

射流技术是在六十年代发展起来的一门利用流体在射流元件中的流动来实现传感、计算或控制的新技术。

第二次世界大战后，由于高空飞行、宇宙火箭、原子能工业和化学工业等的迅速发展，对自动技术提出了能在极端苛刻的环境中（高温、强振动、强辐射、强腐蚀等）可靠地工作的新要求，这是采用传统的电子、机械、气动和液动等控制方式难以实现的，这就要求研究和发展的自动控制技术。由于射流技术能适应这一要求并具有使用寿命长、易于制造、成本较低等优点，就引起了人们的注意和兴趣。目前射流技术已经普遍地为军用和民用工业部门所采用。现在已有许多国家，数百个研究单位从事这方面的研究工作。最近几年来，射流技术有了迅速的发展。

## 一 概 况

### 1. 各国发展射流技术简况

1959年美国哈利·戴蒙德实验室（HDL）利用附壁效应制成了射流元件，美国陆军部和宇宙航行局急于把这项成果应用于尖端武器，据统计从1959年到1964年投资总额达三千万美元。但是由于存在着一些技术原因，主要的是由于帝国主义的垄断，致使在这一时期内，射流技术的发展很慢。1963年后，在国际会议上才开始对射流技术进行专门的讨论。直到1965年射流技术在军事工业（主要是火箭和飞机）与民用工业才取得一些效果。随后美国对发展射流技术的投

资额年年有所增加，1964年为1千4百万美元，1969年为2千万美元（销售额射流器件为1亿美元）。其中40%以上用于宇宙、航空等军事工业的研究。据报导，美国计划到1975年射流元件的生产投资额为2.5~5.0亿美元。

美国于1968年举办了首届射流技术展览会，主要展品是数字式元件。得出结论是主要解决数字控制的问题，但用户普遍感到对射流能干什么，心中无数。在1969年12月举行的第二届射流技术展览会上，主要展品仍是数字式元件。这时对用户提出了如何在已有元件的基础上组成控制系统的问题。1970年后期，数字式元件继续增长，制造厂家已开始利用元件组成系统。在1971年9月举办的第三届展览会上，比例式元件有所增加，有大部分的器件和系统装置。这三届展览会反映了美国射流技术的发展阶段。

美国研究射流技术的主要部门是海陆空三军的研究机构和航空宇宙航行局（NASA）。现在美国有110家研究单位和大公司，如鲍尔斯公司（Bowles Co.）通用电气公司（G.E. Co.）也都在从事射流器件和有关设备的生产和研究工作。戴蒙德实验室（HDL）、美国机械工程师学会（ASME）、国家流体动力协会（NFPA）等单位还组织技术交流工作，1965年5月美国机械工程师学会成立射流技术委员会。从1962年开始，几乎每年都举行一次全国性的射流技术交流会。美国流体放大器协会主办了专门刊物——射流技术季刊（Fluidics Quarterly）。

~ 2 ~

英国发展射流技术比美国晚些。1962年以后，伯明翰大学 (University of Birmingham) 等单位开始对射流元件进行研究。在英国技术部 (Minitech) 的支持下，国家工程实验所 (NET)、皇家飞机公司 (RAE)、国家物理实验室 (NPL) 等单位都安排了射流技术的研究和发展工作。现在英国有十一家公司 (包括今年九月开始工作的新成立的一家公司) 从事射流元件的制造并已有廿多个工业部门采用了射流技术，其中有半数以上是在1967年以后才开始的。据报导，1969年用于发展射流技术的总费用已达二百多万美元，其中58%用于生产，42%用于研究。

英国流体力学研究协会 (BHRA)，在组织射流技术工作的国际交流方面，作了不少的工作，现已组织了四届库兰菲尔国际射流技术会议。计划明年在瑞典举行第五届库兰菲尔国际射流技术会议。该协会并主办刊物射流技术反馈 (Fluidics Feedback) 报导射流技术动态和评论，现已销售到27个国家。

日本从事射流技术方面的研究工作是在1960年以后，开始只有几所高等院校和研究所 (如工业技术院、机械试验所等) 作些初步的工作。1965年有部分人提出射流技术“无用”的看法。实际上，1966年以后，射流技术在日本才开始发展，主要的是向美国和加拿大购买专利。1968年日本还没有专门生产射流器件的工厂。1968年后，日本才强调要按照自己的特点，独立地发展射流技术。近几年来，射流

技术在日本的发展还是十分迅速的。

日本计测自动 制御学会从1966年5月开始，每年都组织召开国家射流技术学习报告会，这对促进日本的射流技术发展起了一定的作用。

苏联也以相当大的规模发展射流技术，开展的也较早，这一工作是在极端保密的情况下进行的。1970年前公开发表的资料很少，特别是在技术尖端和军事工业方面。据报导苏联的两种新型轨道宇宙飞船中採用了射流控制系统。

苏联从1962年开始，也每年召开一次射流技术会议。1970年由苏联科学院等单位出版了“气动控制设备和系统”一书，共包括72篇论文，涉及的范围很广，从对于附壁元件、动量交换元件、涡流元件、膜片元件等直到射流技术的测量和计算技术，系统的可靠性、气动元件和组合等。应用方面只谈到了一些民用工业如化工、电站，关于国防工业谈的很少。从西方报导的这本书看来，苏联在发展射流技术方面作了不少的工作。

别的一些国家，如加拿大、瑞典、西德、意大利等，也都在不同的程度上发展了射流技术工作，仅在1970年第四届库兰菲尔射流技术会议上，在参加会议的21个国家中就有19国家宣读了72篇论文和7篇技术文献。

