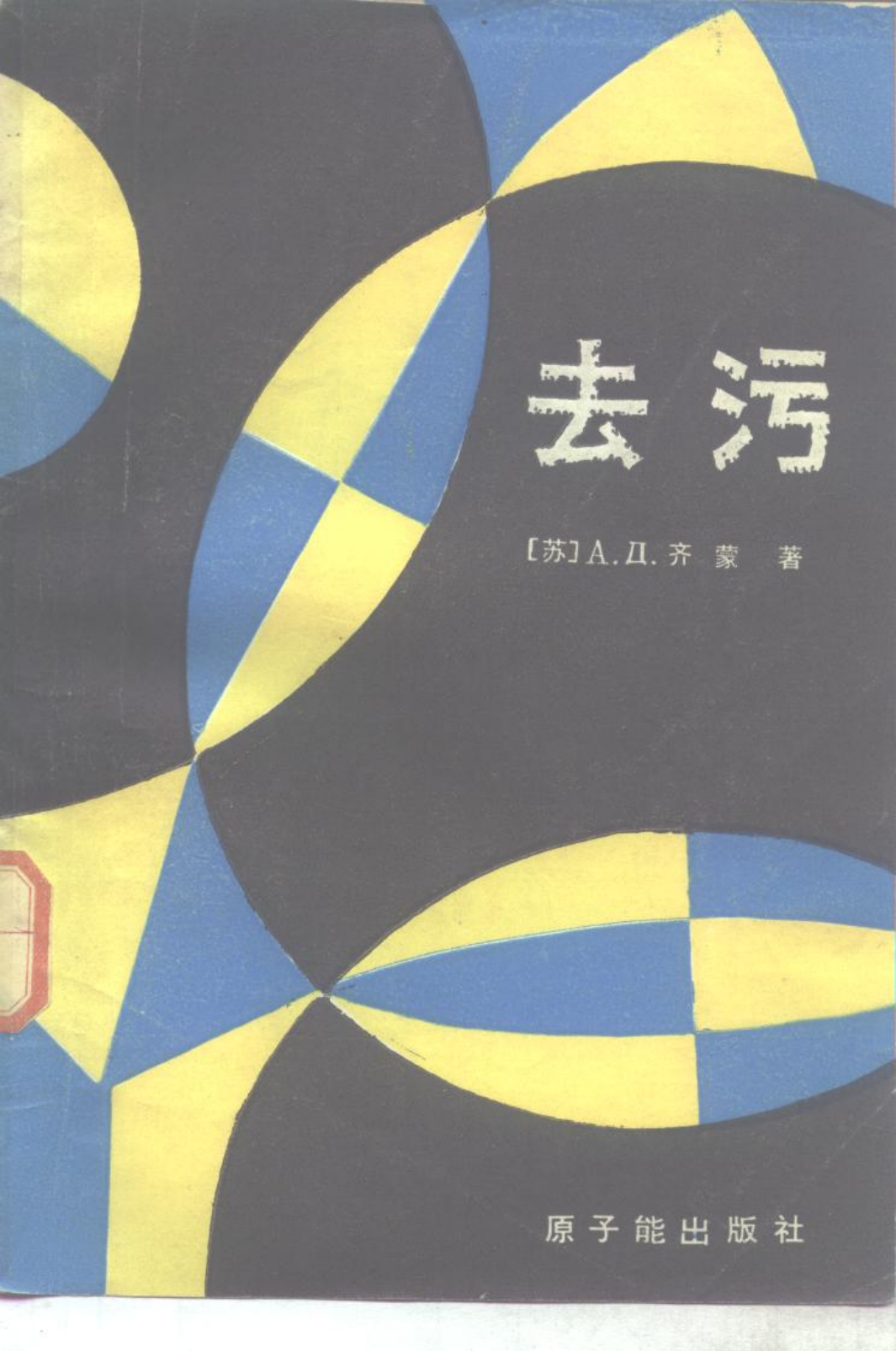




去污

[苏] A. Д. 齐蒙 著

原子能出版社

去 污

爱·德·齐蒙 著

刘 存 礼 译

俞 珂

原子能出版社

去 污
爱·德·齐蒙 著
刘存礼 俞珂 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

天津静一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32·印张11.5·字数256千字

1986年4月北京第一版·1986年4月第一次印刷

印数1—2100 统一书号：15175·702

定价：2.30元

内 容 简 介

本书叙述被放射性物质污染的物体的去污问题。

书中论述了去污的一般概念，去污过程的研究方法，去除放射性污染（处于材料表面的和深部的）的机理，去污溶液的选用原则及其在实践中的应用，防止和减少放射性污染的方法。书中评价了放射性污染的危害，论述了需要达到的去污效率和达到这一效率所需的条件。本书除了叙述去污的一般规律外，还叙述了一些具体沾污对象（即衣服、设备、房屋、沾污地区）的去污方法和特点。

本书可供从事去除放射性污染的科技人员，与放射性气溶胶及同位素利用有关的高等学校的学生，研究生和教师，民防工作人员及卫生防疫人员阅读。

前 言

没有原子科学和技术的发展，科学技术的进步是不可想象的。原子能电站、核反应堆、装在移动设施上的核能装置——这些现代技术成果都在为人类服务。

在核动力工业的许多运用放射性核素的生产过程中，在放射性制剂的加工，铀、钍矿的开采等方面都要求遵守使用放射性物质的一系列防护措施。完全排除放射性对周围物体的污染往往是不存在或不可能实现的。由此就产生了从污染对象上去除放射性物质的问题，即被污染表面的去污问题。

在苏联进行的消除污染、保护环境的综合措施中，去除放射性污染占有重要的地位。去除放射性污染的最终目的是消除放射性物质对人体的危害，保证人们的安全。

随着核动力工业的发展，去除放射性污染工作的意义更加重大。预计1980年，原子能电站生产的电能在全国生产总电能中的比重，日本为16%；意大利为20—25%；西德为30—35%；英国为20%；法国和美国为35%；瑞典为60%；比利时为65%^[1]。

