运行与检修》部分
61	低压加热器运行演示	177	离心泵（单级单吸、单级双吸、多级）
62	高压加热器运行演示	178	离心风机（单级单吸、单级双吸）
63	管壳式换热器	179	轴流泵（动叶可调）
64	循环水系统投入	180	轴流风机（静叶可调、动叶可调）
65	投运开式循环冷却水系统	181	混流泵
66	投运工业水系统	182	活塞泵（含柱塞泵）
67	投运压缩空气系统	183	隔膜泵
68	凝汽器补水	184	齿轮泵（内齿轮泵、外齿轮泵）
69	启凝结水泵	185	螺杆泵（单螺杆、双螺杆、三螺杆）
70	除氧器上水	186	射流泵
71	投运辅助蒸汽系统	187	罗茨泵（含罗茨风机）
72	除氧器投加热	188	水环真空泵
73	启动电动给水泵	189	填料密封
74	汽包上水	190	机械密封
75	主油箱补油	191	迷宫密封
76	主机润滑油投运	192	浮动环密封
77	顶轴油系统投运	193	液力耦合器
78	投入主机盘车	194	油膜滑差离合器
79	小机润滑油系统补油	195	平衡管
80	投运 A 小机润滑油	196	平衡孔
81	投运汽泵前置泵	197	平衡盘
82	投运小机盘车	198	离心式叶轮的叶片形式与理论性能曲线
83	投运 EH 油系统	199	泵的汽蚀与安装高度
84	投运密封油系统	200	节流调节
85	投运发电机氢冷系统	201	回流调节
86	投运发电机定子冷却水系统	202	入口导流器和静叶调节
87	投运真空系统	203	汽蚀调节
88	投运轴封系统	204	《流体力学与应用》部分
89	汽轮机冲转	205	流体的压缩性
90	汽轮机摩擦检查	206	流体的膨胀性
91	汽轮机冲转到中速暖机	207	牛顿内摩擦定律
92	汽轮机冲转到高速暖机	208	粘度测量
93	汽轮机冲转到定速	209	平面受力

94	低压加热器投运	210	曲面受力
95	高压加热器投运	211	连续性方程
96	小机冲转	212	伯努力方程
97	汽泵并入运行	213	雷诺实验
98	厂用电切换	214	测压计的工作原理
99	给水主旁路切换	215	气流参数与通道截面关系
100	机组协调投入	216	沿程损失与局部损失
101	流量计的工作原理	217	推动功
102	流体绕横掠单管	218	理想气体混合物
103	《热工理论与应用》部分	219	热力过程
104	导热基本原理	220	朗肯循环
105	黑体	221	热力循环
106	膜状凝结	222	蒸汽制冷循环
107	珠状凝结	223	空气制冷循环
108	温室效应	224	再热循环
109	旋风分离器	225	回热循环
110	自然对流换热	226	实际电厂热力循环
111	换热的几种形式	227	射汽式抽气器
112	换热器简介	228	射水式抽气器
113	板式换热器的基本原理	229	水环式真空泵工作原理
114	管式换热器的基本原理	230	压气机
115	平衡状态	231	内燃机
116	准平衡过程	232	喷管的计算
233	330MW 亚临界火电仿真系统	234	600MW 超超临界火电仿真系统
235	模型站	236	工程师站
237	教练员站	238	操作员站
239	VDPU	240	火电厂漫游场景模型