

现代烧结工艺 技术

韩家忠 编



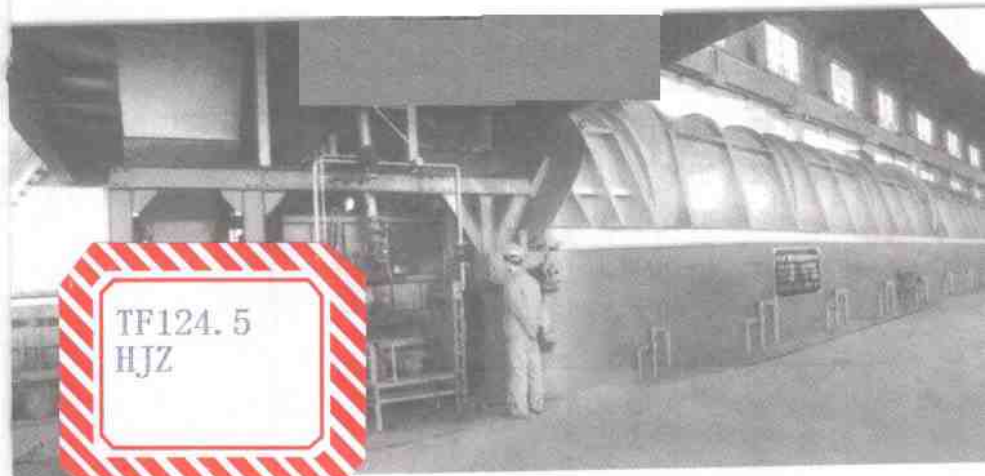
中国新闻联合出版社

现代烧结工艺

TF124.5
HJZ

Modern

韩家忠



TF124.5
HJZ



中国新闻联合出版社

现代烧结工艺技术/韩家忠 主编—中国新闻联合
出版社 (CHINA NEWS UNITED PUBLISHER), 2006.10
ISBN 988-99051-8-3

现代烧结工艺技术

主 编 韩家忠
责任编辑 杨亚平
出 版 中国新闻联合出版社
CHINA NEWS UNITED PUBLISHER
地 址 香港上环苏杭街 49-51 号建安商业大厅 7 字楼

开 本 850×1168 毫米 1/32
印 张 12.625
字 数 280 千字
版 次 2006 年 10 月第 1 版
2006 年 10 月第 1 次印刷
印 数 1—5000 册
定 价 35.00 元

版权所有 违者必究



韩家忠，1951 年生，山东省安丘县人。烧结专业高级工程师。历任冶炼厂技术员、班组长、工段长、主任工程师、厂长、总工程师、烧结工程总设计师、工程总指挥等职。

长期从事烧结专业的生产操作、生产组织、技术改造、工程设计、技术研究等工作，曾编写近 30 余万字的《烧结讲义》及专业读物，多次在省、地区及国家专业研讨会议上演讲，具有一定的独立见解和独创性。许多技术项目在本行业中已被广泛使用。

咨询电话 :13938875312

责任编辑：杨亚平

责任校对：吕改荣

封面设计：本社排版设计部

目 录

概 述	1
第一章 烧结工艺	8
第一节 烧结生产过程简介	8
第二节 几种不同人造富矿方法的介绍	10
第三节 炼铁生产对入炉铁料的质量评价	16
第二章 烧结原料及其烧结特性	28
第一节 含铁原料	28
第二节 熔剂及其他添加料	45
第三节 固体燃料	55
第四节 烧结原料的中和混匀与贮备	59
第五节 原料的入厂检验及标准	61
第六节 人造富矿技术条件举例	71
第七节 锰 矿	73
第三章 抽风烧结过程基本原理	78
第一节 烧结过程中的层次特点与变化	78
第二节 燃料的燃烧	86
第三节 水分的蒸发与冷凝	95
第四节 碳酸盐在烧结过程中的分解及 矿化作用	98
第五节 烧结料层中的热交换及温度特性	105
第六节 烧结料层中的气流变化与分布	110
第七节 烧结过程中氧化物的分解还原和氧化	111
第八节 固相间的反应	116

