**氮气吹扫，影响基础氧气转换器的衬垫寿命的因素**

基础氧气转炉的衬里寿命、可靠性和成本对于利用基础氧气工艺进行钢铁生产的熔炼车间的顺利运作至关重要。 衬里寿命越长，转炉的利用率就越高，从而提高其生产率。

实现基本氧气转炉更高的炉衬寿命的三个重要因素是：（1）转炉中耐火材料的质量及其铺设方式；（2）遵循的操作规范；（3）监测炉衬磨损和维护耐火材料的做法。改进的耐火材料的开发，结合改进的工艺控制和更好的维护工作，可以提高基本氧气转炉的衬里寿命。

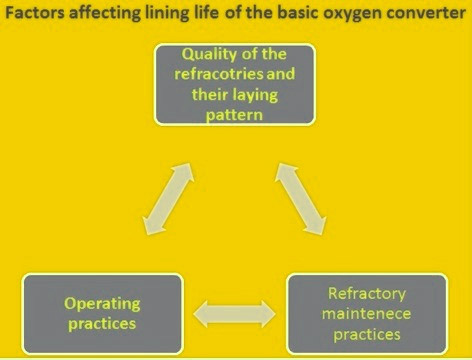


图1 影响基础氧气转炉内衬寿命的因素

如今，由于氧化镁-碳（MgO-C）耐火材料的性能优于其他类型的转炉内衬材料，所以基本的氧气转炉无一例外地采用了氧化镁-碳耐火材料的内衬。然而，在转炉的不同区域使用不同质量的氧化镁-碳耐火材料，是一种分区的耐火材料衬里做法。

氧气转炉中耐火材料的磨损原因有的是化学原因，有的是物理原因。转炉炉衬磨损的化学原因主要是由于气态物质（氧化性气体、还原性气体和水蒸气）、液态物质（炉渣、热金属和液态钢熔体）和固态物质（熔剂和碳分解）。 导致转炉衬里磨损的物理原因是温度过高（散热不良和热点），静态机械应力（剥落和膨胀），以及动态机械应力（磨损、冲击和振动）。基本型氧气转炉耐火材料衬里的关键磨损机制可归纳为以下几点。

* 转炉内液态金属和液态炉渣的最高温度
* 高温材料在转炉中的停留时间
* 熔体的氧化状态（腐蚀引起的磨损）
* 炉渣的化学成分（因腐蚀而产生的磨损）
* 吹氧过程中氧气射流的冲击和穿透力
* 在吹氧和转炉倾斜过程中，由于熔渣和金属对耐火材料的侵蚀。
* 耐火材料的磨损（由于灰尘和气体的产生）
* 转炉装料过程中废钢和热金属的影响
* 热循环
* 清洗设备造成的机械损伤

耐火材料的腐蚀是由于化学侵蚀而发生的，而侵蚀包括化学侵蚀（侵蚀）和耐火材料的机械磨损。侵蚀经常来自于转炉中产生的湍流或机械侵蚀（例如，将废料送入转炉）。强化侵蚀往往发生在金属/炉渣和炉渣/大气界面的炉衬中。这种类型的侵蚀被称为 "渣线侵蚀"。

耐火材料的质量

决定MgO-C耐火材料质量的重要参数如下。

* 氧化镁--制造氧化镁--C砖的主要原料是Periclase矿物或烧结的海水氧化镁。重要的特性是其纯度、烧结或熔融等级或组合、密度、晶体大小、晶粒结构和晶粒大小分布。
* 碳--碳的相关属性是纯度、粒度分布（片状石墨）、晶粒结构（片状石墨）、炭黑的数量和片状石墨的数量。
* 粘接剂 - 重要的参数是树脂的数量和类型、玻璃碳、沥青（石墨碳）的数量和类型，以及再浸渍。
* 金属添加物 - 金属添加物（抗氧化剂）有铝、硅、铝镁等。可以结合使用几种金属添加剂。重要的参数是金属添加物的数量、粒度和类型。
* 砖的物理特性 - 重要的特性是密度、孔隙率、热和冷强度。
* 加固 - 加固是用纤维完成的。纤维的种类和数量是重要的因素。

