

1933874

分类号 _____

密级 _____

UDC _____

学 位 论 文

首钢结构调整对能耗影响的计算机辅助系统研究与应用

作者姓名：刘威

指导教师：蔡九菊 教授

东北大学热能与环境工程研究所

申请学位级别：硕士

学 科 类 别：工学

学科专业名称：热能工程

论文提交日期：2008年1月

论文答辩日期：2008年3月6日

学位授予日期：2008年3月

答辩委员会主席：杜涛

评 阅 人：文博 杜涛

东 北 大 学

2008年3月



Y1843126

A Dissertation in Thermal Engineering

**Research and application on the
computer-aided system of Shougang structural
adjustment to energy consumption**

by Liu Wei

Supervisor: Professor Cai Jiuju

**Northeastern University
March 2008**

31

32

独创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名： 刘威

日 期： 2008年3月6日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索、交流。

（如作者和导师不同意网上交流，请在下方签名；否则视为同意。）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

签字日期：

首钢结构调整对能耗影响的计算机辅助系统研究与应用

摘 要

本文以北京奥运年首钢分阶段减产为背景, 为了实现首钢由正常生产向减产后的顺利过渡, 首钢对现有的生产结构进行调整, 对生产系统中能耗大、效率低的老设备进行关停。由于减产后可能会导致企业副产能源亏损、原燃料不足、动力供需不平衡等问题, 如何解决压产后带来的负面影响, 成为企业关注的焦点。为了保证减产后的稳定生产, 如何对减产后的能源的亏缺、原材料的不足在数量上有个定性的认识, 从而为企业更好的调整生产结构, 保证稳定生产提供辅助决策, 研究和开发首钢结构调整对能耗影响的计算机辅助系统成为本文的研究内容。

本文首先介绍了首钢现状及首钢奥运年减产方案, 提出了由于企业结构调整导致企业出现的问题; 其次, 介绍了本文研究的理论基础—系统节能和系统节能的模型化研究方法; 然后, 介绍了开发《首钢 2008 压产能耗分析》计算机辅助系统软件的技术支持—MATLAB 和 VB, 其中 MATLAB 用于建立能耗数学模型, VB 用于开发软件系统; 随后, 介绍了《首钢 2008 压产能耗分析》计算机辅助系统的设计方法、基础数据库的设计、界面以及主体结构的设计、主要功能的设计; 在 MATLAB 环境下建立了首钢能耗数学模型, 该数学模型以 M 文件的形式存在, 经过编译后被主程序所调用; 首钢用户可以利用该软件针对首钢 2008 年压产方案进行能耗分析, 为压产后的生产方案调整提供依据和参考。

最后, 在开发首钢能耗计算模型的基础上, 细分投入产出表, 利用计算机算法, 以 M 文件的形式开发出了钢铁企业能耗计算通用数学模型。该数学模型不受具体钢铁企业的限制, 以 excel 表为数据库, 用户可以在 excel 表中按照表中的规定录入不同企业相应的基础数据 (各主要生产工序间的物流关系、各主要生产工序中单体设备单耗情况、外购能源的能值 (或热值) 及自产产品的外销情况)。通过模型的计算, 将得到的企业产出数据 (企业吨钢综合能耗、各工序能耗、各种产品能值、自产产品的数量以及能源和非能源产品的购入量等)。随后用首钢 2006 年、鞍钢 2005、2006 年数据对此通用模型进行测试, 结果表明模型模拟效果良好。

关键词: 首钢; 结构调整; 投入产出理论; 能耗; 计算机辅助系统; 数学模型;

Research and application on the computer-aided system of Shougang structural adjustment to energy consumption

Abstract

This paper is in the background of Beijing Shougang phase reduction in the Olympic Games years, In order to achieve Shougang from production to normal production after the smooth transition of the existing production Shougang structural adjustment of the energy production system, the old inefficient equipment will be shutdown. The pressure may lead to postpartum corporate vice loss of energy production, the shortage of fuel, power imbalance between supply and demand issues such as ways to solve the pressure of the negative impact of postpartum becomes the focus of attention of enterprises. In order to ensure stable production after production, how energy production after the deficit, the shortage of raw materials in quantity ,there is a qualitative understanding, so as to better enterprises to adjust production structure, and ensuring stability in the provision of supporting decision-making production, Research and development on the the computer-aided system of Shougang structure adjustments on the energy consumption become this paper of content.

This paper firstly introduce the statue of Shougang and Shougang production programme in 2008 Olympic Games year, introduce a result of structural adjustment in production caused by the problems facing enterprises;Secondly,introduce the theoretical basis of this paper —the basic concept of energy-saving system and the model of the energy-saving system research methods;Thirdly,introduce the support tools of <Shougang 2008 energy consuming analysis> Computer-aidedsystem—MATLAB and VB;Then, introduce the design of method, basic database, interface and the main structure,function of this software.;establish a mathematical model of energy consumption calculation procedures in the MATLAB environment, the mathematical model was in the form of M documents which was called by the main program after being compiled.

Users can use the software to make a analysis for 2008 Shougang pressure of energy

production program and being provided with the the basis and reference of it.

Lastly, Based on Shougang energy consumption calculation model, by splitting the input-output tables, using computer algorithms, use MATLAB tools in the form of M document to develop the energy consumption of iron and steel enterprises mathematical model. This mathematical model of the iron and steel enterprises without specific restrictions, using Excel as the database table, Users can excel in the table in accordance with the provisions of entry in the table of the corresponding enterprises basic data (all the major production logistics, the main production processes in the monomer equipment consumption, outsourcing to the value of energy (or heat value) and the products they produce for export). By model calculation, there will be the output data (business metric tons overall energy consumption, the processes of energy consumption, the energy of products, the number of products they produce, and energy and non-energy products purchase volume, etc.) into the excel indicators table. Later on, using the data from shougang and angang to test the model shows that the simulation make a good result.

Keywords: Shougang; Restructuring; Input-output method; Energy Consumption; Computer-aided system; Mathematical Model;

目 录

独创性声明.....I

摘 要.....II

Abstract.....III

第 1 章 绪论.....1

 1.1 我国钢铁工业发展及节能现状.....1

 1.1.1 我国钢铁工业的发展现状.....1

 1.1.2 我国钢铁节能降耗现状分析.....2

 1.2 研究背景.....3

 1.2.1 首钢结构调整方案.....3

 1.3 研究内容及方法.....4

 1.3.1 本文研究的内容.....4

 1.3.2 研究方法.....5

 1.4 研究的意义.....5

 1.5 研究现状.....5

第 2 章 系统节能及模型化方法.....7

 2.1 系统节能的基本概念.....7

 2.1.1 产品能耗.....7

 2.1.2 载能体.....8

 2.1.3 产品能值的计算.....9

 2.2 系统节能模型化方法.....10

 2.2.1 投入产出表.....11

 2.2.2 投入产出模型.....11

 2.2.3 能耗模型.....19

第 3 章 系统的结构及功能设计.....21

 3.1 系统的技术支持.....21

 3.1.1 MATLAB 及其在本文中的应用.....21

 3.1.2 VB 及其在本文中的应用.....23

 3.2 系统设计方法.....26

 3.3 系统基础数据库设计.....26

3.3.1 首钢基础数据库的组成	27
3.4 系统主体结构及界面设计	28
3.5 系统主要功能设计	34
3.5.1 数据初始化与信息显示	34
3.5.2 设备的停产与恢复	39
3.5.3 能耗计算与分析	40
3.5.4 辅助决策	42
第 4 章 系统的数学模型	45
4.1 首钢多级投入产出模型	45
4.2 首钢产品能值模型	47
4.3 首钢能耗模型	48
4.4 模型计算结果	49
4.4.1 2006 年首钢基础数据	49
4.4.2 压产方案及模型计算结果	51
第 5 章 能耗通用数学模型的研究	53
5.1 能耗通用数学模型	53
5.1.1 投入产出模型	54
5.1.2 能值模型	55
5.1.3 能耗模型	56
5.2 模型应用	57
第 6 章 结论	60
参考文献	61
致谢	63

第1章 绪论

1.1 我国钢铁工业发展及节能现状

1.1.1 我国钢铁工业的发展现状

2006年中国国民经济继续保持平稳较快发展^[1], 经济社会发展实现了“十一五”的良好开局, 按国家统计局快报, 按可比价格计算, 全年国内生产总值比上年增长10.7%, 全部工业增加值比上年增长12.5%, 全社会固定资产投资比上年增长24.0%, 进出口总额17607亿美元, 比上年增长23.8%。中国经济增长促进和带动了中国钢铁工业发展。总的来看, 中国钢铁工业发展态势良好, 正朝着国家宏观调控的预期目标方向变化。

1、中国钢铁工业发展满足国内市场需要能力显著增强

2006年在中国国内强劲的市场需求拉动下, 国内市场粗钢表观消费量达到了38460万吨, 比上年增长了8.15%, 中国粗钢产量41878.2万吨, 比上年增加6533.25万吨, 增长18.48%, 登上了4亿吨的大台阶, 提升了中国钢铁工业满足国内市场需求的能力, 2006年国产钢材国内市场占有率上升到95.82%, 比上年提高2.61个百分点, 创历史最高水平, 为中国国民经济发展做出了重大的贡献。

2、对全球钢铁生产消费和贸易的引领地位显著增强

2006年中国粗钢产量为41878.2万吨, 占世界粗钢产量的比重达到了34.3%, 按粗钢计国内市场粗钢表观消费量为38460万吨, 占世界粗钢消费总量的比重达到了30.98%, 对世界钢铁工业发展起了重要作用。

3、中国钢铁工业发展对世界铁矿资源的依存度进一步增加

近年来, 中国的生铁产量大幅度增加, 国内铁矿石产量增长也较大, 但供需缺口很大, 大量进口铁矿石满足钢铁生产需要。

4、中国钢材生产品种结构调整取得重大进展

5、中国钢铁工业加大了降低能耗、减少污染物排放的力度

2006年纳入统计的大中型钢铁企业总能耗19779.05万吨标煤, 比上年同期增加1540.55万吨标煤耗, 增长8.45%, 比粗钢产量增幅低10.03个百分点。2006年吨钢综合能耗645.12千克标煤/吨, 同比下降7.06%; 吨钢可比能耗623.04千克标煤/吨, 同比下降6.19%; 吨钢消耗新水6.56吨/吨, 同比下降14.9%。

6、中国钢铁工业固定资产完成投资额增幅明显回落

7、中国钢铁工业实现利润创历史最好水平

2006年中国钢铁工业实现利税2795亿元,比上年增加540亿元,增长23.95%;实现利润1699.5亿元,比上年增加397.58亿元,增长30.6%。

2006年中国钢铁工业取得了巨大成就,在发展速度、质量、效益方面均有重大的进步。按照科学发展观的要求,2006年中国钢铁工业是在投入相对下降的情况下实现了平稳较快发展,满足了国民经济发展对钢铁产品的需求,全行业正在逐步走上优化结构、转变增长方式的科学发展道路。当然,我们也应当认识到,在钢铁工业发展过程中,还存在着一系列矛盾和问题,主要表现在:一是中国钢铁产业集中度不高,而且有所下降。二是中国钢铁企业联合重组进展缓慢,体制机制改革明显滞后,全行业存在总体产能过剩的问题,而且生产力布局不合理。三是钢铁产品生产结构和出口结构,有待进一步优化,自主创新和新产品开发能力需要进一步提高。四是中国钢铁产业在节能减排方面虽然取得了较大的进步,但钢铁行业是全国耗能、污染物排放的大户,能源和环境因素明显制约钢铁工业发展等。

1.1.2 我国钢铁节能降耗现状分析

钢铁产业是能耗大户,2005年钢铁行业耗能3.6亿吨标煤,占全国总耗能22.33亿吨标煤的16.11%。因此,降低钢铁企业能耗是事关我国钢铁产业可持续发展的重要课题^[2]。

我国《钢铁产业发展政策》中规定,2005年到2010年钢铁产业发展目标是“大力降低能耗,综合能耗<700千克标煤/吨钢>”。

我国钢铁节能工作取得了显著成效:

近十几年来^[35-37],我国钢铁工业在技术进步、科技创新和技术装备水平等方面,都取得了长足进步。由于结构性指标(如:铁钢比、喷煤比、连铸比等)和主要生产工序技术经济指标明显改善,以及强化了能源管理、大范围地采用了余热、余压、余能利用等多方位的综合措施,大中型企业工序能耗稳步降低,特别是特大型企业炼铁、炼钢、轧钢等主要生产工序,部分技术经济指标接近或者达到国际先进水平,大大缩短了我国钢铁工业与世界主要产钢国家的能源消耗差距。企业吨钢能源消耗水平明显降低。我国主要钢铁企业吨钢综合能耗从1990年的1.611吨标煤/吨钢^[10],降到2005年的0.741吨标煤/吨钢,年平均降低5.04%。我国主要钢铁企业吨钢可比能耗从1990年的0.997吨标煤/吨钢,降到2005年的0.714吨标煤/吨钢,年平均降低2.2%。虽然我国钢铁业在降低能耗方面已经取得很大成绩,但未来我国钢铁生产节能仍有很大潜力。“十一五”期间,随着钢铁制造主体工艺的优化、装备水平的不断提高;二次能源、余能和余热回收利用力度的不断加大;动力介质转换效率的不断提高;煤气放散率和能源亏损的不断缩小;结构调整,能耗高的落后工艺

设备的逐步淘汰;以及越来越多的企业能源中心的建设等,我国钢铁节能成效,将会更加充分地显现出来。

钢铁工业节能形势依然严峻^[14]:

1.中国的中小钢铁企业的烧结、炼焦、炼铁等工序能耗指标,高于重点大中型钢铁企业。2.目前我国钢铁产品链在不断延长,吨钢能耗还存在上升因素,钢铁企业冷轧及其涂、镀层板卷产量比例上升,是导致轧钢工序能耗上升的重要因素。目前各大企业都在不断开发新品种、增产高附加值产品,使炼钢过程中铁水预处理、精炼工序的能耗不断提高。3.转炉炼钢比重大,其铁钢比是影响吨钢能耗的重要因素。4.重点大中型企业综合能耗指标还有波动现象。

1.2 研究背景

2006 年首钢钢产量为 814.07 万 t, 材产量为 847.39 万 t, 2006 年首钢吨钢综合能耗为 724kgce/t 钢, 吨钢可比能耗为 687kgce/t 钢。按照国家发改委对首钢搬迁、结构调整和环境治理的批复要求, 根据北京市陆昊副市长的三点指示: “一是坚决完成压缩 400 万吨钢, 2008 年全年按 420 万吨钢组织生产; 二是 2007 年底采取各项停产措施, 将陆续停产四号、二号高炉和四座烧结机以及第三炼钢厂; 三是为最大限度减少奥运会期间污染物排放, 2008 年三季度将采取非常措施, 每月按 20 万吨钢组织生产”。首钢总公司提出了 2008 年首钢总公司压产保安全生产方案, 年产 800 万吨钢的联合企业, 产能在非常短的时间内压缩一半, 在国内外绝无仅有, 更无先例借鉴, 在实施过程中会打破原有平衡, 相应带来工艺变化、设备工况变化、流程变化和人员变化。为了实现由正常生产向减产后的顺利过渡, 首钢对现有的生产结构进行调整, 对生产系统中能耗大、效率低的老设备进行关停。由于减产, 导致企业自给能源亏缺, 原材料不足, 如何解决减产后带来的负面影响, 成为企业决策者关注的焦点。

1.2.1 首钢结构调整方案

实施原则:

以 420 万吨为基础, 以停产时间先后为顺序, 以各系统的平衡为条件, 以确保人身设备环保安全为保证, 以节能减排为重点, 以经济效益为目标。

实施方案:

第一阶段: 2007 年底停四高炉, 同时停两台烧结机、停三炼钢两座转炉两台铸机。动力系统停 2#风机、二高炉由 4#风机供风, 停与四高炉相关的十泵站、二泵站的四炉水

泵, 停与四高炉和 2#风机相关的热力设备,在保冬季供暖的前提下, 停中低压锅炉 4-5 台, 制氧运行三万和三万五两大机组,5#6#机组补充不足。电力系统暂停六总降 1 台 2 万千瓦安变压器, 停四炉压差发电机组。

第二阶段: 2008 年一季末三炼钢全停, 停二高炉、二烧车间停产。动力系统 4#风机停机备用, 停与二高炉和 4#风机相关的水泵, 停与二高炉和 4#风机相关的热力设备, 制氧运行三万五加两台小机组, 根据高炉富氧情况开两大机组。电力系统暂停三总降 1 台 7500 千伏安变压器, 停二炉压差发电机组暂封存。

第三阶段: 2008 年奥运会期间(三季度)炼铁单炉生产。为最大限度减少奥运会期间污染物排放, 届时将采取非常措施, 在四高炉、二高炉已停的基础上, 二季度末停三高炉, 一高炉单炉生产。停一烧 1#2#烧结机, 8 台烧结机保留 2 台生产。动力系统 3#风机给一高炉供风, 1#风机停机备用, 4#风机动态备用, 停与三高炉相关的水泵、热力设备, 制氧运行三万五机组, 液氧液氮高位保持在 10 米以上。电力系统停十四总降 1 台 4 万千瓦安变压器, 暂停三炉压差发电机组。

1.3 研究内容及方法

1.3.1 本文研究的内容

首钢在奥运年进行减产生产^[34], 为了实现由正常生产向减产后的顺利过渡, 企业对现有的生产结构进行调整, 对生产系统中能耗大、效率低的老设备进行关停。为了保证减产后稳定生产, 如何对减产后能源的亏缺、原材料的不足在数量上有个感性的认识, 从而为企业更好的调整生产结构, 保证稳定生产提供辅助决策。研究和开发首钢结构调整对能耗影响的计算机辅助系统成为本文的研究内容。

本文以首钢生产现状为研究对象, 建立首钢 excel 基础数据库(投入产出表), 运用系统节能理论和分析方法, 用 MATLAB 程序建立首钢能耗计算模型(包括能耗计算、分析及辅助决策), 用 Visual Basic 作为软件开发工具, 开发了《首钢 2008 压产能耗分析》软件。并且针对首钢 2008 年压产方案进行能耗分析, 为压产后的生产方案调整提供依据和参考。

随后在开发首钢能耗计算模型的基础上, 针对首钢、鞍钢等几大钢铁企业, 结合系统节能理论、钢铁企业投入产出法、计算机语言算法, 用 MATLAB 语言以 M 文件的形式开发出了钢铁企业能耗计算通用数学模型。该数学模型不受具体钢铁企业的限制, 以

excel 为数据库，用户可以在 excel 表中按照表中的规定录入企业相应的基础数据（各主要生产工序间的物流关系、各主要生产工序中单体设备单耗情况、外购能源的能值（或热值）及自产产品的外销情况），以这些数据作为数学模型的输入。通过模型的计算，将得到的企业产出数据（企业吨钢综合能耗、各工序能耗、各种产品能值、自产产品的数量以及能源和非能源产品的购入量等）写入指标表中，这些数据作为数学模型的输出。

1.3.2 研究方法

研究节能、能耗问题可以采用的方法很多，国内为企业系统节能研究的方法大致可以归纳为两类，一是模型化方法，二是分析方法。

模型化方法就是用数学模型的方法来描述所要研究的问题。国内外采用模型化方法对企业系统进行节能研究的模型主要有投入产出模型、优化模型、平衡模型和神经网络模型等，针对首钢的情况和工艺特点，本文采用投入产出模型来研究企业的能源结构和节能问题。

1.4 研究的意义

本文的根本目标是在结合首钢生产工艺流程、设备技术水平、产品结构的基础上，针对首钢奥运年首钢生产结构调整，研发出《首钢 2008 压产能耗分析》计算机辅助系统软件并结合首钢的“十一五”节能降耗规划以及首钢 2008 压产计划，为首钢奥运年压产计划提供可行的辅助决策和科学建议，为保证奥运年首钢安全生产、北京绿色奥运增砖添瓦。

在首钢项目的基础上，利用 MATLAB 强大的数学计算功能，应用计算机编程技术开发出钢铁企业能耗计算通用数学模型。通过该模型能够预测企业产品的数量以及能源和非能源的购入量，帮助编制企业的生产经营计划，同时计算产品的能值，预测企业的能耗总量，确定计划年度企业的能耗水平，并且可以用于比较各企业间的能耗水平。

1.5 研究现状

东北大学的蔡九菊^[3]从事钢铁企业能源模型及微机软件的研究并指出“冶金企业能源模型由三部分组成，即能源投入产出模型，主流程用能优化模型和燃料、动力系统能源分配优化模型。能源投入产出模型由矿山、冶炼、轧钢和辅助生产四个子系统模型组成。这种分解形式的多级投入产出模型有利于数据的采集、产品目录的划分，同时也便于与其他模型相连接。能源投入产出模型是用于分析能源和非能源物资消耗结构，预测能源需求的综合平衡模型。

