

华东地区机械工业  
第一次热处理经验交流会  
资料选编

华东地区机械工业热处理技术协作组

山东省机械工业局科技情报站印

一九七八年

## 目 录

- ✓滴注式可控气氛渗碳.....上海市机械制造工艺研究所(1)
- ✓汽车齿轮离子碳氮共渗工艺探讨.....江西汽车齿轮箱厂(17)
- 谈渗硼模具用钢的选择及其热处理.....山东工学院(32)
- 低碳马氏体在拖拉机轴类件的应用试验.....常州拖拉机厂(42)
- 钢结硬质合金的成分、热处理与机械性能.....合肥工业大学(57)
- ✓三乙醇胺气体碳氮共渗.....上海电机公司机修厂(68)
- 聚醚淬火介质在模具上的应用.....南京开关厂、南京航空学院(78)
- 提高黄河牌 JN150型汽车后桥螺旋伞齿轮使用寿命的途径.....济南汽车制造厂(90)
- 滴注式保护气体热处理.....宁波动力机厂(100)
- 球状尿素气体软氮化设备及其管道堵塞的分析.....福建省三明市标准件厂(111)  
福州大学
- 功率可调单回路超音频感应加热设备介绍.....福建省机械研究所(116)
- 程控双频感应加热装置.....江西井冈山地区柴油机厂(119)
- 100KW三相四极侧埋式阶梯形炉膛电极盐浴炉.....合肥汽车配件厂(131)
- 高温盐炉用“阴极保护法”测温.....福建龙岩风动工具厂(143)

# 滴注式可控气氛渗碳

上海市机械制造工艺研究所

## 前 言

准确地控制渗碳件的表面含碳量,是渗碳过程中一个十分重要的环节。随着产品质量要求的不断提高,这个问题的重要性也就越来越为明显了。实验表明,在一定的工作条件下,不同的渗碳钢往往对应着不同的表面最佳碳浓度。即使是同样的渗碳钢,由于工作条件的不同,其最佳表面碳浓度也是不一样的。如能根据钢种及其所制零件的工作状态,准确地把表面碳浓度控制在最佳范围之内,对充分发挥渗碳钢的潜力、延长渗碳件的使用寿命,具有重大的作用。

大家知道,渗碳件表面碳浓度的控制,是通过控制炉气的碳势来实现的。但是,历史悠久的渗碳工艺,长期以来却没有能达到碳势控制的要求,致使渗碳质量很不稳定,不是渗碳不足,就是渗碳过剩。为了消除这些缺陷,常常需要增加很多辅助工序,如采用正火或双重淬火来消除网状碳化物;采用长时间的高温回火或冰冷处理来消除过多的残留奥氏体。这样处理的结果,无疑将提高加工成本,降低产品质量(如变形和氧化等)。纵然如此,仍不免造成大量的废品。

第二次世界大战以后,在国际上出现了吸热式可控气氛的渗碳方法。由此实现了碳势控制,在多方面的应用中,取得了良好的效果,使渗碳工艺的发展大大地向前跨进了一步。此法在我国的一些工厂里,已得到了程度不等的应用。但是,这种方法所使用的吸热式气体是通过专门的发生器来制备的,而发生器的制造成本比较高,发生器和工作炉所需要的原料气也不是能容易得到的。所以,这种方法的使用和推广受到了一定的限制。

广泛采用的井式炉气体渗碳,具有设备简易,操作方便等优点。由于原来滴剂的选择和使用不够妥当,同时又缺乏必要的测试手段,炉气碳势一直不能控制。后来,随着各种科学的发展,为其发展创造了条件,在六十年代里终于实现了井式炉气体渗碳的碳势控制。因为它不仅具有发生器法碳势的可控性,而且还具有井式炉渗碳的经济性,兼备了两者的优点,克服了两者的缺点,尤其适合于中小企业及偏远地区,所以此法一问世便引起了极大的注意。我国有不少单位,对此进行了实验研究,获得了十分可喜的成就。最近几年,随着我国仪表工业的迅速发展,为实现井式炉气体渗碳的碳势控制提供了宝贵的物质条件。为此,我所对井式炉的碳势控制也开展了实验工作。我们采用了上海第二分析仪器厂的HQQ—71型红外线CO<sub>2</sub>分析仪,对炉气进行连续测量和自动调节。与此同时,又采用了上海分析仪器厂的102—G气相色谱分析仪,对炉气进行全分析,

借以全面了解炉气的生成和变化规律。经过一年来的实验探索,取得了一定的进展,其精确性和再现性均取得了令人满意的效果,并已在生产中应用。实验工作目前仍在深入进行之中,本文仅是对前一阶段工作的简略回顾。由于很多工作尚未着手进行,对实验中所涉及的许多基础理论也深感贫乏,故错误与不当之处在所难免,希望同志们给以批评指正,以便加快实验工作进展。

在实验过程中,上海第二分析仪器厂红外组的同志们曾给予及时有效的帮助,谨表示衷心的感谢。

## 一、滴注式可控气氛的制备及碳势控制原理

### (一) 滴注式可控气氛的制备

本方法不同于原来井式炉气体渗碳的一个显著特点,是同时向炉内滴注两种不同的有机液体,通过在高温之下的直接分解而获得所需要的渗碳气氛。

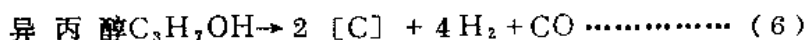
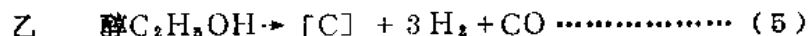
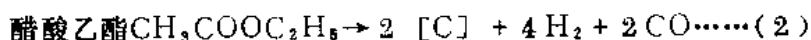
其中一种有机液体在渗碳温度下,分解成一般渗碳作用十分微弱的稀释气氛(又叫运载气氛)。其作用是在渗碳初期排除炉内的空气,在渗碳阶段维持炉内正压力,并构成基本恒定的炉气成分。这种液体一般选用甲醇。甲醇属于简单的酯肪族,其碳氧之比( $C/O$ )等于1。在高温之下,甲醇将以下式进行分解:



分解的气氛几乎由1/3的CO和2/3的 $H_2$ 所组成。除此之外,尚有少量的 $CO_2$ 、 $H_2O$ 和 $CH_4$ 。

甲醇在800℃时就能充分的分解。但为了防止工件的氧化,在650℃时就可以向炉内滴注。甲醇的碳当量(所谓碳当量,就是形成1克原子碳——12克碳所需要的液体重量)非常之大。据有关文献介绍,在950℃时要想获得0.6%的碳势,甲醇的耗用量高达744.45克,故通常不用甲醇作为形成渗碳气氛的液体,而只用它来形成稀释气氛。

