

分类号\_\_\_\_\_

密级\_\_\_\_\_

UDC\_\_\_\_\_

## 学 位 论 文

### 迁钢热轧分厂加热炉改造项目可行性研究

作者姓名： 陈迪安  
指导教师： 卢纪华 副教授  
东北大学工商管理学院  
申请学位级别： 硕士 学科类别： 工程硕士专业学位  
学科专业名称： 项目管理  
论文提交日期： 2010年6月10日 论文答辩日期： 2010年6月18日  
学位授予日期： 答辩委员会主席： 钟田丽 教授  
评阅人： 钟田丽 教授、孙利华 教授

东 北 大 学  
2010年6月

**A Thesis for the Master of Engineering in Project Management**

**The feasibility study of regeneration  
combustion innovation of heating furnace of  
QG hot milling factory**



by **Chen Di An**

Supervisor: Associate Professor **Lu Jihua**

**Northeastern University**  
**June 2010**

# 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：陈迪安

日期：2010.6.10

# 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。

作者和导师同意网上交流的时间为作者获得学位后：

半年 ☐ 一年 ☐ 一年半 ☐ 两年 ☒

学位论文作者签名：陈迪安

签字日期：2010.6.10

导师签名：

签字日期：

2010.6.10

## 摘 要

随着工业的迅速发展和人口的不断增长,能源和环境问题成为倍受人类瞩目的两大问题。目前全国的能源有 90%以上来自燃烧化石燃料(煤、石油和天然气)所释放的能量。化石燃料在全国的储量是有限的,我们需要开发新能源,而当前更重要的是现有能源的合理利用。全国 70%以上的污染物也来自化石燃料的燃烧产物,如二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、未燃碳氢化合物(UHC)和烟尘。二氧化碳、一氧化氮( $\text{CO}$ )和甲烷( $\text{CH}_4$ )是温室气体,引起全球气候恶化;一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、部分未燃碳氢化合物和烟尘可直接对人体和动植物产生危害;大气中的二氧化硫和氮氧化物会产生酸雨,对建筑物和各种材料也会产生直接腐蚀。因此,在我国实施经济可持续性发展战略的关键时期,研究和应用节约能源、提高能源利用效率、减少污染物排放的燃烧技术成为我国工业界的当务之急。

根据首钢总公司 2006 年的规划,要在首钢迁钢基地新建年产量 100 万吨冷轧项目,迁钢厂区所有焦炉煤气全部供给新建的冷轧厂,这就意味热轧分厂只能燃烧低热值的高炉煤气,而以高炉煤气为燃料,采用常规燃烧技术,高炉煤气的理论燃烧温度达不到  $1500^\circ\text{C}$ ,满足不了轧钢要求。根据河北省唐山市环保局 2006 年污染物排放指标要求,首钢迁钢热轧厂加热炉  $\text{NO}_x$  的排放必须在 80PPm 以下,由于首钢迁钢热轧厂加热炉采用常规燃烧技术,不能满足最新排放浓度标准要求。基于以上两点,立即对迁钢热轧分厂加热炉燃烧系统进行改造,将势在必行,确保钢坯加热和  $\text{NO}_x$  达标排放。

本文选取首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目为研究对象,利用项目管理理论及方法,对项目从投资前、实施中以及运行后进行了综合分析。

**关键词:** 可行性研究; 投资项目; 技术改造

# **The feasibility study of regeneration combustion innovation of heating furnace of QG hot milling factory**

## **Abstract**

With the rapid development of industry and the increasing growth of population, resources and environment problems become two major problems people focus attention upon. Now more than 90 percent of the energy come from energy the burning of fossil fuels( coal, oil and natural gas) release of. Fossil fuels reserves in national is limited, we need to develop new energy, the more important thing is the existing rational utilization of energy. The more than 70 percent of the pollutants from the burning of fossil fuels and product, such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen(NOX) and unexploded hydrocarbons (UHC) and soot. Carbon dioxide ,carbon monoxide (CO) and (CH<sub>4</sub>) are greenhouse gases, which worsened the global climate, Sulfur dioxide and nitrogen oxides, carbon monoxide and partial unexploded hydrocarbons and dust can be directly harmful to human and animal, Sulfur dioxide and nitrogen oxides in atmosphere can produce acid rain which erode buildings and various materials. Therefore, in the implementation of economic sustainable development strategy, research and application of saving energy, improving energy efficiency and reducing emissions of combustion technology has become urgent affairs in our industry.

According to the survey, percent 50 population come from hot milling factory in He bei shou gang qian an iron steel limited liability company (hereinafter referred to as SGQG ), which is mainly due to the factory set 3 set 270t/h reheating furnace, the annual output 4.5 million tons, 3 set furnace combustion gas is 120000Nm<sup>3</sup>/h, which produce

375000Nm<sup>3</sup>/h. On account of the reheating furnace of hot rolling factory constructed earlier, combustion system technic and equipment relatively drop behind, the existing combustion way can not effectively reduce the pollution to the environment. Therefore, hot milling factory became a big pollution unit in QG, is the key unit in shougang environmental father.

QG hot milling factory put into production in December 2001, which adopt mixed gas as fuel, the furnace take conventional air and gas double preheating combustion technology, namely the air and gas are preheated to 500 degrees and 300 degrees respectively, the temperature of exhaust gas is 500 degrees, thus it can be seen that efficiency of recovery is low, but it was relatively advanced and mature technology in that times, But the regenerative combustion technology can preheat air and gas to 1000 degrees respectively, the temperature of exhaust gas is 150 degrees, which can carry out high temperature and low oxygen burning, the regenerative combustion technology has the character of lower fuel consumption, lower NOX produce, especially which can utilize the low calorific value of coal gas applications to the reheating furnace, etc. Are also gradually applied in the reheating furnace combustion system, and achieved good effect of saving energy.

According to the plan in 2006 Shou Gang corporation, QG will construct one million tons cold milling, all the Coke oven gas will supply the cold milling factory, so the furnace in the hot milling factory burn only low calorific value of blast furnace gas, if we adopt the conventional fuel combustion technology, the theory combustion temperature of blast gas is less than 1,500 degrees, this can't satisfy the rolling requirements. according to the requirement of the environmental pollutants He bei tang shan in 2006 is about of the exhaust gas of pollution, the nitrogen(NO<sub>x</sub>) in exhaust gas must less than 100PPm, but the conventional combustion technology cannot satisfy the latest emitting concentration standard requirements. Based on the above two points, the combustion of furnace in hot milling factory of QG must be altered, it is

imperative to ensure billet heating and NO<sub>x</sub> emissions standards.

This article selects the reheating furnace of hot rolling factory in QG regenerative combustion reconstruction project as the research object, I use the theory and method of project management to analyze project at before investment, in implementation and after operation .

The project's success is not only result of combination regenerative combustion technology theory and the actual situation , but also the experiment of the project management application , which will supply reference for our future projects

**Keywords:** feasibility study; investment project; echnical innovation

目 录

独创性声明 I

摘 要 II

ABSTRACT III

第 1 章 绪 论 1

1.1 研究背景 ..... 1

1.1.1 中国钢铁工业发展现状 ..... 1

1.1.2 钢铁工业环境保护现状 ..... 1

1.1.3 冶金炉窑节能技术的发展趋势 ..... 2

1.1.4 钢铁工业废气的综合治理 ..... 2

1.2 研究内容及意义 ..... 3

1.2.1 研究内容 ..... 3

1.2.2 研究意义 ..... 3

第 2 章 项目立项管理相关理论 5

2.1 项目管理 ..... 5

2.1.1 项目管理的含义 ..... 5

2.1.2 项目进度管理 ..... 5

2.1.3 项目质量控制 ..... 7

2.1.4 项目费用管理 ..... 7

2.1.5 项目风险管理 ..... 8

2.2 项目评估 ..... 9

2.2.1 项目可行性研究的含义 ..... 9

2.2.2 项目可行性研究的内容 ..... 10

2.2.3 可行性研究报告的作用 ..... 11

第 3 章 迁钢热轧分厂加热炉改造项目概况 13

3.1 迁钢热轧分厂简介 ..... 13

3.2 迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目概况 ..... 13

3.3 迁钢热轧分厂加热炉改造项目立项的必要性 ..... 14

第 4 章 迁钢热轧分厂加热炉改造项目可行性分析 16

4.1 加热炉改造项目技术分析 ..... 16

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 4.1.1 燃烧系统蓄热改造的设计原则 .....       | 16        |
| 4.1.2 蓄热式燃烧类型 .....             | 17        |
| 4.1.3 蓄热式燃烧原理 .....             | 17        |
| 4.1.4 蓄热燃烧技术和传统燃烧技术比较 .....     | 19        |
| 4.1.5 蓄热燃烧改造方案的研究过程 .....       | 20        |
| 4.1.6 改造方案的内容 .....             | 24        |
| 4.2 加热炉改造项目经济分析 .....           | 33        |
| 4.2.1 改造前后工艺参数分析 .....          | 33        |
| 4.2.2 项目所用设备及材料 .....           | 33        |
| 4.2.3 改造后加热炉运行费用 .....          | 37        |
| 4.2.4 改造后项目运行效果及效益 .....        | 37        |
| 4.2.5 项目投资回收期分析 .....           | 39        |
| 4.2.6 技术经济分析 .....              | 41        |
| 4.3 加热炉改造项目风险分析 .....           | 46        |
| 4.3.1 技术风险 .....                | 46        |
| 4.3.2 经济风险 .....                | 49        |
| 4.4 可行性结论 .....                 | 50        |
| <b>第 5 章 加热炉改造项目的实施保障</b> ..... | <b>51</b> |
| 5.1 组织保障 .....                  | 51        |
| 5.2 进度保障 .....                  | 51        |
| 5.3 人力资源保障 .....                | 54        |
| 5.4 质量保障 .....                  | 54        |
| 5.4.1 质量保证 .....                | 54        |
| 5.4.2 项目质量控制 .....              | 55        |
| 5.5 施工安全保障体系 .....              | 58        |
| 5.5.1 施工安全组织结构 .....            | 58        |
| 5.5.2 安全和文明施工措施 .....           | 58        |
| 5.6 施工用主要机具及材料 .....            | 60        |
| <b>第 6 章 结论与展望</b> .....        | <b>62</b> |
| 6.1 结论 .....                    | 62        |
| 6.2 展望 .....                    | 62        |
| <b>参考文献</b> .....               | <b>64</b> |
| <b>致 谢</b> .....                | <b>68</b> |

# 第1章 绪 论

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 中国钢铁工业发展现状

改革开放以来,钢铁工业作为我国国民经济的基础产业,得到迅速发展,产量显著增长,1996年我国的钢材总产量达到1.28亿吨,首次突破1亿吨,是1978年的6.6倍;2003年的产量突破2亿吨,是1996年的2倍;2006年的产量达到4亿吨,接近是1996年的4倍。

由于钢铁业的迅猛发展,1993年我国的钢产量超过了美国,仅次于日本位居世界第二位,自1996年起,我国的钢产量已连续14年位居世界第一位。

上述情况说明,中国的经济发展,由于工业化、城镇化进程加快和社会消费结构升级,拉动了房地产、汽车、机械、通讯产品等行业和城镇基础设施的高速增长,这种增长的重要特点是全社会对金属材料的持续的旺盛需求,为中国钢铁工业发展提供了有利的外部条件。在经历了以数量扩张为主的发展时期后,钢铁工业已进入了以行业发展快、生产集中度逐步提高、结构逐步调整、全面提升竞争力为主,走可持续发展道路的阶段。

当前,中国钢铁工业的发展总体上是良好的,为国家的经济持续高速增长做出了重要的贡献。面对前进中存在的问题和挑战,中国钢铁工业全面贯彻落实科学发展观,就是要坚持以人为本,注重环境保护和资源节约利用,以结构调整为主线,推进全行业的科技进步,积极发展循环经济,提高发展的质量和效益,实现钢铁工业发展与其他行业、社会发展各方面的全面协调,实现钢铁工业的可持续发展<sup>[1]</sup>。

### 1.1.2 钢铁工业环境保护现状

钢铁工业是国民经济的支柱产业,但是,在生产中需要消耗大量能源并排放大量污染物。钢铁工业的主要污染来源于烧结、焦化、炼铁、炼钢、轧钢及附属工序。以烟气污染物排放最为严重,这些污染物包括颗粒物(TSP)、二氧化硫

(SO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)等,二氧化硫和氮氧化物还可以形成酸雨和次生颗粒物等而造成二次污染。轧钢加热炉是氮氧化物较大的发生源,轧钢加热炉加热燃烧大量的煤气,产生了大量的废气及粉尘,严重污染环境。

20世纪90年代以来,钢铁工业在取得飞速发展的同时,废气处理技术,废水处理技术、废渣处理技术都有了较大的突破。排污总量控制、钢铁渣的综合利用率、工业水的重复利用率等方面的平均值达到或超过目标值,但在其它很多方面仍与发达国家的钢铁企业有很大差距。

总体来看,中国钢铁行业环保工作任重道远,还有大量工作需要做。其中钢铁工业NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>排放的综合治理和利用就是一项重要的工作。

### 1.1.3 冶金炉窑节能技术的发展趋势

中国钢铁规模的快速增长,已为世人瞩目。但企业内部的生产结构、产品结构的调整,仍是企业发展的主旋律。不难想象各钢铁企业都在加快结构调整,其核心就是提高市场竞争力。因此,在装备水平提高的同时,生产成本是市场竞争的第一要素。据统计近年来虽然各钢铁企业能耗水平有了大幅下降,但由于上游产品(煤炭、焦炭等)的涨价和电力供应的紧张,企业的节能降耗压力仍然很大,上世纪末(“九五”期间)冶金行业吨钢综合能耗为880kgce,能耗占生产成本的比例25%~30%,到2003年底冶金行业吨钢综合能耗已降为770kgce,但能耗占生产成本的比例几乎没有发生大的变化,这就说明各钢铁企业仍面临着新形势下的节能降耗压力。

根据我国目前严峻的能源形式,国家发改委在2004年提出了《节能中长期专项规划——工业企业节能和合理用能技术研究》。具体提出了“钢铁工业的轧钢系统进一步实现连轧化,大力推进连铸坯一火成材和热装热送工艺,采用蓄热式燃烧技术;充分利用高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气等可燃气体和各类蒸汽<sup>[2]</sup>,因此本改造方案完全符合国家发改委的上述要求。

### 1.1.4 钢铁工业废气的综合治理

钢铁工业是污染空气的大户,但随着钢铁企业的发展,废气处理量不断增加,废气处理率不断提高,大部分钢铁企业排放大气的污染物逐年减少。特别是钢铁工业废气治理技术,经过近10年的发展,污染物的治理已经形成了一套有效、成

熟的方法，具体做法有：①努力降低工序能耗和原材料消耗，已经成为减少废气排放的根本途径之一；②改革工艺、采用先进的工艺及设备，减少生产工艺废气的排放；③积极采用高效节能的治理方法和设备，抑止燃料在燃烧过程中产生 $\text{NO}_x$ ， $\text{SO}_2$ 。

## 1.2 研究内容及意义

### 1.2.1 研究内容

本文以首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目为研究对象，对项目从投资前期、投资期、运行期等着手，对项目前期市场调研、方案的选择、方案的确定、技术经济分析、制定施工进度计划、资金控制计划、质量控制计划以及实施保障措施进行研究。具体研究如下：①项目改造所用基本概念、理论和方法；②改造前首钢迁钢热轧分厂加热炉燃烧状况分析；③加热炉燃烧系统改造方案的选择与确定过程分析，并对项目施工过程中的进度安排、资金安排、质量控制等方面进行全面研究；④运用项目管理的技术手段，对此改造项目进行综合评价；⑤通过对此改造项目进行分析，为今后类似项目提供借鉴。

### 1.2.2 研究意义

投资活动是现代社会经济最重要的活动之一，社会经济的发展需要诸多的投资项目来拉动，一个国家综合国力的提高依靠各种各样的投资项目。当前，技术改造作为企业扩大再生产、更新改造、提高产品质量和技术含量的手段被广泛应用，技术改造投资作为固定资产投资的一种，为社会的发展创造了持续不断的经济增长点。

投资项目的经济效益对社会经济的发展与国力的增强有着十分重要的意义。要使投资项目取得良好的经济效益，必须遵循投资活动的经济规律，并首先在投资项目立项与建设中保证投资决策过程和项目管理的科学化<sup>[3]</sup>，即：在投资前时期对项目进行科学的可行性研究（Feasibility study）和评估；在投资时期对投资项目进行合理的计划、组织、实施和控制；以及在项目完成并投入运行后进行项目后评价。在这里，我们主要探讨技术改造项目在投资前时期如何进行可行性研究。

可行性研究是国家从宏观角度加强投资效益管理的重要手段,是通过对项目的主要内容和配套条件,如市场需求、资源供应、建设规模、工艺路线、设备选型、环境影响、资金筹措、盈利能力等,从技术、经济、风险等方面进行调查研究和分析比较,并对项目建成以后可能取得的财务、经济效益及社会环境影响进行预测,从而提出该项目是否值得投资和如何进行建设的咨询意见,为项目决策提供依据的一种综合性的系统分析方法<sup>[4]</sup>。可行性研究应具有预见性、公正性、可靠性、科学性的特点。

本文从改造前所用的环保技术以及项目管理技术等方面,改造方案选择、实施保障、投入运行后的情况进行综合分析,旨在为加热炉蓄热燃烧系统改造以及环境治理等方面工作更好地开展提供借鉴,同时也为今后在类似工程中,积极有效的利用项目的技术手段,提供更有力的技术以及经验保障,也为今后的类似工程取得更好效果提供可靠资料。

## 第2章 项目立项管理相关理论

### 2.1 项目管理

#### 2.1.1 项目管理的含义

项目管理就是以项目为对象的系统管理方法,通过一个临时性的专门的柔性组织,对项目进行高效率的计划、组织、指导和控制,以实现项目全过程的动态管理和项目目标的综合协调和优化<sup>[5]</sup>;它的日常活动通常围绕项目计划、项目组织、质量管理、费用控制、进度控制等五项基本任务来展开。

本文中的项目管理,主要是指对首钢迁钢热轧分厂加热炉进行蓄热燃烧系统改造项目立项研究,运用项目管理的方式和方法对此项目进行可行性研究,为决策者提供科学依据。

#### 2.1.2 项目进度管理

项目进度管理是指在项目实施过程中,对各阶段的进展程度和项目最终完成的期限所进行的管理。是在规定的时间内,拟定出合理且经济的进度计划(包括多级管理的子计划),在执行该计划的过程中,经常要检查实际进度是否按计划要求进行,若出现偏差,便要及时找出原因,采取必要的补救措施或调整、修改原计划,直至项目完成<sup>[6]</sup>。其目的是保证项目能在满足其时间约束条件的前提下实现其总体目标。

项目进度管理是根据工程项目的进度目标,编制经济合理的进度计划,并据此检查工程项目进度计划的执行情况,若发现实际执行情况与计划进度不一致,就及时分析原因,并采取必要的措施对原工程进度计划进行调整或修正的过程。工程项目进度管理的目的是为了实现在最优工期,多快好省地完成任务。

项目进度管理是项目管理的一个重要方面,它与项目投资管理、项目质量管理等同为项目管理的重要组成部分。它是保证项目如期完成或合理安排资源供应,节约工程成本的重要措施。

项目进度管理包括两大部分的内容,即项目进度计划的制定和项目进度计划的控制。

(1) 项目进度计划的制定。在项目实施之前,必须先制定出一个切实可行的、科学的进度计划,然后再按计划逐步实施。其制定步骤一般包括收集信息资料、进行项目结构分解、项目活动时间估算、项目进度计划编制等几个步骤。

为保证项目进度计划的科学性和合理性,在编制进度计划前,必须收集真实、可信的信息资料,以作为编制进度计划的依据。这些信息资料包括项目背景、项目实施条件、项目实施单位以及人员数量和技术水平、项目实施各个阶段的定额规定等等。

(2) 项目进度计划的控制。在项目进度管理中,制定出一个科学、合理的项目进度计划,只是为项目进度的科学管理提供了可靠的前提和依据,但并不等于项目进度的管理就不再存在问题。在项目实施过程中,由于外部环境和条件的变化,往往会造成实际进度与计划进度发生偏差,如不能及时发现这些偏差并加以纠正,项目进度管理目标的实现就一定会受到影响。所以,必须实行项目进度计划控制。项目进度计划控制的方法是以项目进度计划为依据,在实施过程中对实施情况不断进行跟踪检查,收集有关实际进度的信息,比较和分析实际进度与计划进度的偏差,找出偏差产生的原因和解决办法,确定调整措施,对原进度计划进行修改后再予以实施,随后继续检查、分析、修正;再检查、分析、修正……直至项目最终完成。