企业多级投入产出模型^[3,12,13],是将企业投入产出表设计为多级结构。多级投入产出模型将为模型的大型化、产品的细分和微机的实现创造了条件。它不仅缩短了编表周期,而且提高了投入产出表的准确性和实用性。研究钢铁企业的系统节能的问题,有定性和定量的两类研究方法。钢铁企业系统节能决策模型及其微机应用软件,是定量地研究企业合理用能问题的重要手段和工具。

蔡九菊教授^[4]在 IBM-PC 微机上成功开发了企业系统节能微机决策应用软件----DMEC 软件,该软件通用性强、使用灵活、运行速度快,是指定企业合理用能方案和生产经营计划的重要工具。DMEC 软件由模型建立软件、模型计算软件和报告生成软件组成。模型计算软件用 FORTRAN 语言编写,由模型检验程序、运算求解程序和结果文件三部分组成;报告生成软件包括报告库转换、报表库和报告文本的生成,以及格式化打印等部分。以上三部分软件既相互独立,又相互关联,彼此之间通过数据文件传递信息。

本钢能源处^[5]对本钢产品能值模型进行开发与研究工作,介绍了产品能值模型的研究方法和软件实现过程。根据系统工程和能源投入产出理论,编制企业物流的投入产出分析表,通过能源和非能源的投入产出代数表达式和能值的计算表达式,对实物量投入进行投入产出分析,建立单耗表;根据单耗系数,应用矩阵计算求取能值。实现了软件系统,软件系统由数据录入,数据库和模型库、模型计算和图表生成等部分组成。

东北大学的杜涛^[6]进行钢铁企业物质流、能量流和污染流的研究。建立了钢铁企业物质流、能量流和污染物流的分析方法。提出了钢铁企业生产过程和能源转换过程的数学模型;给出了工序能耗、产品能值和吨钢能耗表达式;同时考虑钢铁生产过程中资源消耗、产品生产和污染物排放等问题,提出了工序、产品和吨钢环境负荷分析方法和计算公式;分析了钢铁生产过程中影响上述指标的各种因素,以及能量流、物质流和污染物流三者间的相互关系;应用建立的分析模型,研究和分析了我国钢铁工业吨钢能耗和环境负荷的变化与进步。

第 2 章 系统节能及模型化方法

2.1 系统节能的基本概念

2.1.1 产品能耗

冶金、化工、建材等制造工业,都是以天然资源为初始原料的过程工业^[7,8,12]。这些工业所用的天然资源,主要的无非是各种天然矿物(包括燃料)、水和空气等。从这些原料到最终产品,要经过多道生产工序。每道的工序的产品都是下一道工序的主要原料(最后一道工序除外)。

各道工序,除主要原料外,还消耗能源和其他各种非能源物资(如辅助原材料、零部件等)。而且,这些能源和非能源物资本身,也是以天然资源为初始原料,经过若干道工序,耗费若干能源和非能源,才制造出来的。而这些能源和非能源物资的制备过程,也同样是如此....。

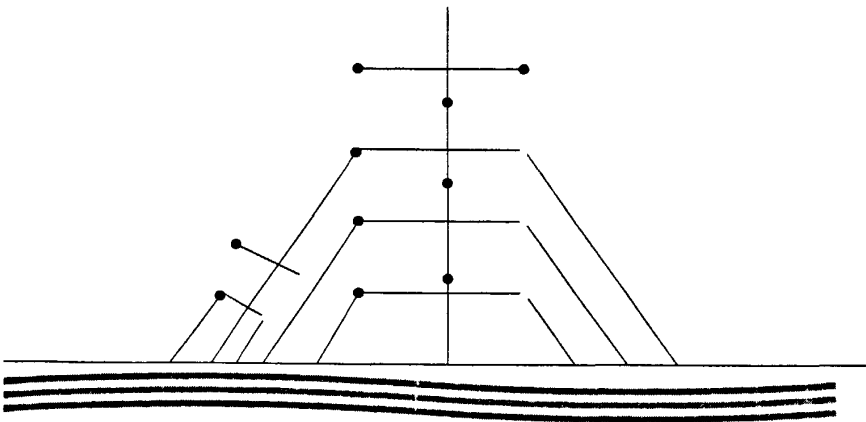


图 2.1 产品能耗概念

Fig. 2.1 the concept of energy consume

图 2.1 是产品能耗的概念图。最下方的波浪线代表各种天然资源,最上面的实心圆代表产品。产品的生产过程包括若干道工序。图中央的垂线穿过中间产品 1, 2, 3.....最后到达产品。每道生产工序都要消耗能源(空心圆)和非能源物资(实心圆)。各道工序所消耗的能源和非能源物资,又都是以某种天然资源为基本原料制成的。所以,图中示意地在每一个圆与波浪线之间画了一根连线。照理,每一根连线还应穿过若干个中间产品后才能到达代表这些物资的空心圆或实心圆;联线上还得标明每一道工序所消耗的能源和非能源物资,而这些物资本身又是以某些天然资源为原料制造出来的。这样,追

根究底,将形成一幅很复杂的图形。图 2.1 提供了关于产品能耗的全面改变,它既着眼于生产全过程,又考虑了能源消耗和非能源物资消耗这两个方面。

2.1.1.1 直接能耗

在生产某种产品的工序中,直接消耗的能源,叫做该产品的直接能耗。如果该工序能耗几种能源,则可把它们都折算成标准煤的重量,然后加总得出该工序的直接能耗。钢材是轧钢工序的产品。故在轧钢工序中生产钢材所直接消耗的能源量,就叫做这种钢材这种产品的直接能耗。

2.1.1.2 间接能耗

任何一种产品的生产过程中,除消耗能源(直接能源)外,还需要消耗各种原材料和其他非能源物资,而这些物资的生产也需要消耗能源(一次间接能源)和各种非能源物资。这些物资的生产也无例外的要消耗能源(二次间接能耗),这样可以无穷尽地追溯下去。另外,直接能耗的能源本身也有一个生产制备过程。这个生产过程需要消耗能源和其他物资。这样也可以无穷尽地追溯下去。

2.1.1.3 完全能耗

产品的直接能耗与各次间接能耗的总和,等于完全能耗,即完全能耗=直接能耗+间接能耗,很显然,完全能耗概括了产品生产的全过程,而且考虑了生产过程中的能源和非能源两个方面。因此,它就是产品在生产过程中全社会所耗费的能源总量。这样看来,能源与非能源物资之间只有一个差别,那就是能源是能产生能量的资源,而非能源物资是耗费了能源所制成的物资。也就是说,能源所包含的是“活”的能量,而非能源物资所包含的是“物化”了的能量。

2.1.2 载能体

凡是在制备过程中消耗了能量的物体^[7],以及本身能产生能量的物体,都是载能体。载能体概念有利于研究能源消耗问题。企业的购入能源,如煤、重油、天然气、电等都是载能体。企业自产能源,如各种煤气、水、压缩空气、蒸汽、氧气等也是载能体。企业的各种原材料、中间产品、产品、辅助原材料、零部件以及许多消耗品,如冶金工厂的矿石、烧结矿、球团矿、石灰、铁合金、耐火材料、轧辊、钢锭模等,同样也是载能体,因为在它们的制备过程中都消耗了能量。地下未开采的天然矿物的载能量等于零。散在的“废料”例如废钢、废铁、氧化铁皮、瓦斯泥等的载能量,一般也取为零。单位重量(体积)物体的载能量,叫做该物体的能值。

生产过程中的载能体可划分为两类:

- (1) 第一类载能体,包括各种原材料、辅助原材料、中间产品、零部件、其他消耗

品以及水、蒸汽、压缩空气、氧、电等（以下简称动力）。这类载能体的的能值，等于他们在制备过程中所消耗的各种原材料、动力和燃料的总载能量。它等于这种物资的完全消耗。

（2）第二类载能体，是各种燃料（固态、液态、气态）。燃料的能值，取决于它的发热值和它在开采、人工精制或改制过程中所耗费的能量。对于各种燃料，人们着眼于利用它的发热值。它是燃料优劣的重要标志。

在钢铁联合企业内部，有许多生产单位，它们之间在能量方面形成了错综复杂的关系。但是，有了载能体的概念，这些关系可以简化（如图 2.2）。中只标明了

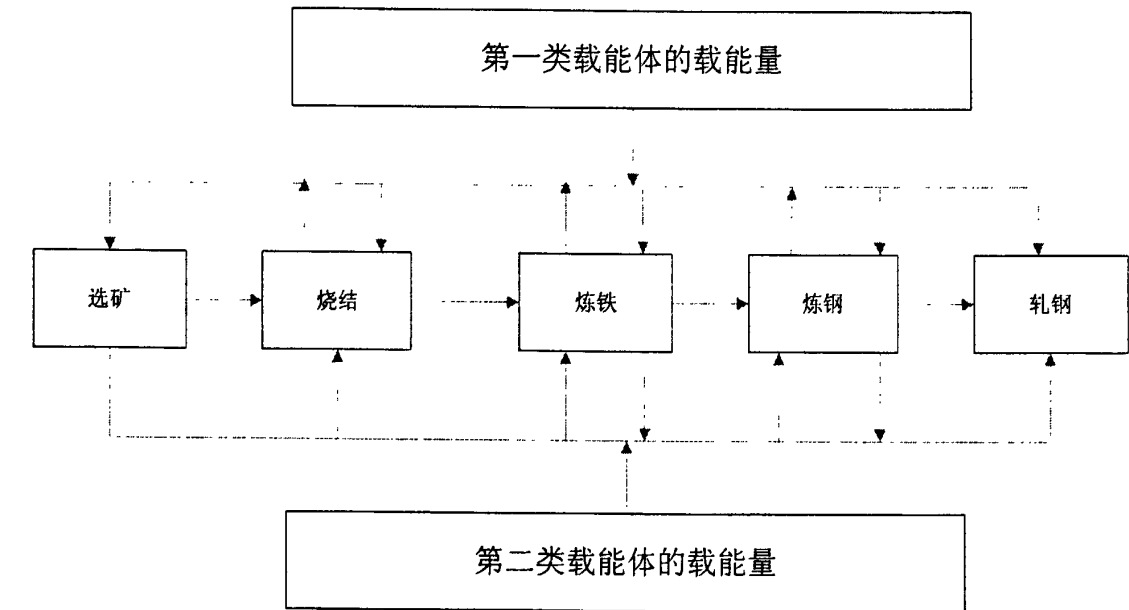


图 2.2 钢铁厂载能体能量流通示意图

Fig. 2.2 the energy flowing of energy carrying body in steel making factory

选矿、烧结、炼铁、炼钢、轧钢这五个环节组成的主流程。至于其他各生产单位，则一律都看作是主流程所需的各种原材料、燃料和动力的来源。主流程中算得上一道工序当然也给下一道工序提供原料（例如炼铁厂给炼钢厂提供铁水）。这些原材料、燃料和动力都载有一定的能量；图中指向各工序的箭头表明了这些载能量的流向。生产过程中从某一环节回收的燃料或其他物品，不一定由于该环节本身，许多情况下这些物品将进入企业的物料流通中去，图中背向各工序的箭头表示了这些物品载能量的流向。

2.1.3 产品能值的计算

计算产品能值有两种方法，即累加法和逆矩阵法。这里只讲述累加法。为了计算产品的能值，首先要以天然资源为起点，计算第一道工序的产品的能值。为此，只需把这道工序单位产品所消耗的辅助原料和燃料、动力的载能量加总起来即可。这道工序的主

要原料是天然资源，它的载能量等于零。然后，再计算第二道工序产品的能值。它等于第二道工序单位产品所消耗辅助原材料、燃料和动力的载能量加上这道工序主要原料的载能量。然后用同样的方法计算第三道工序。依次类推，直到算到最后产品的能值为止。这种方法叫做累加法。Kellogg 把某道工序单位产品所消耗辅助原材料、燃料和动力的总载能量叫做该道工序的燃料当量 (Process Fuel Equivalent), 用 PFE 代表，并给出其定义式

$$\text{PFE} = F + E + S - B \quad (2-1)$$

式中, PFE 为工序的燃料当量(kJ/单位产品); F 为工序所耗燃料的载能量(kJ/单位产品); E 为工序所耗动力的载能量(kJ/单位产品); S 为工序所耗各种辅助原材料的载能量(kJ/单位产品); B 为工序向外提供副产煤气或蒸汽的载能量(kJ/单位产品)。

某道工序产品的能值，等于该工序单位产品所消耗辅助原材料、燃料、动力的载能量加上主要原料的载能量。Kellogg 把产品的能值叫做产品的燃料当量，用 MPE 代表，并给出其定义式

$$\text{MPE} = \text{PEF} + R \quad (2-2)$$

式中, MPE 为工序产品的燃料当量，即能值(kJ/单位产品); R 为工序单位产品所耗主要原料的载能量(kJ/单位产品)。

2.2 系统节能模型化方法

系统节能分定性和定量两种研究方法^[3]。定性地研究系统节能问题时，只需要在熟悉生产工艺的基础上，运用载能体和系统的观点，就能确定具体的节能途径和措施。定量的研究系统节能问题时，除了掌握定性的研究方法外，还必须掌握运筹学和计量经济学等方面的知识，以及系统工程的方法。这些方法的核心内容是首先建立所研究的生产系统的数学模型，然后进行优化。从这个意思上说，定量研究方法就是模型化的方法。它与定性研究方法相比，能够综合地、系统地考虑各种因素，确定系统的最佳工作状态。

从工作程序上看，系统节能的模型化方法分为以下几个步骤：

- (1) 调查生产系统的消费状况（能源和非能源），收集生产数据；
- (2) 根据实际需要和研究者的意图，建立生产系统的数学模型；
- (3) 应用计算机求解数学模型；
- (4) 根据模型的计算结果，结合生产实际对生产系统进行系统分析，提出合理的使用能源方案；
- (5) 实施合理的用能方案；

在系统节能技术中，常用的数学模型有能耗统计模型、投入产出模型、线形规划模

型、网络模型等。把若干个模型组合在一起,就构成生产系统的节能模型。就冶金系统而言,系统节能模型包括三个层次,即生产工序、联合企业和冶金工业的能源模型。

2.2.1 投入产出表

冶金工业的各种产品,都是以天然资源为初始原料,经过多道工序生产出来的。每道工序的产品,都是下道工序的主要原料(最后一道工序除外)^[9]。对各道工序除主要原料外,还消耗能源和其他各种非能源物资,如辅助原材料、零部件等。如果在一张表格里把各种生产工序的投入产出关系都能概括地表示出来,这样的表被称作投入产出表。投入产出表按计量单位划分为实物形态和价值形态两种。前者的计量单位以实物的量表示,后者以货币表示。能源投入产出表均为实物形态。

2.2.2 投入产出模型

投入产出法^[4,7],国内外曾有过各种名称,如:投入产出分析、投入产出技术、产业关联法、部门联系平衡法等。这些名称分别突出了这一分析方法不同侧面的特征。投入产出法,是运用现代数学方法和电子计算机手段,来研究一个经济系统内、部门之间或产品之间的投入与产出数量依存关系的经济数学模型的方法,作为一种科学的定量分析方法,它既可以用在整个国民经济的范围内,也可以用在地区经济、部门经济和企业经济的范围内。

投入产出法的投入,是指从事一项经济活动的消耗,如生产过程中所消耗的原料、燃料、动力、机器设备和劳动力等;产出,是指产品生产出来后所分配的去向、流向,即使用方向和数量,例如,用于生产消耗、生活消费和投资。

2.2.2.1 单级投入产出模型

投入产出模型有许多种^[7],其基本原理都相同,但针对不同的用途和企业,它的形式稍有差别。对于钢铁企业我们采用能源投入产出模型,能源投入产出模型是实物型投入产出模型的一种,能源投入产出法是把投入产出技术的一般原理,用在能源结构的分析、能量的转换和需求预测等方面。在能源投入产出法中,无论是表式设计还是计算分析,都把能源产品放在中心的位置上考虑。模型中对能源产品的分类更细致,而对非能源产品的分类更集中、更简化。

(1) 企业能源投入产出表的基本模式

本系统把企业的全部产品分为三大类:自产产品、回收产品和外购产品。企业自产产品指企业自己生产的产品;回收产品指各工序回收的产品;外购产品指钢铁厂从企业范围外所购买的产品。这三大类产品中又分为:能源产品和非能源产品两类。具体模式

如表 2.1 所示。

表 2.1 企业能源投入产出表

Table 2.1 the input and output table of energy in metallurgy

投入 \ 产出			辅助生产系统		能 值	最终 产品	总产品	中间 产品
			能源	非能源				
			1 2 ... k_0	k_0+1 ... n_0				
自产产品	能源	1 2 ⋮ k_0	C_0	E_{c0}	Y_0	X_0	Z_0	
	非能源	k_0+1 ⋮ n_0						
回收产品		1 2 ⋮ n_0		E_{r0}	R^*_0	R_0		
外购产品	能源	1 2 ⋮ l_0	D_0		V_0	U_0		
	非能源	l_0+1 ⋮ m_0		0				

表的纵向分为若干行，各代表投向各道工序消耗物的种类、数量和去向。其中填入前 n 行的能源和非能源是本企业生产的产品；填入后 m 行的是企业外购的或企业回收的各种能源和非能源产品。

表的横向分为若干列，代表企业自产的且作为原料消耗掉的那部分产品（统称中间产品），剩下的三列分别为：产品能值、最终产品产量、产品总量或外购资源需求总量（统称总产品）。

表中 A 、 D 为投入产出系数矩阵。 $F=(f_1,f_2,\cdots,f_n)^T$ 为产品能值向量， $Q=(q_1,q_2,\cdots,q_n)^T$ 为标准煤折算系数向量， $Y=(y_1,y_2,\cdots,y_n)^T$ 为最终产品产量向量， $X=(x_1,x_2,\cdots,x_n)^T$ 为总产品产量向量， $U=(u_1,u_2,\cdots,u_n)^T$ 为企业回收、外购能源和非能源总量向量。

投入产出表中的每一行都可以根据：

中间产品+最终产品=总产品

(2.1)

这个平衡关系，列出产品分配平衡方程，用矩阵形式表示：

$$AX + Y = X \quad (2.2)$$

对式(2.2)进行变换和整理，可以得到：

$$X_3 = (I - A_3)^{-1} Y_3 \quad (2.3)$$

式(2.3)是已知直接消耗系数矩阵 A 和最终产品产量向量 Y，求总产品向量 X 的矩阵方程。

(2) 直接消耗系数

产品的直接消耗反映了各种产品在生产过程中的直接联系，直接消耗系数就是单位产品对其他产品的消耗数量，它可以从数值上确定产品之间的生产联系的强度。某工序生产的单位产品 j 对物质 i 的直接消耗，称作产品 j 对物质 i 的直接消耗系数。记为 a_{ij} 或 d_{ij} 。将企业内部所有产品的直接消耗系数组合起来，则构成直接消耗系数矩阵，用 A 表示：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

企业自产产品对其回收产品和外购产品的直接消耗系数矩阵用 D 表示：

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{l1} & d_{l2} & \cdots & d_{ln} \\ d_{l+1,1} & d_{l+1,2} & \cdots & d_{l+1,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

实际上，直接消耗系数 a_{ij} 、 d_{ij} 就是统计期内企业各工序以实物量表示的单位产品的能耗和物质消耗。一般情况下，把某工序生产的能源或非能源产品的回收量用“负消耗”表示。各工序对回收副产品的消耗量，仍用正值表示。

(3) 完全消耗系数

在任何一种产品的生产过程中，对某种资源（例如第 i 种）除了直接消耗以外，还要通过消耗其他能源和非能源而对这种资源发生一次间接消耗、二次间接消耗，……，直至无穷。产品的直接消耗与各次间接消耗的总和，等于完全消耗。

图 2.3 给出生产单位自产产品 j 对自产产品 i 的完全消耗概念图。图中 a_{ij} 为自产产品 j 对自产产品 i 的直接消耗系数， b_{ij} 为产品 j 对产品 i 的完全消耗。

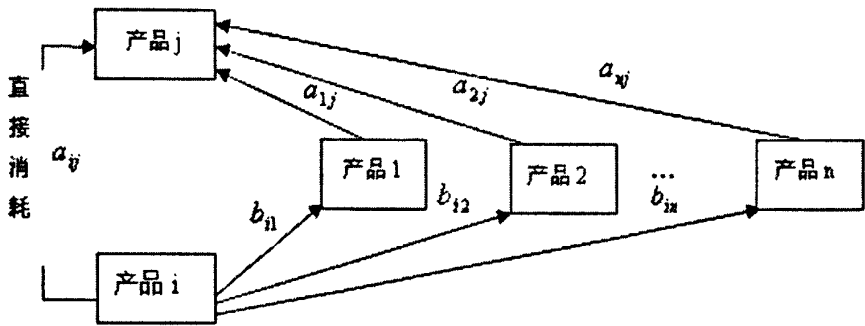


图 2.3 产品 j 对于产品 i 的完全消耗概念图

Fig. 2.3 the consuming of product j to product i

依据产品完全消耗系数的定义，建立自产产品 j 对自产产品 i 的完全消耗方程，共有 $n \times n$ 个方程，用矩阵表示如下：

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} +$$
$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

