

# 冶金热能工程导论

陆钟武 编著

东北工学院出版社

TF01  
36  
3

# 冶金热能工程导论

陆钟武 编著

东北工学院出版社

1990年·沈阳

E 111.008

## 内 容 简 介

本书系作者多年来部分研究成果之精华的汇编，多数为已发表过的论文，按内容以适当顺序重新编排后，读者可以清晰地看到冶金热能工程学科的发展情况及现状。本书叙述的内容广博、涉及的专业面宽，主要论述了我国冶金热能工程学科的任务和研究对象、火焰加热工行为（单体设备的节能）、冶金企业的系统行为（企业和工序的节能）等方面的内容。作者对冶金部门的节能工作有独到的见解，在节能数学模型及计算机应用方面，亦有深入的研究，其具体内容在本书的有关论文中有详细的介绍。

本书适于从事冶金热工及节能工作的科技工作者阅读，亦可供冶金行业广大工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

## 冶 金 热 能 工 程 导 论

陆钟武 编著

---

东北工学院出版社出版发行      东北工学院印刷厂印刷  
(沈阳·南湖)      (辽新出许字 89084 号)

开本：787×1092 1/16      印张：12.25      字数：306千字  
1991年5月第1版      1991年5月第1次印刷  
印数：1~2150

---

责任编辑：刘宗玉      责任校对：杨红  
封面设计：唐敏智

---

ISBN 7-81006-277-8/TG·7      定价：6.70元(平)  
13.50元(精)

## 前 言

在国务院学位委员会和国家教育委员会 1984 年颁布的“高等学校和科研机构授予博士和硕士学位的学科、专业目录（试行草案）”中，“冶金热能工程”是一级学科“冶金学”中的一个二级学科，但在 1988 年颁布的“授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业目录（修订草案）”中，“冶金热能工程”已并入一级学科“动力工程及工程热物理”中的“热能工程”专业。

本书书名仍沿用“冶金热能工程”一词，是因为它的内容几乎只限于冶金工业的热能工程问题。此外，冶金方面的热能工程问题也确有其明显的特点。至于“导论”二字，无非是抛砖引玉的意思，何况，书中只选入了作者本人及部分合作者的部分著作。希望在本书出版之后，能接连不断地见到本专业、学科方面的一系列专著。到那时，提供给读者的材料将会更丰富。

本书选用的材料，有论文，也有书籍或讲义中的个别章节，多数是以前发表过的。在编辑过程中，仅对个别内容或文字稍做修改，并按出版社的要求将计量单位全部换成了法定计量单位；此外，个别文章的题目稍有变动。把这些材料按适当顺序编排一下，集中到一本书里，可以比较清晰地见到冶金热能工程学科的轮廓。

排在本书最前面的是几年前作者在《钢铁》上发表的论文“我国冶金热能工程学科的任务和研究对象”的全文，其中除阐明这个学科的任务、研究对象外，还就其发展和成长等问题提出几点意见。

其次，是本书的第一部分——火焰炉热工行为（单体设备的节能）。这一部分共选用 9 份材料，都是关于火焰炉的，侧重点是火焰炉热工行为。从冶金热能工程学科的研究对象来说，这一部分属于“单体设备”问题。

最后，是本书的第二部分——冶金企业的系统行为（企业和工序的节能）。这一部分共选用 12 份材料，其中有些是以整个企业作为研究对象的，有些是以企业的某一部分或某一工序作为研究对象的。

本书涉及的专业面较宽，作者水平有限，疏漏不妥之处在所难免，尚请广大读者不吝指正。

在本书成稿过程中，蔡九菊同志曾大力协助，分担了许多繁杂细致的工作，为此，作者向他表示衷心感谢。

陆 钟 武

1990 年 2 月于沈阳

# 目 录

前言

我国冶金热能工程学科的任务和研究对象····· (1)

## 第 一 部 分

### 火焰炉热工行为 (单体设备的节能)

冶金炉·····	(7)
火焰炉·····	(12)
火焰炉热工行为的研究·····	(14)
物体的辐射差额热流·····	(24)
火焰炉热工实验研究 (之一)·····	(27)
火焰炉热工实验研究 (之二)·····	(36)
加热炉改造的节能经验·····	(49)
多点供热连续式火焰炉热工行为的研究·····	(55)
换热器的热工行为·····	(66)

