

钢铁工业节能减排任务中耐火材料的工作

李楠 鄢文

(武汉科技大学, 武汉 430081)

摘要 耐火材料主要应用于为钢铁工业。作为炉衬与在高温下作用的器部件的基础材料,耐火材料必须为钢铁工业的节能减排做出贡献。耐火材料以电熔刚玉,电熔镁砂等高耗能材料为原料,追求高纯度、高密度与高温烧成,因此,耐火材料生产是一个高耗能过程,降低耐火材料消耗即为节能减排做贡献。根据耐火材料的显微结构与渣蚀的机理,过高的骨料密度并非总是必需的,降低骨料密度不仅能降低其生产能耗,还能降低炉衬的导热系数,减少散失损失。开发高强度低导热,能在热面直接使用的耐火材料对减少工业炉的散热损失有重要意义。

关键词 耐火材料 节能减排 承包 低密度骨料 绝热耐火材料

The Tasks of Refractories on Reduction of Energy Consumption and CO₂ Emission in Iron and Steel Industry

Li Nan Yan Wen

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan ,430081)

Abstract Refractories, as the essential materials for furnaces and the parts used at high temperature, have a duty to save energy and reduce CO₂ emission. Refractories often use fused MgO, fused Al₂O₃ and other raw materials with very high density and purity which are produced to consume a lot of energy, so that to reduce refractory consumption is to reduce energy consumption and CO₂ emission. Refractory global contract is a very good way to reduce refractory consumption because it converts a model from 'to sell refractories to make money' to 'to save refractories to make money'. On the other hand, it is not always necessary to use the aggregates with very high density in refractories. The aggregates with lower density may reduce the energy consumption during raw material production and the thermal conductivity of refractories. In order to raise insulating efficiency new insulating refractories with high strength, low thermal conductivity and used at high temperature should be developed.

Key words refractories, energy consumption, CO₂ emission, aggregate, insulating

随着人类对环境与气候问题的关心,钢铁等能耗大的工业面临巨大的压力。耐火材料作为工业炉衬的基础材料,70%以上消耗在钢铁工业中。它对钢铁工业的节能减排以及可持续发展有不可推卸的责任。耐火材料在节能减排工作中的作用包括三个方面:

(1) 延长耐火材料使用寿命,降低耐火材料消耗。这是耐火材料使用者与生产者永恒的任务。耐火材料生产过程消耗大量的能源。首先,它使用大量的高能耗产品,如电熔刚玉、电熔镁砂等电熔材料以及其他在高温下烧结的材料为原料。其次,不定形耐火材料以及不烧砖的发展虽可以免除了制品的烧成过程,但仍有相当部分制品需经过烧结。因此,降低耐火材料消耗本身就对节能减排做出了贡献。

(2) 降低耐火材料生产过程中的能耗与 CO₂ 排放。

(3) 开发节能型产品,首先是低导热与低热容量产品以减少工业炉的散热损失,同时开发高热容量的产品供热风炉等蓄热设备使用。

为完成上述三个任务，我们必须有新的思路，也必须有耐火材料工作者与冶金工作者密切合作。下面就有关问题谈谈我们的一些看法。这里不仅仅有单纯的技术问题，也有管理问题。二者是不可分割的。

1 耐火材料整体承包法降低耐火材料消耗

耐火材料的整体承包在我国已推行数年，对此存在不同的看法。整体承包绝不仅仅是一个简单的商业运行方式。它对于耐火材料工业、科技以及节能减排的发展有重要作用。整体承包制度带来的最大好处是耐火材料供应商经营思想的重大改变：从卖出去赚钱转变为省下来赚钱。过去是卖得越多赚得越多，现在是省得越多赚得越多。这一变化给国家与人类、耐火材料生产者与使用者都带来很大好处。

现有的耐火材料与用户的关系是单纯的买卖关系，你买我卖。卖出去了就获得了利润，卖得越多赚得越多，卖的越多越好。因此，虽然有一些使用寿命的要求。但从根本上说耐火材料生产者并不真正关心耐火材料的使用寿命。因此也不关心耐火材料的使用条件，而且常常在满足产品质量指标的情况下，并不真正关心产品的性能。采用承包制以后，按每一吨钢的产量来结算耐火材料经费。变成了省得越多赚得越多。耐火材料生产者一定会千方百计的降低吨钢耐火材料消耗。这带来三个方面的好处：

