

日本 耐火 材料



耐火物技术协会 编

李衍林 等 译

工业出版社

81.55
396

日本耐火材料

〔日〕耐火物技术协会 编

苏 云 卿 等译
李 衍 林
苏 云 卿 校

冶金工业出版社

225-10

日本耐火材料
〔日〕耐火物技术协会 编
苏云卿 李衍林 等译
苏云卿 校

冶金工业出版社出版

（北京北河沿大街海润院北巷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 11 $\frac{1}{2}$ 字数 296 千字

1986年 1 月第一版 1986年 1 月第一次印刷

印数00,001~3,950册

统一书号：15062·4165 定价2.80元

译 校 者 序

《日本耐火材料》，系摘译自1977年出版的《耐火物工学の展开》一书。原书系日本耐火物技术协会为纪念该会成立三十周年，组织日本和其他国家二十余名素负重望的耐火材料技术权威、学者分头执笔撰写的论文集。

书中介绍了七十年代以来日本耐火材料工业的发展概况与技术成就，同时以一定的篇幅介绍了其他资本主义国家耐火材料工业的情况，并从不同侧面反映了由于当前面临的能源危机、资源枯竭、劳力紧张等因素，给日本耐火材料工业发展所带来的种种困境。

原书共分四个部分，在翻译过程中对原文做了较大的取舍，摘译了可供参考的前三部分。其中包括各国耐火材料的发展动向、专题论述、近五年来日本耐火材料工业的进展与趋势以及有关耐火材料的统计资料。

本书第一章重点介绍了英国、西德、法国、美国和日本五个资本主义国家耐火材料工业的技术发展现状。第二、三两章是本书的主要部分，作者根据大量尚未公开的资料与数据，对日本耐火材料工业的发展、新技术的推广、新产品试制、工艺设备的改进以及筑炉施工方法等，作了详细介绍。尤其所涉及到的耐火原料资源开发、综合利用、能源与耐火材料的关系，以及如何提高炉衬使用寿命、原子能炼铁新技术用耐火材料、太阳炉用耐火材料、隔热耐火材料、不定形耐火材料、氮化硅耐火制品等，对我国耐火材料工作者，都是有一定参考价值。书后以附录形式，介绍了日本1960~1976年公布的统计资料。

统观全书，可以明显地看到，日本耐火材料工业的发展速度是快的。众所周知，日本自侵华战争失败后，工业经济十分萧条。但是自从美国发动侵朝战争以后，日本与美国实行“美日经济

合作”，使日本工业又重新恢复起来。作为日本国民经济的基础——钢铁工业又得到了重新发展的转机。二十几年来日本政府大力扶植钢铁工业的发展，从国外大量引进新技术，开展科学研究。仅用十几年的时间，钢铁工业跃居世界第三位，几乎凌驾于美国之上。据书中介绍，日本1960年粗钢产量为2300万吨，而1976年已猛增至10800万吨。钢铁工业的发展，促进了耐火材料工业的发展。1975年日本已有110个耐火材料生产企业，共有职工两万七千多人，并拥有年产300多万吨各种耐火材料的生产规模。特别是人工合成原料，发展很快。1975年就生产了70多万吨海水镁砂，不仅满足了国内需要，而且还向国外出口了15万多吨。不定形耐火材料也在逐年增加。1974年全年共生产耐火材料288.4万吨，而浇灌料与捣打料就生产了39.4万吨。加上其它不定形耐火材料，每年大约占耐火材料生产总量的30%以上。由于耐火材料质量的提高，以及炉子设计和维护操作上采取了一系列有效措施，耐火材料消耗在逐年下降。按吨钢耐火材料消耗，1960年为47公斤，1970年下降到24公斤，而1976年已下降到12公斤。耐火材料消耗之低，已居世界之冠。

当然，从另外一个侧面，也暴露了当前日本耐火材料工业所面临的困扰。自从七十年代波及世界的石油危机爆发以来，日本耐火材料工业的发展，受到了巨大的冲击。最突出的是耐火原料问题。素称“日本王牌”的蜡石资源，已逐渐枯竭；至于发展优质高纯新品种所必需的天然镁砂、高铝矾土、硅线石、蓝晶石、铬矿、锆英石，天然石墨等耐火原料，几乎全部依赖进口。而大部分原料，要从南非、圭亚那、澳大利亚、美国、苏联、印度和斯里兰卡等国家进口。书中透露，1971年进口铬矿每吨为13848日元，而1975年为31229日元，价格上涨率为133%；锆英石1971年每吨为17958日元，而1975年已上升为76020日元，上涨率达三倍多。耐火原料价格的飞涨，对日本耐火材料工业的发展，产生了巨大影响，经济压力十分突出。

