

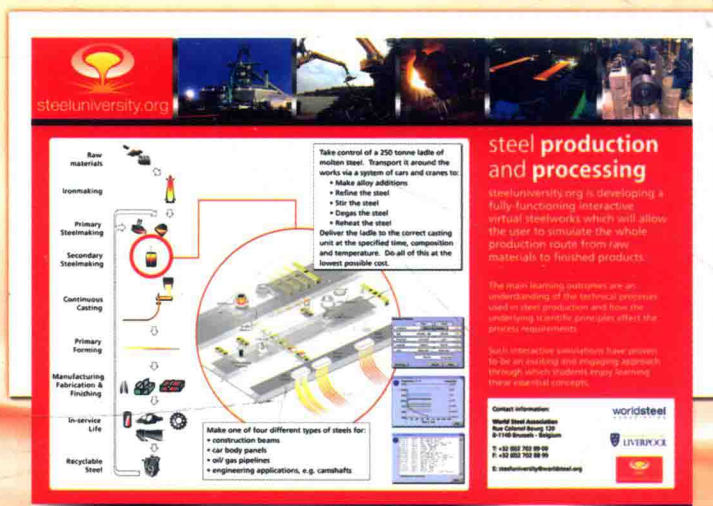


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 钢铁模拟冶炼指导教程

王一雍 彭兴东 金辉 赵鹏 编著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 钢铁模拟冶炼指导教程

王一雍 彭兴东 金辉 赵鹏 编著

北京

冶金工业出版社

2015

## 内 容 提 要

本书为冶金工程专业、材料成型及控制工程专业“钢铁模拟生产”工程实践指导教程。通过钢铁大学的网络平台 [steeluniversity.org](http://steeluniversity.org), 利用高炉炼铁模块、转炉吹氧炼钢模块、电炉炼钢模块、二次精炼模块、连铸模块、中厚板轧制模拟模块、型钢轧制模块, 分别冶炼出普通建筑用钢 (CON)、TiNb 超低碳汽车用钢 (ULC)、输送气体用管线钢 (LPS)、工程用钢 (AISI4140); 轧制中厚板、管线钢 (X70、X56)、船板用钢 (AH32、EH32)、普通结构板 S355、海面上风力发电机塔筒用钢以及型钢。

书中制定的钢铁生产计划及相应的生产目标与我国大型钢铁企业的生产实际相契合, 分为高炉炼铁模拟冶炼、转炉炼钢模拟冶炼、电炉炼钢模拟冶炼、二次精炼模拟冶炼、连续铸钢模拟、高炉-转炉双联工艺模拟冶炼、转炉(电炉)-二次精炼双联工艺模拟冶炼、二次精炼-连铸双联工艺模拟, 中厚板模拟轧制、型钢模拟轧制等内容, 涵盖了钢铁生产中所有环节。

本书适合高等院校冶金专业、材料加工专业学生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢铁模拟冶炼指导教程/王一雍等编著. —北京: 冶金工业出版社, 2015. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6942-9

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢铁冶金—过程模拟—高等学校—教材 IV. ①TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 150845 号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 [www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn) 电子信箱 [yjchs@cnmp.com.cn](mailto:yjchs@cnmp.com.cn)

责任编辑 王雪涛 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6942-9

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2015 年 8 月第 1 版, 2015 年 8 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 9.5 印张; 228 千字; 142 页

25.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 [tougao@cnmip.com.cn](mailto:tougao@cnmip.com.cn)

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 [yjgycbs.tmall.com](http://yjgycbs.tmall.com)

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

## 前 言

实践性教学环节是指除了理论教学以外的各门课程的实验、实习、课程设计以及认识实习、生产实习、毕业实习和毕业设计等。对于钢铁冶金这类工艺性、实践性很强的专业，完全由理论解析烧结、炼铁、转炉和电炉炼钢、精炼、连铸等高温工艺过程是不现实的，需促进学生将基础理论知识和生产实践相结合，才能实现专业教学目标。

目前，钢铁冶金专业实践教学存在与理论教学环节脱节，教学过程流于形式等问题。以实习为例，钢铁冶金专业在20世纪80年代以前，学生现场实习非常深入，可以跟班参加操作，对实习考核标准要求高，实习效果好。20世纪90年代以后，随着企业改革的深化，学生实习工作难以为继，虽然学校多方做工作，但也仅国有企业勉强接待实习，效果相当于认识实习。这些客观存在的问题导致许多工科毕业生面对社会、面对企业时感到茫然，缺乏竞争力。在当前毕业生就业市场化、高等教育大众化的背景下，如何保证实践教学效果，是新时期冶金工程专业教学面临的新课题。

