

铸造车间环境保护

孙可伟，孙力军编

重庆大学出版社

第一章 概 论

第一节 环 境 科 学

一、环境问题

环境科学中环境的概念是指围绕着人群的空间，及其中可以直接、间接影响人类生活的各种自然因素以及相关的社会因素的总体。以人类为主的环境，同时包括自然环境和社会环境。自然环境包括：大气环境、水环境、噪声环境、振动环境、地理环境、地质环境、宇宙环境、生物环境等。社会环境包括：聚落环境、生产环境、交通环境、文化环境等。

环境问题，同人口、粮食、能源、战争问题一起，已成为当今世界上最被人们所关心，最迫切需要解决的五大问题。由于人类活动作用于人们周围的环境所发生的环境质量变化，以及这种变化反过来对人类的生产和生活产生影响的问题，称作为环境问题。人类社会当前面临自然环境恶化；生态平衡破坏；资源、能源短缺；社会、经济发展受影响；人类健康受影响等五大环境问题。

一些由非人类能力所能控制的自然活动引起环境恶化的问题，称为第一类环境问题，或称原生环境问题。由于人类的社会经济活动造成对自然环境的破坏作用，这种人为造成的环境问题称为第二类环境问题，或称次生环境问题。由于社会经济发展与环境保护要求失调原因所造成的环境问题，即非人类主观造成但与人类活动有关的环境问题，称作为第三类环境问题。

二、环境科学

环境科学是研究环境的质量及其保护和改善的学科。环境科学是在 60 年代末、70 年代初开始形成的一门新科学。它的领域十分广阔，是一门综合性很强的学科，不仅包括各种自然因素，也包括一定的社会因素。它是以生态学为基础理论，充分利用化学、生物学、物理学、数学、地学、医学、工程学等各领域的科学知识和技术，对人类活动引起的空气、水、土地、生物环境的问题，进行系统地研究的学科。

生态学与环境科学有着十分密切的联系，防止因环境问题产生对生态系统的破坏，是环境保护的重要内容。生态学是研究生物与其生存环境之间相互关系的科学，生态系统由四个部分组成：生产者，即绿色植物；消费者，即动物；分解者，即有分解能力的微生物；非生命物质，即各种无生命的无机物、有机物和各种自然因素。生态平衡是指生态系统的能量流动和物质循环，能较长时间地保持稳定，而且信息能畅通地传递的这种平衡状态。能量流动是指来自太阳的能量的一系列转移。物质循环是指水循环、碳循环、氮循环等基本元素的循环。信息传递是指把生态系统各部分联系起来的各种条件，如营养信息，化学信息，行为信息，声、光、色等物理信息的传递。生态学为环境科学提供了重要的基

本理论，也是环境保护的理论基础。尽管如此，环境科学由于已经形成自己独特的体系，它所负担的任务是其它学科所不可能替代的。

环境科学可以划分为基础环境学、应用环境学和环境学三大部分。基础环境学是环境体系的基础，它包括环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学和环境医学。应用环境学是这些基础理论的实际应用，它包括环境工程学、环境经济学、环境法学和环境管理学。环境学是在两者互相渗透、发展的基础上，以 70 年代中期发展起来的人类生态学为核心而形成的更高一层的学科，它研究人类与环境系统相互作用的规律及其机理。它包括理论环境学、综合环境学和部门环境学。

“铸造车间环境保护”是环境工程学与铸造工艺、合金、设备等专业课相互渗透、交叉形成的一门新课程。它是大气污染防治工程学、水污染防治工程学、固体废物处理和利用工程学、噪声振动污染防治工程学，以及环境监测、质量评价学学科等在铸造车间的实际应用和发展。

第二节 环境保护法

一、政策、立法和执法

政策是法律的灵魂，法律必须以政策为指导、为内容。政策是带有指导性的。政策反映的范围较广，它渗透到、贯彻于上层建筑的各个方面。政策的实施主要靠说服教育，有时也具有强制性。

法律则是政策的条文化、规范化、定型化，是实现政策的重要工具。法律不能阐述很多道理，伸缩性较小。法律主要表现为命令和强制人们遵守，有时也要伴之以说服教育。

执法是指对法律规范的执行。执法包括了行政程序的司法程序。在我国对环境保护法规的执行，大量采用行政程序，目前司法程序采用得不多。

二、我国环境保护政策

环境保护是我国的一项基本国策。我国环境保护政策的几个主要方面是：(1) 正确处理经济发展、社会发展与环境保护的关系。(2) 把环境保护纳入国家计划，是实现经济、社会和环境同步协调发展的重要保证。(3) 把治理“三废”（废气、废物、废水）同开展技术改造和综合利用有机地结合起来，作为提高经济效益的重要任务来抓。(4) 保护农业环境和自然生态是环境保护的一项重要任务。(5) 大家动手，分工协作，是加强环境保护工作的重要保证。

在我国防治工业污染方面的几个政策问题是：(1) 要在工业调整、改组中解决一些难以治理的严重污染源。(2) 要在企业整顿中加强环境管理。(3) 要在技术改造中防治污染。(4) 要提高认识和加强领导。

三、我国环境保护法

我国环保法（试行）共分七章三十三条。第一章，总则；第二章，保护自然环境；第三章，防治污染和其它公害；第四章，环境保护机构和职责；第五章，科学研究和宣传教育；第六章，奖励和惩罚；第七章，附则。

我国环保法的基本原则有：(1) 经济发展和环境保护相协调的原则。(2) 预防为主，防治结合的原则。(3) 谁开发利用谁保护的原则。(4) 谁污染谁治理的原则。(5) 保护环境，人人有责的原则。(6) 奖励与惩罚相结合的原则。

我国环保法的基本制度有：(1) 三同时制度。(2) 环境影响评价制度。(3) 排污收费制度。所谓三同时制度就是按照环保法律规定，要求一切企、事业单位在进行新建、改建和扩建工程时，对其中防治污染和其它公害的设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产的制度。所谓环境影响评价制度就是要求在进行新建、改建和扩建工程时，必须提出“环境影响报告书”，经环境保护部门和其它有关部门审查批准后才能进行设计。环境影响报告书是一种环境保护的法律文书，它的内容是从保护环境的目的出发，对基本建设项目进行可行性研究，通过综合评价，论证和选择一种最佳方案，从而达到布局合理，对自然环境的有害影响比较小，对环境造成的污染和其它公害能够得到控制。所谓排污收费制度是谁污染谁治理原则的延伸与具体化，是指国家环保机关运用行政权利对于那些排放污染物超过国家规定的标准，而又不进行治理的单位，按照排放污染物的数量和浓度，强制收取排污费的一种环境保护法律制度。

