

# 澳大利亚一钢粉烧结性能研究

张 杰

宝钢股份炼铁厂，上海

收稿日期：2024年5月22日；录用日期：2024年6月19日；发布日期：2024年6月29日

## 摘 要

本研究探讨了澳大利亚一钢粉矿的物理化学特性及其在烧结过程中的性能。通过烧结杯试验，我们评估了不同比例的一钢粉矿替代传统澳洲粉的效果。结果显示，替代FMG粉矿可以显著提高烧结矿的强度并降低燃料消耗，尽管这会导致烧结矿中 $Al_2O_3$ 含量的轻微减少。这种替代对烧结生产的总体影响较小，且能满足工业生产的标准。研究结果为优化烧结矿的生产提供了新的视角，并有助于降低成本。

## 关键词

YG粉矿，烧结，制粒，强度

# Research on Sintering Performance of Australian One-Steel Powder Ore

Jie Zhang

Ironmaking Plant, Baoshan Iron & Steel Co. Ltd., Shanghai

Received: May 22<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Jun. 19<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

This study explores the physical and chemical properties of Australian YG powder ore and its performance during sintering. We evaluated the effectiveness of replacing traditional Australian powder with different proportions of one steel powder through a sintering cup test. The results showed that replacing FG powder can significantly improve the strength of sintered ore and reduce fuel consumption, although this may lead to a slight decrease in  $Al_2O_3$  content in sintered ore. This substitution has a relatively small overall impact on sintering production and can meet industrial production standards. The research results provide a new perspective for optimizing the production of sintered ore and help reduce costs.

文章引用：张杰. 澳大利亚一钢粉烧结性能研究[J]. 冶金工程, 2024, 11(2): 115-121.

DOI: 10.12677/meng.2024.112014

## Keywords

### YG Powder Ore, Sintering, Granulation, Strength

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 一钢粉 YG 理化性能

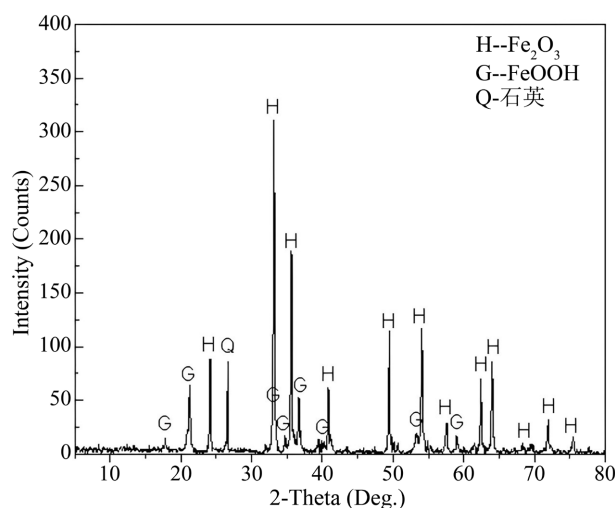
一钢粉是澳大利亚 One Steel 公司的产品，出产于南澳的铁矿区。选取常用的两种粉矿，与 YG 粉进行对比分析。其中，FG 粉矿属于结晶水含量较高的褐铁矿，自然品味 59% 左右，单烧品位 65% 以上[1]。一钢粉矿的化学成分如下表 1 所示：

**Table 1.** The main chemical composition of YG powder ore (%)

**表 1.** YG 粉矿的主要化学成分(%)

品名	TFe	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P	Mn	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
巴西 BG 粉矿	61.62	0.17	5.31	0.12	2.44	0.006	0.112	0.19	0.12	0.023	0.022	2.69
FG 粉矿	58.59	0.03	5.30	0.06	2.58	0.032	0.069	0.56	0.14	0.028	0.028	7.98
YG 粉矿	59.66	0.10	7.03	0.31	2.03	0.054	0.041	0.11	0.20	0.025	0.076	4.62

