



苏州大学沙钢钢铁学院
SCHOOL OF IRON AND STEEL SOOCHOW UNIVERSITY

转炉炼钢实验 教学指导书

苏州大学沙钢钢铁学院

实验中心

二零一九年十月

转炉炼钢物理模拟-线上虚拟互动教学实验

1 实验目的

实验旨在帮助学生系统掌握转炉炼钢基础理论、工艺流程和设备工作原理，要求学生完成典型目标钢种和典型原料条件的工艺参数设计计算，编制合理的供氧操作制度、造渣操作制度和底吹操作制度，安全、平稳地冶炼得到成分温度合格的钢水。

2 实验内容

实验一、转炉流体流动行为物理模拟实验

实验二、转炉炼钢虚拟仿真实验。主要包括：

- (1) 转炉炼钢设备认知；
- (2) 目标钢种选择和工艺参数设计计算；
- (3) 转炉冶炼制度设计及实训练钢操作。

3 实验设备及原理

3.1 实验设备

实验过程中利用厚度为 10mm 有机玻璃制作几何相似比为 L_m ： $L_p=1:3$ 的 300t 转炉水力学实验模型，具体见图 1，模型尺寸及原型尺寸见表 1。水力学模拟实验过程中分别用水和压缩空气代替钢液和氩气。

表 1 原型与模型的参数对比

项目	原型	模型
炉口直径, mm	3800	760
炉身直径, mm	6332	1266
炉总高, mm	9500	1900
底吹元件个数	4	4
单支底吹元件有效通气面积, mm ²	216	4.4
底吹气体流量, Nm ³ /h	800	2.27

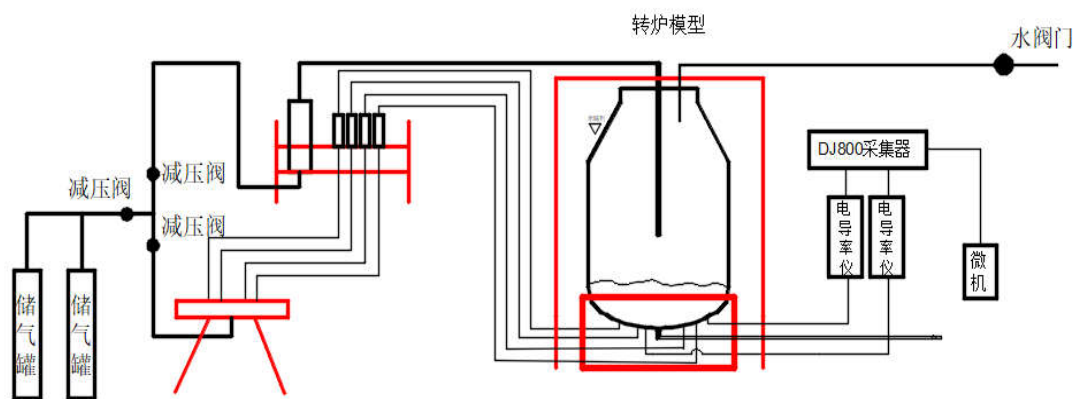


图1 300t 转炉模拟实验装置

转炉模型的底吹元件布置如图2所示。正常情况下，4块底吹元件全部畅通，每块底吹元件的流量为 $200\text{Nm}^3/\text{h}$ ；本实验通过变更4块底吹元件的堵塞程度制定了5种模拟方案，如表2所示，其中方案一表示4块底吹元件全部畅通，方案二表示1#底吹元件半堵塞，方案三表示1#底吹元件完全堵塞，方案四表示1#和2#底吹元件均半堵塞，方案五表示1#和3#底吹元件均半堵塞；4块底吹元件的总流量保持 $800\text{Nm}^3/\text{h}$ 。水力学模型的底吹流量根据相似原理进行换算。

