

·成果简介·

重大项目“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”取得重要进展

纪 军¹ 刘 涛¹ 郭烈锦² 林宗虎^{*2}

(1 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085;

2 西安交通大学多相流国家重点实验室, 西安 710049)

[关键词] 能源与动力, 多相流热物理, 相界面动力学

在能源领域及动力、石油等工程中, 存在着大量两种以上不同相态或不同组份物质的混合流动问题, 这种流动称为多相流。多相流热物理学即是研究这种多相流动及其传热传质过程规律的一门新兴交叉科学, 在国际上发展速度很快, 尤其是从 20 世纪 60 年代以来, 随着动力及石油化学工业中高参数装备的引入, 以及核电站及航天工业的发展, 人们对环境保护的日益重视, 大大促进了多相流热物理学科的形成和发展。从我国工业现状和发展看, 当前乃至未来我国能源工业发展的主要任务就是开发高效、洁净、可靠的火电和核电、发展新型能源动力系统, 实现石油天然气的高效开采和储运, 这也是解决人类 21 世纪所面临的能源与环保问题的重要需求, 其中的关键科学问题之一就是有关多相流热物理学基础理论。要解决上述重大应用对象中的科学问题, 迫切需要系统深入的研究多相流热物理基础理论和关键技术。

为此, 国家自然科学基金委员会于 1999 年资助了重大项目“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”, 由西安交通大学林宗虎院士主持, 西安交通大学、清华大学、中国科学院工程热物理研究所、浙江大学、东南大学共 5 家单位共同承担, 以我国能源动力工业发展中亟待研究的多相流热物理基础理论与技术为总目标, 集中力量重点研究具有普遍价值的非线性多相流相界面动力学及能质机理与数理模型, 大型火电核电设备中高温高压高热负荷瞬态汽液两相流与安全传热规律、高温气固两相流动理论与技术, 石油天然气高效钻采与混输中多组

分多相流, 形成完整系统的多相流学科新体系。

1 该项目取得的创新性进展

1.1 在自然循环过冷沸腾及多维汽液两相流动与传热规律研究方面

对自然循环过冷沸腾过程中的蒸发特性和流动不稳定性开展了富有成效的工作, 提出了自然循环过冷沸腾净蒸汽产生点、过冷沸腾空泡率和两相流动不稳定性等计算模型和计算方法, 针对多维汽液两相流发展了漂移数学模型。研究成果在理论上有所创新, 在工程上有重要的应用价值。

1.2 在非线性多相流相界面动力学及能质传输机理与数理模型研究方面

运用先进测试技术和现代数理方法对多相流相界面和离散颗粒动力学开展了系统深入的研究, 发展了流型的多压力压差传感器数据融合识别理论和技术。对螺旋管内强制对流沸腾两相流与传热设备的瞬态热物理过程及其特性、离散相颗粒及颗粒群在不同流动条件下的运动规律和相界面几何特性、稳态和瞬态气液两相流相界面微观结构、新数理模型研究及下降液膜相界面形貌等学术前沿领域开展了创新性的研究工作, 得到国际知名学者高度评价。

1.3 在高温高压高热负荷汽液两相流与安全传热规律的研究方面

主要研究工作集中在超临界变压运行受热沸腾管传热与水动力学特性; 反应堆安全传热的锐边直管的两相临界流、冷凝回流传热和压力容器直接安注时的瞬态传热特性。在实验研究的基础上, 提出

* 中国工程院院士。

本文于 2004 年 8 月 30 日收到。

了理论模型,建立了计算关系式,开发了计算程序,对高温高压高热负荷条件下的两相流与传热做出了显著贡献,为现代大型电站锅炉与核电站安全设计提供了理论基础和设计依据。

1.4 高温气固两相流理论与技术

发展了空间-时间守恒 STC 格式求解二维 NS 方程,开发了软球模型和硬球模型气固两相流模拟计算软件;提出拟涡位移模型,发展了粒子-离散涡耦合方法;开展了气固两相流气相 NS 方程谱方法三维湍流直接求解和气固两相流的 Lagrange 方法的研究;完成了循环流化床(CFB)中气固两相流和旋流对冲燃烧方式的燃烧与传热机理试验;开发了一种新型双调风浓淡型旋流燃烧器。研究工作取得了有价值的进展。

1.5 在油气混输中的多组分多相流理论及测试技术研究方面

得出了各种布置油气多相混输管的流型、压力降等流动特性,并首次得出垂直下降管油气水流动规律;得出了在各种混输管中增减油气流量和通球清管时的油气混输管瞬态流动特性并建立了瞬态流动数值计算程序;建立了一种全新的多相流分流分相测量理论,被国外学者认为“是一种独创和精巧的测量方法”,该方法已得到工程应用。

研制了 12 电极电容层析成像(ECT)一体化系统,数据采集和成像技术的指标先进,实现了基于 ECT 的流型快速辨识和显示,以及空隙率的实时在线测量,提出了基于多传感器信息融合油气两相流流量测量方法,获得了适合我国原油特性的分相含率射频测量的射频信号频率范围,并对 ERT 系统进行了有价值的研究,取得了创新性的进展。

2 该项目的特点

(1)项目研究注重基础性,研究成果显著。该项目在国内外重要学术刊物或学术会议上发表论文 319 篇,论文被 SCI 收录 26 篇次,EI 收录 85 篇次,

ISTP 收录 13 篇次;出版专著 3 部,正在著作总结性学术专著 1 部;获省部级自然科学一等奖 1 项,省部级科技奖二等奖 1 项。

(2)研究工作与国民经济紧密结合,部分成果已获得应用,对国民经济的发展发挥了重要指导作用。获得发明专利 7 项和公开 6 项,获得实用新型 5 项和公开 5 项。

(3)课题组广泛地开展了国际学术交流与合作,提升了我国多相流研究在国际学术界的地位和影响。组织大型国际学术会议 2 次,举办全国性学术会议 3 次;应邀在国际会议做大会报告及特邀报告 2 次,分组报告 61 次;与英国、俄罗斯、希腊等国的著名学者开展了国际合作研究。

(4)培养了一批从事多相流热物理学研究的中青年后辈人才。培养了 20 余名中青年学术骨干、3 名博士后、44 名博士(其中获全国百篇优秀博士学位论文 1 人)、54 名硕士。

该项目所取得的学术成果使我国在非线性多相流相界面动力学与能质传输、油气水多相流管理论及测量及除砂技术、高参数汽液两相流与安全传热等研究领域总体上达到国际先进水平。

3 思考与启示

(1)紧密结合国民经济与国防建设中的重大需求,重视提炼共性的基础性科学问题并持之以恒地开展系统深入的研究,强调原创性,是研究工作取得高水平研究成果的重要保证。

(2)强调围绕学术前沿问题开展研究工作,加强国际交流与合作,是提高我国在国际学术界的影响并发挥更大作用的前提。

(3)项目实施后,项目负责人、学术领导小组加强协调是项目成功的保证。要加强各课题间的交流与研讨,做到分工明确,互相促进。特别应该注意应用先进的数学物理方法,交叉融合相关科学领域的先进技术,提升研究工作的水平。

ACHIEVEMENTS OF MAJOR PROJECT “BASIC THEORY AND TECHNOLOGY OF MULTIPHASE FLOW THERMOPHYSICS IN ENERGY AND POWER ENGINEERING”

Ji Jun¹ Liu Tao¹ Guo Liejin² Lin Zonghu²

(1) Department of Engineering and Material Sciences, NSFC, Beijing 100085;

2 State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Key words energy and power engineering, multiphase flow thermophysics, interfacial dynamics