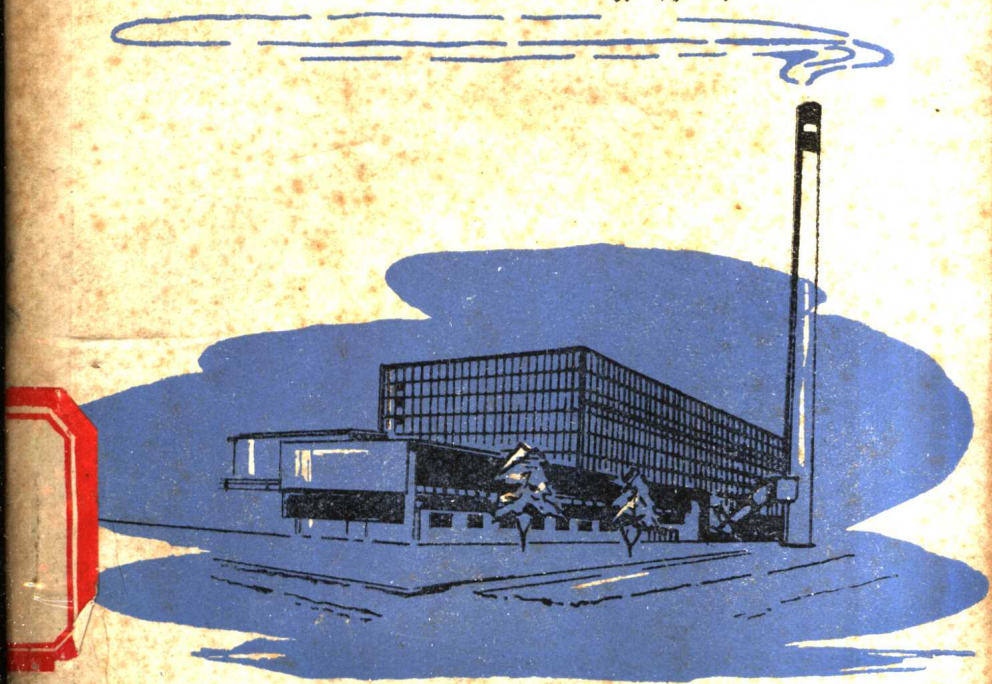


节约能源防止污染小丛书

如何改进烟囱的设计

张永年



科学普及出版社

节约能源防止污染小丛书

如何改进烟囱的设计

张永年 编著

科学普及出版社

内 容 提 要

烟囱林立，浓烟滚滚，不仅浪费燃料，还严重污染环境。能不能使烟囱设计得更加合理，燃料燃烧更加充分呢？本书就是介绍烟囱设计知识的：从烟囱的基本原理谈起，谈到烟囱的型式，合理设计和选用，以及烟囱的结构与施工。

本书取材新颖，通俗易懂，可供工业炉设计制造的工程技术人员、工人及专业院校师生参考。

节约能源防止污染小丛书

如何改进烟囱的设计

张永年 编著

责任编辑：方佩刚

封面设计：窦桂芳

*

冶金工业出版社出版(北京西郊紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
唐山地区印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：2 字数：42千字

1981年5月第1版 1981年5月第1次印刷

印数：1—4,700册 定价：0.20元

统一书号：15051·1008 本社书号：0209

编 者 的 话

能源是发展工业的原动力的基础，而煤又是能源首要原料。国内各工业企业单位，尤其是广大的集体所有制单位，用煤约占全国一半以上，而这些单位大多不了解如何节约能源，提高燃烧效率，如何考虑技术设计，因此大量加热设备的燃料利用率很低，有些甚至低到20%以下。这样浪费掉的燃料，却成年累月地变成污染环境的滚滚浓烟。

烟囱设计是本书的主要内容，其中包括了烟囱的“自拔力”，烟囱的型式，烟囱的选用及其结构、测控等简易技术。这些知识如能在广大中小型工业企业部门得到普及推广，则对节约能源，减少大气污染，一定能起良好的作用。