“钢铁模拟冶炼”是由国际钢铁协会发起成立，利物浦大学协办的高度互动、内容新颖的电子资源，操作者需运用基本科学知识、冶金工程原理、热力学和动力学原理，进行钢铁生产仿真模拟，其目标是用最低的成本生产出质量合格的产品。虚拟仿真实训教学资源丰富、层次鲜明、由浅入深、操作性强，专业学生通过该系统与工程模拟、动态模型虚实结合的训练，既能够加深学生对抽象的、难懂的理论知识的理解，又有利于学生亲自动手进行炼铁、炼钢等方面的综合实验，增强“钢铁是怎样炼成的”实感，培养学生综合运用所学知识分析问题、解决问题的能力 and 创新能力，还有利于学生进行现代冶金生产操作训练，弥补学生以往到生产现场不能进行生产操作训练和冶金工艺实验的遗憾，缩短了上岗周期，有利于培养学生的工程能力和提升就业竞争力。该平台目前已开发出高炉炼铁、转炉炼钢、电炉炼钢、炉外精炼、连铸等主要模块，几乎覆盖钢铁生产全流程，学生可在操作界面上进行“真刀真枪”的实训操作。如能将“钢铁模拟冶炼”作为工程实践内容教学的一环，不但可加深学生

对“钢铁冶金学”、“钢铁冶金原理”、“冶金物理化学”等课程体系内容的理解,扩展学生知识面,也弥补了在实习过程中不能实际动手操作的不足。如能将“钢铁模拟冶炼”网络程序与中国冶金现场生产实际相结合,充分利用“钢铁模拟冶炼”平台的知识性、挑战性及趣味性,激发学生的学习热情,使学生掌握炼铁、转炉和电炉炼钢、精炼、连铸等生产工艺过程、设备和各种参数,深入理解钢铁冶金工艺过程的基本理论,提高学生分析问题和解决问题的能力,为从事专业工程管理、开发和研究打下坚实的基础。

非常感谢辽宁科技大学教务处对本书出版工作的大力支持。

编著者

2015年3月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| <b>1 高炉炼铁模拟冶炼</b> .....                  | 1  |
| 1.1 高炉炼铁介绍 .....                         | 1  |
| 1.2 模拟冶炼目的 .....                         | 1  |
| 1.3 模拟冶炼任务 .....                         | 1  |
| 1.4 模拟的目标 .....                          | 1  |
| 1.5 模拟界面 .....                           | 2  |
| 1.5.1 入炉原料成分设定 .....                     | 2  |
| 1.5.2 装料比例设定 .....                       | 6  |
| 1.5.3 生产参数设定 (production_settings) ..... | 9  |
| 1.6 模拟过程优化 .....                         | 14 |
| 1.7 高炉模拟冶炼实例 .....                       | 15 |
| 1.8 成绩考核及评分标准 .....                      | 16 |
| 1.8.1 基本要求 (合格) .....                    | 16 |
| 1.8.2 能力提高 (优秀) .....                    | 16 |
| <b>2 转炉炼钢模拟冶炼</b> .....                  | 17 |
| 2.1 转炉炼钢介绍 .....                         | 17 |
| 2.2 模拟冶炼目的 .....                         | 19 |
| 2.3 模拟冶炼任务 .....                         | 19 |
| 2.4 模拟的目标 .....                          | 19 |
| 2.5 模拟操作过程 .....                         | 20 |
| 2.5.1 冶炼条件设计 .....                       | 20 |
| 2.5.2 模拟过程控制 .....                       | 25 |
| 2.6 模拟结果反馈 .....                         | 29 |
| 2.7 转炉模拟冶炼实例 .....                       | 31 |
| 2.8 转炉炼钢基本原理测试 .....                     | 31 |
| 2.9 成绩考核及评分标准 .....                      | 33 |
| 2.9.1 基本要求 (合格) .....                    | 33 |
| 2.9.2 能力提高 (优秀) .....                    | 33 |
| <b>3 电炉炼钢模拟冶炼</b> .....                  | 34 |
| 3.1 电炉炼钢介绍 .....                         | 34 |

