

## 浅析国内球团矿及提高其冶金性能的研究现状

王云鹏<sup>12</sup> 周晓雷<sup>12\*</sup> 张 闯<sup>12</sup>

1 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650093

2 昆明理工大学复杂铁资源清洁冶金重点实验室, 云南 昆明 650093

[摘要]文中简单地详细介绍了国内一些大型球团铁矿的生产球团加工理论和生产技术上的研究进展,其中主要包括了大型球团的铁矿产量、生产工艺、球团生产原材料选择、新型添加剂的加入、MgO 对其影响。在焙烧球团矿之前对球团进行正确的预处理,采用向球团中添加新型黏结剂或者添加剂均会增加球团矿的冶金性能。能够开发应用对球团矿有利无弊且符合环保要求的黏结剂将是今后研究的一个方向。球团矿的发展有利于提高高炉炼铁节能和环保两大方面,经过广大科研工作者的努力研究,如何研究更加优质的球团矿将成为今后造块的主题,优质球团矿将会在今后的将来广泛普及。

[关键词]球团矿;落下强度;抗压强度;添加剂;氧化镁

DOI: 10.33142/ec.v4i5.3674

中图分类号: TF532

文献标识码: A

## Analysis of Domestic Pellet and Research Status of Improving its Metallurgical Properties

WANG Yunpeng<sup>12</sup>, ZHOU Xiaolei<sup>12</sup>, ZHANG Chuang<sup>12</sup>

1 Institute of Metallurgy and Energy Engineering of Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China

2 Key Laboratory of Clean Metallurgy of Complex Iron Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China

**Abstract:** In this paper, the research progress of pellet processing theory and production technology of some large-scale iron ore pellets in China is briefly introduced in detail, including the iron ore output of large-scale pellets, production process, selection of raw materials for pellet production, addition of new additives and influence of MgO on them. The proper pretreatment of pellets before roasting and the addition of new binders or additives will increase the metallurgical properties of pellets. It will be a research direction in the future to develop and apply binders, which are beneficial to pellet and meet the requirements of environmental protection. The development of pellet is beneficial to improve the energy saving and environmental protection of blast furnace ironmaking. Through the efforts of the majority of scientific research workers, how to study more high-quality pellet will become the theme of future briquetting and high-quality pellet will be widely popularized in the near future.

**Keywords:** pellet; falling strength; compressive strength; additive; magnesium oxide

### 1 球团矿产量及生产工艺

我国主要铁矿矿产资源多为大型贫磁性精铁矿,选分困难,造成贫磁铁精矿粉品位低, SiO<sub>2</sub> 含量高,致使铁矿产物耐磨强度低,易受热粉化,冶金加工性能差,故在进入高炉之前需要对矿石进行造块使其致密化而提高产品强度。当前,铁矿石造块,即烧结及球团,是最重要的造块作业。

通过将在制造球团工艺过程中的各种粘性物料,助剂和熔性溶剂(有时也可能是用来作为粘合剂和其他燃料)的各种固体混合物进行滚动而形成一个圆形的长度大约为8-15mm的小椭圆产生一个球,然后干燥,焙烧并加热凝结形成一个完整的具有优异机械和冶金加工特殊性能的球团,从而制得球团矿<sup>[1]</sup>。随着高炉炼铁对于炉料结构的要求越来越高,球团矿由于其品位高、渣铁比低、利于节能减排等特点,且生产球团矿工序能耗仅为烧结矿的50%,球团矿生产工艺过程没有烧结那样复杂繁琐的过程,工艺设备简单,也有效降低了炼铁成本,我国从2001年到2011年球团年产量逐渐增加,自1.784亿吨增至2.041亿吨,随后减弱,2015年维持在1.28亿吨<sup>[2]</sup>。

在我国焙烧球团矿在高炉炉料中的平均比例占有15%左右,但在欧洲等发达国家,球团矿在高炉炉料中的比例高达80%-90%,甚至达到100%<sup>[3]</sup>。由此可见,球团矿将成为高炉炼铁的主要原料。

