



虚拟实验在金相实验教学中的应用

黄鹏, 孙建林, 刘国权, 熊小涛

北京科技大学




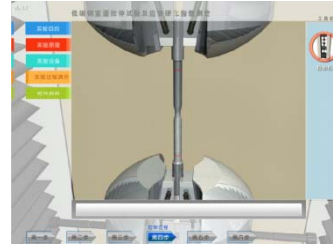

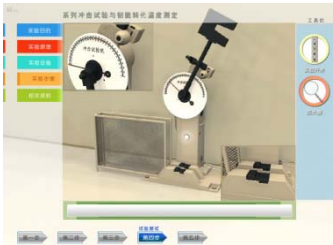


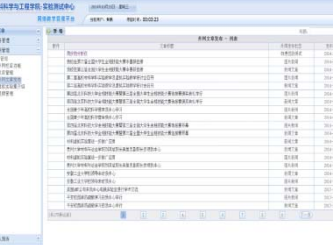
主要内容

1. 虚拟实验发展背景
2. 虚拟实验设计原则
3. 金相虚拟实验主要内容
4. “虚实结合”教学应用
5. 实验教学对比
6. 结束语



1. 虚拟实验发展背景

材料虚拟实验11项：

			
薄膜材料磁电阻效应实验	振动样品磁强计实验	铁磁材料织构度的磁转矩测量	低碳钢强度及应变硬化指数测定
			
平面应变断裂韧性 K_{IC} 的测定	系列冲击实验与韧脆转化温度测定	Fe-Fe ₃ C相图与显微组织观察	综合热处理虚拟实验
			
气体吸附BET法测定固态物质的比表面积	高温荷重软化温度的测定	热连轧带钢工艺、设备、原理综合实验	后台管理页面



2.虚拟实验设计原则（4项）

•2.1 实验内容扩展

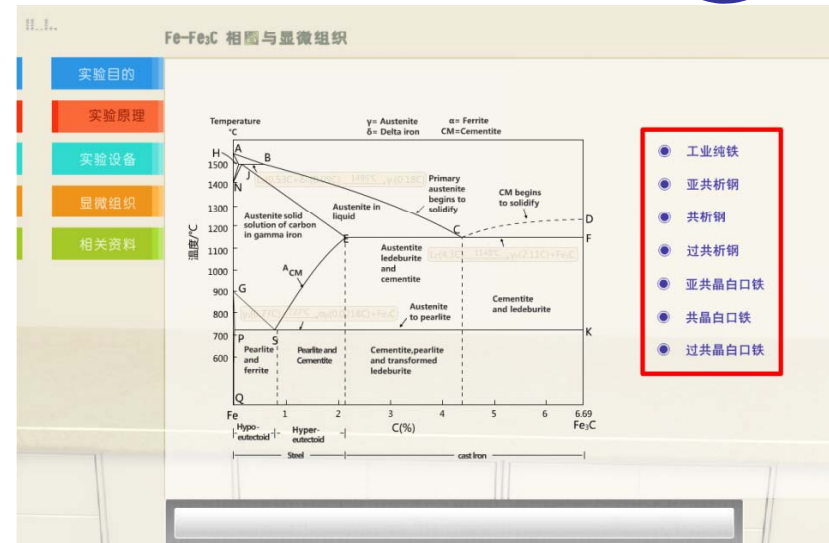
虚拟实验的一大优势在于可打破时间、空间和耗材、设备等实验条件的限制。尽量利用这一优势对实验内容和实验数据进行拓展。

Fe-Fe₃C相图与显微组织

- 7种不同成分铁碳合金从液态到室温固态，组织形貌的转变及真实组织形貌；
- 理论课程和实验课程中多节内容从原理到实验观察集中于同一虚拟实验中。

综合热处理虚拟实验

- 虚拟实验将真实实验中一个学生的实验内容，拓展22倍；
- 一名学生藉由虚拟实验可完成真实实验中全班实验设计和数据统计内容。



结构钢的成分、工艺、组织与性能综合热处理实验

晶粒粗大马氏体	晶粒粗大马氏体	晶粒粗大马氏体
晶粒细小马氏体	晶粒细小马氏体	晶粒细小马氏体
铁素体+马氏体	铁素体+马氏体	屈氏体网+马氏体
铁素体+珠光体	铁素体+珠光体	先共析渗碳体+珠光体
回火马氏体	屈氏体网+马氏体	回火马氏体
回火屈氏体	回火马氏体	回火屈氏体
回火索氏体	回火屈氏体	回火索氏体
	回火索氏体	

