**钢铁工业使用的燃料气体**

钢铁工业使用的燃料气体

燃料气体是一种在普通条件下以气体形式存在的燃料。其中一些气体含有碳氢化合物（如甲烷或丙烷）、氢气（H2）、一氧化碳（CO）或这些气体的混合物。这些气体是热能的来源，可以很轻松地通过管线从来源地直接传输和分配到应用处。燃料气体不同于液体燃料和固体燃料，尽管一些燃料气体可以被液化，以方便储存或运输。

燃料气体在钢铁厂有不同的应用领域领域领域领域领域领域领域领域领域，包括（1）热源（2）作为还原剂，（3）发电，以及（4）切割和焊接应用。钢铁厂通常使用的燃料气体包括（i）天然气（NG），（ii）液化石油气（LPG），（iii）副产品气体，如高炉（BF）气体、焦炉气体（COG）和转炉气体，以及（iv）乙炔。图1显示了燃料气体的类型和它们在钢铁厂的应用。

图1 燃料气体的类型及其在钢铁厂的应用

天然气

天然气是一种环保的不可再生的气态化石燃料，从地球上的矿藏中提取。它是一种清洁的燃料，具有很高的效率。它通过管道网络被运输到很远的地方（可达5000公里）。它通常以（i）管道天然气（PNG），（ii）压缩天然气（CNG）和（iii）液化天然气（LNG）的形式供应给消费者。

通过管道供应给消费者的天然气是PNG。消费者端的管道压力通常低于16个大气压。压缩天然气是天然气的一种形式，经过压缩（200个大气压至250个大气压）后进入容器。LNG是通过将天然气冷却到零下162摄氏度的温度制成的。在这个温度下，NG成为液体，其体积减少600倍。

天然气是一种主要由甲烷（CH4）组成的碳氢化合物混合物，通常体积百分比超过85%。NG中的其他碳氢化合物包括不同数量的各种高级烷烃，如乙烷、丙烷和丁烷等。它还含有不同饱和度的水蒸气（H2O），或冷凝水。它还可能包含一些小比例的氮气（N2）、二氧化碳（CO2）、硫化氢（H2S）和氦气（He）等。

天然气是一种无臭、无色、无味、无毒的气体。它比空气轻，与必要数量的空气混合并点燃后，会产生清洁的蓝色火焰。它被认为是最清洁的燃烧燃料之一。燃烧时，它主要产生热量、二氧化碳和水。

天然气的数量以正常立方米（相当于0摄氏度和1个大气压）或标准立方英尺（相当于16摄氏度和14.73磅/平方英寸绝对压力）来衡量。一立方米（Cum）天然气的较高热值约为9,500千卡至10,000千卡不等。其密度约为0.85公斤/立方米。

在钢铁工业生产中，天然气的主要用途是炼铁，它被用作还原剂。在以气体为基础的直接还原铁（DRI）生产过程中使用NG，需要将NG转化为可用的还原气体，其H2和CO含量较高。全球90％以上的DRI设备使用天然气。对于DRI的生产，它被重整以产生还原性气体，然后用于铁矿石的还原。主要的重整反应是（i）2CH4 + O2 = 2CO + 4 H2，（ii）CH4 + H2O = CO + 3 H2，以及（iii）CO2 + H2 = CO + H2O。

NG作为一种辅助燃料被注入BF的壶嘴中。它是与富含O2的热鼓风一起注入的。注入NG作为辅助燃料的目的是为了减少焦炭的具体消耗。在高炉中注入NG气体实现的焦炭替代率在1.3到1.4之间。注入BF的NG为炉子提供由H2和CO组成的还原性气体，这些气体在炉轴上移动并参与铁氧化物的还原反应。

液化石油气

液化石油气是从原油中提取的。LPG的主要成分是含有3或4个碳原子的碳氢化合物。LPG的正常成分是丙烷（C3H8）和丁烷（C4H10）。LPG中也可能存在小比例的其他碳氢化合物。

LPG在大气压力和环境温度下是一种气体，但当施加适度压力或充分降低温度时，它可以被液化。它可以很轻松地被冷凝、包装、储存和利用，这使它成为广泛应用的理想能源。通常情况下，液化石油气在压力下以液体形式储存在钢制容器、钢瓶或油箱中。

LPG是一种无色、无味、无毒的气体。它是高度易燃的。液化石油气的蒸汽比空气重，因此任何泄漏都会下沉到地面，积聚在低洼地区，难以消散。LPG在温度上升时迅速膨胀。

LPG是一种无色的液体，很轻松蒸发成无色无味的气体。通常情况下，恶臭的乙硫醇被添加到液化石油气中作为臭味剂，这样就可以很轻松地发现泄漏。在泄漏过程中，液体的汽化会冷却大气，并使其中的水蒸气凝结，形成白色的雾气，这样就可以看到液化石油气的泄漏。

