

附件 3:

## 合肥研究院研究生因公出国（境）事后公示表

|                     |  |                  |            |                       |                                 |
|---------------------|--|------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|
| <b>姓 名</b>          | 程羊   | <b>部 门</b>       | 等离子体所一室    |                       |                                 |
| <b>学 号</b>          | BA22168220   | <b>在读<br/>学位</b> | 博士         | <b>出访国家<br/>(或地区)</b> | 英国                              |
| <b>公示日期</b>         | 自 2023 年 9 月 11 日 至 2023 年 9 月 15 日  |                  |            |                       |                                 |
| <b>计划出<br/>访任务</b>  | 参加第 30 届核聚变工程研讨会 (SOFE2023)  |                  |            |                       |                                 |
| <b>计划日程</b>         | 2023 年 7 月 8 日 北京/上海出境, 经伦敦中转, 抵达阿宾登<br>2023 年 7 月 9 日-13 日 参加 IEEE 核聚变工程研讨会 (SOFE2023)<br>2023 年 7 月 14 日 返程, 抵达北京/上海 |                  |            |                       |                                 |
| <b>计划往<br/>返路线</b>  | 合肥-北京/上海-伦敦-阿宾登-伦敦-北京/上海-合肥  |                  |            |                       |                                 |
| <b>邀请单位<br/>介 绍</b> | 单位: 英国原子能管理局, Culham 聚变能源中心;<br>邀请人: Mrs Rosie Hawkes; 职 务: 首席执行官人事顾问  |                  |            |                       |                                 |
| <b>费用来源</b>         | 须列出哪类经费 (如: 自然科学基金课题支付)<br>CRAFT 遥操作课题 (CR21000A)  |                  |            |                       |                                 |
| <b>预算经<br/>费支出</b>  | <b>国际旅费</b>  | <b>交通费</b>       | <b>住宿费</b> | <b>伙食费</b>            | <b>其他</b>                       |
|                     | 25000 元  | 300 磅            | 1200 磅     | 315 磅                 | 注册费 486 磅<br>签证费、境外保险费<br>500 磅 |

|   |   |               |                 |            |   |
|---|---|---------------|-----------------|------------|---|
| <b>实际费用来源及支付金额</b>  | <input checked="" type="checkbox"/> 课题组 34783.78 元 <input type="checkbox"/> 学校<br><input type="checkbox"/> 国外资助单位 <input type="checkbox"/> 其他资助单位 |               |                 |            |   |
| <b>实际开始日期</b>   | 2023 年 7 月 8 日  | <b>实际结束日期</b> | 2023 年 7 月 15 日 |            |   |
| <b>实际往返路线</b>   | 合肥-北京-伦敦-牛津-伦敦-北京-合肥  |               |                 |            |   |
| <b>实际经费支出</b>   | <b>国际旅费</b>   | <b>交通费</b>    | <b>住宿费</b>      | <b>伙食费</b> | <b>其他</b>   |
|   | 18991 元   | 551.44 元      | 5689.01 元       | 2850.33 元  | 注册费 4527 元<br>签证费 1715 元<br>境外保险费 280 元<br>国内补助 180 元 |
| <b>实际出访单位名称及主要日程安排：</b><br>单位：英国原子能管理局，Culham 聚变能源中心；<br>邀请人：Mrs Rosie Hawkes；职 务：首席执行官人事顾问<br>2023 年 7 月 8 日 北京出境，经伦敦中转，抵达牛津<br>2023 年 7 月 9 日-13 日 参加 IEEE 核聚变工程研讨会 (SOFE2023)<br>2023 年 7 月 14 日 返程，7 月 15 日抵达北京 |   |               |                 |            |   |
| <b>出访总结</b>   |   |               |                 |            |   |

应英国原子能管理局 Culham 聚变能源中心 (United Kingdom Atomic Energy Authority , Culham Science Centre) 邀请, 本人十分荣幸能够参加今年 7 月初由 IEEE 在英国牛津举办的第 30 届 IEEE 核聚变工程研讨会 (IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE 2023) conference)。本次会议在牛津大学考试学院召开, 整个大会分为以下几个主要的主题:

- (A) 加热与电流驱动;
- (B) 偏滤器与面向等离子体部件;
- (C) 诊断和仪器;
- (D) 氚增值包层;
- (E) 下一代的聚变装置, 演示装置 (DEMO), 发电装置以及社会和经济研究;
- (F) 安全性, 监管以及中子辐照;
- (G) 材料研究 (面向等离子体, 磁体, 结构, 功能, 测试);
- (H) 托卡马克与其余聚变实验;
- (I) 发电效率, 管理与控制;
- (J) 运行与维护, 远程操控以及可靠性、可用性、维修性与可维护性研究;
- (K) 虚拟工程, 系统工程以及项目管理;
- (L) 氚, 燃料循环, 加料, 排气和真空系统。

以上几个方面涵盖了目前磁约束聚变装置, 以及未来聚变堆可能涉及到的大部分工程研究, 大会也针对每个部分安排了具体的报告。本次大会的邀请报告大部分集中在了未来聚变堆装置的设计与安排上, 由于 ITER 装置目前所面临的工期延迟与预算追加的情况, 各个国家的聚变堆实验装置也都在项目管理与资金预算的掌握花费了大量的精力。大会上, 许多代表国家都针对未来聚变堆的发展与规划作了报告, 例如中国的 CFETR、CRAFT, 日本的 JT-60SA 等。除了传统的托卡马克外, 球马克作为一种新的技术路线也被许多国家选为一种新的聚变堆运行的可能装置, 例如英国原子能机构 (UKAEA) 准备新建的 STEP (The Spherical Tokamak for Energy Production) 装置, 普林斯顿大学 (PPPL) 准备建立的 STAR (Spherical Tokamak Advanced Reactor) 等。

