**碱性氧气炉炼钢所需材料**

在基本氧气炉（BOF）炼钢过程中，生产液体钢需要以下类型的材料（图1）。

1. 基本原料，如热金属、废钢和石灰等。
2. 次要原料，如脱氧剂和渗碳剂。
3. 实用气体，如氧气、氮气和氩气等。
4. 耐火材料和耐火材料，如衬里材料、炮制材料和修补材料等。
5. 消耗性探头，如温度探头和采样探头等。
6. 用于冷却吹氧枪和废气的冷却水。



图1 在碱性氧气炉中生产钢铁所需的材料

基本原料

在转炉炼钢所需的基本原料包括：（i）来自高炉的热金属，（ii）废钢和/或任何其他金属铁源，（iii）铁矿石，以及（iv）熔剂。 从废钢箱中装入的废钢，是第一个被装入转炉的材料。然后，热金属从热金属装料包倒入转炉，之后开始用氧气吹气。助焊剂，通常是块状的，在吹氧开始后通过料仓系统被注入转炉。助焊剂也可以以粉末的形式通过底部喷口注入炉内。炼钢厂转炉中使用的基本原料的成分和数量因炼钢厂而异，取决于其可用性和工艺的经济性。

热金属或液体铁是铁单位和能源的主要来源。热金属从高炉中以敞口或鱼雷车的形式接收。如果是敞开式钢包，热金属被倒入热金属混合器中，以保持其温度，然后用于转炉。热金属的化学成分可以有很大变化，但通常含有约3.8％至4.5％的碳，0.5％至1.5％的硅，0.25％至1.5％的锰，0.05％至0.15％的磷以及0.03％至0.08％的硫。

在热金属脱硫厂中，热金属的硫含量可降至0.001%。热金属的成分取决于高炉中的做法和炉料。一般来说，当高炉在冷态下运行时，热金属的硅含量会减少，硫含量会增加。如果高炉料中的磷含量较高，则热金属中的磷含量会增加。

碳和硅是能量的主要贡献者。热金属硅影响到可在转炉热能中装入的废钢数量。例如，如果热金属硅很高，就会因其氧化而产生更多的热量，因此可以在热量中加入更多的废品。热金属硅也会影响炉渣量，从而影响石灰的消耗和铁的产量。

热金属通常含碳饱和，其碳浓度取决于温度和其他溶质元素（如硅和锰）的浓度。热金属的碳含量随着温度和锰含量的增加而增加，而随着硅含量的增加而减少。

了解热金属倒入转炉时的温度和碳含量对转炉的工艺控制很重要。热金属的温度通常是在热金属装入转炉之前，在热金属装入钢包中进行测量。通常情况下，热金属的温度在1300摄氏度到1350摄氏度之间。

高温和低氧电位有利于脱硫。此外，热金属中其他溶质元素的存在，如碳和硅，会增加硫的活性，这反过来又会加强脱硫。因此，在BOF转炉中，低氧势和高碳、硅含量使得从热金属中而不是从钢中脱硫的条件更加有利。并非所有的热金属都能脱硫。用于制造含硫量严格的钢种的热金属在热金属脱硫厂进行脱硫，脱硫试剂可以将热金属的硫降低到0.001%，但更多的是在0.004 %到0.005%之间。重要的是，热金属脱硫后产生的炉渣要通过撇渣来有效去除。这种渣子含有大量的硫，任何带入转炉的渣子都会导致钢水中的硫含量增加，因为转炉的条件不利于脱硫。

在将热金属倒入BOF转炉之前，要用磅秤对其进行称量。准确知道热金属的重量是非常重要的，因为任何误差都会导致转炉中的化学、温度和热量大小问题。这个重量也是静电荷模型的一个重要输入。

废钢是焦炉转炉中仅次于热金属的第二大铁单位来源。废钢基本上是回收的铁或钢，要么是在钢铁厂内产生的（如CCM的作物、工厂废钢、从钢铁熔炼车间废料中回收的废钢，或维修废钢），要么是从外部购买的。

