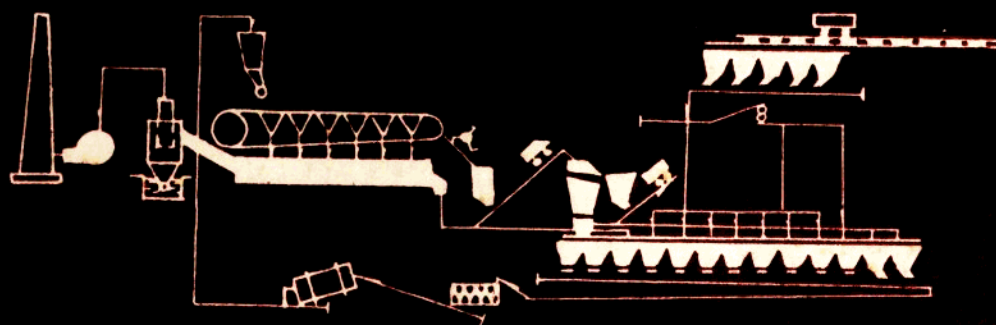


技术培训进修教材

高碱度烧结矿生产

罗吉璈 黎金华 鞠永福 合編



四川省金属学会

四川省冶金情报标准研究所

前 言

精料是高炉冶炼的基础。高碱度烧结矿则是一种冶金性能良好的炼铁原料，其生产工艺比较成熟，操作较易掌握，原料范围较广，适宜大规模生产。高炉使用高碱度烧结矿，是提高熟料比，取消石灰石直接入炉，改善还原，降低焦比的主要措施之一。自六十年代初，高碱度烧结矿被成功地用于生产实践以来，便成为高炉工作者普遍欢迎的一种优质原料，在国内外这项工艺得到迅速发展和广泛推广。但迄今为止尚未见系统介绍高碱度烧结生产的专著，更未见到介绍地方小铁厂推广应用高碱度烧结矿生产的工艺设备。为满足国内广大烧结、炼铁工作者的需要，帮助地方中小铁厂进行烧结人员的技术培训，我们受四川省冶金厅、四川省金属学会和四川冶金炼铁科技情报网的重托，编写了这本技术培训教材。我们在编写时，力求反映高碱度烧结矿生产的最新研究成果和先进生产经验，并且注意其完整性、系统性和实用性。

这本培训教材共分四章。第一、二章全面综述了高碱度烧结矿生产的发展概况和基本理论，由四川省金属学会炼铁专业委员会委员、重庆钢铁工业专科学校讲师罗吉敬同志编写。第三章详尽地介绍了高碱度烧结矿生产工艺操作和实践经验，由国内推广应用高碱度烧结矿较早较成功的重庆钢铁公司的烧结工程师黎金华同志撰写。第四章为地方铁厂推广高碱度烧结矿，介绍了箱式烧结生产工艺设备，由重庆大学冶金系讲师鞠永福同志撰写。此外，附录了烧结工艺的物料平衡及热平衡计算等。

这本教材由四川省金属学会炼铁专业委员会副主任委员、重庆大学冶金系副教授鄢毓章同志审稿，由四川省金属学会炼铁专业委员会委员、四川省冶金情报标准研究所工程师俸怀明同志担任责任编辑。在编印过程中，得到四川省冶金厅、省金属学会和省炼铁情报网的热情关注和大力支持，省炼铁情报网在印刷经费上给以支助，省冶金情报标准研究所承担了编印发放的具体工作，在此一并致以深切的谢意。由于编者水平有限，难免有不当和错误之处，请读者批评指正。

编 者 1986年4月

目 录

前 言

第一章 高碱度烧结矿生产概论	(1)
§ 1 高碱度烧结矿生产概述.....	(1)
§ 2 高碱度烧结矿生产的意义.....	(4)
§ 3 高碱度烧结矿冶炼效果.....	(6)
§ 4 高碱度烧结矿前景展望.....	(8)
第二章 高碱度烧结矿烧结原理	(11)
§ 1 高碱度烧结矿成矿机理.....	(11)
§ 2 高碱度烧结矿矿物组成、结构特征与影响因素.....	(25)
第三章 高碱度烧结矿生产工艺与操作	(32)
§ 1 高碱度烧结矿生产的工艺特点.....	(32)
§ 2 配料计算.....	(45)
§ 3 强化高碱度烧结矿生产与降低燃料消耗的途径.....	(52)
§ 4 高碱度烧结矿的质量要求与主要技术经济指标.....	(56)
§ 5 环境保护与对策.....	(60)
第四章 箱式抽风烧结生产工艺设备	(63)
§ 1 生产工艺流程.....	(63)
§ 2 原燃料的破碎筛分设备.....	(65)
§ 3 配料设备.....	(74)
§ 4 混合设备.....	(77)
§ 5 点火器.....	(81)
§ 6 箱体结构及箱体数目.....	(86)
§ 7 烧结抽风机.....	(87)
§ 8 烧结箱上冷却.....	(89)
§ 9 烧结矿破碎筛分设备.....	(90)
§ 10 烧结废气除尘设备.....	(91)
[附录] 烧结工艺的主要计算	(96)
§ 1 点火器的燃烧计算.....	(96)
§ 2 烧结所需抽风机风量计算.....	(100)
§ 3 烧结过程物料平衡计算.....	(106)
§ 4 烧结过程热平衡计算.....	(108)

第一章 高碱度烧结矿生产概论

§ 1 高碱度烧结矿生产概述

建国三十五年来,我国烧结矿的生产几乎是从无到有,从小到大,现在已发展成为高炉炼铁的主要原料。解放时,仅鞍钢有两台残缺不全的50米²烧结机,年产不过万吨左右,到1984年底我国已有13~130米²烧结机154台,总烧结面积7459.8米²,全国烧结矿总产量达到6675.9万吨,占我国人造富矿的96.66%,重点企业熟料率已至90.17%,居世界前几位。此外,简易的土法或半机械化烧结生产,在全国地方钢铁厂中大量采用。具有七十年代先进水平的二台450米²大型烧结机,已在宝山钢铁总厂建成投产。

烧结矿按其碱度 R (CaO/SiO_2)不同,一般可分为酸性($R < 1.0$)、自熔性($R 1.0 \sim 1.5$)和熔剂性($R > 1.5$)三大类。有时也把 $R 1.5 \sim 2.0$ 的烧结矿称为熔剂性烧结矿, $R > 2.0$ 时叫做高碱度烧结矿, $R > 3.5 \sim 4.0$ 时称为超高碱度烧结矿。酸性或自然碱度烧结矿,除少数小铁厂因陋就简地处理天然矿粉尚在生产外,已逐渐被淘汰。自熔性烧结矿早在五十年代我国重点钢铁企业已经普遍地进行生产,且对细磨精矿生产和强化技术具有丰富的成功经验,在当时曾居于世界前列。自熔性烧结矿的使用在高炉炼铁技术发展史上是一个里程碑。它改善了普通烧结矿的冶金性能,实现了熔剂的预焙烧,极大地减少甚至基本上取消了生熔剂入炉,大大改善了高炉冶炼过程,炼铁技术经济指标取得了很大进步,焦比从本世纪以来的1.0左右降到0.6,甚至突破了0.5,高炉产量成倍增长。自熔性烧结矿降低焦比的作用,比任何其他技术措施都更为显著。但是自熔性烧结矿的机械强度差,粉末多是其不易克服的大缺点,对于大型或超大型的现代化高炉强化生产是很不适应的。因此研制具有更加优良冶金性能的人造块矿,就成为炼铁、造块工作者的迫切任务,于是高碱度烧结矿应运而生。它可以在现有烧结机上生产,无需另建设备,工艺操作也不难掌握,并且主要地是具有作为优质炼铁原料的各种性能,因此高碱度烧结矿比其他类型的人造富矿(如球团矿)受到更多的关注和较快的发展。