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| 3.2    | 模拟冶炼目的                             | 35 |
| 3.3    | 模拟冶炼任务                             | 35 |
| 3.4    | 模拟的目标                              | 35 |
| 3.5    | 模拟操作过程                             | 35 |
| 3.6    | 模拟冶炼操作界面                           | 41 |
| 3.6.1  | 电炉加料                               | 42 |
| 3.6.2  | 熔化废钢                               | 42 |
| 3.6.3  | 钢液成分调整                             | 45 |
| 3.7    | 模拟结果反馈                             | 48 |
| 3.8    | 模拟冶炼配料                             | 49 |
| 3.9    | 电炉测试 (Electrical Arc Furnace Test) | 49 |
| 3.10   | 成绩考核及评分标准                          | 51 |
| 3.10.1 | 基本要求 (合格)                          | 51 |
| 3.10.2 | 能力提高 (优秀)                          | 51 |
| 4      | 二次精炼模拟冶炼                           | 52 |
| 4.1    | 二次精炼介绍                             | 52 |
| 4.2    | 模拟冶炼目的                             | 52 |
| 4.3    | 模拟冶炼任务                             | 53 |
| 4.4    | 模拟的目标                              | 53 |
| 4.5    | 模拟精炼装置                             | 53 |
| 4.6    | 模拟操作过程                             | 55 |
| 4.6.1  | 模拟参数设定                             | 55 |
| 4.6.2  | 模拟过程控制                             | 59 |
| 4.7    | 模拟结果反馈                             | 65 |
| 4.8    | 二次精炼模拟实例                           | 66 |
| 4.9    | 成绩考核及评分标准                          | 67 |
| 5      | 连续铸钢模拟                             | 68 |
| 5.1    | 模拟的目的                              | 68 |
| 5.2    | 模拟的任务                              | 68 |
| 5.3    | 模拟的目标                              | 68 |
| 5.4    | 目标钢种                               | 68 |
| 5.5    | 制定计划                               | 70 |
| 5.5.1  | 目标浇注速度和冷却水流量                       | 70 |
| 5.5.2  | 结晶器振动参数和保护渣                        | 70 |
| 5.5.3  | 单包钢水温度及到达连铸平台时间                    | 71 |
| 5.5.4  | 模拟过程控制                             | 72 |
| 5.6    | 模拟结果反馈                             | 74 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| 5.7    | 模拟实例                | 74  |
| 5.8    | 成绩考核及评分标准           | 75  |
| 6      | 高炉-转炉双联工艺模拟冶炼       | 76  |
| 6.1    | 模拟冶炼目的              | 76  |
| 6.2    | 模拟冶炼任务              | 76  |
| 6.3    | 数据的载入               | 77  |
| 6.4    | 成绩考核及评分标准           | 78  |
| 7      | 转炉(电炉)-二次精炼双联工艺模拟冶炼 | 79  |
| 7.1    | 模拟冶炼目标              | 79  |
| 7.2    | 数据的载入               | 79  |
| 7.3    | 成绩考核及评分标准           | 81  |
| 8      | 二次精炼-连铸双联工艺模拟       | 82  |
| 8.1    | 模拟精炼目标              | 82  |
| 8.2    | 数据的载入               | 82  |
| 8.3    | 成绩考核及评分标准           | 83  |
| 9      | 中厚板模拟轧制             | 84  |
| 9.1    | 中厚板概述               | 84  |
| 9.1.1  | 中厚板的技术要求            | 84  |
| 9.1.2  | 中厚板的生产工艺            | 84  |
| 9.1.3  | 中厚板的控制轧制工艺          | 87  |
| 9.1.4  | 中厚板轧制工艺参数的控制        | 88  |
| 9.2    | 模拟轧制目标              | 89  |
| 9.3    | 模拟轧制流程              | 89  |
| 9.4    | 模拟训练                | 94  |
| 9.4.1  | 模拟任务                | 94  |
| 9.4.2  | 决策和采取的措施            | 95  |
| 9.4.3  | 成果                  | 95  |
| 9.4.4  | 操作内容                | 96  |
| 9.4.5  | 操作步骤                | 96  |
| 9.4.6  | 用户操作界面              | 97  |
| 10     | 型钢模拟轧制              | 107 |
| 10.1   | 型钢概述                | 107 |
| 10.1.1 | 型钢的分类               | 107 |
| 10.1.2 | 热轧型钢生产工艺流程          | 108 |



|        |                   |     |
|--------|-------------------|-----|
| 10.2   | 模拟轧制 .....        | 110 |
| 10.2.1 | 生产线操作界面视图 .....   | 110 |
| 10.2.2 | 粗轧机架视图 .....      | 111 |
| 10.2.3 | REF 机架视图 .....    | 112 |
| 11     | 材料性能模拟测试 .....    | 114 |
| 11.1   | 拉伸模拟测试 .....      | 114 |
| 11.1.1 | 拉伸试验介绍 .....      | 114 |
| 11.1.2 | 拉伸模拟测试目的 .....    | 114 |
| 11.1.3 | 模拟过程 .....        | 114 |
| 11.2   | 硬度模拟测试 .....      | 124 |
| 11.2.1 | 硬度测试介绍 .....      | 124 |
| 11.2.2 | 硬度模拟测试目的 .....    | 124 |
| 11.2.3 | 模拟过程 .....        | 124 |
| 11.3   | 夏比模拟测试 .....      | 129 |
| 11.3.1 | 夏比测试介绍 .....      | 129 |
| 11.3.2 | 夏比模拟测试目的 .....    | 129 |
| 11.3.3 | 模拟过程 .....        | 129 |
| 11.4   | 设计和生产高强度钢 .....   | 139 |
| 11.4.1 | 简介 .....          | 139 |
| 11.4.2 | 客户对高强度厚板的要求 ..... | 139 |
| 11.4.3 | 操作步骤 .....        | 140 |
| 11.4.4 | 注意事项 .....        | 142 |

# 1 高炉炼铁模拟冶炼

## 1.1 高炉炼铁介绍

炼铁过程实质上是将铁从其自然形态——矿石等含铁化合物中还原出来的过程。炼铁方法主要有高炉法、直接还原法、熔融还原法等，其原理是矿石在特定的气氛中（还原物质  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{C}$ ；适宜温度等），通过物化反应获取还原后的生铁。生铁除了少部分用于铸造外，绝大部分是作为炼钢原料。