书中对当前日本耐火材料工的技术发展成就作了充分肯定，

对未来前景也作了客观分析。作者们还根据日本面临的资源危机和技术先进的特点，对今后耐火材料工业的发展方向，提出了若干建议，并受到了日本政府和各财团的重视和支持。目前日本耐火材料工业，正在朝着高效低耗方向发展，积极进行开发和综合利用国内资源、开发高纯人工合成原料、研制新品种、扩大不定形耐火材料和不烧砖的使用范围、改进炉型结构与砌筑方法、加强炉子维护与操作、改善耐火材料工艺设备和减少环境污染等技术措施。

这里应当向读者说明，在译校过程中，对原书中个别错误之处，进行了力所能及的更正；同时为了尽量压缩篇幅，有些章节无论在内容或文字上，均作了相当大的删节，这就难免与原文有不够吻合之处。

其次，由于原书是由学术团体组织编写的论文集，编辑体例极不统一，虽然译校过程中作了最大努力，力求编辑体例的规范化，但各章节之间的衔接，仍然难免有不够协调的地方，请读者谅之。

参加本书翻译和抄写、校对工作的，还有张原圣、李再耕、赵桂芝、臧润林、何林朴、赵德寅、唐晓燕、陈新华、黄肇基、赖永华、林育炼、张永芳等同志。全书由苏云卿审校。由于译校者的技术和外文水平所限，其中可能有译错的地方，诚望读者予以指正。

1982年11月

目 录

第一章 英、美、法、西德耐火材料工业概况	1
第一节 英国耐火材料工业	1
一、英国钢铁工业的发展	3
二、英国耐火材料工业的进展	4
第二节 德意志联邦共和国耐火材料工业	8
一、耐火制品的生产和使用	8
二、原料状况	12
三、耐火材料工业的发展	12
四、各类产品的发展	13
五、西德耐火材料工业简介	16
六、耐火材料的标记与检验	18
七、展望	20
第三节 法国耐火材料工业	21
一、引言	21
二、工艺方法	23
三、结语	32
第四节 美国耐火材料工业	32
一、引言	32
二、原料	37
三、检验	38
四、结语	40
第五节 日本耐火材料工业	41
一、不定形耐火材料的进展	41
二、定形耐火材料的发展动向	42
三、有关原料的技术问题	43
四、耐火材料生产技术的发展动向	43
五、耐火材料生产工艺与应用技术	44
六、结语	45
第二章 专题论述	46

第一节 资源问题	46
一、镁砂与白云石砂	46
二、叶蜡石与耐火粘土	75
三、铬质、高铝质及锆质耐火原料	86
四、炭素与碳化硅质耐火原料	114
第二节 耐火材料烧成与节能	130
一、引言	130
二、根据耐火材料应具备的性能决定热处理方法	131
三、窑炉结构与节能	140
四、结语	144
第三节 转炉炉衬寿命的提高	145
一、引言	145
二、LD转炉的特性	146
三、炉衬材质	146
四、高温喷补	148
五、砌筑方法与炉衬形状	151
六、操作条件的影响	151
七、控制造渣	152
八、转炉寿命的变化	154
九、长寿记录及其背景	154
十、与提高转炉寿命有关的问题	155
十一、结语	156
第四节 原子能炼铁	156
一、引言	156
二、高温燃气炉	158
三、原子能炼铁工艺	159
四、日本原子能炼铁的研究状况	162
五、国外原子能炼铁的研究进展	169
六、结束语	172
第五节 不定形耐火材料	173
一、不定形耐火材料的进展	173
二、高炉压入料	175
三、转炉热喷补料	180