40CrNi 45钢 T8钢

请选择样品组织

第一步 第二步 第三步 第四步 第五步



2. 虚拟实验设计原则

• 2.2 抽象原理与直观形象相结合

- 传统实验课堂中，理论教学和实验操作在时间空间上分开进行；
- 虚拟实验可同时显示抽象原理和直观实验现象的对应同步变化，加深对抽象理论的理解和掌握。

Fe-Fe₃C相图与显微组织

- 动态同步对应显示Fe-Fe₃C相图与金相组织随温度发生的变化。

综合热处理虚拟实验

- 同时展现过冷奥氏体等温转变动力学曲线（C曲线）和冷却场景；
- 随冷却方式不同，C曲线红色提示点下降轨迹和速度不同；
- 实验操作的同时，能观察到3种不同冷却条件下C曲线图中不同的冷却曲线，加深对过冷奥氏体等温转变曲线、临界冷速、淬透性、合金元素对淬透性影响等多个知识点的理解。





2. 虚拟实验设计原则

• 2.3 注重交互性，加强引导和纠正

虚拟实验作为真实实验的有益补充，应在实验教学中发挥对学生的引导作用。

- 避免制作类似记录视频的单纯演示性虚拟实验；
- 加强人机交互作用，以达到近于一对一实验教学的目的。

综合热处理虚拟实验

真实实验教学中，一名教师引导一个班学生完成热处理实验，从整体流程到具体操作指导，工作量很大。

在虚拟实验中：

- 每一步骤设置语音讲解和文字描述；
- 根据真实实验提供多个操作选择；
- 详细说明实验原理和操作注意事项；
- 操作错误时将出现图像、语音等提示，对实验设计进行检验和引导。





2. 虚拟实验设计原则

• 2.4 教学资源支撑

以实为基，设计综合热处理虚拟实验后台数据。

- 与真实实验一致的样品、耗材、设备等



序号	材质	高度mm	直径mm
1	45	15	15
2	40CrNi	16	14
3	T8	14	16

- 以45钢工艺、组织、性能后台设计为例，8种不同组织对应不同工艺参数、性能数据和组织形貌

组织	温度(°C)	保温时间(分钟)	冷却方式	硬度(随机)
初步热处理组织				
晶粒粗大马氏体	1000	30	水冷	47.0-52.0
晶粒细小马氏体	860	30	水冷	55.0-58.7
屈氏体网+马氏体	860	30	油冷	19.5-33.5
铁素体+珠光体	860	30	空冷	18.5-25.7
铁素体+马氏体	770	30	水冷	32.0-52.0
回火组织				
回火马氏体	200	60	空冷	48.0-54.0
回火屈氏体	400	60	空冷	38.5-45.5
回火索氏体	600	60	空冷	22.5-28.5

所有回火组织热处理工艺为两步：

第一步：热处理工艺与初步热处理组织中**晶粒细小马氏体**组织的工艺相同；

第二步：表格中**回火马氏体**组织所注内容。



3. 金相虚拟实验主要内容

• 3.1 Fe-Fe₃C相图与显微组织

- 该虚拟实验包括实验目的、实验原理、实验设备、显微组织等部分；
- 动态展示7种铁碳合金从液态缓慢冷却过程中发生相变和同步金相组织变化；
- 学生可使用该虚拟实验，动态掌握Fe-Fe₃C相图；
- 观察掌握室温下不同热处理状态7种铁碳合金的各相、组织构成以及它们的金相形貌特征（铁素体、珠光体、渗碳体、莱氏体等）。

