

ADVANCES IN RHEOLOGY



流变学 进展

杨挺青
曾繁滌 主编
解孝林

华中理工大学出版社

流 变 学 进 展

ADVANCES IN RHEOLOGY

杨挺青 曾繁涤 解孝林 主编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

流变学进展/杨挺青 曾繁涤 解孝林 主编
武汉:华中理工大学出版社, 1999年10月
ISBN 7-5609-2078-0

- I. 流…
- II. ①杨… ②曾… ③解…
- III. 流变学-论文集
- IV. O37

流变学进展

杨挺青 曾繁涤 解孝林 主编

责任编辑:苏 嫦

封面设计:潘 群

责任校对:郭有林

监 印:熊庆瑜

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:中科院武汉分院科技印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:32.25

字数:770 000

版次:1999年10月第1版

印次:1999年10月第1次印刷

印数:1—460

ISBN 7-5609-2078-0/O·196

定价:90.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书为流变学'99会议论文集,属我国流变学科每三年出版的系列书之一。由第六届全国流变学学术会议论文汇编而成,共收入论文105篇。其内容相当广泛,涉及流变学各分支有关理论;应用面很宽,反映许多重要工程项目的研究成果;体现我国流变学研究近几年取得的许多新进展。

全书分为八章:专题报告,高分子溶液与熔体,多相体系,本构理论、固体流变,石油流变学,岩土、地质流变,工业流变学,食品、医药、生物流变学。

本书对于从事流变学及其有关化学、力学、材料、工程学科的教学和研究工作者具有重要参考价值;对于想了解流变学及其应用的读者是一本十分有益的参考书。

前 言

中国化学会和中国力学学会于 1985 年联合组建全国流变学委员会以来,先后在长沙、成都、上海、广州和北京召开过 5 届全国流变学学术会议,广泛交流各分支学科领域的研究成果,促进流变学在我国的发展,加强流变学在工程中的应用,取得了很大的成绩。在此期间,全国流变学委员会在北京举行了 1991 年国际会议,国际理论与应用力学联合会在我国召开了带缺陷物体流变学的科学讨论会(IUTAM Symposium on Rheology of Bodies with Defects, 1997, Beijing),在国内和国际上都产生了较大的影响。

世纪之交的第 6 届全国流变学学术会议于 1999 年 11 月 1~4 日在武汉举行。按照惯例在会前出版《流变学进展》一书。本期《流变学进展》参与撰稿的作者 258 人,收录的论文 105 篇。其中,据不完全统计:属国家自然科学基金项目的论文 36 篇,属博士点基金、省部级基金的有 18 篇,共约占论文总数的 51.4%;关于应用方面的研究论文占论文总数的 60%以上。论文内容涉及流变学各分支及其在各种工程技术中的应用,诸如:流变物体的性质、力学行为与本构关系,高分子溶液、熔体、聚合物流变学,多相体系,石油流变学,岩石、岩体、地质的流变,液晶,电流变,固体流变力学,聚合物、金属的流变成型,工业流变学,食品流变学,生物、医学、药物的流变,结构流变力学,等等。从本书可以看出:论文内容涉及面很宽,有理论深度,应用相当广泛,体现许多重要工程项目的研究成果;作为物理、化学、力学和技术学科、工程学科结合与交融的流变学,近几年来在我国又取得了许多的新进展。

第 6 届流变学学术会议在华中理工大学召开,在中国力学学会、中国化学会流变学专业委员会的领导下,得到广大流变学界同仁们的关心和支持,受到华中理工大学领导的关怀。在这里,我们要感谢国家自然科学基金委员会的指导和帮助;感谢各位作者的热忱合作;感谢华中理工大学出版社的大力支持。我们还要感谢瑞士大昌洋行有限公司、惠港实业有限公司、RST 瑞特恩科技有限公司、武汉水利电力大学工程结构加固研究中心、中国矿业大学缪协兴教授等所给予的支持和帮助;感谢孙忆平、贺毓良、罗文波、安群力、杜梅先等同志为本届会议所作的许多筹备工作。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中出现的不足或疏漏之处,敬请作者见谅,并请读者批评指正。

杨挺青
曾繁漆
解孝林

1999 年 10 月

中国化学会中国力学学会流变学委员会

第六届全国流变学学术会议

(1999. 11. 1~4 武汉)

组织委员会

主席	杨挺青	教授	(武汉)
委员	江体乾	教授	(上海)
	金日光	教授	(北京)
	罗平亚	院士	(南充)
	袁龙蔚	教授	(湘潭)
	韩式方	研究员	(成都)
	吴大诚	教授	(成都)
	范 椿	研究员	(北京)
	范西俊	教授	(杭州)
	秦同洛	教授	(北京)
	孙荀英	教授	(北京)
	唐国俊	教授	(广州)
	王振东	教授	(天津)
	王启宏	教授	(北京)
	许元泽	研究员	(北京)
	罗迎社	教授	(湘潭)
	梁瑞凤	研究员	(北京)
	陈一泓	教授	(北京)
	缪协兴	教授	(徐州)
	赵晓鹏	教授	(西安)
	方 波	副教授	(上海)
	方 智	中国化学会副秘书长	(北京)
	何 林	中国力学学会副秘书长	(北京)