在我国高碱度烧结矿的研究和生产有两个重要阶段。第一阶段是五十年代末六十年代初,那时,我国已经普及自熔性烧结矿生产,正积极探寻进一步改善烧结矿性能和降低焦比的途径。此时,地方小铁厂绽开出一朵奇花。山东济南仁丰冶炼车间,1961年用土法生产出含铁酸钙55%, $R 2.18$ 的高碱度烧结矿, FeO 含量仅为6.4%,还原性由碱度1.16时的71.5%提高到92.5%,贮存不粉化,水中不破碎。将该矿用于15.8米³的高炉冶炼,配部分低品位块矿,全部取消了生熔剂,焦比达到660~680公斤/吨铁,高炉利用系数为2.42吨/米³日,煤气含 CO_2 达到15%,直接还原度低到0.4,取得了很好的冶炼效果。土法生产出冶金性能如此优良的高碱度烧结矿,当时曾引起我国一些冶金工作者的重视。通过研究表明,这种烧结方法(土堆烧)是属低碳、厚料、缓冷和氧化烧结过程。从理论上分析,这个过程正是获得铁

酸钙大量生成的良好工艺条件。这些条件反映了现代烧结工艺改革的主要方向，它不仅是烧结生产实践上的巨大成功，也是烧结理论上的重大成果。

此期间美国、苏联也在进行高碱度烧结矿的研究。1961年苏联《钢》杂志上发表了B.Я米列尔教授等的关于高碱度烧结矿研究论文，指出碱度为5的烧结矿的强度、粒度和还原性皆远远优越于自熔性烧结矿，并在两台50米²烧结机上生产出了碱度5.69、CaO 36.6%、粒度很均匀的高碱度烧结矿。文中推荐生产碱度为5.0及0.7两种烧结矿代替1.2碱度的自熔性烧结矿，以改善原料性能，促进高炉生产。这一研究成果在国际上引起炼铁工作者的很大兴趣，对我国高碱度烧结矿研究工作也是一个很大促进，鞍钢、武钢、重钢、马钢和当时的石景山钢铁厂等纷纷对不同碱度的烧结矿进行了一系列实验研究和工业性试验，掀起了高碱度烧结矿的研制热潮，并取得了良好成绩。

比如石钢进行了从自熔性到碱度为8.5的高碱度烧结矿系列试验，并生产了碱度为4.6⁵的烧结矿，FeO只有7.5%，转鼓指数(<5毫米)为8.5%，粒度组成中10~25毫米级别占49.2%。武钢生产了碱度为3.53的烧结矿，FeO量为13.4%，转鼓指数9.4%，10~50毫米级别由R1.3时的28.8%上升到66.6%，高炉沟下筛分<5毫米粒级量仅占5.3%，并将碱度为3.53及1.30的两种烧结矿配合入炉，以代替自熔性烧结矿进行冶炼试验，高炉料柱透气性改善，焦比降低。由于这些厂熟料率高，单独使用高碱度烧结矿将给高炉造渣增添困难，若使用高低两种烧结矿配搭，对于老厂来说在同一流程要交替生产两种不同碱度的烧结矿会给生产操作和管理带来一系列问题，这些研究成果终因一些实际困难而被中断，未能付诸生产实践。但是在进行高碱度烧结矿试制的众多企业中，唯独重钢锲而不舍，勇往直前，自1963年试验成功后，1964年起正式生产碱度为2.40的高碱度烧结矿，至今一直坚持生产和使用。当然，也有其独特原因，重钢高炉长期以来，主要使用含铁40%左右的高硅贫矿，以矿粉作为烧结原料，熟料率低，配用40%碱度1.2的自熔性烧结矿，1962年平均入炉熔剂仍高达868公斤/吨铁，焦比1172公斤/吨铁，高炉利用系数仅0.742。因此在资源条件变化不大情况下，要大量减少熔剂用量，高碱度烧结矿就成为较理想的炼铁原料。1965年生产碱度为3.12的烧结矿，高炉的烧结矿配比46%，熔剂单耗降到3公斤/吨铁，焦比降至787公斤/吨铁，高炉利用系数提高到0.969。

总之，这一阶段的主要成就就是对高碱度烧结矿的工艺特点和产品特性作了较系统的试验，并成功地进行了工业性生产。

第二阶段是在七十年代后期直到现在仍方兴未艾。此期间对高碱度烧结矿进行较全面的研究和投入生产的企业有代表性的如包钢、太钢等厂，包钢长期以来用含氟低硅精矿生产自熔性烧结矿，质量差，强度低，粉末多，还原性也不大好，高炉冶炼效果差，虽曾进行过提高精矿含硅量及配加消石灰和无氟高硅富矿粉的“双强化”试验，其结果虽对提高烧结矿强度有一定效果，但烧结矿的品位和还原性显著下降，软化温度也降低，对高炉冶炼仍然不利。1976年9月包钢在对高碱度烧结矿开展深入全面试验研究的基础上进行工业性生产试验，并于1977年3月正式生产碱度为1.8~2.0的高碱度烧结矿。将碱度为0.96与2.0的两种烧结矿质量相比，FeO由29.20%降到15.94%，转鼓指数由25.61%降至20.1%，此外，烧结矿合格率也从16.30%上升到84.4%，各项技术经济指标都创造了历史最好水平。高炉的矿石中配用66.7%的高碱度烧结矿，经校正后焦比降低19.4%，增产20%，包钢多年来存在的含氟烧结矿质量差的问题，一举得到根本解决。

太钢多年来基本上是生产碱度为1.0~1.2的自熔性烧结矿，1979年进行高碱度烧结矿的实验室研究，同年8月在两台90米²烧结机上组织高碱度烧结矿生产。先后将碱度从1.4提高到1.8，烧结矿质量大为改善，碱度由1.1上升到1.7~1.8时，FeO由16~17%降至10~12%，转鼓指数(≥5毫米%)由81%升到82~83%，槽下过筛前粒度组成5~50毫米粒级由78.78%升至85.26%，<5毫米的由9.02%，降到6.43%，>50毫米的由14.21%降至8.31%，高温性能改善，露天贮存强度好。高炉的矿石中配用74.6%的高碱度烧结矿，焦比降低29.6公斤/吨铁，产量提高8.2%。