或写成： $B=A+BA$ 令 $B = B_A$

经整理后得：

$$B_A = (I - A)^{-1} - I \tag{2.4}$$

式(2.4)是已知直接消耗系数矩阵 A，求自产产品 j 对自产产品 i 的完全消耗系数矩阵的计算公式。式(2.4)中的 $(I - A)^{-1}$ 被称为 Leontief 逆矩阵。为便于区分将自产产品对自产产品的完全消耗系数矩阵用 B_A 表示。

用同样的办法，还可以建立自产产品对外购产品或回收产品的完全消耗方程。令 B_D 为自产产品对外购产品的完全消耗系数矩阵，则自产产品对外购产品的完全消耗系数公式为：

$$B_D = D(I - A)^{-1} \tag{2.5}$$

(4) 产品能值

产品能值就是单位产品在生产过程中全社会所花费的能源总量。但考虑到按这种定义计算冶金企业的产品能值是不可能实现的。所以，这里提出的关于冶金企业产品能值

的概念限定在钢铁企业这个范畴。企业产品能值，是这种产品在生产过程中该企业所花费的能源总量。这里假定：

- 1) 企业外购的非能源物资的能值为零；
- 2) 企业外购的一次能源的能值等于其发热值；
- 3) 企业生产的二次能源的能值等于它们在制备过程中所花费的能量再加上它们本身具有的发热值（或能源当量值）；
- 4) 某工序生产或回收的副产能源产品作为该工序主产品的负消耗处理；
- 5) 企业回收的各种金属料的能值只计入它们在加工过程中的能值消耗。

结合上述假定分析，得到能源投入产出表中产品能值，用矩阵形式表示：

$$F = A^T F + D^T Q \quad (2.6)$$

整理后得：

$$F = [D(I - A)^{-1}]^T Q = B_D^T Q \quad (2.7)$$

2.2.2.2 多级投入产出模型

企业多级投入产出模型^[31]，是将企业投入产出表设计为多级结构。多级投入产出模型将为投入产出模型的大型化、产品的细分和微机的实现创造条件。它不仅缩短了编表的周期，而且提高了投入产出表的准确性和实用性。

企业多级投入产出模型同以往编制的企业单级投入产出模型的主要不同点在于：

第一，在编表方法上多级投入产出模型采用分级编表法。它首先将消耗结构较为稳定的辅助生产系统和消耗结构经常变化的生产主流程分开，然后再将主流程细分为炼铁、炼钢和轧钢三个生产系统。这种编表方法为投入产出模型的大型化、产品细分和模型在微机上的实现创造了条件。

第二，在产品分类方面。多级投入产出模型根据产品在生产过程中的工艺不同、设备不同和产品载能量不同来区分各种产品：主产品、关联产品和副产品。冶金生产过程中的副产品多数为能源产品，如高炉煤气、焦炉煤气、粗焦油、余热蒸汽等。这些副产品的直接消耗系数只是它们在精致过程中对各种载能体的单位消耗。某工序生产的副产品作为该工序主产品的负消耗处理。冶金生产过程中的关联产品指前一工序提供给下一工序产品。本系统采用的产品分类原则和方法，可将产品细分到令人满意的程度。

第三，在模型的功能方面。企业多级投入产出模型与企业的一般投入产出模型相比，使用灵活，用途广泛。主要表现在：产品能值计算简单，运算量小；模型结构简单，便于同其它模型相联。

(1) 多级投入产出模型的模式

多级投入产出模型主要分为两大部分：主流程生产系统投入产出表和辅助生产系统

投入产出表。表 2.2 是企业的辅助生产系统投入产出表，该表将为主流程生产系统提供企业自产能源产品（二次能源）和辅助材料的能值，生产费用等信息。表 2.3 为主流程生产系统投入产出表。它由炼铁生产系统（ $j=1$ ）、炼钢生产系统($j=2$)、轧钢生产系统（ $j=3$ ）三个投入产出表组成。每相邻生产系统的投入产出表用关联矩阵 L_j 衔接。 L_j 是第 j 生产系统消耗前一级生产系统的产品的消耗系数组成的矩阵。一般情况下，矩阵 L 的行数很少，所以，在模型总规模相同的情况下，多级投入产出模型的计算要比普通投入产出模型简单得多。

表 2.2 辅助生产系统投入产出表

Table 2.2 the input and output table of assistant product system

投入 \ 产出			辅助生产系统		能 值	最终 产品	总产品	中间 产品
			能源	非能源				
			1 2 ... k_0	k_0+1 ... n_0				
自产产品	能源	1 2 ⋮ k_0	C_0		E_{c0}	Y_0	X_0	Z_0
	非能源	k_0+1 ⋮ n_0						
回收产品		1 2 ⋮ n_0			E_{r0}	R^*_0	R_0	
外购产品	能源	1 2 ⋮ l_0	D_0			V_0	U_0	
	非能源	l_0+1 ⋮ m_0			0			

表 2.3 生产主流程生产系统投入产出表 (j=1,2,3)

Table 2.3 the input and output table of main process

投入 \ 产出		第 j 生产系统		能值	最终产品	总产品	中间产品
		非能源产品	能源产品				
		$1, 2, \dots, \alpha_j$	$\alpha_j + 1, \alpha_j + 2, \dots, \beta_j$				
第 $j-1$ 生产系统 $\rightarrow$	关联产品	$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ w_j \end{matrix}$	$L_{j-1,j}$	E_L			
	本系统产品	$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ \beta_j \end{matrix}$	A_j	E_a	Y_j	X_j	$W_j \rightarrow$
	辅助工序产品	$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ \alpha_j \end{matrix}$	C_j	E_c		Z_j	
	回收产品	$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ r_j \end{matrix}$					
	外购产品	$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ m_j \end{matrix}$	D_j			U_j	

表 2.4 冶金企业多级投入产出模型表

Table 2.4 the multilevel I/O model table of main metallurgy factory

炼铁系统										炼钢系统										轧钢系统									
		1 2 ... β_1				Σ	Σ	Σ		1 2 ... β_2				Σ	Σ	Σ		1 2 ... β_3				Σ	Σ						
		A_1				X_1	Y_1			W_1	O	A_2						X_2	Y_2	W_2	O	A_3				X_3	Y_3		
1 2 ... β_1		1 2 ... β_1				1 2 ... β_1		1 2 ... β_1		1 2 ... β_2				1 2 ... β_2		1 2 ... β_2		1 2 ... β_3				1 2 ... β_3							
自产产品(全系统)		企业自产产品				回收产品		外购产品		企业自产产品				回收产品		外购产品		企业自产产品				回收产品		外购产品					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源		能源				能源		能源					
非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源		非能源				非能源		非能源					
能源		能源				能源																							

对表 2.4 中的各符号意义进行说明： $A_{j(j=1,2,3)}$ 为直接消耗系数矩阵（即生产不同产品所消耗的其他的本系统产品的实物量单耗）； $X_{j(j=1,2,3)}$ 为总产品的产量向量； $Y_{j(j=1,2,3)}$ 为最终产品产量向量； $W_{i(i=1,2)}$ 为中间产品产量向量，它是第 i 子系统提供给第 $i+1$ 子系统的原料量； $L_{i,j}$ 为第 j 子系统消耗前一生产系统产品的消耗系数矩阵（即消耗前一系统产品的实物量单耗）； $C_{j(j=1,2,3)}$ 为生产本系统的自产产品所消耗的企业的自产产品的实物量单耗； $H_{j(j=1,2,3)}$ 为生产本系统的自产产品所消耗的企业的回收产品的实物量单耗； $D_{j(j=1,2,3)}$ 为生产本系统的自产产品所消耗的外购产品的实物量单耗； $Z_{j(j=1,2,3)}$ 为自产产品的产量向量； $K_{j(j=1,2,3)}$ 为回收产品的产量向量； $U_{j(j=1,2,3)}$ 为外购产品的产量向量。

2.2.3 能耗模型

工序能耗：工序能耗是指某工序生产一吨合格产品直接消耗的能源量再减去回收并外供的能量^[11,15]。

$$[\text{工序能耗}] = \frac{\text{工艺过程及辅助生产耗能量} - \text{回收并外供的能量}}{\text{合格产品的产量}} \text{ tce/t} \quad (2.8)$$

或写成

$$[\text{工序能耗}] = \frac{\sum \text{燃料及动力介质实物消耗量} \times \alpha - \text{回收并外供的能量}}{\text{合格产品的产量}} \text{ tce/t} \quad (2.9)$$

式(2.9)中， α — 燃料及动力介质 i 的折标煤系数，kgce/单位产品；能源消耗量等于每种能源的实物消耗量与其折标煤系数乘积之和，受实物消耗量的多少及其折算系数大小两方面的影响。

工序的钢比系数^[7,15]：是某工序在统计期内的实物产量与钢产量之比，它是对企业生产结构的定量描述，各工序的钢比系数的大小与钢铁生产过程的物质流密切相关，对吨钢综合能耗有直接影响，降低钢比系数就是调整、优化企业的生产结构和产品结构。

$$[\text{钢比系数}] = \frac{\text{工序的实物产量}}{\text{合格产品的产量}} \text{ t/t} \quad (2.10)$$

工序的铁比系数：由于与炼铁工序直接相关的铁前工序较多（采矿、选矿、烧结、球团、炼焦），对这些工序，引入了“铁比系数”的概念。

工序的实物产量与生铁产量之比。某工序的“铁比系数”与“钢铁比”的乘积，等于该工序的钢比系数。

$$[\text{铁比系数}] = \frac{\text{工序的实物产量}}{\text{合格产品的产量}} \quad \text{t/t} \quad (2.11)$$

$$[\text{钢比系数}] = [\text{铁比系数}] \times \frac{\text{生铁产量}}{\text{钢产量}} \quad \text{t/t} \quad (2.12)$$

吨钢综合能耗：是指钢铁工业内部县以上国营企业在内消耗的能源总量，除以同期内的合格钢产量^[17]。

$$[\text{吨钢综合能耗}] = \frac{\text{统计期内钢铁企业能耗总量}}{\text{合格钢产量}} \quad \text{tce/t 钢} \quad (2.13)$$

表达式可写为：

$$E = \sum_{i=1}^n e_i p_i \quad (2.14)$$

式中， E 为吨钢综合能耗^[7,11]，kgce/t 钢； e_i 为第 i 道工序的工序能耗，kgce/t 产品； p_i 为第 i 道工序的钢比系数，t/t。由吨钢综合能耗表达式可知，影响吨钢综合能耗的直接因素有两大类：一是各工序的工序能耗，二是各工序的钢比系数。所以，为了降低吨钢能耗，一要降低各工序的工序能耗，二要降低各工序的钢比系数，两者缺一不可^[16]。

第3章 系统的结构及功能设计

3.1 系统的技术支持

3.1.1 MATLAB 及其在本文中的应用

MATLAB^[19]是一种计算机编程语言,取名来源于Matrix Laboratory(矩阵实验室),名字是由MATrix和LABoratory两个词的前三个字母组合而成的。MATLAB^[29]是一种适合多学科多工作平台的大型软件,涉及领域包括数字信号处理、控制系统、数据统计、模糊控制等,它包含各种工具箱,是一种高级的科学分析与计算软件,被广泛地使用于从个人计算机到超级计算机范围内的各种计算机上。近年来,MATLAB在国内的知名度越来越大,并已广泛地应用于教学和科研领域。该软件的特点可以归纳为以下几点^[20]:

- (1) 简单易学
- (2) 代码短小高效
- (3) 计算功能非常强大
- (4) 强大的图形表达功能
- (5) 可扩展性能

3.1.1.1 MATLAB 与其它应用程序无缝连接

MATLAB软件可在下列各种类型的机器上运行^[19,29]:PC及兼容机,Macintosh,Sun工作站,VAX机,Apollo工作站,HP工作站,DECstation工作站,SGI工作站,RS/6000工作站,Convex工作站及Gray计算机等。用MATLAB语言编写程序(不采用其他外部语言),则编写出来的程序可以不做任何修改,均可在上面介绍的各种机型上通用。

MATLAB^[25]软件可以和其它应用软件及工程应用软件件进行无缝的接口,如:Excel、VB、C++、Labview、Active-HDL、VEE等都嵌入了MATLAB,以增强该软件的数学计算能力。

3.1.1.1 MATLAB 软件的矩阵运算功能

熟悉^[19]FORTTRAN语言和C语言的用户都知道,FORTTRAN语言和C语言以及其他高级计算机语言,虽然在很多程序设计上有独特的优点,但涉及矩阵运算时,编程会很麻烦,而MATLAB软件一出现就能引起各界研究人员注意

的原因之一，就是它具有简单方便的矩阵操作功能。

MATLAB实际上可认为是一种解释性语言^[20]，用户可以在MATLAB工作环境下键入一个命令，也可以用MATLAB语言编写应用程序，然后MATLAB软件对此命令或程序中各条命令进行翻译，在MATLAB环境下进行处理，最后返回运算结果。因此，既可以对它的某个或某些元素进行单独处理，也可以对它整体地进行处理，操作非常方便。

MATLAB软件提供了矩阵的各种运算和操作，除了常用的矩阵运算，如加法、减法、乘法、乘方、Kronecker乘法、除法、转置等运算外，还提供了一些特殊的矩阵运算，如矩阵的翻转运算、点运算以及单个矩阵的元素赋值与运算。

除了这些基本矩阵运算之外，MATLAB软件还提供了在数值线性代数中一些基本的算法函数。除此之外，MATLAB软件还提供了大量的矩阵特征参数求取函数，如：求取矩阵的行列式、矩阵的迹、矩阵的秩、矩阵的范数、矩阵的特征多项式、特征方程与特征根等函数，以及矩阵的各种变换和分解函数、矩阵的特征值与特征向量求取函数和矩阵的求逆运算函数等，MATLAB还可以实现其他的数值分析方法，包括数据处理、数值微积分、非线性方程求解和最优化，以及常微分方程的数值解法等内容。

3.1.1.1 MATLAB 与 Excel 数据传递

应用MATLAB过程中^[30]，用户会发现这样一个问题：MATLAB是以矩阵作为数据处理的基本单元，输入/输出数据均为矩阵格式，多采用M文件、ASCII文本文件、MAT文件等形式存储，这些文件格式的数据显示不够直观，并且在管理、使用时都需要编写相应程序，使普通用户难于应用。而Office中Excel的电子表格功能正好弥补这一不足^[18]，为充分结合并发挥MATLAB和Excel两种软件各自的优点，在MATLAB下可以同Excel的软件接口，完成与Excel的数据传输。为实现MATLAB与Excel数据传递，经常采用的数据管理函数来实现二者之间的数据传递，具体函数介绍见表3.1。

表 3.1 数据管理函数及其作用

Table 3.1 the effect of data management function

函数名	作用
MLdeleteMatrix	删除 MATLAB 矩阵
MLEvalString	执行 MATLAB 命令

MLGetMatrix	向 Excel 数据表写 MATLAB 矩阵的数据内容
MLGetVar	向 Excel 数据表 VBA 写 MATLAB 矩阵的数据内容
MLAppendMatrix	向 MATLAB 空间添加 Excel 数据表的数据内容
MLPutMatrix	用 Excel 数据表创建或覆盖 MATLAB 矩阵
MLPutVar	用 Excel 数据表 VBA 创建或覆盖 MATLAB 矩阵
Xlsread	从 Excel 数据表中读出数据到 MATLAB 矩阵中去
Xlswrite	把数据从 MATLAB 矩阵中写入到 Excel 表中去

3.1.2 VB 及其在本文中的应用

3.1.2.1 VB(Visual Basic)

VB 是^[21]一种由微软公司开发的包含协助开发环境的事件驱动编程语言。从任何标准来说，VB 都是世界上使用人数最多的语言。它源自于 BASIC 编程语言。VB 拥有图形用户界面（GUI）和快速应用程序开发（RAD）系统，可以轻易的使用 DAO、RDO、ADO 连接数据库，或者轻松的创建 ActiveX 控件。程序员可以轻松的使用 VB 提供的组件快速建立一个应用程序。

通过几年的发展^[25]，VB 已成为一种专业化的开发语言和环境。用户可用 Visual Basic 快速创建 Windows 程序，现在还可以编写企业水平的客户端/服务器程序及强大的数据库应用程序。VB 会吸引更多的赞誉和批评，也会继续为广大的用户和程序员使用。它非常适合用来开发拥有友好界面的程序（比如针对终端的数据），但是不适合开发其它程序（比如联合计算程序）。

VB 的中心思想就是要便于程序员使用^[21]，无论是新手或者专家。VB 使用了可以简单建立应用程序的 GUI 系统，但是又可以开发相当复杂的程序。VB 使得大量的外界控件有了自己的生存空间。大量的第三方控件针对 VB 提供。VB 也提供了建立、使用和重用这些控件的方法，但是由于语言问题，从一个应用程序创建另外一个并不简单。Visual Basic 还提供了一个开发环境，用来绘制应用程序窗口，从而避免了编写代码之苦。为应用程序快速绘制界面的功能使 Visual Basic 成为创建原型程序的最有效工具。使用 Visual Basic 6.0 解决编程问题时已经可以用到其他一些 Visual Studio 开发工具了。Visual Basic 6.0 作为 Visual Studio 开发工具组件，不但为程序设计提供了一个可视的程序开发环境，还提供了与其他工具集成的可能性。利用这个编程环境，单个程序开发人员可以快速的创建出一个简单的应用程序，而一个开

发小组则可以创建出一个复杂的、分布式的应用程序。

3.1.2.2 VB 与 MATLAB 混合编程

为了提高工程计算软件的开发效率和质量^[23],可采取把 VB 可视化编程语言和 MATLAB 工具相结合的办法,充分利用 MATLAB 的运算功能和 VB 的开发界面方便的特点进行混合编程,即用 VB 来设计界面作为主程序,调用 MATLAB 编写的子程序,以此开发出高质量、高性能的工程计算软件系统当属首选方案。其实现的过程有多种,其中三种比较方便、常用的实现 VB 和 MATLAB 混合编程的方法技术^[26]。

- 1、利用 shell()函数调用 MATLAB 应用程序;
- 2、利用 ActiveX 技术实现 VB 对 MATLAB 的调用;
- 3、利用动态链接库调用 MATLAB 所写的程序。

Microsoft VB 作为开发软件^[24],使用特别方便,尤其在开发界面方面有独到优点,但是在计算与图形显示方面,显得能力不足。MATLAB 系统中有许多科学计算及图形显示方面的函数,这样工程计算人员就可以编写简单的语句调用这些现成的函数或编写出用户自己想要实现的功能函数。^[28]充分利用两个软件的优点进行混合编程,可以编制出界面友好、计算及图形处理能力强大的软件。对于从事工程计算编程的工作者来说,经常面临庞大的数据处理工作量,其中不乏大型矩阵运算和复杂的显示问题。充分利用 MATLAB 的运算和图形显示功能,将使编程工作效率得到极大的提高。VB 与 MATLAB 之间混合编程还可以通过 MATLAB 系统制作用户控件技术来实现。

3.1.2.3 VB 调用 EXCEL

VB 是常用的应用软件开发工具之一^[25],但 VB 的报表功能较弱,而且一旦表格格式发生变化,就得相应地修改程序,给应用软件维护带来了极大的不便。Excel 是目前使用最广泛的办公应用软件之一,它具有强大的报表打印、数学分析与计算功能,大多数办公人员都能熟练操作并且由于 VB 的扩展性,可以通过 OLE 非常方便地实现相互之间的数据交互;以 VB 为开发工具,Excel 作为报表输出工具可以快速、简便地构造出各种表格,把它们有机结合在一起实现更多的功能。

用 VB 创建外部 Excel 对象:大多数大型 Active-enabled 应用程序和其他 ActiveX 部件,在它们的对象层中提供了一个顶层外部可创建对象,该对象提供了对该层次中其他对象的访问,为了在 VB 应用程序中调用 Excel,必须了解 Excel 对象模型。Excel 对象具有一定的层次和隶属关系(如图 3.1

