



# 创新前景 电动汽车 智能充电

协助单位：



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

基于德国联邦议院的决定

© IRENA 2019 版权所有

除非另有说明，本出版物中的材料可以自由使用、分享、复制、重印、打印及/或保存，并且所提供的相应知识源于 IRENA 且并由其持有版权。本出版物中属于第三方的材料可能受单独的使用条款和限制的约束，在使用此类材料之前，可能需要获得这些第三方的相应许可。

ISBN 978-92-9260-354-0

**引用：**IRENA (2019), *创新展望：电动汽车智能充电*，国际可再生能源机构，阿布扎比。

本文件为 “Innovation Outlook: Smart charging for electric vehicles” ISBN: 978-92-9260-124-9 (2019)。

如中文译本与英文原版的内容不一致，概以英文版为准。

## 关于 IRENA

国际可再生能源机构 (IRENA) 是一个政府间组织，它为各国向可持续能源未来过渡提供支持，并作为国际合作的主要平台、卓越中心以及可再生能源政策、技术、资源和金融知识的信息库。IRENA 推进广泛采用和可持续利用各种形式的可再生能源，包括生物能源、地热、水电、海洋、太阳能和风能，以追求可持续发展、能源获取、能源安全和低碳经济增长和繁荣。 [www.irena.org](http://www.irena.org)

## 致谢

专家们的建议和评论使本报告受益匪浅：Peter Bach Andersen (Technical University of Denmark)、Petar Georgiev (Eurelectric)、Gregory Poilasne (Nuvve)、Johannes Henkel (50Hertz)、Matteo Muratori (NREL)、Christelle Verstraeten and David Colt (ChargePoint)、Naotaka Shibata (TEPCO)、Yasuo Matsunaga (Nissan)、Tomoko Blech (CHAdEMO Association)、Carlo Mol (VITO)、Paolo Santi (MIT)、Lysander Weiss (Venture Idea GmbH)、Nikola Medimorec (SLOCaT)、Alberto Piglia and Chiara dalla Chiesa (Enel)、Hugo Pereira (EV Box)、Patrick Wittenberg (Innogy)、Lisa Wolf (former Eurelectric)、Yue Xiang (中国，四川大学)、Xuewen Geng (国家电网电动汽车服务公司)、Mathias Wiecher (E.ON)、Bastian Pfarrherr (Stromnetz Hamburg)、Severine Allano and Francois Grossmann (Tractebel)、Tomas Jil (former IRENA)、Dolf Gielen、Alessandra Salgado、Bowen Hong、Emanuele Taibi、Carlos Fernández、Nicholas Wagner、Laura Gutierrez 和 Paul Komor (IRENA)。

报告贡献者：Arina Anisie 和 Francisco Boshell (IRENA)，以及 Pavla Mandatova、Mireia Martinez、Vincenzo Giordano 和 Peter Verwee (Tractebel)。

德国联邦环境、自然保护和核安全部 (BMU) 通过国际气候倡议 (IKI)，为本报告的撰写提供慷慨支持。访问以下网站可查看有关 IKI 的更多信息：[www.international-climate-initiative.com/en](http://www.international-climate-initiative.com/en)

如需了解更多信息或提供反馈，请联系 IRENA：[publications@irena.org](mailto:publications@irena.org)

本报告可从以下网站下载：[www.irena.org/Publications](http://www.irena.org/Publications)

## 免责声明

本报告所阐述的观点由作者全权负责，并不代表德国联邦环境、自然保护和核安全部的观点。

本出版物及本文的材料据“原始状态”提供。IRENA 已经采取了所有合理的措施，以验证本出版物中材料的可靠性。然而，无论是 IRENA 还是其任何官员、代理人、数据或其他第三方内容提供者均不提供任何形式，包括明示或暗示的担保，它们对使用本出版物或材料的任何后果不承担任何责任或法律责任。

本文中包含的信息不一定代表 IRENA 成员的观点。提及特定的公司或特定的项目或产品并不意味着 IRENA 认可或推荐这些公司或产品，且认为其优先于未提及的类似性质的其他公司或产品。本文件使用的名称和展示的材料并不表示 IRENA 对任何地区、国家、领土、城市、区域或其当局的法律地位，或边界及边界的划定的任何意见。

除非另有说明，照片均来自 Shutterstock。

正如未来交通肯定会日益电气化一样，未来电力系统一定会最大限度地利用波动性可再生能源。智能充电将电动汽车的负荷影响降到最低，并为利用更多太阳能和风能提供更大的灵活性。

# 目录

图.....	iii
表.....	v
文本框.....	vi
缩写.....	vii
决策者综述.....	1
1 介绍.....	14
2 进展状况.....	15
2.1 电动汽车市场发展.....	15
2.2 电动汽车和充电基础设施支持的政策激励.....	18
2.3 电动出行市场中可再生能源占电力混合的比例.....	21
2.4 电动汽车灵活性潜力.....	26
· 今天电动汽车提供的动力系统灵活性.....	26
· 截止 2030 年电动汽车提供的动力系统灵活性.....	28
· 截止 2050 年电动汽车提供的动力系统灵活性.....	28
3 智能充电展望.....	32
3.1 充电电动汽车的影响.....	32
· 对电容量和需求的影响.....	32
· 对电网基础设施的影响.....	33
3.2 智能充电.....	35
· 智能充电的作用.....	35
· 智能充电类型及其实施.....	38
· 目前智能充电项目.....	40
3.3 充电基础设施.....	47
· 目前充电基础设施.....	47
· 智能充电基础设施展望.....	47
· 充电基础设施展望：迎接更高的充电功率.....	48
· 电缆充电的替代方案.....	53
3.4 智能充电的驱动力.....	57
· 消费行为.....	57
· 大数据和人工智能.....	58
· 区块链技术.....	59

4 商业模式及监管前景.....	61
4.1 电动出行市场参与者.....	61
4.2 电动汽车电网关联商业模式.....	63
· 智能能源服务供应商和聚合商.....	63
· 二次寿命存储应用.....	65
4.3 汽车-电网整合监管：电力市场.....	67
· 市场设计和汽车-电网整合监管.....	67
· 激励智能充电和与 VRE 协同作用的动态定价计划.....	68
· 标准化.....	69
5 电动出行展望.....	72
5.1 电动汽车成本和竞争力.....	72
· 总拥有成本比较.....	72
· 车辆相关政策的发展.....	73
5.2 电池行业前景.....	74
5.3 共享电动出行：出行即服务.....	75
5.4 自动驾驶电动汽车.....	77
· 车辆 DNA 的演变：迈向自动驾驶汽车.....	77
· 解决监管面临的挑战以及消除对全自动驾驶的担忧.....	79
6 智能充电对全球能源系统的影响.....	81
6.1 全系统影响.....	82
· 对系统运行的短期影响.....	83
· 对系统扩展的长期影响.....	85
· 其他类似研究结果.....	90
6.2 局部配电网影响.....	90
· 对局部配电网运行的短期影响.....	90
· 对配电网扩展的长期影响.....	93
7 结论——政策一览表.....	95
参考资料.....	100
附录 1：部署电动汽车及充电基础设施的激励措施.....	108
附录 2：电动汽车电池状况及充电桩技术.....	110
附录 3：EV 充电服务供应商的商业模式.....	114
附录 4：电动汽车技术的预期发展.....	115
附录 5：建模方法.....	119



图 S1:	在巴黎协议达成一致情形下, 2010 至 2050 年间电动汽车部署的增长	2
图 S2:	智能充电的先进形式	3
图 S3:	智能充电使电动汽车提供灵活性服务	3
图 S4:	电动汽车灵活性服务的潜在范围	4
图 S5:	电动汽车充电的短期影响	6
图 S6:	电动汽车充电的长期影响	7
图 S7:	电动汽车智能充电对电网的影响	8
图 S8:	截止 2030 年和 2050 年电动汽车流动性及可再生能源整合的演变	10
图 S9:	政策一览表	13
图 1:	2012 年至 2017 年在选定国家的轻型汽车类中的电动汽车销量变化图	15
图 2:	电动汽车在轻型汽车销量中的普及率演变	16
图 3:	电动汽车二氧化碳排放量	22
图 4:	2016 年选定国家的电力需求、可再生电力生产和电动汽车电力需求	23
图 5:	2016 年选定国家的清洁电力出行普及率指标	23
图 6:	2016 年选定国家电动汽车在轻型车队中的普及率与风力和太阳能在发电中占有率的比较	24
图 7:	2016 年选定国家电动汽车在轻型车队中的普及率与风力在发电中占有率的比较	25
图 8:	2016 年选定国家电动汽车在轻型车队中的普及率与太阳能在发电中占有率的比较	25
图 9:	决定单一电动汽车可用灵活性的因素	26
图 10:	截止 2030 年和 2050 年因可再生能源整合电动汽车流动性的演变	29
图 11:	城市环境中单一轻型电动车可用灵活性的说明性展望	30
图 12:	电动汽车灵活性服务的潜在范围	35
图 13:	智能充电的形式	38
图 14:	提供单向 (V1G) 和双向 (V2G) 电网服务的对比示例	39
图 15:	分时充电示例	42
图 16:	电动汽车电池用作电网备用电源的作用	44
图 17:	调峰的效果	44
图 18:	城市类型示例	51
图 19:	感应式充电	55
图 20:	SMATCH 的功能	59

图 21:	电动出行价值链中战略参与者定位概述 .....	62
图 22:	宝马和 PG&E 项目：目标车辆性能（100 千瓦） .....	66
图 23:	可叠加的可能的电动汽车收入流.....	67
图 24:	与电动出行相关的主要国际规范概述 .....	69
图 25:	电动出行通信协议概述 .....	70
图 26:	说明电力和柴油驱动的汽车到 2050 年的总拥有成本（TCO） .....	73
图 27:	电池技术的前景与其当前的成熟度比较 .....	75
图 28:	简化的出行即服务价值链 .....	76
图 29:	自动驾驶汽车预计上市时间.....	78
图 30:	分析角度 .....	81
图 31:	电动汽车充电对选定的关键性能指标的短期影响.....	84
图 32:	电动汽车充电曲线走势与太阳能和风能的可用性相匹配 .....	86
图 33:	风能潜力高的国家/地区的区域风力发电曲线走势.....	87
图 34:	在不同的充电情况下（长期影响）可再生能源在风能和太阳能发电系统中的占比.....	88
图 35:	电动汽车充电的长期影响 .....	89
图 36:	评估电动汽车充电策略的研究示例.....	91
图 37:	智能充电的电力曲线走势 .....	92
图 38:	正午时的智能充电和常规充电电压曲线走势.....	92
图 39:	政策一览表.....	99
图 40:	当前和未来的电力总拥有成本（TCO）——和柴油汽车 .....	115
图 41:	简化的总拥有成本（TCO）对比情况（电动汽车和柴油汽车） .....	116
图 42:	建模方法 .....	119
图 43:	出行即服务无创新时电动汽车和电网的使用.....	120
图 44:	出行即服务场景中电动汽车和电网的使用 .....	120

## 表格

表 S1:	按类型充电的影响.....	5
表 S2:	不同城市类型的充电需求.....	12
表 1:	2016 年电动汽车和电动卡车销售的市场渗透率.....	17
表 2:	电动汽车的主要政府目标和预测.....	19
表 3:	2030 和 2050 年电动汽车演变对灵活性参数的影响.....	30
表 4:	高速公路充电站和传统加油站的比较.....	35
表 5:	出行工具的电池与其他电池的对比.....	37
表 6:	智能充电的类型.....	40
表 7:	智能充电部署和试点项目一览表.....	41
表 8:	OEM 和公用事业公司的主要超快速充电基础设施项目一览表.....	48
表 9:	2030-2050 年轻型车里程和快速充电功率发展需求.....	50
表 10:	不同城市类型的充电需求.....	51
表 11:	无线电（感应式）充电的利与弊.....	55
表 12:	汽车和重型车的充电解决方案一览表.....	56
表 13:	电池更换的利弊.....	57
表 14:	二次寿命电池存储的利与弊.....	65
表 15:	二次存储产品示例和原始设备制造商演示.....	65
表 16:	根据创新水平定义场景.....	83
表 17:	模型使用的发电技术的投资成本.....	85
表 18:	2030 年太阳能案例中容量扩展（兆瓦）.....	88
表 19:	在“非智能”和“智能”充电情况下的配电网加固.....	94
表 20:	充电模式的详细信息和相应的插座和连接器类型.....	111
表 21:	汽车和重型车辆（通常为公共汽车）的充电解决方案概况.....	113
表 22:	锂离子电池主要化学成分的比较.....	117



表 23: LFP 和 NMC 锂离子电池技术的比较.....	118
表 24: 就电池类型和容量、行驶里程和充电时间等指标对选定的电动汽车进行比较 .....	118
表 25: 出行即服务创新的意义 .....	120
表 26: 全智能充电中创新的意义 (V2G) .....	121
表 27: 充电电池相关假设 (CEEME, 2017) .....	121
表 28: 建模所需的输入数据列表和来源.....	123
表 29: 长期 BAU 情形下, 两个系统的装机容量 .....	123
表 30: 评估电动汽车充电策略的研究示例.....	124

## 文本框

文本框 1: DHL 的电动车队 .....	17
文本框 2: 充电基础设施优惠政策: 案例研究.....	20
文本框 3: 清洁能源部长的电动汽车宣传活动.....	21
文本框 4: 电动汽车充电对汉堡市配电网的影响.....	34
文本框 5: 圣地亚哥天然气与电力公司——电网集成试点 .....	43
文本框 6: NUVVE, 车辆到电网技术的先锋.....	43
文本框 7: 车辆到电网项目示例.....	45
文本框 8: 岛屿系统中的智能充电.....	46
文本框 9: 联盟的努力 .....	49
文本框 10: GOGORO.....	57
文本框 11: TENNET 和 VANDEBRON 对 IBM 区块链智能充电的测试 .....	60
文本框 12: 未来能源服务平台供应商: 意大利电力和 Nissan 的战略.....	64
文本框 13: 二次寿命电池存储费用先付项目.....	66
文本框 14: 电动汽车在 PLEXOS 中的建模.....	120

# 缩写

<b>A</b>	安培	<b>ERS</b>	电动道路系统
<b>AC</b>	交流电	<b>EU</b>	欧盟
<b>AI</b>	人工智能	<b>EUR</b>	欧元
<b>BAU</b>	一切照常	<b>EV</b>	(插入式) 电动汽车
<b>B2B</b>	企业对企业	<b>EVSE</b>	电动汽车供电设备
<b>B2C</b>	企业对客户	<b>EVSS</b>	电动汽车资助计划
<b>B2G</b>	企业到电网	<b>G2B</b>	电网到企业
<b>BEV</b>	纯电动汽车	<b>GBP</b>	英镑
<b>C-rate</b>	循环速率	<b>GW</b>	千兆瓦
<b>C2C</b>	客户对客户	<b>ICE</b>	内燃机
<b>CAGR</b>	复合年增长率	<b>ICT</b>	信息和通信技术
<b>CAPEX</b>	资本支出	<b>IEC</b>	国际电工委员会
<b>CCGT</b>	联合循环燃气轮机	<b>IRENA</b>	国际可再生能源机构
<b>CEM</b>	清洁能源部长级合作机制	<b>ISO</b>	国际标准化组织
<b>CEP</b>	清洁能源计划	<b>km</b>	千米
<b>CO<sub>2</sub></b>	二氧化碳	<b>kV</b>	千伏
<b>DC</b>	直流电	<b>kW</b>	千瓦
<b>DoD</b>	放电深度	<b>kWh</b>	千瓦时
<b>DSO</b>	配电系统运营商	<b>LCO</b>	钴酸锂
<b>EoL</b>	寿命终止	<b>LDV</b>	轻型汽车

<b>LFP</b>	磷酸铁锂	<b>SCE</b>	南加州爱迪生电力公司
<b>Li-ion</b>	锂离子	<b>SDG&amp;E</b>	圣地亚哥燃气电力公司
<b>LMO</b>	锂锰氧化物	<b>SoC</b>	充电状态
<b>LMP</b>	锂金属聚合物	<b>TCO</b>	总拥有成本
<b>LTO</b>	锂钛氧化物	<b>TSO</b>	输电系统运营商
<b>MaaS</b>	出行即服务	<b>USD</b>	美元
<b>MW</b>	兆瓦	<b>V</b>	伏特
<b>MWh</b>	兆瓦小时	<b>V1G</b>	单向功率流
<b>NCA</b>	锂镍钴铝氧化物	<b>V1X</b>	车辆到任何事物（单向）
<b>NMC</b>	锂镍锰钴	<b>V2B</b>	车辆到建筑
<b>OCGT</b>	开放式循环燃气轮机	<b>V2G</b>	车辆到电网
<b>OCP</b>	开放式充电桩协议	<b>V2H</b>	车辆到家庭
<b>OEM</b>	原始设备制造商	<b>V2V</b>	车辆到车辆
<b>OPEX</b>	营运费用	<b>V2X</b>	车辆到任何事物（双向）
<b>PG&amp;E</b>	太平洋天然气和电力公司	<b>VGI</b>	车辆-电网整合
<b>PHEV</b>	插电式混合动力汽车	<b>VRE</b>	可变可再生能源
<b>PV</b>	光伏	<b>Wh</b>	瓦时
<b>R&amp;D</b>	研究和开发	<b>ZEBRA</b>	非洲沸石电池研究
<b>REEV</b>	增程器		
<b>SaaS</b>	软件即服务		

**电动汽车智能充电是发挥清洁交通领域和低碳电力协同作用的关键。实际上，汽车电池在将高比例可再生能源纳入电力系统中可以发挥重要作用。**

# 决策者综述

电动汽车的出现一定会成为全球范围内向可持续能源且尤其是可再生能源发电转变的游戏规则颠覆者。有下列几条原因可以证明：最为显著的是，随着交通运输业的变革，电动汽车为整个电力结构中引进更高比例的可再生能源带来了机会。

电动汽车充电可以创造大量新增电力需求。这可以通过实用且经济地利用可再生能源来实现，包括太阳能和风能并网发电。这些发展展现出诱人的前景——尤其对城市而言——低碳交通的同时又减少了空气污染和噪音污染，这降低了燃料进口的依赖性并带来了城市出行新方式。

可再生能源发电成本持续降低，使得为运输业提供燃料的电力变成了一种极具吸引力的低成本能源。由于能够提高电力系统急需的灵活性，以及支持整合高比例可再生能源，扩大电动汽车的部署规模也为电力系统的发展带来了机遇。

从电力系统的角度来看，使电动汽车成为一项独创并非为了电力行业而开发，也主要不在于成为一种电网

灵活性解决方案。从根本上，它们的首要目的是服务出行需求。因此，实现电动汽车的最佳利用需要仔细研究哪种使用情形对于两种行业来说最适合。最佳情况是，可再生能源提供动力的电动汽车能够为电网带来广泛的利益，而不会对运输功能性产生消极影响。

汽车（包括电动汽车）通常有 95% 的时间都处于泊车状态。这些空闲时间，结合电池存储容量，可以使电动汽车成为电力系统中具有吸引力的灵活性解决方案。通过为系统提供一系列服务的潜力，每一辆电动汽车都能有效地成为微型电网连接存储单元。然而，与此同时，不受控充电可能会增加电网的峰值压力，因此必须对配电网进行升级。

电动汽车智能充电的新兴创新不仅跨越科技，而且还包括商业模式和监管框架（国际可再生能源机构 IRENA，2019a）。这些对于整合可再生能源并避免网络拥堵很关键。此外，本创新展望还讨论了预期出行中断可能带来的影响，包括未来二三十年出行即服务以及全自动驾驶汽车的广泛普及。

本创新展望调查了波动性可再生能源（VRE）——太阳能光伏（PV）和风电——及电动汽车的互补潜力。本报告考虑了到本世纪中叶，如何通过智能充电来发掘这种潜力。

## 利用好电动汽车与太阳能和风之间能的协同效应

据德国太阳能与氢能研究中心（ZSW）统计，2019年初，全球道路上共有560万辆电动汽车。中国和美国是最大市场，分别拥有260万辆和110万辆。如果自2040年起销售的大部分客车都是电动的，那么到2050年道路上将会有超过10亿辆电动汽车（见图S1）。IRENA分析表明，未来的电动汽车电池容量可能会使固定电池容量相形见绌。到2050年，大约有14太瓦时电动汽车电池能够提供电网服务，而固定电池则为9太瓦时（IRENA，2019b）。

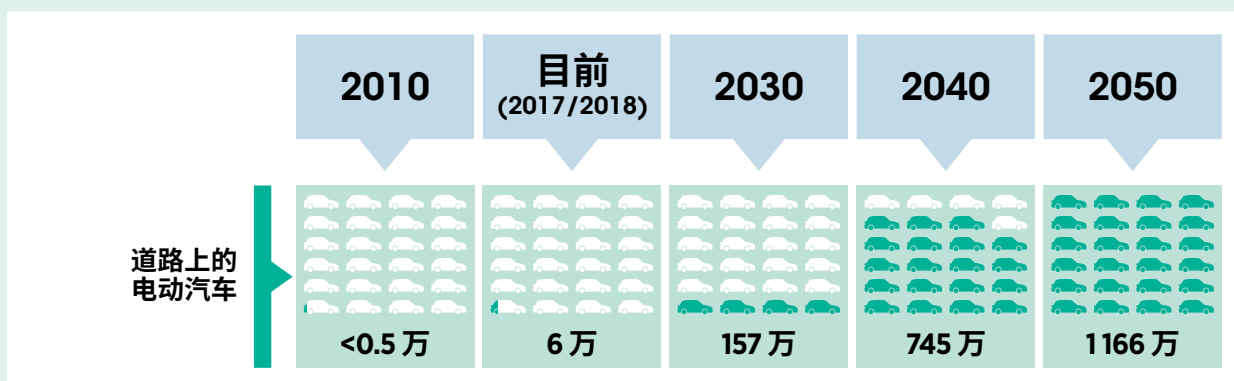
电动汽车整体上能创造巨大的电力存储容量。然而，最佳充电模式将取决于精确的能源混合。与风力发电为主的系统相比，在高比例太阳能发电系统中，电动汽车整合是不同的。假设从今天开始，通过智能充电方式将电动汽车作为灵活性能源使用，则会降低对灵活但碳密集型火力发电厂的投资需求，从而平衡可再生能源。

智能充电意味着将电动汽车充电周期调整至既能适应电力系统状况又能满足汽车用户的需求。这有利于电动汽车的整合，同时满足出行需求。

智能充电允许对充电过程有一定程度的控制。它包括不同的定价和技术性充电方案。最简单的激励形式——分时计价——鼓励消费者将充电从高峰时段推迟到非高峰时段。一些更先进的智能充电方式，例如直接控制机制，在更高的普及率作为长期方案以及提供接近实时的平衡和辅助服务方面是必要的。此类充电的主要形式包括图S2所示的V1G、V2G、V2H和V2B（见缩写）。

每种方式都给出了提高电力系统灵活性以及支持VRE整合（主要是风力和太阳能光伏）的不同选项。图S3总结了当前的智能充电方式和电力系统灵活性提供之间的联系。它显示了更先进的智能充电方式是如何能够为系统提供更大的灵活性。

图 S1: 在巴黎协定达成一致情形下，2010 至 2050 年间电动汽车保有量的增长



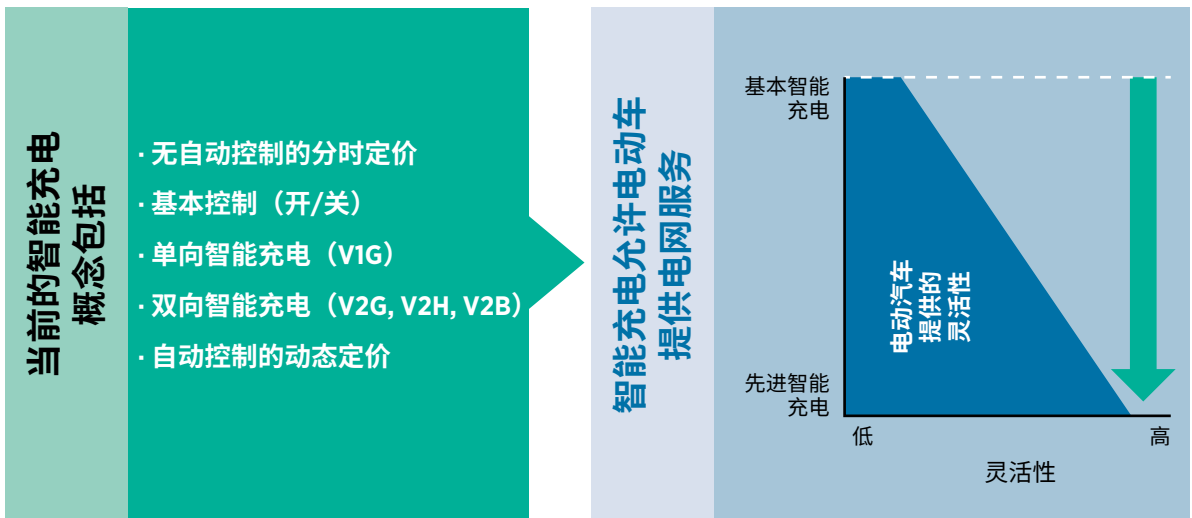
来源: IRENA, 2019b。

1 [www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html](http://www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html)

图 S2: 智能充电的先进形式



图 S3: 智能充电使电动汽车提供灵活性服务



## 由电动汽车智能充电提供的灵活性服务

智能充电既可在系统层面又可在局部层面提供灵活性服务（见图 S4）。在系统层面，智能充电有利于平衡电力批发市场。利用 V1G，通过调整充电水平能够控制电动汽车充电模式，从而降低峰值需求，填充负荷低谷并支持电网实时平衡。利用 V2G，通过将电流注入电网，电动汽车还能为输电系统运营商提供辅助服务。智能充电能够帮助输电系统运营商管理拥堵，帮助客户管理能源消耗以及提高可再生能源的自耗率。

丹麦项目 Parker 就是一个 V2G 项目的例子，利用智能充电技术并依靠汽车和电力行业之间的合作来示范电动汽车具有支持和平衡可再生能源电力系统的能力。Enel、Nuvve、Insero 等电网集成专家，以及 Nissan、三菱和标致等汽车制造商已经证实来自不同汽车品牌的最先进的汽车，通过 V2G 科技，可以为电网提供支持，提供诸如频率和电压控制等服务（Bach Andersen, 2019）。

## 电动汽车充电对城市电力系统的影响

电动汽车充电塑造了整体能源需求模式并影响了城市电网发展的最佳选择。

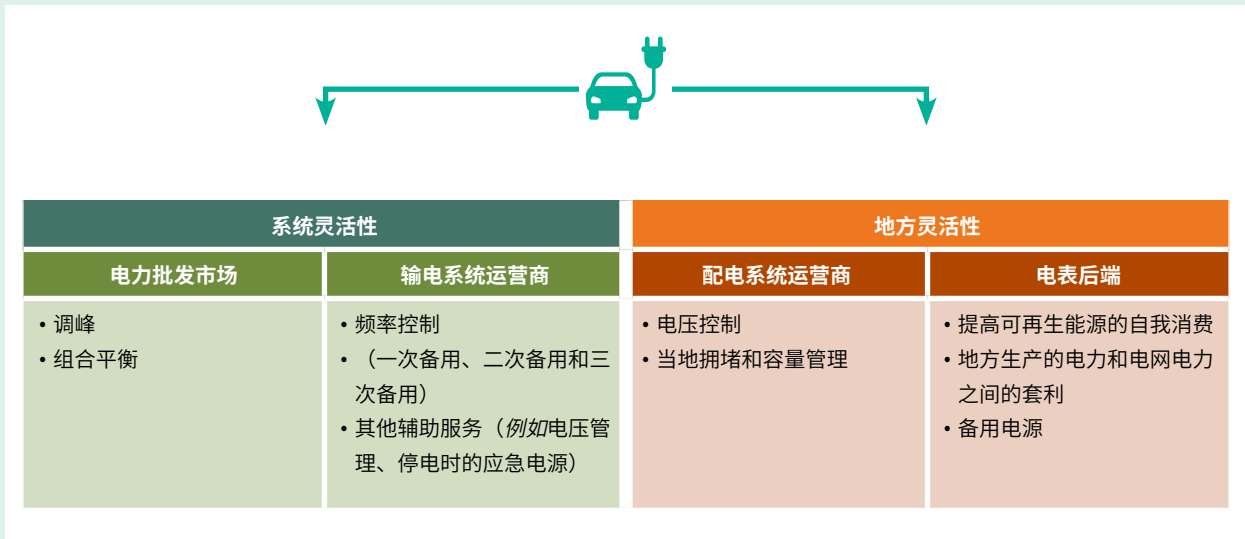
### 能源消耗及峰值需求

一些研究表明（Eurelectric, 2015；BoA/ML, 2018a；Schucht, 2017），不受控电动汽车充电仅造成电力生产和消费的略微增长。然而，对峰值需求的影响可能会更大。在一个 2035 年英国拥有 1 千万辆电动汽车的场景中，如果充电不受控制，晚峰值需求将增长 3 千兆瓦，但如果是智能充电，将仅增长 0.5 千兆瓦（AER, 2018）。其他类似的例子还可在图 S3 中找到。

### 电力基础设施

假如 2030 年超过 1.6 亿辆电动汽车进入电力系统（IRENA, 2018），并且在充电不受控制的情形下，大量集中在特定地域，那么当地电网将会拥堵。为避

图 S4：电动汽车灵活性服务的潜在范围





智能充电与加固的地方电网降低了成本。不同于不受控充电，它降低了同时性和需求峰值。

免这种情形，需要对当地电网进行加固。通过智能充电，能在很大程度上避免此类投资。智能充电倾向于和低压配电网络中的慢充相结合。例如，德国汉堡当地配电系统运营商进行了一项分析，并得出 9% 的电动汽车将造成城市配电网 15% 馈线瓶颈的结论。为避免这种情形，他们采用了智能充电方案，并且目前配电系统运营商安装了控制单元来监测充电桩的负荷情况 (Pfarrherr, 2018)。

**慢速充电器**——通常高达 22 千瓦——大部分用于家庭及办公室充电。通过慢充，电动汽车电池与电网连接时间更长，提高了为电力系统提供灵活服务的可能性。

**快速充电器**——通常为 50 千瓦及以上——很可能用于直流系统，通常沿高速公路使用，尽管有些城市将其部署在街道上用来充电（例如 Paris' Belib）。

**超快速充电器**——大于 150 千瓦——将很快面世，将帮助消费者克服电动出行的忧虑并成为家庭和办补办公室慢充电的重要补充。

快速和超快速充电不能使电池和系统连接足够长的时间从而来提供灵活性服务。需通过对当地峰值需求和拥堵影响较低的区域安装充电桩来降低快充对电网的影响。此外，通过缓冲，快充基础设施和当地安装的 VRE 及固定储能相结合能够提高发电站相对于电网的灵活性。换电至少对某些特定的应用（如公共汽车）或世界上某些地方（如中国），可能会更加重要。有效地“将电池与车轮分离”可能会给电网带来更多的机会。交通和可再生能源创新的结合也有望为用户降低能源成本。

### 电动汽车智能充电对 VRE 集成的影响

在本分析中，为研究智能充电在系统层面上的成效（包括短期系统运行和长期系统扩展），进行了一次模拟演习。该演习结果目的仅在于表明电力系统中智能充电优势的大小，而具体数字大体上无关紧要。智能充电的影响取决于每一个电力系统的特性及智能充电的实施情况。

智能充电降低快充和超快充相应的成本，成为交通出行产业的首要目标。然而，慢充仍然最适合于大幅提高系统灵活性的“智能”方式。但是像换电、缓冲存储充电站和夜间电动车队充电等解决方案能够帮助避免来自快充和超快充带来的峰值需求压力，从而需要加固当地电网。不同于不受控充电，它降低了同时性也减少了需求峰值。

表 S1: 各类型充电的影响

	电力需求	峰值需求	配电网
慢充，无控制	+	++	++
慢充 + 智能充	+	+	+
快充	+	++	++
使用电池快充	+	+	+

## 短期影响

短期运行分析在评估了在高太阳辐射的各不同系统中不同车辆-电网集成策略的影响后，清晰地展示了智能充电相比不受控充电所带来的好处。如图 S5 所示，单向智能充电（V1G）与双向智能充电（V2G）的实施逐渐将弃电幅度降低至零水平。因此，由于太阳能发电占负荷的比例增加，系统中二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量也相应地减少了。由于全天在不同的地点都能充电，V1G 与 V2G 的峰值负荷均降低了。发电的平均成本可能会降低。

## 长期影响

长期分析考虑了根据电力批发价格以最佳容量组合进行系统扩展，并投资新电厂以满足 2030 年的需求。在分别研究了太阳能和风电离网系统后，分析显示，增加了可再生能源投资，因此也提高了可再生能源发电量，尤其是供应 V2G 的太阳能发电量。

由于太阳能发电模式更容易预测，因此与风电相比，太阳能光伏发电比例高的系统中智能充电能提供更多好处。风能比例高的系统可能已经显示了电力发电和电动汽车充电的相关性，即使是在不受控充电情形下。

太阳能光伏发电模式通常与不受控电动汽车充电不匹配，但适合于办公室充电，部分还包括白天公共充电。因此，就对可再生能源容量影响而言，太阳能智能充电的增量收益可能会很高，主要是因为使用了价格实惠可储存多余可再生能源电力（白天不会消耗）的电池，然后再对这些电力进行调度。对风能而言，即使是不受控电动车充电，风电产量与电动汽车充电模式的匹配度也可能很高，由于风力发电可在夜晚进行，而该时间通常是用来给电动汽车充电。因此，年峰值负荷减少情况与短期分析类似。无论太阳能或风能发电系统的大力发展都能大幅降低 CO<sub>2</sub> 的排放。图 S6 显示了分析结果。

图 S5：电动汽车充电的短期影响

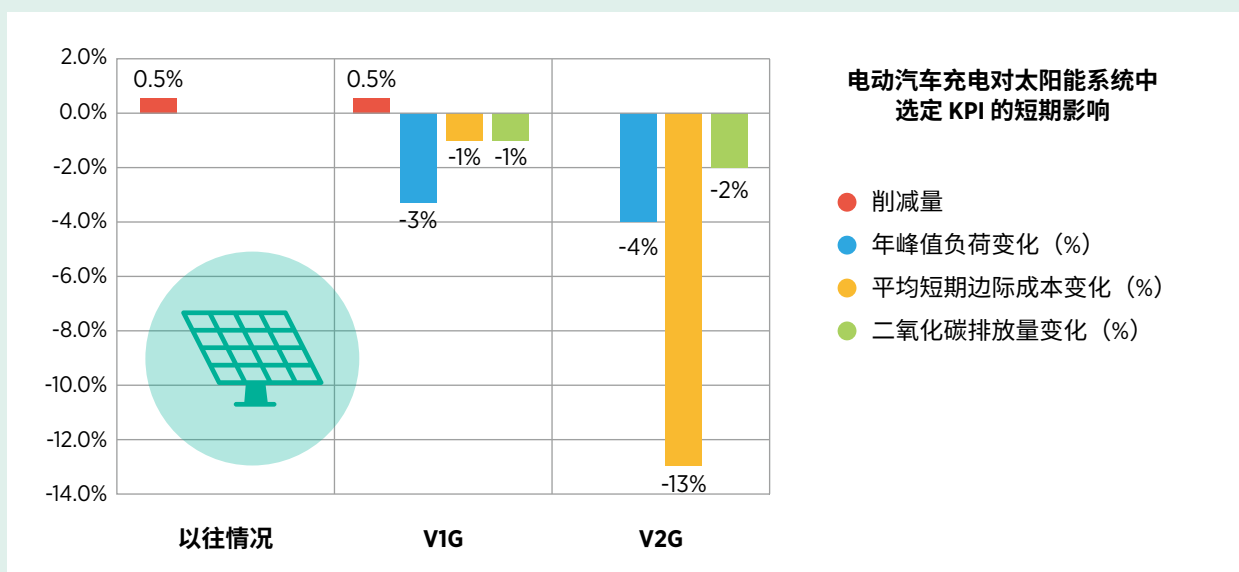
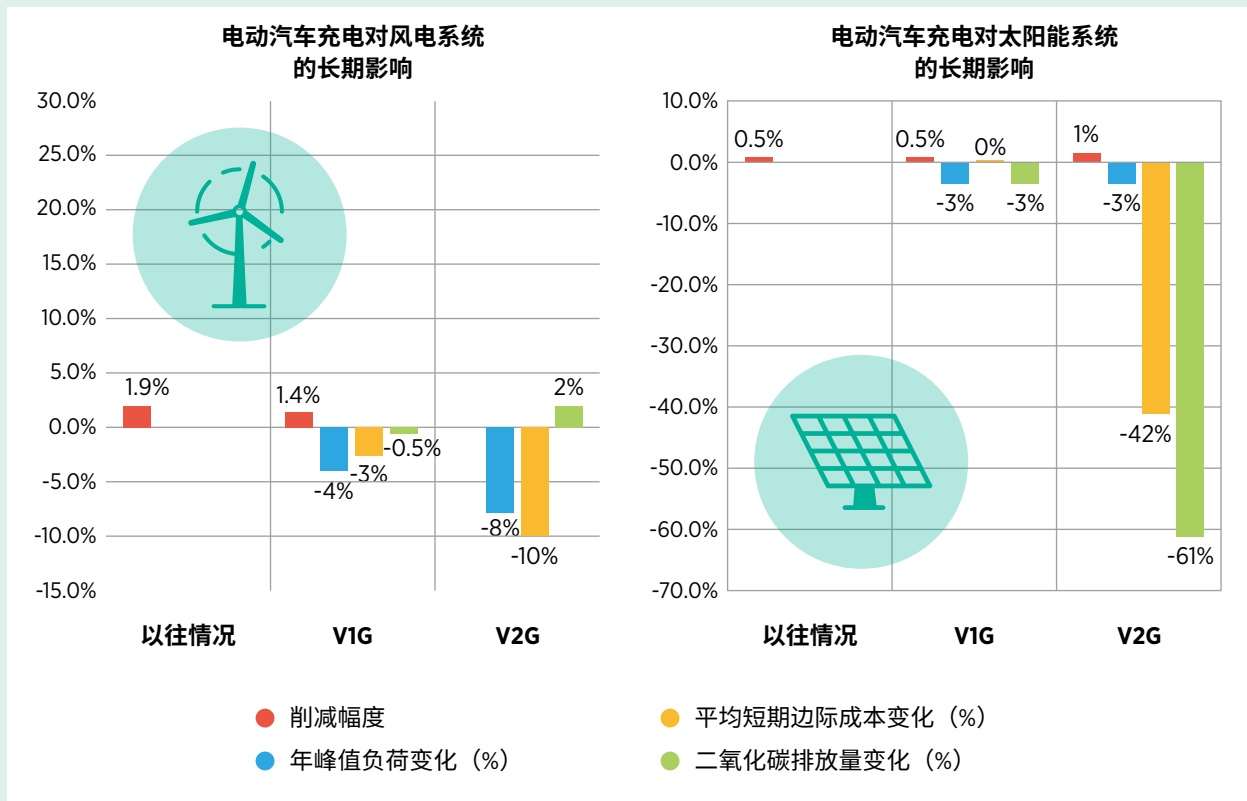


