

气象条件对大气污染物扩散的影响



风与大气稳定度

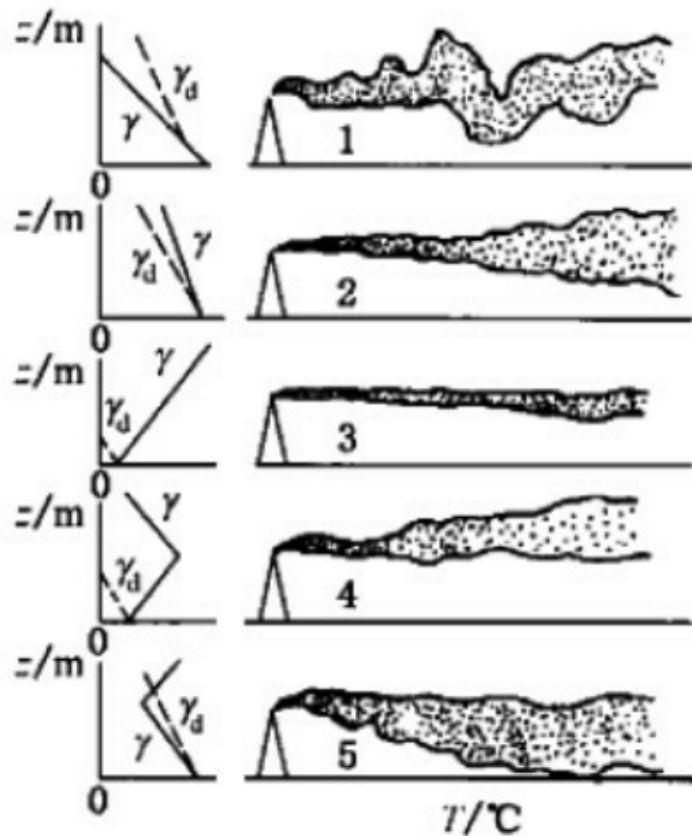


图 1-6 大气稳定度与烟形

气象条件对大气污染物扩散的影响



(1)波浪型。

气温直减率大于干绝热递减率,大气处于不稳定状态时,烟形摆动大、扩散快,大气污染物很快扩散到地面,对附近居民有害,但对距离较远的区域影响小,一般不易发生烟雾事件。这种类型多发生在夏天或晴天的中午。

(2) 锥型。当气温直减率与干绝热递减率差别不太大,或风速较大时,大气稳定度呈中性,此时水平扩散大于垂直扩散,因而烟形呈圆锥型。这种烟形多发生在阴天或大风天气条件下。

气象条件对大气污染物扩散的影响



(3)扇型。当气温自下向上增加，大气处于稳定状态，一般风速微弱，烟气在逆温层内只能在水平方向呈扇型逐渐散开，扩散极慢。

- ❖ 这种烟形的大气污染物可传输到很远的地方，如遇山丘或高建筑物则发生下沉作用，以致对该地区造成严重污染。
- ❖ 如果污染源排放的烟羽高度高于逆温层，则近源处地面的污染物浓低；
- ❖ 如果污染源排放的烟羽位于逆温层内，则污染物难以稀释扩散，易造成大气污染。其多发生在晴天的夜间或清晨，风速 较小的情况下。

气象条件对大气污染物扩散的影响



(4)熏烟型。

- ❖ 在烟囱顶部以上的大气层处于稳定状态，烟囱高度以下的大气层处于不稳定状态，此时上面的逆温层好像一个“锅盖”，使污染源排放的烟气不能向上扩散，而只能大量下沉，在下风向地面造成严重污染，许多烟雾事件均是在此条件下形成的。这种烟形通常发生在冬季日出后1~2 h，持续时间约0.5~1 h。

气象条件对大气污染物扩散的影响



(5)屋脊型。

- ❖ 其成因与熏烟型的大气状况正好相反，烟囱高度以下的大气层处于稳定状态，烟囱高度顶部以上的大气层处于不稳定状态，此时下面的逆温层阻止烟气向下扩散，而只向上部扩散，烟形呈屋脊型。
- ❖ 这种烟形下部浓度小，如不与山丘或建筑相遇，不会造成严重污染。这种情况下多发生于晴天傍晚。