苏联将建设功率为一百万千瓦或更大的大型原子能电站，运转总功率将为6—8百万千瓦。

因此，毫无疑问，消除放射性污染不仅对现在而且对将来都非常重要。

消除放射性污染的问题起始于1944年^[2]，到现在已经积累了许多实践经验和理论资料。然而至今仍没有见到去除表面污染的综合性论述。

本书主要讨论不同对象的放射性表面污染的消除问题，
基本内容包括：

从不同角度综述放射性表面污染的消除问题；

论述形成放射性物质滞留（表面污染）及其去除（去污）过程的物理化学基础；

确定消除污染过程中的各种基本参数；

分析消除污染问题的现代研究方法和科学成果；

给出各种不同对象的消除污染的特点。

第一、二章讨论去污的一般概念和研究方法以及放射性物质和被污染表面的相互作用。放射性的污染和去污过程可分为下列三类：附着性的（第三章）；表层的（第四章）和深层的（第五章）。这种分类和分类的物理化学基础奠定了研究去污过程所需要的理论基础，可以在一定程度上避免纯经验式的探讨。

第六章叙述了减少表面污染的措施，而第七章和第八章给出了各种不同对象的去污特点。在这几章中还叙述了去污实践中的一些重要问题，如去污程序，去污溶液的组成，操作影响因素等。第九章叙述了利用超声波和在电场作用下的强化去污过程。

目 录

前 言

第一章 消除放射性污染的基础知识.....	(1)
1.1 消除放射性污染的概念	(1)
1.2 去污的效果	(16)
1.3 放射性污染的性质和去污操作分类的物理化学基础	(30)
第二章 研究放射性去污过程的方法.....	(39)
2.1 模拟制剂的制备	(39)
2.2 表面污染的特征因素	(51)
2.3 污染与去污的方法.....	(63)
第三章 放射性颗粒污染表面的去污	(78)
3.1 放射性颗粒污染的特点.....	(78)
3.2 去污过程	(88)
3.3 去污条件的模拟与再现.....	(104)
3.4 去污效果的确定.....	(111)
第四章 放射性同位素污染表面的去污.....	(121)
4.1 放射性同位素表面污染.....	(121)
4.2 与溶液及表面性质有关的污染.....	(127)
4.3 洗涤作用及去污.....	(135)
4.4 去污溶液的应用.....	(147)