(3) 项目进度管理的要点。建立项目管理的模式与组织架构。一个成功的项目,必然有一个成功的管理团队,一套规范的工作模式、操作程序、业务制度,一流的管理目标和企业文化。建立一个严密的合同网络体系。一个较大的工程,是由很多的建设者参加的共同体,这就需要有一个严密的合同体系,调动大家的积极性,从而避免相互的拆台、扯皮。制定一个切实可行的三级工程计划。这一计划不仅要包含施工单位的工作,更重要的是要包含业主的工作、设计单位的工作、监理单位的工作,以及充分考虑与施工密切相关的政府部门的工作的影响。设计单位的确定及设计合同的签订,以及设计质量、速度的检查、评审。设计的工作质量决定了项目施工能否顺利实施。施工单位的招标、评标及施工合同的签订,包含总包、分包单位的选择,材料、设备的供货合同的签订。工程前期政府手续的办理以及市政配套工程的安排。与政府机关的充分沟通与良好关系,是项目成功的保证。

### 2.1.3 项目质量控制

项目质量控制是质量管理中致力于确保产品达到质量要求的工作，其目标主要是确保项目质量能满足有关方面所提出的质量要求（如实用性、可靠性、安全性等）；它要求监控具体的项目结果、确定其是否符合相关标准，并识别消除引起不满意绩效的原因的方法；是确保项目结果符合质量标准，并且在出现偏差时采取纠正措施的活动<sup>[7]</sup>。一般情况下，只有当项目质量处于控制之下，才能保证项目整个过程得到改善，他既包括项目的可交付成果，也包括项目的管理成果。

### 2.1.4 项目费用管理

项目的费用管理主要是在批准的预算条件下确保项目的保质按期完成<sup>[31]</sup>，其主要包括：①费用估计；②费用预算；③费用控制。

（1）费用估计。费用估计指的是预估完成项目各工作所需资源（人、材料、设备等）的费用的近似值当项目在一定的约束条件下实施时价格的估计是一项重要的因素。费用估计应该与工作质量的结果相联系，费用估计过程中，亦应该考虑各种形式的费用交换，比如：在多数情况下，延长工作的延续时间通常是与减少工作的直接费用相联系在一起的，相反，追加费用将缩短项目工作的延续时间。因此，在费用估计的过程之中必须考虑附加的工作对工程期望工期缩短的影响。

（2）费用预算。费用预算包括给每一独立工作分配全部费用，以获得度量项目执行的费用基线(图 2.1 示)，费用预算可以分为以下三部分：①直接人工费用预算；②辅助服务费用预算；③采购物品费用预算。费用预算依赖的主要数据包括：③费用估计；②工作分解结构(WBS)；③项目进度费用的分配和安排应该是与进度计划相适应的。

费用预算的技术和方法类同于费用的估计，费用预算的主要结果是获得费用线，费用线将作为度量和监控项目实施过程中费用支出的依据，通常的费用曲线随时间的关系是一个 S 型曲线。

（3）费用控制。费用管理不能脱离技术管理和进度管理独立存在，相反要在成本、技术、进度三者之间作综合平衡。及时、准确的成本、进度和技术跟踪报告，是项目经费管理和费用控制的依据。费用控制就是要保证各项工作要在它们各自的预算范围内进行。费用控制的基础是事先就对项目进行的费用预算。费用控制的基

本方法是规定各部门定期上报其费用报告，再由控制部门对其进行费用审核，以保证各种支出的合法性，然后再将已经发生的费用与预算相比较，分析其是否超支，并采取相应的措施加以弥补。

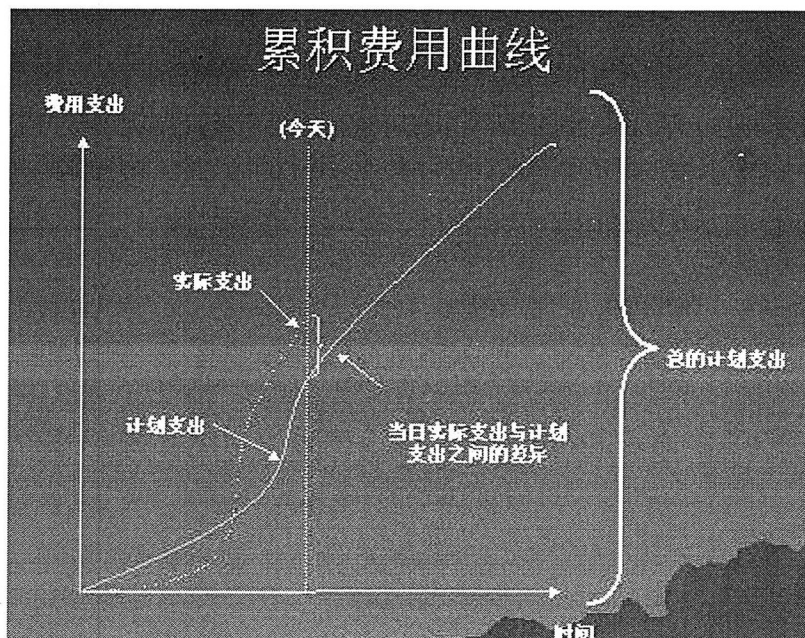


图 2.1 费用曲线

Figure2.1 the curve of expenses

## 2.1.5 项目风险管理

项目风险管理是指对项目风险从识别到分析乃至采取应对措施等一系列过程，它包括将积极因素所产生的影响最大化和使消极因素产生的影响最小化两方面内容<sup>[8]</sup>。主要包括：①风险识别；②风险量化；③风险对策。

(1)风险识别。风险识别包含两方面内容：识别哪些风险可能影响项目进展及记录具体风险的各方面特征。风险识别不是一次性行为，而应有规律的贯穿整个项目中。风险识别包括识别内在风险及外在风险。内在风险指项目工作组能加以控制和影响的风险，如人事任免和成本估计等。外在风险指超出项目工作组等控力和影响力之外的风险，如市场转向或政府行为等。严格来说，风险仅仅指遭受创伤和损失的可能性，但对项目而言，风

险识别还牵涉机会选择（积极成本）和不利因素威胁（消极结果）。项目风险识别应凭借对“因”和“果”（将会发生什么导致什么）的认定来实现，或通过对“果”和“因”（什么样的结果需要予以避免或促使其发生，以及怎样发生）的认定来完成。

（2）风险量化。风险量化涉及到对风险和风险之间相互作用的评估，用这个评估分析项目可能的输出，这首先需要决定哪些风险值得反应，投资者对风险的容忍度，不同的组织和个人往往对风险有着不同的容忍限度。风险量化用的主要工具和方法如下：①期望资金额。期望资金额是风险的一个重要指标；②统计数加总。统计数字加总是将每个具体工作课题的估计成本加总以计算出整个项目的成本的变化范围；③模拟法。模拟法运用假定值或系统模型来分析系统行为或系统表现。较普通的模拟法模式是运用项目模型作为项目框架来制作项目日程表；④决策树。决策树是一种便于决策者理解的，来说明不同决策之间和相关偶发事件之间的相互作用的图表。

（3）风险对策。风险对策包括对机会的跟踪进度和对危机的对策的定义。对威胁的对策大体分以下三点：①避免—排除特定危险往往靠排除危险起源。项目管理队伍绝不可能排除所有风险，但特定的风险事件往往是可以排除的；②减缓—减少风险事件的预期资金投入来减低风险发生的概率（如为避免项目产出的产品报废而使用专利技术），以及减少风险事件的风险系数，或两者双管齐下；③吸纳—接受一切后果。这种接受可以是积极的（如制定预防性计划来防备风险事件的发生），也可以是消极的（如某些工程运营超支则接受低于预期的利润）。

## 2.2 项目评估

### 2.2.1 项目可行性研究的含义

可行性研究是 20 世纪 30 年代出现的一门科学。70 年代被介绍到中国，80 年代才被我国正式采用。对投资决策者来说，可行性研究报告是方案评估、投资决策的依据和基础。

可行性研究是建设项目投资决策前进行技术经济论证的一门科学。它的任务是综合论证一项建设工程在市场发展的前景，技术上的先进性和可行性，财务上的实施可能性，经济上的合理性和有效性。简单地说，就是研究、评价一个建设项目从

技术和经济两方面看是否可行,从而为投资者提供是否选择该项目进行投资的依据<sup>[9]</sup>。就“可行性”的本意而言,含义只是可行,并不是最优。但对可行性研究工作来说,并不是可行就够了,而是要尽量做到最优。可行和最优并不矛盾,只有在可行的基础上才能去求最优,即在可行性研究中,可以设想几个不同方案进行反复地分析、比较,从中找出一个投资少、技术先进、生产成本低、赢利高、投资回收快的最优方案,然后写出报告,供投资决策者参考。

可行性研究这种方法最早出现于美国。20世纪30年代初期美国为开发田纳西河流域开始采用这种方法,把可行性研究列入流域开发程序,作为规划的重要阶段,使工程得以顺利进行,取得了很好的经济效益。以后人们便把这种方法引到其他领域。第二次世界大战以后,这种方法发展迅速,通过几十年的不断充实和完善,扩大到很多领域,范围十分广泛,不但用来研究工程建设问题,还用于研究工业企业的生产管理、国家经济政策制定等。目前已形成一整套系统的科学的研究方法。在国外,不论是发达国家还是发展中国家,可行性研究已相当普遍。不管其是新建企业还是老企业改扩建,都要先做可行性研究,然后再决策。虽然各国对可行性研究的内容、作用、阶段划分不尽相同,但作为一门科学,已被各国所公认。各国赋予这门科学的名称各有不同。西方国家叫可行性研究,原苏联和东欧叫技术经济论证,日本叫投资前研究,印度、巴基斯坦、科威特、阿拉伯等国家也有各自的名称,有的叫投资研究,有的叫费效分析,但基本要求都相似。联合国工业发展组织还编制《工业可行性研究手册》,作为有关国家特别是发展中国家开展工程建设可行性研究的参考依据。

### 2.2.2 项目可行性研究的内容

可行性研究所应用的技术理论知识十分广泛,可以说是一门综合性的交叉科学,并且随着时代的发展,给可行性研究又赋予了许多新的内涵。它需要运用自然科学、经济科学、现代管理科学等多方面的知识。特别是一个大型项目的可研,涉及到天文、地理、交通、能源、资源、环保、设备选型、工艺流程、人员培训、市场预测、经济效益分析等多学科的综合知识。可见,项目可行性研究的成果,是多种科学技术知识在建设综合运用的结果。

可行性研究是为投资服务的,投资主体为了排除投资的盲目性,减少风险,在

市场经济中获得最大经济效益,就需要在投资决策前做多方面的预测和估算<sup>[3]</sup>,论证是“可行”还是“不可行”。因此可行性研究的目的可以简单地概括为:对一项投资项目做全面调研,其工作深度要求能判定是放弃,还是继续研究并支付费用,直到做出行或不行的最后决策。一个生产项目在投资前进行的技术经济的论证包括项目实施条件评价和经济效益评价,目的是通过全面细致深入的分析研究,向项目决策者提供可行或不可行的科学论证,以确保项目投产后能取得最佳的经济效益,减少不应有的经济损失。可行性研究一般要求回答以下问题:①在技术上是否可行;②在经济上是否合理;③在财务上是否有利;④需要多少投资;⑤能否筹集到所需资金;⑥建设周期有多长;⑦需要多少物力、人力资源。

总的来说包括三个方面的内容:工艺技术、市场需求和财务经济情况。市场是前提,技术是手段,核心问题是财务经济,即投资盈利问题,其他一切问题,包括技术工作、市场需求的预测,都是围绕财务经济这个核心并为之提供各种方案。

可行性研究是一门运用多种科学成果,保证项目建设获得最佳经济效益的综合性科学方法。它是在建设前期对拟建项目进行全面、综合的技术经济调查研究,判断其是否可行的一种考察和鉴定方法,是保证项目在技术上既先进又可行,经济上既合理又有利,从而使项目最终取得最佳经济效益的有效措施。可行性研究是进行项目建设和开创一项新事业不可缺少的重要环节。因此,无论是代表国家投资决策的计划经济部门,还是银行以及投资公司,工程咨询公司、各类企业、社会集团、私人投资者都应熟悉、掌握和运用可行性研究,并对建设项目进行认真的技术经济分析论证和经济评价后再进行投资决策。

### 2.2.3 可行性研究报告的作用

可行性研究报告的作用,具体表现在以下四个方面:

(1)它是决策科学化的重要依据。投资者通过可行性研究,预测和判断一个项目技术上是否可行,产品是否有销路,竞争能力如何,获益是大是小,通过对建设项目的反复论证和比较,可供决策层全面衡量、综合评估和择优决策。

(2)是提高经济建设综合计划管理,平衡建设规模,优化投资结构,防止重复建设、重复引进和重复生产的有效手段。

(3)是提高国家贷款或投资效益,厉行节约,防止浪费的有效方法。

(4)也是加强建设项目科学管理,防止官僚主义和决策独断专行的必要程序。

可行性研究报告作为决策的依据<sup>[16]</sup>,一般由建设单位写作;报告形成后,由计划管理部门、贷款银行或投资者以及有关部门组织内行专家对其评审,写出项目评价报告,然后由主管部门作出决策。因此,编制可行性研究报告的基本目的:①是争取获得计划管理部门的认可;②是争取获得银行贷款或国内外投资者的投资;③是成为有关部门编制计划任务书和项目设计的依据。

## 第 3 章 迁钢热轧分厂加热炉改造项目概况

### 3.1 迁钢热轧分厂简介

迁钢热轧分厂隶属于首钢迁钢公司，厂址西侧紧靠迁钢炼钢厂板坯连铸机主厂房；北侧为迁钢厂区纬四路，隔路为迁钢煤气柜区、厂区配水泵站、制氧厂、迁钢 2 总降；东侧与迁钢厂区经五路相连，隔路与迁钢铁路成品站和迁安市西沙河河道相邻；南侧与迁钢厂区纬三路相连。生产线采用世界钢铁巨头西马克和西门子的工艺设备和自动化控制系统，整套工艺设计起点高、采用了大量节能环保新技术、新设备；采用短流程、紧凑型工艺和先进管理模式；体现集成、集合，构筑信息共享，业务流程的标准化；全面实行专业化生产和社会化协作。迁钢热轧分厂是首钢实现战略性结构调整的一个重要基地，生产产品为具有高产品质量、高技术含量、高产品附加值、高效益、低消耗、具有良好经济效益和社会效益的特点，是首钢迁钢对外交流的窗口。迁钢热轧分厂于 2002 年 10 月建成，短短三个月的时间，钢铁生产达到了设计水平，创造了冶金史上的奇迹。迁钢公司发展愿景是经过 3~5 年的创新、创业，把热轧分厂建设成为代表迁钢未来发展方向，肩负首钢战略调整重任，具有极强的生存发展能力、市场竞争能力、超越自我能力，以循环经济为基础，集聚一流技术、一流管理、一流效益、一流环境于一体的永不满足的现代化、数字化工厂。

### 3.2 迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目概况

2009 年 6 月，首钢集团提出在迁钢厂区新建 100 万吨冷轧生产基地，生产高附加值冷轧带钢产品，冷轧厂所用能源介质由迁钢能源处集中供给，由于冷轧生产工艺特殊性，退火工艺必须采用高热值的焦炉煤气或天然气作为燃料，首钢国际工程技术有限公司和迁钢能源处对整个迁钢厂区煤气进行了平衡，由于迁钢厂区周围没有天然气管路，因此只能利用焦化厂生产的焦炉煤气，把热轧厂加热炉加热用的焦炉煤气输送到冷轧厂，能源处供到热轧厂只能供低热值的高炉煤气，而热轧厂目前的加热炉采用的燃烧方式和设备，采用高炉煤气作为燃料，是

满足加热工艺要求的,在现有加热炉不进行技术改造的情况下,要想解决此类问题,也曾考虑用天然气掺混,用高热值的天然气和低热值的高炉煤气混合成热值  $2300\text{kcal}/\text{Nm}^3$  的混合气供热轧分厂加热炉使用。这个方案虽然技术上可行,但是天然气价格贵,使用外购的天然气使燃料加热成本上升,更重要的是外部能否长期稳定供应天然气给迁钢加热炉使用,也存在不确定因素。因此如何尽量利用迁钢自有煤气资源,又满足加热炉工艺温度的要求,是迁钢热轧分厂加热炉改造方案的重大课题。热轧分厂现有加热炉采用高炉煤气作燃料无法满足加热温度的要求。而采用蓄热式燃烧技术,把空、煤气预热到  $1000^\circ\text{C}$ ,能够提高燃料的理论燃烧温度,余热回收率高,而且能够很好满足加热工艺要求。目前国内蓄热式燃烧技术,成熟可靠。采用高炉煤气作燃料,具有重大的经济意义和环保效益

迁钢热轧分厂提出了对加热炉进行蓄热燃烧的改造计划,争取利用现有有限的场地、尽可能少的资金,对加热炉燃烧系统进行改造,确保改造后,利用单一低热值高炉煤气满足加热工艺要求以及  $\text{NO}_x$  排放浓度均达到国家排放标准,并立即着手进行前期蓄热燃烧系统改造方案的调研,制定改造方案。

计划 2010 年 6 月开始实施加热炉燃烧系统的蓄热改造(以下简称改造项目),在此之前必须进行项目可行性研究,通过制定项目计划、项目进度、项目费用以及项目质量控制等项目管理手段,为项目的决策和实施提供科学依据。

### 3.3 迁钢热轧分厂加热炉改造项目立项的必要性

迁钢热轧分厂加热炉必须实施改造主要从以下几点因素考虑:①由于迁钢厂区新的规划,导致供热轧分厂加热炉用燃料种类的变化,即供加热炉用高、焦混合煤气中的焦炉煤气平衡到新建冷轧车间用气,迁钢厂区没有富裕的焦炉煤气可供热轧分厂加热炉使用;②加热炉以单一高炉煤气为燃料,采用现有常规式燃烧技术无法达到钢坯加热需要的炉膛温度,必须采取蓄热式燃烧技术。③迁钢厂区周围没有可供外购的高热值天然气;④2009 年 5 月工信部颁布的新的节能降耗措施中明确规定<sup>[18]</sup>:冶金企业轧钢车间加热炉燃烧技改项目必须采用蓄热式燃烧技术;⑤加热炉使用寿命达到一个炉龄,加热炉能耗高,经济技术指标比较低,环保不达标。

热轧分厂加热炉自 2002 年投产以来, 该炉长期超负荷运行, 炉底存留的熔融钢液渗漏到基础, 对基础和炉墙造成严重的侵蚀, 炉墙和炉顶也出现了不同程度的开裂和剥落, 炉子的加热段、均热段钢结构变形严重。由此造成该炉的能耗高、加热质量差、氧化烧损严重。对现有加热炉燃烧系统进行现场分析后, 发现其主要存在下列问题: ①板坯在炉内加热氧化烧损率高达 1.0%, 远高于国家规定的 0.7%; ②加热炉加热的板坯, 沿坯长方向温度温差达 50℃, 远高于轧制工艺要求的  $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ; ③加热炉单耗高达 1424Kj/Kg, 远高于冶金能源规范规定的 1360Kj/Kg; ④加热炉采用常规式空、煤气双预热燃烧技术, 排到大气里面烟气温度高达 500℃, 烟气余热效率低, 同时也造成烟气高温二次污染; ⑤加热炉炉压偏高, 炉门冒火现象比较严重, 导致加热炉钢结构变形严重; ⑥由于采用混合煤气供热, 受到厂区不同煤气量的影响, 煤气热值波动比较大, 加热炉自动燃烧投入率, 导致加热炉炉内空气过剩系数大, 钢坯在炉内氧化烧损严重, 影响成材率和加热炉质量; ⑦加热炉燃烧产生的烟气中  $\text{NO}_x$  含量高达 120PPm, 远高于国家规定的 80PPm。

## 第 4 章 迁钢热轧分厂加热炉改造项目可行性分析

基于加热炉燃烧系统改造应达到的标准和改造前加热炉燃烧系统存在的问题，分若干个子系统，对每个子系统提出了若干个改造方案，在对各方案进行全面分析和整合的基础上，形成该项目可行性分析报告。

### 4.1 加热炉改造项目技术分析

#### 4.1.1 燃烧系统蓄热改造的设计原则

加热炉燃烧系统蓄热改造设计原则：

(1) 板坯的加热质量是热带轧机轧制钢板质量的决定性因素之一。加热炉的加热能力和作业率对轧钢产量有重要影响。加热炉能耗占轧钢工序成本很大份额。总之，加热炉必须顺产、优质、低消耗、少故障，设计要全面体现这一总体要求。

(2) 加热炉采用蓄热式燃烧技术。燃料使用高炉煤气，将使首钢迁钢能够充分利用自身副产的低热值煤气资源，具有重大经济意义和环保利益。设计应采取先进、成熟可靠的技术措施，确保成功。尤其是板材轧机对板坯加热温度均匀性有严格要求，又有多钢种不同加热工艺的要求，加热炉炉型结构，燃烧组织，热工控制等都要为实现这些工艺目标而精心设计。

(3) 设计要采取一切必要的安全措施，防止煤气爆炸和中毒事故，确保人身和设备安全。

(4) 节省占地。首钢迁钢热轧分厂周围没有可用空地，因此本次加热炉蓄热燃烧改造，只能利用现有加热炉占地，但是加热炉蓄热式燃烧系统管路复杂，要想在现有空间内把所有系统都布置好，因此管路尽量布置紧凑，节省占地。

