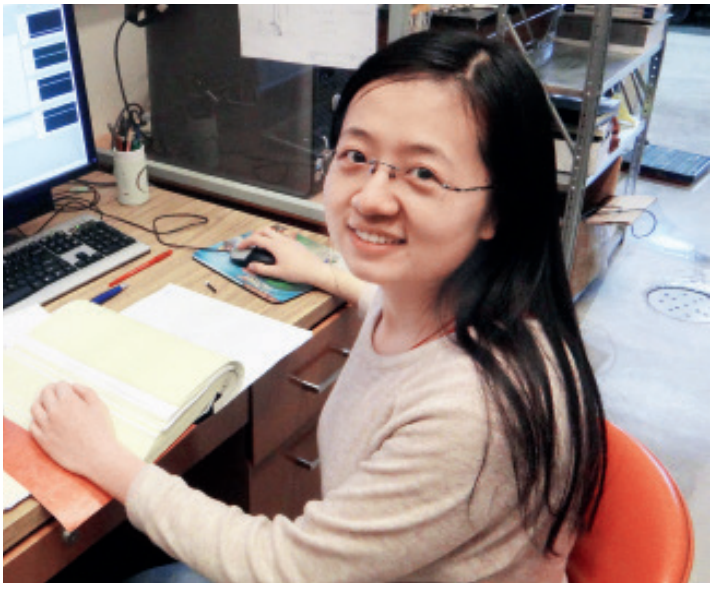
普渡的奥妙

——普渡访学有感

刘卓

2014 年 4 月 1 日晚 7 时许，随着暮色的降临，由西雅图飞至北京的 HU496 航班降落在了北京首都国际机场。在滑行了数分钟后，飞机终于停靠在了远离航站楼的停机坪中央。走出机舱，迎面扑来的一阵阵带着泥土味道的春风让我清楚地意识到，自己已经从还飘着雪花的西拉法叶回到了春意盎然的北京。在学校、师长的厚望和亲友的牵挂下，我完成了为期六个月的短期出国访学生活。在这期间的所见、所闻、所感、所得就如同彼时手中的行李箱，厚重、珍贵而饱满。

出国学习和交流对于每一个研究生来说都是非常难得的机会，特别是对于工科学生来说，能够进入国际领先的实验室，聆听业界大牛的课程、了解和感受国际化的科研氛围、学习先进的科研方法、结识国际化的科研团队和学者无疑是对学生个人综合科研能力大有裨益的经历。经过详尽的考察和认真的申请及准备，我终于获得了学校博士生短期出国访学基金的资助，来到了美国普渡大学核工程系热工水力及反应堆安全实验室（Thermal Hydraulics and Reactor Safety Laboratory,TRSL），师从反应堆热工水力领域的著名学者 Mamoru Ishii 教授进行反应堆热工水力试验台架相关比例分析理论以及热工水力实验技能的学习和交流，收益匪浅。



刘卓

科研篇

普渡大学（Purdue University）成立于 1869 年，以理工农学科见长，有“美国航空航天”之母、“旅游界的哈佛”的美称，在 2013 年“US News & World Report”研究所排名中其核工程专业全美排名第 8 位。普渡大学的核工程系也有着悠久的历史，它是反应堆截面单位“Barn”的诞生地，曾参与“曼哈顿计划”，是核工程早期开创性理念的发源地，

