缘，它占10%左右．极少数情况北京处于弱倒槽的边缘或处在低压内部．处于这些天气背景时，天空有时有些云，但是风不大．

春、夏季节由于天气形势与秋、冬季有很大差异，处于高压内部的强热岛次数比秋、冬季节少很多．春季这类天气形势约占总数的40%，夏季占46%，天空状况是晴空，静风或微风．处于低压槽和低压内部的强热岛在春季占59%，夏季占42%，天空状况大多是少云，少数情况也有阴天，甚至有少量降水，风很小或静风．即使对于城乡温差在4℃以上的强热岛，在春季也是出现在高压内部和出现在低压槽及低压内部各占一半左右．图8是出现在低压槽中的强热岛例子．从图8的地面天气图上可看到，低压中心在我国东北，北京处在低压槽中，天气状况是晴空，静风．

热岛强度在1.0—2.0℃的弱热岛，不论是何季节，一般在地面天气图上北京处在高压和低压之间或在浅低压槽之中，通常有风但不大，云量较多．500毫巴天气图上，北京处于弱高压脊控制下，偏西气流较多．在这种天气背景控制下出现的弱热岛占绝大多数．

当500毫巴天气图上北京处于较深厚的低压槽控制时，高空盛行较强的西南气流，地面天气图上一般处于倒槽或小低压中（这时经常是锋面过境），城市热岛几乎消失．这时的天气现象，夏季经常是连续几天或当天有较大降水；秋、冬和春季地面风速至少在4米/秒以上．

参 考 文 献

[1] Chandler, T. J., The Climate of London, Hatchinson & Co., p. 250, 1965.

[2] Wong, K. K. and Dirks, R. A., J. of Appl. Met., 5, 677—688 (1978).

[3] Findlay, B. F. and Hirt, M. S., Atmos. Environ, 3, 537—542 (1969).

[4] Dirks, R. A., Urban Atmosphere: Warm Dry Envelope over St. Louis, J. G. R., 3473—3475, 1974.

生物接触氧化法有关机理的探讨

邬扬善　沈光范　郑元景

（北京市环境保护科学研究所）

生物接触氧化法是一项新型的污水生物处理工艺．从1975年起，我们先后开展了生物接触氧化法处理城市污水的小型试验和中型试验，同时，也开展了这项工艺有关机理的研究．本文就工艺机理有关的三个问题进行讨论．

一、流　　态

在污水处理构筑物中的流态，简单来说分为二类，即推流型和完全混合型．但绝大多数处理构筑物内的流态，是处于这二型之间．对于完全混合型流态的示踪曲线，可用以下公式来表达．

$$C_t = C_0 e^{-\frac{Q}{V}t}$$

式中，C_t——经 t 时间后出水中的示踪剂浓度；

C_0——池内液体所含示踪剂初始浓度；

e——自然对数底；

Q——进水量；

V——水池体积；

t——时间．

在接触氧化池内，由于曝气而产生较强的搅动．每个上升的气泡在狭小的蜂窝里犹

如空气提升器推动一小部分水作上升的运动. 与此同时，相邻部位的水却作相反方向的运动，在各蜂窝管内形成水流的迅速循环混合.设备内气泡上升速度差异显著,一些气泡迅速上升、而一些气泡遇到反向水流而逗留不上,甚至有的气泡随水流向下.这说明了设备内的水流进行着相当复杂的混合过程.

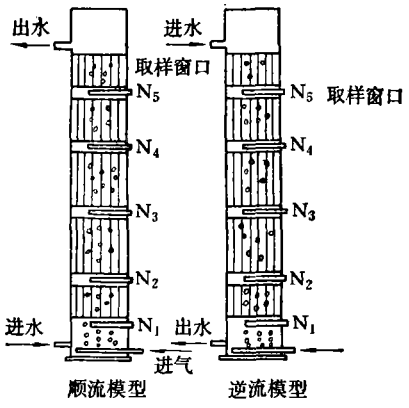


图 1　流态试验模型

为了更好地理解接触氧化池内的流态，以及诸因素对流态的影响，采用图 1 所示的有机玻璃管进行试验. 管径 140 毫米，水深 4340 毫米;蜂窝填料总高 3240 毫米，分五层安装；曝气管上设有 4 毫米的孔眼 2 个. 下面简单讨论若干因素对流态所产生的影响.