所示)。

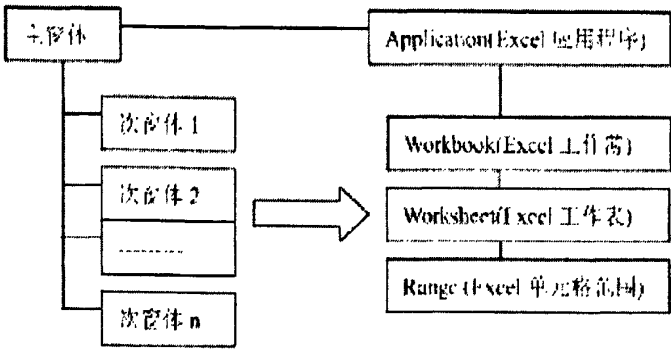


图 3.1 Excel 对象模型图

Fig. 3.1 the model of Excel

Application 对象：Excel 对象模型的顶层，它是对象模型的基础，表示整个 Excel 应用程序；

Workbook 对象：直接隶属于 Application 对象，表示一个 Excel 工作簿；

Range 对象：包含于 Worksheet 对象，表示 Excel 表中的一个或多个单元格；

在 VB 应用程序中调用 Excel，就是使用 Application 对象的属性、方法。

3.2.1.4 VB 控制 Excel 打印报表

VB 是常用的应用软件开发工具之一^[21]，由于其易学好用和功能强大，得到广大程序员的追捧。但在报表方面却不尽人意，主要存在三个方面问题：①VB 自带的报表功能有限（Data Report Designer）；②使用直接的打印方法，即 Printer.print，这种方法直接向打印机打印，就像过去使用 FoxPro 似的，需要进行打印机定位,并且在 Windows 下，不同的字符数字所占的宽度也不相同，所以这种方法使用起来非常麻烦，而且一旦报表格式发生变化，程序员就得相应修改程序和设计格式，给用软件的维护和用户带来极大的不便；③使用第三方提供的水晶报表，但需要另外的费用。基于以上问题，利用 VB 调用 EXCEL 的强大报表功能不定期实现报表打印而使上述问题能得到很好的解决。由于 Excel 具有自己的对象库，在 Visual Basic 工程中可以加以引用，通过对 Excel 使用 OLE 自动化，可以创建一些外观整洁的报表，然后打印输出。这样实现了 Visual Basic 应用程序对 Excel 的控制。图 3.3 是 VB 打印 EXCEL 报表对象的流程图。

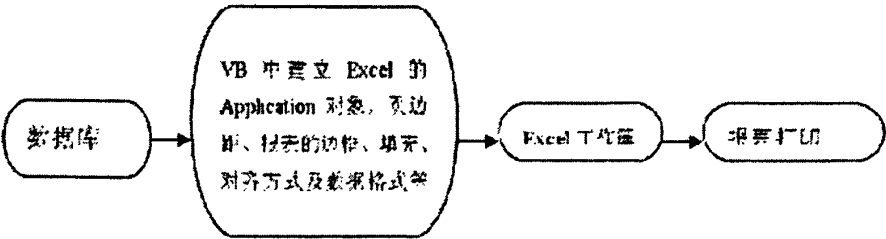


图 3.2 打印 Excel 报表流程图

Fig. 3.2 the flow of printing excel report

3.2 系统设计方法

用 Visual Basic 语言作为开发计算机辅助系统软件的开发工具，建立首钢能耗分析系统的基础数据库（首钢 2006 年多级投入产出表），用 M 文件开发首钢投入产出模型、能值模型、能耗模型。在此模型的基础上，针对首钢提出的压产方案，运用模型进行计算，并且对模型运算的结果同 2006 年现状进行对比、分析，针对减产计划提出辅助决策意见。

因此，该计算机辅助系统应该包括以下主要几部分。第一部分，基础数据库（多级投入产出表）的录入、修改和数据处理。第二部分，对数据库中即时、历史数据的保留以及报表打印。第三部分，应该是数学模型的运算。数学模型计算的对象为基础数据库中的数据。第四部分，针对不同级的用户，对首钢的基本生产情况进行信息显示，并且对设备层面的用户提供修改设备单耗的功能。生产信息的显示又分为多个层面，第一层面为主流程及主生产系统，如（炼铁系统、炼钢系统、轧钢系统、辅助系统）。第二层面为各主要生产系统下面的主要生产工序（如炼铁系统下的焦化、烧结、炼铁工序）。第三层面是设备层面，表示各主生产工序下的设备或工厂（如炼铁工序下的 1# 高炉、轧钢工序下的轧钢厂）。第五部分，对数学模型计算出的结果，进行显示、分析，提出辅助决策意见。

3.3 系统基础数据库设计

基础数据库就是首钢多级能源投入产出表，基础数据库中的数据均来自于首钢 2006 年度首钢能源平衡表和生产数据表，这些数据包括单体设备的单耗、各工序燃料与动力的消耗以及能源产品的能值、以及各工序之间关联矩阵（铁素流关系）。

3.3.1 首钢基础数据库的组成

首钢基础数据库由四部分组成一辅助系统、炼铁系统、炼钢系统、轧钢系统组成，其中一个系统占据一个工作表，炼铁系统的数据表如图 3.3 所示。各主系统产品目录如下图所示：

● 辅助系统

本系统产品：热力发电、鼓风、动力中压汽、热电低压汽、压缩空气、工业用水、氧气、氮气、氩气；

企业自产产品：高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气；

外购产品：天然气、电力、动力煤、无烟煤、劣质煤；

● 炼铁系统

产品	一高炉	二高炉	三高炉	四高炉	一焦炉	二焦炉	三焦炉	四焦炉	转炉	电炉	轧钢	外购产品
1高炉t/t	270190362	270190360	270190380	268741562	268741562	268741562	268741562	268741562	0	0	0	544 188076
2高炉t/t	193224169	193224169	193224169	192189060	192189060	192189060	192189060	192189060	0	0	0	516 302315
3高炉t/t	283911582	283911582	283911582	282496432	282496432	282496432	282496432	282496432	0	0	0	541 605233
4高炉t/t	223773867	223773867	223773867	222573944	222573944	222573944	222573944	222573944	0	0	0	551 997070
二高1特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	184	513 275323
二高2特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	184	513 275323
二高3特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	184	513 275323
二高4特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	153	509 637233
二高5特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	153	509 637233
二高6特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	154	509 637233
二高7特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	440	517 473024
二高8特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	516 609093
二高9特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	525 369294
二高10特炉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	525 534852
电力kwh/t	10 998	10 998	10 958	10 353	10 353	10 353	10 353	10 353	5 287	10 4592	5 795	5 0968
中压蒸汽	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
低压蒸汽	0003	0003	0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
工业水m3/t	7 82	7 82	7 82	2 26	2 26	2 26	2 26	2 26	10 1	10 1	13 86	14 02
氧气m3/t	1 6	1 6	1 6	24	24	24	24	24	0	0	0	0
氮气m3/t	36 46	36 46	36 46	57 57	57 57	57 57	57 57	57 57	0	0	0	0
氩气m3/t	33 9	33 9	33 9	22 71	22 71	22 71	22 71	22 71	0	0	0	0
焦炭m3/t	28	28	28	61	61	61	61	61	0	0	0	0
焦炉煤气m3/t	3 64	3 64	3 64	2 38	2 38	2 38	2 38	2 38	0	0	0	0
高炉煤气m3/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
转炉煤气m3/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
工业水m3/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天然气	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
电力kwh	18 8128	18 8128	18 8128	20 2272	20 2272	20 2272	20 2272	20 2272	0 584	12 2808	0 436	0 5312
焦炭kg/t	145 51	145 51	145 51	148 31	148 31	148 31	148 31	148 31	0	0	0	0
转炉渣	20 78	20 78	20 78	20 47	20 47	20 47	20 47	20 47	0	0	0	0
白云石kg/t	64 12	64 12	64 12	84 1	84 1	84 1	84 1	84 1	0	0	0	0
白云石kg/t	25 88	25 88	25 88	25 85	25 85	25 85	25 85	25 85	0	0	0	0
备用1	9511	9511	9511	946	946	946	946	946	0	0	0	0
备用2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 3.3 首钢炼钢系统基础数据库

Fig. 3.3 the database of steel making system

本系统产品：一烧、二烧，1#焦炉、2#焦炉、3#焦炉、4#焦炉，1#高炉、2#高炉、3#高炉、4#高炉；

辅助工序产品：电力、鼓风、中压蒸汽、低压蒸汽、压缩空气、工业水、氧气、氮气、氩气；

自产产品：焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气；

外购产品：洗精煤、无烟煤、动力煤、电力、焦炭、焦丁、块矿、球团、矿业烧结；

回收产品：焦炉煤气、高炉煤气、电力、蒸汽；

● 炼钢系统

关联产品：1#高炉、2#高炉、3#高炉、4#高炉；

本系统产品：2.1 转炉、2.2 转炉、2.3 转炉、3.1 转炉、3.2 转炉、3.3 转炉、二精炼、三精炼、二连铸、三连铸；(其中，2.1 转炉表示二炼钢一车间的 210 吨转炉；2.2 转炉表示二炼钢二车间的 210 吨转炉；2.3 转炉表示二炼钢三车间 210 吨转炉；3.1 转炉表示三炼钢一车间的 80 吨转炉；3.2 转炉表示三炼钢二车间 80 吨转炉；3.3 转炉表示三炼钢二车间 80 吨转炉)；

辅助工序产品：电力、低压蒸汽、压缩空气、工业水、氧气、氮气、氩气；

自产产品：焦炉煤气；

外购产品：电力、废钢、铁合金、石灰、白云石；

回收产品：蒸汽、转炉煤气；

● 轧钢系统

关联产品：二连铸、三连铸；

本系统产品：中板、一型材、二型材、精棒、一线材、二线材、三线材、钢丝；

辅助工序产品：电力、低压蒸汽、压缩空气、工业水、氧气、氮气；

自产产品：焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气；

外购产品：电力、动力煤、柴油、混油、迁钢钢坯；

回收产品：蒸汽；

3.4 系统主体结构及界面设计

本文把能耗计算机辅助系统设计为以下三大主要部分：软件声明、用户登陆、主系统。主系统部分又分为 5 大功能模块：数据初始化模块（基础数据录入模块）、数据处理模块、后台处理模块、主生产系统信息模块、辅助决策模块。程序流程、软件声明、用户登陆、主系统图如图 3.4、3.5、3.6、3.7 所示：

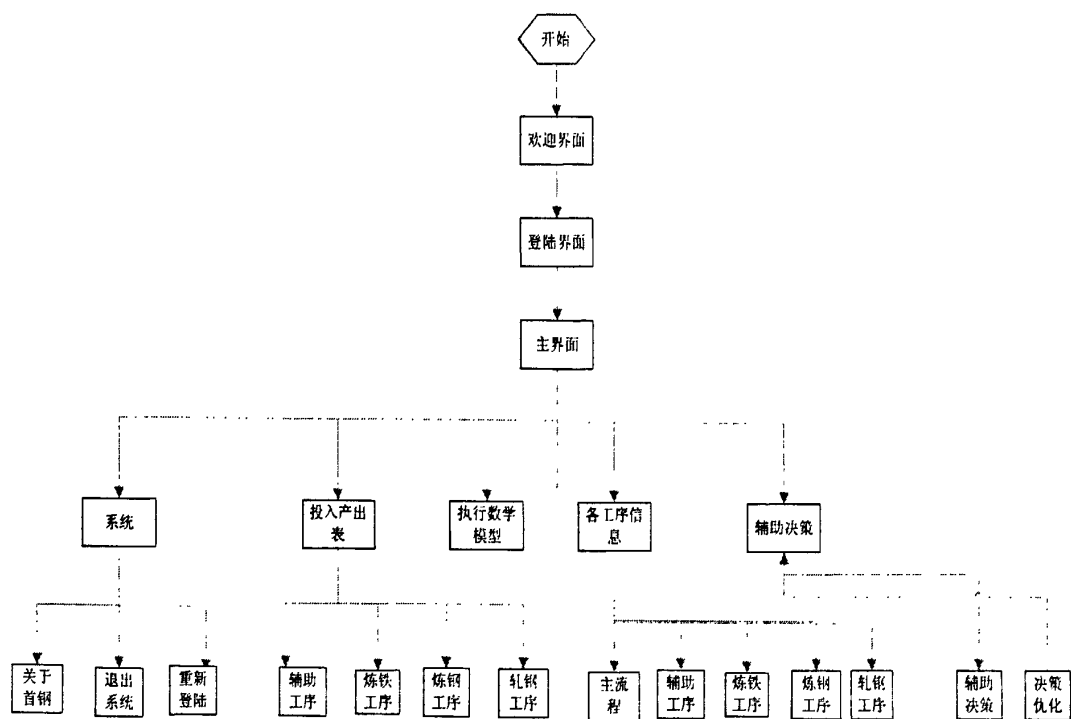
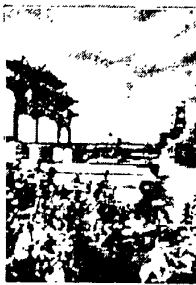


图 3.4 程序主流程图

Fig. 3.4 the mainstream flowing of the program

首钢08预案分析平台



开发平台: Microsoft WinXP

开发工具: Visual basic 6.0
MATLAB 7.1

数据环境: Microsoft Excel
Microsoft SQLserver

版权所有 违者必究

东北大学热能与环境工程研究所

图 3.5 软件声明图

Fig. 3.5 the statement of software

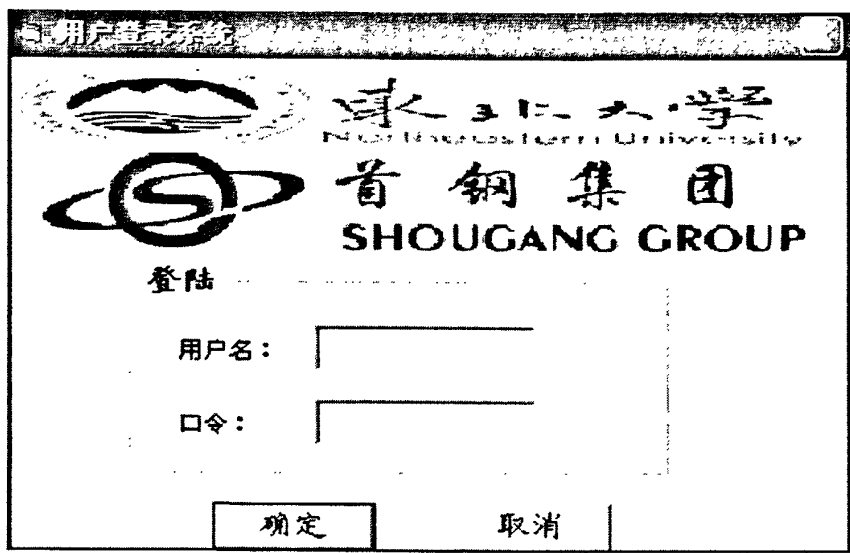


图 3.6 用户登陆图

Fig. 3.6 the loading system

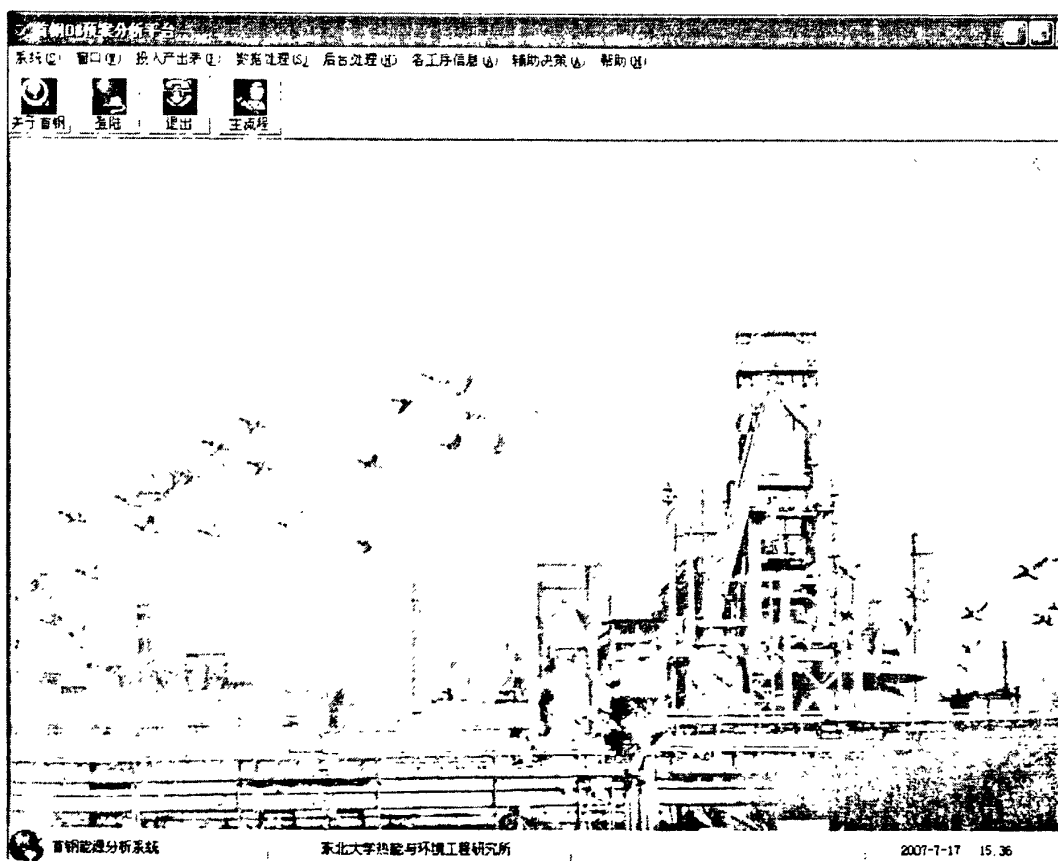


图 3.7 主系统图

Fig. 3.7 the mainstream system

1、数据初始化模块：对投入产出表中（基础数据库）初始数据的录入与修改。其中炼钢工序的投入产出表如图 4.6 所示：

炼钢生产工序能源投入产出表									
投入产出表		2-1转		2-2转		2-3转		3-1转	
关联产品	1转炉/t	481140472	481140472	481140472	481140472	481140472	481140472	481140472	481140472
	2转炉/t	193224169	193224169	193224169	193224169	193224169	193224169	193224169	193224169
	3转炉/t	469959527	469959527	469959527	469959527	469959527	469959527	469959527	469959527
	4转炉/t	223773667	223773667	223773667	223773667	223773667	223773667	223773667	223773667
本系统产品	2-1转/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-2转/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-3转/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-1转/t	0	0	0	0	0	0	0	0
辅助工序	二炼钢/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	三炼钢/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	二转炉/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	三转炉/t	0	0	0	0	0	0	0	0
能源投入	电力/kwh/t	10 856	10 856	10 856	10 856	10 856	10 856	10 856	10 856
	中压蒸汽/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	低压蒸汽/t	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
	压缩空气/t	82	82	82	82	82	82	82	82
能源产出	工业水/t	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6	1 6
	蒸汽/t	58 46	58 46	58 46	58 46	58 46	58 46	58 46	58 46
	煤气/t	33 9	33 9	33 9	33 9	33 9	33 9	33 9	33 9
	氧气/t	28	28	28	28	28	28	28	28
高炉产品	高炉气/t	3 64	3 64	3 64	3 64	3 64	3 64	3 64	3 64
	转炉气/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	备用	0	0	0	0	0	0	0	0
	回收	0	0	0	0	0	0	0	0
回收产品	回收水/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	回收蒸汽/t	0	0	0	0	0	0	0	0
	回收煤气/t	99 16	99 16	99 16	99 16	99 16	99 16	99 16	99 16
	回收氧气/t	0	0	0	0	0	0	0	0
外购产品	天然气	0	0	0	0	0	0	0	0
	电/kwh/t	18 8126	18 8126	18 8126	18 8126	18 8126	18 8126	18 8126	18 8126
	煤/t	145 51	145 51	145 51	145 51	145 51	145 51	145 51	145 51
	铁合金	20 78	20 78	20 78	20 78	20 78	20 78	20 78	20 78
非铁	白云石/t	64 12	64 12	64 12	64 12	64 12	64 12	64 12	64 12
	白云石/t	25 89	25 89	25 89	25 89	25 89	25 89	25 89	25 89
	备用1	9511	9511	9511	9511	9511	9511	9511	9511
	备用2	0	0	0	0	0	0	0	0

图 3.8 炼钢工序投入产出表

Fig. 3.8 the input and output of steel-making process

2、数据处理模块：包括即时数据保存、历史数据保存、恢复 2006 数据、数据打印几大功能。如图 4.7 所示：

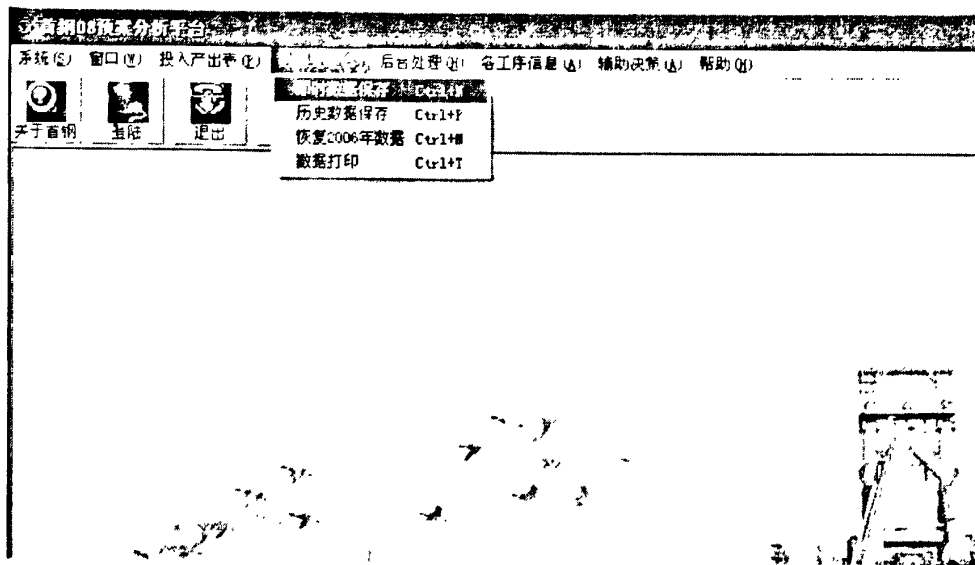


图 3.9 数据处理模块图

Fig. 3.9 data processing module

3、后台处理模块：当用户点击执行指令时，系统针对当前基础数据库中的数据，执行模型计算功能，运算结束后，系统将对当前对企业当前的各项生产、能耗等指标进行合理的预测。如图 3.10 所示：

