

美国钢铁学会(AISI) [美] L.卡瓦纳 主编

# 钢铁工业技术

# 开发指南

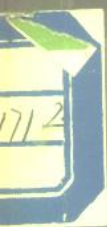
STEEL

INDUSTRY

TECHNOLOGY

ROADMAP

科学出版社



# 钢铁工业技术开发指南

美国钢铁学会 (AISI) [美] L. 卡瓦纳 主 编  
中国金属学会 (CSM) 韩静涛 王福明 等 译

科学出版社

图字：01-1999-2935

## 内 容 简 介

本书是由美国钢铁学会组织众多专家、学者在对钢铁工业进行科学预测的基础上编写而成的。书中从工艺开发、钢铁的回收、环境及产品开发诸方面深层次论述了钢铁工业的发展现状及前景。本书对我国钢铁工业的发展极具参考价值。

本书可供从事钢铁、冶金等研究的科技、管理人员及高等院校相关专业师生阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

钢铁工业技术开发指南：美国钢铁学会 [美] L. 卡瓦纳主编；  
中国金属学会 韩静涛等译. -北京：科学出版社，2000  
书名原文：Steel Industry Technology Roadmap  
ISBN 7-03-007988-4

I. 钢… II. ①卡… ②韩… III. 钢铁工业-技术-现状-美国  
IV. TF4-171.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64108 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

北京双青印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

2000 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2000 年 1 月第一次印刷 印张：10 ½

印数：1—1 500. 字数：165 000

定价：30.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉)

《钢铁工业技术开发指南》  
中文版编委会

主任：仲增墉

副主任：李尚诣 李世俊

委员：贺毓辛 李慧卿 韩静涛

## 译 序

在第二届中国钢铁年会举行前夕,我们组织翻译出版了《钢铁工业技术开发指南》一书。

本书完成于1998年3月,是由美国钢铁学会组织众多专家、学者,在对钢铁工业进行科学预测的基础上编写而成的。

第二次世界大战后的50年是钢铁工业史上最辉煌的时期,全世界已具备产钢8亿吨的能力。这50年不仅显示了钢铁工业所取得的技术成就,也充满着激烈的竞争。第二次世界大战后,日本诸国新建大型联合企业给原钢铁生产强国——美国造成极大威胁,70年代能源危机更给钢铁工业以严重打击,致使有人惊呼钢铁工业已是“夕阳工业”了。此后经过钢铁工作者的不懈努力,钢铁工业出现复苏,特别是从80年代下半期起,美国率先建立“小钢厂”(minimill),迄今已建成6条薄板坯连铸连轧生产线,各国也积极推进集约化,从而使钢产品作为可以“100%回报”的材料,在热轧板价格维持200美元/吨左右的情况下,仍能生产出10年前不能生产的高质量钢材。本书认为钢铁行业作为一个很大的经济行业,将是“低成本的生产厂商”,而且可能以不损害环境的经济方式提供高质量钢材,因此明确提出“钢将是21世纪选择的材料”(Steel is the material of choice in the 21st century)。鉴于钢铁工业的现代进展,根据科学的总结及预测,本书一改“夕阳西下”的哀叹,为钢铁工业描绘了一个美好的前景。

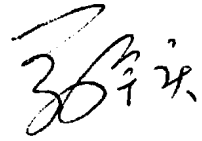
作为技术指南,本书对技术的趋势及前景进行了深层的论述,这些技术有如下一些特点:第一,它不是基础研究项目,而是为促进生产的可行的生产技术,这些技术的开发与应用将是钢铁工业适应严峻挑战和迈向21世纪所必需的;第二,它立足于可持续发展,以满足日益严格的对环保的要求;第三,它根据技术成熟性、经济效益、投资及贡献,列出轻重缓急,对开发研究进行排序,从而更增加了本书的实践性、指导性及可操作性。这对我们面向未来制订规划很有参考价值。

正如书中所指出的那样,在战略性预测之后,应将其转化为战术上的指南,因此本书编写目的,就是使它成为“有用的计划性工具(A useful planning tool)”。据了解,在美国本书所列项目将作为指导性规划项目,由政府、学会组织厂家及有关研究单位实施,而且在实施过程中要进行极其严格的检查,以保证成果及应用。这种自上而下、由下而上的指导法以及将技术转为生产力的商品化意识,也是值得我们借鉴的。

