

# 《有色金属塑性成形技术》

## 虚拟仿真实验课程

# 软 件 说 明

湖南鼎图智能科技有限公司

2022年11月06日

# 目 录

第一章 引言 .....	1
1.1 编写目的 .....	1
1.2 定义 .....	1
1.3 读者对象和阅读建议 .....	1
1.4 项目范围 .....	2
1.5 参考资料 .....	2
第二章 总体描述 .....	3
2.1. 系统标识 .....	3
2.2. 系统描述 .....	3
2.3. 用户类型及其特征 .....	3
2.4. 运行环境 .....	3
第三章 系统功能 .....	4
3.1 功能描述 .....	4
3.1.1 概述 .....	4
3.1.2 后台模块 .....	5
3.1.3 基础资源服务器硬件 .....	6
3.1.4 技术底座 .....	6
3.1.6 管理后台页面 .....	6
3.1.7 前台模块 .....	6
3.1.8 引擎层 .....	7
3.1.9 公共模块 .....	7
3.1.10 课程内容 .....	8
3.2 系统内容操作 .....	10
3.2.1 系统首页 .....	10
3.2.2 教学模式 .....	12
3.2.3 考核模式 .....	22
◆ 铝型材制造虚拟仿真综合实验.....	23

# 第一章 引言

## 1.1 编写目的

传统的金属塑性加工成形实验，一般只能在普通压力机上采用铅块进行简单的演示性室温模拟实验。通过这种简单实验和网格法分析，虽然可以使大学生了解金属变形的一些基本规律，但无法获得对复杂型材制品生产的工程认识和深度理解，更无法将合金、加工工艺、加工模具、热处理工艺及制品的组织与性能检测进行一体化融通理解，教学效果不理想。

利用现代信息技术和 CAE 仿真模拟技术，建立“金属塑性成形加工虚拟仿真实验”操作系统，包含两个主要模块：“**铝型材制造虚拟仿真综合实验**”和“**板形与板厚控制虚拟仿真实验**”。以铝材为基本载体，将“加工成形（挤压/轧制）-热处理-检测分析”融于一体，实现对大学生的挤压、轧制、热处理、力学性能检测和组织的综合性训练，强化大学生对铝合金材料“成分—工艺—组织—性能”多元关联性的综合理解，并启发大学生构建材料制造的智能化模型。与传统演示性加工实验相比，本实验具有快捷、安全、低成本、可设计、可研究创新等显著优点，可有效提高教学效果。本实验不仅可用于大学生专业课程教学，还可用于铝材企业开展职工 VR+教育（职业技能培训）新模式，是培养新工科时代铝型材行业卓越工程师的一条重要途径，具有深远意义。

## 1.2 定义

在系统开发过程中，根据开发技术规格需求，包含了些专业术语，现定义如下：

1.2.1 VR:虚拟现实

1.2.2 Unity: 虚拟引擎，用于开发虚拟现开发所应用的工具软件。

1.2.3 WebGL:通过 unity 开发的软件发布成网页版本的专有名词。

## 1.3 读者对象和阅读建议

1.3.1 读者对象：学员、教师、管理员、超级管理员等。

1.3.2 阅读建议：该系统涉及到专业技术文件、代码、数据库等，相关人员阅读该文件时需要结合相关的技术文档进行阅读。

## 1.4 项目范围

1.4.1 关键设备三维场景创建。

1.4.2 考核结果分析模块功能要求，其中包含了个人考核成绩评定、考核成绩分析报告，生成个人训练方案。

1.4.3 自定义配置模块，其中包含场景配置、模式配置、考核报告配置、考核时间配置、用户权限设置、数据库管理、存储管理、考核报告查看。

1.4.4 高质量场景动画开发。

## 1.5 参考资料

- [1] 吴锡坤. 铝型材加工实用技术手册[M]. 长沙：中南大学出版社，2006
- [2] 傅祖铸. 有色金属板带材生产[M]. 长沙：中南大学出版社，2009.
- [3] 刘楚明, 林高用, 邓运来等. 有色金属材料加工[M]. 长沙：中南大学出版社，2010.
- [4] 易丹青, 许晓嫦. 金属材料热处理[M], 北京：清华大学出版社，2020
- [5] 张帆, 郭益平, 周伟敏. 材料性能学[M]. 上海：上海交通大学出版社，2014.
- [6] 谢水生, 刘静安, 徐骏, 等. 简明铝合金加工手册[M], 北京：冶金工业出版社，2016.

## 第二章 总体描述

### 2.1. 系统标识

2.1.1 软件全名称：金属塑性加工技术虚拟仿真实验课程

2.1.2 软件缩称：金属塑性加工技术虚拟仿真系统

2.1.3 版本号：V1.0

### 2.2. 系统描述

2.2.1 系统属性：独立系统

2.2.2 开发背景：基于真实物理的操作和环境的培训考核，基于 unity 虚拟开发引擎生成针对性的沉浸式的虚拟培训考核训练系统。

2.2.3 软件功能。

### 2.3. 用户类型及其特征

操作人员必须经过专业培训，熟悉应对轧机整体结构和调节步骤。

### 2.4. 运行环境

2.4.1 硬件环境：至少具备酷睿 i9 十代或以上 CPU；NVIDIA RTX2080 10G 独显或以上的显卡；64G 运行内存；1TB 固态硬盘和 1TB 机械硬盘或以上。

2.4.2 软件环境：windows10 操作系统、Unity2021 引擎软件。

## 第三章 系统功能

### 3.1 功能描述

**3.1.1 概述:** 金属塑性加工技术虚拟仿真实验课程由后台模块—基于 Web 的协同模拟培训考核管理平台、前台模块—沉浸式三维交互内容和与之配套的硬件系统组成。管理平台采用主流 Web 开发技术构建，能满足 40 人同时在线学习，并且支持动态扩容。沉浸式三维交互内容使用 Unity 2021.3.2f1 开发，支持 PC、VR 版本等形式，包含学习、训练、考核、结果分析等模块。硬件系统由主控计算机、高性能的图形计算机或工作站、网络设备等组成，支持单人独立和多人协同学习、训练及考核。系统部署架构如图 1.1 所示。

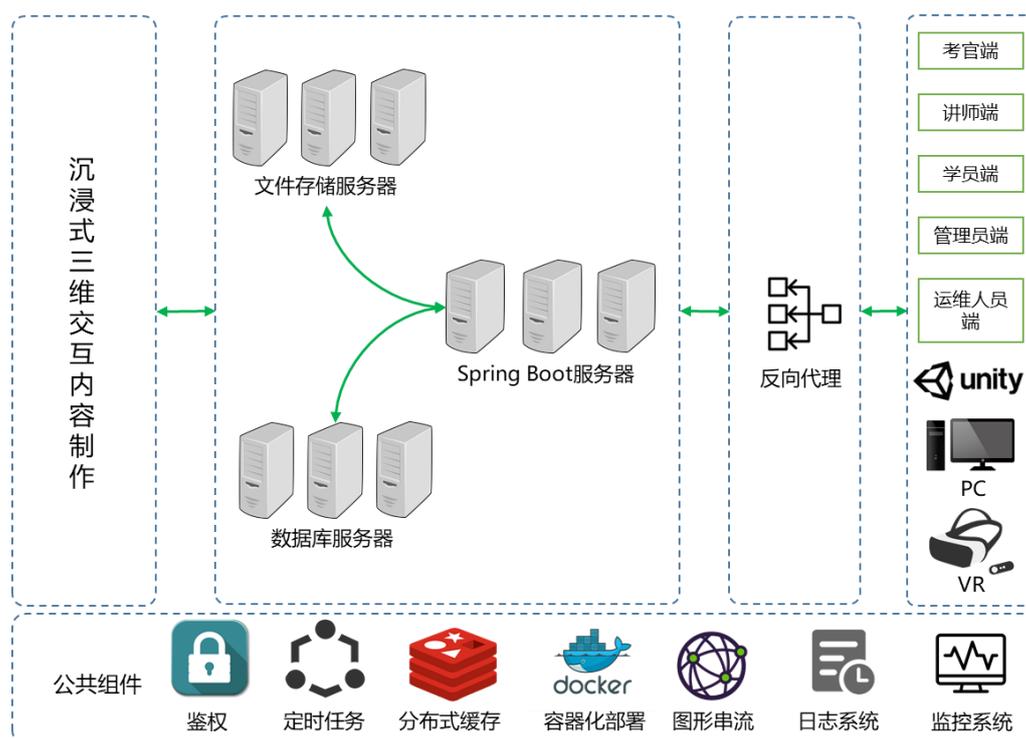


图 1.1 部署架构

**3.1.2 后台模块：**后台模块—基于 Web 的协同模拟培训考核管理平台技术架构如图 2.1 所示。系统采用分层架构形式，分为基础资源层、技术底座层、业务应用层和应用入口层等。



图 2.1 技术架构

基础资源层包括底层后台服务器、网络等硬件资源，以及数据库、文件存储、分布式缓存、反向代理、日志追踪、代码管理、CI&CD、容器平台等基础软件资源，为快速响应开发需求、修复紧急 bug 和提升系统稳定性提供保障。技术底座由快速开发平台和集成开发能力组成，快速开发平台提供基于 Java 的企业级 Spring Boot 框架，以及一些公共开发组件，提高系统的可扩展性以及单个组件的横向伸缩能力，集成开发能力对 API 进行统一管理，简化了开发复杂度。业务应用层主要包括课程管理、培训管理、考试管理、成绩管理、个人中心、用户管理、角色管理、菜单管理、部门&岗位管理、报告设置、消息管理、服务监控等模块。应用入口层主要是提供给不同用户角色的管理入口，包括考官、学员、管理员和系统运维人员。

**3.1.3 基础资源服务器硬件：**建议配置 64G 内存、256G+4T 固态硬盘、英特尔 Xeon Platinum 8160 CPU\*2 和万兆网口的服务器，网络建议配置万兆网络。服务器操作系统使用 Ubuntu 20.04 或者 Windows Server 2019+及以上系统，数据库使用 MySQL 5.7 及以上配置，缓存使用 Redis 3.2+，JDK 使用 jdk-8u191，反向代理使用 Nginx，CI&CD 和代码管理使用 Gitlab 14.2，容器平台使用 Docker。文件存储使用 minIO。

**3.1.4 技术底座：**技术底座使用基于公司自研 Web 框架定制的快速开发平台。

**3.1.5 业务应用：**业务应用基于快速开发平台开发，主要包括数据表设计和实体类、映射类、服务类、控制器类等的代码编写。

**3.1.6 管理后台页面：**后台页面使用 Vue 2.6 开发，前端框架使用 Ant Design Vue 1.7 和 Vue Router 3.0、Vuex3.1 等模块。使用 HTML5 和 JavaScript 开发，CSS 使用 LESS 语法。主要页面包括登录页、课程管理页（首页）、个人中心页、账户设置页、系统设置页、密码修改页、消息页、新增&编辑&查看课程页、培训管理页、新增&编辑&查看培训页、定制方案页、查看笔记页、考试管理页、新增&编辑&查看考试页、回放观看页、成绩管理页、查看成绩页、打印成绩报告页、综合报告页、用户管理页、新增&编辑&查看用户页、删除用户页、冻结用户页、角色管理页、新增&编辑&查看角色页、授权页、删除角色页、菜单管理页、新增&编辑&查看菜单页、删除菜单页、部门管理页、新增&编辑&查看部门页、岗位管理页、新增&编辑&查看岗位页。

**3.1.7 前台模块：**前台沉浸式三维交互内容使用 Unity 2021.3.2f1 开发，架构如图 3.1 所示，包含引擎层、公共模块、课程内容和入口等部分。



图 3.1 基于 Unity 3D 的前台架构

引擎层为 Unity 3D 原生提供的功能。公共模块将不同课程内容的公共部分抽象出来，使用 C#开发成单独的模块，具备良好的扩展性和可维护性。课程内容包括多个可交互的三维课程，每个课程包括需求分析、模型整理、场景搭建、场景漫游、学习视频、答题训练、实操训练、答题考核、实操考核等模块。基于下层公共模块，可快速开发课程内容，实现动态扩展。入口包含多种不同的角色界面，权限由后台控制。

**3.1.8 引擎层：**图形工作站硬件配置推荐为内存 64G、具备酷睿 i9 十代或以上 CPU、NVIDIA RTX2080 10G 独显或以上的显卡、硬盘 1T，操作系统为 Windows 10 专业版。VR 设备推荐 Pico Neo3 512G 或者 HTC Vive，使用串流模式。网络为千兆网，无线频段支持 5G 频段。

