

创新者的报告

(第3集)

中国科学院综合计划局 编



A0949273

科学出版社

2000

内 容 简 介

中国科学院是我国国家创新体系的重要组成部分,是国家知识创新系统的核心部分之一,于1998年开展了知识创新工程试点工作。本书收录了中国科学院1998年以来取得的一批科技成果或重大阶段性进展,包括数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学、技术科学及其有关交叉学科等方面内容。

本书可供具有大专以上文化程度的有关人员阅读参考。

创新者的报告 (第3集)

中国科学院综合计划局 编
责任编辑 彭克里

科学出版社 出版
北京东黄城根北街14号
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2000年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2000年11月第一次印刷 印张:17 1/2
印数:1—2 500 字数:277 000

ISBN 7-03-009007-1/N·108

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))



前言

Preface

创新是人类社会进步和经济发展的动力和源泉。知识创新是指通过科学研究包括基础研究和应用研究获得新的自然科学和技术科学知识的过程。知识创新的目的是追求新发现,探索新规律,创造新方法,积累新知识,知识创新是技术创新的基础,是新技术和新发明的源泉。知识创新为人类认识世界、改造世界提供新理论和新方法,为人类文明进步和社会发展提供不竭的动力。在 21 世纪初,面临着知识经济时代的到来,建立国家创新体系是经济和社会可持续发展的基础和引擎,是综合国力和国际竞争力的支柱和后盾。如果把国家创新体系比作知识经济的动力系统,那么可以把创新知识比作其动力系统的燃料。正如江泽民主席指出:“科技的发展,知识的创新,越来越决定着一个国家、一个民族的发展进程。”

中国科学院是我国国家创新体系的重要组成,是国家知识创新系统的核心部分之一。在党中央、国务院和国家科技领导小组的领导及有关部站的大力支持下,我院从世界科技发展趋势和国家经济与社会发展的战略需要出发,在院所两个层次凝炼和提升科技创新目标,开始进行了建院 50 年来涉及面最广、意义最为深远的学科布局和组织结构调整,开展了深层次的、大力度的体制和机制改革,显著提高了科技竞争能力,有力地调动了科技人员的积极性,推动了科技创新的快速进展。

中国科学院创新工程试点工作 1998 年启动以来,取得了良好的开端,得到了社会各界的广泛关心与理解。为了加强创新知识的传播,同时也为了答谢各界对中国科学院的支持以及增加对我院科技创新工作进展的了解,我们对 1998 年实施创新工程试点工作以来取得的科技创新成果或重大阶段性进展进行了整理,编辑成《创新者的报告》系列书,陆续出版。

《创新者的报告》系列书属于科技创新成果或重大阶段性进展的简单介绍,不属于论文,为了节省篇幅,我们在编辑过程中,把参考文献都省略



了。读者欲了解哪项成果的详情，可与中国科学院综合计划局成果专利处联系或直接与撰写者单位联系。

在本书编辑过程中，得到了中国科学院有关部门、各研究所的领导、管理人员、科技人员的大力支持，尤其是报告的撰写者在科研工作的百心中抽出时间为本书撰稿，在此，我们一并表示衷心感谢。

由于编写时间仓促和我们水平有限，书中谬误之处一定不少，敬请读者不吝指正。

编 者



合成滴线附近八种新核素和研究它们的奇异衰变

Synthesis of Eight New Nuclides near the Drip Line and Study of Their Exotic Decay

撰稿/徐树威 (近代物理研究所)

一、合成和研究滴线附近新核素是衡量国家核物理基础研究水平的一个标志

一种原子核(又称核素)由一定数目的中子和质子组成。中子数和质子数之和称为质量数。自然界存在的稳定核素的中子数(N)和质子数(Z)的比例值(N/Z , 简称中质比)是一种平衡值, 中质比偏大或偏小的原子核不稳定。经过一定的时间(寿命)它们就会逐步衰变成稳定的原子核。20 世纪初, 原子核物理发展的早期阶段, 人们的研究对象仅局限于稳定核附近的、温度低的和旋转慢的原子核, 并从中总结出有关原子核结构和转化的一些基本规律。随后人们的视野逐步扩大到那些远离稳定区的、温度高的和旋转快的原子核。如今, 只要有可能, 人们都要千方百计研究极远离稳定区的、温度极高的和旋转极快的那些处于极端条件下的原子核, 期待着揭示出新奇的核物理现象, 完善和发展现有的原子核理论。合成和研究新核素的目的在于沿着远离稳定区的方向探索未知原子核, 开拓核物理的研究领域。滴线是可存活的, 中质比极大或极小的原子核的边缘线, 位于最远离稳定区的部位。中质比极大的部位称中子滴线, 极小的部位称为质子滴线。在滴线附近的原子核具有一些与稳定区原子核完全不同的奇异衰变和奇异结构性质。合成滴线附近的新核素, 研究它们的奇异衰变性质具有特别重要的意义。另一方面, 随着未知原子核越来越远离稳定区, 其产额越来越小, 寿命越来越短, 它的研究难度就变得越