第五章 深部污染时的表面去污.....(158)

5.1 ЯЭУ (核能设施) 运行时表面污染的特点 (158)

5.2 受腐蚀表面的去污..... (171)

第六章 油漆涂料层, 镀面及聚合材料的去污..... (183)

6.1 防止和减少油漆涂料层的污染..... (183)

6.2 油漆涂料层的去污..... (193)

6.3 镀面材料和板形材料的去污..... (201)

6.4 软聚氯乙烯塑料的应用..... (211)

第七章 皮肤及衣服的去污.....(217)

7.1 皮肤的去污..... (217)

7.2 棉织品和毛织品的去污..... (228)

7.3 防护设备及靴鞋的去污..... (241)

7.4 洗濯去污..... (249)

第八章 各种不同对象的去污.....(258)

8.1 设备和构筑物..... (258)

8.2 场所的去污..... (274)

8.3 食物的去污..... (288)

第九章 去污过程的强化..... (295)

9.1 利用超声波去污..... (295)

9.2 在电场中进行去污..... (313)

附录

第一章 消除放射性污染 的基础知识

1.1 消除放射性污染的概念

放射性去污 即采用不同手段从被污染表面去除放射性污染物。去污的对象可以是设备、房屋、受污染地区内各种不同的构筑物以及受污染地区本身。此外，去污对象也包括衣服，皮肤，食物和饲料。去污的手段是指用于去污的各种技术设施和物质。^[7]

不采用人工手段也可以去污。这里所指的是降雨降雪、空气流动的作用以及运输移动时振动的结果都可以去除放射性污染。此外，放射性同位素的衰变也可以减少表面污染。去污后物体上的放射性污染量应该少到不再给人构成危害，从而保证人的安全。

因此，消除放射性污染并不是简单地去除掉污染物质，而只是去除掉其需要去除的部分，或者说存在一个去污的效率问题。

去污的效果 可以采用各种不同的参数来评价去污的效果。

如用 $A_{\text{原始}}$ 表示样品的原始污染（去污前），而 $A_{\text{最终}}$ 表示最终污染（去污后），则去污的效果可以用下式确定^[8]
〔9〕：

$$\alpha_{\text{去污}} = \frac{A_{\text{最终}}}{A_{\text{原始}}} 100\% \quad (1.1)$$

余污率 $\alpha_{\text{去污}}$ 表示去污后污染物体上所剩余的放射性物质占原始污染的百分数。

去污率 $\beta_{\text{去污}}$ 表示去污后污染物质被除去部分占原始污染的百分数^[9-13]：

$$\beta_{\text{去污}} = \frac{A_{\text{原始}} - A_{\text{最终}}}{A_{\text{原始}}} 100\% \quad (1.2)$$

此外，去污效果也可以用去污系数 $K_{\text{去污}}$ 来评价^[11, 14-16]：

$$K_{\text{去污}} = \frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{最终}}} \quad (1.3)$$

去污系数 $K_{\text{去污}}$ 表示出去除污染的程度，表明在去污后表面污染所减少的倍数。

有时，对于较大数值的去污系数采用其对数值，用 $D_{\text{去污}}$ 表示之，称为去污指数^[17, 18]， $D_{\text{去污}} = \lg \left(\frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{最终}}} \right)$

$$= \lg K_{\text{去污}}。$$

很容易看到，在这些衡量去污效果的各种参数之间存在着一定的关系：

$$\alpha_{\text{去污}} = 100 - \beta_{\text{去污}}; K_{\text{去污}} = (100/\alpha_{\text{去污}}); D_{\text{去污}} = \lg K_{\text{去污}}$$

$K_{\text{去污}}$ 、 $D_{\text{去污}}$ 、 $\alpha_{\text{去污}}$ 和 $\beta_{\text{去污}}$ 之间的关系在表1.1和图1.1中示出。

由图1.1可以看出， $\alpha_{\text{去污}}$ 数值的变化与 $\beta_{\text{去污}}$ 数值的变化成反比，当 $\alpha_{\text{去污}}$ 减小时， $\beta_{\text{去污}}$ 增大。去污后的放射性污染经常小于原始污染，因此，去污系数 $K_{\text{去污}} > 1$ 。由方