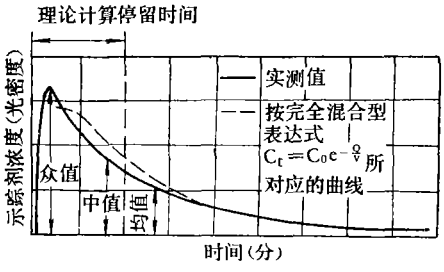


图 2　某条件下的流态示踪曲线

接触氧化池在某工作条件下的示踪曲线如图 2 所示. 在这组试验中，计算的理论停留时间为 20 分钟,而示踪物质浓度的高峰出现时间在 2′24″. 曲线中的众值与中值相隔很远,应该说流态是一种混合型. 粗略地看，众值后半部的示踪曲线与 $C_t = C_0e^{-\frac{Q}{V}t}$ 所对应的曲线比较接近，说明接触氧化池内的流态接近完全混合型. 但严格说来，接触氧化池内的流态并不真正是“完全”混合型的,因为 C_t 公式中并没有包括曝气强度的因素.对于不同的污水，接触氧化池内的曝气强度差别很大,会影响其混合程度. 在众值后半部，二条曲线之所以比较容易接近，与二者变化(衰退)都比较缓慢有关. 在不同的水流速度和曝气强度下,二者的接近程度是不同的.应该说众值的出现时间可以更好的说明设备内液体的混合程度.

从图 3 可以看出,在水流速度较低,曝气强度亦较低情况下,曝气强度的影响较大.随着曝气强度的提高,在相同的水流速度下,示踪物质浓度高峰出现的时间趋于一常数. 该图中所谓逆流，是指水在接触氧化池内的总流向与空气上升流向相反；顺流是指水在接触氧化池内的总流向与空气上升流向相同. 逆流与顺流对流态的影响，在曝气强度较小时比较显著,顺流加速了混合过程,示踪物质浓度高峰出现较早,随着曝气强度的提高,逆流、顺流的流态渐趋一致. 这种现象可以理解为，在设备内空气的流速较之水的流速约高 100 倍,因而在有适当曝气强度情况下,水流的方向对设备内液体的混合程度不起多大的影响. 在本试验设备情况下，曝气强度超过 20 米^3/米^2/小时，水的流向不影响设备内的液体混合.

在这套模型中还观察了蜂窝上生物膜对流态的影响,试验结果如图 4 所示.从图 4 可见，有无生物膜对流态影响不大. 在这组试验中,由于进水浓度较低(进水 BOD < 50 毫克/升),故生物膜厚度仅 0.5 毫米左右. 在另外一些情况下，如果生物膜较厚，则其对流态的影响还须另行观察. 从微生物镜检的结果看来,顺流和逆流,对上下层之间菌胶团形状和原生动物的组成，无明显的差别. 菌胶团多为分枝状. 原生动物中以草履虫、独缩虫、沟刺斜管虫等为主,在设备内分布均匀.

