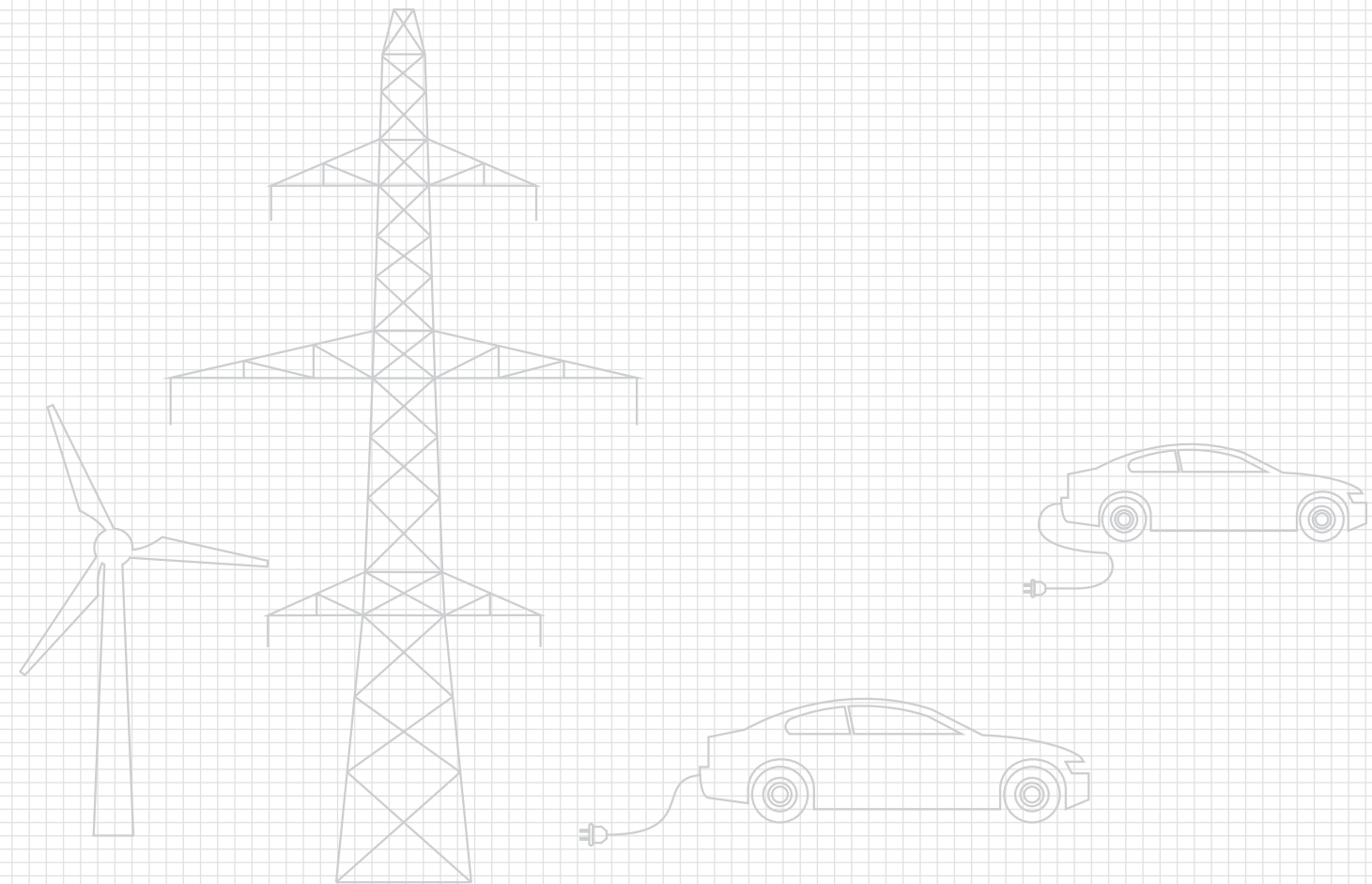


电动汽车 · 需求响应 · 可再生能源 协同推动低碳发展

执行摘要



联系我们

自然资源保护协会 (NRDC)
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编: 100026
电话: +86-10-5927 0688
www.nrdc.cn

致谢

自然资源保护协会（NRDC）在 Rosa Ovshinsky 女士的资助下启动了“电动汽车-需求响应-可再生能源协同推动低碳发展”项目，并于项目第一阶段完成本研究报告，为后续试点项目的开展打下理论基础并提供国际经验。

在此感谢三益公司（Energy & Environmental Economics）的 Frederich Kahrl 先生对本报告第四章的编写。更特别感谢同济大学的韩延民教授和上海电器科学研究所的张少迪博士对报告进行审阅并提出宝贵的意见和建议。

对上述专家的致谢不代表他们赞同本报告所陈述的全部观点。

课题组

陈震华	陈笑	Freda Fung
高天健	Hyoungmi Kim	李玉琦
刘明明	Collin Smith	Mona Yew
袁梦瑶	周晓竺	

目录

1. 背景介绍	2
2. 国际经验	4
美国：圣地亚哥天然气电力公司（SDG&E）电动汽车电网整合试点	
美国：太平洋天然气电力公司（PG&E）- 宝马试点项目 i ChargeForward	
NRG 能源公司 - 特拉华大学试点项目 eV2gSM	
爱尔兰：电力供应委员会（ESB）FINESCE 电动车规模预估项目	
德国：宝马公司柏林有序充电试点	
韩国：济州岛智能电网测试平台	
3. 中国已为整合电动汽车、需求响应和可再生能源做好准备	10
4. 电动汽车与电网、可再生能源协同发展可以实现经济和环境效益	14
经济效益	
环境效益	
5. 利益相关方面面临的机遇与挑战	21
6. 三方整合的解决方案	24
政府提供强有力支持	
电改形势下电网企业积极求变	
市场带来多种商业机会	
三方整合项目将取得多种示范成果	
附录：中国有开展试点项目潜力的城市分析	27

背景介绍

清洁能源和清洁交通策略的协同实施，有助于加速实现中国的减排目标

为应对日益严峻的污染和气候变化问题，中国政府制定了雄心勃勃的污染物和温室气体减排目标。^{1、2} 对于正处于经济快速增长、城镇化快速发展阶段的国家来说，这些目标极具挑战，需要根本性地改变国家的能源生产和消费方式。为实现目标，中国政府出台了一系列政策法规，以加速能源结构从化石燃料主导转型到可再生能源和能效主导。

2014年，中国启动了新一轮的电力体制改革，旨在确保电网安全性的同时，提升能源利用效率，并加大对可再生能源的使用。在电力部门，中国政府承诺全面推动新能源汽车³产业，将其作为应对污染和气候变化、确保能源安全的重要战略，同时树立中国在电动汽车领域的领先地位。然而，电力部门在大规模消纳可再生能源，尤其是消纳间歇性的风电和光伏发电时，面临诸多困难。⁴ 同时，在中国仍然以化石能源作为主要电力供应的情况下，电动汽车对改善空气质量和应对气候变化的贡献十分有限。此外，如果中国电动汽车成功的实现了大规模推广，无序充电（尤其在峰荷时段充电）模式将威胁到电网可靠性、加剧电网峰谷差、增加地区发电边际成本。

电动汽车，结合其它需求响应资源，可向电网提供有益的服务，包括平滑负荷曲线、改善电网运行和效率、帮助电网消纳更多可再生能源，等等。因此，同时实现电动汽车产业发展、电网效率提升和电网低碳化的途径，是一个整合性的解决方案，即将电动汽车与需求响应和可再生能源整合，通过利用电动汽车的特点（现阶段有序充电，长期将实现V2G），为电网提供有益的服务，同时为国家实现减排目标做出积极贡献。

实现电动汽车与需求响应、可再生能源的整合，将带来多重机会

中国已经出台政策大力推动电动汽车和可再生能源的发展，同时国家高度重视需求响应作为完善电力应急机制、平衡供需、节能减排的重要手段。实现这三者的整合主要带来以下一些机遇：

<p>电动汽车和需求响应可为电网提供支持</p>	<p>电动汽车对电网的益处主要来自于其充电灵活性。智能、有序的充电模式，结合需求响应服务，将有助于电网平滑负荷曲线、提升容量利用效率、延缓输配容量升级，等等。同时，如果电动汽车和电网实现双向互联（V2G模式），则电动汽车可通过V2G向电网提供调频服务，即电网临时性从电动汽车获取电能以保证电网可靠运行。同时，这种整合可以降低电力系统的综合成本。</p>
--------------------------	--

<p>新电改下的新型商业模式</p>	<p>新电改政策出台，促进了需求响应的发展，并鼓励采用电动汽车提供辅助服务，⁵ 以实现燃煤机组的替代。在这种政策环境下，非电力部门（例如电动汽车制造商，充电设施运营商，等）可以扮演负荷集成商⁶的角色，参与提供电力辅助服务。</p>
--------------------	---

<p>电动汽车规模化发展将有助于电网消纳可再生能源，电动汽车也将真正实现零排放</p>	<p>在中国，由于可再生能源生产和消费的区域不匹配，给电网远距离、大规模消纳可再生能源提出严峻的挑战。电动汽车的发展在短、中期内可以结合微电网和分布式发电等形式利用区域性的可再生能源，长期发展形成一定规模后，可增强电网的灵活性，通过有序充电方式和V2G功能实现电网对可再生能源的消纳。而对可再生能源的利用也确保电动汽车获得清洁的电力供应，真正实现零排放。</p>
---	---

中国应立即采取行动，开展整合电动汽车、需求响应和可再生能源的试点项目

我们预期电动汽车最终达到的状态是，从低碳电网获取能源，真正实现零排放。目前距离这一目标还有很长的路要走。实现电动汽车、需求响应和可再生能源的协同发展，可以获得显著的收益，即通过电动汽车和需求响应，帮助电网实现安全可靠运行，并消纳可再生能源。中国应该立刻行动起来，开展试点项目，将电动汽车、需求响应和可再生能源的利益相关方聚集到一起，制定合理有效的整合方案，示范整合效果，并在全国推广。

借鉴国际经验，结合中国实际情况，开发三方整合项目的路线图

本报告重点介绍了国际上在电动汽车与需求响应和可再生能源整合方面的项目案例。同时，报告还评估了在中国推广三方整合项目的潜在体制和政策障碍，以及已经形成的有利于推广整合项目的政策和市场环境。

报告的组织结构如下：第二章总结了美国、欧洲和亚洲部分国家的三方整合经验；第三章分析了中国在推广三方整合项目方面的特有障碍和有利环境；第四章对整合项目的经济和环境效益进行了量化分析；第五章分析了三方整合给利益相关方带来的机遇和挑战；第六章总结全文，并提供了三方整合项目的短期和长期解决方案。

1. Full text: Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contributions, China.org.cn, http://www.china.org.cn/chinese/2015-07/01/content_35953590.htm (June 28, 2015).

2. State Council, Air Pollution Prevention and Control Action Plan, announced on September 12, 2015 (in Chinese).

3. 新能源汽车，包括纯电动汽车、混合动力车、燃料电池车等。本文电动汽车是指纯电动汽车和插电式混合动力车。

4. An estimated 11% of potential wind generation was curtailed in China in 2013. See National Energy Agency, 2014, Wind Industry Maintained Rapid Growth in 2013. (2013年风电产业继续保持平稳较快发展势头), http://www.nea.gov.cn/2014-03/06/c_133166473.htm.