气象条件对大气污染物扩散的影响



表 1-10 大气稳定度分级常用方法

分级方法	方法分类	具 体 判 据	说 明
风向脉动标准差方法	水平风向脉动标准差 $\sigma_A(^{\circ})$ 方法	$\sigma_A(^{\circ})$ 和平均风速	EPA(1990)推荐
	垂直风向脉动标准差 $\sigma_E(^{\circ})$ 方法	$\sigma_E(^{\circ})$ 和平均风速	—
温度递减率方法	温度梯度分类法	以两层(如 10 m 和 60 m)的垂直温度梯度($\Delta T/\Delta z$)为判据	国际原子能机构 (1980)
	温度递减率和风速分类法	同时考虑动力和热力因素,以两层(20 m 和 120 m)的温度递减率($\Delta T/\Delta z$)和风速为判据	—

气象条件对大气污染物扩散的影响



分级方法	方法分类	具 体 判 据	说 明
温度递减率 方法	分立 σ 方法	分别以温度梯度($\Delta T/\Delta z$)和水平风向脉动标准差 σ_A 表征湍流的垂直和水平活动为判据	—
	P-G(或 P-G-T)方法	以云量、云高、太阳辐射状况、地面风速为判据	—
	修正的 P-G-T 方法	无云量和云高资料时,以风速和入射太阳辐射(日间),或温度递减率(夜间)为判据	EPA(1990)推荐
	修订的帕斯奎尔(Pasquill)稳定度分级法	以总云量、低云量、太阳辐射等级、地面风速为判据	中国 HJ/T 2.2—1993 推荐方法

气象条件对大气污染物扩散的影响



边界层(PBL) 湍流参量方法	梯度理查逊数(Ri)	同时考虑动力和热力因素 $Ri = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta / \partial z}{(\partial u / \partial z)^2}$ 近地层简化为: $Ri = \frac{g}{T} \frac{\Delta \theta \cdot \Delta z}{(\Delta u)^2}$	—
	总体理查逊数 (Ri_B)	$Ri_B = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta / \partial z}{(u)^2} \cdot z^2$ 近地层简化为: $Ri_B = \frac{g}{T_2} \frac{\Delta \theta \cdot z_2}{u_2^2}$	—
	莫宁-奥布霍夫 长度(L)	$L = -\frac{u_*^2 \cdot C_p \rho T}{kg H_T}$	中国 HJ 2.2—2008 进一步预测模式

气象条件对大气污染物扩散的影响



(1) 采用常规地面观测资料划分大气稳定度方法

我国国家标准 GB/T 13201 采用经过修正的帕斯奎尔(Pasquill)稳定度分级法(Ps), 将大气扩散稳定度分为强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、弱稳定和稳定六级, 分别用 A、B、C、D、E、F 来表示。确定等级时首先用云量与太阳高度角按表 1-11 查出太阳辐射等级数, 再由太阳辐射等级数与地面风速按表 1-12 查找稳定度等级。

表 1-11 太阳辐射等级数

云量(10 成)	太 阳 辐 射 等 级 数				
总云量/低云量	夜间	$h_0 \leq 15^\circ$	$15^\circ < h_0 \leq 35^\circ$	$35^\circ < h_0 \leq 65^\circ$	$h_0 > 65^\circ$
$\leq 4 / \leq 4$	-2	-1	+1	+2	+3
$5 \sim 7 / \leq 4$	-1	0	+1	+2	+3

气象条件对大气污染物扩散的影响

云量(10 成)	太 阳 辐 射 等 级 数				
总云量/低云量	夜间	$h_o \leq 15^\circ$	$15^\circ < h_o \leq 35^\circ$	$35^\circ < h_o \leq 65^\circ$	$h_o > 65^\circ$
$\geq 8 / \leq 4$	-1	0	0	+1	+1
$\geq 5 / 5 \sim 7$	0	0	0	0	+1
$\geq 8 / \geq 8$	0	0	0	0	0

表 1-12 大气稳定度的等级

离地面 10 m 高度处 10 min 平均风速/(m/s)	太 阳 辐 射 等 级					
	+3	+2	+1	0	-1	-2
≤ 1.9	A	A~B	B	D	E	F
2~2.9	A~B	B	C	D	E	F
3~4.9	B	B~C	C	D	D	E
5~5.9	C	C~D	D	D	D	D
≥ 6	D	D	D	D	D	D

气象条件对大气污染物扩散的影响



5、混合层厚度

- 概念
- 由于热力和动力作用，大气边界层内会出现上、下层湍流强度不同的现象。
- 若下层空气湍流强，上层空气湍流弱，中间存在一个湍流强度不连续面，此时湍流不连续面上下两侧污染物浓度差别很大，该不连续面犹如一个盖子一样，抑制下层空气向上输送，污染物在下层空气强烈混合，称不连续面以下能发生强烈湍流混合的层次为混合层，其高度称为混合层高度或混合层厚度。

气象条件对大气污染物扩散的影响



- 在混合层内气温随高度呈中性或不稳定分布，在混合层以上则是稳定分布。
- 混合层厚度是地面热空气对流所能到达的高度，因此它是影响大气污染物铅直扩散的重要因素，它表示污染物在垂直方向上能被热力湍流影响的范围。

气象条件对大气污染物扩散的影响



大气混合层产生的主要原因是温度层结的不连续性，即有上部逆温的存在。根据成因的不同，混合层可分为以下几类：

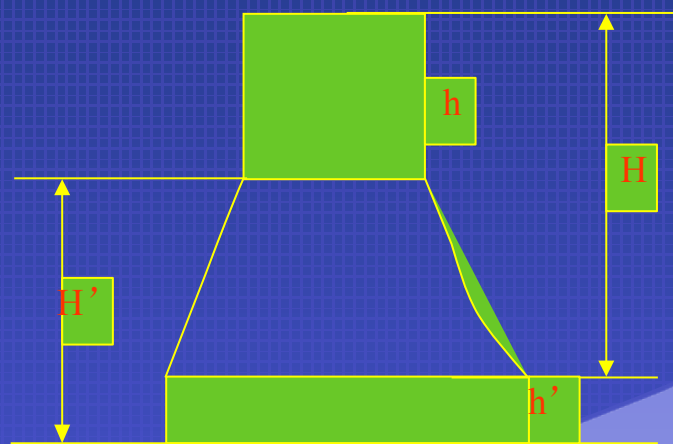
- 1、逆温破坏产生的混合层
- 2、对流混合层
- 3、下沉逆温混合层
- 4、城市热岛混合层
- 5、海陆边界混合层(海陆热力内边界层)

下沉逆温（地面逆温）

➤ 下沉压缩增温效应引起，一般上升降温，下沉增温；

➤ 气团下沉过程中，由于受到压缩，顶部下降距离大，增温多，底部下降距离相对小，增温少，因此形成顶部温度高，底部温度低的气团。

➤ 因为 $h > h'$ ，所以 $H > H'$



陆边界混合层(海陆热力内边界层)

- ❖ 在海岸地带，白天有海风吹向陆地时，因陆地白日的气温比海面高，由海洋吹向陆地 的气流下部逐渐被陆地地面加热，湍流增强，层结变为不稳定或中性。
- ❖ 而其上部仍然保持 来自海洋上的稳定层结，此时气流下部即形成混合层，也称该层为热力内边界层。
- ❖ 该混合 层的高度随离开海陆交界处的距离而变化，越深入内陆，混合层高度越高。

陆边界混合层(海陆热力内边界层)

- ❖ 由于温度层结昼夜不同，因此混合层厚度也有日变化。
- ❖ 晴朗微风的夜间，乡村地区可能不存在混合层，城市由于热岛效应，会有一定高度的混合层。
- ❖ 日出后，随着地面温度的升高，湍流增强，混合层厚度开始增加，到午后达最大值。

可见,混合层厚度对大气污染物的稀释扩散影响很大

- ❖ 如果污染源处在混合层内, 由于上部逆温的存在强烈抑制了污染物的向上扩散, 可近似将混合层顶看作是污染物不能 穿越的上界面, 污染物到达混合层顶时要向下反射, 加重近地面层的空气污染。
- ❖ 如果污染源的高度高于混合层顶, 则上部逆温的存在可抑制污染物向近地面的扩散, 从而使地面浓度降低。
- ❖ 混合层高度也会通过影响烟气的抬升高度而影响污染物的落地浓度。