制砖机的类型和大小（无论是摩擦式还是液压式）影响着砖的性能。

菱镁矿的氧化镁含量至少要达到99%。颗粒中形成的矿物质也很重要。整体SiO2应尽可能低（低于0.3%）。高硼（B）含量也非常关键，会破坏晶粒的热强度。

晶粒密度通常在3.2到3.5g/cc以上的范围内变化。低晶粒密度意味着高孔隙率，使晶粒容易被熔渣渗透。

大的晶粒尺寸一般被认为是超过140微米的尺寸。熔融氧化镁晶粒可以超过1000微米。大晶粒通常优于小晶粒，这是因为减少了间隙孔隙率，从而减少了熔渣渗入晶界的机会，并且在高温使用过程中，降低了氧化镁被砖中的C还原的敏感性。还原过程破坏了砖中的C和晶粒中的MgO，产生金属镁蒸汽和CO气体。

砖是用粘结剂结焦后剩余的细小的C的残余物进行碳结合。这就是将砖块固定在一起的原因。石墨对炼钢炉渣是不湿润的，可以防止炉渣渗入砖内，从而使镁质颗粒溶解。石墨还具有很好的导热性，可以将热量从砖的表面转移出去，从而减少侵蚀性反应的动力学。在化学上，所有的石墨都是纯碳，但都含有一些灰分（石墨矿床中的粘土矿物）。不纯的石墨会在砖中加入硅和氧化铝等杂质，这只会产生负面的影响。通常使用片状石墨，因为它比无定形石墨具有更高的抗氧化性和更高的导热性。一般来说，石墨的使用量从5%到25%不等。在其他条件相同的情况下，石墨含量越高，砖的抗渣性和导热性就越高。

添加到Mag-C砖中的金属粉末可以作为氧气的清除剂，延迟石墨和C-键的氧化。这些粉末通过在砖中形成复杂的金属-硫化物-氧化物键，明显提高热强度。

在基本氧气转换器的不同区域的耐火材料受到不同条件的影响，由于它们的磨损率不同。因此，在转炉的不同区域需要不同质量的耐火材料，以获得统一的磨损率。这种类型的炉衬被称为平衡炉衬或分区炉衬。在分区衬里模式中，具有较小磨损的衬里部分被分配到较低质量或较小厚度的耐火材料。同样，具有较高耐磨性和通常较高成本的耐火材料被分配到转炉衬的那些具有较高磨损模式的部分，以便使这些严重磨损区域的寿命更长。

操作方法

良好的控制炉渣发展、氧气流量和喷枪做法、使用底部搅拌和有限使用再吹做法是影响基本氧气转炉衬里寿命的操作方法的关键特征。了解工艺化学、吹炼动力学和转炉衬板磨损之间的相互作用，可以实现高效炼钢和延长转炉衬板的使用寿命。

对碱性氧气转炉耐火材料磨损率有最大影响的最重要因素是吹炼结束时的高水浴温度和炉渣中的高氧化铁含量。此外，转炉在吹炼结束后等待出钢的时间过长，对耐火材料的衬里也有很大的不利影响。其他对碱性氧气转炉耐火材料有负面影响的因素包括：（i）热金属的硅含量高，（ii）热金属的锰含量高，（iii）重吹频率高，（iv）反应性差，石灰添加质量低。(v) 石灰添加量不足，特别是在喷吹初期；(vi) 由于煅烧白云石或煅烧菱镁矿等氧化镁添加剂的添加量低，在喷吹的不同时期，转炉渣未被氧化镁饱和；(vii) 炉渣碱度低。

影响转炉衬里寿命的重要因素还有：（i）热金属中的钛含量和炉渣中的氧化钛含量；（ii）转炉槽中有液体物质的时间；（iii）铁矿石的高添加量；以及（iv）转炉口的清洁频率。

对碱性氧气转炉炉衬磨损率有积极影响的最重要因素包括：（i）高频率的溅渣，（ii）高频率的涂渣，（iii）适当添加煅烧白云石和/或煅烧菱镁矿，（iv）经常采取底部养护措施，如补砖，以及（v）经常采取修复措施，如对磨损区域进行炮击等。