四、我国环境保护执法

我国环境保护执法中的两个法律制度是：(1) 举证责任转移法律制度。(2) 无过失责任法律制度。所谓举证责任转移，就是指诉讼中原来由原告对其主张的事实提出证据加以证明的义务，这是因为环境污染的监测化验费用大，技术性强，要污染受害者在起诉时自己提供具体数据证据显然是不现实的。所以，责任可由某些规定或法律推定后，而转移到被告人身上。所谓无过失责任制，就是指没有过错也要承担赔偿责任。因为由于环境污染所造成的危害的特殊性和复杂性，往往难以分清排污者是否存在过失，但又必须从立法上加强对污染受害者保护的必要性，所以执行这种制度。

第二章 铸造车间空气污染及其防治

第一节 空气污染基础知识

一、空气污染的概念

1. 空气污染的定义

所谓大气是指笼罩在地球表面 10~12km 高度的一层空气。这层空气由氮、氧、氩、二氧化碳四种主要气体组成, 占空气重量的 99.997% 其余有微量的氟、氦、氖、氫、氫、甲烷、臭氧、氧化氮等气体, 占 0.001% 左右。当大气中有空气正常成份以外的物质(如: 粉尘、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、碳氢化合物等)存在而大气的自然净化作用又受到妨碍时, 当其数量与存在的时间足以对人的健康、动植物的生命或财产构成损害, 或者不合理地干扰人们的生活, 使之有不安全和不舒服感时, 可以把这种情况定义为大气污染。目前世界各国对大气污染有各种各样的定义, 反映了定义者的各种动机和着重点。在大气污染的定义中关键的是什么叫污染物。通常只把其浓度足以对人或其它动物、植物或材料产生可以测量的影响的物质称作为污染物。

进一步来说, 所谓污染就是作为研究对象的物体或物质, 由于某种其它物质的粘附、混入和作用, 而使研究对象本身所具有的功能和性能受到不良影响或者不良影响所导致的状态。引起这种污染的物质叫做污染物, 产生污染物的根源叫做污染源。有没有污染完全取决于对象物本身; 对象物是否处于污染状态取决于对象是否受到不良影响。例如: 对象物是人, 那对空气污染的考虑是以保健为目的, 根据人的生理特点对空气的洁净程度提出要求。当然, 从保障人的健康角度出发, 无论是一般居住环境还是生产劳动环境, 对保健的基本条件两者应该是相同的, 但在某些特殊的劳动环境中, 有时可以适当调节作业内容和控制接触时间而放宽对洁净度的要求。但对这种情况必须特别谨慎, 以防人的生理恢复机能减弱, 甚至损坏健康。又例如: 对象物是物品, 那对空气污染的考虑是以工业生产为目的的, 根据产品、物品以及工艺流程的不同对空气的洁净程度也有所区别。有的部门很忌讳灰尘, 而有的部门对洁净度的要求与普通居住环境差不多。在有人的环境中, 如果物品所要求的洁净度标准低于人的要求, 理所当然要以人的要求为准, 建立以保健为目的的空气净化环境。总之, 只有明确了对象物。弄清了对象物对空气状态的洁净要求, 才有可能掌握大气污染的概念。

2. 空气污染物的分类

引起空气污染的物质, 就其发生机理可分为自然污染物质和人为污染物质两类。自然污染物是指雾、风砂、火山灰、悬浮微生物、花粉等; 人为污染物是指工业、交通、日常生活等所产生的污染物质。

按其物理性质还可以将它们分为固体(液体)悬浮粒状污染物质和气态污染物质两类。粒状污染物是指粒径在 $0.001\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 范围内的固态和液态无机物和有机微粒

子, 这些粒子作为分散相, 以空气作为分散介质构成了一种称作气溶胶的分散体系。气态污染物是指在常温下呈气态的无机物和有机物, 如一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氟化氢、氮氧化物、碳氢化合物等。

另外还可以把污染物分为两大类: 直接从各种污染源排放出来的污染物, 称为一次污染物; 在大气中由两种以上一次污染物相互作用生成的, 或由一次污染物与正常大气组分反应生成的污染物, 称为二次污染物。如: 由于人类活动向大气层排放了大量的二氧化硫和氮氧化物, 这些一次污染物在大气或水滴中转化为硫酸和硝酸, 这两种二次污染物主要构成了已成世界性问题的酸雨。通常将 pH 值小于 5.6 的大气降水称为酸雨, 而这两种酸占酸雨总酸量的 90% 以上。又如: 从人类社会排入大气的碳氢化合物同氮氧化物等一次污染物在阳光下 (紫外光) 作用发生光化学反应, 并生成反应性很强的化合物, 即二次污染物, 两者混合物形成光化学烟雾, 对大气环境的恶化起很大的作用。

3. 空气污染的构成

排入大气的污染物能否造成污染取决于污染量。而决定污染量的主要因素有: 人类活动、地理条件、气象条件等。

人口、产业结构、人类的活动和生产, 每年、每月、每日都在变化, 因此污染物的排量也随之变化。另外群众对大气污染的认识, 以及产业界对处理产业大气污染的态度, 也影响着对污染物排出量的控制和管理。

地形和地面状况的不同, 也会影响污染物的扩散。山谷、河谷比平原地区容易形成逆温层 (接近地面的空气层的温度低于其上层空气层的温度), 因此不容易将污染物扩散出去。

在自然条件下, 风、雨、云、雾、太阳辐射量、大气稳定度以及空气温度变化等都对大气污染有一定影响。风向决定了污染的地区, 风速影响着地面大气污染的扩散速度。大气污染物的扩散主要依靠称为大气湍流的不规则流动的空气的作用。太阳辐射量大时, 地面空气温度升高很快, 造成上升气流使高空和地面空气交流, 便于污染物的扩散和净化。假若随高度的增加温度增加或温度以较低的递减率减少, 则气流的垂直运动减小或受阻, 容易发生逆温层, 这就妨碍了污染物的扩散。

