U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

中美清洁能源中心
清洁汽车联盟

向指导委员会汇报

欧阳明高 (中方主任, 清华大学)

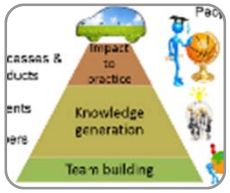
彭 晖 (美方主任, 密歇根大学)

2015.6.1

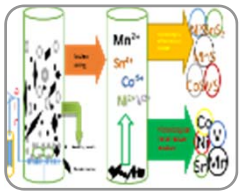
美国 华盛顿

Outline

CVC1.0研究成果总结



CVC1.0最后一年安排



CVC2.0五年研究计划

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

中美清洁汽车联盟指导委员会纲领

- *“心怀壮志，大胆创新；*
- *让更多的科研人员参与到研究合作中来；*
- *加强和现有企业的合作，引入新合作伙伴；*
- *聚焦高产出的特定研究领域；*
- *提高研究质量和相关课题的影响力；*
- *利用其他人的平台和资源；*
- *发展和研究技术路线图，帮助实现两国共同利益，达到2020年发展的里程碑。”*

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CVC 1.0 研究内容

1. 先进电池和能量管理

2. 生物燃料与清洁燃烧

3. 车辆电动化与控制

4. 轻量化与碰撞安全

5. 车联网与基础设施

6. 系统分析与技术路线图

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CVC1.0构成

学术界&国家实验室合作伙伴

U.S.

University of Michigan

The Ohio State University

Massachusetts Institute of Technology

Sandia National Laboratories

Oak Ridge National Laboratory

Argonne National Laboratory

jbei Joint BioEnergy Institute

China

Tsinghua University

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CVC1.0构成

企业伙伴

U.S.

China

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CVC1.0组织管理构架

美方主任：
彭晖

副主任：
倪军

中方主任：
欧阳明高

副主任：
王贺武

副主任：
邱新平

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CVC年度技术交流会议

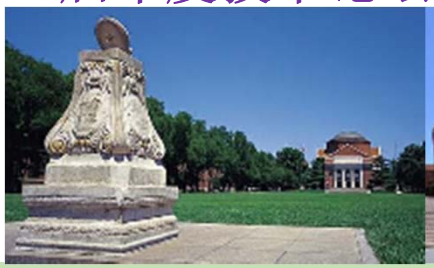
启动会议，密歇根，2011.1

第一届年度技术论坛，北京，2011.10

第二届年度技术论坛，密歇根，2012.8

第三届年度技术论坛，北京，2013.8

第四届年度技术论坛，密歇根,2014.8



第五届年度技术论坛, 北京, 2015.8.17-18
（即将举行）

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

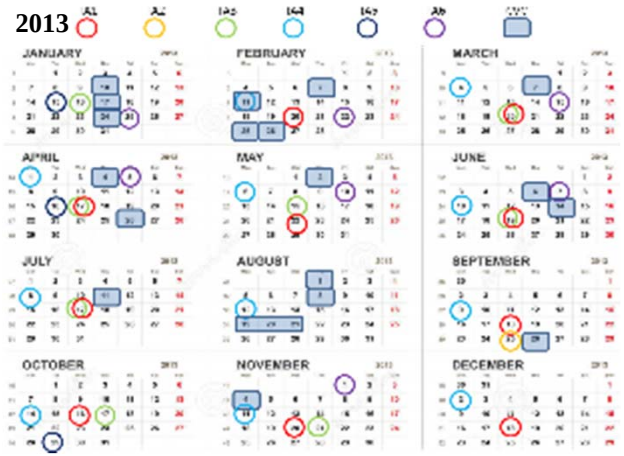
中美电动车和电池技术座谈会

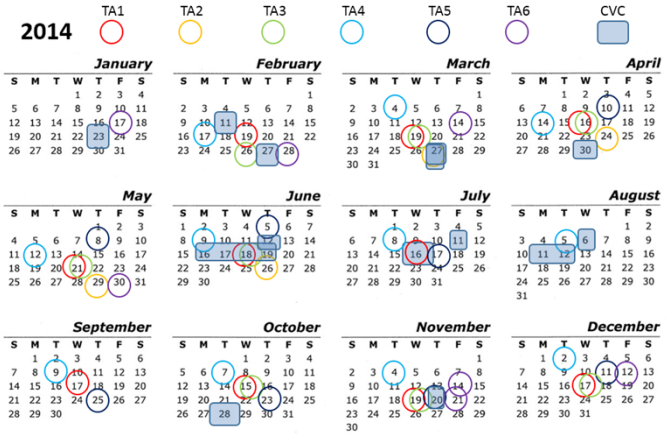
- 第一次：2009.9在中国北京
- 第二次：2010.9在美国芝加哥
- 第三次：2011.3在中国北京
- 第四次：2011.8在美国芝加哥
- 第五次：2012.4在中国杭州
- 第六次：2012.8在美国波士顿
- 第七次：2013.4在美国伯克利
- 第八次：2013.9在中国成都
- 第九次：2014.8在美国西雅图
- 第十次：2015.3在中国北京

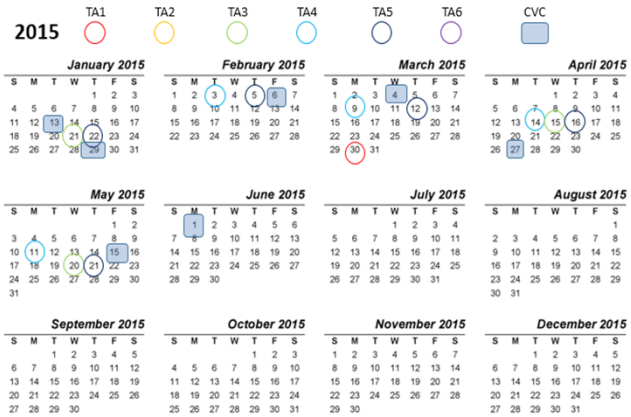
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

合作领域日常技术交流会议

在2012-2015使用Web-meeting (多数由独立TA完成)







U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

人员交流

姓名	身份	TA	日期
Caihao Wang	Ph.D. (UM)	TA2	05/11-06/11
Xiankun Huang	Ph.D. (THU)	TA1	07/11-08/12
Xiaowu Zhang	Ph.D. (UM)	TA2	06/12-06/12
Xuerei Ma	Ph.D. (SJTU)	TA2	12/12-12/13
Mingxuan Zhang	Ph.D. (THU)	TA2	01/13-02/13
Cong Hou	Ph.D. (THU)	TA2	06/13-08/13
Yugong Luo	Prof. (THU)	TA5	08/13-08/14
Xuning Feng	Ph.D. (THU)	TA3	12/13-12/14
Tze-You Song	Ph.D. (THU)	TA1	12/13-12/14
Tanjin He	Ph.D. (THU)	TA2	01/14-06/14
Lin-Jun Song	Prof. (BHU)	TA6	06/13-06/14
Yong Xia	Prof. (THU)	TA4	
Han Hao	Prof. (THU)	TA6	
Xiaobin Zhang	Ph.D. (THU)	TA6	

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

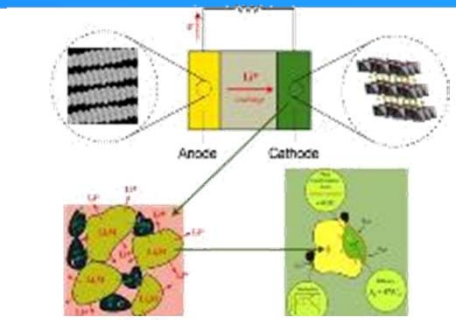
总体进展情况

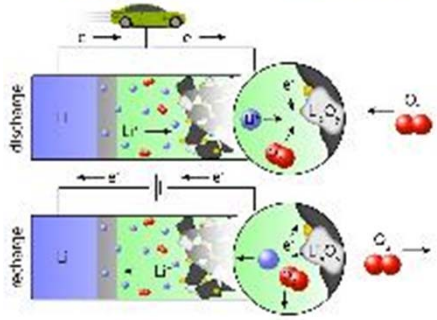
- 组织双边工作会议、研讨会、专题讨论会
  - 5 次联盟内会议，10 次电动汽车和电池研讨会
  - 每年多于100次的技术交流会议（多数由独立TA完成）
- 发表期刊及会议论文
  - 多于350篇发表或接受，联合20
- 知识产权公开入档；美国，中国和国际专利
  - 中国专利71项，美国28专利（中方申请20项）
- 人员交流情况
  - 完成100人次短期访问，30次长期访问（>30天）

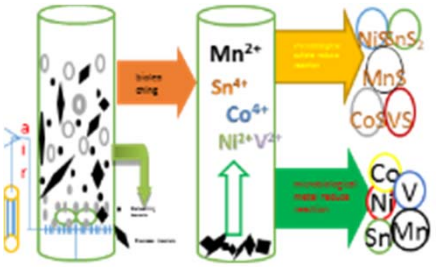
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

任务1：先进电池和能量管理

- **电池性能衰变机理**：
  结合模型与先进的表征手段研究锂离子电池性能衰变的机理。
- **电池模型与智能管理**：
  发展基于能量平衡的电池管理系统；对比两国电池性能与安全性测试标准与方法；发展电池梯级利用及电池回收的可能途径。
- **新型电池体系**：
  探索电极反应新机理、开发新型电极材料与电极结构，推动锂硫电池与锂空气电池的产业化。
- **电池测试标准、电池回收和再利用**：
  电池测试和安全的方案评估、探索电池回收再利用的方法。





