

球团矿焙烧过程抗压强度影响因素

杨宏宇¹ 周晓雷^{2*}

1 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650000

2 昆明理工大学复杂铁资源洁净冶金重点实验室, 云南 昆明 650000

[摘要] 球团矿抗压强度是球团品质的重要参数, 在冶金工业中意义重大, 通过对各位科研工作者研究成果的分析和对比, 对影响球团矿抗压强度的各类因素进行分析和汇总, 对球团的生产 and 质量评估有重要意义。

[关键词] 球团; 抗压强度; 褐铁矿; 焙烧

DOI: 10.33142/aem.v2i7.2604

中图分类号: TF046.6

文献标识码: A

Influencing Factors on Compressive Strength of Pellets during Roasting

YANG Hongyu¹, ZHOU Xiaolei^{2*}

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: Pellets compressive strength is an important parameter of pellets quality, which is of great significance in metallurgical industry. Through the analysis and comparison of research results of various scientific research workers, various factors affecting the compressive strength of pellets are analyzed and summarized, which is of great significance to the production and quality evaluation of pellets.

Keywords: pellets; compressive strength; limonite; roasting

引言

近年来, 世界范围内的高品位铁矿石被迅速开采冶炼, 资源储量见底, 而我国矿藏的低品位贫矿, 诸如褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿数量多, 分布广, 正日渐取代高品位铁矿石, 成为我国冶金工业最重要的矿石原料。球团矿具有抗压强度高、颗粒均匀、矿石品位高和对环境污染较小的优点, 是一种性能优良的含铁原料。在北美洲、欧洲等地的高炉冶炼中加入了大量的球团矿。目前, 我国高炉炉料主要以使用烧结矿为主, 球团矿的使用占比较小, 对球团矿的研究还有很多空白。可以预见, 未来中国的冶金原料也会以球团矿为主, 球团矿的研究发展前景良好, 球团矿的研究工作对冶金工业的重大意义。

1 球团矿焙烧过程抗压强度影响因素

生产出的生球团在转运至高炉冶炼过程中, 会受到摩擦和撞击等损耗, 抗压性能不好的球团会产生较多的碎块和粉末, 球团抗压强度高, 则球团不易磨损破碎产生粉末和碎块, 从而减少炉窑内粉末数量, 改善料层透气性, 增加产量, 减少工业粉尘的产生, 保护环境。焙烧温度、焙烧时间及球团本身的化学组成均会对球团的抗压强度造成影响。

1.1 焙烧温度对球团矿抗压强度的影响

在高国锋的研究中, 控制焙烧时间和膨润土添加量一定时, 随着焙烧温度的升高, 球团抗压强度显著提高^{[1][8]}, 当温度在 1373~1523K 时球团矿的抗压强度随焙烧温度的升高成正相关, 而从 1523K 升温至 1573K 强度略有下降^[1]。可以看出焙烧温度对球团抗压强度有双重影响。其中纯褐铁矿球团最佳的焙烧温度在 1523K 左右。

潘向阳等人通过控制球团碱度为 1.0 一定时, 改变焙烧温度分析球团矿 X-射线衍射图谱(图 1.2)^[6]。由实验数据可知碱度一定时改变焙烧温度球团矿所含物质基本相同。碱度一定, 随着温度的上升, 球团矿中生成的铁酸钙量逐渐增加。同时有液相生成, 适量的液相促进 Fe³⁺ 的迁移, 温度过高时, 生成过量的液相, 对赤铁矿的再结晶起阻碍作用, 同时使球