另外一种液体在高温之下能够形成渗碳气氛。当炉温不变时,气氛碳势的高低主要取决于这种液体滴量的大小,碳势的自动控制主要就是通过自动控制这种液体的滴量而实现。这种液体最好选用分子结构简单、在高温下受碳氢化合物含氧衍生物的作用而极易分解的有机化合物,它们在裂化之后过剩的碳不多,因而没有产生炭黑或焦油的危险。这种化合物有醇、酮、酯、醚,其碳氧之比大于1。在渗碳温度下,它们理想的渗碳反应分别如下:



分解气氛的组成中,主要是CO和 $H_2$ ,另有少量的 $CO_2$ 、 $H_2O$ 和 $CH_4$ 。在900℃碳势为1%时的气体成分如表1所示。

表 1

900℃ 碳势为 1% 时的气体成分

| 滴 注 剂                                                                                         | 气 体 成 分 (%)     |                  |                 |       |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|----------------|
|                                                                                               | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | CH <sub>4</sub> | CO    | H <sub>2</sub> |
| CH <sub>3</sub> OH (甲醇)                                                                       | 0.35            | 0.96             | 0.68            | 32.35 | 65.66          |
| CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (醋酸乙酯)                                       | 0.35            | 0.96             | 0.68            | 32.35 | 65.66          |
| CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub> + CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub><br>(醋酸甲酯 + 丙酮 = 1 : 1) | 0.35            | 0.96             | 0.68            | 32.35 | 65.66          |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (异丙醇)                                                        | 0.13            | 0.695            | 1.025           | 19.42 | 78.73          |

以上所得气氛的组成系以 CO 和 H<sub>2</sub> 为主, 属吸热式气氛。本方法所使用的渗碳气氛, 基本上就是这种吸热式气氛。

其中, CO 和 H<sub>2</sub> 属还原性气氛; CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 属氧化脱碳性气氛; CO 和 CH<sub>4</sub> 属渗碳性气氛; H<sub>2</sub> 虽属还原性气氛, 但在高温之下却有脱碳作用。因此, 能否达到光洁渗碳之目的主要取决于气相中的 CO<sub>2</sub>/CO 和 H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub> 之比值。在正常的气氛中, 这个比值是很小的, 这从表 1 可以看出。所以采用上述气氛是可以进行光洁渗碳的。

气氛在炉内进行着一系列错综复杂的反应。它们和炉壁及钢铁工件之间, 存在着氧化——还原和渗碳——脱碳反应; 炉气彼此之间也要互相反应, 而其中代表着炉气之间互相依存互相制约的反应, 便是煤水气反应:



## (二) 碳势控制原理

渗碳入钢中有两种可能。其一是甲烷 CH<sub>4</sub> 的直接分解:



其二是 Boudouard 反应, 即 CO 的分解:



从方程式 (8) 和 (9) 可以看出: 当以甲烷 CH<sub>4</sub> 直接分解进行渗碳时, 则碳势与  $\frac{\text{CH}_4}{(\text{H}_2)^2}$  成正比; 当以 CO 分解进行渗碳时, 则碳势与  $\frac{(\text{CO})^2}{\text{CO}_2}$  成正比。鉴于气氛中的 CO 和 H<sub>2</sub>

是大量存在的, 而且在很大的碳势范围内又可以看成是基本恒定不变的, 因此, 炉气碳势主要受 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 含量的影响。当提高 CH<sub>4</sub> 或减少 CO<sub>2</sub> 的含量时, 即能使碳势增高, 反之则碳势降低。

甲烷 CH<sub>4</sub> 是一种强烈的渗碳气氛, 在高温时它首先与 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 进行如下的反应:



反应之后如仍有过剩的 CH<sub>4</sub>, 将以方程式 (8) 进行分解, 直接提供活性碳素, 在一定的时间和限度以内 (如渗碳初期), 这类活性碳素将被未饱和的奥氏体所吸收, 这对迅速提

高炉气碳势加快渗碳速度，并无害处。但随着炉气碳势的升高和渗碳钢表面对碳吸收能力的减弱，过剩的甲烷分解则会形成炭黑或焦油，从而对渗碳引起抑制作用。因此，在渗碳过程中必须通过控制渗碳剂的用量而对甲烷的含量严加控制，使其含量在1.5%以下。从表1的气体成分可以看出，本方法所使用的渗碳气氛是符合这个要求的。而当甲烷含量不超过1.5%时，碳的渗入则主要是以CO的分解来进行的，于是，炉气的碳势就主要取决于CO<sub>2</sub>的含量，只要控制CO<sub>2</sub>的含量，便可达到控制碳势之目的。本实验就是用红外线CO<sub>2</sub>分析仪，通过对炉气中CO<sub>2</sub>含量的控制而实现碳势控制的。

另外，由于炉气中存在着互相制约的水煤气反应，故当CO和H<sub>2</sub>的含量恒定不变时，CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O便有一线性的关系，控制炉气中的H<sub>2</sub>O含量，也同样可以控制碳势。这就是采用露点仪的理论根据。

综上所述，只有当炉气中的CO和H<sub>2</sub>含量基本上恒定不变，而甲烷CH<sub>4</sub>的含量又不超过1.5%的时候，才可以通过控制炉气中的CO<sub>2</sub>（或H<sub>2</sub>O）含量对气氛碳势进行准确的一元化的控制。否则，CO<sub>2</sub>含量与炉气碳势便没有固定的对应关系。这是非常重要的环节。所谓炉气是否稳定，主要是指此而言。满足这个条件是靠正确地选择渗碳剂，并严格控制其供给量来实现的。因此，当以甲醇为稀释剂的时候，在选择渗碳剂时还必须考虑这样一个问题：渗碳剂分解后的气体成分应该与甲醇分解后的气体成分基本相同，这样才能保证炉气成分的稳定，这是实现一元化控制的基础。图1介绍几种有机液体经理想渗碳反应之后的气体成分。从图1和表1中可以看到，醋酸乙酯分解后的气体成分与甲醇分解后的气体成分完全一样，甲醇与醋酸乙酯在任何比例之下，均能保证炉气成分

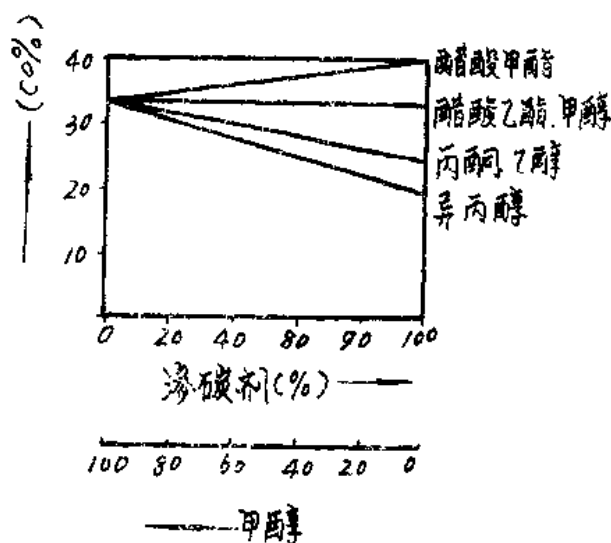


图1 不同渗碳剂与甲醇混合物对炉气中CO含量的影响

稳定不变，故醋酸乙酯应该是最理想的渗碳剂，而丙酮、乙醇等应略为逊色。但实验表明，丙酮反而比醋酸乙酯要好，在下面将对此进行分析讨论。

我们用醋酸乙酯和丙酮为渗碳剂分别进行实验之后，又以煤油为渗碳剂进行了实验。照以往的观点来看，用煤油似乎不能满足本方法的要求，因为单独使用煤油时，其分解后的甲烷含量很高。但与甲醇联合使用时，并非如此。实验证明，当以甲醇为稀释剂、煤油为渗碳剂时，也是可以进行碳势控制的。在碳势自控阶段时，用电磁阀对煤油的供给实行脉冲式自