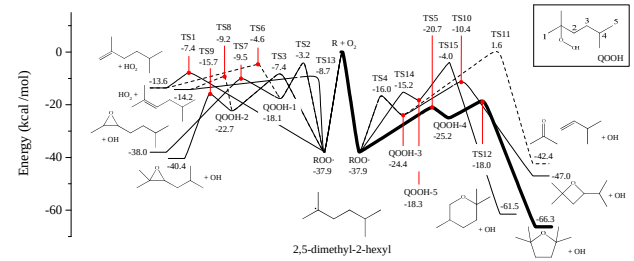


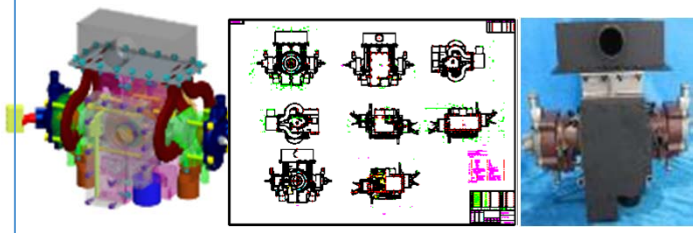
University of Michigan · Oak Ridge National Laboratory · Argonne National Laboratory · Sandia National Laboratories · MIT · The Ohio State University

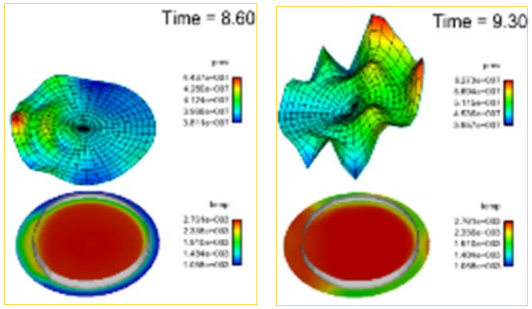
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

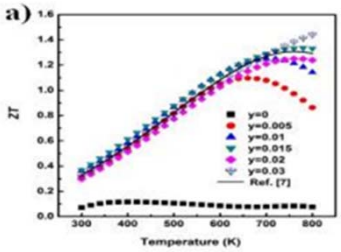
任务2：生物燃料与清洁燃烧

- **生物燃料**：
  对利用微生物合成法制造的纤维质生物燃料，进行计算、实验研究。
- **APU发动机**：
  增程式发动机的挑战和机遇。
- **动力总成和发动机后处理的集成**：
  整体考虑燃料性质、燃烧模式、发动机后处理系统和混合动力总成。
- **新的热电材料**：
  研发具有高品质因数的高效热电材料以及合成方法。





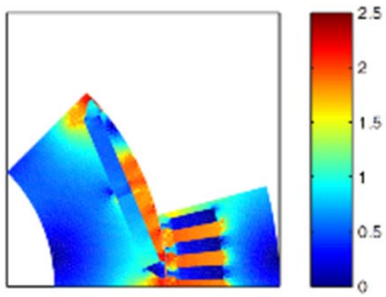


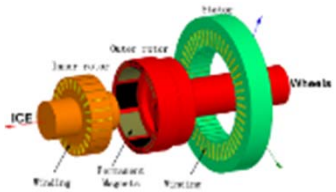


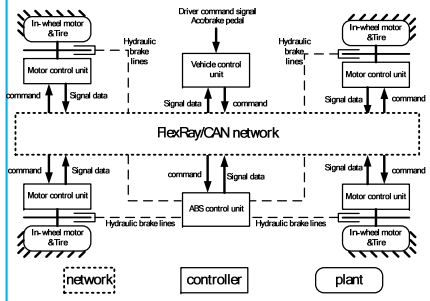
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

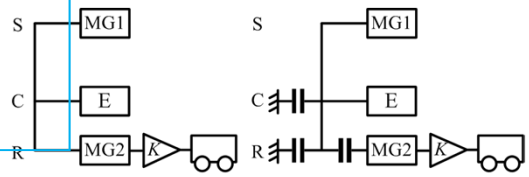
任务3：电驱动系统和控制

- **部件设计和优化：**研发模型，实现电机和动力电子设备的快速、精确设计和最优化。
- **动力系统和分布式汽车控制网络：**研究电动汽车的危急通信和控制问题。
- **系统集成技术：**对高效混合动力汽车动力系统的模型开发，标准制定和控制。
- **基于数据的电池模拟和健康监控：**基于模型的电池管理系统。







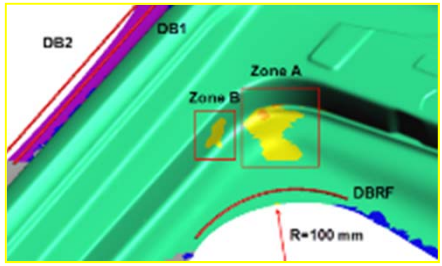


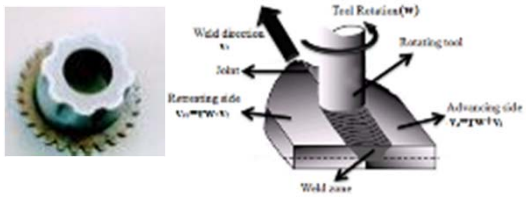
(a) The original Prius (b) The Prius++

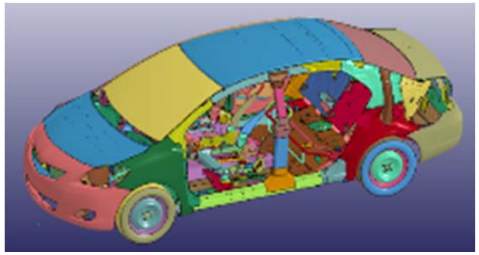
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

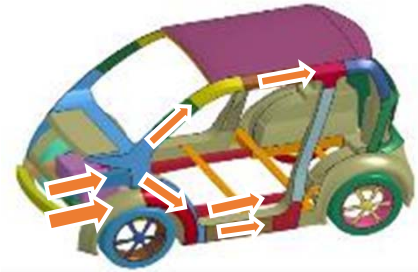
任务4：电动汽车轻量化与碰撞安全性

- **车身轻量化制造过程**：研发低成本、节能和高质量的生产过程，来生产体积成形轻量化材料，并且联接不同的轻量化材料。
- **具有轻量化结构的电动汽车的设计**：利用成熟的成形和联接技术，将轻量化部件最优化地整合到汽车结构中来的指导、工具和方法。
- **轻量化电动车的碰撞安全**：利用试验和计算法对轻量化材料组成的部件和集成的防撞性进行评价。







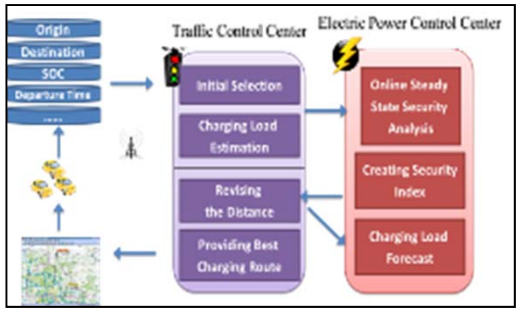


University of Michigan · The Ohio State University

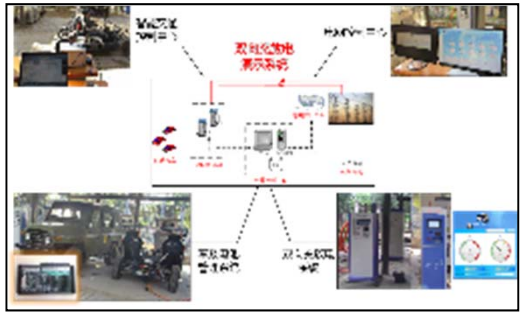
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

任务5：车辆-电网智能交互系统

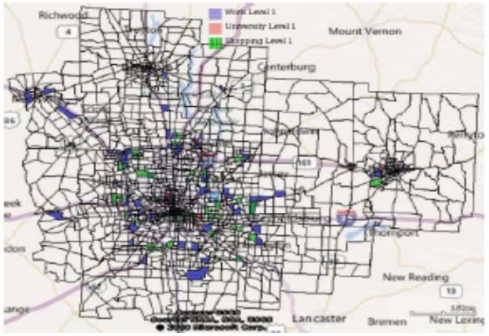
- **车辆–电网交互**：电动汽车接入电网后对电网的影响评估，研究技术和政策建议来加速电动车在中国、 美国的部署。
- **车辆–电网整合**：研发车辆–电网交互的控制策略和技术标准。
- **信息网络**：利用智能交通系统技术来最优化车辆充电设施和电能应用。



Smart Charging Guiding System (SCGS)



EV-RES Coordination



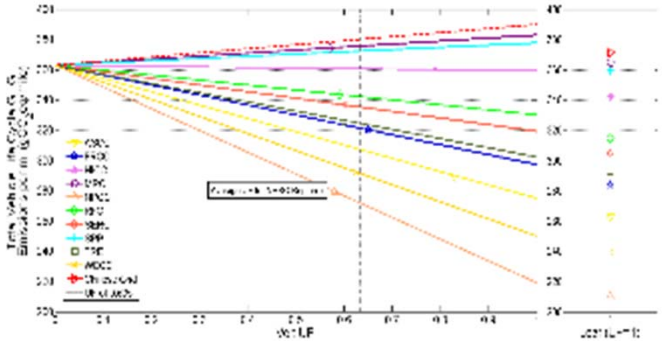
Charging infrastructure design

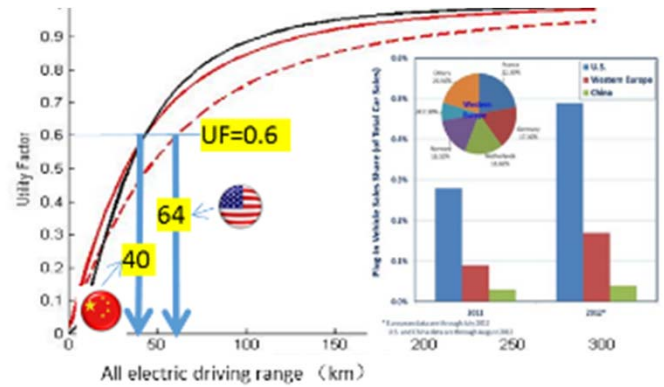
University of Michigan
The Ohio State University
Oak Ridge National Laboratory