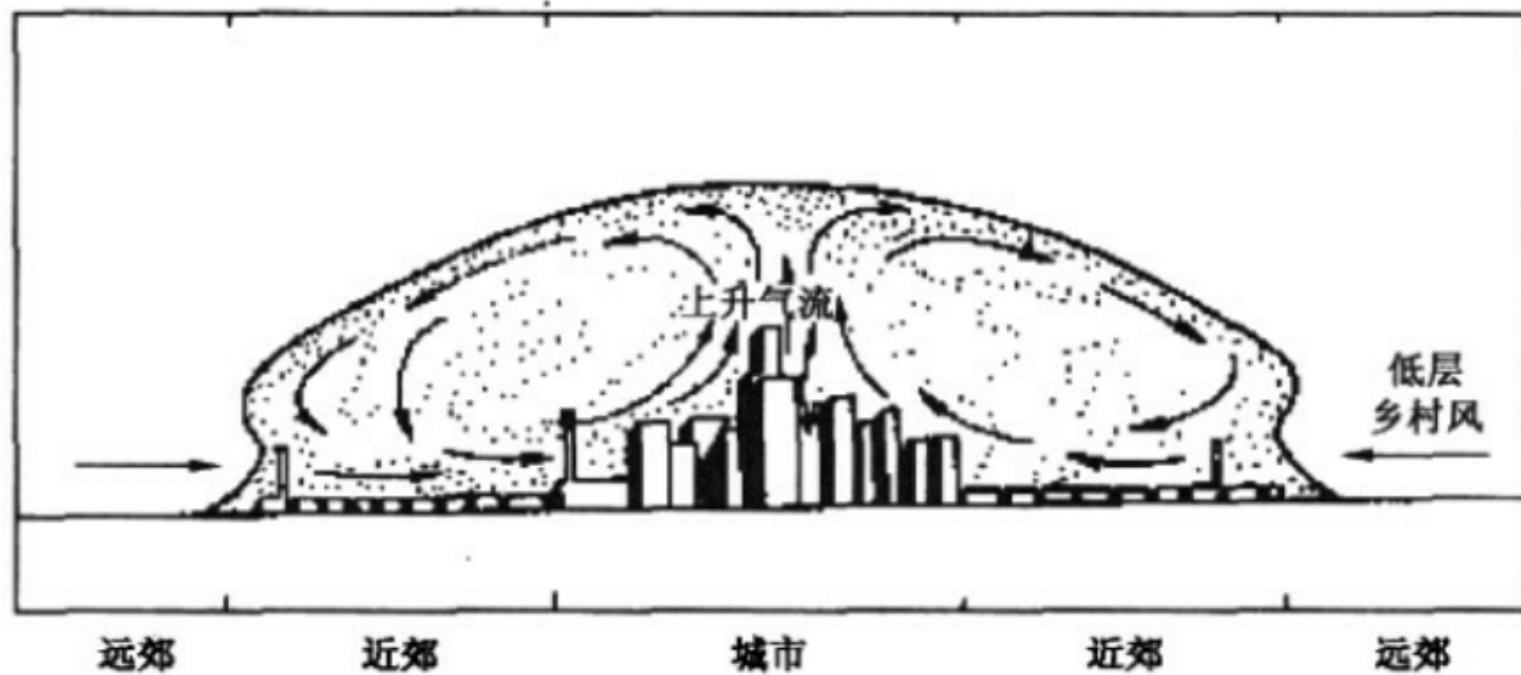


图 1-11 城市热岛环流示意图

气象条件对大气污染物扩散的影响



6、降水对大气污染物的净化作用

降水的净化作用包括云的吸收、降水对颗粒物的冲洗和捕集，降水对污染气体的捕集作用等。

这些净化过程不同，净化效果也不相同。降水的净化作用与降水强度有关，一般来说，1 h降水量在1mm以下的，对污染物的净化作用不大，对较高浓度的 SO_2 尤其如此；1 h降水量在2 mm以上时，污染物浓度才有所降低；降水量大时，污染物浓度降低比较大。可见降水是净化空气的有效因子。

