

# 从第三届国际气溶胶会议看 气溶胶科学的进展

温 景 嵩

(南开大学物理系)

**[摘要]** 近年来蓬勃发展起一门新兴学科——气溶胶科学。这充分体现在1990年9月在日本京都举行的第三届国际气溶胶会议之中。本文以这次会议为基础,介绍了气溶胶科学,尤其是气溶胶力学近年来的重要进展。

气溶胶科学是一门新兴的交叉边缘学科。由于它和现代工业,卫生保健,环境保护,全球气候等重大问题有密切关系,因而是近年来充满了活力的一个新兴领域。国际气溶胶研究会(IARA)是1986年才成立的。到1990年,在短短四年中已举办了三次国际气溶胶会议,可见其活跃的程度。第三届国际气溶胶会议是在1990年9月在日本京都举行<sup>[1]</sup>。参加这次会议的有来自20多个国家约400名学者。会议讨论专题有13个,覆盖了气溶胶科学与技术的全部领域。这13个专题是:1.气溶胶测量;2.空气污染;3.气溶胶力学;4.核化与生长;5.健康效应;6.过滤与分离;7.核气溶胶;8.气候变化;9.发生;10.光学性质;11.工业加工与应用;12.污染控制;13.室内空气质量。大会特邀报告有三篇:一是Friedlander的“气溶胶工程进展”,二是B.Y.H.Liu的“气溶胶与微电子技术”,三是Preining的“气溶胶与全球气候”。另外,还有18篇专题会议特邀报告。

本人得到国家自然科学基金资助,参加了这次盛会,现仅就个人的一些感受,把这次会议反映出的近年来气溶胶科学的发展做一简介。

## 一、当前气溶胶科学的发展动向

1. 在应用方面,气溶胶工程技术发展很快。首先,微电子这一尖端高技术的发展,要求超纯净的工作环境。例如,在大规模和超大规模集成电路超纯净工作室,要求空气中所含气溶胶粒子浓度低于每立方英尺10个粒子,即浓度要小于 $3.5 \times 10^{-4}$ 个/cm<sup>3</sup>。而一般城市中气溶胶粒子浓度Aitken核为 $10^4-10^6$ 个/cm<sup>3</sup>,大核为 $10^2-10^3$ 个/cm<sup>3</sup>,巨核则为 $10^{-2}-10^0$ 个/cm<sup>3</sup>。因此,气溶胶科学中粒子的过滤与分离问题,以及超微量粒子浓度的测量问题,就成为当代气溶胶研究中的重大课题。其次,随着空气污染日趋严重,气溶胶对人体健康的影响为气溶胶研究工作者所关注。人体对不同大小的气溶胶粒子的吸入效率以及粒子在呼吸道中的沉淀问题,成为当前气溶胶热门课题之一。第三,气溶胶对全球气候变化的影响也是当前的一个重大课题,虽然研究水平还较低,远不象温室气体影响那么清楚,但因问题的重要性,已经吸

引了气溶胶科学工作者和气象科学工作者很大的注意,并投入很大力量进行研究。

2. 在基础研究方面,气溶胶力学的发展尤其值得我们注意,因为它是在气溶胶科学技术发展中起主导作用的学科分支。

## 二、气溶胶力学

### 1. 气溶胶力学的重要性

气溶胶力学的重要性已在第三届京都会议上充分体现出来。这表现在三个方面:

首先,从气溶胶力学专题会议本身看,有论文报告共 39 篇,讨论 6 次,占第三位。仅次于当前热门课题——气溶胶粒子的测量与空气污染。

其次,有关气溶胶力学的论文,在其他一些专题中也表现出来。如气溶胶测量专题,美籍学者 Y.S.Cheng 在气溶胶测量中研究了粒子对、三粒子聚合体、四粒子聚合体的非球形非低雷诺数的动力特性,对这种粒子动力特性的了解是精确测量气溶胶粒子浓度所必需。此外,气溶胶粒子惯性捕获测量技术,则更是属于气溶胶力学的问题。再如健康效应专题,该专题主要是研究气溶胶粒子在呼吸系统内的沉淀问题,实际上这也是气溶胶力学问题。一位波兰学者研究了在呼吸道分叉处气溶胶粒子如何通过重力沉降、惯性沉降、布朗扩散三种机制在呼吸道壁面上沉淀的过程。这项研究不仅涉及到典型的气溶胶力学,而且也涉及到流体力学问题,因为气溶胶粒子的运动,首先取决于空气背景流场分布。因此,该文作者首先用粘性流体的 Navier-Stokes 动力方程计算了在呼吸道分叉处的流场。又如,气溶胶粒子的过滤与分离专题,其中心问题是气溶胶粒子如何在布朗运动,对流运动,以及惯性沉降作用下在纤维过滤器上沉淀下来。显然,这与健康效应问题类似,实际也是一个气溶胶力学问题。Y.S.Cheng 等人的“中等疏松度下气溶胶粒子在纤维过滤器上的沉淀”一文,这一工作受到大会的重视,放在该专题会议上的第一篇。他求解的对流扩散方程,实际上是 Batchelor 和我求解的对分布方程属同一类型,大家都使用了相同类型的控制参数 Péclet 数。我们在研究气溶胶力学的一个基本问题——碰并问题时,曾研究了 Péclet 数从低到高时碰并过程的种种变化,Y.S.Cheng 的工作也研究了 Péclet 数从低到高的条件下,气溶胶粒子在纤维过滤器上沉淀过程的种种不同的特点。很明显,这也是个气溶胶力学问题。又如,一位瑞典学者在研究如何提高纤维过滤器的过滤效率时,直接运用了在碰并过程中的研究成果。由于过滤效率与粒径大小有关,问题在于如何通过碰并过程,改变粒子谱分布,使高过滤效率处有高浓度,低过滤效率处有低浓度。这实际上也是一个很有意义的气溶胶力学课题。我国在瑞典的一位研究生,他研究的气溶胶粒子在呼吸系统积累沉淀过程中,业已发现该过程也有碰并过程的参与。在他的实验中已能肯定这一新的发现,现在的问题是如何从理论上来说明这一问题。显然,这是一个理论气溶胶力学问题。

第三,气溶胶力学的重要性更为突出的表现在这次会上 IARA 的一个重大决定。为了更好地推动气溶胶科学的发展,该组织决定从这一届会议开始,建立一个特别奖金,奖给在当代气溶胶科学的发展中做出了突出贡献的人。因此,荣获这个奖金,是气溶胶科学工作者的最高荣誉。IARA 还决定,为了纪念已故当代杰出的苏联学者 Фукс 对发展气溶胶科学建立的不朽功勋,这个奖金将以他的名字来命名。大家知道,Фукс 是现代气溶胶力学的奠基人。他在 1955 年发表的名著《气溶胶力学》奠定了现代气溶胶力学发展的基础。IARA 以他的名字命

名气溶胶科学最高荣誉奖,说明了气溶胶力学在整个气溶胶科学技术中的极为重要的主导地位。这次大会上所公布的第一位获奖者是美国著名学者 Friedlander。他在获奖演说中所提到的他的第一个代表作,就是他对大气气溶胶 Junge 谱的两个理论解释,这是当代气溶胶力学的一个重大进展。Friedlander 获奖演说的标题是:“气溶胶工程进展”,这说明近年来他的兴趣已转向气溶胶科学的工业应用上。但细察其演说内容的核心,仍是气溶胶粒子在可控条件下的形成与生长,而生长就离不开凝结与碰并这两个气溶胶粒子动力学的基本过程。

