

耐火材料应用

冶金工业出版社

耐火材料应用

韩行禄 刘景林 编著

冶金工业出版社

前 言

近二十年来,国外各种工业部门的新技术新工艺不断涌现,推动了工业窑炉和耐火材料的发展,其重要标志是:现代窑炉大型化和自动化;耐火材料品种增加和质量提高;筑炉施工技术多样化和机械化;窑炉的生产能力增大、节能效果显著;使用寿命延长和综合消耗降低。为了掌握这些情况,我们收集了大量的生产技术资料,编著了《耐火材料应用》一书。作者期望,本书能对我国工业窑炉的寿命提高、产量增加和消耗降低有所帮助,同时对从事耐火材料新品种研制与应用的科技人员有所借鉴。

本书较全面地阐述了国内外钢铁、有色、建材、石油化工和电力等工业部门的现代窑炉和新工艺设备用耐火材料的品种、性能,窑炉内衬损毁机理及对耐火材料的基本要求、使用寿命及其影响因素,提高寿命的技术途径和今后的发展方向。书中较详尽地论述了在钢铁工业中推行窑炉大型化、炼钢氧气化、精炼炉外化和铸锭连续化等技术政策后,窑炉用耐火材料的品种与质量的变化,强化操作对热工设备内衬的影响等。同时,简明地介绍了各种工业窑炉的技术特征、发展过程、生产工艺操作、节能措施和技术经济指标。对于耐火材料的品种构成和质量变化,耐火砖新品种、不定形耐火材料和耐火纤维的生产与应用,也作了扼要地介绍。本书以介绍国外近年来的情况为主,并与国内的情况进行了对比。编写系以工业部门和窑炉种类划分章节的,力求简明和实用。

梁训裕高级工程师悉心审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见,在此,我们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,立论不准和取舍不当之处自属难免,殷切地期望读者给予批评指正。

韩行祿 刘景林

39150

1983年

目 录

第一章 概述	1
第一节 冶金窑炉的发展	2
一、炼钢炉	2
二、高炉	6
三、加热炉	7
第二节 耐火材料的发展	9
一、耐火材料生产技术	11
二、耐火材料新品种	14
三、不定形耐火材料	16
四、耐火纤维材料	21
第三节 窑炉用耐火材料的评述	24
第二章 炼铁系统用耐火材料	33
第一节 高炉	33
一、炉壁用耐火材料	33
二、炉底用耐火材料	52
第二节 高炉出铁口、出铁沟	64
一、高炉出铁口	64
二、高炉出铁沟	68
第三节 热风炉	78
一、结构型式和炉衬损毁机理	78
二、耐火材料衬里的使用与发展	82
第四节 铁水罐和混铁炉	94
一、铁水罐	94
二、混铁炉	97
第五节 焦炉和团矿烧结炉	99
一、焦炉	99
二、团矿烧结炉	112

