

岗位技术培训教材

烧结生产操作技术

俸怀明 罗吉璠 等编著
黄 英 鞠永福



冶金工业部西南冶金情报中心
四川省冶金情报标准研究所

技术培训进修教材

烧结生产操作技术

俸怀明 罗吉璈 鞠永福
黄英 黎金华 编著

冶金工业部西南冶金情报中心
四川省冶金情报标准研究所

四川冶金

主 编 俸怀明

责任编辑 姚蓉秋

羿远鹏

技术编辑 滕 敏

封面设计 赖城垣

烧结生产操作技术

俸怀明 罗吉璈 鞠永福

黄 英 黎金华 编 著

编辑出版 冶金工业部西南冶金情报中心
四川省冶金情报标准研究所

发 行 四川省冶金情报标准研究所

地 址 成都市陕西街100号

邮 编 610041

TF

F 6

序

全国200立方米以下的小高炉近千座，总容积达三万立方米，我省约占十分之一。为数众多的小高炉如何吃上精料，是其赖以生存的重要条件。而我国的铁矿多为贫矿，必须经过精选造块才能获得人造富矿，烧结生产就成了中小铁厂的关键环节。

六十年代，地方小铁厂多用土法堆烧，产量低、质量差、环境污染严重，已列为淘汰工艺。七十年代在四川推出了箱式抽风烧结工艺，八十年代在省内外广泛推广，不断完善。八十年代后期，全国不少地方骨干企业又先后新建了装备水平较高的小型烧结机。烧结手段的完善，给推广早在六十年代初期重钢就取得显著成效的高碱度烧结技术铺平了道路。

“高、熟、稳、小、净、匀”的六字精料方针中，“熟”是当前地方中小铁厂提高经济效益的要害！抓不抓烧结，如何抓好烧结，钢铁企业家应倾注应有的关心。

我厅委托省冶金情报所组织了有关教授、专家编写的《烧结生产操作技术》，正可以满足地方中小铁厂炼铁、烧结工作者的渴求。此书深入浅出，偏重实际，集近三十年烧结技术之精华以指导生产，纳各厂实际操作经验以助烧结工人提高技能。愿有心者认真读一读，并在实践中试一试，如能有所裨益，我们将感到十分欣慰。

唐民伟

1993年9月1日

前

言

《烧结生产操作技术》是一本深入浅出、理论联系实际的中、小型烧结厂(车间)烧结工长和烧结技术工人的培训教材,可供省内外地方钢铁厂及技校选作为岗位技术培训教材或教学参考书。主要读者对象是50m²以下中、小型烧结机和箱式抽风烧结的烧结、炼铁技术人员、技术工人和管理干部,对于大、中型烧结厂的烧结工作者和大、中专烧结专业、炼铁专业的师生也有参考价值。

该教材由冶金工业部西南冶金情报中心、四川省冶金情报标准研究所高级工程师俸怀明主编。由俸怀明撰写绪论、第一章和第三章,由重庆钢铁工业专科学校副教授罗吉璈和原重庆钢铁公司高级工程师黎金华撰写第二章,由重庆大学副教授鞠永福撰写第四章,由重庆钢铁公司高级工程师黄英和俸怀明撰写第五章,由俸怀明编写附录。

该教材偏重实际经验,力求学以致用,是一本烧结生产操作技术的总结,是大、中专院校《烧结团矿工艺学》的遗缺和补充。该教材涉及的理论都是与实际生产直接相关的,文字力求深入浅出,初中文化程度也可理解。学好这本教材,有利于提高执行烧结技术操作规程的自觉性,提高烧结生产技术操作水平,提高高炉的精料水平,确保高炉增铁节焦。

该教材的编印得到四川省冶金厅领导的支持和四川冶金炼铁科技情报网的赞助,国家级有突出贡献的专家、四川省冶金工业厅副厅长唐民伟高级工程师为本书作了序,在此表示感谢。

由于时间仓促,编印工作中可能出现一些差错,望作者、读者和炼铁、烧结界的同仁指正。

1993年9月1日

目 录

结论	(1)
§ 1 烧结生产在钢铁工业中的地位和作用	(1)
§ 2 国内外烧结生产现状和发展趋势	(3)
第一章 烧结生产的基本原理	(12)
§ 1 烧结过程的含义及烧结料层变化	(12)
§ 2 烧结过程的物理现象——温度和透气性的变化	(13)
§ 3 烧结过程的物理化学变化	(15)
§ 4 烧结料的要求	(28)
§ 5 烧结过程的强化	(33)
第二章 高碱度烧结矿生产理论及实践	(37)
§ 1 高碱度烧结矿生产的意义及发展状况	(37)
§ 2 高碱度烧结矿的烧结原理	(46)
§ 3 高碱度烧结矿生产的工艺特点	(60)
§ 4 强化高碱度烧结生产与降低燃料消耗的途径	(73)
§ 5 高碱度烧结矿的质量要求	(77)
第三章 烧结工艺的有关计算	(81)
§ 1 烧结生产主要技术经济指标计算	(81)
§ 2 原、燃料制备和混料工序的有关计算	(81)
§ 3 烧结工序的有关计算	(83)
§ 4 烧结配料计算	(86)
§ 5 点火器的燃烧计算	(93)
§ 6 烧结所需抽风机风量计算	(96)
§ 7 烧结过程物料平衡计算	(101)
§ 8 烧结过程热平衡计算	(104)
第四章 箱式抽风烧结生产工艺设备	(109)
§ 1 箱式抽风烧结生产工艺流程	(109)
§ 2 原、燃料的破碎、筛分设备	(111)
§ 3 配料设备	(118)
§ 4 混料设备	(121)
§ 5 点火器	(124)