控的情况下，我们对炉气成分进行了全分析，结果如表2所示。

从表2可以看出，炉气中CO和H<sub>2</sub>的含量是相当稳定的，误差波动在±1.2%以内，甲烷CH<sub>4</sub>的含量基本上在1%以下，即使在脉冲供给煤油的时刻仍不超过1.5%。因此，用甲醇+煤油进行渗碳时，碳势控制也是完全可以的。本方法在自控阶段时，煤油

表2

炉 气 成 分 实 测 值

| 炉 气 成 分 (%)     |                |                |                 |       |                | 备 注   |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|----------------|-------|
| CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CO    | H <sub>2</sub> |       |
| 0.70            | 0              | 2.10           | 0.35            | 33.90 | 63.95          | 停供煤油时 |
|                 | 0              | 2.45           | 0.64            | 33.40 | 63.21          | 供应煤油时 |
| 0.35            | 0              | 2.17           | 0.64            | 31.10 | 65.74          | 停供煤油时 |
|                 | 0              | 2.06           | 1.12            | 31.00 | 65.47          | 供应煤油时 |
| 0.40            | 0              | 2.69           | 0.64            | 32.40 | 63.87          |       |
| 0.45            | 0              | 2.79           | 0.56            | 32.90 | 63.30          |       |
| 0.50            | 0              | 1.99           | 0.45            | 33.40 | 63.66          |       |

注：CO<sub>2</sub>是用红外仪测定的；其他用色谱分析仪测定。N<sub>2</sub>数据偏高，可能是取气针筒略有漏气所致。

的需要量仅为甲醇的1/6或更少，而单位容积的产气量煤油却几乎只相当于甲醇的一半，即在自控阶段煤油的产量为甲醇的1/12或更少。于是，煤油滴入之后分解出的气体对甲醇分解气体的干扰不大，这就是炉气成分之所以稳定的原因。煤油价格便宜、来源丰富，故用于本方法的意义也就更大。

## 二、实验炉的改装及碳势自动控制系统

### (一) 实验的改装

实验是在75瓩的井式气体渗碳炉上进行的。鉴于本方法的一些特殊要求，必须对原来的炉子进行适当的改装，方能保证工作的正常开展。改装的部分主要有以下几点：

#### 1. 风扇轴的密封

如前所述，炉气成分的稳定是实行碳势控制的基础，而炉膛密封不良，对炉气的稳定极为不利。原来井式炉的风扇轴处漏气现象非常严重，成了整个炉膛密封的关键问题。不仅过多的耗费滴剂，而且也影响气氛的精确控制。为此，我们把它改成了活塞环加水冷套的方式（见图2）。这种改法比较简便，原来的风扇架和风扇轴均可继续留用。经一年来的使用证明，运行平稳，密封良好，保证了工作的顺利进行。

#### 2. 滴液阀

原来电炉上配套的滴液阀只有一头，这对只用一种滴剂的气体渗碳尚能满足需要。而本实验需要同时滴注两种液体，原配阀门不够用了。所以，我们重新制造了一只三头滴阀（见图3），滴量100滴 $\approx$ 4毫升。阀杆螺距为0.75毫米的细牙，阀杆锥度为10°的尖针，这对保证滴量的精确和稳定，效果很好。考虑到某些渗碳剂（如醋酸乙酯）有腐

蚀性，故阀体材料均为不锈钢。

### 3. 滴注管

滴注管由内外两部分组成（见图4）。炉外部分上接滴液阀，外设水冷套，以防滴剂在中途雾化，保证正常滴注。

炉内部分是滴剂的导向管。原来的导向管只到风扇附近，滴注方向恰与风扇鼓出的废气相遇，对炉压的敏感性很大，造成滴量不稳定。我们把它加长到风扇挡板以下，使滴注方向顺应炉气循环的方向，保证了稳定的滴注，克服了对炉压的敏感性。