第四章	带式鼓风烧结工作原理	132
第一节	概 述	132
第二节	带式鼓风烧结机的结构	133
第三节	带式鼓风烧结过程基本原理	135
第四节	带式鼓风烧结机的发展前景	141
第五节	带式鼓风烧结的生产操作	142
第五章	烧结生产	145
第一节	配 料	145
第二节	混合与制粒	168
第三节	布料与点火	189
第四节	抽风烧结	209
第五节	烧结机的性能及维护	217
第六节	成品矿的处理	225
第七节	烧结环境的综合治理	228
第六章	寒冷地区的烧结生产	234
第一节	原料的防冻	234
第二节	生产系统的防冻	236
第三节	提高混合料温度保持正常的生产效率	238
第七章	强化烧结过程的措施与研究	247
第一节	生石灰配加热水消化的作用	247
第二节	两次混合在烧结工艺布置中的 合理位置	249
第三节	增加生石灰的使用比例	253
第四节	提高通过料层的风量	257
第五节	混合料粒度组成与生产率的关系	270
第六节	烧结过程时的强化措施	273

第七节	提高料层厚度的探讨	281
第八节	燃料在混合料中两次分加的研究	288
第九节	小球烧结与低温烧结的技术与探讨	295
第十节	烧结料的分级强化制粒	299
第八章	烧结矿	302
第一节	高碱度烧结矿	303
第二节	自熔性和酸性烧结矿	323
第三节	其他物质含量的烧结矿	327
第九章	球团矿	334
第一节	球团矿的制造方式	334
第二节	球团与烧结的比较	338
第十章	高炉炼铁基本原理	341
第一节	炼铁生产过程概述	341
第二节	燃料在风口前的燃烧	343
第三节	炉料下降的动力学分析	345
第四节	高炉中水分的蒸发和分解	351
第五节	高炉炼铁过程中碳酸盐的分解	353
第六节	高炉炼铁过程中铁氧化物的还原	356
第七节	高炉内其他氧化物的还原	364
第八节	生铁的形成	367
第九节	造渣与脱硫	368
第十节	炉渣的脱硫	370
附 录		372
编 后		393

概 述

随着钢铁工业的不断发展及自然资源的日渐减少，人造富矿作为钢铁冶炼过程中的一道新兴工序，早已为国内外冶炼业所重视，并在高速度发展中。

工业的发展离不开钢铁，在越来越大的钢铁需求量下，铁矿资源亦在快速地日渐贫乏。能在现有技术条件下具有一定直接入炉冶炼经济价值、含铁品位较高的天然富矿越来越少。随着时间的推移，自然界中的矿石品位也越来越低。这就为人们提出了一个人造富矿的课题，利用自然界中含铁品位较低的铁矿石，通过一系列机械加工程序处理后再加入高炉冶炼，以求获得效率高、效益好的冶炼指标。这个机械处理的方法就是“人造富矿”。

含铁品位较低的天然矿石由矿山开采并运入工厂后，首先进行破碎、加工、选矿处理，制成铁精矿粉。由于这种铁精矿粉的粒度极细（可达 200 网目以下），不能直接加入高炉进行冶炼，需要再把它还原成具有一定冶炼性能的粗粒块状物体，这个将铁精矿粉再还原成“块”的工艺过程就是“烧结”与“球团”。由于受其冶炼性能的影响，高炉炼铁用人造富矿是以烧结矿为主，且烧结矿比球团矿又有较为复杂的过程理论，因此，本文以介绍烧结生产为主要内容，与烧结不同的球团生产工序作为续补内容。

炼铁业的发展有着悠久的历史。早在春秋战国时期我国就

已经有了炼铁工业，同时用铁来制作各种生产工具的技术也已经普及。烧结技术是首先在炼铝业投入使用的。1902年在德国以烧结锅的生产方式生产铁矿粉烧结矿。带式烧结机是由美国发明并于1910年投入使用。第一台烧结机仅有8.32平方米，但这台烧结机的问世却是烧结技术的一大进步，是冶炼行业的一大历史贡献。在这个基础上，进入19世纪20年代，包括德国建造的一台75平方米的带式烧结机在内的其他矿粉造块方式，如烧结锅、回转窑、竖炉等相继投入到人造富矿的工业生产行列中。人造富矿由此在一些冶炼工业发达的国家中进入快速发展的时期。