目前世界上采用的球团制造工艺主要分为竖炉、带式焙烧机以及链式链转窑-回旋炉三种。根据研究结果发现,国外不同铁矿石球团制造工艺中的耗能效率比较如表1-1所示。我国的球团煤炭生产的能耗远高于国外,其主要原因在于我国的原料环境条件较差,整体上技术装备水平较低,尤其以竖炉为代表的工艺还在我国占着很大一部分比例<sup>[3]</sup>,高水

平的带式焙烧机没有得到良好的发展。

表1 国外球团矿生产能耗比较

能耗	磁铁矿（欧洲）		赤铁矿（南美）	
	带式焙烧机	链篦机-回转窑	带式焙烧机	链篦机-回转窑
电耗/ $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$	27.5	14.5	17.2	25.0
热耗/ $\text{kg 标煤} \cdot \text{t}^{-1}$	6.79	9.94	31.46	40.05
合计	10.17	11.72	33.58	43.13

要想拥有高质量的球团矿，在改善生产工艺的同时也应该从其他地方入手提高球团矿的冶金性能。

## 2 球团矿的原料选择

随着当前世界钢铁工业的快速发展推进稳步发展,我国主要生产金属铁质和黄铜矿石的铁磁性金属原料之间的供需矛盾日益凸显,我国的菱铁矿和其他生产于我国黄铜色棕金质钢铁矿的资源非常丰富,但这两种材料所生产的金属钢铁矿在金属品位相对较低、烧损大,因而很难直接联合起来进行加工应用于其他钢铁矿的烧结或冶炼加工后的炼铁<sup>[4-5]</sup>。

李骞等人<sup>[6]</sup>在本实验中以膨润土原料使用量的比例设定为 2.5%，造球持续时间长度设定为 9min，生球体内部的水分设定为 8.0%~8.5%，研究了以菱铁矿为主要原料的实验依据，配加棕铁矿和其他配加磁铁矿对于球体形状的物理作用产生影响，结果表明，将菱铁矿精矿配以黄铁矿，与磁铁矿配以铁锈铁矿，既同时能够有效地提高精矿产生球团的强度，也能够提高球团爆裂过程中的温度。当菱铁矿、棕色铁矿与磁性铁矿的分配比值为 60:20:20 时，生球坠落的强度已经达到了 3.9 次/0.5 m，爆裂的温度约为 430° C。该项新研究成果为开展我国菱铁矿和黑色褐铁矿的资源开发综合利用研究提供了新研究思路。

为了解决国产纯棕色铁矿球团焙烧强度较低，不能够及时投资大规模生产而导致的技术困难，

范晓慧等人<sup>[7]</sup>以大红山、曼南坎和滇滩等硫铁精矿作为主要材料，预热温度 900° C，预热持续时间 10min，在膨润土中采用硫铁精矿量一般为 0.8%，润磨持续时间 4 min，焙烧温度 1280° C，焙烧持续时间 10min 的特殊环境条件下，研究了生球硫铁精矿粒度及其对生球坠落的强度与焙烧球受到抗压强度的影响，实验结果详见图 1 和材料图 2。结果表明，原料的颗粒密度对于生球团各种冶金加工性能均有明显影响传导作用，当原料中铁精矿颗粒密度尺寸较小或含量密度低于 75%时，生球团颗粒密度逐步得到了提高，之后密度有了持续增长和降低的趋势；而且铁精矿焙烧球的耐压性能和抗压强度也会随着颗粒度的增加而逐步提高。