### 4. 取气管

取气管的位置对气氛测定的真实性影响很大。合理的取气位置应该在工件的附近。

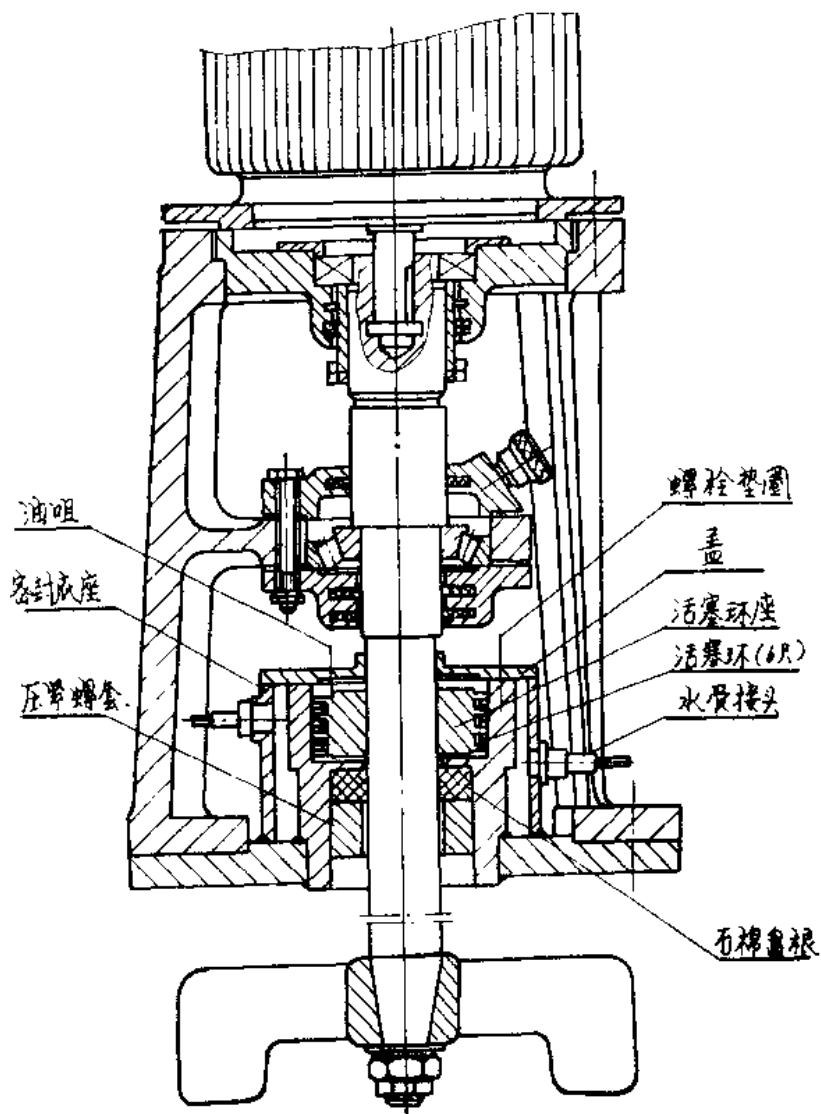


图2 风扇轴密封



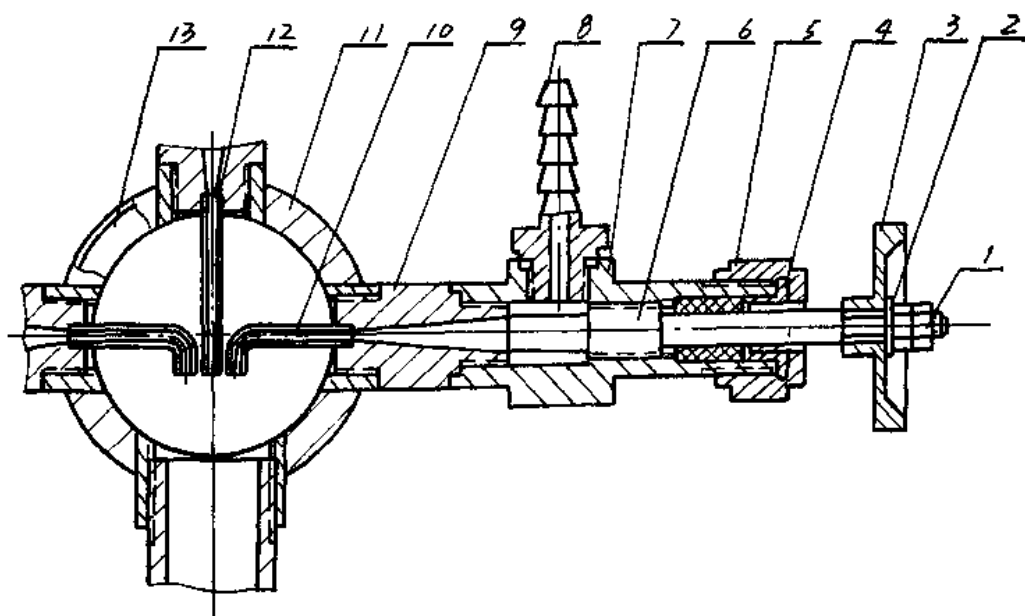


图8 气体渗碳炉滴液阀

- |             |             |           |
|-------------|-------------|-----------|
| 1 — 螺母(M5); | 2 — 垫圈(M5); | 3 — 手轮;   |
| 4 — 压圈;     | 5 — 螺母;     | 6 — 阀杆;   |
| 7 — 阀体;     | 8 — 接管;     | 9 — 阀座;   |
| 10 — 直角滴管;  | 11 — 观察器;   | 12 — 直滴管; |
| 13 — 圆螺母    |             |           |

而原来这个管道的位置却在料筐的外面,很不理想。我们把它弯到了内部(见图5)进行取气,效果很好。实验数据的再现性与此大有关系。由于炉气是控制的,取气管虽有弯头,却未发现炭黑堵塞的现象。

取气管的炉外部分上接点火装置,把取气管和排气管合为一体。经反复比较,这样安排对保证炉气测定的真实性和减小自动控制的滞后性,具有良好的效果。因为气氛在 $400\sim 720^{\circ}\text{C}$ 时,存在着 $\text{CO}\rightarrow\text{C}+\text{CO}_2$ 反应,所以应该尽量缩短气氛在这个温度范围内的停留时间,否则分析的结果必然是 $\text{CO}_2$ 含量偏高,不能代表炉内的真实情况。取气管外加水冷套,把取气管与排气管合为一体,对解决上述问题极为有效。

在实验过程中,我们发现料筐的使用与否,对炉气的均匀性和滴剂的裂化程度影响很大。料筐除了用于装工件之外,还有着使炉气按照一定方向循环的作用。有些单位在渗碳时不用料筐,我们觉得不太合理。当然,原来的料筐在结构上存在着一定的缺点,如对炉膛空间的占用过大、装卸不便、不能直接淬火等。但对提高炉气的均匀性和滴剂的裂化程度,还是能够胜任的。关于这方面的改进,我们觉得最好搞成一个整体的圆筒,平时置于炉内不动,尺寸也可适当放大一些,以便提高炉子的有效利用系数。因为它的作用只在于引导炉气的循环,提高气氛的均匀性和滴剂的裂化程度,为避免误会起见,是否可称之为导气筒,而装工件的料筐或料架,再视具体情况而另行制造。

