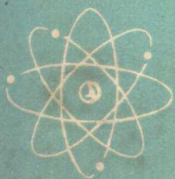


排入大气的放射性排出物

〔苏联〕C.A.普列奇斯基 著



中国科学院原子核科学委员会编辑委员会编辑
中国工业出版社出版

.36

57

排入大气的放射性排出物

排出物中气溶胶和 气体净化装置的设计

〔苏联〕C.A.普列奇斯坚斯基 著

铜 影 兆 波 译

中国工业出版社

本书介绍了净化空气中的放射性气溶胶和有毒气体的新方法、新的装置以及设计新装置所必需的重要资料。书中包括气溶胶过滤，气体和气溶胶的吸收，气溶胶的离心分离，特种联合净化方法等。本书对从事这方面工作的科研、生产和设计人员有很大的参考价值。

С.А. Пречистенский
РАДИОАКТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ
(ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ
ВЫБРОСОВ ОТ АЭРОЗОЛЕЙ И ГАЗОВ)

Государственное издательство литературы в области
атомной науки и техники
Москва 1961

* * *

排入大气的放射性排出物
排出物中气溶胶和气体净化装置的设计
銅 影 兆 波 譯

*

中国科学院原子核科学委员会编委会编辑
中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）
北京市书刊出版业营业登记证出字第110号
中国工业出版社第三印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 6 · 字数 149,000
1965年6月北京第一版 · 1965年6月北京第一次印刷
印数0001—1,800 · 定价（科六）0.90元

*

统一书号：15165·3926（核委-45）

作 者 序

放射化学生产的蓬勃发展，原子能电站的运行，以及研究将人工同位素应用于工业、运输业、农业、医学的实验室工作，都增加了排入大气的放射性物质和有毒物质的数量。放射性与有毒气溶胶的特点及其本身所包含的危险性，使得有必要制定新的空气净化方法和研究新的净化设备。

工艺过程的多样性，气溶胶和气体的性质、浓度之差异是选择净化方法的依据。但是，新的净化方法是在现有方法的基础上产生和发展起来的，而且有时与它们相结合使用。例如，用细纤维聚合物过滤气溶胶法常常与用一般过滤材料的过滤相结合使用；起泡吸收法被更为有效的泡沫法所代替；离心法净化中，已开始采用特种空气离心机来进行离心分离。

关于新的净化方法目前知道的还很少，而且在文献中阐述得也不够全面。设计净化空气中的放射性气溶胶和有毒气体的装置时，设计人员和结构人员有时还没有掌握原始资料。与使用这种设备有关的工作人员，应对采用新方法、用更完善的新设备代替效率不高的旧设备的可能性和合理性具有明确的概念。

在本书中，作者不仅要把新的净化方法尽量介绍给读者、而且还想把设计装置所必须的主要资料提供给读者。本书中一般性的理论概念部份的份量，以能使读者了解净化过程和设备的工作情况为准。

应该指出，苏联科学家、工程师、研究人员和技术人员在创造新的净化方法、新的设备方面作出了较大的贡献。彼得梁诺夫和波津（И.В.Петрянов 和 М.Е.Позин）的研究和发现，为在国民经济中运用先进的科学技术起了一定的作用。巴斯玛诺夫（П.И.Басманов），彼尔马可夫（Ю.В.Пермяков），基立曼（А.Д.Гильман）和罗津克拉茨（И.С.Розенкранц），科夫

IV

里根 (И.А.Ковригин), 格拉茲可夫 (Л.И.Глазков), 馬尔基娜 (З.М.Маркина) 以及季佳特金 (Г. А. Дитяткин), 欧美斯諾娃 (О.Т.Омежнова), 特里福諾娃 (З.М.Трифопова), 菲克辛 (В.И.Фиксен) 和其他同志对解决气体灰尘淨化裝置的設計問題作了不少工作。