目 录

1 专题报告

- 101 流变学在我国发展的回顾与展望 江体乾(1)
- 102 从量子论看经络流变系统的由来和生命之最小量子 金日光(7)
- 103 石油工程流变学的新进展..... 蒋 阅 卢拥军(13)
- 104 液晶高分子本构方程及其流体力学问题..... 韩式方(17)
- 105 TLCP/TP 共混体的流变行为 解孝林 吴大诚(24)
- 106 采矿工程岩体的流变与控制问题..... 缪协兴(30)
- 107 电流变液的应力应变关系与动态屈服应力..... 赵晓鹏 高向阳(37)
- 108 粘弹-触变性流体本构方程研究进展及其应用 方 波 宋道云 江体乾(42)
- 109 金属加工流变学的研究概况与展望..... 罗迎社(46)
- 110 聚合物蠕变断裂研究的若干进展..... 安群力 罗文波 杨挺青(53)
- 111 Visco-elasticity and Plasticity of Textile Materials With a Particular Reference to
Fabric Wrinkling Jinlian Hu Fengjun Shi Tongxi Yu(59)
- 112 Rheological Characterization of Body Lotions Ming-Long Yao(64)
- 113 What Sort of Rheological Measurement Equipment Can We Get to Solve Our
Application Problems Wolfgang Marquardt(72)

2 高分子溶液与熔体

- 201 Torque Behavior of Semiflexible Thermotropic Liquid Crystalline Copolyesteramide and
PBT Blends R. K. Y. Li X. L. Xie S. C. Tjong(84)
- 202 Strength and Breaking Behavior of Polymer Melts
..... A. C-Y. Wong J. Liang V. H. K. Cheung C. Y. Tang(88)
- 203 Rheological Properties of Semiflexible Thermotropic Copolyesteramide and Polyamide
66 Blends S. C. Tjong R. K. Y. Li X. L. Xie(93)
- 204 聚丙烯酰胺(PAM)水溶液流变性研究
..... 方 波 江体乾 徐德刚 沈中宝 王树伦 宋道云(97)
- 205 相反转发展过程中流变行为研究 杨振忠 赵得禄 徐 懋 许元泽(101)
- 206 粘弹性聚合物液滴在简单剪切流场中增宽形变的模拟 俞 炜 周持兴(106)
- 207 溶致性液晶高分子流变行为研究 王毓宾 韩式方(110)
- 208 超高分子量聚乙烯粘弹性 雷 华 胡 平 王东燕(112)
- 209 高密度聚乙烯树脂的熔体破裂及其对成型制品表观质量影响的研究
..... 雷景新 高 峻(115)
- 210 含氟侧基聚芳醚酮的力学性能与电性能
..... 王贵宾 刘显彬 陈春海 姜振华 张万金 吴中文 卢春华(119)

- 211 聚乙烯醇水溶液的粘度行为研究 … 庄银凤 朱仲祺 朱耀伟 陈留伟 杨 华(112)
- 212 SMC 用新型钡酚醛树脂的化学流变学研究
 …………… 梅启林 晏石林 沈大荣 周祖福(126)
- 213 马来酸酐接枝聚丙烯的流变性能研究 …… 杨 隽 张 潇 周 艳 童身毅(132)
- 214 阻燃聚对苯二甲酸乙二酯的流变性研究 …… 王玉忠 杨科珂 唐旭东(136)
- 215 化学交联聚丙烯流变性能的研究 … 彭少贤 阮诗川 应继儒 酆华兴 李学锋(140)
- 216 OCP 粘度指数改进剂分子结构对流变性能的影响
 …………… 王国金 朱和菊 叶元凯 陈月珠(143)
- 217 交联剂 MBAM 对聚丙烯酸胶乳增稠性能的影响 …… 何 平 过俊石 谢洪泉(150)