面向 21 世纪、面向严峻的挑战形势，我国钢铁工业如何发展是我们大家关心的问题，也是一个亟待解决的课题。这本书的出版无论对我国钢铁生产的领导者、管理者，还是对科技工作者了解美国钢铁工业技术发展的趋势和他们面对 21 世纪的具体做法是十分有用的，都会从中受到启迪和裨益。自然，它对研究生和大学生来说，也是一本很好的教材。

感谢贺毓辛教授推荐此书，承蒙美国钢铁学会允许出版中译本，而且美国钢铁学会副主席 L. 卡瓦纳先生还为本书中译本写了序言，对此表示诚挚的谢意。

中国金属学会常务副理事长

Handwritten signature in black ink, appearing to read '贺毓辛' (He Yuxin).

1999 年 5 月

## 译者的话

1998年5月,金大庆博士来我国访问,推荐了《钢铁工业技术开发指南》一书,并介绍了该书的背景与价值。粗读以后,受益匪浅,深感有译出以飨中国读者之必要,这一想法得到了中国金属学会的支持。

受中国金属学会委托,经与该书主编L.卡瓦纳先生联系,承蒙他允诺译成中文,并特为中译本作序,对此再一次深表谢意,同时也向参加编写的作者们表示感谢。

本书是美国钢铁学会为指导下世纪钢铁工业如何发展而组织众多专家所写的一本书,实际上相当于我们的科技发展规划指导书。该书提出了许多有意义的创见,并对钢铁工业的前景及发展进行了描绘。例如,虽然面临着其他材料的挑战,但该书认为钢铁产品在21世纪仍保持着“必选材料”的地位。作者指出,面临知识经济的新时代,钢铁产业仍是一个充满生气的经济行业,在良好的环保条件下,在成本、质量方面仍具有良好竞争力,同时,还将在创新和技术方面起着领导作用。钢铁工业有着美好的前景,当然,与此同时,也需认清形势的严峻性。

本书对今后钢铁工业新技术的开发作了详尽的描述,这对我们有重大参考意义。本书也是“战术的指南”,这样制订长远规划的方法及思路值得我们借鉴。

本书的出版不仅使广大钢铁战线的科技工作者会从中受益,而且对钢铁专业的学生、研究生、管理工作者也将会有极大帮助。

本书由韩静涛、王福明主译,参加各章翻译的还有:第1章:韩静涛;第2章:齐宝铭、潘凤文;第3章:蒋珂;第4章:杜雪岩、刘航、张梅、张海军、黄锦亮;第5章:胡海萍。最后由贺毓辛进行统校。

由于时间紧迫,参加翻译人员较多,译文中可能有不妥,甚至错误的地方,希望读者予以批评、指正。

贺毓辛

1999年5月

## 中译本序言

“失败往往爱与有才者打交道”

卡尔文·库利奇

(第 30 届美国总统)

本书仅仅是一个计划书,它指明了研究开发的方向。按这个方向所进行的研究开发,将能使我们的钢铁工业在下一世纪到来时,仍然保持高效率和技术优势。编制这本指南的目的,是希望将我们的注意力吸引到对钢铁工业的未来来讲是最重要的课题上。钢铁工业是一个工业部门,而钢铁又是一种材料,这是我们考虑问题的基础。

马上就要跨入 21 世纪了。在这个时刻,让我们庆贺那些计划之外的成功,让我们感谢那些经历了困难考验的起决定性作用的人们。正是由于他们勇于面对多次的失败,毫不气馁,甘愿冒险去迎接每个新的挑战,才使我们获得了成功。在这种竞争精神的鼓舞下,我们在这个星球上建立了钢铁工业。