高炉炼铁主要以铁矿石、焦炭、石灰石、空气等作为炉料，为了给炉内提供足够的透气性，在装入高炉使用之前，铁矿石首先要进行烧结或者球团处理。炼焦厂要准备好冶金级别的焦炭。随后，将一定比例的烧结矿、球团矿、块矿作为炼铁原料与焦炭、熔剂从高炉的炉顶以分层的方式从炉顶装入，从位于炉子下部沿炉周的风口吹入经预热的空气。焦炭和粉煤的燃烧在高炉的循环区产生热量和一氧化碳还原气体，在炉内上升过程中除去铁矿石中的氧，从而还原得到铁。炼出的铁水从铁口放出。铁矿石中不还原的杂质和石灰石等熔剂结合生成炉渣，从渣口排出。产生的煤气从炉顶导出，经除尘后，作为热风炉、加热炉、焦炉、锅炉等的燃料。

## 1.2 模拟冶炼目的

让学生紧紧围绕高炉炼铁模拟冶炼任务，进一步综合强化在理论课程中所学习的基础理论、基本知识和基本技能，通过钢铁大学网站高炉炼铁模块进行模拟操作（<http://www.steeluniversity.org/>），冶炼出成分和温度合格的铁水，并满足其他各项技术经济指标的要求。

## 1.3 模拟冶炼任务

- (1) 模拟前熟悉模拟过程中如何选择、设置各种数据、参数；
- (2) 进行钢铁大学网站提供的高炉模拟操作，成功模拟产生的反馈结果将作为成绩评判的依据。

## 1.4 模拟的目标

本模拟的目标是使用铁矿石作为含铁原料，焦炭和粉煤作为还原剂以及石灰或石灰石作为熔剂，通过选择适当的原料及装入比例、生产过程参数，以获得目标铁水。通过优化

生产工艺使目标铁水的成本最低是模拟的终极目标。

## 1.5 模拟界面

选择高炉模块后，点击“Blast Furnace Simulation”进入高炉模拟冶炼界面，如图1-1所示。

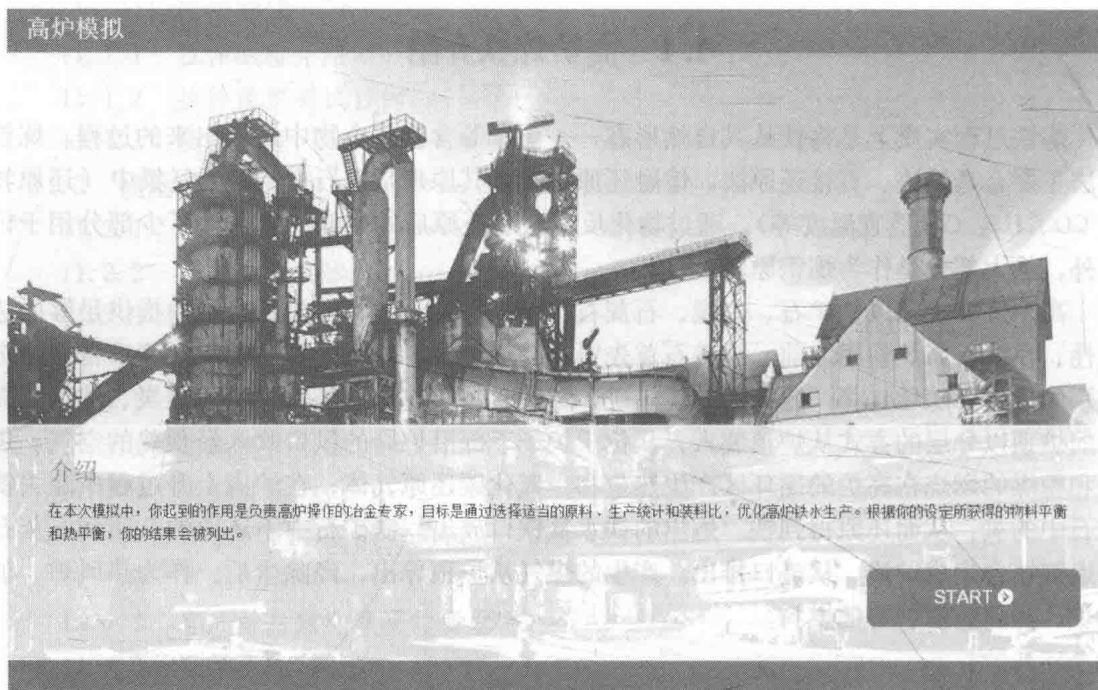


图1-1 模拟登录界面

### 1.5.1 入炉原料成分设定

继续进行模拟，会进入到图1-2所示界面，在此界面中主要设定入炉原料的成分。

高炉炼铁的原料主要有铁矿石（天然富矿或人造富矿）、其他含铁原料、熔剂和焦炭。含铁量在50%以上的天然富矿经适当破碎、筛分处理后可直接用于高炉冶炼。贫铁矿一般不能直接入炉，需要破碎、富集并重新造块，制成人造富矿（烧结矿或球团矿）再入高炉。人造富矿含铁量一般在55%~65%之间。由于人造富矿经过焙烧或者烧结高温处理，又称为熟料，其冶炼性能远比天然富矿优越，是现代高炉冶炼的主要原料。天然块矿统称为生料。

