

一门新兴学科——电流变学的研究与发展

魏宸官

(北京理工大学)

[摘要] 电流变学(Electrorheology)是一门新兴的学科。本文通过概述第四届国际电流变学术会议情况,详细介绍了电流变学的最新国际研究动态及当前本学科的研究内容和最新进展,同时也介绍了我国在此领域的研究情况,并提出在我国发展本学科的建议。

电流变技术的基础理论研究是“七五”期间国家自然科学基金资助的重大项目的子课题和国际合作交流项目。

今年7月,在国家自然科学基金的资助下,作者出席了美国海军部主持在奥地利Feldkirch召开的第四届国际电流变学术会议。同时参加本届会议的还有复旦大学的周鲁卫教授、中国科技大学的朱克勤教授以及中科院化学所在国外的访问学者梁瑞凤博士和北京理工大学在加拿大进行电流变技术博士后工作的吴新明博士。

这届国际学术会议总结了前三届会议以来电流变技术在国际上的研究进展情况,并交流了各国在此领域的科研工作和学术论文(大会发言44篇,墙展14篇)。会后我们几位国内代表和在国外的中国代表也交流了对在我国国家发展此项技术的看法。大家一致认为回国后应立即向有关负责部门汇报,引起领导的重视,勿使我国在这样一项有重大价值的技术的竞争中落后甚至中断。

大家的共同看法如下:

可以肯定地说,电流变技术是当代一门有巨大发展前途和潜在市场的高新技术和未来技术,而且无论对学科发展或工程技术的变革,它都具有难以估计的重大的学术价值和经济价值。

从材料科学领域来说,目前的热点是发展智能材料,而电流变液体则是其中最重要的一种,因为电流变液体的特性可以在介于流体和固体的属性间进行可控、快速和可逆的转变。即可以人工控制材料的性能,在未来的智能控制和机电一体化技术中将占有极重要的地位。

电流变学是研究在电场作用下流体的一些特殊运动规律,探讨在电场作用下流体的电学性能、机械性能、化学及物理学性能。这些研究必将扩大和充实流体力学的现有领域,并形成一门新的学科——电流变学或场作用下的流体力学。

利用电流变液体的表观粘度和抗剪强度可以快速、无级、连续、可逆地进行控制以及控制所需能耗低等特点,可以发展一些高性能且参数可控的离合器、制动器、减振器、隔振器、传感器等,为机械工程领域创造出许多性能优良、结构简单的新产品。并有可能在诸如汽车工业、液

本文于1993年9月16日收到。

压工业、机械制造业、机器人工业、传感器技术等许多部门引起革命性的变化。随着这项技术在工程应用中的逐步开展,十分明显,将形成一门崭新的技术学科,即电流变技术学或电流变技术在工程中的应用或电流变技术工程。根据许多专家的预测,如果这项技术在工程应用中获得突破,它所产生的经济效益将是几千亿美元,预计在 1995 年可达到每年 200 亿美元(见美国能源部的报告)。

一、国际研究动态

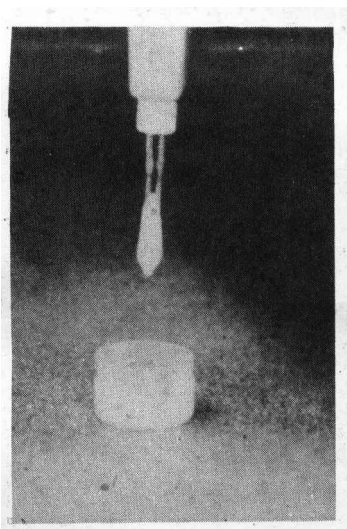
早在 1974 年电流变液体(Electrorheological Fluids, 以下简称为 ERF)就被美国人 Willis Winslow 所发现,但真正获得世界范围的发展和重视却是在本世纪 80 年代初。

从本次会议发表的论文和出席的单位与人员数目来看,对本学科总体形势的基本估计如下:

1. 越来越多的国家和科学工作者,看到并了解了研究 ERF 的重大意义。

ERF 为什么引起人们的重视? 主要是由于 ERF 有着许多可供发展技术和工程应用的特殊性能,这些性能是:

(1) 在电场作用下液体的外观粘度或剪切应力可有明显的变化,可相当于从液态属性到固态属性间发生变化(见图 1);