**3.1.9 公共模块：**公共模块基于 ECS 架构开发，不同的某块对应不同的 Component 或者 System。API 客户端使用 UnityWebRequest。多人协同使用 Online Multiplayer

Template (Photon)。语音通信使用 Photon Voice 2。内嵌浏览器 PC 版本使用 Embedded Browser, VR 版本使用 3D WebView for Android with Gecko Engine (Web Browser)。浏览器通信基于内嵌浏览器的 JavaScript API 封装消息结构体实现。立体相机使用 Stereoscopic camera。动态场景下载使用 WebClient 和 .NET MinIO Client。动态场景加载使用 Asset Bundle 机制。其它模块的界面使用 UGUI 构造, 逻辑使用 C# 开发。通用动作库使用 C# 脚本开发。

**3.1.10 课程内容:** 模型整理包括在 3DS Max 中进行模型处理等。场景搭建直接在 Unity 中实现, 大部分模型使用 PBR 渲染, 灯光主要以点光源和聚光灯为主。课程内容的其它部分根据具体的需求, 基于公共模块开发。模块需要登录使用, 登录页面如图 2.1 所示, 可以看到材料科学与工程学院虚拟仿真教学中心, 其中包含了“金属塑性成形加工虚拟仿真实验”(即“板形与板厚控制虚拟仿真实验”)和“铝型材制造虚拟仿真综合实验(湖南省级一流本科课程)”两个模块, 选择不同模块就可显示不同系统的项目简介, 可进入不同的系统进行实验。

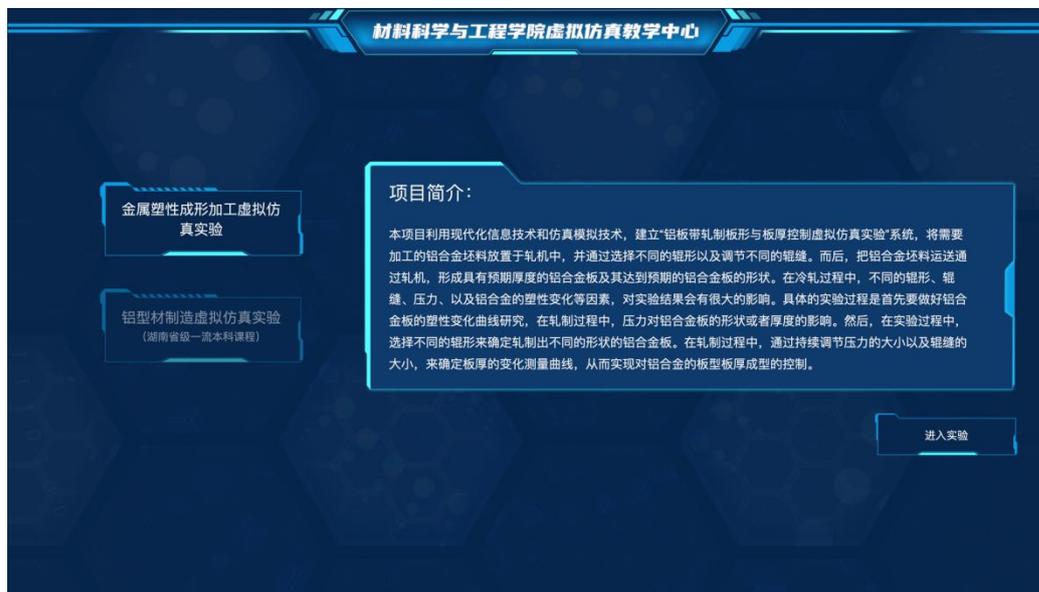


图 2.1 登录页面 (选择不同的实验系统)

选择好实验并进入实验之后, 可以看到登录页面和注册页面。学员、教师、管理员等均可以通过该页面进行注册。注册之后, 需通知管理员进行名单审核之后, 才可以进行正常登录。如已经注册完之后, 也可以使用相应的账号和密码进行登录。不同角色的使用者, 登录到后台页面, 看到的左侧菜单不一样, 菜单权

限可以通过菜单管理进行动态配置。如图 2.2 所示。

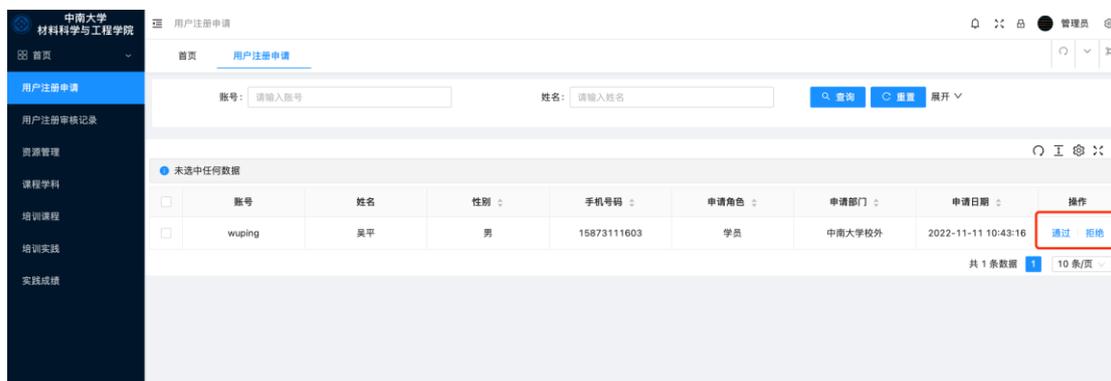
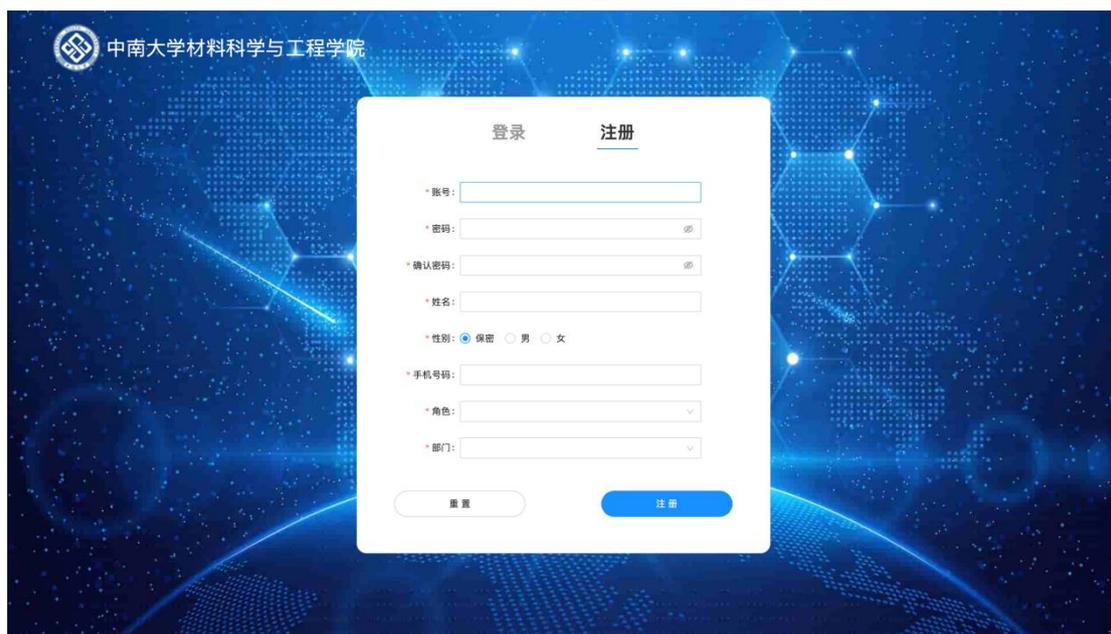
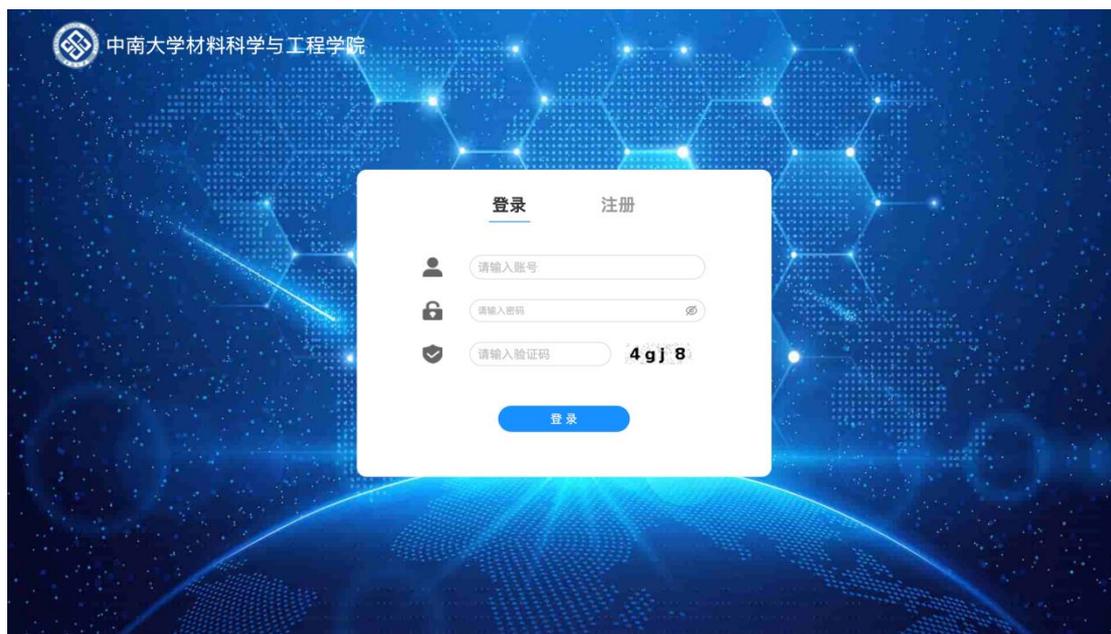
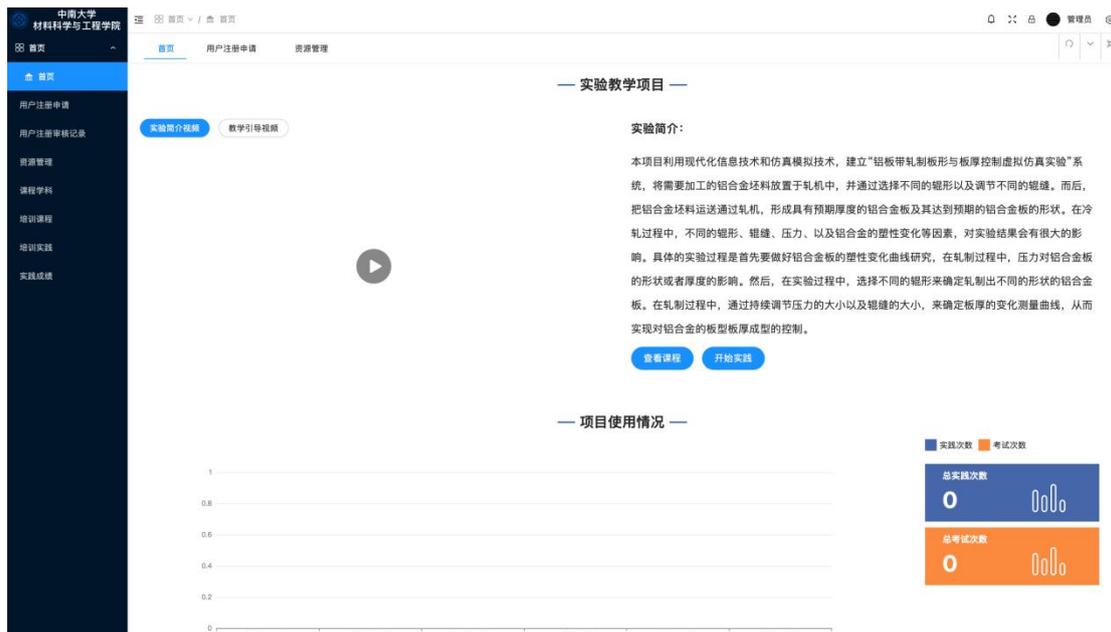