团间黏连,黏连的球团不符合生产标准。分析图谱可得,碱度在 1.0 左右,温度为 1250℃时焙烧球团矿抗压强度最强。

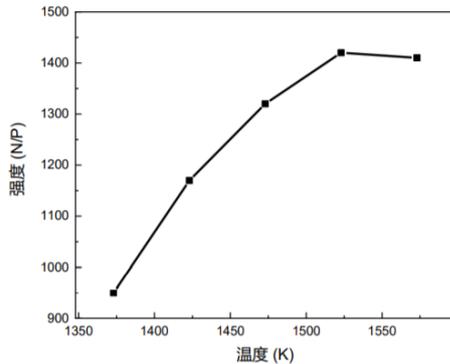


图 1.1 焙烧温度对球团抗压强度的影响

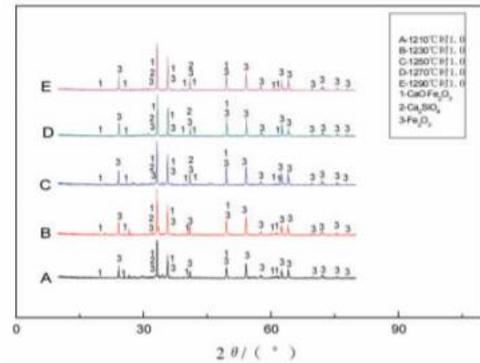


图 1.2 固定碱度改变温度的球团矿 X—射线衍射图谱

两组实验分别选用了褐铁矿和磁铁矿作为造球原料,由实验数据均可看出在一定温度范围内,球团矿的抗压强度与温度正相关,温度升高至一定后,球团抗压强度反而有所下降。

1.2 焙烧时间对球团矿抗压强度的影响

高国锋研究通过控制膨润土添加量和焙烧温度保持恒定,研究焙烧时间对球团抗压强度的影响。由其实验数据图 1.3 可看出焙烧时间在 10~20 分钟内,抗压强度随时间升高而升高,呈正相关关系,20~30 分钟内抗压强度有所下降,抗压强度在 20 分钟时最佳^[1]。但焙烧时间在 10~30min 内极差不到 200N/P,表明焙烧时间对球团矿抗压强度无显著影响。

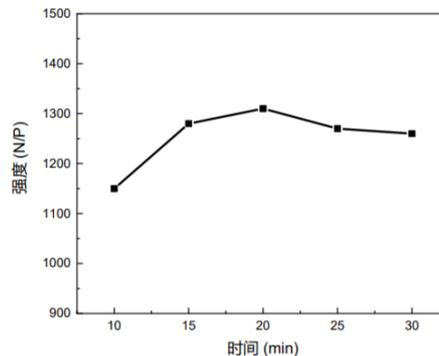


图 1.3 焙烧时间对球团抗压强度的影响

刘凯等人,分别控制预热温度和焙烧温度不变做独立重复试验。可以看出随预热温度升高,球团抗压强度也得到初步提高,在预热温度达到 925℃,预热时间为 15 分钟时抗压强度最强,随后的焙烧实验中控制焙烧温度为 1300℃,焙烧时间 20 分钟时得到的球团矿成品抗压强度最佳,为 2872.52N/P^[2]。但与其他实验组相比较抗压强度增幅并不显著。

综合两者实验来看,球团矿抗压强度受焙烧时间的影响并不显著甚至影响微小,焙烧时间不是影响球团抗压强度的主要因素。

1.3 球团本身的化学成分对球团矿抗压强度的影响

1.3.1 碱度对球团矿抗压强度影响

潘向阳等人通过控制焙烧温度不变,设置多个不同碱度的实验组的方法直接测定球团矿抗压强度最高时的碱度^[6]。

观察到各组不同焙烧温度和不同碱度的独立实验组中,每组均在碱度为 1.0 时得到抗压强度最高的球团矿。但是焙烧温度为 1270℃和 1290℃的两组实验组,在碱度为 1.0 时抗压强度反而略有减少,这是由于温度过高时球团内部产生了过多的金属液相,导致金属间黏连;而碱度的提高使得 CaO 的含量增加^[7],使得固相铁矿颗粒的接触条件变差,铁

矿结晶不再生长，已形成的矿石结晶破碎分离，从而导致球团矿抗压强度减弱。

编号	R	抗压强度/(N·个 ⁻¹)				
		1210℃	1230℃	1250℃	1270℃	1290℃
1#	0.6	900	1714	1668	1707	2071
2#	0.8	1500	2768	2186	2355	2095
3#	1.0	2950	3441	3753	3515	3550
4#	1.2	2200	2650	3293	3340	3250
5#	1.4	1850	2504	2593	2940	2770