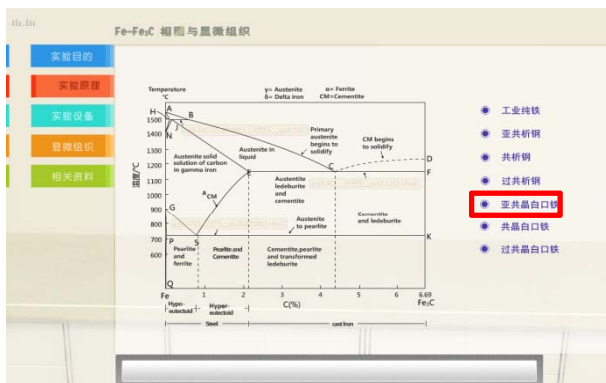
序号	材料	理论碳含量%	取样成分(%)	热处理状态	显微组织
1	工业纯铁	< 0.0218	0.01	退火	铁素体 (α-Fe固溶体)
2	亚共析钢	0.0218-0.77	0.35	退火	铁素体+珠光体
3	共析钢	0.77	0.77	退火	珠光体
4	过共析钢	0.77-2.11	1.2	退火	珠光体+渗碳体网
5	亚共晶白口铸铁	2.11-4.30	3	金属模铸造	先共晶枝晶+莱氏体(变)
6	共晶白口铸铁	4.30	4.3	金属模铸造	莱氏体(变)
7	过共晶白口铸铁	4.30-6.69	5	金属模铸造	先共晶渗碳体+莱氏体(变)