重钢二十年来一直将烧结矿碱度保持在1.8~3.2水平，长期的生产实践积累了丰富的经验，对低铁高硅矿粉生产高碱度烧结矿的规律性作了比较深入的研究和完整的总结。马钢、湘潭钢铁厂等也都卓有成效地进行了高碱度烧结矿生产。

中小铁厂对于高碱度(三元)烧结矿生产也走出了一条成功的道路。江苏省据盛产白云石和高炉石灰石消耗高的特点，为了取消熔剂直接入炉，降低焦比，把生产高碱度(三元)烧结矿作为重要措施。1975年前后苏州钢铁厂生产了MgO5.81%，三元碱度1.97的烧结矿，在熟料率基本保持88%左右条件下，高炉熔剂单耗从243公斤降到14公斤。1977年南京钢铁厂生产了MgO6.26%，三元碱度1.89的烧结矿，和碱度1.48的烧结矿相比，高炉保持75%的熟料率，熔剂单耗从330公斤降至88公斤，焦比下降127公斤，利用系数上升48%。江苏在全省推广使用高碱度(三元)烧结矿，节焦增铁幅度大，见效快，对于中小型高炉挖潜革新改造提供了十分有益的经验。

1977年以来，在历次全国性烧结、炼铁会议上都讨论了高碱度烧结矿的重要性。1978年湖南省科协、湘潭市金属学会和湘潭钢铁厂等单位专门举行了一次高碱度烧结矿学术报告会，1981年10月冶金部烧结球团情报网在太钢召开了全国高碱度烧结矿技术经验交流会，同年12月在杭州竖炉球团学术会议上总结了高炉炉料结构的实践和研究工作，指出100%自熔性烧结矿不是理想的炉料结构，认为高碱度烧结矿配加部分酸性球团矿是一种合理的炉料组成等等。凡此种学术和经验交流会议，都为高碱度烧结矿的生产发展起到巨大的宣传鼓动和促进作用，加之国内外高碱度烧结矿的生产实践和使用所取得的显著成绩，更有力地推动着高碱度烧结矿的发展。尤其要指出的是由于四化建设的需要，国民经济实行了调整、改革、整顿、提高的方针，冶金工业面临着以能定产，节能增产，提高经济效益的严峻局势和要求，形势逼人，生产高碱度烧结矿势必成为开创炼铁新局面的一个重要措施。从全国重点烧结厂的生产统计，生产高碱度烧结矿的厂数逐年增多，平均碱度逐年提高：

年 份	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
全国重点烧结厂年平均碱度	1.14	1.17	1.27	1.37	1.42	1.46	1.50
生产高碱度烧结矿厂数	1	2	6	8	12	14	15

这一增长趋势还在继续，席卷全国。如果第一次高碱度烧结矿的兴起重点是试验研究的话，那这次的崛起即是在加强试验研究基础上，迅速转入正常生产和用于高炉冶炼，并且普遍取得明显效果。同时对高碱度烧结矿的工艺和产品质量以及理论研究工作都比第一阶段有了新的进展和提高。如包钢含氟精矿生产高碱度烧结矿，除了系统地进行了实验室、烧结机工业试验和高炉冶炼试验外，还进行了大量的基础研究工作，研究内容除矿相分析、还原性测定外，还包括烧结矿软化、熔点、热还原强度、液相粘度、表面张力、直至人工合成粘结相矿物及其机械

性能测定等。这些基础研究工作，为工艺上探寻烧结矿质量的改进方向和科学地分析工艺试验结果，发挥了极其重要的作用。

当然，目前我国的高碱度烧结矿生产，并非尽善尽美，烧结矿的生产和研究工作都有待加强的地方。如烧结原料成分波动大， FeO 含量高，脱硫效率低以及进一步改善性能尤其是高温冶金性能，完善烧结工艺等都急需研究改进。关于高碱度烧结矿的理论研究工作也需大力加强。至于普遍存在的能耗大、效率低，自动化水平不高，二次能源利用差，设备落后，环境治理等问题，更需提高管理和科技水平以求解决。

生产高碱度烧结矿后，烧结料中熔剂消耗量巨增，故其生产工艺特点有别于自熔性烧结矿。主要表现为料柱透气性好，垂直烧结速度高，台时产量下降，燃料量普遍增多，脱硫效率差等。针对这些特点，采取有关措施，着力创造铁酸钙生成的良好条件，高效率地生产质量优良的高碱度烧结矿，就是努力的方向。

§ 2 高碱度烧结矿生产的意义

生产实践表明，生产高碱度烧结矿除了具有一般造块的作用外，对于节约能源，提高产品质量和扩大资源利用等皆有重要意义。

2.1 推广高碱度烧结矿是钢铁工业节约能源的重要措施

随着社会物质文明建设的飞跃发展，能源问题愈来愈成为人类社会经济生活中的重大问题，它影响国民经济的发展速度，关系到工业的发展规模。在我国国民经济到2000年翻两番的宏伟目标中，能源生产仅能翻一番，从现在起工业年平均增长速度7.2%，能源只能增长3%多。到本世纪末，钢产量要翻一番，按目前能耗水平，新增钢产量需要的7090万吨标准煤，三分之一靠国家，三分之二要靠节能。因此节能增产显然是非常必要的，否则无以完成钢铁增产计划，国民经济的发展将受到严重影响。在此新要求下，降低钢铁工业能源消耗有着十分重要的意义。由于我国钢铁工业占整个国民经济能耗的13%以上，其中炼铁系统（包括烧结、炼焦）能耗占了55~60%，炼铁工序能耗约为40%，所以降低炼铁能耗，就成为节能的重要环节。从炼铁热平衡关系分析，减少渣量和熔剂用量是炼铁节能的主要内容，对于目前吨铁石灰石用量仍以数百公斤的大量中小高炉，减少熔剂用量是最现实最有潜力的措施。众所周知，高炉石灰石剧烈分解主要在大于900℃的高温区域，它的分解要吸热，而分解产物 CO_2 与焦炭中碳素进行气化反应既耗热又耗碳，焦炭亦受到熔损，降低强度。因此，减少石灰石用量不仅直接减少焦耗，也对高炉行程有益。从理论分析和生产实践表明，每减少100公斤石灰石，可降低焦比30~40公斤，是很大的潜力。当然为了降低焦比（或燃料比），必然要采取措施支付出一一定能量，炼铁能耗降低的幅度，决定于这一收支的差值，而不是相等于是焦比燃料比降低的全部数量。衡量这一收支差值的大小，是评价一种节焦措施的重要方面。凡是收多支少，或在收的是高档能源、支的是低档能源的措施，无疑是应优先加以实行的。减少石灰石用量的措施中，通常可以采用生石灰作熔剂、生产高碱度烧结矿或球团矿。

石灰石在窑内焙烧一般燃料消耗150~160公斤/吨石灰石，考虑到去除粉末后所得成品

的燃料消耗约相当于200公斤。用生石灰石代替石灰石作熔剂，可节省的焦炭数值，就是等于石灰石在炉内的燃料消耗和在炉外焙烧支付的燃料消耗的差值即100~200公斤左右。