第三章 炼钢炉用耐火材料114

第一节 氧气转炉114

一、发展概况114

二、炉衬材质和性能118

三、炉衬损毁机理126

四、综合炉衬与拆筑机械化130

五、炉衬寿命及操作因素的影响140

六、喷补技术152

第二节 平炉159

一、概况159

二、耐火材料的改进及使用情况162

第三节 电炉171

一、炉衬损毁机理172

二、炉顶用耐火材料173

三、炉墙用耐火材料180

四、炉底和出钢槽用耐火材料185

第四章 炉外精炼用耐火材料190

第一节 概况190

第二节 分批脱气法和钢包脱气法193

一、真空循环脱气法 (RH法)193

二、真空提升脱气法 (DH法)199

三、钢包脱气法205

第三节 真空加热钢包精炼法208

一、VOD法及RH-OB法209

二、VAD法和ASEA-SKF法215

第四节 常压精炼炉226

一、AOD法226

二、CLU法233

第五节 钢包喷粉精炼法234

一、TN法和SL法234

二、钢包用耐火材料237

三、喷枪用耐火材料240

第六节 铁水脱硫	242
第五章 铸造用耐火材料	246
第一节 盛钢桶	246
一、砖砌内衬	246
二、投射内衬	254
三、捣打内衬	258
四、浇注与振动的内衬	261
五、内衬喷补	265
第二节 中间包	267
第三节 塞棒和水口系统	274
一、塞棒系统	274
二、滑动水口装置	275
三、浸入式水口和长水口	286
第四节 保温帽、绝热板和发热剂	291
一、保温帽	291
二、绝热板	291
三、发热剂	293
第六章 轧钢用耐火材料	296
第一节 均热炉	297
一、一般情况	297
二、砖砌炉衬	299
三、耐火可塑料炉衬	306
四、耐火浇注料炉衬	313
五、炉衬喷补	322
第二节 加热炉	324
一、一般情况	324
二、砖砌炉衬	328
三、耐火可塑料炉衬	334
四、耐火浇注料炉衬	343
五、节能措施	353
第三节 热处理炉	361
一、耐火纤维的性能和使用	362

二、耐火纤维炉衬的施工	369
第七章 有色冶金用耐火材料	375
第一节 概况和炉衬损毁机理	375
一、概况	375
二、炉衬损毁机理	376
第二节 炼铜炉	378
一、冰铜熔炼炉	380
二、粗铜熔炼炉	388
三、粗铜精炼炉	394
四、电解铜的制取和铜熔化炉	395
第三节 铅、锌熔炼炉	397
一、铅熔炼炉	397
二、锌熔炼炉	398
三、铅锌密闭鼓风炉	402
第四节 镍铁熔炼炉	404
第五节 炼铝工业炉	405
一、回转窑	406
二、电解槽	406
三、熔炼炉及保温炉	407
四、有色金属浇铸用滑动水口	409
第八章 建材工业窑炉用耐火材料	412
第一节 水泥窑	412
第二节 玻璃熔窑	428
一、玻璃熔窑的窑型及特征	429
二、窑衬损毁机理	431
三、耐火材料的使用	437
第三节 石灰窑	449
第九章 其它工业窑炉用耐火材料	458
第一节 耐火砖高温烧成窑	458
第二节 碳素类制品用窑炉	465
一、碳素制品焙烧炉	465
二、煅烧石油焦用回转窑	466

第三节 石油化工工业炉	467
一、石油工业炉	468
二、化工工业炉	471
第四节 蒸汽锅炉	480
一、发电锅炉	480
二、普通锅炉	485
第五节 废物焚烧炉和工业烟囱	486
一、废物焚烧炉	486
二、工业烟囱	493
主要参考文献	496

第一章 概 述

窑炉用耐火材料的种类是十分广泛的，主要分为烧成耐火材料和不烧耐火材料两大类，或者分为定型制品和不定形耐火材料两大品种。近年来，各国十分重视耐火材料制造技术、基本理论和炉衬损毁机理的研究，从而提高了耐火材料的质量，研制了新品种，满足了工业窑炉发展的需要。同时，做到了窑炉设计合理、选材得当、精心筑炉和严格操作，促进了窑炉使用寿命的提高，降低了耐火材料的消耗。

工业窑炉的节能是当前的重要任务，也是今后研究的中心课题。为此，要进行窑炉结构改革或发展新炉型，要积极采用轻、重质耐火材料的复合炉衬。同时，应迅速发展不定形耐火材料、轻质高强材料和耐火纤维及其二次加工制品，并尽快在工业窑炉上推广应用。

耐火材料技术的进步是与工业发展分不开的。近二十多年来，各种工业部门的新技术和新工艺不断涌现，促进了工业窑炉的变革，推动了耐火材料工业的发展，其重要标志是：工业窑炉大型化、自动化和高效化；耐火材料的品种增加、质量提高和消耗降低。同时，施工技术水平显著提高，筑炉方法也趋于多样化和机械化。

耐火材料是工业性的辅助材料。表1-1为各国工业部门耐火材料的消耗比例。从表中看出，冶金工业部门消耗的耐火材料最多，约占其总数的60~70%；建材系统包括水泥、石灰、玻璃和陶瓷等工业部门，其消耗比例为8~20%；机械及其它工业部门，耐火材料的消耗比例占其总数的20%左右。

应当指出，耐火材料的消耗是与各国不同时期的工业结构和技术水平密切相关的，同时也与耐火材料的品种、质量和生产操作技术分不开。简而言之，冶金工业技术的发展，直接影响耐火