图 S6: 电动汽车充电的长期影响

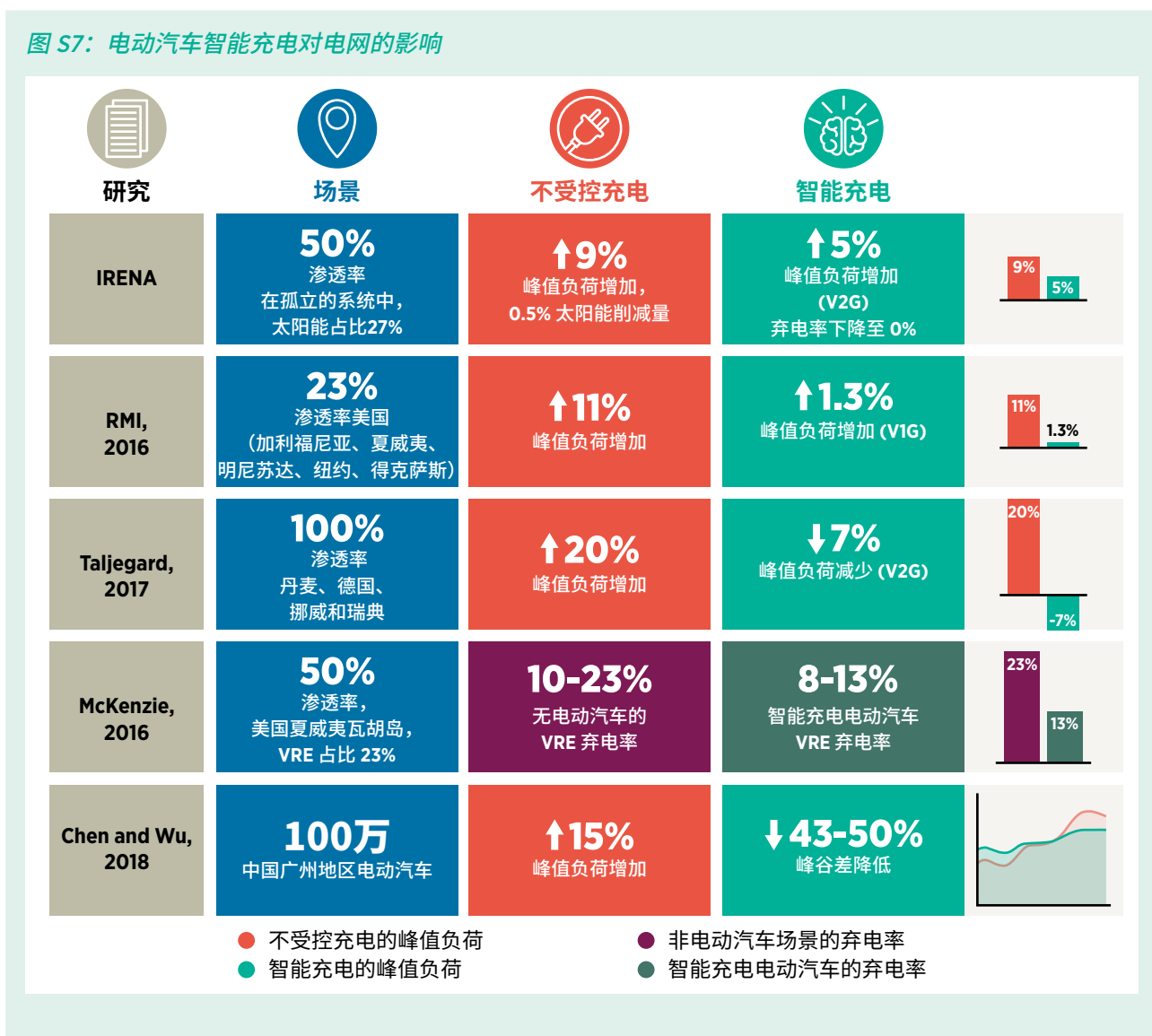


智能充电降低了峰值负荷，减少弃电量并允许高比例的低成本光伏发电。这可有助于淘汰高成本发电厂，降低电价。

无论是太阳能还是风能智能充电，系统中可再生能源比例的增高降低了 CO<sub>2</sub> 的排放量。短期边际成本的降低在很大程度上也伴随着可再生能源比例的提高。模拟 V1G 和 V2G 时，观察到弃电量的差异很大。

IRENA 创新展望与 VRE 集成对智能充电影响类似的一些研究结果一致。其他研究发现智能充电对系统峰值负荷消减、相关 CO<sub>2</sub> 减排 (Chen and Wu, 2018; RMI, 2016; Taljegard, 2017) 及减少可再生能源弃电量 (McKenzie 等, 2016) 具有积极的影响。图 S7 对这些情形进行了总结。

图 S7: 电动汽车智能充电对电网的影响



## 出行即服务与电动汽车带来的灵活性兼容性较差

共享汽车和拼车目前已经改变了消费者的习惯。从私家车到共享出行和出行即服务（MaaS）数字化的转变预计将会持续。预计 2040 年前后，在城市环境中，大规模发展的全自动驾驶汽车将进一步推动这种趋势。这些车辆大部分将是电动的。

这种发展在城市应该最为显著，预计到 2030 年，60% 的世界人口将在城市里居住，到 2050 年将达到 70-80%。这种出行的影响程度将依赖于经济发展和人口密度。最终，MaaS 增长结合自动驾驶可能会拉低在人口密集城市中轻型电动汽车的销量（两轮车的

销售可能受影响较小）。与此同时，电动汽车可行驶里程将会增加，而且夜间将持续出现非高峰运输。

因此，系统中用来平衡太阳能发电的净可用灵活性可能会降低，尤其是在白天。每辆车每天行驶距离的增加意味着泊车时间的减少——也就是说，为电网服务的电池容量降低了。对电动汽车的灵活性可能带来什么样的影响，需要仔细研究，因为相对以私家电动汽车为主的交通运输系统，共享自动驾驶车辆组成的未来系统可能会降低这种灵活性。然而，与此同时，电动汽车智能充电可能成为扩大波动性可再生能源规模的一个关键因素。

**MaaS 可能会妨碍 VRE 整合，是因为电动汽车电池与电网连接得更少了。随着交通运输行业出现的重大变化，电动汽车可能无法提供足够的电网灵活性。**

## 2050 年电动汽车充电前景

图 S8 对电动汽车可通过智能充电给电网供电灵活性的发展进行了总结。截至 2030 年，如果宏大的政治目标和智能充电容量可用性促进了市场的发展，电动汽车提供的灵活性可能会显著增长。从 2030 年到 2050 年间，装有 200 千瓦时电池和续航里程高达 1 千千米的车辆可能会出现在路上。然而，对于这种长续航里程的需求仍然有限，其部署规模将取决于这些电池的重量和成本。

600 千瓦超快充电功率最终可能会实现，但仍在有限范围内可用。截至 2050 年，出行即服务和自动驾驶汽车将影响到系统的机动性，并极有可能削弱系统可用灵活性的提升。共享汽车泊车时间可能会降低并且大部分集中在城市郊区的充电中心，降低为平衡太阳能发电所提供的灵活性。

### 政策优先事项

除了部署更多可再生能源，国家需要设立宏大的交通目标。除了一些国家/地区已经制定了交通目标和二氧化碳排放标准外，交通工具的二氧化碳减排目标也很重要。

发布（暂时尚未实施）电动汽车临时激励政策与启动电动汽车市场密切相关。为响应当地环境和需求，直接发放货币的激励措施被逐步废除，而非货币型优惠政策最终会越来越普遍。

政府和新兴电动汽车市场的当地主管部门也应为智能充电基础设施设计激励措施。例如，在英国，根据电动汽车家庭充电计划，自 2019 年 7 月起，只有使用“智能”科技的家庭充电桩才有资格享受政府资助。（RECC，2019）。各国政府都应解决复杂的市场细分问题，比如超快速充电和多单元住宅问题。

### 监管优先事项

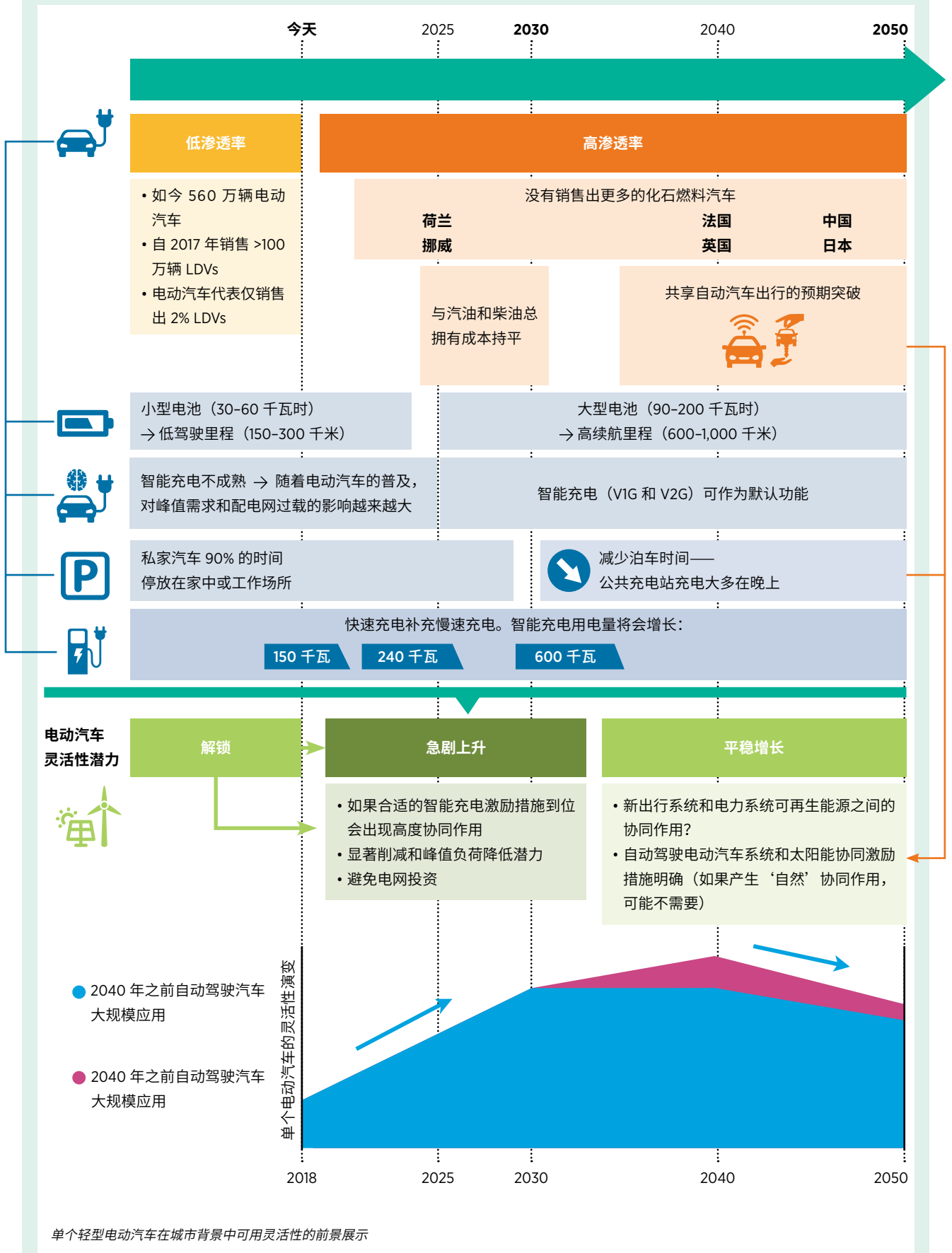
需重点监管的方面包括一开始实施的分时电价及最后的电动汽车充电动态价格、允许电动汽车参与辅助服务市场，这能使得价值叠加并避免双重收费。

首先，适当的价格信号是智能充电实施的关键促成要素。价格信号对电动汽车用户来说能使其对电动汽车充电需求转移到非高峰时段，并与可再生能源可用性相匹配。如果客户不能接收到与这样做相对应的价格信号，他们就不会将自己的电动汽车充电与 VRE 发电量相匹配。提高自动化水平能让使司机和服务供应商都能管理该系统。一些零售商（主要在美国）已经实行了电动汽车家庭充电费，与白天相比，夜间可给予高达 95% 的费率优惠（BNEF，2017e）。

电动汽车用户的零售电价必须反映实际电力结构——即，接近零边际成本有充足 VRE 可使用时，电动汽车在这种时刻充电时批发价格尽可能低。动态定价和配电网费率更新对于车辆充电和放电最佳时机信号来说是必要的（在 V2G 的情形下）。要实现这一点，必须在世界范围内建立起有效的批发和零售市场，目前即使是在前十大电动出行市场，情况也并非如此。零售价格调整通常是高度敏感的政治问题。

其次，拥有单一收入流可能不足以让 V2G 成为一种商业案例。换句话说，这些电池一定要服务多种应用，通过为系统层面和当地电网提供服务（如图 S4 所示）来实现“叠加”收入。为实现这种情形，除了动态定价之外，还有许多先决条件。在许多地方，竞争性平衡/辅助服务市场是缺失的，而且不允许当地电网运营商通过加固电网之外的其他方式管理电网拥堵。聚集的电动汽车需要进入这些市场并同时进入多个市场。

潜力释放图 S8：截至 2030 年和 2050 年电动汽车流动性及可再生能源整合的演变



法规应允许电动汽车为电力系统提供不同的服务，鼓励叠加服务和收入。但是应避免 V2G 充电的双重征税。税收和电费收费应仅适用于驾驶目的转移的净能量。

电动汽车智能充电收费过高会阻碍实现全系统性效益。双重收费就会出现这种情况——例如征收电动汽车充电费以及向电网注入电流费——以及使用电网提供的电力以及 V2G 技术向电网供电时的收费。

## 商业模式

商业模式需要考虑电力系统的需要（为电力系统提供服务的报酬）以及车辆所有者的需求（出行需求及维持车辆和电池处于良好状态）。因此，必须监控充电速度、电动汽车电池的健康状况、可能缩短的电池寿命等参数。当确定智能充电商业模式时，这些因素应考虑在内。例如，当仅因可用性而获得稳定收入时，提供运营服务会要求电池“随用随到”。另一方面，电价套利导致电池必须反复地充放电，大大降低了电池寿命。

电动汽车电池可以为某些辅助服务提供所需的快速响应，但其电源容量有限；因此单独一辆电动汽车无法提供电力系统在该时段所需的这些服务。然而，当电动汽车聚集在一起时它们可以相互补充，形成一个能够快速响应的虚拟发电厂，并能在所需的时段提供服务。

虚拟电厂运营商 Next Kraftwerke 以及一家电动汽车聚合商及智能充电平台的供应商（Jedlix）已经启动了一项国际试点项目，利用电动汽车电池为 TenneT（一家荷兰输电系统运营商）提供二级控制储备。Jedlix 能够结合用户偏好、汽车数据和

聚合商商业模式促进了电动汽车作为灵活性资源的使用。要在批发市场提供电动汽车电力，至少需要有1-2兆瓦的容量。这要求约 500 辆汽车和其充电桩的聚合。

充电站信息来提供可用容量的连续预测。随后这被 Next Kraftwerke 用在获取 TenneT 网格服务的投标过程中（NextKraftwerke, 2018）。

## 技术优先事项

开发智能充电时应考虑到种电力系统特性。智能充电策略可能根据占电力系统主导地位的VRE的不同和不同的发电模式而产生差异。

智能充电的增量收益在太阳能系统中尤为显著。通过改变充电方式更好地配合太阳能光伏发电，以及通过实施 V2G，太阳能比例的提高可在系统层面和局部电网层面得到整合，从而缓解配电网投资需求。对于补充太阳能的电动汽车充电而言，充电时间必须转变到中午，这也意味着充电站必须位于电动汽车车主白天停放车辆的工作场所及其他商业楼宇。雇员们可在办公室使用免费的可再生能源电力充电（并且对于 V2H，可以随后在家使用可再生能源）。为此，在商业建筑中应推广预先布线和智能充电桩。

风力发电模式则更具区域性。在某些地区，这些模式可能与电动汽车充电模式匹配得很好，即使电动汽车是以不受控制的方式充电，因为通常电动汽车在晚上充电时，夜晚的风可能更大。在这些系统中，焦点应集中在夜晚家庭充电以及依据风力的变化进行的动态调整。

这些策略需随着主要在城市地区的出行即服务及针对全自动驾驶车辆的最终转变而进一步调整。电动汽车仍是交通首要方式，其次才作为“系统电池”的作用。这将不仅推动新技术的发展，例如无线充电，还能将充电从家/办公室转移到公共充电站。电动汽车灵活性的可用性——相较于基于共享自动汽车的未来系统，基于私人电动汽车保有量的交通系统中可能会降低——的影响需要进行仔细研究。

并且，目前只有少数充电站（家庭和公共场所）启用智能电网（德勤，2017），以及非常少量的汽车可使用 V2G。电动汽车普及率的增长将进一步提高充电基础设施公认标准，以及充电站、配电网和电动汽车本身互操作解决方案的需求。互操作性不仅是屏蔽充电基础设施厂商占据市场的关键，而且是利用多样化充电基础设施和计价器实现电动汽车经济高效连通性的关键。





















通信协议必须是标准化的，同时 V2G 充电站和控制系统必须具有互操作性。

表 S2：不同城市类型的充电需求

	私家车	共享出行	公共交通	两轮车	主要充电类型
低收入、人口密集的大都市			⊕ ⊕	⊕ ⊕	公共充电， 公共汽车充电中心
高收入、郊区蔓延	⊕ ⊕	⊕	⊕		家庭充电
高收入、人口密集的大都市	⊕	⊕ ⊕			充电中心， 更多快速充电



图 S9: 政策一览表

建议	行动列表	
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 推广可再生能源以实现电力系统脱碳</li> <li>• 推广 EV 以实现交通脱碳</li> </ul>	<p>1 设立宏伟目标</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同交通运输类型的目标</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 二氧化碳减排目标</li> </ul>
	<p>2 支持充电基础设施</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 公共充电、快速充电、多单元住宅</li> </ul>
	<p>3 维持或引入针对电动汽车的暂时性激励措施</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 货币或其他优势</li> </ul>
	<p>4 部署更多可再生能源</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 远大的可再生能源目标</li> </ul>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 专注智能充电</li> <li>• 激励措施是在太阳能系统中挖掘巨大增量效益的关键</li> </ul>	<p>5 标准化和确保互操作性</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• EV 和供应设备之间的 V2G 标准和互操作性</li> </ul>
	<p>6 在可再生能源比例高的岛屿和区域实施</p>	
	<p>7 制定智能充电策略以适应能源组合</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 工作场所和商业充电是‘太阳能发电系统’的关键</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 风力发电系统的家庭充电和太阳能发电系统家庭充电之间的潜在协同效应</li> </ul>
	<p>8 选择最佳的充电位置</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 交通工具和电网之间的协同效应</li> </ul>
	<p>9 市场设计应考虑智能充电，调整监管</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 顾客激励措施</li> </ul>
		 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 避免网络费用和税费的双重收费</li> </ul>
		 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在不同市场实现收益叠加</li> </ul>
<p>10 在充电桩或电池更换处利用储能辅助电网充电</p>		
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究交通行业长期发展对智能充电的影响</li> </ul>	<p>11 鉴于交通和电网的需求，支持电池和充电研发</p>	
	<p>12 研究出行即服务对 EV 灵活性的影响</p>	
	<p>13 电力和交通行业的综合规划</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在最佳位置兴建充电中心</li> </ul>

# 1. 介绍 (INTRODUCTION)

未来的电力系统将越来越多地依赖于波动性的可再生能源。未来的交通运输系统将越来越电动化。未来可能将看到一个集成的、无排放的电力和交通运输系统，其中利用可再生能源不仅可以为电网供电，也能为电动汽车（EVs）充电。电动汽车代表着交通运输和电力行业的模式转变，通过将这两个行业联结起来，有可能帮助这两个行业实现低碳化。特别是在城区环境中，随着空气和噪音污染以及燃料进口的大大减少，低碳化的交通运输将使城市受益，并提供新的技术选项以便重新思考城市的出行方式。

随着可再生能源发电成本的持续降低，电力成为交通运输行业极具吸引力的低成本燃料。大幅增加电动汽车的使用量也给电力系统带来了机遇，有可能给可再生能源占比高的系统提供急需的灵活性。电动汽车是一项独特的创新，因为它不同于其他灵活性选项，电动汽车尚未发展到可以服务于电力系统的程度。相反，虽然它们来自另一个行业，但却给电力系统带来了巨大的机遇。要利用好这两个行业之间的潜在协同优势，有必要在技术、商业模式和监管方面进行创新。

本创新前景研究了 VRE 和 EV 之间的潜在互补程度，以及如何在 2030 年和 2050 年之前通过实施智能充电来开发这一潜能。

本报告可分为以下几节：

**第 2 节** 总结现状，并概述电动汽车市场的最新发展状况及其与可再生能源的协同作用。

**第 3 节** 介绍智能充电的前景，描述当今可用的各种充电类型以及该领域涉及到的项目。本节讨论了如何在中期（2030）和长期（2050）发展中提升电动汽车的灵活性。本节还评估了不同类型的充电基础设施是否适合智能充电，以及利用数字化作为智能充电的助推器。

**第 4 节** 评估电动汽车市场价值链及商业模式，并评估了车-网一体化（VGI）的挑战和最佳实践。

**第 5 节** 介绍电动汽车的前景。本节评估了电动汽车与内燃机（ICE）汽车相比在用车总成本方面的竞争力，以及预计这一成本将如何变化。此外，本节还介绍了电池技术和交通运输系统向出行即服务 - 以及最终向广泛使用自动驾驶汽车 - 的演变。

**第 6 节** 讨论智能充电对全球能源系统的影响。本节介绍了为评估电动交通领域的关键预期创新以及对电动汽车与电网联结关系的影响而进行的建模结果。

**第 7 节** 提供了一份总结性政策列表，总结了关于创新前景以及定量化建模方面的主要见解。本节为决策者和其他利益相关者列出了关键步骤清单，这些步骤对于有效利用最有前途的创新以便最大限度地发挥电动汽车和可再生能源之间的协同作用是必不可少的。

## 2. 进展状况

本节概述了电动汽车市场的最新发展状况以及对轻型汽车（包括不超过 35 吨的轻型商用车和乘用车）、公共汽车和卡车的现行监管激励措施。另外，本节还概述了提升电动汽车潜在灵活性的主要决定因素。

### 2.1 电动汽车市场发展

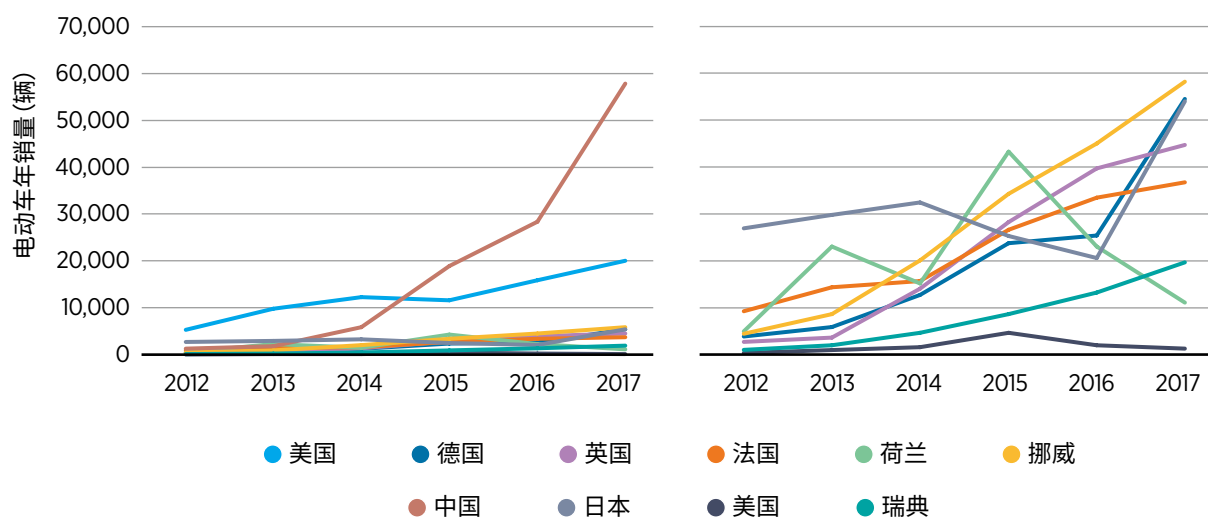
根据巴登-符腾堡州太阳能与氢能研究中心（ZSW）的数据显示，到 2019 年初，全球已有 560 万辆电动汽车在道路上行驶。中国和美国（US）是最大的市场，分别<sup>2</sup>拥有 260 万辆和 110 万辆电动汽车。平均来看，在 2012 年至 2017 年间电动汽车销量快速增长，复合年增长率（CAGR）达到了 57%。然而，市场仍处于初级阶段，电动汽车仅占 2017 年所有轻型汽车销量的 1.3%（麦肯锡，2018）。政策支持计划以及国际、

国家和私人方面对电动汽车部署的承诺是推动市场发展的主要动力。

中国电动汽车市场的销量增幅最大，2012 年至 2017 年间的复合年增长率为 114%。2015 年，中国的电动汽车总销量超过美国，2017 年占全球电动轻型汽车销量的 48%。中国政府已经出台了直接的货币优惠政策来支持购买电动汽车，包括一次性补贴和购置税减免，以及非货币激励措施，例如限制燃油汽车（ICE）的登记上牌。

继中国和美国之后，下一个最大市场在欧洲，从 2012 年到 2017 年，在德国（CAGR 为 75%）、挪威（70%）和英国（68%），电动汽车的销量增长可观。图 1 显示了 2017 年占全球电动轻型汽车销量的 88% 的 10 个国家的电动汽车销量的演变过程。

图 1: 2012 年至 2017 年部分国家的轻型汽车类中的电动汽车销量变化图（两图分别为包括和不包括中国和美国）



根据 Navigant Research, 2016c; BNEF, 2017a; ACEA, 2017; OICA, 2017。

2 [www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html](http://www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html)

虽然中国和美国是电动汽车销量最大的市场，但其他国家在将电动汽车纳入其整体交通工具方面却取得了更大的成功。图 2 显示了电动汽车在轻型汽车销量中的市场普及率的演变过程。2012 年以来，挪威取得了显著的进步，2017 年以其电动汽车的占有率接近 40% 而成为全球领先者。这是近年来营造优惠的政策环境带来的结果，这些政策涵盖从税收减免到公路通行费和渡轮费的减免等大量激励措施。

仅次于挪威，瑞典、美国和荷兰在 2012 年至 2017 年间成为电动汽车整合方面进展最快的市场，2017 年其电动汽车在轻型汽车市场的占有率分别为 5.1%、3.3% 和 2.7%。其余六个最大市场的电动汽车普及率不超过 2.5%，接近全球平均水平。请注意，2017 年提供的数值仅指客车类中电动汽车的普及率。

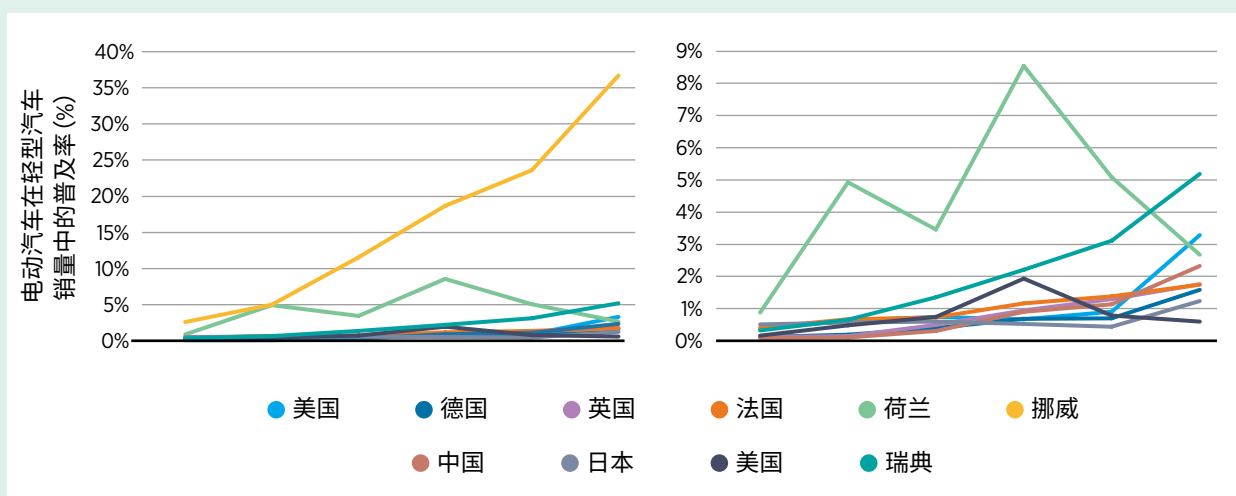
随着电动汽车与燃油汽车（ICE）用车总成本持平时代的到来，政府对交通运输行业低碳化的有力支持和承诺，将成为推动电动汽车普及应用的主要驱动力。不仅私人客户在逐渐转向电动汽车，而且企业将其车队“绿色化”的趋势也越来越大，这作为其雄心勃勃的减排计划的一部分，或者是为了获得诱人的补贴。这计划将代表对电动汽车行业的需求信号，同时也将鼓励其他企业对企业（B2B）客户开展类似活动。

由气候组织（The Climate Group）于 2017 年发起的 EV100 计划鼓励公司致力于向 100% 电动车队迈进并安装充电基础设施。在实施该计划最初的几个月中，已经与 10 家跨国公司签署了协议，其中包括瑞典电力公司 Vattenfall、宜家集团和中国互联网巨头百度（气候组织，2017）。Vattenfall 制定了迄今为止实施该计划最迫切的时间目标，该公司设定了到 2022 年将其车队（3,500 辆轻型汽车）转型为 100% 电动车队的目标，作为其到 2050 年实现气候中和目标的一部分。换车任务将耗时五年，还将包括德国、荷兰和瑞典的车队（Vattenfall，2017）。

法国邮政局 La Poste 也是该领域的先驱，在其 75,000 辆车的车队中拥有 35,000 辆电动汽车（FleetEurope，2017）。2017 年，德国 Deutsche Post DHL 集团也设定了到 2050 年实现零排放物流的目标，部分目标将通过使用电动汽车来实现（见文本框 1）。

除了常规的电动轻型汽车外，其他类型的电动汽车，如公共汽车和卡车也有着广阔的市场。表 1 显示了按地区列出的电动公共汽车和电动卡车的最新市场普及率。和轻型汽车市场结构一样，电动公共汽车和卡车也包括插电式混合动力电动汽车（PHEVs）和纯电池电动汽车（BEVs）。

图 2：电动汽车在轻型汽车销量中的普及率演变



根据 Navigant Research, 2016c ; BNEF, 2017a ; ACEA, 2017 ; OICA, 2017。

## 文本框 1: DHL 的电动车队

2014 年, DHL 收购了电动汽车制造商 StreetScooter。由于内部开发和制造的一系列 StreetScooter 车辆, 以及约 10,500 辆电动自行车和电动三轮车, 德国邮政 DHL 集团今天运营着德国最大的电动车队。该公司计划用可再生能源产生的电力充电的电动汽车替换其整个邮件和包裹递送车队。

DHL 与福特合作开发的最新电动 WORK 送货车配装了 20.4 千瓦时 (kWh) 的电池, 续航里程范围在 80 公里 (km) 至 200 公里之间。它最多可以运载 700 公斤货物。截至 2018 年底, 将有超过 2,500 辆这种货车投入使用 (AirQualityNews.com, 2017)。

现在 DHL 还正在向市政当局和其他大型车队客户出售专为邮政运营和投递而设计的电动汽车。

表 1: 2016 年电动公共汽车和电动卡车销量的市场渗透率

地区	公共汽车	货车
北美	1%	0.3%
西欧	1%	0.9%
东欧	0%	0.2%
亚太地区	28%	0.2%
拉丁美洲	0%	0.0%
中东与非洲	0%	0.0%
总计	16%	0.2%

来源: Navigant Research, 2016a; Navigant Research, 2016b。

电动公共汽车市场主要集中在亚太地区, 2016 年该地区的市场普及率达到 27.6%。自 2014 年以来, 中国电动公共汽车的投用量已经有了很大的提升, 如今, 其电动公共汽车占全球公共汽车销量和车队的 99%。北美和西欧的市场普及率约为 0.6%。中国的电动公共汽车在 2017 年达到了 340,000 辆, 而欧洲最大的电动公共汽车车队在英国, 其电动公共汽车仅占 344 辆 (BNEF, 2018a)。然而, 例如在美国, 诸如校车之类的某些细分市场却具有电动化潜力, 正逐渐吸引着投资者的注意力。

由于城市和工业区的空气污染问题, 中国处于公共交通汽车电动化的前沿。公共交通电动化的战略出自想要减少空气污染的城市管理部门。例如, 深圳迅速地大量投用电动公共汽车, 已经帮助该市极大地降低了温室气体排放量。转向电动公共汽车也得到了国家政府的支持, 国家政府在公共交通领域有着巨大的雄心。除电动化外, 中国还投资兴建了国家高速铁路网、地铁和公共汽车快速交通系统。

在欧洲, 预计未来几年电动公共汽车的数量将显著增加。欧洲 25 个城市中至少有 19 个公共交通运营商和市政当局已经制定了 2020 年电动公共汽车战略大纲 (UITP, 2016)。尽管电动公共汽车市场属于小批量生产的细分汽车市场, 且仍处于发展的早期阶段, 但因为人们对它日渐浓厚的兴趣, 及政府对交通运输行业低碳化的需求, 所以其在不久的将来必定具有巨大的增长潜力。

最大的电动卡车市场在亚太地区, 其 2016 年约占全球销量的一半。然而, 电动卡车在西欧达到了最高的市场普及率。虽然这仍然是一个小的市场, 且 2016 年的销量还不到 10,000 辆, 但预计电动卡车的使用将会在某些领域迅速增长, 例如小型服务卡车和送货卡车 (IRENA, 2017a)。

## 2.2 电动汽车和充电基础设施的扶持政策

目前电动汽车的市场普及率主要是由公共部门（政府）对电动汽车的支持以及建设更多的充电基础设施来推动的。在过去的五年中，货币和非货币型激励政策均明显促进了电动汽车销量的增长。这些激励政策已在国家、地区和城市各层面实行。

在货币激励方面，荷兰、挪威和德国已实施了与使用内燃机（ICE）汽车有关的加税措施，并为电动汽车提供了税收优惠或免税支持政策。法国、德国和英国对购买电动车实行一次性补贴（EC JRC，2017）。

非货币激励措施可以有效代替昂贵的补贴。美国和挪威等国家允许电动汽车使用拼车专用道或公共汽车专用道，以便消费者能够避开交通拥堵。像在英国和一些德国的城市，创建方便低排放车辆优先通行的低排放区也是城市推广电动汽车的一种越来越流行和强大的工具。尽管如此，这些政策也只是启动电动汽车市场的权宜之计。永久保留这些措施可能会产生副作用，例如拼车专用道和公共汽车专用道拥挤。收费公路的收费也可能需要调整。

有些政府在电动汽车领域设定了目标。表 2 给出了最大电动汽车市场中政府提出的主要电动汽车目标。这些目标随国家而不同，不仅体现在目标任务层面（例如目标年份或绝对数字）上，而且体现在制定方式上都不同。减少当地的空气污染并不是制定这些目标的唯一动机。《巴黎气候变化协定》在推动各国承诺交通运输行业减少排放方面也扮演着重要的角色。法国、荷兰、挪威、西班牙和英国政府已经设定了禁止销售化石燃料汽车的目标日期。

这些政府目标是对二氧化碳（CO<sub>2</sub>）标准的补充，例如在欧盟（EU）中针对新型客车和货车实行的那些标准。通过设定新型客车和货车的平均 CO<sub>2</sub> 排放限值，欧盟旨在激励创新及鼓励向市场供应零排放和低排放车辆。

除车队外，一些政府还设定了与普及充电基础设施有关的目标，因为缺少足够的充电基础设施已成为电动汽车销售的主要阻碍。

全世界的政府和公共事业部门都鼓励在居民区、工作场所等半公共场所以及公共场所安装充电站（参见文本框 2）。对充电基础设施发展的支持包括安装更多的充电桩（也叫电动汽车供应设备或 EVSE），提出项目实施的目标，落实特定资金。在中国、几个欧洲国家和日本已提供了大量支持。

例如，为推出快速充电网络，日本开发银行正在资助一个由四家汽车制造商和公用事业公司 TEPCO（日本充电服务）组成的财团，而中国的市政府正在向与中国国家电网公司合作的 88 个试点城市提供支持。在美国，部分政府资金已经投用到了充电基础设施中，加利福尼亚州和其他几个州的投资者拥有的电网公司可能需要寻求审批以使用由纳税人提供资金（即，接受监管）的 EVSE，这需要公用事业监管机构进行审批，以确保此类投资能使所有纳税人受益，而且还不构成反竞争。<sup>3</sup>

世界主要经济体的跨国论坛在加快向清洁交通的能源转型方面也发挥着重要作用。文本框 3 详细介绍了清洁能源部长级合作机制（CEM）提出的电动汽车计划。

附录 1 中概述了各种现有的电动汽车优惠政策，包括货币和非货币激励措施，以及一些案例研究。

<sup>3</sup> 在欧洲，电动汽车充电基础设施成本必须保留在非捆绑式配电系统运营商的监管资产基础之外。因此，只有商业计划是可能的。

表 2：电动汽车的主要政府目标和预测

国家	目标
奥地利	· 到 2020 年，在道路上的电动汽车占有率达到 1.3% 至 3.4% · 到 2020 年，可用公共充电桩在 3,500 个到 4,700 个之间
比利时	· 到 2020 年，在道路上的电动汽车占有率为 1.3% · 到 2020 年，将有 8,300 个可用公共充电桩 · 自 2030 年起禁止柴油车在布鲁塞尔通行 (Manthey, 2018)
中国	· 到 2020 年，在客车市场中电动汽车 (PHEV 和 BEV) 的销售普及率达到 4% · 2017 年，该国讨论了可能“在不久的将来”对柴油和汽油车的生产和销售实施禁令 (《卫报》，2017)。
法国	· 自 2040 年起禁止销售化石燃料汽车
德国	· 到 2020 年，将有 100 万辆电动汽车在路上 · 2017 年至 2020 年间在高速公路上建新 1,000 个电动汽车充电站
印度	· 自 2030 年起禁止销售化石燃料汽车
日本	· 到 2030 年，将电动汽车的销量占有率提高到 20% 至 30%
荷兰	· 到 2025 年，禁止销售新的汽油和柴油汽车
挪威	· 到 2025 年，出售的所有新型客车和货车均为零排放车辆
大韩民国	· 到 2020 年，达到 20 万辆电动汽车
西班牙	· 提议的法律，到 2040 年禁止销售化石燃料汽车，到 2050 年禁止其通行 (Sauer 和 Stefanini, 2018)
英国	· 到 2040 年禁止销售新的汽油和柴油汽车 · 到 2030 年电动汽车销量占有率达到 60%，到 2040 年达到 100% 到 2020 年，将有 155 万辆电动汽车在路上
美国	<p>尽管没有明确的国家级目标，但许多州和城市已经设定了他们自己的目标。例如：</p> <p><b>城市</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 纽约的目标是，到 2025 年，电动汽车的销售普及率达到 20%；到 2040 年，有一个全电动汽车车队</li> <li>· 洛杉矶的目标是，到 2025 年，在全市电动汽车的占有率达到 10%，到 2035 年达到 25%</li> </ul> <p><b>州</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 尽管没有明确的国家级目标，但许多州和城市已经设定了他们自己的目标。例如：</li> <li>· 加州的目标是到 2025 年达到 150 万辆零排放轻型汽车，到 2030 年达到 500 万辆。该州计划在 2018 年至 2025 年间花费 25 亿美元去扩容充电网络基础设施</li> <li>· 伊利诺伊州的目标是到 2025 年实现 60% 的 PHEV 销量和 15% 的 EV 销量</li> <li>· 2014 年，八个州（加利福尼亚州，康涅狄格州，马里兰州，马萨诸塞州，纽约州，俄勒冈州，罗德岛州和佛蒙特州）的州长共同承诺，到 2025 年，其道路上的零排放车辆总数达到 330 万辆，或 180 万，不包括加利福尼亚州</li> </ul>