生产高碱度烧结矿的熔剂消耗通常随熔剂用量的增加而加大，熔剂用量又随烧结矿碱度与 SiO_2 含量的提高而增多。按冶金部1981年7月所颁发烧结工序节能规定，凡熔剂用量大于300公斤/吨烧结矿者，每增加100公斤熔剂按增加6公斤标准煤划等。可见石灰石在烧结过程中的碳耗远远小于在窑内焙烧等量的石灰石所消耗的燃料。在常用高碱度值范围内（R2.0~3.0），即使计算烧结过程中全部碳耗——如湘钢用高硅（14~21%）矿粉生产碱度为2.0~2.5的烧结矿，每吨烧结矿熔剂用量高达600~700公斤，焦粉用量也只有110~140公斤；重钢用贫矿粉烧结，碱度在3左右，熔剂用量近1000公斤/吨烧结矿，全部焦粉用量也低于150公斤/吨烧结矿——亦比石灰石在窑内焙烧省能。原因是烧结过程燃烧与传热的效率高以及生成低熔点的铁酸钙系矿物所致。如果以低发热值的高炉煤气作为烧结点火燃料且强化点火保温过程，则生产高碱度烧结矿的固体燃料用量还可降低。此外高碱度烧结矿具有优良的冶金性能，它带给高炉冶炼的有利作用更非生石灰所能比拟的。

至于生产高碱度球团矿来解决熔剂的预焙烧问题，目前在工业上还用得不多，除了工艺困难外，还由于热耗和成本高，设备投资大，单位面积生产能力低等原因而比不上高碱度烧结矿优越。

据以上分析可知，高碱度烧结矿仅从实现熔剂预焙烧带来的好处，是以约150公斤焦粉或煤粉换取300~400公斤的冶金焦，即约以1:2的比例大幅度节约能源，又可以扩大能源的利用，真是十分优惠而又一举多得的有效措施。由此也能看出，使用高碱度烧结矿的节能效果，远比其他一些节能措施（如喷吹燃料）带来的效果显著，即使以1.2的置换比喷吹重油，也不过是以1公斤油换得1.2公斤焦炭罢了。所以推广使用高碱度烧结矿，对钢铁工业节能有重大意义。按我国重点企业目前的生产条件，烧结矿中 SiO_2 含量约8%，若增加0.1的碱度，烧结矿中相应增加0.8%的 CaO ，按石灰石有效 CaO 50%计算，则每吨烧结矿相当于多用16公斤石灰石，如年产烧结矿5000万吨，一年烧结生产多加熔剂80万吨。这一数值相当于高炉内减少的石灰石量，以每100公斤石灰石节约焦炭30~40公斤换算，则一年可节约冶金焦约24~32万吨。扣除烧结矿生产多加熔剂而支付的燃料后，因用高碱度烧结矿净节约的焦炭量也达19~27万吨。更何况对高炉冶炼的全面影响还未加以论及。

2.2 高碱度烧结矿生产对原料有广泛的适应性

无论对高铁低硅或低铁高硅原料，或是粗粒度的原矿粉或细精矿，都能生产质地优良的烧结矿，特别是对我国各种含特殊矿物的原料生产高碱度烧结矿，优越性更加显著。这对于充分利用国家资源，决解高炉精料问题意义重大。

2.2.1 对难选贫矿和低熟料比的企业，生产高碱度或超高碱度烧结矿是降焦的首要途径。重钢使用品位40%， SiO_2 20%左右的难选红矿，配用40%左右R3.1的烧结矿，熔剂基本取消，焦比较使用前降低近400公斤。

国外也有着这样的实例。如法国蒙特维尔高炉（760~930米³），用含铁40%难选硅质菱铁矿经焙烧入炉时，吨铁石灰石量高达800~900公斤，燃料比1000公斤以上。当使用40%碱度4.36的烧结矿时，石灰石基本去除，燃料比从1115公斤降到613公斤，整整降低了502公斤（其中高碱度烧结矿降焦作用占76%），利用系数由0.822吨/米³日升至1.131吨/米³日。

2.2.2 对于高铁低硅细精矿生产高碱度烧结矿，是提高烧结矿质量的重要途径。鞍钢烧结厂和鞍山矿山设计研究院对高铁低硅细精矿不同碱度烧结时得出表1—1数据。随着碱度提高烧结矿质量改善，这一结论带有普遍性。只是有的矿石在某一高碱度值附近出现低强度现象，如马钢烧结矿碱度在1.8附近强度降低，超过此值强度又上升。其原因一般认为在此碱度下矿物组成复杂，内应力增高所致。

表1—1 碱度对烧结矿质量的影响

指标 碱度	FeO %	转鼓强度 > 5 毫米 %	落下强度 > 10 毫米 %	低温还原强度 > 5 毫米 %
1.22	13.6	55.6	65.9	63.8
1.77	11.4	50.7	65.55	50
2.03	5.75	74.9	72.2	70.4

2.2.3 生产高碱度烧结矿是提高特殊矿石烧结产品质量的良好措施。包钢含氟精矿，攀钢钒钛磁铁矿精矿皆是生产高碱度烧结矿后才从根本上克服了自熔性烧结矿强度低，粉末多，还原性差等缺点，促进了高炉生产指标的大幅度增长。富锰渣生产时高碱度烧结矿也能提高熔点及软化温度，改善冶金性能，比其直接入炉或生产自熔性烧结矿更能提高炉温和锰的回收率。

2.3可以利用冶金工厂的各种含铁粉状废料生产高碱度烧结矿，综合利用，化害为利，变废为宝。

湘钢将成分为TFe43.94%，FeO 48.43%，CaO 10.31%，MgO 5.15%，SiO₂ 1.952%，S 0.092%的平炉水淬钢渣作为烧结原料的添加物，生产碱度为3.5的烧结矿，配用量由0增加到20%，烧结料燃料比从12%降到9.5%，燃料消耗从180公斤/吨烧结矿降到143.8公斤/吨烧结矿，节约燃料21%，烧结矿强度和成品率提高，既节约了能源，又改善了烧结矿质量，一举数得。转炉钢渣、污泥、轧钢皮、瓦斯灰及冶金工厂其他含铁粉尘，皆可配加使用。

美国共和钢铁公司加特斯顿·阿拉厂曾用瓦斯灰等粉状原料配10.5%，石灰石59%，余为精矿组成的烧结原料生产出碱度4.62含铁酸二钙55%的超高碱度烧结矿，将它用于高炉冶炼，焦比由700公斤降到640公斤，日产1366吨上升到1567吨。更有趣的是几乎全由轧钢皮、瓦斯泥等粉状含铁料加石灰石作熔剂，制造出强度很好，粒度均匀的超高碱度烧结矿，燃料消耗只0~2%，产量达到1.39~1.59吨/米²小时。

§ 3 高碱度烧结矿冶炼效果

使用自熔性烧结矿后高炉技经指标取得长足进步，而高碱度烧结矿取代自熔性烧结矿又

促使高炉生产指标进一步改善。如表1—2所示,凡使用高碱度烧结矿的高炉无一例外都不同程度地使得焦比降低和产量增加,其降焦幅度主要取决于熔剂降低的程度。由于影响焦比的因素多,仅从表中数据,还难以作出碱度和焦比间的定量关系

表1—2 高碱度烧结矿冶炼效果

项目 厂	碱度变化	熔剂减少 公斤/吨铁	熟料率 %	焦比降低 公斤/吨铁	产量增加 %
太 钢 (3*炉)	1.1—1.8	165	74.6	42(29.6)*	8.2
包 钢	1.0—2.0	433	66.7	247	20*
武 钢	1.28—1.70	46	70	19.8	6.6
马 钢	1.17—2.31	37	66.2	27(51)*	5.4
重 钢	1.2—3.2	738	46	385	30.5
水 钢	1.36—2.2	133	75	31	9.3
湘 钢	1.13—2.66	211	38.39	96	10.5
宣 钢	1.03—1.73	644	88	289	41
济 钢	0.98—1.98	...	80	82	20.1
杭 钢	1.08—2.0	...	50	80	10
南 钢	1.13—1.91**	242	74.5	99	48
苏 钢	1.19—1.97**	...	88	70	...

注: *经校正后数值, **三元碱度

高碱度烧结矿用于高炉,之所以能使炼铁指标普遍改善,原因是显而易见的。归纳起来主要是高碱度烧结矿具有良好的机械强度、粒度组成和冶金性能,见表1—3。烧结矿碱度增加后

表1—3 包钢不同碱度烧结矿冶金性能

指标 碱度	软化开始及 终了温度 (℃)	900℃还 原度(60 分钟)	还原粉化 (500℃, >5毫米%)	FeO (%)	转鼓 >5毫米 %	成品筛分(毫米%)			
						>40	40—10	<10	<5
1.00	995—1125	13.09	85.8	24.79	77.50	10.28	46.72	43.05	17.18
2.00	1062—1150	29.47	94.6	16.70	81.40	18.10	52.0	29.9	11.30

FeO降低，还原性改善，软化温度上升，软化区间变窄（个别厂有异常现象），低温还原粉化减轻，强度提高，粒度趋向均匀，粉末减少，皆利于改善高炉冶炼条件。碱度提高后对特殊矿石造成强度降低的不利因素能起到抑制作用，如对包钢烧结矿中的枪晶石、攀钢烧结矿中的钛铁矿的不利影响可以大大减轻。

高碱度烧结矿对高炉冶炼有利作用主要表现在：

3.1 大大减少了入炉熔剂用量

高碱度烧结矿尤其是超高碱度烧结矿CaO含量很高，甚至远高于全铁量，成为主要的成分。如重钢烧结矿碱度3.2时，CaO高达45.55%，全铁只有22.31%，所以这种烧结矿有时叫做含铁熔剂。用100公斤R3.2的烧结矿可以置换60公斤左右的石灰石，减少熔剂的作用是很大的。碱度越高，配比越大，减少的熔剂越多，降焦的幅度也越大。当然，提高烧结矿碱度并未减少入炉的铁量（扣除CaO后计算含铁量并未降低），耽心矿石品位随碱度升高而减少了的顾虑是多余的。事实上用高碱度烧结矿后负荷增加，单位焦炭所能熔炼的矿石（或铁）量是增多的。

3.2 改善了矿石还原条件

高碱度烧结矿矿物组成中易还原的铁酸钙增多，难还原的FeO（呈橄榄石类矿物形式）减少；同时由于软化温度升高，扩大了块状带，利于间接还原发展，改善煤气利用，此外气孔率增加，粒度趋向均匀，平均粒度直径缩小等，皆改善了矿石还原的动力学条件，使煤气利用率提高。太钢3#炉用高碱度烧结矿后，煤气CO₂含量约提高2%，达到18%以上。

3.3 改善了炉内气体力学条件

高碱度烧结矿低温还原粉化率减少，增加了块状带的透气性，软化温度提高及其区间缩小也使高炉阻损最大的软融层变薄；加之粒度均匀，强度增加等原因都导致料层透气性改善，煤气阻损降低，为炉况顺行创造了条件。济钢3号炉1979年高碱度烧结矿冶炼试验期间，烧结矿碱度由0.98提高到1.98时，崩料和悬料分别减少48次/月和28次/月。由于顺行情况改善，给提高风温创造了条件，湘钢1978年4月使用高碱度烧结矿后，风温竟然提高了224℃，促使焦比进一步降低。

从理论分析和实践表明，高炉应用高碱度烧结矿既能降低焦比，又能增加冶炼强度，因此，可以使利用系数较大幅度提高。

§4 高碱度烧结矿前景展望

为使高炉生产获得优质、高产、低耗、低成本、高效益，除了加强科学管理以外，要走技术进步的道路。在各种技术措施中，精料毕竟是最基本的措施和物质基础，这已为高炉实践和发展所充分证明。所谓精料不外乎原料要有良好而又稳定的化学成分、强度、粒度组成和优良的高温冶金性能。为此，对人造富矿的开发研究工作日益受到重视。不仅如此，而且进一步从战略高度来探求合理的炉料（确切地说是指矿料）结构。从实际（技术加工水平、价格

出发,从资源条件出发,应是寻求合理炉料的基本原则。就国内外的情况分析,可以认为较合适的炉料结构有以下几种类型:

1、全部或绝大部分为酸性球团,加少量碱性熔剂或超高碱度烧结矿。北美高炉属此类型。究其原因这是由于含铁矿石主要是低品位铁燧岩,要充分利用资源,提高品位,需细磨到325目以下。加拿大多发斯柯4号高炉(1786米³)用100%酸性球团冶炼,焦比最低为382公斤,在用80~100%球团时,焦比一般450~460公斤,利用系数2.1~2.2,仅次于日本先进高炉。

2、高碱度烧结矿与酸性球团矿约各占一半。如美国高炉。我国杭钢也属此类型。杭钢高炉用碱度2.0~2.3的烧结矿和碱度0.3~0.4的酸性球团矿搭配各约50%,焦比达到560~570公斤,利用系数1.7左右,取得较好成绩。

3、高碱度烧结矿为主,加部分富块矿或酸性球团。日本高炉属此类型。当用碱度为1.6~1.7的烧结矿70~80%,余为富块矿或酸性球团冶炼时,取得了世界上最好的高炉生产指标。日本采用这种配比是缘于本国缺乏矿石资源,所用矿石要从澳大利亚、巴西、印度等国进口高品位富矿,破碎加工后的矿粉适宜生产高碱度烧结矿。我国宝钢的原料组成很可能与此类似。

4、高、低两种碱度的烧结矿搭配。武钢曾进行过试验,效果是好的。苏联也曾进行过不同碱度烧结矿配合使用,试验也是成功的。但由于前已述及的原因,在生产操作和管理上交替生产两种产品诸多不便,故其使用受到限制。

5、全部自熔性烧结矿。如苏联,有长期生产使用的经验,尽管有的冶金工作者很早就提出高碱度烧结矿优越于自熔性烧结矿,但基本上还是未作多大改变。

此外高碱度烧结矿配添少量硅石,也是一种炉料组成形式。本钢一铁厂较长期使用R1.6的烧结矿,吨铁硅石用量25公斤左右,顺行改善,煤气利用率提高,焦比降低15.5公斤,产量也有增加。梅山铁厂和本钢一铁有类似经验。

总之各国根据自己资源情况、生产条件与经验,都注意了炉料结构的合理选择,以满足高炉生产需要和获得良好的经济效益。

我国铁矿资源丰富,1978年已探明贮量仅次于苏联、加拿大居世界第三。但品位低,富矿只占12%,贫矿占88%,其中磁铁矿占四分之三,选别粒度一般较粗(-200目占35~07%),这样的粒度进行烧结比球团好;富矿次生粉矿也需烧结造块。所以据我国资源特点及选矿现状,可以认为相当长时期,内烧结造块将是主要形式。生产高碱度烧结矿已被大量试验,生产和高炉冶炼证明远比自熔性烧结矿好,可以全面提高烧结矿质量,缩小和球团优点的差距,且能克服球团还原膨胀粉化的严重缺陷——这一缺陷限制了球团矿用量。因此可以认为高碱度烧结矿是我国今后较长时期的主要原料。为了满足高炉造渣要求,又不能全部用高碱度烧结矿冶炼,故以高碱度烧结矿为主要原料条件下,配加少量酸性球团或天然富矿,是符合我国国情的最佳或良好的炉料组成形式,它将给钢铁生产发展创造良好的原料基础,也将为造块工业建设指出主要方向。但是由于资源生产条件的多样化,烧结矿的合理成分和最佳碱度范围不可能采用一个模式。如有的矿石烧结产品在某一较大碱度值附近出现低强度槽形区,似乎随矿石SiO₂含量的增多,这一影响表现得更明显。其原因主要是由于正硅酸钙相变引起。减小或克服了这个弊端,粉碎现象则变弱或消除。碱度超过了低强度值,烧结矿强度又上升。因此各地区要根据自己的矿石特点和生产条件进行系统的试验研究,摸索出各自的规律性,找出最佳或较好的碱度范围,然后再根据高炉原料条件——以最大限度减少入炉熔剂为

前提, 选用最适合的碱度数值, 以期达到较理想的冶炼指标。总之, 高碱度烧结矿在我国有着广阔的发展前景。

对于为数尚多的地方铁厂, 单位生铁石灰石消耗仍在数百公斤以上的还不少, 这必然影响高炉生产, 特别是影响能耗和生铁成本的降低, 以致未能充分体现和发挥地方铁厂对国民经济不可忽视的作用和贡献。高碱度烧结矿的生产和应用, 对小高炉生产效益带来突破性的成就, 因为它用在高炉生产上节焦增铁的幅度既大, 见效又快, 工艺操作亦不难掌握, 可以说是当前最积极有效, 最方便经济的挖潜革新改造的主要措施, 是原料改造的重点。从小高炉的资源条件分析, 使用高碱度烧结矿是最合理的, 很多小高炉是用分散的矿山资源, 就地取材加工使用。这种情况四川尤为突出, 多数矿山是难选红矿或菱铁矿选矿, 投资大, 效果也未必好, 如果以天然矿块为主要原料, 只以加工后的粉矿搞烧结, 熟料率低, 生产超高碱度烧结矿无疑是良好途径。如尽可能将矿石破碎小些 ($<20\sim25$ 毫米) 造块的粉矿将增多, 熟料率可以提高, 情况会更好些。此外, 各地方铁厂通常都能收集到一些冶金工厂, 机械加工厂、电厂、化工厂等的含铁粉状物料, 用它作为添加料或生产以铁酸二钙为主的超高碱度烧结矿都是积极可取的。前述法国蒙特维尔高炉将难选菱铁矿粉生产碱度为4.36的超高碱度烧结矿取得良好成绩, 以及重钢的生产就是典型实例, 可供以天然贫矿粉为主的高炉借鉴。

采用超高碱度烧结矿代替熔剂, 比现在一些铁厂用生石灰作熔剂效果好; 比用球团矿经济。山东、江苏等省地方铁厂从实践经验中指出: 使用球团矿“节焦不节能”, 且成本高, 经济效益不好。所以长期使用球团的厂已逐渐改为走高碱度烧结矿的道路, 明确方向, 下定决心, 集中力量把高碱度烧结矿搞上去, 配加部分天然块矿作为小高炉的原料, 肯定会使企业的能耗降低, 经济效益提高, 摆脱被动局面, 为四化建设作出更大贡献。

五十年代发展起来的球团矿, 具有品位高、强度大、粒度均匀、粉末少、 FeO 低、还原性好等优点而得到很快发展, 1980年在国外入炉原料中, 球团矿比例已达30%左右。近年来自熔性球团矿有所发展, 它的高温冶金性能比酸性球团矿好, 含 MgO 的自熔性球团则更好些, 用于高炉产量增加, 焦比降低, 但生产能耗高, 工艺控制难, 贮存转运破损大, 冷态性能不如酸性球团矿好。我国球团生产能力只占人造富矿的11%左右, 而实际产量则约占2%, 但是我国贫矿多, 今后随选矿技术的提高, 适合生产球团矿的细磨精矿也将增多, 所以为充分利用资源, 物尽其用, 球团矿也是有希望的产品。但是不等于说球团矿将有取代烧结矿的趋势或者说潜在的趋势。从合理利用资源考虑, 烧结球团各有所长; 从工艺和产品特性分析也各有利弊, 如果以高碱度烧结矿为主搭配部分酸性球团矿, 则能取长补短, 相得益彰, 发挥优势。由此可见, 既强调高碱度烧结矿的推广, 又重视球团矿的发展, 是符合我国冶金工业发展需要的。

就目前烧结矿发展的情况观之, 设备日益大型化, 操作技术高度自动化, 全面实现电子计算机控制, 净化美化生产环境, 已成为现代烧结工业的重要标志。日本君津钢铁厂3号烧结机 (500米^2), 生产工人只16人 (4×4 班), 劳动生产率约35.2万吨/人年; 大分厂1号2号烧结机分别为400及600米², 生产工人只24人 (6×4 班), 劳动生产率达37万吨/人年。大型化高度自动化带来的结果是单位烧结面积的投资少, 产品质量好, 成本低, 劳动生产率高, 显然是非常优越的。然而从我国国情出发, 不能一味贪大求全, 废旧建新, 按日本的模式发展。即使在工业发达的美国、西德, 工业现代化所走的道路, 也和日本不尽相同。他们主要是利用现代科技成就去装备老厂, 走技术革新的道路, 而不是推倒重来。如美 (下转62页)