5. 电力服务辅助服务，是指为维持电力系统安全稳定运行，以及为保证电能供应，满足电压、频率质量等要求所需要的一系列服务，主要包括调频、调峰、有功备用等。

6. 负荷集成商，扮演在电力公司和终端用户之间的角色，提供需求响技术，提高资源可靠性，管理项目参与。

2 国际经验

电动汽车在各国发展的动力有所不同

许多国家都将电动汽车视为重要的发展产业，并已推出众多支持性政策来加速电动汽车的普及。这些国家大力推动电动汽车发展的内在动力各不相同，有些国家将其当作降低污染排放和减轻气候变化的手段，而有些国家则希望通过普及电动汽车来摆脱对进口石油的依赖。欧盟有世界上最大的几个电动汽车市场，其雄心勃勃的温室气体减排目标引导了政府对电动汽车产业的补贴和支持政策的出台。而在美国，联邦政府补贴的出台大多出于国家安全的考虑，但是最有力的政策支持来自于各个州政府，而在这些政策制定时，环境也是一个关键考虑因素。加利福尼亚州拥有美国最大的电动汽车市场，对空气污染以及温室气体减排的考虑是其推广政策制定的主要基础。减缓气候变化以及减轻对进口石油的依赖同样是韩国出台电动汽车鼓励政策的重要依据。

电动汽车、需求响应以及可再生能源整合将带来众多优势

国际研究显示电动汽车和需求响应结合将平滑电力负荷从而提高电网效率

随着电动汽车在世界各地的加速普及，电力供应部门也开始研究大量电动汽车入网的方法。因为电动汽车比绝大多数家用电器的用电需求更大，大量电动汽车同时接入电网将带来负荷规模的巨大增加，给电网带来很大风险。如果大规模电动汽车并网发生在电力负荷高峰时段（例如傍晚时，车主下班回家并给汽车充电；或白天上班在高峰负荷时段给汽车充电），这会给电网稳定性带来风险。在其他的研究中，与电网连接的电动汽车所需电力在负荷高峰时可以占总电力需求的 25% 以上。⁷ 然而一些证据显示，这种对电网的风险可以通过引导车主在非高峰时间进行充电来平滑电力负荷曲线，从而提高电网运行效率。

电动汽车改善电力负荷的潜力

为使电动汽车充电更多发生在非高峰时段，车主们需要对供电部门的指令及时响应。最简单的方法就是提供以电力差价形式的价格激励：在非高峰时间充电享受更低电价的车主大多改变了他们的充电习惯，更多地非高峰时间充电。然而，研究也显示，如果分时电价和其他类似手段只是简单地给车主们发送了一个价格信号的话，通常会在低价时段开始时产生新的电力高峰。原因就在于，车主们都选择在低价电开始的时候便立即将电动汽车接入电网。南加州爱迪生公司（Southern California Edison）探索了解决之道，⁸ 发现可以通过经济激励使车主设置电动汽车“充满”指示，从而有效避免大量电力需求的涌入，具体来说，就是让车主设置汽车完全充满电的时间而不是开始充电的时间。

可再生能源结合潜力 改变电动汽车充电时间同样也给电网内并入更多的间歇性可再生能源提供了机会。风力和太阳能发电相对于传统的发电方式，如煤和天然气，不能有效地根据电力需求来调整供应，这就意味着过度供给的可再生能源将被弃用，例如在电力需求较低时的夜间出现弃风现象。在可再生能源渗透率在全球普遍增加的情况下，许多地区担忧这些可再生能源弃电将会导致大量的能源浪费。因为电动汽车在充电时间上具有一定的灵活性，通过调整电动汽车充电时间从而利用风力和太阳能发出的电力将变得可能。研究显示，在全世界领先的两个可再生能源市场，德国和美国加州，这种方式可以在 2030 年前降低超过 2/3 的供应过剩的可再生能源。⁹

应对电动汽车规模化发展的电网影响的国际案例

美国：圣地亚哥天然气电力公司（SDG&E）电动汽车电网整合试点

SDG&E 的试点项目有三大背景。

- 电动汽车的潜在电网冲击** SDG&E 服务区域内的电动汽车数量目前已达到 13000 辆左右，¹⁰ 预计 2024 年电力总需求可达 77.5 亿千瓦。¹¹
- 可再生能源并网需要** 圣地亚哥县现有 2 亿千瓦的太阳能发电能力，¹² 规模位列加州第二。电动汽车有序充电可以设置在白天太阳能充足时接入电网，吸纳源自太阳能的电力，从而帮助缓解太阳能发电在白天日照充足时产能快速爬坡、傍晚产能又快速下降而对电网平衡构成的威胁。¹³
- 避免电网设施建设升级，节省成本** 美国能源与环境咨询机构 E3 预计，至 2020 年，全加州仅因满足电动汽车充电需要所需电网建设升级的资金就达到 4 亿美元。而有序充电、错峰充电可将此成本降至 1.5 亿美元。¹⁴

在这些背景下，SDG&E 在 2014 年推出了一项为期 10 年的（2015-25）电动汽车电网整合试点项目，就减轻电动汽车对电网负面影响、挖掘其潜在益处开展实际探索。针对电动汽车无序充电对电网的冲击，SDG&E 开发了两套计划：

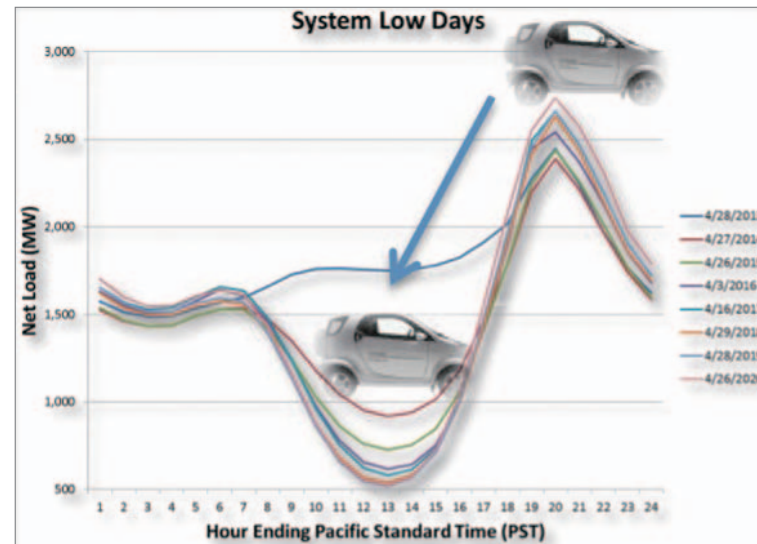
7. Letendre et al. "Plug-In Hybrid Vehicles and the Vermont Grid: A Scoping Analysis." University of Vermont Transportation Research Center. Page 25.
 8. Southern California Edison. "Southern California Edison's Key Learnings about Electric Vehicles, Customers and Grid Reliability." August 6, 2013. When customers set an "end charge" time for charging to be complete, they randomize the start time of their charging, which prevents a large number of vehicles from coming online at the same time avoiding power-load spikes that potentially could affect the local distribution system.

9. Dallinger, David; Schubert, Gerda; Wietschel, Martin (2012): Integration of intermittent renewable power supply using grid-connected vehicles: A 2030 case study for California and Germany, Working paper sustainability and innovation, No. S4/2012, <http://hdl.handle.net/10419/57926> 2月23日。
 10. Sempra Energy 新闻发布。"SDG&E Integrates Electric Vehicles and Energy Storage Systems into California's Energy and Ancillary Service markets." 2015年2月23日。
 11. "California Energy Demand 2014-2024 Final Forecast." 加州能源委员会最终报告，第 43 页。
 12. 同上。
 13. 自然资源保护协会工作报告，2015
 14. Energy and Environmental Economics, Inc. "California Transportation Electrification Assessment." 第 48 页。

分时电价激励 根据电网运行情况在一天各时段内的不同程度而提前一天为各个时间段设计可变电费，即所谓的车辆电网整合（Vehicle Grid Integration, VGI）试点费率。参与此计划的电动汽车驾驶者可通过手机应用程序或在网上获知第二天的 VGI 费率安排情况，并作出相应的充电时段选择。理想状态下，由于电网资源稀缺时电费较高，参与者将选择错峰充电，以得到较低的电价。SDG&E 将继续收集项目运行的数据，藉以研判这一可变费率结构对充电行为的导向作用，进而得知对于电网利用效率及电网负荷压力的实际影响程度。¹⁵

需求响应 试点参与者同意允许 SDG&E 通过软件远程调整电动汽车的充电时间，不在尖峰时段充电，从而提供需求响应，减轻电网峰荷压力。由于在尖峰时段承诺不充电，参与试点的电动汽车会以届时的边际电价水平得到相应的补偿。此外，SDG&E 也希望鼓励电动汽车在电网上存在可再生电力时开始充电，以帮助电网更好地消纳可再生能源。¹⁶

图 2.1 鸭曲线：电动汽车充电时间移到低谷时段¹⁷



15. Wood, Elisa. "The Electric Vehicle as a Power Plant: A California Utility Shows How It's Done." Microgrid Knowledge. 第 4 页。
 16. "SDG&E Integrates Electric Vehicles and Energy Storage Systems into California's Energy and Ancillary Service Markets." SDG&E 网络新闻发布。2015 年 2 月 23 日。http://www.sdge.com/newsroom/press-releases/2015-02-23/sdge-integrates-electric-vehicles-and-energy-storage-systems
 17. Graphs taken from a Powerpoint Presentation by SDG&E title "Vehicle-Grid Integration"
 18. "PG&E and BMW Partner to Extract Grid Benefits from Electric Vehicles." PG&E 网络新闻发布。2015 年 1 月 5 日。http://www.pge.com/en/about/newsroom/newsdetails/index.page?title=20150105_pge_and_bmw_partner_to_extract_grid_benefits_from_electric_vehicles

美国：太平洋天然气电力公司（PG&E）- 宝马试点项目 i ChargeForward

该项目的实施背景与前述圣地亚哥天然气电力的试点相似：规模可观的电动汽车保有量对电网构成压力（服务区域现有约 60000 辆电动汽车¹⁸）；吸纳更多可再生能源上网的客观需求；以及避免对额外电网设施进行投资从而节省成本的愿望。

100 辆宝马 i3 型电动汽车参与了这 18 个月的试点项目。当 PG&E 电网面临较大压力，有降低负荷的需求时，参与项目的驾驶人会通过应用程序收到 PG&E 发出的停止充电请求。如果驾驶人选择停止充电，宝马公司会远程中止充电进程，而驾驶人会因此获得一张价值 1000 美元的宝马代金券。¹⁹ 此外，试点项目还利用从先前展示用宝马电动汽车拆卸下来的电池，作为静态储能装置，在非峰荷时段吸收、贮存上网的可再生电力，并在需求增长的时段向电网提供这部分被事先贮存的电力。²⁰

NRG 能源公司 - 特拉华大学试点项目 eV2gSM

由于美国区域输电组织 PJM 服务区域所在各州之中很多都有强制性可再生能源上网比例（Renewable Portfolio Standards, RPS）的政策要求，可再生电力今后在该区域发展速度将会较快，对 PJM 电网的运行稳定性，尤其是交流电正常运行频率造成不利影响。²¹ 因此，调频服务规模的相应扩充必然伴随着可再生能源的并网量增长，新兴调频市场在此推动下也将不断壮大。在特拉华大学 2012 年的一个 V2G 试验项目中，每台电动汽车除去 V2G 设备安装成本后的盈利平均都超过了 2000 美元。²² 预计 2020 年，全世界调频服务市场总价值将达到 120 亿美元。²³

eV2gSM 项目旨在评估在电动汽车与电网双向交流（vehicle-to-grid, V2G）技术条件下，电动汽车向 PJM 的电网提供调频服务以减轻可再生电力固有间断性的潜力和其经济价值。项目实施中主要开展了两项工作。为了使特拉华大学功率相对较小的电动汽车能够参与调频服务市场，试点将调频服务提供商的最小功率要求从 500 千瓦调低至约 100 千瓦。²⁴ 另外，试点向费城及周边的车队所有者租赁宝马电动汽车，参与 PJM 的调频服务市场，以更加深入地探索 V2G 和调频服务技术对汽车租赁、客运公司直至个体电动汽车驾驶者的经济价值。²⁵