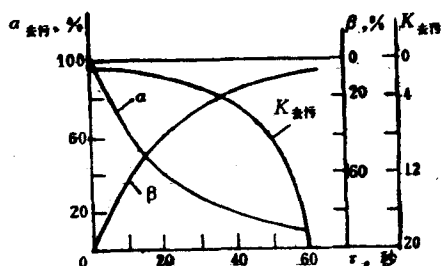
表1.1

表示去污效果的各种参数

$K_{去污}$	1	10	20	50	100	1000	10000
$D_{去污}$	0	1	1.3	1.7	2.0	3	4
$\alpha_{去污}$	100	10	5	2	1	0.1	0.01
$\beta_{去污}$	0	90	95	98	99	99.9	99.99

程式 (1.3) 可以看出, 去污系数的最大值可以达到无穷大。但是, 在具体情况下, 去污系数总是有一定的极限值 (在图1.1中这个极限数值为20)。一般情况下, 去污系数的数值不超过1000。

总之, 去污效果可用下列不同参数表示: $\alpha_{去污}$, $\beta_{去污}$, $K_{去污}$ 和 $D_{去污}$ 。它们之中的每一个参数都可以表示出去污的程度并可以作为评价去污工作质量的标准。

图1.1 放射性去污的效果和处理时间 τ 之间的关系（假定）

在去除放射性污染的研究中, 不同的著作者采用不同的方法来评价去污效果 (如上所述, 表示去污效果的各种不同参数之间的关系也是很简单的)。但是, 直接比较用不同参数所表示的去污效果, 在资料的叙述和理解上都会产生困

难。因此，在同一本书中去污的效果应该用同一参数来评价。根据苏联国家标准 (ГОСТ) [7] 的要求，采用去污系数作为评价去污效果的基本指标。

除了上述表示去污效果的主要参数外，还采用了一些其它的次要参数。这些参数只能间接地确定去污效果并仅在一定条件下适用。例如，使用去污溶液进行去污后，采用量测去污溶液的放射性高低来确定去污的效果。在这种情况下，去污溶液的放射性愈高，则去污效率愈高^[10]。

有时，为了强调使用溶液进行去污的效率，常常将这个效率与用水进行去污的效率相比较^[7]。如用 A_1 表示用水进行去污后样品的放射性， A_2 表示用去污溶液进一步去污后样品的放射性。则用水进行去污的效率 $\beta_{\text{水}}$ 可用下式表示：

$$\beta_{\text{水}} = \frac{A_{\text{原始}} - A_1}{A_{\text{原始}}} 100\% \quad (1.4)$$

用去污溶液进一步进行去污的效率由下式确定：

$$\beta_{\text{溶}} = \frac{A_1 - A_2}{A_{\text{原始}}} 100\% \quad (1.5)$$

根据式 (1.4) 与 (1.5) 用水和溶液进行去污的总效率等于

$$\begin{aligned} \beta_{\text{水}} + \beta_{\text{溶}} &= \left[\frac{A_{\text{原始}} - A_1}{A_{\text{原始}}} + \frac{A_1 - A_2}{A_{\text{原始}}} \right] 100\% \\ &= \frac{A_{\text{原始}} - A_2}{A_{\text{原始}}} 100\% \end{aligned} \quad (1.6)$$

去污效果也可以同表征表面污染的过程联系起来。放射性污染根据污染物与污染表面的结合程度可分为三类^[3]：非固定的，弱固定的和固定的。

如考虑到表面污染的特点，去污效果可用参数 $S_{\text{去污}}$ 来确定^[20]：

$$S_{\text{去污}} = \lg | A_{\text{污染}} - K_{\text{去污}} | \quad (1.7)$$

式中 $A_{\text{污染}}$ 表示弱固定和固定的污染超过非固定的污染的倍数。由公式(1.7)可以看出,参数 $S_{\text{去污}}$ 是根据表面污染的特点所表示的去污效果。

去污效果还可以用去污动力系数来评价。如以 $K_{\text{去污}}^{\text{要求}}$ 表示所需要的去污系数,也就是说,这个去污系数可以保证所需要的去污效果。而 $K_{\text{去污}}^{\text{达到}}$ 为可以达到的去污系数,则二者之差

