中美清洁能源联合研究中心清洁汽车合作联盟联合声明

2009年11月，胡锦涛主席和奥巴马总统共同宣布要成立旨在促进中美两国科学家和工程技术人员开展清洁能源技术联合研究和开发的“中美清洁能源联合研究中心”（英文为 Clean Energy Research Center,简称 CERC）。

2010年11月14日，美国能源部朱棣文部长、中国科技部万钢部长以及国家能源局张国宝局长签署了中心成立的合作议定书。根据议定书达成的共识，作为全球最主要的能源消耗和生产以及温室气体排放大国，中美两国必将在近期将要发生的全球向清洁能源经济过渡的过程中起到引领作用，同时从长远来看，该项合作研究将对建立面向二十一世纪能源基础设施起到深远而有益的影响。

基于中美两国共同面临着解决车用能源问题的机遇和挑战的共识，中美双方分别选择清华大学与密西根大学牵头组建专家联盟,在中美清洁能源联合研究中心的工作框架下开展清洁汽车领域的合作研究（简称 CVC）。清洁汽车合作联盟的愿景是促进相关技术的大幅度进步，降低汽车对石油的依赖和改善燃油经济性。中美清洁汽车合作联盟（CERC-CVC）将在互惠互利的基础上，建立包括知识、技术、研发能力、研发人员等在内的合作机制，共同致力于中美两国车用能源的高效、低污染化,合作联盟将采用联合研究和开发的方式提高清洁汽车的技术水平。

清洁汽车合作联盟将汇集学术机构、国家实验室、以及产业界的力量,形成在工程技术、自然科学和社会科学等领域内具有智慧及经验优势的合作团队。在每个主要研究方向的团队，都将集中于合作努力的最大化和充分发挥各自优势,其目的是在两国工业伙伴的密切配合下，促进创新和商业化成功进程。清洁汽车合作联盟旨在致力于前沿研究及技术、发明的商业化，成为中美清洁汽车领域的引领者。清洁汽车技术的成功示范将会涉及到来自中美两国的战略合作伙伴，他们包括交通和能源领域的设备制造商、供应商和创新型企业。

中美清洁汽车联盟的合作机构目前包括以下成员：

美方：以密西根大学为首的学术-国家实验室团队，包括俄亥俄州立大学、麻省理工学院、桑迪亚国家实验室、橡树岭国家实验室、美国环保署、联合生物能源研究所；技术合作伙伴包括：康明斯、弗朗恩霍夫研究所、福特、通用汽车、丰田汽车、交通发展研究中心、第一能源、克莱斯勒、MAGNET，A123，美国电力、德尔福。

中方：以清华大学为首的学术-国家实验室团队，包括上海交通大学、中国科学院、北京理工大学、武汉理工大学、同济大学、天津大学；技术合作伙伴包括：吉利汽车、中国普天、万向汽车、长安汽车、上汽集团。

为了实施强大的联合研究项目，以密西根大学和清华大学为牵头的团队计划开展下列工作：

- 联合举办和参加年度技术研讨会。研讨会将汇集中美双方工作中的协作者，研讨会致力于：
    - 交流当前研究项目的信息和最新发展
    - 确定需要优先开展的研究内容
    - 规划在合作中心框架下对双方都有利的合作领域
- 制定多年度的清洁汽车联合工作计划，起草第一期工作计划，并于 2011 年 3 月 15 日提交至中美清洁能源合作研究中心秘书处审议，此项工作今后每年 3 月 15 日进行一次。
- 完成清洁汽车联盟年度联合工作报告，着重介绍在重要领域取得的重大结果和研究进展，第一期报告于 2012 年 3 月 15 日提交至秘书处，此后的每年 3 月 15 日均需提交年度报告。

清洁汽车合作联盟会对当今社会面临的气候变化、能源安全和环境可持续性发展等三大挑战产生积极的影响，同时也会通过推动创新促进汽车制造业、清洁能源产业、以及相关的供应链产业等的经济发展。首先，通过优化包括电力和生物燃料等在内的低碳能源载体，中美两国的车用石油燃料消耗和汽车温室气体排放都将显著减少。其次，高效的电驱动车辆平台不仅囊括了新型能源转换、余热回收、高能储存电池、车网融合等前端技术，还将采用先进的低碳排放轻质材料和部件。尤为重要的是，本联盟所开展的先进系统的研究和开发都将在全生命周期设计框架的指导下进行，这将使我们在面对研究成果应用于竞争性清洁汽车领域时，能够确立明确的温室气体减排目标、途径和相关政策。我们的前沿性研究和开拓创新的展示平台将为实验室研究成果转化为原型车提供独一无二的机会。