来越大,因而富有挑战性,成了衡量一个国家核物理基础研究水平的标志之一。

二、这一发现是国际上在稀土元素质子滴线附近探索新核素的重要进展

在质子滴线附近的新核素主要有两种奇异衰变方式:直接质子衰变和缓发质子衰变,一般认为研究直接质子衰变更有意义。霍夫曼(S. Hofmann)曾经推测在核素图上稀土元素的范围内质子滴线应沿 $Z=0.743N+11.6$ 的直线分布。理论预言在这段质子滴线附近的核素具有很大的形变。因此,长期以来搜索稀土元素的质子滴线附近的新核素和观测它们的奇异衰变性质引起了国内外核物理学家的高度重视。但由于技术难度很大,进展非常缓慢。据统计,1994 年至今,全世界在这个区域总共才发现 11 种新核素。1998 年美国阿贡国家实验室(ANL)利用新建造的质量分析器,成功地发现了两种具有直接质子衰变的新核素 ^{141}Ho (141 是质量数,下同)和 ^{131}Eu 。1999 年美国橡树岭国家实验室(ORNL)利用新建立的放射性束流装置发现了另一种具有直接质子衰变的新核素 ^{140}Ho 。同时,还有两种具有直接质子衰变的同质异能态在外国实验室被发现。在我国,中国科学院近代物理研究所徐树威小组采用了自己提出的“质子-伽玛”符合的鉴别方法在 1996~1997 年和 1998~1999 年两次实验中就合成和鉴别了这个区域的 8 种新核素: ^{121}Ce , ^{125}Nd , ^{128}Pm , ^{129}Sm , ^{135}Gd , ^{137}Gd , ^{139}Dy 和 ^{139}Tb (见图 1)。除 ^{139}Tb 外,他们还观测到了其余 7 种新核素的缓发质子衰变。其中 ^{128}Pm 是理论推测的具有直接质子衰变的核素,自 80 年代初,德国 GSI、英国 Daresbury,以及法国 Grenoble、俄罗斯 Dubna 和芬兰 Jyväskylä 大学的联合小组几次搜索都未能发现它。 ^{135}Gd 是美国 LBL 曾经搜索过但未能发现的。

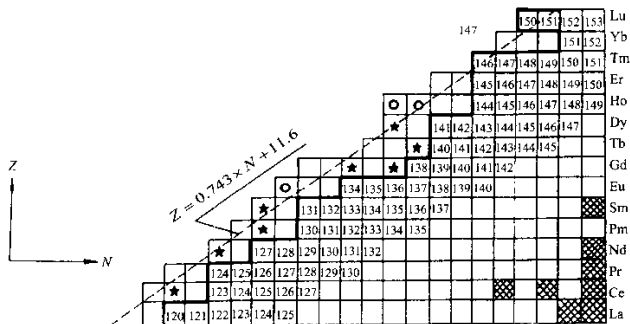


图1 稀土元素区部分核素图

纵坐标是质子数，横坐标是中子数。图中每一个方格代表一种核素。稀土元素镧(La)到镥(Lu)对应的质子数从57到71。格子中的数字是质量数。网格表示稳定核素。虚线是霍夫曼推测的质子滴线 $Z=0.743N+11.6$ 。粗黑线代表到1994年为止已知核素的边界线。“O”是美国ANL和ORNL发现的具有直接质子衰变的新核素。“★”是中国科学院近代物理研究所发现的8种新核素