饱含石灰的炉渣不仅对炼钢很重要，而且对防止转炉内衬的过度磨损也很重要。在吹炼前和吹炼过程中添加石灰是为了确保在吹炼过程结束时有一个略带石灰的超饱和炉渣。

不同热金属硅含量的炉渣发展路径显示，从高含铁量的初始炉渣开始，由于硅氧化和石灰溶解的增加，炉渣中的SiO2和CaO含量上升。最初的热金属硅含量越高，在吹炼过程的早期SiO2含量也越高。在吹炼结束时，炉渣需要有轻微的石灰过饱和度，以避免耐火材料过度磨损。为了实现这一目标，必须有一个石灰添加率，以适应热金属中的硅含量和目标炉渣的FeO含量。

由于基本的氧气转炉有一个氧化镁-C的衬里，为了尽量减少衬里的磨损，炉渣应该是氧化钙和氧化镁饱和的。MgO在炉渣中的溶解度取决于其碱性、温度和FeO含量。当矿渣的碱性和FeO含量低且温度高时，MgO在矿渣中的溶解度就高。因此，氧化镁的溶解度随着SiO2含量的增加而增加。低碱度的矿渣，相当于矿渣中的低FeO含量，具有最高的MgO溶解度，因此，当矿渣碱度仍然较低时，菱镁矿衬里在吹炼初期受到的攻击最严重。氧化镁的溶解度随着碱度和FeO的增加而降低。

在饱和线以上，所有的氧化镁都不能保持液态，因此在氧化镁饱和的情况下，矿渣碱度的进一步提高会导致氧化镁的沉淀，并增加矿渣的粘度，其结果是转炉底部和炉壁上出现堆积。这些堆积物延长了炉衬的寿命。

炉衬寿命受整个吹炼过程中的炉渣分析的影响。在FeO-SiO2边界系统中，有一种化合物fayalith（2FeO.SiO2），其熔点很低，为1,205摄氏度。这个区域加上在这部分喷吹的低碱度下存在的高氧化镁溶解度，对衬里的寿命有非常不利的影响。因此，为了尽早提高炉渣的碱度，添加的石灰快速溶解是非常重要的。

使用软烧石灰和在喷吹开始时对金属槽有足够大的喷枪高度（这样可以促进铁的氧化，从而促进石灰的溶解），对实现这一目标是有利的。此外，为了促进石灰的早期溶解，石灰的添加应在吹炼开始后的三到四分钟内完成。

石灰不是纯的CaO。它含有SiO2和Al2O3等杂质，必须在添加量的计算中予以补偿。此外，它的冶金效率还受到颗粒大小和反应性（或燃烧程度）的影响。正常的颗粒尺寸是8毫米到40毫米（有些人喜欢10毫米到50毫米），因为低于6毫米的颗粒会和废气一起从转炉中被提取出来；在某些情况下高达30％。如果发生这种情况，所产生的矿渣可能是不饱和的，会造成转炉衬里的额外磨损。

粒径范围大的石灰在装入储料仓时也会发生分离，这样，粗颗粒的材料就会流向锥形装料堆的外侧，而细颗粒的材料则留在内部区域。因此，当从料仓中装入石灰时，石灰的质量通常是不稳定的，这对钢的化学成分、温度控制和转炉衬里的寿命都有不利影响。

为了最终调整温度或分析，往往需要重新吹灰，但代价是铁的氧化程度增加，从而使耐火材料的磨损加剧。例如，不到一分钟的重新吹扫会使温度提高20摄氏度，但也会使炉渣的铁氧化物增加5%。虽然理论上在复吹过程中要加入石灰，以使其保持在饱和线上（作为FeO增加的结果），但在大多数情况下没有这样做，特别是在需要复吹来提高温度的情况下，因为铁氧化造成的温度增加在很大程度上被石灰溶解的热量所补偿。虽然由于冶金的原因，氧化铁含量和温度相当高的低饱和炉渣是可以接受的，但它们对炉衬的寿命极为不利，而且在吹炼结束和出钢之间，钢液在转炉中停留的时间越长，损害就越大。