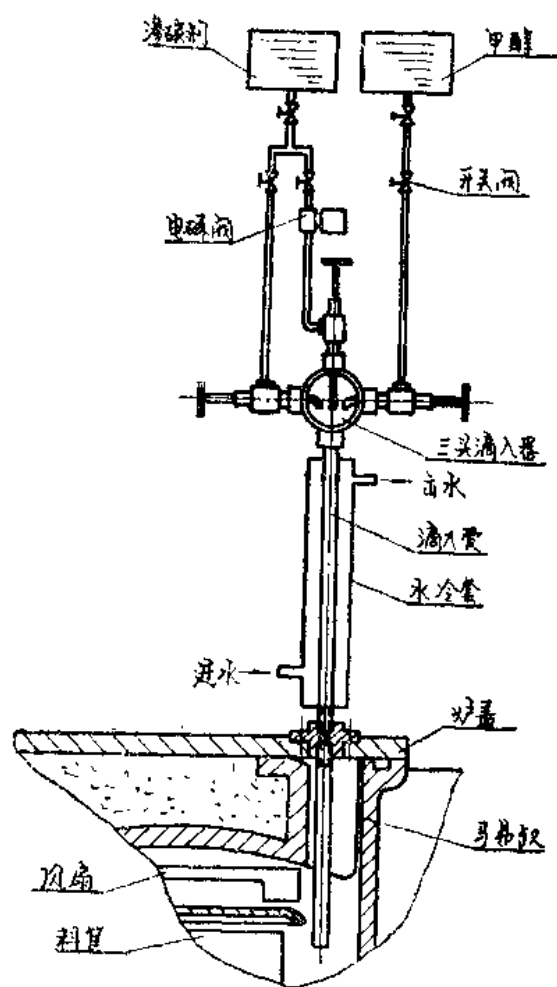


图4 滴入装置

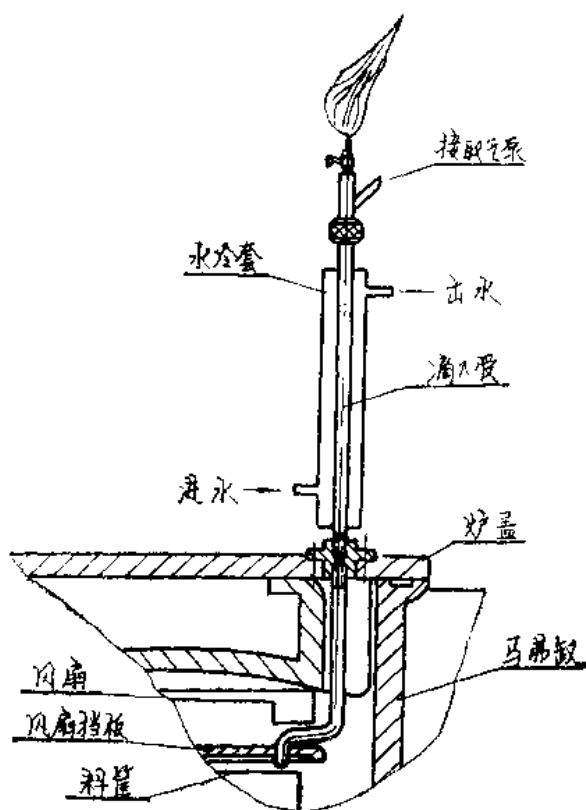


图5 取气排气装置

## (二) 碳势自动控制系统及红外线分析的安装和使用

### 1. 碳势自控系统

本系统的闭环回路如图7所示。炉气依次经干燥器1、球形过滤器2、取样泵3、干燥器4、三通阀5、球形过滤器6、稳压阀7、流量计8、进入红外线分析仪表9，炉气在此被分析之后转变成相应的电信号输出，送到分析仪的二次仪表10给以 $\text{CO}_2$ 含量的指示数值，然后将0~10毫伏的电信号送到记录仪11。记录仪除了连续记录 $\text{CO}_2$ 含量的变化之外，还设有上下限报警的触点开关，电磁阀12与此相接。当记录仪上的实际值与预定值发生偏差时，触点开关立刻转换，从而决定电磁阀的关闭或打开，实现碳势的自动调节和控制。当红外仪刚刚介入的时候，由于炉气将稳未稳之故，控制精度较差，待半小时之后便可稳定在 $\pm 0.015\%$ 以内，在自控阶段的中期和后期，其控制精度更高，可以达到 $\pm 0.01\%$ 以内。

在此回路之中，我们还另备两只仪表：XCT—191和DF—1伺服放大器。其中XCT—191是带有PID的动圈温度指示仪，借用在此也是可以的；DF—1内设有转换开

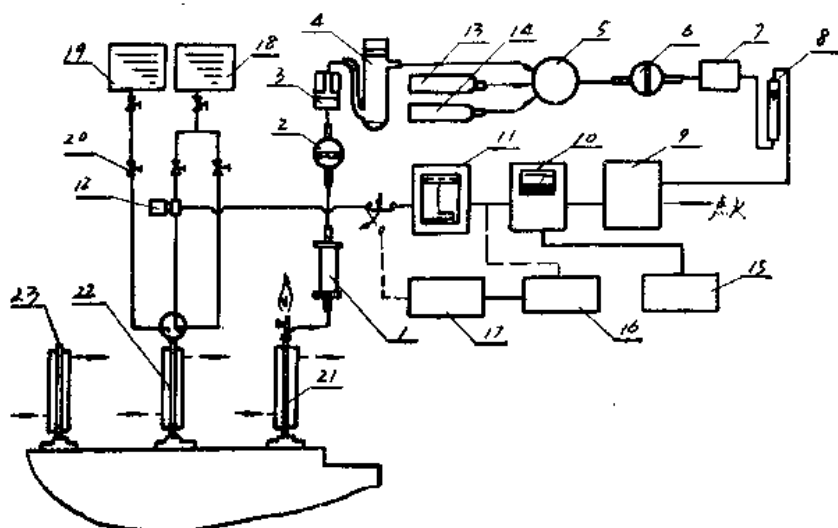


图6 碳势自控系统闭环回路

- |                   |                  |           |                  |
|-------------------|------------------|-----------|------------------|
| 1——干燥器；           | 2——过滤器；          | 3——取样泵；   | 4——干燥器；          |
| 5——三通阀；           | 6——过滤器；          | 7——稳压阀；   | 8——流量计；          |
| 9——一次仪表；          | 10——二次仪表；        | 11——记录仪；  | 12——电磁阀(DF-2-2)； |
| 13——零点气( $N_2$ )； | 14—— $CO_2$ 标准气； | 15——稳压电源； | 16——XCT-191；     |
| 17——DF-1；         | 18——渗碳液；         | 19——甲醇；   | 20——开关阀(5尺)；     |
| 21——取气管；          | 22——滴注管；         | 23——取样管。  |                  |

关。另备这两只仪表的目的，主要是企图进一步提高自控精度。由于时间关系，只作了一些调试工作，目前还未进行使用和比较。

## 2. 红外线分析仪的安装和使用

关于安装和使用，说明书上已有详细的说明。这里仅介绍我们体会的三点注意事项。

(1) 为防止电源的干扰，红外仪的电源最好与动力电源分开。但有的车间只有一种电源，我们这里就是如此。在这种情况下，我们将两根角钢入地三尺，并联成一根地线，然后再与仪表的接地触头相接，效果不错，基本上克服了电源的干扰问题。

(2) 红外仪在正式介入工作之前，最少应预热2小时。相位平衡调好之后不必每次重调。但光路平衡、零点和满度指示，每次使用之前均需耐心细致地调整。使用之后，应该用 $N_2$ 和 $CO_2$ 标准气进行校验，注意其漂移情况，最好在出炉之前一小时进行一次校验，以便及时调整，保证渗碳质量的稳定。

(3) 为了保证测试条件一致性，进入红外仪的气体流量应该固定不变。

## 三、实验内容及实验方法和结果

### (一) 实验内容

1. 测定 $CO_2$ 含量与炉气碳势的对应关系——定碳；

2. 渗碳速度;
3. 碳浓度的分布——浓度梯度;
4. 金相组织

## (二) 实验方法和结果

### 1. $\text{CO}_2$ 含量与炉气碳势的对应关系

$\text{CO}_2$  含量与炉气碳势的对应关系, 是指导生产制定工艺的依据, 正确与否影响很大。因此, 必须认真反复地通过定碳来找出这两者的对应关系。这是本实验工作中一项非常重要的内容。

同时, 采用低碳铁皮(含碳量为0.13%, 厚度为0.06毫米)和剥层试样进行定碳。铁皮定碳简便易行, 能够比较迅速地了解炉气碳势情况, 作为炉前化验手段是非常合适的。但是, 铁皮定碳不能反应出合金元素对碳势的影响, 加之装炉位置和出炉方式均与实际工件不同。所以铁皮定碳只能作为实际工件碳浓度的参考。而剥层定碳却能够比较真实的反应工件的碳浓度以及碳浓度的分布, 故应以此作为制定工艺的主要依据。但剥层定碳比较麻烦, 而且不能作为炉前化验的手段。