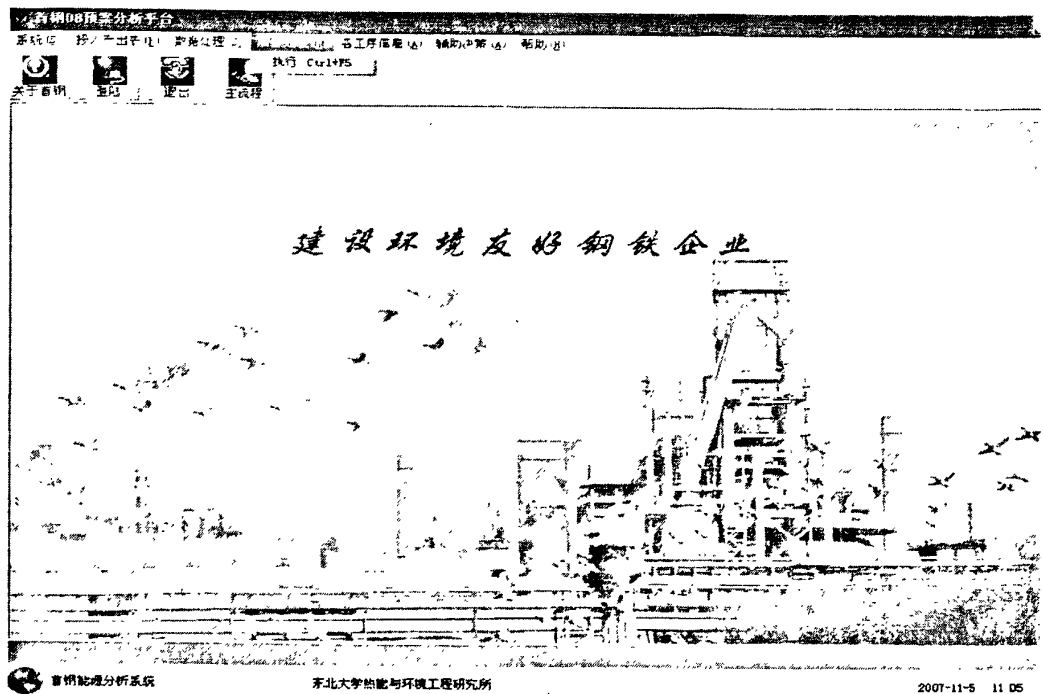


图 3.10 后台处理模块图

Fig. 3.10 the processing module

4、主生产系统信息模块:该模块有三个功能。第一，显示主生产系统的基本信息（从主流程到主生产工序到具体设备）；第二，在程序中实现主生产工序中设备（如炼铁工序中的高炉、炼钢工序中的转炉或者是轧钢工序中的轧钢厂）的删除和恢复操作，保证压产方案的实施。第三，对各生产工序中的设备能实现设备单耗的修改，以满足现场的要求。如图 3.11 所示：

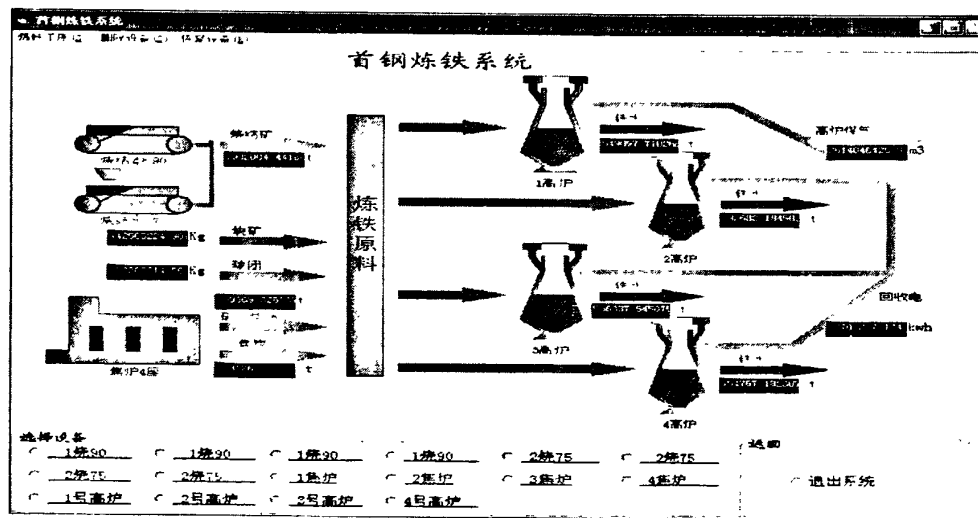


图 3.11 信息显示模块—炼铁系统

Fig. 3.11 information display module of Iron-smelting system

5、辅助决策模块：该模块包括指标对比和决策优化两部分，如图 3.12、3.13 所示。指标对比是指六大主要指标的对比；决策优化是通过模型计算出当前企业具体各项指标后，与 2006 年各项主要指标进行对比，自动生成辅助决策策略。

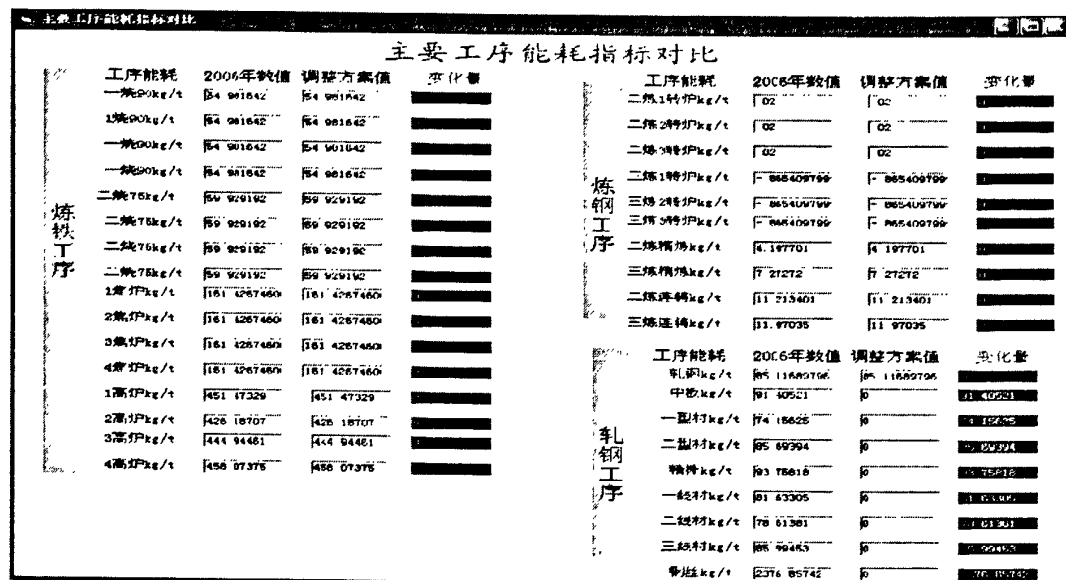


图 3.12 主要工序能耗指标对比图

Fig. 3.12 the contrast Table of mainstream working process energy consuming

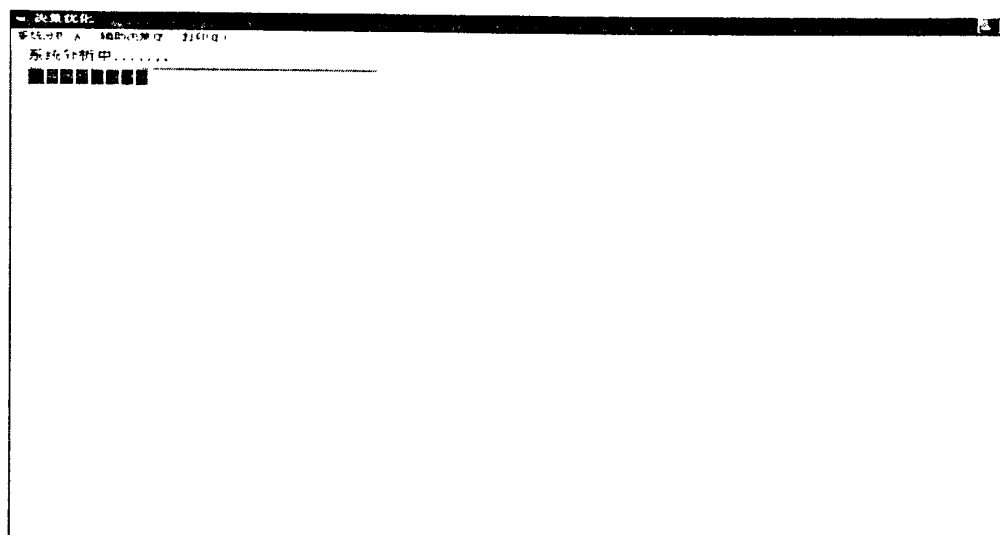


图 3.13 决策优化图

Fig. 3.13 the Table. of optimize and decision-making

3.5 系统主要功能设计

3.5.1 数据初始化与信息显示

在数据初始化模块中实现企业基础数据库的初始化，在信息显示模块中实现对企业基本生产数据的显示和设备单耗的修改，软件界面友好，为多个层面的用户所使用。其中信息显示分三个层面。

1、第一层面为主流程。它是系统的最高层面，通过它可以进入辅助、炼铁、炼钢、轧钢系统。在这个层面上，用户可以浏览企业主要生产数据（铁水、钢坯、轧材）。如图 3.14 所示：

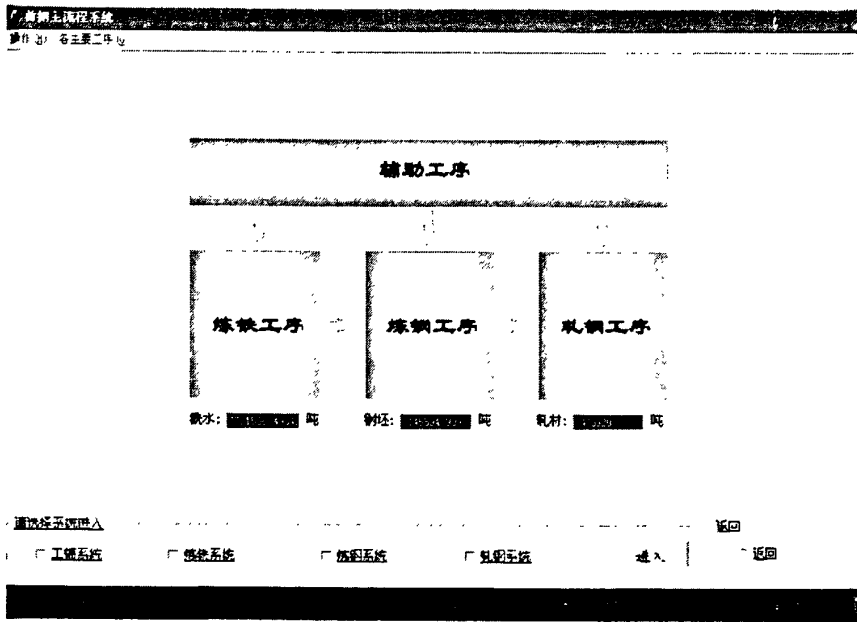


图 3.14 首钢主流程图

Fig. 3.14 the mainstream flowing of Shougang.

2、第二层面为辅助和各主生产系统（炼铁系统、炼钢系统、轧钢系统）。用户在此可以浏览到主生产系统内生产过程画面以及生产的数据情况，并且可以由此进入下一层面（设备层面），可以实现主生产系统中设备（高炉、转炉、轧钢厂）的停产与恢复。如下图 3.15-4.18 所示：