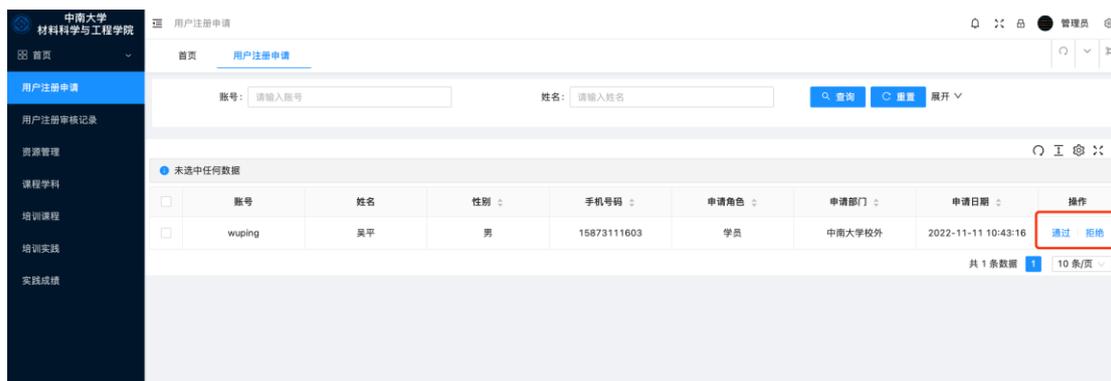
图 2.2 登录页面（登录或注册）

### 3.2 系统内容操作

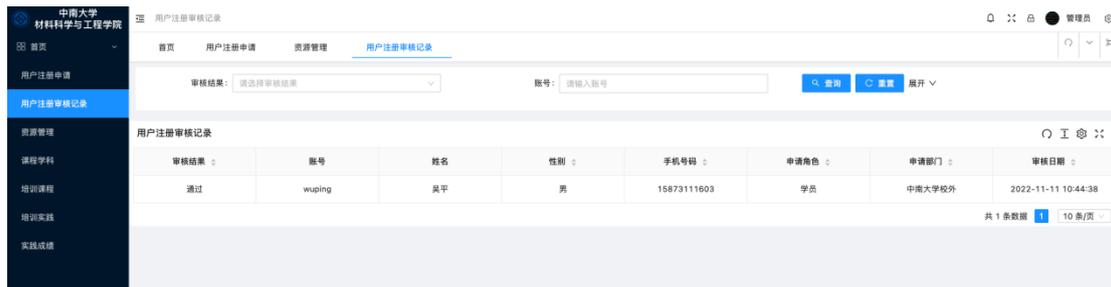
3.2.1 系统首页：管理员进行登录之后，在首页中可以看到实验简介视频、教学引导视频、实验简介、项目使用情况包含了考试次数和实践次数，用户注册申请、用户注册审核记录、资源管理、课程学科管理、培训课程、培训实践、实践成绩管理等。



系统首页



用户申请审核页面



### 用户注册审核记录



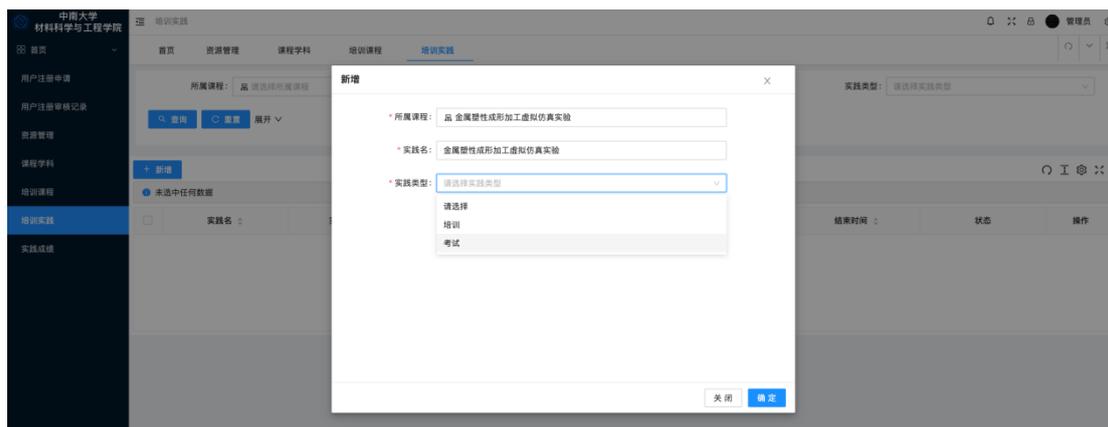
### 课程资源上传管理页面



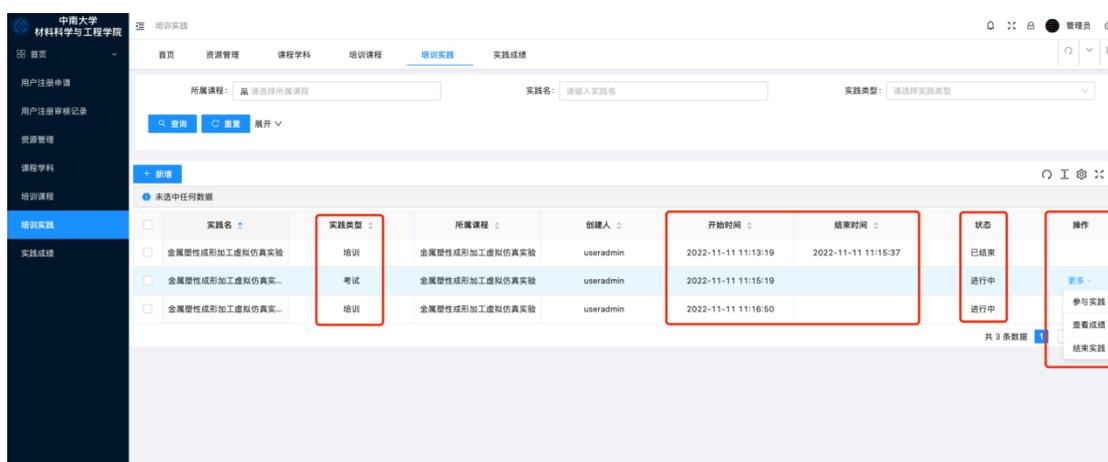
### 课程学科管理（可新增材料学科专业）



### 在培训课程中可新增课程/资源



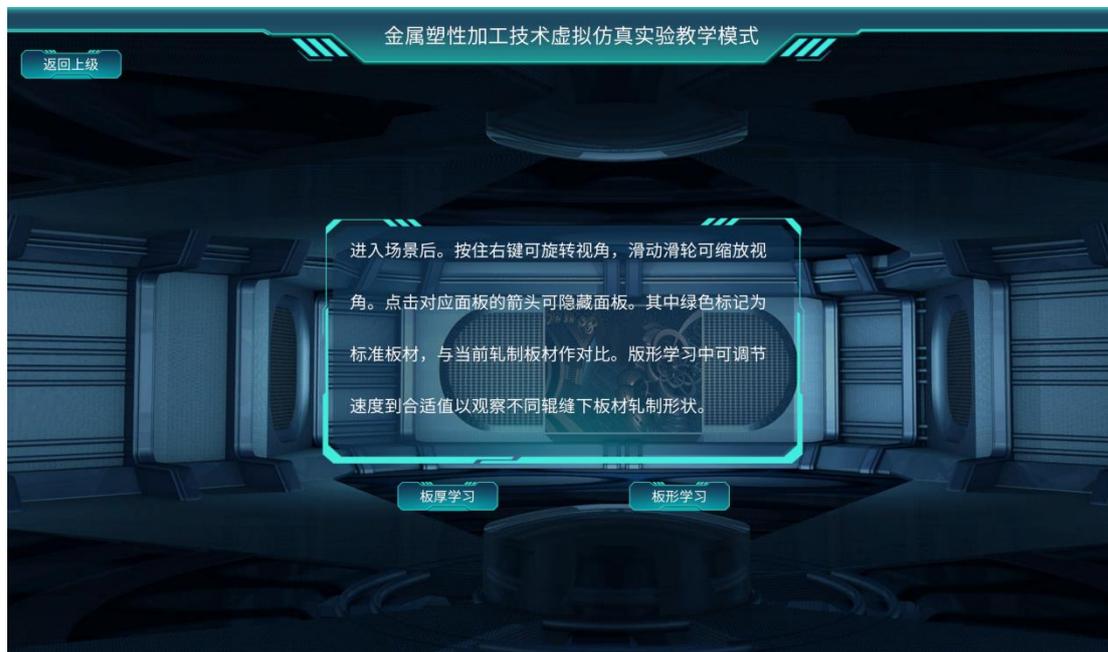
在培训实践中，可以新增培训和考试两种实验系统



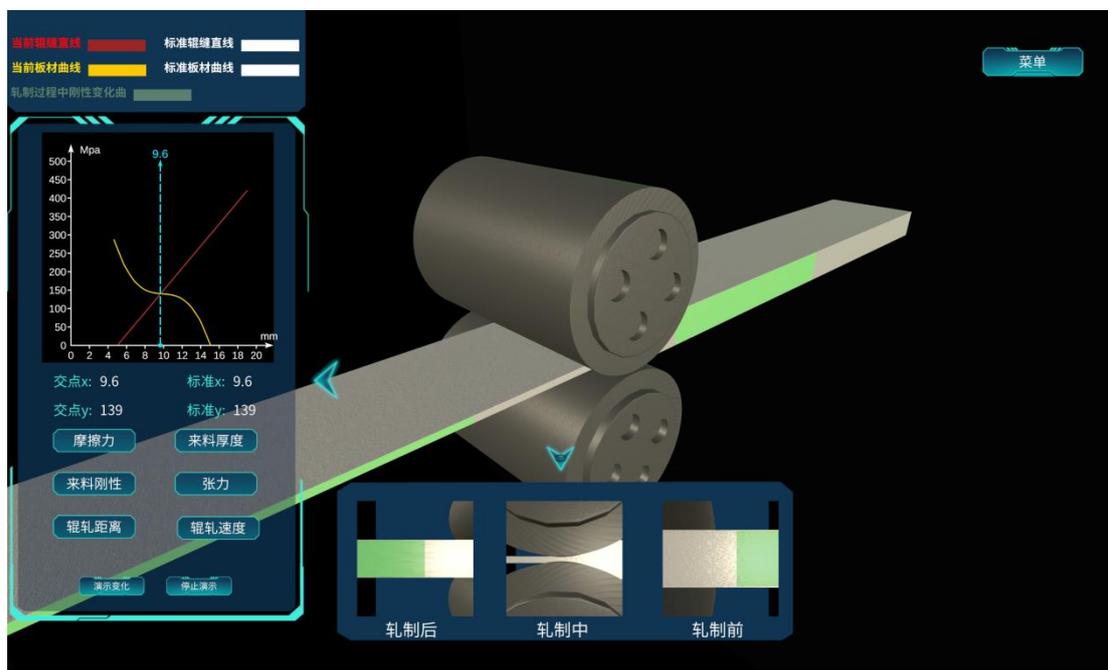
**3.2.2 教学模式：**在培训实践中，可以定义考试和培训两种模式，也可以设计开始时间和结束时间，也可以选择参与实践、查看成绩、结束实践等功能。



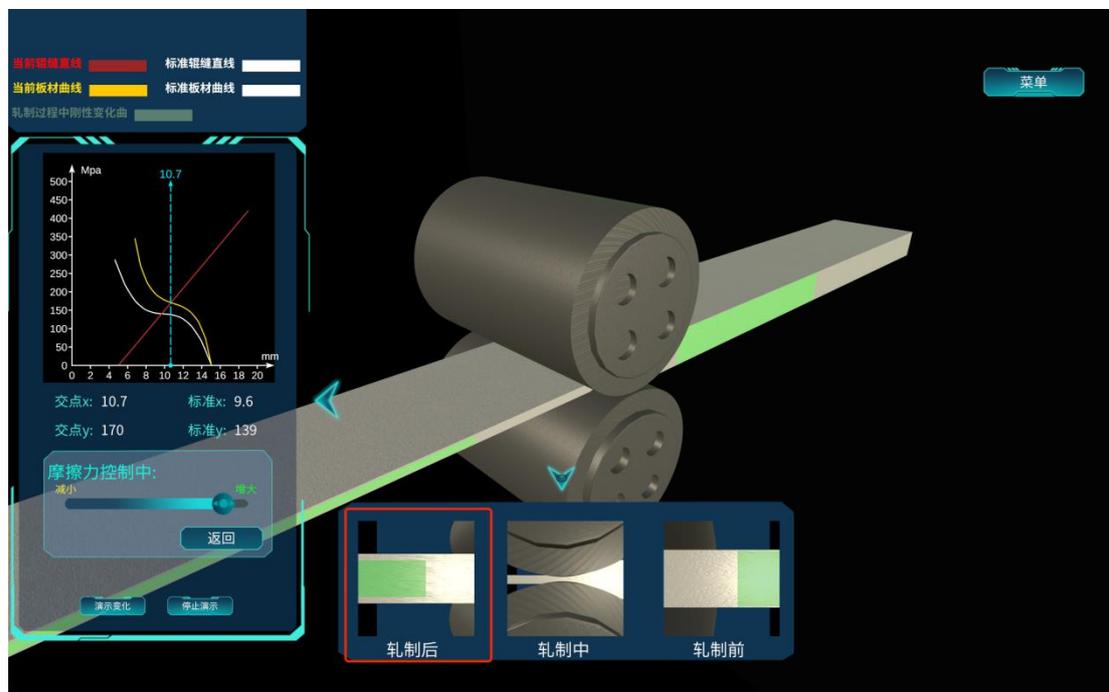
点击参与实践之后，即可进入“**板形与板厚控制虚拟仿真实验**”系统，选择并点击相关模块之后即可进行相关实验的操作