一般来说, 受到污染的空气经过一段时间后, 又可恢复到原来的空气成份, 这是因为地球有自然净化的能力。例如: 一氧化碳转化为二氧化碳, 又通过陆地上绿色植物光合作用固定到有机体中, 另有一部分溶入海洋。二氧化硫可氧化为三氧化硫, 再溶于水汽形成硫酸, 硫酸与其它物质反应形成硫酸盐, 最后硫酸盐被降雨清除。氮氧化物可经光化学反应生成含氮有机物, 反应生成硝酸, 再生成硝酸盐, 最后被雨水清除。碳氢化合物可反应生成光化学产物, 最终氧化成二氧化碳和水。大颗粒的固体污染物可籍重力沉降, 小颗粒 ($\geq 2\mu\text{m}$) 可被雨水清除。但是, 人类的活动, 特别是现代工业和发展, 向大气中排放的有害物质越来越多, 其种类也越来越复杂, 在超过地球的自净能力后, 就会出现大气污染。

二、空气污染物的性状

1. 悬浮粒状污染物

(1) 生成和分类

不同领域内悬浮粒状物质有不同的名称。悬浮粒状物的分类方法已有很多,而且新的分类方法还在不断出现。最典型的分类方法是按粒径的大小及粒子的各种生成过程进行分类的。但是这些分类方法在理论上都无明确定义,主要是为了方便。

粉尘:粉尘是由于物体粉碎而产生和分散到空气中的微粒。其粒径一般在 $1\sim 100\mu\text{m}$,但实际上 $1\mu\text{m}$ 以下的粒子也存在。粒径从 $1\mu\text{m}$ 到数 $10\mu\text{m}$ 粒子占多数,在 $4\mu\text{m}$ 左右的位置上出现一个峰值。粒子的形状和大小很不均匀,但其组成成分与生成前的物质相同。通常,粒径在 $10\mu\text{m}$ 以上的较粗的粒子叫“降尘”,因为它们容易发生重力自然沉降而降落到地面;粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的粒子叫“飘尘”,因为它们即使在微弱的大气气流作用下也会发生浮游,不容易降落到地面。飘尘将长时间地污染大气,有的甚至几个月几年也不沉降,而小于 $0.1\mu\text{m}$ 的尘粒就根本不沉降。

烟气:烟气是在燃烧、升华、蒸华、凝聚的过程中形成的。其粒径分布约从 $0.01\mu\text{m}$ 到 $1\mu\text{m}$ 。无机物质如金属等的气体或蒸汽,在空气中冷却凝结成固体微粒,或在空气中起化学变化,生成粒状化合物分散在空气中,烟气与粉尘不同,它的凝聚力很大,比粉尘粒子更富有规则性。

烟尘:烟尘是有机物质由于不完全燃烧生成的粒状物质分散在空气中。其粒径分布约 $0.01\mu\text{m}$ 到 $1\mu\text{m}$ 。一般来说烟尘是多成份的混合物,在有机燃料不完全燃烧所生成的烟尘中,不仅有碳的微粒(炭黑)、焦油状态的物质(油灰)等主要成分,还有燃烧热分解所产生的挥发性物质的凝缩物(白烟)。烟尘是造成大气污染的主要原因之一。

雾:雾是液体破碎或蒸气凝结形成的混悬于空气中的微小液滴。雾的生成过程不同,其粒径的大小亦不同,但粒子形状总是保持球形。粒径约 $0.5\sim 30\mu\text{m}$ 。粒子的运动可觉察。

雾:雾是大气中的水蒸汽凝结成的液体粒子。粒径 $0.1\sim 100\mu\text{m}$ 。粒子及其运动不可觉察。

通常烟气和烟尘常混用,有时合称为“烟”,可把雾认为是一种稀薄的“雾”,所谓“烟雾”则是“烟”和“雾”的合成词。一般,把由于烟雾之类的存在而引起视觉障碍的现象叫做“发生烟雾”。

(2) 密度

固体粒子的密度有真密度与堆积密度之分。真密度是指已去除所含气体和液体的固体粒子单位体积所具有的质量。用 ρ 表示,单位是 g/cm^3 。一般所称的密度就是真密度。一般,气溶胶中所含的固体粒子多数不是由同一成份组成,而是由多种成份所组成。另外,粒子的形状也很复杂,粒子有时是中空的。所以,在实际使用时就不能照搬物质的物理特性表来套用,可以用一定的方法来测定密度。堆积密度是指包括尘粒之间和尘粒之中全部空隙在内的固体粒子单位体积所具有的质量,用 ρ_s 表示,单位也是 g/cm^3 。真密度 ρ 对一定的物质是一定的,但堆积密度 ρ_s 则与空隙率有一定的关系。所谓空隙率是指粒子间隙的空间体积与包括粒子群在内的全体积之比。所以随着充填程度的不同,堆积密度会有大幅度的变化。因此如未事先规定粒子的充填程度,就将成为一个不能比较的、没有意义的值。对于球形粒子,通过一定的方法就能取得有相当再现性的数值,可是对于不规则的粒子,因为目前还没有统一的规范,所以不同的测定会有一定的偏差。

真密度 ρ 、堆积密度 ρ_e 与空隙率 ε 之间附合下列关系:

$$\rho = (1 - \varepsilon) \rho_e \quad (2-1)$$

在公制中密度与比重在数值上是相等的。因为比重是物体的质量与同体积 4℃ 纯水质量之比值。而 4℃ 纯水的密度为 1g/cm^3 。所以在实际应用中也常用真比重、堆积比重(或称堆积容重)来取代真密度、堆积密度。

(3) 浓度

悬浮在大气中的粒状污染物的浓度一般称为“粉尘浓度”、“含尘浓度”或“粒子浓度”。

这种浓度通常用绝对表示法来表示。计数浓度和重量浓度就属于这种表示法。计数浓度是以单位空气体积中粒状污染物的个数来表示的浓度(计数法),其单位是个/ cm^3 。重量浓度是以单位空气体积中粒状污染物的重量来表示的浓度(重量法),其单位是 mg/m^3 或 $\mu\text{g/m}^3$ 。

这种浓度也可以用相对表示法来表示,即相对浓度。先测定悬浮在空气中的粒状污染物的计数浓度或重量浓度的相关量,然后用与该浓度有直接关系的指数来表示(比色法、光散射法)。在同一类型的粒子分散体系中,粒子的相对浓度是用与计数浓度或重量浓度成正比的物理量表示的。