- (1) 对国家与人类有好处，降低了能源与资源的消耗，减少了 CO₂ 的排放；
- (2) 可降低吨钢耐火材料消耗，有利于降低炼钢成本；
- (3) 有利于促进耐火材料生产与使用技术的进步以及耐火企业的整合。

第 1 项与第 2 项好处是显而易见的。第 3 项好处需进一步说明。为了降低吨钢耐火材料消耗，耐火材料企业只有一条路可走，那就是研究透不同的使用条件下耐火材料损坏的原因与机理，开发出针对性强的产品以延长使用寿命，降低吨钢耐火材料的消耗。但是，各个钢厂的冶炼工艺、渣性等并不完全相同。同一个产品在甲厂使用效果良好，在乙厂中使用就不一定理想。耐火厂要想最大限度地降低吨钢耐火材料消耗就要针对不同的使用条件研究、生产不同性能的产品。这样就会出现一种情况即同一个类型的产品可能有不同的牌号以适应不同用户的需要，即所谓的“一对一”的服务。为了实现“一对一”的服务模式，耐火材料厂必须实现“精细化的生产”以精确满足不同用户的需求。因此，“一对一的服务，精细化的生产”是满足总承包要求的唯一的合理的模式。为了实现这一模式，除了耐火材料厂应改变其管理与经营思想外，钢厂也应给予积极的支持。这支持主要表现在两方面：其一是积极与耐火材料厂合作，根据该厂实际情况探明耐火材料的损毁机制，为改进耐火材料的质量提高使用寿命提出来建议；其二是要以使用结果作为判断耐火材料好坏的唯一标准。淡化耐火材料的国家标准与行业标准。我国许多耐火材料产品有国家标准与行业标准，这些标准并不完全合理，常常出现达到标准的耐火材料使用效果不好，没达到标准的反而使用效果好的情况。这是因为使用条件千变万化，统一的标准并不一定合适。事实上，许多先进国家是没有耐火材料产品的国家标准的，而只有各生产厂的厂标。但却有严格统一的检测方法的标准。

耐火材料承包体制与传统的你买我卖体制相比，可大大降低耐火材料消耗，节能减排。但这仅仅是耐火材料与用户关系的初级阶段。高级阶段应该是“耐火材料服务的总体承包”。耐火材料生产企业不仅仅是生产耐火材料，它们还应对工业炉耐火材料的配制设计，砌筑施工与维护进行整体承包，不仅销售产品还出售服务，以实现工业炉的长寿与节能减排。

无论是耐火材料的承包或者是整体服务承包一定会促进耐火材料生产与使用技术的进步。同时，还有利于耐火材料企业的整合，耐火材料企业的散、多、小、差的局面有望得到改善。

2 耐火材料的原料、显微结构与节能减排

传统上，耐火材料生产者与使用者喜欢通过使用高纯度原料，高的体积密度来获得长的使用寿命，即所谓的三高：高纯度、高压成型与高温烧成。“三高”带来的是优质原料的大量消耗与单位产品的能耗与 CO₂ 排放量的增大。但是，从耐火材料的显微结构与渣蚀机理来看，产生了一个问题：高纯度与高密度的骨料总是需要的吗？

耐火材料显微结构的特点是非均质的。它是由骨料与基质构成的。通常, 基质的气孔率高于骨料, 纯度也比骨料低。如图 1 所示, 在使用过程中, 熔渣首先侵蚀基质并沿气孔向内部渗透, 在渗透过程中越过骨料渗透到骨料的后面去。渗透渣与基质反应形成变质层, 由于变质层的烧结及变质层与原砖层热膨胀系数的差别在变质层与原砖层之间产生裂纹, 随裂纹的扩展, 变质层会与骨料一道从耐火材料剥落进入渣中。这种情况下骨料体积密度的高低并没有多大意义。因此, 在耐火材料中大量使用高能耗的电熔刚玉、电熔镁砂等电熔产品以及高温下烧结的高密度骨料的传统思路有商榷的余地。

