

钢铁厂技术培训参考丛书

球团工艺 及设备

51.1

TD951.1
10
2

钢铁厂技术培训参考丛书

球团工艺及设备

杉木译

冶金工业出版社



A 11111

内 容 提 要

本书是《钢铁厂技术培训参考丛书》之一，系铁矿球团工艺及设备部分。全书共分三章，介绍了铁矿球团的磨矿、原料准备、造球、焙烧球团法以及其它球团法的工艺和设备。对于其它辅助设备，如成品检验设备、除尘设备、输送设备以及电气设备也做了适当介绍。为了便于读者学习和查阅，书中还附加了教学指导书部分。

本书可供钢铁厂工人及干部阅读，也可供技工学校和中等专业学校有关专业师生参考。

钢铁厂技术培训参考丛书

球团工艺及设备

杉木译

*

冶金工业出版社出版发行

(北京市布口74号)

包头钢铁公司印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 7 $\frac{1}{2}$ 字数 173 千字

1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷

印数00,001~3,000册

统一书号: 15062·3636 定价0.42元

出版说明

《钢铁厂技术培训参考丛书》(以下简称《丛书》)是为了适应我国钢铁企业开展职工技术培训工作的需要,由我社组织翻译的一套日本的技术培训教材,拟分册陆续出版,由我社内部发行,供钢铁企业开展技术培训时参考,也可以供具有初中以上文化程度的职工自学技术时参考。

这套《丛书》包括技术基础知识11本,专业概论8本,冶炼和轧钢专业知识46本(冶炼专业13本,轧钢专业33本),共计65本(具体书名见书末的《钢铁厂技术培训参考丛书》书目)。

这套《丛书》所介绍的工艺、设备和管理知识,取材都比较新,反映了日本钢铁工业的技术水平和管理水平。这套书在编写时,对理论方面的知识,作了深入浅出的表达;对设备方面的知识,配有大量的结构图,简明易懂;对工艺方面的知识,给出了较多的操作工艺参数,具体明确。这套《丛书》的编写特点可以概括为:新、广、浅,即所介绍的知识比较新,所涉及的知识面比较广,内容的深度比较浅。

为了便于教和学,书的每章都附有练习题,概括了该章的主要内容;每本书的后面都附教学指导书,既有技术内容的补充深化和技术名词的解释,又有练习题的答案。

根据我们了解,日本对这套书的使用方法是:技术基础知识部分和专业概论部分是所有参加培训学员的共同课程;冶炼和轧钢专业知识部分是供专业教学用的。由此可以看出,日本的职工技术培训,主要强调的是扩大知识面,强调现代钢铁厂的工人,应该具有广博的科技知识。这一点,对我们今后制订技工学校和职工技术培训的教学计划,是会有参考意义的。

我们认为这套《丛书》不仅适合钢铁企业技工学校和工人技术培训作教学或自学参考书,也可作中等专业学校编写教材的参考书,其中的技术基础知识部分和专业概论部分也可作各级企业管理干部的技术培训或自学参考书。

在翻译和编辑过程中,对原书中与技术无关的部分内容我们作了删节。另外,对于原书中某些在我国尚无通用术语相对应的技术名词,我们有的作为新词引进了;有的虽然译成了中文,但可能不尽妥当,希望读者在使用过程中,进一步研讨。

参加这套《丛书》翻译、审校工作的有上海宝山钢铁厂、东北工学院、鞍山钢铁公司、北京钢铁学院、武汉钢铁公司、冶金部情报研究所等单位的有关同志。现借这套《丛书》出版的机会,向上述单位和参加工作的同志表示感谢。

整套《丛书》的书目较多,篇幅较大,而翻译、出版时间又较仓促,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

一九八〇年二月

序 言

今天，日本的钢铁工业已经发展到年产粗钢一亿吨以上的水平。这一钢产量仅次于美国和苏联而居世界第三位^①。但是，几乎既没有铁矿石和炼焦煤这类钢铁资源，也没有能源的日本竟能发展成为这样一个世界上屈指可数的钢铁大国，这可以说日本的钢铁技术和设备都是十分优良的。

就炼铁原料来看，在铁矿石整粒、筛分过程中产生的筛下碎粉，一般是用自熔性烧结法来进行造块处理的。随着铁矿石整粒作业的强化，高炉的利用系数和焦比等操作指标有了大幅度改善。可是，近年来由于对生铁需要量的增长，优质铁矿石逐渐减少，含铁量低的矿石以及含有磷、硫等有害元素的矿石经选别后富集的精矿在逐渐增多。

这种经过选别处理的矿石产品，主要都是细粒精矿，用以往的烧结法是难以造块的，因而便采用了适合这种细粒精矿造块的球团法。一九七四年世界上用球团法生产的铁矿石球团已超过一点五亿吨，用这种球团炼出的生铁产量占世界总产量的16.3%，在日本占13%。如果考虑一下将来的铁矿资源状况，那么可以预计今后球团入炉比将会越来越增大。

然而，与烧结法相比，球团法还是历史较短的，并且在球团生产及其在高炉冶炼应用方面也还存在许多必须解决的课题。从这种观点来看，除非寻出能够突破现状的造块技术，才有希望发展今后的炼铁技术，所以，不论对于从事炼铁专业的技术人员，还是对于生产现场的每个技术人员来说，首先设法提高各自的技术水平，这是至关重要的。