气溶胶本身不稳定,它的浓度随时间的变化非常明显。在大气中,由于地理和气象条件不同,浓度变化相当复杂。尤其在城市地表附近的浓度日变化很大,地区之间也不相同。根据记录早晚两次出现的峰值所知,这种日变化的原因,除了受人们社会活动影响之外,受日内气流变化和早晚气温交替变化等因素影响也很大。

(4) 分散度

分散度指物质被粉碎的程度,用各种悬浮粒子粒径范围的个数或重量的百分比分配情况来表示。悬浮粒状污染物是以气溶胶状态存在的,在气溶胶中并非只含有大小相同的气溶胶粒子,而是从极细到很粗的各种不同的大小的粒子以不同的比例混合起来的。而且除了雾一类微小液滴外,固体气溶胶粒子的形状几乎都是不规则的,很难见到球形粒子。所以一般采用适当的方法测定粒子的代表性尺寸,并以此来代表各个粒子的单一粒径,再用平均的方法求出粒子群的平均粒径,最后把各粒子群对应各个粒径的比例用一定的粒径分布形式表示出来。这种分散度的表示法,是随测定项目的目的的不同,而采用不同测定法和计算法的。气溶胶中粒子的粒径愈小,小粒径占的比例愈大,则其分散度愈大,反之则愈小。气溶胶粒子的粒径一般在 $100\mu\text{m}$ 以下。通常把 $10\mu\text{m}$ 以下的粒子作为研究对象。

分散度的测定方法很多,见表 2-1。在分散度的测定法中,工业上最广泛应用的是筛分法、沉降法和显微镜法。通常 $50\mu\text{m}$ 以上的较粗粒子用筛分法测定, $1\mu\text{m}$ 到 $50\mu\text{m}$ 左右的用沉降法, $1\mu\text{m}$ 以下的则用显微镜法测定之。

单一粒径具有表 2-2 所示的各种表示方法。有关的单一粒子的测定尺寸如图 2-1 所示。其长轴径是指平面投影中的最大距离;短轴径是指垂直长轴径方向的最大的距离;定向径是指平面投影图上任意方向的最大距离;定向面积等分径是指按一定方向将投影面积分割成二等分时的直线长度。

表 2-1 分散度的测定方法

原 理	方 法	测定范围 (μm)
1. 根据几何学 特性 (测定长 度、大小)	(1) 筛分法 (2) 显微镜法 (3) 细孔通过法	> 40 $100 \sim 0.25$ $1 \sim 0.001$ $2 \sim 0.01$ $150 \sim 1$
2. 根据流体力学 特性 (测定司 托克斯径)	(1) 重力沉降法 (2) 离心力法 (3) 喷射法	$100 \sim 1$ $50 \sim 1$ $10 \sim 0.05$ $60 \sim 1$ $50 \sim 1$
3. 根据表面特性 (测定比表面 积)	(1) 吸着法 (2) 透过法	$50 \sim 0.01$ $20 \sim 0.002$ $100 \sim 0.7$
4. 根据对电磁波 的特性	(1) 散射法 (2) X 射线法	$50 \sim 0.05$ $100 \sim 1$ $0.01 \sim 0.001$

表 2-2 单一粒径的表示方法

名 称	计算单位
长轴径	l
短轴径	b
二轴平均径	$(l+b) / 2$
外接矩形等值径	$(lb)^{\frac{1}{2}}$
正方形等值径	$f^{\frac{1}{2}}$
圆等值径	$(4f/\pi)^{\frac{1}{2}}$
几何平均径	$(lbh)^{\frac{1}{3}}$
圆柱等值径	$(fh)^{\frac{1}{3}}$
立方体等值径	$V^{\frac{1}{3}}$
球等值径	$(6V/\pi)^{\frac{1}{3}}$
定向径	Dg
定向面积等分径	Dm
斯托克斯径	$\sqrt{\frac{18\eta u}{(\rho - \rho_s) g}}$

注: h —厚度; f —投影面积; v —粒子体积; η —流体粘性系数; u —粒子沉降速度; ρ —粒子真密度; ρ_s —流体真密度。

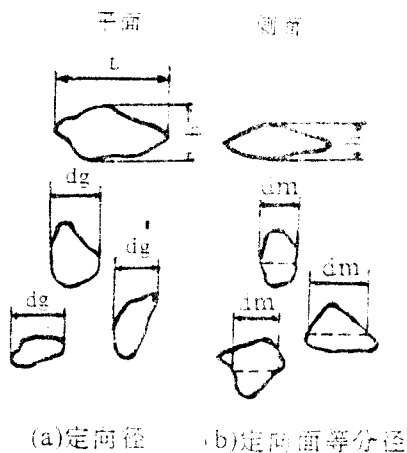


图2-1 单一粒子的测定方法

常用的平均粒径计算公式和它们适用的范围列于表 2-3 中。对 $60\mu\text{m}$ 以下的粒子作计算时可得 $d_3 < d_2 < d_1 < d_7 < d_8 < d_4 < d_5 < d_6$ 。实际应用中常用表 2-3 中最后三种平均粒径。比表面积指的是集合粒子单位体积（或重量）具有的总表面积，它可以用实验方法求得，然后求出比表面积径。中径是指以重量基准的累计筛上百分比为 50% 时的粒径。累计筛上百分比是指一定直径大的粒子占全部粒子重量的百分比，由此，粒径 $d=0$ 时，累计筛上百分比 $R=100\%$ ， $d=\infty$ 时， $R=0\%$ 。多数径则指以重量基准的粒径频率分布中最多时的粒径。

表 2-3 平均粒径的计算方法和适用范围

名 称	计 算 公 式	适 用 范 围
算术平均径	$d_1 = \sum n d / \sum n$	蒸发
几何平均径	$d_2 = (d_1' d_2' \cdots d_n')^{1/n}$	
调和平均径	$d_3 = \sum n / \sum (n/d)$	
面积长度平均径	$d_4 = \sum n d^2 / \sum n d$	吸附
体面积平均径	$d_5 = \sum n d^3 / \sum n d^2$	传质，反应，粒子层的流体阻力
重量平均径	$d_6 = \sum n d^4 / \sum n d^3$	空气输送，燃烧，重量效率
平均表面积径	$d_7 = [\sum n d^2 / \sum n]^{1/2}$	吸收
平均体积径	$d_8 = [\sum n d^3 / \sum n]^{1/3}$	光的散射，雾化质量分布
比表面积径	$d = 6 / S \cdot \rho$	蒸发，分子扩散
中 径	d_{50} (筛上重量百分比为 50% 的粒径)	分离，分级装置的性能
多数径	d_{mod} (粒径分布中频率最高的粒径)	