## 第 二 部 分

### 冶金企业的系统行为 (企业和工序的节能)

冶金工业的节能方针——全行业、全工序、全过程节能降耗·····	(75)
能耗的基本概念·····	(80)
节能方向和途径·····	(90)
工艺流程的能耗评价·····	(99)
企业的能源数据·····	(108)
炼铁系统的节能·····	(115)
炼钢系统的节能·····	(123)
轧钢系统的节能·····	(135)
轧钢工序能耗分析·····	(143)
钢坯加热温度与轧钢工序能耗·····	(149)
冶金企业能源模型总体结构·····	(153)
钢铁企业系统节能决策模型及其微机应用软件·····	(165)

# 我国冶金热能工程学科的任务和研究对象\*

我国冶金热能工程学科，是在冶金工业近几年来提倡节约能源的过程中，在冶金炉学科的基础上，逐步形成的。几年来，许多单位在此学科领域内开展了不少工作，而且取得了一定成绩。但是，迄今为止，对于这个学科的全貌还缺乏认真的讨论，它的轮廓还没有清楚地勾画出来。这种情况对于这个学科的发展是不利的，对于冶金工业的发展也是不利的。因此，尽快地明确这个学科的任务和研究对象等主要问题，不仅是学科发展的需要，而且也是我国四化建设的需要。本文准备就这些问题提出一些初步看法，供读者参考。

大约 20 年前，围绕冶金炉学科的性质和任务问题，曾经展开过较深入的讨论，并在讨论的基础上加深和统一了对学科的认识<sup>[1]</sup>。今天，如能围绕冶金热能工程学科进行必要的讨论，那么，也一定能加深对这个学科的认识，并取得一致的意见。

## 1. 冶金热能工程学科的任务

冶金热能工程学科的主要任务是全面地研究冶金工业的能源利用理论和技术，为冶金工业的节能工作服务。现阶段它要为实现我国冶金工业规划中所规定的节能任务服务。将来，随着科学技术的发展，要使冶金工业的能源利用达到更高的水平。

以前，我国冶金工业不注重考核能耗指标，能源的浪费极大。近年来，这种情况逐步好转，能耗逐步降低。然而，我国冶金工业的能耗指标，与国外相比，仍有较大差距。这种状况必须尽快扭转，否则对我国的四化建设极为不利。冶金热能工程学科必须为扭转这种状况，赶上世界先进水平做出贡献。

此外，还应说明，除能耗指标外，有些技术经济指标（如产品的产量、质量、品种、污染物的排放量、企业的利润）也与本学科密切相关，因为这些指标往往在一定程度上取决于能源利用和热工工作的合理程度。所以，从能源利用和热工的角度去改善冶金工业的这些指标，也是本学科的任务。

## 2. 冶金热能工程学科的研究对象

学科的研究对象必须体现学科的基本任务。那么，怎样规定冶金热能工程学科的研究对象，才能充分体现该学科的上述基本任务呢？通过几年来的实践和参阅国内外文献，初步认为关于这个学科的研究对象问题可做如下讨论。

\* 引自《钢铁》，1985(2)，60~64（陆钟武）

为了研究冶金工业的节能问题，无疑地必须研究炉窑、工业锅炉、热交换装置、燃料转换装置和能量转换装置等各种耗能设备的节能理论和技术。这是冶金热能工程学科的重要研究内容之一。事实上，这些年来在这方面进行的工作对于冶金工厂的节能起了积极的作用。

但是，为了节能，只研究单体的耗能设备是不够的。大家都知道，从矿石到金属产品，要经过多道生产工序，每道工序又包括多台设备。各道工序之间，各台设备之间，都在物料、能源等方面彼此联系、彼此制约。这样构成了冶金生产的全过程。所以，为了研究节能问题，不仅要研究单体设备，而且还要研究由若干台单体设备组成的生产车间或厂（生产工序），以及由若干个生产车间或厂组成的联合企业（全流程）等。联合企业、生产车间（厂）和单体设备，是相互联系三个不同层次。比联合企业更高的层次是整个冶金工业，而比单体设备更低的层次是设备部件。

因此，冶金热能工程学科的主要研究对象是图 1-1 中五个不同层次的节能理论和技术，以及它们之间的相互关系。

文献〔2〕概略地说明了研究冶金节能问题所需的载能体概念。不仅能源是载能体，而且许多非能源物资（如原材料、辅助原材料、中间产品、零部件和各种消耗品等）也都是载能体，因为它们在制取的过程中都消耗了能量。单位重量（体积）物体的载能量，叫做该物体的能值。为了节能，不仅要节约能源，而且要节约非能源物资。在研究冶金厂节能问题时，要在了解生产情况的基础上，分析与能耗有关的各生产因素，寻求节能途径和措施，并估计它们的节能效果。