在19世纪40年代初期以前，世界人造富矿的产量增长速度还是很缓慢的，但在进入40年代中期以后便在几个钢铁先进国家快速发展起来。统计世界烧结矿的逐年产量为：1948年3000万吨，1955年9750万吨，1960年19500万吨，1970年达到了44000万吨，从这些逐年大幅度递增的统计数据不难看出人造富矿在黑色冶炼行业中日显重要的地位。在人造富矿的发展先进国家中以日本最快，其次是美国、德国、法国、前苏联等国家。到20世纪80年代末期为止，在全世界仅有的22台400m²以上的烧结机中，仅日本一个国家就占11台，而且无论在工艺设计、自动化水平、能源利用、环境保护、生产效率、劳动生产率等各方面皆处于领先地位，在诸多稀有元素的回收技术与应用上也是做得最好的国家。无论是在生产规模、生产效率、还是在造块综合技术上，我国一直是比较落后的国家之一。造块工业在我国是解放以后才开始初步发展的。到1962年，我国共有17台烧结机，最大的烧结面积为75m²，生产能力比“一五”期间（1953~1957年）增加3870万吨。到1979年，

我国已建成投产的烧结机达 139 台，有效烧结面积为 6739m^2 ，其中最大的 130m^2 ，最小的 18m^2 ，生产能力 5872 万吨。近几年来我国的钢铁生产发展迅速，一跃成为世界产钢大国，2004 年我国的钢产量达到了 2.8 亿吨，比 20 世纪 80 年代增长了 250%，目前的钢产量已突破 3 亿吨，居世界首位。由此也带动了烧结行业的快速发展，许多具有换代意义的新产品、新技术成功地用于烧结生产。同时，钢的品种结构也发生了巨大的变化，品种的增多带动了出口的发展。2004 年也是我国出口钢数量最大的一年，达到 2.6 亿吨。

在 20 世纪 30 年代末以前，各个国家炼铁原料多以天然矿为主，人造富矿仅占全部入炉铁料的 1%；到 20 世纪 50 年代末，人造富矿的比例也仅有 31%；70 年代为 33%；到 80 年代，一跃上升到 73%。据有关统计资料显示，到目前为止，全世界已探明的有开采利用价值的铁矿资源为 4000 亿吨，天然富矿仅占 4%，并且有些天然富矿由于含有较高的有害杂质，不能直接入炉。由此可见，研究造块技术、发展造块工业在黑色冶炼工业中的重要性。

实践证明，凡造块工业发展快的国家，他们的炼铁技术经济指标也就先进。统计到 1980 年为止，几个先进国家的熟料比分别为美国 86%，日本 89.6%，前苏联 95.7%。（表 0-1-1 列出了这几个国家一段时间内的人炉焦比）

表 0-1-1 几个先进国家的入炉焦比比较

单位: kg/t

焦 比 国 别	年 份	1960	1965	1970	1975	1976	统 计 期平均	备注
美 国		749	656	630	611	594		
日 本		619	567	478	445	427		
前苏联		729	619 (1964 年)	575	546.5	575		
前西德		824	668	559	497	482		
英 国		825	680	625	608	576		
法 国		971	784	626	533	521		

在我国, 70 年代中期以前的炼铁焦比指标以不超过 700~1000kg/t 为控制指标, 由此可见我们国家与世界先进国家在冶炼技术上的差距之大。

除了烧结矿以外, 在人造富矿中, 从 50 年代开始, 球团矿在诸多国家中相继发展起来。目前为止, 球团矿产量最高的国家是美国, 同时, 美国也是最先发展球团矿的国家。与烧结矿相比, 球团矿具有粒度均匀、品位高、冷强度好的优点, 因为球团矿是酸性的, 所以可与碱性烧结矿搭配入炉, 从而可在炉渣碱度不变的条件下, 避开低冶炼性能的烧结矿碱度区域, 从而获得更好的冶炼效果。但是球团矿又有热强度差的缺点, 它在炉身中下部接受高温还原后即因受其相变内应力的作用产生爆裂, 从而破坏高炉的顺行状态。因此, 球团矿只能定量配用。

选择最佳的球团矿配用量, 以求达到理想的冶炼效果, 是各炼铁企业不断研究的课题。烧结矿与球团矿的入炉比例, 各国家、地区、工厂企业视本地区具体条件的不同而异, 1978 年前苏联是 75.6% : 21.25%, 1977 年日本是 75.6% : 14.00%, 1980