目 录

作者序

第一章 总论	1
§ 1. 气溶胶的概念	1
§ 2. 模型試驗概論	5
§ 3. 净化空气中气溶胶和气体的新方法	9
§ 4. 防止气溶胶的形成和傳播	10
第二章 气溶胶过滤	13
§ 1. 过滤方法	13
§ 2. 用一般織物过滤器过滤	13
§ 3. 用填充式过滤器过滤	14
纖維填充物过滤器	15
玻璃纖維过滤器的計算方法	17
过滤器的安装	21
組合式小室	22
安装和更换过滤器的手套小室	25
粒状填充物过滤器	28
§ 4. 用細纖維过滤器过滤	32
装有細纖維材料的过滤器的計算方法	33
ΦΠ滤布过滤器的构造	36
§ 5. 被沾污的过滤器的再生和消毀	39
計算和选择装有ΦΠ滤布过滤器的实例	40
第三章 气体和气溶胶的吸收	43
§ 1. 一般概念	43
§ 2. 在泡沫洗滌器里的吸收	46
§ 3. 形成泡沫的条件	48
气体动力因素和篩板結構的影响	48
液体性质的影响	50
溫度的影响	51

VI

被吸收气体的性质对形成泡沫的影响	51
§ 4. 泡沫洗涤器的构造和工作	52
§ 5. 扩散式泡沫洗涤器	54
其他结构的泡沫洗涤器	57
§ 6. 泡沫洗涤器的气体流体动力学和 洗涤器主要尺寸的计算	58
§ 7. 捕集灰尘的溢流阻板洗涤器的计算方法	62
§ 8. 泡沫洗涤器的结构	66
筛板	67
洗涤器的外壳	69
向洗涤器里输送淋漓溶液	72
§ 9. 泡沫洗涤器工作的实验数据	74
净化空气中的灰尘	74
灰尘和气体的吸收	75
从液体中蒸馏氨和二氧化碳	76
氨和二氧化碳的吸收	76
用带倾斜筛板的泡沫洗涤器制备亚硫酸	77
第四章 气溶胶的离心分离	79
§ 1. 离心旋转式除尘器的作用原理和主要流程	79
§ 2. 灰尘微粒和空气在离心旋转式除尘器 的外壳内和转子通道内的运动	82
§ 3. 转子和外壳的气体动力学	88
空气在两个转子通道里的运动	88
空气在外壳内的运动	91
§ 4. 离心旋转式除尘器中压力和能量的损失	92
§ 5. 实验数据	93
§ 6. 计算方法	95
在离心旋转式除尘器中沉降的微粒计算值之选择	95
转子主要尺寸的确定	96
转子的旋转速度	97
通道的长度	97

用做模型法計算轉子的主要尺寸	93
除尘轉子外径的校正	93
外壳蝸形的部分构造	100
通风机叶輪外径的計算	100
§ 7. 离心旋轉式除尘器的机件和主要部件的构造	101
离心旋轉式除尘器类型的选择	101
离心旋轉式除尘器除尘部分的外壳	102
气溶胶进入外壳的短管	102
把灰尘从外壳导入貯槽的短管	103
外壳的通风机部分	103
除尘轉子	103
分离膜片	104
离心旋轉式除尘器的传动装置	105
制造离心旋轉式除尘器的材料	106
从防爆条件选择材料	106
第五章 特种联合淨化方法	108
§ 1. 廢弃物焚燒炉排出气体的淨化	108
§ 2. 蒸发器的二次蒸汽的淨化	113
用篩板捕集蒸汽帶走的盐类	113
淨化二次蒸汽的計算	118
蒸发用电量, 热量, 燃料量	119
淨化自廢弃物焚燒炉排出的气体中之放射性气溶胶	122
§ 3. 淨化通風排出物中氮的氧化物	123
氮的氧化物的性质和氧化	124
氧化氮的氧化作用	125
用水吸收氮的氧化物	127
用水和硝酸的水溶液吸收氮的氧化物时影响淨化率的因素	129
用硷溶液吸收氮的氧化物	129
用硫酸吸收氮的氧化物	130
亚硝酸硷液和硝酸硷液的轉化	131
淨化排出物中氮的氧化物的装置和设备	132
淨化空气中氮的氧化物的装置的計算实例	134