三、发现这八种新核素的关键在于提出了鉴别缓发质子衰变的新方法

稀土区质子滴线附近核素的寿命很短，只有1s左右，生成这些核素的产额很小，其缓发质子衰变的概率就更小。不仅如此，利用重离子反应生成上述目标核的同时，还会产生四五十种其他干扰核素，它们的产生概率比目标核要大几百万倍。由此可见，快速、高选择性、高灵敏度的实验方法是必不可少的。更严重的问题是，在上述干扰核中有的与目标核的质量数相同，仅仅使用按质量数分离的设备无法将目标核和这些干扰核区分开。为此需采用进一步的鉴别手段，这又引至测量灵敏度将下降约两个数量级，这就是国外流行的实验方法所面临的困难。徐树威等人注意到：当一个偶(Z)-奇(N)的缓发质子先驱核发生衰变后，其奇(Z-1)-偶(N+1)质子发射体发射质子后就会变成一个偶(Z-2)-偶(N+1)的“女儿”核。这样产生的偶-偶“女儿”核有很大的概率布局在激发态上，而后再经过能量最低的 2^+ 态退激到 0^+ 基态。因



此,采用“质子-伽玛”符合方法,即跟踪与缓发质子符合的,“女儿”核中已知的能级最低的 $2^+ \rightarrow 0^+$ (基态)特征 γ 射线,就可以惟一地识别其 β 缓发质子先驱核。这种方法原则上也可以用来识别奇-奇缓发质子先驱核。实验证明,相对国外流行的方法而言,配合氦喷嘴带传输系统,采用“质子-伽玛”符合方法(见图2),测量灵敏度相对提高了50~100倍。



图2 氦喷嘴带传输系统和“质子-伽玛”符合装置

四、物理实验和结果简介

实验是在中国兰州重离子加速器国家实验室中进行的。重离子束硫-32和氪-36从SFC加速器引出,轰击钼-92、钨-96、镉-106等缺中子同位素靶,产生所需的目标核。①实验测定了这些核素的寿命在1s左右。实验还提取了这些核素的基态自旋宇称。这些实验结果与80年代和90年代初的理论预言大体一致,但与1997年Möller等人基于宏观-微观质量模型的理论预言值有较大的偏差。Möller等预言的寿命普遍偏低(见表1)。②实验提取的自旋宇称值与几种理论计算的尼尔逊能级图比较,间接说明这些核的基态有大的形变(见表2)。③实验确定的产生缓发质子衰变道的概率比常用模型理论的估计值低3~10倍,它们为今后合成这个区域的新核素提供了重要参考数据。

表 1 ^{121}Ce , ^{125}Nd , ^{128}Pm , ^{129}Sm , ^{135}Gd , ^{137}Gd , ^{139}Dy 等 7 个核素生成反应道, 经缓发质子衰变的部分反应道截面(σ_{sp})以它们的半衰期

新核素	生成反应道	炮弹轰击能量 (MeV)	σ_{sp}^* (nb)	半衰期实验值(s)	半衰期的理论预言值(s)				
					粗糙理论	微观理论			宏观-微观理论 Möller
						Hill	Groote	Möller	
^{121}Ce	$^{32}\text{S}+^{92}\text{Mo}$	151	250	1.1 ± 0.1	0.4~1.5	1.29	1.51	1.04	0.91
^{125}Nd	$^{36}\text{Ar}+^{92}\text{Mo}$	169	230	0.65 ± 0.15	0.67	0.79	0.78	0.59	0.42
^{128}Pm	$^{36}\text{Ar}+^{96}\text{Ru}$	174	50	1.0 ± 0.3	0.71	1.8	2.5	1.5	0.40
^{129}Sm	$^{36}\text{Ar}+^{96}\text{Ru}$	165	70	0.55 ± 0.10	0.58	0.33	0.62		0.20
^{135}Gd	$^{32}\text{S}+^{106}\text{Cd}$	151	100	1.1 ± 0.2	0.3~1.5	1.1	1.7	1.1	0.69
^{137}Gd	$^{36}\text{Ar}+^{106}\text{Cd}$	176	450	2.2 ± 0.2	1~3				2.0
^{139}Dy	$^{36}\text{Ar}+^{106}\text{Cd}$	176	160	0.6 ± 0.2	0.61	0.57	0.65	0.47	0.50

* 误差因子为 2

表 2 ^{121}Ce , ^{125}Nd , ^{128}Pm , ^{129}Sm , ^{135}Gd , ^{137}Gd , ^{139}Dy 的, 实验观测到的缓发质子能谱的能量范围(E_p)和矩心 E_p , 以及它们的基态自旋-宇称(ε_2)和自旋-宇称