年美国 21.00% : 65.00%, 我国目前是以球团矿入炉比例不超过 30% 为界限值。我国的冶炼经验认为, 球团矿的入炉比例一旦超过 30%, 炼铁指标就会下降。关于这方面的内容在今后的章节中还将做更详细的介绍。由以上列出的比例可以看出, 美国的入炉铁料是以球团矿为主的。但自从发现球团矿的高温效应爆裂特性后, 开始考虑提高烧结矿的入炉比例问题, 但由于老厂改造费用太大, 重新建设亦须投入大量建设资金, 因此, 至今仍以球团矿为主。近年来不断有报道提出, 用酸性烧结矿代替球团矿与高碱度烧结矿配合入炉有更好的冶炼效果。表 0-1-2 列出了一段时间内世界炼铁高炉入炉铁料的变化情况。

表 0-1-2 80 年代以前世界高炉炉料结构变化

单位: %

炉料 种 类	年 份	1937	1957	1970	1980
烧结矿	比例	1	29	50	51
球团矿	比例	0	2	17	22
天然生矿	比例	99	69	33	27

在世界各国中, 球团矿应用最好的工厂是在我国山东省的牟平, 全百分之百球团矿入炉冶炼, 高炉利用系数却一直是领先水平, 为国内外冶炼行业所重视, 其原因仍在探讨中。

黑色冶炼技术在我国可谓历史悠久, 但发展缓慢, 究其原因: 一是经济落后; 二是闭关自守。国外的技术引不进来, 国内的技术也很难推开, 这种因循守旧、严重阻碍生产力进步的弊端必须克服。表 0-1-3 是一段时间内我国高炉技术经济指标的统计数据。

表 0-1-3 我国 70 年代高炉技术经济指标

指 标 项 目	年 份	1976	1977	1978	1979	1980	1981	备 注
利用系数 ($\text{t/m}^3 \cdot \text{昼夜}$)		0.994	1.10	1.429	1.487	1.555	1.471	
焦比 (kg/t)		640	623	562	553	535	540	
煤比 (kg/t)		18	21	27	35	39	95.5	
综合焦比 (kg/t)		700	683	623	601	585	576	
热风温度 ($^{\circ}\text{C}$)		828	832	914	933	978	976	
熟料比 (%)		88.8	89.2	88.06	86.73	88.37	90.02	
合格率 (%)		94.46	96.29	99.41	99.81	99.92	99.94	

由于各企业所具备的条件不一样,所以采用的人造富矿的方法亦不同。到目前为止,人造富矿的方法大概如图 0-1-1 所示。

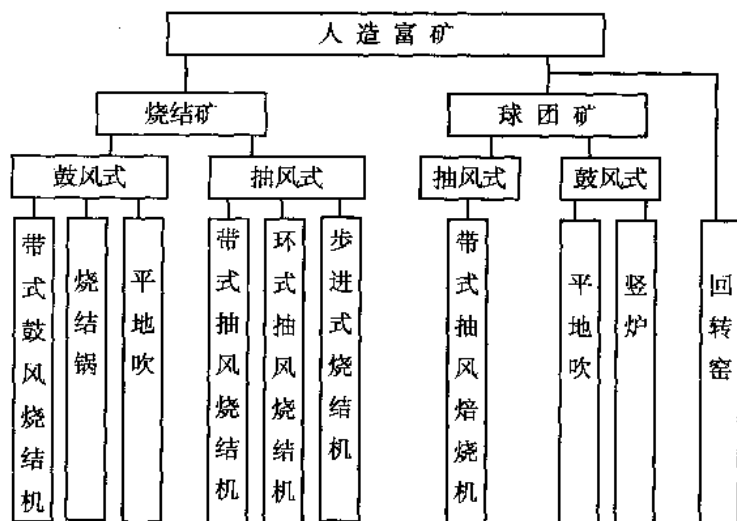


图 0-1-1 人造富矿方法

在诸多人造富矿的方法中，发展较早，应用比较广泛，技术上相对成熟的是带式抽风烧结机与外燃式竖炉球团和回转窑。在国内外使用最多的是带式抽风烧结机。1998~2002 年，具有换代意义的带式鼓风烧结机以其投资少、生产成本低、烧结过程理论合理、便于实施自动化连续作业等其他烧结机无法比拟的优势，相继在铅烧结与铁矿粉烧结中成功地投入使用，并先后获得行业质量认定与专利保护权，正在为烧结市场所认可。（详见第四章介绍）目前正在进行系列化、标准化设计中。同时，带式鼓风烧结机的大型化也正在快速发展中。