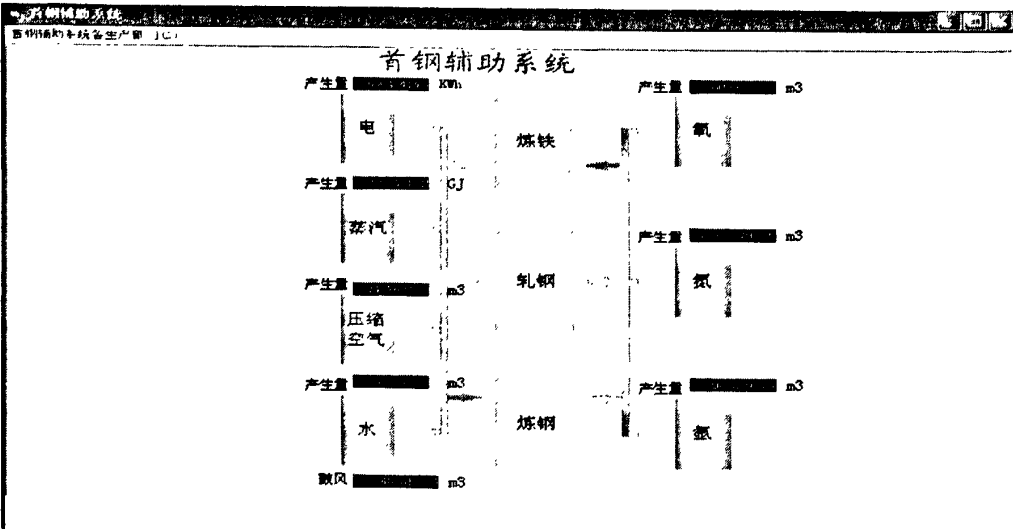


图 3.15 首钢辅助生产系统

Fig. 3.15 the assistant producing system of Shougang

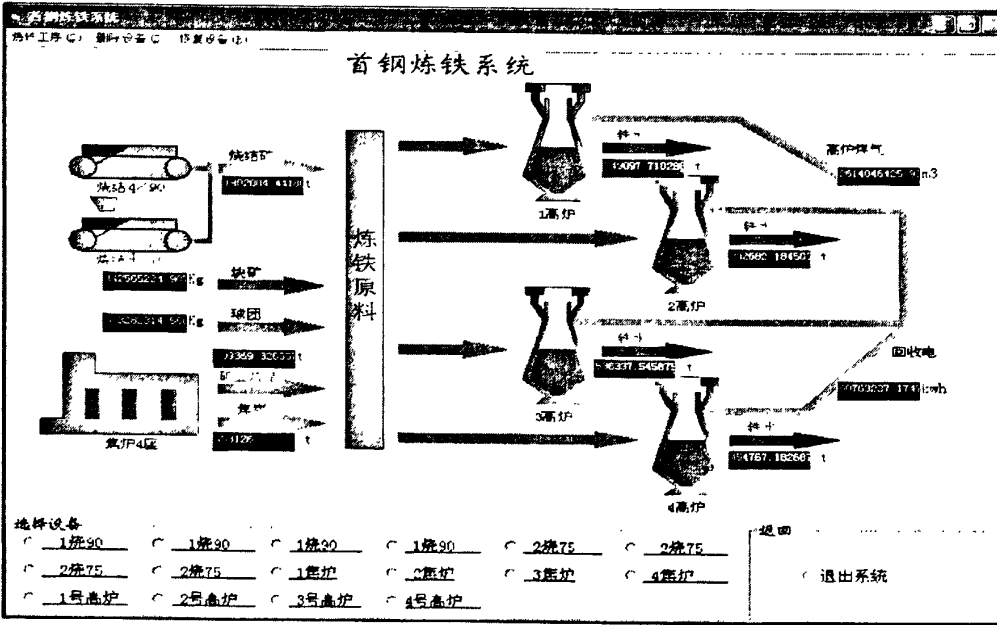


图 3.16 首钢炼铁系统

Fig. 3.16 the Iron-smelting system of Shougang

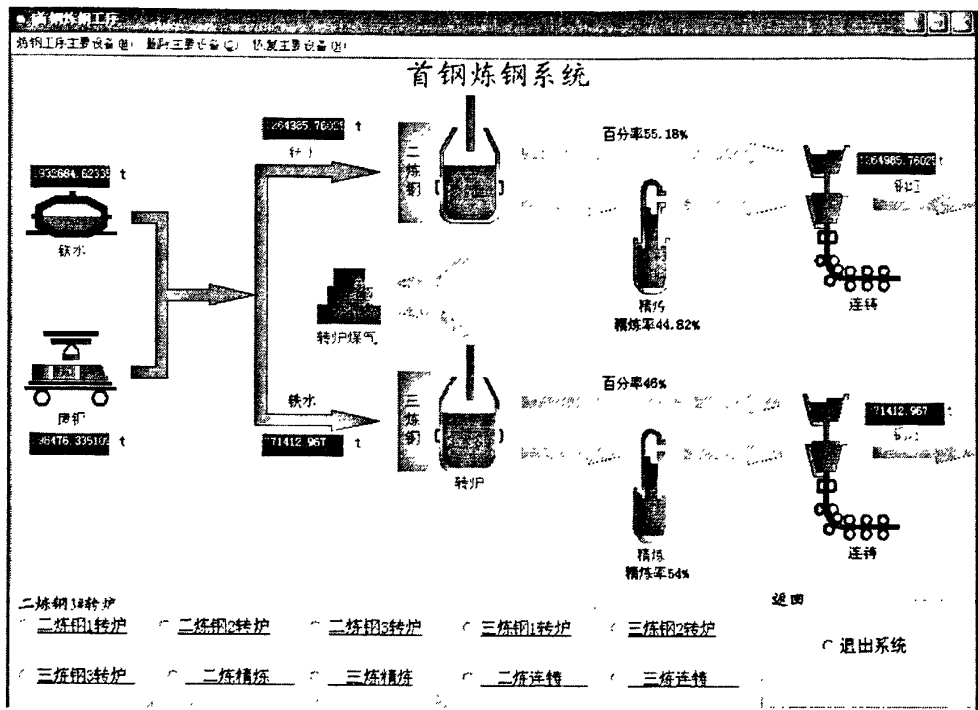


图 3.17 首钢炼钢系统

Fig. 3.17 the steel-making system of Shougang

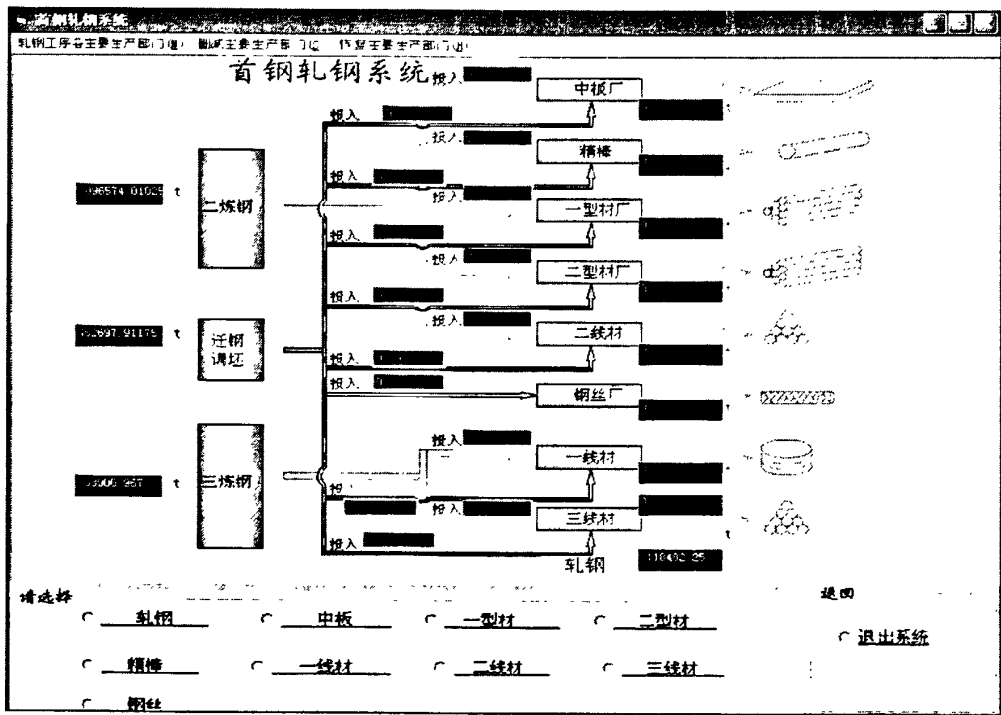


图 3.18 首钢轧钢系统

Fig. 3.18 the Steel rolling system of Shougang

3、第三层面是设备层面，这一层是整个首钢生产系统的底层。用户可以在本层浏览主生产系统内的各主要生产设备的单耗情况，并且可以根据首钢当前

生产情况改变具体设备的单耗。如图 3.19-4.24 所示：

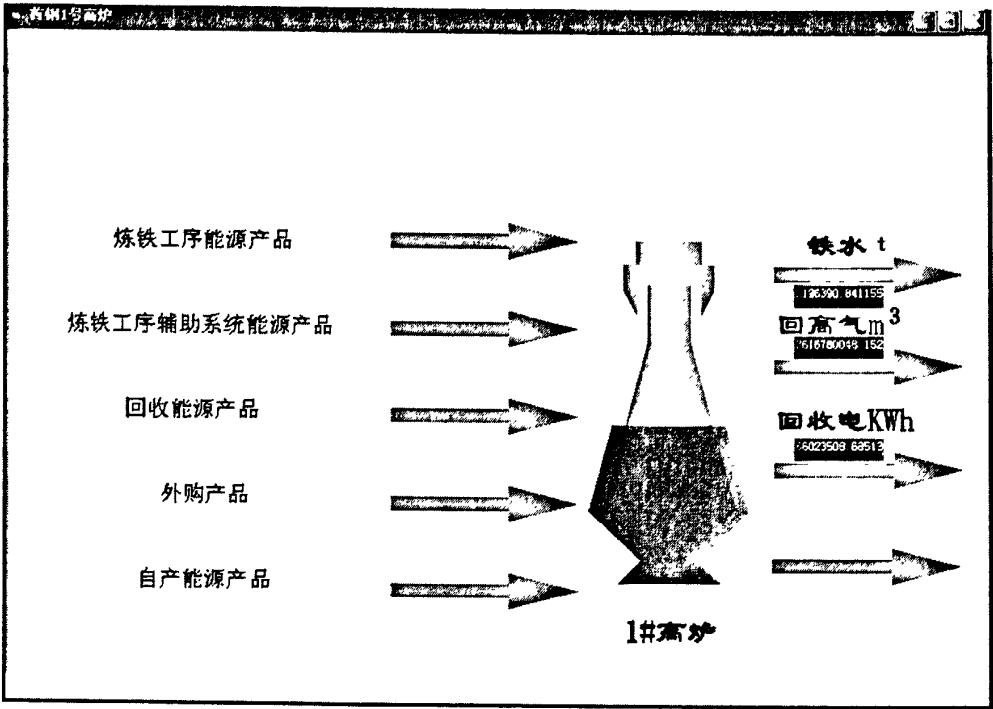


图 3.19 首钢 1 号高炉

Fig. 3.19 number one Blast furnace of Shou-steel

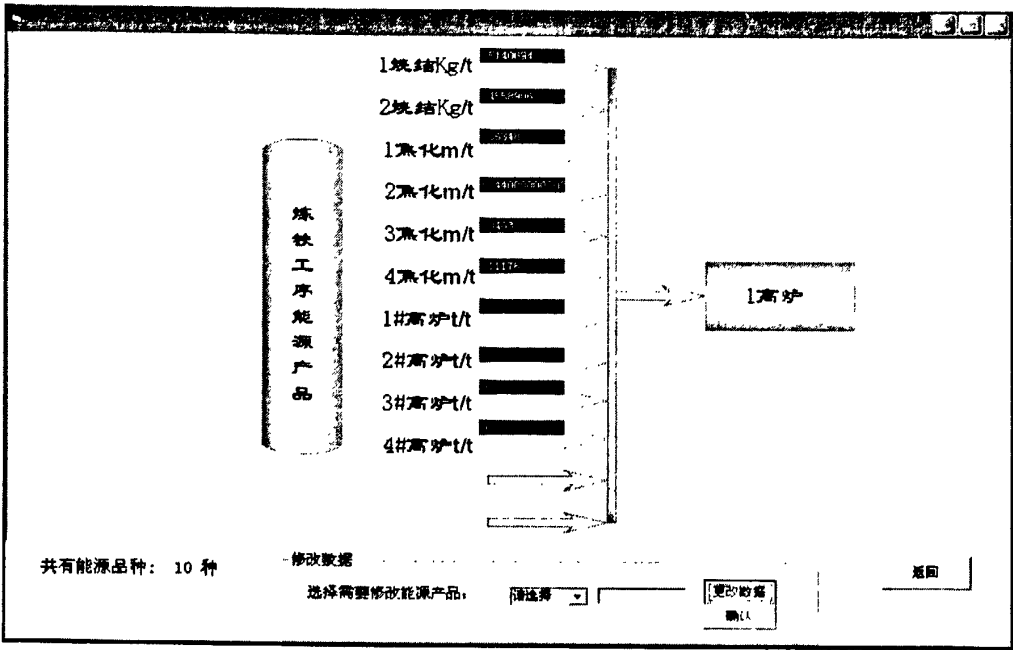


图 3.20 首钢 1#高炉单耗图

Fig. 3.20 the consume of number one Blast furnace

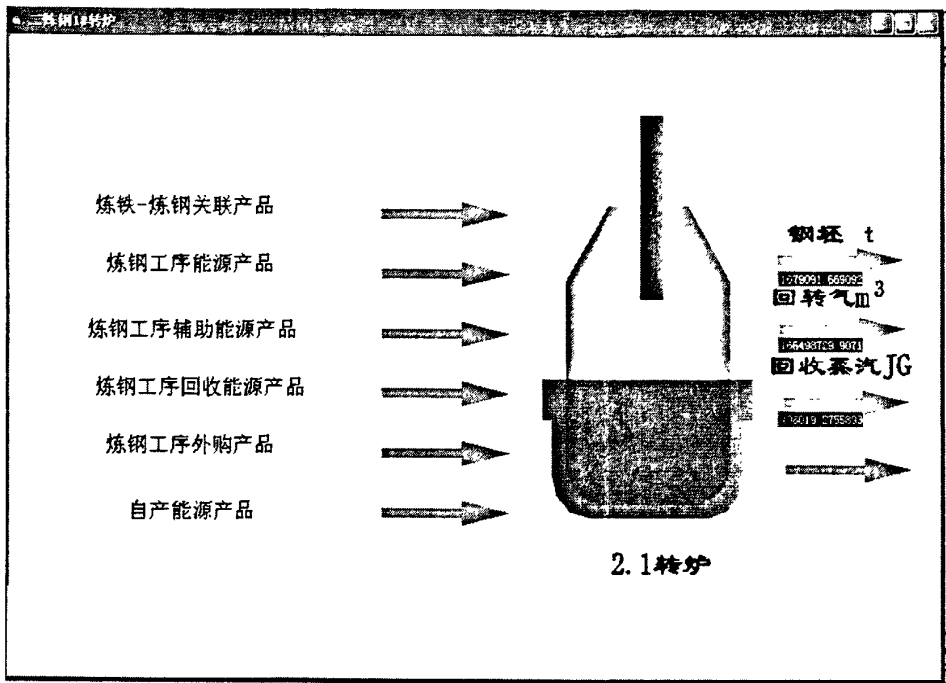


图 3.21 首钢二炼钢 1 号转炉

Fig. 3.21 the number one Converter of the secondly steel-making factory

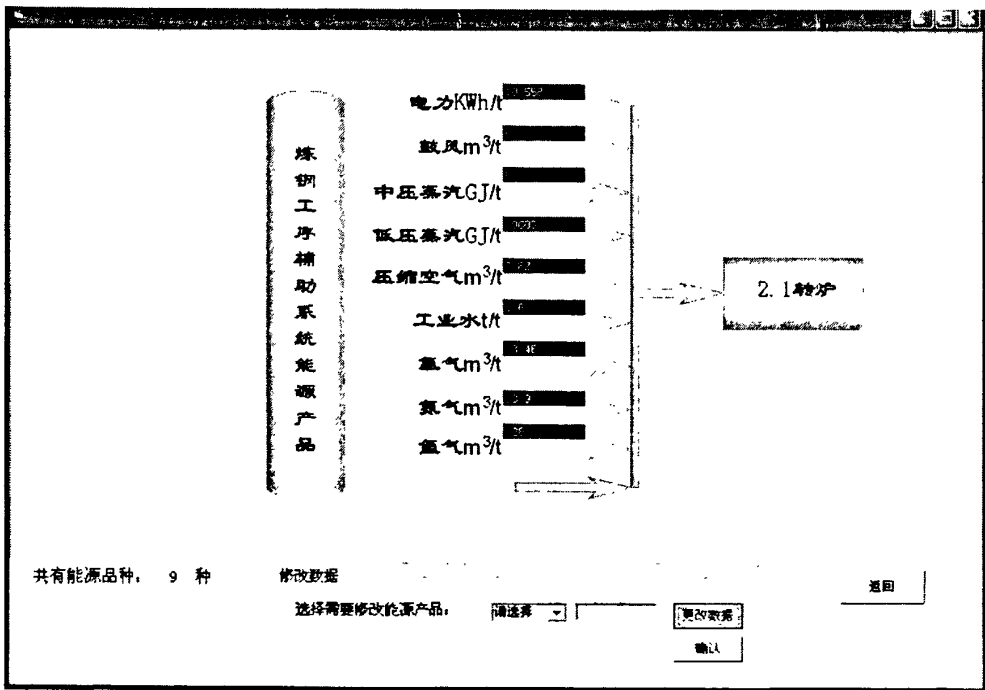


图 3.22 首钢二炼钢 1#转炉单耗图

Fig. 3.22 The consume of number one Converter of the secondly steel-making factory

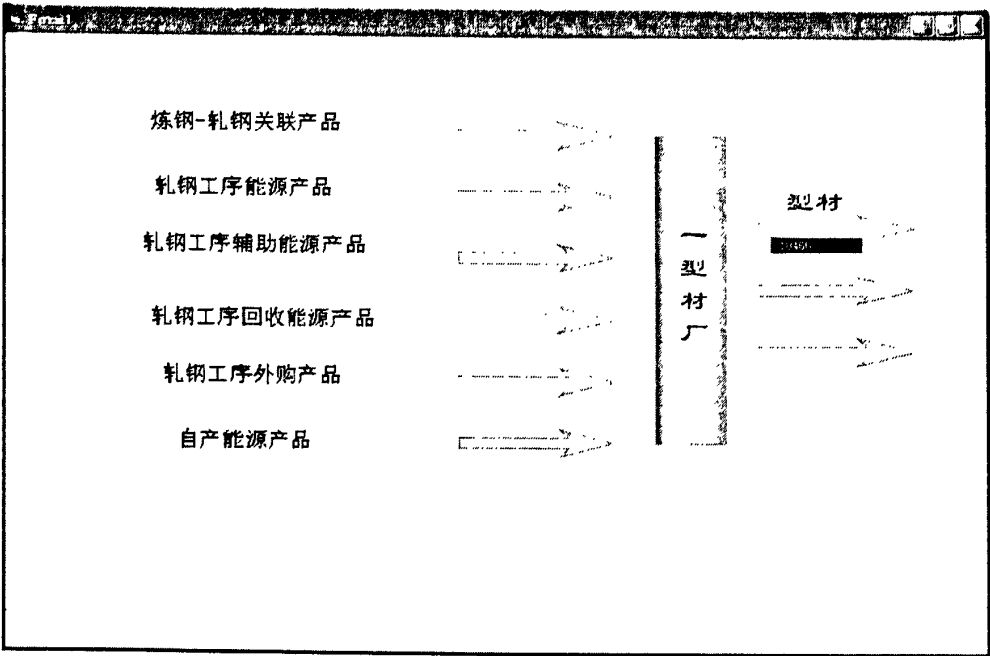


图 3.23 首钢一型材厂

Fig. 3.23 number one Molding factory

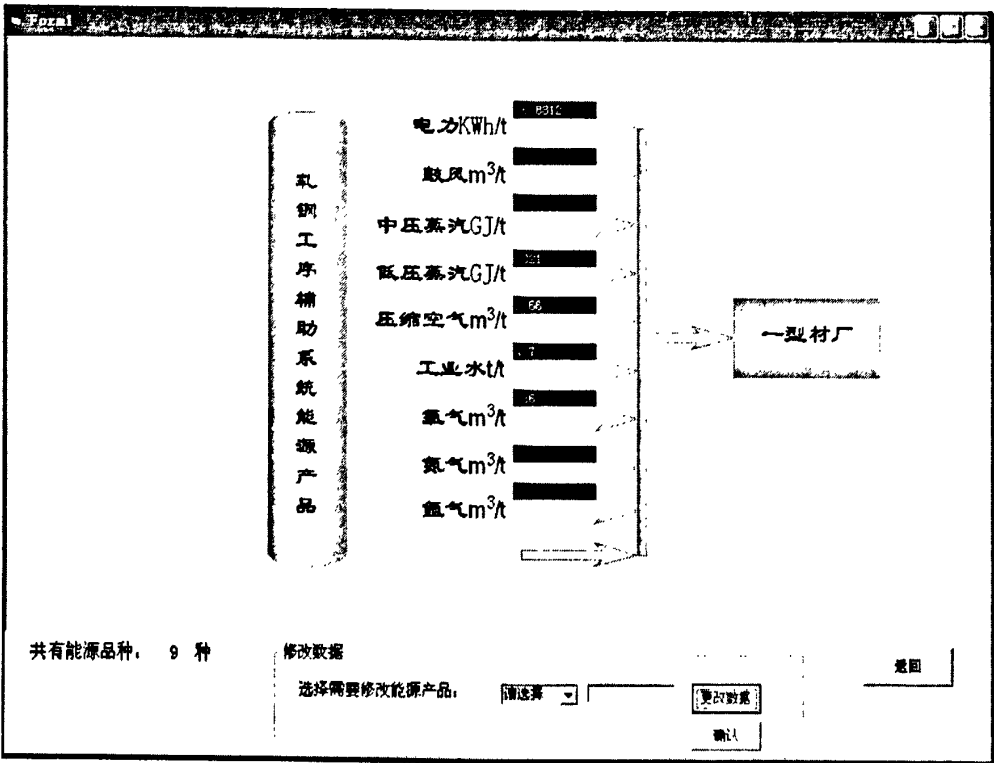


图 3.24 一型材厂单耗图

Fig. 3.24 the consume of number one Molding factory

3.5.2 设备的停产与恢复

为了保证首钢压产方案在计算机中的实现,软件提供主生产系统设备(如炼铁系统的烧结机、焦炉、高炉,炼钢系统的转炉、连铸机,轧钢系统的轧钢厂)的停产与恢复功能,当停产当前设备时,该设备的单耗清零,与之关联产品所对应的单耗清零,同时改变生产系统中的物流关系;当恢复当前设备时,恢复到停产前的状况。

3.5.3 能耗计算与分析

结合首钢生产减产要求,以首钢基础数据库为模型数据来源,利用多级能源投入产出模型、能值模型、能耗模型对首钢生产主系统进行能耗计算与分析。

3.5.3.1 能耗计算

软件可实现以下功能:

1. 当各工序中设备单耗变化时,通过模型计算,结果在程序中显示;
2. 当主产品产量变化时,可自动实现模型计算功能,结果在程序中显示;
3. 当炼铁-炼钢、炼钢-轧钢界面物流关系变化时,可以自动实现模型计算功能,结果在程序中显示;
4. 针对首钢提出的压产方案(如停产炼铁工序中的烧结机、焦炉、高炉,炼钢工序中的转炉、连铸机或轧钢工序中的轧钢厂),经模型计算后,结果在程序中显示。
5. 对辅助工序同样可以实现以上功能;

3.5.3.2 能耗分析

依据能耗计算结果,能耗分析的对象主要为产品产量、主要能耗指标、主要技经指标、主要设备产量、主要工序能耗以及煤气指标六部分,界面显示见图 3.25:

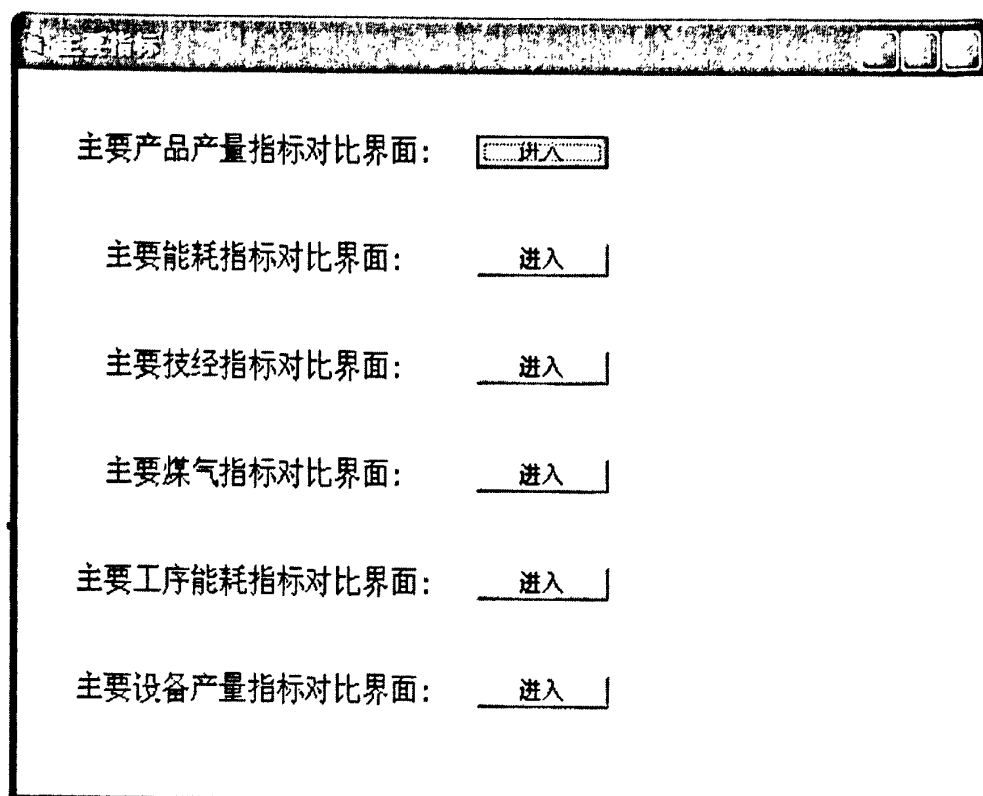


图 3.25 能耗指标分析界面

Fig. 3.25 The interface of the index of energy consuming analysis

主要产品产量包括：钢产量、铁产量、钢材产量、迁钢调坯量以及焦炭产量。根据不同的调整方案，分别对以上各数据同 2006 年首钢现状数据进行变化量的计算，分析产量变化情况。

主要能耗指标包括：吨钢可比能耗、吨钢综合能耗以及高炉入炉焦比。以上指标的算法同首钢能源平衡表的算法一致，在一定程度上保证能耗指标的可比性。针对不同的调整方案，比较以上指标同 2006 年首钢现状的变化量，进而可以帮助决策者评定不同方案的优劣。

主要技经指标包括：热力发电量、干熄焦发电量、高炉压差发电量、外购电量、鼓风量、蒸汽量、压缩空气量、工业用水量、氧气量、氮气量、氩气量、自产焦炭量、外购焦炭量、洗精煤量、无烟煤量、动力煤量、柴油量、汽油量、劣质煤量、混油量、焦丁量。针对不同方案计算以上数据同 2006 年首钢现状的变化。

主要设备产量包括：1 高炉产量、2 高炉产量、3 高炉产量、4 高炉产量、二炼钢 3 座转炉的产量、三炼钢 3 座转炉的产量、二连铸产量以及三连铸产量，各轧钢厂产量。以上设备产量的变化量作为辅助决策的基础数据。

主要工序能耗包括：炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序的主要设备能耗情况。针对不同调整方案进行工序能耗的比较，如图 3.26 所示：

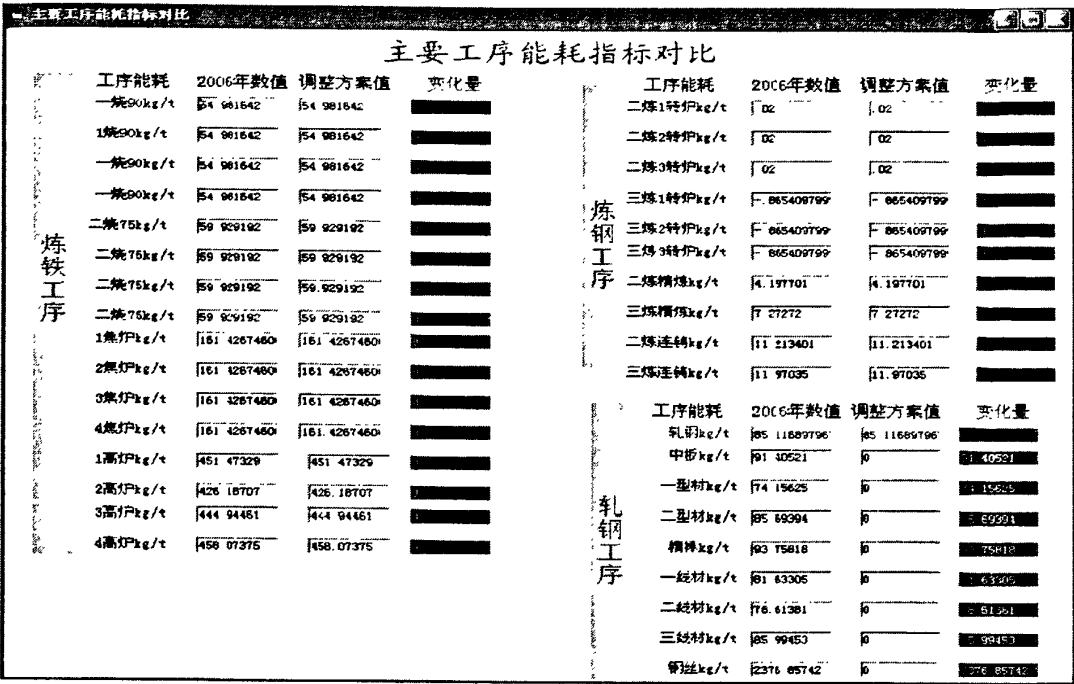


图 3.26 工序能耗指标对比图

Fig. 3.26 the contrast of the energy consuming index of procedure

煤气指标包括：焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气以及天然气的发生量、使用量、富余率等。针对不同方案的变化可计算比较以上煤气使用情况。