在与空气混合的情况下，气体遇到点火源会燃烧或爆炸。它比空气重，所以它倾向于向地面下沉。LPG可以沿着地面流淌很远，并可以在排水沟、水沟和地窖中聚集。

液态的LPG在15摄氏度时的比重为0.51至0.58（水=1）。气态的LPG的比重是1.52至2.01（空气=1）。液化石油气的沸点在-42摄氏度到0摄氏度之间。在15摄氏度和1公斤/平方厘米压力下，液化石油气的物理状态是气体。

液化石油气的热值（CV）约为11,000千卡/千克或约22,500千卡/立方厘米。由于其沸点低于室温，LPG在正常温度和压力下会迅速蒸发。汽化的气体和液化的气体的体积之比因成分、压力和温度的不同而不同，但通常是250：1左右。在20摄氏度时，LPG在水中的溶解度小于200ppm（百万分之一）。LPG可溶于酒精等有机溶剂。

摄氏40度时，液化石油气的蒸汽压力为5.3公斤/平方厘米至15.6公斤/平方厘米。LPG存储容器内的压力等于存储容器内LPG温度所对应的蒸汽压力。蒸汽压力取决于温度以及碳氢化合物的混合比例。在满液状态下，任何液体的进一步膨胀，储存容器的压力都会上升，每摄氏度上升约14至15公斤/平方厘米，这清楚地解释了由于过度填充储存容器而可能出现的危险情况。

LPG的闪点为-104.4摄氏度。丙烷的自燃温度为46.1摄氏度，丁烷的自燃温度为405摄氏度，因此LPG在正常温度下不会自行点燃。LPG是高度易燃物，其爆炸下限（LEL）为1.9 %，爆炸上限（UEL）为9.5 %。这一爆炸范围比其他常见的气体燃料要窄得多。这表明在泄漏或溢出的情况下，液化石油气蒸汽在低洼地区的积累存在危险。它对静电具有爆炸敏感性。

在钢铁厂，LPG被用作燃料，或通过与CV值较低的BF气体混合，用于钢铁和其他金属的气体切割，以及连铸机的气割炬中。它被储存在压力容器中。这些容器是球形或圆柱形的水平容器（图2）。LPG容器有压力释放阀，这样当受到外部加热源的影响时，它们会将LPG排放到大气中。

图2 液化石油气的储存罐

副产品气体

在综合钢铁厂的钢铁生产过程中，会产生三种副产品气体，它们被归类为燃料气体，因为它们具有相当的热值。这些气体是（i）高炉（BF）气体，（ii）焦炉（CO）气体，以及（iii）转炉气体。

高炉煤气 - 高炉煤气是在高炉中生产热金属（液态铁）时产生的气态副产品。 它的密度很高，在0摄氏度的温度和1个大气压下，密度约为1.25公斤/立方米。这一密度在所有气态燃料中是最高的。由于其密度高于空气的密度，在发生泄漏的情况下，它会沉淀在底部。

碱性气体的四个主要成分是N2、CO、CO2和H2。这些成分在BF气体中的百分比通常为：N2-40%至60%，CO-20%至28%，CO2-17%至25%，和H2-1%至7%。CH4也可以存在于BF气体中，最高为0.2 %。碱性气体还可能含有一些氢氰酸（HCN）和氰化物（CN2），这些气体是由于热风中的N2和焦炭中的碳反应而形成的。该反应是由碱氧化物催化的。这些气体是高度有毒的。由于注入BF的燃料类型和数量不同，气体中的H2含量也不同。

在BF顶部的BF气体中，按体积计算，CO和CO2的总量约占气体总量的40％至45％。CO/CO2的比例可以从1.25:1到2.5:1不等。气体中高比例的CO使BF气体变得危险。BF气体的CV值各不相同，但通常较低，在650千卡/N cum到900千卡/N cum之间，并取决于气体中的CO含量。因此，在使用前，BF气体经常被COG或NG所富集。

BF气体的主要特点是：（i）它几乎是一种无色的气体（微白），通常没有气味，但有时会有轻微的硫磺气味；（ii）低CV值；（iii）理论火焰温度低，约为1455摄氏度；（iv）火焰传播率低，通常低于任何其他普通气体燃料；（v）它燃烧时不发光。(vi) 自燃点约为630摄氏度，(vii)在正常温度和压力下的空气混合气体中，LEL为27%，UEL为75%，(viii)易燃，可与空气形成爆炸性混合物，容易被静电点燃，以及(ix)在正常储存和处理条件下具有稳定的化学稳定性。

在钢铁厂，BF气体通常与CO气体或转炉气体或两者混合使用。混合后的气体在钢铁厂的各种炉子中用作燃料。无需混合和预热的BF气体可用于BF炉、烧结厂、浸泡池、正火炉和退火炉、铸造厂核心炉、吹气用燃气发动机、发电用锅炉、发电用燃气涡轮机。

