

第二届 EAST 国际顾问委员会总结报告

October 14, 2006

总论

2006年10月13-14日，EAST国际顾问委员会（IAC）在合肥中科院等离子体所（ASIPP）召开了第二次会议。会议前不久，EAST装置获得首次等离子体，这一杰出成就是全世界聚变能开发的重要里程碑。

IAC感谢ASIPP不但提供了参观EAST装置的机会，而且报告了EAST托卡马克的工程建设、首次等离子体运行结果和未来研究计划。现在，EAST正在进一步改善系统性能，包括等离子体产生和控制。

委员会对EAST的高质量建设留下了深刻印象。在如此短暂的时间内自主完成设计、预研、建设和试运行，成就了世界聚变工程的一个非凡业绩。它极明确地预示着中国对ITER的贡献。

EAST是世界上唯一运行的、拥有与ITER类似的全超导磁体的托卡马克。ASIPP自主研制的这些磁体全部达到了其设计指标。为实现稳态运行，EAST将运行先进的、拉长位形的等离子体，并将很快拥有内真空室主动冷却组件。

高功率加热、电流驱动和更完善的诊断是EAST未来深入研究计划所必须的。IAC强烈认为需要更多的资源来实现这些计划。我们期望这些必须的资源能与对现有托卡马克装置的投资相当。我们敦促ASIPP尽快完成这些任务。这些计划的实施，将使EAST在发展稳态高性能等离子体物理的科学研究计划中处于世界前沿地位，进而为支持ITER和聚变能发展做出贡献。

IAC建议中国应尽快发展理论和模拟能力，以支持EAST和分担的ITER任务。委员会确认了近期几个关键的理论重点，并建议通过与中国高校和国际理论组的合作来完成这项工作。

IAC高兴的看到EAST已经开始了一些国际合作，并鼓励在今后实验运行中开展更广泛的国际合作。

下面各部分是对工程、实验研究和理论的评估和建议。

工程评估组主要结论:

从 2003 年 10 月上次国际顾问委员会会议以来, 国际顾问委员会对 EAST 的进展印象极为深刻。国际顾问委员会注意到在如此短的时间内完成 EAST 装置主机及其辅助系统的调试, 同时没有出现无法预料的事件, 这表明 EAST 的设计总体是合理的, 制造过程中的质量保证体系是有效的, 装配程序是高质量的。国际顾问委员会认为 EAST 开始运行表明 EAST 的工程非常成功, 同时对 EAST 队伍高效及高质量工作表示赞赏。

通过会上 EAST 项目的介绍, 国际顾问委员会认为 EAST 的建造是非常成功的, 并可以完成其预定目标。

EAST 是第一个类似于 ITER 而采用超导磁体技术的托卡马克装置。因此, EAST 的成功建造是对超导磁体关键制造技术的贡献, 并将提供该类型超导磁体托卡马克的运行经验。能够引起国际聚变界特别感兴趣的是失超检测系统、超导 PF 线圈的等离子体控制能力及高温超导电流引线的应用。

EAST 真空室内部面向等离子体部件的设计使其成为可为 ITER 开展在长脉冲运行条件下有关材料侵蚀及再沉积测试的灵活装置。由于可以长时间维持纵场, EAST 还可以为面向等离子体材料发展不同的壁处理方法, 这点与 ITER 完全相同。

国际顾问委员会认为 EAST 为初始等离子体运行而开展的工程调试是非常全面的和完全令人满意的。

EAST超导磁体系统的调试为长脉冲托卡马克运行建立了技术基础。然而为实现长脉冲（1000秒）托卡马克运行，进而实现高 β 及先进托卡马克运行模式的目标，EAST项目组提出的进一步升级计划是必须的。长脉冲加热及电流驱动、等离子体边界控制及等离子体控制对实现其科学目标非常重要。辅助的加热系统将需要对制冷系统加以升级以增加制冷能力。EAST项目研究计划的进展将得益于实验、理论、模拟及工程之间的密切合作。

国际顾问委员会对中科院等离子体所率先在聚变装置上成功采用高温超导电流引线表示祝贺，并鼓励开展进一步的研发。装置主机的技术诊断系统需要进一步发展以建立部件机械性能数据库，这将对进一步提高装置运行的磁场是有益的。

最后，国际顾问委员会还想强调成功的物理研究计划要求装置主机具备高的可靠性及有效性，这要求持续稳定的高质量工程技术的支持。

实验评估组主要结论：

作为世界上第一个与 ITER 类似的全超导托卡马克，尽管经费极少，但它的快速建成、迅速发展和首次运行是一个了不起的成就，展示了中国科学院团队在物理和工程方面的能力。为了进一步加强科学研究的进程，今后 5 年需要进一步的与装置建设相当的投资。EAST 项目组在装置运行后应该与国际聚变界开展更有成效的合作。EAST 第一次等离子体的获得是世界聚变研究的里程碑。