(5) 尽量减少施工对生产的影响。由于迁钢热轧分厂有 3 台步进梁式加热炉，而加热炉燃料的改变也是逐步实施的，因此 3 台加热炉改造我们可以逐台改造。

(6) 方便操作、维护和检修。由于蓄热燃烧系统操作阀门比较多，生产操

作维护量相对较大，因此所有检修维护点必须方便操作、维护和检修。

(7) 节省投资。在加热炉燃烧蓄热燃烧系统技术先进、装备节能可靠的前提下，严格控制工程投资，降低工程费用，针对施工难度大的特点，安排好施工计划，以实现用最省投资，达到最佳效果。

(8) 设计标准。为了满足首钢迁钢热轧分厂环保治理范围内各生产工艺对能耗的要求，达到节能降耗、降低污染物排放的技术要求，改善操作区工作条件，保护环境，环保专业将严格遵循下列法规、标准进行设计：①《中华人民共和国环境保护法》；②《大气污染物综合排放标准》GB16297-1996；③《工业企业煤气安全规程》GB6222-2005；④《工业企业设计卫生标准》GBZ1-20020。

#### 4.1.2 蓄热式燃烧类型

蓄热式燃烧技术发展到现在，基本分为两大系列：即内置通道式蓄热加热炉和蓄热式烧嘴加热炉，他们均属高效蓄热燃烧方式，两种燃烧方式各有所长，在适合于自身特点的工况条件下，均可取得良好的实际应用效果。

#### 4.1.3 蓄热式燃烧原理

蓄热式燃烧技术(又称“高温空气燃烧技术”，简称 HTAC)是日本学者田中良一等人于 80 年代末提出的一种全新概念燃烧技术，它把回收烟气的余热与高效燃烧及降低 NO<sub>x</sub> 排放等技术有机地结合起来，从而实现了极限节能和极限降低 NO<sub>x</sub> 排放量的双重目的。蓄热燃烧技术的基本原理如图 4.1 所示，从鼓风机出来的常温空气由换向阀切换进入蓄热式燃烧器 B 后，在经过蓄热式燃烧器 B（陶瓷球或蜂窝体等）时被加热，在极短时间内常温空气被加热到接近炉内温度（一般比炉温低 50~100℃），被加热的高温热空气进入炉膛后，卷吸周围炉内的烟气形成一股含氧量大大低于 21% 的稀薄贫氧高温气流，同时往稀薄高温空气附近注入燃料（燃油或燃气），燃料在贫氧（2~20%）状态下实现燃烧，与此同时，炉膛内燃烧后的热烟气经过另一个蓄热式燃烧器 A 排入大气，炉膛内高温热烟气通过蓄热式燃烧器 A 时，将显热储存在蓄热式燃烧器 A 内，然后以低于 150℃ 的低温烟气经过换向阀排出。工作温度不高的换向阀以一定的频率进行切换，使两个蓄热式燃烧器处于蓄热与放热交替工作状态，从而达到节能和降低 NO<sub>x</sub> 排放量等目的，常用的切换周期为 30~

200 秒<sup>[11]</sup>。蓄热式燃烧技术可广泛应用于冶金、石化、机械、建材、锅炉等行业的热工设备上。

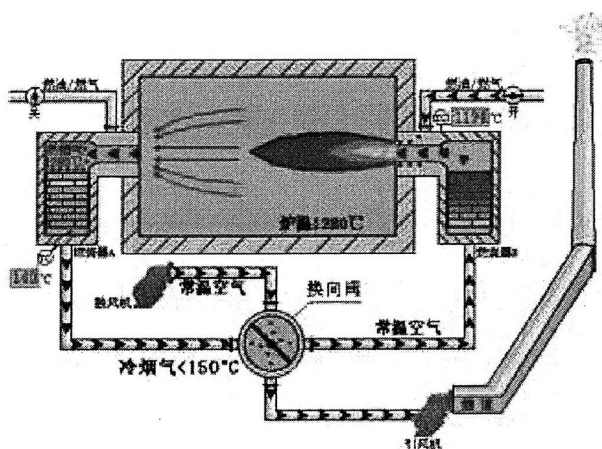


图 4.1 蓄热燃烧技术的工作原理图

Figure 4.1 Regeneration combustion technology work schematic diagram

蓄热燃烧技术的主要特征是：①采用蓄热式烟气余热回收装置，交替切换空气与烟气，使之流经蓄热体，能够最大限度地回收高温烟气的物理热，从而达到大幅度节约能源（一般节能 10%~70%），提高热工设备热效率，同时减少了对大气的温室气体排放（CO<sub>2</sub>减少 10%~70%）；②通过组织贫氧燃烧，扩展了火焰燃烧区域，火焰边界几乎扩展到炉膛边界，使得炉内温度分布均匀；③通过组织贫氧燃烧，大大降低了烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放（NO<sub>x</sub> 排入减少 40%以上）；④炉内传热效率提高，加强了炉内的传热，导致相同尺寸的热工设备，其产量可以提高 20%以上，大大降低了设备的造价；⑤低热值的燃料（如高炉煤气、发生炉煤气、低热值的固体燃料、低热值的液体燃料等）借助高温预热的空气或高温预热的燃气可获得较高的炉温，扩展了低热值燃料的应用范围。

蓄热式燃烧技术（The Regeneration Combustion technology）是二十世纪八十年代后期发展起来的一种燃烧技术，它的特征是烟气热量被最大限度地回收，助燃空气被预热到 1000℃以上，燃料在低氧浓度下燃烧。蓄热式燃烧技术可以实现燃料化学能的高效利用和有效控制燃烧主要污染物氮氧化物，是非常适合在我国工业界应用推广的技术，为缓解我国的能源紧缺、改善工业能源结构、改善自然环境提供了切实可行的方法。

4.1.4 蓄热燃烧技术和传统燃烧技术比较

蓄热式燃烧技术作为一项新型燃烧技术，较传统燃烧技术有无法比拟的优势和特点，表 4.1 示对蓄热式燃烧技术与传统燃烧技术的进行了综合比较。

表 4.1 蓄热燃烧技术和传统燃烧技术比较

Table 4.1 the compassion of HTAC and tradition combustion technology

| 序号 | 技术   | 项目                 | 传统燃烧技术               | 蓄热式燃烧技术                      | 应用效果                  |
|----|------|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1  | 传热   | 提高炉膛温度             | 局部高温存在不可能            | 可提高炉内的平均温度且炉内温度均匀            | 高传热率，高加热速度，炉子尺寸减小     |
|    |      | 脉冲燃烧特性             | 每控制段的烧嘴能力同时升降        | 每个烧嘴不受相邻烧嘴能力的影响              | 强化炉气循环，缩短加热时间，节能      |
|    |      | 炉内温差               | 150~200℃             | 20~50℃                       | 提高加热质量，减少氧化烧损         |
| 2  | 节能降耗 | 预热空气温度             | 250~550℃             | 900~1200℃                    | 节能 30%以上              |
|    |      | 减小或取消预热段           | 因集中预热而不可能            | 分散式余热回收使极限余热回收可能             | 设备尺寸减小，可节能，提高生产率      |
| 3  | 燃烧控制 | 调节比                | 一般为 1~1.5            | 最大可达到 20                     | 效率大大提高                |
|    |      | 可分区域控制             | 因集中排烟而困难             | 分散排为容易                       | 适应各种轧制节奏              |
|    |      | 出炉温度控制             | 热惰性大，不适应出炉温度频繁的变化    | 热影响性好，适合不同出炉温度的变化            | 实现自由轧制过程              |
| 4  | 环境控制 | CO <sub>2</sub> 排放 | 自然排放                 | 因强烈的烟气再循环可减少 30%             | 减少 CO <sub>2</sub> 排放 |
|    |      | NO <sub>x</sub> 排放 | 低 NO <sub>x</sub> 烧嘴 | 低氧化燃烧实现的低 NO <sub>x</sub> 技术 |                       |
|    |      | 燃烧噪音               | 90~110dB             | 因在炉内较大区域燃烧只有 70~80dB         | 降低噪音                  |
| 5  | 评估   |                    | 节能控制，低污染等技术已很难突破     | 节能控制，低污染等方面有了重大飞跃            | 是 21 世纪关键技术之一         |

蓄热式燃烧技术是把烟气余热极限回收与高效燃烧及降低 NO<sub>x</sub> 排放等技术有机地结合起来，从而实现了极限节能和极限降低 NO<sub>x</sub> 排放量的双重目的。日本政府为执行京都会议所承诺的 2010 年降低大气层中 6%CO<sub>2</sub> 排放量的指标，于 1993 年~1999 年间投入 180 亿日元用于开发研究。至 1997 年，日本已有 800 余台工业炉窑应用了 HTAC 技术，均达到了节能 30%以上，NO<sub>x</sub> 排放量下降到 50PPm 以下的目的。美国、英国、法国等国正在积极进行开发研究，尚未进入大力推广阶段。

我国与工业发达国家能源结构有很大区别，发达国家的燃料主要是轻质油、

天然气、液化气等优质能源，技术开发难度相对较小。而我国的燃料较多是超低热值、低热值煤气或劣质柴油、重油、渣油、焦油等，技术开发难度远远大于发达国家。虽然我国蓄热燃烧技术研究开发工作起点较晚，但从某种意义上来说，首钢国际工程技术有限公司研究开发的蓄热式燃烧技术已达到国际先进的水平。

4.1.5 蓄热燃烧改造方案的研究过程

随着蓄热式燃烧技术的发展，蓄热式燃烧技术类型比较多，那么如何在众多蓄热式燃烧类型当中选取适合首钢迁钢热轧分厂加热炉燃烧系统改造方案上，同时技术装备水平达到国内先进水平，成为本项目的关键课题之一。

(1) 蓄热烧嘴类型的选取。从 1999 年至今，国内蓄热式燃烧技术发展到现在，基本分为两大系列，一是内置通道式加热炉，二是蓄热式烧嘴加热炉，表 4.2 对以下这两种炉型作一对比分析。

表 4.2 两种蓄热式加热炉对比表  
Table 4.2 Two kind of regeneration type heating furnace comparison table

| 序号 | 项目名称      | 内置通道式                                                     | 烧嘴式                                                       |
|----|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | 蓄热式系统工作原理 | 相同                                                        | 相同                                                        |
| 2  | 蓄热式燃烧系统   | 把蓄热室和炉体有机结合一体                                             | 把蓄热室和烧嘴有机结合一体                                             |
| 3  | 蓄热体形式     | 陶瓷小球                                                      | 蜂窝体、陶瓷小球                                                  |
| 4  | 换向阀形式     | 两位五通阀                                                     | 四腔四通阀、小型三通阀                                               |
| 5  | 换向时间      | 180 秒                                                     | 40~180 秒可调                                                |
| 6  | 换向控制      | 集中控制                                                      | 集中控制、分散控制                                                 |
| 7  | 燃烧控制      | 简单，一般加热炉名义上是三段控制，实际是二段控制，且上、下热负荷无法调节，控制水平低，适合对加热温度要求不高的钢种 | 较复杂，可根据需要，对加热炉进行三段多点进行控制，且上、下热负荷可调节，控制水平高，可用计算机控制，适合钢种范围广 |
| 8  | 燃料预热形式    | 双预热                                                       | 双预热、单预热                                                   |
| 9  | 燃料适应范围    | 低热值气体燃料（高炉煤气、发生炉煤气）                                       | 气体燃料（高炉煤气、发生炉煤气、混合煤气、焦、转炉煤气、                              |

续上表

| 序号 | 项目名称     | 内置通道式                                                | 烧嘴式                    |
|----|----------|------------------------------------------------------|------------------------|
|    |          |                                                      | 天然气、液化气），液体燃料（重油、柴油）   |
| 10 | 对燃料的要求   | 对水分，焦油有要求                                            | 对焦油有要求                 |
| 11 | 炉型结构     | 较复杂，炉墙厚达 1m                                          | 与普通加热炉相同               |
| 12 | 管路及排烟相同  | 简单                                                   | 较复杂                    |
| 13 | 对耐火材料的要求 | 炉墙要求材料理化指标性能高，强度合适，热震稳定性好，重烧线变化小，体积稳定性好，从而确保通道之间的密封性 | 和普通加热炉相同，对耐火材料无特殊要求    |
| 14 | 施工程度     | 炉墙内有多个蓄热室和煤气、助燃空气通道，内模结构复杂，浇注料施工难度大                  | 和普通加热炉一样施工             |
| 15 | 自动化程度    | 低                                                    | 高                      |
| 16 | 维修维护     | 若炉墙出现问题，无法维修，且维修时间长                                  | 即使一个烧嘴出问题，可在正常生产的情况下更换 |
| 14 | 适应行业     | 冶金、机械行业                                              | 冶金、机械、石油化工、陶瓷、建材       |

通过以上对比可以看出，两种蓄热式加热炉虽然各有优、缺点，且在国内冶金行业都有实际应用的实例，但总的发展趋势是朝着烧嘴式蓄热式加热炉方向发展，因为有几个原因：①蓄热式烧嘴加热炉和原普通加热炉相比，都是靠调整烧嘴热负荷来调节炉内温度，对于操作工人来讲易于接受；②每个烧嘴的可单独调节特点和上下加热烧嘴能力的合理搭配，使加热炉各段上下加热温度的调节非常方便；③炉墙两侧留有便于检修的人孔门和扒渣门，这是唯有采用烧嘴结构形式才能做到的；④对于高热值气体燃料，可直接冷炉点火升温，不需要单独的点火烧嘴；⑤烧嘴式结构可以采用集中换向和分散换向，分散换向则由于换向阀靠近烧嘴，换向阀与烧嘴之间的连接管道短而小，燃烧间断时间短，因此换向时管道内残留煤气损失较少，更有利于节能；⑥维护工作量稍大，但检修时间短，停炉时间短；⑦对于现在讲品种、讲效益的时代，一个加热炉的自动化水平的高

低和燃烧器形式的多样性，决定了该加热炉适应的品种、燃料及行业。

(2)换向控制方式的选取。蓄热式加热炉换向方式主要集中在换向和分散换向两种方式，表 4.3 对 两种换向方式优、缺点进行了比较

表 4.3 两种换向方式对比表  
Table 4.3 Two kind of commutation way comparison table

| 序号 | 换向方式 | 优点                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 缺点                                                                                             |
|----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 集中换向 | (1) 设备投资低。<br>(2) 控制简单。<br>(3) 运行故障点少。<br>(4) 管道布置相对简单。                                                                                                                                                                                                                                                                                            | (1) 炉压波动比较大，不易控制，容易导致炉门”冒火”。<br>(2) 在换向过程中，换向阀到嘴前管路中煤气损失比较大。<br>(3) 一旦换向阀出现故障，整段不能工作，影响加热炉作业率。 |
| 2  | 分散换向 | (1)在同侧同向换向的基础上, 可以实现每相邻两只烧嘴交错燃烧, 此种方式优化炉膛气流的组成, 有利于均匀炉温, 提高加热质量。<br>(2) 每两组烧嘴使用一套换向系统, 可以在任何一套系统发生故障时, 在其它烧嘴均正常工作的状态下排除故障, 保证操作的连续性和生产稳定性, 而不至于象集中式换向那样要将出现问题的那一段全部停下来。<br>(3) 换向阀可以与燃烧喷口之间就近布置, 减短了换向阀与喷口之间的换向盲区, 最大限度地减少了交叉污染带来的不安全因素。燃烧间断时间短, 因此换向时管道内残留煤气损失较少, 更有利于节能。<br>(4) 采用轮序换向方式, 每套换向装置换向时对炉压的影响大为减小, 精确控制了各部分炉温、炉压, 提高了炉子的控制性能和钢坯加热质量。 | (1) 三通换向阀多, 投资大, 设备故障点多。<br>(2) 与集中式换向相比管道复杂, 不容易布置。                                           |

目前加热炉燃烧系统正向高度自动化、智能化方向发展，因此蓄热燃烧系统采用分散换向是发展趋势<sup>[14]</sup>。

(3) 蓄热体的选取。蓄热体有陶瓷小球和陶瓷蜂窝体，发展趋势是采用陶瓷蜂窝体。其高温段材质为高纯铝质材料，有较高的耐火度和良好的抗渣性，中部采用莫来石材料，低温段材质为堇青石，其特点是在低于 1000℃ 的工况下具有较好的抗腐蚀和耐急冷急热性。蜂窝体的前端增加刚玉挡砖，减少高温炉膛对蜂窝体的辐射，同时可增加蜂窝体的堆放稳定性。与颗粒状蓄热体(球形蓄热体)比较，蜂窝状蓄热体有如下优点：①单位体积换热面积大，100 孔/平方英寸的蜂窝体是  $\Phi 15\text{ mm}$  球比表面积的 5.5 倍， $\Phi 20\text{ mm}$  球的 7 倍；②在相同条件下，将等质量气体换热到同一温度时的蜂窝体体积仅为球状蓄热体的 1/3~1/4，重量仅为球的 1/10 左右，这就意味着蜂窝体蓄热燃烧器构造更轻便、结构更紧凑；③蜂窝体壁很薄仅 0.5~1mm，透热深度小，因而蓄热、放热速度快，温度效率高，换向时间仅为 30~45s，这比球状蓄热体的换向时间 3min 大大缩短，更利于均匀炉内温度场，保证钢坯均匀加热，这一点对加热合金钢、高碳钢尤为有利，图 4.1 对两种蓄热体特性进行了比较。按照蜂窝体内气流通道规则，阻力损失仅为球状的 1/3~1/4。球形蓄热体气流阻力损失随空气流速增大而增大，其变化规律为幂函数关系。

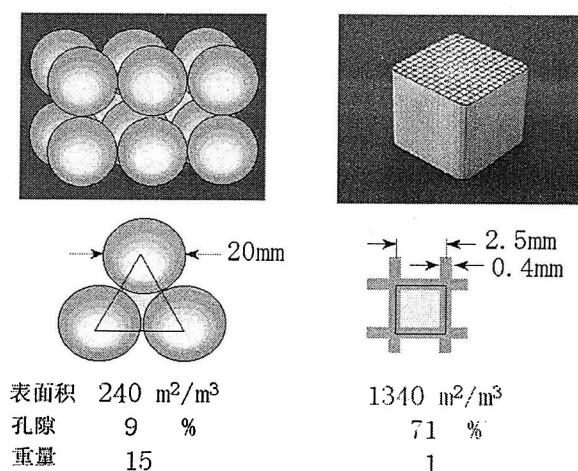


图 4.1 蜂窝体和蓄热小球特性比较

Figure 4.1 the comparison of Honeycomb body and regeneration pellet characteristic

球径大则阻力变小，但蓄热室结构也要相应增大。蜂窝体由于有较高压力的气体频繁换向，起到了吹刷通道作用，故不易产生灰尘沉积堵塞。对于炉膛较宽的炉子，相对应炉长较短，炉两侧可供布置烧嘴的空间较小，采用比表面积小的小球时常常由于空间的限制使得蓄热能力不足<sup>[15]</sup>。因此，在采用蓄热式烧嘴形式的加热炉当中，应用比表面积大于小球几倍的蜂窝体是必然的选择。采用陶瓷小球不方便在线更换，而陶瓷蜂窝体则有利于蓄热体的在线更换，这可以保证非常好的生产连续性。

(4) 蓄热式燃烧改造方案的确定。由以上方案比较可知，国内蓄热式燃烧技术发展到现在，内置通道式加热炉和蓄热式烧嘴加热炉，两种蓄热式加热炉虽然各有优、缺点，且在国内冶金行业都有实际应用的实例，但总的发展趋势是朝着烧嘴式蓄热式加热炉方向发展；而就换向控制方式而言，虽然集中换向和分散换向各有优缺点，但是从加热炉加热控制灵活性、炉压的易控性以及整个加热炉燃烧控制水平，分散换向有无可比拟的优越性；就蓄热体的选取上通过上节分析比较可知采用蜂窝体是发展趋势。

综合各方面情况，认为本次迁钢热轧分厂加热炉燃烧系统改造采用烧嘴式蓄热式燃烧技术，蓄热体采用蜂窝体，换向控制方式采取全分散换向技术进行实施。

## 4.1.6 改造方案的内容

(1) 改造前现场工艺参数。为保证加热炉蓄热式燃烧系统改造效果，列出其现场的基本参数见表 4.4。

表 4.4 现场基本参数  
Table 4.4 scene basic parameter

| 序号 | 项 目 名 称 | 单 位 | 技 术 参 数                                        |
|----|---------|-----|------------------------------------------------|
| 1  | 炉型      | —   | 端进、端出步进梁式加热炉                                   |
| 2  | 用途      | —   | 轧制前板坯加热、直接热装时生产缓冲                              |
| 3  | 加热钢种    | —   | 普碳钢、优质碳素钢、低合金钢、API-5L 管线钢等                     |
| 4  | 板坯规格    | mm  | 230, 250×900~2050×8000~10500<br>4000~5000 (短尺) |
| 5  | 标准板坯    | mm  | 230×1350×10000, 24.2t                          |
| 6  | 最大板坯    | mm  | 230×2044×10500, 38.5t<br>250×1880×10500, 38.5t |