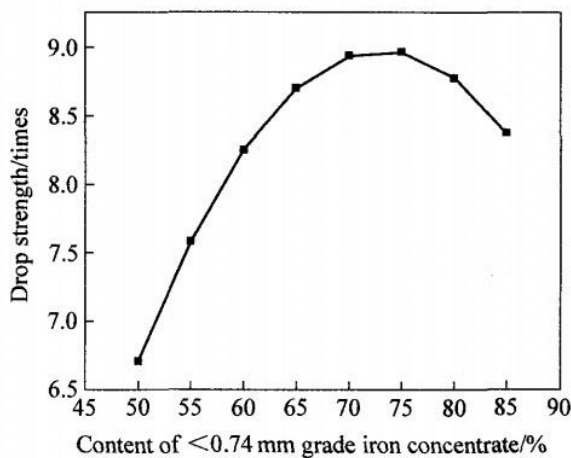


图1 铁精矿粒度对生球落下强度的影响

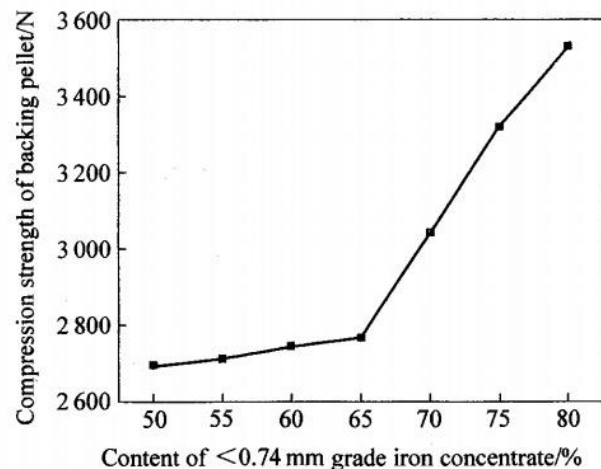


图2 铁精矿粒度对焙烧球抗压强度的影响

## 3 球团矿的工艺处理

许凯等人<sup>[8]</sup>通过研究了 PMC 磁铁矿和司家营两种不同配比下的矿粉根据其特性,采用了预热烘烤的方法对其进行了焙烧和实验,如表 3-1 发现,在每次预热的温度 925° C 下,当每次预热的时间大约为 15min 时,成品球团中各种矿物的耐受性和抗压能力均已经可以达到 2833. 61N/个,在此种预热的环境条件下,焙烧的温度 1300° C,煅烧持续时间 20min

时,成品的球团矿物耐受性和抗压能力均已经可以达到 2872. 52N/个,满足了制备的要求。

表 2 预热试验结果

PMC200 目 (%)	司家营 (%)	预热时间/min	预热温度/° C	焙烧温度/° C	焙烧时间/min	生球抗压强度/ (N/个)
68.60	29.40	10	850	1275	20	1961.82
68.60	29.40	10	875	1275	20	2498.36
68.60	29.40	10	900	1275	20	2698.80
68.60	29.40	10	925	1275	20	2765.75
68.60	29.40	5	925	1275	20	2646.00
68.60	29.40	15	925	1275	20	2833.61

生产中我们可以发现,为了有效地保证我们生产高炉球团煤矿原料在高炉中的冶金和炼铁工艺中所用原料的精度和冶金工艺性能,球团煤矿的进出炉比重会大大增加,因此往往我们需要适当地提高高炉球团煤矿的酸碱度<sup>[9-10]</sup>。崔智鑫<sup>[11]</sup>矿种采用 70%矿的卡拉加斯+20%金山店+10%程潮配合选矿的研究方案条件下,通过添加少量消石灰,研究了不同碱度对生球质量及其对生球热力学性能的直接影。结果表明:碱度的不断增加虽然会使得生球的抗压能力强度从下升高,但是却会使得生球的抗压能力由上而下降;碱度低于 0.8 之前,爆裂温度下降,超过 0.8 之后爆裂温度上升。

张连达等人<sup>[12]</sup>通过对不同规模和比例的赤铁矿进行了研究,将其在煅烧中被加入到电磁性铁矿中,分析了赤铁矿的加入对二元碱度为 1.0 的磁性球团矿物的生产球性能、焙烧球强度的影响。结果表明:当赤铁矿的配加量比例低于 15%时,生球的坠落强度也就会随之变化不明显,赤铁矿的配加量如果能够继续得到提高,当赤铁矿的配加量在 15%左右,那么生球的坠落强度也将发生变化,赤铁矿的配加量若再次进一步提升,则生球的坠落强度将会发生变高;赤铁矿的对比对生球耐压性能影响很少。向球团矿中配加赤铁矿物质会直接导致焙烧球抗压强度降低,故赤铁矿配人比例不宜超过 25%。为赤铁矿应用于碱性球团矿生产提供理论基础。