19. 援引自宝马公司 i ChargeForward 项目介绍页。http://www.bmwchargeforward.com/
 20. "PG&E and BMW Partner to Extract Grid Benefits from Electric Vehicles." PG&E 网络新闻发布。2015 年 1 月 5 日。http://www.pge.com/en/about/newsroom/newsdetails/index.page?title=20150105_pge_and_bmw_partner_to_extract_grid_benefits_from_electric_vehicles
 21. 自然资源保护协会工作报告，2015
 22. Fitzgerald, Michael. "Electric Cars Sell Power Back To The Grid." 2014 年 9 月 28 日。http://www.udel.edu/V2G/resources/Fitzgerald-EV-grid-WSJ-28-Sep-2012.pdf
 23. Gies, Erica. "The Cash-Back Car: Monetizing Electric Vehicles." 《福布斯》2011 年 6 月 23 日。http://onforb.es/1lbsaO7
 24. 同上。
 25. 援引自 Grid on the Wheels 网站。http://grid-on-wheels.com/

爱尔兰： 电力供应委员会（ESB）FINESCE 电动车规模预估项目

根据“欧盟可再生能源指令”（EU Renewable Energy Directive），爱尔兰制定了2020年电动汽车占有量达到10%、总数约23万辆的目标。²⁶爱尔兰国有电力公司ESB考虑到国际经验不完全适用于本地情况，²⁷对电网容纳电动汽车的能力进行了预估，希望通过此项目提前为电动汽车并网做好准备，同时了解电动汽车如何作为一种资源为电网服务。

项目分为两部分：数据收集和智能充电试点。ESB在全国范围内选择了一些电动汽车车主，为其安装用电计量及通信系统，借此了解常用充电类型、充电站位置等宏观数据。²⁸同时进行用户调查，更好地了解车主的充电行为背后的意愿和态度。²⁹随后，为了探究有序充电对负荷管理和可再生能源并网的帮助，ESB在南都柏林的一些居民区安装了智能电表，实施简单的智能充电试点。之后，又安装了智能充电单元（smart charging units），了解更复杂的智能充电项目会带来哪些效益。

德国：宝马公司柏林有序充电试点

除了控制因电动汽车数目不断增长而对电网造成的冲击，维护电网稳定性，宝马公司的这个试点项目还有一个更大的目的，即帮助解决可再生能源发电的间歇性问题。目前，德国17%的电力源自各类可再生能源，³⁰在创造巨大环境效益的同时也为电网带来了不小的压力。解决间歇性的一个途径是设置储能装置，将可再生电力先进行吸纳，然后统一向电网进行平稳供电。因此，这个位于柏林的试点项目重点研究电动汽车作为储能设备降低可再生能源间歇性，从而使更多可再生电能顺利并网的能力。

针对将电动汽车转化为储能装置的目标，宝马公司此项目中的试验车辆在低负荷时段从电网吸收风能，随后在负荷高峰时段将储存的风电回馈到电网上。³¹因其主要面向风能的特点，所以此技术又被称为风-车-电网联合（wind-to-vehicle-to-grid, W2V2G）。

而至于维护电网稳定性的目标，该项目的30辆宝马电动汽车驾驶人通过手机应用接收到各式各样的激励措施。项目对这些激励措施给充电行为构成的改变进行了四个月的跟踪，并发现激励措施确实可以有效引导驾驶人在电网压力更小，更为理想的时段进行充电。然而迄今为止，从该试点中的获益尚不足以支撑一成熟商业模式的出现。宝马公司认为，这种情况或可通过引入V2G技术得到改观。³²

26. ESB Networks. “Electric Vehicle Pilot: R&D Project Submission Summary.” The Irish Government has set an initial target of 10% of the car fleet or 230,000 cars to be electrified by 2020. This target is set in order to meet Ireland’s binding commitments under EU legislation.

27. Ibid. Sufficient information is not available on charging behaviour in order to adequately plan for this new load and inform distribution/connection code changes that may be required. Though there are lots of trials on-going throughout the world as was seen for the smart meter programme –the outcome of trials in other countries are not adequately reliable to forecast Irish customer behaviour.

28. ESB Networks. “Preparation for EV’s On The Distribution System Pilot Project Implementation Document. May 27, 2013. Page 23 Table

29. ESB Networks. “Preparation for EV’s On The Distribution System Pilot Project Implementation Document. May 27, 2013. Page 23-24. The collection of soft data will also be required in order to gain a better understanding of EV owners’ intentions and attitudes in the area of charging behaviour.

韩国：济州岛智能电网测试平台

韩国在过去的几十年来致力于发展清洁能源。济州岛通过智能电网试点项目实现了电动汽车、需求响应以及可再生能源整合。尽管项目的第一阶段于2015年的5月结束，三方整合的工作仍在岛内进行，并推行至全国。

韩国和济州岛的一些独特条件驱动了智能电网的发展。韩国约95%的一次能源来自进口（2012年数据），³³而政府制定了有挑战性的温室气体减排目标，削减2020年预期排放量的30%。³⁴这种背景为发展智能电网、整合多方资源提供了动机，而发达的信息技术产业也可以提供有力的技术支持。济州岛大部分的收入来自于旅游业。当地政府希望吸引信息技术产业来岛内发展，使地方经济多样化。充足的风能、独立于大陆的电网系统、发达的汽车租赁业以及多为短途的岛内驾驶路线都为济州岛可再生能源、智能电网和电动汽车的协同发展提供了便利条件。

济州岛智能电网试点项目从2009年12月开始实施，³⁵有6000户居民、4条配电线路和两个变电站参与。项目吸引了2.48亿美元的投资，其中7600万美元来自政府，其余来自私营企业。来自不同产业的186家公司组成了12个联盟，重点发展需求侧能效、电动汽车及配套设施、可再生能源、输配电网升级、能源交易市场。项目成功建设了电动汽车充电站、风能并网、居民需求响应等基础设施，测试了相关技术和商业模式，并在韩国首次试验了V2G。目实现了电动汽车、需求响应以及可再生能源整合会在项目的扩张阶段会得到优先实施和发展。³⁶

国际案例为中国提供宝贵经验

尽管国际上电动汽车、需求响应以及可再生能源整合项目的实施方法不同，这些项目仍有一些共同点，可以为中国在三方整合方面的工作提供一些启示。

政府的要求与协调、 执行能力很重要	政府要制定目标，并显示出执行目标的决心。当工作范围广泛，涉及到不同政府部门时，需要加强部门间的交流与协调。
与各行业合作	在所有的案例中，电力公司和电动汽车生产企业都是项目的中坚力量，甚至不同企业联合起来，实现协同效应。
从小规模试点发展， 循序渐进	目实现了电动汽车、需求响应以及可再生能源整合对各国来说都是较新的概念，需要一段试验期。中国可以从小型的试点项目开始，逐步证实三方整合的效益。

30. “Current Situation In Germany.” stoRE Project. http://www.store-project.eu/en_GB/current-situation-in-the-target-countries-germany

31. “E-Mobility News: Two-Way Communication Between EV and Charging Infrastructure.” Vattenfall 项目页. 2012年7月26日。

32. BMW Group. “Power Up: How E-Mobility Will Support The Transition To Renewable Energies.” Presentation at the 2015 International Renewable Energy Storage Conference 2015.

33. Based on the data of the Korea Energy Economics Institute. Also, according to the US Energy Information Administration, “In 2013, Korea was the second-largest importer of liquefied natural gas (LNG), the fourth-largest importer of coal, and the fifth-largest net importer of total petroleum and other liquids.”

34. “Green Growth 5 Year Plan 2009 – 2013”

35. The Jeju government has been making continuous efforts to expand the project, and feasibility study results of project expansion are to be out soon.

36. Kim N., “Strategies for Exporting Energy Technology: EVs and Smart Grid Integration”, KEEl, December 2013

3 中国已为整合电动汽车、需求响应和可再生能源做好准备

中国电动汽车产业发展迅速，应关注充电设施和环境评价两个问题

为支持电动汽车的发展，中国国家层面陆续出台了多项电动汽车产业扶持政策，同时地方政府也积极响应、纷纷出台配套措施，为消费者购买新能源汽车提供财政补贴、减免税费、汽车上牌、上路行驶等方面的激励政策。在国家和地方的大力推动下，新能源汽车市场迎来了发展的春天，产销均呈现迅速增长势头。据中国汽车工业协会提供，2014年新能源汽车市场呈现出爆发式增长，产销达到78499辆和74763辆，同比分别增长3.5倍和3.2倍；其中纯电动汽车产销48605辆和45048辆，同比增长2.4倍和2.1倍。

然而，在电动汽车大规模推广过程中，有两点应引起重视：一是充电设施建设，二是电动汽车全生命周期的环境影响评价。

首先，与传统汽车消耗燃油类似，电动汽车要消耗大量的电力能源。因此，电动汽车规模化发展的一个重要条件，是能像传统汽车一样获得便利的能源供给。这就对充电设施建设提出要求。然而，由于充电设施为电动汽车提供的电能主要来自于电网，充电设施所处的位置，以及所能提供的充电模式，很大程度上决定了电动汽车对电网的影响。如果充电设施布局不科学，导致电动汽车充电处在无序状态，则大规模电动汽车的无序充电行为将对电网产生极其不利的影响。例如，电动汽车集中在用电高峰时期充电，必将加剧电网负担，扩大峰谷差，甚至严重威胁配网的安全可靠性。

其次，国家大力推广电动汽车的主要动因之一，是因为相比较传统燃油汽车，电动汽车被视作“零排放”的环保汽车，能解决我国面临的能源问题和环境污染问题。然而，从全生命周期来看，虽然电动汽车在行驶环节直接排放少，可以说是零排放；但如果考虑上游电源结构，则目前电动汽车与传统汽车相比减排优势不是很明显。目前中国能源结构依然以煤炭为主，这种以煤为主的能源结构，严重影响了电动汽车的全生命周期环境影响评价。研究显示，当电动汽车消耗的电力全部来自煤炭发电时，电动汽车的全生命周期的环境效益不明显并且出现负效益，³⁷ 仅是转移了排放地点。这会严重影响地方政府推动电动车的积极性及老百姓购买电动车的意愿。

37. 李书华. 电动汽车全生命周期分析及环境效益评价 [D]. 吉林大学, 2014

中国电网呈现峰荷加大、峰谷差加剧的特征，对整合电动汽车提出需求

随着中国经济的发展、产业结构的调整、城镇化率的提升，来自居民和工商的用电大户进一步推升峰荷，中国电网已经呈现出高峰负荷持续增加、峰谷差不断扩大的特征，电网调峰压力持续加重。尤其受极端天气的影响，各地电网最大负荷屡创新高，电网高峰负荷年增长率达到10%，而低谷负荷的增长率仅在5%左右，³⁸ 峰谷差率³⁹ 持续增加。

峰谷差扩大加重了调峰压力；而因为中国电网每年的尖峰负荷仅持续约50小时，⁴⁰ 为满足此部分负荷而进行的调峰机组和输配能力建设将影响电网运行效率、加大机组能耗、加快机组老化加快（如两班制启停调峰下的频繁停、开机）、提升发电成本，同时增加碳排放。

研究显示，火电调峰机组年利用小时每降低1000小时/年，发电成本将相应提高0.01-0.02元/千瓦时。⁴¹ 据另一项研究分析，中国因调峰需要，火电厂每年发电利用率从6000-6500小时降低至4000-5000小时，同时额外建设的火力发电能力累计已达14200万千瓦，相当于全国当年全口径发电装机容量的10%，⁴² 相应建设成本高达6532亿元。⁴³

火电调峰机组的存在，也进一步加剧了二氧化碳和空气污染物的排放。未来，在包括抽水蓄能等储能技术尚未普及之前，电网接纳更多风电等高间歇性新能源对配套煤电调峰能力的需求或会上涨，⁴⁴ 这也将加剧温室气体及各项污染物的排放。

因此，在现有电动汽车保有率尚未达到较高水平的条件下，各地电网，尤其是未来电动汽车主要市场所在东部沿海地区电网面临的电力需求、峰谷差及调峰压力均已经十分突出。因此，在电动汽车实现大规模发展的过程中，需要进行合理和有效管理，使得电动汽车的发展不但不增加电网负担，还能协助电网承担一部分压力。

电动汽车发展产生的电网与环境影响，对整合需求响应和可再生能源提出需求

首先，电动汽车无序充电将对电网产生不利影响。电动汽车规模化发展为电网带来的不利影响，主要体现在用电负荷的增加、峰荷的加剧和峰谷差的扩大。⁴⁵ 以中国未来电动汽车5%的保有率估算，根据不同充电功率，电动汽车充电需求将对国家电网最低构成约33%、最高132%的峰荷增长；而对南方电网，峰荷的增加也可以在30%至121%的区间。⁴⁶ 清华大学研究表明，在无序充电情景下，50万辆电动汽车

38. 储能技术的主战场：削峰填谷 [N]. 文汇报, 2012-01-17. http://www.cpnn.com.cn/js/201201/t20120116_394411.html

39. 峰谷差率是指峰谷差与最大负荷的比值。

40. St John, Jeff. Can China Create a Demand Response Industry From Scratch? [EB/OL]. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/can-china-create-a-demand-response-industry-from-scratch>. 2015-03-09.