气体净化系统	135
酸法吸收	135
酸法吸收用泡沫洗涤器	137
在硷法吸收之前把氮的氧化物氧化到等分子状态	139
硷法吸收	140
§4. 净化真空泵的排出物	141
§5. 用冷冻方法净化工艺气体	142
用冷冻法净化气体的流程	143
§6. 净化后的空气通过高烟囱排入大气	145
尾气流的性质的影响	146
大气中温度分布的影响	146
风的影响	147
建筑物的影响	149
在大气中稀释有害物的计算和净化后的空气排往 大气中去的烟囱高度的计算	149
§7. 净化空气中微细气溶胶新的电物理学方法	152
电离电滤器	153
电离无声放电式电滤器	154
室内的空气电离	156
无声放电器	158
进风空气的电离	161
空气电离与过滤的联合应用	162
附录:	163
1. 工作房间内空气中有毒气体、蒸汽及 灰尘的最大容许浓度	163
2. 空气中放射性物质的最大容许浓度	169
3. 各种滴落式筛板泡沫层的指标	177
参考文献	184

第一章 总 論

§ 1. 气溶胶的概念

含有灰尘或液体悬浮微粒的空气或气体叫做气溶胶。因而，任何一种气体分散系统——含尘空气、烟、雾均属于“气溶胶”这一术语。悬浮微粒叫做分散内相，而内部悬浮有这些微粒的介质叫做分散外相。固体分散内相通常叫做灰尘；凝固体的或半液体的内相经常叫做烟。有机物不完全燃烧时也可获得烟。空气中凝結的液体的微滴叫做雾。

自然界的空气，总是含有固体的或液体的微粒。在以任何一种物质进行工作的房間、小室和工作箱內，其中的空气总含有这种物质的微粒。但悬浮微粒的含量常常如此之小，以致不可能用分析法或重量法測得。然而，这种物质自身所固有的气味可以表明，这种物质的微粒在空气中是存在的。处理材料的全部过程和各种物质的化学变化都能产生不同浓度的气溶胶。

如果某些工序用“湿法”进行，就能大大降低气溶胶微粒的含量，但是，想完全除掉它們是永远也办不到的。例如，在液体介质中进行破碎时形成溅沫，这些溅沫干固在設備壁上，而后扩散出去。即使生产过程是在密閉的容器和管道中进行，在检修和拆卸这些設備的时候，这些物质残渣也会扩散到周围的大气中去。空气經過液体层的鼓泡、液体在傾倒时的外溢、蒸发溶液也都会使液体微粒脱离原来的液体而进入空气。因此，不管进行放射性物质的何种操作，即使是在完全密閉的条件下，剂量仪表也总是会示出周围介质中散布有放射性。正确的布置設備、密閉和通风，可使放射性气溶胶的含量降低到卫生容許标准。在这种情况下，操作人員即使連續进行放射性物质工作也无危险。

当試驗净化空气中气溶胶用的实验性设备，或检查試驗过滤器时，必須得到微粒大小符合要求的某种浓度的气溶胶。当含尘量大于 200 毫克/米³时，它可以用各种計量器送入气流中去。获得每立方米从几十分之几到千分之几毫克含尘浓度的微粒气溶胶，更是一件非常艰巨的任务。在这种情况下，利用金属在空气中加热而氧化时发生的扩散作用，或者先使气溶胶中含有溶液的液态分散成份，然后在空气流中使之干燥的方法制取。

当加热鎂、鈣、鋁以及其他金属时，这些物质立即氧化，形成固体分散内相。只要調节温度，就可以很容易地获得指定浓度的气溶胶。当空气經過溶液层鼓泡时，形成微粒大小为 2~5 微米和小于 2~5 微米的气溶胶（从空气流中很快掉下来的大的溅沫和液滴未計算在内）。使气溶胶通过机械捕集器时，可以获得直径为 0.5~0.1 微米的雾滴。如果被溶解物质的含量，比如說等于 1% 时，那么雾滴干了之后，气溶胶干的微粒重量将降低到 1/100 以下（考虑了液体和干燥物质的比重）。用湿法制取干燥气溶胶的方便之处在于：当往溶液中加入放射性同位素时，即使在用重量法不能测出其浓度的情况下，也可以利用放射性測量仪表很容易地测出它的净化率。