正因如此，本教材系以从事现场操作的人员为对象而编写的，它既可使初学铁矿球团生产工艺与球团设备的人们易于了解，又可供已经懂得球团工艺的人们加深理解时参考。书中对各项要点均尽量附以图表，以便读者对照正文阅读而得到充分了解。

总之，在讲解了各章学习目的中规定的内容和解答了各章后面归纳提出的练习题之后，读者至少将可掌握铁矿石球团工艺的有关基础技术。

^① 据报道，日本1980年粗钢产量为11140万吨，仅次于苏联（14910万吨），居世界第二位。——编者注。

目 录

第1章 绪 论	(1)	(3) 球团焙烧	(23)
1. 前言(略)	(1)	(4) 链算机·回转窑球团法操作示例	(27)
2. 日本铁矿球团生产发展过程(略)	(1)	(5) 焙烧球团质量	(29)
3. 世界铁矿球团生产发展过程	(1)	(6) 球团质量检验方法	(36)
4. 球团法与烧结法	(2)	6. 冷固结球团法	(36)
5. 铁矿球团生产工艺流程	(2)	练习题	(38)
(1) 磨 矿	(3)	第3章 球团设备	(39)
(2) 选 矿	(3)	1. 球团设备概述	(39)
(3) 原料准备	(3)	2. 球团厂配置方式	(40)
(4) 造 球	(3)	3. 磨矿设备	(42)
(5) 焙 烧	(4)	(1) 概 述	(42)
(6) 成品筛分	(4)	(2) 球 磨 机	(43)
练习题	(4)	(3) 风力分级机	(44)
第2章 球团工艺	(5)	(4) 水力旋流器	(46)
1. 配 料	(5)	(5) 脱水用过滤机	(46)
(1) 概 述	(5)	(6) 浓 缩 机	(49)
(2) 原料分类	(5)	4. 配料、原料准备、混合与混磨设备	(50)
(3) 配 料	(5)	(1) 配料设备	(50)
2. 磨 矿	(6)	(2) 原料准备设备	(51)
(1) 概 述	(6)	(3) 混合与混磨设备	(53)
(2) 磨矿方式	(6)	5. 造球设备	(55)
(3) 磨矿机理	(7)	(1) 圆盘造球机	(55)
(4) 分级机理	(7)	(2) 圆筒造球机	(57)
(5) 磨矿操作示例	(9)	6. 焙烧设备	(58)
(6) 湿式磨矿	(11)	(1) 概 述	(58)
(7) 湿式磨矿示例	(12)	(2) 竖 炉	(58)
3. 原料准备	(12)	(3) 带式焙烧机	(59)
(1) 原料水分调节	(12)	(4) 链算机·回转窑	(63)
(2) 原料混合与混磨	(14)	(5) 环式焙烧机	(69)
4. 造 球	(15)	7. 成品检验设备	(71)
(1) 概 述	(15)	(1) 取样装置	(71)
(2) 造球机理	(15)	(2) 物理特性(粒度组成除外)与还原特性试验装置	(72)
(3) 生球特性	(17)	8. 除尘设备	(73)
(4) 调节生球特性的操作	(17)	(1) 概 述	(73)
(5) 各种造球机造球特性比较	(20)	(2) 干式除尘设备	(74)
5. 焙烧球团法	(20)	(3) 洗涤除尘设备(湿式除尘设备)	(77)
(1) 焙烧球团法概述	(20)		
(2) 生球干燥与预热	(22)		

9. 输送设备	(78)	10. 电气设备与计测装置	(80)
(1) 概 述	(78)	(1) 概 述	(80)
(2) 干料输送设备	(79)	(2) 电气设备	(81)
(3) 湿料输送设备	(80)	(3) 计测装置	(82)
(4) 小 结	(80)	练习题	(83)

教 学 指 导 书

第1章 绪 论	(84)	2—20 吸附水	(91)
1. 学习目的	(84)	2—21 干燥机理	(92)
2. 术语解释与补充说明	(84)	2—22 对 流	(93)
1—1 网 目	(84)	2—23 结 圈	(93)
1—2 氯化挥发	(84)	2—24 粘结饼	(93)
1—3 润湿式混磨机	(85)	2—25 抗压强度测定方法	(94)
1—4 磁选精矿	(85)	2—26 转鼓指数及转鼓指数测定方法	(95)
1—5 尾 矿	(85)	2—27 假比重与气孔率测定方法	(96)
第2章 球团工艺	(85)	2—28 还原试验方法	(98)
1. 学习目的	(85)	2—29 膨胀率测定方法	(99)
2. 术语解释与补充说明	(85)	2—30 荷重还原率与荷重软化收缩率测定方法	(100)
2—1 干燥机	(85)	第3章 球团设备	(102)
2—2 冲击作用	(85)	1. 学习目的	(102)
2—3 磨碎作用	(86)	2. 术语解释与补充说明	(102)
2—4 临界转速	(87)	3—1 慢速运转	(102)
2—5 球磨机筒体	(87)	3—2 慢速传动装置	(102)
2—6 比表面积及其测定方法	(87)	3—3 临界转速计算式	(102)
2—7 循环风量	(88)	3—4 鼓风与抽风	(104)
2—8 过滤机滤饼	(88)	3—5 铺底料	(104)
2—9 熟 化	(89)	3—6 荷重软化点	(104)
2—10 捣碎设备	(89)	3—7 爆 裂	(105)
2—11 滚动作用	(90)	3—8 JIS还原试验测定设备	(105)
2—12 架桥现象	(90)	3—9 膨胀率测定设备	(105)
2—13 原料条件	(90)	3—10 抗压强度测定设备	(106)
2—14 粘土矿物	(90)	3—11 转鼓指数测定设备	(109)
2—15 滚动距离	(90)	3—12 假比重与气孔率测定设备	(110)
2—16 膨润度	(90)	3—13 荷重还原率与荷重软化收缩率测定设备	(110)
2—17 焙烧固结	(91)		
2—18 焙烧条件(焙烧制度)	(91)		
2—19 连 接	(91)		
附:《钢铁厂技术培训参考丛书》书目	(112)		