§ 6	箱体结构及箱体数目·····	(129)
§ 7	烧结抽风机·····	(130)
§ 8	烧结箱上冷却·····	(132)
§ 9	烧结矿破碎、筛分设备·····	(133)
§ 10	烧结废气除尘设备·····	(134)
第五章	带式抽风烧结生产工艺设备及操作·····	(138)
§ 1	带式抽风烧结生产工艺流程及操作要求·····	(138)
§ 2	烧结原、燃料的准备·····	(140)
§ 3	烧结混合料的制备·····	(145)
§ 4	带式烧结机及烧结作业·····	(149)
§ 5	烧结矿的破碎、冷却和筛分·····	(156)
§ 6	烧结机的抽风和除尘系统·····	(160)
§ 7	烧结矿的质量检验·····	(163)
§ 8	烧结生产的环境保护及对策·····	(165)
附录	·····	(167)
§ 1	化学基本知识·····	(167)
§ 2	国际单位制及换算·····	(169)
§ 3	部、省烧结生产技术政策·····	(171)

绪 论

§ 1 烧结生产在钢铁工业中的地位和作用

1.1 粉矿造块的意义和作用

我国的铁矿石大部分都是贫矿，贫矿直接入炉炼铁是很不合算的，因此必须将贫矿进行破碎、选出高品位的精矿后，再将精矿粉造块成为人造富矿才能入高炉冶炼。所以，粉矿造块是充分合理利用贫矿的不可缺少的关键环节。

富矿的开采过程中要产生粉矿，为了满足高炉的粒度要求，在整粒过程中也会产生粉矿，粉矿直接入炉会引起高炉不顺，恶化高炉技术经济指标，因此粉矿也必须经过造块才能入炉。

粉矿经过造块后，可以进一步控制和改善含铁原料的性能，获得气孔率高、还原性好、强度合适、软熔温度较高、成份稳定的优质冶金原料，有助于炉况的稳定和技术经济指标的改善。粉矿造块过程中，还可以除去部份有害杂质，如硫、氟、砷、锌等，有利于提高生铁的质量。因此，人造富矿比天然富矿更具有优越性，成为了现代高炉原料的主要来源。

粉矿造块还可综合利用含铁、含碳、含钙的粉状工业废料，如高炉炉尘、钢渣、轧钢皮、均热炉渣、硫酸渣、染料铁红、电厂烟尘灰等，适当配入可以成为廉价的高炉好原料，又可以减少环境污染，取得良好的经济效益和社会效益。

粉矿造铁是现代高炉冶炼并获得优质高产的基础，对于高炉冶炼有着十分重要的意义，是钢铁工业生产必不可少的重要工序，对钢铁生产的发展起着重要作用。

1.2 粉矿造块的方法

粉矿造块方法很多，主要是烧结矿和球团矿。此外，还有压制方团矿、辊压团矿、蒸养球团、碳酸化球团，其成球方式和固结方法与球团矿不同；还有小球烧结，国外称为HPS球团化烧结矿，介于球团和烧结之间；还有铁焦生产，是炼焦和粉矿造块相结合。

球团矿的焙烧方法主要有：竖炉，带式焙烧机，链篦机一回转窑。目前地方小铁厂还有平地堆烧的。

烧结方法主要有吹风烧结法和抽风烧结法两大类。吹风烧结有平地堆烧、烧结锅、烧结盘；抽风烧结有箱式烧结、平面步进式烧结机、带式烧结机、环形烧结机（即日本矢作式）。国内外普遍采用的是带式抽风烧结机，在我国地方小铁厂还有相当一部分用平地吹风堆烧和箱式抽风烧结。此外，还有回转窑烧结法、悬浮烧结法。

所谓“烧结”就是指粉状物料加热到熔点以下而粘结成固体的现象。发生颗粒粘结的温度大致是：氧化物 $T_{粘}=0.57T_{熔}$ ，硅酸盐 $T_{粘}=0.8\sim 0.9T_{熔}$ 。这种粉料的固体粘结主要靠固相扩散反应、颗粒表面软化以及局部熔化和造渣。烧结矿是以液相胶结为主，扩散粘结为辅，

球团矿则主要靠固相扩散反应形成的连接桥和结晶转化，渣的形成占次要地位。这就是烧结矿和球团矿在固结机理上的区别。

为了减少或取消石灰石直接加入高炉，造成炼铁焦比升高，可以把石灰石粉加入烧结混合料中，制成自熔性或熔剂性的烧结矿，以满足高炉的需要。对于贫矿冶炼的高炉，可以生产超高碱度烧结矿。