为了实现中美双方的共同愿景，攻克相关瓶颈障碍，联盟计划开展下列六个方向的合作研究：

<u>方向一：能源系统分析、技术路线图及政策</u>

通过可能的技术途径和燃油策略的组合对于应对燃油经济性和温室气体巨大挑战极为重要。车辆和能源基础设施的系统集成将从事可再生能源在时间和空间上的变化规律、消费者驾驶习惯和出行模式的多样性、生产者和消费者的经济性影响因子、以及未来能效与碳排放政策体制和市场等的研究。

<u>方向二：车辆电网的交互</u>

为了适应插电式混合动力车的增长，由充电负荷带来的功率增加可能导致一些网络分配的局部问题，包括过载、电压退化、平衡性等。从宏观角度来看，大量插电式混合动力车辆的不协调充电会加剧高峰负荷。为了加速插电式混合动力车辆的发展，充电式混合动力汽车充电的协调问题需要通过开发先进的控制策略、协议来解决。

方向三：车辆电气化

为了支持日益增长的车辆电气化，电气材料和电子器件将可能要比目前具有更好的转换效率和更高的功率/能量密度。新一代的插电混合动力汽车将受益于新型电机技术、热电余热回收技术、功率电子器件和新型电气技术，这些技术可以操控动力系统中日益增加的负载，并组合优化多能源动力和附件系统。

方向四：先进电池

当前流行的锂离子电池技术用于汽车应用的主要缺点是其有限的循环寿命和充电/放电能力。目前，对于锂离子电池的衰减机理仍知之甚少，构建预测电池性能和寿命的基础建模工具所需的基础知识也尚处空白期。对于更高能量密度的新型电池的设计，如锂空气和锂硫电池，需进行基础研究以改善关键的动力学和催化过程。

方向五：先进的生物燃料和清洁燃烧

土地和其他资源的约束，限制了当前交通能源中生物燃料所占的比例。下一代生物燃料，例如那些从木质纤维生物原料中提取的生物燃料，理论上应该可以解决中美交通能源需求的很大一部分。通过将生物技术与燃烧过程相结合，以及排放后处理系统设计、优化和控制，将可以加速先进生物燃料技术的发展和实施。

方向六：先进的轻量化材料和结构

减轻车辆总重量是减少车辆使用过程能耗的有效方法。但是，将铝合金、镁合金、碳纤维复合材料集成到车辆部件中以实现最大可能的减重并同时保持结构强度和碰撞安全，这一方面仍存在着一系列挑战。在轻量化材料的制造、成型、连接等方面要实现低成本、高能效、高质量，相应的研究是必要的。

为实现清洁汽车合作联盟的目标，将在下述方向取得科学与技术创新：

- 基于电源管理和控制优化的新型电动化车辆构型
- 基于车辆-电网交互的控制策略、协议和通信
- 能量收集、储存和转换新型材料
- 新型生物燃料燃烧科学及其在相应新型循环发动机中的应用
- 突破性轻量化结构设计
- 在有限资源约束条件下，用于指导系统优化设计和政策制定的生命周期设计方法

联盟的预期目标将体现在下述一系列高水平指标中：

- 组织联合会议、工作组会议、专题讨论会
- 申请和获准中国专利、美国专利、国际专利以及其他知识产权
- 清洁汽车合作联盟的知识产权被原始设备生产商（OEMs）、供应商及创业公司商业化应用
- 期刊和会议发表的学术论文
- 联盟及分支机构培养的学生和聘用的学生
- 博士后培养
- 联盟内机构之间人员交换的数量、周期、时间
- 获得的个人、团队、技术等奖励
- 在国际国内会议上具有重大影响的讲座或主题发言

签名

欧阳明高 教授，

清洁汽车合作联盟中方主任

清华大学

丹尼斯. 阿萨尼斯 教授，

清洁汽车合作联盟美方主任

密西根大学

日期

中心研究要点附录

为达到清洁汽车合作联盟的愿景目标，联盟制定了六项紧密合作的研究方向，如下：

方向一：能量系统分析，技术路径图及政策研究

能量系统分析、技术路径图及政策研究方面，由密西根大学和清华大学共同牵头，将对中美清洁汽车系统的开发和推广进行评估和指导，整合联盟所有研究方向的科技创新成果。研究内容和目标为：制定清洁汽车和清洁汽车技术的目标；从全生命周期的角度综合评估清洁汽车技术和创新路径；结合液体燃料和电力的区域制约条件，确定不同地区的最优能源策略；为中美清洁能源合作中心制定汽车及技术发展路线图并提出政策建议。分析框架必须适应于不同层面和规模：系统层面上包含从零部件到整车及燃料供给设施；地域层面上包括能源和材料的资源及生产的地区间差异；时间层面上包括可再生能源的非连续供应特征，充电频度，驾驶循环以及更远期的碳稳定水平。