重要的是，各种类型的废品要以正确的数量装入废品箱，以满足废品混合的要求。对废品箱进行称重以了解废品箱中废品的确切数量。废钢混合和废钢重量是重要的参数；否则会对转炉中的加热性能产生不利影响。

一般来说，较轻的废料装在前面，而较重的废料装在废料箱的后端。这导致较轻的废钢在废钢箱倾斜时首先落入BOF转炉。较轻的废料最好先落在耐火衬上，然后才是较重的废料，以尽量减少其影响，从而减少对耐火衬的损坏。另外，由于重的废料比轻的废料更难熔化，所以最好是放在上面，这样它就最接近氧气喷射的区域，从而可以更快地熔化。太大而无法装入炉子的废品通过剪子、火焰切割或通过氧气喷枪切割成小块。薄而小的废品，如剪板机和冲床，用特殊的液压机压缩成包。通常情况下，较大、较重的废料比较轻、较小的废料更难融化。没有被熔化的废料会在过程控制中造成重大问题。它可能会导致高温或在转炉时漏掉化学成分。

在BOF转炉中的联合吹炼做法可以显著提高混合特性，从而改善大块废料的熔化。废钢中的某些元素，如铜、钼、锡和镍，会通过废钢装料进入转炉。这些元素不能被氧化，因此在吹制转炉热的过程中不能被去除。在吹氧过程中，这些元素均匀地溶解在液槽中。某些其他元素，如铝、硅和锆存在于废料中，在吹炼过程中可以被完全氧化，并融入到炉渣中。在反应倾向方面属于中间类别的元素，如磷、锰和铬，会在金属和炉渣之间分布。锌和铅大多在吹制BOF热量的过程中以蒸汽的形式被去除。钢铁熔炼厂通常使用其总金属装料的10％至35％作为废料，具体数量取决于当地条件和经济情况。 从技术上讲，BOF金属炉料中的废热金属比例取决于硅、碳和热金属的温度、燃烧后喷枪的使用等因素。

直接还原铁（DRI）在一些钢铁熔炼车间被用作冷却剂以及铁单位的来源。DRI通常含有大约89%到94%的总铁（大约88%到96%的金属化），0.1%到4%的碳，2.8%到6%的氧化铝和二氧化硅的混合物，3%到8%的氧化铁和少量的氧化钙和氧化镁。DRI可能含有0.005%到0.09%的磷，0.001%到0.03%的硫和低浓度的氮（通常低于20ppm）。

DRI通常以块状或块状形式进入BOF，其尺寸约为25毫米至30毫米。DRI块状物经过钝化处理，以消除任何自燃的倾向，从而可以在钢铁熔炼车间方便地处理它们。DRI通常通过料仓系统被送入转炉。

在一些钢铁熔炼车间，生铁也被用作铁单位的来源。生铁的熔化需要热量，一旦它被熔化，在转炉中就会表现为热金属。生铁通过废品箱与其他混合废品一起被装入转炉。

铁矿石通常以块状形式加入BOF转炉作为冷却剂，它经常被用作废钢替代品。铁矿石是有用的废钢替代品，因为它们含有较少的残留元素，如铜、锌、镍和钼。铁矿石的冷却效果比废钢高三倍左右。矿石中的氧化铁的还原是内热的，当铁矿石用于冷却时，需要更多的热金属和更少的废料。铁矿石要在吹炼初期装入，此时液态浴中的碳含量较高，以便有效地还原铁矿石中的氧化铁。矿石中的氧化铁的还原会产生大量的气体，因此会增加炉渣的发泡和倾斜的趋势。晚期加入的铁矿石会对铁的产量和终点渣的化学性质产生不利的影响。如果铁矿石只在转炉加热前作为冷却剂使用，那么炉渣就会变得高度氧化和流动，增加炉渣进入钢包的可能性。未还原的铁矿石的冷却反应的延迟导致温度突然下降或钢包反应剧烈，造成钢水过度氧化。