图 1.4 碱度及焙烧温度变化时的球团矿抗压强度检测结果

严照照等人通过调整矿粉成分来设置两组碱度高和碱度低的矿粉样本，按不同比例使两组矿粉样品混料，造球，从而实现不同碱度的生球团矿^[5]。实验中观察到混合球团的抗压强度随着碱度较高球团的质量分数的增加而逐渐降低，落下强度随着碱度的增加急剧降低，原因与潘向阳等人的试验结论相似，均为随着碱度的提高，球团内矿晶连接受阻，已结成矿晶的强度减弱，从而导致了宏观上球团矿的抗压强度减弱^[5]。

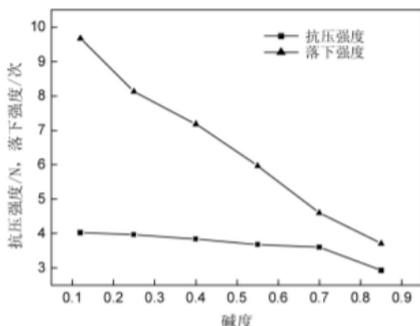


图 1.5 生球落下强度和抗压强度随碱度的变化

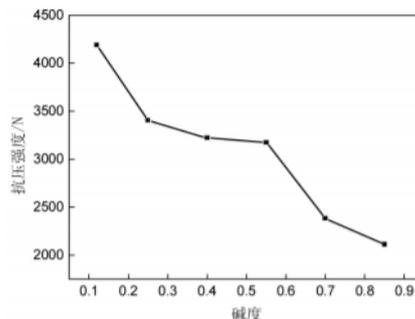


图 1.6 球团矿抗压强度随碱度的变化

1.3.2 膨润土添加量对球团矿抗压强度的影响

高国锋的实验中^[1]，控制焙烧时间和焙烧温度一定，研究膨润土对球团矿抗压强度的影响。实验结果表明，随着膨润土含量的增加球团矿抗压强度先升高后降低，膨润土含量在 1.2% 以下时，成正相关关系，对抗压强度影响显著；膨润土含量在 1.2%~1.6% 时，膨润土添加量对球团强度几乎无影响；膨润土含量大于 1.6% 时，随膨润土含量升高，强度逐渐降低^[8]。抗压强度峰值出现在膨润土含量为 1.4% 左右。显然膨润土的添加量对球团抗压强度的影响也是双重的。

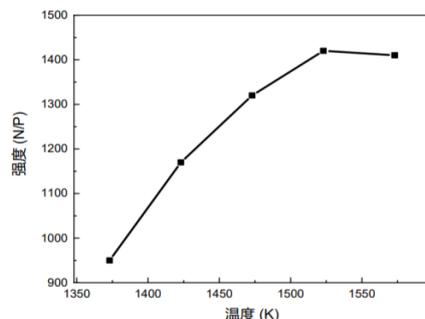


图 1.7 焙烧温度对球团抗压强度的影响

1.3.3 MgO 对球团矿抗压强度的影响

孙健宁的研究中发现，不同质量分数的球团矿中，球团的抗压强度随 MgO 的质量分数增加而显著降低，生球抗压强度在 MgO%=0.5~2.0 之间时急剧下降，随后开始回升^[4]。这主要是由于随着 MgO 质量分数的增大，赤铁矿连晶所形成

的网状结构由密变疏，球团抗压强度减弱^[4]。

李神子等人先是对不同焙烧温度下，酸性球团抗压强度的差异进行试验分析，发现球团矿的抗压强度随焙烧温度的升高先增后减，在试验条件下，焙烧温度为 1250℃左右时，球团矿的抗压强度最好^[3]。这是由于随着焙烧温度的升高，球团内部的三氧化二铁通过固相固结的方式大量形成微晶键所造成的，而温度过高时 Fe₂O₃ 转换为 Fe₃O₄，Fe₃O₄ 强度较低，使得球团矿抗压强度减弱。然后再选取焙烧温度为 1250℃时不同 MgO 质量分数球团对抗压强度的影响。由实验数据得 MgO%=1.6-2.4 之间时，球团抗压强度先增后减，在 MgO 质量分数为 2.0%时，球团抗压强度最好。这是由于在 MgO%不足 2.0 之前，CaO 与 Fe₂O₃ 反应生成强度较大的 CaOFe₂O₃ 使球团矿抗压强度提升，而当 MgO%超过 2.0 之后，球团矿碱度上升，在此环境下 MgO 与 Fe₂O₃ 生成熔点相对较高的 MgOFe₂O₃，阻碍了矿物颗粒之间的交互和接触，抑制了 Fe₂O₃ 晶粒的生长，从而使球团矿抗压强度降低。