研究冶金厂节能问题，还要树立“系统”的概念，熟悉系统工程的基本原理和方法〔3〕。冶金企业是由若干生产车间（或厂）组成的系统。它的功能是以矿石为主要原料，生产合格的金属材料。在生产中要尽可能节约原材料和能源，减少污染，提高经济效益。各生产车间（或厂）都要服从于这个总目标，不能另立目标。

为了深入地研究冶金企业的节能问题，要在收集数据的基础上分别建立企业的能源和非能源物资的平衡表，掌握各耗能设备的工作性能。用累加法〔4〕、投入产出法〔5〕或其它方法计算产品能值。对各种节能措施做出评价，或对某些生产问题进行优化处理。

生产同一种产品，往往有几种不同的工艺流程。对它们进行全面的能耗比较，是件重要的工作〔6〕。这类研究工作，就其层次而言，通常属于“冶金企业”这一层。

在节能工作中，不仅要从能的数量上考虑问题，而且要考虑能的质量，所以焓的概念很重要〔7〕。有些研究工作就是以此为基础的。

生产车间（厂）是联合企业这个系统中的子系统。研究某个生产车间（厂），实际上就是研究全流程中的某个生产工序。这个层次上的节能问题，通常也叫做“工序节能”。工序的划分，决定于研究者的意图和着眼点。可以把一台加热炉加上一台轧机作为一个工序，也可以把从钢锭起一直到成材为止看做是一个工序。同样，可以把炼铁看成是一个工序，也可以把焦化、烧结、炼铁合在一起看成是一个工序。但要注意，由于工序划分不同，得出的结论可能也不同。

70 年代中期，格林果夫等提出〔8〕，研究炉子要与其前后设备联系起来考虑，以求得

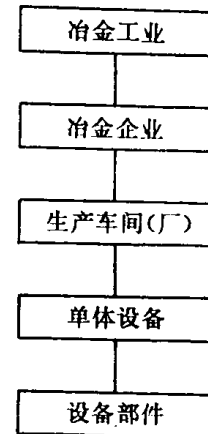
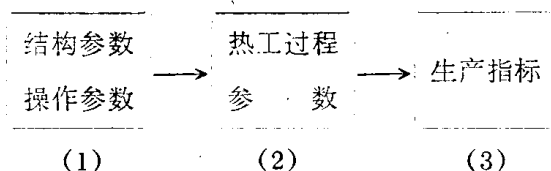


图 1-1 冶金热能系统

综合的最佳效果。这种理论被称为炉子的泛函理论。它比原来的炉子一般原理更广泛了，对于工序节能问题的研究有一定参考价值。

在各生产工序的范围内，有一些需要优化的问题，例如炼铁工序中的焦炭灰分问题、高炉入炉矿品位问题等。可惜这方面的研究工作在文献中还很少见到。

单体耗能设备的研究工作，以往进行得较多。一般而言，研究单体设备主要是在考虑生产工艺要求的前提下研究下式中(1)、(2)、(3)三类变量以及它们之间的相互关系：



炉子的结构和热工操作直接影响炉内的热工过程，通过热工过程间接地影响炉子的生产指标。人们的目的是改进生产指标，但人们所能直接规定或操纵的，既不是热工过程，更不是生产指标，而是结构和操作。所以，尤其重要的是弄清(1)、(3)两类变量之间的关系。

炉子的结构和操作之间要互相适应；各热工过程之间要互相配合；各生产指标之间又相互关联。所以，在研究工作中要重视同一类变量之间的相互关系。

为了从理论上研究炉窑，要对以上三类变量进行综合的研究。由于问题的复杂性以及缺乏必要的已知数据，一般是在某些简化条件下进行研究的。从理论上研究火焰炉，现在有三种方法<sup>[9]</sup>：

- ① 以简化的炉子模型为对象进行分析研究；
- ② 用区域法（又称为段法）进行分析研究；
- ③ 用流法进行分析研究。

用第一种方法导出的公式，能清楚地说明炉子若干变量之间的关系，但因炉子模型过于简化，所以不能用于实际炉子的计算。后两种方法，计算结果中包括温度场、热流场，但工作量较大，而且必须已知炉内的流动场和析热场。