別克尔 (Ф.Беккер) [1] 指出，可利用邻苯二甲酸二辛酯测定过滤器的净化率；将邻苯二甲酸二辛酯噴成雾状时，可以获得直径約为 0.3 微米的微粒。按照英国的标准，試驗过滤器时，采用微粒大小为 0.2~2 微米的亚甲青气溶胶。在苏联采用微粒大小为 0.2~0.3 微米的油雾检查过滤器。但是应当指出，用通过氢氧化鈣溶液的 空气鼓泡法（以同位素 Ca^{45} 示踪）更便于测定。

气溶胶不是稳定的体系。在受自然沉降、温度、电荷、浓度的影响下，个别的微粒可能落到小室或厂房的表面上，或互相結合成更大的聚合体。小微粒比大微粒更倾向于聚集。气溶胶微粒合成聚合体的能力，叫做凝聚力。小微粒比大微粒凝聚得快，这是由于小微粒的表面积比它的质量大得多，因此表面力促使微粒

結合。大微粒中的慣性力大于表面力，所以形成聚合体的能力較差。

大的固体微粒凝聚成絨球狀，在絨球中各个微粒間互不結合，只在个别点上相接触。这种聚合体的容重总是比其单个的微粒容重小。根据烏埃特勞·葛列依姆（Уайтлоу Грейм）的資料〔2〕，各种物质烟的密度，用各該物质自身的密度与由該物质微粒合成的聚合体的密度比来表示，例如：

$$\text{金} \text{---} \frac{19}{0.2-8};$$

$$\text{銀} \text{---} \frac{10.5}{0.64-4.22};$$

$$\text{汞} \text{---} \frac{13.6}{0.07-10.8}。$$

液体分散微粒与固体微粒不同，它具有均称的球体形状，并且在合併时通常构成一个整体的圓球形。

为了理解凝聚过程，我們来研究一下气溶胶微粒之間和气溶胶微粒与其周围壁之間的相互作用〔3〕。

当微粒在空气中运动时，它們之間（在某些条件下）能够产生相互作用力。当微粒在空气中运动的雷諾准数 Re 值很小时，这些力等于零。当 Re 值很大时，运动着的微粒相互作用的力场示于图 1。当半径为 r_1 的球状微粒运动时，产生作用在半径 r_2 的外部微粒上的力 F_p 和 F_r ，而且这些力与第二个微粒的运动无关。根据基尔霍夫（Кирхгоф）定律，附加在第二个微粒上的力等于〔3〕：

$$F_p = \frac{3\pi\gamma_g r_1^3 r_2^3 v^2}{Q^4} \left(\frac{3}{2} \cos 2\theta + \frac{1}{2} \right),$$

$$F_r = \frac{3\pi\gamma_g r_1^3 r_2^3 v^2}{Q^4} \sin 2\theta。$$

从上式可以看出，当 $\cos 2\theta < -\frac{1}{3}$ 时，力 $F_p < 0$ ，也就是

說微粒將相互排斥。當 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 時，最大的吸引力為：

$$F_p = - \frac{3\pi\gamma_g r_1^3 r_2^3 v^2}{Q^4}。$$

力場表明，當 θ 角改變時，相互作用力的大小和方向如何隨之改變。當我們觀察兩個微粒一起運動時，可以看到，這種運動最終將使兩個微粒合併，因為即使微粒間相互排斥時，其中的一個微粒可能向第三個微粒靠近，與第三個微粒相互作用的过程可能重複進行，直到微粒合併為止。