在BOF转炉中，可以使用适量的磨屑作为冷却剂。人们发现，磨屑在提高热金属与废钢的比率方面非常有效。然而，它在加工过程中会造成严重的滑动。在主吹过程中，磨屑和其他氧化铁的添加物被还原，释放出铁和氧气。这些额外的氧气可用于除碳，从而加速了整体反应。倾斜可能是由于使用更多的热金属（更多数量的硅和碳分别产生更多的SiO2和CO）而增加的熔渣量和增加的反应速率造成的。

在转炉炼钢过程中，煅烧石灰的消耗量取决于热金属硅、转炉炉料中热金属与废钢的比例、初始（热金属）和最终（钢目的）硫和磷含量。煅烧石灰是通过对石灰石进行煅烧而产生的。转炉炼钢所需的煅烧石灰的质量在另一篇文章中有所描述，。

由于大量的煅烧石灰在短时间内被注入转炉，因此仔细选择石灰的质量对于提高其在炉渣中的溶解度非常重要。一般来说，具有高孔隙率的小块石灰具有更高的反应性，并能促进炉渣的快速形成。煅烧石灰最常见的质量问题是未煅烧的内芯、水化、过量的细粉和太低的反应性。

煅烧白云石与煅烧石灰一起加入，使炉渣中的氧化镁达到饱和，并减少炉内耐火材料中的氧化镁溶解到炉渣中。通常，煅烧白云石含有大约36%到40%的氧化镁和54%到58%的氧化钙。煅烧白云石在转炉熔池中的加入量应使炉渣的氧化镁含量保持在饱和极限以上。炉渣的氧化镁水平高于饱和极限，使炉渣的腐蚀性降低，并减少/消除了炉渣对耐火材料的化学侵蚀。

在一些钢铁熔炼车间，原白云石被直接添加到转炉中。这可以作为冷却剂和氧化镁的来源，使炉渣饱和，但由于煅烧反应是在转炉中进行的，所以会有延迟效应。当原白云石被加热时，会发生内热煅烧反应，导致转炉内温度下降。

煅烧后的白云石也被添加到炉渣中，以便在溅渣之前对炉渣进行调节。控制煅烧白云石的化学成分和尺寸是很重要的。

在一些转炉车间，石灰石或生白云石经常被用作冷却剂而不是助熔剂。如果转炉温度高于规定的目标，石灰石通常被用来冷却熔池。当石灰石被加热时，会发生内热煅烧反应，产生氧化钙和二氧化碳，导致转炉中的温度下降。转炉前的温度下降程度取决于热量大小和炉渣的状况。例如，在150吨的加热规模中，1吨石灰石的加入会使熔池温度下降12摄氏度左右。

氟化钙或氟石（CaF2）是一种炉渣流化剂，可以降低炉渣的粘度。当添加到BOF中时，它通过溶解在石灰颗粒周围形成的硅酸二钙（2CaO.SiO2）层来促进石灰在炉渣中的快速溶解，从而延缓石灰在炉渣中的溶解。如今，氟石的使用非常少，因为它对所有类型的耐火材料都有很强的腐蚀性，包括BOF转炉和钢水包的腐蚀。此外，氟化物在废气收集系统中形成强酸，腐蚀结构部件，这也是不受欢迎的排放物。

二级原料

二级原料是脱氧剂和渗碳剂。这些通常是在从转炉中提取热量的过程中在钢水包中加入的。

脱氧是炼钢的最后阶段。在炼钢过程中，出钢时的钢水含有400至800ppm的活性氧。在出钢过程中，通过在钢包中加入适量的铁合金或其他特殊的脱氧剂来进行脱氧处理。

脱氧剂通常是大宗铁合金，如硅铁、硅锰和锰铁。它们在炼钢中被用于脱氧以及引入合金元素。它们是在钢中引入合金元素的最经济的方法。铁合金给钢带来了独特的品质。

添加铁合金也是为了控制晶粒大小，以及改善钢的机械性能。根据炼钢过程和所制造的钢的类型，对不同铁合金的要求有很大的不同。在钢中加入铁合金可以增加其抗腐蚀和氧化的能力，提高其淬透性、高温下的抗拉强度、添加碳后的耐磨性，并增加钢的其他理想性能，如蠕变强度等。铁合金是生产所有类型钢的重要投入。它们被用作生产合金钢和不锈钢的原材料。