采用经验法直接在(1)、(3)两类变量之间建立联系，是研究火焰炉的另一种方法<sup>[10]</sup>。用这种方法得出的具体经验式适用面容，但颇为实用。

前面已经提到，最高层次是整个冶金工业，最低层次是设备部件。这两个层次的研究内容也很多。这里限于篇幅，不再多述。

### 3. 关于冶金热能工程学科发展成长问题的几点意见

#### 3.1 要针对本学科的任务和研究对象等主要问题进行充分讨论

通过讨论，以求得全面的认识。参加讨论的人员，应包括科研、教学、生产和行政领导等方面的有关专家。在这个意义上，本文就是作者参加这个讨论的发言稿。

#### 3.2 要修订大学本科生和研究生的教学计划

现在，在冶金热能工程方面，大学本科生和研究生的专业和学科设置情况是：

- ① 在国务院学位评定委员会确定的学位授予学科一览表中，冶金热能工程学科是冶金



学科下属的一个二级学科。从 1982 年起,东北工学院、北京钢铁学院两校已开始按此学科名称授予硕士学位。有的研究院所也正在培养这个学科的硕士生。

② 原来大学本科的冶金炉专业,已于 1982 年改名为“热能工程”专业。当时,更改这个专业名称的目的是希望扩大专业的业务面,使毕业生能更好地为工业节能工作服务(不限于冶金工业)。

现在的问题是怎样才能做到名副其实,使研究生、本科生的教学内容符合专业、学科的名称和实际需要。前几年,虽然各院所在这方面做了许多工作,修订了教学计划,但是由于当时冶金热能工程学科的轮廓还没有勾画清楚,所以很难比较全面地考虑与此有关的问题,其中包括修改教学计划问题。因此,有必要在条件成熟时,再修改一次教学计划。

必须说明,学科与专业二者的口径,并不在所有的情况下都相同。但二者之间有一定联系,所以明确冶金热能工程学科的研究对象对于有关专业教学计划的修订工作会有所帮助。

### 3.3 要继续加强单体设备的研究工作

冶金热能工程学科的业务面虽然比冶金炉学科扩大了,但是研究冶金炉等单体设备仍是主要内容之一。

以往,对于炉窑等设备,注重其产量,不大注重能源消耗,更谈不上防治污染、实现操作自动化和应用电子计算机等。现在这些方面的要求提高了,而且可以肯定,将来的要求更高。

现有的炉型,基本上是在以往不注重降低能源消耗、防治污染等历史条件下形成的。所以它们并不符合当前和将来的要求。将来炉窑的热效率估计会比现在高得多,污染问题也会比现在少得多。

以往,在研究炉子问题时,往往只注重其中的热工问题,基本上不考虑其中的冶金反应过程。这种情况,对于扩大研究工作的领域和提高研究工作的水平都是不利的。今后要逐步扭转这种倾向。在这方面,若能借鉴于冶金反应工程学科近年来的研究成果,可能有所裨益。

### 3.4 要在冶金工业节能理论和技术方面做好基础性的业务建设工作

以往,关于单体设备以上各层次的节能问题,没有引起人们足够的注意,基础较薄弱,所以要做好这方面的业务建设工作。

为此,要从相邻学科中吸取有用的内容,经过加工改制,把它们移植过来。例如前面提到的投入产出法本来是经济学中的内容,把它移植过来,就很有必要。从相邻学科吸收一定数量的科技人员,改行从事本学科的工作,可能也是有效的办法。

这样的相邻学科较多,但比较主要的有:金属冶炼工艺、加工工艺、能源系统工程、能源经济等。

为了把有用的内容移植过来,必须对有关的学科有较多的了解。这是从事冶金节能理论和技术方面业务建设工作中的主要困难。

### 3.5 要逐步开展较高层次节能问题的研究工作

以往,在制订冶金节能科研计划时,几乎都是单体设备的研究课题。这显然是不全面

的。今后应逐步开展较高层次上的研究工作。这些层次上的研究课题，在数量上或许不会象单体设备和设备部件方面那么多，但是节能效果估计会较大。

这类研究工作，可深可浅，有的可以是定量的，有的可以是半定量的，甚至是定性的。文献〔2〕中提出的节能途径分析表，可以作为冶金企业节能问题分析研究的重要参考。以后，工作逐步深入后，要进行更多的定量研究，甚至要采用建立数据库之类现代化的手段。