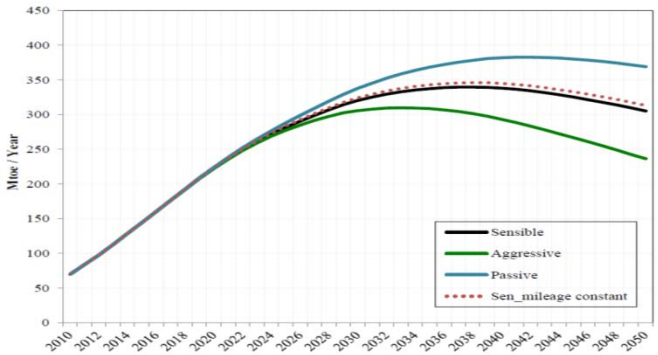
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

任务6：电动汽车的能源系统分析

- **生命周期评价**：研发提高电动车能源效率和完成碳排放目标，评价电动汽车动力系统和轻量化的全生命周期性能。
- **大数据共享**：大城市的驾驶特征信息，世界范围的电动车数据库。插电式混合动力汽车的效用因子。
- **路线图和策略**：确认最优化的燃料混合策略和约束；加速电动汽车布局的建议。







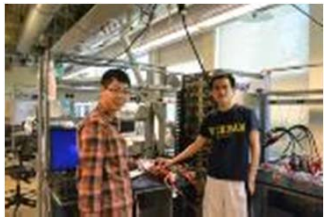
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

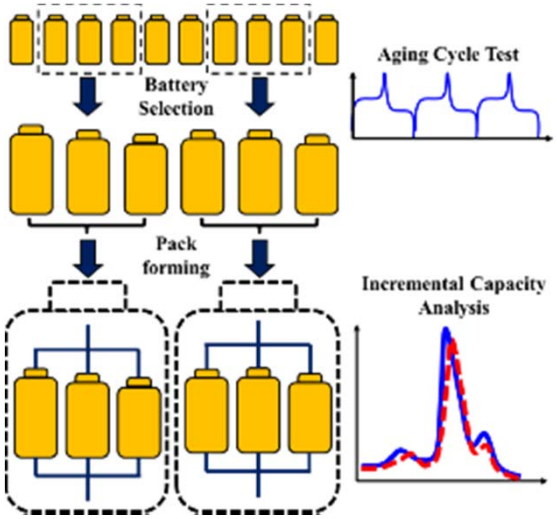
从2014年7月取得的成果

- 开始固体电解质原型和测试的研究
- 基于共享测试数据的电池安全研究
- 热电材料的新的合成方法
- PHEV车控制与能量管理
- 充电模式及对电网的影响
- 研发了对于功率分流混合动力汽车的高效、详尽的设计过程-与Ford和DENSO密切合作
- 与DENSO合作的无线充电展示
- 开始对使用车联网技术和自动驾驶技术的清洁能源汽车进行建模仿真。
- 新能源客车生命周期分析

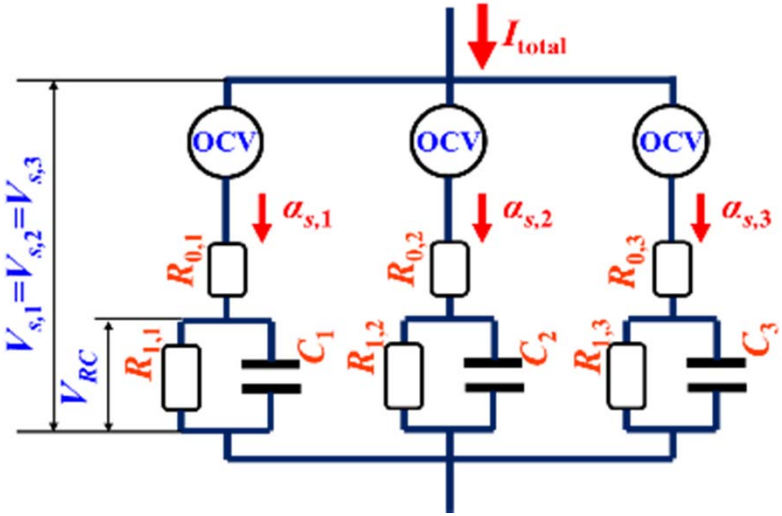
电池模组寿命衰减

- 分选老化后电池与组成电池模组

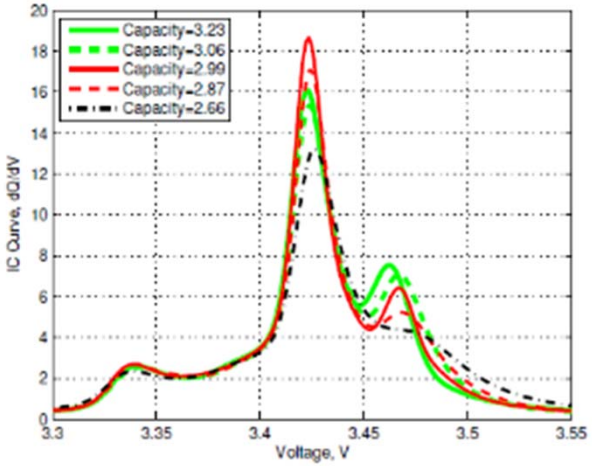


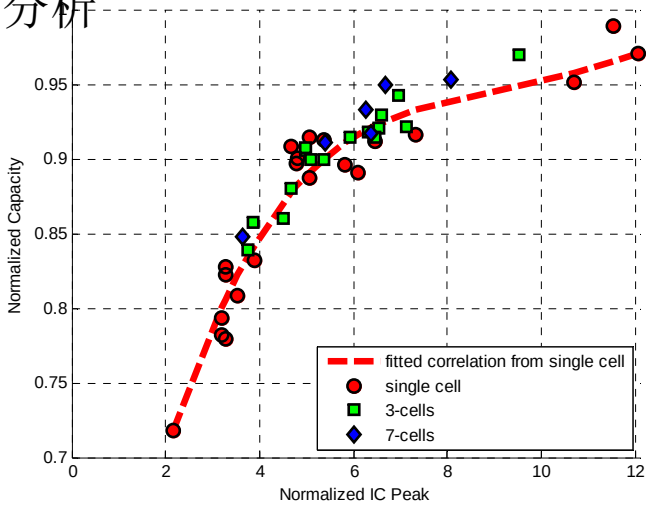


- 电池模组等效电路模型



- 使用容量增量法(ICA)进行电池模组的寿命衰减分析





U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

进行汽车废热回收的高效热电材料

- 对热电材料运用自蔓延高温合成反映(SHS)，集中研究方钴矿， Mg_2Si，半赫斯勒合金和Bi_2Te_3。
- 利用扫描热显微镜（SThEM）研究SHS合成的材料的均匀性。
- 搭建和测试热电材料单元原型的性能。
- 寻求工业合作伙伴，进行基于SHS制造技术的热电材料大规模单元开发。

方钴矿运用SHS

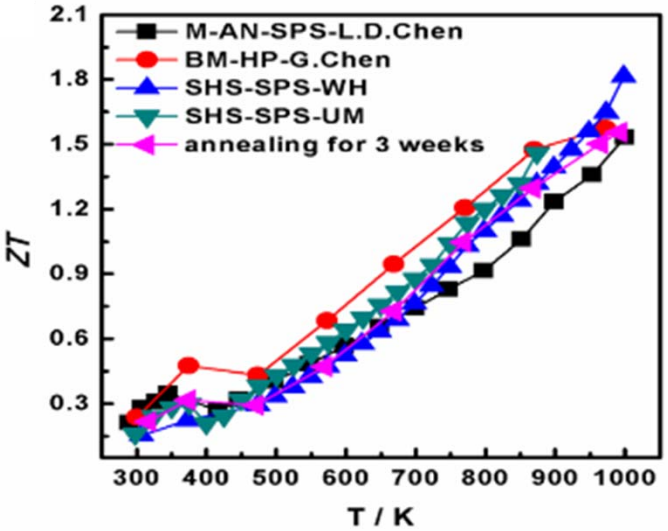


Figure of merit of SHS-synthesized Cu_2Se [*Nature Commun.*]

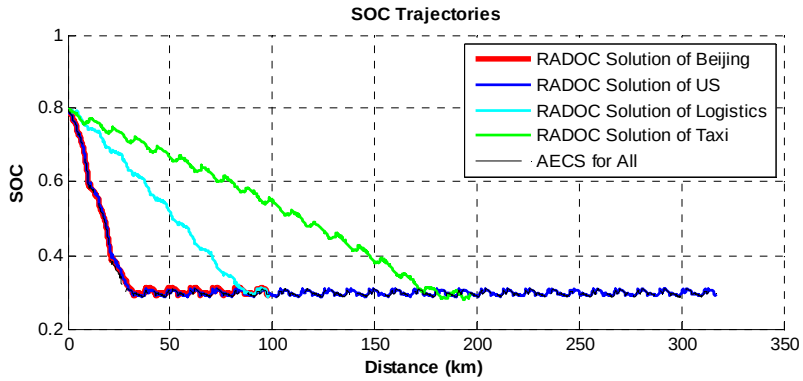
A thermoelectric couple developed jointly by UM and WHUT using n-type Mg_2Si and p-type Cu_2Se with conversion efficiency of 7%