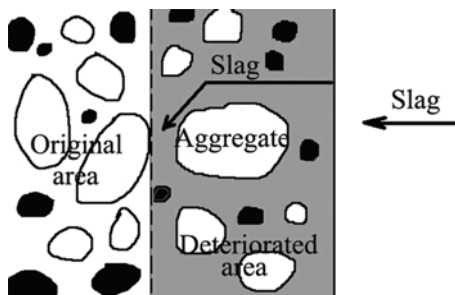


图 1 熔渣对耐火材料侵蚀的示意图^[1]

我们曾研究过一个以低密度方镁石-尖晶石 MA85 为骨料的镁铝制品并与以电熔镁砂 FM 为骨料的制品进行了对比。所用原料的组成如表 1 所示。

表 1 镁铝尖晶石 MA85 及电熔镁砂的组成与性质

	化学成分(%)					显气孔率 (%)	体积密度 (g/cm ³)
	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	TFe		
MA85	12.07	84.47	1.72	0.84	0.65	18.1	2.96
FM	0.14	97.90	0.11	0.78	0.40	5.6	3.39

组料中采用 50%的骨料与 50%的基质。基质的组成相同。配料经压制成尺寸为 160mm×25mm×25mm 的长条形试样, 在 110℃干燥 24h 后于 1600℃下烧成得到试样的性能如表 2 所示。由表可见, 以 MA85 为骨料的耐火材料的体积密度较低, 气孔率较高, 使用性能都不比以电熔镁砂为骨料的差, 而导热系数也较低。

表 2 采用不同骨料的镁铝制品的试样的性质

	MA85骨料	FM骨料
显气孔率, %	23.0	15.0
体积密度, g/cm ³	2.77	3.93
常温抗折强度, MPa	60	45
高温抗折强度 (1400℃), MPa	3.8	1.4
热膨胀系数, ×10 ⁻⁶ K ⁻¹	11.0	11.5
耐火度 (T0.6), °C	>1650℃	>1650℃
抗折强度残存比, % (1100℃—水冷三次)	73	50

表 3 中给出了以 MA85 与以电熔镁砂为骨料, 石墨含量为 6%的含碳耐火材料的性能对比。由表可以看出, 对于低碳含碳材料而言。使用低体密骨料得到的制品的性能较差。如何选用低密度骨料, 进一步改善工艺与配方有待进一步研究。

表 3 不同骨料的含碳耐火材料的性能

	骨料	
	FM	MA85
显气孔率, %		
220℃×24h	7	18
1500℃×3h*	10	19.5
体积密度, g/cm ³		
220℃×24h	3.05	2.79
1500℃×3h*	2.95	2.72
常温抗压强度, MPa		
220℃×24h	36.1	24.2
1500℃×3h*	35.8	28.0
常温抗折强度, MPa		
220℃×24h	11.9	5.9
1500℃×3h*	6.8	5.6
高温抗折强度 (1400℃), MPa	13.9	11.2
氧化面积 (1100℃×3h) ,%	56	72
残余抗折强度*, MPa	15	49
侵蚀速度, mm/n	3	3.5

*1500℃下热处理是在埋炭条件下进行的, 抗热震试验是将试样埋炭在 1100℃保温 1h 后水冷 5min 一次后测定其水冷前后的强度而得到。

我们曾对低密骨料浇注料的性质进行过一些工作^[2-4], 图 2 是一种由方镁石-尖晶石低体密骨料所得到的浇注料的抗渣性并与以电熔镁砂为骨料的进行了对比。试验是以坩埚法进行的。方镁石-尖晶石低密度骨料以及渣的理化性能如表 4 所示。