第1章 绪 论

1. 前言(略)

2. 日本铁矿球团生产发展过程(略)

3. 世界铁矿球团生产发展过程

自从一九五五年世界上铁矿石球团生产工业化以来,到六十年代初期,铁矿石球团厂基本上都建在美国。美国在世界上最先开始建造球团厂,是因为梅萨比矿区富铁矿逐渐枯竭,只有贫矿($Fe35\%$),研究表明,储量巨大的铁燧岩经过磨矿、磁选而获得的高品位细粒精矿,经球团法处理,可以生产出含铁品位高的理想球团,从而球团法进展到了工业性应用的地步。

一九六四年在欧洲,挪威、瑞典建成球团厂以来,球团产量开始迅速增长。与美国相同,这些国家也是由于原料状况的缘故而产生了采用球团法的必要性。瑞典广泛引进了各种球团技术,通过广泛调查研究,促进了球团法的推广与普及。尤其是作为独特的球团法于一九七〇年开始投入工业性应用的冷粘结球团法,是一种不用热源而是用水泥等在常温下固结球团的方法,这种球团法引起了世界上的注意,详细内容将在后面叙述。

苏联最初的球团厂是于一九六五年引进西方各国的技术建成的。此外,与日本矿石原料状况相似的荷兰,于一九七〇年在霍戈文钢铁公司投产了一座用多种进口矿石作为球团原料的带式焙烧机球团厂,年产球团250万吨。该公司高炉采用高的球团入炉比,取得了良好指标。结果,在欧洲便出现了在钢铁厂内建造球团厂的趋势。

继欧洲之后,预计将来球团产量增长更大的有:澳大利亚、南美、中美以及西部非洲的一些国家。

另外,日本输入球团是从一九六三年进口马科纳球团开始的,后来又签订了新的合同。目前,如表1-1所示,日本主要是从以澳大利亚为主的七个球团厂进口球团,合计进口量为1120万吨/年,约为日本本国球团产量的两倍。这些进口球团全部是用单一品种矿石生产出来的所谓普通球团(即酸性球团)。

这种进口球团,开始在矿山就地生产的初期,由于操作不熟悉,在抗压强度、还原

日本进口球团生产厂

表 1-1

球 团 厂	设计能力 (万吨/年)	合同进口量 (万吨/年)	焙 烧 方 法	处 理 原 料	开始进口 年 份
马科纳厂(秘鲁)	130 200	167	带式焙烧机	磁铁精矿	1963
乔古莱厂(印度)	50	55	带式焙烧机	天然赤铁矿	1967
哈默斯利厂(澳大利亚)	200	220	带式焙烧机	天然赤铁矿	1968
怀阿拉厂(澳大利亚)	150	130	链算机-回转窑	天然赤铁矿	1968
塞维吉河厂(澳大利亚)	225	250	竖炉	磁铁精矿	1968
罗布河厂(澳大利亚)	420	420	带式焙烧机	褐铁矿	1972
拉拉普厂(菲律宾)	75	70	竖炉	磁铁矿	1968

性、热特性等方面产生了一些问题。问题特别大的是还原时球团异常膨胀。初期进口的球团，在JIS还原试验中产生了异常膨胀，严重时出现了还原气体通过困难的现象。在高炉中使用这种球团时，当入炉比为20%的条件下，悬料和崩料频繁，炉况极端恶化，造成高炉利用系数下降。作为一种解决对策，确定提高球团焙烧温度和添加SiO₂的操作方法。以此为转机，在各矿山的球团厂现场与日本方面之间设立联合技术委员会，对改善球团质量有了很大促进。

现在，进口球团大多数均能满足合同规定要求。但是，大型高炉使用球团矿时还是要

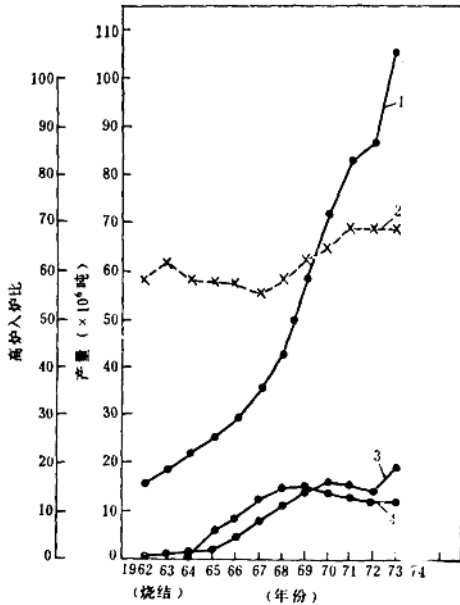


图 1-1 日本历年人造富矿生产进展情况

1—烧结矿；2—烧结矿入炉比；3—球团(包括进口球团)；
4—球团入炉比

避免高的入炉比。所以，从这一方面来看，需要进一步努力研究改善今后将逐步增多的进口球团的质量及其在高炉冶炼的操作方法。

4. 球团法与烧结法

细粒粉矿和筛下粉末向来都是避免装入高炉而要经过造块处理。近来，为了使高炉达到利用系数高和燃料消耗低，都在积极增大人造富矿的入炉比。图1-1所示为日本历年人造富矿生产进展情况。