如果在吹炼结束时，钢的碳含量低于规格，液体钢也要进行再渗碳。这是通过在钢包中控制添加渗碳剂来完成的。常见的渗碳剂是焦炭微风和石油焦。

然而，在钢包内的大量添加物对钢液的温度有不利影响。

实用气体

在转炉炼钢过程中，水冷喷枪被用来以非常高的速度将氧气注入液态槽，以生产钢。随着对生产质量更高的、杂质含量更低的钢的要求越来越高，需要提供纯度极高的氧气。因此，用于炼钢的氧气至少要有99.5%的纯度，最好是99.7%至99.8%的纯度。其余部分为0.005%至0.01%的氮气，其余为氩气。

在BOF转炉中，氧气以超音速（马赫数>1）喷射，在水冷喷枪的顶端有汇流/发散（拉瓦尔）喷嘴。强劲的气体射流穿透熔渣并撞击到液态金属表面，从而精炼钢材。今天，大多数转炉的枪头含有四到五个喷嘴，氧气流速在640N cum/min到900N cum/min之间。

氮气通常被用于BOF转炉的联合吹炼和溅渣。改善金属浴混合所需的氮气通过安装在底部的壶嘴或渗透性元件吹出。熔池的搅拌是在熔池中的高碳范围内用氮气进行的。底部的流速通常低于0.2N Cum/t分钟。在典型的实践中，氮气是在吹氧的前60％到80％的时候通过底部引入。在氧气流的第一部分，CO气体的快速演化可以防止氮气在钢中的吸收。

氮气还用于在从转炉中抽出热量后，将调理好的液态炉渣溅到转炉壁上，以便在耐火材料上形成一层保护性的炉渣涂层。

氩气通常被用于BOF转炉的联合吹气。改善金属浴混合所需的氩气通过安装在底部的壶嘴或渗透性元件吹出。熔池的搅拌是在熔池中的低碳范围内用氩气进行的。底部的流速通常低于0.2N Cum/t分钟。在典型的实践中，氩气是在吹氧的最后20％到40％时通过底部引入。

耐火材料和耐火材料

转炉炼钢需要三种类型的耐火材料。它们是基本砖，通常是氧化镁碳质耐火材料，氧化镁基炮灰用于耐火材料损坏部分的炮击，以及修补材料（通常是破碎的旧砖）用于修补转炉底部的侵蚀。

消耗品探针

转炉炼钢所需的消耗品是一次性探头，用于在吹炼结束后对钢水进行取样分析，以及在吹炼结束后测量热金属加料包中的热金属和转炉中的钢液温度。

冷却水

在BOF转炉的钢铁生产中，需要水来冷却吹氧枪和喷嘴，以及冷却废气。

为防止吹氧枪在转炉中烧毁，吹氧枪中需要冷却水。铜枪喷嘴和钢枪都是通过循环水冷却的，压力约为6公斤/平方厘米。喷枪的重要组成部分是水冷却通道，冷却水流经喷嘴的中心并通过喷枪的外管流出。它的设计是为了在喷嘴区域获得最大的冷却水速度，该区域暴露在最高温度下。 冷却水对于保持喷枪的高寿命至关重要。流速需要保持在设计速度上。冷却水出口温度不得超过60摄氏度至65摄氏度。

从转炉出来的富含CO的气体首先在转炉罩内通过冷却水或蒸发冷却系统（ECS）进行间接冷却，使其标称温度从1600-1700摄氏度降至900摄氏度左右。

在一些钢铁熔炼车间，转炉的顶锥是水冷的。炼钢厂转炉顶锥的两个部件可以从水冷中受益，作为保持其低工作温度的一种手段，它们是锥壳本身和锥体顶角的唇环。

水的质量是一个重要参数。如果水被氧化物或污垢污染，通常会在管道内形成沉积物，从而对传热产生不利影响。