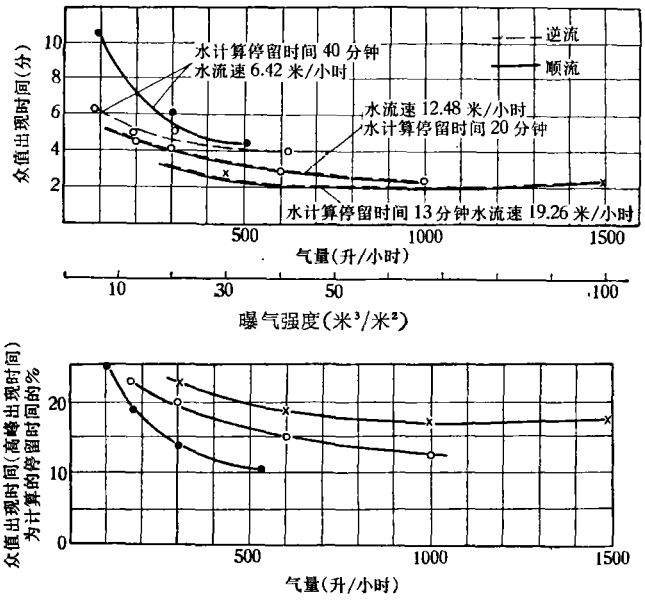


图 3　流态示踪试验资料汇总图

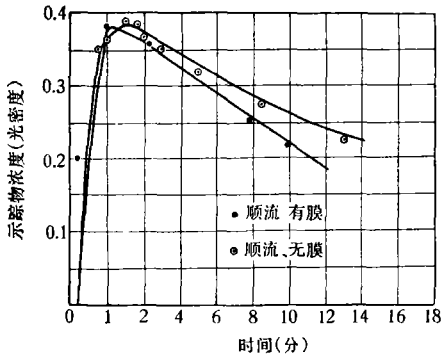


图 4　生物膜对流态的影响

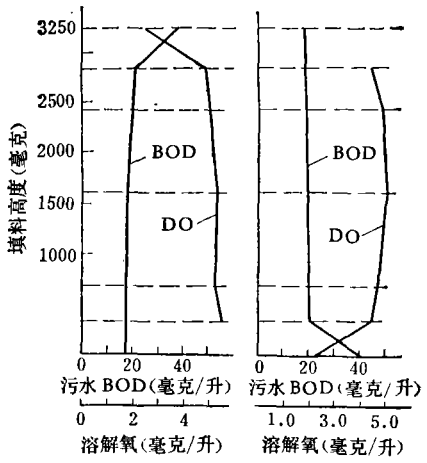


图 5　逆流顺流生物处理试验结果

从图 5 中可见，污水进入模型后由于曝气作用，池内液体迅速混合；而另一方面，进口处的浓度较出口处略高，再次说明流态仅接近完全混合型．池内溶解氧含量的分布与 BOD 分布基本上相似，液体迅速混合后，溶解氧含量趋于一致，有一个小的过渡区．从图 5 逆流与顺流的比较可以看出，在这组试验所采用的工艺参数下(水流速度 12.84 米/小时，曝气强度为 39 米³/米²/小时)，逆流与顺流的 BOD 去除率接近(分别为 52%，53.7%)，也说明就处理这种水质的污水而言，逆流、顺流对处理设备的工作效率无明显影响．

二、供氧与耗电

我们进行了历时三个月的清水充氧测定．主要结论是：接触氧化比普通无填料曝气，氧吸收率提高 30%，动力效率提高 30%，氧吸收率 E_A 与水深有关，$E_A = 4.2H - 2$，式中 H 为水深(米)，E_A% 与水深成正比，即氧吸收率随水深而提高．

一般认为，曝气池在水深 3.5—4.5 米范围内，E_A 为 5—10%，而接触氧化法在此水深内 E_A 为 12.7—16.9%，与普通无填料曝气相比有较大提高．水深在 1.5 米以下，二者相同．为了避免由于操作方法差异，对充氧测定的误差，在同一模型中，用相同方法做了有填料与无填料的对比，用图 1 所示的模型，进行不同水深、不同气量的非稳态充氧测定，结果见图 6．

在水深 3.5—4.5 米之间，E_A 提高量约为 30%．增加填料并不增加风机动力消耗，因此，使动力效率亦相应提高了 30%．动力效率一般为 3 公斤以上，即每度电可充氧 3 公斤以上，并且在水深 5 米以下，明显地随水

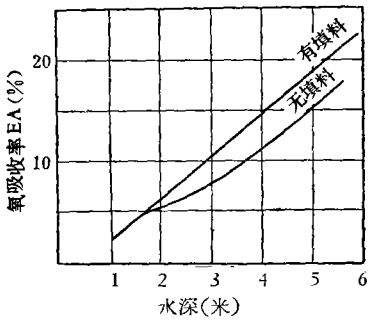


图 6　氧吸收与水深关系

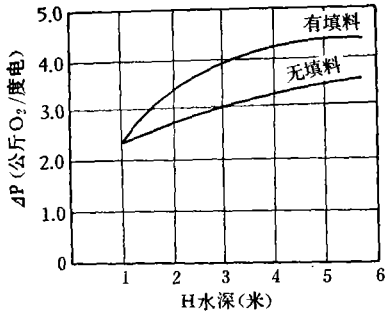


图 7　动力效率与水深关系

深而增加，见图 7.

上述结果，可能在某些方面与其他文献报导有些出入，但用同一操作方法对有填料和无填料情况进行曝气对比，所得结果是能够说明问题的.

在污水处理中，除含表面活性剂较多的污水（如印染污水）以外，接触氧化法的空气耗量也是明显地要比其他方法省. 这里以城市水污为例介绍如下，（见表 1）.

从表 1 可见，在各项条件基本接近情况下，接触氧化法用气量是生物吸附法的一半左右. 上海染化九厂的试验证明，接触氧化法去除每公斤 BOD 耗电 0.633 度，在同样水质下，比表面曝气法省一倍.