编 者

1980年9月

目 录

一、烟囱的作用	(1)
烟囱为什么会产生“自拔力”？	
烟囱与燃烧	
烟囱与防治大气污染的关系	
烟囱剪“辫子”	
对烟囱作用的不同看法	
二、烟囱的型式	(17)
烟囱的有效高度	
提高排烟速度和具有反压的烟囱	
增加烟气的热容量和多筒集中式烟囱	
带有除尘器的钢板烟囱	
增加烟气动能的烟囱	
三、烟囱的选用	(34)
平原地区	
丘陵地区	
山 区	
近水地区	
四、烟囱的结构与施工	(49)
烟囱的风振	
烟囱的材料	
烟囱的附件	
烟囱的施工	
附 录	(60)
每米高度烟囱所产生的自拔力	

一、烟囱的作用

烟囱是各行各业应用得最普遍的一种装置，它随着工业发展的不同阶段，有着不同的作用。不仅如此，烟囱还与人民生活有着密切的联系，每家每户几乎都离不开它。人们熟悉它，也经常和它打交道，因此在这里介绍有关烟囱的一些科学知识，也许在工作上或生活上都会有所帮助。

1. 烟囱为什么会产生“自拔力”？

生煤球炉时，没有烟囱，不仅炉火不旺，而且还会弄得满屋子都是烟气，呛得人眼泪直流、喘不过气来。如果安上了烟囱，煤球炉就“呼呼”地直冒火舌。为什么呢？这是由于烟囱有一股向上的“拔力”，加强了炉子的通风。它的作用相当于在炉子底下扇扇子或者用风机鼓风一样，使煤得到充分的燃烧和把烟气顺畅地排到大气中去。

烟囱为什么能产生自拔力呢？大家知道，所有气体都有“热轻冷重”的特性。严格地说，气体的比重与其绝对温度成反比（绝对温度 $^{\circ}\text{K} = 273 + \text{摄氏温度}^{\circ}\text{C}$ ）。气体的绝对温度越高，它的比重也就越轻。例如，在 0°C （也即 273°K ）、1个大气压的条件下，空气的比重是 1.293 公斤/米³，那么当温度升高到 100°C （ $100 + 273 = 373^{\circ}\text{K}$ ）时，它的比重则相应减轻为：

$$r_{100} = 1.293 \frac{273}{373} = 0.9458 \text{公斤/米}^3$$

所以虽然烟气的比重在同样温度下比空气略重些，但是由于锅炉排出的烟气温度比较高，一般均在 150℃ 以上，因此热烟气的比重要比外界冷空气的比重小，烟囱的自拔力正是利用这二者的比重差而产生的。不同温度的空气和烟气的比重见表 1 所示。

烟气和空气的比重 (1 大气压)

表 1

温 度 (℃)	0	20	60	100	160	200	300
空气比重 (公斤/米 ³)	1.293	1.2045	1.0595	0.9458	0.815	0.7457	0.6157
烟气比重 (公斤/米 ³)	1.295	1.2069	1.0619	0.95	0.816	0.748	0.617

烟囱、锅炉和大气三者之间的关系，可以用 U 形管原理来说明 (图 1)。烟囱是 U 形管的一侧，里面充满着比较轻的热烟气，而在 U 形管的另一侧则是比较重的冷空气。很显然，冷空气就会把热烟气从烟囱中“挤”出去。外界冷空气与热烟气的温度差越大，烟囱的自拔力也就越大；而且随着烟囱高度的增加，烟囱的自拔力同时也相应增大。烟囱的自拔力可以用以下公式来计算：