本模拟中提供的炼铁原料如下：

(1) Sinters（烧结矿）。点击“Sinter”可进入图1-3所示的烧结矿成分设定界面。

烧结矿是指将铁精矿或富矿粉配入一定数量的固体燃料和熔剂，经烧结而成的块状炉料，是炼铁主要的矿石原料。本模拟中烧结矿种类包括A、B、C、D、E五类，每类都给出了具体的化学成分，如 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 及 $\text{CaO}$ 等成分含量，及矿料相应的原料成本，操作者可根据自己的冶炼需求对其成分进行修改（建议按照现场实际进行修改，否则不应进行

## 高炉模拟

## 模拟的设置



图 1-2 原料成分设定主界面

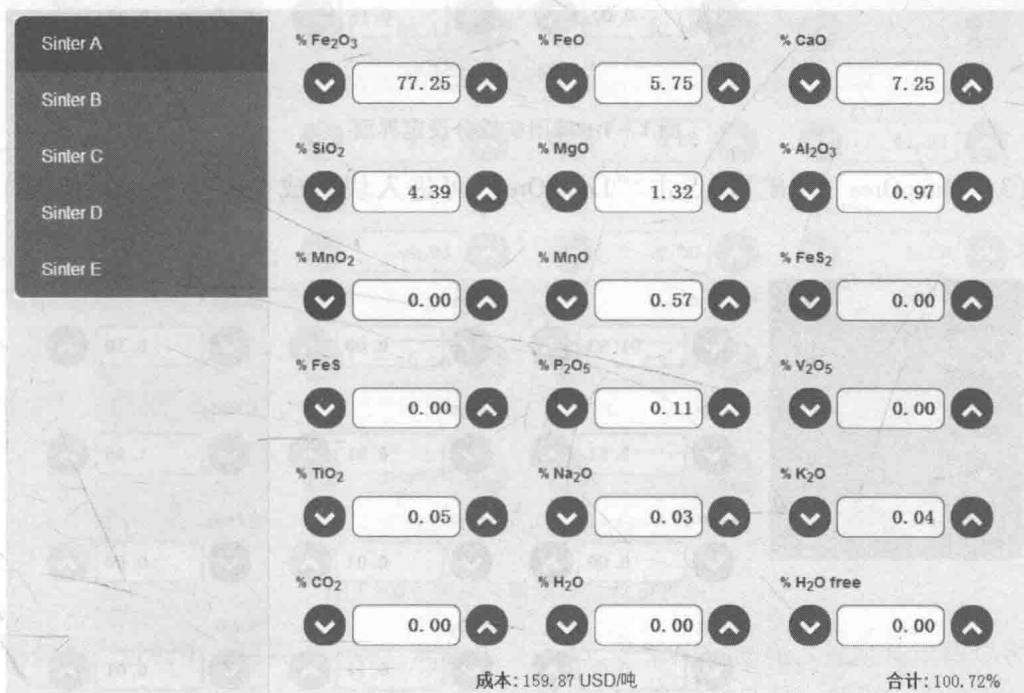


图 1-3 烧结矿成分设定界面

大的改动)。

(2) 球团矿。点击“球团”可进入球团矿成分设定界面,如图 1-4 所示。球团也是矿石原料的一种。先将铁精矿粉加适量的水分和黏结剂制成黏度均匀、具有足够强度的生球,经干燥、预热后在氧化气氛中焙烧,使生球结团,制成球团矿。

在模拟中烧结矿种类也包括 A、B、C、D、E 五类,每类都给出了具体的化学成分及相应的原料成本,与烧结矿一样,操作者可根据自己的冶炼需求对其成分进行修改(建议按照现场实际进行修改,否则不应进行大的改动)。

|                  |                                  |                                 |                                  |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 球团矿 A            | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % FeO                           | % CaO                            |
| 球团矿 B            | 93.74                            | 0.00                            | 0.73                             |
| 球团矿 C            | % SiO <sub>2</sub>               | % MgO                           | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 球团矿 D            | 1.95                             | 0.34                            | 0.29                             |
| 球团矿 E            | % MnO <sub>2</sub>               | % MnO                           | % FeS <sub>2</sub>               |
|                  | 0.00                             | 0.15                            | 0.00                             |
|                  | % FeS                            | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |
|                  | 0.01                             | 0.02                            | 0.00                             |
|                  | % TiO <sub>2</sub>               | % Na <sub>2</sub> O             | % K <sub>2</sub> O               |
|                  | 0.04                             | 0.03                            | 0.01                             |
|                  | % CO <sub>2</sub>                | % H <sub>2</sub> O              | % H <sub>2</sub> O free          |
|                  | 0.00                             | 0.15                            | 2.50                             |
| 成本: 112.89 USD/吨 |                                  |                                 | 合计: 99.96%                       |