本人的研究方向是遥操作 (Remote Handling) 方向, 在参会过程中也重点关注遥操作相关报告、海报的进展。遥操作方向共有 5 份报告, 分别介绍了 ITER 热室及遥操作系统、ITER 遥操作系统测试和运行开发、DIII-D 装置协作机器人实施及未来设计、

IFMIF-DONES 高流场测试模块电连接接头遥操作初步分析及验证和 ITER 窗口插件螺栓遥操作工程实践。通过这几个报告的听取，了解了目前国际上主要的装置 ITER 的遥操作的一些研究进展和动向，对自己的研究方向也有一些启发。

本次会议上共张贴了 37 份遥操作方向的海报，主要涉及的方向有包层及偏滤器维护、重载机械臂、双臂机器人、遥操作维护工具、遥操作机器人控制系统及算法、遥操作视觉及传感器观测、耐辐照元器件、遥操作测试设备、遥操作接口设计等。其中，包层及偏滤器维护、重载机械臂、双臂机器人和遥操作维护工具是研究的热门领域。遥操作方向海报国际上主要由 UKAEA、EUROfusion、ITER、LUT、VTT、DTT 等完成。

在包层转运方向，EU-DEMO 包层转运采用 6 自由度机械臂抓取，CRAFT 采用机械臂抓取方案；包层转运过程中包层的位姿及振动状态会影响到吊装精度控制和吊装安装。通过机械臂部署光学传感器如 LIDAR 或相机监测包层转运过程，可有效提高吊装精度及安全（UKAEA）。这一技术值得 CRAFT 借鉴。

在重载机械臂研究方面，LUT 给 EU-DEMO 设计了一套 8 自由度重载机械臂，增加了扇区覆盖范围，牺牲了一定的灵活度；DTT 针对偏滤器维护设计一套 BOOM+小臂造型的重载机械臂，该机械臂负载相对较小，由于小臂的存在灵活度有所增加；CRAFT 重载机械臂在兼顾了真空室内扇区覆盖及大负载要求的基础上，也能保持一定的灵活度。

在遥操作维护测试平台方向，针对包层转运面临负载大、尺寸大、空间狭小的挑战，通过搭建包层转运测试平台，测试包层转运的可行性及验证转运关键技术；视觉、传感及测量技术实时测量转运过程数据，通过数字孪生技术模拟包层转运过程，并将转运模拟数据反馈给控制系统，可有效提高转运精度及安全；CRAFT 遥操作已经搭建了包层吊装平台，正在进行包层抓取方案设计；CRAFT 遥操作系统也正在搭建数字孪生系统，模拟包层转运及重载机械臂运行。

在双臂机器人及维护工具系统方向，JET 维护采用的双臂为 MASCOT 4；目前，经过迭代已经开发出 MASCOT6，从需要人员参与的主从控制转变为自动化控制模式；MASCOT6 采用更多的商用部件，采用商用的控制系统硬件和软件；螺栓工具、力矩扳手、抓取工具和内焊工具从初代样机完成了更新迭代。（UKAEA）以自动化模式为主的 CRAFT 双臂系统已经完成搭建，正在测试；CRAFT 切割、焊接、抓取工具也正在推进中。

在耐辐照电子元器件研究方面，针对屏蔽材料及远程连接方式都要求遥操作系统预留大量空间，这个对遥操作系统的设计都带来了很多难题；远程连接控制对于信号

传输的可靠性及电磁干扰也提出很高的要求；耐辐照元器件及控制器可以有效降低对遥操作系统空间的需求，并有效降低信号传输过程中引起的信号异常及电磁干扰；UKAEA 完成了力矩传感器及控制板的耐辐照版本研发，最高辐照剂量可达 1MGy；CRAFT 也与企业合作做耐辐照元器件，技术指标与国际先进水平还有差距。

本人在本次会议上张贴了题目为《Research and Development of Joint Test Platform for CFETR Multi-purpose Overload Robot》的海报，介绍了遥操作维护重载机械臂及关节测试平台的研发进展。会议现场与同行交流了重载机械臂的研发经验及其它遥操作系统的一些技术要点。通过与现场专家的沟通交流，了解了国际上主流的遥操作研究进展及目标，对自己所从事的重载机械臂研发工作也有了一些新的认识和体会。

国际上对于遥操作耐辐照元器件的研究非常重视，并且取得了很多进展，国内在这方面的技术研究相对较弱；国外一些研究机构已经完成一些遥操作关键技术（如双臂等）的技术迭代并完成了部分验证，国内遥操作还处于方案验证和一些技术的初步验证；国际上缺少一些 CRAFT 正在搭建的大型遥操作验证平台（如包层吊装、重载机械臂等），对我们正在搭建的平台比较感兴趣，可以进一步合作。

|             |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| <b>导师审核</b> | <b>导师签字:</b> _____ <b>日期:</b> _____ |
|-------------|-------------------------------------|

公示情况:

签字:

日期: