

鞍山黑色冶金矿山设计研究院 译

第二届



国际造块会议

论文选

冶金工业出版社

U 196.9

A 382

第二届国际造块会议论文选

鞍山黑色冶金矿山设计研究院 译

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书译自第二届国际造块会议论文集《造块 77》(Agglomeration 77, K.V.S.Sastry 编) 中的 16 篇文章。书中主要介绍了铁矿石烧结与球团的发展和最新技术、试验方法、生产实践、操作经验、流程的自动控制及在高炉中的应用等。

第二届国际造块会议论文集

鞍山黑色冶金矿山设计研究院 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口 74 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 10 1/4 字数 272 千字

1980 年 11 月第一版 1980 年 11 月第一次印刷

印数 00,001 ~ 1,500 册

统一书号: 15062·3461 定价 1.30 元

译 者 的 话

为在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的社会主义强国，为适应我国冶金工业科研、设计和生产的需要，我们选译了1977年第二届国际造块会议论文集中的16篇文章。译文介绍了近十五年来（第一届国际造块会议是1962年召开的）烧结、球团生产的发展，生产实践，设计特点以及烧结矿和球团矿质量的检测，生产过程的自动化水平；还介绍了高炉冶炼中使用烧结矿和球团矿的经济效果。本书可供从事烧结、球团和炼铁工作的科技人员和大专院校有关专业的教师和学生参考。

本书由俞大伟、张锡典、修泽久、孙庆和、肖相才、高祖绶、吴立民、薛培增、于达林、李显靖等同志翻译。孙济中、孙君泉同志技术校对。文霞飞同志总校对。由于水平所限，难免有缺点和错误，请读者批评指正。

一九七八年三月

目 录

一、球团矿生产的发展	1
二、烧结工艺的最新发展	18
三、生产添加冶金厂内粉料并供给高炉和直接还原过程用球团矿的球团厂设计	42
四、克利夫兰-克利夫斯铁矿公司用各种铁精矿和天然矿生产球团矿的实践	61
五、评价铁矿石、球团矿和烧结矿的试验方法	83
六、试验室试验是烧结与球团厂最佳工程的基础	114
七、影响铁矿粉焙烧球团矿质量的某些因素	146
八、评价温度在1100°C以上时人造富矿性能的试验方法	159
九、铁矿原料的造块及其在还原过程中的特性	176
十、铁矿石球团工艺数学模型的建立和控制	195
十一、造球系统中采用圆筒造球机、圆盘造球机和辊式筛的操作经验	216
十二、烧结矿的机上冷却	227
十三、一个烧结厂的过程控制	255
十四、添加锌和碱的铁氧化球团矿的还原性能和机械性能	272
十五、加古川高炉使用白云石熔剂球团矿的实践	299
十六、烧结矿与球团矿在高炉中冶炼效果的比较	312

一、球团矿生产的发展^①

引 言

二十年前第一座大型商业球团矿工厂建成并达到了预计的生产能力。当时，球团矿主要是由试验工厂生产的，年产量总共只有几千吨。而现在，全世界球团矿的年产量已超过二亿八千万吨。对任何工业来讲，这的确是非常惊人的增长。显然，这样快的产量增长速度必然伴随着工艺、设备和设施方面的同样速度的发展。在这增长和发展的时期内，各种原料的适应性更强了。例如，最初铁矿球团原料只限于磁铁精矿，反应热是焙烧过程中燃料的重要组成部分，而在这增长期间，镜赤铁矿，土状赤铁矿，赤铁矿和磁铁矿的混合物，甚至一些非铁物料都用于球团生产，这在以前是很难想像的。

对于使用球团矿的需求也已突破了原来的概念。最初，只用球团矿来代替高炉原料中的高品位铁矿石。现在不仅用它来代替含铁原料，而且对设计大型高炉也有重大的影响，在促进每座高炉日产超过10000吨方面做出了贡献。它还用来炼钢，主要是作为氧气顶吹转炉的冷却剂。最近，由于选矿技术在同一时期内也有所提高，球团矿已用于直接还原，还能直接用于电炉炼钢。

在非铁物料中，现在磷酸盐也用于球团法，且成功地用于生产元素磷。锰矿也可用于球团工艺。其它非铁矿石如长石，虽然未必达到普通球团矿的硬度，亦可用于球团法。

在球团工业的发展中，并不是没有问题的，但由于工程师、冶金学家和操作者的创造精神，得以保持了球团工业的发展。甚

①本文作者：A.英格利希（美国俄亥俄州汉纳采矿公司专门工程处经理），R.D.弗兰斯（美国明尼苏达州汉纳采矿公司质量管理处经理）。

至在能源危机的影响下，也未能降低其增长速度。

发展情况

二十世纪四十年代中期，明尼苏达大学的矿山研究所在球团技术方面打开了重大的突破。成功地进行了基础理论的研究工作，随后建立了一所小型试验厂。与此同时，瑞典皇家技术学院也发表了论文。所有这些工作主要是围绕发展竖炉球团来进行的。根据这些研究成果，一些主要的炼钢公司和铁矿公司在设备制造厂商的协助下进行了大型试验厂试验。

1950~1951年，在美国肯塔基叶阿姆科（Armco）钢公司的阿希兰德（Ashland）厂的一座试验竖炉内进行了第一次大型球团试验，接着在明尼苏达州里塞夫（Reserve）矿山公司巴比特（Babbitt）厂建成了有四座竖炉的生产工厂。

1951年，对使用带式焙烧机的新设想进行了试验，该设备与世界上各主要烧结厂所成功地使用的烧结机相类似。

1952年，麦基（McKee）公司和阿里斯-查尔默斯（Allis-Chalmers）公司进行了研究，并在威斯康辛州奥克河地方的卡罗尔威尔（Carrollville）试验厂进行了生产，其设备采用带式焙烧机。同时，矿山研究所在一个类似的带式焙烧机上进行了研究，紧接着西德鲁奇（lurgi）公司也采用带式焙烧机或烧结型设备进行了球团研究工作。

里塞夫矿山公司在明尼苏达州的巴比特安装了第一台带式焙烧机，和当时正在生产的几台竖炉安装在同一建筑物之内。该厂的生产能力为1000吨/日，大约一年以后建立了设计指标，以便继续进行设计和建设，并最后建成目前的、在明尼苏达州里塞夫矿山公司的锡尔佛湾（Silver Bay）球团厂。这是世界上第一座大型工业球团厂。其额定生产能力为375万吨/年。球团厂于1955年10月动工兴建，1956年2月建成。紧接着又进行了扩建，现在的生产能力已达1100万吨/年左右。

与此同时，伊里（Erie）矿山公司在明尼苏达州霍依特湖

(Hoyt lakes) 的竖炉球团厂正投产。这座年生产能力为 500 万吨的球团厂随后也进行了扩建。所以，里塞夫和伊里厂是当今我们所见到的世界上大型球团厂的创始者。

1956年，克利夫兰-克利夫斯 (Cleveland-Cliffs) 铁矿公司采用了矿山研究所改进的带式焙烧机装置，大约在同一时期，加拿大国际镍公司 (International Nickel Co. of Canada) 采用了鲁奇公司的设计。这时，瑞典的工业竖炉也建成投产。

可供选用的球团方法有四种：竖炉；麦基和阿里斯-查尔默斯公司的带式焙烧机，以后又设计成鼓风和抽风系统；矿山研究所的鼓风带式焙烧机；鲁奇型带式焙烧机，设计成抽风-鼓风系统。对上述各方法 (图1-1~4)，在本文的后部分将加以评述。

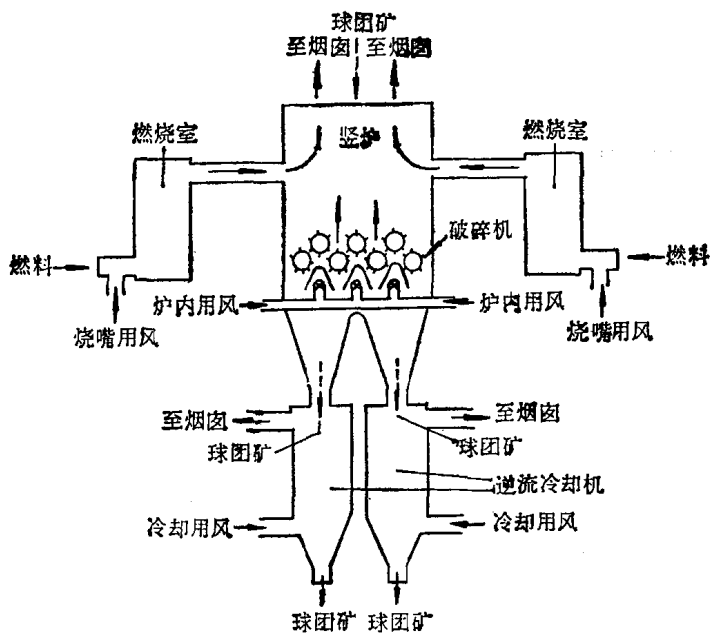


图 1-1 竖炉系统带外部冷却机的普通竖炉

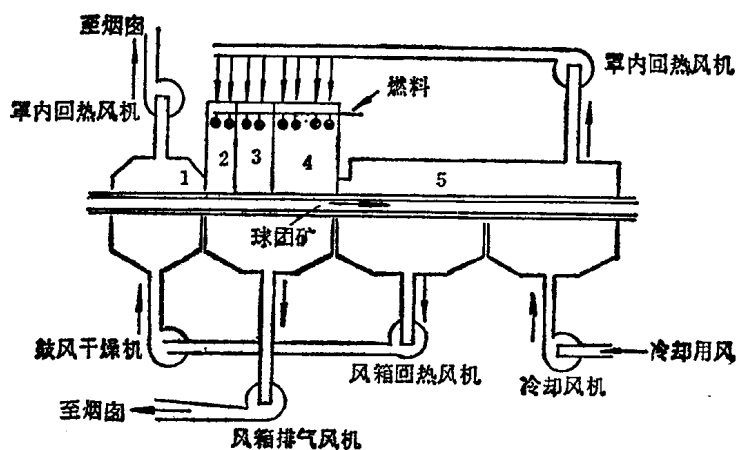


图 1-2 麦基带式焙烧机系统处理磁铁精矿

1—鼓风干燥段；2—抽风干燥段；3—抽风预热段；4—抽风焙烧段；5—空气循环罩

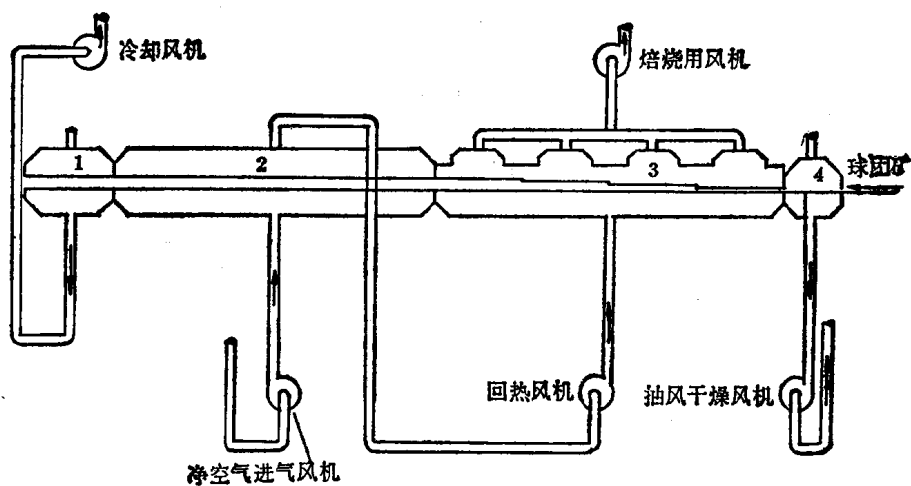


图 1-3 鼓风带式焙烧机气流示意图

1—抽风冷却段；2—鼓风冷却段；3—焙烧区；4—点火区

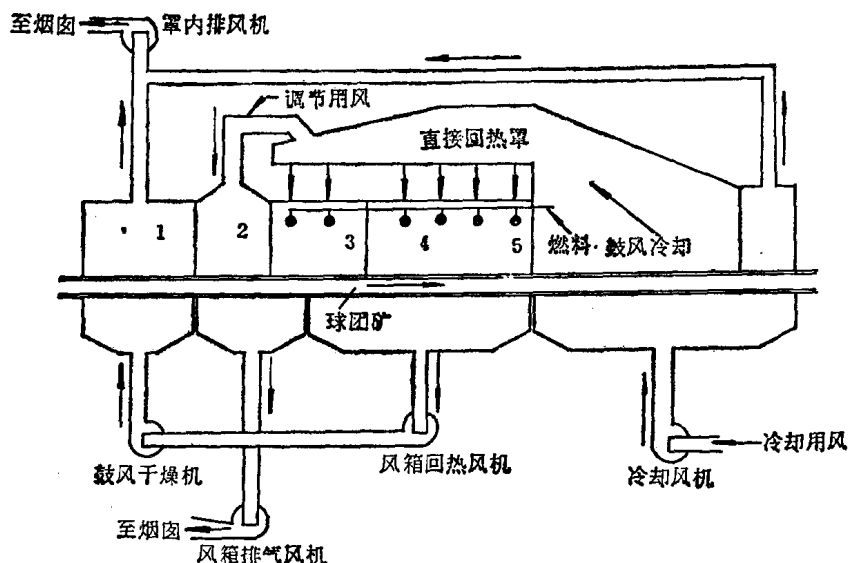


图 1-4 鲁奇-德拉沃带式焙烧机系统处理磁铁精矿

1—鼓风干燥段；2—抽风干燥段；3—抽风预热段；4—抽风焙烧；
5—抽风均热

1956年，对这种新工业发生了很大兴趣，然而，一些问题使初期出现的球团矿质量和今日的标准对比起来还是比较差的。为了开发加拿大北部的低品位铁矿石，麦基公司承担了研究任务，结果表明，新建的两座工业性生产工厂都生产物理性能良好的球团矿来满足用户的需要。阿里斯-查尔默斯公司在威斯康辛州的卡罗尔威尔建成一个试验厂，其中包括链篦机，回转窑和冷却机，以验证其用于水泥制造的可能性。该套设备很快就用于加拿大北部低品位铁燧岩矿精矿的球团作业。试验成功以后，新的球团方法——链篦机-回转窑系统问世了。此后，美国的克利夫兰-克利夫斯铁矿公司、美国钢公司、汉纳（Hanna）矿山公司和埃弗勒斯（Eveleth）铁燧岩公司以及瑞典、挪威、日本、苏联、英国、利比里亚、澳大利亚、墨西哥和加拿大均采用了这种系统。该系统示于图1-5。

1964年，米德兰-罗斯（Midland-Ross）公司的表面燃烧部发明了称之为“热固”法（heat-fast）的另一种球团矿生产系统。它包括干燥机以及与竖式冷却机成为一体的环式焙烧机。该装置可进行氧化球团矿生产及直接还原球团矿的生产。1965年，纳雄耐尔（National）钢公司兴建了这种系统的球团矿生产厂，年产240万吨氧化球团矿。该厂于1967年建成，1968年初停止生产。

1970年，麦基公司发明了环式球团焙烧机。该设备在卡罗尔威尔地方阿里斯-查尔默斯厂进行了试验，1974年麦基公司在墨西哥建成了第一座小型的、但是工业性的环式焙烧机球团厂。这是已发展的火法冶金系统中最新的一个，示于图1-6。但与此同时，又发明了几种冷固球团法，并考虑应用到生产中。

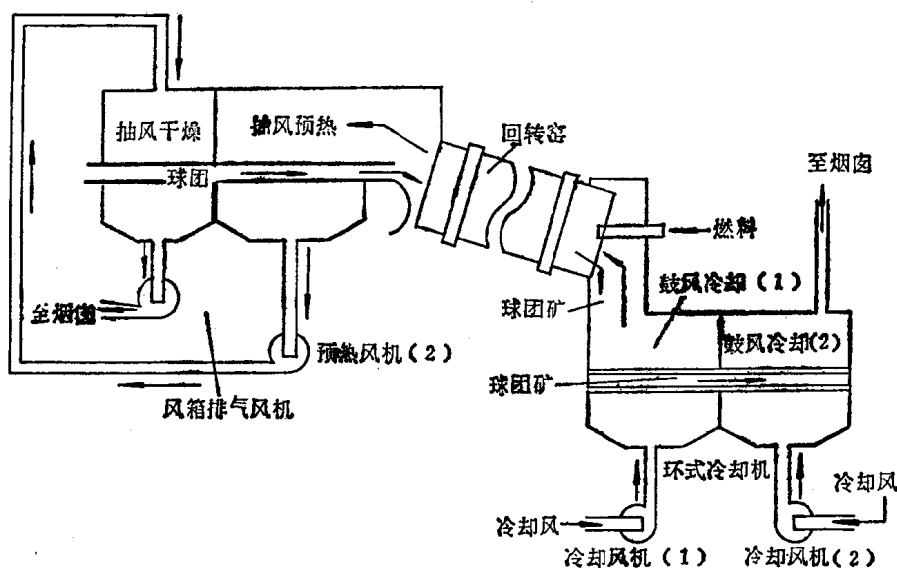


图 1-5 阿里斯-查尔默斯链篦机-回转窑系统采用二次，二区段抽风循环处理赤铁矿

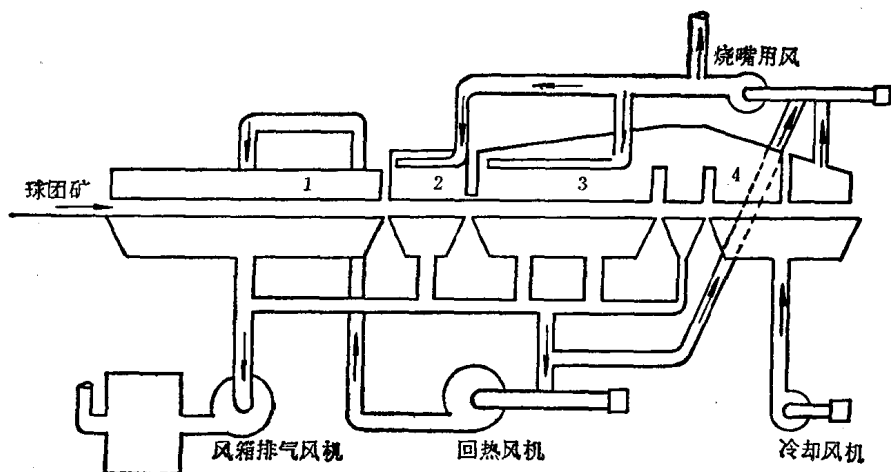


图 1-6 环式球团焙烧机

1—抽风干燥段；2—抽风预热段；3—抽风焙烧段；4—鼓风冷却段

工艺的发展

竖炉

对于竖炉的设计主要有两种。一种是不带外部冷却器的高式竖炉，另一种是设有单独的球团冷却和热交换装置的低式竖炉。显然，为了连续卸出冷却产品，单设冷却机是必需的。同时，炉子最高温带以下部分应保持一定高度以使球团矿质量更加均匀一致。为取得最佳炉子作业，炉子设计成中等高度，且随后带外部冷却机。对炉子的内壁斜度作了重大改变，并且作出改进而使球团矿分别入炉得以完善。

竖炉一直在不断地进行小的改进，但上面所述是自有竖炉以来主要的改进。不言而喻，炉子能力是增大了。然而，这或许就是对炉子的最重要的设计变更。在改造第二和第三代炉型时，关于保持竖炉最佳操作条件的许多因素，诸如合理的长宽比和最大可能的宽度等问题就比较明显了。这些年来，炉子的生产能力从每年25万吨增加到约50万吨。

竖炉本来是用来处理磁铁精矿的，经过改进和处理各种精矿

后发现，必须尽量提高精矿中的磁精矿含量。在一定条件下，配入少量的赤铁矿是容许的，但不管怎样，精矿中的亚铁含量应当大于20%。

据目前估计，竖炉球团矿的年产量为2650万吨。

带式焙烧机

带式焙烧机的最大发展可能就是增加了焙烧机的面积，而仍保持其各种作业如鼓风干燥，抽风干燥，预热，焙烧，鼓风冷却，并且设计辅助设备以保持增加的热气体。第一台工业规模的带式焙烧机面积约为92.9平方米。第二代焙烧面积约增加到185.9平方米，而现在生产的一台带式焙烧机已达469平方米。更大的一台正在巴西兴建，其有效面积为699平方米，比这再大的也正在计划之中。在带式焙烧机处理磁铁精矿，每平方米每天生产球团矿269吨的基础上，单机能力已从很小的3000吨/日增加到18000吨/日左右，或以年生产330天计，则每年产量约为600万吨。据估计，目前全世界用带式焙烧机生产的球团矿，每年约为15900万吨。

在发展的头几年，作出了巨大的努力来确定鼓风干燥和抽风干燥的最佳指标。就是在今天，当采用厚料层生产时，它在设计上仍具有重要意义。

随着带式焙烧机生产能力的增加，像对篦条的选择一样，对焙烧机结构材质的选择以及全部辅助设备的选择都是非常重要的。

当第一次设想带式焙烧机时，预计焙烧机上的平均温度将比生产烧结矿时要低。这确实是个错误。实际上，带式焙烧机上的平均温度大大超过了烧结时的温度。不久，就确认了这两种方法很少甚至没有相似之处。因而，最初为实验工厂所选用的材料在工厂建成以前就已经过时。直到兴建第二、第三代带式焙烧机时，所选用的构件材质才达到目前的高水平。

在球团工艺发展过程中，不论采用什么方法，回流热总是主要目标之一。在带式焙烧机中，由于改进了焙烧炉设计和选择所

用耐火材料及改进操作技术，从而提高了回流热的利用率并防止了热的损失。在发展初期，对于磁铁精矿，燃料耗量为 7.91×10^8 焦耳/吨球团矿（75万Btu/吨）。现在看来，燃料耗量为 4.75×10^8 焦耳/吨球团矿（40万Btu/吨）是合适的。为了得到这样的标准热值，必须采用磁铁矿含量较高的铁精矿以便在球团过程中不加石灰石之类的添加剂。对于赤铁矿含量百分比的任何增加，都将引起燃料量的相应增加，直至磁铁矿全部被赤铁矿代替，燃料的额定耗量约为 $8.44 \times 10^8 \sim 9.50 \times 10^8$ 焦耳/吨球团矿（80~90万Btu/吨）。如果球团厂生产自熔性球团矿时，则燃料耗量随所用原料的性质而定。在1962年的国际造块会议上，据说在北美生产自熔性球团矿是不经济的。现在，在这些年中生产了几百万吨球团矿以后，由于炼钢的要求，证明这种说法在某些范围内是不正确的。例如，日本就有些生产厂生产自熔性球团矿。

为了提高球团厂的作业率，已大大改善了球团设备的性能。把所有停工时间计算在内，公称的球团厂作业率为96~97%。其它设备如辊式布料机已发展成为球团焙烧机的整体部分。原先为2米宽焙烧机设计的辊式布料机，现在已设计成用于6米宽的焙烧机了。而且这种设备，目前也为链篦机-回转窑球团生产系统所采用。在生球给至焙烧机的过程中，辊式布料机起到两种重要作用。第一，辊式布料机具有适当的缝隙，在生球给到焙烧机上的最后时刻进行了筛分，从而保证给出不含粉末的生球。第二，全部生球又经过同样的滚动处理后给到焙烧机上，这样也提高了生球的质量。这两种作用为料层提供了最适宜的透气性。在焙烧磁铁矿时，辊式布料机能促使反应热均匀分布，从而生产出焙烧均匀的球团矿。上述评论适用于所有球团方法。辊式布料机的作用使最合理的连续操作条件得以实现。由于筛出了生球，从造球工段到焙烧机的运输过程中所产生的粉料就最大限度地减少了整个球团作业中的粉尘量，并减少风机的磨损。结果，风机寿命的延长使工厂作业率从最初规定的85%提高到现在的97%以上。不仅提高了作业率，也使更换风机的费用屡次减少。现在，这种主要

设备的维护费用也是最低的。

向焙烧机提供热源的喷嘴在过去几年内得到了改进，目前，在带式焙烧机的标准操作中采用了吸入式喷嘴，以利用系统中回收的显热。根据球团厂所在地的条件，燃料一般选用天然气和（或）6号燃料油。现在，由于煤气和油供应不足而考虑用煤进行补充。关于这个问题，后面有专门的章节进行讨论。

链篦机-回转窑

和带式焙烧机一样，链篦机-回转窑的最大改进可能也是在设备的规格方面。设计的第一台年产量为33万吨的链篦机-回转窑系统用赤铁精矿作原料。现在，利用同样原料的单机球团厂年生产能力已超过了450万吨。如果使用磁铁精矿作为原料，用同样的设备将远远超过这一生产能力。

现在，全世界用这种设备生产的球团矿，估计为9700万吨。

近来，兴建了带有从冷却机来的热循环系统的链篦机-回转窑球团厂，同时，现有的厂家都在为采用这一措施进行改装。当用磁铁矿原料时，这种热循环系统使燃料耗量从额定的 6.33×10^8 焦耳/吨球团矿（60万Btu/吨）降至 $3.69 \times 10^8 \sim 4.22 \times 10^8$ 焦耳/吨球团矿（35~40万Btu/吨）。在处理赤铁矿的球团厂，这种热循环系统也能节约燃料。这种特点示于图1-7。

在生产过程中使用除尘设备延长了风机的寿命，而在任何一种球团矿生产系统中已不再采用标准的、手工加工的叶轮式风机。现在使用的是一种可防止含大量灰尘的气体磨损的高效率风机，其作业率已达到高水平。从经营费用来看，使用这种高效率风机所节约的动力，是抵销能源涨价的重要方面。此外，工厂作业率也达到很高的水平。如前所述，链篦机-回转窑系统现在也用辊式布料机，就像它用在带式焙烧机中那样，烧结料可得到最大的透气性；生产出质量稳定的生球；并使整个生产过程在最佳条件下进行。当优质生球给入焙烧机时，就可以达到整个操作过程的关键——均一性。

用于链篦机-回转窑系统的燃料一般为煤气和油。关于链篦

机-回转窑系统的能源问题将在后面讨论。

辅助设备

就球团本身来说，最重要的是造球，近三十年来所用的设备有圆筒造球机；圆盘造球机和圆锥造球机。在这三种造球设备中，圆锥造球机在较大的生产厂没有得到广泛使用。另外，圆盘造球机虽然在近十年内为很多厂所采用，但是在球团工业中，处理能力强的还是圆筒造球机。由于技术的发展，圆盘造球机可作为一种没有循环负荷的单一设备来运行。现在，在这方面的改进，不同于为提高产量而加大设备规格的做法，而是采用筛分设备，以保持生球的合格粒度范围。