与清水测定相比，在污水处理中的电耗节省要大的多. 分析其原因可能是：（1）本试验中污水试验采用二段法，强化了生物的同化作用，使污水中有较多的有机物被合成生物膜. 同时，生物膜的厌氧面使部分生物膜在不耗氧的情况下获得分解，减少了有机物的需氧氧化比例；（2）从有机玻璃模型中可见，一些细小的空气泡能较长时间地附着在生物膜外伸的絮体上，这将增加氧的转移量.

为什么在蜂窝填料下曝气可以提高充氧效率，降低电耗？我们初步认为主要有下面二点：

1. 气泡撞击增加了气水接触面积

气泡从孔口释放出后，在以每小时 1000 多米的速度上升过程中，除受到紊动水流的剪切外，还由于在上升过程中，势能转化为动能，利用其自身动能撞击蜂窝和管壁，使气泡破裂，直径进一步减小，相应增大了接触表面积，因而增大了氧的转移效率. 从实验中观察到，无填料时在水层上部的气泡直径为 6 毫米，而有填料时约 4 毫米，估计总表面积要增加 50% 左右. 国外新型曝气设备——固定螺旋，也因有类似作用使大气泡曝气的动力效

表 1　城市污水耗气量与进出水浓度、水深的关系

	进水 BOD 毫克/升	出水 BOD 毫克/升	气米³/米³水	气米³/去除公斤 BOD	水深(米)	备注
上海曹阳污水厂生物吸附法(1964)	100.21 217.9	8.9 11.0	6.6 5.0	79.0 62.0	4.0 4.0	
接触氧化法(北京零号井污水泵站)	95.3	12.8	2.43	29.8 20.9*	3.5 5.0	*按高度换算结果
	60.0	8.5	2.43	49.0 34.3*	3.5 5.0	
太原市接触氧化小试 太原市生物吸附法中试	81.1** 117.0	13.0 40.3	3.0 8.0	44.0 105	约3.7 约2.0	**经初沉池后

率提高.

2. 水流紊动加速了氧的转移

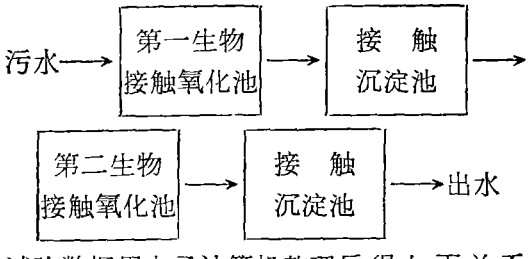
气泡在蜂窝内顶托水流，迫使蜂窝内的水流迅速循环相互混合，使气泡在上升过程中接触到更多的水流,因而增加了氧的转移；同时水流紊动的加强，也有利于气液二相界面的更新、促进了氧的转移.

蜂窝填料是常用的一种填料，如果不是采用这种填料,而采用其它形式的填料,如斜波纹填料,其充氧效率可能会有差别,我们没有对此进行试验研究.

三、基质去除动力学的探讨

从动力学角度对生物处理规律的研究，主要包括三个方面,一是基质(微生物所能利用的营养物质）去除速度与水中基质浓度的关系；二是生物增长速度与基质去除速度的关系;三是氧的消耗与基质去除速度的关系，并用数学公式模拟或表达，其中基质去除动力学是最基本的. 为深入了解接触氧化法的规律，便于对不同的生物处理工艺进行效能对比,为使工艺设计计算准确方便,以及可利用电子计算机进行工艺控制，开展了基质去除动力学的探讨.

中型试验采用二段法流程:



试验数据用电子计算机整理后得如下关系式:

$$N' = \frac{K_n l_e}{K_m + l_e} = \frac{7.21 l_e}{19.35 + l_e} \qquad (1)$$

相关系数 $r = 0.9795$

式中,

N'——每立米填料每日去除的 BOD（公斤 BOD/立方米填料/日）;

K_n——相当于最大去除速度时，每立米填料,每日去除的BOD,本试验为7.21(公斤 BOD/立方米填料/日);

K_m——相当于反应速度达到最大速度的一半时,水中基质浓度,又称米凯利斯（Michaelis）常数,以 BOD 表示,本试验为 19.35(毫克/升);

l_e——出水中剩余基质浓度,以 BOD 表示(毫克/升).

$$N = K l_e^n = 0.571 l_e^{0.775} \qquad (2)$$

相关系数 $r = 0.9797$

式中,

N——每立米填料每日投配 BOD（公斤 BOD/立方米填料/日）;

K——常数，数值上相当于出水中基质浓度为 1 毫克/升时的投配负荷;

l_e——出水中剩余 BOD(毫克/升)

上述二个关系式用图 8 表示.