图 1-4 球团矿成分设定界面

(3) LumpOres (块矿)。点击“LumpOre”可进入块矿成分设定界面,如图 1-5 所示。

|                 |                                  |                                 |                                  |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 块矿 A            | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % FeO                           | % CaO                            |
| 块矿 B            | 91.93                            | 0.00                            | 0.10                             |
| 块矿 C            | % SiO <sub>2</sub>               | % MgO                           | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 块矿 D            | 3.61                             | 0.01                            | 1.46                             |
| 块矿 E            | % MnO <sub>2</sub>               | % MnO                           | % FeS <sub>2</sub>               |
|                 | 0.00                             | 0.04                            | 0.00                             |
|                 | % FeS                            | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |
|                 | 0.07                             | 0.11                            | 0.01                             |
|                 | % TiO <sub>2</sub>               | % Na <sub>2</sub> O             | % K <sub>2</sub> O               |
|                 | 0.01                             | 0.05                            | 0.15                             |
|                 | % CO <sub>2</sub>                | % H <sub>2</sub> O              | % H <sub>2</sub> O free          |
|                 | 0.00                             | 0.53                            | 2.47                             |
| 成本: 98.12 USD/吨 |                                  |                                 | 合计: 100.53%                      |

图 1-5 块矿成分设定界面

入炉原料之一的块矿属原生矿，与烧结矿和球团矿相比，更具成本优势，但块矿中的锌、磷、碱金属等有害元素会影响炉况顺行，造成焦比上升、产量下降，进而导致生铁成本增加。目前宝钢等大型钢厂能将块矿比例稳定在 23% 以上，并保证高炉顺行。

本模拟提供了五种块矿供操作者选择，其原料成本远低于烧结矿和球团矿，提高块矿比例会大大降低炼铁成本。操作者也可根据自己的冶炼需求对其成分进行修改（建议按照现场实际进行修改，否则不应进行大的改动）。

(4) 再利用原料。点击“再利用原料”进入到返料成分设定界面。再利用原料通常包括冷热轧返料、炼钢渣、高炉灰等，有五种类型可供选择，其他设定方法与烧结矿及球团矿相同。

(5) coke\_and\_coal。点击“coke\_and\_coal”进入焦炭与粉煤成分设定界面，如图 1-6 所示。

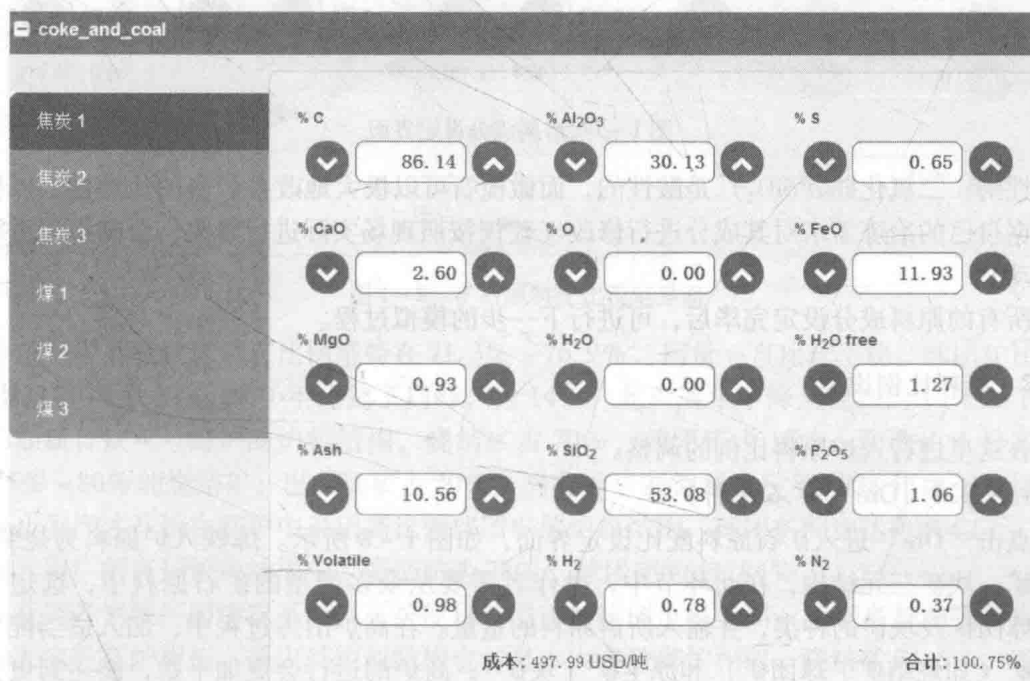


图 1-6 焦炭与粉煤成分设定界面

高炉生产过程中，焦炭（coke）和粉煤（coal）是常用的燃料。焦炭是用焦煤在隔绝空气的高温（1000℃）下，进行干馏、炭化而得到的多孔块状产品。高炉冶炼过程总热量的 70% ~ 80% 是由焦炭和粉煤燃烧提供，焦炭还作为高炉冶炼所需的还原剂，支持料柱、维持炉内透气性的骨架。生产焦炭需用大量昂贵的炼焦煤，所以必须节约使用。从高炉风口喷吹粉煤，可以节省焦炭，降低生产成本。