注：n—以个数基准的频率分布； ρ —粒子密度；S—粒子比表面积。

在工程中，还经常用下式来计算细粒较多的集合粒子平均粒径：

$$ds = 1 / \sum \frac{Xi}{d_n} \quad (2-2)$$

式中 d_{pi} — 粒子组分直径, X_i — 相应筛上颗粒重量百分率。

用上式计算比较简便, 其误差不大。

气溶胶粒子是粒径不等的粒子集合体。这种粒子集合体的分布状态叫做粒径分布或粒度分布。粒径分布往往具有一定的规律性, 可用某一分布函数近似地表示。这种分布可以是重量基准, 也可以是个数基准, 常用的是重量基准。粒径分布有累计分布和频率分布两种, 常用的是重量基准的累计分布, 简称 R 分布。这种分布是用比某一粒径大的粒子的重量对于全部粒子的重量的百分数, 即筛余累积频率 $R(\%)$ 来表示的。常见的这类累计分布有正态分布(机率分布), 对数正态分布(对数机率分布)和罗辛—拉姆勒分布($R-R$ 分布)。由于粒子形状和大小的复杂性, 其粒径分布往往不完全按高斯正态分布, 在粒子中粗粒较多时, 它更符合对数正态分布规律。对大多数细粒较多的粒子, 它更符合 $R-R$ 分布, 特别是 $100\mu\text{m}$ 以下的粉碎粒子或自然存在的粒子都能较好地符合 $R-R$ 分布。这三种分布的筛余累积频率 R 表达式如下:

高斯正态分布(机率分布):

$$R = 100 \int_{d_p}^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(d_p - d_{p50})^2}{2\sigma^2} \right] d(d_p) \quad (2-3)$$

对数正态分布(对数机率分布):

$$R = 100 \int_{d_p}^{\infty} \frac{1}{\lg \sigma_g \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(\lg d_p - \lg d_{p50})^2}{2(\lg \sigma_g)^2} \right] d(\lg d_p) \quad (2-4)$$

罗辛——拉姆勒分布($R-R$ 分布):

$$\begin{aligned} R &= 100 \exp[-(d_p / d')^n] \\ &= 100 \exp(-b d_p^n) \\ &= 100 \times 10^{-b' d_p^n} \\ \lg R &= \lg 100 - b' d_p^n = 2 - b' d_p^n \\ \lg(2 - \lg R) &= n \lg d_p + \lg b' \end{aligned} \quad (2-5)$$

上三式中:

R —筛余累积频率(%)

d_p —粒径;

σ —标准差, $\sigma = d_{p50} - d_{p15.87}$;

σ_g —几何标准差, $\sigma_g = d_{p50} / d_{p15.87}$;

d_{p50} — $R = 50\%$ 时的粒径;

$d_{p15.87}$ — $R = 15.87\%$ 时粒径;

d' — $R = 36.8\%$ 时的粒径;

b, b', n —常数, $b' = 0.434b$, 在 $R-R$ 分布中, 对 $100\mu\text{m}$ 以下的粉碎粒子和自然粒子, n 值多数在 1 左右

b 或 b' 愈大, d' 愈小, 则粉尘愈细。 $R-R$ 分布表达式表明了 $\lg(2 - \lg R)$ 和 $\lg d_p$ 的直角坐标上是一条直线, n 代表斜率, $\lg b'$ 为起点。

(5)表面特性

粒子表面的特性在附着、凝聚、湿润、吸收等方面有着很大的影响, 在进行物理、

化学处理时，它是不能忽略的因素。粒子表面特性涉及到比表面积、形状系数、粗糙系数等概念。

表示粒子单位体积（或重量）具有的总表面积的特性，称粒子的比表面积。对单一球形颗粒而言，比表面积 S 和粒径 d_p 的关系如下：

$$S = \pi d_p^2 / \left(\frac{\pi d_p^3}{6} \right) = \frac{6}{d_p} (\text{cm}^2 / \text{cm}^3) \quad (2-6)$$

$$\text{或 } S' = \pi d_p^2 / \rho_p \left(\frac{\pi d_p^3}{6} \right) = \frac{6}{\rho_p \cdot d_p} (\text{cm}^2 / \text{g}) \quad (2-7)$$

式中： ρ_p —粒子的密度

对空隙率为 ε ，平均粒径为 d_x 的球形粒子群而言，则

$$S = 6 \frac{(1-\varepsilon)}{d_x} \quad (2-8)$$

对非球形粒子群而言，则

$$S = 6 \frac{(1-\varepsilon)}{\varphi' \cdot d_x} \quad (2-9)$$

式中 φ' 为粒子群的形状系数，可由流体阻力实验求得，例如砂粒为 0.75，焦炭粉为 0.55~0.70，细煤粉为 0.73，烟灰为 0.55~0.89。

表示实际粒子形状与球形粒子不一致的程度的特性，称粒子的形状系数。因为气溶胶中的粒子，其粒径是不均匀的，但都把它们看作球形，再确定其平均粒径。这样不但理论分析方便，而且球形粒子无方向性，实验结果重复性好。但是，实际的粒子都不是球形，因此就必须用形状系数来加以修正。常用的形状系数有：

$$\text{球形度(粒度系数)} \varphi_0 = \frac{\text{与粒子体积相等的球的表面积}}{\text{粒子的实际表面积}} < 1 \quad (2-10)$$

$$\begin{aligned} \text{圆形式度 } \varphi_c &= \frac{\text{与粒子投影面积相等的圆的周长}}{\text{粒子投影面的周长}} \\ &= \frac{\text{面积与粒子投影面积相等的圆的直径}}{\text{圆周与粒子投影面周长相等的圆的直径}} < 1 \end{aligned} \quad (2-11)$$

$$\text{面积形状系数 } \varphi_s = \frac{\text{粒子的总表面积}}{(\text{粒径})^2} \quad (2-12)$$

$$\text{体积形状系数 } \varphi_v = \frac{\text{粒子的体积}}{(\text{粒径})^3} \quad (2-13)$$

$$\text{比表面积形状系数 } \varphi = \frac{\text{面积形状系数 } \varphi_s}{\text{体积形状系数 } \varphi_v} \quad (2-14)$$