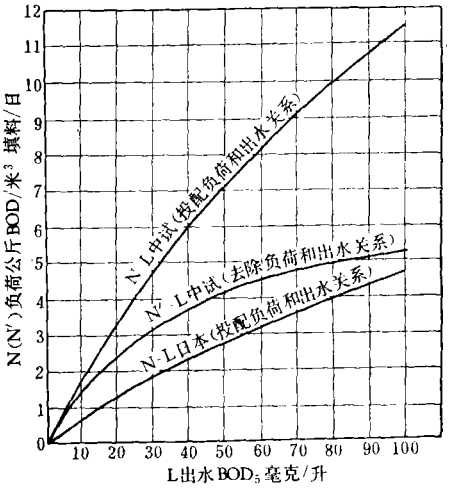


图 8 负荷与出水的关系

图中日本的数据系处理七个染织废水的数据(图中 L 即 l_e),用电子计算机进行整理，其关系式为:

$N = 0.329 l_e^{0.666}$ 相关系数 $r = 0.998$

对于上述公式是否符合客观规律，我们从二个方面作了分析.

一是从酶反应动力学规律来作检验，在生化过程中有机物的去除主要取决于酶的催

化反应．有机物去除反应过程实际是与酶结合——产生中间产物——然后再离解，反应过程实际是酶促反应过程，其反应动力学也必然与酶的反应动力学相结合．酶对基质的去除动力学公式为：

$$V = \frac{K_n[S]}{K_m + [S]} \qquad (3)$$

式中

$[S]$——基质浓度；　V——反应速度；

$K_n K_m$——为常数，K_n 相当于最大反应速度 V_m，K_m 相当 1/2 最大反应速度时的基质浓度．

将式(2)与式(3)作一比较可知，根据本研究中试资料所整理得到的公式从理论上是可以成立的．

其二，将生物接触氧化法基质去除动力学与国外对活性污泥法中基质去除动力学的研究结果作了对比分析．国外已将不同类型的数学表达式归并成一个通用的公式（或称基础式），能适用各种不同的活性污泥处理工艺，通用的公式如下：

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dl_r}{dt} = \frac{K \cdot l_e^n / S^m}{K_m + l_e^n / S^m} \qquad (4)$$

式中

S——活性污泥浓度；

$\frac{dl_r}{dt}$——水中基质去除速度，即公式(1)中的 N'；

K——单位污泥量对基质的最大去除速度；

K_m——基质最大去除速度一半时的基质浓度；

l_e——水中剩余基质浓度；

m、n——与活性污泥工艺有关的系数．

该通用式对各种活性污泥法的适应是通过改变 K_m、m、n 来达到的．

对于一般与城市污水有机物浓度类同的污水，二级处理常采用 Monod 提出的活性污泥法基质去除反应式．

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dl_r}{dt} = \frac{K \cdot l_e}{K_m + l_e} \qquad (5)$$

上式是通用式在 $n = 1$，$m = 0$ 时的形式，该式可以写为

$$\frac{dl_r}{dt} = \frac{K \cdot Sl_e}{K_m + l_e}$$

当去除速度以每立方米体积计时，

$$K \cdot S = K_n,$$

故 Monod 式可改写为

$$\frac{dl_r}{dt} = \frac{K_n \cdot l_e}{K_m + l_e}$$

或

$$N' = \frac{K_n \cdot l_e}{K_m + l_e} \qquad (6)$$

把公式(1)和公式(6)进行对比，可以看出上面推导的生物接触氧化法基质去除的动力学与活性污泥法相同，即从好气微生物对有机污染物的代谢规律来说，生物接触氧化法和活性污泥法是一致的．生物接触氧化能有较高的处理能力，主要是由于在单元设备体积内，具有较高的生物浓度和生物活性．