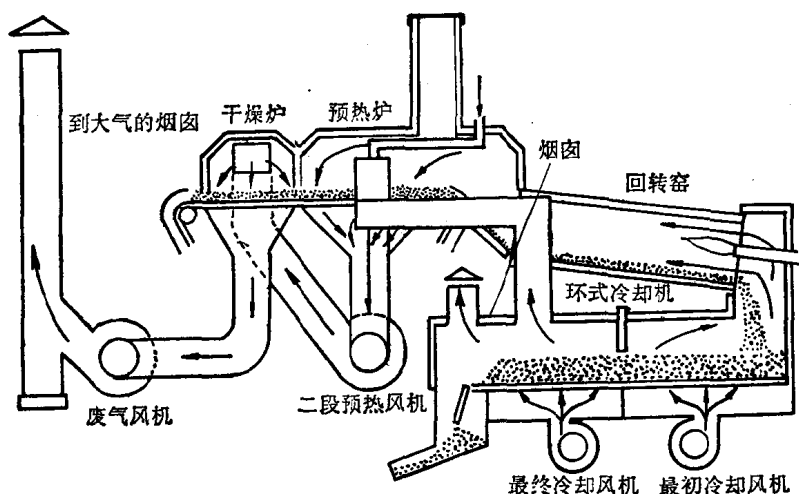


图 1-7 从链篦机-回转窑系统的冷却机中回收热的方法示意图

像球团焙烧设备一样，圆筒造球机已向大型化发展。然而，目前所用圆筒造球机的最大直径和长度并没有比第一个球团生产厂所设计的大很多。直径一直在增大，从2.74米增到3.66米。长度多少有些变化，这是由于受到设计合理的棒式刮料器以适应各种造球条件的能力的限制。近来，这种往复运动的棒式刮料器已经逐渐为一种固定旋转的棒式刮料器所代替。虽然这种方法并不

新颖，但采用它主要是减少了维修费用。

圆筒造球机系统中的筛分作业和圆盘造球机一样，也得到改善。采用从1.83米增至2.44米的大型筛子以适应提高生产的需要。辊式给料机已发展成为圆筒造球系统中的主要部分，并进行了筛分作业和辊式运输作业合并的试验。只有一座大型球团厂将筛子换成了辊式运输机，但很多厂正在对此进行试验，操作条件相同。

对于任何一种原料来讲，良好的造球是得到优质球团矿的基本要素。不管是采用圆盘造球机还是圆筒造球机，造球工段的操作都是很重要的。在处理生球时尽可能用和缓的动作，这是必须做到的。为提高造球系统作业率而采取的技术措施，对提高球团厂的总作业率来讲是很重要的。造球工段关系到球团厂固结或焙烧工段所有区段的改善。它的重要性相当于甚至远远超过固结工段，关于这一点，已作了进一步的强调。

原料的准备

造球前的原料准备与造球处于同样重要的地位。如果用精矿时，不仅必须十分注意它们的化学性质，而且也应该对它们的磨矿粒度、浓缩、过滤、混合及其它处理过程引起重视，以促使生产优质生球。同样，在使用土状物料时，原料准备作业，无论是干燥或磨成规定的粒度都是非常重要的，可以列入造球和焙烧前必须做好的工作中。在处理厂内粉料时，原料准备也是极其重要的。球团所用的原料，开始是磁铁精矿，在工业上首次生产出球团矿，以后又扩大到赤铁精矿及美国所采用的赤铁矿和磁铁矿的混合物，利比里亚、加拿大和澳大利所采用的是土状赤铁矿。加拿大和意大利也采用了人造磁铁矿。荷兰和日本采用的是各种矿石的混合物，并用这些矿石混合物生产出自熔性球团矿。现在有14个国家正用上述不同物料生产球团矿，而且有很多其他国家正在建设或准备建设处理这种物料的球团生产厂。

必须指出，在其他工业中所用原料如加拿大和美国的磷酸盐，巴西的锰矿，美国的长石，也都采用球团法。在焙烧前，它