气象条件对大气污染物扩散的影响



- 正因为降水是净化空气的有效因子，因此环评在进行环境空气质量现状监测时，为了能使监测结果代表和反映评价区域的正常背景浓度，一般不要在大雨或雪后监测。
- 当然按照采样的有关规定，也不能在降水时进行监测。
- 雾是悬浮在大气近地面层的小水滴或小冰晶。
- 雾是在近地面层气层非常稳定的条件下产生的，因此在有雾存在的条件下，近地面层的污染物难以扩散，往往造成空气的高浓度污染；但雾也可清洗空气中的一些粒子或气体污染物，因此在雾消散后，颗粒物可比雾形成前减少。

气象条件对大气污染物扩散的影响



7、天气形势

- ❖ 影响近地面污染物浓度变化的各个气象要素不是独立的，也不是各自单独对落地浓度起作用。
- ❖ 为了判断各个气象要素对污染物浓度的综合影响，应分析天气系统和大气环流形势与污染的关系。
- ❖ 天气形势是指大范围气压分布状况。
- ❖ 局地气象条件总是受天气形势的影响和制约的，因此局地扩散条件与大型天气条件相联系。

气象条件对大气污染物扩散的影响



7、天气形势

- ❖ 一般的污染物高浓度往往出现在准静止反气旋控制的区域内。这类反气旋的结构特征为地面是高气压，高空有暖温度脊与之相伴。在这种情况下，一般天气比较晴朗，风速较小，并伴有空气的下沉运动，往往在几百米或1~2 km的高度上形成下沉逆温，阻止污染物的扩散，抑制湍流的向上发展，容易造成地面污染。

复杂风场对大气污染物扩散的影响



复杂风场,是指评价范围内存在局地风速、风向等因子不一致的风场。

一般是由于地表的地理特征或土地利用不一致,形成局地风场或局地环流,如海边、山谷、城市等地带会形成海陆风、山谷风、城市热岛环流等。

1、海陆风



➤海洋和大陆在白天和夜间的热力差异，导致的白天和夜间海洋和陆地之间的风向转换。

➤白天：海风，夜晚：陆风

➤对污染扩散的影响：

✓ 白天海风吹向陆地，海风处于下层，温度较低，易于形成逆温。

✓ 夜间陆风吹向海洋，陆风处于下层，温度和海洋差别不大，不易形成逆温

✓ 易造成污染物往返，海陆风转换期间，原随陆风吹向海洋的污染物又会被吹会陆地。循环作用，如果污染源处于海路风交界处，并处于局地环流，则污染物很难扩散出去，并不断累积达到很高的浓度。