续上表

| 序号 | 项 目 名 称    | 单 位                      | 技 术 参 数                                           |
|----|------------|--------------------------|---------------------------------------------------|
| 7  | 加热炉有效长×内宽  | mm                       | 41100×11100                                       |
| 8  | 加热炉生产能力    | t/h                      | 冷装 (20℃): 270 (最大 284)<br>直接热装 (800℃): 340        |
| 9  | 炉底强度 (标准坯) | Kg/<br>m <sup>2</sup> ·h | 608                                               |
| 10 | 钢坯装料温度     |                          | 冷装 20℃, 占 20%;<br>直接热装 800℃, 占 80%                |
| 11 | 钢坯加热温度     | ℃                        | 1150~1250                                         |
| 12 | 燃料种类及热值    | kJ/m <sup>3</sup>        | 高、焦混合煤气, 2300×4.18                                |
| 13 | 烧嘴型式       |                          | 上均热段: 平火焰烧嘴<br>其余供热段: 大调节比、低 NO <sub>x</sub> 调焰烧嘴 |
| 14 | 最大燃料消耗量    | m <sup>3</sup> /h        | 43080                                             |
| 15 | 最大空气消耗量    | m <sup>3</sup> /h        | 100400                                            |
| 16 | 最大烟气产生量    | m <sup>3</sup> /h        | 134600                                            |
| 17 | 烟气出炉温度     | ℃                        | 850                                               |
| 18 | 空气预热器形式    |                          | 带插件的金属管状预热器                                       |
| 19 | 空气预热温度     | ℃                        | ~500                                              |
| 20 | 煤气预热器形式    |                          | 金属管状预热器                                           |
| 21 | 煤气预热温度     | ℃                        | ~300                                              |
| 22 | 汽化冷却产汽量    | t/h                      | 10.0 (绝热层完好时);<br>18.0 (绝热层脱落 10%时)               |
| 23 | 装料方式       |                          | 长行程装钢机, 行程~8m                                     |
| 24 | 出料方式       |                          | 出钢机                                               |
| 25 | 步进梁根数      |                          | 活动梁 4 根, 固定梁 4 根 (均热段 5 根)                        |
| 26 | 步进梁传动方式    |                          | 斜坡滚轮、全液压传动                                        |
| 27 | 步进梁运动周期    | sec                      | 45                                                |
| 28 | 步进梁运动行程    | mm                       | 升降 200, 平移 550                                    |
| 29 | 单位热耗       | kJ/kg                    | 340×4.18 (冷装、普碳钢、标准坯、出炉温度 1250℃、产量 270t/h)        |
| 30 | 板坯表面与中心温差  | ℃                        | ≤35                                               |
| 31 | 板坯坯长温差     | ℃                        | ~50                                               |
| 32 | 板坯水梁黑印温差   | ℃                        | ≤20                                               |
| 33 | 板坯通过加热炉跑偏量 | mm                       | ±30                                               |

(2) 加热炉本体改造。由于蓄热式加热炉和常规加热炉炉型结构略有不同，需要将常规加热炉原有的调焰烧嘴和炉顶平焰烧嘴等进行全部拆除；但由于常规加热炉炉体钢结构、炉底砌筑，炉体设备等可以通用，对此部分可以进行充分利旧。将常规加热炉改造为蓄热式加热炉，具体改造内容如下：①拆除原有加热炉的调焰烧嘴、平焰烧嘴、空、煤气管道、炉尾烟道等全部拆除；②利旧。保留并利旧内容：加热炉炉底步进和炉体设备、炉体钢结构、炉底砌筑、装出料炉门

等。充分利用常规加热炉钢结构,利用现有侧墙钢结构和顶部大梁,改造为蓄热式加热炉平炉顶箱形结构。由于蓄热式加热炉烟气全部走蓄热烧嘴,因此原有加热炉不供热的热回收段需要布置烧嘴;③新增。新增 72 套空、煤气组合式蓄热烧嘴和 144 个蓄热烧嘴排烟测温热电偶;

(3) 燃烧系统改造内容如下:①拆除将原有加热炉的空、煤气管道以及管道上设备全部拆除;②利旧拆除下的管道,全部回收,在新设计的蓄热式燃烧系统的管路布置上,能利旧使用的全部利旧,拆除下来的空、煤气管道系统计量和调节装置重新进行核算,能利旧在蓄热系统的一律利旧,拆除下来的手动阀门、波纹补偿器等,能利旧在蓄热系统的一律利旧;③新增空气侧和煤气侧 2 套蓄热排烟系统。根据蓄热式排烟系统采用强制排烟系统,因此需要新增 1 台空气侧排烟风机和 2 台煤气侧排烟风机。出于蓄热式燃烧外观美观以及管道保温考虑,改造完后蓄热式燃烧系统管道以陶瓷纤维毯作为保温材料,外包镀锌铁皮。空烟和煤烟两套换向系统。

(4) 烧嘴供热能力配置。加热炉分预热段上下、一加热段上下、二加热段上下和均热段上下共 8 个供热区。通过设定各段的温度和控制燃料供给量完成钢坯加热过程,使出炉坯料达到轧制工艺对温度、温差的要求,根据加热过程各炉段的热平衡确定各段的供热能力,在配置烧嘴能力时留有必要的余量,采用组合式双预热蓄热式烧嘴供热。炉子每侧设 36 个蓄热式烧嘴。烧嘴的总供热能力为  $131250\text{Nm}^3/\text{h}$ ,比冷装额定产量  $270\text{t}/\text{h}$  时所需要的供热量富裕 25%,比冷装额定最大产量  $284\text{t}/\text{h}$  时所需要的供热量富裕 18.8%,具体烧嘴能力和供热分配见表 4.5。

(5) 蓄热式燃烧系统。燃烧系统由蓄热式烧嘴、换向装置、煤气、空气和烟气管路,管路上的工艺阀门以及强制排烟装置等组成。蓄热式烧嘴是该系统的核心,先进的蓄热式烧嘴除了能够充分回收烟气余热外,还应具有良好的组织火焰、结构紧凑、安装维护方便、不使炉体结构复杂化等性能特征。蓄热式烧嘴的选型必须保证满足轧钢工艺对钢坯加热的各种要求。换向装置是实现蓄热式烧嘴换向工作的关键设备,它应具备功能完备、密封性好、工作可靠等特性。应合理配置系统管路和工艺阀门,使系统具有工艺需要的可调性和安全性。

表 4.5 烧嘴能力和供热分配表:  
Table 4.5 the capability of burner and the distribution of heating

| 序号 | 项目  | 数量 | 单位  | 烧嘴能力                 | 段供热能力                | 热负荷分配 | 备注  |
|----|-----|----|-----|----------------------|----------------------|-------|-----|
|    |     |    | (对) | (Nm <sup>3</sup> /H) | (Nm <sup>3</sup> /H) | (%)   |     |
| 1  | 预热上 | 5  | 对   | 3967                 | 19834                | 15.6  | 预热上 |
| 2  | 预热下 | 5  | 对   | 4848                 | 24242                | 19.1  | 预热下 |
| 3  | 一加上 | 5  | 对   | 3746                 | 18732                | 14.8  | 一加上 |
| 4  | 一加下 | 5  | 对   | 4408                 | 22038                | 17.4  | 一加下 |
| 5  | 二加上 | 4  | 对   | 2755                 | 11019                | 8.7   | 二加上 |
| 6  | 二加下 | 4  | 对   | 3306                 | 13223                | 10.4  | 二加下 |
| 7  | 均热上 | 4  | 对   | 1983                 | 7934                 | 6.3   | 均热上 |
| 8  | 均热下 | 4  | 对   | 2479                 | 9917                 | 7.8   | 均热下 |
|    | 合计  | 36 | 对   |                      | 126939               |       | 合计  |

(6)蓄热式烧嘴。组合式蓄热式烧嘴由煤气结构单元和空气结构单元两部分组合而成。每个单元由壳体、冷端空腔、蓄热室、热端空腔和配套的特殊烧嘴砖等部分组成。烧嘴壳体由钢板制成外壳，用耐火浇注料和高隔热性材料做内衬。壳体內的空腔分为三部分，后端是进气腔，中间放置蜂窝状蓄热体，前端是出气腔并与烧嘴砖连接。烧嘴砖置于烧嘴的前端，安装在炉墙上，烧嘴砖的端面开空气或煤气喷出口，喷口的形状、大小和角度对燃烧性能有决定性影响，必须通过试验或计算机数值模拟等方法进行最优化设计。近些年来蓄热式燃烧技术的不断发展，我国工程技术人员通过对蓄热式烧嘴不断研究和总结大量的实际应用经验，烧嘴细节结构不断改进，烧嘴结构一代又一代地演变提升，使用性能越来越完善。例如烧嘴与烧嘴砖及炉体连接处的密封处理技术的提高，解决了烧嘴漏气冒火的技术难题。又如，在蓄热体热端采用特殊结构和耐高温性能特别好的刚玉质材料挡板砖，解决了蓄热式烧嘴的薄弱环节，我们的这项技术也是国内首创。此外，在烧嘴后端设端盖板，使得蓄热体装卸更加方便，便于维护，这种改进型的结构也是首钢国际工程技术有限公司最先推出的。其他改进，如在烧嘴后端设集渣槽，并在集渣槽侧面设清渣孔，使烧嘴可在不停产的情况下对烧嘴內的积渣进行日常清理，等等，都是蓄热式烧嘴的发展完善的地方。组合式烧嘴结构紧凑，在炉子上布置方便。每个烧嘴的空气管和煤气

管上都安有阀门，每个烧嘴负荷都可以根据炉子实际工况的需要，灵活自如地进行调节。上下组合式烧嘴结构和工作原理示意图见图 4.2:

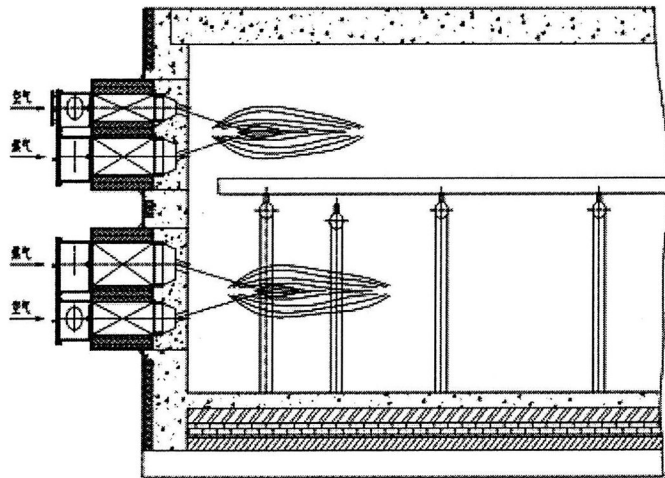


图 4.2 上下组合式烧嘴结构和工作原理示意图

Figure 4.2 High and low combined burner nozzle structure and principle of work schematic drawing

(7) 蓄热体。组合式蓄热式烧嘴的蓄热体采用陶瓷蜂窝体。蜂窝状蓄热体与其他形状蓄热体（如小球）相比，比表面积大，因而传热能力强，气流阻力小，蜂窝体的传热特性和阻力特性优越。蓄热体的蓄热能力和传热能力按换向周期 40~80 秒设计。这种换向周期比较适当，如果换向周期过短，设备动作过于频繁，如果换向周期过长，则排烟温度和空气预热温度波动范围大，综合换热效率较低。采用蜂窝体，蓄热室体积小，烧嘴结构紧凑，在炉子上布置方便，整个炉子也才有可能布置足够数量的烧嘴，以满足供热负荷的需要。根据我们在多座加热炉使用蜂窝体和小球两种蓄热体的经验，证明蜂窝体比小球更不容易堵塞，原因是蜂窝体内的气流通道是直通道，在高速气流正吹和反吹作用下，灰尘不易在通道内积存。而小球蓄热室内的气流通道是迷宫式的，所以气流中夹带的尘粒比较容易在小球表面附着导致通道堵塞。采用耐高温、抗热震性好、长寿命的蜂窝蓄热体及其高温挡板砖的材料，工作温度可达 1600℃。组合式蓄热式烧嘴的空气喷口和煤气喷口为上下组合，烧嘴安装在炉膛上部时，空气喷口在上，煤气喷口在下，空、煤气流上下斜交混合。烧嘴安装在炉膛下部时则反之。空气和煤气预热到很高温度时（例如 1000℃ 以上），空、煤气混合燃烧会产生很高的燃烧温度，为了避免产生局部高温区，同时避免高温下产生过量的 NO<sub>x</sub>，不能让空、煤气流即时充分混合，而应逐渐扩散弥漫燃烧，也就是使空、煤气混合

燃烧有一个适当的过程,恰好在这个过程中,与钢坯表面接触的气氛是还原性或微还原性的,在这样的气氛下,钢坯不易被氧化。高温空气燃烧机理不同于一般的燃烧,其燃烧速度非常之快,因此逐渐扩散弥漫燃烧又不会在炉内不完全燃烧。组合式烧嘴的空煤气喷口是扁平的,因而燃烧形成扁“火焰”(实际上高温空、煤气燃烧在炉温高的情况下没有明显可见的火焰),这有利于对钢坯的均匀辐射传热。这种蓄热式烧嘴用在步进梁式加热炉上,由于可以显著减少钢坯的氧化烧损,能够大大减轻炉底清渣工作量。

(8) 蓄热式烧嘴的控制方式。蓄热式燃烧方式可以采用分散换向、集中换向,由于考虑到在大型板坯加热炉上使用的蓄热式烧嘴量多,分散换向对炉压、温度波动的影响较小,因此本次加热炉蓄热式燃烧改造主要采用分散换向模式,即对炉两侧对称安装的每对烧嘴分别进行控制,每对烧嘴在工作时,当 A 烧嘴处于燃烧状态时,对面 B 烧嘴处于排烟状态,根据设定的换向时间,这对烧嘴的工作状态按一定的周期进行切换,这样可以实现对每对烧嘴的单独控制,而不影响其它烧嘴的工作,而且各段的 DCS 终端可对段内全部烧嘴进行燃烧方式的切换及换向周期的调整。蓄热式加热炉换向阀主要有大型四位二通换向阀和小型三通换向阀两种类型。系统使用大型换向阀时,称为集中换向,而使用小型三通阀时,则称为分散换向。使用大型换向阀集中换向系统的缺点是:从换向阀到各个烧嘴,有较长和直径较大的管路,换向时积存在管道内的空气(或煤气)与烟气互相置换,置换过程中,炉内停熄燃烧。管路大而长,则置换过程长,炉内停熄燃烧的时间也长(7~12 秒),造成炉温波动较大。集中换向还造成空、煤气系统压力和炉膛压力波动较大。空、煤气双预热时,如果集中换向,煤气损失较大,约 3~5%。每个烧嘴前安装 1 个小型换向阀,组成分散换向系统,就克服了上述集中换向的缺点,换向时炉内停熄燃烧时间减少到 1.5~2 秒,换向时的煤气损失减小到 0.5%以下。小型换向阀分散换向系统的缺点是换向阀数量多,管道系统复杂,投资较高,分散换向和集中换向系统投资明细见表 4.6。采用小型三通换向阀和四通集中换向多投入资金如下:

$$374.4+280-200-240=214.4 \text{ (万元)}$$

综合比较分析,采用小型三通换向阀优于大型四通换向阀。本次改造方案选用双阀瓣双驱动提拉式小型三通换向阀。

表 4.6 分散换向和集中换向投资明细表  
Table4.6 the detailed list of the separate and concentrate exchange

| 序号 | 项目          | 数量  | 单位 | 单价(万元) | 总价 (万元) | 备注 |
|----|-------------|-----|----|--------|---------|----|
| 1  | 小型三通换向阀     | 144 | 个  | 2.6    | 374.4   |    |
| 2  | 四通换向阀       | 8   | 个  | 25     | 200     |    |
| 3  | 小型三通换向阀管路系统 | 350 | t  | 0.8    | 280     |    |
| 4  | 四通换向阀管路系统   | 300 | t  | 0.8    | 240     |    |

(9) 双阀瓣双驱动提拉式小型三通换向阀结构和工作原理。图 4.3 为双阀瓣三通道结构。上部两通道，一为空气（或煤气）入口，另一个为要求出口，下部通道接蓄热式烧嘴的空气（或煤气）入口管。左右阀瓣一开一闭，即可实现供气和排烟的换向。两个阀瓣分别由两个汽缸驱动，并分别由两个电磁阀进行控制。阀瓣与阀座采用平面密封，镶有耐高温、耐腐蚀特种密封材料。阀瓣与驱动杆柔性连接，保证平面密封可靠。阀上安装必要数量的位置检测开关，用于检测阀位到位情况，情况异常发出报警信号<sup>[7]</sup>。小型三通换向阀与蓄热式烧嘴的配套安装，可以一个双预热蓄热式烧嘴安装一个空气三通阀和一个煤气三通阀，也可以上下两个蓄热式烧嘴合共安装一个空气三通阀和一个煤气三通阀。此三通阀的两个阀瓣可以一关一开同时动作，也可以先关后开，也可以同时关闭或同时打开，能够适应各种工艺操作需要。用在煤气换向上，由于不会发生阀内短路，可减少煤气漏损，提高安全性。当两个阀瓣同时关闭时，即可使该烧嘴停止工作，单个烧嘴维修，或者为了减少供热负荷需要关闭部分烧嘴，都能实现。

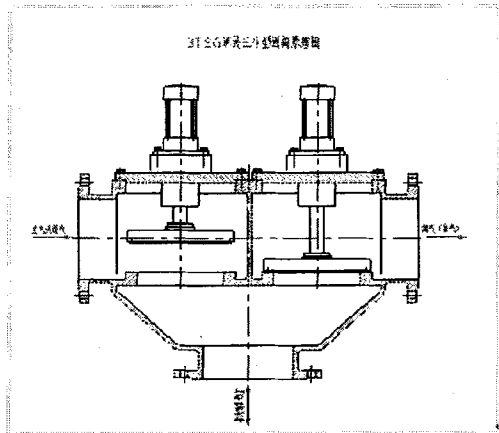


图 4.3 三通换向阀结构图  
Figure 4.3 Three Contacts cross valve structure drawing

(10)加热炉蓄热改造后总布置。迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧系统改造，经现场勘查，在加热炉炉区厂房北侧除了检修通道和备件堆放场地外，几乎没有任何可供布置蓄热燃烧系统设备的场地，为不影响生产检修，节省总建设面积，排烟风机房布置在厂房外，具体说明如下：①所改造后蓄热燃烧系统，主管道在炉子本体部分走加热跨炉顶，到上料跨走地下室，然后从上料跨地下室走出地面，与新设置的排烟风机入口连接；②利用车间外每台加热炉煤气总管之间的空地布置 15×8m 排烟风机房，风机房距离排烟烟囱附近，降低排烟阻力；③新增 3 台引风机基础进行减震和消声处理，使风机噪声降到工业安全卫生要求 85 分贝以下。改造后加热炉基本参数见表 4.7。

表4.7 改造后的蓄热式加热炉性能参数  
Table 4.7 the parameter of the furnace after reconstruction

| 序号 | 项 目 名 称 | 单 位 | 技 术 数 据                                                  |
|----|---------|-----|----------------------------------------------------------|
| 1  | 炉子用途    |     | 板坯轧制前加热                                                  |
| 2  | 炉子基本尺寸  | mm  | 43.6（有效长度）×11200（内宽）                                     |
| 3  | 加热钢种    |     | 非取向硅钢, 低碳钢及低合金钢等                                         |
| 4  | 板坯规格:   |     |                                                          |
|    | 普碳钢     | mm  | 210, 230, 250 × 800 ~ 1470 × 8000 ~ 10500, 4000~5000(短料) |
|    | 标准坯     | mm  | 230×1200×10000                                           |
|    | 最大单重    | t   | 27                                                       |
| 5  | 板坯装炉温度  |     |                                                          |
|    | 普碳钢     | ℃   | CCR 常温                                                   |
|    |         |     | DHCR ≥700                                                |
|    |         |     | HCR ≥500                                                 |
| 6  | 板坯出炉温度  | ℃   | 1100~1280                                                |
| 7  | 小时产量    |     |                                                          |
|    | 普碳钢     |     |                                                          |
|    | 冷坯额定产量  | t/h | 270                                                      |
|    | 热坯额定产量  | t/h | 324                                                      |
|    | 冷坯最大产量  | t/h | 284                                                      |
|    | 热坯最大产量  | t/h | 360                                                      |