由图1-1可以看出，一九六二年，人造富矿入炉比约为60%（烧结矿），一九六六年，加上进口球团，约达70%，到一九七〇年以后达到了80%（烧结矿占70%，球团约为12%）。

烧结法一直居于主要造块方法的地位，并且全部是自熔性烧结矿。近来，为了提高贫铁矿的品位以及脱除

磷、硫等有害元素，经过选别处理后获得的细粒精矿量在增多，这种不适合烧结的矿石便采用球团法来处理，于是开始使用球团了。

按人造富矿的种类来说，如前所述，烧结矿全部是自熔性的；球团则有普通球团（酸性球团）和自熔性球团。表1-3中分别列出了烧结法与球团法的特点。

在烧结矿质量方面，常温特性有落下强度、转鼓指数，而热特性有低温还原粉化率、JIS还原率。在球团质量方面，常温特性有抗压强度、转鼓指数，而热特性有JIS还原率、还原后抗压强度、膨胀率、荷重还原收缩率等。

5. 铁矿球团生产工艺流程

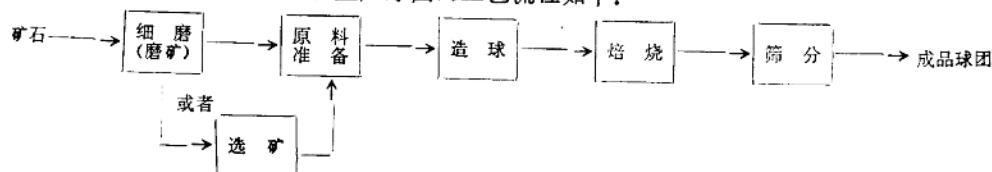
从广义来说，一个球团厂包括从矿石的磨细和选别到造球和焙烧，而从狭义来说，有时是单指造球和焙烧。

烧结法与球团法的特点

表 1-2

项 目	烧 结 法	球 团 法	
原 料 粒 度	全部小于8毫米 小于125微米粒级最好在10%以下	小于44微米粒级在60~90%的范围 (比表面积为1000~4000厘米 ² /克)	
钢铁厂内含铁 粉尘等的处理	焦 末 高 炉 灰	转 炉 灰	
成品成分		自熔性球团	普通球团
TFe	55~58%	60~63%	64%以上
SiO ₂	5.5~6.5%	3.5~4.5%	5.0%以下
CaO/SiO ₂	1.2~2.0	1.2~1.5	—
Al ₂ O ₃	2.0%以下	2.5%以下	3.0%以下
JIS还原率 还原强度	60~75% 低温还原粉化为主	60~90% 荷重还原软化为主	平均60%以上
粒度分布	分布范围宽 小于5毫米粒级比球团多	分布范围窄 小于5毫米粒级少	
贮存时抗风雨性	比球团差	良 好	
厂 址	钢铁厂内	钢铁厂内或矿山	

一般在矿山用采出的矿石生产球团的工艺流程如下：



(1) **磨矿** 磨矿工序大致分为两种方式，即矿石以矿浆状（泥浆状）磨细的方式和以干燥状态磨细的方式。采用哪种方式磨矿取决于矿石的品位和特性。

一般在低品位铁矿石的情况下，通常的作法是采用湿式磨矿方式，然后经过磁选（参见指导书1-4）或浮选来提高品位，再经浓缩机浓缩、脱水机脱水而获得球团原料。在高品位矿石的情况下，主要是赤铁矿，这种矿石多采用干式磨矿。

(2) **选矿** 选矿是将上述低品位铁矿石用磁选法或浮选法选别出高品位矿石原料的工序。一般在矿山就地生产球团的情况下，设置选矿厂的实例较多。此外，磁选法用于磁铁矿原料，浮选法用于赤铁矿原料。在选矿工序中，分出精矿产品和废弃物，这种废弃物叫做尾矿（参见指导书1-5）。

(3) **原料准备** 为使原料具有适合造球（制取生球）的特性，往细粒精矿中添加粘结剂、同时调节水分的工序叫做原料准备。这一工序对于使造球以后各工序保持稳定是十分重要的。

(4) **造球** 造球是用造球机将细粒物料制成粒度为10~20毫米生球的工序。生球粒度的大小决定于造球操作。

(5) 焙烧 焙烧是将前面造球工序中制出的生球进行干燥、预热、焙烧而获得高强度成品球团的工序。这一工序决定着成品球团的强度和还原性等主要质量特性。

(6) 成品筛分 与烧结法不同，球团法可以在造球工序中调节造球粒度，所以焙烧后碎粉率（小于5毫米粒级）低。但是，近来为了防止小于5毫米的碎粉混入成品球团而设置成品筛分工序的例子较多。另外，还有把大块（大于50毫米的）也剔除的例子。