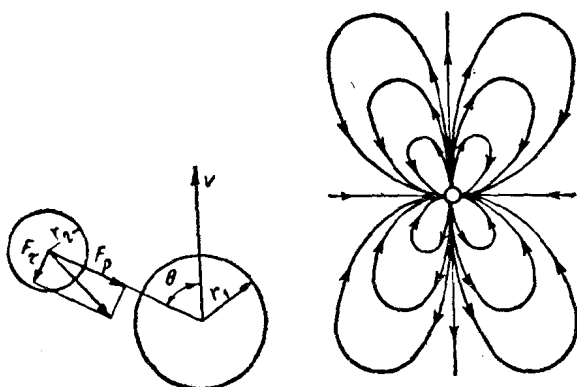


圖 1 在气流中运动着的微粒相互作用的力场

可以指出，如果 F_p 相當大，則與壁平行運動的微粒就被壁所吸引。將微粒推向壁的力等於：

$$F = - \frac{3\pi\gamma_g r^6 v^2}{16x^4}，$$

式中 x —— 從微粒中心到壁的距离。如果 Re 值較小，則微粒被下式所示之力從壁排開

$$F = \frac{9}{16} \pi \gamma_g r^2 v^2。$$

上列公式僅能用來評價某一變量發生變化的影響，因為 Re 值多大時才能使微粒相互吸引或排斥的問題，現在還不清楚。

在工艺过程中所形成的气溶胶，通常是多分散的，即气溶胶的微粒大小不等。要想获得微粒大小相等的气溶胶，只能用植物芽胞喷射的方法。例如，石松子芽胞的大小为12微米。在理論上，气溶胶的最小微粒可由若干分子組成，但在实际上，由于扩散的結果，这些微粒在它們落到較大微粒上之前，能够单独存在的时间很短。单独存在的微粒的最小尺寸可取为 1×10^{-4} 微米。微粒在气流中的沉降速度取决于它們的大小。根据微粒的分散度，可以分为三組〔2〕：

1. 在显微镜下看不到的小于0.1微米的超細微粒（这些微粒的布朗运动胜过重力沉降）；
2. 在显微镜下可以看得到的0.1~1微米的中等分散度的微粒；
3. 大于1微米的粗分散度的微粒（重力沉降胜过布朗运动）。

§ 2. 模型試驗概論

只要条件相同，设备的类型相同，空气中的气溶胶或气体的净化在尺寸大的和尺寸小的设备中进行結果都是一样的。因此当設計工艺过程的資料还不足时，就可以利用这些設備的小模型。根据这种模型工作时所获得的資料，可以制造規定生产能力的大型設備。

但是，不應該把模型試驗理解为設備尺寸的增大。試驗的不是設備模型，而是在該設備中进行的机械的、物理化学的、或化学的过程。而任何一种过程都可用包含有常数和变数的微分方程式来描述。这些方程式可以变换成准数式，在該式中确定了无因次数——相似准数之間的关系，而未确定变数之間的关系。列入确定过程变换的方程式中的无因次比数，叫做相似准数。相似准数永远是該过程的常数值。过程开始和終了时，介质的状态不同。其次，微分方程式不仅能說明个别現象，而且还能說明整个系列的相似現象。为了只研究解决我們面临任务所必須的現象，

必須考慮下述称为单值性条件的附加因素〔4〕：

1. 在其中进行过程的設備或設備部件的几何尺寸；
2. 設備中物质的物理常数；
3. 起始状态的特性；
4. 在体系范围内的体系的状态。

从模型試驗中得到了相似准数值和知道了准数与单值性条件之間的关系以后，可把在模型中所得到的净化过程，利用下列相似定理运用到所設計的設備中去：

定理 I (牛頓定理)：彼此相似的现象就有相同的相似准数。

因而，在用模型研究过程时，必須測量相似准数的那些数值。

定理 II (良布辛斯基和費捷尔曼定理 (Рябушинский 和 Ферман))：用相似准数间的关系式可以代替表征过程的变数间的关系式。

第二个定理表明，实验数据可用相似准数的函数式来表示。

定理 III (基尔皮切夫和古赫曼 定理 (Киричев 和 Гухман 定理))：单值性条件相似的那些过程必然相似，而且由单值性条件所构成的起决定作用的准数，在数值上也相等。