让我们共同携手,迎接美好的未来。

美国钢铁学会

L. 卡瓦纳

1999 年 5 月于华盛顿



# 目 录

译序

译者的话

中译本序言

1 总论 .....	1
2 工艺开发 .....	3
2. 1 炼焦 .....	5
2. 2 炼铁 .....	7
2. 2. 1 高炉 .....	8
2. 2. 2 直接还原 .....	9
2. 2. 3 熔融还原 .....	11
2. 2. 4 炼铁技术研究开发的需求和机遇 .....	12
2. 3 氧气转炉炼钢 .....	13
2. 3. 1 转炉 .....	14
2. 3. 2 其他相关技术 .....	15
2. 3. 3 转炉炼钢研究开发的需求和机遇 .....	17
2. 4 电弧炉炼钢 .....	18
2. 4. 1 原材料 .....	19
2. 4. 2 能耗 .....	22
2. 4. 3 电炉炼钢研究开发的需求和机遇 .....	25
2. 5 钢包精炼 .....	25
2. 5. 1 钢包精炼研究的开发需求和机遇 .....	27
2. 6 连铸 .....	27
2. 6. 1 一般连铸问题 .....	28
2. 6. 2 板坯、小方坯、大方坯连铸 .....	30
2. 6. 3 薄带连铸 .....	31
2. 6. 4 连铸研究开发的需求和机遇 .....	32
2. 7 轧制和精加工 .....	34
2. 7. 1 轧制和精加工——一般问题 .....	34
2. 7. 2 轧制和精加工——板材 .....	37
2. 7. 3 轧制和精加工研究开发的需求和机遇 .....	39
2. 8 耐火材料 .....	40
2. 8. 1 耐火材料研究开发的需求和机遇 .....	42
2. 9 需优先考虑的研究开发的需求和机遇 .....	45

<b>3 钢铁的回收</b> .....	49
3.1 副产品 .....	51
3.1.1 炼铁.....	52
3.1.2 炼钢.....	54
3.1.3 轧制和精加工.....	60
3.1.4 其他副产品.....	63
3.1.5 副产品的研究开发需求.....	63
3.2 长期废钢 .....	65
3.2.1 民用废弃物.....	66
3.2.2 废旧设备.....	66
3.2.3 报废汽车.....	67
3.2.4 废旧容器.....	69
3.2.5 其他耐用废品.....	70
3.2.6 建筑废钢.....	70
3.2.7 对长期废钢进行研究开发的需求和机遇.....	71
3.3 需优先考虑的开发研究需求和机遇 .....	71
<b>4 环境</b> .....	74
4.1 炼焦 .....	74
4.1.1 炼焦生产中的烟尘排放.....	75
4.1.2 炼焦生产中的废水排放.....	75
4.1.3 炼焦副产品.....	76
4.1.4 炼焦生产中的有害废物.....	76
4.1.5 炼焦环保趋势和动力.....	77
4.1.6 炼焦新技术.....	77
4.1.7 炼焦研究开发的需求和机遇.....	78
4.2 炼铁 .....	78
4.2.1 炼铁过程的排放物.....	78
4.2.2 炼铁生产中的废水排放.....	80
4.2.3 炼铁副产品.....	81
4.2.4 炼铁生产中的有害废物.....	82
4.2.5 炼铁环保发展趋势和动力.....	82
4.2.6 炼铁新技术.....	83
4.2.7 炼铁研究开发的需求和机遇.....	83
4.3 炼钢——氧气顶吹转炉 (BOF) .....	84
4.3.1 氧气顶吹转炉生产中的烟尘排放.....	85
4.3.2 氧气顶吹转炉生产中的废水排放.....	86
4.3.3 氧气顶吹转炉炼钢副产品.....	86
4.3.4 氧气顶吹转炉炼钢生产中的有害废物.....	87

4. 3. 5	氧气顶吹转炉炼钢环保趋势和动力	88
4. 3. 6	氧气顶吹转炉炼钢新技术	89
4. 3. 7	氧气顶吹转炉炼钢研究开发的需求和机遇	89
4. 4	电弧炉 (EAF) 炼钢	90
4. 4. 1	电弧炉炼钢生产中的烟尘排放	91
4. 4. 2	电弧炉炼钢生产中的废水排放	92
4. 4. 3	电弧炉炼钢副产品	92
4. 4. 4	电弧炉炼钢生产中的有害废物	92
4. 4. 5	电弧炉炼钢环保趋势和动力 (待定)	93
4. 4. 6	电弧炉炼钢新技术 (待定)	93
4. 4. 7	电弧炉炼钢研究开发的需求和机遇 (待定)	93
4. 5	精炼和浇铸	94
4. 5. 1	精炼和浇铸生产的烟尘排放	94
4. 5. 2	精炼和浇铸生产中的废水排放	95
4. 5. 3	精炼和连铸副产品	95
4. 5. 4	精炼与连铸生产中的有害废物	96
4. 5. 5	精炼和连铸环保趋势和动力	96
4. 5. 6	精炼与连铸新技术 (待定)	98
4. 5. 7	精炼与连铸研究开发的需求和机遇	98
4. 6	成形和精加工	98
4. 6. 1	成形和精加工中的烟尘排放	98
4. 6. 2	成形和精加工中的废水排放	99
4. 6. 3	成形和精加工副产品	101
4. 6. 4	成形和精加工的有害废物	102
4. 6. 5	成形和精加工环保趋势和动力 (待定)	102
4. 6. 6	成形和精加工新技术 (待定)	102
4. 6. 7	成形和精加工研究开发的需求和机遇 (待定)	102
4. 7	钢材涂层 (待定)	103
4. 8	耐火材料的回收利用	103
4. 8. 1	耐火材料研究开发的需求和机遇	104
4. 9	炼钢与氮氧化物	107
4. 9. 1	NO <sub>x</sub> 研究开发的需求和机遇	109
4. 10	需优先考虑的研究开发需求和机遇	109
5	产品开发	111
5. 1	未来的应用 (待定)	111
5. 2	容器	111
5. 2. 1	钢的纯净度	112
5. 2. 2	厚度控制	113

