

工业烟气 在大气中之扩散

П.И. 安德列也夫 著

沈阳铝镁设计院 译

冶金工业出版社

工业烟气在大气中之扩散

П.И. 安德列也夫 著

沈阳铝镁设计院 译

冶金工业出版社

П. И. Андреев
РАССЕЯНИЕ В ВОЗДУХЕ ГАЗОВ,
ВЫБРАСЫВАЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
ПРЕДПРИЯТИЯМИ

СТР. И АРХ. (Москва—1952)

工业烟气在大气中之扩散

沈阳铝镁设计院 译

*

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲 45 号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印

新华书店发行

*

1952年8月第一版

1959年8月北京第一次印刷

印数 2,010 册

开本 787×1092 • $\frac{1}{32}$ • 69,000字 • 印张 8 $\frac{12}{32}$ •

*

统一书号: 15062 • 1758 定价 0.39 元

书中討論了工业企业烟气排入大气中的扩散理論。列出烟气經高烟囱排入大气中和烟气自由散入大气中时的預想濃度計算公式。此外书中还对于烟气在大气中的扩散理論和实验資料做了比較，並且举出了預想濃度計算的实例。

本书可供工业企业工程設計人員以及劳动保护和卫生监督人員参考之用。

本书由沈阳鋁鎂設計院专家工作科沈宁兰、毛学恒及孙宝林翻譯，由王历前及張云田审校。

目 录

前言.....	1
緒論.....	2
气象学概論.....	5
烟柱和烟云的扩散公式.....	13
烟气在大气中之扩散理論与試驗数据的比較.....	66
确定大气中烟气浓度的例題.....	75
結束語.....	85
附录 1	93
附录 2	97
附录 3	100
附录 4	103
附录 5	104
参考文献.....	104

前 言

关怀劳动人民的健康，是苏联劳动保护部門一項最重要的任务；因此在苏联《……人材、干部是世界上所有一切宝贵資本中最宝贵最有决定意义的資本……》。*

在苏維埃国家里，劳动保护問題极被重視。由于布尔什維克党和苏維埃政府經常注意改善苏联人民的劳动条件，因而生产中的人身事故及疾病大为减少。

在苏联有許多中央和地方的科学研究所都在研究有关劳动保护方面的課題。这些研究所在工业的各个部門中过去都进行了，而且现在还在进行着許許許許的研究工作。正由于做了这些工作，使得很多改善劳动条件的措施，被貫徹到实际中去。

保持大气的清洁，尤其是在工业区内，是一个非常复杂的問題；而这一課題的研究，尚处在开始阶段。这样一項复杂重要的問題的解决，是專門从事科学研究部門的首要任务。

本書內闡述的是一些理論上的原理，在寻找污染物于大气中分布的规律性方面，在实验和进一步的理論研究中，它們可能会起些指导作用。了解这些规律，会有助于解决消除大气被污染的一系列实际問題。这些問題中首先应包括：工业及民用建筑的配置，排入空气中的有害污染物的净化程度及經濟性，一个企业应如何正确地組織排放有害物等等諸問題。

知道大气中污染物的扩散规律，对工业企业的設計者們，以及卫生防疫监督机关是頗有益处的。

* 見約·維·斯大林著“列宁主义問題”第11版491頁（俄文版）。

緒 論

消除大气被污染，無論在卫生方面和在經濟方面，都是一項重大的問題。

关于被工业排出物所污染的空气对生物、植物、建筑物的影响問題，本書不作探討（这不是本書的主题）；我們是要簡略地闡述一下，于目前和将来在保持空气净化方面可能使用的方法。

对于在工艺过程中散放大量有害气体或灰尘的企业来说，装設废气、灰尘收集装置是防止空气被污染的最可靠的办法。但是，到目前为止，对大部分排入大气中的气体，尚未找到十分有效和切实可行的净化方法。空气除尘装置在工业中使用較多，然而它們还需更进一步的改进和广泛地运用到生产中去。

由于保持空气中一定的清洁度是件重要和困难的事所以使得人們总願把一些虽然不能保証全部净化，而仅能将有害气体的排出减少 40~50% 的空气净化装置，也运用到工业中去。

生产过程中采用气体回收的办法，可以大大减少有害气体的排出量。

而生产过程本身的合理化，在这一方面也能造成良好的效果。

所有这些措施在保持空气清洁的工作中，是十分重要的，因此在技术上应按照这一方向开展工作。在将来采用上面我們所談到的最有效的除污方法，亦未必能使我們当前所

需要的空气净化各种措施变得完全无用。因此，在研究和健全最有效的方法的同时，还必须更进一步地研究目前使用的行之有效的防止空气被污染的办法。首先与此有关的，是对于工业企业排出的有害气体和灰尘在大气中的扩散情况的研究。