3 多相体系

- 301 十溴联苯醚/腈纶纺丝原液体系的流变性能
 …………… 吴承训 张幼维 赵炯心 张 斌(153)
- 302 聚合填充法制备 UHMWPE Kaolin 复合材料的强流变行为及机理
 …………… 吴其晔 王 新 胡友良 漆宗能(158)
- 303 用动态流变学方法表征 PMMA/ α -MSAN 共混体系的相分离
 …………… 郑 强 升田利史郎(165)
- 304 微珠含量和挤出条件对填充聚丙烯复合材料熔体弹性的影响
 …… 梁基照 唐国俊 R. K. Y. Li C. Y. Tang A. C-Y. Wong S. W. Cheung(170)
- 305 乙烯基吡咯烷酮均聚物和共聚物合成及流变性能 …… 汤学梅 史铁钧(174)
- 306 RSMA 增容 N6/PP 共混物的流变性能 …… 黄俊达 解孝林 何 平(178)
- 307 PEEK/PEI 共混体系的 PVT 行为研究
 …………… 孙昭艳 李宏飞 安立佳 阮汝祥 姜振华 吴忠文(181)
- 308 丁酰化甲壳素的加入对甲壳素/聚 ϵ -己内酯共混物流变性及相容性的影响
 …………… 杨安乐 孙 康 吴人洁(186)
- 309 PA1010/EVA/EAA 共混体的形态结构、流变行为和力学性能
 …………… 申屠宝卿 韩冬林(191)
- 310 格子流体理论在 PS/PPO 共混体系中的应用
 …………… 杨 剑 安立佳 董立松 滕凤恩(194)
- 311 锐钛型二氧化钛/水悬浮体的流变性………… 杨化桂 张 辉 干路平 方图南(198)
- 312 简单剪切流场中聚合物熔体分散粒子凝聚模型及其在共混过程分析中的应用
 …………… 周持兴 俞 炜(205)
- 313 多组分多相聚合物体系动态流变学 …… 郑 强 杨碧波 彭 懋 吴 刚(210)
- 314 PP/HDPE 流动性能对 GP/PP/HDPE 力学性能影响的研究
 …………… 程景飞 周祖福 余剑英(216)
- 315 分散剂对 TiO_2 /水分散体流变性的影响 …… 杨化桂 张 辉 古宏晨 干路平(220)
- 316 SBS 和 SBS/CPE 共混物的熔融流变行为的研究
 …………… 曾繁涤 谈晓红 谢 理 陈 芳(224)

4 本构理论, 固体流变

- 401 流变固体的本构关系 …………… 周筑宝(227)

402	蠕变-塑性交互作用的本构模型研究	彭向和	曾祥国(232)
403	非线性粘弹性-弹性本构关系的对应原理	张淳源	张为民(237)
404	新型七参量粘弹-触变性流体本构方程研究	方波	宋道云
405	用网络模型研究材料内部损伤的率型演化律及有关的流变特性	黄德进	施绍裘
		王礼立(245)	
406	含二相粒子流变材料的粘性耗散与损伤耗散	陈建康	黄筑平
407	粘弹性体动态力学特性的一种损伤力学模型	危银涛	杨挺青
408	粘弹性理论中松弛模量与蠕变柔量封闭形式的解析表达式	张为民(261)	
409	缺陷间相互作用的实验研究	李之达	杨松
410	线性粘弹体形变过程中的能耗及其温度场	罗文波	安群力
411	浅述缺陷体流变材料破坏过程中的热磁性质	曾明华	黄秋波(279)
412	聚合物裂尖银纹的蠕变增厚分析	左朝凤	安群力
413	弹性增强复合材料寿命的讨论	俞麒峰	王仁(289)

5 石油流变学

501	水基植物胶压裂液流变特性研究与应用	卢拥军	蒋 闾	陈彦东	杨艳丽(291)
502	碱、盐、表面活性剂浓度对聚丙烯酰胺粘弹性影响的研究	黄 丽	吴淑云	王 刚	廖广志
		高歌	王静媛	马荣堂(297)	
503	非牛顿流体粘性指进特性研究	宋道云	方波	江体乾(302)	
504	计算解析谱方法用于研究非牛顿旋转流动	韩式方(306)			
505	香豆胶压裂液交联过程动态研究	宋兴福	卢拥军	叶贞成	江体乾
		单文文	蒋 闾(312)		
506	稠化酸流变性与酸岩反应的关系研究	赫安乐	蒋建方	单文文(317)	
507	几种典型酸化压裂用稠化酸的流变性研究	赫安乐	胡恩安(322)		
508	星形流动改进剂结构对原油流变性的影响	胡合贵	戚国荣	高建厂	黄一心(328)
509	完井液对井筒周围原油流动特性的影响	王昌军	肖稳发	向兴金	梅 平(331)
510	原油触变性的分析	刚芹果(335)			
511	钻井液流变性能与携砂能力关系的研究	黄立新	王昌军	向兴金(338)	
512	聚电解质分散高岭土悬浮体系的流变行为研究	黄道培	彭 朴	何鸣元(342)	
513	触变性流体的某些特性	刚芹果(349)			

6 岩土、地质流变

601	原岩体及锚固岩体的流变模型及数值计算式	张玉军	邱祥波(352)
602	深地层岩盐流变特性的实验研究	陈 斌	彭向和(356)
603	构造流变计	曾佐勋	樊 春
604	流变分析的有限元法在小浪底工程中的应用	刘立林	陈桂华
		凌 峰	彭振华(360)
		邱祥波	张勇慧
		张玉军	朱维申(364)
605	岩体粘弹塑性分析中的惯性力问题	王芝银	李云鹏(368)
606	考虑岩块接触面流变的离散元模型	王 刚	金 峰
607	软基上框架结构的计算方法及应用	苏 超	谭恩会(378)
608	岩体边坡开挖卸荷效应的流变分析	徐 平	周火明(382)