3.5.4 辅助决策

针对 2008 首钢压产方案以及首钢的实际情况,辅助决策部分以不增加投资,立足实际,实现首钢稳定生产为前提,决策出相应的改进方案,界面如图 3.27 所示：

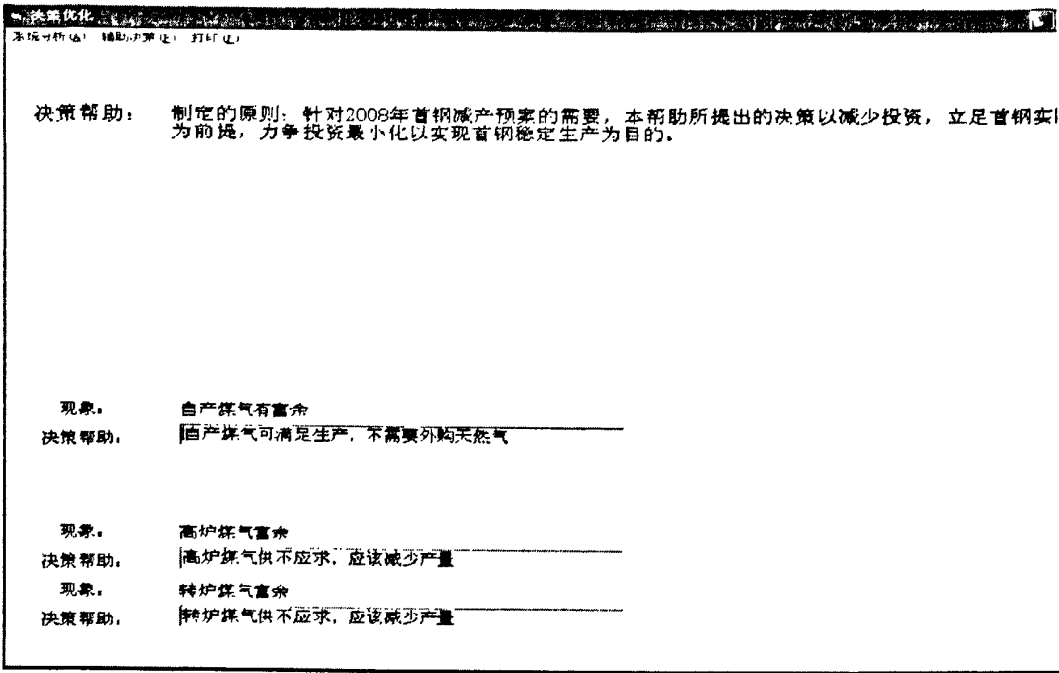


图 3.27 辅助决策界面

Fig. 3.27 the decision-making interface

(1) 为炼铁工序和炼钢工序之间的匹配问题提出决策方案

首钢生产中炼铁工序中高炉的产品是炼钢工序中转炉的原料，只有高炉同转炉之间实现恰当地协调配合，才能使这两道工序满足正常生产。2008 年首钢减产方案中部分高炉和转炉停产后，涉及到生产的高炉、转炉可能存在超产的问题。对此，减产方案计算的结果中如出现高炉铁水产量超过现有生产能力的现象，辅助决策提出降低转炉产量的决策，确定“以铁定钢”的原则，此时虽然出现转炉吃不饱问题，但是可在不增加投资的情况下保证首钢生产；或者是在铁钢比大于 0.9 情况下，提供适当降低铁钢比的决策，观察高炉能否满足转炉生产。对于转炉超产的问题，辅助决策提供转炉超产的提示，并建议考虑转炉能否提高生产率，满足产量的需要。

(2) 为燃料分配问题提出决策方案

针对 2008 首钢方案中到底外购天然气还是不需要外购天然气问题，首先针对首钢提出的阶段压产方案计算各个方案的煤气发生量、使用量以及放散率（反映富裕量的大小）情况。结果如有煤气不足则需要外购天然气，煤气富裕则放散。

合理的方案应先确定自产的焦炉煤气、高炉煤气以及转炉煤气的三种煤气发生量之和、使用量之和，在总使用量大于总发生量时再外购天然气，如总使用量小于总发生量时不需外购天然气。

确定完天然气是否外购后再根据焦炉煤气、高炉煤气以及转炉煤气的发生量、使用量以及放散率情况确定是否应调整用户。如果出现使用量大于发生量的现象则需要调整煤气用量，进而实现使用量小于发生量，实现稳定生产。反之如使用量小于发生量则不需要调整煤气用量。依据以上原则，辅助决策部分提供是否外购天然气、是否需要调整焦炉煤气用量、是否需要调整高炉煤气用量以及是否需要调整转炉煤气用量的决策。

第 4 章 系统的数学模型

《首钢 2008 压产能耗分析》计算机辅助软件的数学模型具体分为三个主要模型，即多级投入产出模型、能值模型、能耗模型。模型用 Matlab 语言编写，以首钢基础数据库为数据来源，模型以 M 文件的形式存在，利用 Matlab 编译程序 mcc 把 M 文件编译成可执行程序，然后 VB 主程序通过 shell 命令调用该程序^[22]。这样数学模型就很好的与软件系统衔接在一起。如图 4.25 所示：

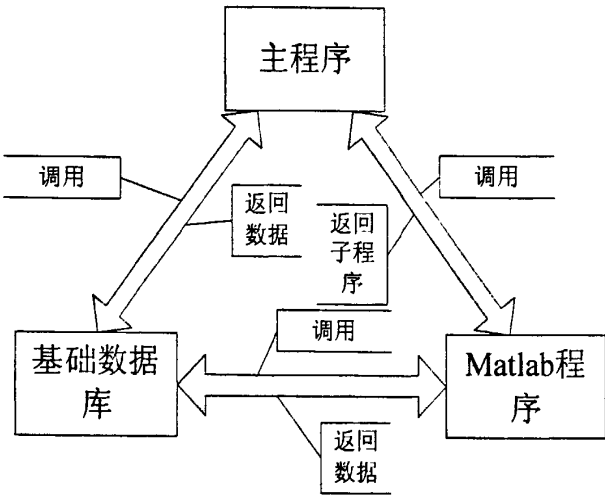


图 4.1 数学模型调用示意图

Fig. 4.1 data-transfer in math module

4.1 首钢多级投入产出模型

模型的输入变量，也就是多级投入产出模型的输入变量。其中 Q 代表本系统矩阵变量，R 代表产品关联产品矩阵变量，E 代表辅助产品消耗矩阵变量，B 代表自产及回收消耗矩阵变量，D 代表外购产品消耗矩阵变量，A 代表外销产品消耗矩阵变量，0、1、2、3 分别代表辅助工序、炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序。而 R1 代表炼铁工序与炼钢工序产品关联矩阵，R2 代表炼钢工序与炼铁工序产品关联矩阵。

```
Q0=xlsread('D:\首钢\投入产出表','辅助工序','D4:L12')
Q1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼铁工序','D4:S19')
Q2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D8:M17')
Q3=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D6:L14')
R1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D4:M7')
```

```

R2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D4:L5')
E1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼铁工序','D20:S28')
E2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D18:M26')
E3=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D15:L23')
B0=xlsread('D:\首钢\投入产出表','辅助工序','D13:L16')
B1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼铁工序','D29:S37')
B2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D27:M35')
B3=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D24:L32')
D0=xlsread('D:\首钢\投入产出表','辅助工序','D17:L23')
D1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼铁工序','D38:S49')
D2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D36:M43')
D3=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D33:L41')
A0=xlsread('D:\首钢\投入产出表','辅助工序','N4:N12')
A1=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼铁工序','U4:U19')
A2=xlsread('D:\首钢\投入产出表','炼钢工序','O8:O17')
A3=xlsread('D:\首钢\投入产出表','轧钢工序','N6:N14')
    
```

模型的输出变量，也就是能源投入产出模型的输出变量。其中：X 代表各主要工序主要产品产量（炼铁、炼钢、轧钢），Z 代表各工序辅助产品消耗量，P 代表各工序自产及回收产品消耗量，M 代表外购产品消耗量。0、1、2、3 分别代表辅助工序、炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序。

$$X3=A3 \quad (4-1)$$

式中，A3 代表轧钢外销产品

$$W2=R2*X3 \quad (4-2)$$

$$X2=\text{inv}(\text{eye}(9)-Q2)*(A2+W2) \quad (4-3)$$

式中，Q2 代表炼钢工序本系统消耗矩阵，A2 代表炼钢外销产品，W2 代表炼钢工序给下道工序（轧钢工序）的产品，R2 代表炼钢工序对轧钢工序关联矩阵

$$W1=R1*X2 \quad (4-4)$$

$$X1=\text{inv}(\text{eye}(10)-Q1)*(A1+W1) \quad (4-5)$$

式中，Q1 代表炼铁工序本系统消耗矩阵，A1 代表炼铁外销产品，W1 代表炼铁工序给下道工序（炼钢工序）的产品，R1 代表炼铁工序对炼钢工序关联矩阵

$$X0=\text{inv}(\text{eye}(9)-Q0)*(ZZ+A0) \quad (4-6)$$

式中, Q0 代表辅助工序本系统消耗矩阵, ZZ 是辅助系统外供给炼铁、炼钢、轧钢系统产品的数量, A0 代表能源加工与转换等环节消耗的辅助工序产品

$$Z3=E3*X3 \quad (4-7)$$

$$Z2=E2*X2 \quad (4-8)$$

$$Z1=E1*X1 \quad (4-9)$$

式中, E1、E2、E3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序辅助产品消耗矩阵, X1、X2、X3 为炼铁、炼钢、轧钢工序主产品产量。

$$P3=B3*X3 \quad (4-10)$$

$$P2=B2*X2 \quad (4-11)$$

$$P1=B1*X1 \quad (4-12)$$

式中, B1、B2、B3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序自产及回收产品消耗矩阵, X1、X2、X3 为炼铁、炼钢、轧钢工序主产品产量。

$$M0=D0*X0 \quad (4-13)$$

$$M1=D1*X1 \quad (4-14)$$

$$M2=D2*X2 \quad (4-15)$$

$$M3=D3*X3 \quad (4-16)$$

式中, M0、M1、M2、M3 代表辅助、炼铁、炼钢、轧钢工序外购产品消耗矩阵, X0、X1、X2、X3 为辅助、炼铁、炼钢、轧钢工序主产品产量。

$$HDIAN=P3(8,1)+P2(8,1)+P1(8,1) \quad (4-17)$$

式中, HDIAN 代表主生产工序回收电总量

$$HQI=P3(9,1)+P2(9,1)+P1(9,1) \quad (4-18)$$

式中, HQI 代表主生产工序回收蒸汽总量

$$PP=P1+P2+P3 \quad (4-19)$$

式中, PP 代表三个主工序自产及回收产品量之和

$$HJIAOQ=PP(5,1) \quad (4-20)$$

$$HGAOQ=PP(6,1) \quad (4-21)$$

$$HZHUANQ=PP(7,1) \quad (4-22)$$

式中, HJIAOQ、HGAOQ、HZHUANQ 代表主生产工序回收焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气的量。

4.2 首钢产品能值模型

输入变量: G1、G2、G3 分别代表炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序能源消耗矩阵, SHU1、SHU2、SHU3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序消耗能源与非能源物质的能值(折标煤系数)矩阵

G1=xlsread('F:\首钢\投入产出表','炼铁工序','D14:M43')

G2=xlsread('F:\首钢\投入产出表','炼钢工序','D17:L42')

G3=xlsread('F:\首钢\投入产出表','轧钢工序','D14:K40');

SHU1=xlsread('F:\首钢\投入产出表','炼铁工序','N14:N43')

SHU2=xlsread('F:\首钢\投入产出表','炼钢工序','M17:M42')

SHU3=xlsread('F:\首钢\投入产出表','轧钢工序','L14:L40')

$$N1=\text{inv}(\text{eye}(10)-Q1)*G1*SHU1 \quad (4-23)$$

式中, N1 代表炼铁工序主要产品的能值, Q1 代表炼铁工序本系统消耗矩阵, G1 代表炼铁工序能源消耗矩阵, SHU1 代表炼铁工序消耗能源与非能源物质的能值矩阵

$$N2=\text{inv}(\text{eye}(9)-Q2)*L12*N1+\text{inv}(\text{eye}(9)-Q2)*G2*SHU2 \quad (4-24)$$

式中, N2 代表炼钢工序主要产品的能值, Q2 代表炼钢工序本系统消耗矩阵, G2 代表炼钢工序能源消耗矩阵, SHU2 代表炼钢工序消耗能源与非能源物质的能值矩阵, L12 代表炼铁工序与炼钢工序产品关联矩阵, N1 代表炼铁工序能值

$$N3=\text{inv}(\text{eye}(8)-Q3)*L23*N2+\text{inv}(\text{eye}(8)-Q3)*G3*SHU3 \quad (4-25)$$

其中, N3 代表轧钢工序主要产品的能值, Q3 代表轧钢工序本系统消耗矩阵, G3 代表轧钢工序能源消耗矩阵, SHU3 代表轧钢工序消耗能源与非能源物质的能值矩阵, L23 代表炼钢与轧钢产品关联矩阵, N2 代表炼钢工序能值

4.3 首钢能耗模型

首钢能耗模型由三部分组成: 分别是各工序能耗、吨钢综合能耗、吨钢可比能耗。

(1) 钢比系数

$$DUNX1=X1/GANG \quad (4-26)$$

$$DUNX2=X2/GANG \quad (4-27)$$

$$DUNX3=X3/GANG \quad (4-28)$$

式中, DUNX1、DUNX2、DUNX3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序产品的钢比系数, GANG 代表钢产量

(2) 工序能耗

$$GONG1=G1*SHU1 \quad (4-29)$$

$$\text{GONG2}=\text{G2}*\text{SHU2}$$

(4-30)

$$\text{GONG3}=\text{G3}*\text{SHU3}$$

(4-31)

式中，GONG1、GONG2、GONG3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序的工序能耗，G1、G2、G3 分别代表炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序能源消耗矩阵，SHU1、SHU2、SHU3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序消耗能源与非能源物质的热值或能值（折标煤系数）矩阵

(3) 可比能耗

$$\begin{aligned} \text{DUNGX1} &= \text{GONG1}' * \text{DUNX1} \\ \text{DUNGX1} &= \text{GONG2}' * \text{DUNX2} \\ \text{DUNGX1} &= \text{GONG3}' * \text{DUNX3} \\ \text{KEBI} &= \text{DUNGX1} + \text{DUNGX2} + \text{DUNGX3} + 50.14 \end{aligned}$$

(4-32)

式中，KEBI 代表吨钢可比能耗，DUNGX1、DUNGX2、DUNGX3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序的能耗，50.14 是燃气加工、机车与冶金、能源亏损的能耗。

(4) 综合能耗

$$\text{ZONG}=\text{KEBI}+\text{GX0}+12.3$$

(4-33)

式中，ZONG 代表吨钢综合能耗，GX0 代表辅助工序能耗，12.3 代表化产和其他的能耗

4.4 模型计算结果

4.4.1 2006 年首钢基础数据

把 2006 年首钢生产基础数据代出模型后,得出计算结果,并且与 2006 年实际值作比较。如图 4.26-4.28,表 4.1-4.3 所示:

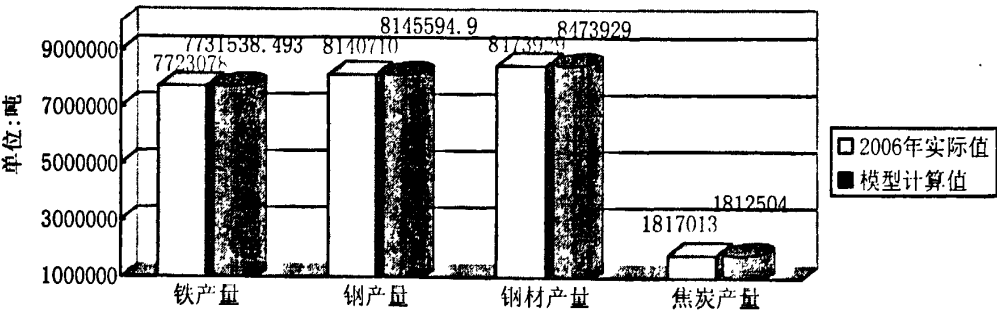


图 4.2 产量对比图

Fig. 4.2 the contrast of production

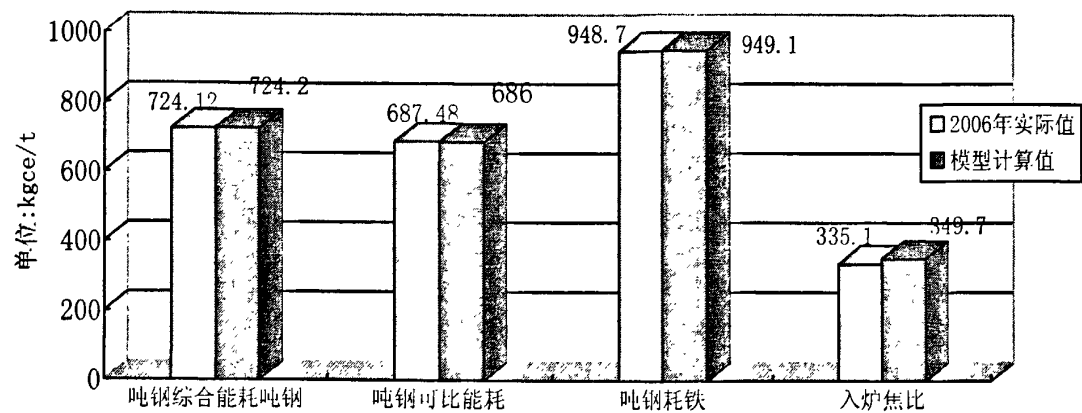


图 4.3 能耗对比图

Fig. 4.3 the contrast of energy consume

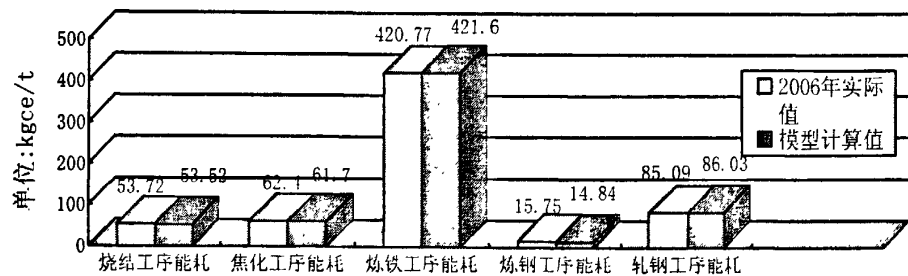


图 4.4 工序能耗对比图

Fig. 4.4 the contrast of energy consume of working procedure

表 4.1 模型计算结果与 2006 年实际值比较表

Table 4.1 the contrast of index between counting result and 2006

表 4.1(a) 产量对比表

Table 4.1(a) the contrast of production

	铁产量(t)	钢产量(t)	钢材产量(t)	焦炭产量(t)
2006 实际值	7723078	8140710	8473929	1817013
模型计算值	7731538	8145594	8473929	1812504

表 4.1(b) 能耗对比表

Table 4.1(b) the contrast of energy consume

	综合能耗(kgce/t)	可比能耗(kgce/t)	吨钢耗铁(kgce/t)	入炉焦比(kgce/t)
2006 实际值	724.12	687.48	947.95	335.1
模型计算值	724.2	686.1	949.1	349.7

表 4.1(c) 各工序能耗对比表

Table 4.1(c) the contrast of working procedure energy consume

	烧结工序能耗 (kgce/t)	焦化工序能耗 (kgce/t)	炼铁工序能耗 (kgce/t)	炼钢工序能耗 (kgce/t)	轧钢工序能耗 (kgce/t)
2006 实际值	57.3	160.6	443.88	15.75	85.09
模型计算值	57.37	161.43	445.2	15.05	85.12

由以上数据可以看出, 模型计算出的结果接近首钢实际, 因此该模型适合作为首钢 2008 年压产计划的预测模型。

4.4.2 压产方案及模型计算结果

首钢以 2006 年生产结构为基准, 分阶段实施压产方案:

- (1) 第一阶段(2007 年底实施): 停 4#高炉、烧结厂二车间 2 台烧结机、停三炼钢两座转炉及其对应的连铸机。
 - (2) 第二阶段(2008 年第一季度末实施): 停 2#高炉, 停产烧结厂二车间剩余的 2 台烧结机、停三炼钢全部。
 - (3) 第三阶段(奥运期间实施): 停 3#高炉, 停烧结厂一车间 1#、2#烧结机。
- 三阶段模型预测结果如下:

表 4.2 压产方案三个阶段比较表

Table 4.2 the contrast of the three stages

表 4.2 (a) 产量对比表

Table 4.2(a) the contrast of production

项目	烧结 (t)	焦炭(t)	铁产量(t)	钢产量(t)	钢材产量(t)
2006 年	45.31	190.20	193.29	203.64	211.85
第一阶段	45.31	139.34	140.68	148	153.99
第二阶段	45.31	106.21	106.53	112.00	115.16
第三阶段	45.31	54.43	56.11	59.00	57.82

表 4.2 (b)工序能耗对比表

Table 4.2(b) the contrast of working procedure energy consume

项目	焦化(kgce/t)	烧结(kgce/t)	炼铁(kgce/t)	转炉(kgce/t)	连铸(kgce/t)	轧钢(kgce/t)
2006 年	161.4	57.5	445.2	-0.85	11.6	85.1
第一阶段	161.4	56.6	440.9	-0.20	11.6	85.1
第二阶段	161.4	55.0	448.2	-0.87	11.6	85.1
第三阶段	161.4	54.98	451.47	-0.02	11.21	85.1

表 4.2 (c) 能耗对比表

Table 4.2(c) the contrast of energy consume

项目	综合能耗 (kgce/t)	可比能耗(kgce/t)	吨钢耗铁(kgce/t)	入炉焦比(kgce/t)
2006 年	724.23	686.11	949.1	349.7
第一阶段	742.26	695.7	950.5	349.7
第二阶段	750.67	694.55	951.1	349.7
第三阶段	845.44	750.76	951.1	349.7

第5章 能耗通用数学模型的研究

研究并开发首钢项目的过程中，遇到了以下几个问题：

- (1) 当首钢增加生产设备时, 数学模型是否需要改变?
- (2) 当对于其它企业, 首钢数学模型是否适用?