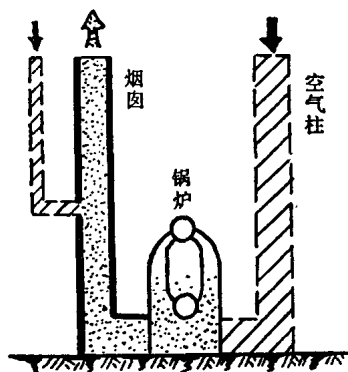


图 1 烟囱自拔力的产生

$$S = H(r_{ik} - r_y)$$

式中 S —— 烟囱的自拔力，公斤/米²；

r_{ik} —— 空气的平均比重，公斤/米³；

r_y —— 烟囱内烟气的平均比重，公斤/米³。

例如有一烟囱高 100 米，要计算排烟温度为 160℃ 时的烟

囱自拔力，假设外界空气温度为 20°C 。查表1得空气比重 $r_{\text{ik}} = 1.2045$ 公斤/米³，烟气比重 $r_{\text{y}} = 0.816$ 公斤/米³。将上述数字代入公式，即可求得烟囱的自拔力为 38.85 公斤/米²（毫米水柱）。

在自拔力的作用下，烟囱在正常工作时，筒体内应该是负压，也就是说烟囱内的烟气压力低于外界的大气压力，所以烟囱就是不十分密封，烟气也不会向外喷出来。让我们再看一下图1，如果烟囱中间有一个孔洞，那么这就形成了另外一个U形管，冷空气只会从这个孔洞流到烟囱中去，然后与烟气混合在一起，排出烟囱去。

但是一些小型锅炉，其中特别是在一些取暖锅炉的烟道上，往往会发生烟气外喷的现象，这又是什么原因呢？凡是利用烟囱作为自然通风的锅炉，不管是工业的还是民用的，造成烟道冒烟的现象，归根到底是由于烟囱的自拔力不够而引起的。这种型式的锅炉燃烧所需要的空气，是利用烟囱的自拔力吸进来的，而燃烧生成的烟气，同样是由烟囱的自拔力排出去的。因此烟囱的自拔力应该克服从空气进入锅炉开始，一直到烟气排出烟囱为止所产生的全部阻力，这样才能保证锅炉的燃烧。整个烟道系统都是负压，烟气在正常情况下是不可能从锅炉或烟囱的缝隙处漏出来的。

冒烟的原因有两种：一种是先天性的，就是在锅炉设计安装时，烟囱的高度就不够高，烟囱的自拔力不足以克服烟气的阻力；另一种是运行一段时间后，锅炉受热面或烟道的局部地方被炉灰所堵塞，增加了阻力，使烟气无法顺畅地排出而造成的。

但是在一些民用的小锅炉上，烟道冒烟却没有规律性，时好、时坏，问题还在于烟囱。大家一定记得在电影《小兵

张嘎》中,小淘气张嘎把邻居家的烟囱堵住,使烟气直冒的情节吧。其实张嘎是从实践中懂得了这么一个科学道理:把烟囱出口堵起来,增加烟道内的阻力,就可以使锅炉造成正压而把烟气逼向炉口,喷出炉外。但是有时大自然里吹起一阵大风,强大的气流盖住烟囱的出口,使烟气不能顺畅地从烟囱排出,并造成正压而从其他地方窜出去。所以当安装小型锅炉,特别是民用锅炉的烟囱时,应该尽可能避开主要气流经过的地方。

要解决这个问题,一方面是增加烟囱的高度,使自拔力增大,另一方面要合理布置,尽可能地减少锅炉和烟囱的阻力。例如当烟气由两侧进入烟囱时,为了避免两股方向相反的烟流互相碰撞,造成烟流的堵塞而使阻力增加,可以在烟囱中间烟道进口处做一道隔墙,如图2所示。隔墙的平面位置与烟道的轴线成 45° 角,其高度为烟道高度的 1.5 倍。

当然,这里所说的是尽可能地减少阻力。但锅炉燃烧的目的是利用烟气的热能,因此有些阻力还是必不可少的。例如取暖锅炉的烟道,就是要尽可能多的在房间内多经过一些地方,以增加热能的利用。而当砌筑民