我们的卫生监督机关制订了对于设计中的企业或已投入生产的企业均须遵照执行的卫生标准。

为了保持大气的清洁度，在标准中，一方面规定了排出有害物的企业与居民区的间距，另一方面也规定了有害气体排入大气层的高度。

由于有了这些必须履行的标准，就给工业企业的设计者们于设计初期，即编制设计任务及厂址选择阶段，提出了许多极其重要和复杂的问题，例如：考虑到建厂区内已有的企业所造成的染污环境，而根据卫生上的要求，对于在该厂区内所建立的企业的内容许产能；所设计的企业与居民区的配置；地形等等问题。在设计中的下一阶段，即决定厂区、车间平面配置及确定排风和进风地点时，更全面地和深思熟虑地考虑这些问题，对组织车间内及所设计企业周围的空气保持清洁的问题具有重大的意义。

本书中将讨论在排出有害物企业的周围地区内，烟气流及烟气云的扩散问题。

熟悉了根据理论分析、实际观察及试验所获得的扩散规律后，会十分有助于上述设计问题的解决。

在现有的了解水平下，大气中污染物的扩散以及其被污染程度的确定等问题尚不能全部而准确地获得解决。有关这一问题的研究工作做得非常少，因而仅能近似地解决扩散问

題，这些研究工作中包括有一些經实验确定的系数。尽管对大气中气象的变化曾试图反映在这些方程式中；然而像地形、气流行径中的建筑物一类的阻碍等等因素都完全未予考虑。

虽然这只是概略的资料，但是这些最有根据的气体扩散方程式，对设计及卫生部门的工作者说来会是非常有益的。本书中所提出的方程式均系在实际工作条件（于工业区内）下，通过专门的现场实测，受到了长时期的实践的考验，这一点在以后的叙述中会看得很清楚。

本书内所列举的方程式，是对这一问题研究的初步尝试。无疑地，这些方程式，尤其是试验系数在将来会得到修正；同时也可能出现完全由另一个途径解决问题的新方程式。但是，目前还必须利用下列这些既有可靠的理论根据，又经过实践验证的方程式。所提出的方程式，虽然能系统地反映大气中污染物的扩散过程，但在实际应用中尚须作某些修正。我们所提出的修正意见会扩大和引伸物理—数学的解释，并且使得这些公式更适合于实际计算；这一点以后会明显地看出。

气象学概論

我們所研究的問題是要了解大气下层的情况，即对流层。虽然大气层很高，但影响气候变化的只是下面一层，即对流层。大家都知道，最高的云层很少高出地面10公里。距地面5公里之下层大气层的重量占大气总重的50%，而90%的水分都在离地面5公里范围内。

对流大气层相当不稳定，因为其中經常产生垂直气流，使水蒸气凝結和出现云彩及雨雪。一切气候现象都发生在对流层里，而且主要是在这层的下部分变化着。

从图1上可以看出，大致在11公里以下的气温通常是随着高度的增加而下降；而在此以上的温度，則恒定不变。

温度随着高度的不同而变化的值称之为垂直温度梯度。

温度不变化的大气层更高部分称之为同温层。

大部分的气候现象都是根据气团稳定与否来决定。当空气稳定时，难以形成垂直移动，而不稳定时，則恰恰相反而易于形成垂流动。所观测的温度梯度便是稳定性的标准。

将空气垂流动与水平流动相比的话，在大多数情况下，前者流动的速度不太大。

空气随高度的增加而正常下降的情况，列举于图1，每100公尺相差大約为0.5~0.6度，而在某些特殊条件下，可以产生相反的温度梯度。这时則形成某一随高度的增加而温度反而增加的空气层，这种现象称之为温度逆增。在寂靜明朗的夜晚，由于大地幅射冷却的关系，靠近地表面常常形成这种逆增现象。若这种逆增现象很强，就像有一个隔挡物一

样，无论是对流或垂直接动均不能透过它，因为上升气流被极稳定的气层阻挡着。温度逆增时，气雾具有清晰的上层边缘，它与逆增的底层相重合，因此，脏物不能透过逆增层。

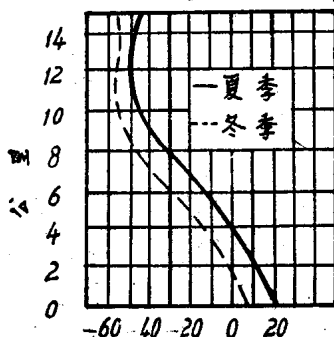


图1 温度随高度的变化

在大的空间内，空气的平均垂直速度很小，很少超过7公分/秒。

强大的风系主要是水平气流。风是不稳定的气流。当无风与阵风交替时，风速则发生变化，这时风向也急剧的变化。这种快速的变化主要是由于地面起伏不平所致，因而产生涡旋，并与总气流汇合在一起流动。