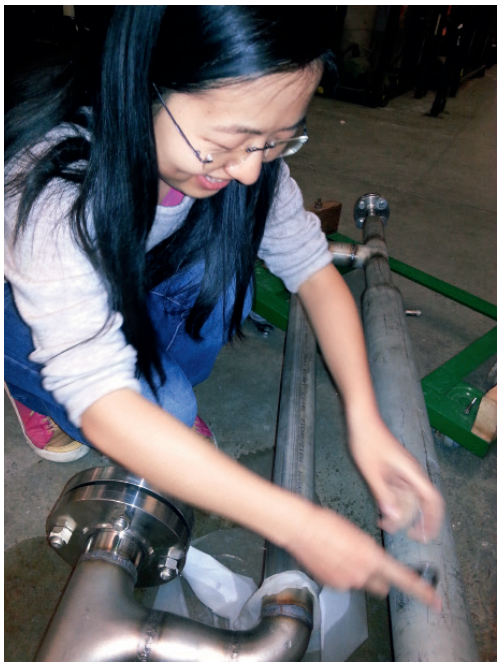
其研究范围涵盖了反应堆热工水力、反应堆安全、物理、核能系统仿真、核聚变、材料及废物处理、应用智能系统、放射医疗、空间辐射屏蔽等诸多领域。Ishii 教授及其研发团队在国际核工程领域有着极高的声望和科研水平，他是国际两相流、传热以及核反应堆安全和事故分析方面的权威专家，研究方向覆盖了试验以及模型开发领域。

可以说，来到国外大学后，首先耳目一新的感受来自于课堂。与国内课堂最大的区别是，没有老师会在上课时点名或是担心有学生不到，相反的，考虑到有旁听学生的需求，老师往往还会多准备一些讲义等材料在课上分发。这种相对宽松自由的出勤管理方式会令学生怠惰而影响学习积极性吗？答案是否定的！事实证明，每节课学生的出勤率都保持在95% 以上，而且大家的听课状态也都非常认真，与国内有些课堂上，老师点名、同学穷尽各种手段帮人签到甚至在课堂上昏昏欲睡等情形形成了鲜明对比。这其中原因，我认为主要有三：第一，国外的选课机制相对自由，相同或相近的课程也会有同系或是不同系的不同的老师开设，学生有近乎绝对的自由选择自己真正感兴趣的课程以及自己喜欢、适应的授课方式，这样便可最大程度地确保学生选择的是自己主观愿意去学习的课程。第二，

普渡一角

国外课堂的授课质量也确实令人称赞，特别是研究生课程，近乎全部都由相关领域颇有造诣的教授、专家授课，他们博学多才、思路敏捷、深入浅出，经常令学生有醍醐灌顶之感。第三，针对不同学生的学习习惯，学校还开设一定量的在线授课课程，老师会将全部课程的授课视频上传到网上，供学生观看学习，同时布置相关的作业和练习内容，并在网上和学生进行交流和答疑。选择此类课程的学生无需进入教室，只需手边有一台电脑，在家或实验室就可完成课程的学习。这对于喜欢自主学习或是时间不方便的同学来说，都是非常好的选择。

由于时间所限，我只旁听



了三门课程，但也觉得收获很大。Ishii 教授已年逾七旬，但仍坚持亲自用投影仪手书授课。工科课程冗杂、繁琐的公式、方程，他都不厌其烦地一遍遍书写并合理标注。不管多抽象的理论定理，他都可以借助生活中大家熟悉的现象形象地解释，让人印象深刻。另外每堂课程的容量也很大，时间有限，每堂课他都会把相关内容的研究者和主要文献告诉大家，让大家在课后深入学习。此外，如果大家有任何不明白的地方，随时都可以打断他，提出问题，他都会细致讲解。

Mudawar 教授讲课的最大特点则是深入浅出，他会把非常复杂深奥的两相流理论清晰、明确地展现给大家，并借助实验装置讲解力学原理和模型，让大家充分理解理论原理，而不是肤浅的记忆公式或结论。坐在 Mudawar 教授的教室里，常常有一种回到高中时期的错觉，这不是由于任何知识层面的相似，而是缘于那种在对知识的强烈需求得到满足后的愉悦和兴奋！此外，Mudawar 教授板书工整，语速平缓，逻辑清晰，常常一段讲解后就耐心询问大家是否有疑问，特别欢迎同学在课堂上和他讨论问题。一堂课下来，常常会使人有意犹未尽之感。