续上表

| 序号 | 项 目 名 称    | 单位                 | 技 术 数 据                                    |
|----|------------|--------------------|--------------------------------------------|
| 8  | 燃料及发热值:    | kJ/m <sup>3</sup>  | 高炉煤气: 3190kJ/Nm <sup>3</sup> ;             |
| 9  | 燃料消耗量:     |                    |                                            |
|    | 高炉煤气       | m <sup>3</sup> /h  | 101000 (额定)、130000 (最大)、                   |
| 10 | 煤气压力: 炉前接点 | Pa                 | 8000                                       |
| 11 | 助燃空气量      | Nm <sup>3</sup> /h | 66000 (额定) 79000 (最大)                      |
| 12 | 空气蓄热温度     | ℃                  | 1000℃左右                                    |
| 13 | 煤气蓄热温度     |                    | 1000℃左右                                    |
| 14 | 设计单位热耗     |                    |                                            |
|    | 普碳钢        | kJ/kg              | 286×4.18 (冷装、普碳钢、标准坯、出炉温度 1250℃、产量 270t/h) |
| 15 | 炉子自动控制段数   | 段                  | 4                                          |
| 16 | 烧嘴型式       |                    | 组合式低 NOX 蓄热烧嘴                              |
| 17 | 最大烟气量      | m <sup>3</sup> /h  | 182793                                     |
| 19 | 最大水消耗量     |                    |                                            |
|    | 软化水        | t/h                | ~30 (水梁立柱为汽化冷却)                            |
|    | 净环水        | m <sup>3</sup> /h  | 300                                        |
|    | 水封槽        | m <sup>3</sup> /h  | 100                                        |
| 20 | 向车间散热量     | kJ/s               | 3264                                       |
| 21 | 步进机械型式     |                    | 全液压传动滚轮斜台面式                                |
|    | 平移、抬升驱动    |                    | 液压式                                        |
|    | 升降行程       | mm                 | 升 100、降 100、共 200                          |
|    | 平移行程       | mm                 | 600                                        |
|    | 步进周期       | S                  | 48                                         |
| 22 | 实际单位热耗     | kJ/kg              | 280×4.18 (冷装、普碳钢、标准坯、出炉温度 1250℃、产量 270t/h) |
| 23 | 板坯表面与中心温差  | ℃                  | ≤20                                        |
| 24 | 板坯坯长温差     | ℃                  | ~20                                        |
| 25 | 板坯水梁黑印温差   | ℃                  | ≤19                                        |
| 26 | 板坯通过加热炉跑偏量 | mm                 | ±30                                        |

4.2 加热炉改造项目经济分析

4.2.1 改造前后工艺参数分析

蓄热式燃烧改造前后关键指标参数见表 4.8。

表 4.8 蓄热式燃烧系统改造前后运行参数对比  
Table 4.8 Hot air temperature combustion system movement parameter contrast

| 序号 | 项目                 | 改造前                         | 改造后                         |
|----|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1  | 烟气排放量              | 124728 (Nm <sup>3</sup> /h) | 102717 (Nm <sup>3</sup> /h) |
| 2  | NO <sub>x</sub> 浓度 | 100 (PPm)                   | 47.4 (PPm)                  |
| 3  | 加热温度均匀性            | 30 (℃)                      | 20 (℃)                      |
| 4  | 氧化烧损               | 1 (%)                       | 0.7 (%)                     |
| 5  | 烟气排放温度             | 500 (℃)                     | 150 (℃)                     |
| 6  | 加热炉能力              | 270 (t/h)                   | 300 (t/h)                   |
| 7  | 钢坯加热单耗             | 1424 (Kj/Kg)                | 1172 (Kj/Kg)                |

从表 4.8 数据可知：坯料加热的单耗降低 8.23%，烟气排放量减少的同时烟气中 NO<sub>x</sub> 的浓度降低了 50%，烟气排放温度降低了 70%，降低了烟气的热污染；钢坯在炉内的氧化烧损率下降了 0.4%，提高了成才率；加热炉加热能力提高了 11%。具有明显的经济效益和环境效益。

4.2.2 项目所用设备及材料

项目改造主要设备及材料见表4.9、表4.10。

表4.9 首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目设备清单  
Table4.9 Beijing Steel Corporation SGQG hot milling factory changes the combustion equipment detailed list

| 序号            | 名称             | 型号规格      | 单位 | 数量  | 备注 |
|---------------|----------------|-----------|----|-----|----|
| 1. 加热炉管道及燃烧系统 |                |           |    |     |    |
| 1.1           | 管路系统设备         |           |    |     |    |
| 1.1.1         | 金属波纹管          | DN150~300 | 个  | 208 |    |
| 1.1.2         | 燃烧系统标准阀门       |           |    |     |    |
| 1.1.3         | 煤气密封蝶阀         | DN200     | 个  | 10  |    |
| 1.1.4         | 煤气密封蝶阀         | DN250     | 个  | 52  |    |
| 1.1.5         | 煤气密封蝶阀         | DN300     | 个  | 42  |    |
| 1.1.6         | 空气蝶阀           | DN150     | 个  | 10  |    |
| 1.1.7         | 空气蝶阀           | DN200     | 个  | 52  |    |
| 1.1.8         | 空气蝶阀           | DN250     | 个  | 42  |    |
| 1.1.9         | 煤气总管盲板阀        | DN1800    | 套  | 1   |    |
| 1.1.10        | 煤气总管电动偏心金属密封蝶阀 | DN1800    | 套  | 1   |    |
| 1.2           | 烧嘴和换向阀         |           |    |     |    |

续上表

| 序号              | 名称          | 型号规格                           | 单位 | 数量      | 备注   |
|-----------------|-------------|--------------------------------|----|---------|------|
| 1.2.1           | 蓄热式烧嘴(含蜂窝体) | SW-XRZ1550                     | 套  | 16      |      |
| 1.2.2           | 蓄热式烧嘴(含蜂窝体) | SW-XRZ1950                     | 套  | 28      |      |
| 1.2.3           | 蓄热式烧嘴(含蜂窝体) | SW-XRZ2450                     | 套  | 28      |      |
| 1.2.4           | 双驱动换向阀      | SW-SDSTF250                    | 套  | 32      |      |
| 1.2.5           | 双驱动换向阀      | SW-SDSTF300                    | 套  | 56      |      |
| 1.2.6           | 双驱动换向阀      | SW-SDSTF350                    | 套  | 56      |      |
| 1.2.7           | 点火烧嘴        | WDH-YJ-100C                    | 套  | 16      |      |
| 2. 加热炉助燃风机及排烟设备 |             |                                |    |         |      |
| 2.1             | 鼓风机         | D1260-F<br>500kW, 10kV<br>非标风机 | 台  | 2       |      |
| 2.2             | 消音器         |                                | 个  | 1       |      |
| 2.3             | 插板阀         |                                | 套  | 1       |      |
| 2.4             | 1#排烟机       | Y9-38№16.6D,<br>960rpm, 315kW  | 台  | 2       |      |
| 2.5             | 2#排烟机       | Y8-39№16.6D,<br>960rpm, 315kW  | 台  | 1       |      |
| 2.3             | 橡胶柔性膨胀器     |                                | 个  | 3       |      |
| 2.7             | 烟道闸板        | 非标                             | t  | 2       | 1 套  |
| 3. 加热炉电气系统明细    |             |                                |    |         |      |
| 3.1             | 进线柜         | GGD(施耐德元件)                     | 3  | 天津百利    |      |
| 3.2             | 低压开关柜       | GGD(施耐德元件)                     | 6  | 天津百利    |      |
| 3.3             | 风机软起动柜      | 施耐德软起动器                        | 3  | 天津百利    |      |
| 3.4             | 风机机旁箱       |                                | 3  | 天津百利    |      |
| 3.5             | 电气 PLC 系统   | S7-CPU416                      | 1  | SIEMENS |      |
| 3.6             | HMI         | WINCC 运行版,工控机, 网卡, 19" TFT     | 2  | 研华      |      |
| 4. 加热炉仪表系统明细    |             |                                |    |         |      |
| 4.4             | 各段煤气流量      | 标准孔板 DN1000                    | 2  | LCKF    | 江阴仪表 |
|                 |             | 标准孔板<br>DN500~DN700            | 4  | LCKF    |      |
| 4.2             | 各段助燃空气流量    | 标准孔板 DN800                     | 2  | LCKF    | 江阴仪表 |
|                 |             | 标准孔板<br>DN400~DN600            | 4  | LCKF    | 江阴仪表 |
| 4.3             | 各段空、煤气流量检测  | 差压变送器: 0~+1 kPa                | 12 | EJA110  | 横河   |
| 4.4             |             | 压力开关                           | 3  |         | 宜昌东政 |

续上表

| 序号   | 名称            | 型号规格                                             | 单位  | 数量      | 备注   |
|------|---------------|--------------------------------------------------|-----|---------|------|
| 4.5  | 高炉煤气总管压力测量    | 差压变送器: 0~+16 kPa                                 | 1   | EJA110  | 横河   |
| 4.6  | 空气总管压力测量      | 差压变送器: 0~+16 kPa                                 | 1   | EJA110  | 横河   |
| 4.7  | 氮气总管压力检测      | 压力变送器: 0~+1MPa                                   | 1   | EJA430  | 横河   |
| 4.8  | 煤气总管切断阀       | 气动密封切断蝶阀 DN1800                                  | 1   | 700S    | 无锡万力 |
| 4.9  | 各段煤气调节阀       | 气动调节蝶阀 DN1000                                    | 2   | 600S    | 无锡万力 |
|      |               | 气动调节蝶阀 DN500~DN700                               | 4   | 600S    | 无锡万力 |
| 4.1  | 各段助燃空气调节阀     | 气动调节蝶阀 DN800                                     | 2   | 600S    | 无锡万力 |
|      |               | 气动调节蝶阀 DN400~600                                 | 4   | 600S    | 无锡万力 |
| 4.11 | 各段烟气调节阀       | 气动调节蝶阀 DN800~1000                                | 4   | 600S    | 无锡万力 |
|      |               | 气动调节蝶阀 DN400~700                                 | 8   | 600S    | 无锡万力 |
| 4.12 | 鼓风机入口执行机构     | 电子式电动执行机构;                                       | 1   | 3610R   | 鞍热工装 |
| 4.13 | 引风机入口执行机构     | 电子式电动执行机构;                                       | 2   | 3610R   | 鞍热工装 |
| 4.14 | 烟道闸板执行机构      | 电子式电动执行机构;                                       | 1   | 3610R   | 鞍热工装 |
| 4.15 | 烟道温度          | 镍铬-镍硅, 分度: K, 0~1000 °C; 保护管: 不锈钢; L=1100, l=950 | 1   | WRN130  | 上海根源 |
| 4.16 | 烧嘴冷端温度、各段排烟温度 | Pt100 热电阻, M27x2 外螺纹连接                           | 36  | WZP230  | 上海根源 |
| 4.17 | 烧嘴冷端温度        | 电接点双金属温度计                                        | 128 | WSS438D | 上海根源 |

5. 蓄热燃烧控制系统

|     |           |                                                                      |   |        |         |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------|---|--------|---------|
| 5.1 | 加热炉仪表控制系统 | “ 操作站 2 台; PIV2.0G, 512M, 80G, 19 “TFT 彩显” CPU416-2DP 1 台; “ I/O 卡若干 | 1 | S7-400 | SIEMENS |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------|---|--------|---------|

续上表

| 序号  | 名称        | 型号规格        | 单位 | 数量 | 备注      |
|-----|-----------|-------------|----|----|---------|
| 5.2 | WINCC6.0  | 开发版 8K      | 1  |    | SIEMENS |
| 5.3 | WINCC6.0  | 运行版 8k      | 1  |    | SIEMENS |
| 5.4 | STEP7 5.2 |             | 1  |    | SIEMENS |
| 5.5 |           | 彩色激光 A4 打印机 | 1  |    | HP      |

6. 加热炉控制室设备

|     |           |                 |   |  |        |
|-----|-----------|-----------------|---|--|--------|
| 6.1 | UPS 不停电电源 | 供电时间 30 分钟，6KVA | 1 |  | SANTEK |
| 6.2 | 操作台       |                 | 1 |  |        |
| 6.3 | PLC 柜及附件  |                 | 4 |  |        |

表4.10 首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造项目主要材料用量清单  
Table 4.10 Beijing Steel Corporation SGQG hot milling factory changes the combustion system main material amount used detailed list

| 序号              | 名称       | 型号规格         | 单位             | 数量    | 备注 |
|-----------------|----------|--------------|----------------|-------|----|
| 1. 炉用耐火材料       |          |              |                |       |    |
| 1.1             | 低水泥浇注料   | JR-60        | t              | 15    |    |
| 1.2             | 轻质粘土隔热砖  | $\gamma=0.6$ | t              | 7.5   |    |
| 1.3             | 锚固砖      | MG-3         | t              | 11.52 |    |
| 1.4             | 莫莱石烧嘴砖   | LGSZ-1       | t              | 58    |    |
| 1.5             | 硅酸铝耐火纤维板 | LYGX-253     | t              | 2     |    |
| 1.6             | PVC 涨缝板  |              | t              | 0.5   |    |
|                 | 合计       |              |                | 94.52 |    |
| 2. 加热炉管道及燃烧系统   |          |              |                |       |    |
| 2.1             | 空气管道     |              |                | 70    |    |
| 2.2             | 煤气管道     |              |                | 110   |    |
| 2.3             | 烟气管道     |              |                | 130   |    |
| 2.4             | 压缩空气管道   |              |                | 10    |    |
| 2.5             | 煤气吹扫放散系统 |              |                | 15    |    |
| 3. 操作及检修平台、土建基础 |          |              |                |       |    |
| 4.1             | 操作及检修平台  | 钢结构件         | t              | 30    |    |
| 4.2             | 风机房      |              | m <sup>2</sup> | 216   |    |
| 4.3             | 风机设备基础   |              | m <sup>3</sup> | 54    |    |
| 4. 管缆及其他        |          |              |                |       |    |
| 4.1             | 10KV 系统  |              | Km             | 3     |    |
| 4.2             | 动力电缆     |              | Km             | 5     |    |
| 4.3             | 控制电缆     |              | Km             | 74    |    |

### 4.2.3 改造后加热炉运行费用

加热炉改造后运行维护费用主要有以下几项：①电费。系统装机容量为 2250KW，全年工作时按 280 天计算，每度电按 0.3 元计算，全年电费约为 453.6 万元；②人工费。该加热炉岗位定员 9 人(四班三运转)，按每人年收入 4 万元计算，共需要人工费 36 万元；③维修费。设备维修费可按工程总价的 2%估算，约为 16.49 万元；蓄热体和耐火材料为易损耗件，使用寿命一般为 5~8 年，蓄热体和耐火材料维护量按照 20%计算，平均每年花费 50.3 万元；其它部件以实际使用情况评估。

综上所述，系统每年运行费用约为：

$$453.6+36+50.3=539.9 \text{ (万元)}。$$

### 4.2.4 改造后项目运行效果及效益

(1) 项目运行效果。该项目投入运行后，加热炉烟气排放量、排放温度和 NO<sub>x</sub> 排放浓度均大大降低，同时，加热炉吨钢能耗以及钢坯的炉内加热烧损率都大幅度降低，钢坯出炉的温度均匀性大幅度提高，提高了产品质量。

(2) 项目经济效益。由于此蓄热燃烧改造项目采用了项目管理的技术手段，经与以前同类工程项目比较，能缩短工期一个月，并从项目工程质量、节省人员开支等方面考虑，此项目间接创造经济效益达 100 万元以上。同时，由于此项目能够提前一个月运行，能多多生产 15 万吨的产品，创造经济效益 4500 万元。

(3) 节能效益。迁钢热轧分厂 2009 年 1 台加热炉年产量 150 万吨，加热炉平均单耗：1.42Gj/t，年耗 2300Kcal/Nm<sup>3</sup> 热值混合煤气 2.205 亿立方米，改造后加热炉平均单耗：1.17Gj/t，年耗 750Kcal/Nm<sup>3</sup> 热值高炉煤气 5.598 亿立方米，首钢迁钢公司内部价格：高炉煤气 0.07 元/Nm<sup>3</sup>，焦炉煤气 0.45 元/Nm<sup>3</sup>，转炉煤气 0.09 元/Nm<sup>3</sup>，混合煤气：0.24 元/Nm<sup>3</sup>

由此可知年节约燃料费：

$$2.205 \times 10^8 \times 0.24 - 5.598 \times 10^8 \times 0.07 = 1368 \text{ (万元)}$$

(4) 低氧化烧损，提高成材效益。由于蓄热式加热炉技术具有低氧燃烧的功能，因此可降低氧化烧损，经实测氧化烧损由改造前 1%下降到 0.7%。该厂的平均坯料价格按 2000 元/t 计算，按年产量 150 万吨计算，一年仅减少氧化烧损的价值为：

$$150 \times 10^4 \times (1\% - 0.7\%) \times 2000 = 900 \text{ (万元)}$$

(5) 电力消耗。由于蓄热式加热炉技术蓄热排烟系统需要增加引风机，改造前加热炉常规燃烧系统功率为： $500\times 2=1000\text{Kw}$ ，蓄热改造后蓄热燃烧系统风机运行功率为： $500++315\times 3=1445\text{Kw}$ ，改造后燃烧系统运行增加的功率为： $1445-900=495\text{Kw}$ ，加热炉年工作 6800h，工业用电价格：0.3 元/Kwh，年增加电费为：

$$495\times 6800\times 0.3=101\text{ (万元)}$$

(6) 维护费用。加热炉蓄热燃烧改造后加热炉年维护费用见表 4.11

表4.11 改造前后维护费用表

Table 4.11 maintenance costs of the furnace

| 序号 | 项目       | 单位 | 改造前 | 改造后 | 备注 |
|----|----------|----|-----|-----|----|
| 1  | 维修炉体     | 万元 | 90  | 240 |    |
| 2  | 修理烧嘴     | 万元 | 15  | 120 |    |
| 3  | 更换蓄热体    | 万元 |     | 110 |    |
| 4  | 水梁修理     | 万元 | 5   | 5   |    |
| 5  | 换向阀修理    | 万元 |     | 30  |    |
| 6  | 调节阀和控制元件 | 万元 | 5   | 20  |    |
| 合计 |          | 万元 | 115 | 525 |    |

由表 4.11 可知：改造后加热炉增加的维护费用为：

$$525-115=410\text{ (万元/年)}$$

总计四项效益为： $1368+900-101-410=1757\text{ 万元/年}$ 。

(7) 环境效益以及社会效益。改项目投入运行后，除了经济效益非常明显以外，环保效益更加显著。由于提高热效率，燃料消耗减少 8.5%，相应的各种燃烧产物如 CO2 和 NO<sub>x</sub> 也减少 8.5%；燃烧过程在高温低氧条件下进行，NO<sub>x</sub> 排放浓度也有所降低，总排放量大幅度减少。烟气中的显热回收后，排烟温度大幅度降低（低于 150℃），减少热污染。采用常规燃烧技术难于利用的低热值燃料的高炉煤气，以前只能排空放散，既污染大气又浪费能源。蓄热式燃烧技术可以使这部分低热值燃料得到充分利用，不仅变废为宝。而且使首钢迁钢厂区煤气得到平衡。同时，由于热轧厂是首钢迁钢以及首钢的对外交流窗口，此项目的成功实施，大大提高了首钢迁钢热轧厂以及首钢的社会形象，取得了较好的社会效益以及环境效益。

蓄热式燃烧技术是一项高效低污染的燃烧技术，首钢迁钢热轧分厂加热炉燃烧系统改造项目采用此技术，对提高产品质量、降低燃耗、减少污染将发挥重大作用，是工业炉燃烧技术的一次革新，由于其巨大的节能潜力和环保效益，适合我国的经

济可持续发展战略，一定会在我国得到广泛应用，是二十一世纪燃烧技术的一个发展方向。

#### 4.2.5 项目投资回收期分析

(1) 节能投资回收期。投资回收期是指实施的节能设备投入生产所取的经济效益用以回收投资费用所需的期限<sup>[26]</sup>。加热炉的节能投资不仅在节约能源方面产生经济效益，而且在提高产品质量、保护环境方面产生综合效益。节能设备的投资额为  $T$ ，年节约能源费为  $S$ ，增加的维修、运行附加费为  $C$ ，则投资回收期  $n(a)$  为：

$$n = \frac{T}{S - C} = \frac{2488}{1368 - 101 - 410} = 2.903(\text{年})$$

(2) 标准投资回收期。用投资回收期评价节能改造方案时，应把节能投资的回收期与国家或部门的规定标准投资回收期  $n_b$  进行比较。当  $n \leq n_b$  时，认为节能改造投资是合理的；当  $n \geq n_b$  时，则认为不可取的。因此，标准节能回收期是判断节能投资方案是否可行的依据，但目前未制订有统一的标准节能回收期。不同的节能项目，由于本身的条件不同，如不同的投资额，不同的使用期限和不同的装配水平等，其标准投资回收期是不同的。即使如此，为了合理使用投资，仍应制订各种条件下的标准投资回收期。