41. 叶发明. 市场经济下的燃煤火电厂的发电成本分析 (3). [EB/OL]. <http://tech.bjx.com.cn/html/20110217/71667-3.shtml>, 2011-02-17.

42. 中国电力企业联合会. 中国电力工业现状与展望. [EB/OL]. <http://www.cec.org.cn/yaowenkuaidi/2015-03-10/134972.html>, 2015-03-10.

43. 孟定中. 重启电力改革应重视解决当前突出的调峰问题. [EB/OL]. <http://www.china5e.com/energy/news-861255-1.html>. 2014-02-21.

44. 根据中国能源报的一项分析，一个单位的风电装机容量需要两个单位的煤电装机容量来调峰，即所谓的“风火打捆”。详见《坚强智能电网难解风电并网之忧》，载于中国能源报2010年第21版。http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2010-05/17/content_518430.htm

45. Guiping Zhu, Yuhui Xing, Electric Vehicle Charging Strategy in Metropolises in China[J]. 2013.

46. M.J. Bradley & Associates LLC. Electric Vehicle Grid Integration in the U.S., Europe and China[R]. Concord, Massachusetts, United States, 2013.

将导致武汉电网白天与夜间数个小时的时段内负荷剧增，同时扩大峰谷差：夏季峰谷差扩大 162%，而冬季峰谷差甚至将扩大到 250%。⁴⁷ 为解决该问题，电网需要投入大量的人力物力去增加调峰能力、扩大配电网容量、改造小区配网和变压器等等。然而，结合电动汽车的储能特点，加以适当引导和合理利用，可以很大程度上缓解上述问题，并能为电网带来的诸多好处。

其次，电动汽车上游电源不清洁将产生不利的环境影响。多项研究指出，电动汽车对污染物和碳排放的削减潜力取决于中国煤电生产过程的清洁程度，以及煤炭在整个发电结构中所占的比重。^{48、49、50、51、52、53、54} 考虑到中国电力部门对煤炭的严重依存，一台普通的电动汽车接入电网后，相比较一台普通的燃油汽车而言，仅能起到微弱的二氧化硫、氮氧化物减排作用，^{55、56} 甚至排放出现净增长现象。这是因为，和燃油汽车相比，电动汽车的大气污染物排放实际上是从行驶阶段向上游发电厂进行了转移，而并不能实现在其全生命周期中的消除。同时，根据清华大学的一份研究，电动汽车的大规模增长可以降低煤电占比稍轻的长三角、珠三角的二氧化碳排放，而使京津地区的（目前煤电比重达到 98%）二氧化碳排放上升。若使电动汽车的二氧化碳排放水平降低至与燃油汽车齐平，煤炭发电所占比例则至少要下降至 87%。⁵⁷ 因此，电动汽车发展规划要与当地发电能源结构的现实相结合。

综上所述，可以看到，造成电动汽车的电网影响和环境影响的原因，主要在于无序充电和上游电源不清洁。当电动汽车处于有序充电模式时，会给电网带来显著的削峰填谷效益；当电力来源于水电、风电和太阳能等清洁能源时，电动汽车全生命周期的节能减排效益逐渐提高。⁵⁸ 为此，我们结合电动汽车的储能特征，针对性地提出合理的应对方案，即：

整合电动汽车、需求响应和可再生能源的综合性解决方案：电动汽车作为灵活的需求响应资源，帮助电网实现削峰填谷，同时接入更多的可再生能源。

为实现这一目标，需要从以下几方面开展工作：

- 合理布局充电设施，引导电动汽车实现有序充电和智能充电；
- 构建灵活的需求侧管理资源，建立需求响应市场，参与辅助服务市场，提供调峰能力；
- 大力发展可再生能源，设计可再生能源大规模接入电网的策略和方案。

47. Guiping Zhu, Yuhui Xing, Electric Vehicle Charging Strategy in Metropolises in China[J]. 2013. 在该项研究的无序充电情景下，电动汽车将集中在早 10 点与晚 8 点充电，与此同时在电网构成两个负荷高峰。和现有电网负荷水平相比，50 万辆电动汽车无序充电情景下早 10 点和晚 8 点的负荷在夏天将分别增长约 20%、64%；在冬天则分别增长约 50%、71%。

48. Hong Huo, Hao Cai, Qiang Zhang, Fei Liu, Kebin He, Life-cycle assessment of greenhouse gas and air emissions of electric vehicles: A comparison between China and the U.S.[J]. Atmospheric Environment, 2015 (108): 107-116.

49. Hong Huo, Qiang Zhang, Michael Q. Wang, David G. Streets, Kebin He, Environmental Implication of Electric Vehicle in China. [J]. Environmental Science and Technology, 2010(44): 4856-4861.

50. 蔡浩，王全录．纯电动汽车不是伪环保 [N]. 中国汽车报，2015-03-02.

51. 张雷，刘志峰，王进京，电动与内燃机汽车的动力系统生命周期环境影响对比分析 [J]. 环境科学学报，2013, 3(3): 931-940.

52. M.J. Bradley & Associates LLC. Electric Vehicle Grid Integration in the U.S., Europe and China[R]. Concord, Massachusetts, United States, 2013.

53. 施晓清，李笑诺，杨建新，低碳交通电动汽车碳减排潜力及其影响因素分析 [J]. 环境科学，2013, 34(1): 385-394

54. 王成，电动汽车发展对能源与环境的影响研究 [D]. 长春：吉林大学交通学院，2007.

55. 苏利阳，王毅，陈茜，汝醒君．未来中国纯电动汽车的节能减排效益分析 [J]. 气候变化研究进展，2013, 9(4): 284-290.

56. 即使煤炭比重降低，结论可能会同样适用。上方备注所引用文献对中国 2020 年电网采用 70% 煤炭假设，发现和燃油汽车相比，纯电动汽车仅会产生较小的二氧化碳、氮氧化物减排效益，并且依然会增加二氧化硫的排放。

57. Hong Huo, Qiang Zhang, Michael Q. Wang, David G. Streets, Kebin He, Environmental Implication of Electric Vehicle in China. [J]. Environmental Science and Technology, 2010(44): 4856-4861.

58. 李书华．电动汽车全生命周期分析及环境效益评价 [D]. 吉林大学，2014

国家高度重视需求响应和可再生能源发展，为三方整合创造了有利环境

中国高度重视可再生能源的发展，并将可再生能源并网问题放在首要问题

2015 年初，国务院电改及配套文件相继出台，促进清洁能源多发满发，进一步为可再生能源的发展打下了良好的政策基础。电改鼓励提高可再生能源发电的消纳比例，要求对可再生能源进行全额保障性收购和优先调度，并提出充分利用补偿机制和电价改革为可再生能源开拓市场空间。尽管我国可再生能源资源丰富，开发潜力巨大，并网和消纳问题仍是制约可再生能源开发最主要的因素，造成了严重弃风和部分弃光。可再生能源与电网的统筹衔接问题直接导致可再生能源的发展规模受到约束。电动汽车的发展可能带来更大的可再生能源需求，同时，充电技术的发展为可再生能源就地消纳提供了更多的机会。研究⁵⁹指出，支持高比例可再生能源发展的一个重要手段，就是采用充足的灵活的发电容量，使用储能装置（包括电动汽车）和需求侧技术，对高比例风力发电和太阳能发电相关的波动性和不确定性进行管理。

中国已经出现不同类型的试点项目，示范三方整合的可能性

类型一，可再生能源与电动汽车的整合项目。该类项目可实现可再生能源的就地消纳，并且为消纳可再生能源发电的间歇性提供了更大的空间。电动汽车的大规模使用，增强了电网消纳可再生能源的调节能力。目前，国内已有多个可再生能源与电动汽车充放电设施的微电网集成模式示范工程。

类型二，电动汽车与需求响应的整合项目。电动汽车的有序充电，可视作一种灵活定的需求响应资源，在一定程度上发挥移峰填谷的作用。目前在国内已经开始探讨如何通过智能电网和分时电价等手段相结合的方式，鼓励电动汽车自主选择或集中在电价较为低廉的平峰或低谷时段进行充电。

类型三，可再生能源与需求响应的整合项目。分布式光伏发电上网已有较为成熟的实践，如“嘉兴模式”，在产业园和社区中都有应用。个人和企业利用光伏发电可获得国家补贴，一方面可以自用节约电费，另一方面还可以上网获得收入。可以考虑将这种方式推广到电动汽车充电站上，并与需求响应手段相结合，起到调节与平衡电网的作用。在负荷高峰时段，可再生能源的发电可以就近上网，为高峰用电需求提供辅助。而在平谷时段，可再生能源的发电则可用于电动汽车充电。

类型四，微电网试点项目。微电网是指接有风力、光伏等分布式能源的小型电力系统，该系统一般还包括储能、负载、变配电、控制系统等组成部分。微电网既有作为分布式能源和配电网之间桥梁的作用，也可作为独立电网运行，为可再生能源的消纳提供了有效的途径。

中国可再生能源发展现状和前景

截止至 2014 年底，中国可再生能源（不包括水电）电力装机总量达到 1.24 亿千瓦，占全国电力总装机容量的 9.1%。其中，2014 年新增可再生能源装机容量约 3041 万千瓦（其中风电 1981.3 万千瓦，光伏 1060 万千瓦），占可再生能源总装机容量的 24%，可谓大幅增长。

2015 年 4 月，发改委能源研究所发布研究报告“中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨路径研究”，预测 2050 年中国将形成可再生能源为主的能源体系，可再生能源占一次能源消费的比重将达到 60%，占总发电量的比例达到 85% 以上。

59. 发改委能源研究所。中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨路径研究。2015 年 4 月。

4 电动汽车与电网、可再生能源协同发展可以实现经济和环境效益

中国计划在 2020 年实现电动汽车累积销量 500 万辆。如果对这些电动汽车的充电进行有效管理，可以带来一些经济和环境效益。本报告对这些效益进行了分析，⁶⁰ 包括：

- 可避免发电成本：避免发电容量和提高发电效率带来的成本节约。
- 可延缓或可避免配电投资成本：避免或递延配电系统投资带来的成本节约。
- 降低辅助服务成本：用电动汽车提供辅助服务而产生的成本节约。
- 加强可再生能源利用：减少可再生能源弃电而产生的成本节约。
- 减少污染物和碳排放：由于提高发电效率、减少对高排放辅助服务的使用、减少可再生能源弃电，从而降低二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物和二氧化碳排放量。