材料的消耗，也推动着耐火材料工业的进步。

表 1-1 各国工业部门耐火材料的消耗比例，%

国 名	日 本	西 德	美 国	苏 联	英 国	法 国
钢 铁	69.7	57.7	50.7	60.1	} 73.7	65.0
有 色	1.9	2.7	6.5	4.0		4.0
建 材	10.3	16.0	17.8	8.1	9.1	14.5
石 油 化 工	1.4	1.5	2.7	4.7	1.3	4.0
发 电 锅 炉	0.1	1.1	0.8	—	1.1	—
机械及其它	16.6	21.0	21.5	23.1	14.5	13.5

第一节 冶金窑炉的发展

冶金窑炉的种类繁多，主要有焦炉、高炉、转炉、平炉、电炉、精炼炉、加热炉和热处理炉、竖窑、有色冶金炉及其它热工设备，其使用温度一般从1000°C到1700°C左右。

一、炼钢炉

在冶金窑炉中，炼钢炉占有重要地位，主要包括转炉、电炉和平炉等，使用温度高，工作条件苛刻，即或用优质耐火材料，其消耗量仍很大，几乎占冶金工业耐火材料消耗的60%左右。从冶金发展史上看，任何一种熔炼炉的产生与发展都是与耐火材料的品种增加和质量提高分不开的，两者是相互促进的。

众所周知，在十九世纪下半叶，几种工业性的炼钢方法先后投入使用，促进了钢铁工业的发展，当时西欧处于领先地位；进入本世纪，美国急起直追，积极发展钢铁工业。第二次世界大战后，苏联大量建造平炉，日本则采用顶吹氧气转炉，均使钢产量迅速增长；到1970年左右，美国、苏联和日本的钢产量都已超过一亿吨。到1980年左右，全世界每年钢产量达到了七亿吨左右。

表1-2为若干国家历年的钢产量。

从表1-2中看出，苏联钢产量基本上是直线上升的；日本钢产量在三十二年中增加20多倍，其发展速度最快；西德和意大利的钢产量一般也是逐年增加的。另外，最近几年主要产钢国家的

冶金工业发展速度减慢，钢产量处于停滞徘徊状态。某些发展中国家的钢铁工业，进行了旧厂改建或建新厂，使钢产量显著提高，发展速度较快。

表 1-2 若干国家历年的钢产量，万吨

年 度	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1981	1982
美 国	8785	10617	9006	11898	11914	10594	10146	10884	6570
日 本	484	940	2213	4116	9332	10231	11140	10167	9950
苏 联	2730	4527	6529	9100	11588	14132	14793	14800	14750
西 德	1212	2133	3410	3682	4504	4041	4384	4161	3590
英 国	1655	2000	2499	2744	2831	2019	1128	1557	1380
法 国	865	1263	1727	1960	2377	2153	2317	2113	1840
意 大 利	—	589	823	1268	1727	2183	2650	2456	2400
全 世 界	18930	27040	34660	45890	59400	64630	71830	70800	64500

炼钢方法的演变过程一般是与资源情况、技术水平和经济效益等条件有关。例如，开始阶段由于酸性（即硅质）耐火材料较为成熟，发展了工艺简单的酸性转炉和酸性平炉炼钢法，一般只能冶炼低磷和低硫的铁矿石。但是，这种原料在自然界中并不多，因此到本世纪初，发展了以镁质类耐火材料作炉衬的碱性炼钢炉，即碱性的托马斯转炉和平炉。托马斯转炉适用于冶炼高磷铁矿石，平炉则适用于各种原料条件；到六十年代，氧气转炉炼钢法显示了巨大的优越性，其钢产量已达到3~4亿吨，超过了世界钢产量的一半，而且正处在上升阶段。图1-1为世界不同炼钢法的钢产量比例变化。

从图1-1中看出，世界各国炼钢方法发生了深刻的变化，平炉炼钢逐渐减少，崛起的氧气转炉炼钢不断增加，并已占统治地位。因为两者相比，氧气转炉炼钢具有以下优点：1）占地少、基建费用低，约为平炉的60~70%；2）冶炼时间短，40分钟左右就可炼一炉钢，因此生产效率高、操作费用低；3）炉龄高，是平炉的1~5倍，耐火材料消耗少；4）适应性强，冶炼钢种多，质量好，成本低。另外，电炉炼钢发展也很快，由于电费的