(3) 投资回收利率计算。节能投资额为  $T$ ，年利率为  $i$ ，年节约能源费为  $S$ ，假定没有附加费用，若  $n$  年回收全部投资，则

$$\text{一年后未回收的费用} = T(1+i) - S$$

$$\text{二年后未回收的费用} = (T(1+i) - S)(1+i) - S$$

$$= T(1+i)^2 - S(1+i) - S$$

若  $n$  年后回收全部费用，则

$$= T(1+i)^n - S(1+i)^{n-1} - S(1+i)^{n-2} - \dots - S$$

整理后的，得投资回收率

$$\varepsilon = \frac{S}{T} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

由上式知，当投资额  $T$  为定数，年节能费  $S$  越大，则投资回收率越高；年利率

i 越低，则投资回收期 n 越短。不同年率 i、不同投资回收期 n 的投资回收率 ε 计算值见表 4.12，投资回收率：

$$\varepsilon = \frac{S}{T} = \frac{1368 - 401}{2488} = 0.389$$

取年利率 i=10%

由计算式：

$$\frac{S}{T} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0.389$$

计算得投资回收期 n=3.11 年

蓄热烧嘴使用寿命一般达 8 年，蓄热系统得标准投资期 nb 定位为 4 年。据以上计算结果 n<nb，故蓄热燃烧系统改造投资效果是好的。

表 4.12 投资回收率 ε 值  
Table 4.12 investment returns-ratio ε value

| 投资回收期<br>n(a) | 年利率 i (%) |       |       |       |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | 7.5       | 10    | 12.5  | 15    | 17.5  | 20    |
| 1             | 1.075     | 1.1   | 1.125 | 1.15  | 1.175 | 1.2   |
| 2             | 0.557     | 0.576 | 0.597 | 0.615 | 0.635 | 0.655 |
| 3             | 0.385     | 0.402 | 0.42  | 0.438 | 0.456 | 0.475 |
| 4             | 0.299     | 0.315 | 0.332 | 0.35  | 0.368 | 0.386 |
| 5             | 0.247     | 0.264 | 0.281 | 0.298 | 0.316 | 0.334 |
| 6             | 0.213     | 0.23  | 0.246 | 0.264 | 0.282 | 0.301 |
| 7             | 0.189     | 0.205 | 0.223 | 0.24  | 0.259 | 0.277 |
| 8             | 0.171     | 0.187 | 0.205 | 0.223 | 0.241 | 0.261 |
| 9             | 0.157     | 0.174 | 0.191 | 0.21  | 0.229 | 0.248 |
| 10            | 0.146     | 0.163 | 0.181 | 0.199 | 0.219 | 0.239 |

(4) 最高节能投资限额 T<sub>max</sub> 计算。在燃料节约率不变的情况下，已知年节能费 S 和投资回收期 nb，可按下式求得最高节能投资额为：

$$T_{\max} = \frac{S}{\varepsilon} (\text{元})$$

nb=4，i=10%，由表 5.6 得投资回收率 ε =0.315，则最高节能投资限额为：

$$T_{\max} = \frac{S}{\varepsilon} = \frac{1368 - 401}{0.315} = 3069 (\text{元})$$

当投资额超过上述计算值，则蓄热燃烧改造的节能方案不成立。

4.2.6 技术经济分析

加热炉技术经济分析主要有以下几个方面的内容：

（1）计算依据及评价范围。本评价参照国家计划委员会颁布的《建设项目经济评价方法与参数》（第三版）的有关内容及深度要求，结合本工程的实际情况进行编制。

（2）投资估算。计算资本金基数的项目总投资 2488 万元，资金总需要量 2736 万元，其中：①工程固定资产静态投资 2488 万元。其中设备费 824.8 万元、建筑工程费 943.4 万元、安装工程费 126.7 万元以及其它费 136.1 万元，具体情况见表 4.13；② 建设期利息为 448 万元；③ 流动资金为 373 万元，其中：铺底流动资金为 112 万元。

表4.13 首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造工程投资综合估算表  
Table 4.13 Beijing Steel Corporation SGQG hot milling factory changes the combustion system project investment synthesis estimate table

| 序号            | 名称       | 型号规格      | 单位 | 数量         | 单 价<br>(元) | 合 计<br>(万元) | 安装费                  | 备注 |
|---------------|----------|-----------|----|------------|------------|-------------|----------------------|----|
| 1. 炉用耐火材料     |          |           |    |            |            |             |                      |    |
| 1.1           | 低水泥浇注料   | JR-60     | t  | 15.00      | 1800       | 2.7         |                      |    |
| 1.2           | 轻质粘土隔热砖  | γ=0.6     | t  | 7.50       | 3500       | 2.6         |                      |    |
| 1.3           | 锚固砖      | MG-3      | t  | 11.52      | 2400       | 2.8         |                      |    |
| 1.4           | 莫来石烧嘴砖   | LGSZ-1    | t  | 58.00      | 4500       | 26.1        |                      |    |
| 1.5           | 硅酸铝耐火纤维板 | LYGX-253  | t  | 2.00       | 8000       | 1.6         |                      |    |
| 1.6           | PVC 涨缝板  |           | t  | 0.50       | 1400<br>0  | 0.7         |                      |    |
|               | 合计（含损耗）  |           |    | 94.5       |            | 36.5        | 3.7                  |    |
|               | 本项总计：    |           |    |            |            | 40.1        |                      |    |
| 2. 加热炉管道及燃烧系统 |          |           |    |            |            |             |                      |    |
| 2.1           | 燃烧系统管道   |           |    |            |            |             |                      |    |
| 2.1.1         | 空、煤、废气管道 |           | t  | 376.4<br>8 | 9291<br>.7 | 349.8       | 含辅助烟道、管道支架、钢烟囱、风机安装等 |    |
| 2.1.2         | 金属波纹管    | DN200~350 | 个  | 152        | 650        | 9.9         |                      |    |
| 2.1.3         | 金属波纹管    | DN1900    | 个  | 1          | 1650<br>0  | 1.7         |                      |    |
|               | 小计       |           |    |            |            | 361.3       | 70.0                 |    |

续上表

| 序号              | 名称             | 型号规格        | 单位 | 数量 | 单 价<br>(元) | 合 计<br>(万元) | 安装费  | 备注   |
|-----------------|----------------|-------------|----|----|------------|-------------|------|------|
| 2.2             | 燃烧系统标准阀门       |             |    |    |            |             |      |      |
| 2.2.1           | 煤气密封蝶阀         | DN250       | 个  | 34 | 2850       | 9.7         |      |      |
| 2.2.2           | 煤气密封蝶阀         | DN300       | 个  | 70 | 3500       | 24.5        |      |      |
| 2.2.3           | 空气蝶阀           | DN200       | 个  | 78 | 1500       | 11.7        |      |      |
| 2.2.4           | 空气蝶阀           | DN250       | 个  | 42 | 1700       | 7.1         |      |      |
| 2.2.5           | 煤气总管盲板阀        | DN1800      | 套  | 1  | 187500     | 18.8        |      |      |
| 2.2.6           | 煤气总管电动偏心金属密封蝶阀 | DN1800      | 套  | 1  | 225000     | 22.5        |      |      |
| 2.2.7           | 煤气闸阀           | DN80        | 个  | 16 | 500        | 0.8         |      |      |
| 2.2.8           | 煤气闸阀           | DN150       | 个  | 2  | 1240       | 0.2         |      |      |
| 2.2.9           | 煤气闸阀           | DN300       | 个  | 1  | 4500       | 0.5         |      |      |
|                 | 小计             |             |    |    |            | 95.8        | 2.9  |      |
| 2.3             | 蓄热烧嘴和换向阀       |             |    |    |            |             |      |      |
| 2.3.1           | 蓄热式烧嘴          | SW-XRZ1550  | 套  | 16 | 21000      | 33.6        |      | 烧嘴本体 |
| 2.3.2           | 蓄热式烧嘴          | SW-XRZ1950  | 套  | 28 | 24000      | 67.2        |      |      |
| 2.3.3           | 蓄热式烧嘴          | SW-XRZ2450  | 套  | 28 | 28000      | 78.4        |      |      |
| 2.3.4           | 蜂窝体            |             | t  | 86 | 25000      | 215.0       |      |      |
| 2.3.6           | 双驱动换向阀         | SW-SDSTF200 | 套  | 34 | 17500      | 59.5        |      |      |
| 2.3.7           | 双驱动换向阀         | SW-SDSTF250 | 套  | 48 | 20000      | 96.0        |      |      |
| 2.3.7           | 双驱动换向阀         | SW-SDSTF300 | 套  | 42 | 22000      | 92.4        |      |      |
| 2.3.8           | 双驱动换向阀         | SW-SDSTF350 | 套  | 28 | 24000      | 67.2        |      |      |
| 2.3.9           | 点火烧嘴           | WDH-YJ-100C | 套  | 16 | 3000       | 4.8         |      |      |
|                 | 小计             |             |    |    |            | 714.1       | 12.0 |      |
|                 | 合计             |             |    |    |            | 1171.2      | 84.9 |      |
|                 | 本项总计:          |             |    |    |            | 1256.1      |      |      |
| 3. 加热炉助燃风机及排烟设备 |                |             |    |    |            |             |      |      |

续上表

| 序号              | 名称          | 型号规格                                               | 单位 | 数量 | 单 价<br>(元)        | 合 计<br>(万元) | 安装费  | 备注  |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------------|----|----|-------------------|-------------|------|-----|
| 3.1             | 鼓风机         | D1260-F<br>500kW,<br>6kV<br>非标风机                   | 台  | 2  | 2600<br>00        | 52.0        |      |     |
| 3.2             | 消音器         |                                                    | 个  | 2  | 1500<br>0         | 3.0         |      |     |
| 3.3             | 插板阀         |                                                    | 套  | 1  | 9000              | 0.9         |      |     |
| 3.4             | 1#排烟机       | Y9-38N <sub>2</sub> 1<br>6.6D,<br>960rpm,<br>315kW | 台  | 2  | 9800<br>0         | 19.6        |      |     |
| 3.5             | 2#排烟机       | Y8-39N <sub>2</sub> 1<br>6.6D,<br>960rpm,<br>315kW | 台  | 1  | 1060<br>00        | 10.6        |      |     |
| 3.6             | 橡胶柔性膨胀器     |                                                    | 个  | 3  | 8000              | 2.4         |      |     |
| 3.7             | 烟道调节阀       | 非标                                                 | t  | 2  | 1500<br>0         | 3.0         |      | 1 套 |
| 3.8             | 轴流风机        | WDZN <sub>2</sub><br>3.15<br>0.37kW                | 个  | 2  | 1540              | 0.3         |      |     |
| 3.9             | 轴流风机        | WDZN <sub>2</sub> 5.6<br>1.1kW                     | 个  | 2  | 2660              | 0.5         |      |     |
| 3.10            | 电动葫芦        | CD <sub>2</sub> -6D<br>Q=2t                        | 个  | 4  | 3000<br>0         | 12.0        |      |     |
|                 | 合计          |                                                    |    |    |                   | 104.3       | 3.1  |     |
|                 | 本项总计:       |                                                    |    |    |                   | 107.5       |      |     |
| 4. 电气、仪表自动化控制系统 |             |                                                    |    |    |                   |             |      |     |
| 4.1             | 电气自动化控制系统设备 |                                                    | 套  | 1  | 1263<br>000       | 126.3       |      |     |
| 4.2             | 仪表自动化控制系统设备 |                                                    | 套  | 1  | 2300<br>000       | 230.0       |      |     |
| 4.3             | 10KV 系统     |                                                    | Km | 3  | 20,1<br>80        | 6.1         |      |     |
| 4.4             | 动力电缆        |                                                    | Km | 5  | 94,8<br>00.0<br>0 | 47.4        |      |     |
| 4.5             | 控制电缆        |                                                    | Km | 74 | 31,6<br>00.0<br>0 | 233.8       |      |     |
|                 | 合计          |                                                    |    |    |                   | 643.6       | 35.0 |     |
|                 | 本项总计:       |                                                    |    |    |                   | 678.6       |      |     |

续上表

| 序号                  | 名称      | 型号规格 | 单位 | 数量         | 单 价<br>(元) | 合 计<br>(万元) | 安装费 | 备注    |
|---------------------|---------|------|----|------------|------------|-------------|-----|-------|
| 5. 操作及检修平台、风机房、风机基础 |         |      |    |            |            |             |     |       |
| 5.1                 | 操作及检修平台 | 钢结构件 | t  | 30         | 7500       | 22.5        |     |       |
| 5.2                 | 风机房     |      | m2 | 216.0<br>0 | 2300       | 49.7        |     | 已实施   |
| 5.3                 | 风机基础    |      | m³ | 54         | 1290       | 6.9         |     |       |
|                     | 合计      |      |    |            |            | 79.1        | 8.0 |       |
|                     | 本项总计:   |      |    |            | -          | 87.1        |     |       |
| 6. 加热炉钢结构           |         |      |    |            |            |             |     |       |
| 6.1                 | 钢结构改造   |      | t  | 10         | 7500       | 7.5         |     |       |
|                     | 合计      |      |    |            |            | 7.5         | 1.0 |       |
|                     | 本项总计:   |      |    |            |            | 8.5         |     |       |
| 共计（前 6 项）           |         |      |    |            |            | 2178        |     |       |
| 7. 甲方费用             |         |      |    |            |            |             |     |       |
| 7.1                 | 建设单位管理费 |      |    |            |            | 21.8        |     |       |
| 7.2                 | 监理费     |      |    |            |            | 17.4        |     |       |
| 7.3                 | 质量监督检查费 |      |    |            |            | 2.0         |     |       |
| 7.4                 | 审计费     |      |    |            |            | 10.9        |     |       |
|                     | 本项总计:   |      |    |            |            | 52.1        |     |       |
| 8. 设计费              |         |      |    |            |            |             |     |       |
| 8.1                 | 基本设计费   |      |    |            |            | 65.3        |     |       |
| 8.2                 | 非标设备设计费 |      |    |            |            | 108.9       |     |       |
|                     | 本项总计:   |      |    |            |            | 174.2       |     |       |
| 9. 税金               |         |      |    |            |            | 82.0        |     |       |
| 10. 合同交易服务费         |         |      |    |            |            | 2           |     | 北京建委收 |
| 总 计(总造价)            |         |      |    |            |            | 2488        |     |       |

(3) 资金使用及筹措。项目总投资的 60%即 1492.8 万元向银行贷款，年利率为 7.83%，其余利用企业自有资金。流动资金中 30%自筹解决，70%向银行贷款，年利率为 7.83%。

(4) 盈利能力分析。项目投资税前内部收益率 16.76%，投资回收期 2.903 年，税后内部收益率 13.26%，投资回收期 3.61 年。项目资本金财务内部收益率为 16.42%。

(5) 清偿能力分析。本项目每年形成的折旧费和净利润提取法定盈余公积金后用于偿还建设投资借款本金，项目固定资产借款在第 4 年全部还清。

(6) 不确定性分析。不确定分析主要包括盈亏平衡分析和敏感性分析。

①盈亏平衡分析计算公式：

$$BEP = \frac{CF}{S - CV - T} \times 100\% = 63.4\%$$

其中：BEP—盈亏平衡点

CF—年均固定总成本

S—年销售收入

CV—年均可变总成本

T—年均销售税金及附加

该项目只要达到设计能力的 63.40%，企业即可保本。

②敏感性分析。为预测一些因素未来发生变化时，对经济效益的影响，就销售收入、原材料成本、建设投资等因素变化对经济效益的影响进行敏感性分析，分析结果见表 4.14。

表 4.14 敏感性分析表  
Table 4.14 Sensitive analytical table

| 序号 | 变化因素  | 变化率 | 内部收益率 (%) |
|----|-------|-----|-----------|
| 1  | 基准方案  |     | 16.76     |
| 2  | 销售收入  | +3% | 25.84     |
|    |       | +2% | 22.93     |
|    |       | -2% | 9.85      |
|    |       | -3% | 5.93      |
| 3  | 原材料成本 | +3% | 6.69      |
|    |       | +2% | 10.30     |
|    |       | -2% | 22.59     |
|    |       | -3% | 25.36     |
| 4  | 建设投资  | +3% | 16.24     |
|    |       | +2% | 16.41     |
|    |       | -2% | 17.11     |
|    |       | -3% | 17.29     |

从上表可以看出，建设投资增加 3%，项目全部投资所得税前财务内部收益率为 16.24%，原材料成本上升 3%，所得税前财务内部收益率为 6.69%，当销售

收入下降 3%时，所得税前财务内部收益率为 5.93%。本项目对销售收入变化最为敏感，原材料成本变化次之，对建设投资的变化最不敏感。

(7) 综合评价。本项目投资财务内部收益率所得税前为 16.76%，所得税后为 13.26%；项目投资回收期所得税前和所得税后分别为 2.903 年和 3.61 年；项目资本金财务内部收益率为 16.42%。资本金净利润率为 27.99%；总投资收益率为 14.20%；盈亏平衡点为 63.40%。以上财务评价动态指标均好于《建设项目经济评价方法与参数（第三版）》<sup>[33]</sup>中的基准指标，其它静态评价指标也较好。同时项目具有一定的抗风险能力，因此，本项目在经济上是可行的。

4.3 加热炉改造项目风险分析

4.3.1 技术风险

加热炉是热轧生产线的重要设备，也是典型的耗能设备。目前，能源和环境问题日益突出，我国钢铁企业节能减排任务艰巨，蓄热式燃烧技术符合钢铁企业推行高效、清洁生产技术的要求。蓄热式加热炉是基于蓄热式热交换原理和高温空气燃烧技术的新型加热炉，与普通加热炉相比具有降低了燃料的限制、节能、降低环境污染等优点。同时，蓄热式加热炉设备及控制系统较为复杂，对设备的安全性，控制系统的稳定性有更高的要求。本文采用事故树分析方法，对蓄热式加热炉进行系统安全分析，并在此基础上提出增强蓄热式加热炉安全性的技术措施和风险管理措施。

(1) 蓄热式加热炉事故类型及影响分析。工艺和生产设备在连续生产运行过程中由于各种人为或偶然因素的影响以及设备质量、寿命本身原因难免会产生各种故障。蓄热式加热炉常见事故类型及影响分析见表 4.15、表 4.16 所示。

表 4.15 蓄热燃烧事故类型及影响分析  
Table 4.15 regeneration combustion system accident pattern and impact analysis

| 序号 | 事故类型  | 事故原因       | 事故发生可能性 | 事故影响      |
|----|-------|------------|---------|-----------|
| 1  | 爆炸事故  | 达到爆炸要求     | D       | 设备损坏、人员伤亡 |
| 2  | 煤气中毒  | 煤气泄漏       | E       | 人员中毒      |
| 3  | 粘钢事故  | 炉温过高，未及时排钢 | C       | 影响生产      |
| 4  | 炉顶塌落  | 炉结构性能差     | E       | 影响生产      |
| 5  | 排水器击穿 | 煤气压力过大     | D       | 影响生产，煤气泄漏 |

表 4.16 事故发生可能性分级  
Table 4.16 accidents have the possibility graduation

| 级别 | 发生可能性 | 级别 | 发生可能性 | 级别 | 发生可能性 |
|----|-------|----|-------|----|-------|
| A  | 经常发生  | C  | 偶尔发生  | E  | 不易发生  |
| B  | 容易发生  | D  | 很少发生  | F  | 极难发生  |

从表 4.15、表 4.16 可见，蓄热式加热炉爆炸事故发生概率和严重度较大，具有较大的风险性。故选择蓄热式加热炉爆炸事故作为顶上事件编制事故树，进行系统安全分析。

(2) 蓄热式加热炉爆炸事故树分析。事故树分析主要分析主要分：以下两个步骤：①事故树编制，根据事故树编制方法，经过事故统计分析，编制蓄热式加热炉爆炸事故树，如图 4.4 和表 4.17 所示。

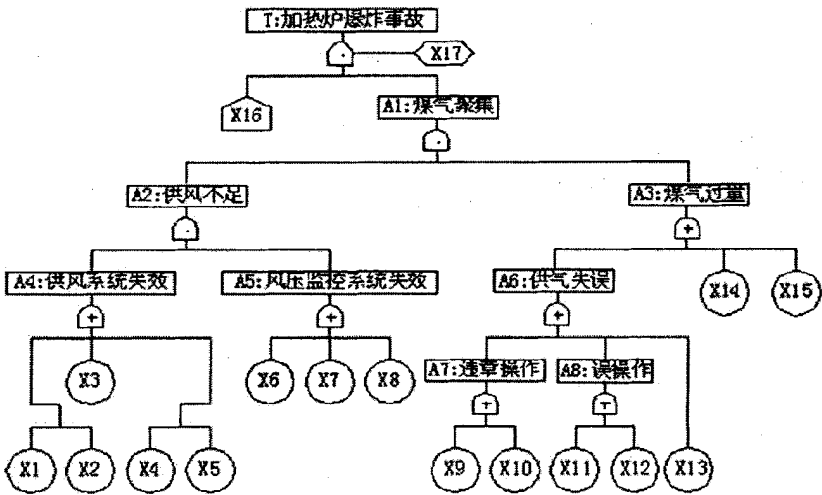


图 4.4 蓄热式加热炉爆炸事故树

Figureure 4.4 regeneration type heating furnace explosion accident tree

表 4.17 蓄热加热炉爆炸事故树基本事件

Table 4.17 regeneration heating furnace explosion accident tree elementary event

| 代号  | 基本事件       | 发生概率   | 代号  | 基本事件    | 发生概率   |
|-----|------------|--------|-----|---------|--------|
| X1  | 鼓风机故障      | 0.0002 | X2  | 供电系统故障  | 0.0001 |
| X3  | 人员误操作      | 0.0017 | X4  | 供风管故障   | 0.0001 |
| X5  | 空气喷嘴故障     | 0.0003 | X6  | 传感器故障   | 0.0001 |
| X7  | 信号传输故障     | 0.0002 | X8  | 监控系统瘫痪  | 0.0002 |
| X9  | 点火违章操作     | 0.0038 | X10 | 停火违章操作  | 0.0038 |
| X11 | 作业人员开/关错阀门 | 0.0015 | X12 | 非作业人员操作 | 0.0001 |
| X13 | 点火器失效      | 0.0002 | X14 | 切断阀故障   | 0.0001 |
| X15 | 调价阀故障      | 0.0001 | X16 | 加热炉燃烧火源 | 1      |
| X17 | 煤气浓度达到爆炸极限 | 0.5    |     |         |        |