609	岩石蠕变及结构失效的研究进展	张晓春	缪协兴(388)
610	应变差折射流变计	曾佐勋 凌 峰 樊光明 赵温霞	樊 春(394)
611	混凝土重力坝坝面上部水平裂缝的流变断裂可靠度分析	唐松花	(399)
612	水泥初凝时间的流变学表征	李香玲 张战营	张明海(404)
613	SBS 改性沥青老化前后的流变特性及原理分析	孔宪明	王向波(408)
614	粒度对岩石流变性质的影响	樊光明 储东如 曾佐勋 刘立林	薛重生(412)
615	应力水平及加载路径对盐岩时效的影响	杨春和 白世伟 J. J. K Daemen	(416)

7 工业流变学

701	制浆造纸工程中流变学研究的进展	陈克复 杨仁党	侯庆喜(423)
702	应用密炼机流变理论预测混炼胶质量	张 海 贺德化 马铁军 奉国和 陈 微	(427)
703	注塑件残余应力计算及翘曲变形分析	李海梅 申长雨	顾元宪(431)
704	结构胶流变对外粘钢板混凝土梁结构性能的影响	陈明祥	高作平(436)
705	推进剂药浆流平性研究	唐汉祥 刘秀兰	吴 倩(441)
706	某种零件流变成形过程的数值模拟	胡云贵 罗迎社 李颂文	李苏洋(444)
707	轮胎中 PET 纤维骨架材料的尺寸稳定性	陈重酉	马兆立(449)
708	电流变液技术在金属切削机床中的应用——电流变液减振数控车床	王安民 谢 瑛	(456)
709	钢闸门支承滑道摩擦时间效应的机理研究	向定汉 李贵谋	张宏志(460)
710	利用 X 射线研究交联聚乙二醇的结晶行为	徐 婷 蒋世春 杨 剑 董德文 姬相玲 姜炳政	(464)

8 食品、医药、生物流变学

801	己酮可可碱对血液粘度和滞后环的影响及其数学表征	乐忠庆 方 波 宋道云 周纪宁 江体乾	(468)
802	体外血栓形成前后的血液流变学变化及其标准化操作	刘剑刚 钱民全 许勇钢 彭荣蕤 赵笃凤 钱大兴	(472)
803	松质骨的粘弹性分析	刚芹果	华筑信(475)
804	灵芝发酵清液流变特性研究——超声波与酶处理对流变特性的影响	周少奇 罗立新 黄 焯 孔 坚	(478)
805	高压处理黄原胶溶液流变学特性的变化	李汴生 刘通讯	杨珏辉(482)
806	防晒乳液流变性的初步研究	方 波 郭奕光 周 莉 宋道云	江体乾(487)
807	膏霜类化妆品的滞后环及其数学表征	方 波 王纪文 郭奕光 周 莉 宋道云	江体乾(491)
808	血液有形成分对体外血栓形成影响的实验研究初步报告	钱民全 彭荣蕤 赵笃凤 钱大兴 刘剑刚 许勇钢	(495)

Contents(英文目录)	(497)
----------------------	-------

作者索引	(502)
------------	-------

1 专题报告

101

流变学在我国发展的回顾与展望

江体乾

华东理工大学化工所流变学研究室 上海 200237

摘 要 本文从作者所能接触到的一个侧面,回顾了流变学在我国的发展并展望了下一世纪可能获得发展的领域。作者断言,流变学在中国本世纪的状况从无到有,下世纪必将从小到大。这是历史的必然。

关键词 流变学,回顾,展望

1. 前 言

流变学是介于力学、化学和工程学之间的交叉、边缘学科,其应用范围虽然十分广泛,如聚合物加工、石油、食品、血液、悬浮液、润滑剂等等均与流变学有关,但由于其书写习惯多用张量形式,超出我国工学院学生的数学水平,所以曲高和寡,在我国鲜有问津。

虽然流变学在发达国家,如美国已召开了第 70 届年会,我国在 60 年代才有译文出版,尤其是 1962 年发表在国内外公开发行的“物理学报”上的论文^[1]被认为是我国第一篇公开发表的有关流变学内容的学术论文。其后是众所周知的十年浩劫。因而,在 1985 年之前,流变学在我国鲜为人知,但作者矢志不渝,自 60 年代开始一直坚持此方向至今已 40 年。如今回顾流变学在我国的发展,感慨万千,现仅就管见所及,略述其主要成就如下。