需要注意的是，对电动汽车有序充电潜在效益的估计存在很多不确定性，比如用户充电行为、电动汽车商业模式、电力来源等。因此，本报告对效益的分析更多是提供一些计算思路和方法，结果可以作为数量级和相对规模的参考，而不是准确的预测。

到 2020 年，电动汽车有序充电的经济效益可能在几十亿元的数量级上，换算成每年每辆几百元。可避免发电容量和可递延或可避免配电投资成本对经济效益的贡献或许最大，而实现这些收益的方法是将充电时间由系统或地区用电高峰时段转移至电力系统使用率低的时段。本报告对环境效益分析的重点为电动汽车有序充电的二氧化碳减排潜力，这个潜力在很大程度上取决于发电能源构成。如果电动汽车的电力全部来自于零排放的能源，比如可再生能源，那么到 2020 年，500 万辆电动汽车可以减少约 900 万吨的二氧化碳排放量。在报告中假设成立的前提下，这些经济和环境效益会随着电动汽车用量的上升而增加。

经济效益

报告对 2020 年 500 万辆电动汽车有序充电的经济效益进行了数量级的估计，表 4.1 总结了分析中采用的关键假设和基于这些假设得出的结果。

60. 本报告对环境效益的分析重点为二氧化碳排放。

表 4.1 2020 年中国电动汽车有序充电的经济效益的数量级估计

效益类别	潜在成本节约		关键假设
	总计 (百万元每年)	每辆电动汽车 (元每辆每年) ⁶¹	
可避免发电容量成本	1100	230	避免 10% 的电动汽车在用电高峰时段充电
可避免发电能源成本	23	5	电动汽车有序充电可以使煤电机组的平均负荷系数升高 0.01 个百分点
可延缓或可避免配电投资成本	60-300	13-60	避免 10% 的电动汽车在配电网高峰期间充电
辅助服务成本降低	25	50	电动汽车可以提供 50 亿千瓦时的调频和旋转备用服务
可再生能源利用提高	75	15	电动汽车有序充电减少大约 7500 万千瓦时的可再生能源弃电

从表 4.1 可以看出，可避免发电容量对于经济效益的贡献最大，总计约每年 11 亿元，折算成每年每辆电动汽车约 225 元。其次为可递延或可避免配电投资成本，对经济效益的贡献总计约每年 6 千万到 3 亿元，折算成每年每辆电动汽车约 13-60 元。这两项效益的计算都假设 500 万辆电动汽车的 10% 可以避免在电网高峰时期充电。

可避免发电成本：电动汽车有序充电可以从两方面降低发电成本：（1）可避免发电容量成本，（2）可避免发电能源成本。⁶²

可避免发电容量成本：是新建发电容量的边际成本。此处假设所有的高峰负荷增长都会产生新增的发电容量。⁶³ 中国为维护电网稳定性而新增的发电容量多以煤炭或天然气作为能源，新建燃煤机组的容量成本一般是 500-600 元/千瓦-年，新建燃气机组的容量成本一般是 400-500 元/千瓦-年。⁶⁴ 假设平均充电功率为 3 千瓦，到 2020 年，如果 500 万辆电动汽车全部在用电高峰期间充电，则新增容量需求达到上限，为 2300 万千瓦，⁶⁵ 如果 10% 的电动汽车在高峰期间充电，新增容量需求将为 200 万千瓦。以 500 元/千瓦-年的平均容量成本估计，可避免发电容量成本可能在每年 10 到 100 亿元的数量级上，相当于每年每辆电动汽车节约 200 到 2000 元。

61. 对总计和每辆电动汽车的数值独立进行四舍五入。

62. 前者基于可避免的发电容量（功率），后者基于可避免的发电燃料（能量）。

63. 也就是说，假设所有平衡监管区在 2020 年都实现负荷与资源平衡。

64. 容量成本是拥有发电容量的年度（或月度）成本，此处包括投资、融资、保险、固定维护、人力成本和一部分税收成本。此处对于投资成本的假设为：煤电机组 3700-4100 元/千瓦，燃气机组 2700-3300 元/千瓦。计算基于 Energy and Environmental Economics 公司的“中国发电成本模型” (Generation Cost Model for China):https://www.ethree.com/public_projects/generation_cost_model_for_china.php。

65. 如果所有汽车同时在高峰期间充电，平均充电功率有可能降低——汽车充电的小时数随着平均充电功率的提高而下降，这些汽车在同一时段充电的概率也会随之下降。

可避免发电成本在中国还没有完全以经济效益的形式体现，其中一部分反映在零售电价中（例如分时电价和尖峰电价），一部分反映在新兴的受补贴的需求响应项目中。不过需求响应价格经常比新增容量的成本低，而且电动汽车还没有成规模地参与这些项目。结果便是，在中国提供或削减电力服务给社会造成的成本比本应有的成本要高。对于电动汽车来说，一个关键的挑战是如何设计需求响应价格和项目，正确地为用户主提供充电上的激励，比如设计需求响应项目需要了解哪些用户可能会在用电高峰时段充电。

可避免发电能源成本：是发电机效率（热耗率）改善而增加的燃料成本节约。在电力需求下降的晚间时段，煤电机组会以低负荷系数运行，66 容量可能会比额定容量低很多，效率降低。鼓励电动汽车在晚间充电可以提升煤电机组的负荷系数和效率。

电动汽车充电和发电机负荷系数之间的关系随发电机负荷量、发电能源结构以及电网条件随时间的变化，而此处的分析方法更多是探索性的。例如，假设电动汽车有序充电可以使平均负荷系数增长 0.05 个百分点，煤电机组的热耗率会减少大约 0.01 克标准煤 / 千瓦时。⁶⁷ 在原煤价格为 400 元 / 吨时，年度节约总成本约为 2300 万元，相当于每辆电动汽车每年节约 5 元。⁶⁸ 即使负荷系数只有很少的提高，可避免发电能源成本也可以很大。

在有电力批发市场的地方，市场电价可以反映出可避免发电能源成本。中国的电价是通过行政方法制定的，还没有反映出可避免发电能源成本。在这种情况下，如果电动汽车充电确实能够改善热耗率，发电企业的成本会降低，利润会提高。给监管者提出的问题是：如何设计激励项目，才能使充电时间转移到发电机效率低的时段，以及产生的效益如何在电动汽车用户和发电企业之间分配。

可延缓或可避免配电投资：在负荷过重的配电支路上合理安排充电时间，可以延缓或减少对新建配电系统的投资需求。假设 2020 年 10% 的电动汽车在区域配电系统高峰期间以 3 千瓦 / 辆的功率充电，由此产生的平均系统升级成本为 180 元 / 千瓦 - 年，则一年增加的总成本为 3 亿元。⁶⁹ 如果这个成本可以通过电动汽车有序充电完全避免或者递延五年，给用户带来的效益总计为 6400 万元（递延）至 3 亿元（避免），⁷⁰ 相当于每年每辆约 13-60 元。

中国的电价和需求响应项目现在还没有包括可延缓或可避免的配电系统投资成本。如将成本包括在内，需要明确配电系统边际成本，并为用户将用电时间从区域配电系统高峰时期转移到其他时段提供激励。

降低辅助服务成本：如果对电动汽车充电进行集中、有序的管理，电动汽车能够和电力公司一样提供辅助服务，包括调频以及旋转和非旋转备用。报告重点讨论调频和旋转备用。

调频用于平衡发电输出和电力需求，并在很短的时间范围（少于 10 分钟）内将电网的频率维持在平稳的水平上。旋转备用在发电机、输电系统或者变电站运行中断时用于维持电网的稳定性。旋转备用通常

要在 10 分钟之内做出反应，增加发电机输出或者降低电力需求，有些情况下必须要将这种反应维持数小时。因此，短期内，电动汽车或许更适合提供调频服务。

目前中国辅助服务的规定和价格由区域电力公司确定，区域之间差异很大。电动汽车提供辅助服务的潜在市场和成本节约都存在不确定性。假设如果 10% 的电动汽车在 2020 年能够具有成本效益地提供调频服务和旋转备用，平均（净）充电功率为 10 千瓦 / 辆，每辆车每年保证 1000 小时的可用时间，那么电动汽车一年可以提供 50 亿千瓦时的调频服务和旋转备用。⁷¹ 保守地假设电动汽车能以每兆瓦时 5 元的价格提供辅助服务，一年的总成本节约就是 2500 万元，相当于每辆参与服务的电动汽车每年节约 50 元。

电动汽车提供辅助服务的商业模式还未成形。现在对发电企业提供辅助服务的补偿是基于千瓦时数给的，但是，如果发展负荷和储能辅助服务，补偿就要向基于预留容量的方式转变。一般来说，电池容量大、充电功率高的电动汽车可能会提供最具有成本效益的辅助服务，比如公共汽车和大型公用汽车，因为这些汽车每辆汽车提供辅助服务的成本更低。

加强可再生能源利用：鼓励电动汽车在弃风、弃光量高的时间充电，可以减少可再生能源弃电，节约成本。由于弃风和弃光发生的时间段不同，通过电动汽车充电时间调整减少弃风和弃光的策略也不同：夜间充电可能对以风能为主的系统更有效，而日间充电可能对以太阳能为主的系统更有效。

可避免可再生能源弃电成本一般来说包含两部分：（1）可避免的采购可再生能源的成本，（2）可避免的采购火力发电量的可变成本；采购可再生能源或火电都是为了替代等量的可再生能源弃电。⁷² 目前中国还没有驱动可再生能源采购的因素，可避免可再生能源弃电成本仅为采购火电以替代弃电的成本。

可避免可再生能源弃电成本是电动汽车消耗的本来会被弃用的可再生能源量乘以可避免弃电的价值。假设到 2020 年电动汽车消耗的 50-100 亿千瓦时的 1% 来自本来会被弃用的风能和太阳能，可避免弃电量大约为每年 0.5-1 亿千瓦时。⁷³ 如果可避免可再生能源弃电成本仅来自于火力发电（煤电）的可变成本，后者估计为 270 元 / 兆瓦时，那么成本总计约为 2000 万元。⁷⁴ 如果将用于替代弃电的可再生能源的成本包括在内，用风能和太阳能平均的上网电价补贴（feed-in tariff）计算成本，总成本将提高至约 7500 万元。⁷⁵

电动汽车在可再生能源并网方面的效益随着电动汽车和风能、太阳能发电的渗透率的增长而增加。中国现在仅有少数几个省的弃风量较大，除此之外，可再生能源弃电较少。因此，电动汽车是一个更远期的解决方案，其价值会随着风能和太阳能并网量的增加而增加。不过无论如何，在近期内积累管理电动汽车充电的经验，为电动汽车与可再生能源整合做准备，并解决效益、成本分配的问题，是重要的。目前，中国减少弃风、弃光量带来的效益以上网电价补贴收入的方式由发电企业获得。

66. 发电机的时负荷系数是给定小时内的平均输出容量与额定容量的比值。

67. 煤电机组的热耗率曲线在 60% 到 100% 的额定容量区间基本是线性的，热耗率随每单位负荷系数变化的变化量即为热耗率曲线的斜率。当额定容量为 60% 时，超临界和亚临界煤电机组的热耗率增量分别约为 3% 和 6%。此处的估值采用了超临界机组 3% 的增量，2013 年热耗率的基础值采用 301.6 克标准煤 / 千瓦时，并假设其对应的平均负荷系数为 85%。热耗率损失值基于 IEA(2010 年)的“煤炭发电”(Power Generation from Coal):https://www.iea.org/ciab/papers/power_generation_from_coal.pdf。热耗率基础值来源：<http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2015-03-06/134849.html>。