比表面积形状系数也简称为形状系数。对于球体， $\varphi_s = \pi$ ， $\varphi_v = \pi/6$ ， $\varphi = 6$ 。

粒子的形状系数是宏观量。如果微观地看，在粒子表面有很多微小的高低不平或裂纹。可用粗糙系数来表示这种特性。

$$\begin{aligned} \text{粗糙系数} &= \frac{\text{粒子微观的实际表面积}}{\text{外表看成光滑时粒子的宏观表面积}} \\ &\approx \frac{\text{用吸附法测定的比表面积}}{\text{用渗透法测定的比表面积}} > 1 \end{aligned} \quad (2-15)$$

(6)粒子的运动

气溶胶是气体和微粒子稳定分散体系的总称。但气溶胶和液体分散体系的水溶胶不同,在粒子和介质之间存在 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 左右的密度差。严格说来是难于保持稳定的。以气溶胶状态存在的粒子,其粒径一般在 $100\mu\text{m}$ 以下。大粒的气溶胶粒子在惯性或重量力作用下,按牛顿定律作规则运动,小粒的气溶胶粒子则类似气体分子,很活泼,作布朗运动。当粒径大于 $100\mu\text{m}$ 时,粒子沉降速度较大,在空气中悬浮是暂时的,寿命很短。研究粒子在空气中运动的一门科学叫气溶胶力学,它是定量研究除尘设备和防尘措施的作用机理,以及掌握悬浮粒子的扩散、沉降、附着凝聚等状态变化的基础。

a) 牛顿运动 当粒径为 $1\sim 100\mu\text{m}$ 的球形粒子,从静止状态开始,在静止流体中自由下落时,粒子由于受到重力和浮力的合力(沉降力)的作用,下落速度逐渐增大。与此同时,粒子所受到的流体的阻力也在增大。最后,粒子的沉降力和流体阻力达到平衡。此时,粒子具有一定的平衡速度,这个临界速度叫沉降速度。于是,粒子就在静止流体中均匀等速沉降。如果流体具有此值的垂直向上速度,则粒子将停止在流体中,既不上升也不下降,这种现象称为粒子的悬浮。流体的这个上升速度称为该粒子的悬浮速度。如果粒子处在速度大于沉降速度的流体中时,就会被流体带动。如果有二种或二种以上的力(重力、惯性力、离心力、热力、扩散粘附力、声波力、电力等)作用在粒子上,则可根据牛顿定律、斯托克斯定律等,定量研究粒子的沉降运动。

粒子只受重力作用的自然沉降力 W 为:

$$W = W_p - W_0 = \frac{\pi d_p^3}{6} (\rho_p - \rho_a) g \quad (2-16)$$

式中: W_p —粒子自重;

W_0 —粒子受到的浮力;

d_p —粒子直径;

ρ_p —粒子密度;

ρ_a —流体密度;

粒子自然沉降中受到的流体阻力 F 为:

$$F = \frac{1}{2} C A \rho_a U^2 \quad (2-17)$$

式中: C —流体阻力系数;

A —粒子在运动方向的投影面积;

U —粒子相对空气的速度;

阻力系数 C 是只取决于雷诺数 R_e 的函数。雷诺数 R_e 是粒子以临界沉降(悬浮)速度在流体中运动时,判别流体状态的标准。它是一个无量纲常数,定义为:

$$R_e = \frac{\rho_a d_p U_s}{\mu} \quad (2-18)$$

式中: μ —流体的动力粘性系数

U_s —粒子的临界沉降速度

若把雷诺数分成三个范围,则可得出三个不同范围内的流体阻力。

微细粒子在层流中的情况适用于斯托克斯范围($10^{-4} \leq R_e \leq 2$),其流体阻力为:

$$F = 3\pi\mu d_p U \quad (2-19)$$

中等大小粒子在过渡流中的情况适用于艾伦范围($2 < R_e < 500$), 其流体阻力为:

$$F = \frac{5\pi}{4} \cdot \sqrt{\mu P_a} \cdot (d_p U)^{1.5} \quad (2-20)$$

粗粒子在紊流中的情况适用于牛顿范围($500 \leq R_e < 10^5$)其流体阻力为:

$$F = 0.055\pi d_p^2 \rho_a U^2 \quad (2-21)$$

当沉降力与流体阻力相等时, 即 $W=F$ 时, 可以求出在不同流体状态范围内某种粒径粒子的临界沉降速度, 即悬浮速度。当悬浮速度代入雷诺数的定义公式时, 可以求某种物质粒子在某流体状态下的界限直径。

b) 布朗运动 粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的粒子在静止流体中根本不沉降, 处于悬浮状态, 不停地作着纷乱的无定向运动。这种随机运动叫布朗运动。布朗运动可解释如下: 悬浮在流体中的小颗粒, 被处于热运动状态的流体分子所包围, 小颗粒受到来自各个方向的流体分子的碰撞。由于颗粒体积较小, 在任一瞬间, 来自各个方向的流体的分子数不会恰好相等, 所给予的冲量也不会相互平衡, 因此颗粒就将沿着冲量较大的方向运动。所以, 布朗运动虽不是流体分子本身的热运动, 却如实地反映了流体分子热运动所产生的结果。

布朗运动中每个粒子都独立地进行随机运动, 所以可用概率论的方法表示该现象, 也可以用古典力学的方法来表示。二种方法都可以用著名的爱因斯坦公式来表示。如设微粒从某个位置出发, 由于布朗运动, 经时间 t 后到达某位置的平均移动绝对距离为 X , 则:

$$X^2 = 2D_B t \quad (2-22)$$

式中: D_B —布朗扩散系数, $D_B = \frac{K_m KT}{3\pi\mu d_p}$

式中: K —玻尔兹曼常数($1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$)