焦炉气 - COG是在副产品焦炉电池中的焦煤碳化过程中产生的。从电池中出来的原始COG在副产品设备中被净化，其中包括焦油、氨和苯甲醇等，以生产清洁的COG。清洁COG的主要成分是H2（42%至65%）、CH4（17%至34%）、CO（4.6%至7.5%）和烃类（CmHn）。它还含有惰性气体，如N2（1.2 %至18 %）和CO2（0.2 %至3.2 %）。气体中还存在少量的氧气（O2）。

清洁COG是一种无色气体，具有硫化氢和碳氢化合物的气味。它的LEL值为4.4 %，UEL值为34 %。其蒸汽密度为0.36（空气=1）。 在标准温度和压力下，COG的密度在0.45公斤/体积到0.50公斤/体积之间。COG的CV值在4,000 kcal/N cum到4,600 kcal/N cum之间。

COG的理论火焰温度为1,982摄氏度，它的火焰传播速度使其实际火焰温度接近其理论火焰温度。当暴露在高浓度下时，COG作为一种简单的窒息剂发挥作用。它替换了氧气，并通过表现出缺氧的症状而导致快速窒息。

清洁的COG通常用于焦炉电池加热、其他炉子的加热和发电。它可以这样使用，也可以与BF气和/或转炉气混合，然后作为燃料在炉子里使用。在一些钢铁厂，已经成功地尝试了将COG注入到BF中。COG也被用于生产DRI，它可以替代NG。

转炉气 - 在碱性氧气炉（BOF）的炼钢过程中，在950摄氏度左右的温度下，会产生大量富含CO的气体，这种气体混合物被称为转炉气或BOF气。转炉气体也被称为LD气体。

转炉煤气的主要成分是CO、CO2、O2和N2。 从成分上看，它与BF气体相似，但其中的N2比例较低。转炉气体的成分是：CO在58%至70%之间，CO2在15%至20%之间，N2在12%至20%之间，H2在0.9%至1%之间，O2在0.1%至0.3%之间。转炉气体的密度为0.865公斤/立方米。

在转炉炼钢过程中，每吨粗钢产生的转炉煤气约为75至95升。转炉煤气的CV值在1,600千卡/Num到2,400千卡/Num的范围内变化。它是空气比例的函数。空气比例越低，CV越高，因为气体中的N2比例降低。较低的空气比例也意味着气体的具体产量较低。

转换器气体具有高度的毒性和爆炸性，在回收时需要高度严格的操作。它不能通过气味检测出来。它很轻松与空气形成爆炸性混合物，容易被静电点燃。它是一种化学窒息剂。它能置换出氧气，并通过表现出缺氧的症状而导致快速窒息。

转换器气体通常以不同比例与BF气体混合，混合气体在各种炉子中用于加热。

乙炔

乙炔是化学式为C2H2的化合物。它是一种不饱和的碳氢化合物，也是最简单的炔烃。一个乙炔分子由两个碳原子和两个H2原子组成。这两个碳原子通过所谓的三碳键结合在一起。这种键很有用，因为它储存了大量的能量，在燃烧时可以作为热量释放。然而，三碳键是不稳定的，使乙炔气体对超压、超温、静电或机械冲击等情况非常敏感。

乙炔是一种易燃、无色、无味的气体。其摩尔质量为26.04克/摩尔。它在纯的形式下是不稳定的，因此通常被当作溶液处理。纯净的乙炔是无味的，但由于杂质的存在，商业等级的乙炔通常有明显的大蒜味。在大气压下，乙炔不能作为液体存在，也没有熔点。乙炔气体的总热值和净热值分别为11,932千卡/千克（13,980千卡/年累计）和11,514千卡/千克（13,490千卡/年累计）。

在1个大气压和15摄氏度的条件下，乙炔的密度为1.11公斤/升，比重为0.91（空气=1）。 它比空气轻，所以不会在低水平上积累，而在低水平上会造成潜在的危险。气体的沸点为零下84.7摄氏度，熔点为零下80.75摄氏度。常压下空气中的绝热火焰温度（AFT）为2,534摄氏度。上限可以达到100％。它在水中的溶解度为1.2克/升。

根据化学反应CaC2 + 2H2O = Ca(OH)2 + C2H2，乙炔是由电石的水解产生的。如今，乙炔主要由CH4的部分燃烧产生，或在碳氢化合物的裂解过程中作为乙烯流的副产品出现。

由于乙炔的性质不稳定，需要在特殊条件下储存。这是通过将乙炔溶解在液体丙酮中来实现的。然后，液态丙酮被储存在乙炔瓶中，而乙炔瓶又被填充了多孔（类似海绵）的水泥材料。

乙炔用于钢铁厂的氧乙炔气体切割和焊接，也用于连铸机的火焰切割机。它有时也用于钢的渗碳、火焰加热、火焰刨削、火焰硬化、火焰清洗、火焰矫直、热喷涂、点加热、钎焊、纹理和型材切割以及碳涂层。