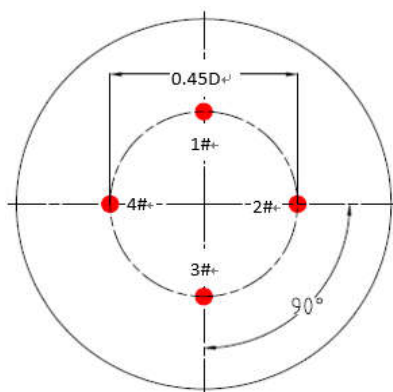


图2 底吹元件布置示意图

表2 实验方案

方案	堵塞元件	气体流量							
		1#		2#		3#		4#	
		原型 Nm^3/h	水力学模型 L/min	原型 Nm^3/h	水力学模型 L/min	原型 Nm^3/h	水力学模型 L/min	原型 Nm^3/h	水力学模型 L/min
一	—	200	9.5	200	9.5	200	9.5	200	9.5
二	1#	100	4.7	233	11.0	233	11.0	233	11.0
三	1#	0	0	267	12.6	267	12.6	267	12.6
四	1#+2#	100	4.7	100	4.7	300	14.2	300	14.2
五	1#+3#	100	4.7	300	14.2	100	4.7	300	14.2

4 实验步骤及注意事项

4.1 实验一、转炉流体流动行为物理模拟实验

1、水力学模拟实验过程中，在转炉模型底部非对称位置布置两个用于检测溶液电导率变化的 DJS-10C 电导率电极。

2、向熔池中加入饱和电解质溶液（实验中选用 50mlKCl）时。

3、电导率电极会将采集到的电导率信号通过电导率仪传输至 DJ800 多功能检测系统，继而传输至电脑转换成数字信号，即得到两条电导率变化曲线

4、从而确定熔池混匀时间。当两条电导率变化曲线之间差值小于 5%时，对应时刻为混匀时刻。为降低人为误差的影响，每组实验重复进行三次，并求取其算数平均值。

4.2 实验二、转炉炼钢虚拟仿真实验

1、在浏览器中输入本实验项目的网址（<http://steelsim.ssis.suda.edu.cn/exp/1.html>），即可打开本实验项目，在线完成所有实验操作，如下图所示。



图 3 线上虚拟仿真实验网站

2、进入实验前，学生可自行查阅网站知识角中的行业资讯、课程课件、教学视频和知识点，如下图所示。



图 4 在线知识角

4. 进入实验后，实验界面如下图所示，学生可自行查看实验简介，实验简介中包含实验背景、教学目标和理论指导三部分内容。



图5 实验简介界面

5. 实验界面左上角包括“知识角”和“在线求助”，学生点击“知识角”按钮可自动链接到网站知识角，点击“在线求助”按钮将弹出在线教学服务人员联系方式，如下图所示。



图6 在线求助

6. 学生点击“设备认知”按钮，包括“三维展示”和“实景漫游”两个模块，如下图所示。



图7 设备认知

7. 点击“三维展示”按钮，学生可以查看转炉炼钢的设备组成，了解主体设备的结构、功能以及各设备之间的装配关系，如下图所示。

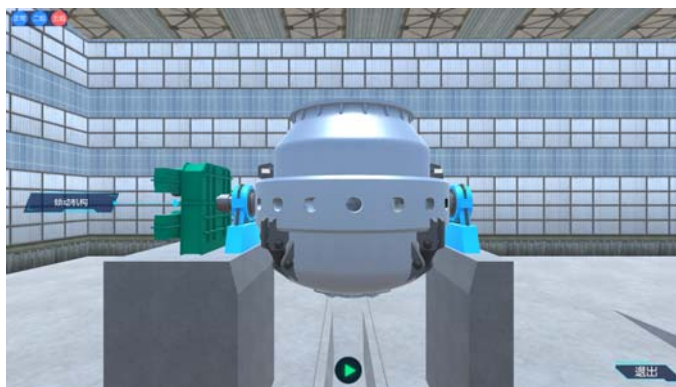


图 8 炼钢设备的三维展示

8. 在“实景漫游”中学生可以通过键盘的 W（前进）、A（向左）、S（后退）、D（向右）按键和鼠标切换观察位置和观察角度，自主查看转炉炼钢的所有设备，如下图所示。在此步骤中，学生需要根据系统提示操作炼钢设备，完成“打开挡火门，向前倾动转炉，转炉回正，下降烟罩，将氧枪插入转炉炉内”等动作，掌握转炉炼钢主体设备的动作模式。