降低，普通钢也用电炉冶炼。在今后相当长的时间里，将是氧气转炉和电炉的炼钢时代，这两种炼钢炉也将不断地完善和发展。

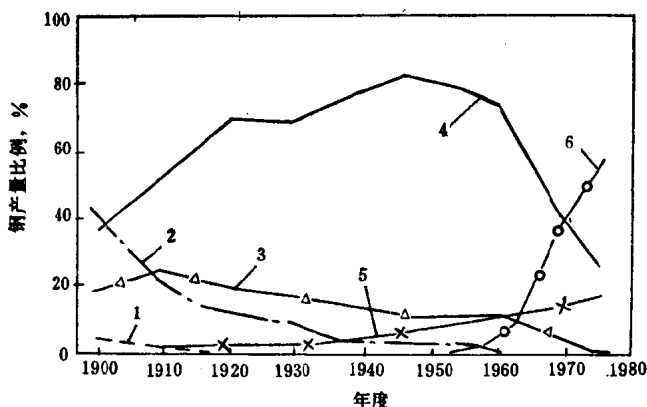


图 1-1 世界不同炼钢法的钢产量比例变化

1—熟铁坩埚法；2—贝塞麦转炉法；3—托马斯转炉法；4—平炉法；

5—电炉法；6—氧气转炉法

第二次世界大战以后，世界主要产钢国家为了提高钢的产量和质量，大都采用先进技术和装备对老厂进行技术改造或重新建厂，均取得了积极效果。

在老厂改造中，要充分考虑各环节之间的衔接和各工序之间的平衡，要充分利用原有的厂房、构筑物及设备，争取做到少花钱、收益大；在新建厂时，要根据资源和市场的条件，合理选择厂址。要全面规划，分期建设和逐步形成生产能力。一般先建轧钢厂，后建炼铁厂和炼钢厂。这样做，建设项目少、工期短，生产能力大，有利于资金的周转和积累。

日本钢铁工业是在五十年代发展起来的，主要是老厂改造与新建厂相结合，积极采用先进技术和大型装备，使钢铁工业面貌焕然一新，其特点是沿海建厂，生产的钢已占全国钢产量的80%。同时，装备大型化、自动化和高效化。图1-2为日本历年来的转炉最大容积和累计座数。目前，日本的主要炼钢设备是氧气转炉

和电炉，最后一座平炉已于1977年熄火。这说明了日本以经济效益为前提，积极采用先进技术，迅速更新设备，提高了产品的竞争能力。西德情况与日本的类似，但平炉炼钢尚未消亡。

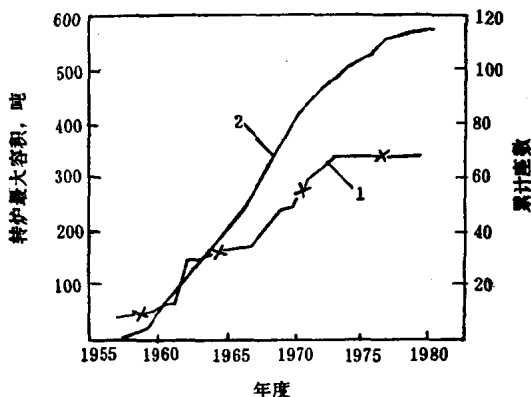


图 1-2 日本历年来的转炉最大容积和累计座数

1—最大容积；2—累计座数

苏联钢铁工业的建厂方针一般是靠近原料基地，并以兴建大型平炉为主，其最大容积为900吨，称为世界平炉王。为了提高平炉的生产率，有些平炉改造为双床平炉，并采用氧气炼钢。进入七十年代，也建设了不少氧气转炉。但是，到1980年仍是以平炉钢为主，占总钢产量的60.4%，转炉钢仅占29%，电炉钢约占10%。

美国钢铁工业发展较早，技术水平较高，炼钢的主要设备是平炉，1955年一亿多吨的钢产量中，平炉钢占90.1%。为了提高平炉钢的产量和降低其成本，采用碱性炉顶、扩大装入量和喷吹氧气等技术措施，使平炉小时产量提高2~4倍，但与氧气转炉相比，还有较大差距，产品也缺乏竞争能力。因此，从六十年代起，陆续将平炉拆除，兴建氧气转炉或电炉。例如，琼斯·劳林公司对匹兹堡厂进行改造，全部施工时间为16个月。该厂拆除六座碱性平炉，建造两座350吨电炉，钢产量保持原有水平，其它