#### 4. 结 论

冶金热能工程学科的形成，反映了我国冶金工业节能工作的需要。为了发展这个学科，必须明确其任务和研究对象等主要问题。本文提出的初步看法是：

① 冶金热能工程学科的主要任务是全面研究冶金工业的能源利用理论和技术，为冶金工业服务；在现阶段要为实现我国冶金工业的规划目标做出贡献。

② 这个学科的研究对象主要是冶金工业各层次（冶金工业、冶金企业、生产车间、单体设备、设备部件）的节能理论和技术，以及它们之间的相互关系。

③ 在这个学科的发展过程中要注意专门人才的培养，要进一步加强单体设备的研究工作，要从相邻学科吸取“营养”，要逐步开展较高层次的研究工作。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 东北工学院冶金炉教研室,关于我国冶金炉学科的任务和今后发展问题的意见,第二次全国工业炉热工讨论会资料, 1956
- 〔2〕 陆钟武, 周大刚. 钢铁. 1981(10):63~66
- 〔3〕 寺野寿郎. 系统工程学. 张能力译. 机械工业出版社. 1980
- 〔4〕 Kellogg H H. Journal of Metals. 1974(6):25~29
- 〔5〕 李秉全. 技术经济. 1982(2):16~30
- 〔6〕 A Technological Study on Energy in the Steel Industry. IISI, Committee on Technology. 1976
- 〔7〕 Szarcut J. Exergy. 1980, 709~718
- 〔8〕 Бутковский А Г, Глинков М А, *et al.* Изв. Вуз. Чер. Мет. 1974(5); 163~165
- 〔9〕 Beer J M. J. Inst. of Fuel. 1972(7):370~380
- 〔10〕 陆钟武, 杨宗山. 东北工学院学报. 1980(1):92~107

# 冶 金 炉\*

冶金炉是指冶金生产过程中对各种物料或工件进行热工处理的工业炉。热工处理是以物料或工件的升温为重要特征的处理过程,例如焙烧、熔炼、加热、热处理、干燥等。钢铁冶金和有色冶金的大部分生产环节都离不开炉子。历史上,许多生产环节的革新,产品的产量和质量的提高,都同旧冶金炉的改革和新冶金炉的应用紧密相关。冶金工业的能源消耗,在很大程度上取决于各种冶金炉的能耗。

## 1. 冶金炉简史

堆火是炉子的前身,用于烧制食物或取暖,也用于烧制陶器。后来,用掘地生火或堆石砌灶方法,筑成最原始的炉子。更后,出现了坑式炉(原始的竖炉)和坩埚炉。皮囊鼓风方法的出现,扩大了炉子尺寸,并提高了炉温,为青铜的冶炼和铸造创造了条件。中国商代的坑式炉直径已达1m,可冶炼大型青铜器。中国在战国初期,已开始用竖炉冶炼生铁,铸造工具。东汉时,开始使用“水排”,即水力驱动的风囊。北宋使用悬扇式鼓风机,明代使用活塞式木风箱,其风量、风压均显著提高,有力地强化了冶炼过程。燃料方面,最初用木材或木炭,公元10世纪以后,中国冶铁业已应用煤炭(比欧洲早数百年)。明代,掌握了炼焦技术,冶铁炉改用焦炭做燃料,进一步提高了产量。

18世纪以来,西方国家随着航海业、机械工业、贸易的发展,冶金业的发展十分迅速,改进了各种熔炼炉、加热炉和热处理炉,出现了多种多样的炉型。20世纪以来,冶金炉朝着大容量、高产量和高热效率的方向发展。以轧钢连续加热炉为例,先是把室状炉延长一段,以便利用废气余热,继而把炉子改进成两段式。后来,由于轧机能力不断增大,加热炉朝着大容量、高产量的方向发展。30年代出现了三段式炉,炉子产量最高达每小时150t,单位炉底面积产量为 $500\sim 600\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。50年代末,开始采用五段式炉,在提高炉尾烟气温度(达 $1000\sim 1200^\circ\text{C}$ )的同时,采用高温换热设备回收余热,炉子产量提高到每小时 $150\sim 250\text{t}$ ,单位炉底面积产量达 $800\sim 1000\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。70年代中期,主要工业国出现石油危机以来,降低燃料消耗已成为炉子设计的中心问题。延长不供热的预热段的长度和降低烟气排出温度,是这个时期加热炉炉型和热工工艺改变的主要趋势。

## 2. 冶金炉种类

现代冶金工业用炉,按热源不同,可分为燃料炉、电炉、自热炉三大类。此外,以新能源(如太阳能、原子能)为热源的冶金炉正处于研制阶段。

\* 引自《中国大百科全书》矿冶卷,1984,741~744(陆钟武、倪学梓)

## 2.1 燃料炉

以燃料的燃烧热为热源，冶金工业中使用最为广泛。由于炉内的热工特征不同，燃料炉又可分为火焰炉、竖炉、流态化炉和浴炉等四类：

① 火焰炉 特征是火焰或燃烧产物占据炉膛的一部分空间，物料或工件占据另一部分空间。一般情况下，火焰与物料直接接触；但在有些情况下，例如为防止工件的氧化，将火焰与工件隔开，火焰的热量通过隔墙传给物料。