带式抽风烧结机具有机械化程度高，易于实施全自动化控制，生产效率高等优点。多年来一直成为国内外大型化生产的首选机型。但与带式鼓风烧结机相比，又有其设备复杂，重量大，电耗高，建设投资高，漏风率高，易损件数量大、消耗高，烧结过程热量偏析大等不足。

环式抽风烧结机与步进式抽风烧结机虽亦有多年的发展历史，但仍因诸多无法弥补的不足而不可能进入烧结业的发展行列，例如，生产效率低、劳动强度大、耗电高等。

第一章 烧结工艺

第一节 烧结生产过程简介

所谓烧结，就是将含铁原料按可满足炼铁生产要求的烧结矿性能，配加定量固体燃料，可满足碱性熔剂后的“烧结料”经加水混合、制粒等工艺过程，制成可使烧结性能得到进一步提高的“混合料”，烧结机点火后，在抽（鼓）风形成的动力作用下供氧燃烧产生热量，使烧结混合料半熔后降温、冷却、固结，再经破碎、筛分、冷却等加工程序后，送入高炉炼铁。执行这个程序的全过程就叫做烧结生产过程。烧结生产如前所述，有多种方式。本书的内容是以带式抽风烧结方式为主，其他烧结方式为辅进行编写的。

随着自然界中铁矿资源的逐渐减少，以及快速进步的工业生产对钢铁业的更高要求，烧结生产的意义日显重要：①可合理的利用自然资源；②可综合使用部分工业废弃物；③可去除部分由烧结料带入的有害物质；④能提高入炉料的冶炼性能。（这是高炉炼铁高效率，降低能耗，降低成本的基础条件）。

烧结生产工艺流程见图 1-2-1 ~ 1-2-2。

作为烧结料主要添加剂的熔剂无论是石灰石（ CaCO_3 ）还是白云石（ MgCO_3 ）、生石灰（ CaO ）、消石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）和固体燃料焦粉无烟煤等，都可以按要求的比例单独或混合使用，但无论使用哪个品种，在既能满足烧结过程基本要求，又尽可能减少加工程序降低加工费用的基础上，一个基本条件就

是必须进行“入配”前的加工。

烧结原料制备合格后的下道工序就是配料加工工序了。配料就是以参加配料的各种原料化学成分为依据,根据炼铁生产组织对烧结矿物理性能、化学成分的要求,以及各类烧结原料的计划供应数量进行精确的配料比例计算,最终确定出各种原料的配合比例,然后进入加水、混合、制粒、加温的工序。

在常规的工艺设计中,配制后的混合料经二次混合机输出后即由胶带输送机转运到烧结机上部的混合料矿槽,通过专用设备按要求的厚度均匀地平铺在烧结机上,按要求的温度与时间点火后即进入烧结料的烧结过程。烧结过程是一个复杂的物理化学反应过程,其反应速度与最终产物是烧结矿产品的质量与烧结生产效率的决定因素。就烧结理论而言,全部烧结过程所伴随的物理化学反应可归纳为以下几个阶段:①烧结过程中沿料层高度的一系列物理化学变化所形成的层次变化;②混和料中固体炭的燃烧反应与一系列的热量交换;③混合料中水分的蒸发、冷凝;④碳酸盐、结晶水的吸热分解;⑤CaO的矿化;⑥铁(锰)氧化物的分解、还原与再氧化;⑦部分有害杂质的去除;⑧固相间的相互反应;⑨在高温下形成部分液体;⑩矿物的冷却、结晶与固结等。

这些诸多复杂的物理化学反应及反应的顺序、反应程度等决定于原料的物理化学性质、混合料条件、其他工艺条件及操作制度和操作制度的执行情况,这些物化反应的最终产物便是一系列烧结矿矿物,不同的矿物有着不同的物化特点与冶炼性能。

烧结过程结束后即形成大块度的烧结矿块,我们习惯把这种已形成烧结矿块,但尚未进入成品加工程序的大块烧结矿称