(a) 在电场作用下电流变液体凝固



(b) 电场卸去后,电流变液体开始流动

图 1

(2) 这种变化是可控、可逆、且是连续和无级的;

(3) 控制这种变化的方法简单,只需一个电场,且控制能耗极低。

美国的一位著名学者认为:ERF 可能是最高效的机-电一体化的最有潜力的中间环节,因为它价格低、结构紧凑、响应快、可靠、寿命长,有广阔的动力连续变化范围,而这些性能是目前任何一种液-机中间环节所不能达到的。

2. ERF 的研究正获得快速发展。1987 年以前,ERF 的研究只停留在少数国家,如英国、前

苏联等,而且是保密的。而现在世界上已有10多个国家如美、英、日、德、中、法等投入人力物力开展研究工作,使这门学科和技术的研究已具有国际性质和世界范围。不仅研究机构和人员有了迅速的增加,而且涉及物理、化学、材料工程、机械和电子计算机等学科,研究进展极快,表现在:

(1) 对电流变ER现象的机理了解得越来越清楚。

(2) 对产生ER现象的关键成分,即粒子的材料的选择和研制有了长足的进展。

(3) 为了适应工程需要,制定了对所需ERF性能的全面评价指标,即电学性能、流变学性能、化学性能、热力学性能和响应特性,以及对环境污染和人身安全等。

(4) 在工程应用方面,已能根据预定的要求,设计和制造出多种样品。个别样品已相当成熟,预计有些在今后几年内可达到商品化。

但是,也遇到了许多问题和困难,即:

(1) 目前ERF材料所提供的性能,还不能广泛地满足工程应用和产品商品化的需要,亦即ERF的性能极大地限制了其工程应用的范围和品种。但如不能商品化和产生经济效益,ERF技术的发展就会受到一定影响;

(2) 机理的研究没能与工程应用密切结合,陷入学院式的研究,脱离实际,影响了工程应用;

(3) 研究工作所需的经费与所获得的资助相比,差距甚远。

因此,这次会议明确地提出了几项重要建议,即:

(1) 加强ERF的工程应用研究,尽快使有希望的成果商品化。例如粒子材料的大量生产,可用于工程技术的产品尽快商品化,以获得工业部门的支持,使ERF获得更快的发展;

(2) 基础理论的研究要和改善现有ERF的性能及寻找更好的粒子材料结合起来,使ERF的性能能从目前的1—5kPa迅速提高到15—20kPa;

(3) 要求在国际和国内范围,使工程技术方面的专家和理论工作者很好地合作;

(4) 争取政府部门、国家基金和企业的经费支持。

目前国际上的权威专家对ERF技术的突破和广泛应用的估计,保守的是15—20年,一般认为是5—10年,但不排除某几项应用在1—2年或3—4年内商品化。

二、当前的研究内容及最新进展

1. 当前的主要研究领域及研究进展

电流变现象的机理

(1) 深入理解了ER效应的产生原因,即在电场作用下,两相悬浮液中的粒子产生了极化,极化后的粒子在两电极间形成链,链继续集聚,形成柱,对外表现为抗剪切能力的增大,形成固体物质所具有的属性,这一过程具有相分离的特征。

这一过程已经通过实验获得证实,并有人拍摄了全过程的微观显微录相。

(2) ER效应的强弱,很明显与材料的极化性能有关,除此以外它与电场强度、粒子大小和形状、基础液体的介电性能等一系列参数有关。

这些关系,目前已能用公式表达,并通过试验取得证明。

(3) 通过对极化现象、粒子间的相互作用关系,开展进一步的和三维的粒子在电场作用下

的模拟计算和仿真。

在基础理论方面存在的问题:

(1) 目前的分析工作,大多是对 ERF 处于静止状态下进行的,这种分析与实际应用有很大差别,因此在流体流动状态下 ER 效应的分析是未来需要研究的一个课题。

(2) 目前的机理研究,是在低剪切率下进行的,这与实际应用也存在着差距。因为实际应用往往在高剪切速率下运用,在这种状态下 ER 效应的研究也属于于未来研究课题。

(3) 目前的实验大多是应用直流电场,现正发展应用交流电场。因此,频率对 ER 效应的影响也成为未来研究的课题。

电流变液体的粒子材料和基础液

在基础理论研究成果的推动下,对高性能粒子材料的探索方面取得了很大的进展,其大致发展过程如下:

(1) 在初期阶段,ERF 基本是无机或有机粒子,但含有水份。这类材料的弱点是在长期使用下不稳定,工作温度范围由于受到汽化和凝固而有限制,对控制所需的功率消耗大。

(2) 发展的第二阶段是应用不含水的 ER 粒子材料。大致有下面几种:硅酸铝系统(Aluminosilicate system)或沸石系统(Zeolite system)材料;高分子电介质粒子(Polyelectrolyte particle)材料;半导体粒子(Semiconducting particle)材料;液晶高分子聚合物(Liquid-crystalline polymer molecules)材料;复合粒子(Composite particles)材料。

目前 ER 液体由于采用了上述粒子后,其性能一般在 $E=5\text{kV/mm}$ 时,可达 $1-5\text{kPa}$ 。

在此领域存在的问题是 ERF 的机械性能还不能充分满足各种 ER 装置对它的要求。

预计今后 5—10 年的研究目标,是使 ERF 的性能在高剪切速率下,在 5kV/mm 时,剪切应力可达到 $15-20\text{kPa}$ 或更高。

当前迫切需要进行的研究工作是对粒子材料的性能进行全面的,包括:ERF 粒子和基础液的电学性能研究;ERF 流变学性能研究;ERF 粒子的化学性能研究;ERF 的热力学性能研究;ERF 的响应性能研究;ERF 的传输性能研究;ERF 的安全使用 and 环境污染研究。

当前最突出的问题仍然是提高和改良 ERF 的性能,使之达到工业装置的应用要求,最有希望的研究是:高介电常数的粒子材料研究;单相 ER 液体的研究和 ERF 的研究。

ERF 的工程应用

由于 ERF 的特殊性能优点以及高性能 ERF 的出现,各种 ERF 装置的专利、信息、设想及样品不断出现,目前已有的构思和样品包括:重型运动武器的隔振;汽车领域的减振和隔振;复杂的运动控制;扭矩传动装置;结构减振装置;电-液信号转换用的 ERF 阀;油缸动作控制;制动器;夹具;张力控制;节能应用。

据目前报道,ERF 装置近期有可能商品化的应用领域是:

- (1) 汽车和运输车辆发动机的支架隔振器有可能在 1—2 年内实现商品化;
- (2) 工程机械重型汽车的座椅和驾驶室隔振和减振;
- (3) 汽车和机车的主动或半主动悬挂中的可控阻尼减振器,预计 3—5 年内商品化;
- (4) 油缸运动的控制桥路;
- (5) 计算机中的打印机控制;
- (6) 电源的高速开关。

应该说 ERF 在工程中的应用,已面临进入市场突破的前夕。

2. 新出现的科学领域与生长点

(1) 电磁流体(MERF)的出现,这种粒子和悬浮液不仅受电场的作用产生电流变效应,而且可以受磁场的作用产生磁流变效应。磁流变效应无高压危险,其流变效应不低于电流变效应,是在此领域的最新和最有价值的动向。

(2) 在粒子材料方面,除了发展有高效应的电流变液体粒子外,发展一种具有电流变效应又有磁流变效应的粒子,是当前一个重要的发展方向。

(3) 发展单相的电流变液体以防止沉淀和提高液体流动性。

(4) ERF 的光学性质和全息摄影。

(5) 负流变效应的研究。

(6) 提高电场对基础液的电流变效应的探索,这样可以强化 ERF 的性能。

以上是值得重视的一些新的研究课题,这些问题的研究有可能导致独创的 ERF 流体。

三、我国的研究情况

我国 ERF 的研究工作始于 1986 年,是起步较早的国家之一。1988 年,国家自然科学基金会把有关电流变技术的基础理论研究列为“七五”期间的国家自然科学基金的重大科研项目的子课题。该项科研由北京理工大学和中国科学院化学所共同承担,笔者担任此项课题的负责人。经过 5 年的努力,在基础理论、ERF 的粒子材料、ERF 的工程应用以及为了开展上述研究工作所需的试验设备和测试仪器的建设方面均取得了良好的进展。1993 年 6 月通过了专家组的验收。

通过参加第四届国际电流变液体学术会议,使我们对自己的研究工作也有了客观的评价。我们所研制成功的三种电流变液体,其性能指标达到目前的国际先进水平(即电场强度在 3—5kV/mm 的范围内,动态剪应力达到 1—5kPa)。在工程应用方面,我们所研制和通过试验的样品,即 ERF 减振器和 ERF 离合器,由于更加接近于工程应用,在国际上处于前列。