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

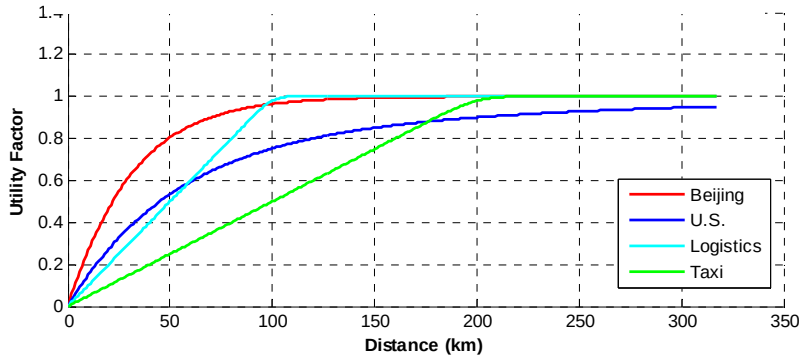
PHEV汽车最优控制

1. 传统CDCS策略有利于外充电能的利用；
2. Blended策略有利于长距离出行的油耗；
3. 每日出行里程不同，PHEV最优能量管理策略应该具有自适应性，并且以平均油耗作为优化目标。

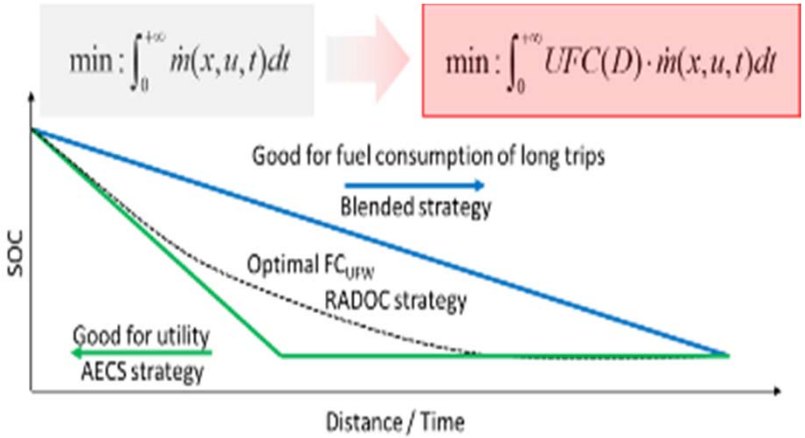
提出以平均油耗作为优化目标的策略；
提出了基于动态规划的里程自适应控制策略RADOC；
RADOC策略对于常规出行的优化结果近似于传统AECS策略；对于特殊出行的优化结果近似于Blended策略，且该策略可以实现根据里程分布的自适应优化控制。



不同里程分布对应的最优策略SOC轨迹



不同里程分布对应的UF曲线

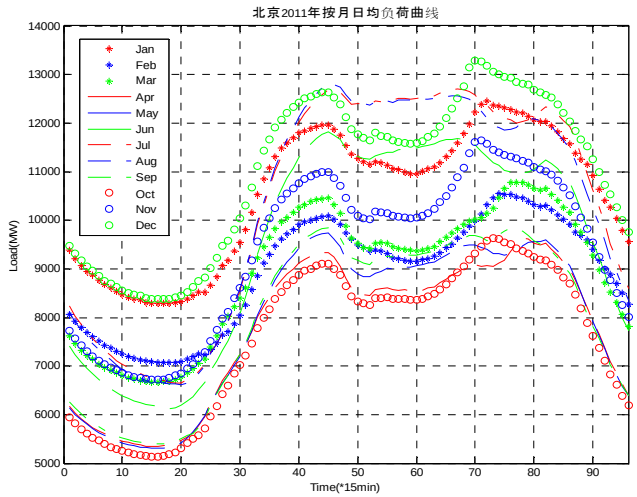


里程分布	北京	美国	物流车	出租车
传统AECS策略 (L/100km)	2.24	3.37	3.74	4.41
RADOC策略 (L/100km)	2.22	3.35	3.59	4.33
油耗降低比例	0.72%	0.69%	4.07%	1.82%

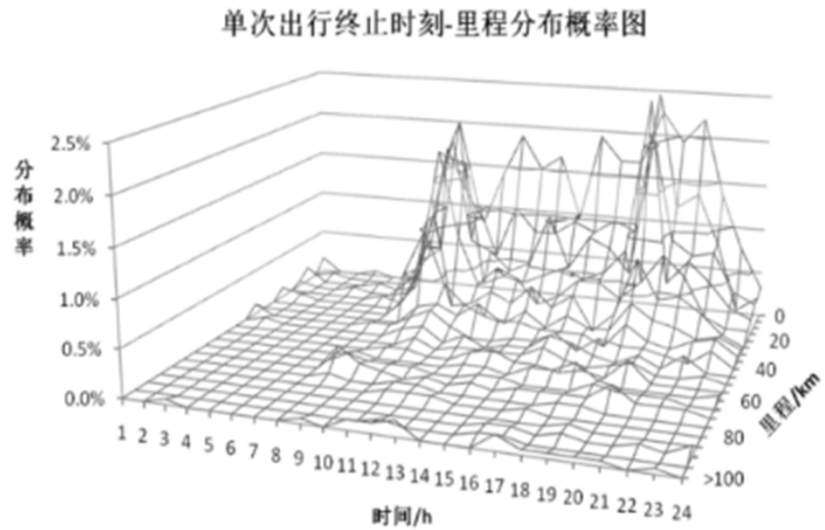
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心