本实验的定碳以剥层法为主, 铁皮法为辅。

#### (1) 铁皮定碳的方法和结果

首先, 将定碳铁皮用酒精擦拭干净, 並以铁丝系之。待炉气稳定之后, 即可入炉, 在一定气氛下保温15~20分钟便可渗穿。考虑到铁皮定碳对炉气成分的瞬时变化比较敏感, 我们把保温时间延长到30~40分钟。出炉后先在取样管中冷却几分钟, 借以保持不氧化不脱碳, 然后再从取样管中拉出铁皮送交化验, 其含碳数值即为气氛之碳势。图7是930℃时用铁皮定碳的结果。

#### (2) 剥层定碳的方法和结果

剥层定碳是否准确, 与剥层试样两端的中心孔是否与外园同心大有关系, 这在试样加工时应该给予必要的说明。本实验所用剥层试样为 $\varnothing 18 \times 100$ 毫米。

剥层试样应与工件同时入炉同时出炉。为了摆脱其它影响因素的干扰, 该样在炉内的位置最好固定不变。为了减少脱碳, 该样出炉之后立即淬火, 然后涂上硼酸酒精过饱和溶液于650℃下回火, 擦清表面之后即可进行剥层。试样经此处理, 脱碳轻微, 较之出炉缓冷要好。每层剥0.1毫米, 依含碳量最高的一层(通常在第二层)作为碳势标准。我们定了三种试样, 结果如图8、9、10所示。

以上的对应关系曲线均是在特定条件之下得出来的。当条件变化时, 曲线也有相应的变化。如炉温、滴剂种类、炉子密封程度、取气位置、合金元素、炉气成分的稳定性等, 都对 $\text{CO}_2\%$ —C%对应关系有程度不等的影响。因此, 这是具体考虑问题时所不可缺少的内容。

例如, 炉温对碳势就有很大的影响。同样的炉气在不同的温度下具有不同的碳势, 温度越高则碳势越低, 反之亦然。通过图11可以清楚的看出这一点。

再如, 合金元素对碳势的影响, 通过剥层定碳便可看出, 结果如图12所示。从这里可以看出, 同一炉气兼顾不同材料的碳势要求, 往往是不可能的, 在多品种小批量生产的情况下应该给以适当的注意。

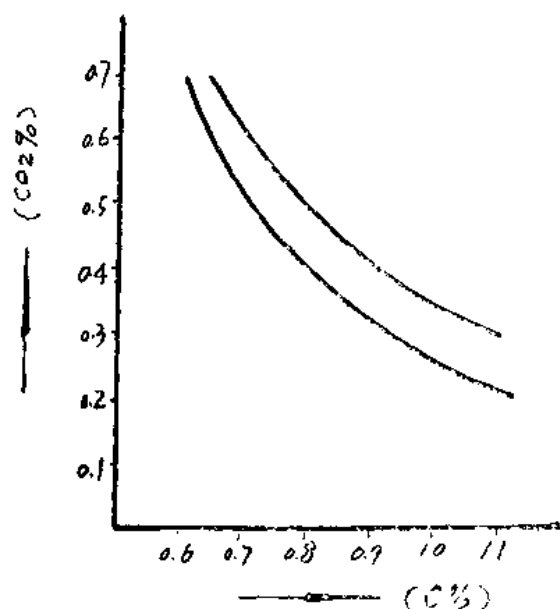


图7 铁皮C%—CO<sub>2</sub>%对应关系  
(930℃, 甲醇+煤油)

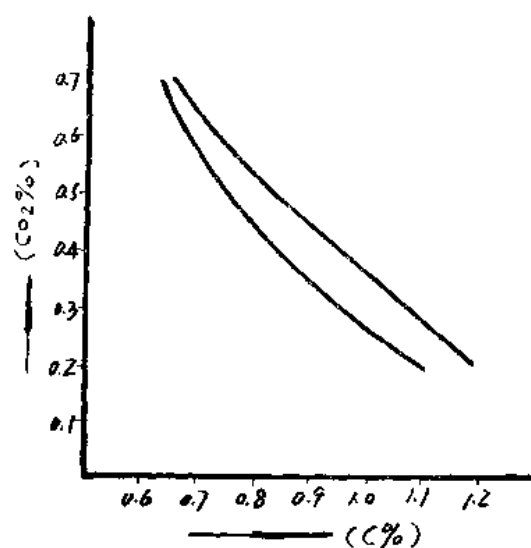


图8 20Cr的CO<sub>2</sub>%—C%对应关系  
(930℃, 甲醇+煤油)

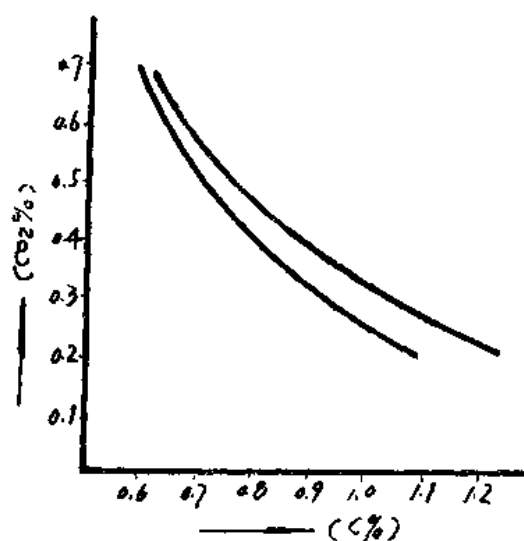


图9 18CrMnTi的CO<sub>2</sub>%—C%对应关系  
(930℃, 甲醇+煤油)

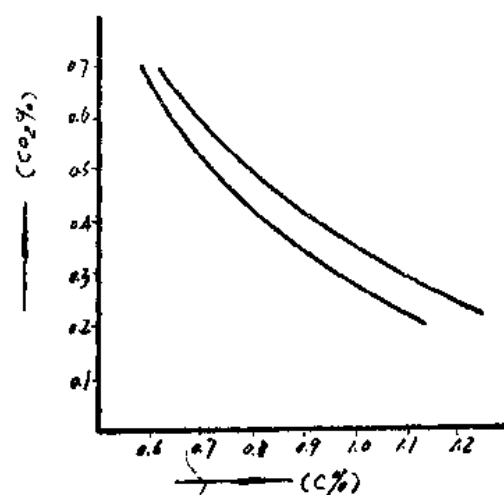


图10 18CrMnMo的CO<sub>2</sub>%—C%对应关系  
(930℃, 甲醇+煤油)

鉴于影响CO<sub>2</sub>%—C%对应关系的因素很多, 因此, 只有根据具体的设备、滴剂、炉温、处理材料等制定相应的经验曲线, 方能达到准确控制碳势之目的。