球团矿粒度均匀、氧化亚铁低、还原性好、冷强度比烧结矿好，但热强度比烧结矿差。球团矿在高温受热膨胀，易碎率比烧结矿大0.5~1倍，形成0~1mm粉末量比烧结矿多4~9倍，膨胀率最大的范围是 $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.5 \sim 1.0$ ，因此一般认为碱度 < 0.5 的酸性球团矿较好。

由此可见，高炉合理的炉料结构是高碱度烧结矿加酸性球团矿。如杭州钢铁厂的高炉选用碱度2.0~2.3的高碱度烧结矿和碱度0.3~0.4的酸性球团矿各50%的炉料结构，入炉焦比达到了560~570kg/t的先进水平。

炉料结构的选择受各国、各地的矿产资源、技术加工条件和水平、价格等因素限制，特别是我国地方铁厂还受资金限制。我国高炉的炉料结构主要用：100%自熔性烧结矿；以高碱度烧结矿为主，配加天然矿；以天然矿为主，配加超高碱度烧结矿。

由此可见，我国粉矿造块方法主要是烧结生产工艺。因此，本书着重介绍带式抽风烧结机和箱式抽风烧结生产操作技术。

1.3 烧结生产在钢铁工业中的地位

自1913年烧结机用于炼铁工业以来，最近二、三十年世界烧结生产发展很快，天然富矿比例明显降低，人造富矿（特别是烧结矿）的比例明显升高（见表1），1980年世界已拥有10亿吨的造块能力。

表1 高炉用矿石的比例变化

	1937年	1957年	1970年	1980年
天然富矿	99%	69%	33%	27%
烧结矿	1%	29%	50%	51%
球团矿	0	2%	17%	22%

我国1949年仅有9万吨造块能力，1966年人造富矿产量比1949年增长了219.89倍，进入七十年代后我国烧结和球团生产发展很快，1986年烧结矿产量比1966年又增长了3.82倍，球团矿产量增长了5.03倍（见表2）。1986~1991年我国烧结更新改造又新增生产能力达1526.5万吨，1991年生产烧结矿9651万吨，比1966年增长了5.06倍，仅次于原苏联和日本，跃居世界第三位。同时球团矿产量1991年达1039万吨，比1966年增长了14.43倍（见表2）。

1991年烧结矿产量占人造富矿产量的90.28%，为钢产量突破7000万吨大关作出了贡献。

表 2 我国人造富矿和钢、铁产量增长情况

	1949年	1953年	1966年	1978年	1986年	1991年
烧结矿(万吨)	1	137	1907	5111	7292	9651
球团矿(万吨)	8	51	72	336	362	1039
生 铁(万吨)	26.1	223.4	1348.8	3734.5	5063.9	6765.3
钢 (万吨)	—	177.4	1532.4	3178.0	5220.7	7100.0

我国1991年重点企业的高炉烧结配比达到90.13%（其中首钢最高为99.50%），地方骨干企业烧结配比为79.47%（其中凌原钢铁公司为100%）。烧结矿已经从仅仅作处理冶金工厂废料的高炉辅助炉料，成为了高炉冶金性能良好的主要原料来源。可以这样说，离开了烧结生产，现代高炉就无法炼铁，地方小高炉也无法获得优质高产低消耗。烧结生产在钢铁工业中的地位是明显可见的，它是高炉精料基础的重要标志。

§2 国内外烧结生产现状和发展趋势

2.1 国外烧结生产发展简况

十八世纪末期，烧结锅问世，十九世纪初，出现了烧结盘。1906年，带式烧结机设计成功，1913年，美国建造了第一台带式烧结机（宽1.07m、长8.22m，有效面积8.8m²）。四十年代，只是通过加长机身来增大单机能力，到五十年代前期烧结机有效面积仅有50~75m²。且主要用于处理粉矿和冶金工厂废料，工艺简单全部用热矿，生产简陋除尘环保差。

进入五十年代中期以后，世界上烧结生产发展很快，特别是日本的烧结生产技术达到了世界先进水平。概括起来近三十多年来，世界烧结生产技术的发展趋势是：设备大型化、工艺完善化、生产高效化、过程自动化、工厂园林化。

2.1.1 设备大型化

1958年美国大湖钢铁公司建成222.6m²，1960年美国琼斯—劳林钢铁公司阿利奎帕厂建成225m²烧结机后，六十年代中期到现在，法国、日本、西德等国家烧结机大型化的发展速度很快，先后建成289m²（4×70m）、300m²（4×75m）、400m²（4×100或5×80m）、500m²（5×100m）、550m²（5×110m）、600m²（5×120m）的大型烧结机，并且还在研制700、750及至1000m²的带式烧结机。

大型化的优点是：单位平方米烧结面积的基建投资降低（如300m²比100m²烧结机降低25%），单位平方米烧结面积设备重量减轻（约20%左右），劳动生产率大大提高（如日本130m²烧结机为43t/h·人，500m²结机为162t/h·人）。

日本住友金属公司鹿岛厂3号烧结机600m²，台车宽5m、长1.5m、边高600mm；抽风机流量为27000m³/min、负压1800mm水柱、电机功率9300kW；一次圆筒混合机直径4.6m、长15m，二次圆筒混合机直径5.2m、长17m；点火器宽5.57m、长6.5m、高0.9m，保温炉宽5.57m、长7.50m、高1m。相应的设备也随之大型化。