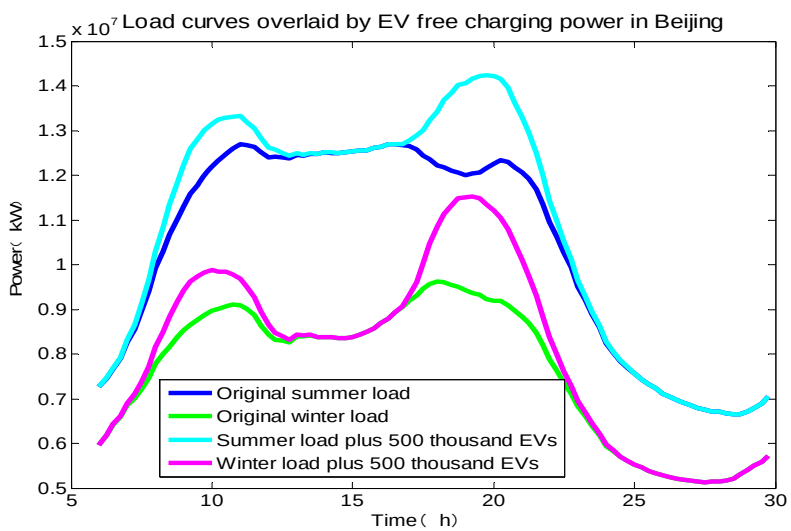
基于出行特征的车-网影响

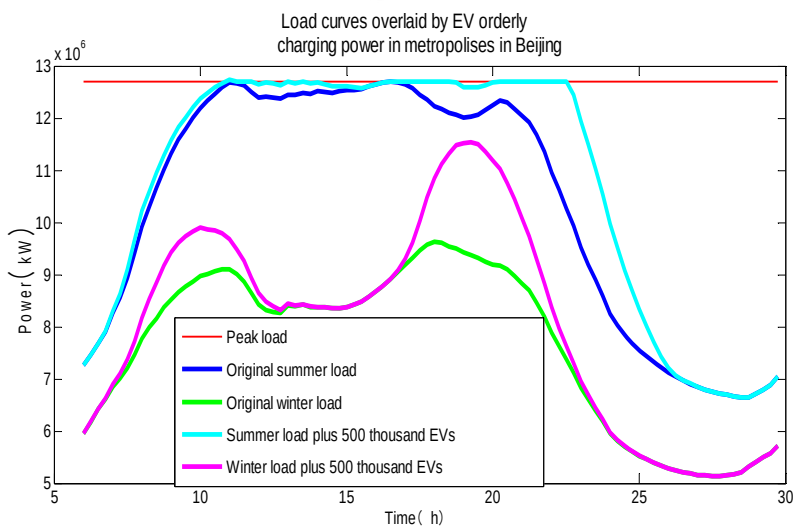
私人汽车出行特征和充电行为(有序或自由充电)对电网负荷曲线的影响



Electricity load curves in Beijing （2011）

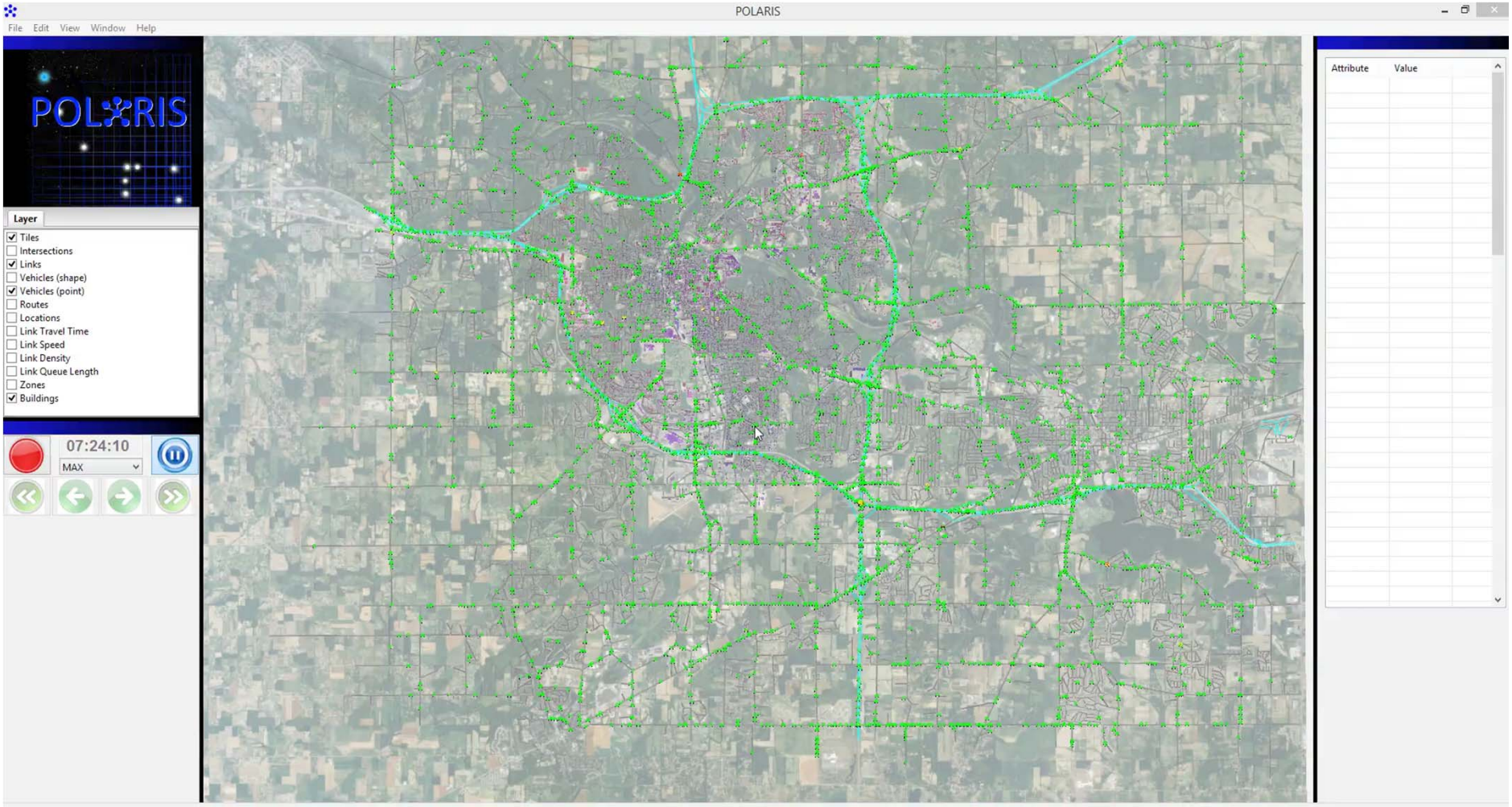






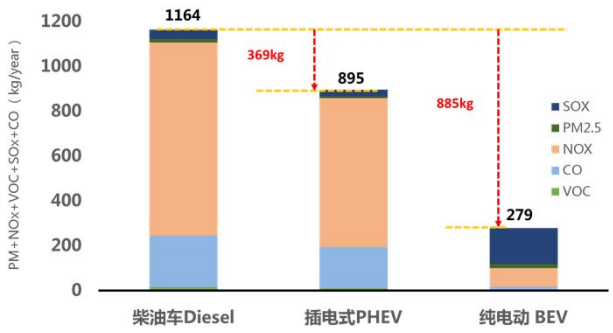
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心

服务于车辆网的区域交通流模拟

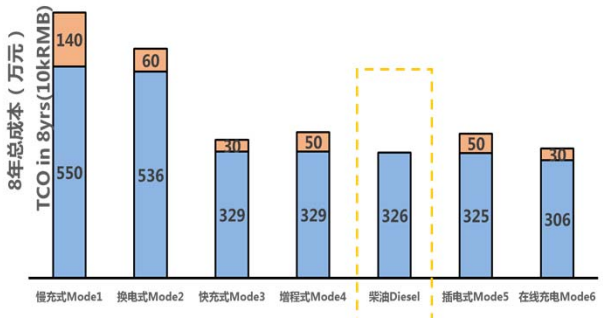


U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

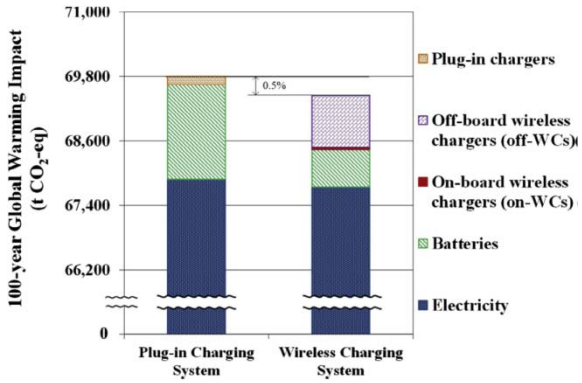
新能源商用车路径分析



- 各类新能源公交车全寿命周期碳排放及PM、NOx等污染物的排放都低于传统燃油公交车。
- 快充与在线充电两种纯电动公交车与插电式混合动力公交车具有较明显的经济优势。

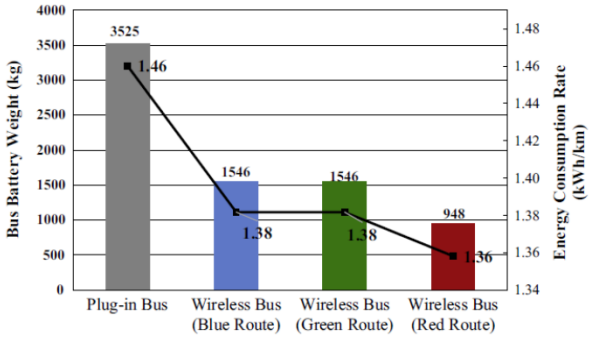


六种不同电动技术/商业模式的城市电动大客车（中国）的生命周期评价



与固定充电相比，无线充电在公交车上应用的好处：

- 电池容量减少到 **27–44%**
- 能耗减少**0.3%**
- 全生命**GHG**减少**0.5%**

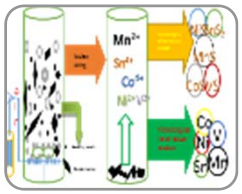


电动大客车的插电和无线充电模式的全生命周期评价（安娜堡案例）

Outline

CVC1.0研究成果总结

CVC1.0最后一年安排



CVC2.0五年研究计划

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

Pathways to Implementation Projects

UM-Siegel	Demonstration of Solid-State Batteries
UM-Peng	A Systematic Design Procedure for Double Planetary Hybrid Vehicles
OSU-Rizzoni	Torque Security in an Electrified Vehicle
UM-Ni	Friction Stir Welding of Dissimilar
UM-Mi	A Wireless Magnetic-Resonance Transmission System for EV Charging
UM-Keoleian	Electricity and material sourcing scenario analyses to guide vehicle technology strategies

Ford: F-150 power split hybrid design

DELPHI: Diagnosis of electrified powertrain

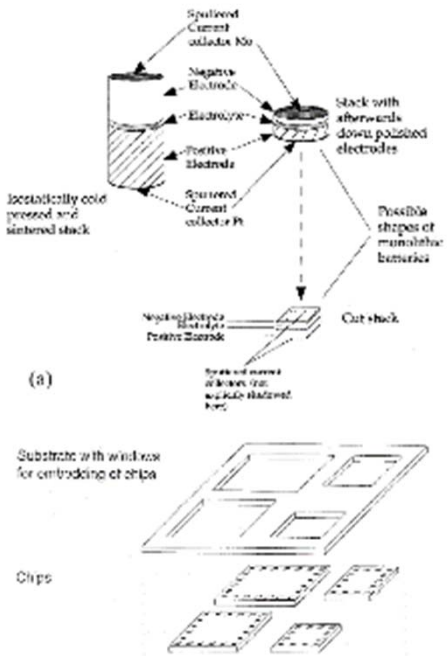
EATON: Drivetrain lightweight structure simulation

DENSO: Wireless charging prototype

一年资金支持，用来进行明确的“技术转移目标”所有项目都有指定的企业赞助商

固态电池

- 高能量密度和潜在的低成本电池



Weppner *et al.* (1999)

Climate Change Committee (2012) Final Report prepared by Element Energy Limited, Cambridge, UK .

