

高 等 学 校 教 学 用 书

冶金工业的能源利用

冶 金 工 业 出 版 社

高等学校教学用书

冶金工业的能源利用

东北工学院 陆钟武 编著



冶金工业出版社

高等学校教学用书
冶金工业的能源利用
东北工学院 陆钟武 编著

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街崇文门北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 5 5/8 字数 147 千字

1986年5月第一版 1986年5月第一次印刷

印数00,001~4,450册

统一书号: 15062·4419 定价0.95元

前 言

东北工学院“热能工程”专业，从1982年起开设了一门新的选修课，课程名称暂定为“冶金工业的能源利用”。本书是作者在给该专业学生讲授这门课程的过程中写成的。这门课的中心目的是想让学生把视野扩大到整个企业，甚至整个工业部门；并且在怎样节约能源的问题上建立起一些基本概念，获得一些基本知识。这门课涉及的知识面较宽，诸如冶金、热工、高等数学、企业管理等方面的知识都涉及一些。

本书后的前三个附录(回归分析法、投入产出法、线性规划)，学生可自学参考。这些定量研究问题的方法，今后在节能工作中是有用的。

本课程尚在初创阶段，内容不够成熟。作者希望广大读者提出批评意见，以便今后修改、补充。

在编写本书的过程中，池桂兴、孙立刚、王梦光、邵玉良、蔡九菊等同志曾给予协助和支持。在此表示衷心感谢。

作 者

1985年1月于沈阳

目 录

第一章 绪论	1
第一节 冶金热能工程学科的任务.....	1
第二节 冶金热能工程学科的研究对象.....	2
第三节 关于冶金热能工程学科发展成长问题的几点 意见.....	5
第四节 总结.....	6
第二章 能源	8
第一节 能源及其分类.....	8
第二节 主要能源的更替.....	9
第三节 我国能源现状.....	10
第四节 能源与四化建设.....	11
第三章 冶金能源	15
第一节 冶金能源及其构成.....	15
第二节 冶金能耗指标.....	16
第三节 能耗水平.....	19
第四章 基本概念	21
第一节 产品能耗.....	21
第二节 载能体.....	24
第三节 产品能值的计算.....	28
第五章 节能方向和途径	35
第一节 节能方向.....	35
第二节 节能的途径与措施.....	38
第三节 节能工作中的优化问题.....	42
第六章 工艺流程的能耗评价	50
第一节 前言.....	50

第二节	评价的标准	50
第三节	举例	51
第七章	企业的能源数据	62
第一节	企业的能源平衡	62
第二节	企业的物料平衡	68
第三节	设备性能	70
第八章	炼铁系统的节能	72
第一节	炼铁系统简介	72
第二节	炼铁系统的节能方向	74
第九章	炼钢系统的节能	86
第一节	炼钢系统简介	86
第二节	三种炼钢方法的能耗比较	87
第三节	连铸与模铸的能耗比较	93
第四节	炼钢系统的节能方向	97
第十章	轧钢系统的节能	105
第一节	轧钢系统简介	105
第二节	热轧的节能	106
第三节	冷轧的节能	116
第四节	热轧与冷轧变形量的分配问题	117
结束语		118
主要参考文献		118
附录 1	回归分析法	120
附录 2	投入产出法	137
附录 3	线性规划	148
附录 4	联合企业吨钢可比能耗的计算方法	173

第一章 绪 论

——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，在此学科领域内取得了一定成绩。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。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。本书准备就这些问题提出一些初步的看法，供读者参考。

第一节 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。十年动乱期间，问题更加严重。近年来这种情况逐步好转，能耗逐年降低。本书表6中列出了近几年来我国平均的吨钢能耗值。由表可见，这几年的节能工作收到了一定效果。

但是，我国冶金工业的能耗指标，与国外相比，仍有较大差距。表7中列出了西方主要产钢国前几年的吨钢能耗值。

到本世纪末，我国钢铁工业在产量和能耗两方面的总目标是在不大量增加能源消耗总量的条件下使钢产量翻一番。今后钢铁工业的增产，一半以下靠增加能源供应，一半以上靠节约能源。

此外，除能耗指标外，冶金工业的有些技术经济指标（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。

第二节 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。通过几年来的实践并参阅国内外文献，初步认为关于这个学科的研究对象问题可作如下讨论。

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，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，是相互联系的不同层次。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 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〔1〕概略地说明了研究冶

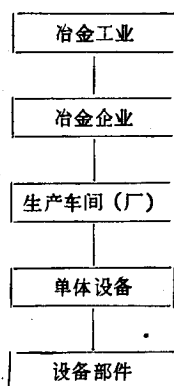


图 1

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^[2]。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。

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的平衡表，掌握各耗能设备的工作性能。用累加法^[3]、投入产出法^[4]或其它方法计算产品能值。对各种节能措施作出评价，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^[5]。这类研究工作，就其层次而言，通常属于“冶金工业”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^[6]，有些研究工作就是以此为基础的。