除了旁听相关课程，其余的主要时间我都在实验室里参与自然循环两相流不稳定性分析实验小组的工作。这个小组由两个 Ishii 老师的博士生、一位来自韩国原子能研究院的访问学者和我四人组成，我们常常在一起讨论、学习，交流，虽然时有焦灼的争论，但如今回忆起来，一起工作、学习的经历还是非常充实、愉快和令人难忘的。我们不但共同完成了 NMR50 沸水堆一回路自然循环不稳定性实验台架的设计和搭建，还成功地开展了大量实验，积累了丰富的实验设计、操作以及数据处理和分析的经验。

做实验的过程往往是枯燥的，有时当一些超出预计的现象发生时还会是恼人的。BWR 起堆的瞬态实验，我们就经历了这样一个过程。首先实验前的准备工作就需要三四个小时的时间；而后调水位、加热回路到约 140 °C，并自然冷却以获得用以测量空泡份额这一重要参数的 Impedance Meter 的温度特性曲线，这个过程又占据了六个小时左右的时间；而后的慢速或快速起堆瞬态试验又分别需要四或二个小时。这样一来，整个实验过程就需要一整天的时间，我们又为了不重复进行调试工作，会在一次调试好后连续进行多组实验，几个人通宵达旦地做实验是常事。然而有一段时间，我们总是无法获得满意的 Impedence Meter 的冷却曲线。经过组内、组外的多次讨论，终于确定了导致问题的主要原因及解决的办法。虽然这需要我们每次实验前都要爬到五六米高的台架上读、调水位，但当理想的冷却曲线终于出现的时候，我们顿时觉得这一切的辛苦努力都是值得的。

与此类似的情况还有很多，可以说参与这个实验小组的工作真的让我收获很大。实验过程中，即便准备得再充分，往往也会出现这样那样的问题，而解决问题所需要的时间可能远远超过实验的初始设计，因为问题总是具有很强的隐蔽性和耦合性。让我感触颇深的一

点是，遇到问题后，实验室里的同学首先想到的不是向老师或博后求助，而是自主查文献、读 Manual、做尝试，从而获得最终的解决办法。这种独立解决问题的主动性和能力，无疑是从事科研工作特别是博士生培养过程中最为重要的一项素质。这也是我日后从事科研工作和学习过程中需要重点培养的。

与 Ishii 老师的交流也让我受益匪浅。他非常欢迎学生与他交流、探讨各种问题。只要他在办公室，就会开着门，随时欢迎学生。他总是随时备有一个可拆页的笔记本，为了避免学生对他的讲述有任何不解，他会在笔记本上写写画画，在讨论结束后把写下的内容留给学生。不管你拿着什么样的问题，他都会提出各种开放性的思路供你参考，当然他不会给出问题的具体解决方案，但是经过一番可能起初看似艰难的尝试，你会发现在这个过程中可以收获到好多新的知识和本领，让你不由赞叹这位业界权威广博的知识背景和惊人的理解力、记忆力。

研究生培养篇

除了选课本身的自由度大，在研究生培养方面，普渡大学核工系研究生的两门“特色”必修课也让我印象深刻。

一门必修课是实验室内的 seminar，每周一次，时间约为两个小时。实验室内的每个同学都会在一学期内被安排做一次 presentation，报告自己的研究内容和进展，由实验室的两位老师进行点评和提问。然后在场的每位学生都要针对报告内容提出至少一个问题，针对这个问题，报告者、老师和提问的同学有时也会展开相应的讨论，从而又进一步地了解了相关的知识。

另外一门是全系范围的 seminar，每周一次，时间约为一个半小时，这是一门本科生和研究生都必修的课程。系里会广泛邀请国际上核工程领域的专家学者进行有关各自科研领域前沿技术的报告。根据报告的内容和难易程度，每次报告会分为限本科生、限研究生以及本科生、研究生共选的课程。对于本科生，这种课程必然会扩大大家的视野，增加大家对核

普渡校园

工程学科不同领域研究方向及内容的了解。对于研究生，这种课程的开展也是必要的，随着研究的深入，许多研究生都会发现自己的研究方向越来越单一，对本专业其他领域的了解也越来越淡化，本科时学过的广博的专业背景知识也渐渐被一定程度地遗忘。这对研究生阶段的研究本身可能影响不大，但是，研究生就业后往往就会发现自己对本行业众多研究领域知识的缺乏和广泛需求了，因为研究生毕业后的工作内容极少会与研究生时的研究内容一致。