## 2. 气溶胶力学的新进展

Фукс 的《气溶胶力学》奠定了气溶胶力学的基础,但并不是气溶胶力学的终结。从本次会议看,气溶胶力学在以下三个方面有重要进展。

(1) 从 Фукс 的以孤粒子运动观点进行的研究,发展到多粒子相互作用下的研究。这主要表现在 Batchelor 和我所开展的一系列研究上。当体系极端稀释时,孤粒子近似能够成立,但 Фукс 的某些观点却并不妥当。例如他认为粒子间的势力,(如 van der Waals 分子引力等),是短程力,在大多数情况下都可忽略,因而可以把气溶胶力学归结为对孤粒子运动的研究。事实上,粒子间的相互作用并不仅仅限于势力,而且还有粒子间流体动力相互作用,这种作用是长程的。因此,在一些情况下,体系即使稀释到体积浓度为  $10^{-2}$  时,这种相互作用也不应被忽略,否则,就无法解释无界空间中粒子云的增速沉降,与有界空间中粒子的阻滞沉降问题。正是当人们在研究了多粒子间(比如粒子对)流体动力相互作用,并克服了由此而产生的积分发散的困难以及求解粒子统计分布的困难后,人们才能比较更深刻地理解气溶胶和水溶胶粒子的阻滞沉降过程。在研究粒子碰并过程中,粒子间的流体动力相互作用就尤其重要。忽略了这个作用,就不会认识到润滑膜阻对碰并的阻尼效应,粒子间的相对布朗运动和对流运动将衰减到零,碰并过程将无法实现。对于大多数气溶胶粒子而言,只有引入 van der Waals 分子引力,才能打破这个润滑膜阻,使并合得以产生。由此可见,分子引力在碰并过程中的重要性。另一方面,流体动力相互作用又使求解不稳定系统统计分布方程时带来很大的数学上的困难。只有在克服了这些困难之后,才使我们对于碰并过程的物理实质有更深刻、更全面的理解。所有以上的研究成果,相对于 Фукс 孤粒子动力学而言,都是一个巨大的进步。

(2) 气溶胶粒子的蒸发与凝结——相变过程,已成为气溶胶力学研究中一个重要内容。这主要反映在气溶胶专题会议的一些论文之中,而为 Фукс 之《气溶胶力学》所未曾包括在内的。

(3) 气溶胶粒子谱演变动力方程的求解也已成为气溶胶力学研究的另一个重要内容,这主要反映在 Seinfeld 的专题会议特邀报告之中。

## 三、其 他

这是我们第一次参加气溶胶方面的学术会议,由于以往我们的工作一般发表在国际流体力学会议与流体力学杂志上,所以这次会议上的许多学者对上述 Batchelor 和我的工作都不甚了解。他们目前仍沿用着 Фукс 的孤粒子运动模型。如 Y.S.Cheng 在他求解对流扩散方程时,就是这样处理的。经我们和他深入地讨论,Y.S.Cheng 对这一问题颇感兴趣,要求把我们过去的工作寄给他以进行深入的研究。此外,另一位在瑞典攻读博士学位的中国留学生蔡杰已在他的过滤问题研究中发现了分子引力的重要性,但苦于对这方面知之不多。因此,对我们

的工作也颇感兴趣。当他知道这些工作已总结在1989年科学出版社出版的《微大气物理学导论》一书之中时<sup>[2]</sup>,他甚为高兴,表示要设法把这本书弄到手。还有,日本学者 Dr. Akira Tsuda 对我们所用的基本方程——对分布方程很感兴趣。他正确地指出,对于布朗运动,这里沿用了 Einstein 的 Euler 型处理方法。在布朗运动研究中存在着另一类 Langevin 的 Lagrange 型处理方法,他提出可否用 Langevin 方法来处理这类问题。虽然这一问题是不现实的,目前在布朗运动的研究上,人们普遍地都遵循着 Einstein 方式,但这显然是一个很有意思的相当基本的问题,值得我们在未来的工作中去加以考虑。