海陆风



热
气
流
上
升

冷
气
流
下
降

海风
陆风

海 洋

陆 地

表面温度低
表面温度高

表面温度高
表面温度低

白天
夜晚

海风

冷气
流
下
降



热
气
流
上
升

海风

海 洋

陆 地

表面温度低

表面温度高

白天

陆 风

海陆风

陆风



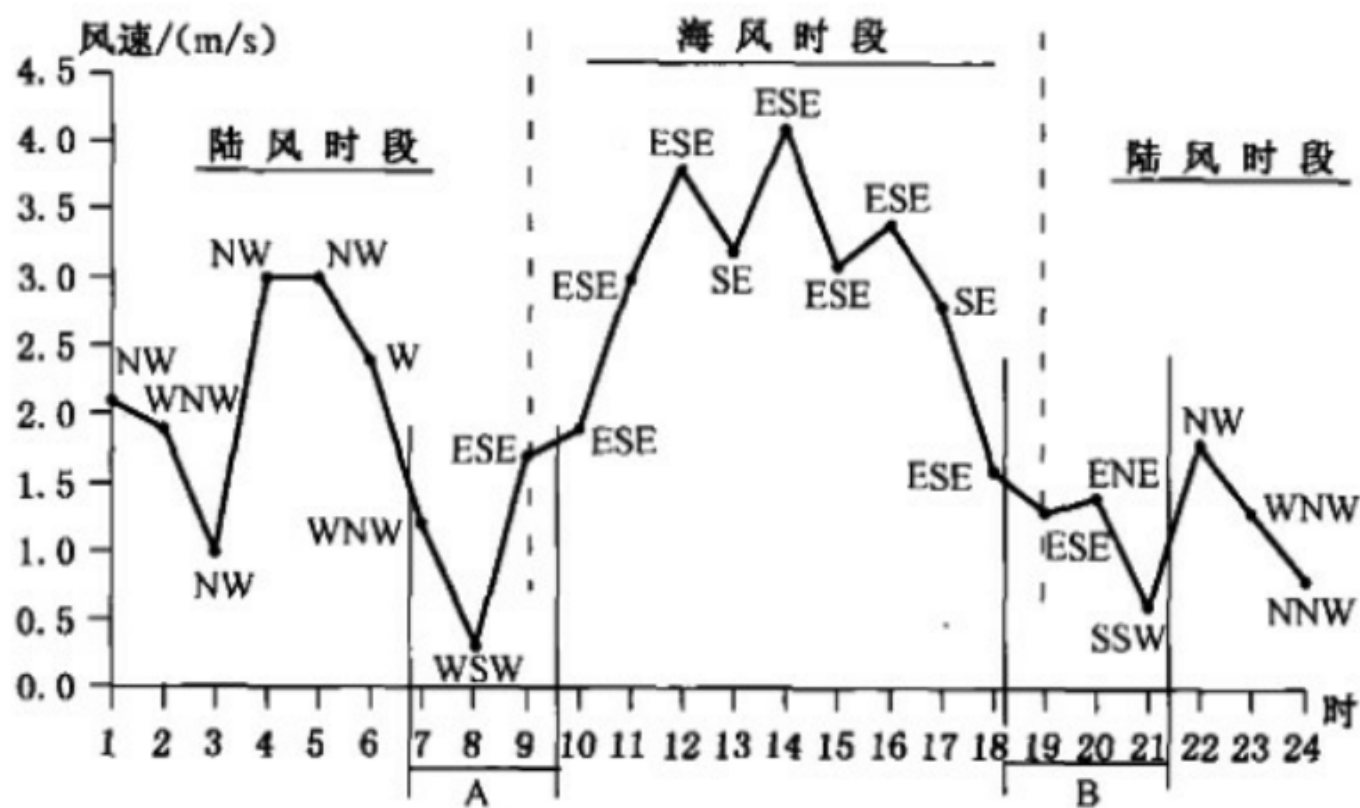
夜晚

表面温度高

表面温度低

海风

海陆风



A 为早上陆风向海风转换时段, 风速较小; B 为傍晚海风向陆风转换时段, 风速较小。

图 1-8 某滨海气象站观测记录 2005 年 6 月 3 日 01 时~
24 时海陆风 24 小时变化

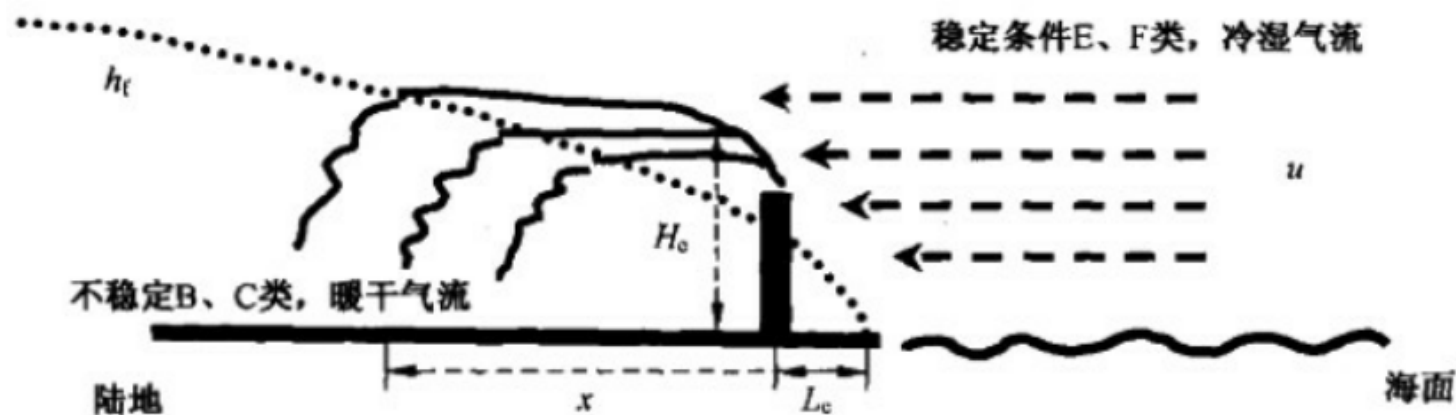
复杂风场对大气污染物扩散的影响



3、热力内边界层（简称丁 TIBL）与海岸线熏烟

在沿海或沿大型湖泊等水体附近，当出现向岸气流（海风）时，由于水陆间的温差和粗糙度不同，原处于稳定层结的海上空气流向陆地时，将发生较强烈的变性，从而形成一个自岸边伸向内陆在铅垂方向逐渐增厚的热力内边界层（TIBL）。TIBL是一种上边界受逆温抑制的对流边界层。当处于稳定大气中的烟羽进入这一混合层后，会出现较高浓度污染，这种状况通常称为海岸线熏烟

复杂风场对大气污染物扩散的影响



注： H_e 为烟囱有效高度(m)， L_c 为烟囱离岸边距离(m)。

图 1-9 白天、海风时热力内边界层与海岸线熏烟示意图

复杂风场对大气污染物扩散的影响



这种熏烟状态下的最大地面浓度有可能比通常不稳定状态下的最大地面浓度高几倍，且由于海风出现频率较高、持续较长导致海岸线熏烟出现的频率较高、持续时间较长。

关于热力内边界层(TIBL)厚度,一般可根据国内外有关实验拟合的经验公式来计算:

$$h_i(x) = 2.3d(L_c + x)^{0.5} \quad (1-30)$$