新核素	$E_p(\text{MeV})$	$E_p(\text{MeV})$	ε_2	基态自旋-宇称				
				实验值	理论预言值			
					Arsenicv	Bengtson	Audi	Möller
^{121}Ce	2.2~5.8	3.7	0.292	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^-$	$5/2^+$	$3/2^+$
^{125}Nd	2.2~6.2	3.7	0.300	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$		$5/2^+$
^{128}Pm	2.4~5.5	3.8	0.300					
^{129}Sm	2.2~5.5	3.7	0.300	$1/2^-, 3/2^+$	$1/2^+$	$1/2^+$		$1/2^+$
^{135}Gd	2.8~5.4	4.1	0.283	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$
^{137}Gd	2.3~6.5	3.9	0.267	$5/2^+$	$7/2^+$	$7/2^+, 1/2^-$	$7/2^+$	$9/2^-$
^{139}Dy	2.3~6.0	3.8	0.258	$7/2^+$	$7/2^+$	$7/2^+$	$7/2^+$	$9/2^-$



五、同行反应

这些实验结果发表在国外核心刊物上以及在国际学术会议上报告后，受到德、日、俄、法等国同行的祝贺或赞扬。一篇重要的论文已在美国《物理评论 C》以快讯形式发表，该刊物的一位审稿人评论说：“在核素图的一个如此难以接近的区域内发现这些新核素是一项令人瞩目的实验成就，它是凭借一种创新的质子-伽玛符合技术完成的。”“这项实验工作代表轻稀土核放射性研究的一次重大进展。”一次实验发现 ^{125}Nd 等 6 种新核素被中国科学技术部评选为 1999 年度中国基础研究十大新闻之一。



用于低温风洞的新颖制冷方法

Novel Cooling Means for a Cryogenic Wind Tunnel

撰稿/俞鸿儒(力学研究所)

一、引言

风洞是实验室内产生风(高速气流)并用来对飞机或其他飞行器进行气动试验的装置。一般飞行器尺寸都比较大,因此需制作缩尺模型进行试验,为了将缩尺模型获得的数据推广应用于实际飞行器,必须保持重要模拟参数相似。

雷诺数是风洞试验的主要模拟参数,随着飞行器尺度不断增大,风洞试验雷诺数模拟能力的不足变得更加突出。由于雷诺数能力不能满足要求,风洞试验常常被迫采用人工方法去促使试验模型表面边界层提前转换。然而这种广泛使用的人工转捩技术并不能全面模拟边界层分离和激波-边界层干扰特性。20 世纪 60 年代美国研制大型运输机时,低雷诺数风洞提供的压力中心数据误差太大,试飞中险些酿成严重事故,提高风洞雷诺数引起广泛的关注。

提高风洞雷诺数能力有多种途径:诸如改用较空气重的气体作试验介质、增大风洞尺寸因而增大试验模型、提高操作压力以及降低试验气流温度等。在上述各种可能增加风洞雷诺数的方法中,降低试验气流温度,显示出明显的优越性。在模型尺寸和气流总压相同条件下,试验气流总温由常温 320K 降至 100K,雷诺数可提高约 5 倍,驱动功率下降 45%。

从 20 世纪 70 年代起,全世界已先后研制了一大批低温风洞,这些风洞都采用液氮作冷源,运行中需耗用大量液氮,致使运行费用昂贵,因此绝大多数尺寸都不大。迄今为止,仅限于美国和欧洲共同体各建成一座满足设计大型飞机进行气动试验所需雷诺数要求的低温风洞。除耗用巨量液氮外,



风洞排出大量低温氮气，还对当地气象和生态环境造成不利影响。

二、本成果的原理及研究过程

本成果的原理是：利用热分离器将压缩空气降温，作低温风洞气源。据此方法建造的低溫风洞可降低风洞运行费和对环境的影响。

1. 现有低温风洞制冷方法缺点的分析

风洞气流流量一般都很巨大，一般制冷技术难以将如此大量气体快速冷却下来，喷入大量液化氮，依靠其气化吸热来冷却试验气流是一条可行的途径。20 世纪 60 年代末，迫于航空工业对高雷诺数风洞的需求，加上工业已能大量生产液氮，发展液氮致冷低温风洞成为可能。从 1971 年兰利中心一个研究小组开始探索这一技术，很快便遍及世界各国。

虽然低温风洞的优越性在各种型式的风洞中都能实现，但是喷入液氮致冷的低温风洞基本上都采用风扇驱动回流型风洞(图 1)。这种风洞的主要缺点为液氮消耗量过大。导致运行费昂贵，例如 NTF(美国国家跨声速设备)在最大雷诺数条件下工作，每分钟约需液氮 25 t，光液氮购置费每运行一分钟，就需约 2 万美元。