5. 2. 3	更薄的镀锡板 .....	113
5. 2. 4	镀层、涂层和表面质量 .....	114
5. 2. 5	产品的应用 .....	115
5. 2. 6	容器类产品研究开发的需求和机遇 .....	117
5. 3	建筑用钢材 .....	118
5. 3. 1	薄壁建筑钢材 .....	118
5. 3. 2	中厚板材 .....	122
5. 3. 3	建筑钢材研究开发的需求和机遇 .....	126
5. 4	汽车用钢材 .....	130
5. 4. 1	扁平材产品 .....	133
5. 4. 2	长材产品 .....	137
5. 4. 3	汽车用钢材研究开发的需求和机遇 .....	138
5. 5	需优先考虑的研究开发需求和机遇 .....	141
<b>附录</b>	.....	146
<b>参考文献</b>	.....	149

# 1 总 论

在未来的 21 世纪,钢铁仍是“必选材料”。本书所阐述的关键技术,其先进性是钢铁工业所必须关注的。

美国的钢铁工业每年大约生产 1 亿吨钢,产值近 500 亿美元,但每年仍要进口钢材约 2500 万吨。

目前,钢铁工业对于经济竞争力和国家安全都是至关重要的。钢铁工业给 17 万美国人提供了高收入的就业机会(高于制造业平均收入 50%以上)。钢铁工业是世界上最高产、高效和技术先进的工业之一。例如:

- 钢仍是一种先进的材料。目前所使用的大部分钢材在 10 年前尚不能生产。

- 钢铁工业在环境保护方面已经进行了巨大的努力,过去的 20 年中,在环保设备上投资达 60 多亿美元。环境保护成本大约占到运行成本的 15%。

- 钢是最易回收的材料,比纸、塑料、玻璃和铝等材料的回收量总和还要多。

在日趋激烈的全球经济竞争中,美国钢铁工业必须不断地寻求新的途径,以使其在制造技术中始终处于领先地位。

1995 年 5 月,发表了一篇“钢——国家未来资源”的报告,这是一份关于钢铁工业的预测报告。它描述的钢铁产业是一个强大的、充满活力的经济行业,并以与环境友好、成本经济的方式为用户提供高质量的钢材。

如果这个工业预测报告付诸实施,钢铁行业将在美国市场上成为低成本的生产商,将在成本、质量方面具有全球竞争力,并将领导世界技术创新的潮流。钢铁工业将给具有高技能的劳动者提供富有挑战性和可观报酬的就业机会。对于投资者,钢铁工业也将是可获益的和富有吸引力的。

预测报告分为四个主要方向,在这些方面取得不断进步是必要的:

- 工艺开发——寻求提高产量、质量和降低能耗的方法。

- 钢铁的回收——增加对钢铁厂固态废料的回收利用。

- 环境——进一步减少废气、废水的排放以及有害废物的产生,开发新的不产生污染的生产工艺。

- 产品开发——最大限度地提高生产灵活性和生产能力,以满足市场和用户不断变化的需求。开发具有新性能的产品,增加在关键市场上的销售,以

满足 21 世纪不断变化的材料需求。

完成“战略性预测”之后,应将其转化为战术上的指南。技术开发指南是有用的现代高技术工业计划性工具。它对现有技术的地位进行评估,明确现有的和可预见的因素(例如发展趋势、动力和技术困难),以及可能影响发展趋势的新技术。

在此基础上,制定优先研究和开发的需求清单,这些需求对钢铁工业是十分重要的。在各种技术提供者之间交流技术指南,有利于保持钢铁生产的优先地位。

本书与预测报告相关的 4 章是:工艺开发、钢铁的回收、环境和产品开发。每一章都描述了工艺、产品范围、技术困难、发展趋势和动力、新技术、研究开发需求,并按逻辑关系给出了研究开发的需求表。