## 2. 渗碳速度

原来的气体渗碳, 由于不能自动调节煤油的滴入量, 往往有发黑出现, 隔断了活性碳原子与工件表面的接触, 降低了渗碳速度。采用可控气氛渗碳时, 却很少出现发黑, 因此渗碳速度要快一些。

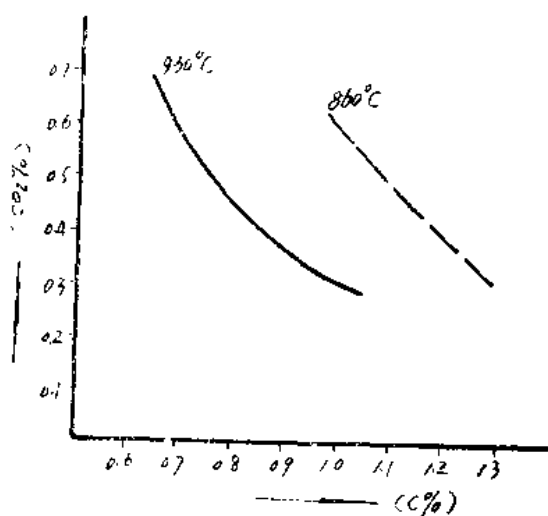


图11 温度对碳势的影响(甲醇+煤油)

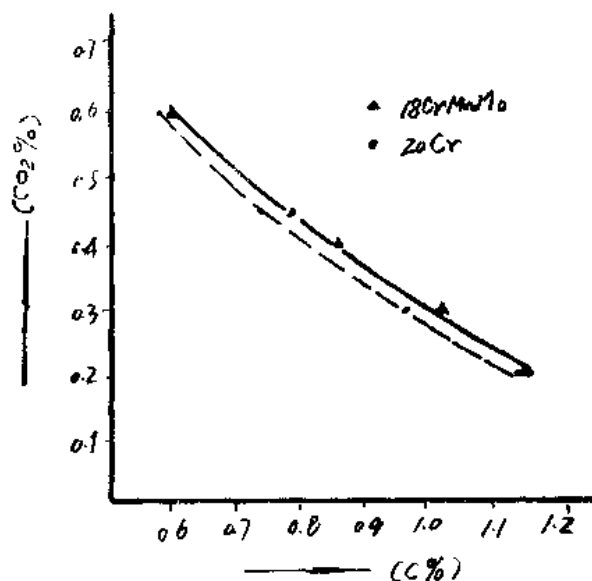


图12 合金元素对碳势的影响(930℃, 甲醇+煤油)

影响渗碳速度的因素也不少。在炉温一定的情况下, 气氛碳势、合金元素等均对渗碳速度具有一定的影响。

#### (1) 炉气碳势对渗碳速度的影响

我们曾以20Cr金相试样在不同的碳势下渗碳2小时, 然后测量其渗碳深度, 结果如图13所示。可以看出, 在一定的时间内, 碳势越高, 则渗碳速度越快。因此, 合理的渗碳工艺应该是首先在高碳势下快速渗碳, 争取尽快满足深度要求; 然后再于低碳势下进行定碳, 满足表面碳浓度的要求, 这样的结果是既缩短了工时又保证了质量。

#### (2) 合金元素对渗碳速度的影响

在一次渗碳周期为7小时(总时间)、自控阶段 $CO_2$ 含量为0.3%的气氛中同时放了两块不同的试样(20Cr和18CrMnMo), 出炉后看其深度, 结果如图14所示。

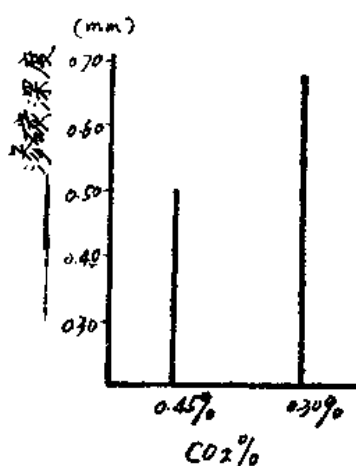


图13 碳势对渗碳速度的影响 (20Cr 930℃, 2小时)

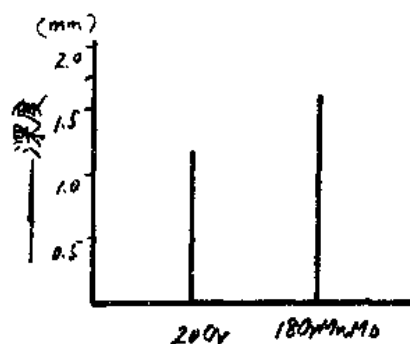


图14 合金元素对渗碳速度的影响(930℃)

## 四、可控气氛渗碳工艺举例

### (一) 处理对象及质量要求:

工件: 20Cr卡套

要求: 深度1.0~1.5毫米

### (二) 渗碳工艺:

炉子升温的同时, 起动红外仪进行预热。待炉温到850℃时, 适当滴入一些 甲 醇; 炉温到900℃时再加适量的煤油。这对缩短以后的排气时间很有效果。待炉温升至930℃时即可装炉, 四块剥层试样(20\*, 20Cr, 18CrMnTi, 18CrMnMo)及三块金相试样也一同入炉。至此, 渗碳周期开始, 其全过程如图15所示。

|                   |                             |                        |       |       |                   |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|-------|-------|-------------------|
| 9 3 0 ℃           |                             |                        |       |       |                   |
| 升 温 排 气           |                             | 红 外 仪 自 控 渗 碳          |       |       |                   |
| 时 间               | 2 小 时                       | 5 小 时                  |       |       |                   |
| 甲 醇               | ≤900℃ 240d/分<br>≥900℃ 80d/分 | 2 4 0 d/分(常量)          |       |       |                   |
| 煤 油               | ≤900℃ 0d/分<br>≥900℃ 240d/分  | 0—8 0 d/分(自控供给)        |       |       |                   |
| CO <sub>2</sub> % |                             | 0.30% ± 0.01%(自控)      |       |       |                   |
| 碳浓度               |                             | 铁 皮                    | 20*   | 20Cr  | 18CrMnTi 18CrMnMo |
|                   |                             | 1.04%                  | 0.94% | 0.96% | 1.04% 1.02%       |
| 炉 压               |                             | 25~35毫米水柱, 火苗 250 毫米左右 |       |       |                   |

图15 渗碳工艺

升温排气阶段, 红外线分析仪不能介入工作, 但是这个阶段对整个的渗碳过程影响很大。这个阶段一般在2小时以内, 因此装炉1.5小时后就应把红外仪校正好并开始进行介入的试探。可以介入而未介入延长了排气时间, 容易产生炭黑, 影响自控的精确性, 对排气阶段的滴量, 我们作过两次调整, 900℃以前只滴甲醇, 不滴煤油; 900℃以后甲醇滴量减到80d/分, 煤油滴量加到240d/分。当装炉量不大, 温度下降后, 仍不低于900℃时, 仍然只滴甲醇不滴煤油, 待工件透热之后再作调整。