一钢粉铁含量较 FG 粉矿高，二氧化硅含量高，三氧化二铝含量低，烧损低；有害元素 P 含量低，但是 S 含量略高。



**Figure 1.** XRD pattern of YG powder ore

**图 1.** YG 粉矿的 XRD 图谱

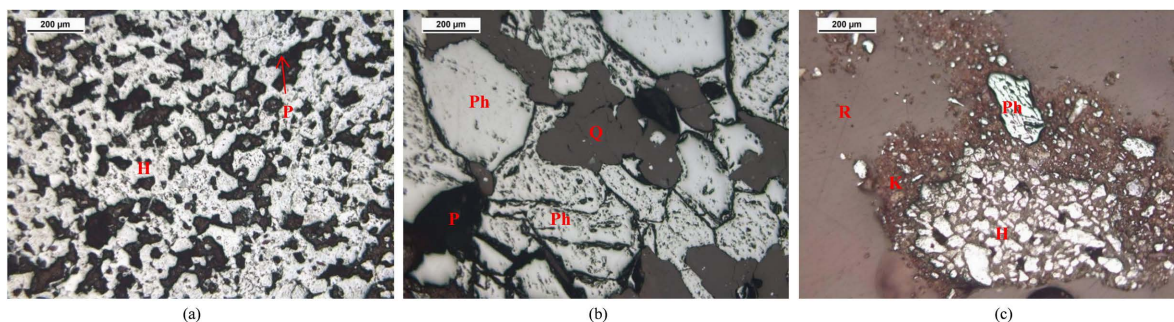
利用光学显微镜，对含铁原料的工艺矿物微观组成和结构，为合理客观评价含铁原料的性能及分析其对烧结的影响提供充分依据。在矿物组成上，该铁矿粉与前述几种西澳出产的铁矿石稍有不同，一钢粉矿中除赤铁矿和针铁矿及石英等矿物外(图 1)，还发现有少量磁铁矿及在磁铁矿晶粒基础上经缓慢氧化

过程形成的带金属光泽的板状赤铁矿(*plate hematite*)存在,且石英等脉石含量的比例较高。矿石中可见粒状赤铁矿形成的多孔集合体(如图 2(a)所示),部分赤铁矿以粗大晶粒的板状赤铁矿形式产出,该矿物多与褐色粒状石英相互充填共生,表明其热液成矿性质,由于在成矿过程中热液降温速率较慢,具有足够长的结晶时间,便形成了有金属光泽的板状赤铁矿,该矿石也可见于由细粒赤铁矿、高岭石形成集合体(如图 2(b)、图 2(c)所示)中。

**Table 2.** Percentage content of each phase in YG powder ore (area, %)

**表 2.** YG 粉矿中各物相百分含量(area, %)

赤铁矿 H	针铁矿 G	磁铁矿 M	石英 Q	高岭石 K	其他
54	35	2	6	2	1



H—hematite, 赤铁矿; G—goethite, 针铁矿; Ph—plate hematite, 板状赤铁矿; M—magnetite, 磁铁矿; Q—quartz, 石英; K—kaolinite, 高岭石; R—resin, 树脂; P—pore, 孔洞

**Figure 2.** Optical micrograph of YG powder ore (reflective 100 ×)

**图 2.** YG 粉矿的光学显微照片(反光 100×)

## 2. 一钢粉(YG 粉矿)配比的制粒试验

一钢粉配比烧结试验(如表 3 所示)是用高硅的一钢粉 YG 粉矿取代褐铁矿。匀矿基本配比为: 35%巴西粉, 澳洲粉 53%, 其它料 12%。用 5-20%的 YG 粉矿替代 5-20%澳洲粉, 与配比 1(基准)进行比较(0% YG 粉矿)。

**Table 3.** Mixing plan for YG proportioning test of steel powder ore and blended ore

**表 3.** 一钢粉矿 YG 配比试验混匀矿的配矿方案

品名批号	配比1	配比2	配比3	配比4	配比5
YG 粉矿	0	5	10	15	20
其它小计	100	95	90	85	80
合计	100	100	100	100	100

### 2.1. 一钢粉(YG 粉矿)配合制粒效果

试验在  $\text{SiO}_2 = 5.5\%$ 、 $\text{MgO} = 1.55\%$ 、生石灰配比 3.6%、制粒时间为 5 min 等固定条件下进行配料和制粒。一钢粉(YG 粉矿)配比试验实际用高硅的 YG 粉矿部分取代同规格的粉矿, 如表 4 所示。从粒度上而言, YG 粉矿较细, YG 粉矿中-0.25 mm 粒级含量较其它粉矿多 11.7%。由表 4 可得, 随着 YG 粉矿配比的增加, 混合料的透气性得到改善, 说明在制粒过程中, YG 粉矿中-0.25 mm 粒级在制粒过程中能有效得粘附在核颗粒上, 从而使混合料粒的粒度增大。