从微生物的观点看，不同的基质去除速度是由不同的生长期决定的，而不同的生长期是受基质浓度制约的．当 l_e 较小时，公式(1)可改写为 $N' = \frac{K_n}{K_m} \cdot l_e$，对应于微生物增长的衰减期，当 l_e 足够大时，公式(1)可改写为 $N' = \frac{K_n}{K_m}$，对应于微生物的对数生长期，拿此中试的第一氧化池来说，去除负荷为 3.4—4.88 公斤 BOD/立方米/日，较接近于最大去除速度 K_n=7.21 公斤 BOD/立方米/日，因此第一氧化池的微生物接近于对数生长期．而第二氧化池的去除负荷为 1.08—2.41 公斤 BOD/立方米/日，微生物处于增长衰减期．从图 8 看，去除速度近似与剩余基质浓度呈线性相关．

关于接触氧化法这一类工艺的去除动力学，日本资料有不同报导，认为在城市污水的二级处理和三级处理中符合弗里德里希(Freundlich)吸附公式：

二级处理 $N' = 0.00867 l_e^{1.28}$

三级处理 $N' = 0.00244 l_e^{1.98}$

上述公式系通用式中 $m = 0$、$n \neq 0$，$n \neq 1$，$K_m \gg l_e$ 的形式.这里的K相当于K_n/K_m，即 $N = \frac{K_n}{K_m} l_e^n$，也就是该工艺的运行情况处在 $K_m \gg l_e$，分母中 l_e^n 可略去. 但从日本是接触氧化法的去除动力学公式来看，也是在活性污泥法的通用式范围内，具有活性污泥法的特性，不过在不同的水质条件和充氧方式下，表现了不同的具体形式.

对于日本接触氧化法处理城市污水的去除动力学呈吸附形式，我们分析可能是与其在填料外曝气有关.在有机物的去除过程中，起初是通过扩散、吸附渗透，将有机物转移到生物膜表面和进入细胞内，然后才是与酶进行反应，当吸附速度小于酶反应速度时，整个有机物的去除速度受吸附速度限制，因而去除动力学表现为吸附形式. 当有很好的传质条件，整个去除过程不受吸附速度限制时，去除动力学只取决于酶的反应速度，则表现为酶的去除动力学. 在污水生物处理的实际运行中，衡量一个设备的效率，应从同一出水水质来看其负荷投配量，亦从同一投配负荷看出水水质，即要兼顾负荷和出水水质二者关系进行研究. 此中试与日本染织污水得出的负荷与出水水质关系如下：

$N = 0.571 l_e^{0.775}$（此中试）

$N = 0.329 l_e^{0.666}$（日本染织污水）

二式的指数相近，但系数相差较多，此中试约为日本的 1.74 倍. 如上所述，这是与不同的水质、不同充氧方式形成的不同的污泥活性和不同的传质条件有关.

兰州西固区光化学烟雾污染的初步探讨

甘肃省环境保护研究所大气化学组*

光化学烟雾是现代工业化国家中一种普遍而又较难防治的大气污染. 它在四十年代首见于洛杉矶.这种烟雾使大气能见度降低、人群眼睛红肿、哮喘、喉头发炎，并产生植物叶变白而枯萎，橡胶制品开裂等危害.

关于这种烟雾产生的原因，经长期研究才阐明它是汽车尾气中的氮氧化物及碳氢化合物，在阳光照射下，发生一系列化学反应所形成，因此被称为光化学烟雾. 研究还表明，这种大气污染的产生，除大气中必须存在一定浓度的氮氧化物和碳氢化合物等基础条件外，大气对流相对稳定，一定强度的日照等则是极为重要的诱发条件.

我国尚未见产生光化学烟雾的正式报导. 但这是否真正意味着我国未发生这种类型的大气污染呢？一九七四年以来，我们就注意到，盛夏之际，兰州西固区常产生"雾茫茫，眼难睁，人不伤心泪长流"的情景. 造成这种情况的原因，众说纷纭，莫衷一是. 从西固区工业布局及地形气象条件着眼，我们提出了应研究这种污染是否为光化学烟雾所致. 于一九七九年夏，我们在西固地区进行了与光化学烟雾有关的一次及二次污染物的现场测试，与有关单位协作，进行了此种烟雾污染有关的人体流行病学调查. 本报告主要基于现场大气组分的实测结果.研究表明，这种烟雾确属光化学作用形成的光化学烟雾污染. 在此基础上，初步探讨了该地区光化学烟雾形成的规律.

---

* 参加此项工作的有田炳申、金素文、马英、田文茂、顾兴梅、甄继琪、乔世俊、高沛、赵爱平、高建立、吴仁铭、徐永昌. 本报告由田炳申执笔.