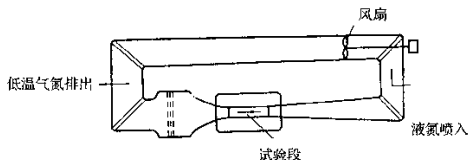


图 1 风扇驱动回流型低温风洞简图

这种运行费用昂贵的液氮冷却低温风洞，不仅我们难以采用，连前苏联也未建造这种类型的大型低温风洞。近十余年实践经验表明：运行费用昂贵也限制了已建成的美国和欧洲的大型低温风洞的使用，并严重制约着低温风洞的进一步发展。

造成液氮耗量过大的原因，其一是仅利用了液氮的气化吸热，而低温



排气携带的大量冷量都被白白浪费了。其次是驱动气流流动的风扇位于风洞回路内, 风扇增加气体有效压缩功的同时, 并将气体升温, 又需液氮气化热将其降温。此外, 制备液氮过程复杂, 需消耗额外能量。

2. 提出新颖制冷方法

针对现有低温风洞制冷方法存在的缺点, 提出用于低温风洞的新颖制冷方法。图2为采用新制冷方法的直通型低温风洞简图。在风洞排气口增设双向热交换器。当低温排气和压缩空气以相反方向同时通过该热交换器后, 前者被加热到接近环境温度, 而后的温度则被大大降低, 被预冷的压缩空气再经热分离器将其温度降至所需的深低温。

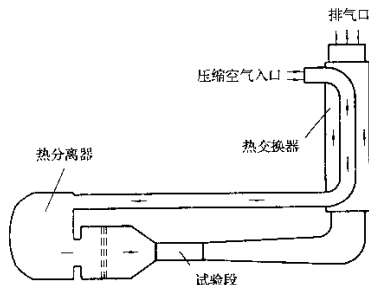


图2 采用新制冷方法的直通型低温风洞简图

热交换器在工业中早已广泛应用, 已积累了丰富的设计制造和使用经验。热交换器效率 η_e 定义为热气流释放的热量与冷气流可能吸收的最大热量之比

$$\eta_e = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_3} \quad (1)$$

式中 T_1 , T_2 和 T_3 分别为热气流在热交换器入口、出口处和冷气流在入口处的温度。

热分离器是一种利用压缩气体压缩功制冷的新型冷冻机械。它由转动喷嘴和许多紧密排列的转动喷嘴外圆周上的激波管组成(图3)。工作过程中



转动的喷嘴依次扫过一系列固定的激波管。当喷嘴与某一激波管联通时，高压气体通过喷嘴射入激波管。在射入气体的驱动下，原在激波管内的气体中形成向前传播的激波，激波扫过之处，气体被压缩、加热和加速。当喷嘴转开以后，激波管与低压排气管接通，射入激波管中的气体经过膨胀波反向流出。由于高压气体对被驱动气体做功，从排气管排出的气体的温度便降下来，射入的气体排尽后完成一个循环。被激波作用过的气体通过管壁散热将获得的能量散到周围环境，循环结束时恢复到起始状态。

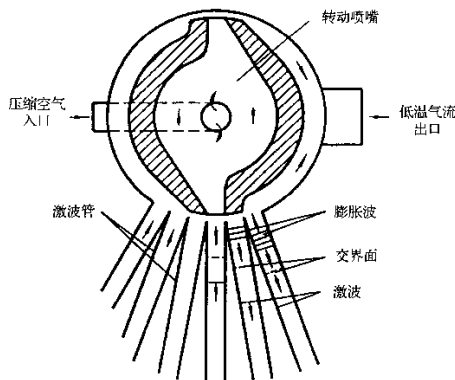


图3 热分离器结构简图

对于特定时刻，只有一根(如扩大喷管，可能 2~3 根)激波管处于充气过程，其余激波管都在排气，由于多根激波管重叠排气，因此热分离器排气口处的流动基本上是平稳的。

热分离器制冷效率 η_s 为气体通过后获得的降温温差与等熵膨胀产生的温差比

$$\eta_s = (1 - T_l / T_h) \left/ \left[1 - \left(\frac{P_l}{P_h} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \right. \quad (2)$$