2.1.2 工艺完善化

近三十多年来，烧结生产工艺日趋合理、先进、完善。

为了充分利用各种优质粉矿、精矿和各种工业废料，国外新建的烧结厂都设有相应规模的原料准备设施。如日本的钢铁厂都辟有8~18%的面积作为矿石的中和混匀料场，贮矿能力达45~60天，用电子计算机控制卸船、取样分析、贮矿、破碎、筛分、中和混匀等一系列繁杂作业，可以把20~40种原料中和成一种原料，粒度0~8mm，化学成分十分稳定。石灰石破碎到0~3mm，焦粉破至0~3mm，平均粒度1.7mm左右。

日本烧结厂多用由电子计算机控制经二段宽幅慢速皮带电子称自动配料，十分准确。多数设一、二次混合机，有的设三次混合（如名古屋厂）。一次混合加水，日本钢管公司扇岛1号烧结机还装有80℃的热水喷洒设施；二次混合不加或少量调节水。

无一例外，日本各厂均有铺底料系统，铺底料粒度10~20mm，底料厚度30~40mm。布料系统，多数采用梭式布料器、传感器测料位的混合料仓，圆筒给料机及反射板布料。混合料仓下的活动闸门由多块组成，用油压分别调节下料。反射板有自动清扫装置，一般约8分钟动作一次。大分厂使用格筛溜槽板布料，新日铁近年来研制了一种新型的ISF强化筛分布料机，使混合料形成预布料分级。物料松散。为了提高料层透气性，有的在反射板下装有松料耙，用φ40mm左右的钢管，间距200mm左右，插入料层中间，通以空气。有的在反射板后有排角钢插入料面40mm左右，划出透气沟，再用压料板刮平。

点火器和保温炉的长度一般占烧结机有效长度的15%左右。点火器均采用多排为数众多的小烧咀，烧咀通以二次空气。川崎千叶厂先后使用长缝式和线型平焰多喷嘴烧咀，住友使用多缝式烧咀，新日铁广畑使用预混合型面燃烧式烧咀，取得了良好的效果。

烧结机尾卸矿端设有特制聚光灯，以便控制室值班人员通过工业电视观察烧结情况。电子计算机主要靠机尾的几个真空箱的废气温度来判断和调整烧结机速。

烧结机尾部都有星轮和摆架，多数是油压平行移动，有助于减少台车撞击磨损和漏风损失。

卸矿后经水冷单辊及篦板破碎。有的用热振筛筛除热返矿，热振筛可整体更换，一台备用。日本趋向于不用热振筛，他们认为只要冷却机风量提高15~20%或风压提高150Pa，就可把烧结矿冷却下来，这样可提高作业率3%。

日本的烧结厂无一例外全是冷烧结矿。冷却设备多数采用环式或带式冷却机，少数采用其他型式的冷却机。冷却方式有抽风的，也有鼓风的，但趋向于发展鼓风冷却。法国的烧结机不少采用格式冷却机。

成品烧结矿经一次冷破碎和3~4次冷筛分进行整粒。＜5mm的部分为返矿，＞5mm的为成品矿，其中取出一部分10~20mm的作铺底料。出厂烧结矿粒度上限有从50mm降至30mm的趋向，烧结矿中＜5mm部分控制在5%以下（神户加古川厂控制在2%以下）。出厂成品矿设有自动取样装置，自动破碎、缩分后做各种化学检验，结果输入电子计算机，经2~3秒之内便算出物料平衡，并调整配料成分。

2.1.3 生产高效化

在强化烧结生产，提高烧结矿产质量方面，世界主要产钢国家都采取了许多有成效的措施。

(1) 延长混合机，强化造球：近二十多年来，延长混合机引起了普遍重视。据介绍，一般厂一次混合时间不少于2min，二次混合时间不少于3min为宜。如日本钢管福山5号烧结机(550m²)一次混合机直径4.8m、长16m，二次混合机直径5.4m、长21m。名古屋3号烧结机(280m²)有三次混合，一次混合机 $\phi 3.6 \times 12\text{m}$ 、混合时间为1min18s，二次混合机 $\phi 5.0 \times 15\text{m}$ 、混合时间为1min23s，三次混合机 $\phi 4.9 \times 20\text{m}$ 、混合时间为5min13s，合计为7min54s。混合料的平均粒度为2.5~3.2mm，而 $<0.125\text{mm}$ 的仅占9~15%左右，从而有利于烧好烧透。

(2) 添加生石灰，提高产质量：生石灰是烧结过程最重要的强化剂之一。为改善强化效果，一方面改进添加生石灰的方法，一方面提高生石灰质量。日本钢管扇岛厂在烧结料中添加2%左右的生石灰，燃料消耗降低0.38%，相当于每生产一吨烧结矿少用5kg燃料，烧结矿产量增加4%；添加2%生石灰后，在同样的条件下，料层厚度由420mm提高到520mm；同时，可以提高烧结矿热强度，还原粉化指数(RDI)明显下降。该厂1号烧结机的混合料系统于1980年和1984年先后装备热水喷洒设施和生石灰破碎装置，结果使烧结机利用系数提高了7%；1987年改进了生石灰生产工艺控制技术，从而降低了生石灰的质量波动。