2. 主要学术成就

(1) 上述 1962 年发表在“物理学报”上的论文,研究了非牛顿流体的边界层。从 B. B. голубев 流体边界层一般积分关系式的概念出发,导出幂律流体边界层的动量方程,并借此求出了流体沿平板运动时层流边界层发展的定量关系式。而美国学者 Skelland A. H. P 教授 1965 年在 AIChE 期刊上发表的一篇论文中得到相同的结果。可见,当时就处于领先水平。

(2) 我国化工界研究非牛顿流体传递过程起步较早并已形成特色。

我国化工界研究非牛顿流体传递过程原理的首推单位为华东理工大学(原华东化工学院),他们自 1958 年开始研究此课题,1960 年发表研究论文并一直坚持此方向,至今发表论文已超过 170 多篇。

在动量传递方面,即非牛顿流体力学,有多层非牛顿幂律流体沿斜面流动的波分析,广义二阶流体沿斜面流动的稳定性分析,搪瓷釉浆沿倾斜平面流动的研究,非牛顿流体中滑移现象

的研究进展和应用,壁滑移对粘弹性流体狭缝流和环隙流的影响,田菁凝胶在毛细管及多孔介质中滑移效应的研究,多层彩卷涂布中弯月面的分析,非牛顿流体搅拌功率计算,非牛顿流体湍流边界层以及蚕丝再生液、田菁水溶液、聚丙烯腈溶液的拉伸流动等^[2]。

在热量传递方面,有非牛顿流体湍流换热时动量与热量的类似,非牛顿流体薄膜流中传质和传热的理论研究,非牛顿流体在刮板式薄膜蒸发器中传热性能的初步研究,以及高粘非牛顿流体在垂直管中传热的有限元模拟计算^[3]等。

在传质方面,有氧在血液中的扩散系数,淋降塔中非牛顿流体的传质研究,伴有二级不可逆反应的非牛顿幂律流体薄膜流中化学吸收的研究,非牛顿幂律流体自然对流中的传质,粘弹性流体自然对流中的传质研究以及泡沫精馏塔内泡沫液的传质模型^[4]等。

综上所述,可见其特色之一为研究非牛顿流体的传递过程系统而全面,这在世界学术界也不多见。

特色之二为学术上达到国际先进水平。如非牛顿流体壁滑移的研究,在前人基础上发展了壁滑移的测定方法,并对石油工业常用的泡沫、瓜胶和田菁胶提供了圆管中流动新的完整的数据和计算公式。因而有圆管直径影响、狭缝流、环隙流以及多孔介质的流量增长的预测方法、层流减阻规律性、以及消除影响的对策,形成了一套较完整的成果体系。特别是在多孔介质流动研究中发现 Mooney 法只能在低剪区使用,超过某边界值后,高剪区的拉伸作用,此法不再适用,这样就解释了困扰学术界十多年的“负滑移”之谜。这些成果得到国内外学术界的注目和承认。

特色之三为密切结合实际,推动了国内的技术进步。

由于该室在国内学术界首先提出了凝胶等非牛顿流体壁滑移问题,引起了力学界的重视,以致中国科学院力学所路展民等用激光测速仪进行了专门的测量,聚合物加工界如唐国俊等将其引入圆管挤出机橡胶加工研究之中,提高了设计和加工水平,某些流变仪由于采取消除壁滑移措施,有效地提高了数据的重复性,推动了国内技术进步。

(3) 在国际学术界率先发表了胍胶壁滑移的实验数据和定量计算公式^[5]。

1986 年率先发表了一套石油开采用重要压裂液胍胶壁滑移的实验数据,在此基础上得出滑移速度 v_s 与剪应力 τ_w 之间的定量关系,并且证明凝胶类物质流动时具有壁滑移现象。这一结论数十次被以后国外学者所引用。当时急需解决模拟计算中的奇点问题,推动了国内外的技术进步。

(4) 在国内外学术界率先开发出凝胶带分数导数的本构方程。

自从 Mandelbrot B. B. 的分形学说发表以来,有人证明高分子链是分形结构。凝胶系由天然高分子所组成,这就使人想起使用分数阶导数或积分来表征。这是因为几十年来,既然整数阶导数是描述欧氏空间的得力工具,则分数阶导数岂不是描述分维空间的工具吗!这就是用带分数阶导数描写本构关系思路的由来。这一新思路在国际学术界也属起步阶段。表现在迄今国内外仅发表有关论文 20 篇左右。他们 1993 年率先在国内发表了第一篇论文,得到了修正 Maxwell 本构关系。其后又发表了一篇修正的 Jeffreys 模型^[6]。

$$\tau + \lambda_1 D^\alpha[\tau] = \eta_0[\dot{\gamma} + \lambda_2 D^\beta[\dot{\gamma}]]$$