$K_{\text{去污}}^{\text{达到}} - K_{\text{去污}}^{\text{要求}} = \frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{最终}}} - \frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{允许}}}$ 可以确定去污动力系数^[7,8,9]。去污动力系数可以间接地确定去污过程所需要的效率。如 $K_{\text{去污}}^{\text{达到}} \geq K_{\text{去污}}^{\text{要求}}$ 则 $\left(\frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{最终}}}\right) \geq \left(\frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{允许}}}\right)$,即所需要的去污效率已经达到。

所需要的去污效率的确定 无论采用哪一种方式确定去污的效果[见公式(1.1) - (1.3)],都假定沾污对象在去污前、后的污染是已知的,也就是说,已知 $A_{\text{原始}}$ 和 $A_{\text{最终}}$ 。从沾污对象上完全消除放射性污染是不可能的,从安全的观点看也是不必要的。因此,需要论述一下所需要的去污系数。

所需要的去污系数可以用污染对象的原始污染 $A_{\text{原始}}$ 除以保证安全所允许的放射性 $A_{\text{允许}}$ 来确定:

$$K_{\text{去污}}^{\text{要求}} = \frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{允许}}} \quad (1.8)$$

在§1.2中根据放射性安全标准和使用放射性物质的基本卫生规

定将详细论述 $A_{\text{允许}}$ ^[26,27]

这样确定所要求的去污系数是合理的，但依据下述观点却是不完整的。

A 原始一般取污染对象的平均污染，这样的取法就不能够评价其不同污染表面的实际危害性。A 允许的数值应该考虑到来自污染对象所有形式的危害，这些危害包括：放射性污染对人体的辐照、在与污染表面接触时放射性物质被摄入人体器官或引起皮肤污染。在具体情况下，其中某一种危害可能比其它危害占优势。当大面积 β 和 γ 污染时，其主要危害是表面辐照，而不是由于与污染表面接触而引起的人的皮肤污染。相反，在 α 表面污染时，其主要危害即是人的皮肤污染。如果放射性污染是由放射性微粒构成的，则这些微粒有可能通过大气进入人的呼吸器官。

因此，在论述所需要的去污系数时，必须考虑到表面污染的辐射危害，接触时通过放射性物质的转移而进入人体的可能性，并且还应考虑到污染的不均匀性。所以公式 (1.8) 中 A 允许的数值应取决于其去污的目的。如果需要使污染对象的污染降低到安全数量，那么，公式 (1.8) 中的分母即为表面污染的容许水平。在消除辐射危害时，这一数值相当于照射的最大容许剂量；当消除污染是为了防止放射性物质进入人体时，则公式 (1.8) 中的分母即为放射性物质被摄入人体的最大容许摄入量。

允许最终污染的数值 A 允许 应根据所提出的去除污染的目的和现行的放射防护标准来确定。

根据去除污染的不同目的，所需要的去污系数应能保证：在与表面污染接触过程中没有皮肤污染的可能性 $\left(K_{\text{去污}}^{\text{表面}} \right)$ ；消除对人体辐射的危害 $\left(K_{\text{去污}}^{\text{照射}} \right)$ ；防止放射

性物质摄入人体 ($K_{\text{去污}}^{\text{摄入}}$)。总之, 所要求的去污系数的大小应根据去污的目的来决定。

去污系数的计算方法 按公式 (1.3) 确定的去污系数未能反映出污染及其去污的条件。因此, 如果已知表面污染的状况以及决定其去污方法的不同因素, 我们可进一步探讨去污系数的计算方法。

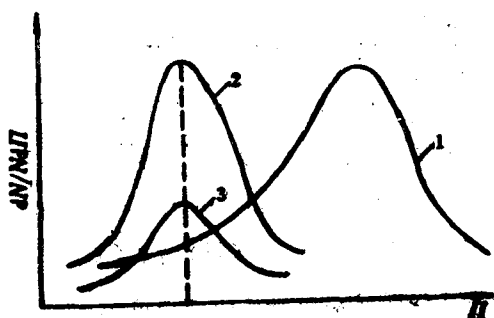


图1.2 表征污染因素的分布

- 1——原始污染 (去污前); 2——最终污染 (去污后);
3——按原始污染比例尺度衡量的最终污染。

原始污染可用因素 Π 表示 (图1.2中曲线1)。 Π 可认为是放射性微粒或液滴按其放射性或尺寸的分布^[21-24], 或者认为是去污前不同同位素的辐射能谱的分布。去污的结果使 Π 因素发生变化, 其分布如曲线2。它正确地反映了去污后所剩余的放射性物质的分布。如果用曲线1的原始污染比例尺度来衡量它的话, 那么, 就可以得到曲线3。