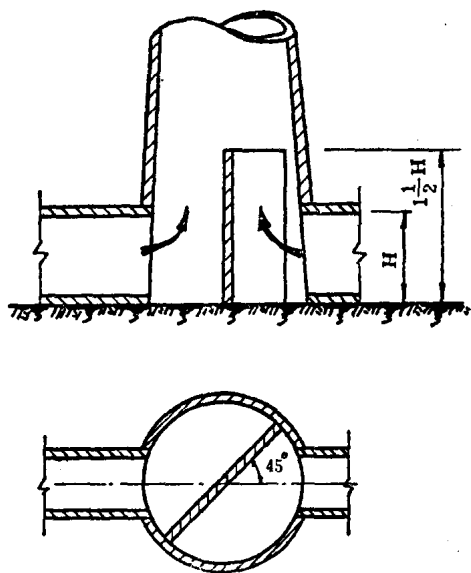


图2 烟囱的隔墙

用的炉灶时，炉子是否“发火”，直接取决于烟囱布置得是否合理。在建造时，要注意使烟气尽可能多与锅底接触，如图3所示。如果燃料从C侧加进，那么烟气进到烟囱的位置B点就比A点好，因为烟气流经的路程又增加了AB这一段。如果我们把燃料进口改在D点，那么从减小烟道阻力来看是有利的，因此自拔力相对来说是增加了，炉火也就烧得更旺。

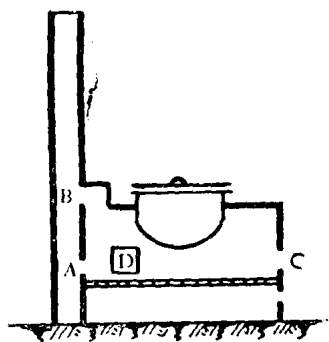


图3 民用炉灶

但是锅底被加热的面积却很小，大部分热量直接从烟囱中排走，烧东西的速度反而慢了，燃料消耗量也增加了，真所谓事倍而功半。

2. 烟囱与燃烧

烟囱最初的作用是利用其自拔力把空气吸入，使锅炉获得足够的氧气帮助燃烧，并使热烟气由烟囱排出，烟囱起到通风排烟的作用。

但是随着锅炉容量的增大，锅炉的受热面越来越复杂，相应的阻力也就增加，烟囱的自拔力不足以克服这些阻力，因此利用烟囱来帮助燃烧已经是不可能的事。正因为如此，在大容量的锅炉上都装有送空气用的送风机和排烟气用的引风机。但是烟囱仍然是观察锅炉燃烧情况的监视哨。因为燃烧的好坏，最直接、最迅速地反映在排出烟囱的烟气颜色上。有经验的工人，从烟气的颜色上，就可以判断哪一只锅炉烧得好，而哪一只锅炉却烧得并不理想。

那末，烟囱中排出的烟气应该呈什么颜色好呢？

烟囱冒黑烟，那当然不好。因为黑烟表示烟气中含有大量没有燃尽的炭粒和烟尘。锅炉的燃烧不完全，不但使锅炉的热效率降低，而且严重污染了周围环境。不仅如此，还由于燃料的未完全燃烧使烟气中含有较多的一氧化碳，如果达到一定的浓度，被人吸入后，就会造成煤气中毒。

烟囱冒白烟好不好呢？人们往往有这么一个错觉，认为烟囱冒白烟就是锅炉烧得好，其实也不尽然。对于烧天然气或石油的锅炉来说，当燃烧良好时，烟囱冒出的烟气应该是无色透明的，在白天基本上看不出来，只有在夜晚将临时，在深色天幕的陪衬下，才能看到冒出的白烟。但是，我国大多数锅炉是烧煤的，如果烧煤锅炉的烟囱里喷吐出如同团团棉絮般的白烟，那么表示在燃烧过程中，送进锅炉的空气要比燃烧所需要的空气多得多，虽然燃烧比较好，烟气中的炭粒都燃烧尽了，烟气呈白色，但却大大增加了排出的烟量。而影响锅炉效率中最大一项损失，就是被烟气带走的热量损失。所以烟囱冒白烟，虽然减少了燃料未完全燃烧的损失，却增大了排烟损失，锅炉的效率也不会是最佳的。