T —绝对温度

μ —流体动力粘性系数

d_p —粒子直径

$$K_m \text{ 坎宁安修正系数, } K_m = 1 + A \cdot \frac{2l}{d_p}$$

$$A = 1.246 + 0.42\exp(-0.87\frac{d_p}{l})$$

标准大气压下气体分子的平均自由行程 $l = 0.0653\mu\text{m}$

作布朗运动的微粒, 可以在各类场中作泳动。粒子在具有温度的气体中, 由于较高温部分的气体分子要比较低温部分的气体分子以更高的动能与粒子碰撞, 所以粒子从高温部分向低温部分移动, 这种现象就叫热泳现象。如果气溶胶的浓度有差别, 则粒子就从高浓度区域向低浓度区域扩散移动, 具有趋向浓度均匀化的性质, 这叫扩散泳。还有气体密度梯度产生的扩散泳, 以及在光照场、旋转力场、振动场、声波场等各类场中的泳动。

(7) 粒子的附着与凝聚

粒子的附着可以分粒子与壁面间的附着和粒子与粒子间的附着二种。

粒子在壁面附着的同时, 还受到在壁面的剪切应力, 即分离力影响。只有附着力大于分离力的情况下才会发生附着现象。附着力与粒子及壁面的物理、化学性质有关, 特别是

与粒径和粒径分布有关, 粒径越小, 比表面积越大, 粒子附着也越容易。分离力与流体的运动情况和物理参数有关, 分离力和流体流速的平方成比例增大, 在流速较低的情况下, 附着力一般大于分离力, 这时发生附着现象; 流速增加使分离力等于附着力, 此时出现临界状态; 流速大于临界状态时, 附着现象消失。

粒子与粒子之间的附着力包括: 分子之间的相互作用的引力、附着水分的毛细管力以及静电引力。这些力往往是同时起作用, 但对不同的物质粒子, 其影响程度有所不同。粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的微粒, 需要考虑分子之间的作用力。具有吸湿性或溶水性的物质粒子及表面粗糙易含水的粒子, 则水分起主要影响。由于粉碎时的摩擦, 或因吸附了空气中的离子, 微粒通常带有电荷。微粒的导电性用电阻率来表示, 单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。微粒的电阻率还和它的温度、湿度、松散度等因素有关, 它只是用来表示相互比较的粉尘电阻, 因此也称比电阻。比电阻低的粒子受电场的影响显著。

粒子的凝聚包括两个过程, 即粒子之间的碰撞过程和粒子之间附着过程。这两个过程的概率之积决定其凝聚常数。通常粒子之间的附着概率大致为 1, 而碰撞概率根据不同的凝聚机理而有所不同。这些凝聚种类有: 布朗凝聚, 这是由于布朗运动粒子间相互碰撞而形成的。乱流凝聚, 这是由于乱流速度成分中所包含的空间速度差而引起粒子间碰撞以及由于气体和粒子在运动中的偏离, 即粒子跟随性的差别而引起粒子间的碰撞而形成的。速度梯度凝聚, 这是由于在层流场以及剪切流场中, 速度差引起粒子间相互碰撞而形成的。沉降速度差凝聚, 这是由于在重力场或离心力场中, 粒径不同产生沉降速度差引起粒子间相互碰撞而形成的。此外还有声波和静电作用而产生的凝聚现象。

(8)粒子的化学性质

气溶胶粒子的化学成分非常复杂。气溶胶粒子在发生或空中悬浮时, 由于受到光、热、湿度、压力以及重力等的作用, 其形态不断地发生变化, 粒子本身会变成其它物质或成分, 粒子的产生消失延续不断。

大气中的悬浮粒状物质包括了元素周期表中几乎所有的元素, 只是含量不同而已。城市粉尘一般是由 60% 的无机物和 40% 的有机物组成。无机物包括矿物质(石英、粘土等)和金属物质(铅、锌等有害微量元素); 有机物包括多环芳烃等碳氢化合物。各种元素的粒状物质所占的比例一般不超过 10%, 极大多数都以化合状态存在。

铅, 分子式为 Pb , 熔点 327°C , 沸点 1620°C , 密度 11.35, 为灰白色, 质软的重金属。加热至 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 时即有大量铅蒸汽逸出, 铅蒸汽在空气中可氧化为 Pb_2O_3 , 及 PbO 烟气。

锌, 分子式为 Zn , 熔点 419.58°C , 沸点 907°C , 密度 7.13, 为一种灰白色的金属, 不溶于水, 溶于强酸或强碱中。在高温下锌蒸汽在空气中可迅速氧化为氧化锌。

硅在自然界中几乎不能单独存在, 而是以化合物二氧化硅状态存在。它不容易与其它物质发生化学结合, 称游离 SiO_2 。石英、粘土等矿物质的粉尘中, 游离二氧化硅的含量很高, 常称矽尘。

碳氢类燃料燃烧时, 在氧气不足条件下, 受热脱水、分解、重合、而产生固体烟尘, 一般称为炭黑。重油燃料燃烧后剩余下来的是空心微珠及粒状焦碳, 一般称油灰。燃料燃烧所产生的烟尘除了一部份是含碳物质外, 还有一部份是以飞灰形式出现的尘粒。

另外, 燃料燃烧时产生的气态物质, 如二氧化硫会进一步氧化, 再与水份结合成硫酸

气体,在与大气混合中温度降低,形成硫酸雾,由于雾滴的漫反射使烟气呈白色,一般称做白烟。再如产生的二氧化氮与大气中的硫氢化合物发生光化学反应,生成各种有毒化合物,形成所谓的光化学烟雾。

总之,根据热力学第二定律,污浊的大气总要趋向具有最小自由能的状态。于是,发生了一系列物理与化学反应,即自然纯化过程。

2、气态污染物

(1)分类

气态污染物常称为有害气体。按照对人体作用的生理基础,可分为刺激性与非刺激性两大类。刺激性气体都能为分布于鼻腔中的嗅觉神经末梢所感受,产生呼吸系统的症状,并伴有肺功能的改变,一般不易发生急性中毒。这类气体有二氧化硫、二氧化氮等。非刺激性气体不能为人体感官所觉察。因此它的危害性比刺激性气体为大。有的会引起机体一系列缺氧反应,有的在体内具有明显的蓄积作用引起慢性中毒。这类气体有一氧化碳、重金属蒸气等。

气态污染物通常按元素的化合物分类。有碳的化合物,如一氧化碳,二氧化碳;硫的化合物,如二氧化硫、硫化氢;氮的化合物,如一氧化氮、二氧化氮、氨;氟的化合物,如氟化氢;碳氢化合物,如苯类、醇类、醛类、酯类、酮类等。