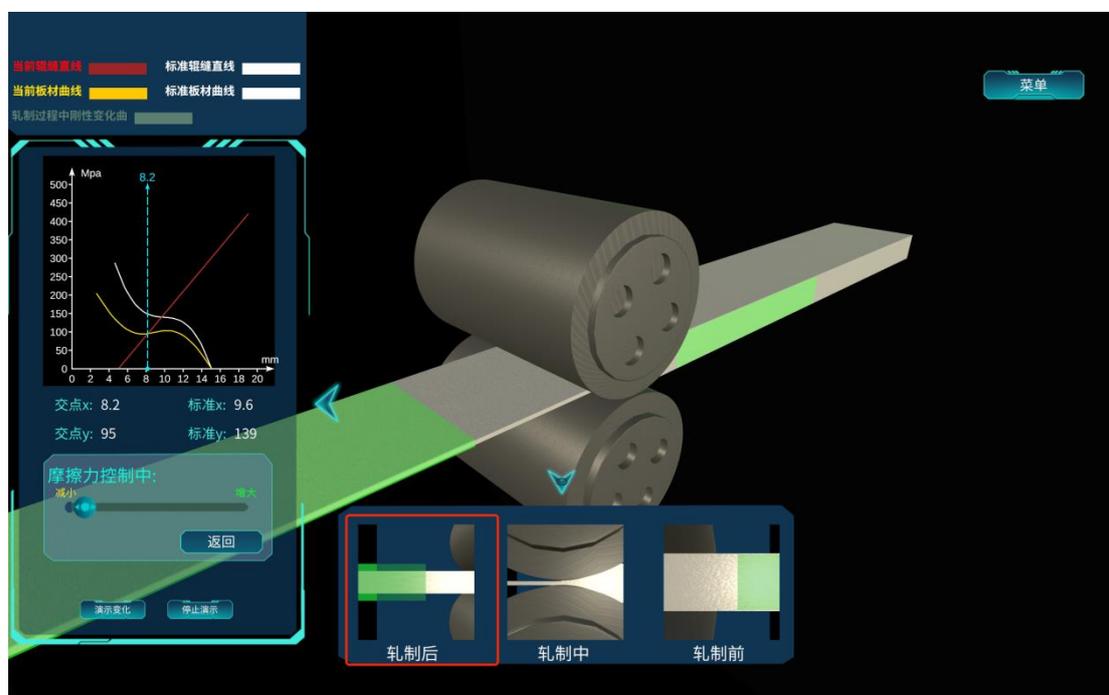
板厚学习、板形学习两种模块



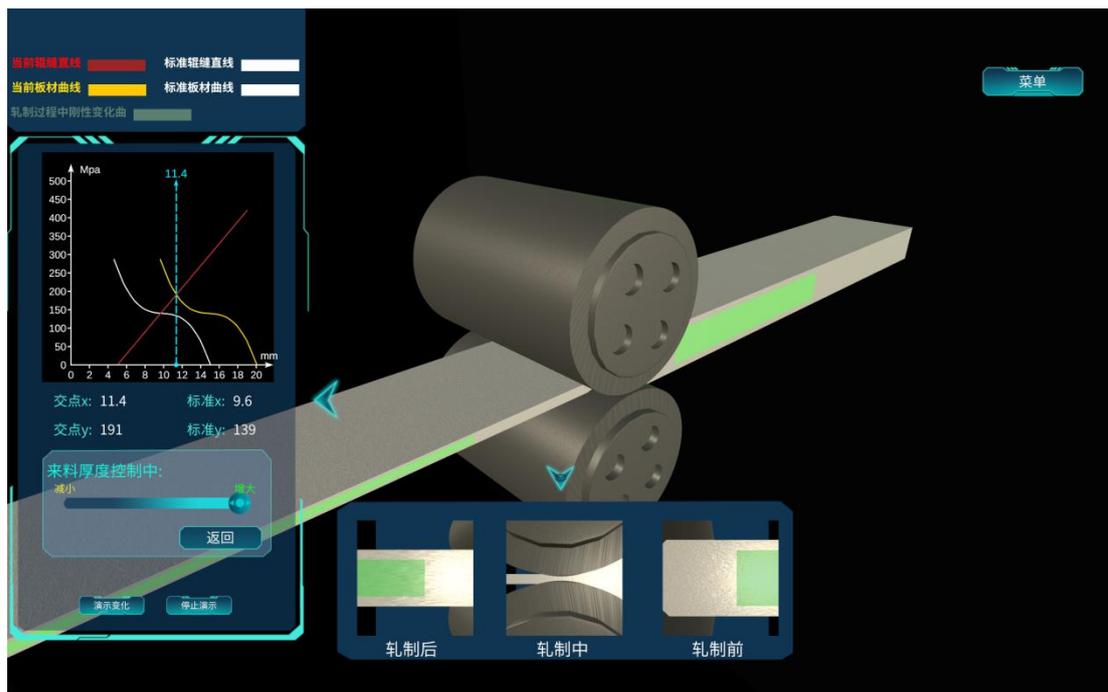
在板厚实验系统中，可以根据摩擦力、来料厚度、来料刚度、张力、辊轧距离、辊轧速度等参数的变化，来直观的观测铝合金板在轧制前、轧制中、轧制后的状态及厚度的变化。