其实，清华大学也有此类研究生培养的选修课程，比如“研究生学术与职业素养”课程，只是这类课程着眼于全校范围，为了保证其普适性，不会有针对某专业的前沿技术性报告。试想如果院系或者是专业相近的几个院系可以联合开展专业性较强的学术报告课程，学生势必会从中受益良多。

课余生活篇

普渡大学的所在地西拉法叶是一个人口不足三万的典型的美国小城市，主要人口及基础设施都围绕着学校形成。相对稀少的人口形成了小城整洁、安静祥和、空气清新的整体风貌。课余时间，同学们驱车不到三十分钟就可以很容易找到大片绿意盎然的公园。大家烧烤、踢球、谈笑都是缓解科研压力、增进彼此交流的不错选

参加当地特色活动

择。此外，小城及附近的小镇还经常举办一些有浓郁当地特色的集市、展览或是文化活动，比如世界羊驼日的“Alpaca Farm”农场开放日活动和“Feast of the Hunter's Moon”文化集市都让我在愉快的游览中了解和体验了当地的特色历史和文化。每次与当地人的交流都能让我感受到他们的热情好客、真挚朴实，令人难忘。

一个国家的发达程度，往往也是以小见大。比如美国公共场所内无障碍设施的完备性着实令人称赞。学校教学楼内每一个房间的标识牌都会有对应的盲文，所有建筑物都配有无障碍通道以及便于使用轮椅者进出的自动门，所有的公共停车区域也都有相当数量的残疾人专用停车位，商场、超市也会有相应的便捷设施供残疾人使用。在学校内也会偶尔遇到坐着轮椅或是拿着盲杖的同学穿梭于教学楼之间。他们在校园里不会受到任何歧视，也不会因受到同情而感到任何自卑，享受着与健全人一样的受尊重和受教育的权利。

普渡大学校内各主要站点都有连接彼此及通往拉法叶和西拉法叶市区的公交车。普渡大学的学生以及工作人员可以凭证件免费乘坐，这给大家提供了非常大的便利。每条线路的公交车都可以即时定位以供在线查询，避免了大家在车站久候。不管是候车还是乘车，大家都会自觉有序地排队，先下后上。公交车司机还会热情地与每位上下车的乘客打招呼。乘客也会自觉地在上车时与司机打招呼，在下车时告别并表示谢意，一切都让人倍感温馨。

美国的大学虽然没有国内大学类似的运动会，但大家锻炼身体的意识似乎更强些。学校的健身房（馆）内设有游泳池、攀岩、各种球类场馆以及器械练习区，所有在普渡大学注册的在校学生都可以免费进入和使用。到 gym 跑跑步、打打球、游游泳已经成为了普渡学生生活的一部分。不仅如此，在学生的集中居住区，如 Purdue Village 的社区活动中心内也设有相应的健身器材和区域，供大家免费使用。除此之外，一年四季穿梭于校园各个道路间的意志坚定的跑步者无疑也成为了普渡一道亮丽的风景线。

时光飞逝，短短半年的出国访学生活结束了。在这六个月中，我学到了知识、交到了朋友、开阔了视野、提升了能力，相信这份沉甸甸的收获必会在我日后的生活和工作中慢慢发挥它们的作用。更重要的是，我还要把出国的所得所感尽可能多地分享给国内的师长和同学。只有这样，才能真正地不虚此行！

（作者为核能与新能源技术研究院博士生。为培养具有国际视野的未来学者，清华大学从 2010年起设立“清华大学博士生短期出国访学基金”，为博士生赴国外一流大学和专业、师从一流导师开展研究工作提供 3~6个月的生活费资助。至今已有 560名博士生获得基金支持，其中 2/3的博士生前往世界排名前 100名的大学或研究机构。）