(3) 预制粒造小球，扩大精矿粉用量：对于大量使用精矿粉的烧结，添加活性石灰后，采用圆筒混合机预制粒仍受到限制。日本钢管福山4号烧结机1987年5月采用了圆盘造球的辅助系列对细铁精矿粉预制粒造小球，在该工艺中用返矿作母球，生石灰作粘结剂。小球中含有10%的精矿粉和3%的生石灰，小球用量占混合料15~20%。采用此工艺后可在不降低烧结机利用系数的前提下扩大精矿粉用量。1988年11月福山5号烧结机改造投产HPS球团化烧结工艺，用圆盘机造3~5mm的小球，球的核心为粗粒粉矿，外是细粒矿和熔剂，然后用圆筒混合机在球外滚一层焦粉，经宽带运输机在150~300℃干燥后，送烧结机烧结。该工艺扩大了铁矿粉粒度的使用范围，而且烧结矿还原指数和还原粉化率得到改善。

(4) 高负压、厚料层，增产又节能：厚料层烧结是七十年代烧结技术的重大发展，高负压、厚料层操作是提高产质量、降低能耗的主要措施。日本烧结料层平均厚度在500mm以上，已有一批烧结机达到和超过600mm(如新日铁的若松厂634.3mm、君津623mm、川崎千叶657mm、住友小仓678mm、神户加古川611mm)，个别达到750mm(新日铁广畑1号机)。室兰、君津、大分、若松等厂的烧结主风机负压达到了2000mm水柱(0.02MPa)。

(5) 生产高碱度、高质量烧结矿：日本各烧结厂毫无例外均避开生产碱度1.0左右的强度最差的烧结矿，生产1.6~1.8左右的高碱度烧结矿。高炉一般配用80~85%的高碱度烧结矿，余下配加天然富矿或球团矿。烧结矿FeO一般控制在5.0~8.0%的水平，原料以赤铁矿为主，混合料中焦粉配比4%左右，高碱度烧结料层透气性好以及厚料层操作，都有利于降低FeO含量。

日本烧结矿的强度好，粉末少，特别是热强度好。其措施是，主要以焦粉为燃料，粒度0~3mm，平均粒度1.7mm，不过粉碎；粉矿粒度0~8mm，平均粒度3mm左右；垂直烧结速度控制在16~22mm/min为宜；提高装料密度到1.95~2.0。按照日本的JIS标准，取试样23kg，粒度10~25mm的烧结矿，放入 $\phi 914 \times 457\text{mm}$ 的转鼓中，以24r/min的转速转200r，筛分后 $>10\text{mm}$ 的转鼓指数为65~68%(标准 $\geq 65\%$)。取15~20mm的烧结矿试样500g，用含CO30%、N₂70%的煤气还原，煤气流量15l/min，还原温度550℃，30min后取出在 $\phi 130$

×100mm转鼓中,以30r/min的转速转30min后,筛分<3mm的量作为还原粉化率RDI,一般为30~40%(标准≤42%)。

(6) 生产低SiO₂烧结矿:烧结矿SiO₂过高,对高炉生产不利。但SiO₂过低,由于烧结矿中粘结相减少,影响还原粉化率。日本一般将烧结矿中SiO₂控制在5.8~6.0%,以保证RDI为35%左右,若SiO₂太低,则加少量硅砂和蛇纹石进行调整。据1988年有关杂志报导,日本神户钢铁公司已掌握了一种能改善还原性能的低SiO₂烧结矿的生产方法,在造球工艺中,以褐铁矿为核心,以低SiO₂、低Al₂O₃铁精矿粉作粘附粉,同时适当提高烧结矿碱度和MgO含量,以尽可能限制产量的降低和RDI值的增加。神户厂采取此工艺后,烧结矿SiO₂已由5.6%降到4.9%,烧结矿性能也有很大改善,并有助于提高高炉的焦炭负荷和煤粉喷吹率。

(7) 低温烧结工艺的推广:低温烧结是在高碱度厚料层的条件下,降低混合料配碳量,降低烧结温度的生产工艺。1983年日本和歌山烧结厂进行低温烧结后,烧结矿FeO从4.19%降到3.14%,焦粉量从45.2kg/t减少到43.0kg/t,JIS还原率从65.9%提高到70.5%,还原粉化率RDI从37.6%降到34.6%。高炉使用这种烧结矿后,焦比降低7kg/t,生铁含Si量从0.58%降到0.30%。

(8) 双层烧结工艺的实践:前苏联使用柯尔舒诺夫双层烧结试验时,上层配碳3.8%,下层配碳3.2%,使上下层烧结矿质量均有改善,烧结成品率和产量均提高,焦耗降低8%。德国采用双层配碳烧结,烧结矿性能均有新改善,焦耗降低15%。前苏联新利佩茨克烧结厂开发了一种粉矿和精矿的双层烧结新工艺,在一台烧结机上同时烧结两种碱度不同的混合料,其主要技术经济指标也有明显改善。双层烧结工艺是在烧结机上双层装料来实现的,需要有两套配、混料系统。