根据 EC, 2017 ; SLoCaT, 2017 年。

## 文本框 2：充电基础设施优惠政策：案例研究

欧盟 (ICCT, 2016)

在欧盟层面，2014 年批准的一项关于部署替代燃料基础设施的指令要求成员国制定安装电动汽车充电桩等基础设施的实施计划和目标。此外，从 2013 年到 2015 年，根据欧盟的 TEN-T 计划，投资约 3,500 万欧元，用于在北欧主要道路网络上安装近 600 个快充充电站。

爱尔兰 (Gallagher, 2018)

为支持到 2030 年零排放汽车在汽车市场的销售普及率达到 30% 的政府目标，2018 年实施了一项新举措，根据这项新举措，电动汽车车主可以申请获得高达 600 欧元的补助金，用于购买和安装住宅充电桩。

荷兰，阿姆斯特丹 (BNEF, 2017b)

2016 年，该市与能源公司 Nuon 签署了安装公用充电桩的合同。在某些情况下，电动汽车车主有资格要求免费安装公共充电桩。例如，电动车车主不应拥有自己的场地或可以使用私人停车位，应持有或有资格获得符合要求地址的停车许可证。作为交换，允许阿姆斯特丹市政当局使用充电数据（尽管是匿名的）用于研究。

英国 (英国政府, 2016)

低排放车辆办公室提供补助计划，以承担安装电动汽车充电基础设施的部分相关费用。资助金额和条件取决于充电系统的最终用户。电动汽车家庭充电计划为住宅客户提供最多可覆盖总采购和安装成本的 75% 的补助金。从 2019 年 7 月开始，只有使用“智能”技术的家庭充电点才有资格获得此项政府补助。智能充电点的定义是可以接收、理解和响应能源系统运营商或第三方发出的信号以指示何时是相对于整体能源供需的合适充电或放电时间的充电点。(RECC, 2019)。针对地方当局希望在路边安装住宅充电点的计划，设计了类似的方案。根据“工作充电计划”，企业、慈善机构和公共部门组织可以为每个插槽申请 300 英镑的代金券，上限为 20 个。

美国，加利福尼亚 (Guinn, 2017)

在美国市场，加利福尼亚州的电动汽车普及率最高。由州政府、公用事业部门或市政当局主导实施的约 15 个计划鼓励安装充电站。特定的客户群（工作场所、多户住宅、弱势社区、企业、市政设施等）可获得 EVSE 退税或税收抵免。例如：

- 伯班克水电公司为安装一个 2 级（240 伏 (V)）充电点的客户提供高达 500 美元（住宅）和 1,000 美元（商业）的折扣。要想有资格获得折扣，申请人的电费率必须符合使用时间。
- 南加州爱迪生 (SCE) 的充电就绪计划在 SCE、一家受监管的电力公司和 EVSE 的当地“站点主办方”之间建立了合作伙伴关系。站点主办方承诺自费购买合格的 EVSE，SCE 安装、维护并向纳税人收回站点准备和配电系统升级的费用。
- 圣华金空气污染控制区正在充电！计划，向该地区内的安装电动汽车公共充电点的公共机构和企业提供补助金。申请者每年最多可获得 5 万美元，或每单位最多可获得 5,000 美元。



### 文本框 3：清洁能源部长级合作机制的电动汽车宣传活动

跨国支持电动汽车部署的一个有趣例子，是清洁能源部长级合作机制（CEM）最近批准了一项在电动汽车计划（EVI）下的 EV30@30 宣传活动。该活动旨在通过设定到 2030 年电动车销量达到 30% 的目标，通过推广电动汽车车队和建设充电基础设施来促进电动汽车市场的发展。然而，该目标得到了支持这项计划的 CEM-EVI 成员国的共同实施，包括：加拿大、中国、芬兰、法国、印度、日本、墨西哥、荷兰、挪威和瑞典。

该运动还获得了 C40、国际汽联基金会、全球燃料经济倡议、自然资源保护委员会、可持续发展伙伴关系、低碳运输伙伴关系（SLoCaT）、气候组织，联合国环境署、人居署和国际零排放车辆联盟（ZEV 联盟）的支持（CEM-EVI，2017）。

**法国、荷兰、挪威、西班牙和英国政府已经宣布了禁止销售化石燃料汽车的时间表。许多国家已经宣布了电动汽车和电动汽车充电基础设施的目标，并已经实施了各种货币和非货币激励措施。**

## 2.3 电动出行市场中可再生能源在电力结构中的比例

电动汽车在交通运输行业中具有三大优势：首先，它们使用更便宜的燃料，这意味着每公里消耗的电费通常低于每公里消耗的汽油或柴油的费用。其次，电动汽车没有就地排放污染。它们有助于减少颗粒物和噪音排放。第三，电动动力总成的能效要比内燃机（ICE）动力总成的能效高得多。对于电动汽车来说，全流程油耗大约是高效内燃机（ICE）汽车的三分之一至四分之一（EPRI，2018）。

即使主要用“化石燃料”充电，通常电动汽车也比内燃机（ICE）汽车排出更少的温室气体（Creara，2017）。如图 3 所示，电动汽车的相对 CO<sub>2</sub> 排放量取决于电网供电组合。例如，在中国，电动汽车的平均二氧化碳排放量仍比内燃机（ICE）汽车低，而在印度和澳大利亚，电动汽车的平均二氧化碳排放量却比内燃机（ICE）汽车高。相比之下，在冰岛，电动汽车实际上是无排放量的。

即使电动汽车不通过基于可再生的电力组合来进行充电，它们对减少城市空气污染 - 这导致每年数百万人过早死亡 - 而产生的立竿见影的效果也代表重要的第

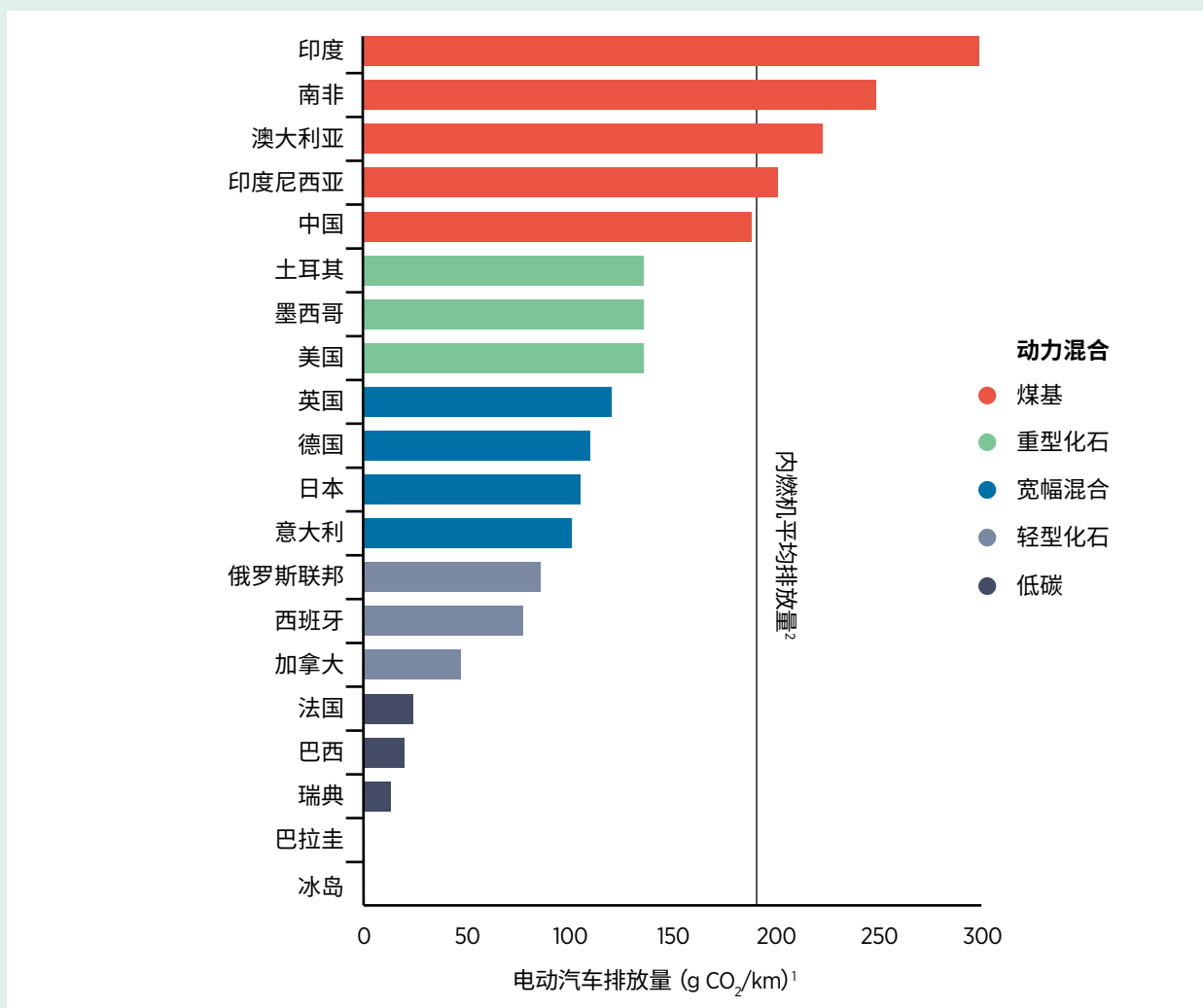
一步。世界卫生组织估计，全世界十分之九的人生活在空气中污染物含量高的地方，每年因周围的空气污染而导致的中风、心脏病、肺癌和慢性呼吸道疾病造成 420 万人死亡。（世卫组织，2018 年）。

然而，为了通过电动化来实现交通运输实现的真正低碳化，用来给电动汽车电池组充电的电力就应该产自可再生能源。

由于在美国等道路上电动汽车数量最多的国家的电力组合中，可再生能源的占比份额较低，因此通过使用可再生电力充电的电动汽车来实现交通低碳化的潜力还远远没有得到充分发挥。那么同样，可再生能源份额高的国家则可以从交通运输的进一步电动化中获益。为了获得两者的全部利益，交通运输的电动化需要与电力部门的低碳化携手并进，而不是一个不顾另一个。下图探讨了如何使用清洁电力为当前的电动车队充电。

图 4 列示了 2016 年总的电力需求，以及轻型汽车（如果全部为电动汽车）的总电力消耗估算值。如果在像美国这样的国家，所有轻型汽车都是电动的，那么它们将占总电力需求的 24%。鉴于美国可再生能源的总发电量约为 18%，因此即使是从理论上讲，

图 3: 电动汽车二氧化碳排放量



1 结果包括直接电网排放量、间接电网排放量和损耗量  
 2 GreenVehicleGuide, 澳大利亚政府  
 资源: Creara, 2017。

也无法使用“可再生电力”来满足所有轻型汽车的电力需求。在日本和德国等国家情况也是如此，尽管程度更小。这就清楚表明在这些国家有必要加强低碳化工作。

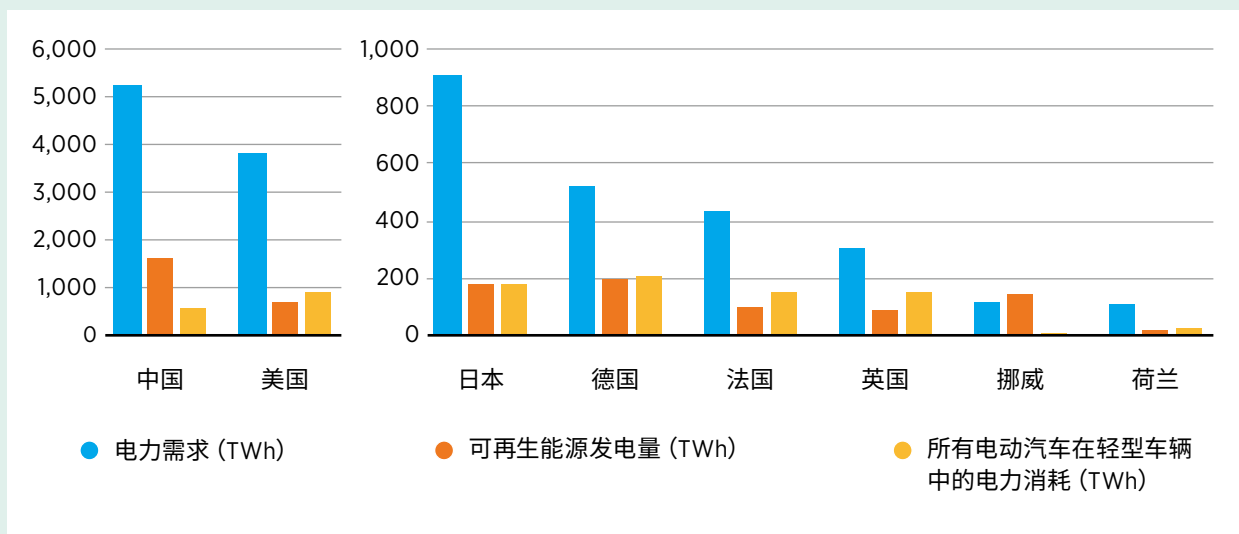
图 5 显示了在图 1 中分析的相同的 10 个国家中的三项指标之间的关系：电动汽车在轻型车队中的普及率、可再生能源在发电中的份额以及当前电动汽车车队的规模。

挪威是最有可能用清洁能源来为全国电动汽车充电的国家。相比中国和美国，挪威不仅有近 98% 的发电

量来自可再生能源，而且电动汽车的规模总量也相对较少。最后，由于挪威的能源组合是建立在水力发电基础上的，因此比基于波动性可再生能源（如太阳能和风能）的电力系统更加灵活。尽管可再生能源的占比份额很低，但法国的核能电力组合也能主导低碳。

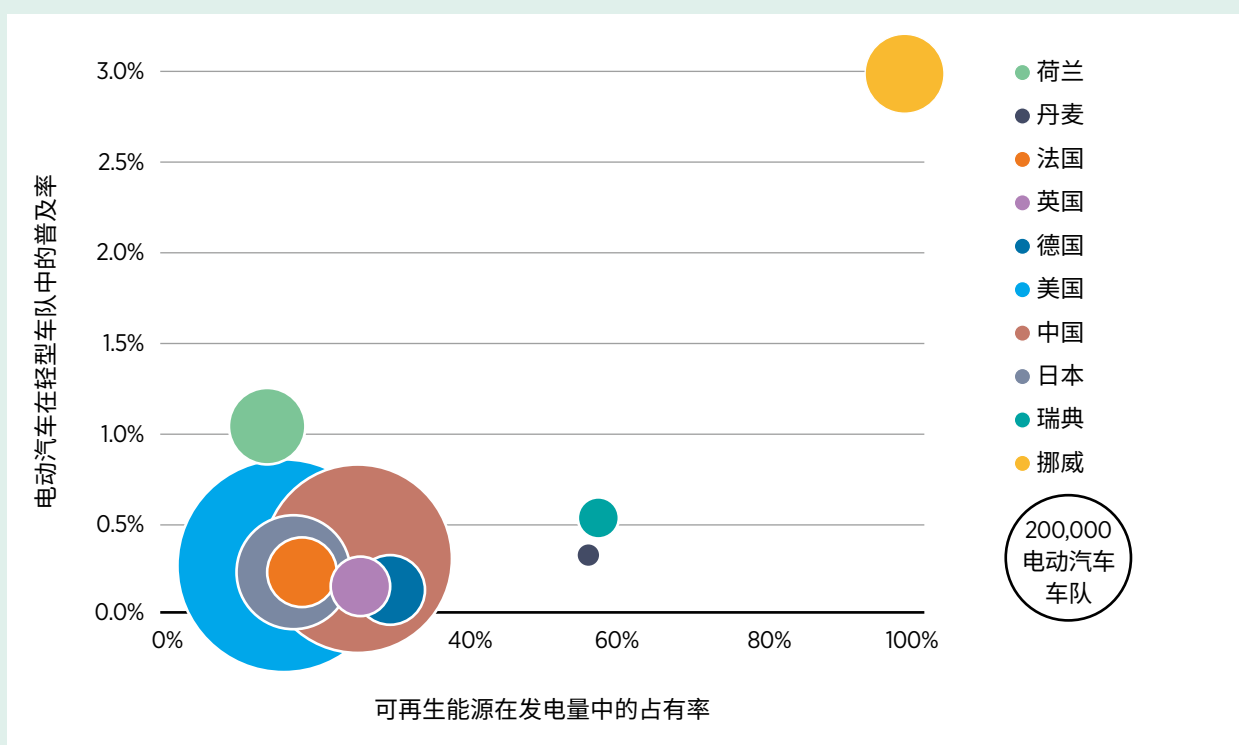
当没有水力发电并且还要为交通运输行业提供波动性太阳能和风能时，用可再生能源给电动汽车充电将变得更具挑战性。电动汽车数量最多的国家 - 中国、法国、日本和美国 - 风力发电和太阳能发电在其发电组合中所占份额很小，而在丹麦和荷兰，几乎所有可再生电力都产自风力发电。如果仅用风力来满足电动汽

图 4：2016 年部分国家的电力需求、可再生能源发电量和电动汽车电力需求



根据 Enerdata, 2016; BNEF, 2017c; Tractebel, 2017。

图 5：2016 年部分国家的清洁电力出行普及率指标



根据 Enerdata, 2016, Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017。

车的电力需求，那么丹麦 - 其发电量的 51% 来自风力发电厂且其电动汽车数量不多 - 将是最有可能利用风力发电满足电动汽车电力需求的国家（图 6）。

当可再生能源发电量超过需求时，电动汽车可以创造巨大的蓄电能力来存储多余的电量。但是，最佳的充电方式则取决于可再生能源的组合。电力系统中的电动汽车集成策略与太阳能发电占比较高的系统和风力发电占主导地位的系统的策略有很大的不同。

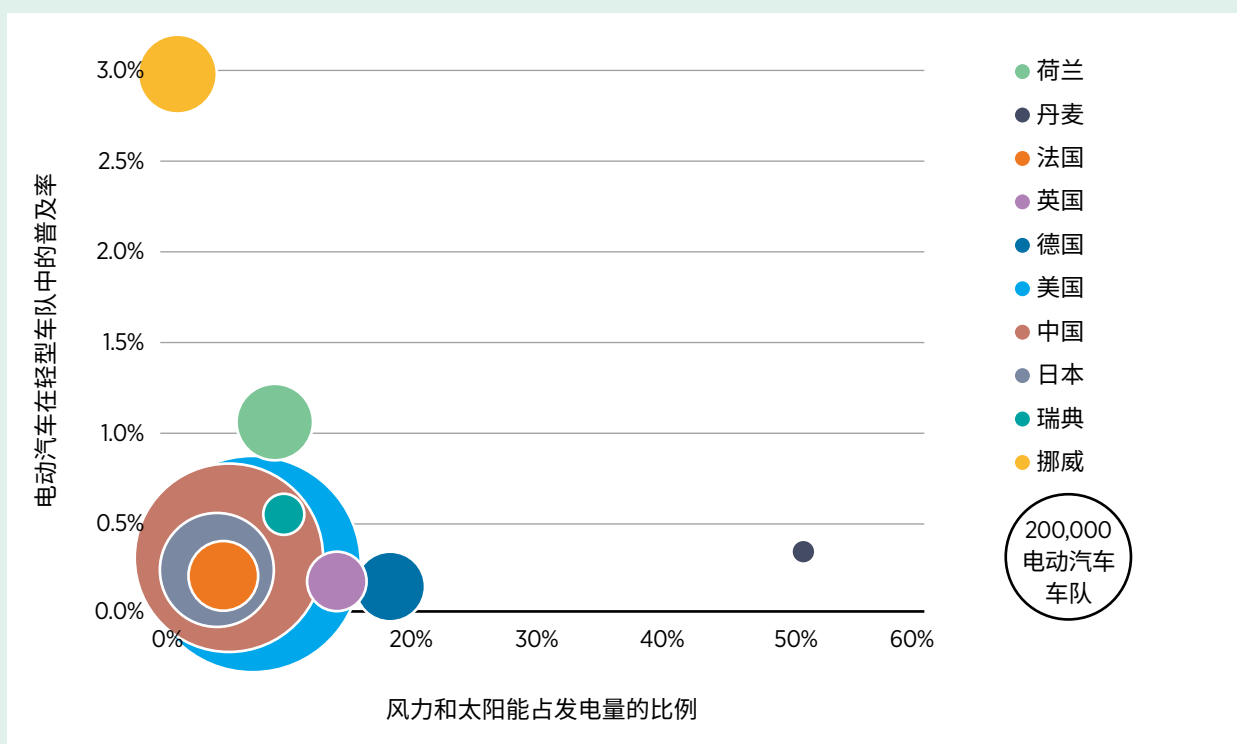
图 7 和图 8 分别突出显示了风能和太阳能在发电中的份额。日本和瑞典的例子值得注意。瑞典的整个 VRE 发电量都来自风能，而日本的则来自太阳能。从这个意义上讲，日本可以在白天利用其 26 吉瓦的蓄水发电装置来存储多余的太阳能光伏，然后在夜间用这

些电力为电动汽车充电。然而，瑞典的情况是，电动汽车的充电可以更多地分布在白天和晚上，以匹配风力发电的可用性曲线。

VRE 的电力共享类型、驱动方式和充电需求是三个变量，在实现 EV 和 VRE 之间的协同作用最大化以及运输车队的低碳化时，需要同时考虑这三个变量。有关电动汽车与高太阳能或高风电离网系统集成的影响的更深入的研究结果请参阅第 6 节相关内容。

尽管电动汽车在行驶时不会产生排放物，但它们使用的电能通常仍主要来自化石燃料。为了获得两者的全部利益，交通运输电动化必须与电力行业的低碳化携手并进。

图 6：2016 年部分国家电动汽车在轻型车队中的普及率与风力和太阳能在发电量中占有率的比较



根据 Enerdata, 2016, Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017。

图 7：2016 年部分国家电动汽车在轻型车队中的普及率与风能在发电量中占有率的比较

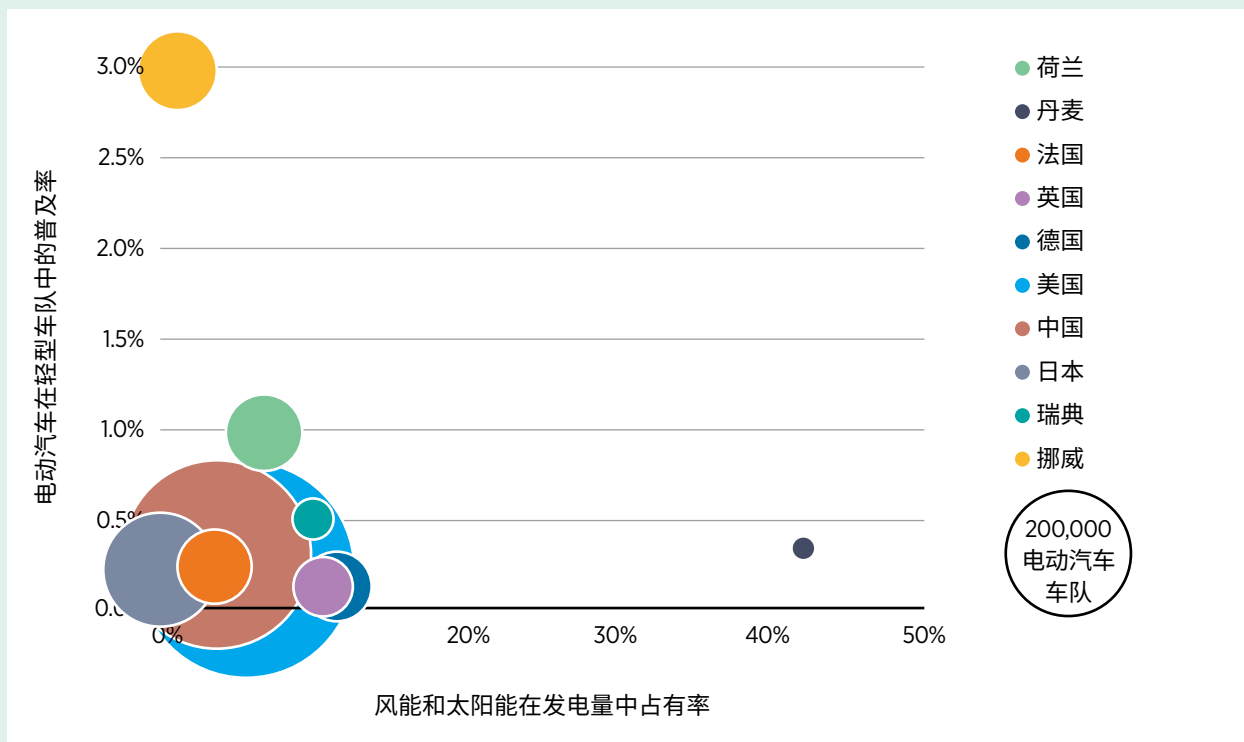
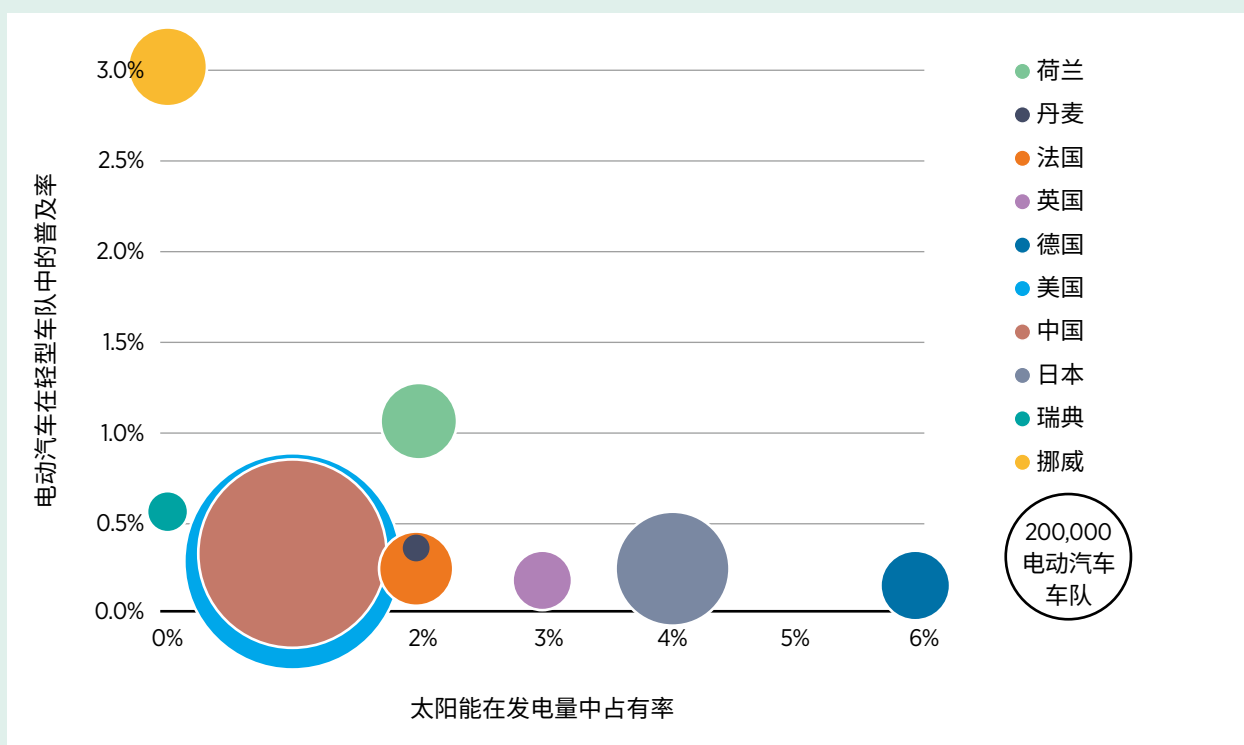


图 8：2016 年部分国家电动汽车在轻型车队中的普及率与太阳能在发电量中占有率的比较



根据 Enerdata, 2016, Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017。

## 2.4 电动汽车灵活性潜力

由于电动汽车是一种电力密集、可移动且可控制的负载，因此采用电动汽车智能充电就能够与可再生能源结合在一起建立一个正反馈回路。研究表明，通常，包括电动汽车在内的所有汽车在其寿命的 95% 的时间都属于停驶状态 (Pasaoglu 等人, 2012)。结合其存储容量，电动汽车可能会成为支持系统运行的有吸引力的灵活性解决方案。它们可以成为连接电网的存储单元，可以为系统提供广泛的服务。IRENA 分析表明，未来的电动汽车电池容量可能会使固定电池容量相形见绌。到 2050 年，相比 9 太瓦时 (TWh) 的固定电池而言，大约 14 太瓦时 (TWh) 的电动汽车电池则可提供电网服务。(IRENA, 2019b)。年行驶 15,000 公里的电动汽车的平均电力消耗约为 3,000 千瓦时/年。即使在缓慢充电的情况下 (即，以低功率，如 3.7 千瓦进行充电)，每年充电所花费的总时间约为汽车闲置时间的 10%。假设电动汽车在其 100% 停车时间段都连接至充电基础设施，这意味着每年用于充电的“灵活性窗口”约为这些时间的 85%。从理论上讲，这将转化为每辆汽车约 3,000 千瓦小时/年的灵活能源输出。换句话说，电动汽车可以在一部分停车时间里进行充电。鼓励在电价最便宜的时段充电，对于电力系统和车主来说都是一个巨大的机会。

在实际中，由于驾驶员的时间限制，采用快速充电或在车辆停放但未插入电源时，灵活性就会降低。决定能从电动汽车获得多少灵活的充电 (放电) 能源受到多种因素的制约，图9总结了这些不同的因素。

### 电动汽车为当今的电力系统提供了灵活性

如今，电动汽车车队并不大，而且汽车的电池仍然相对较小。电动汽车已经可有助于最大限度地实现现场可再生能源生产的自用。然而，电动汽车提供给电网的灵活性很有限。从电力系统的角度来看，它们今天的总存储容量还是很小。

汽车能连网多长时间取决于停驶时间，而停驶时间是由车辆的类型和用途决定的。每天行驶较远距离的出租车或公共汽车的停驶时间比私家车少，因此其灵活性也相比较小。电动公共汽车或卡车每天可能会消耗 100% 或更多的电池电量，而客车和两轮车可能只消耗其 40% 至 50% 的电量 (Ghatikar 等人, 2017)。

车辆的充电时间和地点也取决于车辆的类型、用途、地理位置以及基础设施的可用性：

- 单个电动汽车具有预测表 (predicTable) 充电模式：

图 9：决定单一电动汽车可用灵活性的因素

多久： 停驶并“插入”	什么时候： 一天中的时间	哪里： 充电位置	什么： 充电技术/功率水平	多少： 出发时的电池容量和理想的充电状态
<ul style="list-style-type: none"><li>• 私人车辆</li><li>• 出租车</li><li>• 公共汽车</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 白天</li><li>• 傍晚</li><li>• 夜晚</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 家里</li><li>• 办公室</li><li>• 高速公路</li><li>• 目的地位置 (娱乐设施, 零售中心...)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 慢速</li><li>• 快速</li><li>• 配装 V2X</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 入门电动车</li><li>• 高档电动汽车</li><li>• 公共汽车</li></ul>

- 长时间 (> 4小时) 充电为系统提供了最高的灵活性：大多数情况是晚上在家充电白天在工作场所充电。家庭没有充电设施的电动汽车驾驶员需要安排到工作场所充电。
- 在购物中心或休闲中心（电影院、体育馆等）进行中等时间充电（30 分钟至 2 小时），而短时间（15 分钟至 1 小时）充电则只能为系统提供最低的灵活性且不适用于电网服务：高速公路上的快速充电在目前很少见，因为电动汽车大多尚未用于长途旅行（主要是由于续航里程受限的问题以及缺少合适的充电基础设施）。

• 共享和商用汽车（例如，出租车和其他车队）的充电模式可能很难预测，具体依赖于它们的商业模式。但是，相比个人汽车而言，其交通运输服务收入至关重要，应将其闲置时间降至最少，导致与电网连接的时间很短，而充电功率很高。尽管货物运输可能主要发生在夜间，但像出租车这样的商业服务在白天仍然有较高的需求。

• 电动公共汽车的充电方式依赖于充电位置：

- 公共汽车总站的长时间停留 (> 4小时)
- 线路终点站的中度时间停留 (10 分钟)
- 在各车站的极短时间停留 (闪充) (30 秒)。

与车主的互动是关键，包括依照时间表和行驶距离来预测使用情况。

根据地理位置以及住宅区使用私人停车位空间的具体情况，各个充电地点之间的比例可能会有所不同。在人口稀疏的地区，大多数充电周期是在家中或工作中进行的。在人口稠密的城市中，在家中或工作中没有充电桩，更大比例的充电可能要在城市的公共场所来进行。与分散的充电地点相比，大型停车场或公共汽车站具有更多的技术机会和激励措施来促进能源的灵活性使用。然而，如今大多数充电都还是在家里和办公室进行的，因为是私家车的原因，而且这种方式充电的成本较低。关于使用什么样的充电基础设施：

- 如今，大多数充电器都是安装在私人空间和半公共场所的慢速充电器。假设每辆汽车都有私人充电器，国际能源署估计，2016 年私人充电器的数量与公共充电站之比为六比一以上。然而，近几年来，快速充电装置的增长速度高于缓慢充电装置的增长速度 (IEA, 2017)。
- 如今，充电站和汽车可能尚未配备智能充电设施。并非所有的技术问题都得到了开发，包括充电站和车辆之间的相互通信能力，以及通过放电来提供灵活的电力。

有多大电池容量可用于智能充电设施取决于车辆的电池容量和驾驶员的需求：

- 电池容量：2-3 轮电动助力车提供的电力灵活性肯定比具有更大电池的高档汽车更少。下面给出几个数量等级 (EAFO, 2017)：

- 入门电动汽车：2017 年为 20-40 千瓦时（例如，雷诺·佐伊，Nissan LEAF），2018-2019 年为 40-60 千瓦时（例如，雷诺·佐伊，Nissan LEAF，大众 eGolf）
- 高级电动汽车：2017-2018 年为 60-100 千瓦时（例如，Tesla Model S）
- PHEV 汽车：约 8-16 千瓦时
- 2017 年的 BEV 电动公共汽车：100-400 千瓦时（某些型号可达到 600 千瓦时）
- 电动摩托车：通常为 3-20 千瓦时
- 电动自行车：通常为 500 瓦时。

- 充电状态充足 - 即，应保证启程时有可用的电池容量。在断开连接时，电池的充电状态应能满足驾驶员的要求范围（通常为 70-80%），以便汽车仍能提供足够的续航里程。但是，随着电动汽车拥有更大电池且充电站普及率更高的情况的出现，该参数的重要性将随之而降低。

- 如果电动汽车是支持 V2X 的，那么电动汽车可提供的灵活性服务容量将有所增加（例如，约是 V1X 的三至四倍）。在进行大规模布局之前还需要对因充电和放电方式（保证，续航里程焦虑等）导致的维护量增加、效率降低以及对电池寿命的影响做进一步评估，因为尽管有几个积极的测试结果，但这些问题仍然存在（De Vroey, 2016）（请参阅附录 2）。

### 到 2030 年电动汽车提供的电力系统灵活性

将来，随着道路上电动汽车数量的增加，可用灵活性也将随之大大提高，但这也将会受到来自电力系统方面的发展的影响和交通趋势的影响，如图 11 和表 3 所示。

到 2030 年，个人拥有汽车数量很可能仍将高于共享汽车数量。结果，提高灵活性是可以期待的：

- 由于成本下降，更多的电动汽车可用于电网：如前一节所述，由于电池成本下降和政府政策的支持，电动汽车会变得更加便宜。
- 更大容量的电池有助于克服续航里程焦虑：将有更多的电动汽车配装可连接到电网的更大的电池。电池组将更大 - 在未来两年内从目前的 20-30 千瓦时增加到 40-60 千瓦时，续航里程将逐步延长到约 300 千米，并且还会进一步增加。
- 电动汽车、充电站和智能充电和放电功能：随着标准化的推进以及对更好控制充电功率提出的更高要求，车辆和充电设备将具有智能充电选项，其中包括将放电作为一项通用功能（由汽车制造商提供），以及从技术层面上确保能为电网提供辅助服务。系列化生产的电动汽车，具有交流电（AC）充电和车辆到电网（V2G）功能，将大大降低客户的入门成本（Kempton, 2016）。
- 电动汽车司机在工作场所充电的机会更多。

只要有足够的续航里程，而且只要在家充电更便宜，快充仍然会很少有人使用，虽然司机会在长途旅行情况下，以及必须要充满电时使用。更高的额定充电容量一般会增加不受控充电的挑战，但在白天太阳能发电量高的地区，白天的快速充电可以满足电网需求。

### 到 2050 年电动汽车提供的电力系统灵活性

在 2030 年至 2050 年之间，这种情况可能会发生巨大变化。诸如出行即服务（MaaS）之类的运输业务模式 - 即，无缝多式联运 - 以及诸如自动驾驶汽车之类的技术可能会出现并得到广泛应用，从而导致个人拥有车辆向车队管理的转移。

研究表明，随着公共交通向私家车共享交通的大规模转移，“搭车出行”可能会导致行驶公里数增加。但是，这也应该会导致尽量不用乘客量少的私家车，这反过来又意味着交通运输系统的净排放量会减少（Santi, 2017）。

但是，在这种情形下，可能会发生可用灵活性的下行压力，例如：

- 小客车行驶的距离会增加，从而连接到电网的闲置时间减少了。
- MaaS 最终还将影响系统中电动汽车的数量。电动汽车销量的增长将放缓：假设电动汽车革命将在先进的 MaaS 生态系统问世之前就出现，则继多年来市场不断增长之后，MaaS 的新型商业模式将在大约 2030 年后转化为个人车辆销量下行压力。
- 一旦将充电集中在充电中心，就会在本地电网上形成拉力区域。这些交通枢纽可能与夜间灵活性集中管理有关，但仍可能比私家车的情况更低，因为交通运输服务优化的目的旨在实现使用率的最大化。不得不引导车队转向优化的车队充电和路线安排上，这有助于实现电动汽车电网集成和优化可再生能源利用的目标。



图 10 总结了 2030 年和 2050 年电动汽车灵活性的状况。

在城市地区，由于新兴经济体内人口稠密城市的城市化进程大幅提升，这种趋势的影响尤为明显，到 2030 年，世界人口的 60% 预计将居住在城市地区，到 2050 年，世界人口的 70-80% 将居住在城市地区（Demographia, 2017）。对 MaaS 和全自动驾驶的普及也将依赖于城市结构。在城市地区之外，随着电动汽车在偏远地区的灵活性不断提高，私家车模式仍将流行。