第三个定理确定，为使在模型中的和在所設計的設備中的过程相似，需要什么样的条件以及什么样的条件才能滿足要求。

我們以变换作用外力 f 和加速度 $\frac{dw}{d\tau}$ 以及液体质量 m 間的关系方程式为例，来研究把微分方程式变换成准数式：

$$f = m \frac{dw}{d\tau} \quad (1)$$

用帶相应下标的乘数 a ，乘这个方程式的左右两端，得到：

$$a_f f = a_m m \frac{d(a_w w)}{d(a_\tau \tau)}。$$

我們把乘数拿到微分符号的外面，并进行集項：

$$a_f f = \frac{a_m a_w}{a_\tau} \cdot m \frac{dw}{a_\tau} \quad (2)$$

比較方程式 (1) 和 (2), 得到

$$a_f = \frac{a_m a_w}{a_\tau}。$$

左端除以右端, 將有

$$\frac{a_f a_\tau}{a_m a_w} = 1 = \text{常数}。$$

消去乘数 a , 只留下标, 得到

$$\frac{f\tau}{mw} = \text{常数}。 \quad (3)$$

求得的无因次的复数, 叫做牛頓准数。

可用下述簡化的方法將微分方程式變換成准数式: 消去和抹去微分符号 (从而叫做《海綿法》) 并以其中的一項除方程式的所有各項 (得出的比將是无因次数——相似准数)。例如, 消去方程式 (1) 中 w 和 τ 旁边的微分符号, 得到

$$f = m \frac{w}{\tau} \text{ 或 } f\tau = mw。$$

左端除以右端:

$$\frac{f\tau}{mw} = 1 = \text{常数}。$$

此方程式的左端等于方程式 (3) 的左端。

在这种情况下, 准数方程式仅由一个相似准数組成。当方程式中列有几項的情况下, 准数方程式中可能含几个准数。例如, 正像罗曼科夫 (П.Г.Романков) [5] 所指出的那样, 旋风除尘器的效率与气体的物理性质和速度、固体微粒的大小、微粒比重以及旋风除尘器的直綫尺寸的关系式, 用下列形式的准数方程式表示:

$$\eta = \varphi \left(Fr Re \frac{\gamma_2 L}{\gamma_1 d} \right),$$

式中 Fr ——弗魯德准数, 比数 $\frac{\gamma_2 L}{\gamma_1 d}$ ——也是无因次准数,

它使旋风除尘器和灰尘微粒的基本尺寸与气体和微粒的比重发生密切的关系。

列于准数方程式中的准数值，可用所谓 π 一定理求得，根据这一定理 n 值和 m 基本数值为已知时， N_π 准数值用下列公式求得。

$$N_\pi = n - m. \quad (4)$$

表 1 净化空气中放射性灰尘和有毒气体的新方法的应用条件

净化方法	净化前分散相的含量	净化率 %	净化方法的应用条件
过滤： 用纤维直径20—30微米的玻璃纤维	0.5—10.0毫克/米 ³	70~98	用于在 $\Phi\Pi\Pi$ 过滤器之前，进行初步净化，温度在 400°C 以下
用纤维直径1—2微米的玻璃纤维	10毫克/米 ³ 以下	90~99.9	用于净化微粒的气溶胶，温度在 300°C 以下
用粒状过滤器	1克/米 ³ 以下	90~99	用于初步净化，并取出灰尘沉积物；对于微粒尺寸大于1微米的粗灰尘；对于净化凝结的烟和雾；温度在 800°C 以下（取决于填充材料）
用 $\Phi\Pi$ 过滤器	不大于0.5毫克/米 ³	99~99.99	用于浓度不大的微细气溶胶，温度在 60°C 以下（用 $\Phi\Pi\Pi$ 纤维）和 110°C 以下（用 $\Phi\Pi A$ 纤维）；在空气中不允许存在溶剂或浓酸的雾滴
用离心旋转式除尘器的离心分离	从0.1到30克/米 ³	97~99.9	用于微粒大于2微米的粗灰尘和凝结的烟和雾；温度在 400°C 以下
用泡沫洗涤器吸收	从0.1到100克/米 ³	80~99.9	用于浓度大的粗微粒灰尘和吸收有毒气体；允许温度在 800°C 以下
联合法	100克/米 ³ 以下	99.99以下	当一个设备的效率不能满足要求时