装炉量的大小、装炉速度的快慢、滴注量的大小、工件表面是否干净等, 都对排气时间的长短有影响。

我们把红外仪介入之后, CO<sub>2</sub>含量到达预定值之前, 叫作排气阶段; 红外仪开始自

控之后直到出炉为止，叫作自控渗碳阶段。自控阶段的初期，由于炉气成分处于将稳未稳状态，脉冲供应渗碳剂时对气氛的干扰较大，因此控制误差也相应的大一些，但半小时后控制精度就高了。

### (三) 渗碳结果

#### 1. 渗层深度

20Cr~1.33毫米；

18CrMnTi~1.33毫米；

18CrMnMo~1.60毫米。

#### 2. 硬度

试样经860℃淬火、200℃回火之后：

渗层硬度：HRC61~64

心部硬度：HRC40~45

#### 3. 碳浓度分布 (见图16)

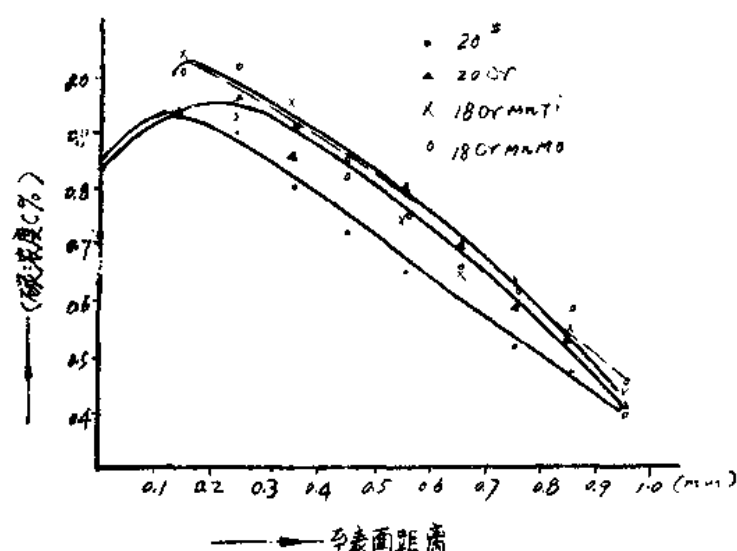


图16 碳浓度分布

(930℃, CO<sub>2</sub>%为0.30%, 甲醇+煤油)

从四种剥层定碳的结果来看，距表面为0.9毫米的地方含碳量仍在0.40%以上。

#### 4. 金相组织

经金相显微镜观察，未见过剩网状碳化物出现。

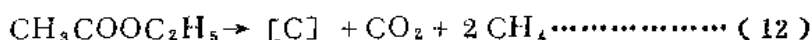
### 五、关于炉气生成和变化规律的实验讨论

我们在以甲醇为稀释剂的同样条件下，先后曾分别以醋酸乙酯、丙酮和煤油为渗碳



剂进行了实验。虽然都能达到碳势控制的目的，但却由于渗碳剂的不同而在碳势控制上有着难易之区别。据有关文献介绍，醋酸乙酯是最理想的渗碳剂。但实验表明并不如丙酮好，煤油似乎不能满足本方法的要求，但在与甲醇联合使用时，效果却很好。为了能从本质上认识这些问题，对每种渗碳剂裂化气氛的生成和变化情况进行全面的了解，从中找出主要的影响因素，则是很有必要的。为此，我们进行了这样的实验：当炉气很稳定的时候（最好是渗碳的后期），停止渗碳剂的供应，只滴甲醇维持炉内为正压。首先，用针筒取气在色谱仪上分析炉气中的 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ ， $\text{CO}_2$ 则在红外仪上给以指示和记录，以此作为以下进行比较的基准。接着，用注射器将5.5毫升的醋酸乙酯在8~10分钟内打到炉内，立刻再用针筒取气分析，每隔2~3分钟取气分析一次，在10分钟内进行3~4次。

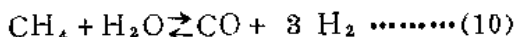
通过这个实验可以发现，醋酸乙酯注入前后，炉气中的 $\text{CO}$ 和 $\text{H}_2$ 含量虽然有些波动，但变化不大。这充分证明在较大的碳势范围内 $\text{CO}$ 和 $\text{H}_2$ 的确是基本恒定不变的。但 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 的生成和变化情况却是十分引人注目的。图17就是注入醋酸乙酯后 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 的生成和变化情况。从这里可以看到，醋酸乙酯进炉之后，立刻生成大量的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ ，从而可以推测这种液体的分解反应并不是按照理想的方程式（2）（ $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 \rightarrow 2[\text{C}] + 2\text{CO} + 4\text{H}_2$ ）进行的，而应该是以下式进行的：



如按方程式（12）来推算，则 $\text{CH}_4$ 的增加值应该是 $\text{CO}_2$ 增加值的二倍。但从图19的实测数据来看， $\text{CH}_4$ 的增加值却为 $\text{CO}_2$ 增加值的六倍以上。这意味着在两者共同升高的过程中， $\text{CO}_2$ 的中途消耗大于 $\text{CH}_4$ 的中途消耗。

$\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的消失情况也很不同，两者虽然都是快速的上升，但 $\text{CO}_2$ 从峰值很快就下降到原来的数值，而且继续下降，经一最低值后便开始上升； $\text{CH}_4$ 的消失却很缓慢，从顶峰回复到原来的数值几乎要用3分钟， $\text{CO}_2$ 都开始上升了， $\text{CH}_4$ 仍在下降。

$\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的消失主要是由于以下几个反应造成的，即：



当醋酸乙酯注入之后的一定时间内，以上的反应主要是向右边进行，因而使得 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 减少。从 $\text{CO}_2$ 在上升时落后于 $\text{CH}_4$ 而下降时超过 $\text{CH}_4$ 这一现象说明，促使 $\text{CO}_2$ 消失的反应要比促使 $\text{CH}_4$ 消失的反应来得快。因此，可以断定在以上的四个反应中，反应（9）要比反应（8）、（10）、（11）为快。事实上也的确如此，当 $\text{CO}_2$ 经一最低值后已经开始上升时， $\text{CH}_4$ 却还在下降，而这时反应（9）已不再向右而是向左进行了。这

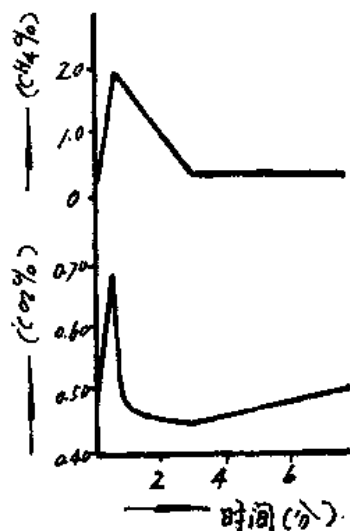


图17 注入醋酸乙酯后 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 之生成变化情况