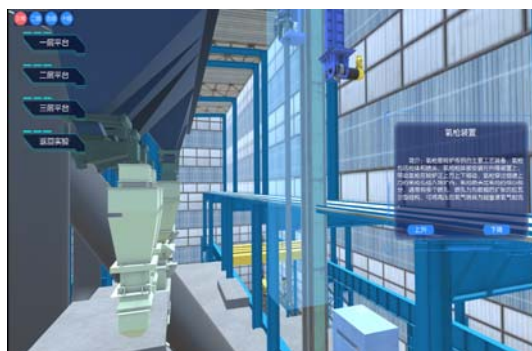
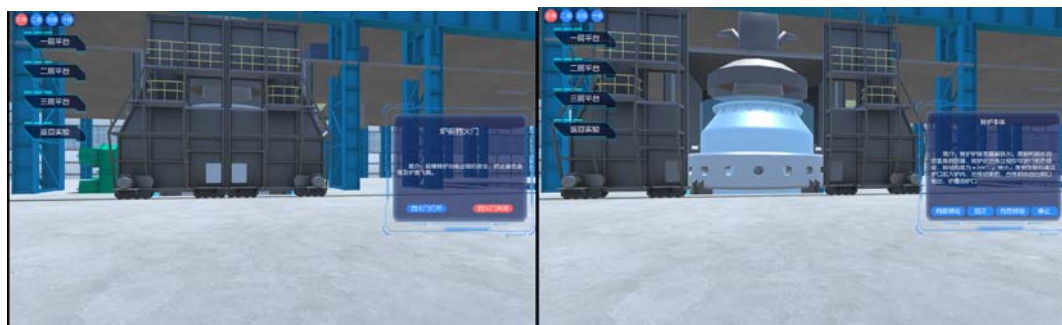


图 9 实景漫游和设备动作检验

9. 在熟悉炼钢设备的基础上，学生点击“参数设计”按钮，开始选择拟冶炼的高端钢铁材料，并按步骤完成冶炼相关的设计计算。本项目提供了高铁轴承钢、高强度汽车板钢、石油管线钢和高级别船板钢四种典型高品质特殊钢，并给出了钢种的用途、性能和成分要求，学生可自主选择某一个钢种作为冶炼目标，如下图所示。



图 10 选择拟冶炼的高端钢铁材料

10. 完成钢种选择后，点击“下一步”，学生需要根据所选钢种的成分和性能要求设计其生产工艺路线，系统给出了待选工序及其功能简介，学生需从中选择并正确排序，如下图所示。



图 11 目标钢种的生产工艺路线设计

11. 点击“下一步”，学生可自主选择和搭配转炉炼钢的主原料，不同原料条件对应不同的操作要点，如下图所示。



图 12 炼钢主原料选择

12. 点击“下一步”，进行转炉炼钢操作流程的设计，系统随机提供转炉炼钢的操作步骤，学生需要对操作步骤进行筛选和排序，直至完成正确的转炉操作流程，如下图所示。



图 13 转炉炼钢操作流程设计

13. 完成目标钢种和原料条件的选择之后，学生需根据系统提供的理论公式进行转炉炼钢的吹炼参数设计计算，主要包括供氧量、石灰加入量、白云石加入量等，学生将计算结果填入相应表格，后台模型自动校验计算结果的准确性，为模拟炼钢提供数据参考，如下图所示。



图 14 转炉炼钢吹炼参数计算

14. 除了吹炼参数的计算之外，学生还需根据系统提供的理论公式进行脱氧及合金化参数设计计算，包括增碳剂、硅铁、锰铁等合金的加入量，学生将计算结果填入相应表格，后台模型自动校验计算结果的准确性，为模拟炼钢提供数据参考，如下图所示。