中国和美国是全球最大的汽车市场，两国在清洁汽车技术、系统设计、技术路线图制定、政策研究方面的协调与合作将会在本质上加速更加可持续交通发展方案的推广应用。中美两国共同面临着许多挑战和机遇，如能源资源（如丰富的煤炭储存）、能源安全、高石油进口依赖度、以及大量的温室气体排放。另一方面，在消费市场、出行特征、区域能源资源和制约因素、运输和电力设施、政府政策等方面中美两国存在着明显差异。联盟将在两国不同的资源条件和出行特征下寻求清洁汽车技术和设计的协调点。来自学术界、国家实验室和工业的合作伙伴将对分析方法、生命周期模型和参数、情景分析及政策分析进行合作研究。研究团队将针对中美两国的经济、政治体系和需求制定不同的政策建议。该建议将指导提高清洁汽车的市场占用率和非技术因素的认知和研究（车辆购买及使用习惯），使得清洁汽车系统的效益最大化。

方向二：车和电网交互技术

由密西根大学，俄亥俄州立大学和清华大学合作开展的车辆和电网互动技术课题，将深入研究大规模插电式电动汽车接入电网的相关问题。插电式电动汽车的大规模接入产生大量的充电功率，这将导致配电网层面的局部问题，包括：过载、电压品质下降和功率不平衡。从宏观电网的角度来看，大规模插电式电动汽车的不协调充电会加剧高峰负荷，而简单的基于时间和电价的控制策略也可能导致电网的不稳定运行。从另一方面来讲，采用先进的控制策略可以将插电式电动汽车的充电过程与间歇性可再生能源进行协调，从而提高碳中和能源的利用率。

本方向研究内容包括以下三方面：在配电网层面上的车辆-电网交互，大规模插电式电动汽车接入对电力系统的影响，以及相关支撑技术。中美清洁能源联合研究中心清洁汽车合作联盟将开展 12 个配套项目研究，包括智能车辆-电网交互系统通讯及控制体系架

构分析；基于分布式电网的插电式电动汽车充电特性分析以及减轻电网负荷的有效控制方案研究；跟随可再生能源电力输出变化的插电式电动汽车充电控制策略研发；进行 V2G 技术的示范。

方向三：车辆电气化

由密西根大学和清华大学联合研究的车辆电气化领域，主要目标是研发新的概念、模型，方法和工具来搭建、分析、设计和模拟电动汽车的核心部件，同时研究其控制技术与系统集成。像电动机、发电机、功率电子以及功率传递器件等高效而可靠的零部件是清洁汽车走向成功的关键。此外，控制技术和系统集成是实现混合动力系统高经济性和低排放的关键技术。此项目的技术挑战就在于为电动汽车开发出高仿真度的和有效的计算模型、可靠的分析方法以及综合性的集成工具。

本方向研究内容包括三部分：关键零部件、工具/ 方法和系统集成。美中 CERC-CVC 团队将进行 14 个补充项目。包括：设计出高效紧凑的电机、研发底层驱动控制芯片与上层能源管理算法、对关键传动系统的 NVH 分析，故障诊断和故障预测方法，以及快速的系统集成方法。

方向四：先进的电池与能源转换技术

先进电池与能源转换技术由密西根大学、麻省理工学院、北京理工大学和清华大学共同牵头研究，主要研究目标：（1）增强现有锂离子电池的鲁棒性；（2）开发出具有极高比能量的新化学体系电池；（3）研发出废热回收利用的新一代热电材料，其性能达到现有材料的两倍。为了达到目标，必须对锂离子电池的性能衰减特性、老化机理进行详尽的分析研究，继而形成延长电池循环寿命的设计原则。另外，电极的固体电解质界面膜（SEI）和钝化膜的结构和化学特性也需要与循环寿命相互联系来分析研究。除了研究锂离子电池外，我们同样会研究基于金属-空气和锂-硫的新体系电池，以实现更高的比能量和较低的成本。对于锂-空电池的研究，重点放在化学反应路径和催化机理方面，并应用研究结论来设计催化剂和电极的微观结构，以便于提高比能量，减小滞后现象。最后，应用于废热回收利用的超级热电材料的设计取决于选择合适的掺杂物，例如：使用 $CoSb_4$（方钴矿）可以增强导电率，同时降低热传导率。

本方向的研究内容包括三部分。第一部分的研究重点是电池使用过程中的材料性能演变和衰减过程基础研究。美方将会结合先进的建模工具和试验方法，确定原子结构、电极微观结构和电池性能（包括性能衰减）之间的关系。中方将根据这些基础研究的结果，结合其在材料合成与电化学测试方面的经验，进行电极材料的开发。第二部分的重点将会集中对目前的锂离子电池的性能衰减机理进行多尺度的分析研究。美中双方都会利用材料特性和多尺度建模技术，从电极微晶到电池组的所有层面来揭示锂离子电池的性能衰减现