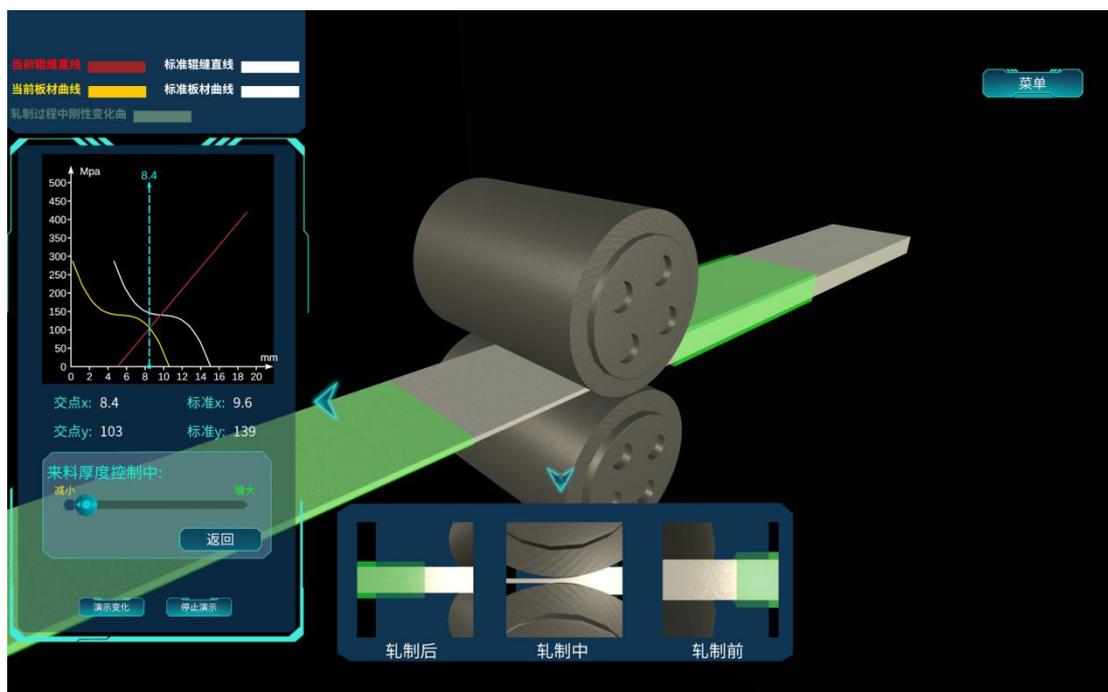
摩擦力变大之后，轧制后的板厚就越厚，高于标准值。



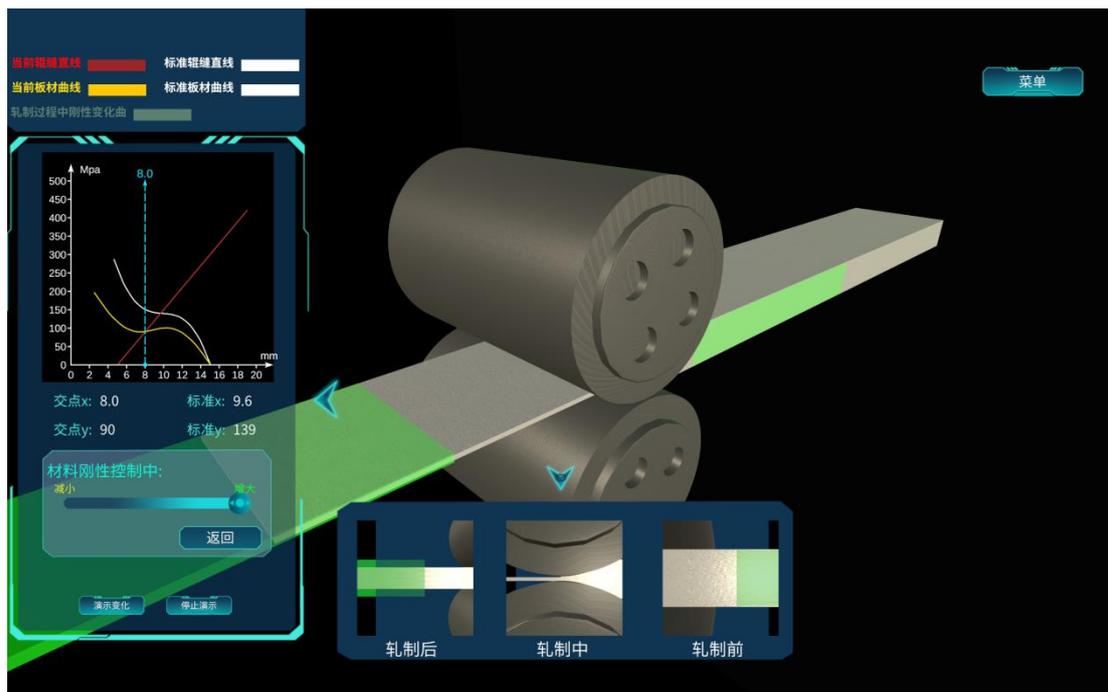
摩擦力变小之后，轧制后的板厚就越薄，低于标准值。



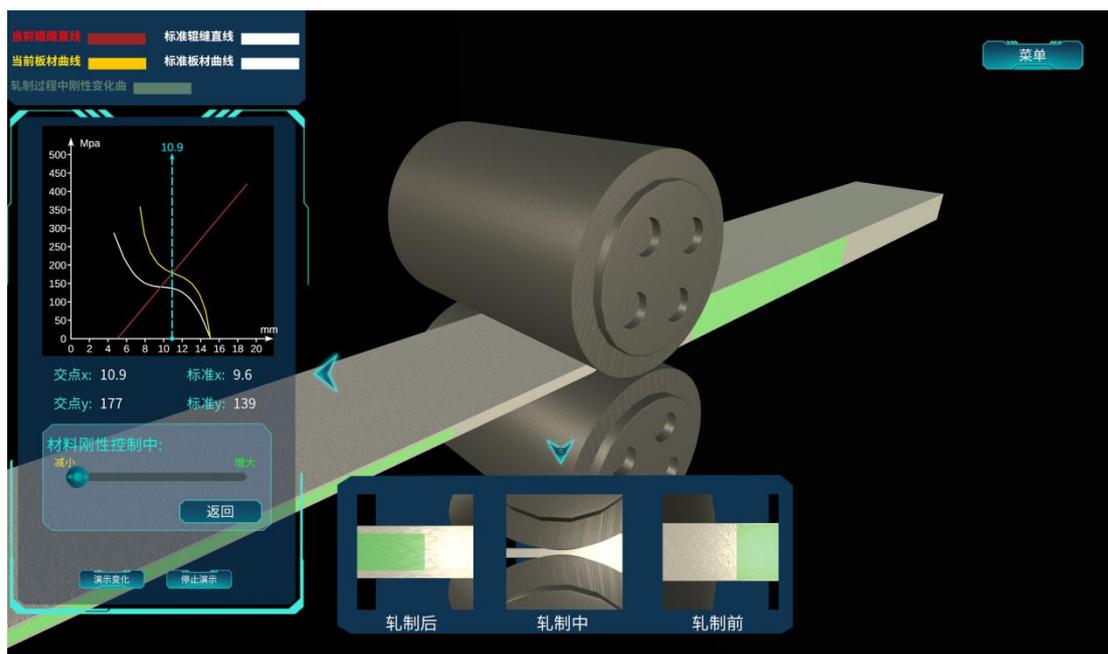
当来料的厚度增大的情况下，轧制后的板型越厚，高于标准值。



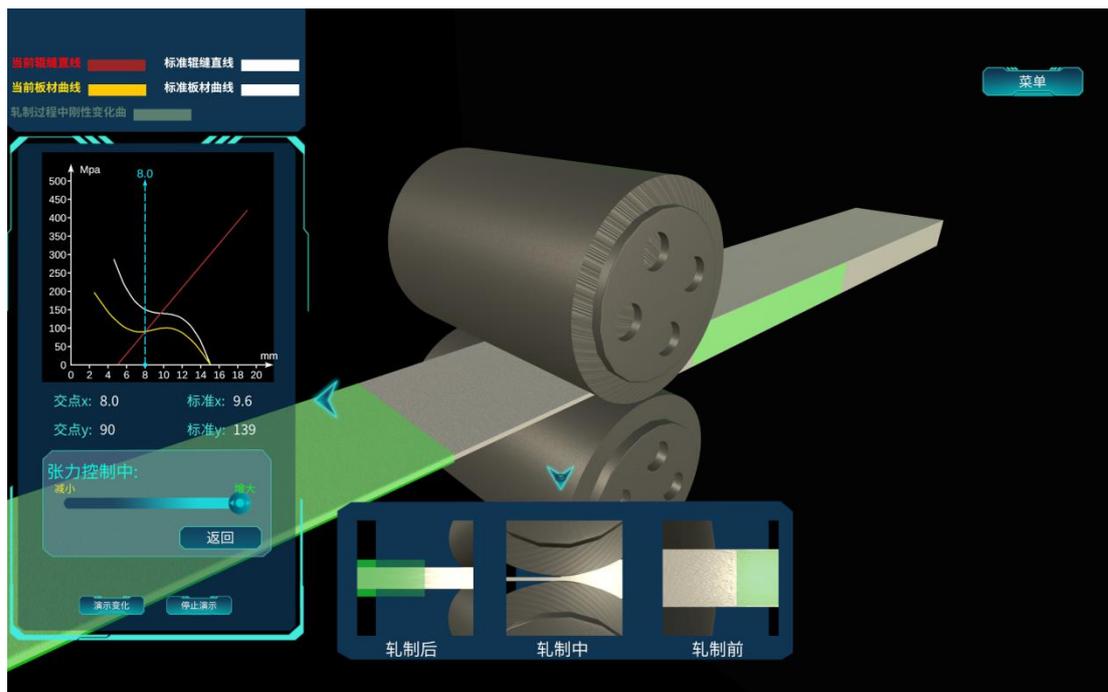
当来料的厚度变小时，轧制后的厚度变小，低于标准值



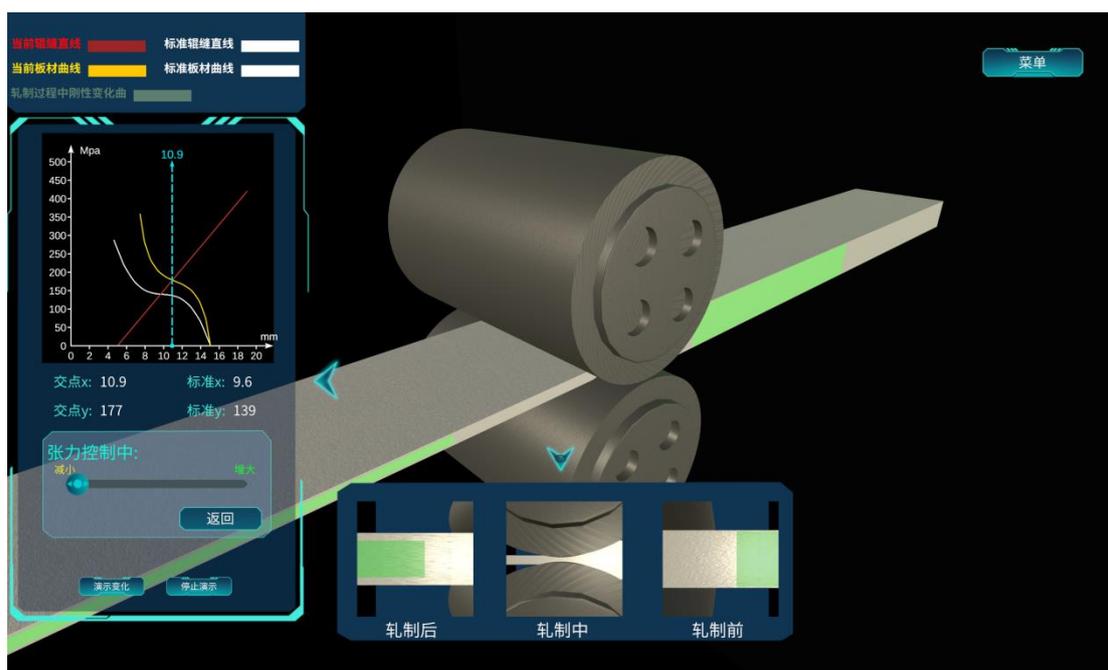
材料刚性增大时，其他参数不变，导致轧制后板厚变小



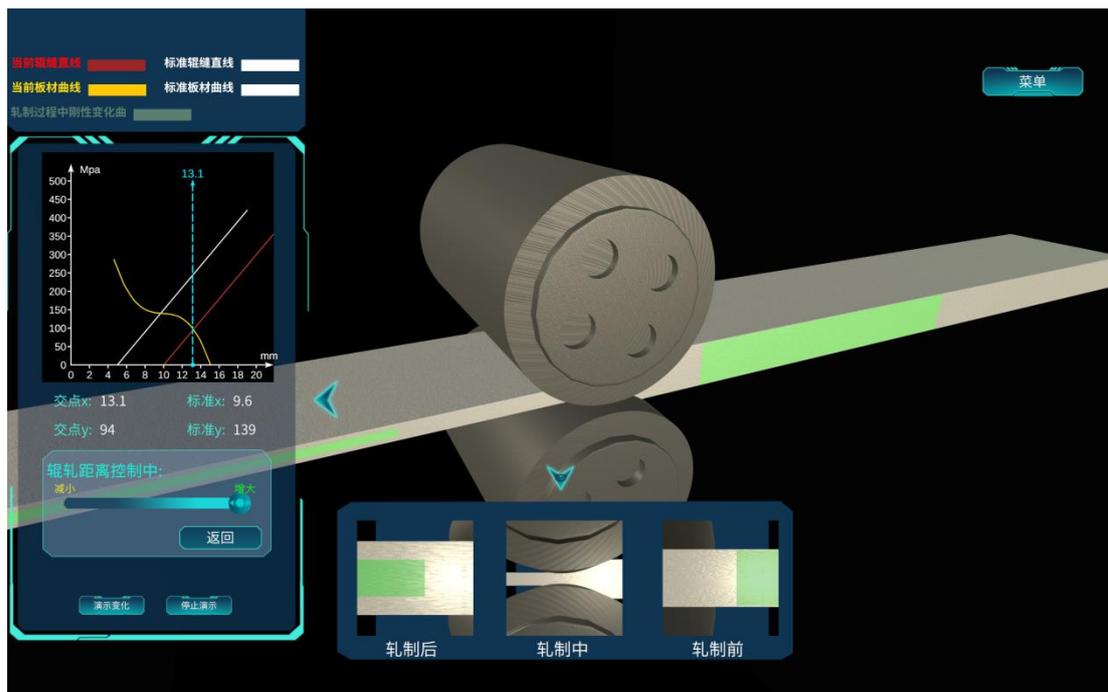
材料刚性变小时，其他参数不变的情况下，导致轧制后板厚变大



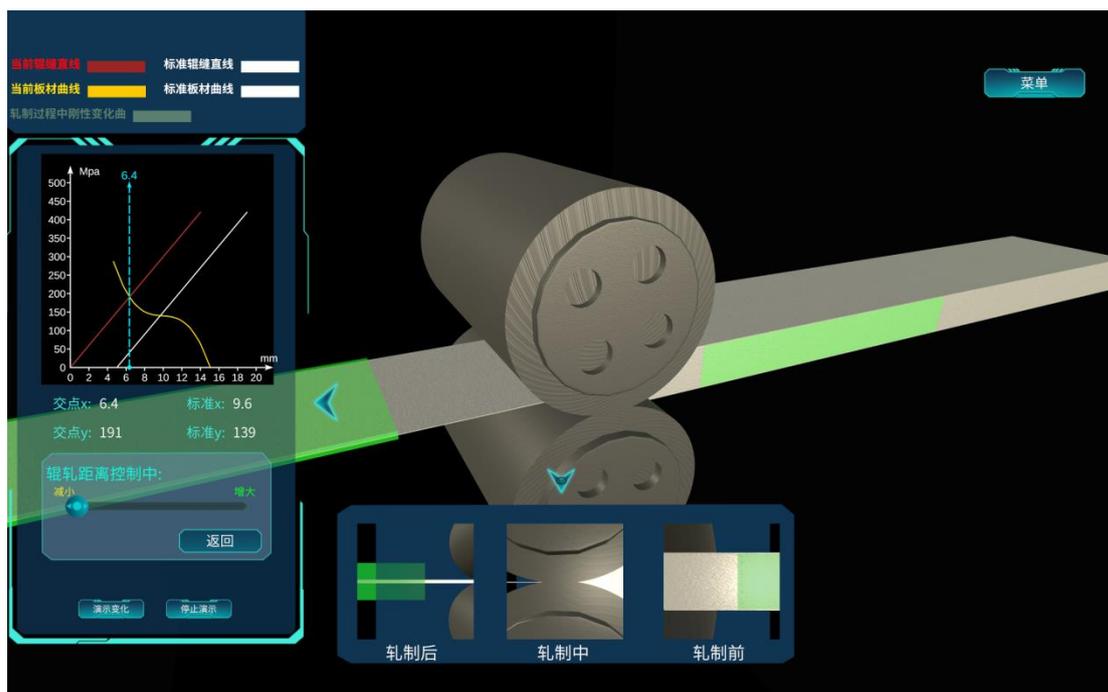
当张力增大的情况下，其他参数不变，轧制后的板厚变薄