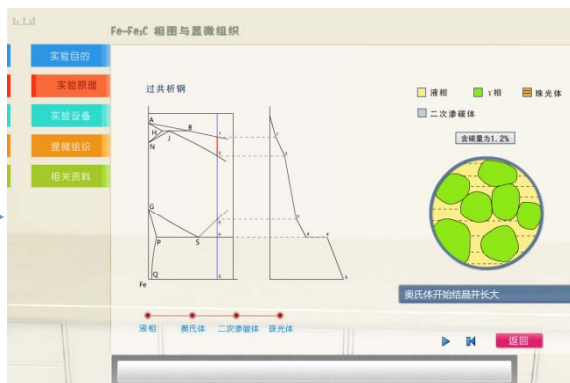
3. 金相虚拟实验主要内容

• 3.1 Fe-Fe₃C相图与显微组织

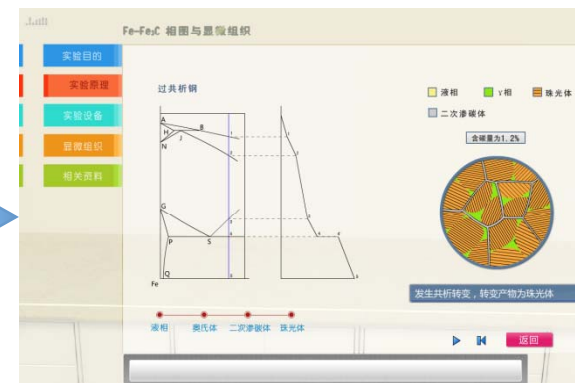
• 使用示例。以过共析钢 (1.2%C) 为例



1. 选择过共析钢



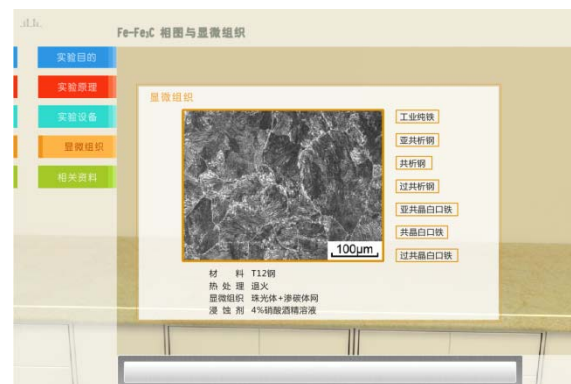
2. 动态展示：液态中析出奥氏体结晶



3. 共析转变发生



5. 室温相变结束



6. 观察真实金相组织：珠光体+渗碳体网

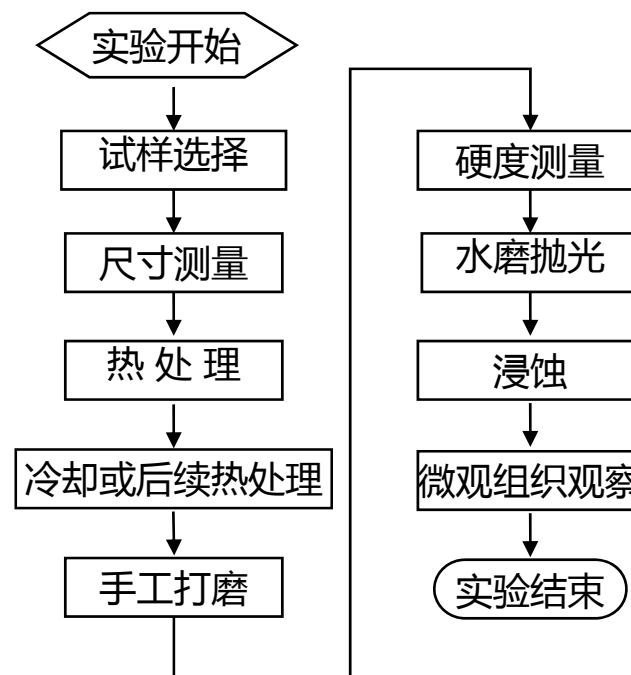


3. 金相虚拟实验主要内容

• 3.2 综合热处理虚拟实验

- **实验原理**：主要讲述相关理论，如Fe-Fe₃C相图、过冷奥氏体等温转变曲线、保温时间公式的应用、淬透性、淬硬性、淬火稳定性等，以及碳元素、合金元素的含量变化对工艺、性能和组织的影响等专业知识。
- **设备展示**：箱式炉、硬度计、金相显微镜等进行三维展示，教师配合讲解。
- **实验流程**：分为5步，以下以45钢细晶马氏体样品为例讲解虚拟实验流程。