象。电池性能衰减的关键机理的结论会为后续的加速寿命实验提供理论依据。该方向的第三部分任务是新体系电池的基础研究，最终的目标是大大提高电池的比能量。美方将致力于锂-空气电池的研究，同时，中方将会进行基于锂-硫电池的研究。由于两种电池的动力学过程都很缓慢，因此美中双方将会密切合作共同克服电池的这一缺点。

在热电学方面，密西根大学（UM）与武汉理工大学（WUT）有着长期合作的关系，双方都致力于开发基于 $CoSb_4$ 的热电材料。武汉理工大学研究小组在构建 $CoSb_4$ 结构的稳定纳米材料处于领先地位，而这一研究是合成高效的纳米热电材料的先决条件。在过去的三年里， UM-WUT 团队已经在该领域的学术权威期刊上发表了 5 篇论文。武汉理工大学两名学生已经被密西根大学录取并正在密西根大学工作。俄亥俄州州立大学同样也与密西根大学和浙江大学有着良好的合作关系。与中方团队的武汉理工大学紧密合作将会促进国际能源机构的热电测量标准化工作。

方向五：先进的生物燃料和清洁燃烧技术

先进生物燃料和清洁燃烧技术研究由密歇根大学和上海交通大学共同领导，其目标是研究生物燃料的特性，并设计最佳燃料和发动机工作过程，以实现清洁燃烧、高效做功和提高其全寿命周期内的性能。从上述研究中获得的知识将有助于找出基于理化特性的最优燃料构成，以及实现清洁、高效燃烧的发动机控制策略。面临的技术挑战包括，开发生物燃料燃烧预测模型、测量实验室条件下新分子结构的理化特性以及测取它们在发动机上的性能。

本方向研究内容包括三部分：先进生物燃料的构成；在新型燃烧模式下，生物质燃料的缸内特性和排放；用以最大化利用先进生物质燃料优点的内燃机和辅助动力单元的设计/标定。在 8 个相互补充的研究课题上开展工作，包括：先进生物燃料理化特性、低温和高负荷情况下生物燃料的雾化和混合过程、着火延迟和化学反应动力学、生物燃料的缸内燃烧，包括污染物生成和爆震抑制，生物燃料发动机和 APU 的优化设计和标定。

本方向将基于上海交通大学和密歇根大学在先进生物燃料燃烧方面的长期合作研究基础上展开，该合作已拓展至联合培养学生、共同撰写科技论文、共享互补性研究设施（含基础燃烧装置和发动机）等。 通过双方共同努力，合作研究团队将研究在中美两国如何选取生物燃料，开发综合考虑区域限制（农业、土地、水、天然气）的生物燃料原料和转化技术，并规划双方在下一代生物燃料及发动机的战略合作。此外，中美双方的合作将加深我们对于哪种生物燃料在先进发动机中表现更好的理解，从而为发动机及合成燃料设计人员提供具有重要参考价值的反馈，并对一系列不同特性的燃料进行不同发动机及标定策略下的燃烧一致性研究。

方向六：先进的轻质材料和结构

在由密西根大学、俄亥俄州立大学和清华大学合作研究的项目第六方面，主要目标是为采用先进轻质材料来制造低成本、高能效、高性能的超轻质车身及其他结构开发指导性框架、方法和研究工具。无论汽车的动力能源形式是什么，减小车身重量是降低行驶能耗的有效方法。可是，在车身结构中使用铝合金、镁合金、碳纤维复合材料等轻质材料受到材料本身的性能、成本和制造加工性能的限制。我们所面临的技术挑战包括在轻质材料的加工、成型、连接以及将这类轻质部件优化集成在车身结构的过程中实现低成本、高能效、高质量的过程。

本方向的研究内容包括材料、组件、组装和结构 4 个方面。中美 CERC-CVC 项目组将承担 14 个合作性的子项目，其中包括：设计，轻质合金和复合材料部件的制造技术和过程分析，轻质材料车身的装配过程，基于多种超轻质材料的车身结构设计。为了保持项目竞争力，我们将研究重点集中在提出总体框架、方法、工具和途径，以及产生样本数据、工艺过程和案例示范。 我们的中方合作伙伴是清华大学和上海交通大学，他们在铝镁压模铸造和轻质材料成型方面的专长对我们是一个补充，他们的汽车碰撞实验室和汽车制造演示实验室也是确保项目成功的关键资源，这也是美方团队不具有的设施。