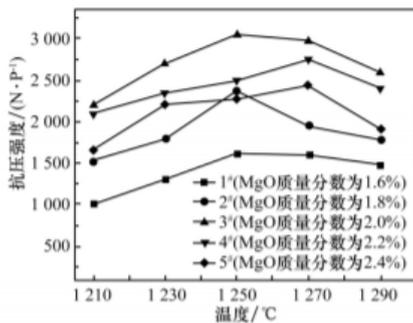


图 1.8 不同 MgO 质量及焙烧温度下酸性球团的抗压强度曲线

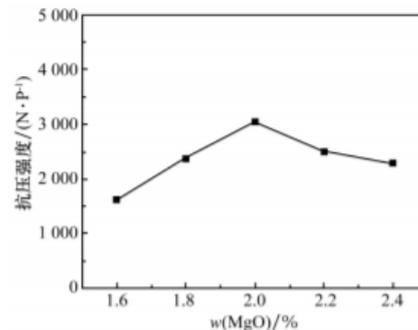


图 1.9 MgO 质量分数对成品球抗压强度的影响

2 结论

- (1) 焙烧温度对球团矿抗压强度的影响是双向的，在一定温度范围内随着焙烧温度的升高，球团矿抗压强度急剧增强。
- (2) 球团矿抗压强度受焙烧时间的影响并不显著甚至影响微小，焙烧时间不是影响球团抗压强度的主要因素。
- (3) 一定碱度下的酸碱环境对球团抗压强度有促进作用，碱度过高反而对球团抗压强度不利。
- (4) 膨润土含量在 1.4%左右时，球团矿抗压性能最好。球团抗压强度随膨润土的添加量先增大后减少。
- (5) MgO 在一般情况下会使球团矿的抗压强度减弱，而在酸性球团矿中反而使球团矿抗压强度增大。

[参考文献]

- [1] 高国锋. 褐铁矿球团焙烧抗压强度与还原特性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 2020.
- [2] 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(03): 636-639.
- [3] 李神子, 龙跃, 潘向阳, 杜培培, 马保良. MgO 及焙烧条件对酸性球团矿抗压强度的影响[J]. 烧结球团, 2019, 44(04): 36-39.
- [4] 孙健宁, 刘小杰, 严照照, 卢建光, 吕庆. 不同质量分数 MgO 对球团质量的影响[J]. 中国冶金, 2020, 30(02): 1-5.
- [5] 严照照, 卢建光, 吕庆, 张淑会, 刘小杰, 孙喆. 碱度对生球质量和球团矿抗压强度的影响[J]. 钢铁钒钛, 2018, 39(06): 110-115.
- [6] 潘向阳, 龙跃, 徐晨光, 马保良, 窦冠雄, 赵波. 碱度及焙烧温度对球团矿抗压强度影响的研究[J]. 钢铁钒钛, 2017, 38(03): 88-93.
- [7] 张淑会, 严照照, 刘小杰, 董晓旭, 兰臣臣, 李建鹏. 化学成分对球团矿抗压强度影响的研究现状[J]. 烧结球团, 2017, 42(06): 57-62.
- [8] 高国锋, 周晓雷, 施哲, 黄帮福, 刘兰鹏. 纯褐铁矿球团焙烧工艺及其影响因素研究[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(02): 485-492.
- [10] 韩阳, 杨爱民, 张玉柱. 一种球团原料最佳配比的 BAS 智能推荐模型[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(09): 246-254.

作者简介: 杨宏宇 (2000-), 男, 云南玉溪, 本科学历, 昆明理工大学冶金与能源工程学院。