EAST 这个新装置具备一些独特的特性，能为 ITER 运行以及未来示范堆的发展提供重要的答案。在 EAST 发展规划中，下列一些问题得到 IAC 的强烈支持。

1、 新的“物理工程”问题:

在超导线圈系统受到交流损耗及等离子体破裂限制条件下等离子体的产生、建立以及控制;

在纵场存在时的壁处理技术;

稳态条件下的参数分布控制。

2、 在石墨材料及各种偏滤器位形下研究粒子滞留问题以及发展氢去除技术。

3、 建立在稳态条件下输运模拟的数据库。

4、 发展稳态条件下高性能运行技术。

在 EAST 实验计划的实施过程中, 基于法国 TORE SUPRA 装置的经验, 它将探索一个以前从未涉及的稳态偏滤器托卡马克运行的全新的研究领域。它将发现全新的物理现象。

IAC 强烈支持基于长脉冲运行并实现稳态高性能运行的科学目标。为实现这些目标, 需要进一步加大投资, 发展辅助加热、电流驱动以及各类诊断。特别要发展中性束加热系统以实现高性能等离子体, 满足诊断的需要。这些计划的实施, 将使 EAST 在发展稳态高性能等离子体物理的科学研究计划中处于世界前沿地位, 进而为支持 ITER 和聚变能发展做出贡献。

IAC 建议应以稳态技术和物理为重点与世界各实验室建立更广泛的联系。

IAC 还提出以下更为具体的建议:

加热系统: IAC 同意所提出的辅助加热发展步骤, 即优先发展低杂波驱动, 这是实现稳态运行的最好手段, 进而发展离子回旋及中性束加热系统。这是一项极具挑战的计划, 需要足够的资源以及与世界上该领域最有经验的实验室开展密切的合作。

重要的诊断系统:

为实现装置可靠运行所需的近期项目:

改善电磁测量系统以实现长脉冲运行条件下的位形控制;

内部不稳定性测量;

偏滤器运行的特性测量;

杂质含量测量。

长期项目:

为氢滞留/去除研究提供特殊的诊断;

中性束诊断, 包括电流分布测量;

为输运研究提供特殊诊断;

快粒子物理诊断。

在人才培养方面开展更紧密的合作:

EAST 计划将年青人才的培养放在很高的位置, 这对未来中国聚变的发展以及支持 ITER 运行都很重要。发展先进诊断、理论及数值模拟不但对长期物理研究计划, 而且对学生培养及国际合作都是至关重要的。EAST 管理层清楚地了解这一重要性, 并特为学生和博士后预留了一定的运行时间, 这对人才培养极有好处。

理论及模拟评估组主要结论:

自从第一次 EAST-IAC 以来, 等离子体所的理论组做出很多的努力, 发展了一些基本的数值模拟程序以支持等离子体建立的设计及分析。等离子体所意识到必须进一步加强理论与模拟, 从而为 EAST 提供支持。今后五年, 必须建立、提高理论和模拟水平, 以支持 EAST 上具有挑战性的物理实验。IAC 对理论组今后如何支持 EAST 以及中国加入 ITER、提高理论及模拟能力的发展战略提出以下建议:

近期应将有限的资源集中在以下五个方面：

- 1、模拟在有超导线圈限制下，EAST托卡马克不同的运行模式。
- 2、研究边界及偏滤器行为，特别是在各种稳态偏滤器位形下的粒子及热能排出问题。
- 3、研究离子回旋与低杂波对H-模等离子体的耦合；在不同运行模式下利用波对等离子体进行加热及电流驱动；发现在波及中性束加热条件下高能粒子物理的新现象。
- 4、模拟在非感应电流驱动、长时间尺度条件下的等离子体性能的变化。
- 5、探索高能粒损失的可能机制。

为了发展中国的等离子体理论及最基本的数值模拟，必须建立各种长期的合作。作为起步，可以移植、消化国际理论界现有的大量的模拟程序，为EAST服务。为了今后进一步的发展，必须派出理论工作者到国内外顶级研究所进行长期的学习和提高。委员会认为这些措施对今后长期的聚变理论发展是至关重要的。

最后，我们高兴地看到，目前中国缺乏聚变理论学生的现状已被中国政府教育界的高层领导所关注，我们支持采取必要的措施以改变这一现状。