设备也基本上不动。做到了边拆除、边建设和边生产，三者密切配合，对当年度的钢产量影响较小；再比如，费尔菲德厂将平炉改建为底吹氧气转炉，钢产量保持不变，原有厂房和设备大体上均可利用，其投资为新建厂的54%。另外，美国也新建了一批氧气转炉炼钢厂。到1980年，氧气转炉和电炉的钢产量占总钢产量的比例分别从1960年的3.4%和8.9%增加到61.2%和27.2%，平炉钢的比例则由87%相应地降低到11.6%。

法国瑟雷芒日钢厂在保持年产量300万吨、原厂房和设备基本不动的情况下，将平炉拆除兴建容积为240吨的底吹氧气转炉，铁水加碳酸钠进行预处理，钢水进行炉外精炼。这套装备可以将高磷铁水或原料冶炼成低碳($C \leq 0.02\%$)和低磷($P \leq 0.017\%$)的钢，供给薄板轧机使用。

我国钢铁工业发展速度较快，1982年钢产量为3700万吨，平炉钢和转炉钢的比例基本相当，约占总钢产量的37%，电炉钢为24%左右。但是，在炉子吨位、装备水平、原料构成、耐火材料质量品种和冶炼工艺操作等方面，与国外还有较大的差距。因此，要尽快采用先进的技术和装备，改造老厂，适当建新厂；要加强企业管理，提高劳动生产率，增加经济效益。

在国内外，无论老厂改造还是重新建厂，炼钢熔炼炉绝大多数是采用氧气转炉，有时也采用电炉。同时，发展了炉外精炼和连续铸锭等技术，形成了当代炼钢系统装置。目前，全世界氧气转炉约为550座，最大容积为410吨，其炼钢能力约为5.2亿吨。

总之，炼钢熔炼炉及其附属设备的发展十分迅速，炉子容积不断扩大，自动化水平日新月异，生产率显著提高，炉子寿命逐渐延长，经济效益越来越大。另外，环境保护措施，也提到了议事日程。

二、高炉

炼铁高炉主要是向大型化方向发展，目前世界上已有21座容积大于4000米³的高炉，最大炉容为5070米³，其中，日本占有15座大型高炉。现代高炉的炉顶压力为2~3公斤/厘米²，热风温度

最高可达到 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，送风压力为 $3\sim 4$ 公斤/厘米²，同时采用富氧鼓风和喷吹燃料等技术措施，提高了高炉的产铁量，成本也有所降低。

图1-3示出了日本高炉最大炉容及操作条件的变化。从图中看出，在三十年里，日本高炉最大容积从 1000米^3 左右增大到 5000 多 米^3 ，热风炉送风温度由近 430°C 提高到 1200°C 以上，送风压力从 0.8 公斤/厘米²左右提高到 3 公斤/厘米²以上。这说明随着高炉的大型化，冶炼强度提高，操作条件日益苛刻，高炉寿命由 10 年左右下降到 $5\sim 7$ 年。

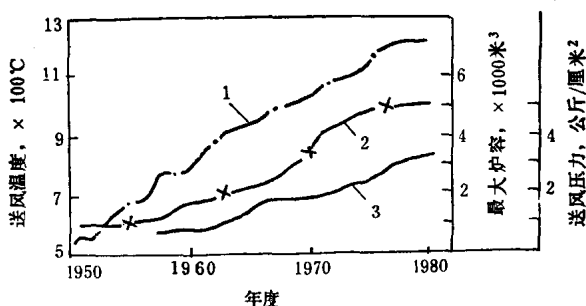


图 1-3 日本高炉最大炉容及操作条件的变化

1—送风温度；2—最大炉容；3—送风压力

高炉热风炉炉体结构从内燃式向外燃式或顶燃式的方向发展，目前应用最多的是外燃式热风炉，即蓄热室与燃烧室分开，分别设于两个圆筒中，两者用架桥通道连接。该种热风炉的炉顶温度为 $1500\sim 1560^{\circ}\text{C}$ ，热风的平均温度为 1200°C 左右。在这种情况下，格子砖上部及其墙体和球顶等部位，长期在高温条件下工作，因此应选用高温蠕变特性和体积稳定性良好的耐火砖砌筑。