基础设施的建设和有效监管将极大地影响全自动驾驶汽车的推广速度。正是因为这些原因，尽管在更早时候就有了可靠的技术，但在 2030 年代之前（以及在大多数地方，也许在那之后）不会期望这些车辆的大规模普及。

图 11 说明了灵活性发展的不同轨迹。两个蓝色的阴影表示自动驾驶汽车采用的两种可能情景：

- 在第一种情景下（用浅蓝色标记），自动驾驶汽车出现得较早，且在 2040 年之前单一电动汽车的灵活性就已经趋于平缓。
- 在第二种情景下（用深蓝色标记），到 2040 年自动驾驶汽车继续普及，然后才会下降。

车辆所有权和用途的变化将改变驾驶方式和充电要求。充电的需求仍将主要决定电网的可用灵活性。

图 10：到 2030 年和 2050 年为整合可再生能源的电动汽车流动性变化






	今天	2030	2050
	● 低渗透率	● 高渗透率	● 高渗透率
	● 小电池（30-60 千瓦时） → 低续航里程 （150-300 公里）	● 大电池（90-200 千瓦时） → 高续航里程 （600-1000 公里） (?)	● 大电池（90-200 千瓦时） → 高续航里程 （600-1000 公里）
	● 90% 的时间停驶	● 停车时间仍然很高	● 减少停车时间
	● 家里和办公室充电	● 仍然主要是家里和办公室充电	● 城市郊区的充电中心 （主要是晚上）
	● 测试阶段的智能充电只有 ToU 更常见	● 实施智能充电，具有市场潜力	● 实施智能充电，具有市场潜力
<p>● 对电动汽车灵活性有正面影响   ● 对电动汽车灵活性有负面影响   ● 比 2030 年的正面影响要小</p>			

图 11: 城市环境中单一轻型电动车可用灵活性的说明性展望

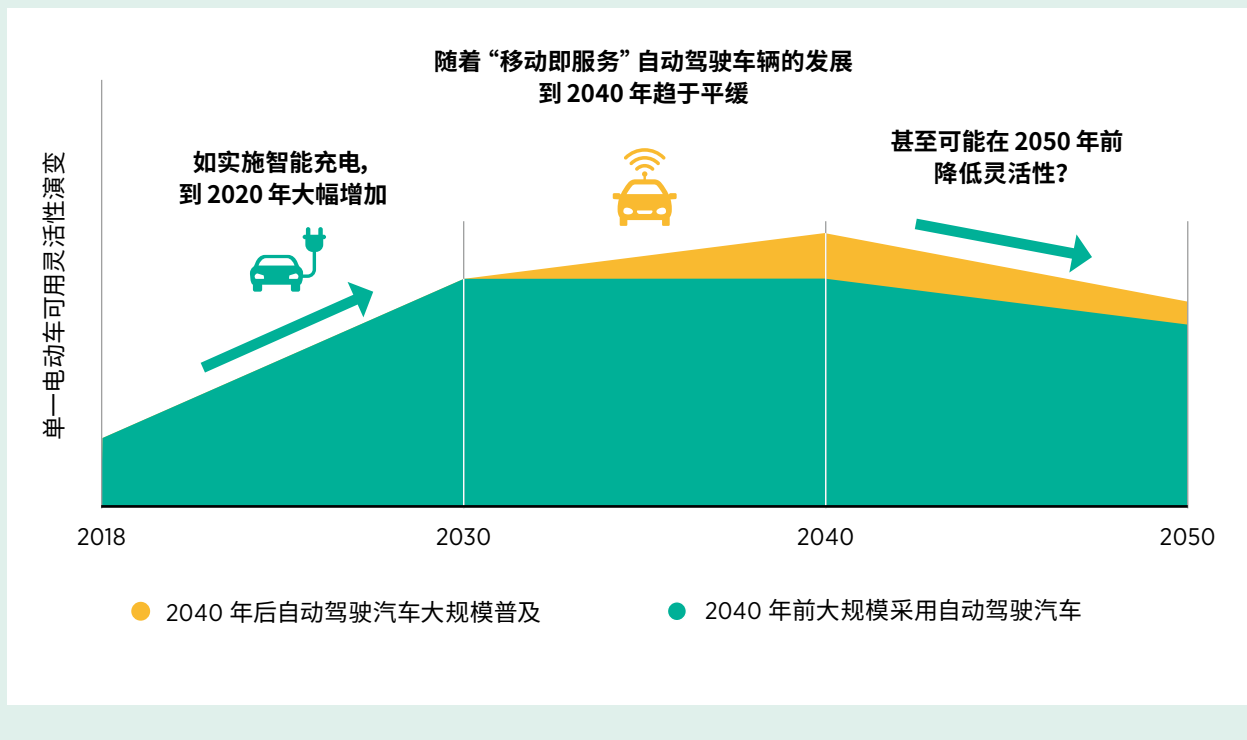


表 3: 2030 和 2050 年电动汽车的发展对灵活性参数的影响

	2030 年: 带大电池的电动汽车 + 智能电网 + 私家车	2050 年在城市地区: 带大电池的电动汽车 + 智能电网 + MaaS 和自动驾驶汽车
什么时候: 一天中的时间	部分是白天, 大部分是晚上	大部分是晚上
哪里: 充电位置	仍然主要是在家里 (居民区) 和工作场所 (商业区)	城市郊区的充电中心
什么: 充电技术/功率水平	多为慢速; 快速至“充满”	夜间在充电中心慢速; 快速至“充满”
多少: 出发时的电池容量和理想的充电状态	电池容量增加; 无需完全充满	电池容量增加; 可能需要更高的充电量以将停车的可能性降至最低
多久: 闲置	还是整天	白天最短充电时间; 夜间更长 (取决于交通运输服务的类型)



## 3. 智能充电展望

本节回顾了各种智能充电方式以及智能充电基础设施的现状，从该领域现有试点项目和研究中总结经验，并作了前景展望。

### 3.1 充电电动汽车的影响

#### 对电容量和需求的影响

如果在不受控制的情况下同时为电动汽车充电，这会增加电网的高峰需求，导致电网超负荷运行，从而需要升级配电网。额外的负荷甚至可能需要升级发电能力（或者至少需要改变生产成本指标）。正如全球各种试验和研究证明的那样，潜在的影响程度取决于电力系统的电力结构、电网类型划分和电动汽车的市场渗透率。

关于电动汽车对电力系统的影响以及如何减轻这些影响，研究得出了以下三个主要的结论：

#### 1. 对电力需求的影响将有限：

- 在欧洲 100% 采用电动出行工具的情景中，电动汽车的能源需求在总发电量中所占的比例可能不超过 10% 至 15%。然而，随着电动汽车数量的增加，电动汽车电网整合可能会造成一些当地电力问题（Eurelectric, 2015）。
- 假如挪威 270 万台汽车都是电动汽车，它们也仅会消耗该国水电站年发电量的 5-6%（BoA/ML, 2018a）。
- 在德国 25% 采用电动出行工具的情景中，到 2035 年，1,000 辆台电动汽车的总耗电量也只会增加 2.5-3%（Schucht, 2017）。
- 如 2.3 节所示，如果美国所有的轻型车都是电动汽车，其电力需求将占 2016 年全国总电力需求的 24% 左右。

2. 但是，如果没有对额外的需求进行智能配电，高峰需求可能会遭受极大的影响。因此，智能充电是关键：

- 假如到 2035 年，英国将拥有 1,000 万台电动汽车，晚间高峰需求在不受控充电的情况下将增长 3 GW，但在智能充电的情况下仅增长 0.5 GW。电动汽车采用智能充电后，最低价格时期的需求将增长 7 GW（AER, 2018）。
- 新英格兰地区电动汽车的模型显示，如果系统中 25% 的电动汽车通过不受控方式充电，将使高峰需求增加 19%，因此需要对电网和发电能力投入大量的资金。但是，如果将用电负荷分摊至夜间，高峰需求的增加将降至 0% 到 6% 之间。只有在非高峰时段充电才能完全避免高峰需求的增加（RMI, 2016）。

3. 如果不借助智能充电进行管理，这对地方配电网的影响也会比较严重：

- 美国科罗拉多州的 Xcel Energy 证明了，如果充电时间恰逢高峰负荷时段，电动汽车市场渗透率为 5% 时，4% 的配电变压器将会过载（Xcel Energy, 2015）。
- 英国的 My Electric Avenue 项目发现，当电动汽车的市场份额达到 40-70% 时，32% 的配电线路需要升级（EA Technology, 2016）。
- 假设到 2035 年德国拥有 1,000 万台电动汽车，电动汽车的无序充电将导致低压电网和变压器的成本增加 50%，而采用智能充电优化调峰的方式则可以节省这些投入（Schucht, 2017）。

## 对电网基础设施的影响

电动汽车充电将影响配电网投资。某地电网所需投入的资金规模（以电缆和变压器计）至少取决于以下参数：

- **拥堵参数：**比如在没有电动汽车前，地方配电网的拥堵状况。
- **同时系数：**按照每个配电网的大小规模不同。同时系数衡量的是某个设备需要与另一个设备同时开机的概率。每个配电系统运营商考虑的同时系数都不同。
- **负荷特性：**例如，电动汽车不受控充电的影响在电力供暖份额高的地区会更大（因而需提高电网补强力度）。但如果在这些地区应用智能充电，其电网补强力度可能较之没有采用电力供暖的地区要低，因为其地方电网的规模能够适应更高的高峰需求。
- **发电资产低电压并网：**例如，以低电压并网形式整合高份额的太阳能光伏（比如在德国）可能受到智能充电的促进，而在太阳能光伏份额为零或很低的地区，电动汽车会增加地方电网的压力。
- **电网规范的限制和其他规定：**例如，国家电网规范根据电压和频率变化规定了配电系统运营商必须遵守的物理约束，也规定了电动汽车充电导致这些数值超过国家特定限值时，补强电网所需的投资。

在文本框 4 中，德国汉堡的案例研究量化了电动汽车潜在瓶颈的影响，并介绍了配电系统运营商解决这些问题的策略。

快速充电是电网基础设施发展的一大挑战。功率越高，配电网所需容量就越大。此外，在本地部署的充

电站/电缆和车辆必须符合这一功率。这几点在技术上都是可行的，但成本高昂：

- 车辆需要更昂贵的电子和防护装置；
- 快速充电站并网需要更大型的电缆和变压器。
- 这些充电站需要更昂贵的电子、冷却以及防护设备。
- 如果要避免使用超重型电缆，充电电缆需要具备主动式冷却；提高目前的电压将缓解对重型电缆及/或主动式冷却的需求，但考虑到与现有基础设施（以及现有的电动汽车）的互用性，这并非最佳解决方案。在过渡期间，汽车可能会实现这两种技术的兼容。例如，保时捷正在开发一款具备 800 V 充电能力的 Taycan 车型，可以向下兼容现已部署的 400 V 充电站（Porsche, 2016）。
- 最后，电动汽车的充电功率不只是与个人用户的需求相关。例如，高速公路上的充电站建有多个充电桩，其功率需求将随着电动汽车数量的增加而上升。

表 4 对高速公路充电站和传统加油站进行了对比。从中期来看，对于一个拥有 30 个充电桩的高速公路站来说，6 MW 容量是一个不错的数量级。这相当于现在在一个大型风电场的额定功率。另外，6 MW 也是电动汽车以传统内燃机汽车的速度充电时可能所需的功率（比如通常情况下，充电 15 秒可续航 100 公里）。<sup>4</sup>就目前和中期的电池技术而言，这既不可行，也不现实。另外，这一理论上的需求可能在现实中被新电动车型降低的能耗抵消。

4 一升柴油约 10 kWh。这意味着，50 升油箱的汽车需要 500 kWh。如果充电时间与加满油箱的时间相等（约五分钟），约等于 6 MW（500\*12）。充电曲线不会保持恒定的功率：在周期结束时，功率会下降。因此，要维持特定的平均功率等级（比如 4.8 Mw），在充电周期开始时需要更高的功率（比如 6 MW）。

#### 文本框 4：电动汽车充电对汉堡市配电网的影响

汉堡是目前德国拥有最多充电桩的城市（截至 2018 年 11 月，有数百个家庭充电桩和 810 个公共充电桩）。预计到 2019 年初，该市将安装 1,000 个公共充电桩。公共汽车电气化和 EV 的增加是城市负荷增长最关键的驱动力。在汉堡市案例中，大多数电动汽车都分布在郊区，而那里的电网较弱（Pfarrherr, 2018）。

当地配电系统运营商 Stromnetz Hamburg 开展了一项负荷发展分析，以确定充电桩负荷达到 11 kW 和 22 kW 时电动汽车不受控充电的紧急情况。9% 的电动汽车份额，相当于将 60,000 台电动汽车加载于私人基础设施上，这将会导致该市配电网中 15% 的馈电线出现瓶颈（Pfarrherr, 2018）。

为避免这些紧急情况的出现，Stromnetz Hamburg 估计，补强当地电网所需的投资将达到至少 2,000 万欧元。Stromnetz Hamburg 也在寻求解决此问题的替代方案。关键是要减少同时性，即减少同一时间在同一局部电网充电的 EV 数量。为此，该公司正在测试一种使用数字技术的智能解决方案。此方案包含一个实时通信系统，能够使配电系统运营商减少解决上述问题所需要的充电桩负荷。例如，11 kW 充电桩可将其负荷从 16 安培（A）降至 8 A，足以给电动汽车充电，但充电时间更长。

在 Stromnetz Hamburg 与 Siemens 合作的该项目中将安装 30 个控制装置并监测私人充电设施的负载。这将有助于他们预测堵塞问题，并根据负载情况规划网络。该解决方案的预计成本约为 200 万欧元，仅占补强电缆这种传统解决方案的 10%。

汉堡的案例不仅显示了电动汽车可能对当地电网产生的影响，还显示了解决这一问题的潜在方案，该方案可能需要将数字技术、新的商业模式和市场监管结合起来，从而让有需求的所有参与者都参与进来。（另见第 6.2 节）

表 4：高速公路充电站和传统加油站的对比

高速公路加油站，传统汽车	高速公路充电站，电动汽车
2 分钟，1 个加油周期	20 分钟，1 个充电周期
一个加油周期续航 800 km	一个充电周期续航 400 km
例如 30 个加油点	30 个充电桩 <sup>1</sup> = 6 MW

<sup>1</sup> 可能需要侧重考虑充电所需的更长时间，但这会被有限的电动汽车数量抵消。

## 3.2 智能充电

### 智能充电的作用

#### 智能充电型电动汽车提供的服务

采用汽车电网整合（VGI）技术的智能充电是管理电动汽车负载的一种方式。要实现这一点，可以借助顾客对价格信号的响应，或 EVSE 对反映电网和市场情况的信号作出自动响应控制，或将两者结合起来，同时尊重顾客对车辆可用性的需求。这包括及时改变充电周期或以约束函数（例如，并网容量、用户需求、地方实时能源生产）来调节功率。智能充电因而是一种根据配电网约束和当地可再生能源可用性来优化充电过程的方式，也是驾驶者和 EVSE 站点主人的首选方式。

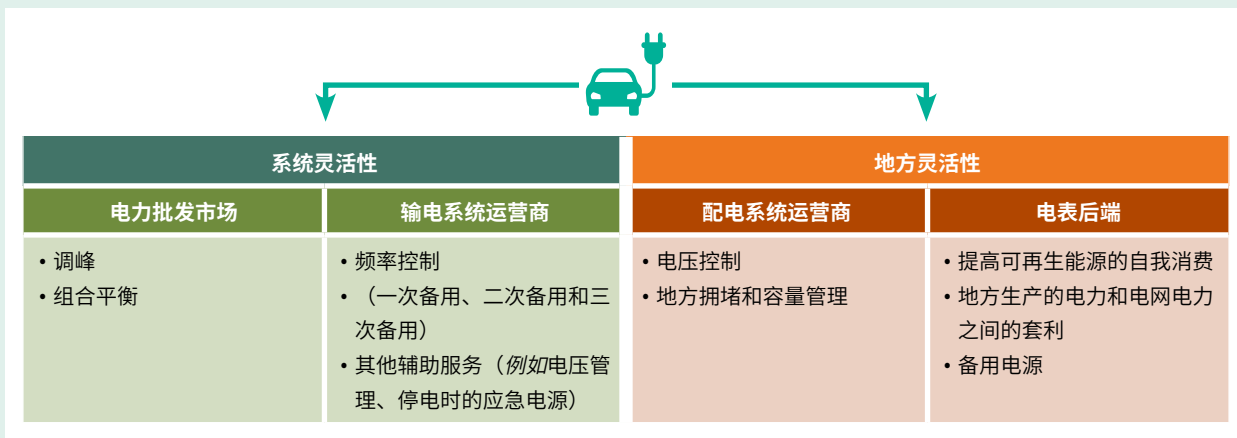
如采用智能充电，电动汽车不仅能避免给当地电网增加压力，也能提供服务以填补本地和系统在灵活性上的不足（图 12）。电动汽车智能充电（放电）有助于降低 VRE 的弃电率，提高 VRE 产品在本地的消耗量，并避免将资金投入到低峰发电容量上，还能够缓解电

网补强需求。电动汽车可作为并网储存单元运行，具有为系统提供广泛服务的潜力。它们可能会改变充电模式，以便拉平高峰需求，填补负荷曲线低谷，并通过调整其充电等级支持电网实时平衡。对基于 VRE 的独立系统进行定量模拟——第 6 章重点内容——更详细地说明了协同效应的潜在范围。这一章也列举了一些缓解地方配电网影响的案例研究。

智能充电不仅缓解了电动汽车引起的需求峰值，也拉平了负荷曲线，不管是在系统层面还是地方层面，都在较短的时间尺度内更好地整合了 VRE。更确切地说，调整现在大多数时间在停车场停驶的电动汽车的充电模式（大多数汽车 90-95% 的时间）将有利于：

- **调峰**（系统层面/大规模）：激励人们傍晚/下午在太阳能发电为主的系统中充电，由于夜间汽车停放时间比其充满电所需的时间要长，所以夜间充电可根据夜间风力发电来进行调整，这样可以拉平高峰需求，填补需求“低谷”。如此一来，可能增加高峰需求的傍晚充电将被向后推迟。

图 12：电动汽车灵活性服务的潜在范围



电动汽车有利于交通运输行业的脱碳，同时促进 VRE 的整合。如果电动汽车充电能按照可再生能源资源进行调整，就不需要那么多传统发电厂提供的灵活性了。

- **辅助服务**（系统和局部层面/输配电系统运营商）：通过调整电动汽车充电等级，维持电压和频率的稳定，从而支持电网实时平衡。尽管输电系统运营商已经充分开发了系统层面的灵活性，大部分配电系统运营商却还没有从分散的能源资源中获得运行其电网的灵活性，虽然一些国家（主要在欧洲和美国）已经开展了大量示范项目，并就监管展开了激烈的探讨。
- **电表后端优化和“备用电源”**（本地电网/消费者和产消者）：这包括增加本地生产的再生能源电力的自我用电量消费，降低对电网的依赖，并通过在非高峰时段从电网购买廉价电力，在电价较高时（夜间）为家庭供电来降低能源费用。

电网运营商控制的具体服务见附录 2：

### 提供电网服务的电池功能

**电动汽车电池的容量和技术特点决定了汽车支持可再生能源整合的程度。目前大多数电动汽车依赖于某类型的锂离子电池。成本的降低、电池性能的提高以及电网应用的适宜性使该技术非常值得选择。**

这种情况下，如果不考虑对汽车性能的影响，提供特定电网服务的电动汽车电池能力非常关键。提供电网服务的能力和相应技术将取决于所考虑的应用目的。

例如，为了平衡可再生能源，高深度的放电容限（即，电池能够被放电的程度）非常必要。如果将电池用于支持整个系统的平衡或将过多的可再生能源吸收至电表后端储能电池，则电池可能需要每年进行三百个全部充放电周期。辅助服务需要的是低深度放电。由于电池必须能够注入电力（频率过低时）和消耗电力（频率过高时），理想的待机电量状态约为 50%，这意味着所选电池应当能够在较低的电量状态下工作。

#### 电池技术分类的关键术语：

- **剩余寿命 (EoL)**：电池仅具有部分（通常为 70%）其初始容量的时间。以初始容量的百分比来表示。
- **放电深度 (DoD)**：电池可被放电的百分比（与全容量相比）。
- **电量状态 (SoC)**：指电池的容量，以电池在使用期间电量占全容量的百分比。
- **充放电率 (C-rate)**：充电和放电的速率。1C 指完全充放电需要 1 小时，2C 指 2 小时，而 0.5C 指 30 分钟。

目前常用的电动汽车电池技术是锂离子电池 (Li-ion)。表 5 中不同出行工具使用的电池与其他固定电池的比较表明，锂离子电池可以与其他固定储能技术（如铅蓄电池和氧化还原流电池）相媲美 (IRENA, 2017b)。正如附录 2 中详述的那样，现在的锂离子电池业已成为广泛的电网服务中最成熟的技术。

在 V2G 和电池更换方面，人们对增加充放电周期次数导致的电池退化问题争论不休。电池退化主要受放电电流、放电深度和工作温度的影响 (Taibi 和 Fernández, 2017)。但最近的一些测试表明，如果电池保持在 60-80% 的电量状态，V2G 的电池退化很小。这种影响类似于一般的交流充电。

华威商学院的退化电池模型预测了容量和功率随时间变化的情况，该模型表明，如果具备 V2G 系统，通过使用支持 V2G 的配置方式，可以延长电动汽车电池的寿命。



该项目开发的“智能电网”算法可使司机监控汽车电池的能源消耗情况，而不会对电池产生负面影响，甚至可以提高电池的使用寿命（Smart Cities Connect, 2017）。

实现了车联网（V2X）功能的原始设备制造商（OEM）承担对快速充电及/或 V2X 的汽车提供电池保修服务，体现了他们从多年市场经验中获得的信心。ENGIE Laborelec 进行的为期一年的密集测试证实了这一点，测试显示 V2X 对电池老化没有明显影响（De Vroey, 2016）。

然而，现在的电池供应商通常会提及其技术的全球市场——包括移动或固定——有些还会指明特定的应用领域。一项技术对于特定应用领域的适宜性，在没有测试的情况下很难确定。

例如，尽管锂金属聚合物（LMP）化学普遍认为只应用于电动汽车领域，仍有供应商对固定电池领域开放了市场，即使这似乎并不合理，因为电池需要在高温状态下才能工作。因此，未来电池技术在交通领域和连网规模的应用将出现分化。

表 5：汽车电池与其他电池的对比

应用		可再生能源存储	辅助服务		备用					
常见电池		DoD 高	50% SoC	+	DoD 低	C-rate 低	+	SoC 高时待机时间长	+	70% DoD
Li-ion*	 NCA	✓	✓		✓	✗		✗		✓
	 NMC	✓	✓		✓	✓		✗		✓
	 LFP	✓	✓		✓	✓		✗		✓
	LTO	✓	✓		✓	✓		✗		✓
铅酸电池		✗	✓		✓	✓		✓		✓
液流电池		✓	✓		✓	✓		✗		✓
 LMP*		✗	✗		✗	✓		✗		✓
 ZEBRA**		✗	✗		✗	✓		✗		✗

\* 锂电池的不同化学组成：镍钴铝酸锂（NCA）、镍锰钴（NMC）、磷酸锂铁（LFP）、钛酸锂（LTO）电池。

\* 非洲研发的锂聚合物&沸石电池（ZEBRA）：这种技术理论上可以用于辅助服务，但由于工作温度高，无法实际应用。

注：DoD（放电深度）、SoC（充电状态）、C-rate（充放电率）

虽然锂电池是目前最适合电网应用的技术，但汽车制造商需求推动的替代电池技术的发展以及锂电池存在的问题可能会极大地影响电动汽车电池提供电网服务的能力。要利用这些技术维持电网相关的能力，仍有许多技术难题有待克服。

## 智能充电类型及其实施

智能充电包含不同的定价和技术充电选项。图 13 汇总了基本的技术选项，表 6 汇总了发展成熟的选项及其潜在的用途和成熟度。

最简单的激励形式——**分时定价**——鼓励消费者将充电时间从高峰期推迟到非高峰期。实行分时定价的技术要求相对较低（将智能电表集成至电动汽车或 EVSE 内），在电动车渗透率较低的情况下，将电动车充电推迟到非高峰时间是比较有效的（ICCT，2017a）。然而，简单的时变电价结构可能会使居民的用电总需求出现明显的反弹高峰（Muratori 和 Rizzoni，2016）

在渗透水平较高的情况下，为了交付近实时平衡和辅助服务，有必要将电动汽车和充电桩促成的直接控制机制作为一个长期的解决方案。这种机制涵盖了基本

的充电开启和关闭或者能够升高或降低充电率的汽车或 EVSE 单向控制（或称 V1G）以及更具有挑战性的双向车联网（V2X）。

对于 V2X，有两种特定的配置特别重要：<sup>5</sup>

- 汽车对住宅（V2H）或汽车对建筑物（V2B）通常并不会直接影响电网性能。电动汽车可作为停电期间的住宅备用电源，或用来提高自备发电设备的自我用电量（避免需量电费）。
- 车辆到电网（V2G）指以放电模式对电网提供服务。公用事业/输电系统运营商可能愿意在用电高峰期向客户购买能源，及或利用电动汽车的电池容量提供辅助服务，如平衡和频率控制，包括一次调频和二次备用。

图 13: 智能充电的形式



<sup>5</sup> 可能还有 V2Tool/V2Load 技术，可让电动汽车电池直接为相邻负荷供电（无需任何电网/系统）。

单向 V1G 和双向 V2G 的区别如图 14 所示。在 V1G 中，只有当驾驶者、电动汽车充电站点主人或聚合商按照初始充电功率（为作说明，假设是 3 kW）上下调节其充电率时，才能获得奖励。在 V2G 中，电动汽车可以分别从电网充电和向电网放电。电网服务“出价”的高低与电动汽车的功能和指定市场的要求相对应。

这些方法可以结合起来，例如，分时电价可以和 V1G 自动化一起部署，实现更有效率的响应。一些新充电站配备了 V1G 和 V2G 两种功能（Virta, 2017）。

与更加成熟的 V1G 解决方案不同，V2X 除日本以外还没有进入市场。日本自 2012 年起开始采用商业化的 V2H 解决方案，作为电力中断时（福岛灾难之后）的备用解决方案。

在美国，电力基础设施薄弱的地区采用预商业化解决方案，为电网提供支持。在地方能源管理的主要推动下，欧洲的丹麦、德国、荷兰（阿姆斯特丹）和西班牙（马拉加）等几个国家正在进行几个试点项目。截至 2019 年初，几家汽车制造商（比如 Nissan、三菱、丰田、比亚迪、雷诺）积极参与了 V2X 计划，详情见下文。

图 14：提供单向（V1G）和双向（V2G）电网服务的对比示例

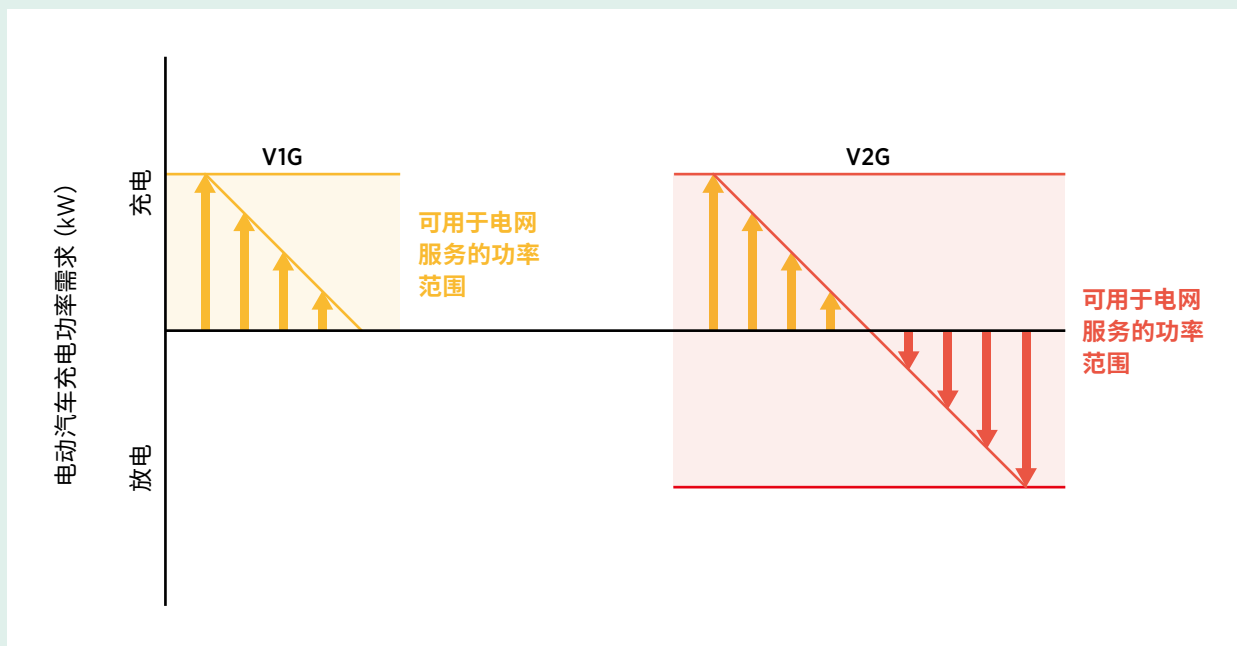


表 6：智能充电的类型

应用类型	智能控制充电功率	潜在用途	成熟度
不控制，但设置了分时电价	无	基于隐形需求响应的调峰；长期电网容量管理（输电和配电系统运营商）	高 (仅基于充电行为中的变化)
基本控制	开/关	电网拥堵管理	高 (部分市场部署)
单向控制 (V1G)	实时增加和减少充电率	辅助服务、频率控制	高 (部分市场部署)
双向车辆到电网 (V2G) 和电网到车辆 (G2V)	对电网情况的即时反应：需要硬件对大多数车辆和 EVSE 进行调整	辅助服务包括频率控制和电压控制、负荷跟踪和可再生能源的短期整合	中等 (高级检测)
双向车联网 (比如 V2H/V2B)	V2G 与家庭/建筑管理系统的整合	微电网优化	中等 (高级检测)
电动汽车动态定价 (控制)	EVSE 嵌入式仪表及车辆、EVSE 和电网间的近实时通信	负荷跟踪和可再生能源的短期整合	低

电动汽车智能充电（放电）有助于降低 VRE 的弃电率和碳排量，提高 VRE 产品在本地的消耗量，并避免将资金投入调高发电容量上，还能够缓解电网补强需求。

## 目前智能充电项目

以下分析基于全球范围内部署的智能充电试点项目的结果（表 7）。大部分是基于慢速充电。

### 分时电价

最常见的是电动汽车的专用分时充电。结果表明，高峰和非高峰时间的价差越大，费率设计就越有效。高峰和非高峰（甚至是超级低谷）按照地方电力系统的特征来设定。

表 15 展示的是加利福尼亚（太阳能光伏市场份额很小的地区）太平洋瓦电公司（PG&E）的电价示例，该地区的高峰出现在人们大量使用空调的午后不久，但这种情况将随着未来太阳能光伏渗透率的升高而有所改变。

大多数情况下，驾驶者可以通过 app 或车载系统预先设定非高峰时段充电。客户可以为家庭用电和电动汽车充电安装一个单独的电表，或使用一个双电表。双表计量——即，能够区分电动汽车用电量或其它耗电量的计量方式（通过采用两个电表，一个用于电动汽车插头，另一个用于其他耗电设备）——经证实，这可以有效地影响客户的充电行为（RMI, 2016）。

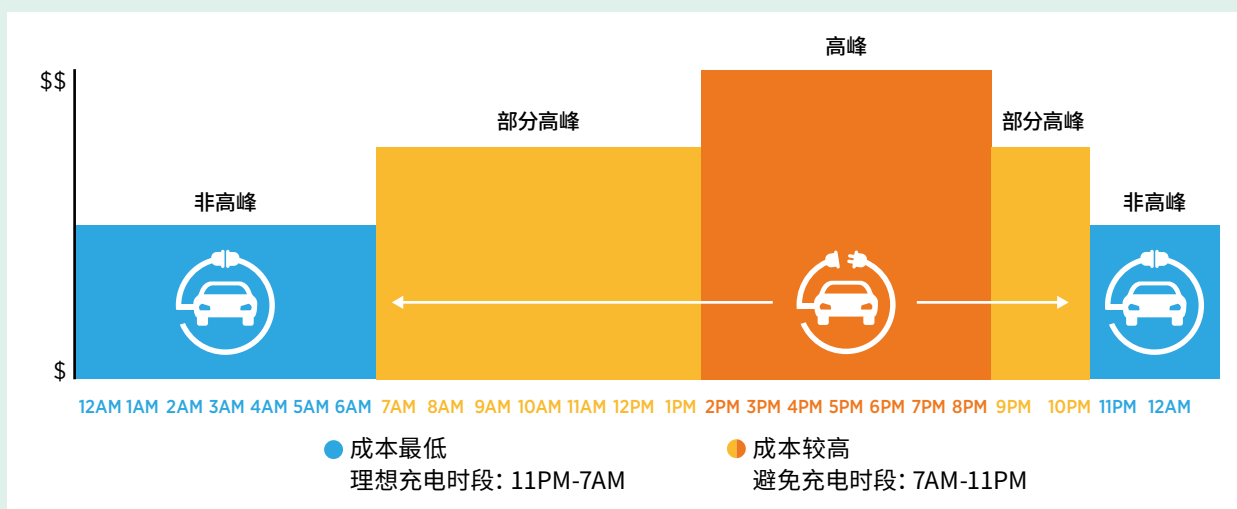
表 7: 智能充电部署和试点项目一览表

充电类型	项目示例
不受控制分时电价	中国、德国、日本、英国、美国
基本控制	My Electric Avenue、Scottish and Southern Energy Power Distribution, 由英国 EA Technology 公司主导 (100 个家庭试用 Esprit 系统)
	· 美国马里兰州的波托马克电力公司 (Pepco): 200 个家庭
	· 美国纽约的联合爱迪生 (Consolidated Edison): 针对充电管理的降低账单激励措施
	· 美国明尼苏达州的 Xcel Energy: 100 个家庭
澳大利亚维多利亚省的 United Energy (2013)	
单向控制 (V1G)	欧盟 Green eMotion 项目 (2015): 电网补强成本下降了50%
	美国加利福尼亚州的 Sacramento Municipal Utility: 电网升级费用降低 70% 以上
双向车辆到电网 (V2G)	eVgo 和特拉华大学 (University of Delaware) 联合输电系统运营商 PJM 在美国的项目, 由 Nuvve 主导; Interconnection——商业运营
	Nuvve、Nissan、意大利国家电力公司 (Enel) 联合输电系统运营商 National Grid 在英国和威尔士——预商业化运营
	Nuvve、DTU、Nissan、PSA、意大利国家电力公司 (Enel) 联合输电系统运营商 energinet.dk 在丹麦的项目 (“Parker Project”) ——试运营
	Nuvve、NewMotion、三菱联合输电系统运营商 TenneT 在荷兰的项目——商业试运营
	开发快速和慢速 V2G 的韩国济州岛项目; 包含 3,100 台电动汽车的丰田城市项目
雷诺、ElaadNL 和 Lombo Xnet 在荷兰乌得勒支的项目——AC V2G	
双向车联网 (比如 V2H)	ElaadNL 和雷诺在荷兰乌得勒支的项目: 在迄今为止最大的智能充电示范项目中, 区内共有 1,000 个太阳能智能公共充电站, 并设有电池储能设施。自我消费从 49% 增长至 62-87%, 峰值下降了 27-67%
	DENSO 和丰田的智能 V2H (HEMS 和 V2G 集成模型)、Nissan (V2H) ——全日本 (7,000 个家庭, 商业运营)
电动汽车动态定价 (控制)	Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk Nett 在挪威的项目
	圣地亚哥天然气与电力公司 (San Diego Gas & Electric) 在加利福尼亚州的项目: 提前一天公布测试价格
二次电池	BMW 和 PG&E ChargeForward 在加利福尼亚州的试点项目

基于项目和公司的网站。



图 15: 分时充电示例



来源: PG&E, 2018。

市场上也有其他方法可以促进电动汽车特定费率实施，而无需增加二次电表成本。明尼苏达州的公共事业委员会允许 Xcel Energy 进行一项试点，旨在通过 EVSE 的“内置电表”直接实施电价，为那些希望选择电动汽车专享电价的客户降低其前期的成本负担 (Nhedde, 2018)。

### V1G 和动态定价

随着 VRE 和电动汽车渗透率的进一步提高，我们需要适当的市场信号来激励负载（包括电动汽车）来调整其用电模式。V1G 可以与消费者侧自动化解决方案所支持的动态定价（以每小时甚至更小的时间间隔来反映能源和电网的实时成本的价格）结合起来。

例如，在荷兰，大多数充电站已经具备了 V1G 功能，但这在其他国家还不常见。如文本框 5 所述，圣地亚哥推出了一个结合 V1G 和动态定价的试点项目。

### V2X 充电经验

和动态定价一样，我们在 V2X 方面的经验也在很大程度上受限于预商业化部署。文本框 6 给出了一个 V2G 的发展示例。

日本是一个例外，该国的 Nissan 公司在市场上推出了一款可以与 LEAF 车型兼容的工具包，可以为使用 CHAdeMO 技术的日本家庭提供备用电源。CHAdeMO 技术是唯一支持 V2X 的国际标准。由于 CHAdeMO 将 V2X 协议进行了标准化，多个系统制造商和 OEM 纷纷效仿，到目前为止，基于 CHAdeMO 协议的 V2H 系统已售出约 7,000 台。考虑到日本家庭每天平均用电 12 kWh (Briones 等人, 2012)，LEAF 40 kWh 的电池容量能够供应三天以上的电力。

V2G 在大多数应用中被认为比 V2B 或 V2H 具有更高的潜在商业价值 (Kempton, 2016)。除了提供辅助服务和后备电源 (图 16)，它还可以用于调峰。如果电动汽车能在非高峰时段充电，然后有选择地放电来进行“削峰”，电力公司就有可能不需要启动峰值负载机组来增加额外的高峰容量 (图 17) (Weiller 和 Sioshansi, 2016)。

V2G 尤其适用于电动汽车密集地区的慢速充电，比如大型停车场。

为提供灵活性服务，通常需要单台电动汽车的灵活性聚合起来。要在批发规模提供电动汽车服务（调峰及辅助服务），每宗 V2G 交易的成交量至少应为 1 至 2 MW 电力——大约相当于将 500 辆电动汽车连接到

### 文本框 5：圣地亚哥天然气与电力公司——电网集成试点

圣地亚哥天然气与电力公司（SDG&E）推出了一项 VGI 试点项目，测试电动汽车车队是否可作为可调度的分布式能源资源来提高电网的稳定性。SDG&E 将在圣地亚哥地区安装和运营 3,500 个充电站，主要是 2 级（慢速）充电站，覆盖大部分多单元住宅。

该项目开探索定价，并通过一个应用程序，激励可再生能源发电量较多时段的充电活动（Turpen，2016）。每小时动态费率提前一天公布，它们反映了系统和当地电网的情况。有一款应用程序可以将客户偏好与这些价格进行匹配。实行简单的分时电价对装有电动汽车专用电表的客户效果更大（RMI，2016）。