四、粘土结合浇灌料	182
五、盛钢桶投射料	184
六、耐酸浇灌料	186
第六节 窑炉隔热的现状与展望	188
一、引言	188
二、能源与隔热技术	188
三、隔热材料的技术问题	191
四、隔热材料现状	194
五、耐火纤维的发展	199
六、展望	203
第七节 太阳炉与耐火材料	207
一、引言	207
二、太阳炉的光学系统	208
三、太阳炉的形式与构造	210
四、试样加热方法	212
五、温度和测温方法	213
六、高熔点金属氧化物凝固点的测定	216
七、高温化学反应	218
八、高温相平衡状态图的研究	219
九、各种测定仪器的研制	221
十、大型太阳炉实用化可能性研究	222
十一、结语	223
第八节 氮化硅耐热结构材料	227
一、对工程技术陶瓷的期望	227
二、世界各国的研究现状	229
三、氮化硅的合成	230
四、烧结方法的分类	231
五、反应烧结法	232
六、热压法	235
七、强度	239
八、耐热震性	243
九、今后的问题	244
第三章 近五年来日本耐火材料工业的进展与趋势	247

第一节 炼钢用耐火材料	247
一、引言	247
二、委员会的经过	247
三、发表研究论文	250
四、结语	266
第二节 浇钢用耐火材料	268
一、引言	268
二、盛钢桶衬砖与使用技术	270
三、盛钢桶桶底砖和座砖	276
四、锆英石砖的质量特性和侵蚀	276
五、锆英石的分解	280
六、盛钢桶衬砖的基本性能和侵蚀机理	282
七、碱性和中性盛钢桶衬砖	291
八、盛钢桶内衬的不定形化	294
九、盛钢桶的喷补	299
十、滑动水口	302
十一、中间盛钢桶内衬的施工	308
十二、透气塞	313
十三、塞头与水口	313
十四、浸入式水口	314
十五、水口堵塞	316
十六、浇注砖	320
第三节 筑炉技术的进展	324
一、引言	324
二、筑炉研究座谈会的召开	324
三、研究报告的概况	325
四、施工方法	325
五、施工机械	330
六、窑炉设计和改进	331
七、不定形耐火材料的使用	332
八、不定形耐火材料与绝热材料的基本性能	333
第四节 工艺设备	334
一、引言	334

二、设备委员会的活动经过.....	334
第五节 耐火原料.....	336
一、引言.....	336
二、最近耐火原料的变化.....	336
附录	341

第一章 英、美、法、西德耐火材料工业概况

第一节 英国耐火材料工业

英国炼钢工业所消耗的耐火材料，约占国内市场耐火材料销售总量的70%。因此，耐火材料工业对目前和将来的钢铁工业，都有着极密切的关系。

国际钢铁协会所预测的1975、1980、1985年世界钢产量以及1970、1975年的实际钢产量，如表1-1所示。

显然，早十年的预测数值是不正确的。

同样，国际钢铁协会预测1975年英国钢产量为2,700万吨，1980年为3,300万吨，1985年为3,600万吨，然而，1975年实际钢产量却低于2000万吨，这是二十年来最低的。英国实际和预测钢产量示于表1-2。

表 1-1 世界实际与预测钢产量

单位：百万吨

年 度	实际产量	1972年预测产量	最近预测产量
1970	598	—	—
1975	650	751	—
1980	—	939	750
1985	—	1144	850

表 1-2 英国实际与预测钢产量

单位：百万吨

	1970实际	1975实际	1980预测	1985预测
总 量	28.4	19.9	27.6	31.4
碱性氧气转炉	9.4	10.0	17.4	22.2
平 炉	13.4	4.5	1.6	—
电 炉	5.6	5.4	8.6	9.2



国际钢铁协会预测,在今后十年至十五年期间,钢铁生产将朝着高炉炼铁,氧气顶吹转炉炼钢的大型联合企业方向发展,年产钢为3~15百万吨。其中,60~70%为碱性氧气转炉钢,20~30%为电炉钢10%左右为其它钢。电炉钢厂将以优先利用氧气转炉炼钢厂过剩废钢为原料的普通工艺为主,而小钢厂则使用市场上购买的废钢并以直接还原方法生产的粒铁作为补充。

平炉将逐渐淘汰。以英国为例,1975年平炉钢占年产量的22%,平炉到八十年代初将全部被淘汰。但是,即使是炼钢工业发达的国家,到1985年止仍将有少数平炉继续使用,或加以改造。

过去的五年,由于需要量减少,英国耐火材料产量降低了,并由于钢产量减少和平炉法向转炉法转变的结果,硅砖、烧成粘土砖和镁砖显著下降。尽管耐火材料的总需求量和上述种类的材料减少了,但在高铝和可塑料、浇灌料和捣打料制品方面,有了实质的收益,输出也有所增加,表1-3列出了在1970~1975年耐火材料的销售量(以千吨为单位)。