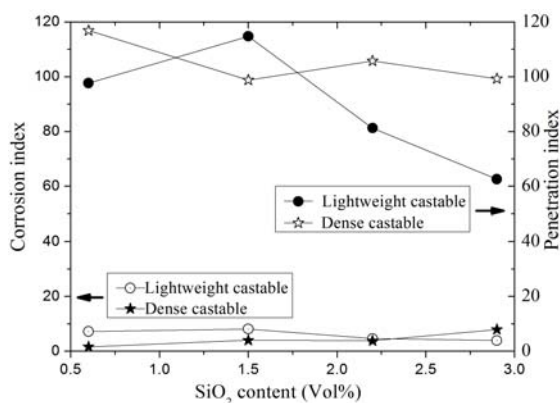


图 2 由低密度骨料以及电熔镁砂骨料制得的浇注料的抗渣性的比较

表 4 方镁石-尖晶石低密度骨料与渣的理化指标

	化学成分 (%)						体积密度 (g/cm ³)	显气孔率 (%)
	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O		
低密度骨料	57.63	39.66	0.69	0.32	—	—	2.97	16.1
渣	9.04	9.18	31.50	44.83	1.15	—	—	—

由图2可见,两种浇注料的侵蚀指数非常接近,而且不随氧化硅微粉加入量的增加而变化。当氧化硅微粉超过2.2%后,以低密度骨料浇注料的渗透指数比以电熔镁砂为骨料的渗透指数小。这里要特别提出来陈荣荣等人^[5]在宝钢进行过的一个工业试验。他用体积密度为 2.85g/cm^3 的刚玉-尖晶石为骨料制得刚玉-尖晶石浇注料在250t钢包上试用。结果表明:使用寿命并未降低,而钢包的重量降低,材料消耗减少,钢包衬的导热系数减少。

3 高强度、低导热、耐高温保温耐火材料的开发

当前,大量使用的保温耐火材料的问题与对策包括以下几个方面:

(1) 保温材料使用温度与强度不高,不能在热面上直接使用。实际上,在愈接近热面的部位使用保温材料,节能效果越好。目前能在高于 1400°C 以上长期使用的刚玉质或刚玉-莫来石轻质砖的导热系数较高。氧化铝或莫来石纤维价格贵,长期使用效果较差,且对操作人员的健康有害。因此,应研发能在高温下直接使用价格合适的保温耐火材料。

(2) 目前大量使用的保温耐火材料的导热系数较高。氧化硅气溶胶制品的导热系数很小,但由于二氧化硅的相变不能在较高温度下使用。因此,应从气孔的尺寸及分布、相组成以及相界与晶界的大小及数目等有关方面探讨影响导热系数的因素,开发出低导热系数的保温耐火材料。

(3) 应大力发展轻质不定形耐火材料。特别是轻质骨料对轻质不定形耐火材料的影响很大。应开发强度高、适合在更高温度下使用的轻骨料。

4 结束语

节能减排是人类面对的重大课题。为解决这一问题,人们应该有一些不同于传统的新的思想。耐火材料是一个服务于高温工业、本身消耗较多能量的行业。本文提出了耐火材料服务于钢铁工业以及生产中的一些新想法,包括承包制的优势,低密度骨料的使用以及开发能在工作面直接使用的耐高温、高强度、低导热系数的耐火材料等。

参 考 文 献

- [1] Wen Yan, Nan Li and Bingqiang Han. Influence of microsilica content on the slag resistance of castables containing porous corundum-spinel aggregates [J]. International Journal of Applied Ceramic Technology, 2008, 5(6): 633~640.
- [2] Yan W, Li Nan and Han B. An investigation on slag resistance of castable refractories containing porous spinel aggregates [J]. Interceram: Refractories Manual, 2009, 25~28.
- [3] Wen Yan, Nan Li, Bingqiang Han, Xuanming Fang and Guangping Liu. Effects of microsilica content on the performances of lightweight castables containing porous periclase-spinel aggregates [J]. Ceramics-Silikáty, 2010, 54(4): 315~319.
- [4] 鄢文, 李楠, 韩兵强. 镁砂细粉加入量对轻骨料刚玉-尖晶石浇注料性能的影响[J]. 耐火材料, 2010, 44(2): 104~107.
- [5] Rongrong Chen, Pingxian He, Ning Wang, Jiming Mou and Feifang Gan. Development of a low density castable for steel ladle [A]. Japan: Proceedings of UNITECR [C]. 2003, 670~672.

钢铁工业节能减排任务中耐火材料的工作

作者: [李楠](#), [鄢文](#)
作者单位: [武汉科技大学, 武汉 430081](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7567111.aspx