② 竖炉 特征是炉身直立，大部分空间堆满块状物料，炉气通过料层的孔隙向上流动，与炉料间呈逆流换热。

③ 流态化炉 特征是炉内为细颗粒物料的流态化床，气体由下部通入，使物料“沸腾”成流态化。

④ 浴炉 特征是炉内盛液体介质（熔盐类或熔融金属）。将工件浸入此介质中进行加热，主要用于热处理。浴炉热源可用燃料，也可用电。

## 2.2 电 炉

特征是以电为热源。由于电热转换方法不同，又分为电阻炉、感应炉、电弧炉三种。

## 2.3 自热炉

特征是靠炉料自身产生的热量维持炉子的正常工作，除炉料的预热或预熔化外，炉内不需要或基本上不需要外加热量。例如：炼钢转炉，铜、镍吹炼转炉和铝热法冶炼炉。硫化矿的焙烧炉也往往是自热炉。

冶金炉还有间歇式炉和连续式炉的区别。间歇式炉的特征是分批装料、出料，炉子温度在生产过程中呈周期性变化。连续式炉特征是物料或工件连续穿炉运行，按工艺要求控制炉内各部分的温度，并保持稳定。连续式炉在产量、质量、燃料消耗、机械化、自动化等方面都比间歇式炉优越。此外还有按装料和出料方法、装料和出料机械、炉体形状、附属设备如空气预热器的名称、温度高低等称呼炉子的。冶金工业各主要生产环节常用炉子的名称和简单说明在表 2-1 中给出。

表 2-1 冶 金 工 业 主 要 用 炉

生产车间	生产环节	炉子名称	说 明
选 矿	铁矿石磁化焙烧	焙 烧 竖 炉	竖炉，长方形截面，用煤气做燃料
炼 铁	球团矿焙烧	焙 烧 竖 炉	竖炉，长方形截面，用煤气做燃料
	生铁冶炼	高 炉	竖炉，圆形截面，以焦炭为燃料，用热风
	铁矿石直接还原	回 转 窑	连续式火焰炉，圆筒形，卧式，炉体匀速转动
	铁矿石直接还原	还 原 竖 炉	竖炉，向炉内通入高温还原气
炼 钢	炼 钢	平 炉	间歇式火焰炉，用蓄热室预热空气和煤气
	炼 钢	转 炉	立式，氧气顶吹或底吹，自热炉
	炼 钢	电 弧 炉	用石墨电极
	重 熔 精 炼	电 渣 炉	电弧炉，用钢锭（坯）做电极，重熔成锭

续表 2-1

生产车间	生产环节	炉子名称	说 明
铁合金冶炼	冶 炼	电 炉 铝 热 法 炉	还原(矿热、埋弧)电炉, 精炼电炉 自热炉
有色金属冶炼	精 矿 焙 烧	沸 腾 焙 烧 炉	流态化炉, 依靠硫化精矿氧化发热, 无须外加燃料
	精 矿 焙 烧	回 转 窑	连续式火焰炉, 用煤粉或重油做燃料
	精 矿 焙 烧	多 膛 焙 烧 炉	需外加燃料, 用于钨精矿等焙烧
	挥发回收金属	烟 化 炉	长方形截面, 以粉煤做燃料, 用于锌、锡、锗等有价金属的回收
	熔 炼	鼓 风 炉	竖炉, 长方形截面, 用焦炭做燃料
有色金属冶炼	熔 炼	反 射 炉	单向火焰炉, 用煤粉或重油做燃料
	熔 炼	矿 热 电 炉	埋弧电炉
	熔 炼	闪 速 炉	精矿粉、热风从反应塔顶部喷下, 反应后落入沉淀池
	熔 炼	锌 蒸 馏 炉	竖式蒸馏罐, 间接加热
有色金属冶炼	熔 炼	旋 涡 炉	精矿粉和热风沿切线方向喷入旋涡室
	铜、镍吹炼	卧 式 转 炉	自热炉
塑性加工	金属塑性加工	均 热 炉	坑式火焰炉
		连续式加热炉	连续式火焰炉, 如堆料式炉、步进炉、环形炉、分室式炉等; 连续式电阻炉, 用于有色金属的加热
热 处 理	金属热处理	室 状 热 处 理 炉	间歇式燃料炉或电阻炉, 如炉底固定式、车底式、罩式(马弗)、坑式、井式炉等
		连续式热处理炉	连续式燃料炉或连续式电阻炉, 如推料式、链式、辊底式、震底式、牵引式炉等
		浴 炉	以熔盐或熔融金属为传热介质
铸 造	生 铁 重 熔	冲 天 炉	竖炉, 圆形截面, 以焦炭为燃料
焦 化		炼 焦 炉	火焰炉, 间接加热, 以煤气为燃料
耐火材料	煨 烧 生 料	煨 烧 炉	竖炉, 圆筒形, 以焦炭为燃料
	制 品 干 燥	干 燥 炉	低温火焰炉, 或用热空气、其他炉子的废气作为干燥介质, 室状炉或连续式炉
	制 品 烧 成	烧 成 窑	火焰炉, 间歇式(倒焰窑、多室窑、轮窑)或连续式(隧道窑)