## 2 工艺开发

钢的生产涉及到诸多的工艺过程,这些工艺过程消耗来自全球各地的原料和再生材料,生产出数千种产品及其副产品(见图 2-1)。

目前,最主要的炼钢工艺是碱性氧气转炉(BOF)工艺和电弧炉(EAF)工艺。最简单的钢厂由一个废钢料场、一座电弧炉和一台连铸机组成,可年产几十万吨小方坯。一个这样的“小钢厂”占地面积仅有一个城市街区大小,投资仅需几千万美元。最现代化的“小钢厂”年产量可达百万吨以上。

大型钢铁联合企业占地面积大,采用氧气转炉炼钢,经过几十道生产工序,雇用数千名员工,年产量可达 300~400 万吨。这种工厂往往需要投资几十亿美元,建设周期通常在数十年以上。

钢铁产业是一个有生气的、不断变化着的工业部门,在最近的 150 年间有了巨大的进步。某些生产工艺昙花一现,如贝塞麦炼钢法。而另一些生产工艺,如高炉、电弧炉和热带轧机等,近几十年来不断改进,并在可预见的将来,仍将是钢铁生产的一部分。

从历史上看,钢铁生产的进步与社会发展进程中的一些重要事件是密切相关的,如工业革命、世界大战、技术创新、经济发展和发明创造等,但却没有一个总体规划或计划能确定其发展方向。在未来,社会发展的重要事件将继续对钢铁工业的发展产生影响,因此本指南仅提出一个工业范围内的规划,希望它能为达到钢铁工业在能源、经济和环保方面的发展目标提供一些研究的建议。

按照这个规划,钢铁工业将继续朝着提高能源利用率以降低污染、控制生产成本、减少能源价格波动影响的方向发展。

本章将描述钢材生产基本工艺、相关的操作特点、产生变革的动力、新的和正在萌芽的技术,以及开展研究工作的方向。同时,还将介绍一些正在开发中的全新的生产工艺:煤基熔融还原工艺取代高炉和焦炉工艺;薄带连铸工艺取代连铸与带钢热轧工艺等。