**Table 4.** Permeability of material layer after adjusting water distribution under different proportional structures  
**表 4.** 不同配比结构下调节配水后的料层透气性情况

方案	焦粉用量/%	设计水分/%	透气性指数 J.P.U.
配比 1	4.1	7.00	24.67
		7.50	37.91
		7.75	42.13
		8.00	50.44
		7.00	30.60
配比 2	4.4	7.25	35.73
		7.50	36.68
		8.00	47.58
		7.00	32.78
		7.25	35.43
配比 3	4.4	7.50	38.27
		8.00	42.23
		7.00	38.27
		7.25	40.13
		7.50	42.31
配比 4	4.4	8.00	45.46
		7.00	31.69
		7.25	37.70
		7.50	42.35
		8.00	44.11

## 2.2. 单矿(FG 粉矿、BG 粉矿、YG 粉矿)烧结的制粒试验

制粒过程一般以粗大矿石颗粒或返矿为形核颗粒(粒度大于 0.7 mm), 在水的作用下粒度较小的颗粒(粒度小于 0.2 mm, 一般称为粘附粒子)粘附在形核颗粒表面形成较大颗粒, 这些颗粒继续在外力作用下不断碰撞促进颗粒长大至合理的粒径范围[2]。据研究结果, 黏附粉量增加, 有利于增加包裹层厚度, 改善制粒性; 中间粒级由于颗粒粒径处于黏附粉(小于 0.25 mm)和核矿石(大于 1.00 mm)之间, 既难黏附于核矿石及准颗粒表面, 也难以被黏附粉包裹, 故需要控制其在混合料中的比例[3]-[6]。

试验对三种单矿(FG 粉矿、BG 粉矿、YG 粉矿)配矿时并不配入筛下粉、杂料等原料, 试验在碱度  $R = 1.7$ 、 $MgO = 1.55\%$ 、生石灰配比 3.6%、制粒时间为 5 min 等固定条件下进行配料和制粒。

对比三种铁矿粉的原始粒度组成可得,  $BG$  粉矿  $<$   $YG$  粉矿  $<$   $FG$  粉矿, 对应的  $-0.25$  mm 粒级含量分别为 27.55%、23.33%和 19.49%。铁矿粉本身的粒度组成对制粒过程有较大的影响, 但最终混合料的粒度组成还和实际包含返矿、熔剂、燃料等组成的料群体系的性质有关。假设返矿的粒度组成恒定并用 SI-F 现场返矿的粒度组成代替, 结合实际的配料比例对各干基混合料的粒度组成进行估算, 如表 5 所示。

表 5 为水分对三种单矿烧结试验混合料的制粒的影响。在较适宜的水分范围(7.0%~7.5%), 减少的细粒级物料主要增加了 +1 mm 粒级的含量, 这和 +1 mm 作为核颗粒的认识相一致, 但粘附粉粒级的划分并

不是绝对的,因为水分对制粒的影响很大,如表5所示,当混合料水分达到7.5%以上时,混合料中1 mm以下粒级的含量已很少。相同水分条件下,YG粉矿和FG粉矿的混合料粒度相对BG粉矿要粗,这可能与制粒前干基混合料的原始粒度大小有关。混合料粒透气性由高到低的顺序为:YG粉矿 > FG粉矿 > BG粉矿。其顺序与其粒度大小顺序相一致。

**Table 5.** Particle size composition of three dry base mixtures, mass/%  
**表 5.** 三种干基混合料的粒度组成, 质量/%

方案	+5	3~5	1~3	0.5~1	0.25~0.5	-0.25
FG 粉矿	16.00	17.22	32.59	8.92	8.05	17.21
BG 粉矿	14.13	13.76	31.56	8.04	10.18	22.33
YG 粉矿	14.66	16.96	32.04	9.01	8.50	18.83