在本模拟中，提供了三种焦炭及三种粉煤供选择，操作者可根据自己的冶炼需求对其成分进行修改（建议按照现场实际进行修改，否则不应进行大的改动）。

(6) 熔剂。点击“熔剂”进入熔剂成分设定界面，如图 1-7 所示。

熔剂用来降低矿石、脉石和焦炭灰分在造渣时的熔点，以形成易流动的炉渣，并去除硫分，以改善生铁质量。有四种熔剂可供选择，其中，石灰石（CaO）和白云石（MgO）

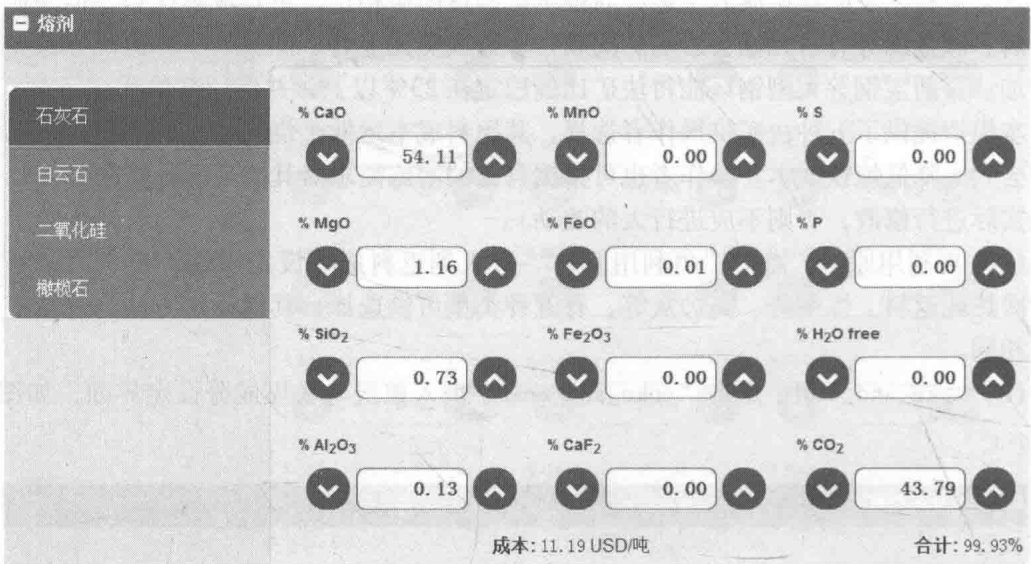


图 1-7 熔剂成分设定界面

是碱性的；二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）是酸性的，而橄榄石可以极大地改善炉渣的流动性。操作者可根据自己的冶炼需求对其成分进行修改（建议按照现场实际进行修改，否则不应进行大的改动）。

所有的原料成分设定完毕后，可进行下一步的模拟过程。

### 1.5.2 装料比例设定

在这里进行入炉原料比例的调整。

#### 1.5.2.1 Ore（矿石原料）

点击“Ore”进入矿石原料配比设定界面，如图 1-8 所示。炼铁入炉原料为烧结矿、球团矿、块矿三元结构，在此环节中，操作者需要从众多类型的矿石原料中，选定烧结矿、球团矿及块矿的种类，并输入所需原料的重量。在高炉冶炼过程中，加入适当配比的人造矿（如烧结矿、球团矿）和原生矿（块矿），高炉的运行会更加平稳，能达到更高的生产效率。

各钢铁厂的情况不同和矿源不同决定了其不同的高炉炉料结构。北美高炉以球团矿为主，因为其矿源多为细精矿，适宜生产球团矿。欧盟由于环保要求，烧结厂的生产建设和受到了严格的限制，为进一步改善高炉炼铁指标，充分发挥球团矿在高炉炼铁中优越的冶金性能，因而以球团矿为主。欧美高炉球团矿使用比例一般都较高，个别的高炉达 100%，其中一部分高炉使用熔剂型球团矿，如加拿大 Algoma7 号高炉熔剂球团矿比例达 99%，墨西哥 AHMSA 公司 Monclova 厂 5 号高炉熔剂球团矿比例为 93%，美国 AKSteel 公司 Ashland. KY 厂 Amanda 高炉熔剂球团矿比例为 90% 以上；另一部分高炉以酸性球团矿为主，配比一般在 70% 以上。欧洲的高炉中，瑞典、英国和德国的部分高炉球团矿的比例很高。

亚洲国家的高炉一般以烧结矿为主，高达 70% 左右。日本、韩国高炉以烧结矿为主，因为其铁料是国际上购买的粉矿，适宜生产烧结矿。日本高炉炉料结构的特点是烧结矿比例高且一直比较平稳，而球团矿比例自 1979 年以来一直在下降，块矿比一直在上升。



