



中国磁约束聚变科学技术研究进展专题·编者按

核聚变能安全、清洁、资源丰富。从20世纪60年代中期到70年代,聚变研究在世界主要大国兴起,并先后建造了多种类型的磁约束聚变装置,诸如托卡马克、磁镜、仿星器、箍缩类装置等,在这些装置上对高温等离子体问题开展了大量的研究,在磁约束聚变能科学技术快速发展的同时,极大地推动了等离子体物理学的发展。

基于托卡马克装置的磁约束核聚变是目前最有希望实现聚变能和平利用的途径。经过半个世纪的探索,托卡马克装置已经可以把具有一定密度的等离子体加热到热核反应温度,从而达到核反应条件;20世纪80年代高约束模式(H模)的发现,使得同等加热条件下托卡马克芯部等离子体参数得到显著提升,这些重大的进展使得商用聚变能的开发具备了可能性。目前正在建的世界上最大的托卡马克装置“国际热核聚变实验堆(ITER)”将通过超过400 s的高约束等离子体运行,获取超过500 MW的氘氚聚变功率,演示聚变能成为未来清洁能源的可行性,它是人类迈向商业聚变堆的最关键一步。ITER计划是目前为止全球规模最大、影响最深远的国际合作项目之一,中国是平等参与ITER科学计划的七方成员之一。

实现等离子体稳态燃烧是人类面临最大的科学挑战之一。随着ITER计划的启动,大量工程技术研发不断实现变革性的突破,成功建设ITER的工程技术问题已基本解决;物理研究初步验证了ITER基本运行模式的可行性,高约束稳态运行模式的研究也取得巨大进展。但是能否顺利实现ITER的科学目标依然存在一定的风险和不确定性,稳态燃烧等离子体的非线性更强、多尺度效应更显著以及聚变中子带来的影响等,在诊断、控制技术、理论/数值模拟以及材料等方面均充满了新挑战。

世界上主要国家在积极参与ITER建设和研究计划的同时,纷纷推出了瞄准商用聚变示范堆/电站的后ITER时代的磁约束聚变发展规划。中国提出的中国聚变工程实验堆(CFETR)将重点解决聚变燃烧等离子体的稳态运行和氦自持两大科学问题,与ITER形成互补,其科学目标和技术路线非常明确,它的成功实施将为中国实现聚变能的和平应用铺平道路。

专题论文着重围绕中国磁约束聚变能发展规划的一些重点工作,介绍我国参与ITER计划后这十多年来磁约束聚变科学技术研究的一些重要进展。中国参与ITER最终是为了自主建设聚变堆,中国聚变界在“十二五”期间已完成了CFETR的概念设计,“十三五”已正式启动详细工程设计、关键物理、技术的研究和关键部件的预研,“CFETR物理和工程研究进展”介绍了中国磁约束聚变能发展路线图,CFETR的科学技术目标以及已开展的相关研究工作;中国在完成ITER采购包任务的同时也为建设CFETR储备了技术,“中国ITER计划采购包进展”在介绍采购包研发任务进展的同时,重点强调了研发过程中所取得的技术突破;中国环流器二号是中国第一个实现高约束模式等离子体放电的磁约束聚变装置,EAST是国际上第一个投入运行的全超导托卡马克,在这两个国内主要托卡马克装置上,针对未来聚变堆的重大挑战开展了系统性的高水平科学研究并取得了一系列的重大的突破,为未来聚变堆的稳态运行提供了重要的物理基础和借鉴。

自中国参加ITER计划以来,多个高校围绕磁约束聚变核心科学问题参与了理论、模拟、诊断、实验的研究,在人才培养方面发挥了重要作用;一批研究机构的深度参与完善了中国磁约束聚变能的研发体系;工业界与项目

引用格式: 万宝年. 中国磁约束聚变科学技术研究进展专题·编者按. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 045201

Wan B N. Special topic: Progress of research on magnetic confinement fusion in China (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 045201, doi: 10.1360/SSPMA2018-00343

承担单位密切合作, 协同攻关, 突破了一批ITER采购包和CFETR关键部件的核心技术, 极大提升了我国在相关技术领域的水平.

专题的出版得到了各位专家学者的大力支持, 但由于篇幅的限制和组稿时间的仓促, 这些论文仅代表了我国在面向未来聚变堆以及依托大科技装置研究成果的一部分. 希望通过本专题的出版, 能够让读者对我国磁约束聚变能发展蓝图和现状有一个比较完整的了解, 吸引更多的科研工作者关注和投身于我国磁约束聚变能事业的发展.

感谢科技部“磁约束聚变能发展专项”和“中国国际核聚变能源计划执行中心”的支持, 感谢专题论文各位作者的贡献.

万宝年
中国科学院等离子体物理研究所