有时可以看到烟囱排出的却是黄烟，那是为什么？这也是一个很不好的现象。原来燃料在燃烧时，可使空气中的氮气被氧化而成为氧化氮，烧油或烧气锅炉产生的氧化氮要比烧煤的锅炉多。如果送入锅炉的过剩空气太多或炉膛温度过高，就有可能生成大量的氧化氮，这是一种红褐色的有害气体，排出烟囱时看起来就象一条“黄龙”腾空而起。

那么，烟气究竟应该呈什么颜色呢？烟气中既要没有燃尽的炭粒和烟尘，而送入锅炉的空气又要不能过多，烟气看上去呈淡淡的青灰色，这就表示锅炉的燃烧情况良好，锅炉

的效率达到较高的水平。

既然排出烟囱的烟气颜色与锅炉的燃烧有着密切的关系，所以为了使锅炉能及时调整，始终维持在最好的水平，人们就特别注意到对烟囱出口烟气的监视。开始时，在能看到烟囱出口的地方设置专人值班，并用电话直接与锅炉控制室的值班人员联系，随时告知烟气颜色的变化情况，作为锅炉操作调整的依据。

随后，人们利用光电原理制造烟色指示仪，使运行工人随时能够观测到烟气颜色的变化情况。烟色指示仪的结构见图4所示，分为发射和接受两大部分。发射部分包括稳压变压器（将交流电变为直流电，使显示仪表读数不致受电源周波变化的影响）、可变电位器（用来调整显示仪表的标准点）和集光器（将散射的光线集合为一束光柱，象手电筒头一样，它固定在烟道的一侧）。接受部分（是由硒光电池片和毫伏表显示仪组成）。由发射部分射出的光柱，通过烟道空间，聚集在烟道另一侧的硒光电池片上。发射部分的光线强度是固定不变的，但聚集在硒光电池片上的光线强度却随着

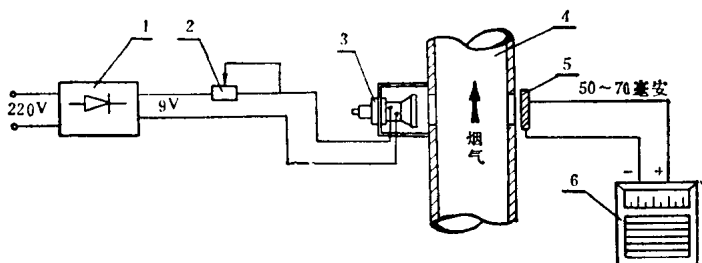


图4 烟色指示仪

- 1—JWD-2型晶体管直流稳压器；2—WTX-1型可变电位器（0~38欧）；3—集光器；4—烟道；5—半导体硒光电池（56-A型）；6—XWD-102小型电子自动电位差计

烟气颜色的变化而相应变化，从而使光电池转化的电能强度有所变化，并在毫伏计显示仪表上反应出来，值班人员根据毫伏计的读数变化来判断烟气颜色的变化。

随着工业电视在工矿企业中的广泛被应用，它也被采用在对烟囱出口烟气颜色变化的监视上，使值班人员能随时直观地看到烟色的变化情况，而不必求助于显示仪表间接反应的读数。

3. 烟囱与防治大气污染的关系

人与空气的关系，是鱼水关系，地球是被厚厚的大气层包围着，人们就生活在这大自然中。人可以几天不吃东西，但是却不能几分钟不呼吸空气。由此可见，洁净的空气对于人类的生存是具有多么重大的意义。随着工业的高度发展，将有越来越多的废气排放到大气中去，而烟囱则是排放废气的主要途径，因此当人们谈论到有关大气污染的问题时，烟囱也就往往成为众矢之的。