上面概略说明了球团厂的各生产工序，详细内容可阅读各有关章节。

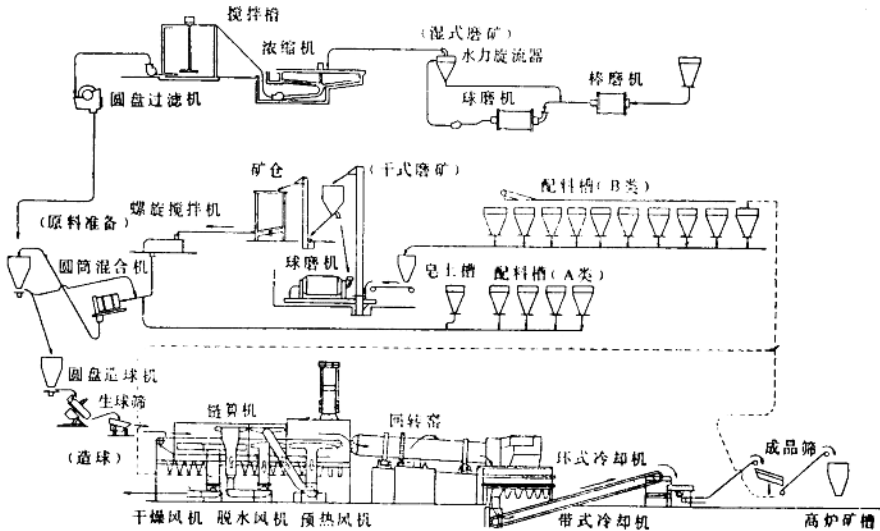


图 1-2 铁矿石球团生产工艺流程图
(以链算机-回转窑球团厂为例)

练习 题

- (1) 铁矿石球团法是什么时候、在哪个国家研究出来的？
- (2) 铁矿石球团技术是在哪个国家发展起来的？其发展背景是什么？
- (3) 试说明球团法与烧结法的特点。

第2章 球团工艺

1. 配 料

(1) **概述** 作为球团原料, 不论是磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等铁矿石的种类如何, 其第一个条件, 必须是细粒物料。

在考虑球团原料的配料时, 根据厂址条件, 大致可以分为两种情况。一种是在矿山就地生产球团的情况, 另一种是在钢铁厂内生产球团的情况。

这两种情况下配料方式的差别是在矿山就地生产球团时, 几乎都是用单一品种矿石生产普通球团, 而在钢铁厂内, 多数是用多种原料生产普通球团和自熔性球团。这里所说的普通球团, 是指单用铁矿石配料制出的碱度^①在1.0以下的酸性状态的球团。有时也叫做酸性球团。而自熔性球团是由铁矿石与石灰石混合后制出的碱度在1.0以上的碱性状态的球团, 即碱度接近于高炉渣(的碱度)的球团叫做自熔性球团。在日本, 有用铁矿石生产球团的, 也有处理硫酸渣以及钢铁厂内粉尘来生产球团的。本章以使用多种原料生产自熔性球团的配料为主举例加以叙述。另外, 铁矿石的化学成分, 在《教学指导书》中举例说明。

(2) **原料分类** 在铁矿石球团生产中, 原料的特性必须是小于44微米粒级在60%以上。这点是从造球和成品质量方面所要求的原料特性。因此, 一般是把原料基本上分为可以直接造球的细粒物料(以下简称“A类原料”)和必须经细磨才可造球的物料, 即须细磨物料(以下简称“B类原料”)。

a. A类原料 A类原料系在矿山经过磁选的细粒原料, 所以几乎都是磁铁矿(Magnetite, Fe_3O_4)。另外, 还有经过浮选的赤铁矿(Hematite, Fe_2O_3)的细粒精矿。

b. B类原料 B类原料系由A类原料以外的各种矿石原料组成的, 所以品种杂多, 但大部分是赤铁矿和褐铁矿(Limonite, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$)。

c. 其它原料 除上述铁矿石原料外, 在生产自熔性球团时, 还要添加石灰石。

通常, 石灰石都是小于3毫米的细粉, 所以多作为B类原料来处理。另外, 还采用皂土或消石灰作为造球时所需的粘结剂。一般多采用皂土, 但是在矿山等处难以得到皂土的情况下, 则采用消石灰。由于这些物料都是细粉, 所以均按进厂的原状添加使用。

(3) **配料** 在设计球团生产的配料方案时, 应当特别注意的有如下几点。

a. 化学成分 球团配料的化学成分必须考虑作为下一步生产过程高炉冶炼所限制的成分来确定, 如 TiO_2 、 Al_2O_3 、P、S等。一般来说, 球团的化学成分范围可以比自熔性烧结矿宽一些。

b. 可磨性 B类原料都要经过磨矿工序。为了调节细磨物料的粒度, 应考虑各种矿石磨细的难易程度。为了不变动已磨细的矿石的粒度, 最好是考虑各种矿石的可磨性难易程度(磨矿指数), 作到由配料来使可磨性程度, 即磨矿指数保持一定。可是, 实际上由于还有其它限制条件, 所以不一定能够由磨矿指数来调节粒度, 这将在后面叙述。

^①系指球团中CaO与 SiO_2 之比, 常用CaO/ SiO_2 表示。

一般都是在磨矿过程中通过粒度的调节来使物料的磨矿粒度保持一定。

c.成球性 关于造球原料,有只用A类原料的,有只用B类原料的,以及A类与B类原料混合使用的几种情况,依各球团厂条件不同而各异。对于原料的成球性来说,必须注意其对制出的生球质量有影响的特性和对生球产量有影响的特性。在处理B类原料的情况下,必须在配料时考虑表示生球落下强度这一造球特性的成球指数。