68. 假设每千瓦煤对应 5500 千卡，则能源价格为 509 元 / 吨标准煤。价格基于秦皇岛港口的现货价格，来源：<http://www.cqcoal.com/Trade/Price/>。

69. 此处假设充电效率为 90%。配电系统边际成本基于加州的经验数值。

70. 递延收益是一项投资现在的成本与递延至某年的虚增成本折现到现在的差值。此处的计算假设通货膨胀率为每年 2%，折现率为 7%，得出的递延收益为 38 元 / 千瓦 - 年。

71. 这里假设大型汽车的平均充电功率更高。得出的数值（50 亿千瓦时）可能相当于中国调频和旋转备用需求总量的很小一部分。例如，在加州，加州独立系统运营商 (CAISO) 通常具有相当于约用电量 2% 的上调备用、2% 的下调备用和约用电量 1% 的旋转备用。以这个比例计算，中国的调频和旋转备用需求大约为 2500 亿千瓦时（即 5 万亿千瓦时的 5%）。

72. 在中国，可避免变动成本理论上应该也减去损失的固定成本收入，尽管收入减少的边际量在固定成本 - 运行时间曲线的大部分上都是可以忽略不计的。

73. 这不到 2014 年弃风量的 1%。弃风量数据来源：http://www.nea.gov.cn/2015-03/30/c_134108913.htm。

74. 270 元 / 兆瓦时的估计来自煤价为 400 元 / 吨的假设，基于 Energy and Environmental Economics 公司的“中国发电成本模型”(Generation Cost Model for China):https://www.ethree.com/public_projects/generation_cost_model_for_china.php。2000 万元的估值基于 1 到 2 亿千瓦可避免弃电量的一个中间值。

75. 中国风能和太阳能上网电价的简单平均值为 1025 元 / 兆瓦时，基于风能 510-610 元 / 兆瓦时的上网电价范围和太阳能 900-1000 元 / 兆瓦时的上网电价范围。7500 万元的估值基于 1 到 2 亿千瓦可避免弃电量的一个中间值。

环境效益

电动汽车在中国有潜力推动客运交通大幅减少二氧化碳排放量，但实现这种潜力目前面临两个主要障碍。首先，取决于为电动汽车提供电力的能源结构，电动汽车实际上不一定会减少二氧化碳排放量。第二，受到经济或非经济因素的阻碍，电动汽车的使用量可能会比预计的低。从政策方面看，利用电动汽车实现更多的二氧化碳减排，先要理清两个障碍：（1）降低电网的边际碳排放因子，（2）找出并移除阻碍电动汽车大规模发展的因素。报告探讨清理这两个障碍带来的潜在二氧化碳减排量。

激励是如何影响电动汽车使用量的，以及电动汽车提供的负荷灵活度从多大程度可以用来减少可再生能源弃电，这些问题都有很大不确定性。本报告采用宏观的估计方法，研究电动汽车使用量和可再生能源渗透率提高带来的二氧化碳减排。

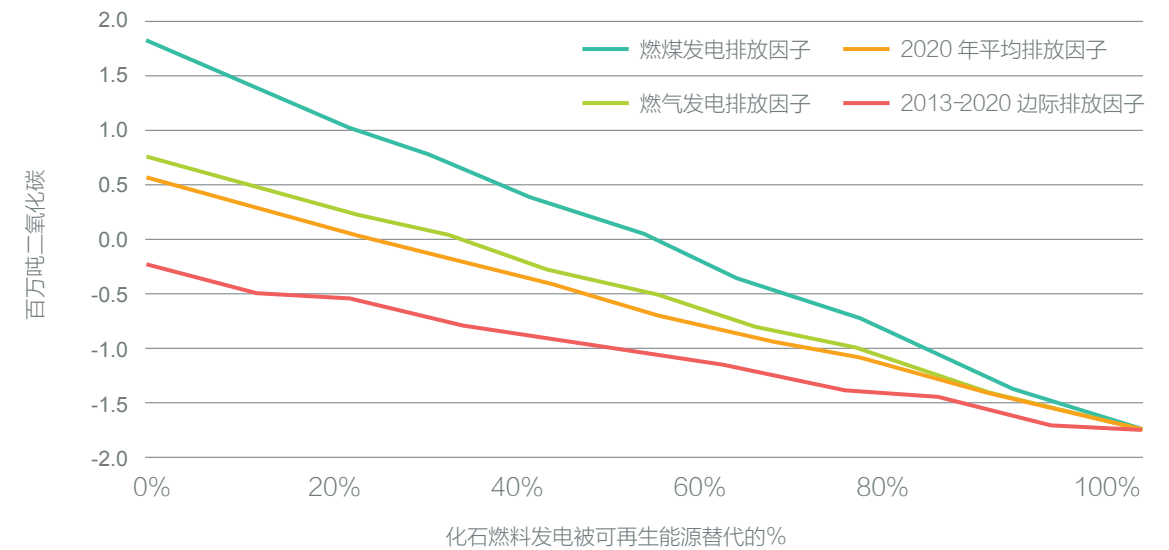
参数和假设：研究电动汽车的碳排放量时，应该考虑电网的边际排放因子，而非平均排放因子。前者可以反映出与发电增量相关的碳排放量，而增加的发电量用于满足由电动汽车增加的用电需求。如果新增电力来自燃煤发电，取决于车辆的类型和生产年份，电动汽车的排放可能会比汽油或柴油内燃机汽车还要高。报告设定了四种情景，探究不同电网边际排放因子对电动汽车碳排放量的影响：

- （1）燃煤发电排放因子：电动汽车的电力仅由燃煤发电提供；
- （2）燃气发电排放因子：电动汽车的电力仅由燃气发电提供；
- （3）平均排放因子：电动汽车的电力由 2020 年的平均发电能源构成提供；
- （4）边际排放因子：电动汽车的电力由 2013 年至 2020 年的边际发电能源构成提供。

另外，报告对车辆构成特点以及车辆性能，比如内燃机汽车的百公里油耗，也根据已有的研究和国家的相关要求做了一些假设。

结果：本研究中电动汽车的二氧化碳减排潜力都是相对于内燃机汽车而言的，并假设可再生能源以不同比例替代边际化石能源（煤炭或天然气）发电量。图 4.1 总结了不同排放因子和化石燃料替代程度的情景下，用 100 万辆新增电动汽车替代 100 万辆新增内燃机汽车带来的二氧化碳减排量。在近期内，减排量与化石燃料替代程度大致呈线性关系，这种关系可以用作比例系数。

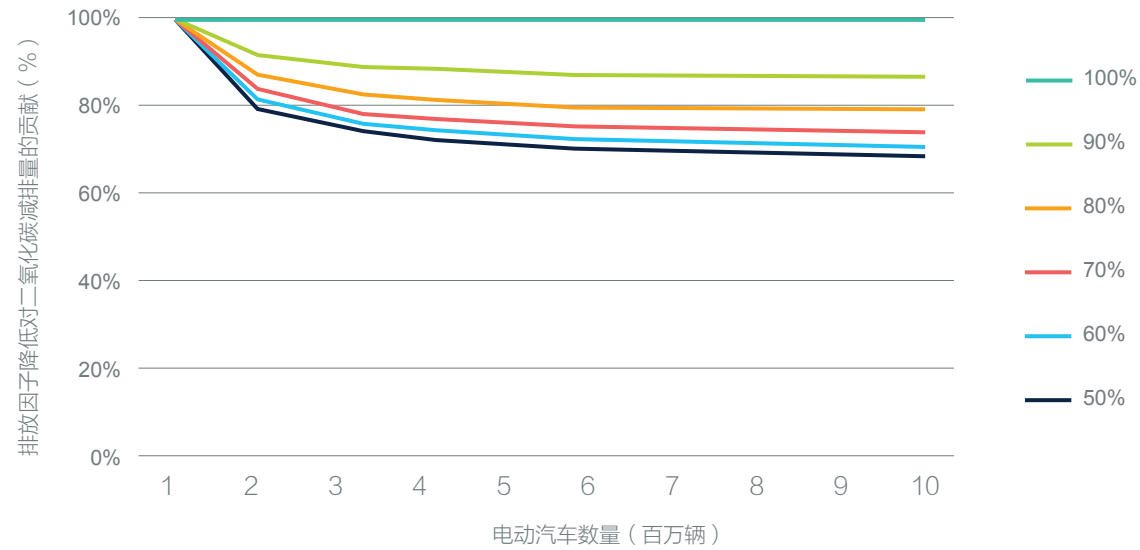
图 4.1 不同情景下用 100 万辆新增电动汽车替代 100 万辆新增内燃机汽车带来的碳减排量总结



如果 100% 的化石燃料发电量被可再生能源替代，在全部情景中，如果每 100 万辆新增的内燃机汽车由 100 万辆新增的电动汽车替代，二氧化碳排放量相对于内燃机汽车就会减少 180 万吨。如果电力汽车的电力来自煤炭、天然气或者 2020 年平均电力能源构成，可再生能源替代化石燃料发电要达到一定比例，电动汽车才能比内燃机汽车产生更少的二氧化碳排放量。但在 2013-2020 边际电网排放因子情景下，电动汽车会减少二氧化碳排放量。

图 4.2 显示的是在给定的电动汽车使用量下，电网碳排放因子降低（单位为 %）对利用电动汽车减少二氧化碳排放量的贡献，参照点是煤电电网排放因子和 100 万辆电动汽车。

图 4.2 电动汽车相对内燃机汽车减少的二氧化碳排放量中电网碳排放因子降低的贡献
(以煤电碳排放作为电网基准线排放因子)



这张图展示的一些特点可以通过两方面解释：（1）在电动汽车相对于内燃机汽车可以减少二氧化碳排放量的情况下，电网排放因子降低对减排的贡献比例随电动汽车数量的增加而减少。不过，以煤电碳排放作为电网基准线排放因子的情况下，电动汽车减少的二氧化碳排放量大部分来自于电网排放因子降低。（2）电网排放因子降低对减排的贡献比例随着煤电被可再生能源替代的比例增加而变缓。这表示“绿化”边际发电能源构成的有效性——相对于发展电动汽车使用的政策而言——随着发电能源构成的清洁化降低。

从上述分析得出的结论是，电动汽车支持性政策应该与发电规划协同发展，而后者要能降低化石燃料在边际发电能源构成中的比例。要使电动汽车有效实现二氧化碳减排，边际电网排放因子不需要为零，但需要协同规划，确保提供电动汽车电力的发电能源结构与环境目标相符。在发电能源结构碳排放量降低的情况下，鼓励电动汽车使用的工作，例如降低充电成本或提供新的收入来源，可以在客运交通部门实现大规模的二氧化碳减排。

5 利益相关方面面临的机遇与挑战

电动汽车、需求响应和可再生能源是三个不同的领域，且涵盖的内容繁多，因此涉及到的利益相关方众多，包括地方政府、电网企业、车企以及用户和社会。这些利益相关方在三方整合项目中面临着不同的机遇和挑战。

地方政府在三方整合项目中面临着协调方面的挑战，同时会获得显著的规划效益。在政府层面，三方整合项目涉及到多个部门，从基础设施建设到企业运行、到环境评估等，主要包括发改委、经信委、交通委、科委、环保局和能源监管局等六部门。从分工上来看，发改委主要负责项目审批工作，包括基础设施建设；经信委主要负责工业企业的运行情况；交通委主要负责汽车的上路行驶情况；科委负责创新性工作；环保局负责对环境进行监督管理；能源监管局负责监管能源发展情况。因此，不同部门的具体分工各不相同。尤其对于电动汽车来说，由于其内在特征，涉及到的管理部门最多。因此，如何协调各部门的关系，形成相容的规划和方案，易于操作和实施，同时避免冲突和减少重复，成为地方政府面临的一项挑战。然而，电动汽车在发展过程中，一方面会对电网的负荷曲线产生影响，另一方面具有整合可再生能源的潜力，因此将电动汽车与需求响应和可再生能源进行综合考虑，将为地方政府带来以下几方面的显著效益：