1. 试样、组织选择：3种材质、22种组织供选





3. 金相虚拟实验主要内容

• 3.2 综合热处理虚拟实验

2. 尺寸测量



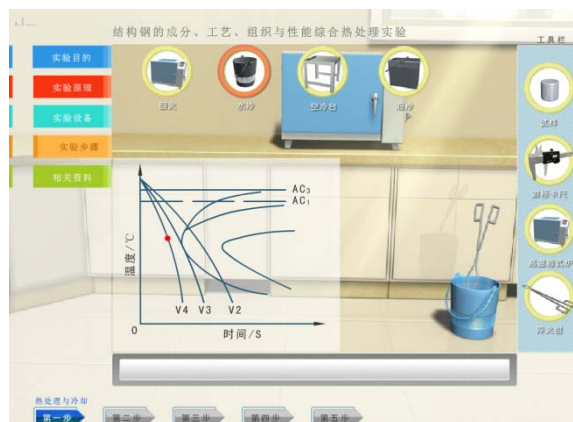
3. 温度、时间设定



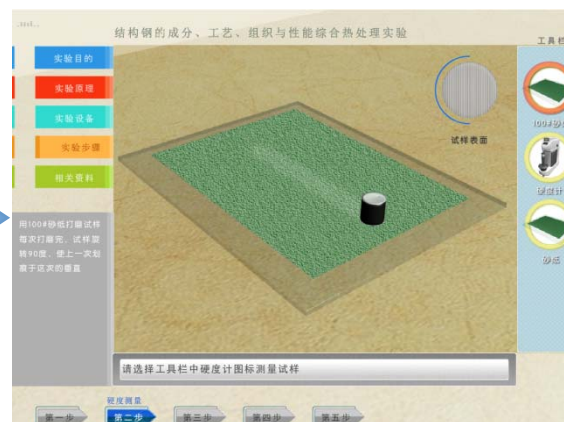
4. 选择冷却方式或后续热处理



5. 水冷



6. 手工打磨



7. 硬度测量





4. “虚实结合” 虚拟实验的应用

•4.1 实验教学应用

•4.1.1 教学应用范围

•2012年两项虚拟实验随中心网站建成，对学生开放；

•包括我校
国家级精品课程 《材料科学基础》
校级精品课程 《金属材料热处理》
校级优秀课程 《材料物理基础》
的实验教学对象。

•应用于材料学院、冶金学院、高等工程师三个学院六个专业本科生实验教学中。

1.1 金属学原理

学院名称: 冶金与生态工程学院												
课程名称	金属学原理 030103		授课教师	李长荣		设课专业	冶金工程专业		班级	111-116	人数	222人
课程学时	45学时	实验学时	9学时	实际实验人数	1998人时		实验项目数	4项				
序号	实验项目名称	实验学时	开/否	分组情况		实验指导老师	实验地点					
				每组人数	组数							
1	显微镜的构造、原理及使用	2学时	开	37人	6组	韩凌、马惠玲	材料测试楼 209					
2	金相样品的制备	3学时	开	37人	6组	刘文静、邵东郎	材料测试楼 209、213					
3	铝镜的组织观察与分析	2学时	开	37人	6组	马惠玲、韩凌	材料测试楼 209					
4	铁碳合金平衡组织观察与分析	2学时	开	37人	6组	马惠玲、邵东郎	材料测试楼 209					
5												
6												
备注: 共有 40 台显微镜、28 台抛光机和 4 台硬度仪, 每位学生一个试样, 老师协助操作, 学生独立进行试验。												

填表人: 韩凌

实验室主任: 韩凌

填表日期: 2014年12月16日

1.7 金属材料及热处理

学院名称: 材料科学与工程学院												
课程名称	金属材料及热处理 030134		授课教师	郭翠萍		设课专业	材料成型与控制		班级	材控 1101-03	人数	105人
课程学时	45学时	实验学时	10学时	实际实验人数	1050人时		实验项目数	1项				
序号	实验项目名称	实验学时	开/否	分组情况		实验指导老师	实验地点					
				每组人数	组数							
1	综合热处理实验	10学时	开	35人	3组	黄鹏、刘文静	材料测试楼 209、213、214、216、217					
备注: 该课程学生每位学生一块样品, 工艺中相同热处理温度的样品分为一组, 一组样品使用同一箱式炉进行保温, 保温时间不同或保温结束后采用不同冷却方式(空冷、水冷、油冷)或后续热处理, 来获得实验目的不同的样品组织。												

填表人: 黄鹏

实验室主任: 韩凌

填表日期: 2014年12月16日



4. “虚实结合” 虚拟实验的应用

• 4.1.2 应用原则：以实为基，以虚促实，虚实结合。

• 以实为基

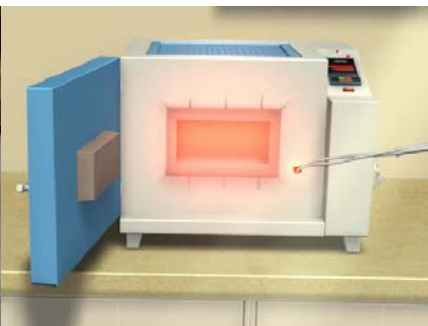
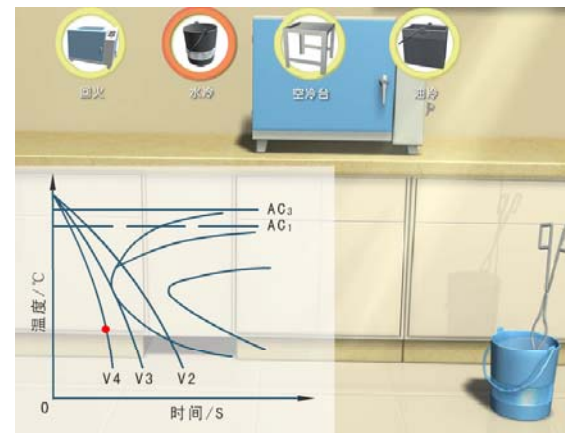
以优质真实实验教学资源为基础；
着眼于真实实验来使用虚拟实验；
真实实验是虚拟实验的立足点和根基。