+) 没有有机物，不会退化
+) 在空气中合成、制造
+) 封装上成本大幅度降低
+) 不易燃
+) 温度升高，性能更佳

+)接口完整性
+) 动力学/能量
+) 热机械应力

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

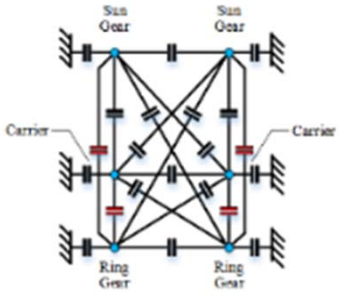
双行星轮混合动力卡车

自动模拟，模式筛选和识别

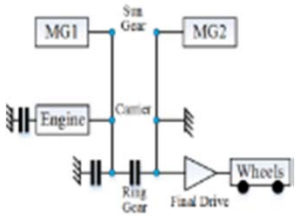
驾驶性能筛选

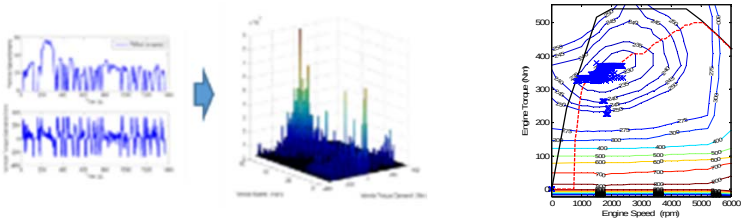
一种快速和接近最优的控制策略-the PEARS+

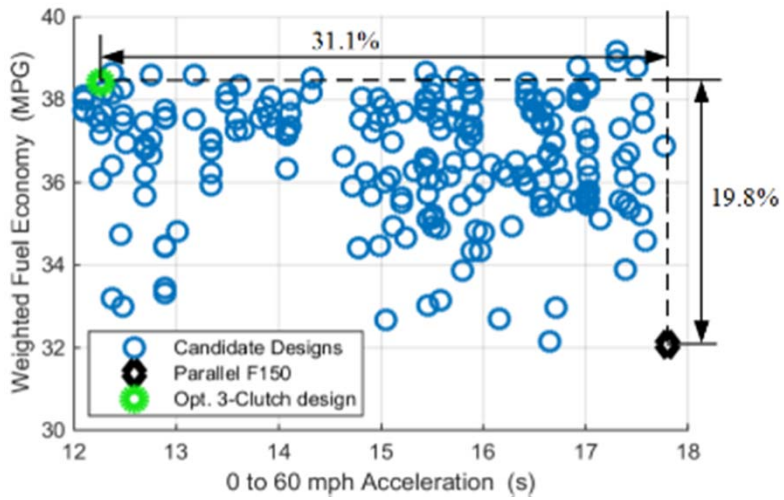
在可控的空间中设计候选人



$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_{out} \\ \dot{\omega}_{eng} \\ \dot{\omega}_{mg1} \\ \dot{\omega}_{mg2} \end{bmatrix} = A^* \begin{bmatrix} T_{load} \\ T_{eng} \\ T_{mg1} \\ T_{mg2} \end{bmatrix}$$

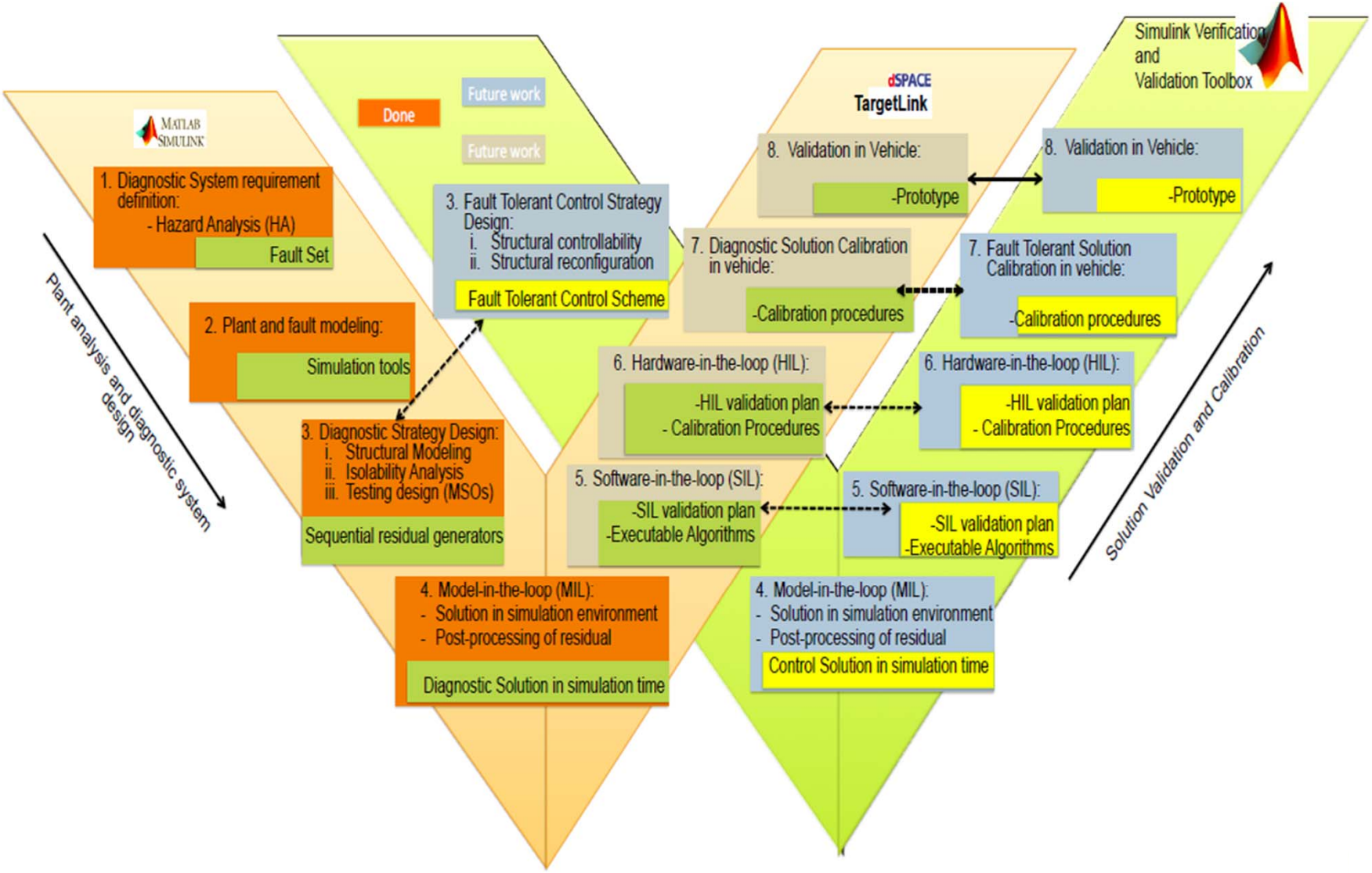






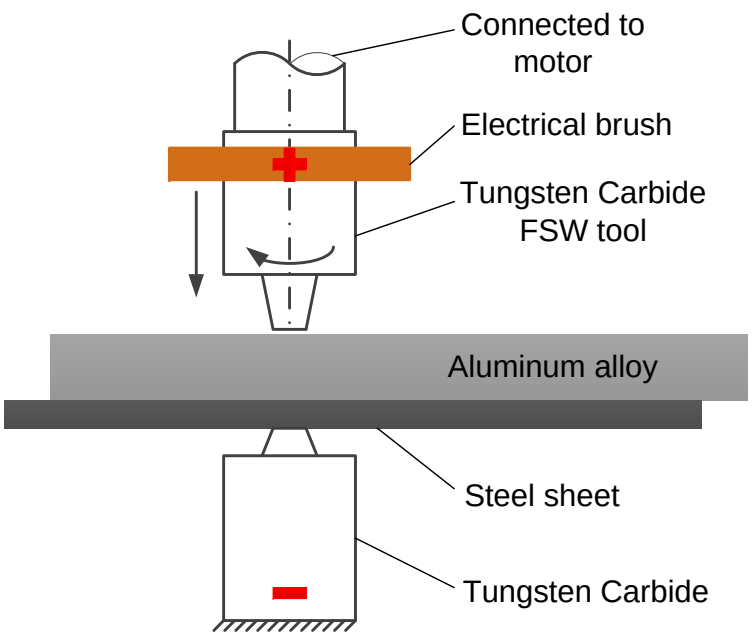
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