一般来说,如果混合料的成球指数过低,则生球的落下强度便降低,生球在振动筛、皮带机转载点(溜槽)等处便会碎裂,因此链算机上透气性恶化,结果焙烧便有困难,进而成品率也下降。但是,如果成球指数过高,则物料在造球机内的成球性恶化,生球产量容易下降,而且生球粒度长大也困难。

另外,在处理B类物料时,必须注意上述的磨矿粒度。磨矿粒度过细,则生球长大速度缓慢,因此,生球产量容易下降。相反地,如果磨矿粒度过粗,则生球落下强度容易降低。

2. 磨 矿

(1)概述 在球团生产中,生球特性左右着球团产量与成品球团质量。生球是由细粒原料制成的,由于原料粒度对生球特性有着很大影响,所以这里对调整原料粒度的磨矿工序加以叙述。

(2)磨矿方式 按原料状态不同,磨矿方式基本上分为“干式”和“湿式”;按有无分级设备,又分为“闭路”和“开路”。由这二者组合起来,磨矿方式便有“干式开路磨矿”、“干式闭路磨矿”、“湿式开路磨矿”与“湿式闭路磨矿”四种。

干式磨矿是在磨矿前先用干燥机(参见指导书2-1)将原料加以干燥,使水分降到1%以下,或者往风力分级机、球磨机内送入热风,原料经干燥后再磨细。

湿式磨矿是往原料内加水,调成矿浆状之后进行磨细和脱水。

一般在磁铁矿类矿石的情况下,由于脱水性好并且可以磁选,所以多采用湿式磨矿,但是,由于赤铁矿类以及褐铁矿类矿石脱水性差,所以多采用干式磨矿,然后,在必要时可往磨细物料中添加一定水分而获得水分均匀的造球原料。

如图2-1所示,开路磨矿是从磨机中排出的矿即是产品的一种磨矿方式,而如图2-2所示,闭路磨矿方式中设有分级机,按所确定的粒度(下称“分级粒度”)将磨细的物料分

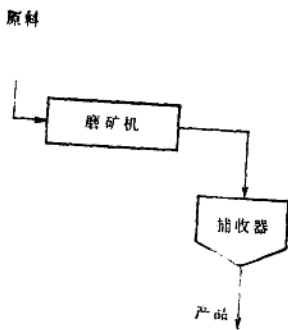


图 2-1 开路磨矿方式

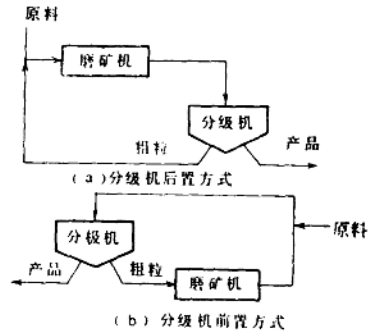


图 2-2 闭路磨矿方式

级，粗粒级循环返回磨机内，如此反复进行磨矿。闭路磨矿基本上有分级机后置方式〔图2-2(a)〕和分级机前置方式〔图2-2(b)〕，后一方式用于磨机给矿中小于分级粒度的细粒级含量多的情况下。

一般地说，在矿山，由于采下原矿的特性一定，多采用开路磨矿方式。球团厂设在钢铁厂时，在使用多品种矿石的情况下或者在处理难磨性矿石的情况下，则采用易于调节磨矿产品粒度分布的闭路磨矿方式。关于闭路磨矿方式的特点，可列举以下几点。

①与开路磨矿比较，闭路磨矿可以获得粒度更均匀，即粒度分布范围较窄的产品。②与开路磨矿比较，闭路磨矿容易调节和改变磨矿粒度。③在使用规格相同的磨矿机（如球磨机）的情况下，与开路磨矿比较，闭路磨矿的单位（小时）磨矿能力大，单位磨矿量的动力消耗小。④在使用球磨机的情况下，与开路磨矿比较，闭路磨矿的磨矿介质的磨损和碎球量小。⑤与开路磨矿比较，闭路磨矿的设备既复杂又多，所以投资较大。

(3) 磨矿机理 磨矿机械有球磨机、振动磨矿机、锤式磨矿机等等，种类繁多，可以根据待磨物料的性质和磨矿量，选择适合的磨矿机。在球团厂，一般几乎都是采用“球磨机”这种卧式回转磨矿机，因此，这里对这种磨矿机加以叙述。

球磨机机体是一个横着配置的圆筒，由电动机驱动回转。筒体内壁衬有衬板，筒内装入直径25~70毫米左右的钢球作为磨矿介质。钢球靠着它与磨机内壁以及钢球与钢球之间的摩擦和靠钢球本身旋转所产生的离心力而被提升到上部，而后钢球或者借重力作用自然滚动泻落，或者被抛落到筒体内部空间，或者靠滑动而擦着筒体内壁下落，这样，利用磨矿介质的冲击作用和磨碎作用（参见指导书2-2、2-3）将经过给料口喂入的待磨物料粉碎和磨细。细粒物料的产生主要是靠磨碎作用，而粗粒物料的破碎则主要是靠冲击作用，后一种作用又主要是由钢球的落下而产生的。为了提高冲击粉碎作用的效果，现提出以下几点。