#### 4 球团矿的新型添加剂

为提高入炉原料的 TFe 质量分数,越来越多的学者致力于研究如何降低球团生产中的膨润土用量或不用膨润土。嵇建国等<sup>[13]</sup>研制了一种新型无土有机黏结剂,该有机黏结剂外观呈灰白色,200 目占 80%,不含 P、S、Si 等不利于炼钢和冶炼的元素,在一定温度下烧损率大于 80%,因此可以有效地提高球团矿中的铁质量品位、降低 SiO<sub>2</sub> 的质量评价分数,同时具备良好的冶金性能。

李彩霞等研究人员<sup>[14]</sup>以建平复合膨润土为主要制备材料,通过研究有机复合球团黏结剂在各种应用场合中的分类、配置使用量、挤压次数及其他挤压方法等,确定了目前适用于各种加工制备的有机复合球团黏结剂在各种加工中的优化制备技术及其应用选择的条件。氧化球团的造球工艺原理实验分析研究结果表明,当使用氧化复合球团作为黏结剂时,其在配制剂中含量约一般为 0.8%,球团在抗压落下冲击力的强度可达 5.3 次/0.5m,爆裂过程中的温度可达 470℃,而且生球的总体抗压强度可达 12.73 N /个。复合球团黏结剂氧化球团的造球实验如图 4-1。各项试验指标均完全符合有关产品质量的要求和规范中相应的要求。

表 3 复合球团黏结剂氧化球团造球实验

黏结剂类型	黏结剂配入量/%	生球含水量/%	落下强度/ (次/0.5m)	爆裂温度/℃	生球抗压强度/ (N/个)
膨润土复合黏结剂	0.9	9.02	5.7	512	14.44
	0.8	8.79	5.3	470	12.73
	0.7	9.00	5	430	11.06
建平膨润土	0.9	8.95	2.9	536	9.89
	0.8	8.90	2.7	508	8.65
	0.7	9.00	2.4	477	7.31

彭小敏等人<sup>[15]</sup>制备了铁精矿球团新型高效黏结剂 QTJ-4。结果表明:新型高效粘土黏结剂填料 QTJ-4 的原料添加剂用量仅大约为普通膨润土的 15%,烧残率仅大约为普通膨润土的 1/4。结果表明:原始生物地球的温度降落压力强度,

爆裂降落温度，抗击降压力度的等级都已经可以随 QTJ-4 用量而逐渐明显增大，在原始生物体的温度提升降落速度明显有所减慢后这一增大幅度逐渐明显缩小；但是当使用 QTJ-4 添加的生球爆裂抗压强度已经可以达到 0.3%，生球的爆裂抗压压力强度已经可以达到 16.32N/个，下落的生球爆裂抗压强度已经降到达 5.14 次/个，爆裂的降落温度已经可以达到 650° C，都已经达到了入炉的更高水平。

白凯凯其他人<sup>[16]</sup>以铁矿颗粒氧化率通常约为小于 200 目的铁矿巴润土和精矿、膨润土以及有机食品添加剂等原料为主要应用原材料，其中精矿膨润土以 2% 的一定比例需要进行有机配加，利用实时试验机分别将不同添加剂中含量的产品球与干粉试样相比抗压强度分别进行了检测，结果表明，随着添加剂含量的增加生球降低强度，生球抵抗力强度以及干球抵抗力强度呈现增长趋势。由此可以看出，添加剂在改善细胞球与干球颗粒的强度方面具有重要意义，使其具备良好的冶金性能。

周建安等人<sup>[17]</sup>为了探究生球膨化后的淀粉对于球团矿内部的影响和行为，以利用铁精矿和膨化淀粉两种物质作为主要原料对其进行了实验室中的球团焙烧测定，当加入膨化后的淀粉具有一定的黏结性，当加入至精铁矿制成球后，生球的抗压能力和落下强度明显增加，当生球的抗压能力和稳定性分数均为 2% 时，生球的抗压能力就会上升至 17.5 N/个，下落速度大约为 11.2 次/0.5m。