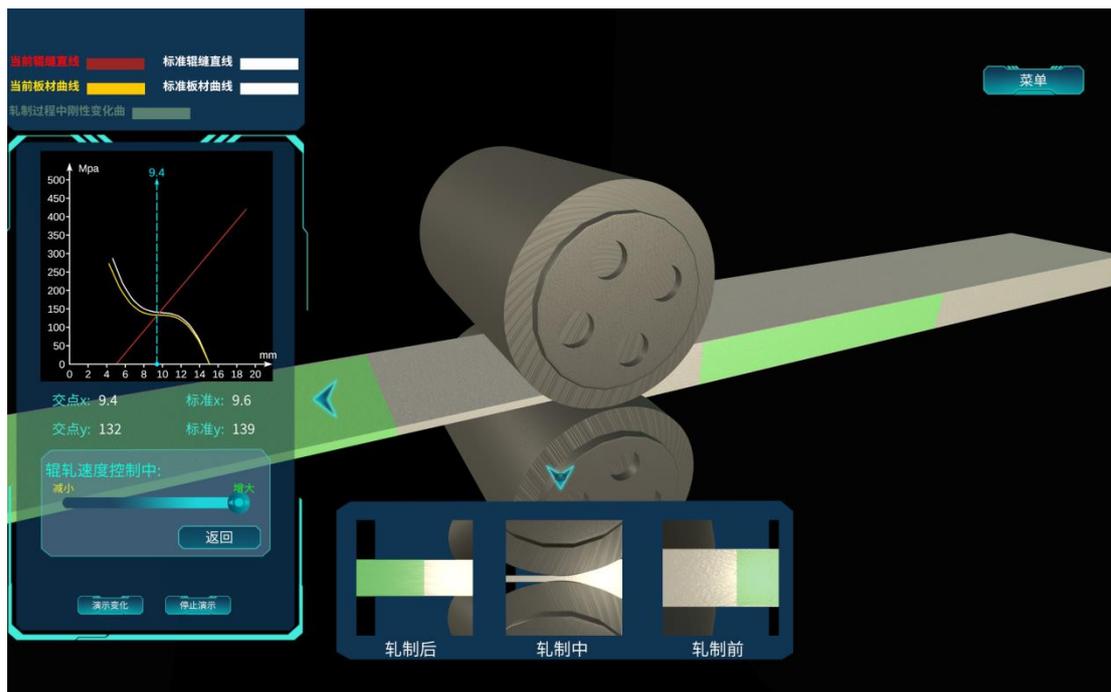
当张力变小时，其他参数不变的情况下，轧制后的板厚变厚



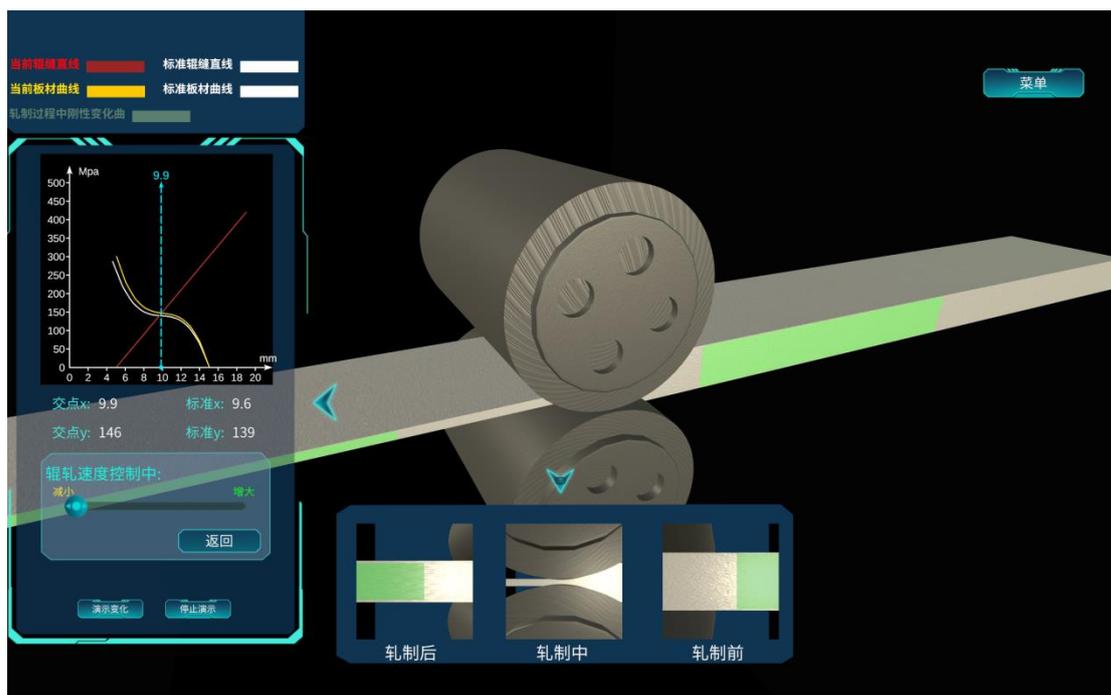
当辊轧距离增大，其他参数不变的情况下，轧制后的板厚变厚



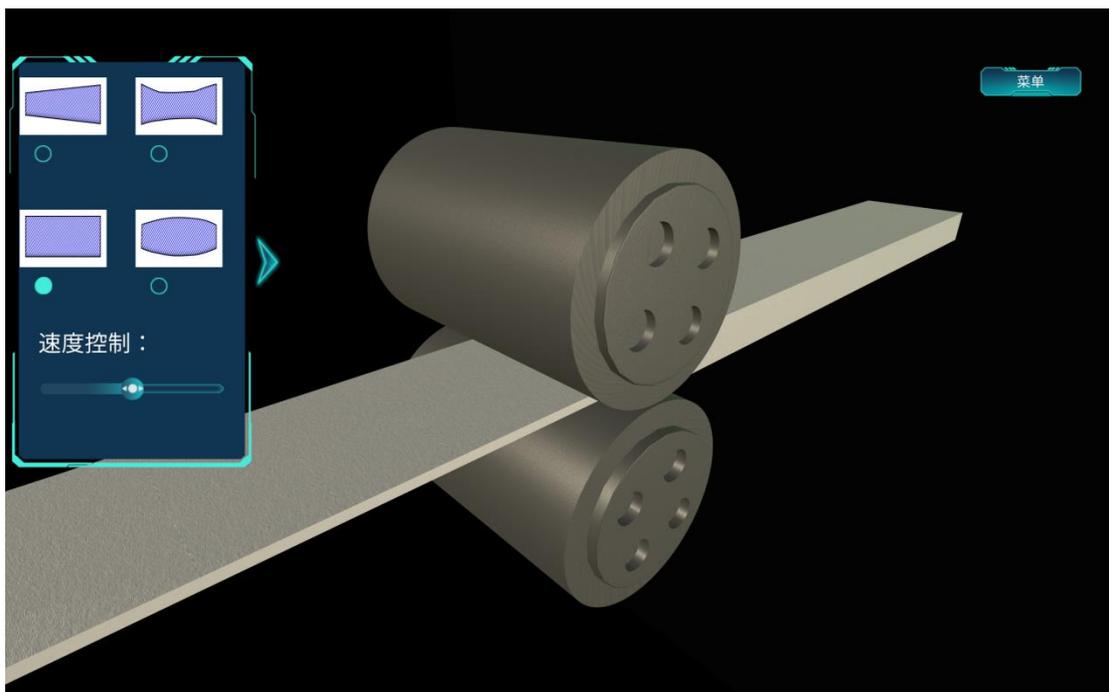
当辊距距离变小，其他参数不变的情况下，轧制后的板厚变薄



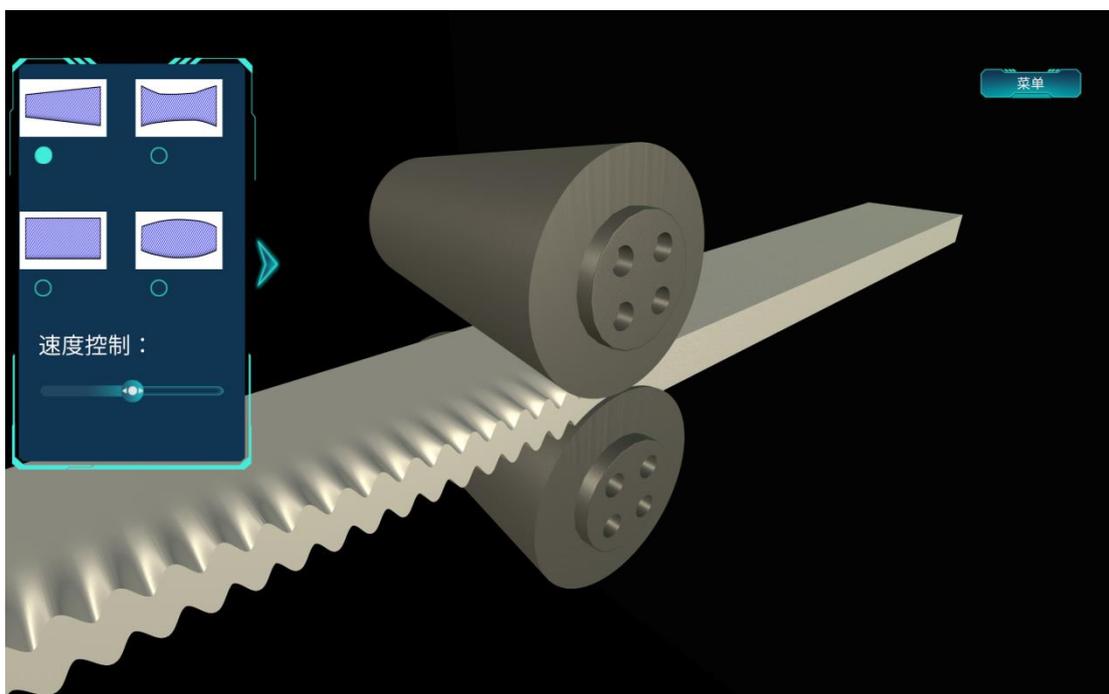
当辊轧速度增大时，其他参数不变的情况下，轧制后的板厚越薄



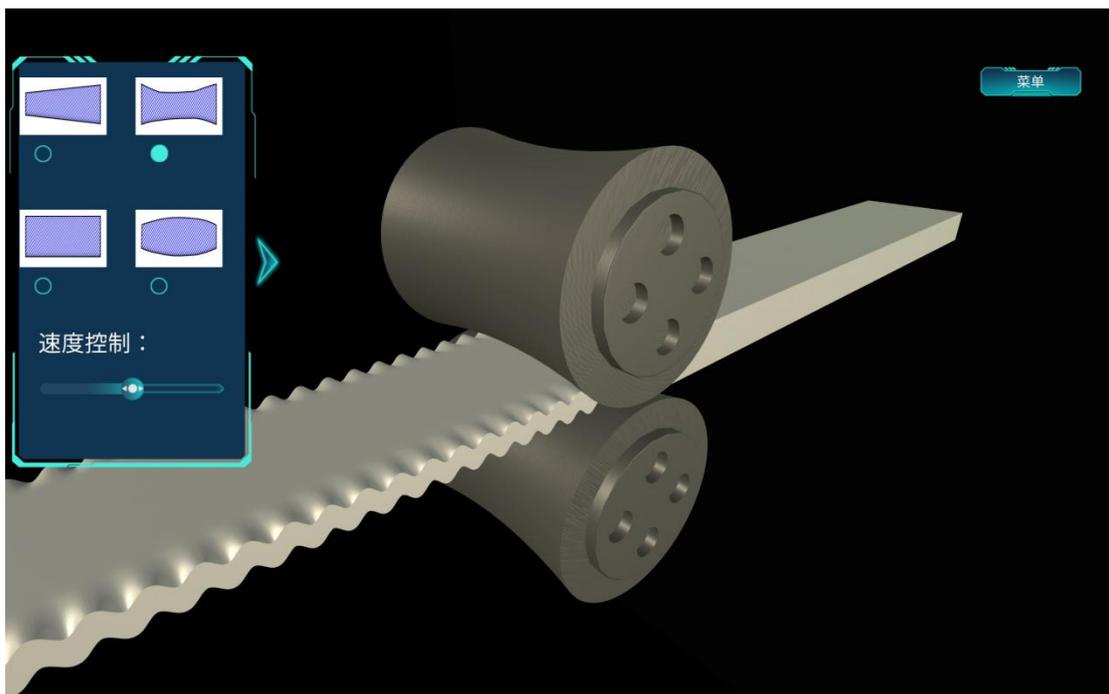
当辊轧速度变小时，他参数不变的情况下，轧制后的板厚越厚



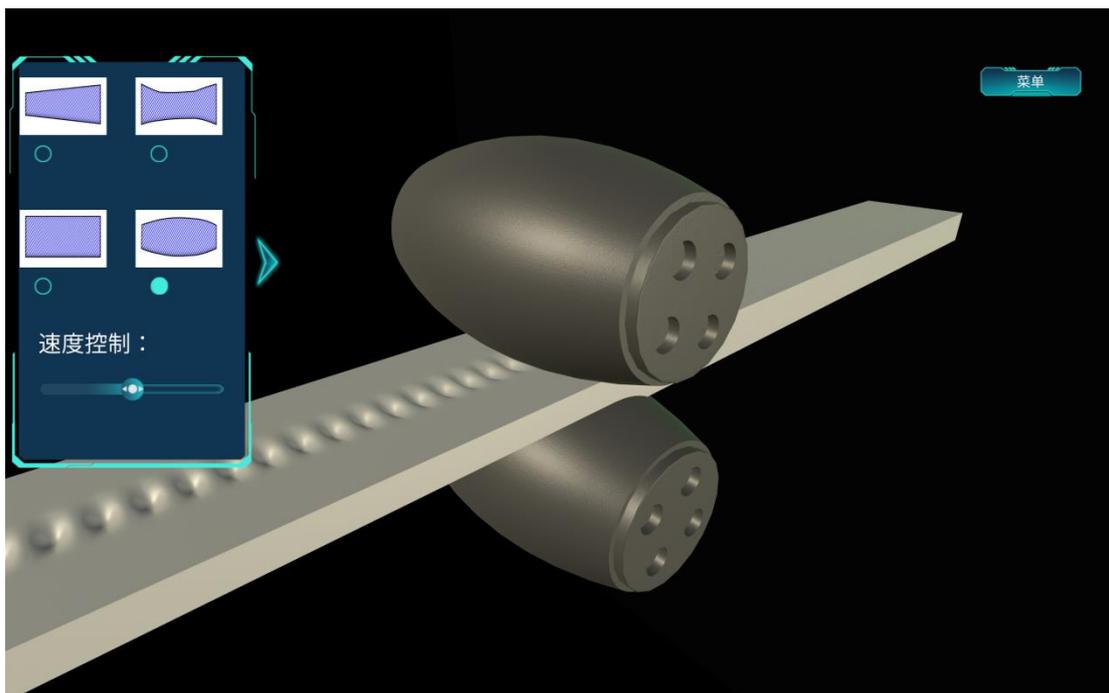
在板形控制中，影响轧制后的板形是由辊形控制，通过调节辊形的形状，可以得到不同的板形。一般情况下，有斜辊形、凹辊形、凸辊形、平辊形等几种情况。