式中 T_l/T_h 和 P_l/P_h 分别为热分离器出口与入口处温度比和压力比， γ 为比热比。



热交换器和热分离器都具有结构简单, 维护方便, 抗侵蚀等特点, 尤其高通量特性适于作风洞部件。热交换器的效率可高达 98% 以上, 工业用大型热分离器制冷效率也已达 80%。

如果忽略热交换器与热分离器之间的联接管壁导热产生的气体温升, 在不同热交换器和热分离器效率条件下, 将压缩空气从 320K 降至 100K 所需的热分离器入口与出口处压力比 P_h/P_l 值列于表 1。

表 1 将空气从 320K 降至 100K 所需压力比 P_h/P_l

η_e	η_s	40%	50%	60%	70%	80%
70%		5×10^6	250	49	19	11
80%		156	27	12	7.5	5.4
90%		8.2	4.8	3.5	2.8	2.5

如选取热交换器效率 $\eta_e=90\%$, 热分离器效率为 60%~80%, 则将压缩空气从 320K 降至 100K, 只需压缩空气压力较风洞气流总压高 3.5 至 2.5 倍。加上联接管导热和摩擦损失, 即便是增压风洞, 提供这种压力压缩空气也是容易实现的, 其能耗较液氮制冷要低得多。

3. 突破难点将降温范围扩展到 100K

热分离器是一种构造简单, 依据不定常流动降温原理的新型制冷机。现有热分离器应用于冷冻回收油井气或化工厂排气中的易凝组分, 低温工作限约为 200K。

能否将其降温范围扩展至 100K, 是本项研究的关键。其难点为当低温限下降时, 制冷效率是否会降得很低。经过仔细的气体流动特性分析, 认为制冷效率对低温限不敏感, 预期可以应用于所要求的低温范围。原理性实验证实了上述分析结果。该难点的突破不仅为新颖制冷方法的实现奠定了基础, 而且扩展了热分离器应用范围。

三、应用情况及前景

原理性实验证实了新颖制冷方法的可行性后, 已将该方法提供给中国



空气动力研究与发展中心使用。双方合作共同研制小型原理性低温跨声速风洞。该风洞已建成，已被上级单位验收并经专家组鉴定(图 4)。鉴定意见认为：“该新型空气低温原理性风洞方案在世界上是首次提出，克服了目前国外普遍采用的液氮制冷低温风洞运转费用高昂和环境污染两大缺点，具有运行经济，结构简单等特点。该风洞的研制成功，为发展适合我国国情的高雷诺数风洞建设开辟了一条创新之路。其原理可推广应用于研制大型低温高雷诺数风洞，具有重要的现实意义。”



图 4 俞鸿儒研究员在鉴定会上做报告

本项成果已获国家专利局发明专利授权，并获得 1999 年中国科学院发明一等奖。



气固流态化的散式化理论与方法

Particulatization of Gas-Solids Fluidization —Theory and Method

撰稿/李洪钟(化工冶金研究所)

一、研究目的和意义

流态化属化学工程科学与技术领域,是一门新兴的学科,开始研究至今仅半个世纪,但已经得到广泛应用。众所周知的石油流态化催化裂化装置、循环流化床燃煤锅炉等就是其应用的典范。然而流态化的一些基本问题仍尚待解决。

流态化分为聚式流态化和散式流态化两大类(参见图 1)。聚式流态化通常出现于气固系统,其特征为气固分布不均匀,颗粒聚集成聚团,而气体则聚集而形成气泡。此种不均匀分散状态大大降低了传热、传质和化学反应的速率。散式流态化一般出现于液固系统,其特征为颗粒均匀分散,不存在气泡与聚团,相间接触良好,热质传递与化学反应速率高。因此将气固聚式流态化转化为散式流态化一直是国内外科技界追求的目标。然而由于气固系统的固有特性,实现气固流态化的散式化相当困难。20 世纪 60~70 年代当国外学者热衷于研究气固流化床中的气泡现象、建立鼓泡流化床数学模型,用来描述气泡的产生并聚与运动行为时,我国学者郭慕孙院士则独树一帜,提出了消灭气泡、实现无气泡气固接触的研究课题,从流域过渡的概念出发,创立稀相流态化、浅床流态化和快速流态化三种无气泡的气固流态化体系,

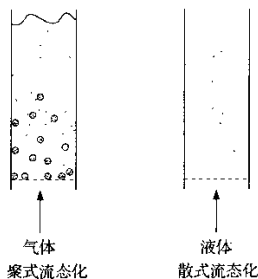


图 1 聚式流态化与散式流态化