## ②结果分析和安全技术

(a) 最小径集:  $T' = X'16 + X'17 + A'1$  蓄热式加热炉爆炸事故树的 5 个最小径集如下:

$$P1 = \{X17\};$$

$$P2 = \{X16\};$$

$$P3 = \{X1, X2, X3, X4, X5\};$$

$$P4 = \{X6, X7, X8\};$$

$$P5 = \{X9, X10, X11, X12, X13, X14, X15\}.$$

(b) 顶上事故发生概率

$$Q = 1.4 \times 10^{-5}$$

(c) 结构重要度

$$I_{\phi}(i) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{p=1}^{2^{n-1}} [\phi(1_i, X_{JP}) - \phi(0_i, X_{JP})]$$

从顶上事件发生概率来看, 蓄热式加热炉爆炸事故还是比较容易发生, 而且爆炸事故造成的损失往往较大, 因此必须采取措施预防爆炸事故的发生。从最小径集的分布及各基本事件结构重要度大小可以看出, 阀门及人员的重要度较大, 表明它们对顶上事件发生的影响大, 故考虑预防措施时, 主要从设备故障和违规作业两方面考虑。应当采取的主要安全防范措施为: ①加强煤气岗位作业人员安全教育, 严格执行《煤气安全技术操作规程》; ②非煤气岗位操作人员严禁随意开、关动用煤气设备设施; ③加强设备监测, 确保管道, 喷嘴, 引风机等设备正常; ④采用全分散换向技术, 提高系统安全性; ⑤换向阀动作频繁, 要求较高的机械性能, 采用小型进口阀门可以减小阀门动作阻力, 从而延长换向阀使用寿命。

蓄热式燃烧作为一项节能技术, 有其适宜的应用范围和局限。目前, 蓄热燃烧加热炉技术尚处在发展过程中, 从近年的工业规模应用情况来看, 也遇到了一些问题; 随着技术的推广, 各种问题不断得到解决, 蓄热式燃烧技术不断得到完善。由于其巨大的节能潜力和环保效益, 蓄热式燃烧技术适合我国的经济可持续发展战略, 一定会

在我国得到广泛应用；同时，采用项目管理的技术，应用于各项工程，是保证项目成功实施的有效手段，也将能更好的促进企业的发展。

4.3.2 经济风险

风险投资分析及风险管理现代风险管理的措施主要有：风险控制、保险理财、替代性风险管理、财务风险管理和风险沟通。加热炉是钢铁企业的重要设备，蓄热式加热炉由于具有环保和节能的特性而在企业中得到广泛应用，所以该风险无法避免<sup>[9]</sup>。根据风险管理理论，结合生产实际，制订了如下 5 种风险投资方案，它们之间的比较分析如表 4.18 所示。

表 4.18 投资效益比较表  
Table 4.18 investment benefit comparison table

| 方案            | 可能结果         |                      |         |       | 费用/效益 |
|---------------|--------------|----------------------|---------|-------|-------|
|               | 发生爆炸         | 发生概率                 | 方案实施后风险 | 效益    |       |
| 自留风险          | 可保损失: 800 万元 | $1.4 \times 10^{-5}$ | 126     |       |       |
| 不采取措施         | 间接损失: 100 万元 |                      |         |       |       |
|               | 共: 900 万元    |                      |         |       |       |
| 自留风险          | 可保损失: 800 万元 | $1.1 \times 10^{-5}$ | 100.1   | 25.9  | 0.19  |
| 采取方案 1        | 间接损失: 100 万元 |                      |         |       |       |
| (加强安全教育)      | 安措成本: 5 万元   |                      |         |       |       |
|               | 共: 905 万元    |                      |         |       |       |
| 自留风险          | 可保损失: 800 万元 | $1.1 \times 10^{-5}$ | 10.1    | 115.9 | 0.17  |
| 采取方案 2        | 间接损失: 100 万元 |                      |         |       |       |
| (采用进口设备)      | 安措成本: 20 万元  |                      |         |       |       |
|               | 共: 920 万元    |                      |         |       |       |
| 自留风险          | 可保损失: 800 万元 | $0.8 \times 10^{-5}$ | 7.4     | 118.6 | 0.21  |
| 采取方案 3        | 间接损失: 100 万元 |                      |         |       |       |
| (加强安全教育和进口设备) | 安措成本: 20 万元  |                      |         |       |       |
|               | 共: 920 万元    |                      |         |       |       |
| 风险转移          | 可保损失: 800 万元 | $1.1 \times 10^{-5}$ | 0       | 126   | 0.1   |
| 采取方案 4        | 间接损失: 100 万元 |                      |         |       |       |
| 投商业保险         | 保险费率: 1.6%   |                      |         |       |       |
|               | (钢铁行业)       |                      |         |       |       |
|               | 保费: 12.8 万元  |                      |         |       |       |

由表 4.18 分析可知，方案 4 是投资效益最好的方案，但综合考虑经济、技术、社会影响和企业长期发展等因素，采用方案 4 投商业保险及加强安全教育等综合措施，降低事故发生概率，转移风险。

因此，采用事故树分析法对蓄热式加热炉进行了系统安全分析，并制定了

安全防范措施,最后通过对5种投资方案进行了比较分析,结合企业实际提出了最佳的投资方案,为企业决策者进行安全投资决策提供了科学的依据。

#### 4.4 可行性结论

通过对项目技术分析、经济分析以及风险分析可知:(1)采用蓄热式燃烧技术具有最大限度回收烟气热量,实现燃料化学能的高效利用和有效控制燃烧主要污染物氮氧化物等特点,是非常适合在我国工业界应用推广的技术,为缓解我国的能源紧缺、改善自然环境提供了切实可行的方法。本次首钢迁钢热轧分厂加热炉蓄热式燃烧项目改造采用烧嘴式蓄热式加热炉,蓄热体采用蜂窝体,换向控制方式采取全分散换向技术进行实施是切实可行的;(2)本项目的技术分析计算结果表明,投资财务内部收益率所得税前为16.76%,所得税后为13.26%;项目投资回收期所得税前和所得税后分别为2.903年和3.61年;项目资本金财务内部收益率为16.42%。资本金净利润率为27.99%;总投资收益率为14.20%;盈亏平衡点为63.40%。以上财务评价动态指标均好于《建设项目经济评价方法与参数(第三版)》中的基准指标,其它静态评价指标也较好;(3)从顶上事件发生概率来看,蓄热式加热炉爆炸事故还是比较容易发生,但是采取安全防范措施,可以规避风险的发生。

综上所述:通过对迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧项目的技术分析、经济分析以及风险分析可知,迁钢热轧分厂加热炉燃烧进行蓄热改造是切实可行的。本项目的实施,不但解决了迁钢厂区能源平衡问题,而且对提高产品质量、降低能耗、减少污染将发挥重大作用,是工业炉燃烧技术的一次革新,由于其巨大的节能潜力和环保效益,适合我国的经济可持续发展战略,一定会在我国得到广泛应用,是二十一世纪燃烧技术的一个发展方向。

## 第 5 章 加热炉改造项目的实施保障

### 5.1 组织保障

为顺利完成本加热炉蓄热燃烧改造建设项目，该加热炉蓄热燃烧改造项目成立项目经理部。具体组织结构如图 5.1 所示。

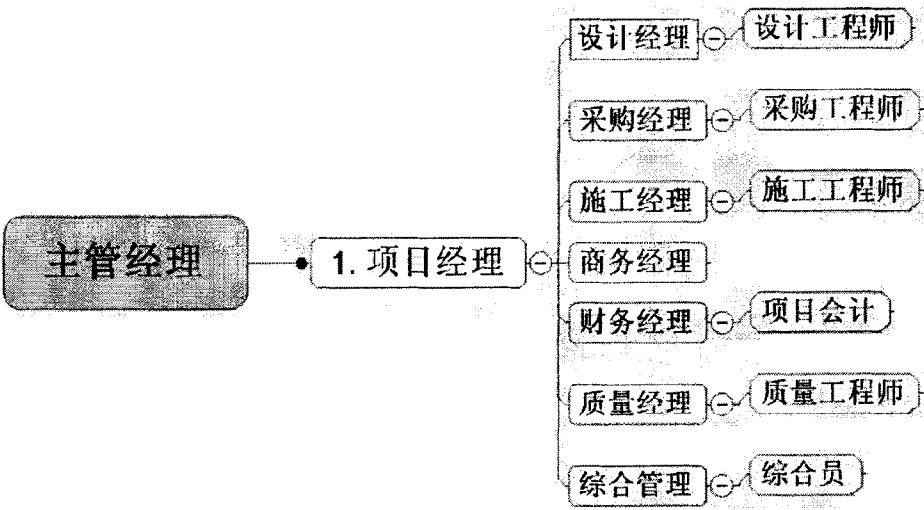
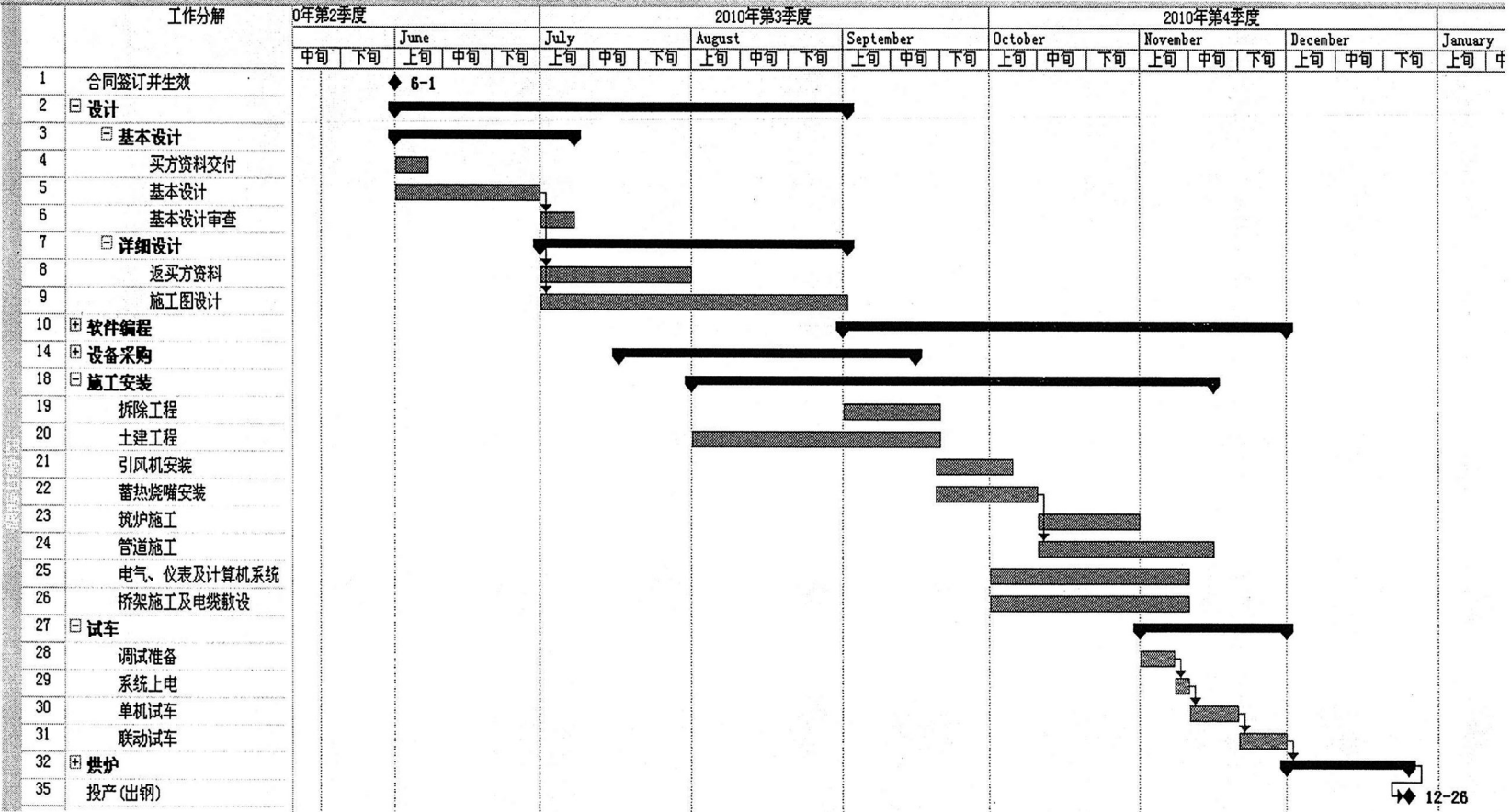


图 5.1 项目部组织结构图  
Figure. 5.1 project organization structure

### 5.2 进度保障

项目进度计划见表 5.1。

表5.1 项目进度计划  
Table 5.1 project progress plan



根据项目改造计划，该项目于 2010 年 6 月 1 日正式开始正式实施，于 12 月 26 日前正式投入运行。由于改造后加热炉蓄热燃烧系统复杂、需要改造工作量大，技术指标要求高，施工时间短，施工过程中将重点考虑施工质量、施工周期以及项目资金，首钢迁钢热轧分厂将充分利用总承包单位（首钢国际工程技术有限公司）多年的项目总承包的工作经验，并组织最强项目经理部和最精干施工队伍，精心组织，确保本工程按时、保质的完成。为此，在此次项目改造中，将着重解决以下几个方面的问题：

（1）为了顺利完成加热炉蓄热燃烧改造项目，要求我公司施工人员在进驻厂区施工之前由首钢迁钢热轧分厂、北京首钢国际工程技术有限公司以及首钢诚信监理公司各方派代表组成的领导小组，人员 4 至 6 人。其主要任务为统一协调、组织指挥各专业施工队伍进场时间、施工项目及施工区段，统一协调解决北京首钢国际工程技术有限公司在施工中遇到的水、电、风、气（汽）接点、成品和半成品的堆放工作。

（2）施工期间，领导小组应建立统一的每天一次生产协调会制度，对参与施工的专业队伍进行统筹安排，合理部署，解决各专业交叉矛盾以及影响工期、质量、进度的各种问题。

（3）施工前，首钢迁钢热轧分厂将全部解决施工现场的“三通一平”及按施工统一部署提供临时房屋，成品、半成品、材料堆放场地，以及指定土方外运地点、全部地下咨询手续办理，水、电、风、气（汽）接点达到完全能进场施工状态。

（4）在施工过程中，属车间内管网及设备施工安装，尽量采用车间天车进行运输。在不能满足需要时，可设卷扬机（3t~5t）进行垂直吊装、拆除。室外管网、支架、吊架、大型设备和构件临时租借大型轮胎吊（45t-160t）进行吊装，室外主管道安装采用汽车吊安装。

5.3 人力资源保障

根据整个项目运作的需要，人力资源计划表见表 5.2 和图 5.2。

表5.2 人力资源计划表  
Table 5.2 Human resources plan

| 序号 | 人员类别       | 2010 年<br>6 月 | 2010 年<br>7 月 | 2010 年<br>8 月 | 2010 年<br>9 月 | 2010 年<br>10 月 | 2010 年<br>11 月 | 2010 年<br>12 月 |
|----|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 管理人员       | 1             | 3             | 3             | 4             | 3              | 3              | 3              |
| 2  | 设计人员       | 4             | 8             | 12            | 3             | 3              | 3              | 3              |
| 3  | 采购人员       |               | 2             | 4             | 4             | 1              | 1              | 1              |
| 4  | 编程调试人<br>员 |               |               |               | 3             | 3              | 3              | 3              |
| 5  | 财务人员       | 1             | 1             | 1             | 1             | 1              | 1              | 1              |
| 6  | 铆工         |               |               |               | 3             | 8              | 12             | 1              |
| 7  | 起重工        |               |               |               | 2             | 2              | 2              | 1              |
| 8  | 电焊工        |               |               |               | 14            | 18             | 16             | 3              |
| 9  | 钳工         |               |               |               | 8             | 8              | 4              | 1              |
| 10 | 行车操作工      |               |               |               | 2             | 2              | 2              | 1              |
| 11 | 电工         |               |               |               | 1             | 1              | 1              | 1              |
| 12 | 辅助工        |               |               |               | 16            | 16             | 8              | 4              |
| 13 | 合 计（人）     | 6             | 14            | 20            | 61            | 66             | 56             | 23             |

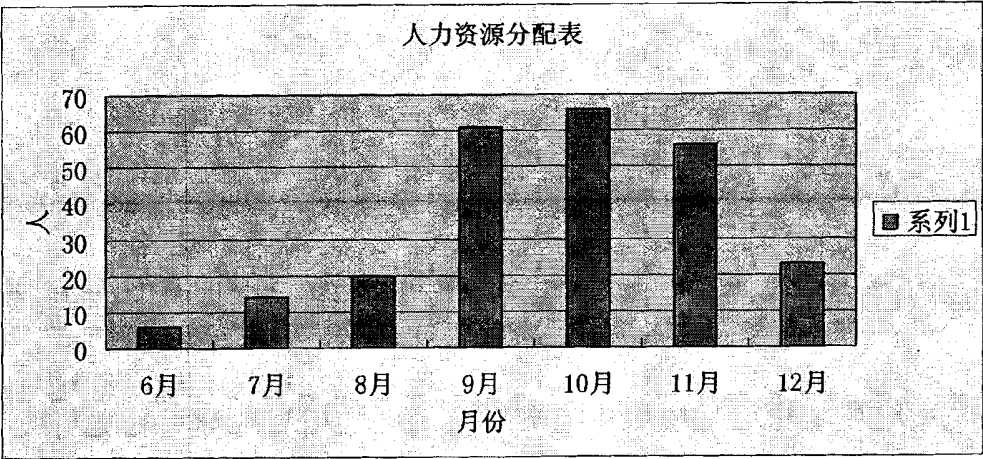


图 5.2 人力资源计划图  
Figure 5.2 Human resources planning chart

5.4 质量保障

5.4.1 质量保证

项目的工程质量保证和质量控制以 GB/T19001-1994idtIS09001；1994（设计、开发、生产、安装和服务的质量体系）为标准，确保工程项目及过程质量达到优良水平。

质量方针：精心设计、精细施工、技术先进、服务周到、顾客满意。

质量目标：工程咨询，工程设计文件符合规定的质量标准，达到现行规范和规定要求，满足合同的约定，验收合格率确保 100%。

### 5.4.2 项目质量控制

工程设计质量直接关系到工程项目的设备材料采购、施工安装和试车，同时对投产后的连续稳定运行、安全生产都有十分重要的影响。

此次设计管理和控制将满足 ISO9001: 2000 质量保证体系的要求，全部设计工作将按设计策划、设计接口、设计输出、设计评审、设计验证、设计确认，设计更改程序进行控制，并建立详尽的设计质量记录，确保设计文件的有效性和完整性。具体质量控制过程按以下几个措施实施：

(1) 设计阶段质量控制节点。在设计阶段按以下四个步骤实施：①设计方案认可后，方案的技术细节需进一步落实，得到公司主管部门以及车间确认；②在方案设计、初步设计和施工图设计阶段都要与公司主管部分和热轧分厂进行设计联络，对设计数据、平面布置、材料设备选型等进行确认；③设备制造图及施工图完成后经输出图纸的需通过三级审核合格后，才能出蓝图，进行加工制作；④对施工和操作维护人员进行充分技术交底。

(2) 采购质量控制。项目的设备材料采购将执行公司的采购控制程序、顾客提供产品审查控制程序、不合格品控制程序、纠正和预防措施控制程序。采购质量的主要控制节点：①提出全面、准确的采购文件和技术条件；②设备制造质量控制节点；③对供货商进行资质和业绩审核；④采购合同的鉴定与审查；⑤材料、设备的质检记录和证明；⑥装运前检查；⑦现场开箱检查；⑧采购重点质量控制对象是：蓄热烧嘴、三通换向阀、风机、电机、气动阀、流量孔板、电气控制元器件。

(3) 设备制造质量控制。购买的钢材、耐火材料等必须有合格证，材质检验报告；制造人员必须按图制造，若有材料替换，必须得到设计人员和用户许可；对设备制造的每道工序须有自检报告和记录；制造过程及出厂前，对制造产品进行检验；出厂前检验及包装、运输应符合技术要求。设备制造质量控制节点：①蓄热烧嘴本体和烧嘴砖要逐个检验，应符合设计要求和精度；②三通换向阀逐个

检查和调试，每套换向阀均正常工作；③蓄热箱体的平直度、垂直度，上下节之间的结合平度；④蓄热烧嘴上、下箱体加工，保证平面平整度；⑤引风机叶轮的成型、焊接应力消除以及动平衡试验；⑥设备的焊接质量，焊缝高度、砂眼、焊渣等；⑦油漆前的表面处理；⑧油漆的工序、厚度、质量。