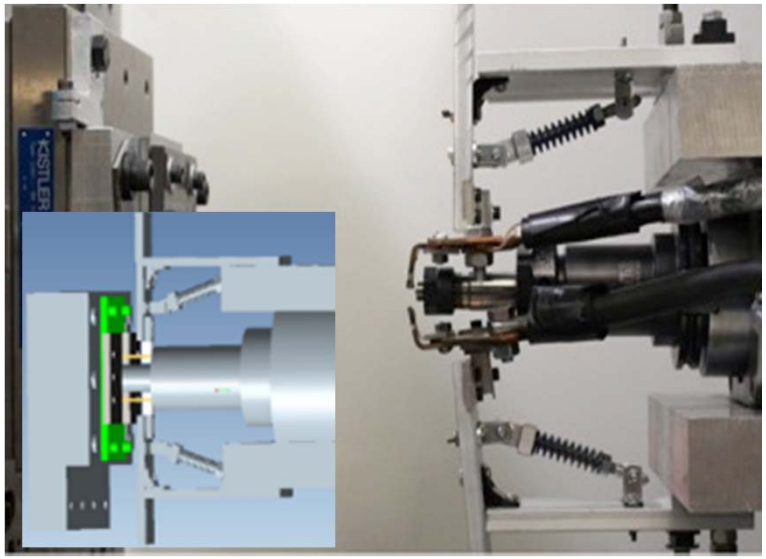
电动汽车的扭矩安全

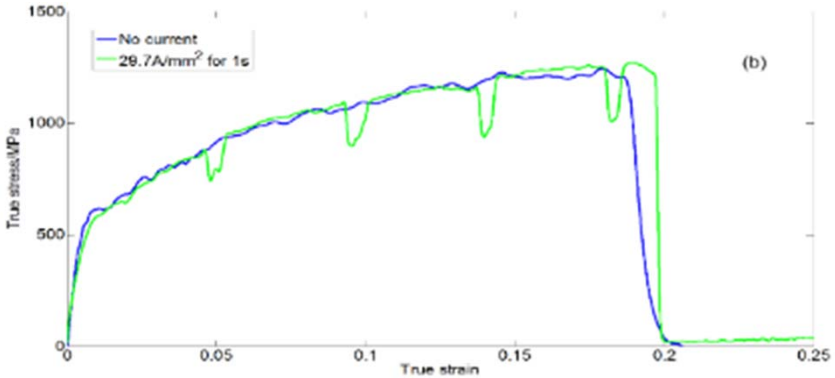


电子辅助的摩擦搅拌焊接

- 将现有的摩擦搅拌焊接拓展到点焊，不同材料和厚度的被加工件的焊接



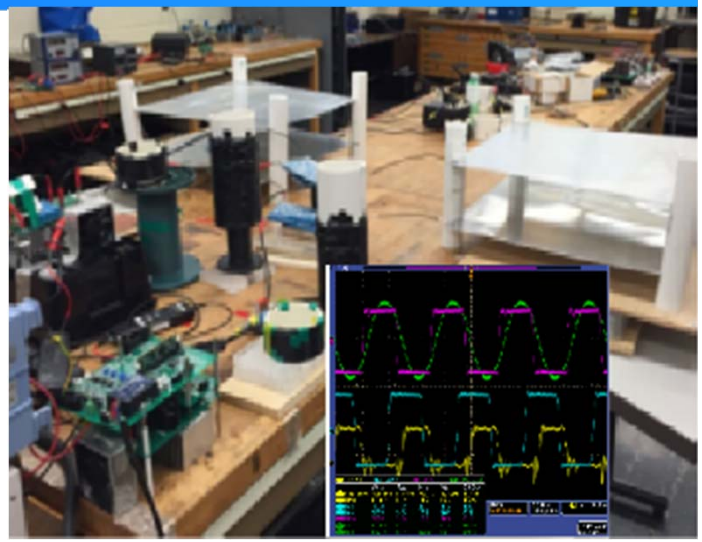


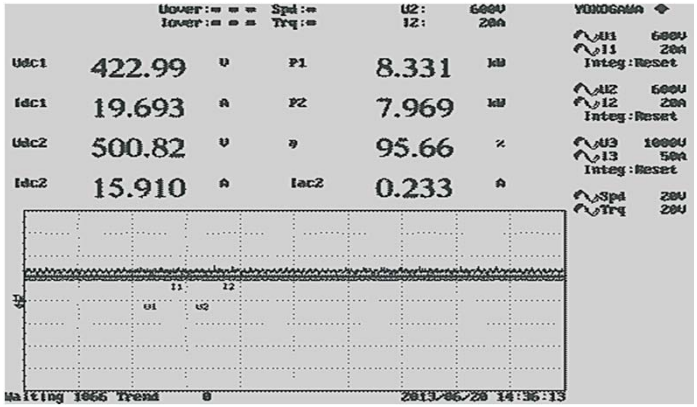


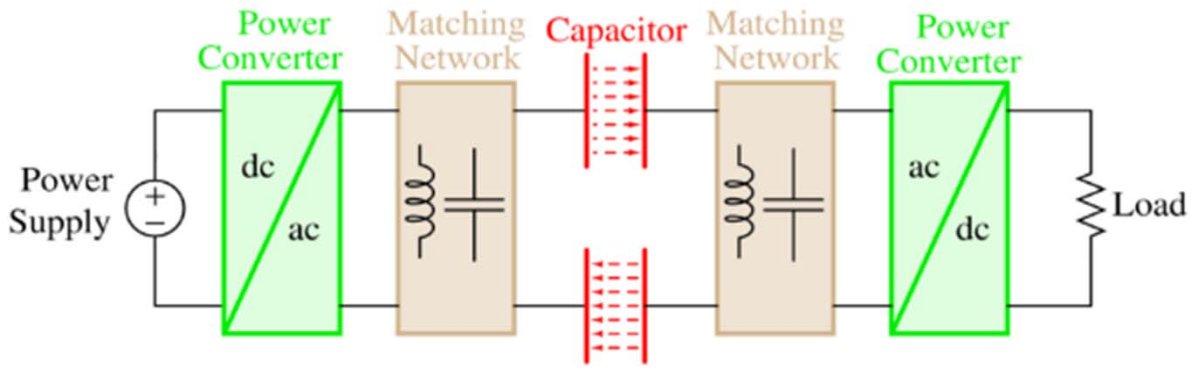
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

电动车无线充电系统

- 与DENSO合作搭建了一个22kW的两面可无线充电的系统（效率约为93%），将系统整合成电动车或者混合动力概念车。
- 展示/验证无线电能传输（WPT）的功能和实际问题（通信，目标检测，安全，非线性，标准）的解决方案
- 将研发针对容性功率转移和动态目标识别的IPs



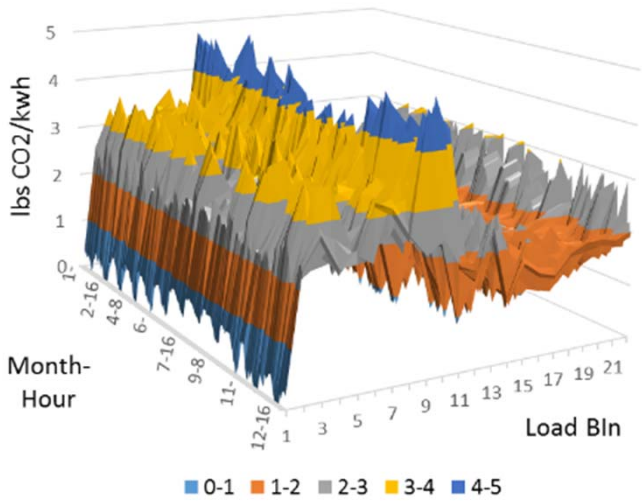




电能和材料源情景分析

区域电网排放模型

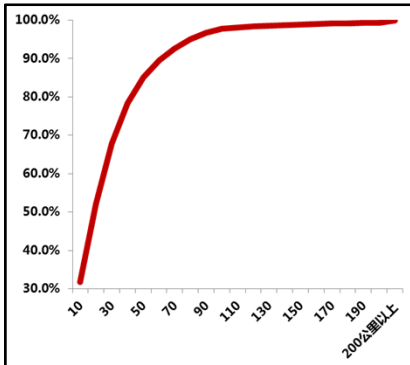
- 温室气体排放模型将会强调：：
  - 时间变化
  - **未来燃油价格**
  - 发电**机的折旧和更新**
  - 电**能的**进**出口**



电网排放模型可以用来支撑实现决策和路线图的算法

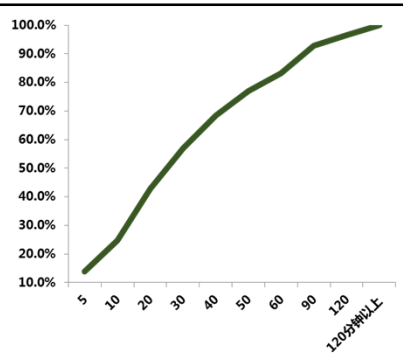
U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

基于观察的PHEV运行分析



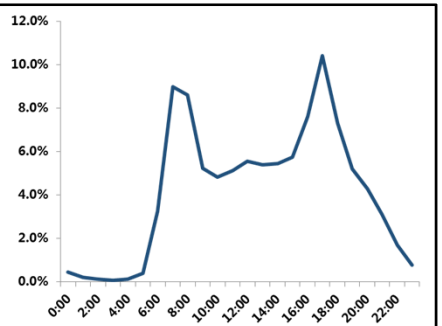
PHEN用户行驶里程累计分布图

每次平均行驶里程36公里



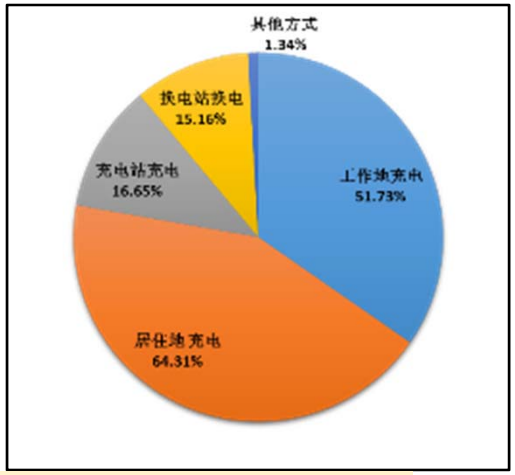
PHEV用户行驶时长分布图

每次平均行驶时间35分钟

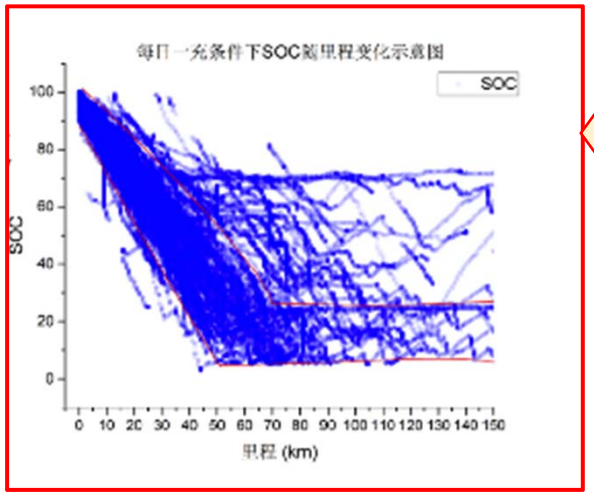


PHEV用户行驶时间分布图

每天行驶高峰早7点，晚6点

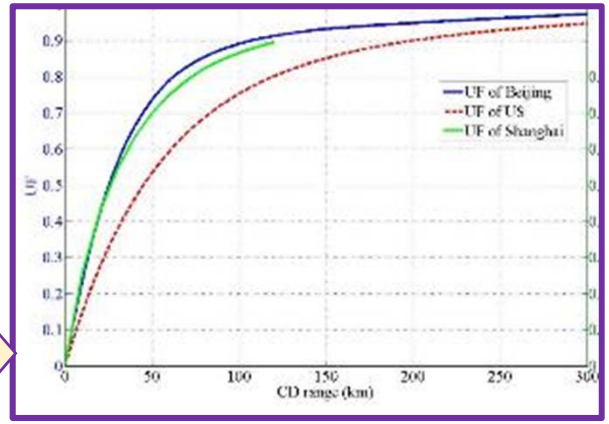


BYD秦PHEV上海地区用户的分析
（2014年，50辆车，33万km, 1万次出行,7500车天,3300次充电）



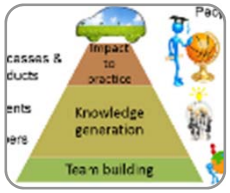
电池性能衰减影响因子的识别与分析

节能效果与基础设施普及的内在关系

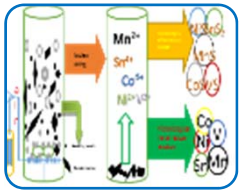


Outline

CVC1.0研究成果总结



CVC1.0最后一年安排



CVC2.0五年研究计划

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CERC-CVC 2.0: Organization

Argonne NATIONAL LABORATORY

Director:
Don Hillebrand

Deputy Director:
Michael Wang

Deputy Director:
Khal Amine

Director:
OUYANG Minggao

Deputy Director:
Wang Hewu

Deputy Director: Qiu Xinping

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

研究背景

中美气候变化联合声明(2014.11)

