

关于湍流射流问题

在很多工程技术部门中,例如火箭技术、飞机、透平、锅炉、燃烧室、化工冶金设备、通风设备、其他流体装置以及射流元件等,大量遇到湍流射流的流动问题。因此,阐明湍流射流流动的规律,从而为工程实际应用提供分析与计算有关参数的依据,就具有很重要的意义。

半个世纪以来,关于湍流射流的研究,无论在理论方面或实验方面,都进行了大量工作。最早的不可压缩湍流射流的实验研究,是1915年特鲁伯(Trüpel)关于轴对称自由射流的速度分布测量。半经验自由湍流理论的研究,是在1925年普朗特(Prandtl)发表混合长度理论以后进行的。至于可压缩自由湍流的实验与理论研究,则是30年代末期与40年代初期以后的事。其中阿勃拉莫维奇(Абрамович)与乌里斯(Вулис)等进行了大量的研究,包括非等温射流、超音速射流、非等温半限制射流、真实气体射流以及用射流方法研究湍流扩散火焰与低温等离子体射流等。尤其值得提到的是,60年代中,费里(Ferri)等进行了一系列关于用射流混合过程控制氢气在超音速气流中燃烧的研究,其中包括混合过程与化学反应过程的实验与理论研究工作,从而为冲压发动机超音速燃烧方法提供了有益的理论依据。

应该指出,到目前为止,半经验自由湍流理论的研究,主要是以普朗特的动量交换理论与泰勒(Taylor)的涡量交换理论为基础,所有各类理论方法,都是采用一个各自的这样或那样的表征湍流结构的经验常数。然而,首先,来流扰动的影响使所采用的经验常数带有很大的局限性。其次,在可压缩流情形下,已经采用的许多种湍流粘性系数,还比较混乱,缺乏普遍的概括性。另一方面,在技术领域内,不断出现新的需要,要求不断改进冷却技术与燃烧技术,广泛采用等离子体技术以及发展射流技术等。由于以上种种原因,促使人们不得不考虑关于湍流射流研究的新课题。下面就湍流射流的基本理论研究与应用研究分别叙述如下。

一、半经验自由湍流理论的基本研究

1. 关于初始扰动对射流流动结构影响的研究

目前一般来说,尚未太多地注意初始扰动对射流混合的影响,但是扰动存在于所有实际的初始条件中。因此,不估计这种影响,往往引起理论与实验的不统一,为实际应用带来很大的困难。已有的初步研究表明,提高初始扰动的水平可大大使射流初始段缩短。所以详细研究初始扰动对流动结构的影响,例如研究射流出口与伴随流中扰动情况,有限尺寸(如平面射流喷口的长宽比)以及初始剖面的不均匀性等的影响,具有很大的实际意义。

2. 湍流交换系数的研究

最近十多年间逐渐发展起来的关于可压缩自由湍流交换系数的处理,如前面已经提到的,主要是在普朗特1942年关于不可压缩流湍流粘性系数假定的基础上,采用这样或那样的湍流交换系数。但与实验比较表明,没有任何一个模型能够概括所有的实验结果。最近有人先从实验入手测量各个参数(速度分布、密度分布),然后积分运动方程与物质浓度方程以求得湍流运动粘性系数与质量扩散系数,最后确定湍流的斯密特(Schmidt)数。在这里虽然没有综合出最后的关于湍流交换系数的一般形式(实验的范围还不够广),但是如果通过比较更大范围的实验(例如对应于不同的速度比、温度比与浓度比),从其中总结出比较具有概括性的简单规律,这是确定可压缩流情形下半经验湍流交换系数的一个可能途径。总之,通过上述这种办法或其他途径,寻求一个解释比较合理,具有概括性的可压缩流交换系数,是十分必要的。

3. 聚合物加于水中自由射流的研究

近来开始注意到在水的湍流射流中加入小量聚合物(100 ppm左右)来考察湍流扩散的规律。已有的实验结果表明,把聚氧乙烯加入水中后反而比不加的情形所得半经验湍流常数要大,也就是射流扩散要大。根据怀特(White)与唐森(Townsend)等的解释,这是由于加入上述聚合物以后使所谓湍流弹性增加所致。但是,这与在管流中加进聚合物以后使阻力变小的事实相反。因此,看来利用自由射流加入各种聚合物来进一步研究减阻机理是值得重视的。

二、湍流射流混合过程的研究(应用研究)

1. 关于非等温半限制射流及其组合的研究

为了气膜冷却(如火箭喷管、锥体头部以及燃气轮机叶片与燃烧室等)的目的,对非等温半限制的射流或以不同角度射入的射流的混合过程,已进行过不少的研究工作。目前研究得不够与尚未研究的是,以不同气体作为冷却工质(如氢、氦等)切向或以不同角度流入超音速气流的射流以及组合射流(如法向射流与切向射流等)的干扰问题等。主要是要阐明进口几何参数与流动参数对混合过程的影响;从而寻求最佳的冷却效果。

2. 异质两相射流混合过程与体后环流区燃烧过程的研究

在燃气轮机燃烧室中的燃烧过程与流动过程是十分复杂的,其中包括液滴在湍流流动中的分散、穿透、蒸发、混合与燃烧等。由于在这方面还研究得不够,所以在设计燃烧室时,往往遇到不少的问题。因此从工程应用的观点出发,在实验的基础上,搞清楚油滴—空气(不是预混)两相射流的混合规律以及进一步研究体后环流区燃烧过程的规律,最后阐明来流情况(包括初始扰动)、燃料喷射情况,以及燃烧室几何形状等对整个燃烧过程的影响,从而为强化燃烧提供可靠的依据,具有很重要的实用意义。

3. 同质两相射流的研究

在化工生产过程中(如精馏等过程),为了加强物质之间的交换,近来有采用射流扩散的方法,因而需要研究同质两相射流湍流扩散的规律。

4. 关于湍流射流(亚音速)附壁流动的研究

研究湍流射流附壁流动对附壁式射流元件的设计具有十分重要的意义,目前射流元

件的设计,总的来说,还只能依靠实验的途径,因此极需研究附壁流动的规律,例如研究射流出口大小、流出速度、位差以及控制孔的大小等对附壁效果(如压差等)的影响,从而确立上述诸参数之间的关系。

5. 电弧等离子体射流扩散的研究

最近炼钢技术中采用电弧放电(例如用氩气作为稳定工质)的方法来进行冶炼,其优点是效率高,速度快与质量纯净。如果气流速度相当大,尤其在放电射流与冶炼层碰撞的区域,电弧的运动将是一种湍流射流的扩散。所以阐明电弧等离子体射流扩散的规律,如气体流量、压力与电极距离等对各个参数(如速度、温度与浓度等)分布的影响从而对传热的影响,这对理解电弧等离子体炼钢过程以及进一步提高炼钢效能是很重要的。

最后必须提到的是,在实际应用中,往往遇到超音速湍流射流的噪声问题。目前在减轻噪声的方法上有一些研究。但是,产生噪声的原因很复杂,例如超音速与亚音速流中的湍流、旋涡马赫波发射、激波湍流干扰以及激波振荡与流动共振等,都是产生噪声的来源,所以还没有关于这方面成熟的理论。因此无论从方法上或理论上来进行关于减轻噪声的研究,看来是值得重视的一个问题。

(据谢象春书稿摘编)