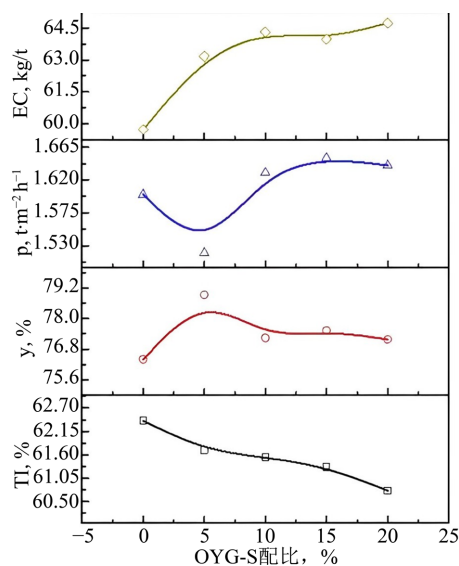
### 3. 一钢粉矿(YG)烧结杯试验

#### 3.1. 一钢粉矿(YG)配合烧结情况

一钢粉配比烧结试验(如表6所示)是用高硅的一钢粉 YG 粉矿取代褐铁矿。匀矿基本配比为: 35%巴西粉, 澳洲粉 53%, 其它料 12%。用 5%~20%的 YG 粉矿替代 5~20%澳洲粉, 与配比 1 进行比较(0% YG 粉矿)。

**Table 6.** Optimal conditions and sintering indicators under different steel powder ratios  
**表 6.** 不同一钢粉配比条件下的最佳条件及烧结指标

配比/%	焦粉/水分/%	透气性指数 $K_D$	FFS/mm/min	TI/%	Y/%	$P/t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	EC/kg·t <sup>-1</sup>	R
配比 1/0	4.1/7.5	37.91	22.80	62.40	76.40	1.60	59.72	1.02
配比 2/5	4.4/7.25	34.24	20.86	61.71	78.93	1.52	63.17	0.96
配比 3/10	4.4/7.5	39.46	22.60	61.54	77.24	1.63	64.31	1.04
配比 4/15	4.4/7.25	38.93	22.72	61.32	77.54	1.65	63.97	1.03
配比 5/20	4.4/7.25	37.63	22.73	60.76	77.18	1.64	64.73	1.04



**Figure 3.** Effect of different proportions of YG powder on sintering process  
**图 3.** 不同配比 YG 粉矿对烧结过程的影响

烧结杯试验在碱度  $R = 1.7$ 、 $\text{SiO}_2 = 5.5\%$ 、 $\text{MgO} = 1.55\%$ 等固定条件下，进行了焦粉用量和混合料水分的优化试验。通过优化试验得到了不同配比方案的最佳条件及烧结指标，如表 6 和图 3 所示。

由表 6 和图 3 可得，随着 YG 粉矿配比的增加，烧结矿的转鼓强度有明显的下降，由 62.40% 下降到 60.76%，进一步分析，主要是由于 YG 石英等脉石矿物含量较高，生成铁酸钙最少，玻璃相含量最多。利用系数稍有升高，在  $1.60 \text{ t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ~ $1.65 \text{ t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  之间(除配比 2 外，5% YG 粉矿)；同时，固体燃耗有所增加。

与基准配比实验相比，YG 粉矿粉的配入，使烧结利用系数明显升高，但转鼓强度下降，固体能耗升高。

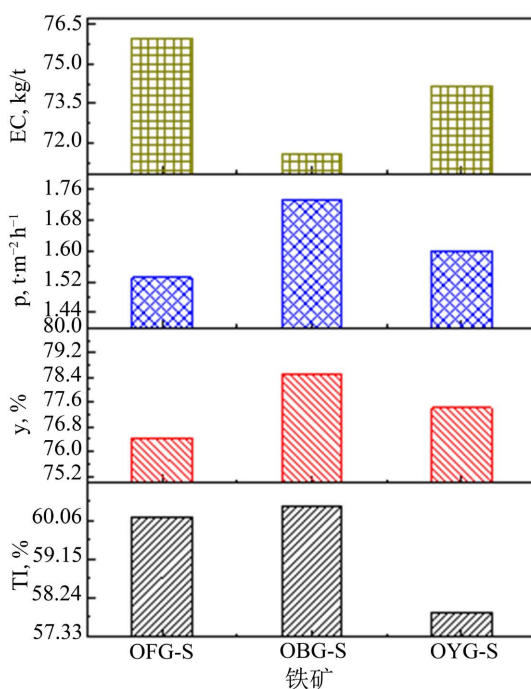
### 3.2. 单矿(FG 粉矿、BG 粉矿、YG 粉矿)烧结试验

试验对三种单矿(FG 粉矿、BG 粉矿、YG 粉矿)配矿时并不配入筛下粉、杂料等原料，烧结试验在碱度  $R = 1.7$ 、 $\text{MgO} = 1.55\%$ 等条件下进行。通过对焦粉用量、水分的优化，可得到三种单矿最佳的烧结指标，如表 6 和图 4 所示。