### 文本框 6：NUVVE，车辆到电网技术的先锋

Nuvve 是 V2G 领域技术最先进的企业之一，该公司目前正在将 1996 年首次提出并由特拉华大学的 W. Kempton 教授进一步开发的技术商业化。Nuvve 声称拥有独一无二的电动汽车电池技术，可以让任何电动汽车电池产生、存储未使用的能源并转售回当地电网。

自从 2005 年的第一次试验以来，该公司现在已经有了一个不会被淘汰的解决方案，可以在不同的时间间隔内进行扩展和预测（秒、分、与市场对应的前一天）。Nuvve 已经为电力系统（输电系统运营商等）提供了广泛的服务，包括不同市场的频率和备用供电容量。自 2009 年以来，它一直参与 PJM（宾夕法尼亚-新泽西-马里兰）的调频市场。

客户不需要承诺在特定的时间内驾驶；他们只要提供需要何时使用车辆的信息就行了。Nuvve 不控制车辆，因此不会限制客户在紧急情况下驾驶的权力。Nuvve 和全世界各地的监管机构合作，利用模拟的真实数据解决 V2G 的监管缺口。



图 16: 电动汽车电池作为电网备份容量的效果

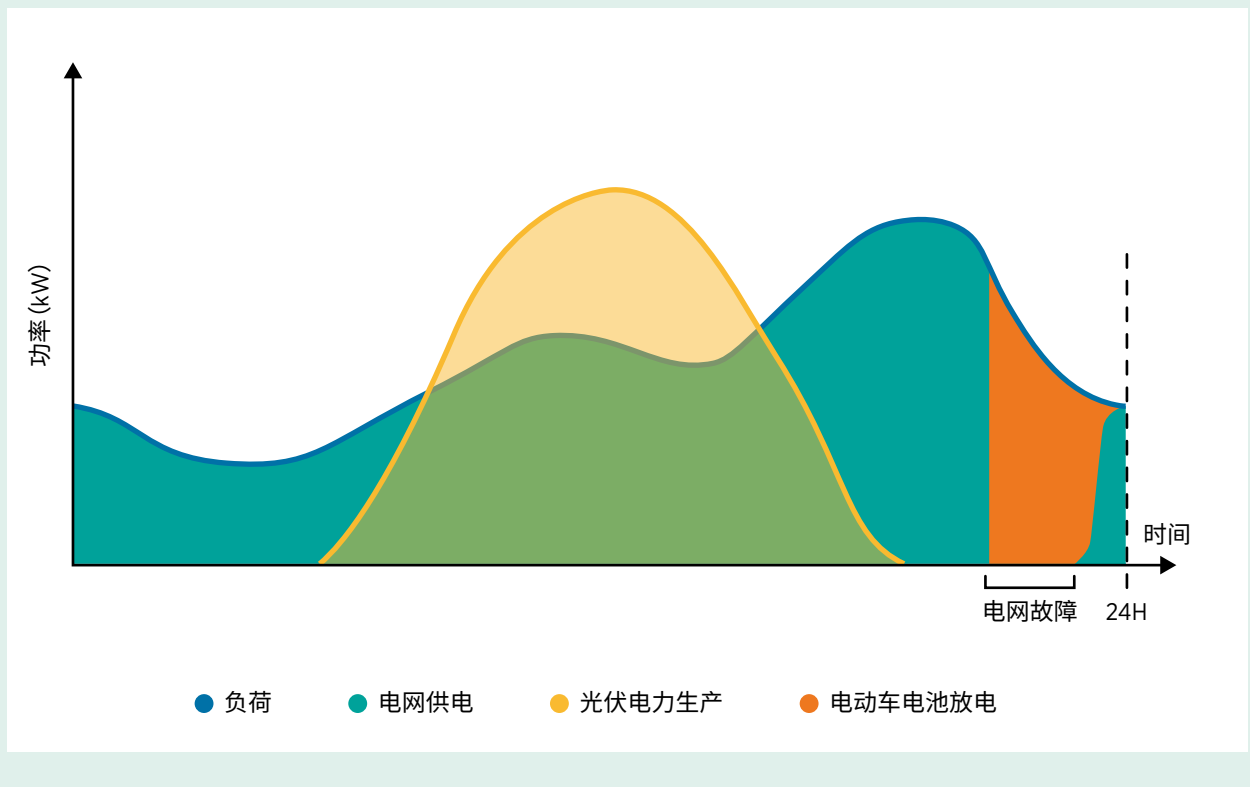
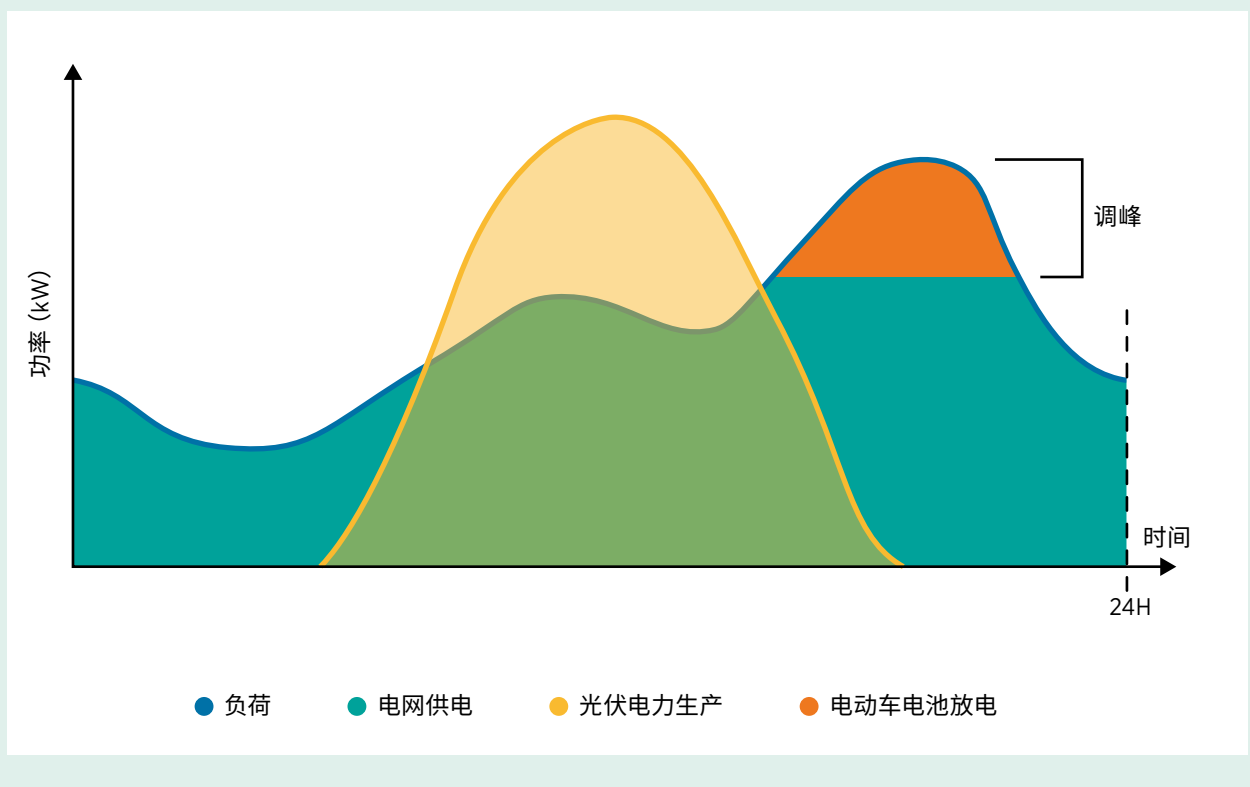


图 17: 调峰的效果





一个 3.7 kW 的欧洲标准电路上。鉴于这些电动汽车并不总是可用，受控的电动汽车数量需要极大地增加（Weiller 和 Sioshansi, 2016）。更多 V2G 项目的示例参见文本框 7。

如文本框 8 所述，智能充电的益处能在独立的系统中进一步放大。

### VGI 和快速充电

快速充电（即，大功率充电）应用对 VGI 而言通常潜力非常低，即使技术上可行。当需要快速充电时，没有真正的灵活性选项（充电时间短），高速公路站点的峰值负荷与传统的峰值负荷不一致，也无法一致。要缓解快速充电对电网的影响，需要在对本地高峰需求和拥堵影响较小的区域安装充电桩，同时实现高利用率（以实现高利润率）。

然而，在某些特定的应用中，快速充电可以安排在其他时刻。例如，如某个电动公交车司机可以在多个公交站点充电，当这种灵活性非常重要但又不影响驾驶的情况下，他可能会选择不充电。2017 年启动的为期 4 年的欧盟 ASSURED 项目将调查重型电动汽车快速充电的灵活性。该项目将对互操作性充电设施理念各异的重型和中型车的创新解决方案进行测试，考虑到商业和社会成本及效益，这些理念将被开发成商业案例。

也可通过将快速充电与固定电池以及当地的 VRE 装机容量结合起来以实现局部优化。当需要进行快速充电时，电动汽车用户不需要在时间或功率上具有太大的灵活性；但是，结合了固定式储能技术的快充设施可以通过缓冲作用增加站点相对电网的灵活性。太阳能顶棚和固定式存储器可以集成在充电设施中，

## 文本框 7：车辆到电网项目示例

- 2019 年 2 月，汉堡市推出了“ELBE”项目，该项目重点是资助在建筑和商业楼宇内安装电动汽车充电站。该项目包括 V2G 技术的应用以及将电动汽车视为可控消费的负荷性电费\*。
- 例如，Nissan 和 Enel 合作实施了一种能源管理解决方案，该方案使用 V2G 充电装置，并允许同样是用电方的车主和能源使用者将其作为单独的能源中心运行，能够获取电力、存储以及把电力送回电网。它们在丹麦（Parker 项目）和英国启动了试点项目，以测试该解决方案。在 2016 年，Nissan 电动汽车车主通过 Enel 的双向充电器向电网输送电力而获得了收入，丹麦和英国的输电系统运营商（TSO）则受益于电网的一级调节服务（Enel, 2016）。每年每辆车的频率响应收益约为 1,400 欧元。
- 2017 年底，三菱宣布了一个 V2G 试点项目，该项目使用了荷兰 2.5 万多台 PHEV Outlanders 的电池组。该项目将与电网运营商 TenneT、电动汽车智能充电解决方案供应商 NewMotion 以及 V2G 技术和电网平衡服务供应商 Nuvve 联合实施。正如 Nissan 在丹麦的例子一样，三菱的角色是将 PHEV Outlander 并入电网来提供容量储备（Ayre, 2017）。
- 不同于其他侧重直流（DC）V2G 的试点项目，雷诺、Elaad 和 Lombo Xnet 在荷兰乌得勒支的试点项目对 AC V2G 进行了测试。ISO 15118 Ed2 标准仍处于起草阶段，它将使 CHAdeMO 以外的充电站能实现 V2G 功能。然而，这就要求充电站能够通信，车辆具有双向功率流功能，并且充电站和车辆都必须执行 ISO 15118 Ed2。这个试点包括了世界上首个太阳能控制的双向交流充电站。提供的储备电力为每位电动车车主带来了每年 120 欧元至 750 欧元的经济利益（de Brey, 2017）。

\* <https://elektromobilitaethamburg.de/>

## 文本框 8：岛屿系统中的智能充电

岛屿电力系统已成为研究先进分布式能源应用（包括 VGI）的先驱，有几个原因。岛屿通常高度依赖于矿物燃料，其中石油加工燃料在一次能源的使用总量中占主要部分（这限制了更多传统资源的使用）。

虽然每个独立的系统在天气、人口和经济活动方面均不同，但岛屿地区对电力系统冲击的响应通常更“密集”。也就是说，与连网相比，几个供电的停运造成的影响更大，且电压下降的效应更加显著。因此，平衡电网变得更加困难，切负荷和停电的风险更高，并且需要更多的储备（Ramírez Díaz 等人，2015）。因此，自行引入高比例的 VRE 对系统稳定性是一个挑战。

同时，许多旅游岛屿已经运营了出租车队，这为电气化提供了合理的用例（全岛需要建设少数充电设备），并可用作分布式能源存储系统。

许多研究证实了协同效应：

- 在 Barbados 岛 2030 年的电动汽车情景中，太阳能和风能供电覆盖了系统中 64% 的需求，有超过 26,000 辆电动汽车。这表明，与不控制充电相比，最有效的智能充电策略将使生产成本降低五倍。即使是不控制充电也会导致更多的弃电现象，尽管低于没有电动汽车的参考情景——意即电动汽车仍有一部分是用 VRE 充电（Taibi 和 Fernández，2017）。
- 对 Tenerife（西班牙加纳利群岛）的模拟显示，50,000 辆电动汽车的影响能够让可再生能源在该岛电力结构中的比例提高至 30%，二氧化碳排放量减少 27%，发电总成本减少 6%，国内石油市场减少 16%（Ramírez Díaz 等人，2015）。
- 对亚速尔群岛 São Miguel 的建模显示，电动汽车有助于增加可再生能源的产量（Camus 和 Farias，2012）。
- 丹麦的萨姆索岛（Samsø Island）通过将电动汽车作为“油井到车轮”全周期的零排放车辆，甚至可以实现 100% 的可再生能源发电（Pascale-Louise Blyth，2011）。

甚至可以集成在充电桩内，为（通常是大功率）充电桩的使用提供支持。这有助于限制对电网的耗电量，避免高需求充电（即增加自用消费），并在对电网影响不大的情况下实现更高的充电峰值。

例如，美国充电站供应商 ChargePoint 公司和能源存储公司 Green Charge Networks 的合作项目利用现场电池和电动汽车充电器调度来控制 and 稳定充电站的电网需求，避免对车主收取高昂的需量电费（St. John，2015）。

Tesla 正在与供电公司合作开发电网储能技术，让超级充电站起到“电网缓冲器”的作用。超级充电站旁有一组 0.5 兆瓦小时（MWh）的电池组，这意味着汽车可以直接从电池组充电，从而避免让电网经历峰值（Herron，2013）。荷兰的 Fastned 公司为其快速充电器配备了一个太阳能顶棚和存储设备，以弥补用电需求。

### 3.3 充电基础设施

#### 目前充电基础设施

充电类型是决定电动汽车可提供多少灵活性的相关因素之一。

配电网中流动的是交流电，而电动汽车电池需要直流电。交流/直流转换器（或充电器）始终是必须的。这个转换器可以位于充电桩内（“非车载充电器”）或车内（“车载充电器”）。选择非车载充电器还是车载充电器，需要在充电站（非车载充电器更便宜）和车辆（非车载充电器减少了车内安装转换器的重量和成本）之间进行权衡。交流电流也更容易获得（来自插座的电流类型），因此，在其他条件相同的情况下，车载充电器意味着有更多的地点可供充电。

附录 2 汇总了 EVSE 最常见的功率输出水平，以及基于车辆和充电器之间不同通信协议使用的充电模式。

- 大多数情况下车辆都配置了低功率（通常不超过 22 kW）——即北美的 1 级和 2 级充电器，以及欧洲的“慢速”或“标准”充电器——车载充电器。这样电动汽车就能够在传统的接头上或低成本的交流充电桩上充电。
- 人们最初并没有使用太多中间功率范围（从 22 kW 到 50 kW），而在部署时，选择的是交流充电解决方案（比如，雷诺使用的是高达 43 kW 的交流电）。但是，越来越多的充电解决方案供应商建议在此中间功率范围内采用直流充电（非车载充电）。这一新趋势可能会对交流充电解决方案的部署产生重大影响。但从车辆 OEM 的角度来看，这一点目前还没有达成共识。
- 对于较高的功率（“快速充电器”，通常从 50 kW 起），大多数情况下都会利用非车载充电器。随着功率的增加，交流/直流转换器会变得更大、更重和更昂贵，并置于充电桩内以及互相充电的车辆之间。当重型车，尤其是城市电动公交车，在中途站或终点站充电时，通常采用 150-300 kW 受电弓。

快速和超快速充电将成为出行领域的重中之重。但是，慢速充电比快速和超快速充电更适合智能充电。另外，快速和超快速充电可能给地方电网增加高峰需求压力。电池更换、带缓冲储能的充电站和夜间电动汽车车队充电等解决方案可能会与快速和超快速充电密切相关。

表 8 汇总了当前的超快速充电项目。许多电动汽车已经能够以 50 kW 充电。例如，Tesla 拥有高达 140 kW 的充电基础设施。ChargePoint 公司的 Express Plus 是一个模块化、可扩展的直流快充平台，充电需求增加时可提供的功率为 62.5 kW 至 500 kW。电动公交车的充电功率一般从 22 kW 到 300 kW 不等。直流充电用于对电动汽车和电动公交车的大功率充电。

主要充电地点在家庭、工作场所和半公共或公共场所。大多数情况下还是采用交流充电。在家时，低功率通常就足够了（比如 240 V 电路上只需 3.7 kW），采用的是交流充电器。如果需要更高的功率或实现最大化的自备用电目标（比如采用本地太阳能光伏发电时），就要安装中功率交流或直流充电站（7.4 kW 至 11 kW）。直流大功率充电通常设置在高速公路沿线，但也有一些城市将其用在街道上（比如巴黎的 Belib）。

#### 智能充电基础设施展望

随着电池续航里程的提高，电缆充电在未来几年仍将是轻型车最常用的充电技术。随着电动汽车逐步达到 ICE 汽车的行使里程，充电时长将成为更加关键的一个问题，进一步给电池循环寿命和 EVSE 基础设施创新带来压力。与此同时，长续航里程只在一定情况下使用，这意味着，即使在具有出行即服务（MaaS）功能以及自动驾驶车辆发展的情况下，由于其高昂的成本，超快充需求也仍然有限。慢速（至中功率范围）的家庭和充电中心充电将盛行。

表 8: OEM 和公用事业公司的主要超快速充电基础设施项目一览表

位置	合作方	公司类型	计划	成熟度
全球	Tesla	集成式移动出行公司	现有超过 1,000 个站点；计划扩展到 10,000 个	目前为 145 kW（以汽车为准，为 120 kW）
中国	中国国家电网	国有公用事业企业	现共有 160,000 个公共充电桩；到 2020 年计划建设 10,000 个充电站/120,000 个充电桩	高达 360 kW
欧洲	Ionity：宝马、福特、奔驰、大众、奥迪、保时捷	OEM 合资企业	到 2020 年 400 个	高达 350 kW
欧洲	Allego 和富腾（Fortum）	充电基础设施供应商和公用事业	到 2020 年，322 个超快速充电器，27 个智能充电中心	高达 350 kW
欧洲	意昂集团（E.ON）和 Clever（丹麦）	公用事业和电动出行服务提供商	到 2020 年 180	150 kW
欧洲	Enel	公用事业公司（意大利）	目前 900 个；到 2020 年 7,000 个；到 2022 年 14,000 个	22 kW（较快）；50 kW（快速）；150 kW（超快）
欧洲	开放式快速充电联盟	公共和私营电动汽车基础设施领导者的全球联盟	500 个以上	高达 150 kW
美国	Nissan、宝马和福特为 Evgo 提供资金	OEM	220 个以上	
美国	Electrify America，大众的子公司	OEM 提供的非专有解决方案	300 个以上	150-350 kW

基于项目和公司的网站。

传导式充电的替代方案将于 2030 年至 2050 年期间得以开发，这个方案既适用于由 MaaS 和自动驾驶常用的轻型车，也适用于卡车和公交车。连续型静态充电可能产生重大创新，但不会对电网的灵活性造成严重的影响。

### 充电基础设施展望：迎接更高的充电功率

约至 2024 年，电动汽车行驶里程达到 600 km 的设想将变为现实。电动汽车的耗电量约为 20 kWh/100 km（小型汽车以低速行使时的耗电量更低）。Tesla 宣

称，其新车型 Roadster 的 1,000 km 里程需要配备一个约 200 kWh 的蓄电池。

与 2010 年代初的第一代电动汽车相比，现在的电池容量已经大幅增加。最初推出的电池其里程为 20 kWh。在不到 10 年的时间内，其容量至少翻了一番，里程也提高了五倍。宣布将于 2019 年上市的保时捷 Mission E、2018 年出售的奥迪 eTron 和 2018-2019 年出售的捷豹 I-PACE 等豪华车的电池均达到或将达到 80-100 kWh。2021 年甚至有可能实现更大型的电池，比如 120 kWh 的宝马 iNext 平台。

从理论上讲，到 2030 年至 2050 年，电动汽车的续航里程应该能够接近和超过现在的柴油车。然而，对这个续航里程以及增加相应充电功率的实际需求仍然不高。

电动汽车最初大多用于市内用途，行使的距离每年一般不超过 10,000 km。现在，电动汽车每年行使 15,000 km，相当于甚至超过了普通汽车的行使距离。然而在欧洲，电动汽车平均每天的行使距离仅为 30-40 km，一年内 95% 的路程都低于 110 km，也就是说，目前可用的行使里程已经绰绰有余（Leemput, 2015）。

但是，随着具有更高电池容量的电动汽车越来越多地用于城郊出行以及其每天行驶的距离增加，高速公路沿线快速充电的需求也将相应地增加。新的问题也会应运而生，比如在公共充电基础设施前排队（已经在挪威发生），为用户带来了困扰。

为了能在 15-20 分钟内快速充电，即使是 2018-2019 款车型也需要采用比目前常用的充电功率 (> 200 kW) 更高的充电功率。如文本框 9 所示，整个行业正在竭尽全力地打造更加强大的充电器。

对于 200 kWh 充电器而言，如果驾驶者想要快速充电，充电功率需要达到 600 kW。凭借现在的化学水平，电池能够以 3C 速率进行充电（即在相同功率等级下，电池从 0% 充电到 100% 需要 20 分钟）<sup>6</sup>。3C 速率指放电电流将在 20 分钟内完成整个电池的放电。

如果电池的化学性能更好，充电速度甚至可能更快（在 15 分钟以内充电至 80% 的电池容量）。电池技术的突破性发展可能会出现，包括未来几十年内其 C 速率的提升，C 速率甚至有可能翻番。

然而，快速充电站真正需要多快的“速度”仍然是个疑问。大部分车辆每天行驶的距离几乎很少超过 600 甚至 1,000 km。如果由人类驾驶者来驾驶，他们需要中间休息。即使电动汽车越来越多地应用于里程更远的自动驾驶汽车，但目前可能仍没有必要超过这个里程。在城市地区行使 1,000 km 可能意味着要以平均每小时 50 km 的速度（对城市地区而言是极快的速度）驾驶 20 个小时（即使对 MaaS 而言也是乐观估计）。现在的出租车每天行使 200 km 已然属于高里程，即使他们每天要驾驶 16 个小时（Olsen, 2017）。

### 文本框 9：产业联盟的努力

由德国汽车制造商主导的行业联盟 CharIN 的目标是将 Combo 标准调整为更高功率（350 kW），使其能够在约 15 分钟内将电池充至 80% 的电量。

CharIN 的成员包括汽车公司（例如奥迪、宝马、戴姆勒、福特、通用、本田、现代、捷豹路虎、马恒达、三菱、欧宝、保时捷、PSA、雷诺、Tesla 和大众）、电力公司（例如 EnBW）、硬件制造商（例如 ABB、西门子）以及充电站运营商（例如 ChargePoint、壳牌公司）（CharIN, 2018a）。

CHAdEMO 协会也一直在为大功率充电做准备。协会于 2017 年发布了 200 kW 协议，2018 年 6 月发布了最新的 400 kW 协议。CHAdEMO 协会成立于 2010 年，拥有来自 36 个国家的约 400 多个成员，包括汽车公司、公用事业公司、硬件制造商、充电站运营商和电网集成平台服务供应商（CHAdEMO Association, 2018）。近期中国将建设功率约为 150 kW 的充电站。

<sup>6</sup> 充放电率是电池相对其最大容量的放电速率的一个测量指标。

如果是这样的话，即使电池将按预期发展，电池不同尺寸（以及相应重量和成本）间的权衡将发挥重要的作用。为此，电池可能要根据用途来限制其尺寸，特别是在 MaaS 激增的车队管理优化中。

总而言之，尽管表 9 中总结了快充电源和电池化学的潜在发展，夜间慢充仍将是最为电网和轻型车驾驶者所垂青的方式。

但电池技术的进步将降低常规电池的成本，从而也会降低电动汽车本身的成本。

尽管如此，其具体的形式也会随其他交通模式（比如客车、货车、出租车和公交车）而有所差异。

最后，PHEV 和其他资源，如氢燃料环保汽车，也可以作为替代方式，不仅适用于客车，也适用于工业和商用载货汽车、公交车和出租车等其他领域。

电动汽车充电将影响配电网投资。指定地区的电网需要多少投资（就电缆和变压器而言）将取决于当地配电网的特点，包括电动汽车部署遇到的瓶颈、每个配电系统运营商的配电网选型方法、太阳能光伏发电的低电压级并网等。例如，如果在该地区采用智能充电，与不采用电力供热的地点相比，其可能需要更少的电网补强。智能充电有利于高比例的太阳能光伏以低电压等级进行并网整合，而在太阳能光伏份额为零或很低的地区，电动汽车会增加地方电网的压力。

## 不同城市和地区的交通模式对充电需求的影响

不同的城市交通模式也会影响充电需求。这些模式在很大程度上是由人口密度和经济发展水平的相互影响所决定的。在人口稠密的发展中地区，低质量的道路基础设施和拥堵状况可能阻碍共享出行的普及。随着非洲和亚洲城市即将到来的发展，越来越多的人将居住在适宜两轮车出行的城市（城市也可能会关注这些两轮车，正如我们已经见证了亚洲摩托车共享业务的发展）。在人口稠密的发达地区，基础设施完善，因此共享出行可能会欣欣向荣。

然而，在人口密度低的高收入城市，私家车可能仍然是最重要的交通方式。表 10 列出了城市的拓扑结构并阐释了其具体细节是如何影响未来城市的出行需求的。它概述了三大城市类型的充电趋势和相应的充电需求。图 18 为每个类别列举了当今城市的一些示例（气泡的大小表示城市人口的多少）。这些特征也会影响 MaaS 和自动驾驶汽车的进展。

汽车电池越大，并不意味着需要功率更大的充电器。一整晚的慢速充电应该足矣。超快速充电有助于缓解客户的焦虑，可以作为一个补充。即使是在 MaaS 的情景下，停车时间较短的自动驾驶汽车也很有可能不会超过 20 kW 充电容量。大型充电器并非总是必要。

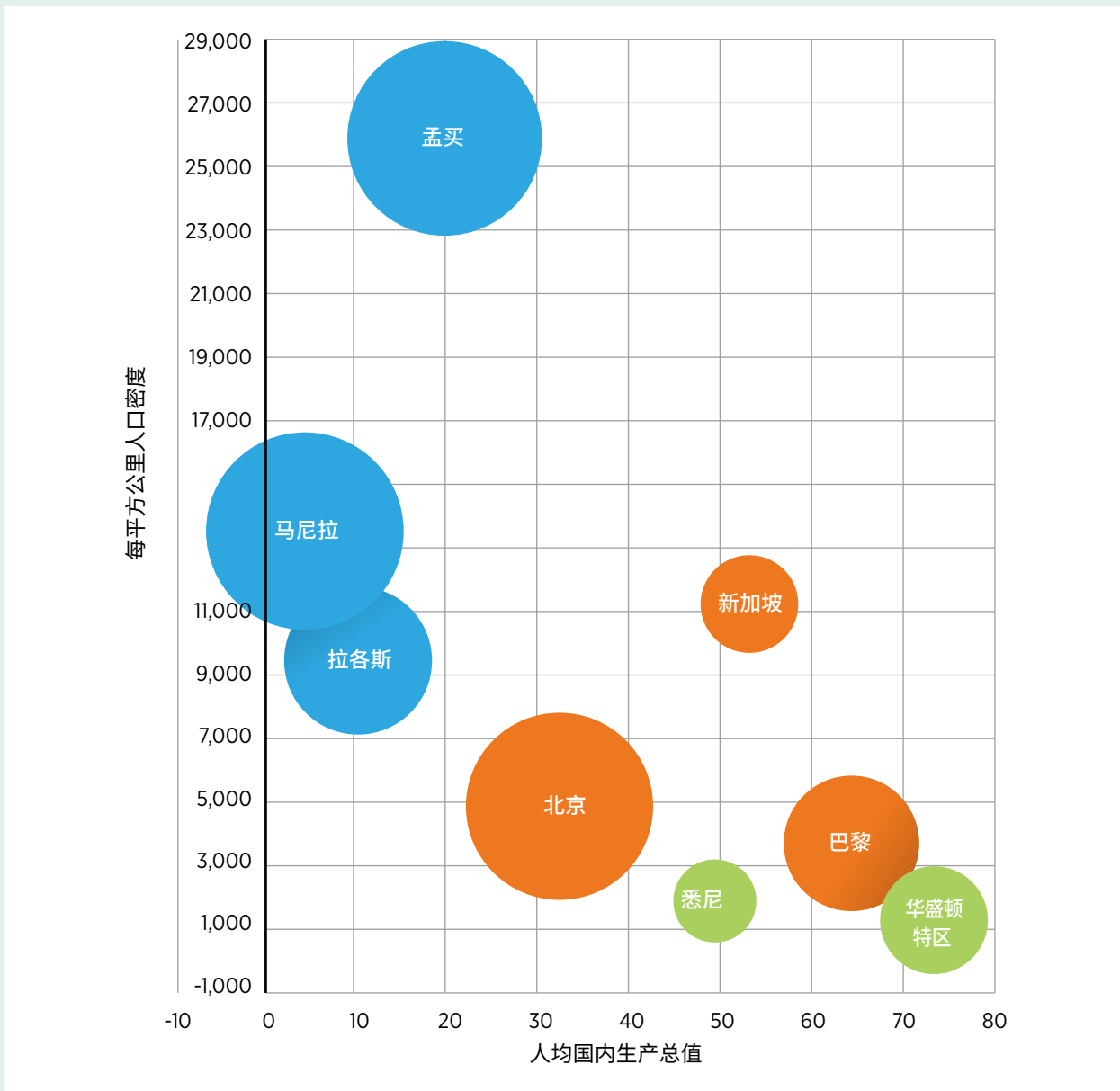
表 9：2030-2050 年轻型车续航里程和快速充电功率发展需求

	2018	2023	2030-2050
续航里程 (km)	300-400 km	600 km	600-1,000 km
快速充电的发展 (充电功率/速度)	150 kW = 750 km/h	240 kW = 1,200 km/h	600 kW = 3,000 km/h

表 10：不同类型城市的充电需求

	私家车	共享出行	公共交通	两轮车	主要充电类型
低收入、人口密集的大都市			++	++	公共充电， 公共汽车充电中心
高收入郊区蔓延	++	+	+		家庭充电
高收入、人口密集的大都市	+	++			充电中心， 更多快速充电

图 18：城市类型示例



基于 2017 年的人口统计。

## 充电基础设施的发展和相应的激励措施

从理论上讲，随着电动汽车市场的扩张，公共充电基础设施应在商业上变得更具有可持续性，因此商业模式应以售电量或零售额为基础，并结合电网服务和广告等其他收益来源。不管是新兴的电动汽车市场还是路边充电站、多单元住宅和城际快速充电等有难度的细分市场，仍然都需要融资计划（ICCT，2017a）。

首先，在电动汽车渗透率较低的新兴市场，可能需要在初期制定一些充电激励政策来启动市场。例如，哥斯达黎加以大幅度降低电动汽车的进口税来推行激励措施，但由于缺乏基础设施，电动汽车仅销售了不到1,000辆（SLoCaT，2017）。

第二，公共充电的商业可行性以及对充电基础设施激励措施的相应需求，将主要受到人口和住房因素的影响。全球主要电动汽车市场充电的有关数据分析表明，在阿姆斯特丹这样的人口密集城市，每5辆电动汽车共用1个公共充电器，而在加利福尼亚，每25-30辆电动汽车共用1个公共充电器（ICCT，2017a）。在人口密度高的某些欧洲地区和亚洲大都市，很多人可能并不住在有车库和路边停车场的建筑内，因而公共充电的覆盖率仍然很重要，在未来一段时间内可能需要发展成为一项公共服务。在欧洲，40%的驾驶者无法使用街边的充电桩。

尽管如此，大部分驾驶者还是想要拥有“专属”的街边充电器，至少在电动汽车拥有率很高的情况下也是如此。市场上已经有了建造新型高性能充电桩的替代方案，比如改造现有的路灯基础设施，价格仅为常规充电桩的一小部分。德国初创公司 ubitricity 一直在与伦敦市政府合作，致力于开发这样的充电桩（Kensington 和 Chelsea，2017）。然而，当地的行政程序（许可证等）往往很冗长，阻碍了这些创新方案的发展。

目前电网的电价结构可能会对快速充电地点造成很大一部分用电成本。快速充电所要求的较高电压等级通常产生较高份额的需量电费。快速充电站的同时充电活动推高了高峰需求，从而增加了需量电费。需量电费可以占成本的65%以上甚至高达90%（RMI，2016）。

然而，直流快速充电站目前的特点是负荷系数低，由于近期市场上使用这些充电站的车辆数量有限，只会偶尔出现高能耗的情况。这可能给快速充电站业主带来巨大的需量电费以及较低的利用率，这使得在早期应用的关键阶段提供快速充电的解决方案并不经济。要满足电动汽车市场的发展需求，必须让下一代直流充电器可为汽车提供高达500 kW的充电能力，但这样只会加剧问题的严重性，尤其在公交车和其他中型/重型车也要向电力驱动车过渡的情况下。

这一问题可以通过对可再生能源和储能的本地优化来解决：在电力需求高的地点配置电站，或者通过在该地点安装储能装置来管理高峰需求并提供额外的网络服务。能源可用于在需求/电费低的时间段充电（在夜间或者在可再生能源生产过剩的时候）（Mauri 和 Valsecchi，2012）并在高峰需求时间段放电。当更多地采用以 kWh 为单位的并网电量时，高峰需求收费将保持不变。

因此，一些国家/地区的法规鼓励将储能和当地可再生能源（主要是太阳能光伏）并入快速充电站点，以减少成本和容量升级的需要（例如，在美国一些州为可再生能源供应商提供购电协议）。然而，储能装置的超高建设成本限制了用这种技术来缓解需量电费的有效性。

美国许多地区，如加利福尼亚和纽约，已经实施或正在考虑采用其他费率设计方案，例如：

- 可以用更高的阶梯计价取代或配合需量电费，为利用率低的充电站运营商提供更高的确定性。



随着电动汽车数量的增加，充电行为会不断地发生变化，这一费率可以根据利用率或负荷系数进行调整。

- 体现铭牌上需求百分比的月度账单信用额，与针对商业客户按使用量付费而安装的充电基础设施相关。
- 可按照每千瓦时有效混合配电费之差进行追补和变动的信用额，包含了需量电费以及用一个商定的目标混合比率乘以拥有专用电动汽车充电站的商业客户（例如，纽约的长岛电力管理局）在每个计费周期内的阶梯式能源吞吐量。

随着并网电压等级的提高以及在快速充电站按电力批发价格计费（与之相对的是在住宅或办公室按终端消费者/零售价格计费），降低电网费用，该费用也可能日益受到不断增加的充电功率需求的影响，并最终降低快速充电的价格。

总而言之，政策法规需要寻求适宜的平衡，既允许公用事业公司合理和谨慎地收回成本，又鼓励各站点建设和运营直流快速充电设备。对多级住宅充电基础设施的激励措施也将发挥重要作用。由于建筑物的布线占到充电设施安装成本的 50%，在所有新建筑中对特定等级的电动汽车充电设备进行预先布线，可以极大地缓解这一困难。

各国和城市可通过建筑规范的要求，规定一定比例的新建或改造停车场能够“支持电动汽车充电”。借助区划法规，城市可以调整在每个地区安装电动汽车充电站的位置和数量。这是影响未来充电基础设施可用性的关键杠杆，因为住宅和工作场所缺乏多级充电设施可能会造成普及电动车的严重障碍，并可能限制交通电气化的发展。

这些措施已经在美国一些地区得以实施。例如，2015 年的《加利福尼亚州绿色建筑规范》（California Green Building Standards Code）要求，商业建筑中 6% 的停车位必须建设电动汽车的基础设施，并且以后进一步扩大这一比例。在洛杉矶，每座新建筑都必须具备 240 V 的电源插座和 2 级充电器的电路容量（ICCT，2017a）。亚特兰大的新法令要求商业建筑中有 20% 的充电桩能够支持电动汽车充电，新住宅建筑中的电力基础设施也要为电动汽车提供支持（Pyzyk，2017）。加拿大安大略省要求所有新建非住宅建筑中 20% 的停车位具备完整的电路容量，以支持电动汽车充电（Ontario，2018）。

欧洲各大城市已经推行了几项增加充电站数量的举措（比如阿姆斯特丹、伦敦和巴黎）。欧盟对此制定了雄心勃勃的计划。尽管这些宏图伟业最终被缩减，但欧盟的最新建筑法规要求非住宅建筑中至少有一个能够用于智能充电的充电桩（取代了最初提议的 10% 的停车位）。另外，有 10 个以上停车位的新建和改造住宅楼必须进行预先布线，以便未来能够在每个停车位轻松安装电动汽车的充电桩。

尽管在 2030 年的时间跨度内，大多数地方对购买电动汽车的直接优惠政策将逐步淡出舞台，对充电基础设施的激励措施仍将保留，以继续启动市场或解决超快速充电和多单元住宅等复杂细分市场的问题。此外，地方政府还必须简化有关充电的审批程序。

## 电缆充电的替代方案

除了电缆充电功率的变化之外，一些极具潜力的充电技术创新已经崭露头角，并将在未来投入应用。

静态无线充电技术正处于研发阶段。这项技术在公交车和汽车项目中业已得到一定程度的应用。但是，其缺点是缺乏标准化，成本较高而效率稍低。一些潜在的电磁兼容性和安全性问题也有待解决。目前，无线充电的最大功率比传统充电（电缆充电或受电弓充电）低：公交车的为 200 kW（比如庞巴迪的 PRIMOVE），汽车的为 11 kW（比如 WiTricity）。

目前的电池技术还无法让长途卡车和公交车在无需频繁进行大功率（> 500 kW）充电（按照 2017 年的可用技术，卡车可能每 100-200 km 需要充电一次，公交车则每 100-300 km 需要充电一次）的情况下长途行驶，这也会让人们电气化的兴趣骤减。自动驾驶车辆也需要新的充电解决方案。

基于以上原因，我们正在不断地探索连续充电和电池更换技术。这些技术何时实现难以评估，因为从长远来看，改进电池技术（增加密度）以及降低成本具有不确定性。

## 连续充电

传导式和感应式连续充电均具有潜在的吸引力：

- 传导式充电采用传导式电能传输方式。它需要使用充电板作为电能发送器来发送电能，需要使用内置接收器的充电设备来接收电能。
- 感应式充电，又称无线充电，利用电磁场通过电磁感应两个物体之间传送能量（图 19）。

传导式充电需要金属连接器。这可以通过带有导电板的静态地面系统实现，阿尔斯通正在有轨电车的经验上开发一种相关产品（ELinGo，2018）。另一种替代方法是在车道上使用接触网，比如西门子正在测试的“eHighway（电化公路）”。这些技术有可能减少电池的尺寸，使重型汽车在提高客运能力（公交车）或货运能力（卡车）的同时降低成本和重量。但是，与通过架空电线传输电流的传统受电弓相比，它们仍处于较低的成熟度水平。另外，改造道路需要更多的投资（每公里接触网预计需 1-200 万欧元）