5 年来,由于我们先后参加了第二、三、四届国际电流变学术会议,并在会议上发表论文,使我国在此领域在国际上有了一定的地位和知名度。1992 年,美国 Forst and Sullivan 出版公司出版的《敏感液体》(《Smart Fluid》)一书,首次把中国的北京理工大学和笔者列入了国际上从事 ERF 研究的主要单位和学者之一。1993 年美国能源部编写的名为“电流变液体”(“Electrorheological (ER) Fluids”)专题报告,专门列有一节,详细介绍了中国在 ERF 方面的研究情况,并多次提到北京理工大学及我们的工作。目前在此领域,我们已申请了两项发明专利(一是液体,一是 ERF 减振器),在国内外学术会议和刊物上发表了 5 篇论文。同时通过国际交流及国际合作已与英、美、德、独联体、日和新加坡等国家的同行建立了学术关系。

通过 5 年的工作,也扩大了电流变技术在国内的影响。目前除得到了国家自然科学基金资助外,最近已引起了国防科工委和国家教委、兵器工业总公司领导的重视和注意,并准备给予资助。除此以外,ERF 的重要性已得到国内许多高校和科研部门的认同。到目前为止,除了北京理工大学和中国科学院化学所以外,西安交通大学、清华大学、华中理工大学、复旦大学和中国科技大学均已经或准备投入人力和物力进行 ERF 的机理、粒子材料和工程应用方面的研究工作。

因此,从我国目前的情况来看,理论研究和工程应用均与国际水平能够同步。我们最主要的弱点在于资金不足,难于开展难度较大的和较长时间的开拓工作,如新型 ERF 粒子材料的探索和研究,以及工程应用的商品化研究。

目前,高性能 ERF 的探索研究以及 ERF 的工程应用研究和商品化研究,是国外研究的重点,显然也应是我们的重点。但今后由哪一个部门来组织和资助此项研究,应该说是没有落实的。此项目一旦失去强有力的支持,我们很快就会落后于世界水平,并且加大彼此间的差距。

四、对我国发展本学科的建议

为了能够使这项新学科和新技术在我国得到迅速发展,我们建议:

1. 国家应该将这一课题列入国家自然科学基金或者是 863 计划及攀登计划,予以长期重点支持;
2. 协调和统一组织国内各方面的人力物力,在基础理论、粒子材料和工程应用等方面,有组织、有计划、有目的地开展科研工作;
3. 加强国际合作和国际交流;
4. 加强理论研究和工程应用研究单位的密切合作,缩短此项技术用于工程目的的进程,并尽快实现商品化,获得经济效益,形成科研和生产之间的良性循环。

最后,为了使人们对近几年来国外在电流变液体和电流变技术方面的发展状况有所了解,将 1986 年至 1991 年间国外发表的专利及论文情况列入表 1,2,3 中,以供参考。

表 1 历年来发表的有关 ER 液体的专利数目

年	美 国	英 国	日 本	德 国	前苏联
1986	0	1	0	2	0
1987	0	1	0	1	0
1988	3	1	8	0	1
1989	2	1	33	0	0
1990	4	4	22	0	0
1991	7	0	32	2	0
总 计	16	8	95	5	1

表2 历年来发表的有关 ER 装置的专利数目

年	美国	英国	日本	德国	前苏联
1986	0	2	0	3	2
1987	4	2	0	10	12
1988	5	0	4	3	7
1989	5	2	5	4	16
1990	6	0	5	2	13
1991	6	1	7	10	1
总计	26	7	21	32	51

表3 历年来发表的有关 ER 液体的研究论文数目

年	美国	英国	日本	德国	前苏联
1986	0	1	0	0	1
1987	2	2	0	0	3
1988	1	1	0	0	0
1989	6	0	0	0	3
1990	8	4	4	0	4
1991	13	5	7	1	2
总计	30	13	11	1	13

A RISING DISCIPLINE: THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ELECTORRHEOLOGY

Wei Chenguan

(Beijing Institute of Technology)

Abstract

Electrorheology is one of the new developing subjects. This paper deals with the latest research tendency, the required research areas and the new development of ERT in the world as well as the situation of the ERT research work in our country. In addition, some suggestions of developing the research work of ERF in our country are also presented.