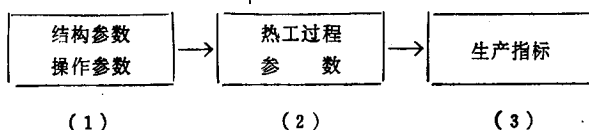
生产车间（厂）是联合企业这个系统中的子系统。研究某个生产车间（厂），实际上就是研究全流程中的某个生产工序。这个层次上的节能问题，通常也叫做“工序节能”。工序的划分，决定于研究者的意图和着眼点。可以把一台加热炉加上一台轧机作为一个工序，也可以把从钢锭起一直到成材为止看作是一个工序。同样地，可以把炼铁看成是一个工序，也可以把焦化、烧结、炼铁合在一起看成是一个工序。但要注意，由于工序划分不

同，得出的结论可能也不同。

七十年代中期，格林果夫等提出〔7〕，研究炉子要与其前后设备联系起来考虑，以求得综合的最佳效果。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，也有一些需要优化的问题，例如炼铁工序中的焦炭灰分问题、高炉入炉品位问题等。

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，弄清(1)(3)两类变量之间的关系，是十分必要的。

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〔8〕：

1. 以简化的炉子模型为对象；
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1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^[9]用这种方法得出的具体经验式适用面窄，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。限于篇幅，不再多说。

第三节 关于冶金热能工程学科发展成长 问题的几点意见

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，以求取得全面的认识。

2. 逐步修订大学本科生和研究生“冶金热能工程”专业的教学计划，使教学内容更加符合专业和学科要求。努力培养热能工程方面的专门人才。

3. 要进一步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，多注重其产量，不大注重能源消耗。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。在这方面，若能借鉴于冶金反应工程学科近些年来的研究结果，可能有所裨益。

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。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, 比较主要的有: 金属冶炼工艺、加工工艺、能源系统工程、能源技术经济等。

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。

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, 在数量上或许不会像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。工作逐步深入后, 要进行更多的定量研究, 甚至要应用数据库之类现代化的手段。

第四节 总 结

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, 为冶金工业的节能工作服务; 在现阶段要为实现我国冶金工业的规划目标作出贡献;

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, 要继续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] 陆钟武、周大刚, 钢铁, 1981, № 10, 63—66.
- [2] 寺野寿郎, 系统工程学(中译本), 机械工业出版社, 1980.

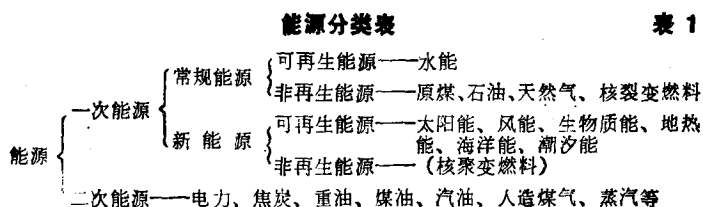
- [3] Kellogg, H.H., J. of Metals, 1974, № 6, 25—29.
- [4] 李秉全, 技术经济, 1982, № 2, 16—30.
- [5] A Technological Study On Energy in The Steel Industry, 1976, IISI, Committee on Technology.
- [6] Szarcut, J., Energy, 1980, 709—718.
- [7] Бутковский, А.Г., Глишков, М.А. и др., Изв. вуз, чер. мет., 1974, № 5, № 11; 1975, № 1.
- [8] Beér, J.M., J. of Inst of Fuel, 1972, № 7, 370—382.
- [9] 陆钟武、杨宗山, 东北工学院学报, 1980. № 1, 92—108.

第二章 能 源

第一节 能源及其分类

凡是能够提供能量（如热能、机械能、电能、光能等）的资源，统称能源。能源的种类很多；各种固体燃料、液体燃料、气体燃料以及水能、太阳能、风能、地热能等都是能源，因为它们都能提供能量。

能源的分类见表 1。



由表可见，能源可按其各种特征进行分类。按来源不同，能源可划分为一次能源和二次能源两类。一次能源是指自然界存在的天然能源，如原煤、石油、天然气、核燃料、太阳能、生物质能、风能、地热能、海洋能、潮汐能等。二次能源是指将一次能源经过直接或间接加工转换后得到的能源产品，如电力、焦炭、重油、煤油、汽油、人造煤气、蒸汽、压缩空气等。

按使用的广泛程度不同，一次能源又可划分为常规能源和新能源两类。常规能源是指已在生产和生活中广泛使用的能源，如原煤、石油、天然气、水能、核裂变燃料等。新能源是指在生产生活中使用较少或仍处于试验研究阶段的能源，如太阳能、风能、地热能、海洋能、潮汐能、生物质能以及核聚变燃料等。必须说明，常规能源和新能源的区别是相对的；以前核裂变燃料曾

是新能源，但现在已获得广泛应用，已经成了常规能源。

此外，按能否重复再生，一次能源可划分为可再生能源和非再生能源两类。可再生能源是指能重复产生的能源，如水能、太阳能、风能、海洋能、生物质能、潮汐能等。这类能源，在一定条件下是“取之不尽，用之不竭”的。非再生能源是指不能重复产生的能源，如原煤、石油、天然气等。现在人类使用的，主要是非再生能源。这类能源的储量逐年减少，迟早会枯竭的。