连续充电也可以通过无线方式实现，例如韩国和比利时的一个试点项目对公交车和雷诺 Kangoo 进行了此类测试。

静态无线（感应式）充电的应用将日趋广泛和普遍，包括在短期内（约 2020 年）应用于豪华型轿车上。例如，2018 款宝马 530e 应当包含了 WiTricity 的解决方案（Sullivan，2018）。

采用动态无线充电，在电气化道路上实时不断地从电网获取电力可能会增加灵活性的可用性（Suh 和 Cho，2017）。连续无线充电对灵活性的影响有待进一步研究。

自动驾驶车辆的自动充电更加方便，而静态无线充电是其中最成熟的技术。这种情况下，自动驾驶汽车的行驶里程和充电可用时间将是考虑电网影响的关键参数。

表 11 列出了无线充电的利弊。

该领域正在进行的标准化工作包括：

- 国际标准 IEC 61851-23-1：电动汽车传导充电系统 — 第 23-1 部分：带自动连接系统的直流充电：该标准将涵盖电动公交车受电弓充电的实施。
- 国际标准 IEC 61980 系列 — 正在进行中，涵盖了无线充电的内容。
- 电动公交车的充电标准 — 以欧盟 ASSURED 项目所讨论的内容为例。

表 12 汇总了对不同类型电动汽车的 2030 和 2050 展望。附录 2 根据车辆类型和电力需求给出了不同的充电方案。

表 11: 无线（感应式）充电的优缺点

优势	缺点
<ul style="list-style-type: none"><li>· 可随机充电的小型电池（比如等红绿灯时）</li><li>· 无需充电电缆</li><li>· 减少充电桩造成的街道拥挤现象</li><li>· 与自动驾驶汽车充分结合</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· 能效有限（目前最高 90%）</li><li>· 需要增建基础设施</li><li>· 发送器和接收器之间需要合理校正</li><li>· “以防万一”汽车仍然需要传导式充电：更复杂，部件更多</li></ul>

图 19: 感应式充电

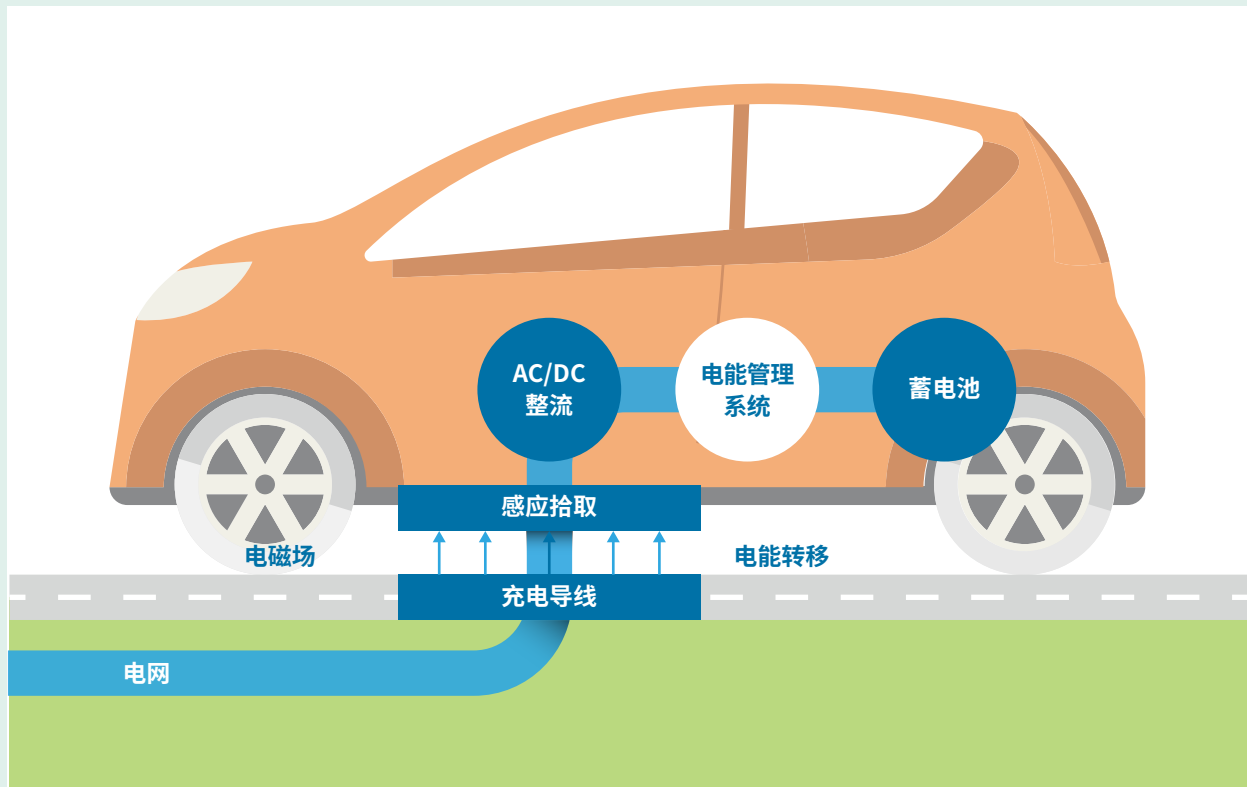


表 12：载客汽车和重型车的充电解决方案一览表

车辆类型	2020	2030	2050
电动汽车	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 电缆充电 (3-150 kW)</li> <li>· 一些豪华车的静态无线充电 (3-11 kW)</li> <li>· 动态无线充电, 试点级地面持续充电</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 电缆充电 (3-350 kW, 功率可能更高)</li> <li>· 静态无线快速充电</li> <li>· 由于电池的改进, 汽车持续充电可能并不普遍</li> </ul>	
电动卡车	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 电缆充电 (40-150 kW)</li> <li>· 试点级静态无线充电 (高达 200 kW)</li> <li>· 带接触网的试点级连续充电</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 成功的技术取决于电池的改进</li> <li>· 对于市内卡车: 夜间或车站静态充电 (电缆或无线)</li> <li>· 对于长途卡车: 如果电池改进太慢, 可选择连续充电, 因其成本较低</li> </ul>	
城市电动公交车	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 使用功率高达50 kW 的电缆或受电弓进行充电宝充电 (高达 600 kW)</li> <li>· 终点站或某些中间站受电弓充电 (150-600 kW)</li> <li>· 静态无线充电在车站的商业部署有限 (高达 200 kW)</li> <li>· 已经具有基础设施的少数城市内使用受电弓持续充电 (有轨电车或接触网)</li> <li>· 试点级连续无线充电</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 使用电缆或受电弓进行充电宝充电 (高达 50 kW)</li> <li>· 在车站使用受电弓充电或无线充电 (高达 1MW)</li> <li>· 是否使用持续充电仍没有定论。如果电池持续改进而基础设施依然成本高昂, 则部署将受到限制。</li> </ul>	

## 电池更换

电池更换包括将电动汽车用完了的电池换成充好电的电池, 省却了在充电站等待电动车充电的需要。这种商业模式是基于以使用电池更换站为目的的租赁/订购或电动汽车电池的即用即付系统。这能让人们在购买汽车时不用购买电池, 以降低采购汽车的成本, 而电池的所有者可能持有电池的所有权。个人或车队都可以采用这种方式 (比如公共交通)。

乘用车更换电池由以色列公司 Better Place 首创, 该公司的商业模式直接受到了移动电话方案 (订购或按公里即用即付方案) 的启发。客户将不再拥有电池, 公司仅保证其提供的每一组电池具有最低的容量。Better Place 模式仅被 Nissan 和雷诺接受——这两家公司都推出了集成电池和电池更换方案——并且

客户的反应冷淡。但是, 这种模式似乎对两轮车和车队非常适用。

电池更换更适合那些定期返回的专属车队, 在返回地点用满电电池替换空电池, 并且能够涵盖少量不同的车型和电池型号。表 13 列出了电池更换的利弊。

随着技术的发展, 未来充电供应商可以经营电池更换站或无线充电道路:

- 电池更换可能会随车队的发展和自动化而激增。通过交换站减少汽车 (出租车、电动三轮车) 或公交车的停驶时间, 并降低车主总成本 (如果电池与汽车/车队的所有权分开), 可能有助其在许多应用中提高可达性和生产力。目前一些城市已经建立了公交车 (主要在中国和韩国) 以及两轮车的电池更换站 (包括成功的初创企业 Gogoro) (文本框 10)。

表 13: 电池更换的利弊

优势	缺点
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 无论电池大小何，能量补充皆非常迅速（通常为 5-10 分钟）</li> <li>· 存储在换电中心的电池可以用来平衡电网</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 非标准化电池：汽车物流负担重</li> <li>· 电池更换网络必须一次性建成：基建费用高</li> <li>· “以防万一”汽车仍然需要传导式充电：更复杂，部件更多</li> </ul>

常见的模式是租赁和即用即付。新兴市场也可能开发用于卡车（小型货车和长途运输车）的电池更换：印度卡车制造商 Ashok Leyland 宣布与运输解决方案初创企业 SUN Mobility 合作，开发由可再生能源驱动的可互换电池站（Ghoshal, 2017）。Tesla 过去也宣布了为其 Model S 提供此类服务的计划，即驾驶员拥有电池，而交换站不作为储能站运行。电池标准化使各站点能够为各种车型的电池提供自动化的电池更换服务，并确保电池组的可靠性，这仍然是开启这一模式的重要障碍。可能只有将这一模式作为一个完整的解决方案（车辆加交换站）提供给专属车队（公交车、货车）时，它才能发挥作用。

- 另一种可能是运行无线充电道路，如果动态电动汽车充电技术成为现实的话（Goodwin, 2017；Fagan, 2017）；甚至有可能是智能高速公路，如果灵活的安全轨道和智能信号等系统能够根据交通需求调整每个方向的车道数量的话。

### 3.4 智能充电的促成因素

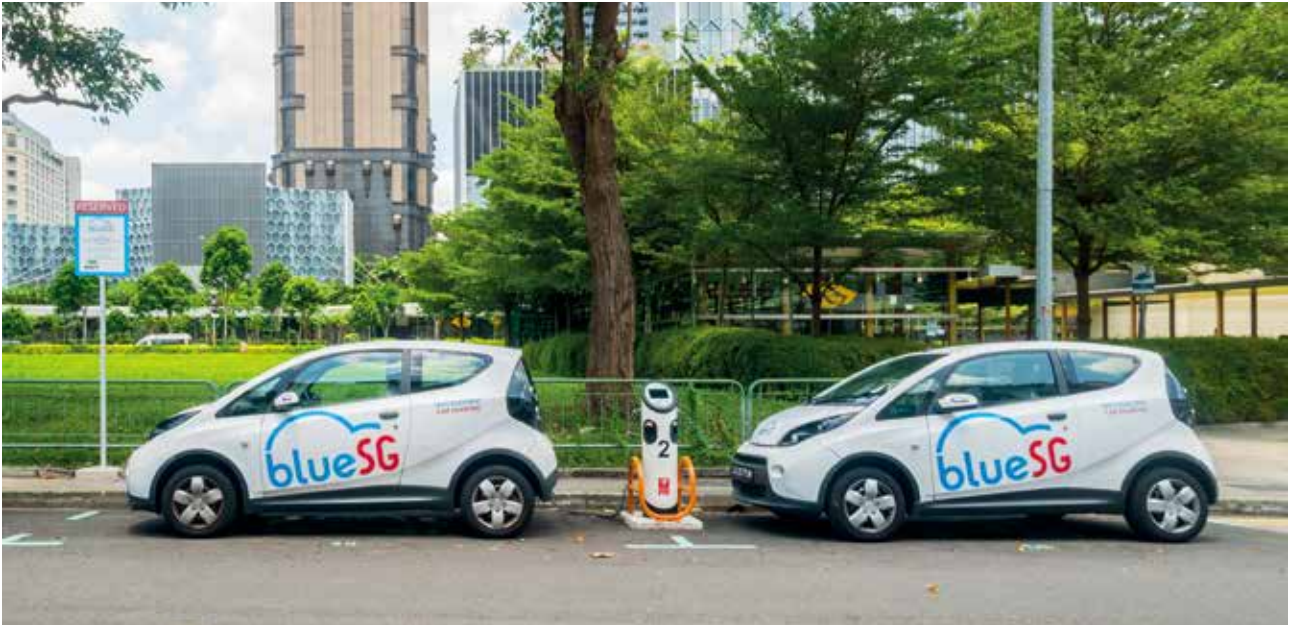
#### 消费行为

对比技术爱好者和大众市场的期待就能够发现，这些不同客户群体之间存在巨大差距。前者愿意检验新解决方案、立志为可持续环境做出贡献（甚至为此支付高昂费用）的领跑者，而后者则偏好方便实惠的解决方案。数字化将有助于弥合这一差距，并通过促进智能充电来最终打破电力和能源系统之间的竖井。

虽然到目前为止电动汽车的销量不大，但随着续航里程的增加，消费者对电动汽车的接受度一直在不断提高。这个问题由来已久，尽管许多研究已经表明，目前已有的电动汽车价格适宜，可以满足 87% 的汽车日能耗需求（Needell 等人, 2016）。虽然有一些调查显示，首次驾车者可能更倾向于购买电动汽车，但 Koetsier (2017) 等调查显示，即便是千禧一代对这项技术的接受度也尚难定论。尽管如此，千禧一代更心仪共享服务，并表现出对使用权的偏好，而不是拥有权，这可能会促进“出行即服务”（MaaS）的采用以及电动驾驶的协同效应。

#### 文本框 10: GOGORO

中国台北的 Gogoro Smartscooter 已经发出 35,000 多台踏板车，并且启发了博世在巴黎和柏林的共享机车服务。其商业模式是销售一辆电动踏板车后，每月收取大约 25 美元的订购费来使用电池更换站。电池站网络（GoStations）成为电网的一部分，目前该公司正与阿姆斯特丹合作充分开发这一潜力。在中国台北，Gogoro 的交换站已经配备了太阳能电池板（Gogoro, 2018）。



但即使电动汽车的渗透率达到了很高的水平，灵活性的理论可用性也需要根据不同驾驶者的喜好进行调整。交通运输服务仍然是优先考虑的因素。为了让用户尽可能多地插上电源，必须制定激励措施，最大程度地实现潜在的灵活性。必须确保参与智能充电的个人客户始终有一辆电量充足的汽车供通勤使用。此外，人们的充电习惯也不尽相同，比如在价格敏感度方面。目前人们的出行习惯、对停车位的使用、对加油的态度以及对不同电动汽车充电选项的看法可能各有不同（Delta-ee，2018）。动态电价需要具有全面性，能够为增进客户参与度提供相关的激励作用。

**商业模式需要考虑电力系统的需求（为电力系统提供服务所得的报酬）以及车主的需求（出行和保持车辆的状态）。**

因此，必须监控充电速度、电动汽车电池的健康状况、可能缩短的电池寿命等参数。在确定电动汽车商业模式时这些参数均需考虑在内。例如，提供运营服务时，电池需要随时“待命”，只要有了可用性就能提供稳定的收入。另一方面，电价套利导致电池必须反复地充放电，大大降低了电池寿命。

## 大数据和人工智能

数字工具的使用有利于提高客户对电动汽车的接受度，并应对市场的复杂性，通过与电网交互以增加可再生能源的比例。市场上出售的某些产品刚好已经实现了这几项。例如，WallBox 家庭充电解决方案是一种智能充电系统，它可以在能源成本最低时自动给电动汽车充电，通过直观感应技术来管理充电（Wallbox，2018）。

甚至人工智能（AI）算法也可以用来更好地满足电动汽车消费者的需求。例如，微软的云计算平台 Azure 可以从真实世界的传感器收集的数据中找到模式，解释这些数据，并利用人工智能功能做出维护或远程监控不同资产的决策。在德国，微软正与 EnBW AG 合作开发智能路灯，这种路灯可以收集碳排数据并为电动汽车充电。此外，在 ABB Ltd 的帮助下，微软将推出下一代电动汽车快速充电平台（BNEF，2017d）。

施耐德电气在柏林的 EUREF 校区与出行和社会变革创新中心（Innovation Centre for Mobility and Societal Change）合作，完成了一个微型智能电网，该电网具有人工智能和机器学习能力，能够主动优化电动汽车充电。它通过动态定价控制充电需求，使之与电网容量相匹配，并将剩余电量送回电网（Tricoire 和 Starace，2018）。

图 20: SMATCH 的功能



数字化也将催生新的商业模式。上文所述的“充电供应商”模式将进一步向“即服务”模式发展。信息和通信技术（ICT）的进步，包括充电模式的数据管理和数据分析，将使充电站的远程维护和管理等新功能得以实现。为智能充电提供便利以及跨多个充电桩优化效率的服务早已存在。

例如，如图 20 所示，ENGIE 的 SMATCH B2B 解决方案允许用户表明自己的充电需求，并优化充电桩的使用，由此最大限度地利用当地的可再生能源发电，并减少这个过程调峰。由于减少了充电所需的总功率，SMATCH 可以让电力基础设施的使用减少 30%（Laborelec，2017）。

最后，在规划和运营阶段，数字化将在优化交通运输服务和电网服务之间的关系中发挥关键作用。数字技术和数据分析将使出行需求与供电模式相匹配，尽可能使其相互兼容，并确定充电桩的最佳位置。

一项关于充电站最佳位置的波士顿交通数据研究表明，在不增加充电站数量的情况下，使用就近的充电站有可能节约 20-30% 的能源（Santi，2017）。

除了找到电动汽车充电的最佳地点外，大数据衍生的交通分析还可以改进对电网负荷、电力成本以及 V2G 的估算。对于 V2G 来说，分时段信息是关键，因为对于特征完全不同的相邻停车场来说，一般的负荷曲线可能无法体现其停车量的不同（Schewel，2017）。

### 区块链技术

同样，包括区块链在内的新技术的发展，可以进一步简化电动汽车服务的支付和计费，以及电动汽车向电网提供灵活性的方式。区块链是安全的分布式账本，能够支持交易。它们作为分布式数据库运营，其中包含不断增长的数据记录列表，即所谓的区块。交易由网络用户（即所谓的节点）运行的计算机进行验证。因此，不需要第三方来确保交易的正确进行。除了去中心化之外，它们的关键优势是有可能进行安全和廉价的交易，包括充电交易。

对于电动汽车充电而言，区块链的主要优点是直接结算（即不再需要漫游）、高度互用性和服务自动化。

2017年11月，来自五个国家的七家供应商，其中主要是电力公司，推出了 Oslo2Rome 体验：使用基于区块链技术的 MotionWerk 推出的 Share&Charge 应用程序驾驶电动汽车进行欧洲跨境旅行。Share&Charge 是德国的一项举措，有 200 个公共和私人充电站采用了这项解决方案。它正从企业对客户（B2C）演变为 B2B 和更广泛的公共收费网络解决方案，使服务供应商能够使用该产品并将其添加到自己的工具箱中。

这项技术也可以用于客户对客户（C2C）充电解决方案：在私人充电器不使用时，与他人共享充电器并收取费用。这就要求家庭插头的硬件能够连接到区块链（MotionWerk 和 WallBee 的一个当前试点），因为现

在的家庭充电是通过简单的插头实现的，与公共充电不同，它没有配备一个软件后端来验证用户的身份，建立连接并提供充电许可。

对于充电和漫游，基于区块链的解决方案有可能瓦解或至少影响平台即服务（PaaS）模式。区块链能够以一种开源标准的形式，取代目前正在开发的专有解决方案，通过连接不同的参与方，促进聚合商和客户之间的货币交易（真实世界的交易需要更长的时间，收取更高的费用），从而促进智能充电和 V2G。在荷兰，IBM、TenneT 和 Vanderbron 正在探索区块链技术，然后将其应用到智能充电中以提供电网服务（文本框 11）。

### 文本框 11: TENNET 和 VANDEBRON 对 IBM 区块链智能充电的测试

输电系统运营商 TenneT 已经启动了几个项目，以测试其使用区块链管理网络的情况。TenneT 使用 IBM 授权的区块链平台，该平台基于 Hyperledger 框架建立，被应用于包括金融服务、供应链和医疗保健在内的各个领域。

在荷兰，该项目与绿色能源供应商 Vandebron 合作，研究客户使用电动汽车的情况，以便 TenneT 在高峰需求时能够为平衡网络提供灵活性。通过记录电动汽车的可用性以及响应 TenneT 信号时采取的行动，区块链能够让已接入的电动汽车参与其中。当电网需要增加功率时，电动汽车充电将短暂停止，车主将获得中断补偿（Engerati, 2018）。

**在 2030 年至 2050 年期间引入 MaaS 和自动驾驶汽车之后，即使快速充电得到普及，缓慢充电仍将对可再生能源整合发挥重要的作用。数字化和标准化将让简单的电动汽车分时充电技术获得突破。提高电动汽车的使用，首先要采用自动化的 V1G，然后增加 V2X 的应用，这样也必定会促进与可再生能源的协同效应。**



## 4. 商业模式及监管前景

电动汽车的广泛使用要求新的商业模式来发展电动汽车供电设备（EVSE）。本节概述了目前以基础设施为重点的电动出行参与者的战略定位。

### 4.1 电动出行市场参与者

电动出行市场的细分主要包括以下几个方面：

- 电动汽车销售：尽管大部分轻型车辆通过租赁销售，但需要考虑像公共汽车等公共交通方式的公共采购。
- 出行服务：这些服务包括共享电动汽车、多式联运、车队管理、电动车辆服务提供，以及日益增长的司机、车队管理员和充电站数据收集和分析。
- 电动汽车的电力销售：它包括电力零售以及充电基础设施供应商的再次销售。
- 充电基础设施的安装和维修。
- 充电站运营（智能充电/数据管理/计费）。
- 电动漫游：这是充电服务以及区域/国家自主充电互联互通的关键。
- 先进的电网服务，例如聚合和 V2G（新兴的）。

许多来自出行及能源行业的传统参与者以及新参与者在这一新兴市场上都很活跃。除了 Tesla——其愿景是成为推动行业变革的综合出行公司——新的独立供应商还包括共享电动车供应商（例如 Bolloré 公司的 Zen Car 和 BlueIndy）、专用充电站开发商、运营商、数据管理员、电动漫游平台供应商，以及先进电网服务的供应商和聚合商。

汽车制造商正在寻找进入电动出行市场的新方法，并通过专注降低里程焦虑来提高产品信任度。能源供应企业不仅期望为充电桩供电，还在寻求“售电”以外的企业业务，决定将业务范围转向了充电基础设施安装和运营，以及新智能能源服务的提供。即使石油和天然气行业的能源公司正在准备迈向可持续化出行。

这些行业中的跨价值链合伙关系在市场上变得越来越典型。他们寻求跨价值链可变的商业模式，为客户撷取并提供价值。图 21 中总结了最重要的商业模式类型（Laurischkat 等，2016）及每一领域活跃的市场参与者例子。

如附录 3 所述，最发达的商业模式是伴随出行和充电服务的电动汽车销售。



图 21：电动出行价值链中战略参与者定位概述



注：公司提供的标识。这并不构成 IRENA 对任何产品或供应商的认可或推荐。

## 4.2 电动汽车电网关联商业模式

几种电动汽车电网关联的商业模式正在开发，但是还未完全商业化或普及，包括智能能源服务、电动汽车灵活性聚合、换电及二次寿命电池使用等。

### 智能能源服务供应商和聚合商

在批发或辅助服务市场，通过聚合及销售能源和/或容量来集中监测和控制大量资源的商业模式对于更大负荷和分布式发电来说已经成熟。然而，电动汽车电池聚合和电动汽车可提供给市场的服务尚未完全商业化。

尽管如此，对这一模式的兴趣还在加大。不仅电力零售企业，还有一些大型汽车制造商以及充电服务公司也对能源管理和聚合服务进行了投资。例如，eMotorWerks 的 JuiceNet 平台（被 Enernoc 并购，Enel 所有）能够聚合配电存储设备（包括但不限于电动汽车电池）来提供电网平衡和能源管理服务。

然而，盈利性和电动汽车灵活性以及其他系统层面灵活性资源的竞争力仍然是关键问题：

- 首先，系统中的差价可能会降低——例如白天太阳能光伏发电——并且假设系统有足够的灵活性，差价可能不会再上涨（预计德国和西班牙日前市场可能出现低价差，但是英国市场预计较高（Schucht, 2017））。
- 其次，辅助服务收入可能无法在整个市场提供足够的灵活性。不同于第 3 节提到的试点项目的高估值，其他市场的研究可能会显示更低的价值。例如，德国的计算是依据 2015 年一级和二级控制的市场容量 2.65 亿欧元，假设 1 千万辆电动汽车具有 90% 可用性，代表每年每辆车价值为 29 欧元。很显然，这些服务需求目前限于 660 兆瓦，而且这 1 千万辆电动汽车代表大约 3 千万兆瓦，因此将价格推得更低。
- 最后，电动汽车会与诸如需求-响应等其它种类的分散灵活性资源，以及二手电动汽车电池本身进行

竞争。二次寿命电动汽车电池会很便宜，并且目前汽车制造商已经在利用。

电动汽车案例在地方一级可能更具影响力，导致中低压电网扩建项目存在最小化的可能。不过，驾驶员这种潜在商业案例仍需让电动汽车司机和服务提供商获得盈利。如上所述，目前情况并非如此，因为缓解配电网拥堵的地方灵活性市场是缺失的。

人们在尝试不同的商业模式，不同参与者在不同的电动汽车-电网互联的环节中利用其专业知识看到了协同作用。

单向 V1G 可由充电桩管理企业来管理。如果是远程管理的，可通过软件即服务（SaaS）结构完成，它能够管理大量的充电桩和充电站点的其他负荷。或者，它可以在本地实施，就如在充电基础设施中一样（例如，本地电动汽车-光伏同步）。

V2G 和二次寿命电池运营需要聚合商。最初的“利基”能源服务供应商和聚合商模式将发展成为能源服务平台供应商，结合多种 VGI 收入流和其他能源产品和服务。作为更大的集中分布式能源组合的一部分，定制智能能源服务/家庭和建筑能源管理（智能充电，V2X）结合 V2G，以及二次寿命电池将会变得不足为奇，而不是像今天这样专注于某一种特定的应用。

虚拟电厂运营商 Next Kraftwerke 和 Jedlix（电动汽车聚合商及智能充电平台的供应商）推出了一项国际试点项目，利用电动汽车电池为 TenneT（一家荷兰输电系统运营商）提供二级控制储备。通过将电动汽车与 Jedix 平台连接，Jedix 能够协调用户充电偏好并与电动汽车建立活动连接，确保智能化充电。依据充电偏好，每辆电动汽车均可提供正向和负向控制储备。Jedlix 能够结合用户偏好、汽车数据和充电站信息来提供可用容量的连续预测。随后这被 Next Kraftwerke 用在 TenneT 购买电网服务的竞价过程中（NextKraftwerke, 2018）。

目前 VGI 大多基于为电力公司和车队提供来自开发者的充电管理软件的专有解决方案，有时会由原始设备制造商（OEM）运行。这种能源服务平台供应商模式不再是 B2B，但却会整合软件并提供一系列 B2C 服务。意大利国家电力公司和 Nissan（文本框 12）案例研究分别从电力公司和原始设备制造商角度说明这种新兴的商业策略。

但是能源服务平台也可能与其他平台以及来自其他分支行业参与者互相整合。例如，智能建筑“作为服务”整合能源管理增加了吸引力，并收集到居住者数据，即使还不是目前的重点，但下一步可能是聚合和 VGI 返回电网。这一领域目前由电子巨头（施耐德电气、西门子、松下）主导。西门子在研究项目中将电动汽车融入建筑能源管理中正在使用其建筑自动化系统 Desigo（西门子，2017）。

### 文本框 12: 未来能源服务平台供应商：意大利电力和 Nissan 的战略

除了开发充电基础设施和家庭及公共充电捆绑组合促销，**意大利电力**已投资开发了充电和放电功率为 10 kW 的可接入直流 V2X 的家庭充电站。意大利电力（Enel）参与了各种试点项目——例如，在英国与 Nissan 试点中，他们充当了充电桩的电力供应商、充电软件供应商以及聚合商的角色。

在该试点中，电动汽车客户得到了补贴，以降低电费的形式来交换电网服务的提供，并且由于智能能源服务，他们通过增加当地太阳能发电的自身消纳并节省电网费用来优化他们的电力消费。Enel 将采购的 V2G 电力纳入到它更大的聚合辅助服务组合中，从而为单个车辆的调度可能出现偏差而产生的不确定性创造“缓冲区”，而不直接对其进行控制。Enel 向输电和配电系统运营商收取费用，并与客户分享价值。

eMotorWerks 的 JuiceNet 平台——Enel 最近通过子公司 Enernoc 收购的（Enel，2017）——将进一步提高公司提供智能能源服务的能力（电动汽车-光伏-存储）。它能够在家用太阳能屋顶系统电力充足时安排电动汽车充电。此外，通过 JuiceNet，电动汽车、V2G 充电站及其他存储设备也能够用来响应网络信号、聚合充放电活动，以此在需要时来平衡电网中的电力流。

汽车制造商 **Nissan** 也将聚合灵活性定价视为额外收入流。2018 年 1 月，Nissan 在英国启动了新型太阳能发电及家用能源存储系统（日产，2018）。该公司声称其解决方案会让英国房主增加现场光伏自耗率，并将能源账单削减高达 66%。超过 88 万户英国家庭已安装了太阳能电池板，而且市场还在增长。这种新产品是 Nissan 与伊顿合作利用二次寿命电动汽车电池开发的 xStorage Home 的进一步扩展。

2017 年 10 月，Nissan 宣布与 OVO Energy 合作推出一款新产品，将 OVO 的 Vnet 容量与 Nissan 的 xStorage Home 系统结合，为购买最新款 Nissan LEAF 的私人客户开发一种 OVO SolarStore 和一种 V2G 产品（OVO Energy，2017）。

## 二次寿命存储应用

另一种回收二手电动汽车电池的方法是将这些电池修复后再作为固定电池使用。二次寿命电池方案也可以提供能源存储服务。当电动汽车的电池容量降低到 70%-80，即它不能满足日常续航里程，但还能够作为能源存储系统正常使用时，就需要换新了。

这可使电池寿命延长 10 年，目前电池的价格令人咋舌，估计约为 150 欧元每千瓦时 (Reid, 2016)。根据应用的不同，它可用于低价时段的电网对电池 (G2B) 预充电，以及高价时段电池对电网 (B2G) 放电。作为比较，雷诺 Zoe 二次寿命电池能够提供两倍于 Tesla Powerwalls 的电量，并且价格更低。

表 14 总结了使用用于固定存储的二次寿命电池的利弊。

除了试点项目，大量的 OEM 已启动了开发回收电池的再销售。提供固定存储可以让具有大型电池生产能力的汽车公司降低电动汽车销售波动的风险，减少库存，提高电池的生产利用率，并在首次使用后使电池盈利。针对住宅用户的基于二次寿命电池的几种产品已经可以在市场上购买，然而更多先进应用还处于示范阶段 (表 15 和文本框 13)。

表 14: 二次寿命电池存储的利与弊

优势	缺点
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 电池在电动汽车中发挥主要用途后的额外变现</li> <li>· 节省制造新电池的成本</li> <li>· 延迟回收剩余容量为 70% 的电池，这是潜在的浪费，延缓了相关监管责任</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 由于磨损，性能降低且剩余循环寿命随着时间的延长而降低</li> <li>· 使用 10 年或以上的电动汽车电池的技术可能已过时，更适合回收而非为了发挥二次寿命改变用途</li> </ul>

表 15: 二次存储产品示例和原始设备制造商演示

汽车制造商	项目描述	位置	应用
宝马和博世	二次寿命电池联盟项目与瑞典瀑布	汉堡	支持快速充电站和 VGI
比亚迪	新型电池和可循环电池销售	中国、澳大利亚	电信铁塔、太阳能路灯及低速电动汽车后备电源
戴姆勒、移动之家和吉泰	1,000 个电池组的 13 兆瓦时项目；另一个在建的 13 兆瓦时项目	德国	旨在辅助服务提供
Nissan	阿姆斯特丹球场使用日产 LEAF (以及易斯顿和移动之家) 148 个电池组的后备电源；可能为 xStorage Home 与二次寿命电池	荷兰阿姆斯特丹	
英国	电表后端的优化		
雷诺	英国能源解决方案供应商 Connected Energy 通过 E-STOR 系统，使用雷诺电池；为配备太阳能的客户试用 Powervault	英国	公共事业规模应用；智能家庭应用

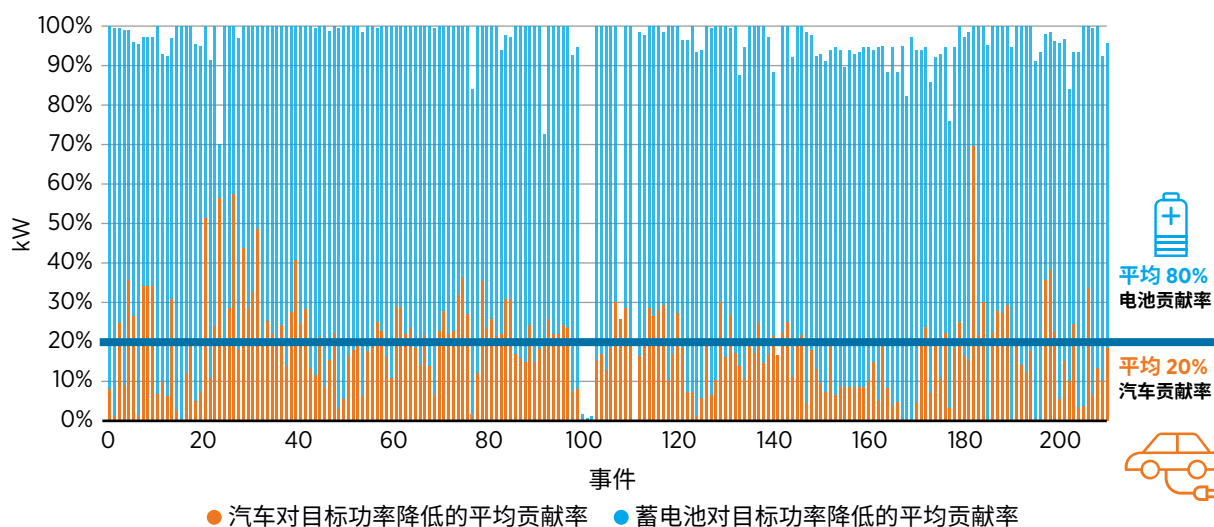
基于 Holder, 2018a; Lambert, 2016; Engerati, 2017; 可再生能源与环境, 2017。

### 文本框 13：二次寿命电池的 ChargeFoward 项目

ChargeFoward项目由位于加利福尼亚旧金山湾地区的太平洋燃气与电力公司（PG&E）与宝马汽车公司于2015-2016年间开展。目的是示范电动汽车参与需求-响应活动的潜力。为此，当要求通过结合旧金山100辆宝马 i3 汽车延迟充电与利用二手电动汽车电池建造的二次寿命电池系统将电力注入电网上时，要求宝马为 PG&E 提供 100 千瓦的电网资源。

该项目在 209 次需求-响应事件中证明了对宝马汽车的成功调度。汽车对目标容量降低的贡献率为 20%，由电池提供了剩下的 80%（图 22）（宝马和 PG&E，2017）。在项目第二阶段，宝马一直在开发利用，按照PG&E 预测，使电动汽车充电与可再生能源发电相协调的能力。

图 22: 宝马和 PG&E 项目：车辆对容量目标的贡献（100 千瓦）



来源：宝马和 PG&E 项目，2017。



换电站也可以以类似的方式应用于各种应用。研究表明尽管换电站充电行为仍受到电动汽车车队多种换电需求的巨大影响，例如出租车，每天可换电数次，但数量的增加电动汽车车队和换电站数量能够限制负荷波动和峰谷负荷差异（Rao 等，2015）。

### 4.3 汽车-电网整合监管：电力市场

随着技术成本急剧下降，电动汽车使用的障碍也逐渐降低了。然而，部署和扩大与电网的智能交互的电动汽车充电基础设施以及利用 VRE 电力系统使协同作用最大化仍然是电动汽车革命的关键。为了将新 VGI 商业模式从试点引入全面部署，智能能源服务供应商和聚合商需要提高将电动汽车纳入需求响应项目中的价值，这尤其与车队的管理密不可分。

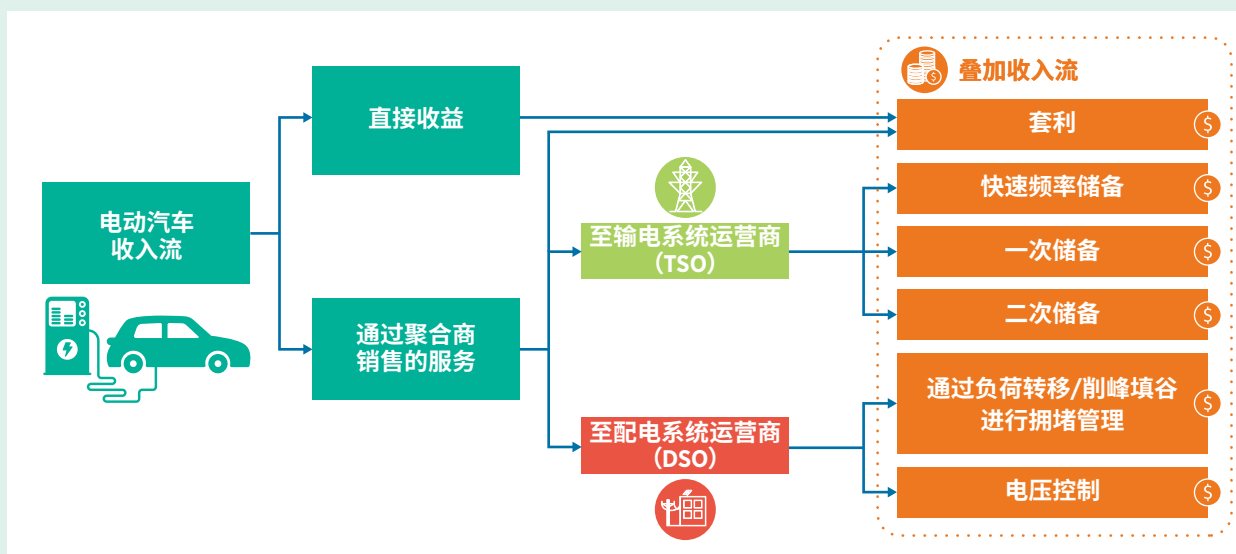
### 市场设计和汽车-电网整合监管

如果没有动态价格信号等形式的适当激励政策，智能充电不会“一蹴而就”。并且如果没有从多种收入流中通过在系统层面以及本地层面提供灵活性来创造“叠加收入”的可能性，V2G 也不会成为现实，正如图 12 和 23 所示。

如果没有运转良好的电力市场，这也不会实现。如今，具有竞争力的批发和零售市场并非总是存在，即使是在新兴的电动出行市场。在一些国家，虽然有批发电力市场，但是具有竞争力的平衡/辅助服务市场及零售市场常常是缺失的——也就是说，它们还是由输电系统运营商集中监管的服务。

应避免 V2G 充电的双重收费——即，汽车充电收费及电网注入电流收费。税收和电网收费应仅适用于按驾驶目的传输的净电量来收取。

图 23：可叠加的可能的电动汽车收入流



改编自 Chase, 2016; Bach Andersen, 2019。

聚合商商业模式促进了电动汽车作为流动性资源的使用。为了使电动汽车的供电服务能达到批发市场规模（例如，提供高峰调节和辅助服务），应至少交易 1 兆瓦至 2 兆瓦的电量。这将要求聚合约 500 辆电动汽车。