(4) 关键工序制造质量控制。搞好加热炉蓄热式燃烧改造关键工序制造质量控制，将采取以下关键工序控制措施：①产品生产过程中生产难度大，质量不稳定，不合格较多的工序；②对关键特性，重要特性的质量有重大影响的工序；③用户或下道工序，反映问题多的工序；④加工周期长，原材料昂贵，出废品经济损失较大的工序；⑤工序间实行首件三检制度，即自检、互检、专检；⑥关键工序定人员、定设备、定操作工艺和检验方法；⑦关键部位在制作过程中未经质检部门检验同意不得进入下道工序；⑧特殊工序的检验必须制订执行专用技术文件和质量控制文件。控制顺序为进货检验控制、工序间检验控制和最终检验控制，检验原始记录按规定存档。

(5) 运输包装质量控制。要求包装适合长途联运多次搬运、装卸的坚固包装，不能造成运输过程中箱件破损、设备和零件散失。并根据需要分别加上防潮、防霉、防锈、防腐蚀的保护措施。产品包装前，应经过仔细检查清理，不留异物，并保证零部件齐全。对于包装箱内和捆扎内的各散装部件，标记清楚它们在装配图中的部件号、零件号。在每件包装箱的两个侧面上，用不褪色的油漆明显易见的中文字样印刷以下标记：目的站；收货单位名称、电话；设备名称、机组号、图号；箱号/件号；毛重/（公斤）；体积（长×宽×高）。对于重量为 1 吨或 1 吨以上货物，在包装箱的侧面以运输常用的标记和图案标明重量及挂绳位置，以便于装卸搬运。根据需要，将在包装箱上明显地印刷“轻放”、“勿倒置”和“防雨”等字样。对于裸装货物，将用金属标签或直接在设备本身上注明有关内容。每件包装箱内都将附有详细装箱单，注明分件名称、数量、机组号。外购件箱内都将附产品出厂质量合格证明书、技术说明书等。技术协议书中列明的备品备件将按每套设备分别包装，并在包装箱上加以注明。各种设备及松散零星的部件采用良好的包装，装入完善的箱件内。以格栅或箱子类容器包装的设备及零部件，应当不至于被偷窃，或被其它物品及雨水造成损坏。防止用同一箱号标明任何两个箱件。设备、材料、构件等均以汽车运输。货物长×宽×高尺寸符合长途运输要求。

(6) 产品制造、安装、验收标准及规范。项目的实施严格按照国家或行业标准规范执行。

(7) 施工安装质量控制。施工质量是影响工程建设项目质量的主要原因之一。因此, 施工质量控制是保证项目质量的重要手段和环节。本项目的施工质量控制, 采取将施工各过程分解、设备控制节点并检查确认的方法。同时根据各控制节点对工程项目质量的性质、安全、寿命、可靠性等的影响程度, 分类 A, B, C 三级进行控制。其中 A 级为最重要的质量控制节点, 须由项目承包商、施工人员和业主或监理代表共同确认。安装过程质量控制节点措施如下: ①选择有甲级资质的建设单位; ②对安装人员进行充分技术交底和培训; ③落实切实可行的施工组织设计; ④周密的安全措施; ⑤焊接质量的控制(管道坡口打磨、漏焊、虚焊、砂眼、毛刺); ⑥管道的气密性和强度试验; ⑦空气、煤气、烟气、氮气和压缩空气管路清扫; ⑧控制系统调试; ⑨单机设备调试; ⑩安装竣工验收报告。

(8) 工业卫生和安全。项目实施采取的工业卫生和安全措施如下: ①炉子的砌体采取复合结构, 降低炉体外表面温度; ②当煤气总管压力低于规定值或风机停电时, 行声光报警并自动切断煤气; ③炉温、炉区 CO 浓度过高、烟气温度过高、冷却水总管压力过低、冷却水回水温度过高等均设有声光报警系统, 同时实施紧急处理; ④炉底、烟道基础设有积水坑, 可自动排水以保证生产; ⑤液压站设灭火装置, 并含烟雾自动声光报警装置; ⑥阀门及烧嘴等需操作的设备前设平台, 平台均设有防护栏杆; ⑦在每座加热炉设有完善的工业闭路监视电视系统, 并在操作台上设有监视屏幕, 可使操作人员远离高温操作区, 从而改善了劳动条件; ⑧设计充分贯彻“安全第一, 预防为主”的指导方针, 遵循国家有关的标准、规程、规范; ⑨蓄热燃烧系统的引风机在进、出口管道上加装柔性减振器, 减少机械振动噪音, 保证新上设备噪声达标, 改善工人操作环境; ⑩项目实施后, 将使加热炉烟气排放量减少 10%,  $\text{NO}_x$  的排放由 100ppmm 降低到 47PPm, 满足《工业企业污染物排放标准》的要求。

5.5 施工安全保障体系

5.5.1 施工安全组织结构

施工安全组织结构如图 5.3 所示。

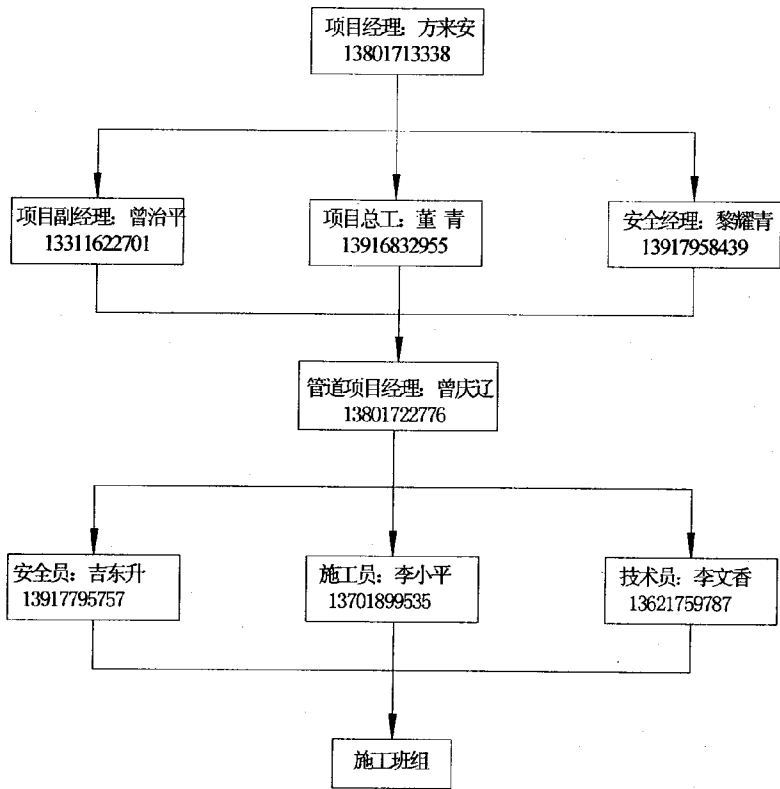


图 5.3 施工安全组织结构图

Figure. 5.3 Safe construction human resources organization structure drawing

5.5.2 安全和文明施工措施

项目实施期间主要采取以下安全和文明施工措施：

- (1) 各施工单位必须成立现场安全管理小组，确定专职或兼职安全员。
- (2) 开工前，由首钢国际工程技术有限统一在首钢迁钢热轧分厂安全科办理安全协议，文明施工，防止施工道路扬尘污染，签订责任书，否则不允许开工。
- (3) 首钢迁钢热轧分厂、北京首钢国际工程技术有限公司以及下属各分包单位在施工期间必须坚持每天现场协调会上讲安全，通报不安全因素，并要求整改。
- (4) 各施工单位专职安全员定期现场检查，电、火等要害部位发现隐患及时处理。

(5) 各施工单位在需动火施工前，必须办理动火安全协议，否则不允许施工。

(6) 对施工现场要设置安全标志牌、警示牌。

(7) 凡上岗人员一律穿戴好劳保用品（工作服、工作鞋、安全帽等）。

(8) 施工人员可拒绝施工员发屋的违反操作规程的命令。

(9) 各施工单位在开工前必须制定安全措施，并对班组进行交底，做到人人心中有安全意识。

(10) 塔吊、汽车吊以及井架下禁止站人，并设置标志牌。

(11) 脚手架外架设置安全标志。

(12) 房屋施工时，三层以上必须设置安全网，不得留有空档；设置安全出入口。

(13) 在厂房顶上施工期间，严禁往车间内扔施工边角料，以免影响生产。

(14) 所有用电单位必须严格进行用电安全教育，施工电缆要每天班前检查，防止漏电。

(15) 对吊具、吊索，施工前要认真检查。

(16) 高空安装或施工时，严禁从高空往下投掷备件、杂物、焊条等，以免伤人。操作者高空作业时必须系安全带。

(17) 各施工单位进入现场后对本单位临时仓库、设施要严格进行管理，做好防火防盗工作。

(18) 各施工单位要在各施工电解焊机和动火（氧气切割）前必须在首钢国际工程技术有限公司处申报，由首钢国际工程技术有限公司统一在首钢迁钢安全部门办理动火手续，否则不允许施工，严禁工地使用明火。

(19) 各施工单位在进场前必须将进场的各种机具、周转材料、电料等建立统一明细清单并交付首钢国际工程技术有限公司后，由首钢国际工程技术有限公司统一在首钢迁钢设备科、保卫科登记备案，以便退场时办理物品出门手续。

5.6 施工用主要机具及材料

(1) 施工器材和临时设施材料（见表 5.3）

表5.3 施工器材和临时设施材料表  
Table 5.3 construction equipment and temporary material table

| 序号 | 名 称        | 规格或型号                | 单位 | 数量  | 备注   |
|----|------------|----------------------|----|-----|------|
| 1  | 安全用钢丝绳     | φ9.3                 | 米  | 300 |      |
| 2  | 氧气瓶        |                      | 只  | 40  |      |
| 3  | 乙炔瓶        |                      | 只  | 40  |      |
| 4  | 麻绳         | 12mm                 | 公斤 | 70  |      |
| 5  | 灭火器        | 泡沫                   | 只  | 8   |      |
| 6  | 灭火器        | 干式                   | 只  | 8   |      |
| 7  | 安全碘钨灯      | 36v/220v             | 套  | 5   |      |
| 8  | 配电箱        | 250A                 | 台  | 3   | 通电   |
| 9  | 配电箱        | 100A                 | 台  | 2   | 通电   |
| 10 | 工具房        | 40M <sup>2</sup>     | 台  | 6   | 管件仓库 |
| 11 | 电缆         | 35mm <sup>2</sup>    | 米  | 200 | 通电   |
| 12 | 电缆         | 50mm <sup>2</sup>    | 米  | 300 | 通电   |
| 13 | 电缆         | 25mm <sup>2</sup>    | 米  | 200 | 通电   |
| 14 | 安全网        | 100m <sup>2</sup> /套 | 套  | 3   |      |
| 15 | 铁管脚手架(带扣件) | L=2000×3000×40<br>00 | 根  | 100 |      |
| 16 | 围墙隔离网      | 50*50                | 平米 | 300 | 大临   |

(2) 施工机械设备及材料选用计划表（见表 5.4）

表5.4 施工器材和临时设施材料表  
Table 5.4 construction mechanic equipment and material table

| 序号 | 名 称    | 规格或型号             | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|--------|-------------------|----|----|----|
| 1  | 电焊机    | ZXG-800           | 台  | 6  |    |
| 2  | 套丝、切割机 | Dg15~80           | 台  | 2  |    |
| 3  | 弯管机    | LWG2-10B          | 台  | 1  |    |
| 4  | 型钢切割机  |                   | 台  | 1  |    |
| 5  | 管道坡口机  |                   | 台  | 2  |    |
| 6  | 空气压缩机  | 0.9m <sup>3</sup> | 台  | 1  |    |

续上表

| 序号 | 名 称      | 规格或型号        | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|----------|--------------|----|----|----|
| 7  | 电动试压泵    | 0.1-40Mpa    | 台  | 1  |    |
| 8  | 冲击电钻     | 24           | 把  | 2  |    |
| 9  | 双侧手柄式电钻  |              | 台  | 1  |    |
| 10 | 电动角向磨光机  | 100x16m/m(A) | 台  | 8  |    |
| 11 | 手持式直向砂轮机 | 100×20×20(A) | 台  | 8  |    |
| 12 | 对讲机      | 5Km          |    | 6  |    |

(3)施工机械设备现场管理措施：①每台电焊机挂牌落实专职焊工管理；②多功能弯管机、套丝机和带式锯床有专人操作和维护；③电动试压泵和空压机等设备由设备员管理。

## 第6章 结论与展望

### 6.1 结论

实施技术改造政策是党中央、国务院一项重大决策，是积极应对当前国际金融危机，促进我国工业经济持续健康发展的重要举措。开展技术改造对于提升企业的市场竞争力具有十分更现实的意义。国家对工业企业污染排放量和排放浓度的标准越来越高，钢铁企业今后新建和改造加热炉，应以蓄热式燃烧技术为主，加热炉采用蓄热式燃烧技术，将是今后发展的大方向。同时，搞好企业环保工作，不但能够取得一定经济效益，同时能够取得巨大的环境效益。而技术改造投资作为企业扩大再生产、更新改造、提高产品质量和技术含量的手段已成为提高国家综合国力的一种方式。在投资前期对项目进行科学的可行性研究是国家从宏观角度加强投资效益管理的重要手段，也是向投资者、决策者提供科学决策的依据。

(1) 本文针对技术改造项目的特点，对其可行性分析的方法进行了探讨。认为：技术改造项目与一般的投资项目一样，需要进行市场分析、技术分析和经济分析，不同是技改项目还需要使用总量法和增量法来进行财务分析。总量法就是对“进行技改”和“不进行技改”这两个互斥方案的绝对效果(如 NPV)从总量上进行比较；增量法就是对技改项目所产生的增量效果(如增量净现值和增量内部收益率)进行评价。

(2) 通过具体迁钢热轧分厂加热炉蓄热燃烧改造具体实例，对企业的技术改造项目如何进行可行性研究进行了说明。综合项目可行性研究、项目管理、项目评估、财务管理等学科的理论，从技术、经济、财务、风险等方面对其可行性进行了分析论证。

本文追求技术改造项目可行性研究工作理论和实践的有效结合，期望通过技改项目可行性研究的理论研究与实例分析，对实际工作有一定的指导作用。

### 6.2 展望

由于技术改造项目可行性研究设计的范围较宽，而大部分与可研相关的书里基

本不将其单独列出进行讨论，故文章对有些部分没有进行深入讨论，如项目的国民经济评价方法等。这些在以后工作中继续学习、思考。

## 参考文献

1. 罗锋. 我国钢铁行业发展现状、问题及对策[J]. 经济论坛, 2008, 65 (5): 62-63
2. 国家发改委组织. 节能中长期专项规划—工业企业节能和合理用能技术研究 [J], 2008, 13 (2): 3-9
3. 付强, 沈川, 蒋峰. 有效的项目管理[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2003
4. 刘玉珂. 项目可行性研究方法与应用 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1997
5. 王维才, 戴淑芬, 肖玉新编著, 投资项目可行性分析与项目管理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001
6. 汪晓春. 企业创新投资决策的资本结构条件 [J]. 中国工业经济, 2008 (10): 23-25
7. 史本山编, 投资经济分析 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1997
8. 吕以清. 蓄热式燃烧技术在轧钢加热炉应用的合理性和适用性 [C]. 蓄热式高温空气燃烧技术论文集, 2008, 2 (1): 163-171
9. 吕以清, 孙炜, 候卫军. 大型高效板坯蓄热式加热炉新技术研究和设计 [C]. 蓄热式高温空气燃烧技术论文集, 2008, 2 (2): 172-176
10. 孙艳萍. 蓄热式燃烧技术的工业应用 [C]. 蓄热式高温空气燃烧技术论文集, 2008, 3 (2): 280-283
11. 秦建超, 陈玉龙. 蓄热式烧嘴在宝钢 2050 热轧 2 号加热炉的应用 [C]. 蓄热式高温空气燃烧技术论文集, 2009, 1 (1): 301-309
12. 秦卫国, 对国有企业技术改造的认识和实践 [J]. 技术经济, 2009 (1): 43-45
13. 冯文斌. 涟钢 2250mm 热轧步进梁式加热炉技术选择探讨 [C]. 全国能源与热工学术年会报告. 2008, 14 (5): 19-21
14. 王洁. 蓄热式燃烧技术在梅钢加热炉的应用 [J]. 工业炉. 2008 (3): 30-34

15. 王鲁. 蓄热式燃烧技术在宝钢的应用与实践 [J]. 冶金能源, 2009 (2) :13-15
16. 王立国, 王红岩, 宋维佳. 工程项目可行性研究 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002
17. 林琳. 项目评价中净现值率法的优缺点 [J]. 技术经济与管理研究, 2008 (2): 24-27
18. 《中国钢铁工业环保工作指南》编辑委员会. 中国钢铁工业环保工作指南 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009
19. 马国丰, 屠梅曾. 制约因素在项目进度管理的应用 [J]. 管理工程学, 2002 (4): 44-46
20. 白思俊主编. 项目论证 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1998
21. 国家计委投资司、建设部标准定额研究所、可行性研究与项目评价学会编, 建设项目经济评价方法与参数参考资料 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1993:
22. 刘国靖, 邓韬. 21 世纪新项目管理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
23. 国家经贸委技术改造司编. 企业技术改造工作手册 [M]. 北京: 经济管理出版社, 1997
24. 国家计委、建设部编. 建设项目经济评价方法与参数 (第二版) [M]. 北京: 中国计划出版社, 1995
25. 国家科学技术委员会, 国务院技术经济研究中心编. 工业建设项目可行性研究经济评价方法—企业经济评价 [M]. 沈阳: 东北财经大学出版社, 1985
26. 赖宇阳编. 中文 Project 2000 管理大型项目 [M]. 北京: 希望电子出版社, 2001
27. 黄生权. 项目评价指标—净现值的扩展 [J]. 技术经济与管理研究, 2007 (6): 73-76
28. 投资项目可行性研究指南编写组. 投资项目可行性研究指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002
29. 国家经贸委编, 投融资项目评估与项目管理高级研讨会资料 [D]. 2006, 22

- (7) :120-123
30. 王秉铨. 工业炉设计手册 [M]. 北京:机械工业出版社, 1996
  31. 叶远胜, 聂名华著. 技术改造经济学[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2006.
  32. 单磊, 杨朝军. 再投资收益率与价值评估 [J]. 技术经济与管理研究, 2002(5):55-57
  33. 王巾英, 王朝纲主编, 中国建设项目评价 [M]. 北京: 中国计划出版社, 1998
  34. 白思俊. 项目管理案例教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
  35. 刘廷彦. 工程建设进度控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
  36. TSUJI H, GUPTA A K, HASEGAWA, et al. High temperature air combustion ; from energy conservation to pollution reduction [M]. New York: CRC Press, 2003
  37. BAUKAI C E, Jr, gershtein Y Y, Li Xian-ming. Computational fluid dynamics in industrial combustion [M], New York: CRC Press, 2001
  38. BLASIAK W, YANG W H, RAFIDI N. Physical properties of LPG flame with high-temperature air on regenerative burner [J], Combustion and flame, 2004, 16(4), 67-69
  39. YANG W, BLASIAK W. Chemical flame length and volume in LPG combustion using high-temperature and low oxygen concentration oxidizer [J], Energy and Fuels, 2004, 8:1329-1335
  40. YANG W, BLASIAK W. Combustion performance and numerical simulation of high temperature air-LPG flame on regenerative burner [J], Scandinavian Journal of Metallurgy, 2004, 33(2):113-120
  41. LILLE S, BLASIAK W, JEWARTOWSKI M. Experimental study of fuel jet combustion in high temperature and low oxygen content exhaust gases [J], Energy, 2005, 30:2-4
  42. NISHIMURA M, SUZUKI T, NAKANSIHI R, et al, Low-NO<sub>x</sub> combustion under high preheated air temperature condition in an industrial furnace [J], Energy Conversion and Management, 2007, 38(10):1353-1363

43. YANG W,BLASIAK W . Numerical study of fuel temperature influence on single gas jet combustion in highly preheated and oxygen deficient air[J].Energy,2008,30(2/4):385-398
44. Aaron J. Shenhar, Optimizing Project Successby Matching PM style with Project Type[J]. 2008(3): 54-65
45. Peta-Ann King. Project management acrossboundarie[J]. 2009(4): 35-42
46. Selcuk Karabat. Sixth International Workshop On Project Management and Scheduling [J]. European Journal of Operational Researchl,2008,13(4): 67-72

## 致 谢

本文是在导师卢纪华教授的悉心指导下完成的，在整个论文的研究过程中，从论文的选题、理论的研究、资料的处理和观点的形成都得益于导师的学术思想，使得我能够顺利的完成论文。谢谢卢老师的悉心指导和谆谆教导，感谢您辛勤、无私的付出！

感谢东北大学的老师，给予我在项目管理理论上学习的机会，谢谢你们！

在文章写作过程中还参考和借鉴了众多学者的研究成果，在此深表谢意！

最后，真诚感谢各位评审老师在百忙中抽出时间审阅，谢谢你们！

图数：8； 表数：21； 总页数：68； 参考文献：46