风向随高度增加的一般变化示于图2。

空气的水平流动，是由于压力差的关系而产生的；但是除压力以外，对空气流动有影响的，还有与地面相触的摩擦力及地球自转偏向力，故风速不会由高压流向低压，在上述各种力的作用下，距地面不同高度的风向如图2所示。摩擦力的影响随高度增加到900公尺左右而逐渐减小。在900公

尺高或更高的大气层里，风向是顺等压线流动。在这种情况下对风向有影响的只有两种力，即压力和地球自转偏向力。图 2 所示的风向应视为平均的风向，因为在流动的影响下，风速和风向不断地在变化。

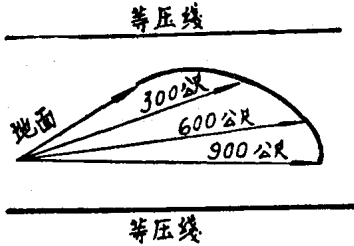


图 2 在正常条件下风向随高度的增加的变化

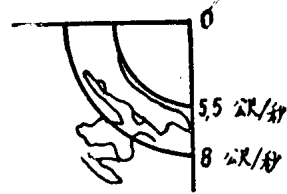


图 3 在一分钟内风速和风向的大致变化

图 3 所示为一分钟内风速和风向在水平方向变化的例子。

在不足一秒的时间内，就可能出现风的阵发。不稳定空气团中的对流，常致使气流扰动的时间较长。

大气中产生涡动的主要原因，就在于空气与起伏不平的地面摩擦。地面的起伏可引起涡旋，而这种涡旋能向上扩展到很高的空气中。地表面起伏不平的程度增大，会使流动空气中涡旋的范围扩大和涡动性增加，这是很自然的现象。因而这种涡动性被称为机械涡动。

大气中产生涡动性的另一原因，是由于温度的分布不均所致。这种涡动与前种涡动不同，被称之为热力涡动。

风的涡动对携带水蒸气、热及一些脏物来说，有着很大

的意义。正由于这种涡动的关系，才使大气中的气流，尘雾和气雾扩散开来。

要想讨论大气的涡动性，就必须对于有关涡动内部结构的问题详细说明。我们的气象学家已研究出关于涡动分布结构的学说。根据这一学说，气流偏离中心的脉动，可视为不同的涡动迭合的结果。发生波动速度变化的界限叫做波动范围。波动的范围越大波幅也就越大，波动范围越小、波幅也就越小。远距离的波速变化是由于大范围涡动的缘故，而近距离内的变化，则是由于小范围涡动的缘故。

如果将涡动分布结构的观念，运用到烟气在大气中的扩散过程上，就必须指明，烟气气流的扩大主要是因小范围的涡动，而整个烟柱在空间之弯曲，则是由于大范围的涡动所致。这种情况在Г.В.谢列哈夫斯基〔1〕对工业区的烟雾的理论研究中，解释得很清楚。

在下面详细研究工厂烟囱排出之烟气的扩散理论时，我们还要详细地谈到关于把涡动结构学说用到烟气在大气中扩散过程上的情形。

大气底层中风速随高度的变化示于图4。

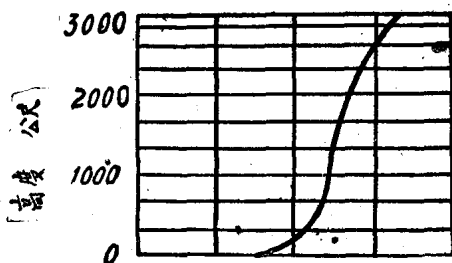


图4 正常条件下的风速随高度增加的变化

地面大气层中风速随高度的变化可按下列式计算^①：

$$v = v_0 \frac{z^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}}{z_1^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}}, \quad (1)$$

式中： v ——在高度 z 处之风速，公尺/秒；

v_0 ——在高度 z_1 处之风速，公尺/秒；

n ——与大气稳定性有关的数值，或者换句话说，也就是与观测到的温度梯度有关的数值；在一般条件下数值 n 的范围多为 0 至 0.5；

z_0 ——地面起伏的程度（地面以上的高度，地面处风速为零）。

当 $n=0$ 时，风速随高度的变化用下列式^②表示之：

$$v = v_0 \frac{\ln \frac{z+z_0}{z_0}}{\ln \frac{z_1+z_0}{z_0}}. \quad (1a)$$

令公式 (1) 中的

$$\frac{z^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}}{z_1^{\frac{n}{2-n}} - z_0^{\frac{n}{2-n}}} = \varphi$$