(9) 强化设备,提高作业率:日本烧结厂的作业率普遍在95%以上,福山厂的烧结机年作业率可达99%以上,月作业率达99.9%。其作法是:不存在划破运输皮带和堵矿槽、漏斗等事故;落实润滑等设备维护制度;消除事故多的热振筛(取消热筛或水平转动整体更换);整体更换点火器;水冷机尾单辊破碎机和篦板;成品采用双系列,抽风机转子焊补耐磨合金(寿命长达6~7年);炉篦条、台车、单辊牙冠等采用耐热耐磨合金(篦条用25Cr08Ni寿命3年以上,单辊牙冠用高铬铸钢寿命2年以上,台车多用高耐热特殊球墨铸铁);电气设备质量好,安全系数大;设备运行的监测齐全、准确、报警及时;三个班均有2~4个机电人员巡回检查和维修;做到计划检修,预防事故,不让设备带病作业。

(10) 加强密封,减少漏风率:日本各厂烧结机密封情况良好,现场听不到漏风的噪音,相应电耗也减少,实际生产中漏风率为20%左右。一般认为每m²烧结有效面积的有效风量为90~100m³/min为宜。其减少漏风的措施是:篦条系精密铸造或铸造后加工,台车上篦条排列整齐,布料后不产生洞穴,档板完整无缺,布料平整,无波浪起伏,台车两侧不拉沟;放灰系统,设备精密,自动化操作;法兰、膨胀圈等处严密;机尾有星轮,不存在台车间碰击磨损现象;台车与滑道间多采用弹簧甘油密封;机头、机尾采用动作灵活、密封效果好的密封板,并定期更换。

2.1.4 过程自动化

国外烧结生产过程已经由局部自动化开始走向全盘自动化,并用电子计算机控制全过程。

局部自动化包括:

(1) 配料系统：料位指示、配料料流自动称量及调整。除了进行量的自动控制外，有的厂还采用x射线荧光分析装置，控制烧结料的化学成分。

(2) 混合料系统：混合料湿度、混合料透气性、混合料仓料位、混料机加水量控制。

(3) 烧结机系统：点火温度、布料厚度、烧结机速度 烧结终点控制。

(4) 成品系统：烧结矿成品自动取样、制样，烧结矿强度自动分析，烧结矿成份分析。有的厂还将烧结矿光谱分析结果输入计算机，2~3秒内算出物料平衡并调整配料成份。

(5) 计器仪表系统：温度、压力、流量、电压、产量等测定准确，并有参数输出。主要生产环节均有工业电视监视。

在局部自动检测调节的基础上，有的厂已实现了电子计算机控制主过程。如美国考德威尔城废料烧结厂1974年就采用了小型计算机进行全厂程序自动控制。目前，美国、日本等发达国家的烧结厂多数都采用了数字计算机进行烧结过程的程序自动控制。烧结过程自动化后，劳动定员大大减少，如福山的5号烧结机(550m²)每个轮班只有一个作业长、一个工长、4个工人，劳动生产率大大提高。

2.1.5 工厂园林化

日本多数烧结厂十分重视公害防治和绿化，基本上成了清洁工厂或花园工厂。它们消除公害的重点是：灰尘、废气中的SO₂及NO_x、污水及噪音等。主要作法是：

(1) 绿化：厂区大量种植树木，栽培花草，形成了美丽的林带、花坛和草坪，一般绿化面积占厂区总面积的20%左右。

(2) 湿法作业：各种粉状料堆，均装有旋回俯仰或高压洒水喷枪，定时自动喷水，易扬尘的作业线下均是水泥地坪，用高压洒水车或高压水管定时冲洗，有的皮带机也用水洗。污水全部进入浓缩池，清水循环使用率达90%以上。污泥泵入贮矿场，制粒用于烧结或球团。

(3) 密封：作业线上的皮带机、给料点、卸矿端、漏斗、破碎机、振动筛及转运点等，凡是易扬尘的设备及作业点，均予以密封，产尘量大的部位与除尘设备联通。

(4) 除尘：烧结过程、机尾、热振筛及冷却机等温度较高的废气以采用干式电收尘器为主，而成品破碎、筛分、烧结机给料端及焦粉加工系统等，废气温度较低，采用电收尘器和袋式收尘器两种，收尘效率98~99.5%。

(5) 脱SO_x：脱SO_x的方法主要有三种，即氨硫酸法、石灰石膏法和钢渣石膏法，均试验成功并用于生产。烧结厂脱SO_x的趋势是采用氨硫酸法，工业规模装置正常，不影响烧结作业率，脱硫率>95%，排放浓度为0.1ppm，作为副产品的硫酸质量好而且稳定。扇岛1号烧结机废气处理量为1.23×10⁶m³/h，硫酸产量30t/h。

(6) 脱NO_x：随着大气污染防治法的执行，与脱SO_x一样，各烧结厂均开始重视脱NO_x问题。脱NO_x方法有干式法与湿式法，目前还不成熟，其原理是与氨接触反应，将NO_x转化为无害的N₂。