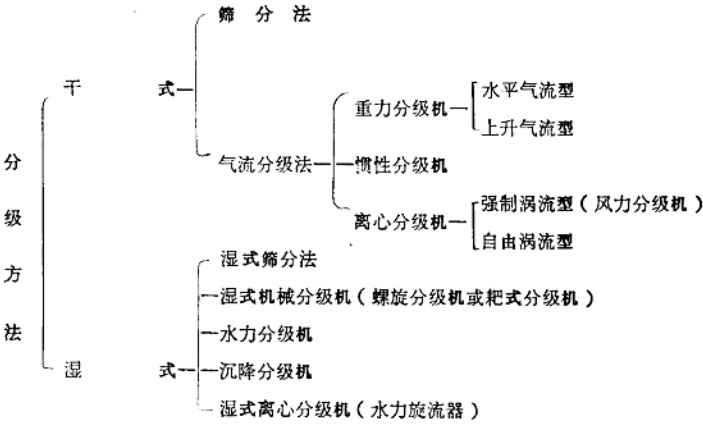
①钢球直径越大越好。但是，如果钢球过大，则磨机内钢球数目减少，落下冲击次数便减少。②钢球比重也是越大越好。但是，这是一个材质问题，所以必须把材料的硬度、强度、耐磨性以及价格等进行综合考虑。③钢球落下高度越大越好。因此要采用大直径磨机，而且以最佳工作转速运转，使钢球从足够的高度落下。所谓最佳工作转速是指球磨机临界转速（参见指导书2-4）（即：钢球在由磨机回转而产生的离心力作用下落不下来时的磨机最小转速）的65~75%。此处，当磨机直径为D（毫米）时，则临界转速为 $\frac{1338}{\sqrt{D}}$ （转/分）。④粉磨层越薄越好。因此，应使待磨物料量少些，而多装一些钢球。

球磨机的能量效率是非常低的，用于磨矿的能量只有1~10%左右，电动机的能量几乎都由于使被磨物料的温度上升、球磨机筒体（参见指导书2-5）散热以及转换成噪音而散失了。

(4) 分级机理 在闭路磨矿中，分级机同磨矿机一道起着很大作用，因此，分级机的好坏以及分级操作的优劣对闭路磨矿的效率有着很大的影响。工业上应用的各种分级方法的分类见表2-1。按分级介质，分级方法分为干式和湿式两类；按分级原理，分为：筛分法、重力分级法、离心分级法。如果分级点小于149微米，则从处理能力和分级效率的观点来看，筛分法是不经济的。就干式分级和湿式分级来说，湿式分级时，物料粒子分散良好，所以一般分级效率要高些，但是如需要干燥的磨矿产品时，那就要花费用于脱水和干燥的投资等，这是它的缺点。在大量处理单价较低的磨矿产品的情况下，适宜的分级机是干

式气流分级型离心分级机。这里以容量最大、应用最普遍的风力分级机为例，叙述一下分级机理。

表 2-1 分级方法分类表



风力分级机立体剖视图示于图2-3。待分级物料经给料口装入后，在旋转分配器（分散板）的作用下于分级室内分散开来，这些物料受到离心力、重力和上升气流的浮力这三个力的作用。离心力和重力同物料粒子重量，即料粒直径的三次方成比例。分级室内由主叶

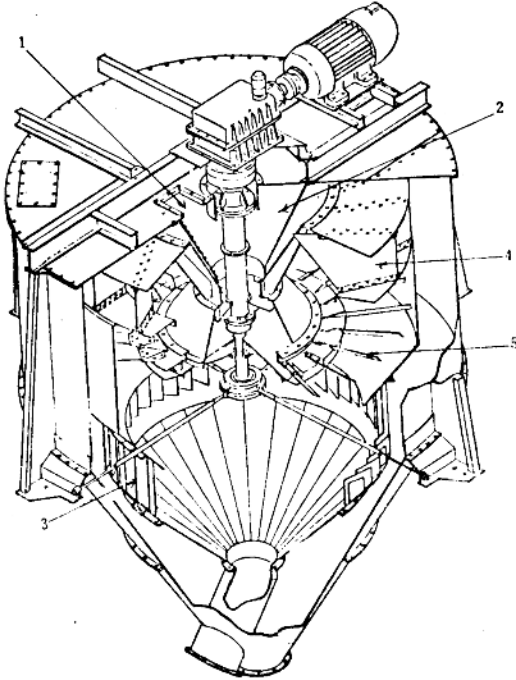


图 2-3 风力分级机立体剖视图

1—给料口；2—料斗；3—进气阀（导向阀）；4—主叶片；5—辅助叶片

片造成旋回上升气流。粗粒由于离心力大便远远飞出，碰撞到分级机内筒壁上，重力又超过上升气流的浮力，于是向下降落，经过粗粉室由粗粉排出口排出，给入球磨机，而细粉所受的上升气流浮力超过重力，于是便与气流一起上升，在上升过程中受到辅助叶片的分级作用。上升气流与细粉一起经外侧下降，落入细粉室。利用导向阀，细粉从气流中分离出来，经细粉排出口排出，进入下一工序。细粉分离后的气流又通过导向阀循环进入分级室。细粒产品的粒度主要是通过改变控制阀的开度、辅助叶片的转速和辅助叶片的数目来调节。