要实现吹炼行为的一致性和可控性，以及吹炼结束后结果的低变化率，另一个重要因素是吹炼过程中充分的熔池运动。在主要的脱碳期，由于CO的形成，有良好的熔池运动。随着C含量下降到0.30%以下，CO气体的形成减少，浴槽的移动量也大大减少了。在这一阶段的吹炼中，要通过降低吹炼氧气喷枪来完成熔池移动的任务。虽然由喷枪引起的搅拌效果比CO形成时要小得多，但它能确保浴槽的搅拌保持到吹气结束。这是引入惰性气体的底部搅拌的一个原因。尽管通过塞子吹过转炉底部的气体量（通常在0.01到0.05N cum/t/min的范围内）与顶部吹出的氧气相比很小，但其搅拌效果有多种好处，可以确保炉渣和熔池处于更高的平衡状态，并在转炉炉渣中产生更低和更可控的FeO水平，这对转炉衬里的寿命是有利的。

为冷却转炉熔池而加入的铁矿石块，由于氧化铁含量的增加，也会对衬里寿命产生影响。应避免添加过多的矿石，因为矿石带来的额外氧气量会导致无法控制的吹气行为。矿石添加最好在主要脱碳期完成，否则可能没有足够的碳来减少熔化的矿石。如果矿石总是通过加料槽加到转炉的同一侧，那么在耳轴区域局部形成的富含FeO的矿渣会造成局部的衬板磨损。由于这个原因，有必要改变转炉的矿石添加侧。

衬板磨损监测和衬板维护

衬板磨损的监测是通过激光技术测量衬板的厚度来完成的。这种技术利用激光束来测量衬板的厚度。为此，可以使用特殊的激光测量机。建议每天测量一次衬里厚度，以了解转炉运行期间的衬里情况。当衬里厚度减少到一定程度时，就可以开始实施衬里维护技术。

为了提高转炉衬里的寿命，采用了一些衬里维护方法。以下是这些做法。

炉渣涂层 - 炉渣涂层基本上是一种摇动转炉以形成炉渣工作衬里的技术。这是一门艺术，需要在转炉运行期间给予相当的关注。炉渣涂布实践成功所需的行动有：（i）选择正确的炉渣类型，（ii）在正确和适当的添加量后进行炉渣调节，（iii）正确摇动转炉，（iv）必要时处理炉渣，以及（v）在最佳时机进行涂布。这些项目都要精心计划并正确执行，以实现正确的炉渣涂布。成功涂渣的关键是遵循既定规则。炉渣涂层大约需要1-2分钟。

溅渣 - 溅渣技术是一个相对较新的发展，对转炉衬里寿命的提高做出了重大贡献。顾名思义，溅渣是利用炼钢过程中的残渣，经过调节和冷却以提高其耐火度，从而在耐火材料表面形成一层涂层，在随后的喷吹中作为耐磨衬。粘稠的液态炉渣通过高压氮气吹入转炉上部（锥体），粘在转炉工作衬里上。溅渣技术需要在前一次加热结束后和下一次加热开始前占用转炉几分钟的时间。溅渣技术已被开发出来，以对抗侵蚀，并在转炉中产生一个冻结的衬里。在随后的加热过程中，溅出的炉渣可作为工作衬里。它已成为增加转炉衬里寿命的有力工具。它需要使用氧枪向残渣吹氮气。已知的两种溅渣方法是：i）转炉内无钢水，转炉内有所有的渣；ii）转炉内有钢水和渣。第二种方法主要用于涂抹转炉的耳轴和上部部分。两种技术的喷吹做法是不同的。溅渣需要2-3分钟，在转炉垂直状态下进行。氮气流量是根据喷枪的高度来控制的，通常是自动化的。

喷射 - 这种技术有助于延长衬里的寿命。它包括以氧化镁为基础的炮击耐火材料，通常是在遇到严重磨损的区域，如耳轴、废钢冲击区和渣线的整体。炮击通常只在有选择的区域进行，并在钢和渣攻丝后进行。炮击过程中使用射手类型的喷枪，以应对工艺中的恶劣环境。炮击材料通常是水基的。对喷枪材料进行了大量的研究，其质量也在不断提高。由于炮制材料是有成本的。在炼钢过程中，喷枪的数量要与耐火材料的具体成本相平衡。

补砖 - 这种技术通常用于建立被侵蚀的底部。出钢和出渣结束后，转炉中会保留一些炉渣。粗的或破碎的废转炉耐火砖被添加到液态炉渣中。共需要30至60分钟的额外时间来完成炉渣的凝固。用过的耐火材料要粗一些，以便能够加固液态炉渣。