当选择斜辊形的时候，在轧制过程中会出现单边浪的情况

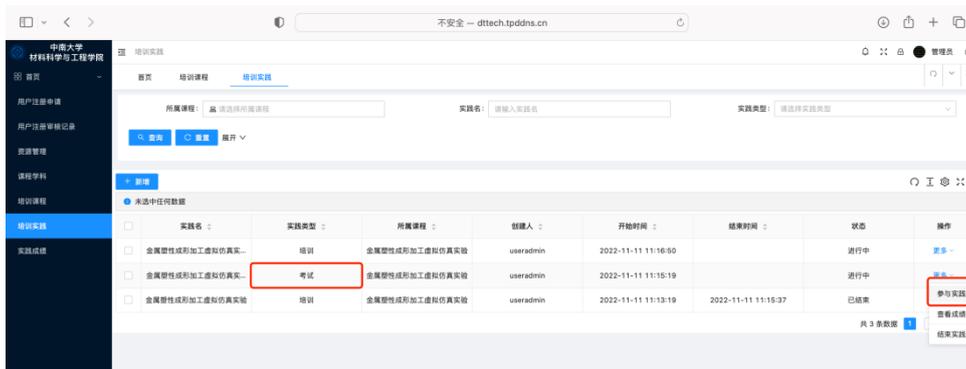


当选择凹辊形的时候，轧制后的板形会出现双边浪



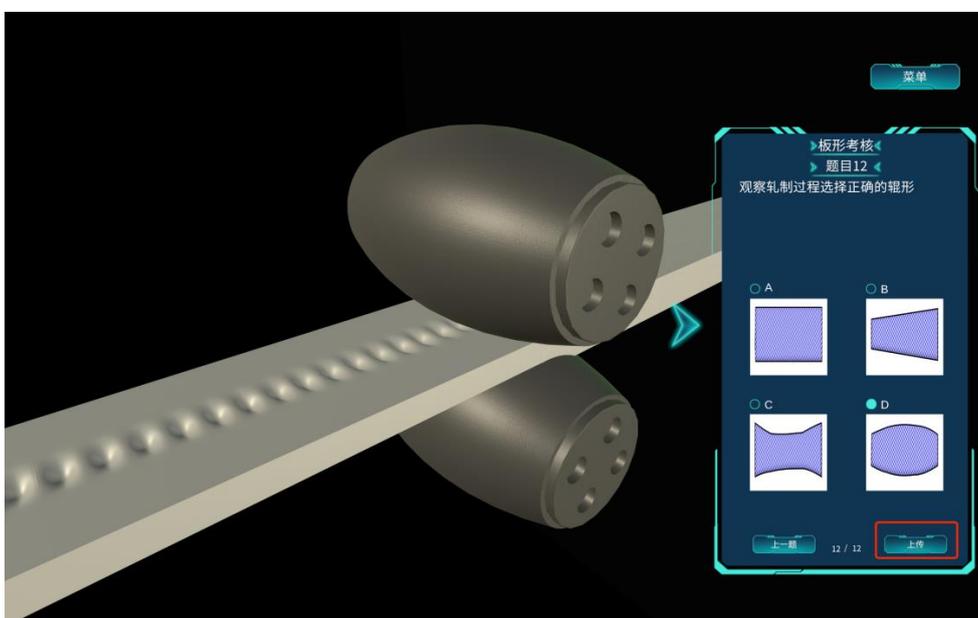
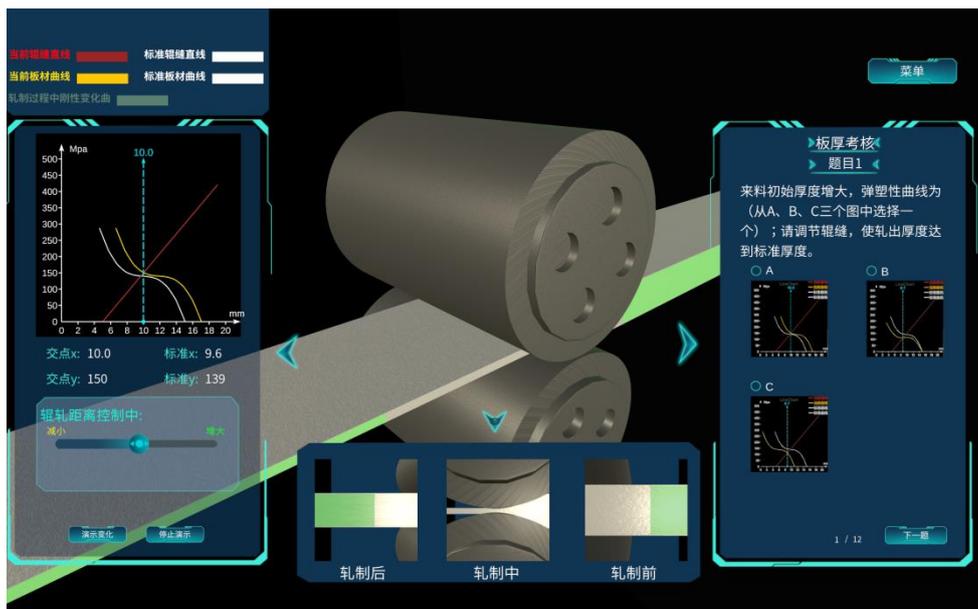
当选择凸辊形的情况下，轧制后的板形出现中间浪

**3.2.3 考核模式：**当在培训实践模块中，选择考试模式，并参与时间，即可以参与考核，考核页面如下图

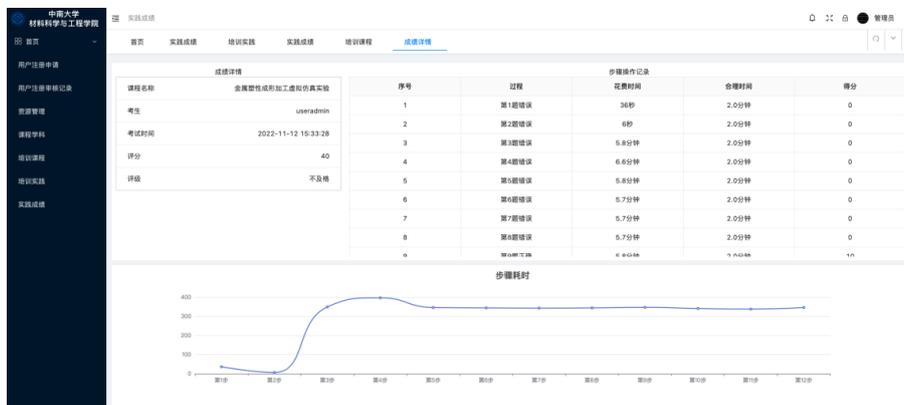


在考核模式下，可以根据考核的要求进行考核，考核主要是分为两大块。一方面，可以根据要求，选择相应的正确答案。另外一方面，通过调节相关的参数，调节到一个正常的板形和板厚控制。此两部分分开赋值赋分，每个题目两部分完成之后，计入总分。





题目做完之后,即可上传成绩。学员和老师可在成绩报告中,查看成绩总分,如下图。



### ◆ 铝型材制造虚拟仿真综合实验

本实验的多个步骤要求操作者进行参数输入、判断或选择，形成交互性操作步骤共有 **18** 步。

首先，点击模块选择按钮，进入中南大学材料科学与工程学院“铝型材制造虚拟仿真综合实验”系统，输入登录账号和密码（后台事先已创建），进入再从左侧列表中选择“开始实验”，点击进入本实验操作系统，如下图所示。



第一模块：目标产品选择。

进入虚拟仿真实验系统后，系统将显示“目标产品选择”、“模具与设备”、“挤压工艺与操作”、“热处理与矫直”、“检测与分析”、“实验报告”六个主菜单。需要完成的第一步操作就是“选择目标产品”。如图所示，本实验操作系统提供了A~F共6种典型铝合金型材产品，包括2种实心型材、2种空心型材、1种无缝管，1种有缝管（分流焊合挤压成形）。



第1步交互性操作：目标产品选择。点击“选择目标产品”主菜单，选择并点击其中某一个目标产品，将显示该产品的合金牌号、状态、规格（截面图）和定尺长度等具体信息；然后按批量生产模式开展模具与工艺设计。

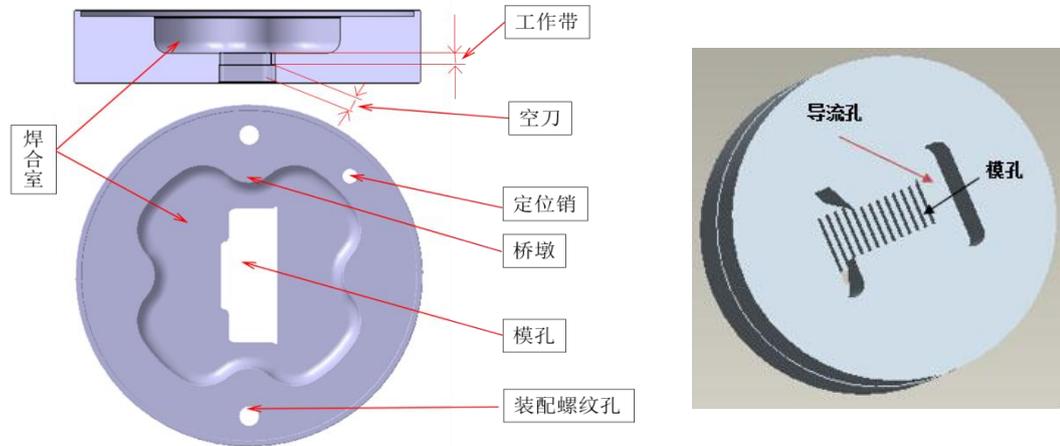
第二模块：挤压成形实验——挤压模具设计。

如果选择A、D、E这三种目标产品（空心制品），则需要设计平面分流组合模，如图所示。

第2步交互性操作：分流孔设计。根据型材截面几何特征，选择分流方案。

第3步交互性操作：焊合室设计。按设计要求输入焊合室高度。

第4步交互性操作：模孔工作带设计。要求选择模具工作带长度设计方案。



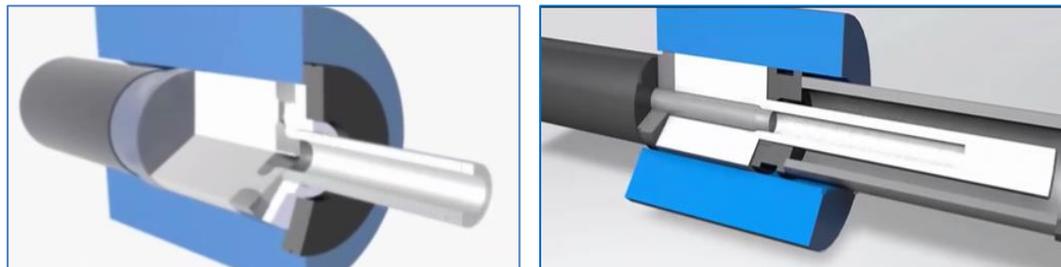
空心制品平面分流模之下模

图 8 实心制品导流模

如果选择目标产品E，则需要采用分流模挤压管材。如果选择B和C这两种实心型材为目标产品，则需要设计导流模和模孔工作带等参数，如图所示。其交互性操作为：

第2步交互性操作：设计导流模（形状、结构、双孔间距等）。

第3步交互性操作：设计模孔工作带。



采用分流模挤压管材

穿孔挤压管材

如果选择目标产品F（无缝管），则需要选择穿孔挤压方式，要求分别对挤压外模和内模（穿孔针）进行设计（或选择）。

第2步交互性操作：设计外模工作带。

第3步交互性操作：设计（选择）内模（穿孔针）。

若模具参数设计不合理，将不能往下运行，系统将给出设计不合理的提示，并指出可能产生的问题，并要求重新选择或输入参数。例如，如果挤压模具工作带长度设计不合理，可能导致挤出型材弯曲、扭曲严重，甚至无法挤出（即堵模）；如果焊合室高度太小，可能导致型材焊合不良；焊合室高度太大，则模具受力增大，导致弹性变形量增大，可能引起横向条纹、型材壁厚超差等问题。