图 15 脱氧及合金化参数计算

15. 完成上述步骤后，学生点击“实训练钢”，系统进入转炉炼钢仿真实训。

16. 学生首先需要设计供氧制度，在表格中填写不同吹炼时刻所对应的氧枪枪位、氧气流量或二氧化碳流量，如下图所示。学生可根据理论知识自主探究式地进行供氧制度设计，填写行数由学生自行决定；如有疑问，学生可点击右上角的“？”按钮，系统将弹出与供氧制度设计相关的帮助文档。



图 16 转炉炼钢的供氧制度设计

17. 点击“下一步”，学生需要设计造渣制度，在表格中填写不同吹炼时刻向炉内加入的造渣料的重量，如下图所示。填写方式与供氧制度相似，如有疑问，可点击右上角的“？”按钮，系统将弹出与造渣制度设计相关的帮助文档。



图 17 转炉炼钢的造渣制度设计

18. 点击“下一步”，学生需要设计底吹制度，在表格中填写不同吹炼时刻所对应的底吹氮气流量、底吹氩气流量或底吹二氧化碳流量，如下图所示。填写方式与供氧制度相似，如有疑问，可点击右上角的“？”按钮，系统将弹出与底吹制度设计相关的帮助文档。



图 18 转炉炼钢的底吹制度设计

19. 完成供氧制度、造渣制度和底吹制度设计之后，学生可以进入炼钢演示界面，在点击“完成吹炼制度设计，开始炼钢”按钮之前，学生需认真查看提示内容，如下图所示。



图 19 准备进入炼钢演示界面

20. 进入炼钢演示界面后，系统按照预设参数自动吹氧炼钢，过程无法人为干预，学生需要密切关注吹炼过程中的钢水成分、钢水温度、炉渣泡沫化程度等指标变化，观察是否出现返干、飞溅等异常炉况，如下图所示。



图 20 炼钢过程中的异常炉况提醒和演示

21. 在转炉吹炼末期，学生需要根据钢水成分、温度的变化趋势，自主判定出钢时机，点击“出钢”按钮，争取获得成分温度都合格的目标钢水，如下图所示。

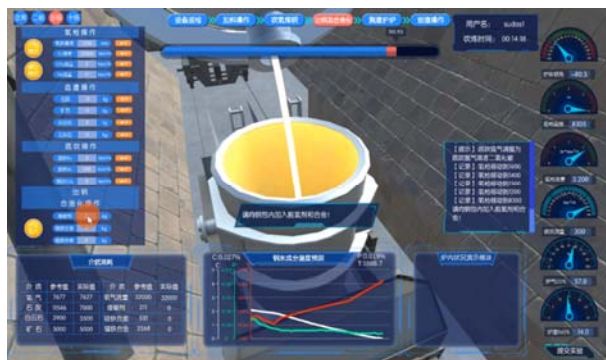


图 21 转炉出钢过程

22. 在转炉出钢过程中，学生需要根据出钢钢水的成分和目标钢种的成分，将适量的增碳剂、硅铁合金、锰铁合金等加入钢包内，如下图所示。



图 22 出钢过程的脱氧及合金化操作

23. 出钢结束后，系统自动进入溅渣护炉步骤，学生需要设定氧枪的 N₂ 流量，并动态调整氧枪枪位，利用高速 N₂ 气流将转炉内的炉渣溅射至炉衬的不同位置，实现对转炉炉衬的保护，如下图所示。