第二章 高碱度烧结矿烧结原理

§ 1 高碱度烧结矿成矿机理

1.1 烧结过程一般物理化学反应

所谓烧结就是粉状和细粒料在不完全熔化条件下,借助固相扩散反应,以及表面软化,局部熔化和造渣,使散料成块。这个过程是以燃料为基础进行着一系列复杂的物理化学反应,如蒸发、分解、氧化、还原反应,与此同时,烧结料中因固相反应而生成的低熔点化合物形成熔融液相,进而激烈地进行气—固—液的多相反应,然后经过液相的同化作用形成粘结相,在冷却过程中矿物进行结晶与再结晶、相变和晶型转变,最后冷却凝聚成多孔不规则的烧结矿。

以抽风烧结过程为例,按其温度变化情况一般可分为五层(或五带),各层中的反应变化大致如图2—1所示。点火

开始后,依次出现烧结矿层、燃烧层、预热层、干燥层和过湿层,然后又相继消失,最后全变为烧结矿(层)。

(1) 烧结矿层。经点火后燃料燃烧释放出大量热量,使混合料中矿物局部熔融,随燃烧层的推移和冷空气通过,熔融液相被冷却而结晶,凝析出新的矿物,混合料固结成网孔结构的烧结矿。冷却过程中伴随着低价氧化物的再氧化。

(2) 燃烧层。燃烧层温度可达 $1250\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 或更高,使许多反应激烈进行,如物料的软化,熔融,还原、氧化以及石灰石、硫化物的分解等。由于气体被加热到高温,流速增大及液相的产生,空气穿过此层的阻损增加。当烧结原料中均匀混合的碱性物质增多时,通常使物料的软化到熔化温度区间变窄,可以使燃烧层厚度减小,改善了烧结料层的透气性。

(3) 预热层。燃烧层的高温气流穿过预热层,物料很快被加热到 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$,此时发生固相反应,结晶水及部分碳酸盐、硫酸盐分解,挥发物挥发,以及铁矿石的氧化或还原。燃料也很快被加热到着火温度。

(4) 干燥层。游离水在此层中大量蒸发。预热层和干燥层实际难于截然分开,有时统称干燥预热层。料球被强烈加热干燥,易于破坏,这样会导致料层透气性恶化。

(5) 过湿层。从干燥层带来的水分在料温低于水蒸汽的露点(一般 $60\sim 65^{\circ}\text{C}$)时将重

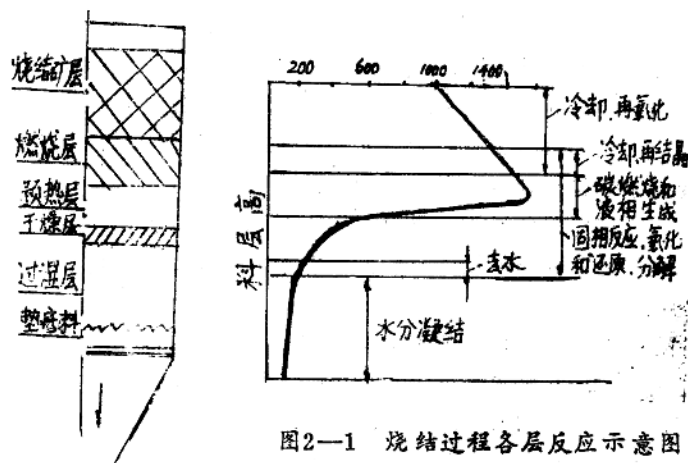


图2—1 烧结过程各层反应示意图

新凝结, 使此层物料水分高于原始混合料水分而形成过湿现象, 降低料层透气性。由于物特性不同, 烧结原矿粉或褐铁矿粉时, 过湿层对透气性的恶化程度将减小。

1.1.1 燃料燃烧和热交换

燃料是烧结过程的主要热源, 燃烧后产生的热量和导致温度的升高是各种反应赖以进行的基础。

烧结料层中固体碳的燃烧是在碳量小和分布较均匀的状况下进行, 传热条件好, 通常在1分钟内使物料加热到 1000°C 以上。碳燃烧具有以下特点: 空气过剩系数大(1.4~1.5), 燃烧废气中既有 CO , 也有 CO_2 和 O_2 , 存在还原区但主要是氧化区, 燃烧层温度高, 燃烧反应基本上处于扩散速度范围, 即一切影响扩散速度的因素都影响燃烧速度。如缩小燃料粒度、增加气流速度和含氧量都将加快燃烧反应速度, 从而加快烧结速度。

烧结过程传热、传质条件良好, 热交换作用强烈, 冷空气通过烧结矿层被预热, 在燃烧层燃烧碳变为高温废气, 然后与混合料激烈进行热交换, 气流本身温度降低。热交换过程在气流速度大于1.0米/秒的情况下进行, 极短时间的温差达 1000°C 以上, 可见热交换作用的激烈和进行情况的良好。其原因主要是烧结原料粒度细, 比表面积大。

燃料燃烧放热所形成的高温区, 对烧结矿的产量和质量影响很大。其中以高温区的移动速度、温度水平和厚度的影响为主。

高温区的移动速度, 一般指燃烧层中温度最高点的移动速度, 亦即垂直烧结速度, 它是决定烧结产量的主要因素。产量同垂直烧结速度基本上成正比关系, 垂直烧结速度也和风速成0.77~1.05次方关系, 所以加大风速或者说风量, 产量随之增加。但过大的垂直烧结速度也会引起烧结矿强度降低, 反而降低了成品率。

除风速外混合料的性质也影响烧结速度。如热容量大、导热性好、粒度小等皆增加混合料吸热的能力而降低烧结速度, 但熔剂用量增加时, 则可改善料层透气性又利于提高烧结速度。

高温区温度高低影响生成的液相量, 温度高液相多, 烧结矿强度增加; 但过高的温度又会造成过熔, 使烧结矿还原性及料层透气性降低。影响高温区温度水平的因素很多, 如燃料及熔剂用量, 烧结料粒度、气流速度、点火温度等。当燃料量大、粒度细、点火温度高、熔剂量减少时, 都将使高温区温度水平提高。

高温区厚度过大会降低料层透气性而降低产量; 但厚度过小又不能保证高温反应进行的时间而影响烧结矿质量。燃料用量大、粒度粗、气流速度快等因素皆使高温区厚度增加。

1.1.2 水分蒸发、分解和冷凝

烧结料中水分多为游离水, 在褐铁矿、高岭土中含有结晶水, 影响游离水蒸发、结晶水分解的因素主要是料层温度, 气相压力也有影响。混合料中游离水蒸发条件是气相中水蒸汽的实际分压 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 小于该条件下的饱和蒸汽压 $P'_{\text{H}_2\text{O}}$ 。从点火开始水分就进行蒸发转移到气相中, 约到 100°C 时水剧烈蒸发, $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 不断升高。因热交换结果, 废气温度逐渐降低, $P = P'_{\text{H}_2\text{O}}$ 不断减少, 当 $P_{\text{H}_2\text{O}} = P'_{\text{H}_2\text{O}}$ 时, 水分停止蒸发; $P_{\text{H}_2\text{O}} > P'_{\text{H}_2\text{O}}$ 时, 废气中的水分开始冷凝, $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 又逐渐减小, 直到 $P_{\text{H}_2\text{O}} = P'_{\text{H}_2\text{O}}$ 冷凝终止。水分冷凝使料层过湿, 导致料层透气性降低。