① 这个公式由 Л. Л. 拉赫特曼 [2] 求出，他把这一公式写为 $\frac{n}{2-n} = s$ 。

② 若将 $n=0$ 时求得之公式 1 中的不定式展开，就可从该式中求得公式 (1a)。

及公式 (1a) 中的

$$\frac{\ln \frac{z+z_0}{z_0}}{\ln \frac{z_1+z_0}{z_0}} = \varphi,$$

則得 $v = v_0 \varphi^*$ 。

如 $z_1 = 10$ 公尺，当 $z_0 = 0.1$ 公尺时 ($n=0$ 及 $n=0.2$ 时)
 φ 与 z 的关系表明于表 1。

表 1

視高度而定之 φ 值的变化

z 值 (公尺)	φ 值		z 值 (公尺)	φ 值	
	当 $n=0$	当 $n=0.2$		当 $n=0$	当 $n=0.2$
20	1.15	1.19	120	1.54	1.79
40	1.30	1.39	140	1.57	1.85
60	1.40	1.57	160	1.60	1.89
80	1.46	1.63	180	1.63	1.92
100	1.50	1.71	200	1.65	1.95

只要知道 10 公尺高处的平均风速，利用此表就能很容易地求得 200 公尺以內任一高度的风速。

根据气候学手册可求出苏联不同地区的主导风向及风速 v_0 。

为了从理論及实际上来研究烟气在大气中的浓度，重要的是要了解一昼夜內风的向量变化，即在一昼夜內风速和风向的变化。很多气象学家都研究过这个问题。例如，关于这一点，Д.Л.拉赫特曼 [2] 写道：

* 公式 (1) 和 (1a) 反映出离地面数十公尺高之地面气层中的风速的变化，所以对较高的层次來說 φ 只是近似值。

“风向量的变化正是由下述两个因素所引起的：

第一、是因水平压力差的变化；

第二、是由于涡动强度的变化，也就是由于涡动粘滞系数的变化。

上述因素之第一点，决定于范围大的大气发生过程而与地面层大气中所发生的过程无关。至于第二点，则决定于地面层中垂直温度梯度的变化，并具有正常的日变，现在至少人们都已清楚，一昼夜内涡动粘滞系数的变化性质”

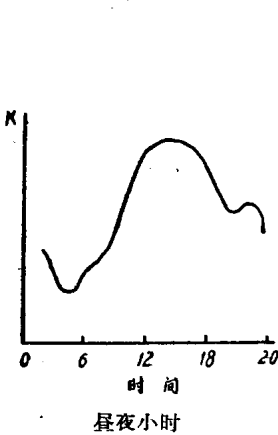


图5 涡动粘度系数的日变

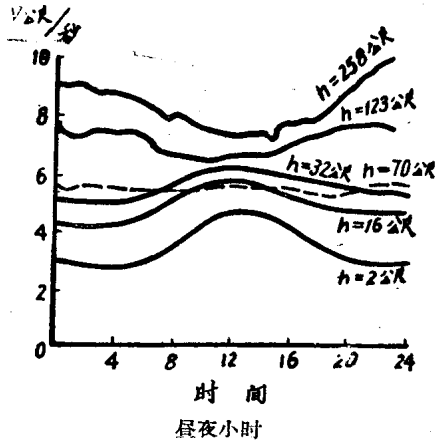


图6 不同高度之风速的昼夜变化范围

图5所示，是B.C.舍维列夫〔2〕根据1942年10月27日在阿尔逊附近的观测所获得的涡动粘度数K的日变。讲到关于风的向量昼夜变化时，我们所指出的只是不受气候变化的扰动而破坏的一般情况。

许多观测很清楚表明，风速与风向的昼夜变化与涡动的

昼夜变化有直接的关系。通常在中午能很快的产生最大的风速，而夜间，观测到好风速却很小。

根据 Гельман [2] 的数据在图 6 上绘出不同高度的风速变化情况。从图 6 可以看出；在高于某一水平线以上时（在此种情况下高度水准线约为 70 公尺），风速却具有相反的日变：即夜间最大，白天最小。风速日变的转变高度的变化范围极大，视一年的季节与风力为转移。在夏季里，在很强的涡动下转变高度有时达到 300 公尺，而在冬季却下降到 30~50 公尺。风速变化的变幅通常不超过平均速度的 10~20%。

除掉风速的昼夜变化外，风向也有变化。风与等压线的偏差角在白天里最大，而夜里最小。