- 有助于形成全面性的规划和方案，为不同政府部门决策者做出相容性的决策提供政策支持。
- 增强规划和方案的可操作性和可实施性，尽可能地降低因协调不当而造成的实施层面的冲突。
- 提升城市的整体规划水平和效率，减少重复建设和资源浪费现象。

电网企业在三方整合项目中面临着变革的挑战，同时将获得显著的可靠性和经济性效益。电网企业负责电力的输配工作，传统上售电是其主营业务。随着电改的深入进行，电网企业的经营模式将受到一定程度的冲击。如何适应新形势的要求，是电网企业面临的一项挑战。电网企业已经大规模开发可再生能源，并且认识到需求响应的重要性，同时也考虑到电动汽车发展将对电网产生的影响。但是，电网企业没有对这三方面内容进行有机结合，综合考虑三者的协同效应。概括来看，三者的协调发展将主要为电网企业带来如下几方面效益：

- 通过布局电动汽车充电设施，更好的掌握电动汽车充电模式和充电特点，从而挖掘出电动汽车的削峰填谷的潜力，为电网提供一种灵活性的需求响应资源增强电网可靠性，同时为电网企业开展电力需求响应工作、完成电力电量节约目标提供支撑。
- 电力需求响应和电动汽车的规模化发展是整合可再生能源的有效手段。在电网面临接入更多的风电光伏等间歇性能源时，通过电动汽车和需求响应机制，对风电光伏等引起的波动性和不确定性进行适应性管理，有助于电网平稳可靠运行。
- 电网企业投资建设充电设施，增加了企业的资产规模，在核定输配电价时，将增加核定的准许成本和准许收益，从而提高准许收入水平。
- 电网企业通过调度低成本的需求侧资源，避免或延缓输配线路的投资，从而降低电网的运营成本；在核定电网企业收入的情形下，电网企业运营成本越低，则低于核定的准许成本的部分可以留给企业，即企业可以分享的利润更多。⁷⁶

76. 深圳“输配定价成本监审办法（试行）”中规定，电网企业通过加强管理、提高效率，使其运营成本低于准许成本，节约的成本可在企业与用户之间进行分享。

电动汽车制造企业在三方整合项目中面临着创新商业模式的挑战和机遇。目前，国内外汽车制造企业纷纷采取行动，从特斯拉的高端路线，到比亚迪的自主品牌，都通过实施各自的战略占领一定的市场份额。电动汽车制造企业正处于发展的关键时期，即面临机遇，同时也遇到挑战。电动汽车制造企业已经参与到充电设施布置上，如果仅仅从便于充电角度来布局，可能会丧失很多机遇。因此应从整合需求响应和可再生能源的角度出发，实现充电设施的效益最大化。在电动汽车制造企业布局充电设施时候，通过智能化布局充电设施，掌握用户端的大量数据，包括充电模式、充电习惯、充电费用等，这些都是极具价值的信息，若能善加利用，将为车企带来巨大效益：

- 车企充当负荷集成商⁷⁷的角色，调动用户参与需求响应项目，实现削峰填谷，并帮助电网接入更多的可再生能源。同时，车企也可以将负荷集成商的部分利益转给车主，以降低电动车全生命周期的成本。
- 在国家逐渐放开配售侧的形势下，车企可以发挥售电商的作用，在布局充电设施时配套建设分布式发电，为用户提供电能服务，同时帮助电网消纳可再生能源。

社会和用户在三方整合项目中将获得显著的社会、经济和环境效益。在现有发电结构下，与传统汽油车相比，零尾气排放的电动汽车虽然能减少城市内的污染问题，但其全生命周期的环保效益的优势并不是很大。因此，应注重推动电动汽车所用电能的清洁化，才能真正实现电动汽车的环保效益。在用户层面，由于目前充电设施正在建设布局中，用户仍然对电动汽车充电便利性存在顾虑，这正是现时广泛推动电动车的主要障碍。因此应加速充电设施的建设与合理布局，确保用户购车后能获得便利的充电服务。因此，对于用户和社会来说，实现电动汽车、需求响应以及可再生能源的有效结合，可以带来显著效益。

- 电动汽车与需求响应结合，形成灵活的用户侧资源，参与电网的削峰填谷，并帮助电网吸纳更多的可再生能源，从而进一步实现电源结构的清洁化。
- 社会采用综合资源规划，将电动汽车资源与需求侧和可再生能源结合起来，有助于节约成本和资源，并实现环境保护的目的。
- 用户通过智能充电，可以节约充电成本，同时通过参与需求响应项目，获取奖励资金。

总结来看，主要有可靠性效益、经济效益和环境效益三方面。表 5.1 总结了三方整合项目为各利益相关方带来的各种效益情况。

表 5.1 三方整合项目为利益相关方带来的效益

	可靠性效益	经济效益	环境效益
地方政府	<ul style="list-style-type: none"> • 增强不同政策的相容性，提升政策的实施效果。 	<ul style="list-style-type: none"> • 通过协调性工作，提升城市整体规划水平和效率，降低行政成本。 	<ul style="list-style-type: none"> • 提升资源利用效率，降低地方温室气体排放降低，改善空气污染和环境问题，有利于提升政府形象。
电网企业	<ul style="list-style-type: none"> • 通过提供灵活性需求响应资源，在电网安全受到威胁时，保障电网安全可靠。 • 帮助电网实现削峰填谷，平滑负荷曲线，提升电网可靠性。 	<ul style="list-style-type: none"> • 通过挖掘低成本的需求侧资源，避免或延缓输配线路的投资，从而降低电网企业的运营成本。 • 通过布局充电设施，增加电网企业的资产规模，从而在核定输配电价时提高准许收入。 • 在核定收入的情形下，电网企业的运营成本越低，则分享的利润越多。 	<ul style="list-style-type: none"> • 帮助电网企业接入更多可再生能源，帮助电网实现绿色转型。 • 通过调度无污染的需求侧资源来满足负荷需求，从而避免调用燃煤发电机组，降低电网企业的温室气体排放。
电动汽车制造企业	<ul style="list-style-type: none"> • 合理布局充电设施，避免加剧配网负担，提升充电服务的可靠性。 	<ul style="list-style-type: none"> • 充当负荷集成商角色，通过参与需求响应项目，获得资金补贴。 	
用户	<ul style="list-style-type: none"> • 电网可靠性提高后，用户也将获得可靠的电力供应。 	<ul style="list-style-type: none"> • 参与需求响应项目，获得资金补贴。 • 通过智能充电，有效降低电费账单。 	<ul style="list-style-type: none"> • 空气和环境得以改善，有助于提升用户健康水平。
社会	<ul style="list-style-type: none"> • 电网可靠运行，社会经济平稳运行的可靠性也得到保障。 	<ul style="list-style-type: none"> • 通过调度低成本的需求侧资源，避免供应侧的投资，从而降低社会成本。 	<ul style="list-style-type: none"> • 综合利用社会资源，实现能源结构转型，降低温室气体排放，改善环境。

77. 负荷集成商扮演在电力公司和终端用户之间的角色，提供需求响技术，提高资源可靠性，管理项目参与。

6 三方整合的解决方案

电动汽车、需求响应以及可再生能源整合可以为各利益相关方带来显著的效益，国际上已经采取行动并展示出示范效果，量化分析结果也显示三方整合具有显著的经济效益和环境效益，因此，我们建议中国应立刻采取行动，以实现三方整合的协同效益。

短期选择试点城市，开展整合分布式能源与电动汽车和需求响应的示范项目。现阶段在电动汽车和可再生能源市场份额相对较小的情况下，三方整合项目重点考虑电动汽车通过智能有序充电参与需求响应工作，同时由分布式可再生能源提供清洁能源供应。通过综合评价考量，选取一个试点城市，开展三方整合项目，以示范三方整合的益处，并总结经验，为全国推广提供支撑。在试点工作中，需结合城市特点，制定三方整合的实施方案。通常来看，为顺利开展三方整合项目，既需要政府提供指导，引导和监督市场发展，也需要企业主动从市场中寻求机会，并采取相应的措施。

政府提供强有力支持

尤其在实施层面，需要不同政府部门间相互协调和配合，共同为项目开展提供强有力的支持和监督指导。

建立需求响应专项资金 目前国内已有部分城市成立需求响应专项资金，以支持需求响应项目的顺利开展。专项资金的成立在很大程度上为项目参与者提供了激励和保障。根据“电力需求侧管理办法”，地方政府可从城市公用事业附加、差别电价收入以及其他财政预算等，安排资金用于支持需求响应项目的开展。

开展相关课题研究 地方政府在制定政策时，需要前期开展课题研究以提供决策支撑。围绕三方整合项目，相关的课题研究主要有以下几类：

三方整合的协同效益研究：通过量化分析，得出试点城市在整合电动汽车、需求响应和分布式能源中为政府、企业和用户带来的经济效益和环境效益。

电动汽车的电网影响分析：现阶段电动汽车参与需求响应的模式主要是通过智能充电实现削峰填谷，研究分析电网不同充电模式对电网的影响，以保证电动汽车的规模化发展不会对电网产生不利影响。

峰谷电价研究：确定合理的峰谷价差，促使用户主动参与需求响应，实现削峰填谷。

统一电动汽车充电标准 目前市场中存在不同的充电设施运营商，有车企，物业管理公司，4S店，也有电力公司等，不同车型之间没有实现互充，需要政府统一充电标准，避免资源浪费。

加强能力建设与宣传合作 为培育成熟的电能服务市场，政府需组织开展能力建设，分别针对项目管理者、负荷集成商和用户开展培训和研讨会，提高参与者能力；同时加强国际交流与合作，通过多渠道开展宣传工作。

电改形势下电网企业积极求变

为充分调动电网企业积极性，首先需要保证电网企业开展需求响应工作的成本能得到回收，其次如果能提供相应的激励，则更能激起电网企业的主动性。在新电改模式下，电网企业仍然会掌握绝大部分的售电业务，而开展需求响应可以为电网企业开辟新的盈利点。

确保电网企业回收需求响应成本。“电力需求侧管理办法”允许电网企业将开展需求响应的成本计入供电成本。然而在实际工作中，电网企业开展需求响应工作无法融入现有的计量、营销与会计系统。因此，需要政府出台将电网企业需求响应成本计入供电成本的保障措施，确保电网企业能回收需求响应成本。

- 为电网企业开展需求响应设计激励机制。为电网提供激励，鼓励电网企业开展需求响应工作，大规模推广电动汽车，接入更多可再生能源。输配电价核定是一种有效的激励机制，通过核定电网企业总收入，实现电网企业收入与售电量脱钩，从而调动电网企业开展需求响应的积极性。
- 电网企业降低供电成本。电网企业通过调度低成本的需求响应资源，避免高成本、低效率的供应侧资源，从而实现供电成本的降低。在核定输配电价模式下，电网企业则可以保留更多的利润。

市场带来多种商业机会

在三方整合项目中，市场将为不同企业带来不同的商业机会。

充电设施运营商

充电设施运营商的商业模式有两种，一种是负荷集成商模式，一种是售电商模式。

负荷集成商模式 负荷集成商的职责是调动和挖掘不同行业的响应潜力，并与供电侧的备用机组进行竞争，参与备用市场调度，获得激励和经济回报。在这种模式下，负荷集成商的构成是多样化的，既可以是传统提供电能与节能服务的能源服务公司，也可以是建设与运营充电设施的运营商。扮演负荷集成商角色的充电设施运营商，通过调动电动汽车智能充电作为灵活的响应资源，参与需求响应市场，从中获得财政补贴和经济回报。