## 5 调节球团矿的 MgO

球团矿在铁冶金过程中起着重要的作用，但具有酸性的球团矿其软熔温度相对较低，软化滴落区域宽，还原膨胀率高等缺点。在研究中发现有通过添加 MgO 来改善球团矿的冶金性能<sup>[19]</sup>，以利于在高炉的透气性。

李神子等人<sup>[18]</sup>采用铁精矿作为原材料，配上白云石粉和高镁粉来调整酸性的球团矿。当球团矿的低温还原粉化性能比较差时，将有可能影响到高炉上部的锅柱的透气性，从而造成产品质量发生变差的问题；球团矿物的还原反应主要是由于金属铁往高氧层地区扩散而产生的一种固相反应；试验结果表示：随着氧化镁的含量增加而提高，还原粉化指数 RDI+3.15 和还原指数 (RVI) 均增加，很好的抑制了 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 还原及粉化，促进了 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在结晶能力；在焙烧温度为 1250° C 条件下，氧化镁含量从 1.6%~2.00% 时酸性球团矿的抗压强度逐渐上升至 3050N，之后就呈下降趋势。

李杰等人<sup>[19]</sup>原料选用三种不同的磁铁矿、一种褐铁矿，熔剂搭配的是石灰岩和高镁粉，黏结剂是皂土。对于具体的原材料组成，先配比不同的原材料，焙烧时的温度一般设置在 1260° C，固定 SiO<sub>2</sub> 的原材料含量一般设置在 5.0%，碱度 1.0，通过温度调节高镁粉中 MgO 含量一般设置在 1.8%~2.6%，来深入研究了 MgO 的含量对高镁质熔剂性球团矿化学工艺性能的直接影响，生球测定结果如表 4。结论表明：随着氧化镁的含量增加，抗压强度和还原膨胀率逐渐下降，粘结率不断上升，球团互相连结，不利于生产，球团软化开始温度呈略微有升高趋势，软化性能有所改善，总体来说球团的冶金性能有所提升。

表 4 球团性能测定结果

实验编号	抗压强度/N/个	粘结率/%	荷重软化/° C			还原膨胀/%
			T <sub>10%</sub>	T <sub>10%</sub>	T <sub>10%</sub>	
Si <sub>5.0</sub> Mg <sub>1.8</sub> R <sub>1.0</sub>	2972	2.3	1197	1197	1197	10.9
Si <sub>5.0</sub> Mg <sub>2.0</sub> R <sub>1.0</sub>	2779	3.9	1198	1198	1198	10.1
Si <sub>5.0</sub> Mg <sub>2.2</sub> R <sub>1.0</sub>	2494	4.5	1200	1200	1200	9.2
Si <sub>5.0</sub> Mg <sub>2.4</sub> R <sub>1.0</sub>	2193	7.0	1203	1203	1203	8.5
Si <sub>5.0</sub> Mg <sub>2.6</sub> R <sub>1.0</sub>	2097	7.3	1202	1202	1202	7.9

## 6 结论

本文主要是对国内铁矿球团的生产情况和工艺发展现状做了相应的介绍，也简单分析了提高球团矿的冶金性能需要从那几个方面入手。包括原料的处理、工艺设备的改进、制备过程中条件的变化和添加剂对于球团性能的研究。

球团矿的发展具有广阔的天地，其产量也会持续上升，增加它在高炉炉料的配比，同时也符合钢铁行业的环保节约的要求，如何研究更加优质的球团矿将成为今后造块的主题。

(1) 要从造块的原料出发，多种试验分析球团冶金性能，选择适合矿种优化配比。如以菱铁矿为主要生产基础，配以黄色褐铁矿及磁性钢铁矿，按照菱铁矿：褐铁矿：磁铁矿=3:1:1 来配比，所得的球团比单独采用一种矿得到的球团



冶金性能高。

(2) 在焙烧球团矿之前对球团进行正确的预处理, 采用向球团中添加新型黏结剂或者添加剂均会增加球团矿的冶金性能。能够开发应用对球团矿有利无弊和符合环保要求的黏结剂将是今后研究的一个方向。

(3) 酸性球团矿的冶金性能的优劣将会直接决定高炉产物的性能好坏, 所以在酸性球团矿中要寻找到适宜的  $MgO$  含量并进行调整其碱度, 以期能够改善酸性球团矿的质量。