(7) 防止噪音：在烧结厂主抽风机、冷却风机、除尘风机及破碎焦炭的棒磨机，都会产生噪音。因此，各风机都装有消音器，棒磨机则用特殊胶衬代替高锰铸钢衬板。

(8) 环境监测：各厂均建有监测站，采用遥测、通讯、遥控等手段，可随时在站内测得大气及污水中主要污染物含量，并及时发出指令和警告，严格处理。

2.2 国内烧结生产现状

我国是世界上较早生产烧结矿的国家之一，解放初仅鞍钢有两台残缺不全的50m² 烧结机，年产不过万吨左右。由于长期采用较落后的烧结工艺，加之装备简陋，操作水平不佳，发展一直较为缓慢。“六五”以后，各烧结厂不断进行技术改造，有了较大改观。目前我国烧结生产已经摆脱了落后被动局面，走上了瞄准国际先进水平迅速发展的道路。

1991年末，我国烧结机的面积和台数，以及大型化的情况见表3。烧结机总面积最多的是辽宁省，全国最大的烧结机是上海宝山钢铁厂450m²的烧结机。1991年全国重点企业和地方骨干企业的烧结生产的主要技术经济指标和最好水平见表4，有的已经达到和超过了国际先进水平。

表3 1991年末我国烧结机的面积和台数*

	合 计		>130m ²		51~129m ²		37~50m ²		≤36m ²	
	台数	m ²	台数	m ²	台数	m ²	台数	m ²	台数	m ²
全 国	222	10949.37	16	2785	53	4358	27	1006	126	2800.37
辽 宁	34	2444.7	5	530	19	1485	5	240	8	189.7
四 川	15	1116.25	6	780	2	210	—	—	7	126.25

*注：此表内未包括1991年10月建成的成都钢铁厂2台24m²烧结机

表4 1991年我国烧结主要技术经济指标

	利用系数 t/m ² ·h	烧结矿品位 %	合格率 %	烧结矿碱度 CaO/SiO ₂	燃料消耗 kg/t	日历作业率 %
重点企业平均	1.33	52.44	95.73	1.63	64	80.43
重点最好水平 (企业)	1.69 (湘钢)	57.41 (首钢)	99.99 (首钢)	2.35* (湘钢)	47 (宝钢)	90.72 (宝钢)
地方骨干平均	1.37	50.34	68.03	1.77	74	80.37
地方骨干最好 (企业)	1.82 (昆钢)	54.58 (邯钢)	86.97 (安阳)		61 苏州、张店	93.36 (苏州)

*注：重钢一烧碱度为3.00，二烧为2.03，三烧为1.82。

“七五”期间中小钢铁企业的烧结生产也有了较大发展。1990年比1985年, 13~50m²烧结机由80台增加到100台, 面积由1840m²增加到2347m², 冷矿工艺79台, 1829m², 占中小企业总面积的77.93%; 烧结矿产量达8155万吨, 比1985年增产816万吨, 利用系数1.37提高了0.15; 烧结机作业率达79.69%, 提高了5.84%; 烧结矿合格率提高了5.95%; 烧结工序能耗由108kg/t降到86kg/t, 降低22kg/t标煤, 固体燃料消耗由87kg/t降到62kg/t, 降低25kg/t。

近年来, 我国烧结生产的主要技术进步表现在, 国外普遍采用的几种主要冷却工艺我国都已掌握; 国外新近发展起来的, 如强化烧结料混合制粒、厚料层烧结、烧结矿整粒等先进工艺, 已在我国普遍推广采用; 新型点火器, 新结构大宽度烧结台车、新型冷却振动筛、新型水冷式热矿破碎机以及高效静除尘器等先进设备, 我国不仅能自行设计、制造, 而且在使用中取得了良好效果; 代表烧结技术发展水平的烧结过程自动控制、废热回收利用等新技术也在全国得到推广应用。

低碳厚料层操作工艺已逐步为烧结工作者所接受。1987年宝钢、武钢、首钢、马钢、包钢、太钢和水钢的烧结料层都达到和超过了400mm, 1989年首钢一烧达548mm, 1990年宝钢1号烧结机达600mm。1990年全国重点企业烧结料层平均厚度为417mm。

低温烧结工艺在我国近年来作了大量研究, 已在全国逐步推广。天津铁厂4×50m²烧结机, 烧结温度由1300~1400℃降到1245~1275℃, 固体燃料消耗为46~48kg标煤, 降低了7~9kg/t, 烧结矿FeO降低了1.3~2.3%, 烧结矿还原度提高了6~18%, 转鼓强度不变, 高炉利用系数提高4~9%, 焦比下降6~15kg/t铁。1991年中南工业大学和龙岩钢铁厂成功开发了不添加澳矿粉的低温烧结技术, 使烧结矿还原性提高5%, 固体燃料下降5~6kg/t, 高炉利用系数也明显提高。

混合料配加生石灰找到了有效方法。烧结混合料中加生石灰或消石灰是强化烧结生产的重要措施, 但过去没有找到一种科学、经济、消除污染的有效方法。安阳钢铁公司烧结厂近年来终于研制成功了HAS—861型生石灰配消器, 已获国家专利, 其结构简单、投资省、运行可靠, 具有控制、调节料压和加速生石灰消化等功能, 还可防止粉尘污染; 经该厂近5年的实践, 每m²烧结面积年经济效益5~5.5万元。目前已有武钢、柳钢、邯钢、天津铁厂等近30个厂家采用该专利技术。