电力零售商 电改9号文的出台，为开放售电市场提供了政策依据。在这种形势下，充电设施运营商可扮演电力零售商的角色，提供电能供应服务。运营商提供的电能既可以是直接购买的电能，也可以是安装分布式能源和储能设备等提供的电能。

平台建设单位

平台建设 三方整合项目中一个重要的硬件环境是平台建设，包括电动汽车充电设施平台，需求响应资源平台，以及分布式能源管理平台。平台建设单位在开发建设这些平台时，应互相沟通协调，实现平台间的互联，为调动电动汽车参与需求响应工作提供支撑。

APP开发 结合互联网技术，开发智能的软件工具，实现用户与管理者的实时互动。电力用户，包括车主，在收到管理者的调度信息时，可以选择是否参与需求响应工作。

三方整合项目将取得多种示范成果

通过开展电动汽车、需求响应和分布式能源的整合，试点可以取得以下几点示范成果：

- 电动汽车通过智能充电，参与需求响应工作，成为一种灵活、可调度的需求响应资源。
- 充电设施运营商寻找到多种商业机会，既可以作为负荷集成商，也可以作为售电商。
- 电动汽车充电设施与分布式能源和储能的结合，为电动汽车提供清洁能源。

长期构建包含需求侧资源的辅助服务市场，确保电网可靠、经济、绿色运行。从长期来看，电网需要大规模接入可再生能源，同时市场中电动汽车保有量达到较高比例，因此电网的安全可靠运行受到威胁。为降低电动汽车和可再生能源对电网的负面冲击，需要建立完备的辅助服务市场，⁷⁸以确保电网维持可靠运行。传统上辅助服务主要由发电侧资源提供，即通过建设调频机组、调峰机组和备用发电机组，来提供辅助服务。由于辅助服务的特殊性，这些机组具有运行效率低和运行成本高的特点，同时在一定程度上增加了电网的温室气体排放。因此，三方整合项目可以发挥显著的作用。我们需要构建一个同时包含需求侧资源的成熟完善的辅助服务市场，将电动汽车作为一种的需求响应资源，帮助电网不仅能实现安全可靠运行，还可以降低运行成本和减少温室气体排放。

在三方整合项目的帮助下，包含需求侧资源的辅助服务市场可以实现以下一些功能：

实时平衡电网供需	当电网大规模接入可再生能源时，通过发挥需求侧资源的灵活性，尤其是电动汽车的储能和电源功能，实现电网供需的实时平衡，同时电动汽车也获得了绿色的能源供应。
提高机组运行效率	通过辅助服务市场提供的削峰填谷等作用，可以将负荷曲线变得更加平滑，进而提高机组的运行效率。同时，利用需求侧资源替代掉运行效率低下的调峰、备用机组，进一步提升发电机组的运行小时数。
降低辅助服务成本	通过供应侧发电机组提供辅助服务时，由于调频、备用等机组的运行成本较高，所以辅助服务成本也相应较高。如果通过需求侧资源来提供调峰、备用等服务，则将大大降低辅助服务的成本。
减少温室气体排放	通过需求侧资源来提供辅助服务，可以大大减少对传统燃煤机组的调用，从而降低温室气体排放。同时这些灵活的需求侧资源帮助电网大规模接入可再生能源，也大大提升了电网的绿色指数。

78. 电力服务辅助服务，是指为维持电力系统安全稳定运行，以及为保证电能供应，满足电压、频率质量等要求所需要的一系列服务，主要包括调频、调峰、有功备用等。

附录：

中国有开展试点项目潜力的城市分析

北京、上海、深圳在电动汽车、需求侧管理、可再生能源方面的发展各有优势。附录总结了三座城市在这些方面的发展现状，探究实施三方面整合试点项目的潜力，并结合国内情况，对比国际案例，提出建议。

北京市

电动汽车 北京市在不断推出新的政策推动电动汽车的发展，特别是私人电动汽车等，北京汽车公司也是市内电动汽车发展的重要推动力。北京市对电动汽车的配套设施建设，尤其是充电桩的建设和推广上，较为关注。电力公司和政府也在积极开发充电设施互动平台，通过网站、手机 APP、微信等渠道分享充电设施位置、空闲情况等信息。不过，补贴的逐年滑坡，充电设施与电动汽车发展速度不同步，插电式混合动力汽车的“缺席”，都给北京市电动汽车的发展带来不确定因素。

电力需求侧管理 北京市目前已经完成了三批电力需求侧试点项目，但离最终目标 80 万千瓦的目标仍有一定的距离。市内可挖掘的需求侧资源不断减少，集成商能力不足，试点起步较慢等因素都影响着试点项目的完成。

可再生能源 北京可再生能源发电份额较低，仅占 16% 左右。这意味着电动汽车的电力来源依然对环境有污染，只是将分散的污染转化为集中的污染。虽然对增进公众健康有一定积极作用，但并非长久之计。目前北京也正在将燃煤的电厂改造为燃气的电厂，希望能减少电力生产对环境的污染和二氧化碳的排放。

在整合试点项目上，北京市目前有太阳能充电桩等尝试，能够将可再生能源和电动汽车结合起来并发挥电动汽车的优势。北京未来科技城智能电网示范项目则为这三个领域在北京市内的整合提供了一个示范案例。该项目该项目融合了智能小区、电动汽车充换电设施、分布式电源技术、智能变电站、智能自愈配网技术等多项新技术。已有的充电设施分布图和信息分享方式也为今后电动汽车与需求响应结合打下了技术上的基础。

上海市

电动汽车 上海市在电动汽车方面的政策相比于北京市的要更开放，支持力度也更大。此外，上海市设定的推广目标也较为适中，有利于在发展电动汽车的同时加快配套设施的建设。同时，公共充电桩手机 APP 的开发也为电动汽车的推广和未来与需求侧管理的整合提供了基础。

电力需求侧管理 上海市在 2014 年很好地完成了需求响应的试点，也将在 2015 年扩大试点范围，同时也在申请成为电力需求侧管理试点城市。在国家政策与资金的支持下，上海将能够更好地开展电力需求侧的管理工作。

可再生能源 近两年，上海的可再生能源发电，包括西南水电等在内（不含核电），电量约占 30%，电力约 800-900 万千瓦。上海的夏季最高负荷可接近 3000 万千瓦，但一年中极端高峰持续的时间非常短，在多数最高负荷 2000 多万千瓦的时候，可再生能源的发电比例甚至更高。上海的可再生能源主要是外来水电，基本不参加调峰，与本地需求不匹配，因此，上海需要大力移峰填谷，以减少峰谷差。过大峰谷差影响电网安全，制约了消纳清洁能源的能力。加强需求响应和充分利用电动汽车的有序充电可以大大改善用电负荷特性，提高电力系统安全水平和能效，并有效促进可再生能源消纳。

此外，上海市从 2011 年开始了崇明智能电网示范工程的建设，将可再生能源、分布式能源、储能项目、电动汽车等有机地结合起来，并建立了统一的信息化平台进行管理。尽管目前没有在岛内进行需求侧管理的实践，但统一的信息平台所收集的资料，能够为未来的电力需求侧管理工作开展做好准备。

深圳市

电动汽车 深圳市在电动汽车领域的政策在三个城市中最开放的，因为它不仅没有对私人新能源汽车设立地方的准入目录，在使用过程中还用有额外的补贴。另外，深圳市的电动公交车和出租车数量也处于三个城市的领先地位。

电力需求侧管理 深圳市一直进行电力需求侧管理的实践，如分时电价等。目前深圳市正在进行的电力体制的改革与需求侧管理有很大的关系，输配电价的核定以及对“节流”的关注都能够推动需求侧管理的发展。此外，深圳市工厂多，能够节约或转移的负荷量大，但其利用潜力和集成商的能力尚不明确。

可再生能源 深圳市在大力发展可再生能源集中式供电的同时，也将可再生能源与建筑相结合，充分利用分布式的资源。此外，深圳市一直在消纳云南的水电，可再生能源占整个发电比例的份额高，能够有效地利用电动汽车的优势。

深圳市在三个领域的整合方面有一定的技术基础。深圳市从 2011 年起支持深圳智能电网发展，创建了一些智能电网示范区，包括分布式能源、智能计量、电动汽车充放电装置、用户能效终端等模块，且可以通过统一的信息集成平台进行资源综合调度、综合用能服务等。深圳市在宝安区进行了智能家居试点项目，主要建设内容包括安装智能电表和相关采集设备、电动汽车充电桩、分布式电源系统、智能家居系统等。而深圳市在坪山也建立了新能源产业园区和国家级新能源汽车产业基地。比亚迪集团在电动汽车、储能电站和太阳能电站方面也做了一些工作。

从以上的分析可以看到，北京、上海、深圳三座城市在电动汽车、需求侧管理、可再生能源的发展上各有优势和不足。如果开展试点项目，工作要有侧重点，发挥当地优势的同时带动其他方面发展。结合国际经验和之前的分析、建议，对三座城市电动汽车、需求侧管理、可再生能源的发展及三方面整合提出一些建议（表 A.1）。

表 A.1 北京、上海、深圳在电动汽车、需求侧管理、可再生能源及三方面整合方面的差距分析及建议

	电动汽车	需求侧管理	可再生能源
北京	<ul style="list-style-type: none"> 开放政策，比如放宽对电动汽车的定义，将混合动力汽车也纳入补助范围 在已有信息交流平台中加入电价等信息，增强充电设施管理方及用户的参与，为 V2G 与需求响应结合做准备 	<ul style="list-style-type: none"> 加强对负荷集成商的发展及培训 	<ul style="list-style-type: none"> 增加可再生能源发电比例，真正发挥电动汽车的减排优势
上海	<ul style="list-style-type: none"> 进一步开放政策，例如放宽新能源汽车地方准入目录的限制 	<ul style="list-style-type: none"> 运用对工业和建筑业实施需求响应的经验，将参与用户范围扩展到普通居民，为私人电动汽车与需求侧管理结合打下基础 	<ul style="list-style-type: none"> 已处于国内领先地位
深圳	<ul style="list-style-type: none"> 利用本地电动汽车行业已有的技术优势，确立电动汽车与电网间的协议，做好与需求侧管理结合的准备 	<ul style="list-style-type: none"> 对需求侧资源容量、电动汽车充电对电网影响、负荷集成商能力等进行初期评估（参照第二章爱尔兰的案例） 	<ul style="list-style-type: none"> 结合建筑业利用太阳能的经验，发展太阳能并网，并与电动汽车产业整合

北京市由于自身条件的限制，电动汽车等三个领域的发展均有不确定的因素，而且其整合试点的项目实施范围较小，推广性不强。整体来看，北京市相对于其他两个城市没有明显的优势。不过由于在电动汽车充电桩的建设和使用方面有政策的支持和较好的技术基础，如果进行试点项目，可着重发展电动汽车智能充电及与需求侧管理的整合。

上海市电动汽车等三个领域协同发展，情况良好，都有不错的前景。而且在占据上海五分之一的崇明岛上的试点工程能够为本项目书的试点项目提供宝贵的经验。但崇明岛与上海市区的情况有较大区别，将崇明岛的经验推广到市区时可能会遇到“水土不服”的现象。尽管如此，上海市仍是一个合适的候选城市。上海市有需求响应试点工作的成功经验，清洁能源的发电比例也较高，发展试点项目时，可以以需求侧管理作为基础，将电动汽车作为需求侧资源，开发其减排和吸纳可再生能源的潜力。

相比于其他两个城市，深圳在整合这三个领域上有着更丰富的经验。由于深圳的试点项目都在市区内实施，因此相比于上海的试点项目推广性更强，为本试点项目能够提供的借鉴作用更大。

深圳市的缺陷在于尚未大范围地开展电力需求侧管理的工作，但由于已有较好的电动汽车发展基础，可以将电动汽车行业作为基点，发掘需求侧管理和可再生能源并网在深圳的发展潜力。因此，深圳市也是一个合适的候选城市。