冷凝水分量同 $P_{H_2O} - P_{H_2O}$ 差值有关。此值愈大，冷凝水分愈多。当原始料温愈低（即 P_{H_2O} 愈小），混合料原始湿度愈大（即 P'_{H_2O} 愈大），冷凝水量愈多；此外，烧结料粒度细，亲水性好，湿容量大（如细精矿粉）冷凝水也多。添加返矿、生石灰及通蒸汽预热混合料等措施，以及控制混合料水分，使其比原始透气性最好时的水含量低1~1.5%（此值约等于过湿层增加的水分量），皆能减少料层过湿现象，从而强化烧结过程。

混合料中结晶水的分解温度大于250~400℃，要完全除去高岭土中的结晶水要在1000℃以上。结晶水分解吸热，在其含量多时，要适当增加燃料用量。

1.1.3 碳酸盐分解及CaO的矿化作用

烧结料碳酸盐存在形式主要是 $CaCO_3$ ，其次为 $MgCO_3$ 、 $FeCO_3$ 、 $MnCO_3$ 等。碳酸盐分解的条件是其分解压力 P_{CO_2} 等于气相中 CO_2 的分压 P'_{CO_2} 时即开始分解。 P_{CO_2} 等于气相总压力 $P_{总}$ 时，则开始化学沸腾（剧烈分解）。烧结条件下 $CaCO_3$ 在720℃开始分解，880℃即达化学沸腾温度。其他形式的碳酸盐分解温度低些。

碳酸盐分解速度与其粒度有关，粒度小分解速度快。为保证烧结过程中碳酸盐能完全分解，要求粒度应小于3毫米。同时熔剂分解是吸热反应，用量大时要相应增加燃料量。

分解出的CaO将与其他物质如 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等反应即进行矿化作用，温度愈高，粒度愈细，反应愈强。如图2—2的试验表明，磁铁矿粒度为0~0.2毫米，石灰石粒度为0~3毫米组成的烧结料，温度1300

℃、试验时间一分钟内CaO可以完全矿化。如果石灰石或矿石粒度愈小，矿化作用将加强。但是美国M·P·弗道克认为氧化铁向氧化钙扩散胜于氧化钙对氧化铁的扩散，因此，熔剂粒度较铁矿粒度粗些能改善烧结和矿化反应条件，从而提高烧结矿质量。对于细精矿烧结事实上是氧化钙粒度大于铁精矿，可以改善烧结过程，但对原矿粉烧结是否二者粒度也应符合上述要求呢？我国的生产实践还未能给予可靠的证实。相反，石灰石粒度粗

了如大于3毫米粒级增多，在烧结矿中出现“白点”的现象增大，烧结矿粉化增加，尤其是贮存强度变差。

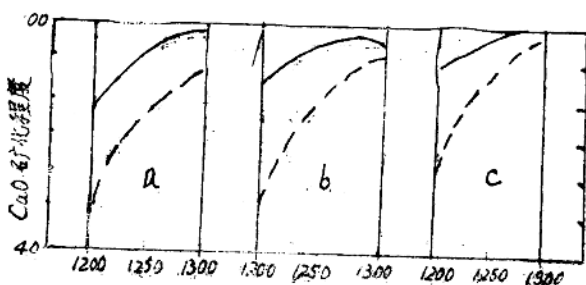


图2—2 不同粒度的磁铁矿和CaO对矿化作用的影响
a.b.c——矿石粒度分别为6~0, 3~0, 0.2~0毫米；

——石灰石粒度3~0毫米，
——石灰石粒度1~0毫米。

1.1.4 铁和锰氧化物的分解、还原与氧化

烧结过程存在高温和不同气氛，铁与锰的氧化物将发生分解、还原与氧化反应。

铁氧化物分解的条件是氧化物的分解压 P_{O_2} 大于气相中氧的分压 P'_{O_2} 。烧结气相中氧的分压 P'_{O_2} 为0.18~0.19大气压，在1300℃时， Fe_2O_3 的分解压 P_{O_2} 大于0.197大气压，所以烧结条件下 Fe_2O_3 可能进行分解。但因>1300℃的高温区停留时间极短，且在此温度下 Fe_2O_3 也可能被大量还原，故实际分解的量很小。 Fe_3O_4 分解的可能性更微。

铁氧化物的还原以碳质点为中心进行。自由的 Fe_2O_3 被CO还原在 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 即能较快地发生反应：



但在熔剂用量大时，因固相反应生成铁酸钙而限制了上述反应进行。 Fe_3O_4 在 900°C 以上温度下，可能被CO还原，若有 SiO_2 存在，因可能生成铁橄榄石而使反应加快发展。熔剂用量大时，则可以减少铁橄榄石生成而不利 Fe_3O_4 还原。所以高碱度烧结矿中FeO量降低，FeO难以在烧结过程中被CO或C还原，但燃料量很大时，有可能生成金属铁。FeO与 SiO_2 、CaO能生成多种低熔点液相，不利于FeO还原，但使烧结矿强度增加。

铁的低级氧化物在氧化性气氛中能被再氧化：



温度高时反应进行很快，随温度降低则反应速度减慢甚至中止。所以烧结矿缓冷不仅利于矿物的结晶发育，而且也利于增加烧结矿的氧化度，提高还原性。

烧结矿氧化度由下式表示：

$$\Omega = \left(1 - \frac{\text{Fe}^{2+}}{3\text{Fe}_{\text{全}}}\right) \times 100\% \quad (2-4)$$

式中： Fe^{2+} ——烧结矿中的二价铁含量，%；

$\text{Fe}_{\text{全}}$ ——烧结矿全铁含量，%。

发展氧化气氛，减少燃料量，生产高碱度烧结矿皆有利于减少烧结矿中FeO含量，提高烧结矿氧化度，改善还原性。

锰的高价氧化物 MnO_2 、 Mn_2O_3 ，在烧结生产中可以完全分解，或被CO还原； Mn_3O_4 可被CO还原， MnO 难以还原而生成硅酸盐。

1.1.5 硫及其他杂质的去除

烧结料中硫存在的主要形式为黄铁矿 FeS_2 ，个别情况下有黄铜矿 (CuFeS) 、兰铜矿 CuS 、闪锌矿 ZnS 等；硫酸盐（如 CaSO_4 、 BaSO_4 ）不多；此外，燃料还带来有机硫。硫严重降低钢铁质量。高炉冶炼中虽能脱硫，但每除去一公斤硫要耗焦约26.5公斤。烧结过程能去除大量硫，这是一大优点。硫在烧结过程中主要通过氧化、分解等方式脱除。去硫反应较复杂，以 FeS_2 的氧化分解为主。 FeS_2 着火温度是 $366\sim 437^\circ\text{C}$ ，分解温度是 565°C ，即高于 565°C 时氧化与分解反应同时进行：