式中, $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 1$ 。由此本构关系可以求出动态粘度 η' 和虚粘度 η'' 的表达式。由于此式与黄原胶和田菁胶的数据符合良好,引起国内外的注意。国内上海大学有人参阅后呼吁国人开展此项研究,因我们与国外处于同一起跑线。国外著名杂志 Rheol Acta 来函接受他们的论文发表。现

在他们又将其推广应用于香豆胶水基冻胶的描述,亦获成功。

(5) 第一次用流变学的观点提出必须考虑聚合物的注射成型加工中弹性的影响和剪切速率的影响。

在以前的文献中从未提及。同时发现以前文献中的粘度仅为零剪粘度。基于这一思路已设法测得了 RIM 过程中动态粘弹性数据和变化规律。论文在国内刊物发表后^[7],引起欧洲流变学者的注意,比利时、希腊、意大利以及古巴等国学者来函索取抽印本。

(6) 开辟了血液流变医疗技术新方向。

由于血液是非牛顿流体,血液净化又是分离科学的新分支,基于这方面的交叉,在国内独辟了这一新方向。目前,对高脂蛋白血症和心脑血管疾病的防治理论研究已经成熟,可以选择性除去血液中的胆固醇、甘油三酸脂和纤维蛋白原,降低血液粘度^[8],上海华山医院临床证明该法对中风病人十分有效。

血液粘弹性和触变性是血液流变学中的重要课题。自 1980 年 Bureau 发现血液在低剪范围内具有粘弹性和触变性,并测得完整的“8”字型环曲线以来,人们一直在为定量分析和表征而努力。Huang 方程虽能描述其触变环,但不能描述粘弹环。方波等^[9]建立的新型 5 参数时变性本构方程,可以完整地予以描述,且能与临床中风和下肢深动脉血栓病人的血液数据相一致,说明方程的合理性。

该室与上海市第九人民医院合作,正用以预测病情和诊断。

L-天冬酰胺酶能专一地催化水解 *L*-天冬酰胺,形成天冬氨酸和氨。而 *L*-天冬酰胺是某些敏感肿瘤细胞代谢链上的一个环节,一旦被破坏,将影响整个细胞的氨基酸、蛋白质的合成,从而可以抑制肿瘤的生长或死亡。根据这一思路该室进行了利用固定化 *L*-天冬酰胺酶体外净化血浆探索性治疗白血病的研究^[10]。体外循环模拟实验的研究表明,采用本法所设计的酶反应器能够在较短时间有效地降低血浆中 *L*-天冬酰胺的浓度,达到抑制白血病肿瘤细胞生长所需的低浓度范围。这又为根治白血病,特别是急性淋巴白血病,提供一个崭新的治疗技术。

(7) 流变相态学及其工程技术是我国独自倡导的 JRG 群子统计理论的应用范例^[11]。

它为不同高分子共混、相容问题提出了一个理论预测,即运用此理论可以得到群子均匀标度与材料流变性能、力学性能的关系,对研究高分子合金越来越显得重要。

此项研究自从 1985 年左右开始,已坚持十余年的研究和应用,群子理论也得到了发展,由线性发展到非线性,尤其须指出的是群子统计理论与古代八卦图相类似,具有中国特色。

(8) 提出了新的各向异性流体(液晶)的本构方程^[12]。

液晶是一类各向异性非牛顿流体(材料),它的流变特性显著区别于一般的各向同性的高分子材料或流体,它的第一法向应力差为负值,曾引起人们的广泛注意。一时形成研究的热点之一。外力作用于液晶时,既可以产生流体的运动,也可以分子取向,目前此类取向流体的本构理论通常是建立在 Leslie-Ericksen 理论基础之上。我国学者提出从 Oldroyd 的随体导数观点出发,建立了一个各向异性流体的本构方程。此问题已形成了国家自然科学基金委的一个重点基金项目。关于液晶流变学、流体力学正在联合攻关中。

(9) 橡胶混炼和挤出过程的基础研究已有了很好的开端。

在短口型挤出胀大行为、压出过程中弹性行为、口型入口角的影响、挤出过程中不稳定性 and 壁滑移、粘弹性流体入口收敛流动等方面均提出了自己的见解^[13]。

以上成就的回顾属于流体流变学范畴,固体流变学在我国已有良好基础,在某些方面也取得较大进展,鉴于 1997 年在庆祝中国力学学会成立 40 周年的文集中已有专门综述^[14],此处

仅摘其突出成就,一并总结如下。

(10) 我国含缺陷物体流变学的研究取得可喜进展^[15]。

含缺陷物体流变学研究材料与时间相关的损伤演化、缺陷扩展、形变与破坏机理,探讨此类材料的粘弹塑性行为和失效准则。在缺陷演化过程研究中发现,裂尖过程区的一个重要特征是局部温度场的形成并具有明显的电磁性,磁感应场强度与材料的流变特性有关等等。由于我国学者在此领域取得较大进展,国际理论与应用力学联合会(IUTAM)批准中国力学学会的申请,1997年9月在北京召开了“带缺陷物体流变学科学研讨会”,这是IUTAM的一次重要的国际科学讨论会,引起国际学术界的关注^[16]。