#### [参考文献]

- [1] 孟光栋, 陈江华, 李奕潼. 球团生产工艺分析及改进建议[J]. 矿业工程, 2012, 10(5): 28-30.
- [2] 许满兴, 张玉兰. 新世纪我国球团矿生产技术现状及发展趋势[J]. 烧结球团, 2017, 42(2): 25-37.
- [3] 朱德庆, 黄伟群, 杨聪聪, 虎训, 潘建. 铁矿球团技术进展[J]. 烧结球团, 2017, 42(3): 42-49.
- [4] 袁致涛, 高大, 印万忠, 韩跃新. 我国难选铁矿石资源利用的现状与发展方向[J]. 金属矿山, 2007(1): 1-6.
- [5] 张迎春, 杨秀红, 施倪承, 马哲生. 菱铁矿的综合利用研究[J]. 金属矿山, 2001(1): 48-53.
- [6] 李蹇, 杨永斌, 姜涛. 菱铁矿和褐铁矿球团制备技术研究[J]. 矿冶工程, 2009, 29(2): 59-62.
- [7] 范晓慧, 袁晓丽, 姜涛, 袁礼顺, 李光辉, 庄剑鸣, 唐启荣, 杨雪峰. 铁精矿粒度对球团强度的影响[J]. 中国有色金属学报, 2006(11): 1965-1970.
- [8] 刘凯, 陈树军, 吕庆. 预热焙烧对球团矿抗压强度影响[J]. 铸造技术, 2017, 38(3): 636-639.
- [9] 张林林, 付刚华, 郭宇峰, 陈凤, 郑富强. 碱度对熔剂性球团生球性能的影响[J]. 钢铁, 2019, 54(5): 14-18.
- [10] 李坤, 王昌华. 石灰石熔剂性球团试验研究[J]. 烧结球团, 2015, 40(2): 32-35.
- [11] 崔智鑫. 脉石成分对铁矿球团还原膨胀性能的影响[D]. 湖南: 中南大学, 2004.
- [12] 赵连达, 刘迎立, 苏鸿, 薛庆国, 王静松. 添加赤铁矿对碱性球团性能的影响[J]. 中国冶金, 2021, 31(3): 11-16.
- [13] 嵇建国, 杨群, 谢永生. 新型有机粘剂在球团生产中的应用[J]. 烧结球团, 2011, 36(5): 30-33.
- [14] 李彩霞, 白阳, 郑忠宇, 王飞飞. 建平膨润土制备复合球团黏结剂试验研究[J]. 非金属矿, 2017, 40(1): 10-12.
- [15] 彭小敏, 吴霞, 陈玉花. 铁精矿球团新型黏结剂 QTJ-4 的制备与性能[J]. 现代矿业, 2016, 32(8): 79-82.
- [16] 白凯凯, 罗果萍, 王永斌, 朱建国. 有机添加剂对包钢巴润精矿球团矿冶金性能的影响[J]. 烧结球团, 2017, 42(3): 54-58.
- [17] 周建安, 丁斌, 邓冬一, 蒋学凯, 谢剑波. 膨化淀粉在铁矿球团内的作用行为[J]. 钢铁, 2017, 52(5): 13-18.
- [18] 李神子, 龙跃, 潘向阳, 杜培培, 马保良.  $MgO$  对酸性球团矿冶金性能的影响[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(1): 113-118.
- [19] 李杰, 韩闯闯, 杨爱民, 刘卫星, 张玉柱, 刘连继, 肖洪.  $MgO$  含量对镁质熔剂性球团性能的影响[J]. 烧结球团, 2017, 42(2): 31-37.

基金项目: 云南省教育厅资助性项目 KKJB201752017; 云南省教育厅科学研究基金产业化培育项目 2016CYH07; 云南省科技计划项目 2017ZE033; 云南省科技厅 其它项目 KKST201852002。

作者简介: 王云鹏(1997-), 现就读于昆明理工大学, 所学专业: 材料与化工-冶金工程; 通讯作者: 周晓雷(1981-), 博士, 钢铁冶金专业, 现就职于昆明市五华区昆明理工大学。