5.1 能耗通用数学模型

在做首钢项目中遇到了这样的问题，比如当炼铁系统增加设备时(比如说增加一个焦炉和高炉)时，模型需要重新开发，这样模型没有通用性。

因此需要把基础数据库中的数据变量化，即把投入产出表中的数据拆分，也就是模型的输入变量（各主生产系统的单耗矩阵，最终产品矩阵、产品能值矩阵）都分别放到基础数据库中相应的工作表中，这样把每个工作表中的内容看成是一个变化的量。

根据上述方法,把投入产出表分成了以下许多子表:炼铁本、炼铁辅助、炼铁回、炼铁外购、炼钢关、炼钢本、炼钢辅助、炼钢回、炼钢外购、轧钢关、轧钢本、轧钢辅助、轧钢回、轧钢外购、最终炼铁、最终炼钢、最终轧钢、辅助能值、炼铁能值、炼钢能值、轧钢能值,这些表中的矩阵或者向量分别被读入到模型输入变量 Q1、E1、B1、D1、R1、Q2、E2、B2、D2、R2、Q3、E3、B3、D3、A1、A2、A3、SHU1、SHU2、SHU3 中,另外加上辅助、加工转化表(分别读入到变量 FUZHU、JIAGONG 中),其中炼铁本表如图 5.1 所示:

[illegible]

图 5.1 炼铁本系统产品消耗表

Fig. 5.1 the energy cost of puddling system

这样,不同企业的投入产出数据可以通过以上方法成为变量并且被读到数学模型中去。

由于在模型中进行矩阵运算的时候,需要确定矩阵的大小,因此在矩阵运算之前,通过 Matlab 函数库中 SIZE 函数确定矩阵的大小(行和列),分别放入变量 a、b 中。

5.1.1 投入产出模型

$$X3=A3 \quad (5-1)$$

式中, A3 代表轧钢外销产品, X3 代表轧钢工序产品的产量

$$W2=R2*X3 \quad (5-2)$$

$$X2=\text{inv}(\text{eye}(a2)-Q2)*(A2+W2) \quad (5-3)$$

式中, X2 代表炼钢工序产品的产量, Q2 代表炼钢工序本系统消耗矩阵变量, A2 代表炼钢工序外销产品变量, W2 代表炼钢工序给下道工序(轧钢工序)产品变量, R2 代表炼钢工序对轧钢工序关联矩阵变量, a2 代表炼钢工序本系统消耗矩阵大小的变量

$$W1=R1*X2 \quad (5-4)$$

$$X1=\text{inv}(\text{eye}(a1)-Q1)*(A1+W1) \quad (5-5)$$

式中, X1 代表炼铁工序产品的产量, Q1 代表炼铁工序本系统消耗矩阵变量, A1 代表炼铁工序外销产品变量, W1 代表炼铁工序给下道工序(炼钢工序)产品变量, R1 代表炼铁工序对炼钢工序关联矩阵变量, a1 炼铁工序本系统消耗矩阵大小的变量

$$Z3=E3*X3 \quad (5-6)$$

$$Z2=E2*X2 \quad (5-7)$$

$$Z1=E1*X1 \quad (5-8)$$

式中, E1、E2、E3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序辅助产品消耗矩阵变量, X1、X2、X3 为炼铁、炼钢、轧钢主产品产量。

$$P3=B3*X3 \quad (5-9)$$

$$P2=B2*X2 \quad (5-10)$$

$$P1=B1*X1 \quad (5-11)$$

式中, B1、B2、B3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序自产及回收产品消耗矩阵变量, X1、X2、X3 为炼铁、炼钢、轧钢主产品产量。

$$M0=D0*X0 \quad (5-12)$$

$$M1=D1*X1 \quad (5-13)$$

$$M2=D2*X2 \quad (5-14)$$

$$M3=D3*X3 \quad (5-15)$$

式中, $M0$ 、 $M1$ 、 $M2$ 、 $M3$ 代表辅助、炼铁、炼钢、轧钢工序外购产品消耗矩阵变量, $X0$ 、 $X1$ 、 $X2$ 、 $X3$ 为辅助、炼铁、炼钢、轧钢主产品产量。

$$PP=P1+P2+P3 \quad (5-16)$$

$$HJIAOQ=PP(b-4,1) \quad (5-17)$$

$$HGAOQ=PP(b-3,1) \quad (5-18)$$

$$HZHUANQ=PP(b-2,1) \quad (5-19)$$

$$HDIAN=PP(b-1,1) \quad (5-20)$$

$$HZQI=PP(b,1) \quad (5-21)$$

式中, PP 代表三个主工序自产及回收产品量之和, b 代表 PP 变量的长度, $HDIAN$ 、 HQI 、 $HJIAOQ$ 、 $HGAOQ$ 、 $HZHUANQ$ 代表主要生产工序回收电力、回收蒸汽、回收焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气的总量

5.1.2 能值模型

$$N1=inv(eye(a1)-Q1')*G1'*SHU1 \quad (5-22)$$

式中, $N1$ 代表炼铁工序主要产品的能值, $Q1$ 代表炼铁工序本系统消耗矩阵变量, $G1$ 代表炼铁工序能源消耗矩阵变量, $SHU1$ 代表炼铁工序消耗能源与非能源物质能值变量, $a1$ 代表炼铁工序本系统消耗矩阵大小的变量

$$N2=inv(eye(a2)-Q2')*L12'*N1+inv(eye(a2)-Q2')*G2'*SHU2 \quad (5-23)$$

式中, $N2$ 代表炼钢工序主要产品的能值, $Q2$ 代表炼钢工序本系统消耗矩阵变量, $G2$ 代表炼钢工序能耗矩阵变量, $SHU2$ 代表炼钢工序消耗能源与非能源物质的能值变量, $L12$ 代表炼铁工序与炼钢工序的产品关联矩阵变量, $N1$ 代表炼铁工序产品的能值, $a2$ 代表炼钢工序本系统消耗矩阵大小的变量

$$N3=inv(eye(a3)-Q3')*L23'*N2+inv(eye(a3)-Q3')*G3'*SHU3 \quad (5-24)$$

其中, $N3$ 代表轧钢工序主要产品的能值, $Q3$ 代表轧钢工序本系统消耗矩阵变量, $G3$ 代表轧钢工序能耗矩阵变量, $SHU3$ 代表轧钢工序消耗能源与非能源物质的能值变量, $L23$ 代表炼钢与轧钢产品关联矩阵变量, $N2$ 代表炼钢工序产品的能值, $a3$ 代表轧钢工序本系统消耗矩阵大小的变量

5.1.3 能耗模型

(1) 工序能耗

GONG1=G1'*SHU1 (5-25)

GONG2=G2'*SHU2 (5-26)

GONG3=G3'*SHU3 (5-27)

式中，GONG1、GONG2、GONG3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序的工序能耗，G1、G2、G3 分别代表炼铁工序、炼钢工序、轧钢工序能耗矩阵变量，SHU1、SHU2、SHU3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序消耗能源与非能源物质的能值（折标煤系数）变量

(2) 可比能耗

DUNGX1=GONG1'*DUNX1

DUNGX1=GONG2'*DUNX2

DUNGX1=GONG3'*DUNX3

HUACHAN=GONG1'*(1,1)*DUNX1(1,1)

KEBI=DUNGX1-HUACHAN+DUNGX2+DUNGX3+fuzhu (5-28)

式中，KEBI 代表吨钢可比能耗，DUNX1、DUNX2、DUNX3 是炼铁、炼钢、轧钢工序产品的钢比系数，DUNGX1、DUNGX2、DUNGX3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序的能耗，fuzhu 是企业燃气加工、机车与冶金、能源亏损的能耗,HUACHAN 是化产的能耗

(3) 综合能耗

ZONG=DUNGX1+DUNGX2+DUNGX3+fuzhu+jiaogong (5-29)

式中，ZONG 代表吨钢综合能耗，DUNGX1、DUNGX2、DUNGX3 代表炼铁、炼钢、轧钢工序的能耗，fuzhu 是企业燃气加工、机车与冶金、能源亏损的能耗（如图 5.2 所示）,加工是能源加工转化的能耗（如图 5.3 所示）

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	燃气加工	6										
2	机车与冶金	3.3										
3	能源亏损	42.54										
4	大型连轧	5.096										
5												
25												
26												
27												
28												
29												
30												

M 4 0 M \辅助 /加工转化 /炼铁本 /炼铁辅助 /炼铁外 /炼铁回 /炼钢关 /炼钢本 /炼钢辅助 /炼

图 5.2 亏损能耗

Fig. 5.2 the lost of energy

模型计算值	617.90	620.00	622.63	704.70	646.04	654.09	644.10	784.05	639.43
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

项目	中型材	小型材	热轧带 钢	中板厂	无缝厂	大型厂	后板厂	冷轧厂	硅钢厂	线材厂
(kgce/t)										
模型计算 值	771.41	775.34	859.79	782.54	882.70	796.33	871.15	753.79	682.82	749.45

由上可知，对于 2006 年首钢、2005 年鞍钢的数据，该模型计算结果接近现实，具有很好的模拟效果，因此该模型具有一定的通用性。

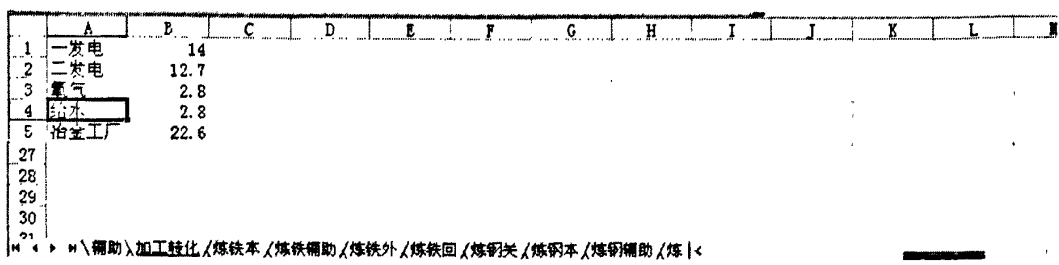


表 5.2 各工序工序能耗对比表

Table 5.2 the energy consume of the working procedure

项目	烧结工序	焦化工序	炼铁工序	炼钢工序	轧钢工序
	(kgce/t)	(kgce/t)	(kgce/t)	(kgce/t)	(kgce/t)
2005 实际值	57.4	179.2	443.09	7.4	110.1
模型计算值	58.05	179.13	443.1	7.45	109.89

表 5.3 主要能耗对比表

Table 5.3 the contrast of energy consume

项目	综合能耗(kgce/t)	可比能耗(kgce/t)	吨钢耗铁(kgce/t)	入炉焦比 (kgce/t)
2005 实际值	858.8	769.3	1017.2	379
模型计算值	858.28	795.14	1017.2	378.79

表 5.4 主要产品能值表

Table 5.4 The energy of main production

项目	焦化	二烧	三烧	分厂	新区	球团	炼铁老区	炼铁西区
(kgce/t)								
模型计算值	160.18	59.05	62.65	58.90	95.97	41.56	579.84	805.04

项目(kgce/t)	一炼钢	二炼钢	二炼钢	二炼钢	一炼钢	二炼钢	二炼钢	二炼钢	热扎带
		南	北	新	连铸	南连铸	北连铸	新连铸	钢连铸

第 6 章 结论

按照国家发改委对首钢搬迁、结构调整和环境治理的批复要求,首钢总公司提出了 2008 年首钢总公司压产保安全生产方案,对现有的生产结构进行调整。为了企业更好的调整生产结构,解决减产后带来的负面影响,为稳定生产提供辅助决策,研究和开发首钢结构调整对能耗影响的计算机辅助系统成为本文的研究内容。

本文以首钢生产现状为基础,建立首钢基础数据库(投入产出表),运用系统节能理论和分析方法,利用 MATLAB 语言开发该软件的数学模型,用 Visual Basic 语言作为软件的整体开发工具,开发了《首钢 2008 压产能耗分析》计算机辅助系统软件。

经过本文的研究得出结论如下:

(1) 针对首钢不同用户,系统可视化、界面友好、功能强大、采用人机对话的方式进行操作。

(2) 对首钢 2008 年压产方案进行能耗分析,并提出了可行的科学建议,为首钢合理的进行结构调整提供帮助和智力支持。

(3) 随后在开发首钢模型的基础上,用 MATLAB 语言以 M 文件的形式开发出了钢铁企业能耗计算通用数学模型。通过该模型能够分析和预测不同企业产品的数量、能源和非能源产品的购入量,帮助编制企业的生产经营计划,计算产品的能值,分析和预测企业的能耗总量,确定计划年度企业的能耗水平,比较不同企业间的能耗水平。

(4) 采用软件开发的方式研究企业节能问题,为系统节能软件化的研究提供参考和帮助。

参考文献

1. 吴建常. 中国钢铁工业发展现状及废钢铁的消费趋势[J], 中国废钢铁, 2007, 2(4): 6-13
2. 王泰昌, 张媛媛, 迟京东. 我国钢铁工业节能降耗现状分析[J], 中国钢铁业, 2007, (3): 21-23
3. 蔡九菊, 陆钟武. 冶金企业能源模型总体结构[J], 钢铁, 1984, 19(12): 47-58
4. 蔡九菊, 陆钟武, 马弘毅. 钢铁企业系统节能决策模型及其软件[J], 钢铁, 1989, 24(11): 52-28
5. 许杰. 本钢产品能值模型的开发与研究[J], 冶金能源, 1996, 15(2): 11-14
6. 杜涛, 蔡九菊. 钢铁企业物质流、能量流和污染流研究[J], 钢铁, 2006, 41(4): 82-87
7. 陆钟武, 蔡九菊. 系统节能基础[M], 北京: 科学出版社, 1993
8. 陆钟武. 冶金热能工程导论[M], 沈阳: 东北大学出版社, 1990, 5
9. 陆钟武. 冶金工业的能源利用[M], 北京: 冶金工业出版社, 1986
10. 蔡九菊, 赫冀成, 陆钟武等. 过去 20 年及今后 5 年中我国钢铁工业节能与能耗剖析[J], 钢铁, 2002, 37(11): 68-73
11. 陆钟武. 我国钢铁工业吨钢综合能耗的剖析[J], 冶金能源, 1992, 11(1): 14-19
12. 张琦, 蔡九菊, 段国建, 王建军, 刘汉桥. 钢铁工业系统节能方法与技术浅析[J], 节能, 2006, (1): 35-37
13. 蔡九菊, 马弘毅, 陆钟武. 企业系统节能技术的形成和发展[J], 钢铁, 1989, 24(4): 60-63
14. 王泰昌, 迟京东. 我国钢铁工业节能降耗现状分析与措施建议[J], 冶金管理, 2007, (3): 37-43
15. 王维兴. 钢铁企业工序能耗和节能潜力[J], 冶金管理, 2005, (6): 32-34
16. 黄导. 中国钢铁工业节能分析[J], 中国能源, 2004, 26(5): 13-15
17. 陆钟武. 我国钢铁工业吨钢综合能耗的剖析[J], 冶金能源, 1992, 11(1): 14-19
18. 何强. MATLAB 扩展编程[M], 北京: 清华大学出版社, 2002
19. 楼顺天. MATLAB 程序设计语言[M], 西安: 西安电子科技大学, 1997
20. 孙祥. MATLAB7.0 基础教程[M], 北京: 清华大学, 2005
21. 林卓然. VB 语言程序设计[M], 北京: 电子工业出版社, 2003
22. 张利兵, 丁建军, 陈定方. Labwindows/CVI、Matlab 与 VB 混合编程的应用[J], 湖北工学院学报, 2005, 19(3): 110-112
23. 周竹生, 陈灵君, 张赛民. VB 实现对 MATLAB 程序的调用[J], 电脑开发与应用, 2004, 19(3): 21-23
24. 王颖. ActiveX:从 Visual Basic6.0 调用 MATLAB 的实现方法[J], 机电工程, 1999, (5): 72-74

25. 顾 斌, 杨德斌. Visual Basic6.0 数据库开发[M], 北京: 清华大学出版社, 2000
26. 文小琴, 赵志诚, 孙志毅. VB 与 MATLAB 的动态数据交换及其应用[J], 控制工程, 2002, 9(5): 88-91
27. 李永曦, 陶伟莲, 关立行. 在 VB6.0 中调用 MATLAB 程序[J], 微机发展, 2004, 14(1): 88-92
28. 郑君杰, 黄 峰. 在 VB6.0 中调用和操作 MATLAB[J], 微机发展, 2002, 14(1): 88-92
29. 张志涌. 掌握和精通 Matlab[M], 北京: 航空航天出版社, 1998
30. 刘志俭. MATLAB 应用程序接口用户指南[M], 北京: 科学出版社, 2000
31. 蔡九菊, 杜 涛. 钢铁企业投入产出模型及吨钢能耗和环境负荷分析[J], 黄金学报, 2001, 3(4): 306-312
32. 蔡九菊. 钢铁企业系统节能决策模型的研究及其应用[D], 沈阳, 东北工学院, 1986.
33. 刘焕俊. 冶金工业节能对策及目标[J], 中国冶金, 1997(4): 7-10
34. 首钢研究课题组. 首钢 2008 压产预案能耗分析及对策研究[D], 沈阳, 东北大学热能与环境工程研究所, 2007
35. M S Mohsen, B A Akash. Energy Analysis of the steel making industry [J], International Journal of Energy Research, 1998, 22(8): 1049-1054
36. R Mark, F Liu. The Energy Efficiency Of The Steel Industry Of China, Energy [J], Steel Time International, 1991, 16(5): 23-28
37. Kiminori Hajika etc. Quality Improvement and Energy Saving by A Newly-Developed steelmaking Process[J], Ironmaking conference proceedings, 1989, 48: 331-333

致谢

在此论文即将付梓之际, 谨向所有关心我学业的老师、同学和朋友表达最诚挚的谢意。

本文是在蔡九菊教授的悉心指导下完成的。研究生期间, 我在所取得的每一点成绩, 无不浸透着老师的心血, 他严谨的治学态度, 踏实的学术作风使我终身受益, 在此向他致以由衷的感谢和崇高的敬意。

同时毕业论文还得到杜涛老师的大力支持和帮助, 她严谨的作风和科学的态度贯穿于毕业设计的整个过程, 在此对她表示衷心的感谢。

在论文成文期间, 还得到了谢国威、张立宏、肖松、王建军博士, 庞兴露、葛红、陈春霞、李亚军、刘友、孙广、夏明硕士的指导和帮助, 在此表示深深的谢意。