图 1-8 矿石原料配比设定界面

高炉炉料中高碱度烧结矿比例维持在 71.3% ~ 76.9%，用量一直比较平稳。球团矿比例自 20 世纪 70 年代初至 1979 年达到了高峰，为 14%，此后逐年下降至现在的 10% 以下。典型的如新日铁 4 号高炉的炉料结构，烧结矿占 70%，球团矿占 10%；和歌山 4 号高炉使用 75% ~ 80% 的烧结矿，巴西块矿占 20%。只有神户制钢神户厂于 1998 年由于烧结机老化停止生产才开始在高炉中采用高比例球团矿的炉料结构，球团矿配比达 70% 以上。韩国浦项光阳厂的高炉炉料结构中，烧结矿为 74%，球团矿为 11.84%。

我国各钢铁厂因情况不同，高炉使用球团矿的比例也很不同。宝钢高炉的铁料来源与日本大多数高炉相似，所以其炉料结构也与日本大多数高炉相似，烧结矿 74.5%，球团矿 8.5%，块矿 17%。

在本模拟中，为了符合生产实际，建议块矿比例在 30% 以下，烧结矿或球团矿的比例根据实际情况自行设定。

### 1.5.2.2 燃料

点击“燃料”按钮进入燃料设定环节，如图 1-9 所示。

在此环节中，操作者需要调整不同类型的焦炭及粉煤的重量来设定适宜的焦比、煤比及燃料比，焦比及煤比均是高炉炼铁的技术经济指标，即高炉每冶炼一吨合格生铁所耗用焦炭或粉煤的吨数。燃料比即为焦比与煤比的总和，焦比、煤比及燃料比的单位均为 kg/t，努力提高喷煤比是炼铁技术发展方向，有利于节焦，缓解主焦煤的紧张，有效地降低成本，有较好的节能减排效应。企业根据炉料质量不同的条件，要努力提高喷煤比，大高炉的煤比不应低于 150kg/t，争取效益最大化。

努力降低燃料比也是炼铁的重要工作，也是降低生产成本，实现环境友好工作的主要



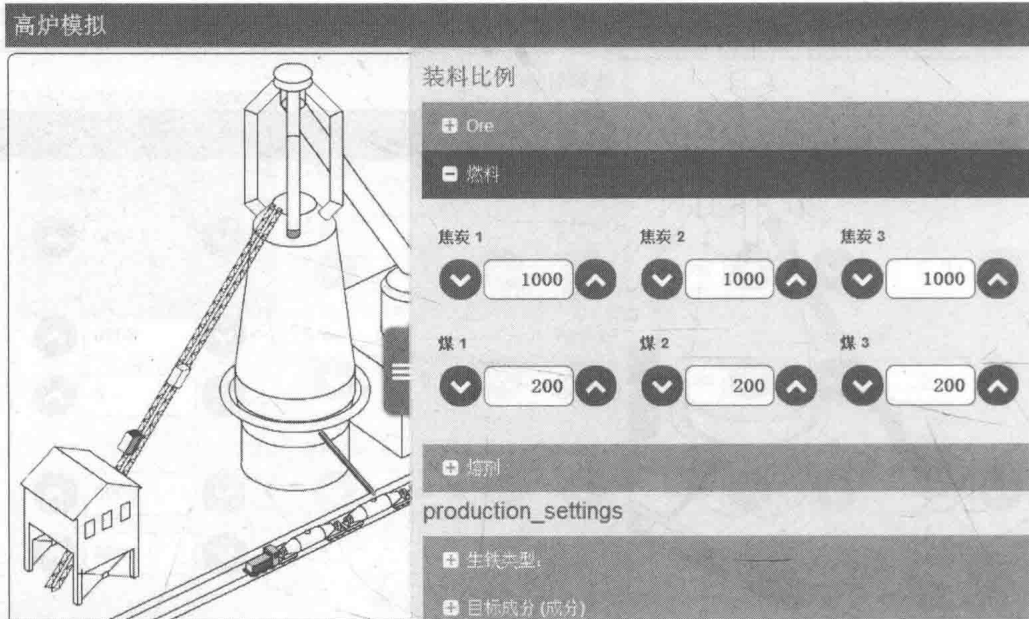


图 1-9 燃料比例设定界面

方面。降低燃料比的主要工作内容：高品位、高温、高炉稳定顺行，炉料质量稳定，优化高炉操作等。世界先进水平的燃料比是低于  $500\text{kg/t}$ ，我国大于  $3200\text{m}^3$  高炉有 3 座燃料比低于  $500\text{kg/t}$ ，1 座高炉焦比低于  $300\text{kg/t}$ 。

在本模拟中，降低焦比并提高煤比可降低生产成本，但会对下一步的物料及热量平衡产生剧烈波动，需根据矿石原料重量合理调节。

### 1.5.2.3 熔剂

点击“熔剂”可进入熔剂比例设定界面，如图 1-10 所示。



图 1-10 熔剂比例设定界面

熔剂的作用主要是调整高炉渣碱度，以满足模拟要求。

目前，高炉已不再追求高熟料比了，但熟料率不要低于  $80\%$ 。用高品位块矿可有效提高入炉铁品位，降低造块过程的环境污染；使用高碱度烧结矿后，为调节炉渣碱度，球团矿价格贵，使用球团矿成本高，用块矿调节炉渣碱度是好办法。