(11) 非线性粘弹、粘塑以及粘弹塑性理论研究成果甚丰。

本构关系历来是流变学研究的核心内容,我国力学界具有良好的基础。不但对聚合物、环氧树脂、PMMA、以及金属材料的非线性粘弹性与粘塑性以及粘弹塑性体给出了本构方程,并在周期应变下的应力与能耗关系,导出了正确的结果,纠正了美国应用力学学报中的某些错误结论^[17]。

(12) 重视应用基础理论研究为流变学在我国发展的一大特色。

流变学不但有理论深度,同时具有广泛工程应用前景,因此,应用基础理论研究甚为重要,对推动我国科技进步和高新技术产业的发展起重要作用,理所当然地引起流变学界的重视。如多年来开展对三门峡水电站导洪洞岩石流变特性,含蜡原油的长输,钻井用泥浆及压裂液流变特性,三次采油用聚合物渗流及拉伸,火箭弹托的超塑性加工,直升机发动机和转子的蠕变成型,中医气血运行以及人体生物场等重大应用课题的学术研究与交流,有效地推动了技术进步^[18]。

上述成就的回顾,再加上大约10年前作者在中日国际流变学学术会议上所作的回顾报告^[19]肯定还是不完全的,难免挂一漏万,但从中已能看出近十多年来由于全国流变学界同仁的努力,中国流变学已初具规模。本专业委员会(对外称中国流变学会)已参加国际学术组织ICR(Internl. Comm. on Rheol.),作者有幸成为ICR中的中国代表。

如就行业而论,经过13年的努力,石油工业(特别是各油田)和医务界流变学知识比较普及和深入,其工业界尚待开拓,目前,已向化妆品行业及食品工业进军。

3. 21世纪的展望

流变学作为研究物质流动与变形的科学,在中国远未普及,预计在下一世纪必将在中国的现代化建设中发挥更大的作用。可以设想:

(1) 由于下一世纪是生命科学的世纪,生物流变学,临床血液流变学以及新的流变医疗技术必将在我国获得更大的发展,必将促进城乡老年保健事业的快速进步,并与中医药相结合,对人类健康事业作出更大的贡献;

(2) 21世纪又是新材料的世纪,可以预料聚合物或智能材料及其加工流变学能得到更快的发展。无机材料工业也要用到流变学,如耐火材料等;

(3) 21世纪的支柱技术之一为生物工程,在生物工程及生物制药中充满了流变学的用武之地,急待开发和普及;

(4) 食品工业充满了机遇,食品流变学必将获得较大的发展。因为我国食品为世界各国人民所喜爱,如何改造传统食品是当务之急,估计再过一二十年必将有所突破;

(5) 蓝色工业即海洋工业的开发正在起步阶段,流变学同仁应尽早参与以利学科发展。

(6) 绿色流变添加剂的开发急需流变学界同仁参与,共同完成;

(7) 电流变技术日趋成熟,必将在大桥减震和机器人等高新技术产业中大显身手。

总之,流变学在我国的发展,本世纪是从无到有,下世纪必将从小到大,这是一个持续发展规律。作为世纪末的以及有香港地区及海外学者参加的第六届全国流变学学术会议在武汉召开,标志着流变学在我国已进入一个新阶段,希望我流变学同仁团结起来,艰苦奋斗,再经过一二十年,能立于强国之林。愿我同仁能以实际业绩或成就,为中华民族争光,为“科教兴国”作出贡献。