### 3. 冶金炉生产设备

一般由炉子热工工艺系统、装出料系统和热工检测控制系统等三部分组成。

#### 3.1 冶金炉的热工工艺系统

包括炉子的工作室(炉膛)、燃料的燃烧装置或电热转换装置、空气和(或)煤气的预热

器,以及风机、管道、烟道、余热锅炉和烟囱等。工作室是炉子的核心。主要的热工和工艺过程都在工作室完成。其他部分的任务是为工作室的热工工艺过程提供有利条件。

### 3.2 冶金炉装出料系统和热工检测控制系统

这是现代化冶金炉不可缺少的两个工作系统。前者包括:炉前炉后的装料、出料机械和炉内的运料机械。后者包括:热工参数的测量仪表、显示仪表或记录仪表、过程控制仪表、计算机和执行机构等。配备这两个系统,可以实现炉子的自动化操作,从而提高炉子的生产指标。

## 4. 对冶金炉的基本要求

对炉子的基本要求为:能满足产品的质量和产量要求;燃料和其他能源的消耗量低;建炉投资和运行费用低;耐用,劳动条件好,污染物的排放量符合环境保护要求。

一座好的炉子应同时满足上述要求。为了使产品质量好,应控制炉内温度和气氛,选择适宜的筑炉材料。炉子的生产能力必须与生产过程所要求的产量相适应。为了节约燃料,在炉子的设计和操作中,必须重视热量在炉膛内充分利用,并充分利用余热。为了降低建炉投资和运行费用,应提高炉子单位容积(或炉底面积)的生产能力,简化炉子结构。炉子的废气、废水、废渣中往往含有污染物质,必须采取措施,使各种污染物的排放量不超过国家或地区的规定值。

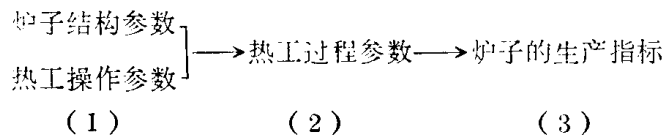
炉子大型化、连续化、机械化和自动化,是全面满足上述要求的重要途径。目前,高炉的最大容积超过  $5000\text{ m}^3$ ,氧气转炉的最大炉容量超过  $300\text{ t}$ 。有些炉子已采用计算机控制,自动化程度很高。

## 5. 冶金炉理论

格日迈洛(Г. Гржимайло)1911年提出炉子的水力学原理,把一座正在工作的炉子,看成是一条倒置的河床,提出了炉子设计方面的若干重要原则。对当时炉子的单位产量不高,炉内气体呈自然流动的情况是适用的,在生产上也发挥了作用。后来,为使炉子不断提高产量,逐步采用液体和气体燃料的燃烧装置,炉内气体变成强制流动,这一理论就不适用了。50年代初,思林(M. W. Thring)、格林科夫(М. А. Глинков)等人,较全面地研究了炉内的燃烧、气体流动、传热等热工过程。1959年,格林科夫提出炉子的一般原理。他把炉子的工作制度分为三类:辐射制度、对流制度和层状制度。在讨论每一种工作制度时,都从热交换出发,对燃料的选择、燃烧过程、气流的组织等提出相应的要求。

近年来,冶金炉热工理论发展的主要特点是:在进一步明确研究对象的前提下,对炉子设计和操作(包括过程控制)的最优化问题进行了更深入的研究;利用计算机和现代实验技术及模拟技术对炉内的燃烧、气体运动、传热等热工过程进行全面的分析和研究。

冶金炉热工的研究对象是:在考虑到冶金生产工艺要求的前提下,研究下列(1)、(2)(3)三类变量之间相互的关系:



炉子结构（几何形状、尺寸、筑炉材料的种类等）和热工操作（燃料量、空气量、闸门开启度等）的变动，会影响到炉内的热工过程（传热、燃烧、气体运动）。而热工过程的变动又会影响到炉子的生产指标（单位生产率、单位热耗、炉子使用寿命等）。人们的目的是提高生产指标，但人们所能直接规定或操纵的因素，既不是热工过程参数，也不是生产指标，而是结构和操作参数。所以重要的是，要在研究热工过程的基础上，弄清(1)、(3)两类变量之间的关系。炉子的结构和操作之间，必须互相适应；各个热工过程之间也必须互相配合。同样，各生产指标之间也互相关联。在炉子热工理论的研究工作中，要十分重视同一类变量之间的相互关系。在其他条件不变的情况下，炉子的生产率的变动将引起炉子热效率的变动。为了提高炉子热效率，炉子生产率的波动必须限制在某一合理范围内。

研究冶金炉的最优化问题，不应孤立地着眼于炉子本身，还应包括炉子前后的冶金设备，因为它们在生产流程中是互相关联的。如研究轧钢厂的加热炉，应该与轧机联系起来考虑。降低钢坯的加热温度，一方面能减少加热炉的能耗，另一方面则会增加轧机的电耗。如降低加热温度并维持在合理范围之内，可使加热炉和轧机的总能耗下降；如加热温度过低，就会使总能耗增加。所以应权衡得失，寻求最优方案。



## 火焰炉\*

以燃料燃烧的火焰为热源的各种工业用炉，统称为火焰炉。火焰炉炉膛内的火焰通常与物料直接接触，火焰直接加热物料。火焰炉内壁既辐射热量，也部分地反射投射来的热量，在热交换过程中起重要作用。有时为防止物料（工件）的氧化，将火焰与物料隔开，火焰的热量通过隔墙间接传给物料。火焰炉既用来加热物料，也可用来熔化物料。

火焰炉按工作室的形状可分为膛式火焰炉和回转炉两类。

### 膛式火焰炉

它的工作室叫做炉膛，由炉底、炉墙和炉顶组成。用作加热炉或热处理炉时，炉底的结构有多种形式，并可按炉底结构称为车底炉、推料式炉、步进炉、辊底炉、链式炉、环形炉等。熔炼用火焰炉（如平炉、炼铜反射炉）的炉底是凹下的熔池，用以存放熔融金属。熔池形状，呈长方形、圆形或椭圆形。熔池底部有液体金属的排出口。炉墙上有炉门、窥视孔、出渣口等。炉顶结构有拱顶和吊顶两种；前者用于宽度较小的炉子，后者用于较宽的炉子。

在高温火焰炉上，火焰直接进入炉膛。如以块煤为燃料，则需单独设置固体燃料的燃烧室，火焰翻过火口进入炉膛。如以粉煤、煤气或燃料油为燃料，则需用燃烧器。当煤气和（或）空气预热温度很高时，如平炉，则用耐火砖砌成炉头，与炉膛连成一体。火焰炉的炉膛废气温度较高，常用换热器或蓄热室回收废气热量。预热空气和煤气是为了提高燃烧温度和降低能耗。空气不预热时，重油炉的温度可略高于 $1500^{\circ}\text{C}$ ，粉煤炉的温度可略高于 $1450^{\circ}\text{C}$ 。如空气预热到 $1000^{\circ}\text{C}$ ，则炉内温度可达 $1700^{\circ}\text{C}$ 以上。

蓄热室是周期性的交替轮换进行工作，所以蓄热式炉必须进行换向操作，即每隔一定时间（例如半小时）必须变更一次炉内火焰的流动方向。每次换向都会使炉子温度发生波动。由于要换向，所以炉膛的火焰入口和废气出口，在结构上必须相同；换向前的火焰入口，就是换向后的废气出口。

在中温火焰炉上，进入炉内的不是正在燃烧的火焰，而是具有一定温度的燃烧产物。燃料的燃烧过程，不在炉膛中进行，而是在与炉膛隔开的燃烧室中进行。这种燃烧室，通常布置在炉底以下，有时布置在炉膛侧面或顶部（见图 3-1）。这种结构与炉气循环结合，既可使燃料完全燃烧，

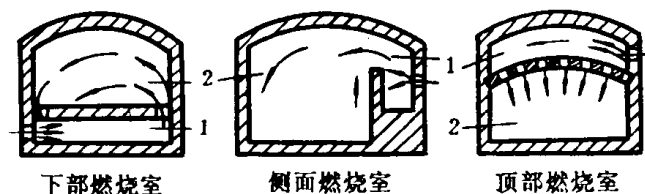


图 3-1 热处理炉的燃烧室布置

1 燃烧室； 2 加热室

又可使炉温保持均匀。在炉墙上均匀地设置若干小型无焰燃烧器，采用高速烧嘴以及用耐热

\* 引自《中国大百科全书》矿冶卷,1984,282~283 (陆钟武)