我们的工作已在国际同行中引起重视。会议中,我应邀在鸟取大学应用数学与物理系讲学时,他们对本人的工作给予高度评价。会议主席 Y. Onishi 教授详尽地介绍了本人的工作,并称本人是国际上这一领域的一位杰出的学者。报告后, Onishi 教授又提出了很有意义的问题。虽然他对这一问题的看法是不对的,但问题本身提得很好,使我们能够把这一问题变为对我们所承担的国家自然科学基金项目一个很好的建议,从而丰富了这一项目的内容。这是这次日本之行的另一重要收获。

鸟取大学工学院应用数学与物理系大西善元教授的工作值得着重介绍一下,大西教授今年44岁,早在三年前就已提升为教授,是一位既有真才实学,而又年富力强对我们态度又十分友好的日本学者。他的主要研究方向是流体力学,并在以下三个方面有许多很好的工作。

1. 稀薄气体动力学,这是他的基本研究方向。稀薄气体动力学也是一个很活跃的学科,每两年就有一次国际会议,他每次都要参加会议,与国际同行交流工作。

2. 低雷诺数流体力学。80年代他与 Jgffrey 教授一起,研究低雷诺数条件下的双球运动,取得了一系列成果。这些成果对于悬浮粒子动力学是一个重要贡献,因而经常为这些领域的文献所引用。

3. 具有相变的粘性流体动力学。在自然界与工程中经常会遇到带有相变的粘性流体运动,例如气溶胶粒子的凝结与蒸发问题,这时粒子周围的空气流场就是一个带有相变过程的粘性流动问题,这是以往 Фукс 的《气溶胶力学》所未曾考虑的,大西教授在这一方面有一些很基本的研究。他所提出的问题是:当流动中有相变发生时,运动的支配方程是否仍是 Navier-Stokes 方程,运动的边界条件是否仍是温度的无跃迁,速度无滑流的附着条件。他的初步研究成果是,在某一类条件下, Navier-Stokes 方程仍能成立,而附着型的边界条件却应代之以跃变条件(即温度的跃迁条件与速度的滑流条件)。而在另一类条件下,不仅边界条件要有改变,而且运动的支配方程也要改变,这时, Navier-Stokes 方程要代之以 Boltzmann 方程。这一成果很引人注目,其结论如果成立,则不仅对流体力学,而且对于气溶胶力学也是一个重要贡献。

### 参 考 文 献

- [1] S. Masuda and K. Takahashi, Aerosols: Science, Industry, Health and Environment (Proceedings of the 3rd International Aerosol Conference, 24-27 September 1990, Kyoto, Japan), 1990, Pergamon Press.
- [2] 温景嵩, 微大气物理学导论, 1989, 科学出版社。

## A NEW RAPIDLY DEVELOPING BRANCH OF SCIENCE—AEROSOL SCIENCE

Wen Jingsong

(Department of Physics, Nankai University)

### Abstract

Interest in aerosol science has continued to grow in recent years, as evidenced by the large number of papers submitted from more than twenty countries over the world to the 3rd International Aerosol Conference, 24—27 September 1990, Kyoto, Japan. This paper reviews the recent developments in aerosol science, especially in aerosol mechanics based on this conference.

### 《科学》1992年起改为双月刊

### 欢 迎 订 阅

1915创刊、1985年复刊的综合性科学刊物《科学》，是一本介于专业学报与通俗科普杂志之间的“桥梁型”刊物，是兼具学术性与普及性的高级科普杂志。

1992年起改为双月刊。辟有“特稿”、“专题综述”、“研究论坛”、“国情研究”、“思考追索”、“是与非”、“科学源流”、“贮存·检索”、“跟踪·扫描”等栏目。以传播科学新知、提倡科学精神为帜志，尤其侧重于前沿、交叉、边缘、热点领域，是了解和把握科技领域经纬脉络的重要参考。

《科学》邮发代号：4-451，每册定价：1.80元，全国各地邮局均可订购。