参 考 文 献

- 1 江体乾. 关于非牛顿流体边界层的研究. 物理学报, 1962, 4: 224~226
- 2 江体乾. 壁滑移对粘性流体狭缝流和环隙流的影响. 力学学报, 1988, 20(3): 272~277
- 3 Qian X Y, Hou W Q, Jiang T Q. Heat transfer studies of highly viscous non-Newtonian fluids in vertical tubes by finite element method. *Chinese J. of Chem Eng.*, 1996, 4(1): 62~77
- 4 Chu J Y, Jiang T Q. Study on chemical absorption with second-order irreversible reaction in the film flow of non-Newtonian power law fluids. *J. of Chem. & Eng. (China)*, 1986, 1(1): 45~56 (Selected Paper)
- 5 Jiang T Q, Young A C, Metzner A B. The rheological characterization of HPG gel: measurement of slip velocities in capillary tubes. *Rheol. Acta*, 1986, 25: 397~404
- 6 Song D Y, Jiang T Q. Study on the constitutive equation with fractional derivative for viscoelastic fluids-modified Jeffreys model and its application. *Rheol. Acta*, 1998, 37: 512~517
- 7 Jiang T Q et al. Rheological study on reaction injection molding process with a slit measuring system. *Chinese J. of Chem. Eng.*, 1996, 4(2): 162~167
- 8 Bo Fang, Jiang T Q. Selective removal of low-density lipoproteins from blood by induced precipitation with ASS in Vitro(I). *Chinese J. of Chem. Eng.*, 1998, 6(1): 73~78
- 9 Fang Bo, Jiang T Q. A novel constitutive equation for viscoelastic-thixotropic fluids and its application in the characterization of blood hysteresis loop. *Chinese J. of Chem. Eng.*, 1998, 6(3): 264~270
- 10 周纪宇, 江体乾. 治疗白血病的一种新方法: 固定化 L-天冬酰胺酶体外循环净化血浆. 见: 上海科技论坛生命科学研究会论文集, 1998
- 11 金日光. 多相高分子材料流变相态学及其工程进展. 见: 金日光主编, 流变学进展, 北京: 北京化学工业出版社, 1996: 5~10
- 12 韩式方. 各向异性流体—液晶高分子流变学研究. 见: 金日光主编, 流变学进展, 北京: 化学工业出版社, 1996: 15~21
- 13 梁基照. 非牛顿流体自然收敛半角方程的实验验证. 化工学报, 1996, 6: 1~5
- 14 杨挺青. 固体流变学的发展. 见 庄逢甘主编, 现代力学与科技进步, 清华大学出版社, 1997, 1: 356~360
- 15 袁龙蔚. 缺陷体流变学. 北京: 国防工业出版社, 1994
- 16 Ren Wang (Ed.). IUTAM Symp. on Rheology of Bodies with Defects. Kluwer Academic Publishers, 1999
- 17 杨挺青. 非线性粘弹体在周期应变下的应力与能耗. 力学学报, 1985, 17(6): 507~513
- 18 庄逢甘. 中国力学学会 40 年, 现代力学与科技进步. 庄逢甘主编, 清华大学出版社, 1997, 1: 1~15
- 19 Jiang Tiqian. The recent advances of Rheology in China. in: proc. of China-Japan International Conference on Rheology. Beijing: Peking Univ. Press, 1991

Look Back and Forward to the Development of Rheology in China

Jiang TiQian

Rheol. Research Center, East China University of Sci. & Tech. , Shanghai 200237

Abstract In this paper, the author, based on one side which he get in touch with, looks back and forward to the development of Rheology in China. The author thinks that since rheology in China grew out of nothing in this century. In the next century, it should be developed more and more certainly. It's historical rule.

Keywords rheology, look back, looks forward to



从群子论看经络流变系统的 由来和生命之最小群子

金日光

北京化工大学经络流变系统研究课题组 北京 100029

摘 要 本文首次从人体最小的生命 8 细胞群子的立方体出发,提出了产生 12 正经、奇经八脉流变系统的模式,较形象地说明了它们的来龙去脉。本文也首次提出了上述经络流变体系由电导性细胞质流变液体构成的看法,而这种电导性流变液体具有充分的流变能力,不断地调节人体内生命动力元素的分布。但是这些流变体在经络线上分布不一定是固定不变的,而是流动着的,甚至某些穴位上暂时空着,或者聚集着。这种波动性反映了人体对生命之动力元素的不断需求、消耗、补充的动态流变过程。

关键词 经络,群子,生命动力元素

1. 问题的提出

《皇帝内经》指出经络的功能在于“决生死,处百病”。但现代科学对此还抱有相当的怀疑,其中连经络是否存在的问题也有不同的见解。好在近十年来国内外科学工作者,通过声、光、热、电、磁、核等生物物理的方法,证实了经络流变系统的存在,表现在体表部位上确实存在着具有高振动音、高冷光、高红外辐射、低阻抗、传感等特性。也用生物化学的方法发现经络线上具有某些高浓金属离子的流动现象。还发现其他动植物也有经络流变现象。经上述试验得到了精确度很高的经络线条和穴位。但是并没有发现什么新东西,只是一次又一次地验证了古人指明的经络流变系统的存在。从这里可以看到古人的特殊的洞察力,也许是由“特异功能”者看出了那么多流变线条的走向。现在人们已承认人体身上确实有经络流变系统,中医学者指出存在着正经和奇经两大类:前者有 12 个正经,后者有 8 个奇经。但是为什么存在着这些经脉,又为什么前 12 个“正经”流变线条都分布在手、足各 6 个,且里有 3 个,外有 3 个的阴阳分布,而 8 脉奇经也存在着这种阴阳分布。对这些问题尚无任何解答,作者首次通过群子论(第四统计力学理论)^[1,2]来考察了这一问题。

2. 第四统计力学(群子论)提供的最理想的自然体系

从群子论可知,在对立面共存条件下,当两者存在的可能性相当时,即,最自然状态下,最小群子结构的序列度为:

$$\lambda_{11} = 1 + R_1 \frac{N_1}{N_2} = 2$$