三、加热炉

加热炉是轧钢或锻钢车间的主要热工设备。现代加热炉的炉体结构与过去相比变化较大，主要特点是大型化和自动化。例如，过去一般采用端烧嘴连续加热炉烧钢，炉子长度为 $20\sim 35$

米；现在多用步进梁式或步进底式加热炉，其长度为25~40米，最长达50多米。烧嘴布置在侧墙或炉顶上，也可在两个部位同时布置烧嘴。这种炉子加热质量好，操作方便，调温灵活，热能利用好，生产效率高。

应当指出，步进梁式加热炉和炉顶平焰烧嘴加热炉的产生与发展是与耐火可塑料和耐火浇注料在加热炉上的成功应用分不开的。

步进梁式加热炉是1960年左右投入工业性生产的，其技术关键是用水冷管组成的步进梁和固定梁。该梁的寿命要延长，同时必须尽量减少冷却水带走的热量，否则炉子的生产率和热效率太低，没有生命力。当采用耐火可塑料或耐火浇注料包扎水冷管后，解决了上述的两个问题。炉顶平焰烧嘴加热炉是七十年代初诞生的，其特点是炉顶为平形的，安装有数十个烧嘴。该炉顶采用耐火砖难以砌筑，采用不定形耐火材料适应了筑炉的要求，而且整体性强、使用寿命高。这种炉子的炉顶工作面与有效炉底的距离只有一米多高，炉体结构紧凑，能节约耐火材料和钢材。同时，火焰直接烧钢，热效率高，可以节约能源。

生产实践证明，步进梁式加热炉和炉顶平焰烧嘴加热炉具有明显的经济效益，在国内外得到了普遍的推广与应用，是今后重要的发展方向。

随着加热炉的大型化和节能的要求，筑炉材料也发生了较大的变化，大致分为三个阶段：第一个阶段，加热炉主要是采用粘土砖和高铝砖砌筑的；第二个阶段，从六十年代中期开始，在加热炉上广泛采用不定形耐火材料，其施工方法有现场捣打、现场浇灌和预制构件吊装等；第三个阶段，从七十年代后期开始，围绕着加热炉节能，广泛采用耐火纤维和各种轻质耐火材料进行筑炉，一般做成复合炉衬，有的可以直接使用，但其寿命有待进一步提高。

总之，随着工业的发展，冶金窑炉也发生了巨大的变化，操作条件更加恶劣，对耐火材料的要求越来越高。另外，新技术和

新工艺层出不穷，也推动了耐火材料的进步。

第二节 耐火材料的发展

最近二十多年来，由于在钢铁工业中推行高炉大型化、炼钢氧气化、精炼炉外化、铸锭连续化和操作自动化等一系列技术政策，促进了耐火材料工业的发展，主要标志如下：采用优质原料、高压成型、高温烧成，因此产品质量提高，品种增加；高级耐火材料，特别是不定形耐火材料和耐火纤维发展迅速，使用普遍；耐火材料生产技术和自动化水平，以及劳动生产率均得到了提高。

主要产钢国家历年的耐火材料产量和品种比例变化，列于表1-3和表1-4。

表 1-3 主要产钢国家历年的耐火材料产量，万吨

年 度		1955	1960	1965	1970	1975	1980	1981
美 国	耐火砖	490	373	379	308	312	231	119
	不定形	48	53	109	165	194	197	108
	合 计	538	426	488	473	506	428	227 ^①
苏 联	耐火砖	521	666	780	845	873	—	—
	不定形	—	—	—	—	440	—	—
	合 计	521	666	780	845	1313	—	—
日 本	耐火砖	73	156	165	301	200	172	153
	不定形	—	3	6	52	89	91	89
	合 计	73	159	171	353	289	263	242
西 德	耐火砖	152	265	150	152	111	97	—
	不定形	64	—	68	67	64	65	—
	合 计	216	265	218	219	175	162	—
英 国	耐火砖	245	164	140	122	97	42	—
	不定形	—	35	31	—	34	39	—
	合 计	245	199	171	122	131	81	—

① 上半年产量。