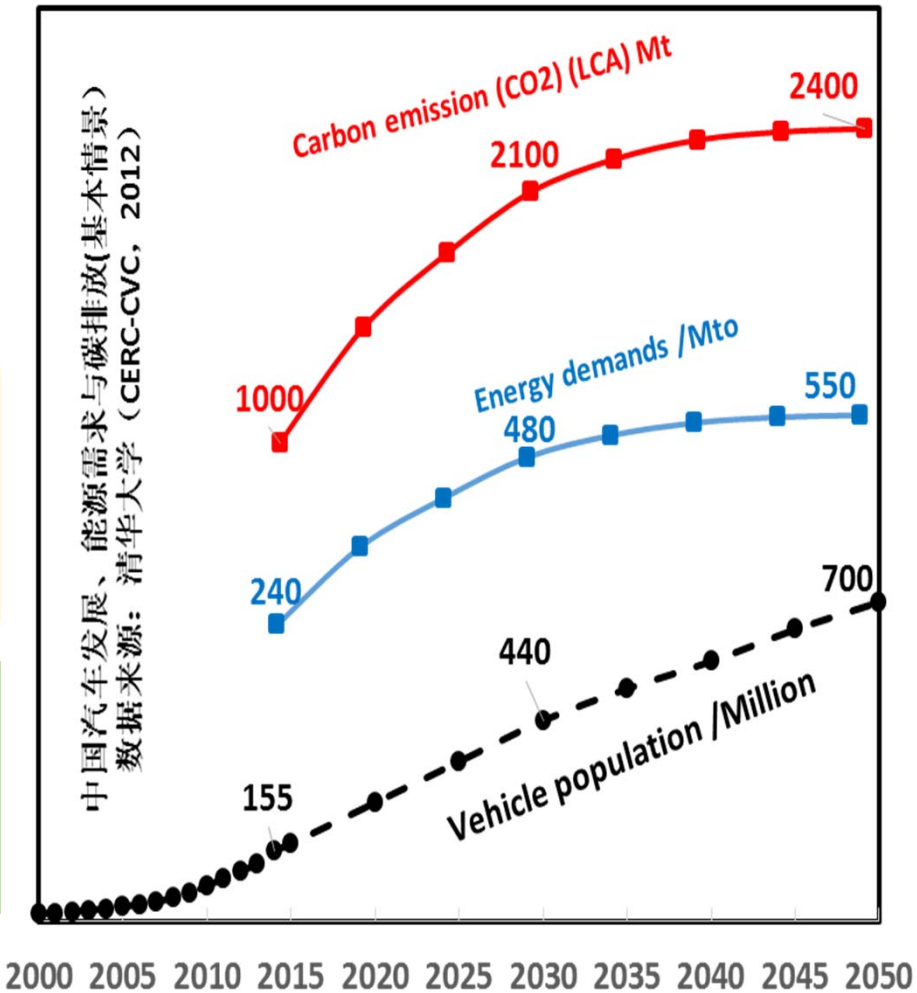
- 中国计划2030年二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰
- 美国计划2025年二氧化碳比2005年减排26%并努力减排28%

中国 2030年，常规发展情景：

- 汽车保有4.4亿辆，是2015的3倍
- 能源需求4.8亿吨油(当量),增1倍
- CO2排放21亿吨(LCA),增1倍

满足能源需求,降低碳排放途径：

- 采用电驱动(能效提高)
- 供应更加清洁的电力(可再生能源）
- 更高的清洁汽车比例(加快市场进程)



U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

研究领域：从CERC1.0到CERC2.0

1. 先进电池材料与系统集成
2. 清洁燃烧与辅助动力单元
3. 电驱动系统构型与优化
4. 轻量化车身与材料
5. 车联网与基础设施
6. 系统分析与路线图

1. 先进电池技术

2. 先进车辆技术

3. 网联汽车

4. 系统分析

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

1.先进电池技术

1.1. 新一代动力电池技术（北京理工、清华大学与阿岗 等）

- 锂硫电池：比能量达到400Wh/kg，循环寿命超过500次
- 全固态电池：能量密度达到300Wh/kg，循环寿命达到2000次以上
- 锌离子电池：低成本0.1美元/瓦时、安全、无污染、高比功率

1.2. 动力电池安全性与耐久性（清华大学、力神、与阿岗、NREL 、UM 等)

- 锂离子电池衰退的物理化学机理
- 基于材料、界面、单体、模块、系统的多层次安全机制
- 电池系统热失控触发与传递机理

1.3.电动汽车动力电池管理系统（清华大学、 CTL与UM、阿岗 等）

- 电池系统动态建模
- 基于模型的电池状态估计方法
- 动力电池管理系统

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

2. 先进车辆技术

2.1.先进发动机控制技术(清华、中科院、威斯康辛、阿岗 等）

- 先进燃烧控制技术
- 发动机附件电动化技术
- 热-机-电耦合等节能减排技术

2.2.纯电与混合驱动系统(清华、北汽、OSU、精进、中科院、阿岗、克莱斯勒 等)

- 分布式驱动乘用车技术
- 高效驱动电机等纯电驱动技术
- PHEV机电耦合装置技术

2.3.车身结构轻量化与碰撞安全性（清华、通用五菱、长安、福特、MIT 等）

- 电动汽车轻量化车身材料与设计
- 持久机械-热应力耦合交变下电动汽车电池系统结构强度
- 突变碰撞载荷下电池包结构变形损伤与轻量化保护结构

2.4.先进中重型车技术(清华、中国重汽、与阿岗、EDI 等)

- 混合动力商用车技术
- 燃料电池商用车技术

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

3.网联汽车与充电基础设施网络技术

3.1智能汽车技术(清华大学与UM、阿岗 等 **)**

- 智能汽车电子电气架构框架
- 智能汽车环境感知与决策技术

3.2智能电动汽车测试与评价技术(中国汽车技术中心、清华大学与阿岗 等 **)**

- **FOT**数据库及数据分析研究
- 智能化电动汽车测试方法研究及试验平台建设
- 智能电动汽车测试规范

3.3无线充电技术 (清华大学、中兴与UM、DENSO 等**)**

- 无线充电技术比较、标准法规、电磁安全
- 高效低成本充电系统

3.4充电基础设施系统技术 (中国汽车技术中心、清华大学与阿岗 等 **)**

- 充电接口和通讯协议/标准。开展中美充电基础设施的兼容性研究
- 充电网络与能源互联网融合技术

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

4.系统分析技术与政策驱动措施

4.1新能源汽车规模示范大数据分析及应用(清华、 ANL、UM 等)

- 基于海量数据的动力电池性能衰减与寿命评估
- 新能源汽车出行特征与能量优化管理
- **NEV**循环工况与电池循环工况适应性-中汽中心-**ANL**

4.2先进技术系统分析与综合利用技术 (清华、UM、电科院、ANL 等)

- 车联网与自动驾驶的能源与环境影响全寿命周期分析
- 电池系统的全生命周期分析与梯级高效利用技术
- 先进车辆驱动技术对标分析与工况适应性

4.3.激励政策评价与技术路线图 (百人会、清华、ANL、UC-Davis 等)

- 车共享、分时租等新模式；新能源汽车货币激励政策与非货币政策研究
- 技术发展路线图与市场推广应用

U.S.–China Clean Energy Research Center
中美清洁能源研究中心
Clean Vehicles Consortium

CERC 2.0 CVC: Target, Contents & Milestone 2016-2020

年度标志性成果指标

TA4 系统分析

- 电动车动力电池大规模梯次用在电网储能系统中实现
- 万辆PEV出行特征及电池寿命与能效优化技术突破
- 美国加州基于碳排放积分的交叉补贴政策在中国新能源汽车推广中取得重大效益

TA3 网联汽车

- 无线充电效率达到95%，成本低于50＄/千瓦
- 智能电动汽车测试与评价分析平台
- 基于车联网的智能汽车综合节能达到20%以上

TA2 车辆技术

- 高效高比功率驱动电机技术转移与产业化
- 轻量化与高安全电动轿车车身技术与产业化
- 新能源商用车产品技术转移与产业化
- 热-机-电耦合混合动力发动机有效效率达到55%以上

TA1 电池技术

- 2016：电池管理系统技术转移与产业化
- 2017：锌离子电池：成本达0.1美元/瓦时、比功率1千瓦/公斤以上
- 2018：三元锂离子动力电池安全性与耐久性机理突破（论文与科技奖）
- 2019：全固态电池：能量密度达300Wh/kg，循环寿命达2000次以上
- 2020：锂硫电池：比能量达到400Wh/kg，循环寿命超过500次

谢　　谢！