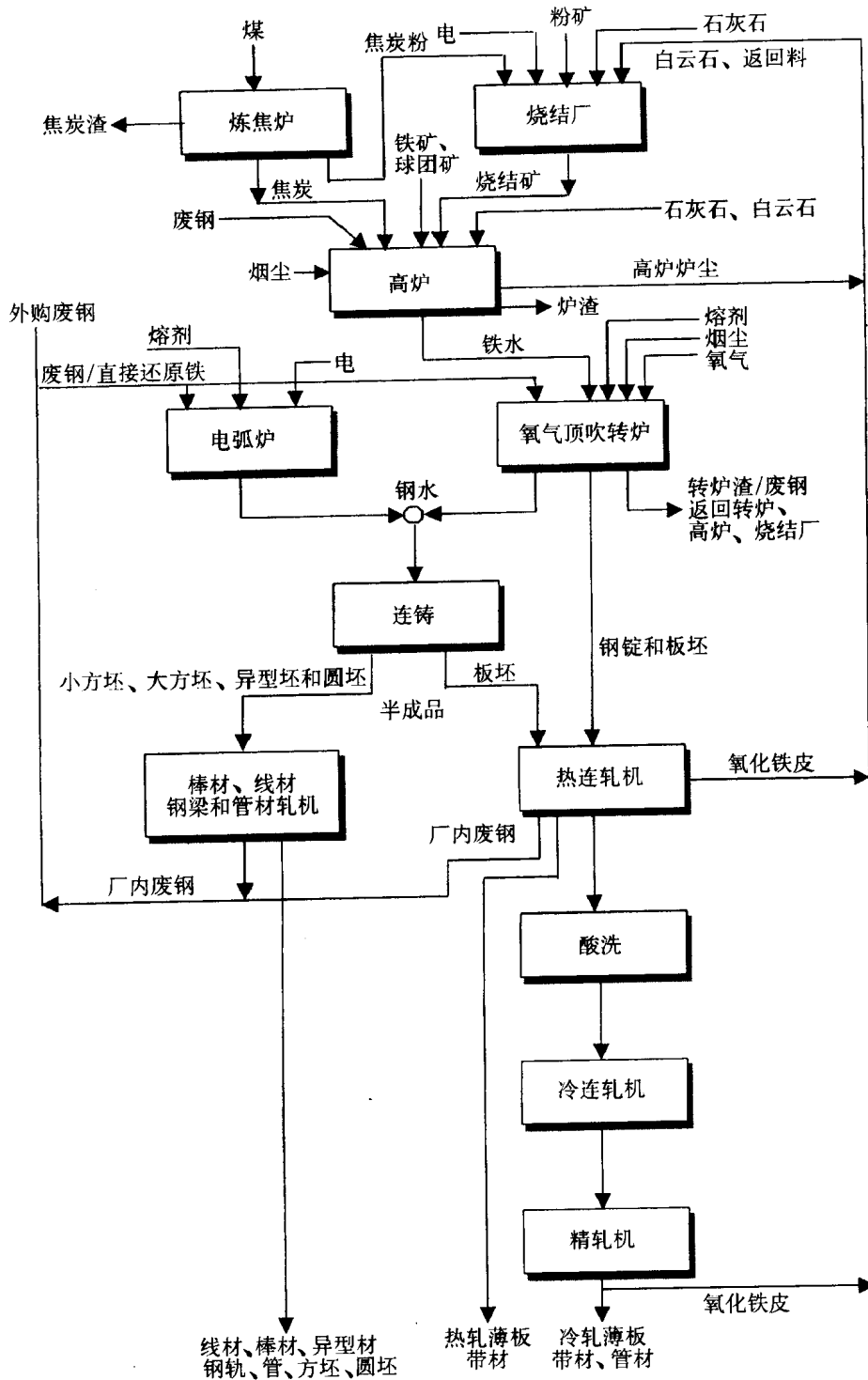


图 2-1 钢铁生产工艺概况



## 2.1 炼 焦

炼焦是炼铁和炼钢联合流程的一个重要部分,它提供高炉中还原铁矿石所需的碳和热。由于焦炭的强度和形状,它在高炉中作为支撑料柱,并为气体穿过料层提供通道。

虽然炼焦生产对冶金工业是十分重要的,但设备自然老化的炼焦厂、日趋严厉的环境法规(这将导致生产成本的增加)和工厂的倒闭,严重威胁了美国和加拿大的炼焦生产能力。根据世界钢铁动态和 CRU 国际组织的研究,在未来的 20 年内,每年将减少焦炭产量 1200 万吨以上。

生产能力的减少对焦炭生产企业提出了挑战,他们必须开发新技术来改进现有设备和用于新装备上,以满足环保的要求。预计在未来的 10 年内,对钢材的需求将以每年 2% 的速度增长,这种需求使得控制技术的改进更加迫切。

冶金焦通常用焦煤在大型焦炉中生产,它由一排垂直的由加热烟道分开的仓室组成。混合的冶金焦煤从顶部的加料孔中装入焦炉,在高温和缺少空气的非氧化性条件下加热,除去挥发性物质。

经过几个小时持续高温的加热,煤炭经过一个塑胶状态,碳重组成为焦炭。炼焦过程完成后,推焦机打开焦炉门并把红热的焦炭通过另一端开启的炉门推至移动式焦车上,随后,红焦被干燥空气或水冷却熄焦。

**趋势和动力:**从生产工艺的角度来看,整个炼焦工艺近 100 多年来变化甚微,但它将受到严格的环境法规的约束。总的来说,这些法规和钢铁生产的变革促使钢铁工业改进炼焦生产工艺。在发达国家,炼焦设备老化和环境保护措施的日趋严格,使得企业增加生产成本或者倒闭,焦炭产量不断减少。据世界钢铁动态和 CRU 国际组织的预测,世界范围内的冶金焦短缺将在 2005 年出现。

炼焦设备的老化,产生了对设备更新的要求。例如,美国和加拿大目前每年生产 2200 万吨冶金焦。今后 20 年内,至少需更新 1200 万吨生产能力的设备。

美国严格的环保限制,包括 1990 年的洁净空气法案,也威胁到焦炭生产企业的经济活力。虽然在新焦炉设计中已引入了改进废气排放的措施,但由于耗资巨大,许多旧焦炉改造后仍不能满足现有和正在拟定的环保标准。更严格的环保限制将加速一些炼焦厂的倒闭,在 2003 年前冶金焦将会减产 30%。继美国之后,其他的一些发达国家和发展中国家将建立严格的环保限制,全世界的焦炭生产会受到影响。