即使有这些市场，市场的设计也需要不断完善，也需要对监管进行调整，为发挥电动汽车的电网服务的价值提供激励政策，包括：

- 调整不同批发环节的市场门槛和准入条件：即使是在明确允许聚合进入的市场，大型电网服务的最小容量和可用性需求仍然是为大规模电厂设计的。
- 避免对电网的储电容量二次收费，这会非常不利于 V2G 和二次寿命电池：欧盟立法机构已认识到向电网充电付费属于障碍，并且名为清洁能源计划（CEP）的项目提议将其废除。
- 禁止在没有供应商的情况下转售电网电力的过时法规应该更新，以支持电动汽车供电。

**允许电动汽车为电力系统提供不同的服务，使得叠加服务和收入成为可能。**

在配电层面，通常不允许当地电网运营商以除加固铜盘式本地电网之外的方法管理电网拥堵。智能电网和智能电表投资，即使在全世界普及。必须通过经济价值体现地方灵活性市场的发展对智能充电在配电网优化和消除配电网瓶颈方面的贡献。可能除了利基应用，事实上，目前在任何市场上都不是这样的（但是 CEP 也提议解决这个问题）。需要给配电系统运营商提供激励措施以使用电动汽车充电器作为分布式能源，以代替新建线路/变压器容量。

最终，电动汽车司机能够为批发/平衡市场提供灵活性，在配电层面也是如此。当地价格信号和竞标中的位置信息使其成为可能。

电动汽车电池可以为某些辅助服务提供所需的快速响应，但其电源容量有限；因此单独一辆电动汽车无法提供电力系统在该时段所需的这些服务。然而，当电动汽车聚集在一起时它们可以相互补充，形成一个具有快速响应的虚拟发电厂，并能在所需的时间段提供所需的服务。

## 激励智能充电和与 VRE 协同作用的动态定价方案

在零售层面，价格通常不会随着系统中的供需变化而波动。在调控电价的国家，这不仅是技术问题也是政治敏感问题，保持低于市场价值。即便不是这种情况，即使在自由化零售市场，“固定”费率通常也更为普遍，因为这样容易被消费者理解。然而，在统一价格的情况下，智能充电没有任何激励措施。

激励智能充电的定价/计费方案是一种很好的做法，已在多个国家实行。基本上这些定价方案将电动汽车归类到单独的负荷。一般情况下，高峰和非高峰时段的价差比传统使用时价差更大，目的在于确保电动汽车在非高峰时段充电并且不构成峰值需求一些电力公司（主要在美国）实行了电动汽车家庭充电费率，与白天相比，夜间充电可给予高达 95% 的费率优惠（BNEF，2017e）。

一些电力公司/零售商也开始提出“绿色电动汽车充电”计划，以充分利用 28%-40% 电动汽车车主也使用家庭太阳能，而总人口中太阳能普及率大约为 1% 这一事实，让充电变得获利。（Shahan，2017）。例如，位于明尼苏达州的 Great River Energy 公司允许会员客户使用 100% 风电给电动汽车充电，而不收取高于标准价和非高峰价的额外价格（德勤，2017）。英国 OVO Energy 公司为电动汽车车主提供 100% 可再生能源电力，车辆和家庭均可使用（OVO Energy，2018）。

根据 2022 年提案改革，英国监管机构 Ofgem 也发起了一场辩论，关于对想要在高峰时间消费大量电力的家庭和小企业是否要调整网络调度费标准。（Holder，2018b）。



## 标准化

目前只有少量充电站（家庭和公共场所）启用智能电网（德勤，2017），以及非常少量的汽车可使用 V2G。电动汽车普及率的增长将进一步提高充电基础设施公认标准，以及充电站、配电网和电动汽车本身互操作解决方案的需求。互操作性不仅是屏蔽充电基础设施厂商锁定的关键，而且是利用多样化充电基础设施和电表实现电动汽车经济高效连通性的关键。

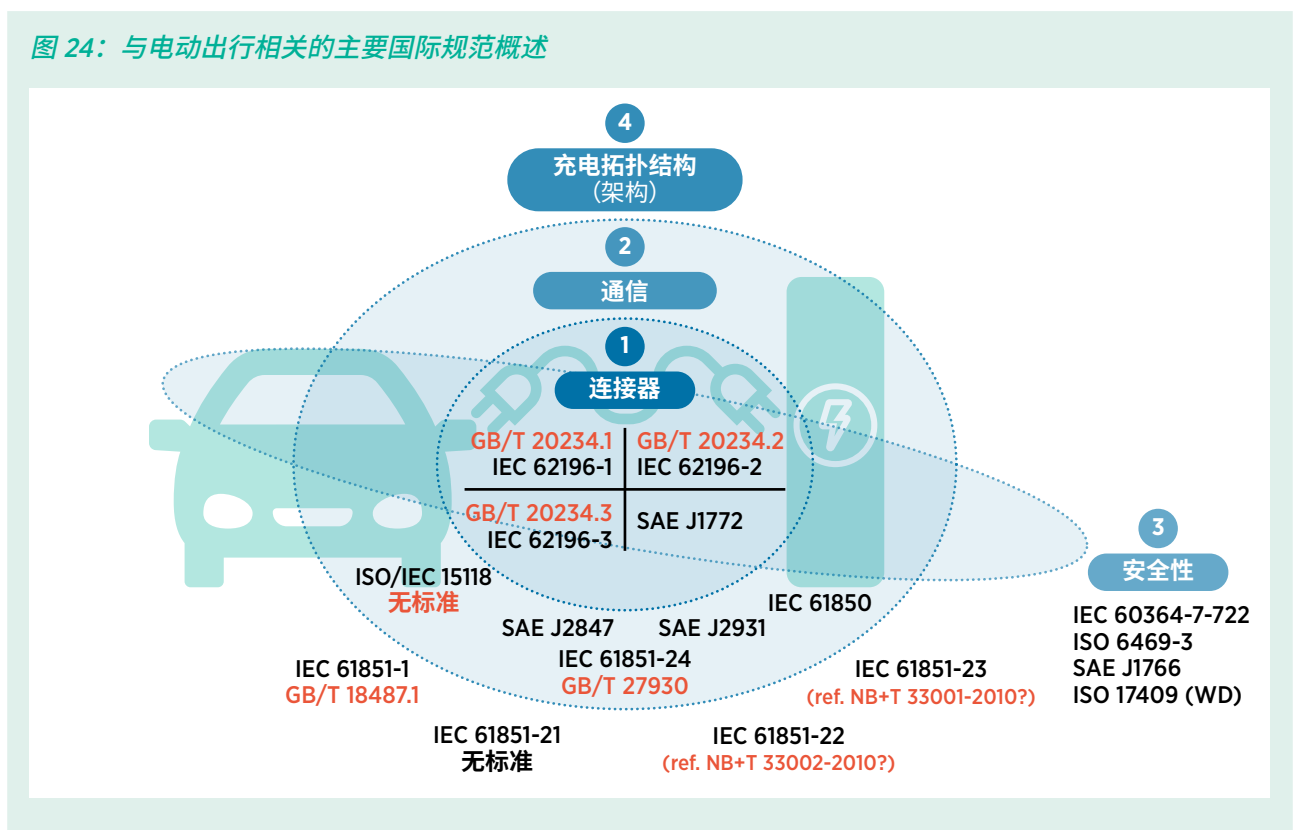
基于这些原因，标准化对促进电动汽车普及率、充电基础设施及其与电网的交互作用非常重要。国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO）在全球范围内发布了几条规范，并转换成了多国版本和国家版本。图 24 给出了各种国际规范以及对电动汽车的适用范围。

针对轻型电动汽车发布的 IEC 61851-3 系列标准，主要针对交流和直流导电供电系统、换电系统及通信要求。IEC、ISO 及其各地代表机构的工作是持续性活动。现行规范定期更新以符合电气化出行的变革，也在起草新的标准规范。除了官方标准，私企部门也制定了若干协议，试图通过合作建立行业标准。这通常会比标准出台的更快，即使多个行业标准可以并存充电站的不同行业之间进行沟通更是常态。

为实施单向智能充电（V1G），充电站应包括下列功能：

- 充电系统应具备一定的控制功能，如改变充电电流：从可编程继电器（局部开环控制）到带电流调制设备的充电桩，包括简易充电点，带有开放式充电桩协议（OCPP）通信（电网容量信号充电站）和远程启动/停止。

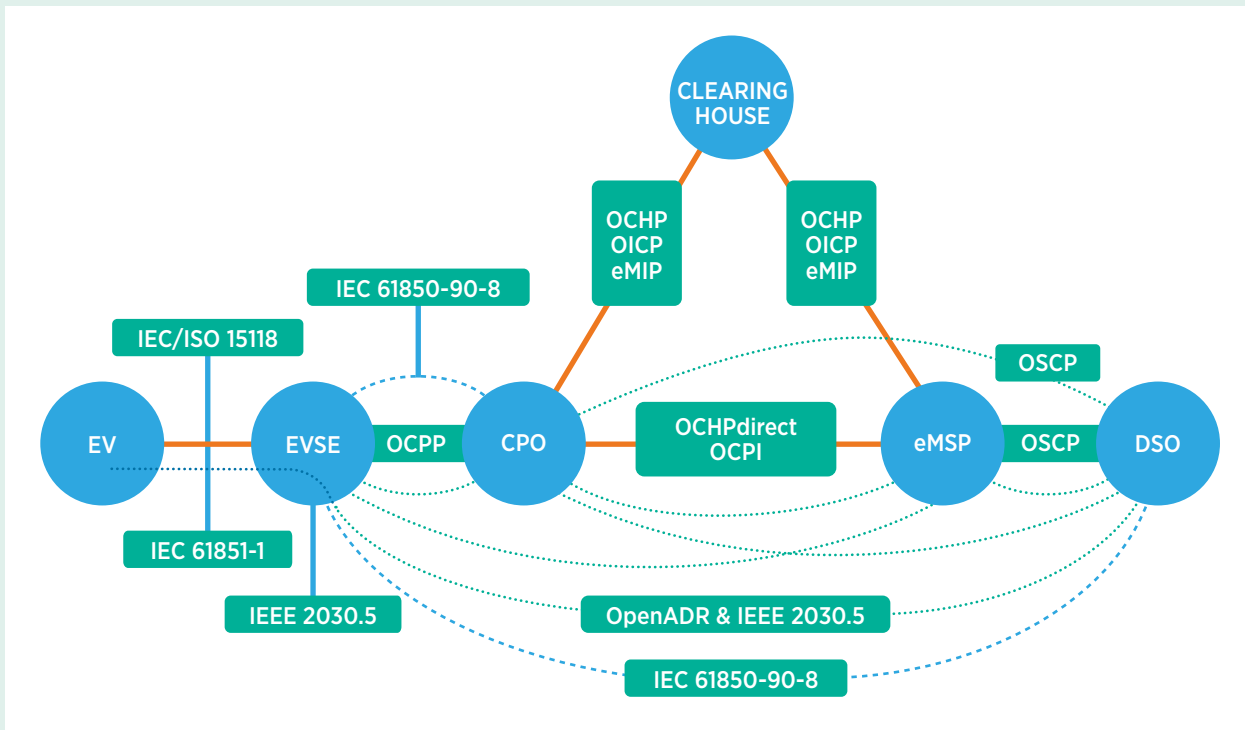
图 24：与电动出行相关的主要国际规范概述



虽然目前的充电站不能改变充电电流，实施 OCPP 通过充电站和充电站运营商调节交流，应该能帮助解决这一问题。此外，在智能充电运营商和电动汽车用户、一些电表和聚合商之间的通信可能是合适的。图25中提到了，OCPP 以及其他最重要的协议（开放式票据交换所协议（OCHP）、开放式交换协议（OICP）、开放式充电桩界面（OCPI）、在线证书状态协议（OSCP）和开放式自动需求响应（OpenADR））。这些协议正在和官方规范相结合。

- 能源测量系统：电流钳、智能电表或其他带有自动读数及数据传送功能的电表。
- 闭环能源管理：充电桩与能源管理之间的通信——采用标准或专用协议（例如，Zigbee、Modbus、Bluetooth）的本地解决方案，或由充电桩平台控制的远程解决方案（例如，OCPP）。
- 用户界面：针对电动汽车用户和/或现场管理员开发的，充电桩上的本地屏幕、远程网页或移动应用。

图 25：电动出行通信协议概述



注：EV = 电动汽车；EVSE = 电动汽车供电设备；CPO = 充电桩运营商；eMSP = 电动出行服务供应商；DSO = 配电系统运营商  
来源：V2G Clarity, 2017。

标准化还能促进 V2G 和 V2X 技术的普及（其目前界面成本是单向智能充电界面的 3-5 倍）。此类更复杂的智能充电形式要求：

- 双向充电站：目前商业化的充电（放电）基础设施不多（例如，Nichicon、IKS、Magnum Cap）。
- 可放电的汽车（不止充电）：大多 V2X 项目都执行非车载解决方案（安装在（放电）充电点的交流/直流转换器）。这是日本 CHAdeMO 协会发布的首个双向（充电/放电）通信协议，作为对日产和三菱等汽车公司实施的直流充电协议的一种补充。针对车载放电解决方案的全球范围内标准化工作正在制定 IEC/ISO 15118 Ed2 标准（预计到 2019 年定案）。CHAdeMO 协会的基于日本 V2H 指南的非车载解决方案也作为 IEC 61851-23/24 Ed2（电动汽车导线充电系统）的一部分正在成为标准。雷诺和比亚迪已分别开发或提出了车载放电。这会让 V2X 的使用更加广泛，因为更低成本和更广普及的交流充电点都能额外用于放电。然而，这将要求对充电解决方案进行一些技术调整，使其符合 IEC/ISO 15118 标准，还要求电动汽车带有额外组件，这会给车辆增加成本和重量。
- 了解车辆充电状态的标准化方式：目前还没有，这使智能充电和 V2X 变得更为复杂。也有变通方法，比如使用汽车供应商的专有应用程序，但它需要安装一个特别的智能充电软件连接器。

- IEC 63110：目前在制定中，该国际标准定义了电动汽车充电和放电基础设施管理协议。它是一组电动道路车辆和电动工业卡车的标准，致力于 OCPP 通信标准的规范化和其他国际标准的兼容性（例如，CCS，CHAdeMO）。
- IEC 61850 定义了智能设备和变电站的通信协议，它尚未在车辆中实施。该标准的更新正在起草中，并将使智能充电和 V2X 更加标准化。

国际上认可这些标准是该技术在最发达的欧美市场之外推广的关键，欧美市场上购买的大部分新型充电站都采用了这一技术。例如，在荷兰，Living Lab Smart Charging 合伙公司（325 个市，Allego、ChargePoint、EVBox 等）同意在新公共车站只安装智能型充电站，老旧车站逐渐被改造成智能型。2017 年 11 月，已经有了 7,500 个智能型 1 或半智能型公共充电桩，还有 7,000 个智能充电桩正在投标建设（Living Lab Smart Charging, 2017）。而在其他市场，情况并非如此。

在世界其他地方（例如，印度），将会要求执行全球性的电动汽车标准（或基于全球标准制定的国内标准）（Ghatikar 等，2017）。

如果必须的功能越来越多地集成到充电站和车辆中，并且只要制定标准的共同行动落实到位，到 2030 年智能充电一定会从承诺变成现实。

## 5. 电动出行展望

本节概述了电动汽车市场的发展，以及影响电动汽车（EV）对可再生能源集成的贡献能力的交通发展趋势。

插电式电动汽车（EV）包括任何可通过外部电源充电的机动车辆：

- 纯电动汽车（BEV）完全依靠配电网供电。
- 插电式混合动力汽车（PHEV）结合了可充电电池和内燃机发动机。
- 增程式电动汽车（REEV）最初是一款电动汽车；在没有充电设备的情况下，可以使用小型内燃机为电池充电，延长行驶里程。PHEV 和 REEV 通常被视为一个单独的类别。

### 5.1 电动汽车成本和竞争力

到目前为止，使得过去几年 EV 成本大幅下降的最关键因素是电池组成本的下降。电池技术的提高使电池组的平均价格从 2010 年的 1,000 美元/kWh 下降到 2017 年的约 200 美元/kWh（UCS，2017）。分析师预计价格会在 2025 年进一步下降到 100 美元/kWh（McKinsey，2014），这将导致 EV 与内燃机（ICE）汽车之间的竞争。一般来说，EV 和传统汽油车的总拥有成本平价将达到约 175 欧元/kWh 的电池价格（UCS，2017）。

多年来促成 EV 价格下降的另一重要因素是市场可供选择的车型越来越多。在 2010 年，对 EV 感兴趣的客户只能在有限的几款车选择——比如 Nissan LEAF、Citroën C-Zero 等——而现在车型的选择范围更广了，买家可以根据价格、续航里程、动力

系统、电池组和耗电量等指标作出不同的选择。随着更多的车型进入市场，竞争变得越来越激烈，EV 的价格也随之下降。

EV 将需要在成本价上达到与内燃机汽车相当，并提供足够的便利设施（比如行使里程和便捷充电），这样消费者才会将其与燃油汽车相提并论。

### 总拥有成本比较

总拥有成本（TCO）用于评估车主在车辆生命周期内发生的所有成本。它包括购车成本、车辆使用成本和再销售价值。每次进行 TCO 分析时，也要考虑特定区域的税收和购买激励政策。

经济比较表明，对大多数用户而言，当前汽油和柴油汽车都比 EV 更具竞争力（主要看年度耗油量）。如附录 4 所示，在一个地区大力实施税收减免等货币激励措施，可以改变用户在 EV 和柴油汽车之间的选择。

到 2030 年，EV 的 TCO 很可能与这两种燃油车持平，这在一定程度上取决于油价。预计在未来几年内 EV 的 TCO 将大幅下降。与燃油车 TCO 持平的速度将取决于地点、年行使里程和车辆耗电量。

电池行业资本支出（CAPEX）的进一步下降将是主要原因。当所有其他 EV 的成本基本保持平稳时，电池成本却在迅速下降。2016 年平均电池成本约 275 美元/kWh。预计 2025 年将下降至 100 美元/kWh，最乐观的预测是在 2030 年下降至 60 美元/kWh（BNEF，2017a）。

图 26 显示了柴油汽车和 EV 到 2050 年的 TCO 变化情况。该图虽然是说明性的，但旨在强调在中期（21 世纪 20 年代后半段），即使没有补贴和税收，EV 最终也将比柴油汽车更具竞争力。如果是这样的话，EV 的全球渗透率将达到 7%（IEA，2018a）。

电动汽车 TCO 的持续下降除了前面所述的相同趋势以外，还有另外两个原因加快了下降的步伐。一方面，由于预计到 2050 年，新的出行商业模式将会转向汽车共享，私家车也会向共享汽车转变（参阅 5.3 节）。这会不可避免地使 EV 的利用率从每年 40,000 km 增加到 55,000 km，转而比年行驶里程相同的柴油汽车节约更多的 EV 燃油成本。

另一方面，与柴油汽车项目相比，EV 的 TCO 下降速度尚不明确。这一点可能会受到国家/地区近期或将来一波对化石燃料汽车禁销令的影响，最早到 2025 年

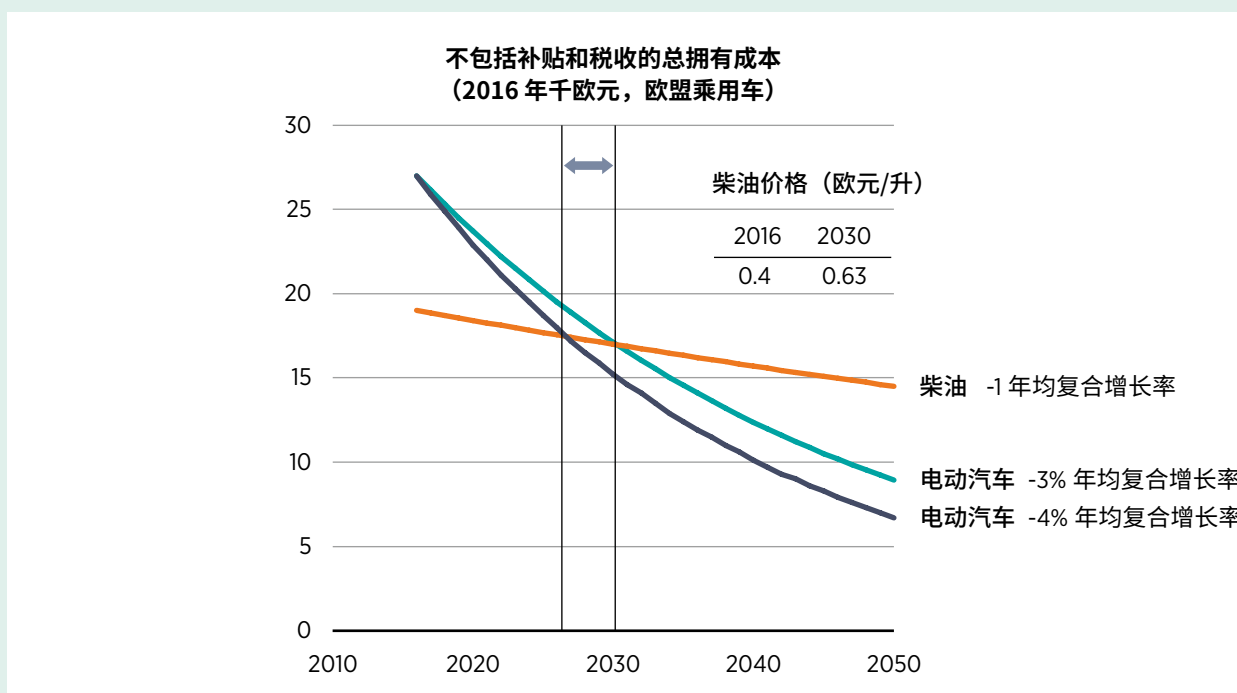
（荷兰）或 2030 至 2040 年（法国和英国）颁布（表 2）。

附录 4 是 2030 年欧洲最常见的 EV 和柴油汽车的 TCO 前景研究案例。

### 车辆相关政策的发展

EV 激励政策的发展变化将取决于当地条件。一旦 EV 与 ICE 汽车相比有了竞争力，直接的货币激励政策可能也就不那么重要了。从 2025 年到 2029 年，在许多国家/地区，即使没有补贴且不考虑燃油节约（BNEF，2017a），EV 也将变得具有成本竞争力，从而降低补贴需求。终止优惠政策的另一个原因可能只是因为政府已经实现了他们的目标，从而不再追求政策激励。

图 26：电动和柴油驱动的汽车到 2050 年的总拥有成本（TCO）图示。



根据 BNEF，2017c；McKinsey，2014；UCS，2017。

**EV 可能在 2025 年和 2030 年间实现比 ICE 汽车更具竞争力（取决于车型、地点和油价）。但是，首先需要扶持政策来降低车辆的固定成本。**

然而，各地情况的巨大差异将影响激励政策的取消时间。而 EV 在主要汽车市场的销量将有望迅速增长的同时，全球增长的幅度却差异很大。随着增长区域的出现，这种差异已经开始显现，在中国、荷兰、挪威和美国等国家，市场渗透率都很高。

可能还需要对岛屿等地区特定系统的电气化提供临时支持。斐济和斯里兰卡已经通过降低这些技术的税收来鼓励混合动力汽车。牙买加也考虑对 EV 采取类似的激励措施。

随着时间的推移，EV 的市场份额越来越高，传统激励措施（主要包括税收减免）带来的收入损失会越来越大，政府可能会越来越依赖其他促进电动交通发展的方法。交通运输目标对推动该行业脱碳可能仍具有重要作用。

## 5.2 电池行业前景

在未来几十年里，EV 必须面对的一些主要挑战来自于汽车电池。到 2030 年和 2050 年，除了锂离子电池，其他电池技术及其电网应用将有所突破。

电池化学的逐步发展不仅影响续航里程等移动性，还会影响到充电速度（还与电网基础设施加固需求有关）和电池提供电网服务的能力。

虽然锂离子电池能量密度高且适合移动和电网应用（参阅附录 4 了解详细信息），但锂离子技术在安全性和该元素（可能还有钴）未来的可用性方面具有局限性，也有相关的潜在成本影响。反过来，提高任何锂离子亚化学的安全参数将会导致性能下降（尤其是能量密度）。预计在未来几年内，成本将会下降。但是就像过去的铅酸电池一样，它将达到一个稳定值。只有改变技术（就像钠离子之于成本或氧化还原流电池之于安全性）才能解决这些问题，即使锂离子电池（拥有强大的优势）很难被取代。

为了应对电动交通的挑战——如功率、行使距离和充电时间——有必要开发新的电池技术。尽管对锂离子的研究正在进行中，但正在开发中的其他技术也呈现出很高的潜力。

图 27 分别显示了到 2030 年和 2050 年电池技术的前景。然而锂离子技术在 2030 年之前仍将盛行，但长期来看，其他技术的潜在突破性可能会导致其被替代。

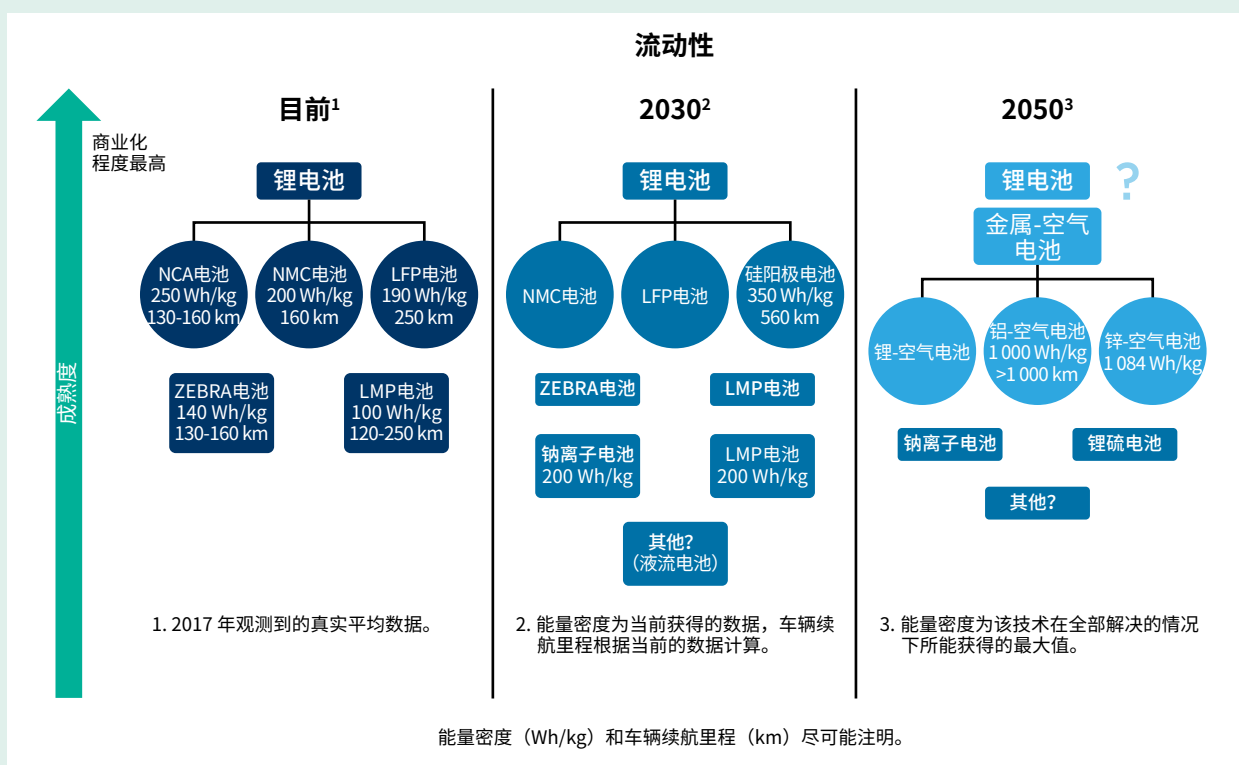
两项已经商业化的技术——例如，在大约 10 年的时间里作为微型技术用于电动公共汽车的非洲沸石电池研究（ZEBRA）和锂金属聚合物（LMP）电池技术。

其他成熟度较低的技术当前正在开发中（仅销售电池而非系统），而且如果它们的问题得到解决，则可能造成潜在的市场冲击，包括：

- 用硅（Si）做负电极的锂离子电池系统
- 锂硫电池系统（Li-S）
- 钠离子（Na-ion）由于其潜在的低成本和环境友好型特性引起了人们的兴趣
- 金属空气电池包含铝空气电池（Al-air）和锌空气电池（Zn-air）
- 用于移动应用的氧化还原液流电池。

有关这些技术的更多详细信息，请参阅附录 4。

图 27：电池技术的前景与其当前的成熟度比较



据预测，2050 年的主流电池技术仍然面临困难。尽管如此，预期的电池能量密度增加将增大电池容量并根据电力系统的需要，改善储存或释放的电量。配有 200 kWh (1,000 km) 电池的车辆可能会从期待变为广泛的实践。

### 5.3 共享电动出行：出行即服务

交通需求的变化将促进商业模式的兴起，这些商业模式将在未来几十年转变着交通系统。对于新企业而言，解决旅客在出行途中所面临的困难可能是吸引顾客的一大关键机会。一个新概念已经为这些商业机会的出现铺平了道路，即从以所有权为中心的交通方式转变成作为消费性服务的出行选项。以服务为中心的交通方式叫做出行即服务 (MaaS)。

出行即服务是一种将各种供应商的交通选项进行无缝整合的方法（包括共享移动提供商及其他）。MaaS 不仅能计算从一个地点到另一定点的最快路径，而且能提供从优化出行行程到付款的一站式服务。因此，MaaS 由四个互补功能组成：行程规划、预订、付款和票务/计费事宜。

但是，出行即服务还远未实现。为了满足成千上万顾客的出行需求，MaaS 将需要进行广泛的分析、建模和数据采集，以及发展综合交通运营商的投资组合，以确保所有用户都能及时找到交通工具。若要实现这一愿景，新参与者的出现至关重要。

MaaS 设计的核心有四个主要角色，他们每一个都在 MaaS 服务中发挥着重要作用。这些角色分别是客户、MaaS 供应商、数据供应商和交通运营商。尽管在过去十年中，客户已经逐渐适应了新的出行可能性，而且虽然许多国家/地区已经有了交通运营商，但是 MaaS 供应商和数据供应商依然几乎不见踪影。以下部分和图 28 阐述了价值链的每一个步骤为顾客提供的价值。

首先，MaaS 供应商允许顾客应用程序就能预订并计划门到门的行程。为此，他们将提供一款包含无现金支付工具、票务功能和行程规划工具的软件。为了支持这些服务，MaaS 供应商将需要构建一个强大的分析工具——确定如何在高峰时期分配资源，并预测需求。此外，创建一个大型的公共和私人交通运营商网络将对提供最合适顾客出行偏好的解决方案至关重要。

让 MaaS 成为现实还需要收集成千上万客户的大量相关实时信息。因此，也需要数据供应商。数据提供商将访问并收集各种来源的数据，经过分析后再转售给 MaaS 供应商。虽然 MaaS 供应商也可以扮演这一角

色，但是任务的复杂性和数据隐私以及反托拉斯法等问题的敏感性可能会妨碍单个参与者独自履行所有这些功能（Catapult，2016）。

最终，交通运营商向 MaaS 供应商提供交通运输能力对任何 MaaS 生态系统而言也至关重要。尽管现在存在这些供应商且数量众多，但他们仅是新型移动生态系统中的一部分而已。从公共交通设施或者到共享单车服务都属于交通运营商。这些大部分交通供应商如今都为我们所知。所有权的转变以及与乘客的关系可能是这些商业模式中最大的不同，即乘客与 MaaS 供应商打交道而非交通运营商。

图 28：简化的出行即服务价值链





这种新的 MaaS 商业模式包括整合的 MaaS 供应商，他们旨在根据顾客的需求寻找最合适的路线、预订行程并将所有费用开具在同一账单上。数据供应商有助于 MaaS 供应商提供真正量身定制的出行体验并成为真正的定制化交通提供方（以今天我们所知的车队管理为基础）。

## 5.4 自动驾驶电动汽车

技术驱动的拼车和共享汽车服务正在为人们构建新的出行方式。汽车的电气化和自动驾驶汽车的出现有望大大加快共享出行的步伐，并最终实现 MaaS。

由于从私人车主到企业车主的转变意味着每日更高的行驶里程，因此交通供应商可能不会仅仅购买价格最便宜的车辆，而且要考虑到长期总用车成本不太高的车辆。由于电力在未来十年内仍比柴油和汽油便宜得多，而且在监管机构希望确保城市空气质量的情况下，EV 的温室气体和颗粒物排放量更少，因此车队管理者将更青睐于 EV 而非 ICE 汽车。

除了 EV 的增长，自动驾驶汽车的出现也将推动 MaaS 的发展。虽然自动驾驶汽车对 MaaS 的发展并非必不可少，但它们可以成为无缝移动生态系统中一个强有力的增长杠杆。自动驾驶汽车的主要优势如下：

- 更多的自动驾驶汽车意味着终端用户会有更多的时间，因为这将允许乘客在“驾驶”的同时专注于其他任务。
- 自动驾驶汽车能提高交通效率，因为它们可以以更高的速度行驶，可以彼此更接近，同时事故风险更低。
- 自动驾驶汽车的出现将很有可能降低车队运营费用，因为驾驶员的工资占了这笔费用的很大一部分。

- 最后，自动驾驶汽车的出现将有助于腾出停车位，因为自动驾驶汽车会提高车辆的利用率，从而减少停车时间。

### 车辆 DNA 的演变：迈向自动驾驶汽车

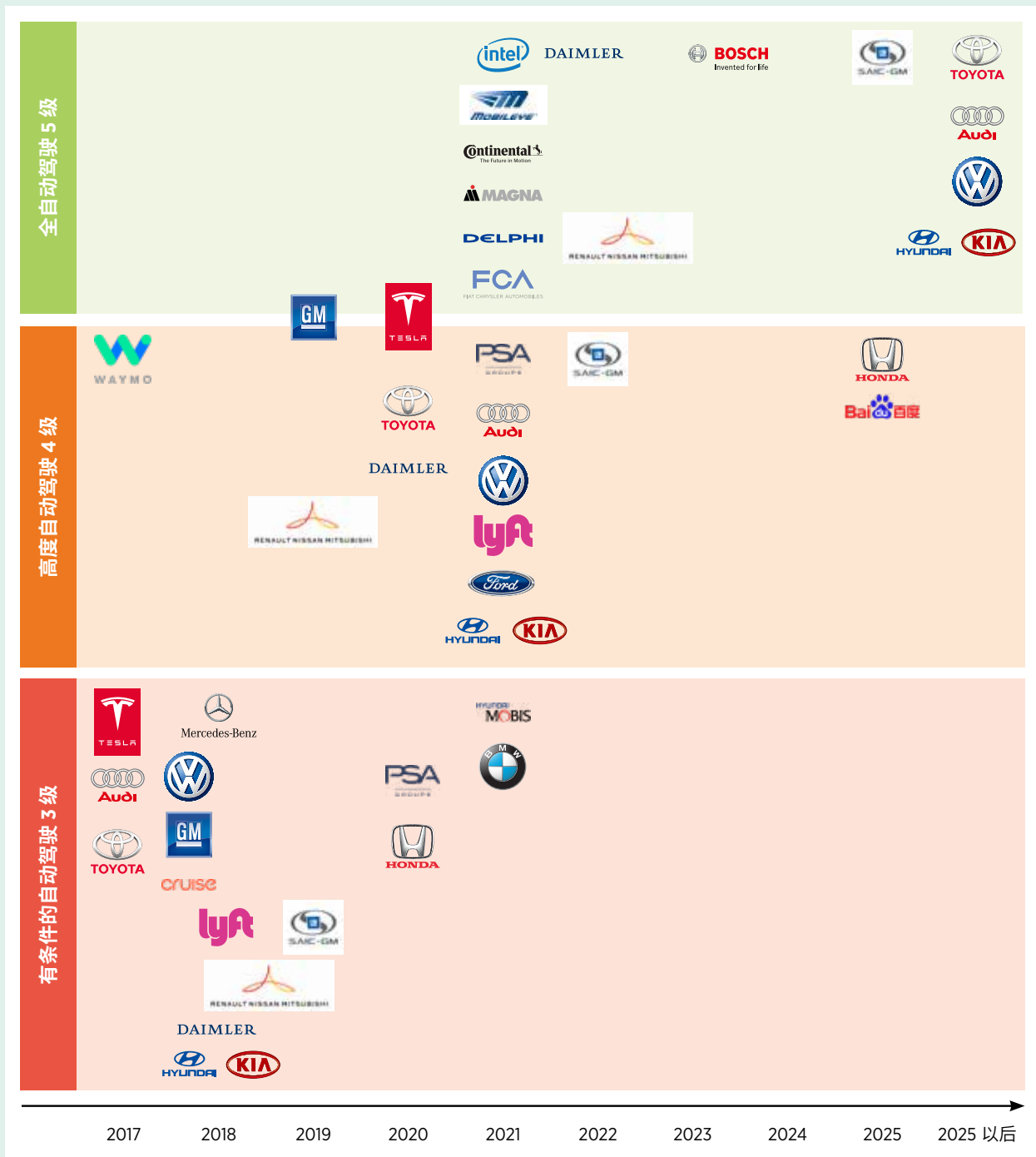
汽车、公共汽车、货车，其次是两轮车制造商都在积极开发联网汽车和自动驾驶汽车。图 29 概括了自动驾驶汽车进入市场的预计时间线。例如，Daimler 曾公开宣布将重点放在 CASE（联网、自动驾驶、共享和电动）战略上（Daimler, 2016）。

共享汽车与 EV 相比价值更大，因为其运营成本比同类汽油或柴油汽车更低，这意味着行驶里程越长，购车的费用回收越快。根据汽车工程师学会的分类，不同级别的自动驾驶包括：

- 0 级（手在，眼在）：无主动辅助系统
- 1 级（手在，眼在）：纵向或横向引导
- 2 级（手暂时松开，眼睛暂时离开）：纵向或横向引导（路况监控）
- 3 级（手松开，眼睛离开）：按要求接管车辆（接管车辆的意识）
- 4 级（手松开，无需关注）：无接管车辆的要求（无驾驶员干预）
- 5 级（手松开，无驾驶员）：无驾驶员（Dyble, 2018）。

由谷歌发起的自动驾驶汽车项目 Waymo 已在美国 Phoenix 进行了自动驾驶汽车测试，即提供免费的自动驾驶出租车。

图 29：自动驾驶汽车预计上市时间



BNEF, 2018b 已更新。

联网汽车可以与驾驶员、基础设施（车辆与基础设施或 V2X<sup>7</sup>）或其他汽车（车辆间，或 V2V）通信。通过与驾驶员的通信，使汽车预热等服务对司机而言变得更加方便。此外，还可以实现智能充电功能（可以查看汽车的电池荷电状态，并在更合适的时间安排充电）。V2X 和 V2V 通过获取交通和道路信息来推动自动驾驶。自动驾驶的试点有很多。例如，在 SCOOP 项目中，Renault 使用 V2V 和 V2X 减少交通堵塞并提高安全性，从而实现自动驾驶。该项目于 2014 年启动，在 2017 年进入部署阶段，其中有 1,000 辆拥有特殊装备的 Renault Megane 汽车（Renault, 2017）。