• 以虚促实

对优质真实实验教学资源网络化、信息化打破时间空间限制；
虚拟实验中预设帮助提高真实实验教学效率；

• 虚实结合

虚拟实验围绕真实实验教学展开，着眼于提高实验教学水平；
真实实验充实、修正虚拟实验教学并使学生获得真实感受；
二者结合，提高实验教学效果。





4. “虚实结合” 虚拟实验的应用

•4.1.3 实验教学应用模式



- 1) 与理论教学同步开放，课前要求预习；
- 2) 真实实验前教师带领使用，讲解示例；
- 3) 按个人设计进行真实实验；



- 4) 真实实验中依照虚拟实验讲解操作要点和注意事项进行安全操作；
- 5) 实验后供学生复习进行实验分析，完成实验报告。



4. “虚实结合” 虚拟实验的应用

•4.2 其他应用

•4.2.1 大学生金相技能大赛与大学生科研训练计划SRTP

全国大学生金相技能大赛

- 对未接触实验教学大一大二学生及外专业学生进行实验过程展示和实验操作讲解;
- 促进全国大学生金相技能大赛在多年级、多学科大学生中的普及;

大学生科研训练计划SRTP

- 很多大一大二本科生尚未系统学习专业课程、尚未接触实验教学，对科研创新造成一定阻碍。
- 帮助他们进行自主学习，初步了解专业基础知识、掌握实验技能，促进大学生科技创新活动开展。

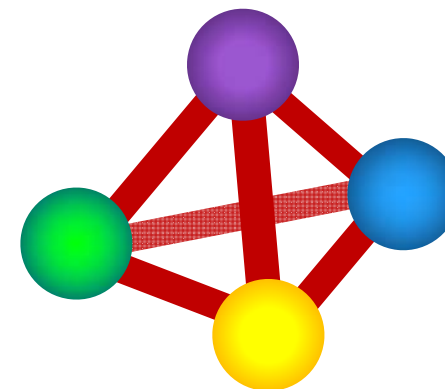




4. “虚实结合” 虚拟实验的应用

•4.2.2 中学生科普活动

- 自2012年至2016年中心接待五届中国科协、教育部“全国青少年高校科学营”北科大分营。
- 中学生营员使用金相虚拟实验学习实验操作并观察学习组织后，独立完成本科生金相实验内容并完成实验报告。
- 引导中学生了解材料科学四要素之间关系，引发对材料科学兴趣。





5. 实验教学对比

进行了3年实验教学对比。每年选择材料学院材料成型与控制专业或高级工程师学院同一教师讲述相同理论课程的3-4个班，分为A、B两组。

- A组：单纯真实实验教学；
- B组：虚实结合实验教学。

总结3年分组对比教学，B组多方面表现优于A组，教师使用虚拟实验引领讲解后进行真实实验的情况下尤其明显。具体情况可见右表：

序号	项目	B组相对A组表现
1	知识点小测正确率	正确率高4~10%
2	真实实验花费时间	时间节省8%
3	实验耗材	人均消耗减少5.1%

- 临界冷速的概念，合金元素含量对C曲线的影响，完全淬火与不完全淬火的区别等。
- 实验方案已经过虚拟实验纠正检验；
- 虚拟实验中充分的操作讲解和模拟场景演练，使实验操作更快捷有序；
- 无效、错误操作减少，节省时间和实验耗材；
- 进一步保证安全操作，确保人员安全，加强设备维护。



6.结语：

- ▶ 虚拟实验室可以突破真实实验时间、空间和硬件资源的限制,有助于优质实验教学资源的推广和灵活表达；
- ▶ 虚拟实验的设计应以实为基，扩展实验内容，注重抽象原理与直观实验场景结合，实现交互性教学；
- ▶ 以“结构钢的成分、工艺、组织与性能综合热处理”为基础建成的虚拟实验依照“以实为基，以虚促实，虚实结合”的方式应用于实验教学；
- ▶ 经教学对比显示，虚实结合方式的实验教学比单纯真实实验教学实验教学效果获得提高。



谢谢！
Thank you !

欢迎访问材料虚拟仿真实验室

校内学习网：<http://222.28.40.85/ustbweb/index.jsp>

共建共享网：<http://www.matervlab.cn>