从1962年开始到现在，已经召开了16次国际性射流技术会

议。据报导，国际自动控制联盟于1971年6月28日~7月2日在布拉格举行了第二届射流技术会议，共提出38篇论文，其中基本元件12篇，应用和控制12篇、系统和新原理14篇。

## 2应用

射流技术经过多年来的实际应用，证明射流技术在自动控制方面是一种有效的工具，特别是有些地方採用射流技术效果特别明显，如有一大气层内导弹射流控制系统，体积小，重量轻，很可靠，成本只是电子控制的1/20。又如能承受更加严重的空间运转环境的喷气空气发动机射流控制系统，同液压机械式、电子式的比较如下表所示。从表中可以看到採用射流控制的优越性。

结构 型式	基本计算 装置、逻辑回 路、传感器		附 加 装 置		可 调 装 置		破 损 程 度
	重量	体积	重量	体积	重量	体积	
	液压机械式	100%	100%	100%	100%	100%	
电子式	76%	175%	79%	96%	78%	155%	115%
射流式	45%	64%	135%	193%	50%	98%	42%

射流技术在军事尖端技术上用得较多。航空、宇宙航行、原子能等尖端技术，经常在高温、强振动、核辐射等极端苛刻的条件下工作。射流装置很适合于这些地方。

在舰艇和船舶工业中，由于用流体作工质和工作于流体中，所以用流体直接进行控制非常合适。因此，射流技术在这一领域中有着广阔的前景。

在传统的工业部门，射流技术的用途也日益扩大。应用比较普遍的有化工、石油、机械等工业。化工、石油工业部门的控制对象多属液体或气体，正好用作射流控制的工作介质。例如这些部门经常遇到的液面控制问题，利用射流器件进行控制，效果十分显著。象机械工业，它要求的控制速度不一定很高，但要求控制系统简单可靠。在这种情况下，使用射流装置非常理想。

概括起来，射流技术的应用大致分为以下几个方面：

(1)在宇宙航行，导弹方面的应用：由于这个领域属于军事机密，使用成果公开发表的很少，已经公开发表的有：火箭飞行姿态自控装置、火箭轨道自控装置、惯性制导装置、陀螺仪稳定平台、宇宙飞船漏气检测装置、紧急离开宇宙飞船的计算机、宇宙服内衣温度自动调节装置等。

(2)在航空工业方面的应用：目前应用有燃气轮机控制装置（温度、压力、转速）、压气机反喘装置、喷气发动机推力反向装置、直昇飞机增稳装置、自动操纵装置、多燃料箱比例控制器、导航装置等。

(3)在舰船、鱼雷工业方面的应用：目前应用有舰艇稳悬控制装置、鱼雷航向控制装置、水翼控制、水喷射推进装置、汽轮机速度控制、锅炉自动控制、柴油机起停程序控制、液态货物装卸控制等。

(4)在核动力工程方面的应用：目前应用有燃料检测装置、温度检测装置、巡回检测和自动采样装置、燃料贮藏液面控制、液体快速屏蔽系统等。

(5)在机械制造和工程机械中的应用：

①在机床方面的应用有：磨床自动确定尺寸装置、多头钻床自动控制、钻床自适应控制、切槽铣床自动控制、压力机自动控制、某些专用机床（如打包机、冲孔机、特种钻床等）等。

②在测定、检测和分类方面的应用有滚珠轴承内圈内径选分机、轴承滚珠检测机、粉末原料分配系统、端部检测器等。

③在程序控制方面的应用有：真空堆积机、装袋机、装瓶机、输送机、自动缝合机、玻璃制品挤压机、轴承内圈加工机、压力机等。

④在动力机械方面的应用有：柴油发动机速度控制、汽轮机速度控制、锅炉自动控制等。

⑤在其他方面的应用有：天然气管线自动控制、矿山钻探控制、爆破打眼控制、地震装置的射流控制、铸字机自动控制、炼钢炉控制、锻造工段联锁装置、造纸工业中卷纸机的控制、电影胶片破裂探测装置、张力自动控制、自动称重系统、汽油自动售货机等。

⑥在交通运输方面的应用有：火车柴油机速度控制、冷却系统控制、润滑油和冷却水液面控制、除雪和洒水控制、车窗刮水器、汽化器、动力操纵机构等。

⑦在化工、电站、生产过程自动控制方面应用的有：检测温度、压力、重量和位置的传感器、计算机控制、程序控制、分流阀、自动配料装置、水处理控制装置、巡回检测装置和控制机等。

⑧在医疗设备方面应用的有：人工呼吸器、人工心脏、人工肾脏、气垫控制装置等。

⑨在计算机方面的应用：目前利用射流元件制成的小型专用计算机已在应用、还有发展的可能。作为电子计算机的辅助设备有：穿孔卡阅读器、显示器、与直接数字控制系统配合使用的数字调节器以及自动计数器、积分器、微分器等。

⑩在农业方面的应用有：控制灌溉用的分流阀、旋转喷雾器等。

### 三 射流技术的现状

射流技术在近十年来的发展，一方面表现于大量的应用，同时还表现于以下几个方面。

#### 1. 射流元件

射流元件是控制线路中的基本单元，基本上分为比例式和数字式两大类，多属利用附壁效应、动量交换、紊流流动、剥离和湍流五类不同的作用原理制成。自从1959年第一个附壁式元件问世以来，在元件方面有了很大的进展，研制出了多种形式的元件。已经得到应用的比例式元件有紊流式、偏向性比例式、湍流式、对冲式、双弯流式。属于数字式的有附壁式、聚流式、计数元件、紊流式、引流式、哨音式、振荡