(5) 磨矿操作示例

a. 概述 下面按照干式闭路磨矿(分级机前置方式)的工艺流程(如图2-4所示),概略叙述一下磨矿工序的实际操作。

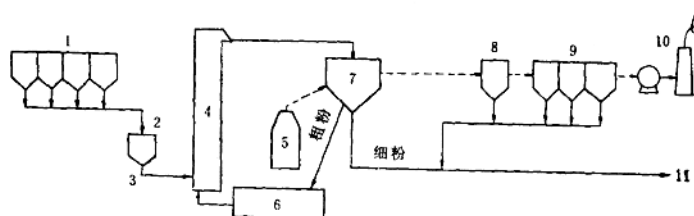


图 2-4 干式闭路磨矿工艺流程示例

---表示风流；—表示料流

1—原料槽；2—磨机给料槽；3—球磨机给料机；4—斗式提升机；5—热风炉；6—球磨机；7—风力分级机；8—多管旋风除尘器；9—电除尘器；10—电除尘风机；11—至料仓

各种铁矿石以及石灰石和返矿按给定的配料比经各个配料槽定量给出，经皮带机输送并给入球磨机的给料槽。物料由该料槽经给料机定量给出，与球磨机的排料一起由斗式提升机给入风力分级机。在斗式提升机内，给入的新料被球磨机排出的热物料加热，将附着水分干燥掉。

另外，由热风炉往风力分级机内供给温度约500~550℃的热风，由此热风将给入的原料干燥，同时还进行分级。分级出来的细粉作为产品用链式输送机、风送溜槽等输送设备运至料仓贮存。粗粉则经溜槽返回球磨机再磨。

此外，有一部分细粉被带入风力分级机的干燥排气内，用多管旋风除尘器、电除尘器等捕集，一起贮存在料仓内。

特别值得注意的是给入球磨机的应是充分干燥的物料。为了很好地检查，可提出以下两种方法：

①球磨机给料口处原料水分应在1%以下。②球磨机内磨矿的金属声音消失而变成低频音(闷声)时，则物料干燥不充分(这表明磨机筒体内壁粘上料皮)。

如果已经断定物料干燥不充分，则须减少由磨机给料机给入磨机的新料量。

b. 磨矿操作的调整

(a) 磨矿粒度的调节 如前所述，磨矿粒度影响着成球性、生球特性、链算机上爆裂性、回转窑内结圈、成品球团质量等，而且在球团生产过程中的广泛范围内，磨矿粒度均有着细微的影响，因此，磨矿粒度的调节与“造球原料水分调节”和“焙烧温度调节”并列，成为球团生产操作的三大要点之一。

最佳粒度随原料和设备条件的不同而异，用比表面积〔指布莱恩（Blaine）指数，下同，参见指导书2—6〕表示的造球原料粒度是一种粒度指标。本书中，凡是谈到磨矿粒度的时候，首先是把比表面积作为代表性的特性值来使用的，但是，也还必须把10微米以下和105微米以上粒级的比例调节到最佳范围。一般地，如果10微米以下粒级超过一定程度而过多时，就会阻碍生球水分的蒸发，生球容易在台车（链算机）上爆裂（参阅本章5(2)a）。另外，如果105微米以上粒级过多，则焙烧固结时粒子之间难以形成牢固的连接，结果成品球团质量恶化。

下面在图2-5中示出了影响磨矿粒度的各种因素的图解，不过起作用的主要因素是配料、风力分级机辅助叶片数目和转速、球磨机装球量、给料量等。

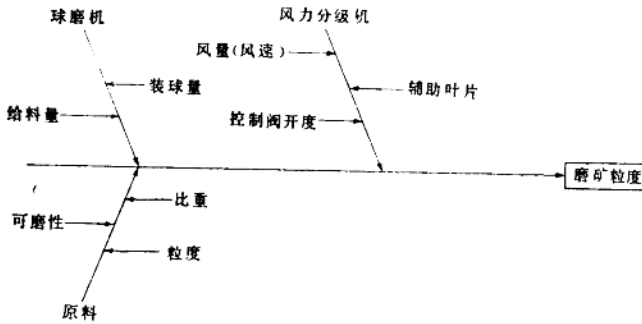


图 2-5 磨矿粒度影响因素图解

通过配料来调节粒度也是可以的，但是，为了与成球指数保持平衡，所以一般来说变动太大是不可能的。

关于通过配料来调节粒度的方法，前节中已经讲过了，因此，这里对通过分级机和球磨机的操作等来调节粒度的方法加以叙述。

甲. 风力分级机辅助叶片的影响作用

在闭路磨矿的情况下，辅助叶片的数目和转速对磨矿粒度影响最大。一般地，如果增多叶片数目，加大转速，则风力分级机的产品粒度便变细。这是由于按照上面“分级机理”中所讲的那样，辅助叶片的作用增强了，分级点往细粒方面移动的缘故。在这种情况下，分级产品的粗粒级部分（球磨机返矿量）增大，循环负荷增大。

乙. 风量的影响作用

调节通过分级机的风量，也可以改变粒度，一般地，增大风量，则粒度变粗。可是，与辅助叶片的作用比较，风量的影响要小些。

丙. 磨矿量与装球量的影响作用

一般地，改变磨矿量、装球量等球磨机的运转条件，球磨机的排矿粒度便产生变化，但是在风力分级机有足够能力时，则分级机排出的成品粒度是不变化的。

丁. 主叶片的影响作用

改变主叶片的旋转半径和叶片尺寸，循环风量（参见指导书2—7）便产生变化，分级点也移动。一般地，主叶片旋转半径增大时，循环风量便增大，产品粒度变粗，风力分级机的处理能力增大。