第二模块：挤压成形实验——挤压工艺设计。

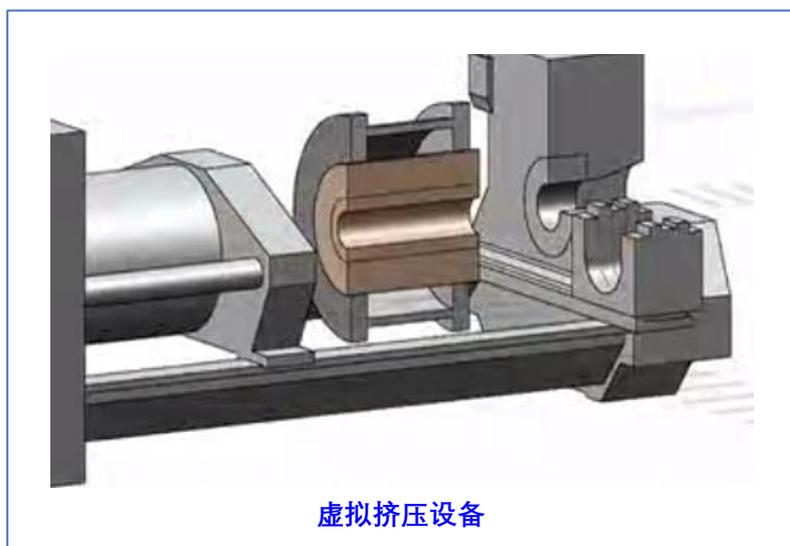
包括挤压设备选择、挤压坯料设计、挤压温度和挤压速度确定四个方面的实验内容。以下按选择目标产品A的工艺方案，进行交互性操作环节的描述。

第5步交互性操作：挤压设备选择。除了选择目标产品F（无缝管），需要选用卧式双动挤压机外，其它产品均可选用不同吨位的卧式单动挤压机。

第6步交互性操作：挤压坯料设计。根据制品截面尺寸选定挤压设备和挤压筒、计算填充系数、挤压比；结合定尺长度，设计锭坯直径和长度。

第7步交互性操作：根据铝加工手册选择锭坯加热温度、挤出模口温度。

第8步交互性操作：根据目标产品几何特征及合金类型确定型材挤出速度。



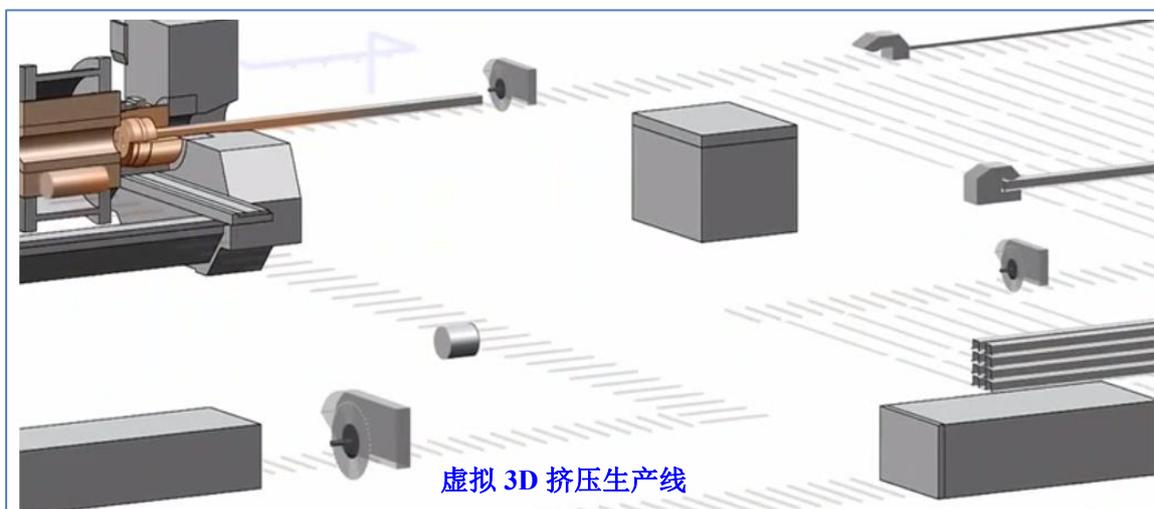
同样，若挤压工艺参数设计不合理，将不能往下运行，系统将给出设计不合理的提示，指出可能产生的问题，并要求重新选择或输入参数。例如，如果挤压速度太快，挤出型材表面可能产生撕裂，挤压力升高，焊合不良；若挤压温度太高，也可能产生表面撕裂，且内部组织形成粗大晶粒甚至过烧，但挤压力降低；若锭坯太长，则可能产生墩挤弯曲，封闭空气，引起型材表面起泡、起皮等缺陷。

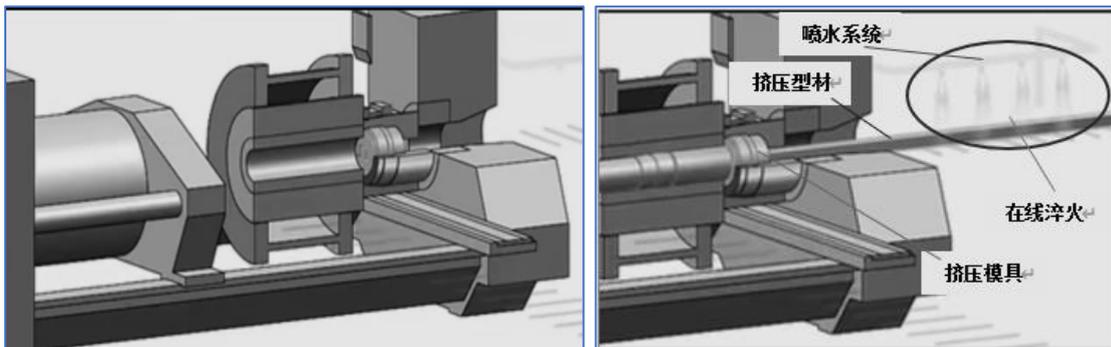
第二模块：挤压成形实验——挤压过程操作。进入虚拟挤压生产线，要求展示加热、模具安装、装锭、挤压启动、填充、排气、在线淬火、切压余、牵引与锯切、拉伸矫直、切定尺等操作。其中加热环节、拉伸矫直环节为互动性操作步骤。

挤压模具和挤压过程的有限元数值模拟由后台完成，不列入本实验的操作环节。挤压操作过程中，同步展示挤压变形模拟动画。

第9步交互性操作：确定加热工艺。加热环节包括锭坯加热、模具预热和挤压筒预热，要求分别设定加热温度和时间。

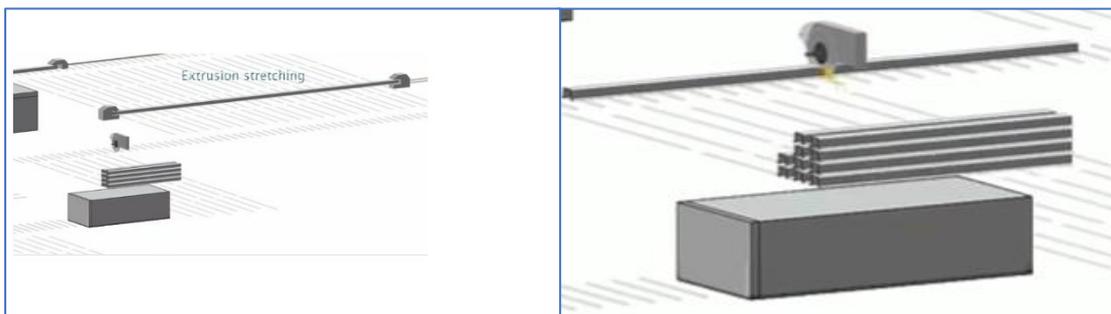
第10步交互性操作：确定拉伸矫直工艺。按产品工艺要求，完成拉伸矫直变形率参数的选择或输入。





模具安装

挤压过程



拉伸矫直

切定尺

第三模块：热处理实验。

若选择A、B、E三种在线淬火的产品，则要求根据合金特性选择在线淬火冷却方式（风冷、水冷、水雾冷）。

第11步交互性操作：在线淬火方式选择。

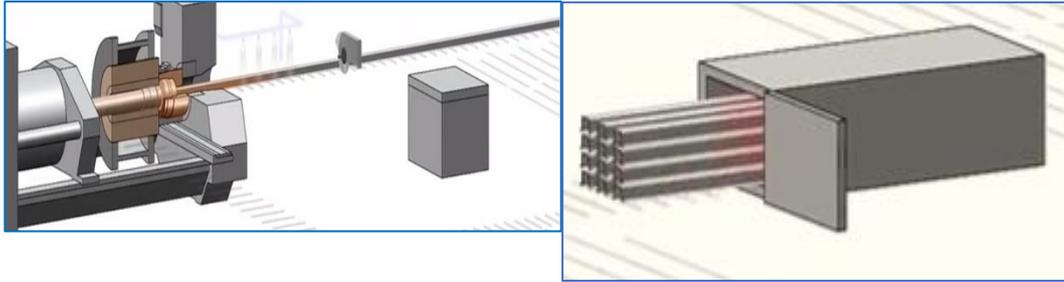
针对C、D、F三种离线淬火的产品，要求选择离线淬火炉（立式炉、辊底炉）、确定固溶工艺（加热温度、保温时间）和淬火工艺（转移时间、淬火介质）、选择矫直方式、确定定尺锯切长度。除C产品仅需要进行自然时效外（设计时效温度为室温），其它产品都要求设计人工时效工艺（加热温度和保温时间）。

以F产品的工艺设计为例，说明其互动性操作。F产品挤压后无需在线淬火、拉伸矫直和切定尺，因此接第9步互动性操作。

第10步交互性操作：淬火炉选择（立式炉、辊底炉）。

第11步交互性操作：固溶工艺设计（固溶温度、保温时间）。

第12步交互性操作：时效工艺设计（时效温度、保温时间）。



在线淬火装置

人工时效炉

同样,如果热处理方案选择错误或工艺设计不合理,系统也将无法往下运行,并指出可能出现的问题。例如,若固溶温度较低,最终将导致型材强度性能达不到预期指标;若时效温度太高或保温时间太长,型材可能发生过时效,强度性能下降;对于6061铝合金型材,若选择在线风冷淬火,最终强度性能可能不能达标。

第四模块:检测分析实验。

完成型材热处理后,即进入虚拟检测分析实验室,包括力学性能检测、金相组织分析和TEM高倍组织分析3个子模块。

力学性能检测模块将展示拉伸设备和拉伸试样取样方位,同步展示拉伸变形过程的局部动画,并判断测试获得的拉伸曲线所对应的试样状态(挤压淬火态和时效态)。

金相分析模块将展示制样过程的各步骤设备及方法,要求选择试样抛光方法、判断不同合金及状态的试样对应的金相组织。

TEM高倍组织分析模块将展示制样过程的各步骤设备及方法,要求选择试样减薄方式、判断不同合金及状态对应的高倍组织。

第13步交互性操作:点击展示拉伸取样方位。

第14步交互性操作:判断曲线类型(选择)。

第15步交互性操作:根据合金类型选择抛光方式。

第16步交互性操作:展示并根据金相组织判断合金状态。

第17步交互性操作:展示设备并选择透射电镜制样减薄方式。

第18步交互性操作:展示并根据TEM高倍组织判断合金状态。

实验操作全部完成后,本系统将自动将操作者已完成的参数输入、选择或判断整理成统一格式的实验报告,最后要求操作者在规定空白栏填写“体会与收获”

(300-500字)。填写结束后，点击“提交实验报告”按钮，将报告自动提交到后台链接，并退出系统，结束本次虚拟仿真实验操作。指导老师可从后台下载、查阅到学生提交的实验报告，并计分、签字。