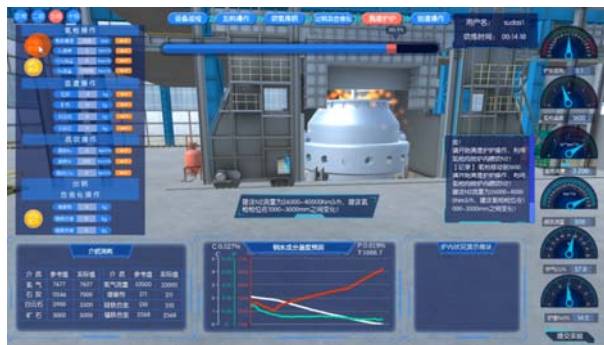


图 23 溅渣护炉操作

24. 溅渣结束后，学生点击“提交实验”，系统自动弹出评分细则表，显示学生的总得分和各项得分情况，如下图所示。然后，系统将评分细则表和学生操作数据、学生设计制度、冶炼过程数据、冶炼终点数据整理成实验报告，便于学生分析总结和后期优化。

评分细则					
高纯钢铁材料转炉冶炼虚拟仿真实验					
学生姓名	实验ID	实验ID	实验ID	实验ID	实验ID
项目	内容	说明	得分	扣分	合计得分
工艺参数设计 (10分)	转炉生产工艺流程图设计 (5分)	三次以内完成正确工艺流程图设计	每增加一次扣1分	0	5
	转炉熔渣成分设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣成分设计	每增加一次扣1分	0	5
	转炉熔渣量设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣量设计	每增加一次扣1分	0	5
	转炉熔渣成分设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣成分设计	每增加一次扣1分	0	5
	转炉熔渣量设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣量设计	每增加一次扣1分	0	5
实验操作 (10分)	转炉熔渣成分设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣成分设计	每增加一次扣1分	0	5
	转炉熔渣量设计 (5分)	三次以内完成正确转炉熔渣量设计	每增加一次扣1分	0	5

图 24 评分细则

5 数据记录

5.1 物理模拟实验

水力学模拟混匀时间结果如下表所示

表3 水力学模拟熔池混匀时间及其数值模拟混匀时间表

方案 混匀时间, s	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
水力学模拟					

5.2 线上虚拟仿真实验

1. 观看“设备认知”动画视频。
2. 自主漫游，打开挡火门，向前倾动转炉，然后回正，降下烟罩，将氧枪插入转炉炉内。
3. 目标钢种选择_____。
4. 目标钢种的生产工艺路线：高炉铁水→_____→_____→_____→_____→_____→铸坯
5. 炼钢主原料选择_____和_____。
6. 转炉炼钢操作流程：_____→_____→_____→_____→_____→_____→_____。
7. 计算转炉吹炼参数

氧气总量 (Nm ³)	氧气流量 (Nm ³ /h)	石灰总量 (千克)	白云石总量 (千克)	矿石总量 (千克)

8. 计算脱氧合金化参数

增碳剂 (千克)	硅铁合金 (千克)	锰铁合金 (千克)

9. 设计供氧制度

序号	吹炼时间 (秒)	氧枪枪位 (毫米)	氧气流量 (Nm ³ /h)	二氧化碳流量 (Nm ³ /h)
1				
2				
3				
4				

10. 设计造渣制度

序号	吹炼时间 (秒)	石灰加入量 (千克)	轻烧白云石加入量 (千克)	矿石加入量 (千克)	石灰石加入量 (千克)
1					
2					
3					
4					

11. 设计底吹制度

序号	吹炼时间 (秒)	氮气流量 (Nm ³ /h)	氩气流量 (Nm ³ /h)	二氧化碳流量 (Nm ³ /h)
1				
2				
3				

12. 吹炼时间为：____，点击“出钢”按钮，停氧出钢。

13. 出钢过程中加入脱氧剂和合金

增碳剂加入量 (千克)	硅铁合金加入量 (千克)	锰铁合金加入量 (千克)

14. 溅渣护炉氮气流量 (Nm³/h)：____，氧枪枪位 (毫米)：____。

15. 提交实验

6 思考题

- 1、转炉炼钢的主要任务是什么？
- 2、钢液脱硫化学反应以及热力学有利条件有哪些？
- 3、脱氧的目的和常用的几种脱氧方法及主要特点？