**Table 7.** Optimal conditions and sintering indicators under different single ore conditions

**表 7.** 不同单矿条件下的最佳条件及烧结指标

铁矿	焦粉/水分/%	透气性指数 $K_D$	$FFS/\text{mm}/\text{min}$	$TI/\%$	$Y/\%$	$P/\text{t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	$EC/\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	$R$
FG 粉矿	5.0/7.0	37.11	24.86	60.13	76.43	1.53	75.96	1.05
BG 粉矿	5.0/7.25	35.02	24.16	60.40	78.50	1.73	71.62	0.96
YG 粉矿	5.0/6.75	33.57	24.16	57.87	77.41	1.60	74.15	1.00



**Figure 4.** Comparison of sintering performance of three types of single ores

**图 4.** 三种单矿的烧结性能对比

由表 7 和图 4 可得，三种单矿的烧结性能有所不同，其中 BG 粉矿的烧结性能要优于 FG 粉矿和 YG 粉矿，而 YG 粉矿的烧结性能为三者中最差。这与三者的高温反应性能规律不能较好相符，从高温反应性

能来看, FG 粉矿稍优于 YG 粉矿, 但是均明显优于 BG 粉矿; 但是从粘结相自身强度来看, BG 粉矿最高, FG 粉矿次之, 最差的为 YG 粉矿, 单从粘结相自身强度的结果来看, 与烧结杯试验的结果较为符合。

烧结矿强度是由粘结相自身强度、核颗粒强度及粘结相与核颗粒间的粘结强度共同决定。烧结矿的破坏是在最弱强度区域发生。从三种铁矿粉来看, 由于 FG 粉矿和 YG 粉矿粉含结晶水远高于 BG 粉矿粉, 因此, BG 粉矿核颗粒的热稳定性要远优于其它两个矿粉。从而导致 BG 粉矿粉的烧结矿强度高于其它两种矿粉。

从单矿烧结指标与基准配比实验相比发现, 烧结机利用系数高于基准配比实验, 但转鼓强度明显低于基准实验, 固体燃料远高于基准配比实验。因此, 优化配矿就显得尤为重要。通过各种矿粉性能的合理搭配和优势互补, 方能取得良好的强度和高的产量及低的固体能耗。

#### 4. 结论

1) 澳洲 YG 粉矿硅含量高, 三氧化二铝含量低, 使用时, 通过结构优化, 可以配入一定低硅高铝品种烧结粉, 降低配矿成本。

2) 澳洲 YG 粉矿小于 0.25 mm 粒度比例适中, 有利于烧结原料制粒, 烧结过程透气性良好。垂直烧结速度快, 烧结利用系数高, 但是烧结矿结晶的发展相对来说不完善, 致使其烧结矿强度较低。

3) 烧结杯试验表明, 烧结机利用系数高于基准配比实验, 但转鼓强度明显低于基准实验, 固体燃料高于基准配比实验。通过各种矿粉性能的合理搭配和优势互补, 方能取得良好的强度和高的产量及低的固体能耗。

#### 参考文献

- [1] 陈伟, 邢建民, 王凯. 澳大利亚 FMG 粉矿烧结性能的试验研究[J]. 金属世界, 2007(2): 26-29.
- [2] 吕学伟, 郭家宝, 游洋, 等. 铁矿粉烧结制粒过程颗粒行为研究综述[J]. 钢铁研究学报, 2021, 33(10): 1084-1094. <https://doi.org/10.13228/j.boyuan.issn1001-0963.20210256>
- [3] 吴胜利, 王跃飞, 朱娟. 铁矿粉颗粒特性对其烧结制粒性的影响[J]. 钢铁, 2015, 50(5): 19-25. <https://doi.org/10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20140333>
- [4] 周文胜, 王梅菊. 改善烧结混合料透气性的途径探析[J]. 冶金与材料, 2021, 41(6): 185-186.
- [5] 付壮壮, 韩秀丽, 刘磊, 等. 铁矿粉粒度对烧结基础性能的影响[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2022, 44(3): 8-14.
- [6] 史先菊, 李光强, 刘畅, 等. 烧结用铁矿粉制粒性能影响因素的试验研究[J]. 烧结球团, 2023, 48(4): 30-37+80. <https://doi.org/10.13403/j.sjqt.2023.04.051>