(2)性质和生成

a) 一氧化碳:分子式为 CO ,熔点 -205°C ,沸点 -191.48°C ,密度 0.968,为无色、无臭、无刺激性的气体。几乎不溶于水,但易溶于氨水。与空气混合后的爆炸极限 12.5~74%。大部分存在于煤气、焦炉气之中,是燃料不完全燃烧产生的。

b) 二氧化碳:分子成分为 CO_2 ,熔点 -56.6°C ,沸点 -38.5°C ,密度 1.527,为无色气体。高浓度时略带酸味。水溶解度 180%(0 $^{\circ}\text{C}$), 90%(20 $^{\circ}\text{C}$)。它是由燃烧或物体腐烂发酵而产生,在大气中正常含量为 0.03%。

c) 二氧化硫:分子式为 SO_2 ,熔点 -75.5°C ,沸点 -10°C ,密度 2.927,为无色,有强烈窒息性气味的气体。不燃也不助燃。易溶于水生成弱而不安定的亚硫酸。普通燃料中均含有硫的成分,在空气中燃烧,氧化成二氧化硫。

d) 一氧化氮:分子式为 NO ,熔点 -163.6°C ,沸点 -151.8°C ,密度 1.340,为无色气体。它是一种惰性气体,微溶于水,不太溶于酸,易溶于亚铁盐溶液,特别易溶于二硫化碳中。它的最特殊化学性质是加合作用,和 Cl 直接化合成氯化亚硝基 NOCl ,这是一种有毒气体。一氧化氮的主要来源是燃烧(1200 $^{\circ}\text{C}$ 左右)时,由空气中的氮(或燃料中的氮)和氧化合而成。

e) 二氧化氮:分子式为 NO_2 ,熔点 -9.3°C ,沸点 21.2 $^{\circ}\text{C}$,密度 1.58,为红棕色刺鼻气体。溶于碱,二硫化碳和氯仿,不易溶于水,它是由一氧化氮氧化所生成。在通常的燃烧温度水平条件下, NO_2 的浓度很低,与 NO 的浓度相比,可以忽略不计。

f) 氨:分子式为 NH_3 ,熔点 -77.7°C ,沸点 -33.5°C ,密度 0.5971,为无色有强烈刺激臭味气体。易溶于水和酒精,水中溶解度为 90g/100ml(0 $^{\circ}\text{C}$),酒精中溶解度为 13.2g/100ml(20 $^{\circ}\text{C}$)。氨的水溶液呈碱性。氨在常温下加压即可液化,与空气混合的爆炸极限为 15.5~27%。氨在燃烧过程中生成或从材料中挥发出来。

g) 苯:分子式为 C_6H_6 ,熔点 5.5 $^{\circ}\text{C}$,沸点 80.1 $^{\circ}\text{C}$,密度 0.8787,为有特殊芳香味的

油状液体,易挥发、微溶于水,可与乙醇、乙醚、汽油、丙酮、二硫化碳等有机溶剂相混。苯在空气中自燃温度为 580℃,爆炸极限为 1.4~6.8%。

h) 甲苯:分子式为 $C_6H_5CH_3$,熔点-94.991℃,沸点 110.6℃,密度 0.866,为无色、无腐蚀性,具有芳香味的液体。不溶于水,溶于乙醇、丙酮和乙醚。爆炸极限为 1.2~7%。

i) 丙烯醛:分子式为 $CH_2=CH-CHO$,熔点-88℃,沸点 52.5℃,密度 0.8389,为无色或稍带微黄色液体,具有特殊的辛辣激味。能溶于水、乙醇及其它有机溶剂中。

j) 甲醛:分子式为 $H \cdot CHO$,熔点-92℃,沸点-19.5℃,密度 1.067,为无色有刺激性的气体,易溶于水、醇和醚。纯甲醛为一容易聚合的可燃性气体,大约在 300℃左右就能自燃。

苯、甲苯、丙烯醛、甲醛存在燃料燃烧的废气中或材料的挥发物中。

(3)浓度

存在于大气中的气态污染物的浓度,按照不同浓度可用下列几种方法表示:

a) 百分比(%)法:用气体容积的百分比表示,即在每 100cm³ 的空气中有多少厘米³ 的气态污染物质。

b) 百万分比(PPm)法:用 100 万分之几的气体体积比表示,即 1m³ 的空气中有多少厘米³ 的气态污染物质。

c) 亿分比(PPbm)法:相当于百万分比法中 1PPm 的百分之一。

d) 十亿分比(PPb)法:十亿分之一,相当于 1PPm 的千分之一。

e) 每立方米毫克(mg/m³)法:用每 1m³ 空气中气态污染物质的重量(mg)来表示。

假定分子量为 M 的物质完全气化,那么 M[g]物质在 0℃、760mmHg 情况下,占 22.4L 容积,当气温为 t、气压为 P 时, M 可按下式求出:

$$M = 22.4 \times \frac{273 + t}{273} \times \frac{760}{P} \quad [g] \quad (2-23)$$

式中,“*”表示如果考虑水蒸汽压力 ω [mmHg],则变为 $P-\omega$ 。

在常压(760mmHg)空气中,分子量为 M 的物质,每 1cm³ 的重量可由下式表示:

$$0^\circ\text{C 的气体, } 1\text{cm}^3 \text{ 的重量} = \frac{M}{22.4} \quad [\text{mg}]$$

$$25^\circ\text{C 的气体, } 1\text{cm}^3 \text{ 的重量} = \frac{M}{24.45} \quad [\text{mg}]$$

在日、美等国家,对气体和蒸气等有害气体的容许浓度用 25℃、760mmHg 作为标准状态,用 PPm 或 mg/m³ 表示浓度值。分子量为 M 的物质,PPm 与 mg/m³ 两浓度单位之间有下列换算关系:

$$1[\text{PPm}] = 1[\text{mg}/\text{m}^3] \times \frac{24.45}{M} \quad (2-24)$$

三、大气环境标准

1. 环境质量标准

环境质量标准是指能保障人类的健康和生活条件,能维持生态平衡所必须的环境条件。环境标准一词,从狭义来说,是指法律上规定的标准值或者允许极限值,但从广义上来说,也包括法律上没有规定的最佳值,推荐值、标准值、允许极限值等。环境标准值在