

化工研究的新方向——等离子体化工

今天化工过程的最显著的特点就是向高温、高速反应、高流速的方向发展。涉及的温度范围约为 $1000\text{--}15000\text{K}$ ，反应时间从 10^{-4} 秒到 10^{-2} 秒，压力从几分之一毫米汞柱到几十个大气压。把低温等离子体发生器和化学反应器结合起来就能达到上述要求。这是化工研究的新方向，通常称为等离子体化工。

低温等离子体在化学反应中的作用有三：

1. 供给一个能量集中温度高的反应环境；
2. 供给一个正负离子源作为中间反应过程的介质；
3. 供给一个高强度辐射光源以引起某些光化学反应。

所需的低温等离子体可以用直流或二频交流电弧来产生，也可以用高频或超高频来产生，近年来也有用激光来产生的。

对于不同的化学反应，对等离子体发生器的要求也不同，产生等离子体的方法也不同。对于特定的化学反应，等离子体发生器最重要的一些参数是：压力、温度、反应物的滞^留时间，等离子体和反应物的混合速率，生成物的“冻凝”速度。

当反应物和等离子体混合时产生高温高速化学反应（对应于等离子体的温度，一般的阿雷尼烏斯（Arrhenius）形式反应率已不适用），在高温下生成平衡产物，然后经过高速冷却，把在高温下生成的成分“冻凝”在低温状态下。这样就可以看出，反应区的温度和压力应选

择在所需最后产物的成分比例是最大的地方。例如对于反应 $2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$ ，反应区的温度和压力应选择在 3500°K 和大气压左右。

从上可知，等离子体化工所涉及的基本部件有三：

1. 等离子体发生器；
2. 反应器；
3. 骤冷器。

化工用等离子体发生器和常用的作为空间再入大气层模拟设备的电弧加热器有下列重大的不同：

1. 它的介质一般不是空气，而是和化工反应过程有关的气体。常用的有 H_2 ， O_2 ， Ar 等。

2. 它必须有相当长的工作寿命，特别是电极的寿命最好连续工作几个星期以上。

3. 它必须有较高的热效率，电弧产生的热必须充分利用以提高整个设备的经济效能。这意味着用强外部冷却是不合适的，最好用再生冷却和余热利用。

到目前为止，输入功率为 100 瓦以上的满足上列要求的等离子体发生器，在技术上还远不成熟。

反应温度高达等离子体温度 ($1000-15000^\circ\text{K}$) 的化学反应动力学数据是极不充分的，电子和离子以自由基的形式参加到中间反应过程中去，使问题更加复杂。积累和分析这方面的数据，是使等离子体化工过程走向科学化和系统化的必不可少的工作。

对骤冷器的要求是能以尽快的速度把反应产物冷却“冻凝”下来而又不显著增加工艺过程的复杂性。对等离子体化工来说,这也是一个没有解决的问题。热交换器(表面对流传热)的冷却速度是远远不够的,因为它的冷却速度仅约 $1^{\circ}\text{K}/\text{微秒}$ 左右,这样在冷却过程中便有相当数量的成分又复合了。如果反应区的压力较高(20—30大气压),那么用超音速喷管膨胀加透平做功,就可以将冷却速度提高到 $100^{\circ}\text{K}/\text{微秒}$ 。但是这仅适用于对压力变化不敏感的那种反应的情况。直接向反应产物喷入水或液氮等介质,也能得到很高的冷却速度($100^{\circ}\text{K}/\text{微秒}$),但由于产物被大大稀释,分离产物的复杂性就增加了。

目前已真正在工业上使用着的等离子体化工过程是美国杜邦公司的把碳氢燃料(主要是甲烷)裂解为乙炔。这种方法比用电石产生乙炔经济而省电,特别由于节省了电石生产所需的焦炭,向钢铁工业的原料需要作了让步而很受重视。据我们不完全的了解,国内开展这方面工作的有天津化工厂、上海吴淞化工厂、上海化工研究院等单位。

对其他许多等离子体化工过程也进行过研究,例如从空气中合成一氧化氮作为制造硝酸的原料,从四氯化钛或二氧化钛还原钛,在氧气中放电以生产臭氧,某些惰性气体在等离子体温度下也生成了化合物如氙和氟生成六氟化氙,等等。这些方面的研究工作十分活跃,其目的是希望能找到一些比现有生产方法更经济有效的等离子体化工生产过程;能在高温下完成一些常规方法无法完成的化学反应。

从上可知, 等离子体化工涉及的基础科学和工程技术是多方面的, 至少有等离子体动力学, 电磁流体力学, 等离子体产生技术, 高温化学动力学, 非平衡化学流体力学, 传热学与传质学, 冷却技术, 高温材料等。

参 考 文 献

1. F.B. Vurzel and L.S. Polak, Plasma Chemical Technology -- The Future of the Chemical Industry, Industrial and Engineering Chemistry, Vol.62, No.6, June 1970, p.8.
2. V.J. Ibberson and M.W. Thring, Plasma Chemical and Process Engineering; Industrial and Engineering Chemistry, Vol.61, No.11, P.48, Nov.1969
3. B.Gross, E.Grycz and K.Miklóssy, Plasma Technology, 1968
(捷克版)
4. F.A.Bukhman, G.V. Guliaev and S.L.Polak, Reactions in Low-Temperature Plasma, 1965, Nauka Moscow
5. E.F. Baddour and R.S. Timmsias, The Application of Plasmas to Chemical Processing, MIT, 1967