一般情况下, 去污系数可以用去污前、后放射性物质的放射性之比来表示, 这个比值相当于曲线1和曲线3下面面积的比值, 即:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{去污}} &= \frac{A_{\text{原始}}}{A_{\text{最终}}} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\int_{\Pi_1}^{\Pi_2} F_{\text{原始}}(\Pi) d\Pi}{\int_{\Pi_1}^{\Pi_2} F_{\text{最终}}(\Pi) d\Pi} \\
 &= \frac{\int_{\Pi_1}^{\Pi_2} F_{\text{原始}}(\Pi) d\Pi}{\int_{\Pi_1}^{\Pi_2} F_{\text{原始}}(\Pi) \gamma_F(\Pi) d\Pi} \quad (1.9)
 \end{aligned}$$

式中 $F_{\text{原始}}(\Pi)$ 和 $F_{\text{最终}}(\Pi)$ 分别表示去污前和去污后 Π 因素的分布函数。 $F_{\text{最终}}(\Pi)$ 为按原始污染比例尺度考虑的最终污染的变化函数。一般情况下，可用下式表示：

$$F_{\text{最终}}(\Pi) = F_{\text{原始}}(\Pi) \gamma_F(\Pi) \quad (1.10)$$

式中 $\gamma_F(\Pi)$ 为按原始污染数值比例尺度考虑到 Π 因素的变化函数。

在某些情况下，例如当放射性污染物质为固体或液体微粒时，公式 (1.9) 中的 Π 因素就是放射性微粒的直径。在这种条件下

$$\begin{aligned}
 K_{\text{去污}} &= \frac{\int_{d_1}^{d_2} F_{\text{原始}}(d) dd}{\int_{d_1}^{d_2} F_{\text{最终}}(d) dd} \\
 &= \frac{\int_{d_1}^{d_2} F_{\text{原始}}(d) dd}{\int_{d_1}^{d_2} F_{\text{原始}}(d) \gamma_F(d) dd} \quad (1.11)
 \end{aligned}$$

式中 d 为微粒直径。

已经证实，放射性微粒或液滴按其尺寸大小和按其放射性的分布是遵守正态对数分布定律的。考虑到这种情况，公式(1.11)中的分子可用下式表示

$$dF_{\text{原始}}(d) = \frac{dN}{N} = \frac{0.43}{\sigma \sqrt{2\pi}} \times \exp \left[-\frac{(\lg d - \lg \bar{d})^2}{2\sigma^2} \right] d\bar{d} \quad (1.12)$$

式中 $\bar{d}$ ——微粒或液滴的中值直径，

σ ——均方差*。

微粒按尺寸大小或按放射性的分布可用同一公式(1.12)来确定。其区别仅在于因素 $\bar{d}$ 与 σ 的数值不同。在一般情况下，按尺寸大小分布的微粒中值直径 $\bar{d}$ 小于按放射性分布的微粒中值直径。

在这种情况下，按原始分布衡量的最终分布可用函数 $\gamma_F(d)$ 来实现，这个函数与微粒或液滴的大小有如下比例关系：

$$\gamma_F(d) = ad^b \quad (1.13)$$

式中 a 和 b ——与去污方法有关的系数，由实验确定。

正是系数 a 和 b 将去污效果与表征去污方法的因素联系起来。对于某些去污方法，这些系数可由实验确定并用于 $K_{\text{去污}}$ 的计算（见3.4节）^[21, 23]。

微粒的放射性与其直径有下列关系^[21, 23]

$$A = kd^n \quad (1.14)$$

* $\sigma^2 = (\bar{d} - d)^2$ 是 d 对 $\bar{d}$ 的均方差。——译者注