对烟囱的排烟在不同时期有着不同的看法。例如在资本主义处在萌芽时期，浓烟滚滚的烟囱是被认为生意兴隆的象征，而烟囱不冒烟则被看作是工厂不景气，在一些文艺作品中，往往用烟囱不再冒烟来形容工厂的倒闭。后来，人们逐渐认识到大气污染的危害。1661年，英国的约翰·伊凡林在他的《驱逐烟气》一书中，关于伦敦的烟雾，就曾作过这样生动的描绘：“地狱般阴森的煤烟，从家庭的烟囱和啤酒厂以及石灰窑等地冒出来，伦敦有如西西里岛的埃特纳火山，好象是火与冶炼之神（罗神）的法庭，恰似在地狱的旁边一样。”

随着工业的高度发展，大气污染越来越严重地威胁着人

类的生存，每年排向大气的污染物是非常惊人的，矿山的开采、原料的加工、奔驰的车辆……这些都是使大气造成污染的污染源，而烟囱则占主要地位。据报道，目前世界上每年排入大气的有害气体的总量如下：

粉尘	1.00亿吨
二氧化硫	1.46亿吨
一氧化碳	2.20亿吨
二氧化氮	0.53亿吨
碳氢化物	0.88亿吨
硫化氢	0.03亿吨
氨	0.04亿吨
总计	6.14亿吨

这些重量的废气，如果用载重量为60吨的火车车皮去装，共需1020万辆，排列起来长达14万公里，相当于绕地球三圈多。

有名的伦敦烟雾事件是大气污染的一个突出例子。约翰·伊凡林在1661年对伦敦的描绘，终于到1952年造成了悲惨的后果！那一年从12月4日开始，到12月8日的5天时间里，由于当时风弱，有雾，气流停滞不动，工厂排出的有害气体无法得到大气的有效稀释而越积越多，整日烟雾弥漫，许多人感到胸口窒闷，几天之内，因呼吸道疾病致死的就达四千人之多。此外成千上万的人病情大大恶化，在以后的两个月中，还陆续有八千人死亡。

大气污染的严重后果，使人们从长期的慢性“自杀”中惊醒过来，深刻地认识到再也不能把天空当作一只天然垃圾箱而无限地向其排放有害物质。很自然，人们首先把注意力集中到工厂的烟囱上，滚滚的浓烟决不是生意兴隆的象征，相反却是人类自我毁灭的征兆，于是人们就发出了要剪

掉烟囱的“辫子”、要求“还我蓝天”的呼声。

4. 烟囱剪“辫子”

剪掉烟囱的“辫子”，首先得从烟囱的那根又粗又黑的“辫子”开刀，因为它对人类活动的直接危害最大：纷纷黑尘从天而降，象一个可怕的魔鬼，迷住人的眼睛、沾污白色的衣物、钻进洁净的房间、降低产品的质量……，人们在烟气的除尘方面长期来积累了丰富的经验。烟气中所含有的飞灰浓度和颗粒度，随着锅炉燃烧方式的不同而变化，详见表2和表3。煤粉炉和沸腾炉由于采用悬浮式燃烧，因此烟尘浓度最高，机械通风的锅炉的灰尘颗粒度比自然通风的要大，这是因为它的拔力比较大的缘故。

根据烟气中飞灰颗粒度的大小和综合利用的需要，以及环境保护的要求，可以有各种型式的除尘器供选用：有利用局部扩大烟道面积，使烟速降低而使灰粒从烟气中分离出来的沉降式除尘器；有迫使烟气作旋转运动，利用飞灰的离心惯力（由旋转产生的离心力要比重力大几千倍）而达到除尘效果的旋风式除尘器；有利用水膜或喷雾使灰尘粘附于上的