式中: x 为离烟囱的下风向距离(m); L_c 为烟囱离岸边距离(m); d 为烟囱所在区域下垫面的粗糙度参数,当 $Z_0 \leq 0.5$ m 时, $d=1$; 当 $Z_0=1.0$ m, $d=2$; 当 Z_0 在 0.5~1 m 之间或大于 1 m 时, d 可用其线性内插或外延确定。地面粗糙度 Z_0 一般为实验所得,可参照烟囱所在地的下垫面情况取值(详见 8.1.9.1.3 粗糙度参数选取内容)。

Garratt(1992 年)提出的热力内边界层(TIBL)高度模式为:

$$h_i(x) = \sqrt{\frac{2(1+2\beta)H_{0n}}{\gamma\rho c_p u_n}x + h_{i0}^2} \quad (1-31)$$

式中: $h_i(x)$ 为热力内边界层(TIBL)高度(m); h_{i0} 为次级采样步长初始时的热力混合层高度(m); H_0 为陆地表面热感通量(W/m^2); γ 为混合层温度梯度(K/m), 常量; ρ 为表面的空气密度(kg/m^3); c_p 为常压下的热容($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$); u 为热力内边界层内的平均风速(m/s); n 下标, 表示该常量为第 n 次采样的数据; β 为热力内边界层顶部向下气流热量与地表向上气流的热量的比率, Garratt 通过大量的实验数据(陆地对流边界层 CBL)得出 $\beta=0.2$ 。而 CALPUFF 模型海岸线模式中利用的是 Weisman 于 1976 年提出的热力内边界层高度计算公式, 其中等价于上式中的 β 取零, 表示在混合边界层的顶部没有夹带气流。



3、山谷风

- 白天：山坡升温快，山坡气流快速上升，空气由谷底补充山坡——谷风
- 夜间：山坡降温快，山坡冷空气流向谷底——山风
- 处于山谷地区的污染源很难扩散，早期一些大气污染事件都发生在山区，马斯河谷烟雾事件。如今人们认识到这一常识，山区成为旅游胜地，而不再是建造工业企业的胜地。

山谷风



白天:谷风
夜晚:山风



山谷风：谷风



白天:谷风

谷风



山谷风：山风



夜晚：山风

山风