新型节能点火器不断涌现, 全国大多数企业对点火器进行了改造, 节能效果十分显著。长沙矿山设计院1988年引进日本住友多缝式烧咀, 在武钢三烧2×90m²烧结机上使用, 点火热耗由150MJ/t降到57MJ/t, 创造全国最新纪录。鞍山矿山设计院研制的线型多喷孔式烧咀于1986年2月在天津铁厂50m²烧结机上安装使用, 点火热耗降低47%, 达129MJ/t; 后又研制出线型组合式喷咀, 安装在北台钢铁厂烧结机上, 点火热耗由250MJ/t降到109MJ/t。马鞍山钢铁设计院与莱钢二铁合作, 研制成功了我国第一台幕帘式烧结点火器, 于1989年4月在该厂2号烧结机上使用, 焦炉煤气消耗从12m³/t降至5m³/t。1989年唐钢研制成功了一种单独以高炉煤气为燃料、用冷空气直接助燃的点火器, 点火平均温度为1164℃, 适合低温负压点火要求, 采用这种点火器后, 烧结矿产量提高14.5%, 固体燃料消耗减少33%, 质量也提高, 这种点火器保温炉已申请国家专利。

我国烧结技术虽取得很大进步, 但同发达国家相比仍有较大差距, 今后要大力推广国内外的新技术、新工艺、新设备, 实现世界烧结生产“五化”的要求。

2.3 我省烧结生产的历史和现状

我省于1944年12月威远铁厂首先用简易烧结法进行粉矿烧结。1952年重钢建成2台鼓风烧结锅，到1957年末又先后在威钢、江北和大昌铁厂建成6台烧结锅，当年产量1.32万吨。1958~1961年，地方小铁厂纷纷采用平地吹风土法烧结，1958年土法烧结矿产量达11万吨。1961年4月重钢炼铁厂2台18m²烧结机投产后，四川才开始有了抽风烧结机生产烧结矿，当年生产近5万吨烧结矿，直到1965年才达到24万吨（设计能力28万吨），这两台烧结机采用热烧结矿直接入炉。

1966年西昌410厂一台8.25m²（年产能力3.5万吨）的烧结机投产，这是全国最小的烧结机。1973年3月重钢炼铁厂2台27m²烧结机投产，设计能力58万吨，这两台烧结机采用了重钢自己研制的塔式振动冷却机冷却烧结矿。1970年8月~1977年12月，攀钢烧结厂先后有4台130m²的烧结机建成投产，均采用环形冷却机进行冷却，1989年7月该厂又投产2台130m²烧结机，总共6台130m²烧结机，年产能力为600万吨。1989年4月重钢炼铁厂2台105m²烧结机建成投产，生产能力180万吨/年，这两台烧结机采用带式冷却机冷却烧结矿。目前我省重点企业有13台烧结机，共1088.25m²，年产能力869.5万吨。

我省地方钢铁厂1964~1969年烧结矿产年仅有0.4~0.85万吨，而且都是土法烧结。1970年威钢首先将土烧改为箱式抽风烧结，1971年建成了年产2~3万吨的箱烧车间。1983年12月省冶金厅召开箱式抽风烧结推广会，在全省地方铁厂年处理粉矿能力8万吨以下的企业广泛推广，到1990年为止，我省在白市驿、青花、江油、乐山、广汉等铁厂已有12套箱式抽风烧结，年产能力达26.5万吨。1986年11月大渡河钢铁厂1台13m²烧结机投产，是我省地方铁厂的第一台烧结机，年产能力11万吨。1989年10月凉山钢铁厂投产1台15m²的烧结机（年产能力13.5万吨），1991年10月成都钢铁厂2台24m²烧结机投产（年产能力43万吨）。到目前为止全省地方企业有4台烧结机、76m²，年产能力67.5万吨。

1991年末，我省共有烧结机17台、总面积1164.25m²，年产能力937万吨，加上箱烧26.5万吨，共有烧结生产能力963.5万吨。1991年我省烧结矿总产量为875.22万吨，其中地方企业产烧结矿78.87万吨，包括：地方企业机烧13.87万吨、箱烧12.1万吨、土烧还有52.9万吨。由此可见，我省机烧和箱烧还应尽快达产，地方企业淘汰土烧的任务还十分艰巨。

我省的烧结机最大的为130m²，最小的为8.25m²。烧结机的装备水平较高的除攀钢的130m²烧结机（特别是后投产的2台），重钢的105m²烧结机和成钢的24m²烧结机外，其他均较为落后，特别是13和15m²的烧结机在设计和设备上还存在不少问题，尚需进行技术改造。

我省烧结生产的主要技术经济指标也比较落后，即使是重点企业与全国重点企业的先进水平（见表4）相比也存在较大差距，见表5。除了我省矿石品位较低、攀枝花矿是特殊矿外，还与我们的装备水平、操作水平、维护水平和新技术推广应用跟不上有关。因此，我省应瞄准国内外先进水平迎头赶上。