各种燃煤锅炉烟气含尘浓度参考数据

表2

燃煤锅炉类别	烟气含尘浓度 (克/标准米 ³ 烟气)
1.手烧自然通风锅炉	0.1~2
2.手烧机械通风锅炉	0.15~5
3.层燃式链条炉排锅炉	3~5
4.风动抛煤半悬浮燃烧锅炉	4~9
5.煤粉炉	15~30
6.沸腾炉	60~80

水膜式除尘器；电气除尘器在国外应用较普遍，但结构庞

各种燃煤锅炉烟气中飞灰颗粒度大小及其分散比例 表 3

取 样 地 点	飞 灰 直 径 (微 米)					
	< 5	5—10	10—50	> 50		
1. 0.4吨/时手烧立式水管 锅炉除尘器进口	飞灰各直径下分布%					
	4	1	52	43		
2. 1.5吨/时手烧快装锅炉 除尘器进口	—	2	49	49		
3. KL4吨/时快装链条炉 排锅炉除尘器进口	—	2	28	70		
4. 机械加煤水管锅炉	飞 灰 直 径 (微 米)					
	< 5	5—10	10—20	20—40	40—60	> 60
	飞灰各直径下分布%					
	—	11	9	10	10	60
5. 机械加煤水筒锅炉	—	2	2	11	10	75
6. 机械加煤大型抛煤锅炉	—	12	14	29	8	37
7. 采用球磨机的煤粉锅炉		25.6	24.5	23	11.9	15
8. 采用圆磨机的煤粉锅炉		10.7	11.2	21.82	15.2	41.16
9. 沸腾炉沉降室除尘器进口	<75微米占26%; >5微米占74%					

大、耗钢量大,例如美国一座发电厂的一台出力为2950吨/时的锅炉,配用的电气除尘器高53米、长70米、宽176米,相当于一座16层大厦。布袋除尘器近年随着耐高温过滤材料的解决而有逐渐推广的趋势。对于不同除尘器的特性和选用,可参考表4所示。

从表4可以看到,对于直径大于1微米的尘粒,通过安装相应的除尘器,完全可以把它们捕集下来。但是还有那些占飞灰总重量极微,但从飞灰总颗粒数来说又占绝大多数的尘埃,却躲过了除尘器的“追捕”,继续排向大气。例如对

各种除尘器的除尘效率

表 4

除 尘 器 型 式	除 尘 效 率 (%)		
	50微米尘粒	5微米尘粒	1微米尘粒
1. 沉降式除尘器 (烟速0.5~0.75米/秒)	60		
2. 低压旋风除尘器	94	27	8
3. 多管(蜂窝式)旋风除尘器	98	42	13
4. 高效旋风除尘器	96	73	27
5. 湿式除尘器	98	83	40
6. 静电除尘器(干式)	99	99	86
7. 布袋除尘器	100	99	99

煤粉锅炉的飞灰进行分析,其中颗粒度大于10微米的飞灰占总重量的75%,但是颗粒度小于1微米的飞灰,却占飞灰总颗粒数的78%。这些微小的、但为数众多的尘埃,通过烟囱排入大气后,不会从大气中降落下来,它飘浮在大气中,象可厌的细菌一样到处乱钻乱跑。它能躲过人体的除尘器——鼻腔内的鼻毛,侵入体内,因为鼻腔仅能阻止大于5微米的飞灰。据统计,一个成年人通过呼吸,每天大约要吸进十三立方米的空气,约为每天所需食物和饮水重量的10倍。如果空气中含有较多的粉尘,对人体健康就有危害,因为颗粒度为2.5至5微米的粉尘可沉积于支气管内,而2.5微米以下的粉尘则沉积在肺泡中。人们长期在尘埃飞扬的环境下工作或生活,容易得矽肺病就是这个道理。

大气污染不仅只是粉尘,而且还有大量的有害气体,而如果二者同时存在,则危害性就更大,因为粉尘表面能吸附有害气体。例如化工厂排出的烟气中有一种叫做苯并芘的碳氢化合物是一种致癌物质,它附在粉尘的表面,通过人的呼