第二节 主要能源的更替

在历史上，人类曾长期以木材（及木炭）为主要能源。无论炊事、取暖，或冶金、制陶，均不例外。木材是生物质燃料的一种，它的杂质较少，是很好的燃料。但是，木材资源有限。大量砍伐森林，破坏生态平衡，必然造成严重后果。

公元十世纪前后，我国冶铁业开始广泛使用煤炭。这种技术传到西方各国以后，煤炭逐步取代木材，成为主要能源。西方各国在实现资本主义工业化的过程中，所用的能源主要是煤炭。原先煤炭（或焦炭）只是代替木材（或木炭）作为工业炉窑的燃料。十八世纪瓦特发明蒸汽机以后，煤炭又成了原动力机组的燃料。从十九世纪七十年代起，电力逐步取代了蒸汽。煤炭又成了电力工业的燃料，用途更加广泛。

本世纪五、六十年代，由于石油（及天然气）的大量开采，在世界能源总量中，石油所占的比重迅速上升，成了主要能源。西方各国利用廉价石油，使国民生产总值的年增长率有了明显的提高。整个六十年代是西方经济发展的“黄金时代”。但1973年以后，由于石油危机的冲击，西方主要工业国的经济又普遍进入了“低增长”时期。

煤炭、石油、天然气都是非再生能源，在不断开采的过程中，它们的储量逐年降低。将来，人类将被迫从使用非再生能源转向可再生能源。在未来的能源更替中，某些新能源将逐步替代煤炭、石油、天然气等常规能源。

第三节 我国能源现状

我国是一个能源资源比较丰富的国家。煤的探明储量居世界第三位。石油的储量居世界第八位。天然气储量居世界第十六位。水力资源极为丰富，理论蕴藏量为6.8亿千瓦，居世界第一位；可开发的装机容量为3.8亿千瓦。铀、钍和其他新能源的资源也较丰富。

解放以来，我国能源开发的速度是比较快的。1981年全国能源生产总量（不包括农村非商品能源）折合标准煤为6.2亿吨，比解放前的能源年产量多六亿吨。农村非商品的能源，据估计全国年产秸秆4.58亿吨，人畜粪1.53亿吨，薪柴2800万吨，共折合标准煤2.9亿吨。1949年和1981年我国主要能源产量的对比，见表2。

1949年和1981年我国主要能源产量的对比

表 2

能 源	年 份		
	1949	1981	单 位
煤	32.5	620	10 ⁶ 吨
石 油	0.12	101	10 ⁶ 吨
天然气	11.17	12740	10 ⁶ 米 ³
水 电	700	65550	10 ⁶ 千瓦·小时

我国能源的年消费总量居世界第三位。但由于人口众多，平均到每个人的能源消费量仅为0.6吨（加上农村非商品能源也不到0.9吨）。这个数字是相当小的，仅为世界平均水平（2.3吨）的四分之一。同世界上发展中国家相比，属于中等偏低水平。如果和一些工业发达国家相比，那就更低了。

我国的工农业生产总值，1980年是七千四百九十亿元，能耗大约是六亿吨标准煤。即每千元产值的能耗是0.8吨标准煤，由于我国工农业生产总值与西方国家使用的国民生产总值在计算方

法上有所不同，所以不便直接进行对比。但据分析，与工业发达国家相比，我国的单位国民生产总值的能耗高得多。造成这种差距的原因是多方面的，例如管理不善、设备陈旧、有些技术落后、中小企业多、重工业的比重较大以及能源结构中以煤为主等。

重工业单位产值的能耗，本来就比轻工业高，而我国重工业的能耗约占全部能耗的一半以上。这与工业发达国家的情况很不相同。在工业发达国家中，重工业和轻工业的能耗加在一起仅占总能源产量的三分之一左右。

我国的能源结构中，以煤为主，而工业发达国家以石油为主（表3）。与油相比，煤在开采、输送和使用方面都相形见绌，燃烧效率也较低，而且污染严重。这些因素当然要影响到单位国民生产总值的能耗。

几个国家能源结构的对比

表 3

国 别	能 源				
	石油 (%)	天然气 (%)	煤 (%)	水电 (%)	核能 (%)
中国	22	3	71	4	0
日本	75	3	15	5	2
西德	49	13	35	1	2
美国	43	29	21	5	2
世界平均	44	18	30	6	2

第四节 能源与四化建设

为了在本世纪末以前实现工农业总产值翻两番的战略目标，关键问题之一是能源。我国的能源方针是：开发与节约并重，近期内把节约放在优先地位。各种预测表明，到本世纪末，我国能源的年供应量只能在1980年的基础上翻一番，即从六亿吨标准煤增加到十二亿吨标准煤（图2）。因此，要用翻一番的能源创造翻两番的产值。也就是说，一番靠增加能源开发，另一番则要靠能源的节约。

1. 能源的开发