表 1-3 英国耐火材料销售量

单位:千吨

	1970年	1975年
硅砖和硅质砖	88	60
一般硅砖	80	32
粘土砖	740	408
高铝砖(<60%Al ₂ O ₃)	56	47
高铝砖(>60%Al ₂ O ₃)	75	103
浇注用制品	120	110
镁质和镁铬砖	282	164
白云石(烧成的和焦油结合的)砖	50	60
不定形耐火材料	30	68
总销售量	1521	1052
本国销售量	1390	859
输出	131	193
本国钢铁销售比例, %	75	67

一、英国钢铁工业的发展

高炉——继续向大型化、高产量的方向发展，炉子的严重蚀损部位主要使用粘土质、高铝质和碳质耐火材料。

直接还原炼铁——已经发展到新的阶段，亦即采用重整天然气，作为主要燃料。油和天然气价格的提高，对进一步发展带来了某些困难。这些炉子主要使用粘土耐火材料。1975年世界上直接还原的生产能力是5.2百万吨。英国钢公司在苏格兰建成了一个直接还原的炼铁厂。

Q-BOP（质量—碱性吹氧炼钢法）——这种碱性氧气工艺的底吹变革，未必会引起耐火材料需要量的重大变化。

小型工厂——一般是以电炉与连铸为基础来制造小型制品的。现在美国年产1500万吨的钢厂有66个。小型电炉炼钢的进一步发展，将导致再还原粒铁的增加。而碱性和高铝耐火材料的消耗量也将增加。

连续炼钢——预计到1985年将有些工厂投入生产。

二次炼钢法——2次精炼和脱气工艺，例如VAD（真空氩脱碳炼钢法）、VOD（真空吹氧脱碳）、AOD（氩氧脱碳炼钢法）、RH（真空循环脱气法）、DH（真空虹吸钢水脱气法），以便利用低成本原料以满足高质量钢的需要。预期在下一个年代，二次精炼工艺将继续发展并可能出现新的工艺，所有这些方法都需要使用优质碱性砖。可以想象AOD法（或其它的变种）将获得最普遍的采用，AOD的世界生产能力到1976年底，每年达4.5百万吨。直到目前，AOD法每吨优质钢消耗15~30公斤镁铬砖，在欧洲各国使用烧成白云石砖，仍将继续。

盛钢桶——为了改进浇注工艺，传统式的塞棒式塞头砖与水口砖，将被滑板式特殊水口所取代。滑板主要是用莫来石结合的板状氧化铝制成，也有使用锆英石和镁砂制造的。

盛钢桶桶衬将从目前的粘土砖逐渐转变成高铝或碱性砖。

连续浇铸——中间盛钢桶、中间盛钢桶涂层、水口和套管等将采用特殊耐火制品。

预测到1985年,英国将有大量的新型耐火材料投入市场。因此预期原料和成品数量将要连续上升,并且对优质耐火材料和产品形状的多样性方面的要求将继续增加。

1. 炼铁

高炉衬砖主要使用硅酸铝和碳质耐火材料,预期直接还原工艺也将使用硅酸铝质耐火材料。

2. 炼钢

BOP(碱性吹氧炼钢法)炼钢——耐火材料单位消耗不断下降,其趋势是朝着综合消耗约2.8公斤/吨钢发展。在美国目前大约是2公斤/吨钢耐火砖或砌块和0.8公斤/吨钢喷补料。目前英国消耗大约是4.5公斤/吨钢。在美国和日本镁砖与死烧白云石的比例约为80:20,在德国1974年的比例是62:38,而在英国目前是20:80。英国耐火材料使用的趋势,是趋向美国或日本的。但是,因为在欧洲死烧白云石比镁石的价格低,情况就复杂了。

电炉炼钢——虽然耐火材料被水冷炉壁所取代,但电炉炼钢仍为优质耐火材料的主要消耗者,其耐火材料的单位消耗为5.5公斤/吨钢。目前资料表明,再还原粒铁的使用将导致耐火材料磨损程度的增加。

在1963~1973年间,英国所有主要电炉,从硅砖炉顶都改成了高铝砖炉顶。在高功率电炉中,目前已从高铝砖逐渐改变为碱性砖。

在美国,目前普遍用低级镁砂用于电炉墙喷补,但在英国仍不普遍。英国对日本水冷电炉壁的发展很感兴趣。它的广泛采用急剧地降低了碱性耐火材料的消耗。

二、英国耐火材料工业的进展

近几年来,硅质耐火材料又有重新发展的趋势。主要是从提高焦炉硅砖的体积密度和高温强度着手,以便最大限度地满足使用要求。

在硅酸铝质不定形耐火材料中,磷酸盐结合剂的使用范围有所增加;同时也出现了采用膨胀粘土所研制的新盛钢桶衬砖。磷

酸盐结合的高铝砖也成功地使用于电炉炉顶。磷酸结合的喷补料以及浇灌料等不定形耐火材料，也被广泛地应用于焦炉和高炉的某些部位。

焦油浸渍硅酸铝砖被用于鱼雷式铁水罐中。

在英国，碳质耐火材料发展很快。抗磨损、高传导率碳质制品已成为正规产品。标准的耐磨损制品继续使用致密的冶金焦炭。高传导率制品使用焦炭和人工石墨的混合物；石墨制品使用片状石墨。

在英国和欧洲，焦油结合死烧白云石质砖，主要是用于BOP转炉。他们十分强调采用高熔点沥青，以期相应地增加砖中的碳含量。另外由于砖中的石灰成分有易于水化的缺陷，所以对白云石制品，应尽量解决储存问题。

因为英国白云石是难以直接死烧成制砖用高密度熟料的，现在斯梯特尔公司采用二步煅烧法。

烧结白云石砖将继续成功地用于各种场合，尤其是在水泥回转窑中。

碱性氧气过程使用的砖和砌块，目前的趋势是向高密度、高纯度、高Ca/Si比和低硼方向发展。电炉、二步精炼炉（AOD），有色金属炉和水泥窑使用的砖是向着镁铬共同烧结发展。镁铬共同烧结制品是以低氧化钙的氧化镁和低氧化硅的铬矿为原料而制得的具有相似尖晶石相结构的高密度、高纯度产品。用该原料制造的砖，具有特殊的高温强度和极好的抗渣性。用转炉渣实验测得的该砖的抗渣性列于表1-4。

表 1-4 镁铬砖抗转炉渣实验结果

砖 种	磨 损, %
完全共同烧结料的制品	5
高共同烧结料的制品	7
部分共同烧结料的制品	12
直接结合的标准制品	22

这些砖的其他性质列于表1-5。

电炉炉墙和炉顶砖的应用示于图1-1和1-2。

表 1-5 以镁铬共同烧结料制得的
烧结镁—铬砖的典型性能

性 能	种 类			
	完全共同烧结	高比率共同 烧 结	部分共同烧结	直接结合
化学成分, % (重量)				
SiO ₂	1.3	1.6	1.8	2.1
Al ₂ O ₃	6.5	9.0	11.4	11.2
Fe ₂ O ₃	11.8	10.0	8.3	6.5
Cr ₂ O ₃	18.7	17.1	14.9	13.8
CaO	0.7	0.8	0.8	1.0
MgO	60.2	61.2	62.4	64.0
体积密度, 克/厘米 ³	3.2	3.15	3.10	3.07
气孔率, 显气孔率, %	15.2	16.2	17.3	17.6
气孔率, %	16.0	17.0	17.8	18.0
透气性, 达因×10 ⁻⁵	1.9	3.5	5.0	6.0
平均气孔直径, 微米	12	16	21	25
<20微米的气孔, %	70	60	49	44
<10微米的气孔, %	42	32	26	28
<5微米的气孔, %	18	14	13	14
20℃耐压强度, 公斤/厘米 ²	560	450	400	380
1800℃, 重烧5小时体积变化	-0.8	±1.0	±1.0	±1.0
抗折强度, 公斤/厘米 ²				
1260℃	130	120	106	95
1400℃	95	80	70	65
1500℃	55	45	35	30
1600℃	35	30	15	15

英国曾引进了一套高压过滤海水镁砂生产设备, 它可以生产出固态氢氧化镁大于70%的滤井。然后用一步煅烧工艺, 制成高密度镁砂。

异型产品的生产有很大的发展, 它与钢的浇注和铸造 (包括滑板阀门和特殊水口, 中间包内衬和涂层, 以及水口和套管) 有关。主要应用莫来石结合的板状氧化铝、氧化铬和熔融石英。目