至于公共汽车，Navya 和 EasyMile 正建议可以在路况良好的地区运行低速自动驾驶小型公共汽车。Daimler 和 Proterra 等公共汽车制造商也对自动驾驶汽车表现出了兴趣。虽然电动和自动驾驶货车的成熟度较低，但也有可能会出现类似的趋势。例如，Embark 正在开发自动驾驶货车技术，Tesla 在 2017 年末发布的电动半挂车也将包含增强款自动驾驶仪（Tesla, 2018）。由于 Tesla 正在积极开发轿车自动驾驶技术，该技术也可用在特斯拉货车上。

迄今为止，自动驾驶汽车方面出现了一些鼓舞人心的迹象，该项技术成本有望降低。由于技术发展和需求增加，Aptiv 预计必要的硬件和软件包成本将从目前 70,000 美元到 150,000 美元之间下降到 2025 年的约 5,000 美元（Lienert, 2017）。硬件包括图形处理器（GPU），用于通过来自传感器的输入来控制车辆（例如，Tesla Model S 配备了八个 360° 环绕式摄像头、12 个超声摄像头和雷达，即使在暴雨等恶劣天气状况下也能看得清楚）。这些数据也可能来自基础设施或来自其他汽车（道路或地图上显示的交通堵塞或事故指示）。完全自动驾驶的汽车需要有基于深度学习等人工智能的复杂软件。

由于充电中心对电网有巨大的需求，未来 MaaS 和自动驾驶汽车对基于人工智能的软件需求会进一步增加。数据分析和对出行的进一步了解将帮助公共和私人利益相关者战略性地将这项技术以一种有利于参与者，同时又能解决关键性出行挑战并优化电网的方式推向市场。通过对数以亿计的出行、停车位可用性和限制性，以及人口数据的利用，INRIX 根据当前的出行模式确定了自动驾驶汽车的最大市场。使用这些数据驱动的洞察力为公共规划提供信息可以让城市主动利用高度自动化的车辆来解决关键出行问题和社会挑战，而不是被动地应对这项技术带来的潜在影响（INRIX, 2017）。

### 解决监管面临的挑战以及消除对全自动驾驶的担忧

针对自动驾驶车辆的法规会直接影响 EV 市场。由于自动驾驶汽车技术的市场不如 EV 或共享交通技术的市场成熟，所以许多政府尚未准备好在公共道路上运营这种类型的车队。

德国和日本是最早进行自动驾驶汽车测试的国家，也是最早制定技术标准以要求全自动驾驶系统符合交通规则的国家。美国的一些州（例如，亚利桑那州、加利福尼亚州和内华达州）也进行了自动驾驶汽车测试（Karsten and West, 2018）。中国于 2017 年发布了首个自动驾驶汽车道路测试指导方针，并于 2018 年颁发了首个道路测试许可证（Bhunia, 2018）。

责任、隐私和安全问题是自动驾驶汽车技术实施的一个重要障碍。对监管机构而言，评估事故中的责任是一个极其微妙的话题。在处理由自动驾驶汽车造成的损害（财产损失或人身伤害）时，可能会出现伦理挑战，决策者必须决定谁将承担责任。有一些举措已经开始实施，例如德国正在考虑安装一个黑匣子，用以记录驾驶过程中是使用的自动驾驶技术还是人为驾驶。但是，如果车辆是在自动驾驶模式下行驶，驾驶员和车主仍需承担责任。

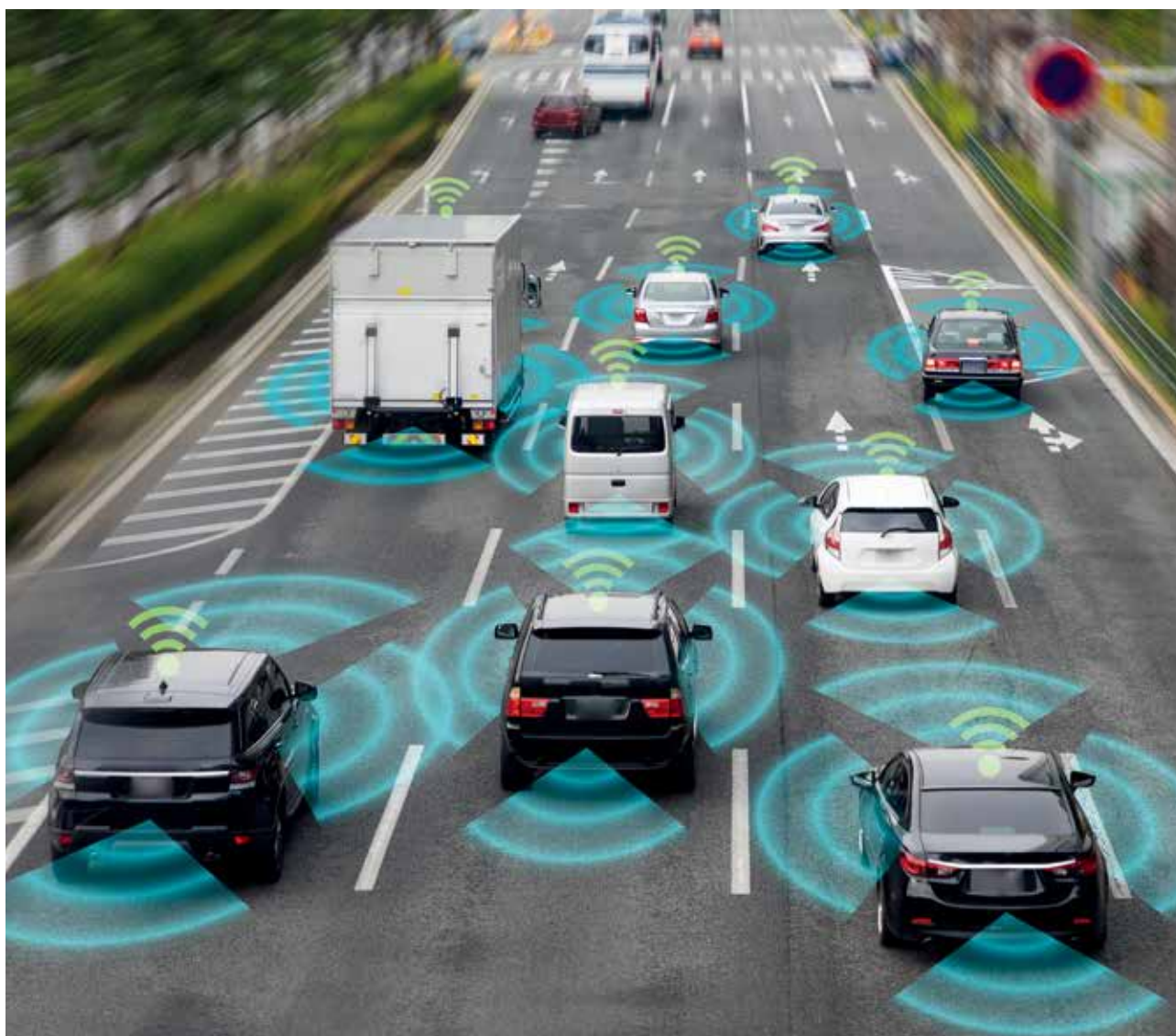
7 在这种情况下，V2X 涉及到从车辆到基础设施的信息传输。在充放电情况下，V2X 是指从汽车到基础设施的电力传输。

监管机构应与制造商、驾驶员和乘客等其他利益相关者互相合作，以解决这些问题，从而有意识地作出伦理决策。

此外，在自动驾驶汽车全面推出之前，必须有一个政策框架来规范数据访问和利用手段，以及数据安全问题。

另一个担忧则是失业问题。技术发展将导致劳动力和工业转移。政府必须采取措施妥善应对这些损失。政策制定部门可以对他们颁发的出租车许可证数量进行监管，以管理劳动力的长期再就业。同时，可以对失业或就业再培训造成的收入损失提供一些补偿。

大多数围绕“出行即服务”为核心的商业模式意味着车辆的利用率比现在更高。此外，大型 B2B 充电供应商也有望出现。这两个因素对 EV 销售和电网均有意义深远的影响。



## 6. 智能充电对全球能源系统的影响

如前几节所述，智能充电将是发挥 EV 和波动性可再生能源（VRE）发电之间最大化协同效应的关键。根据能源系统的特点，不同的 EV 充电策略可能会产生不同程度的影响。系统中存在的 VRE 主要来源和不断变化的出行模式也会影响 EV 电网集成策略。

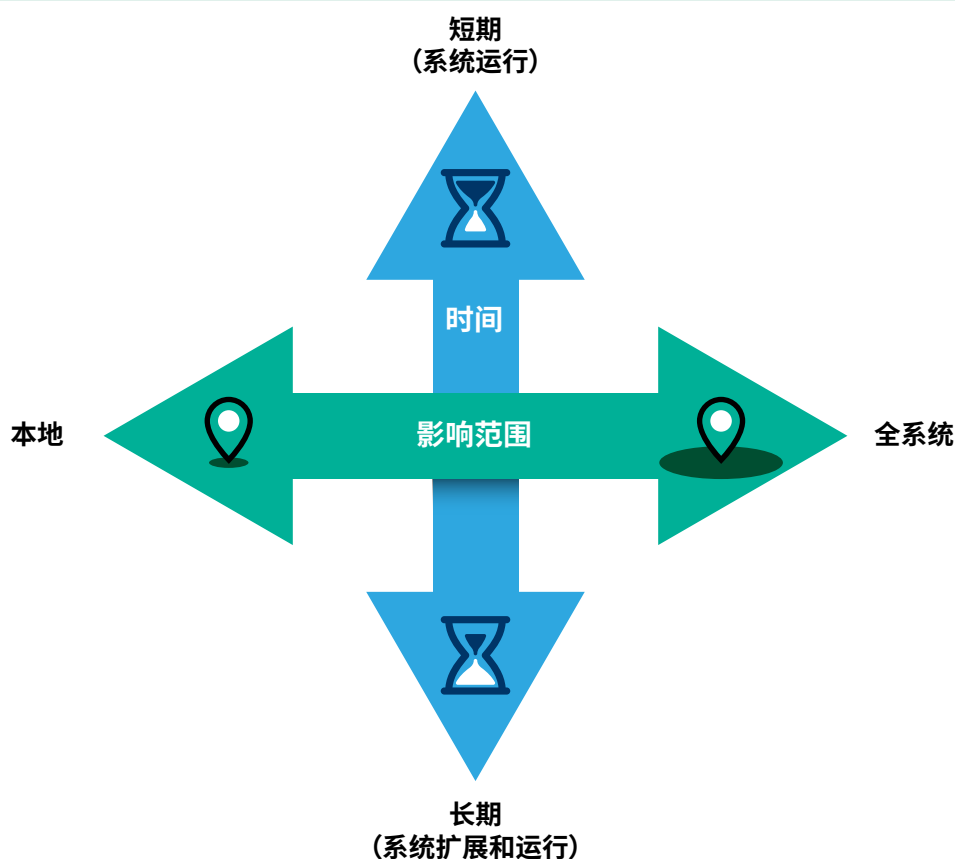
图 30 展示了对这些影响从各相关角度所进行的分析：

- 首先是分析的地理范围。与互联系统相比，在波动性可再生能源比例高且难以平衡的孤立系统中 EV 对系统运行的影响更大。在这些系统中，由于

相互连线提供的灵活性很少或完全没有，导致无序充电的影响更大。评估 V1G 和 V2G 智能充电在这种极端情况下的附加价值，对了解不同电网集成策略的影响非常重要。此外，还对可再生能源和 EV 充电在配电网中的局部影响做了短期和长期评估。

- 二是分析的时间框架。无论是对系统运行规划的短期影响，还是不同 EV 充电策略对系统发展的长期影响，都需要评估。

图 30：分析角度



针对整个系统影响的分析是以孤立系统建模为基础。该模型所使用的方法，包括假设和限制条件，请参阅附录 5。对局部影响的评估以外部案例研究为基础。这项评估分析工作提供了宝贵的见解，并且可能会引发本报告范围之外的进一步调查研究。这些可能包括互联系统建模，以及结合智能充电和利用二次使用的 EV 电池进行智能充电（作为固定电池与电池更换系统）的孤立系统建模。进一步研究也可能集中在由可再生能源（太阳能光伏和风能）、电池存储和充电基础设施组成的混合系统，这些系统逐渐在可再生能源丰富的孤岛（例如，中国西北地区）和工业区实现应用。

## 6.1 全系统影响

下文将进一步说明对整个系统的影响进行评估所建立的两种孤立系统模型。

以下关键性能指标（以年值表示）用于评估对这些孤立系统的影响：

- **可再生能源弃电量 (%)**
- 与平常相比，**峰值需求减少/增加 (%)**
- **二氧化碳排放减少 (%)**
- 计算电力生产的平均短期边际成本的**平均电力成本 (EUR/MWh)**。

在该简化的模型中未评估配电网成本、通信成本和损失成本。

该模型中定义了四种情形，以评估影响可再生能源与电力系统一体化的关键 EV 创新情况。这些在分别应用（孤立效果）和共同应用（合并效果）的情况下，用来评估两项创新对电力系统侧的影响，以及一项创新对出行侧的影响。

前三种情形假设在出行侧没有任何进步。向出行即服务 (MaaS) 的转变仍局限于当前水平。个人拥有汽车的情况仍然很普遍——这也表明各国汽车数量受到经济发展的影响。与此同时，随着总拥有成本的不断下降，EV 的数量也在增加。不开车的机会成本（交通运输服务导致的收入损失）很低：

1. **BAU（一切照旧）情形**假设当前的 EV 发展趋势将会持续到 2030 年，而电力行业的创新有限。则 EV 的数量将会大幅增加，但其负荷仍不受控且充电模式仍为无序充电。
2. **“部分智能充电”情形（称为 V1G）**假设 EV 通过只有单向的 V1G 智能充电接入电网。
3. **“全智能充电”情形（称为 V2G）**假设在技术和商业模式方面，电力系统侧和 EV 侧均有高度创新。EV 被用作可再生能源电力系统的灵活性来源——这表明 EV 与配电网的集成有所发展，不仅包括单向智能充电 (V1G)，还包括 V2G，而且二次寿命电池成为了电网灵活性的竞争来源，用于峰值负荷抑制和实时电网平衡。

然而，最后一种情形假设出行模式发生了重要变化：

4. **MaaS[ive] 智能充电情形**假设在电力系统侧进行了全面创新（就像“全智能充电”情况一样），并以出行侧的大幅创新作为补充。它反映了信息通信技术 (ICT) 的发展（高效的汽车共享，互联）推动了出行即服务的重大发展，以及 EV 朝全自动驾驶的发展致使个人汽车拥有量的大幅下降。

表 16 对这些情形进行了总结。

表 16：根据创新水平定义的情形

在以下情形中的创新水平		情形 1	情形 2	情形 3	情形 4
		BAU	“部分智能充电” 或 V1G	“全智能充电” 或 V2G	MaaSive
EV		是	是	是	是
电力系统的创新	V1G	否	是	是	是
	V2G	否	否	是	是
出行商业模式的创新	MaaS	否	否	否	是

### 对系统运行的短期影响

该案例介绍了某拥有高强度太阳辐射的孤立地点，其太阳能光伏年平均负荷系数为 31%。在 BAU 情形中，该系统的装机容量在 2030 年约为 2,700 MW。太阳能发电占总发电量的 27%，剩余 60% 为联合循环燃气轮机发电、9% 为生物质能发电，以及 2% 的风能发电和其他方式。峰值需求约为 900 MW，到 2030 年，该地区的 EV 渗透率将达到 50%，表示 100,000 辆 EV 的平均电池容量为 80kWh。

图 31 对模型<sup>8</sup>的结果进行了总结。这些结果清楚地展示了智能充电相对于无序充电（BAU 情形）所带来的好处：

- V1G 和 V2G 的实施逐渐将可再生能源弃电量降至零水平。V1G 改变了 EV 的负荷，使其更好地与太阳能的可用性相匹配，从而减少了太阳能弃光量。这一点在 V2G 服务的 EV 电池中表现得更为明显，它可以充分利用太阳能资源并通过在 EV 电池中储存电力来及时转移其消耗，并在高需求时刻将其重新注入电网。

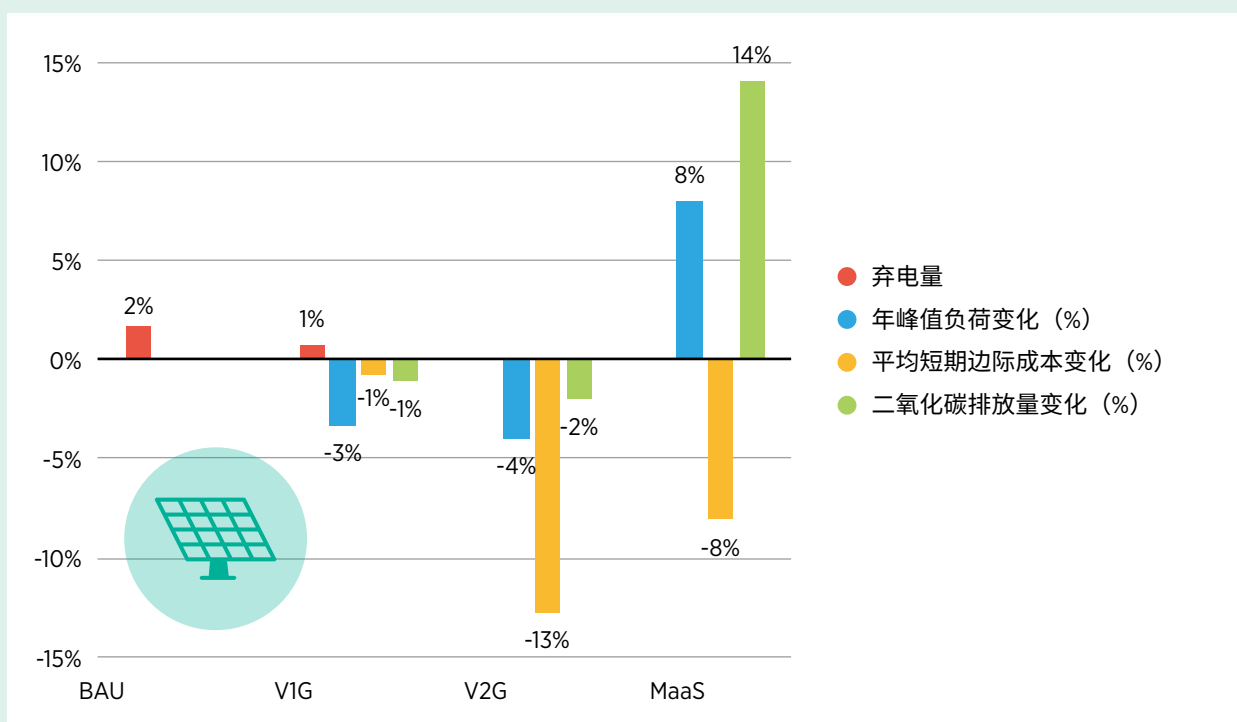
- 因此，系统中的二氧化碳排放量在一定程度上减少了，因为用更大比例的太阳能发电来提供负荷。由于白天充电松散，V1G 情形中的峰值负荷相对于 BAU 较低，因为在峰值负荷期间汽车未充电。V2G 中的峰值负荷甚至更低，因为在高需求时刻汽车电池会将电力送回电网。
- 最终，平均电力成本可能会下降。V2G 情形中电力成本有大幅降低，因为该模型假设 EV 作为免费电池使用。除短期边际成本外，如果大量灵活的 EV 或其他柔性负荷能满足辅助服务细分市场的有限需求，则在该市场的电力价格可能会降低。

此外，智能充电 EV 有望拥有较短的响应时间，这在较短运行时间框架内至关重要。

然而，一旦通过智能充电所推动的电力系统侧创新由出行侧的大幅创新锦上添花，一些已经显现的好处可能会被抵消掉。除 V1G 和 V2G 外，MaaSive 情形中的模型假设，随着自动驾驶汽车的广泛普及，面向出行即服务的重大转变将会随之发生。这将表现为个人汽车拥有量的大幅下降。到时将会比如今的私家车少得多。

8 这些分析使用 PLEXOS 集成能源模型软件工具进行，该软件由澳大利亚 Drayton Analytics Pty Ltd 和 Energy Exemplar Pty Ltd 版权所有。

图 31: 电动汽车充电对某些关键性能指标的短期影响



与没有 MaaS 的情形相比，这将导致电网的 EV 电池总容量下降、提供电网服务的电池可用性更低，甚至由于使用频繁的车辆充电灵活性更低，导致一定时间内的负荷增加。附录 5 提供了此情形中 EV 的建模详情。该模型隐晦地假设，在 MaaSive 情形中没有出现其他灵活性技术（比如固定存储、需求响应等），以做到不再有汽车电池能做的事情。

由于这些发展：

- **太阳能弃光可能维持在零水平。**与 V2G 情形相比，即使可用的 EV 电池尺寸有所缩小，但 V2G 的可用电池容量仍然很大，足以存储多余的清洁能源，并及时转移其消耗，如同模型描述的情况一样。
- 但由于 EV 导致系统的年负荷增加，**系统的峰值需求也会增加。**尽管路上的车辆会减少，但它们的行驶速度会比其他情形下高几倍，这反过来又会增加充电需求。尽管 EV 具有智能充电功能，但由于白

天大部分时间车辆都在行驶中，因此 EV 电池的存储容量严重受限，从而无法为电网提供服务。

- **平均电力成本**比 BAU 情形下更低。由于太阳能已经得到了充分利用（在 V2G 情形下零弃光），增加燃气发电的负荷系数是满足额外负荷的最经济的方式，因此以联合循环燃气轮机作为基本负荷的调度多于 BAU 情形下的调度。每小时的短期边际成本由最昂贵的调度机组决定。如果大多数时间内，调度倾向于更便宜的基本负荷机组而非峰值机组（带来边际成本），则尽管系统峰值较高，MaaSive 情形中的平均系统成本也可能比 BAU 低。在模型运行中，与 BAU 相比，该情形下燃气峰值机组运行更少，而基本负荷机组运行得更多。
- **但是，化石燃料资源的调度量提高反过来会增加二氧化碳排放量。**



在缓解弃风弃光、削减峰值需求和降低电力成本方面，智能充电在孤立系统的短期运行中效益显著。然而，MaaS 的出现可能会在短期内抵消智能充电在降低峰值需求和减少二氧化碳排放方面的益处。

### 对系统扩展的长期影响

EV 充电对可再生能源电力系统的长期影响，可以采用评估短期影响所用的相同情形和关键性能指标来说明。但是，这次需要模拟两个孤立系统：一个是短期案例研究一样的太阳能发电系统（2,700 MW），另一个是平均风力负荷率为 51% 的风力发电系统，BAU 情形下其装机容量为 5,800 MW。本小节对这两个建模的案例的结果都进行了总结。

在短期分析中，评估了不同的电动汽车与电网的集成策略在系统运行中的影响，以及这些策略如何从实施的第一刻起对关键性能指标产生影响。另一方面，市场的短期信号对系统长期扩展产生影响，这就是本小节所述的分析内容：从长远来看，不同的 VGI 策略如何影响系统扩展，以及如何影响这些未来系统的运行。

为了解释此影响的原因，建模软件被更改为“自由”计算最优的容量组合，以及投资建设新电厂。模型软件能优化总系统成本并满足 2030 年的需求，以及按以小时分辨率表示的技术类型计算最优调度。不同的 VGI 策略或没有 VGI 策略（BAU 情形）会影响系

统扩展，改变系统的最优容量组合。该模型可以在四种技术中进行最优选择 - 太阳能光伏、风能、联合循环燃气轮机和开式循环燃气轮机 - 以增加额外发电能力，并满足 2030 年的要求。表 17 对这些技术的投资成本进行了总结。

附录 5 中的表 35 显示了在特定太阳能和风能案例研究中，系统扩容后的最终容量组合。

EV 预计将影响可再生能源投资，以及对使用风能和太阳能的孤立系统产生影响，如下所述（图 33）：

即使在不受控的 EV 充电（BAU）情况下，风力发电和 EV 充电曲线走势之间也存在较高的匹配度，而智能充电的实施将不会大幅提高这一匹配度（增长较小）。如图 32 所示，该图显示了与太阳能和风能可用性相匹配的 EV 充电曲线走势。EV 大多在风大时充电。但是，精确匹配将取决于具体的风力发电曲线走势，这比太阳能曲线走势更不稳定。例如，图 33 说明了在高风能潜势国家/地区负荷系数的地区差异。

- 与此同时，由于某些方存在土地可用性问题，风电投资可能会扩容限制。正如模型示例中的情况一样，风能案例研究在各个情形中均显示相似的容量扩展。该模型选择在 BAU 情形下最大限度地投资风能。在风能案例中观察到的可再生能源占比略有不同，这是各种技术的负荷系数不一样造成的。这对孤立程度较低或互联程度较低的系统来说可能不是这样。

表 17: 模型中采用的不同发电技术的投资成本

技术	2030 年的投资成本 (2016 美元/kW)
新型联合循环燃气轮机	700
新型开式循环燃气轮机	613
新型太阳能	672
新型风能	1,015

图 32：电动汽车充电曲线走势与太阳能和风能的可用性相匹配

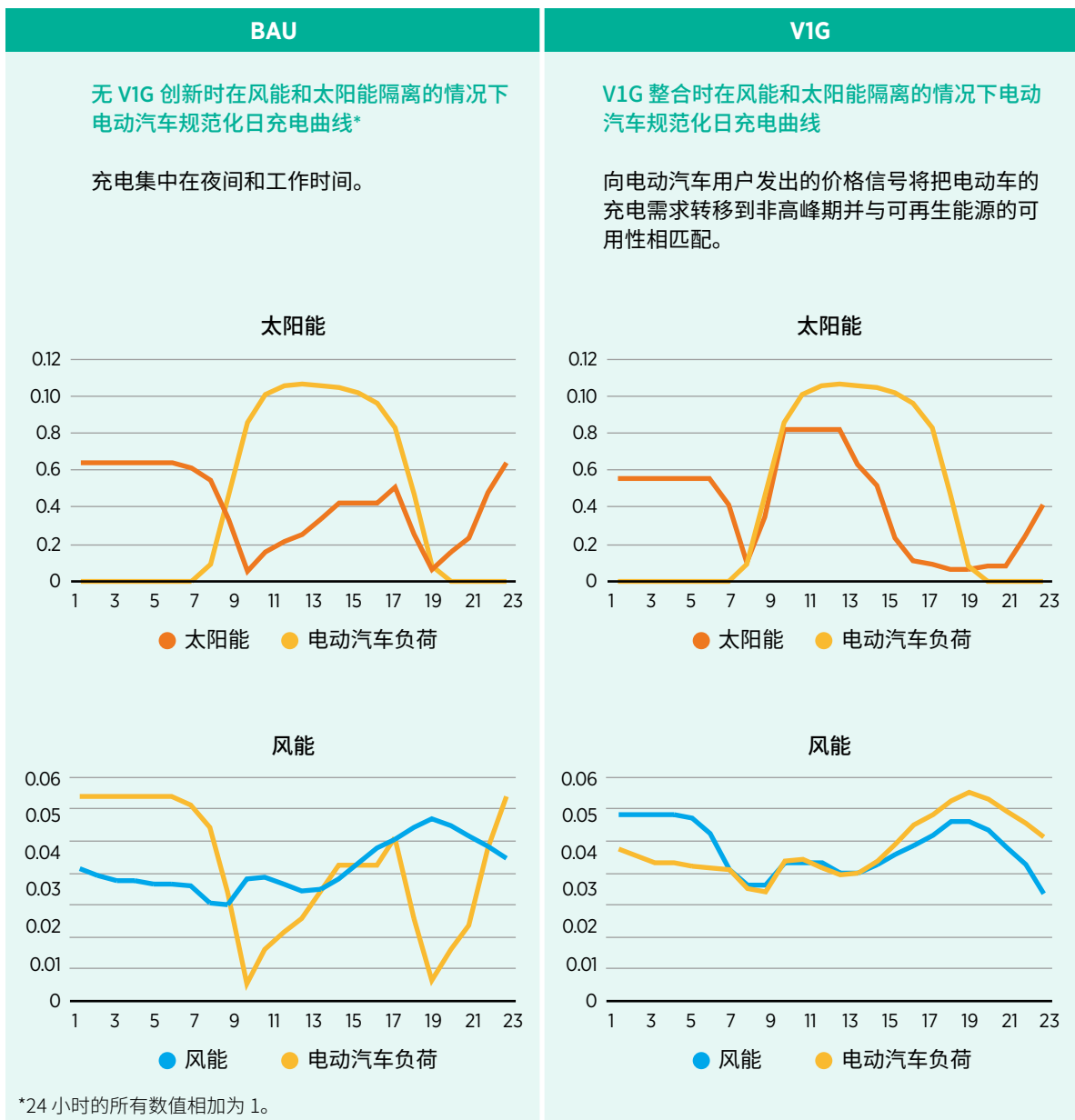
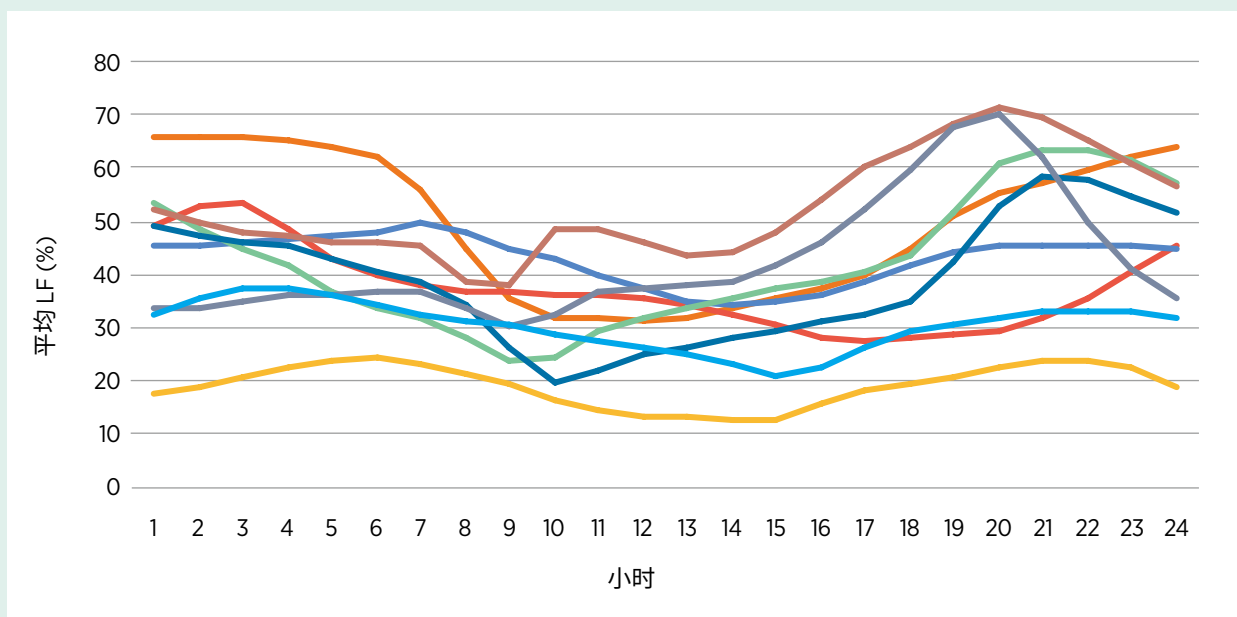


图 33: 风能潜力高的国家/地区的区域风力发电曲线走势



来源: Tractebel, 2018。

- 太阳能发电的曲线走势会根据太阳能板的朝向（上午朝东的太阳能板产能最高，下午朝西的太阳能板产能最高），以及天气情况（多云天气和冬季太阳辐射较少）而变化。和风能不同，除了在办公室充电，以及部分在白天通过公共充电设施充电外，太阳能光伏发电曲线走势通常无法与不受控的 EV 充电相匹配。智能充电对可再生能源容量的影响带来的增量效益在太阳能上可能会更大，主要是在 V2G 的情况下，使用更经济的电池来储存未在白天消耗的额外可再生能源，然后再进行调度。
- 但是在 MaaSive 情形中，预计可再生能源占比将会抵消，并恢复到参考值（BAU）。这是 EV 年负荷增加，但未给系统带来足够的存储容量，从而无法经济地整合更多的可再生能源的结果。在这种情况下，该模型显示投资基本负荷联合循环燃气轮机比投资大量太阳能更具成本吸引力，因为电池无法与太阳能集成，致使最终不得被弃光。

请注意，模拟区域具有低季节性效益。在季节性效益较高的区域可能需要进行额外的长期存储，因为 EV 仅用作短期存储而不考虑季节变化和集成可再生能源的好处。

表 18 显示了每种情形下，2030 年该模型太阳能案例中所需的新容量详情。在太阳能案例中的 V2G 情况下没有风能投资，因为该案例选择进行大量的太阳能投资而非风能，因为太阳能有更好的负荷系数和成本竞争力，而且太阳能曲线走势和智能充电模式能更好的匹配。在 V2G 情形下也有非常显著的容量扩展，因为该模型假设 EV 电池能将电能无偿输送回电网。

由于太阳能发电具有更高的可预测性，智能充电对高比例太阳能光伏发电系统的好处要大于风能发电系统。在高比例风能发电系统中，即使在 EV 无序充电的情况下，风力发电和 EV 充电曲线走势也有较高的匹配度。

表 18: 2030 年太阳能案例中容量扩展 (兆瓦)

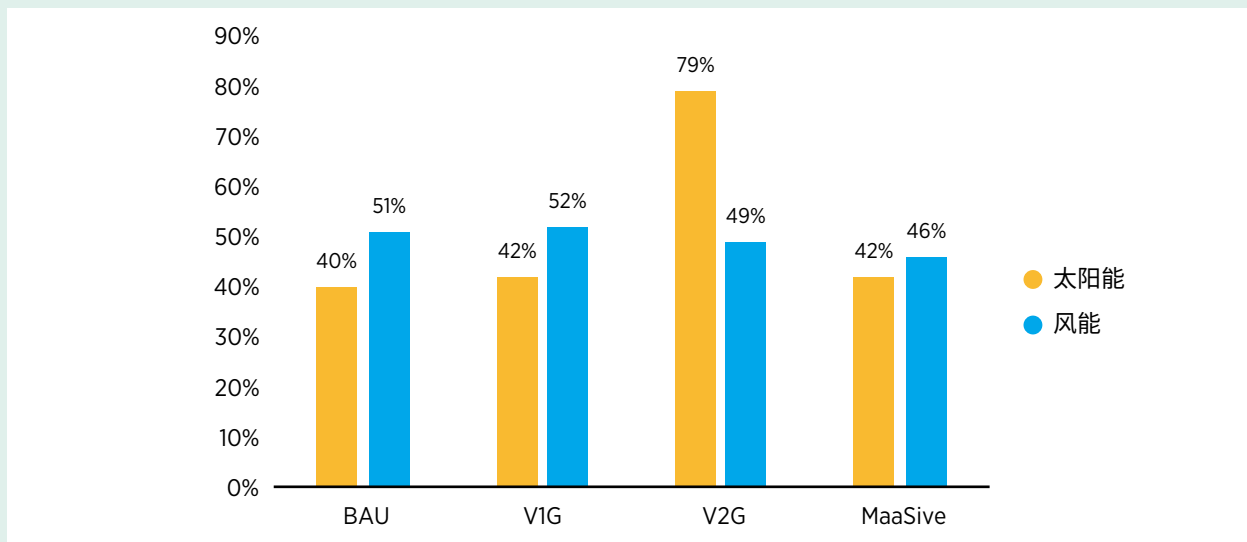
	BAU	V1G	V2G	MAASIVE
新型联合循环燃气轮机	604	580	257	631
新型开式循环燃气轮机	0	0	0	0
新型太阳能	337	370	1,137	443
新型风能	32	32	0	34

我们可以假设，同样的创新将持续到 2050 年。但创新的强度将受到其他发展的影响，比如电力和交通方面的数字革命。因此，可再生能源的占比预计将高于 2030 年，因为更多的化石燃料机组将会淘汰，并且由于发电和使能技术的资本支出都进一步减少，对可再生能源的投资将更加有利。智能充电 EV 数量的增加也将提高系统灵活性，以凭借新增的可再生能源来平衡系统的日常变化。

风能也可以采用同样的方法，唯一的区别是风力发电的运行情况比太阳能更难预测。然而，在我们的“风电案例”中这并不适用，因为 BAU 中已有最大的风能装机容量，而且由于土地有限，风能容量的扩展并不可行。风力发电在不同情形下的微小差异是由不同的弃风量所致。

例如，使用 EV 作为电池 (V2G)，通过将白天多余的太阳能发电储存起来，并在晚上需求峰值时将其注入电网，能够促进高份额的太阳能发电在电网中的集成。这也能维持太阳能发电的价值并激励进一步提高太阳光伏装机容量 (如表 18 所示)。

图 34: 在不同的充电情形下 (长期影响) 可再生能源在风能和太阳能发电系统中发电量的占比



可再生能源包括太阳能、风能、地热能和生物质能发电 (不包含水力发电)。

图 34: 在

可再生能源

电力结构的发展反过来影响不同的关键性能指标，大部分与短期分析中观察到的趋势一致且能强化已确定的利益，如图 35 所示：

- 短期分析中的**年峰值负荷**效应相似 - 即智能充电情形导致峰值下降，MaaS 情形促使峰值上升，而太阳能和风能系统则没有重大变化。
- 在太阳能和风能智能充电案例研究的系统中，较高的可再生能源比重推动了**二氧化碳排放量的下降**。与短期影响相比，在太阳能 MaaS 情形下，增加的可再生能源也能减少二氧化碳的排放增量。然而，由于简化了太阳能 V2G 情形下的假设，即如上所述，系统将免费使用电池，则其减排幅度相当乐观。在风力案例中，如果无法克服更多风能投资的障碍，则在 MaaS 情形下的二氧化碳排放量将会大幅上升。

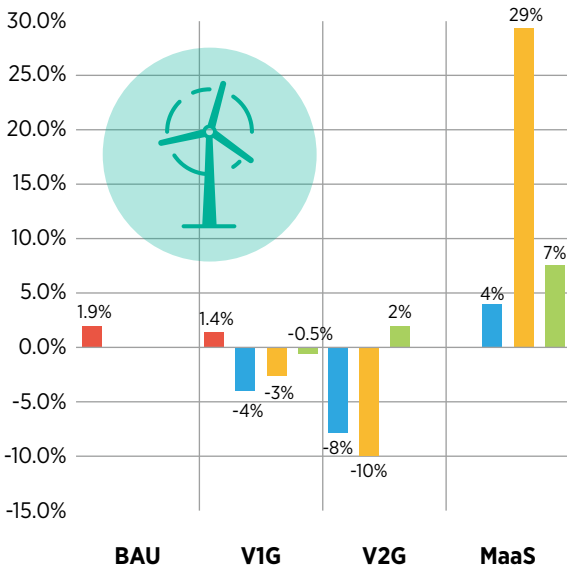
- **短期边际成本的降低**也在很大程度上与可再生能源的占比增加有关。这不同于实际成本的下降，与短期 MaaS 案例中的无序充电相比，该价格从长远来看与 BAU 相近。
- 当模拟 V1G 和 V2G 情况时，可以观察到**弃电的幅度很大**（在太阳能案例中的太阳能弃光和风力案例中的风能弃风）。总体而言，弃风弃光量比短期时略高，但仍在控制之中。该模式的最佳选择是增加系统中可再生能源装机容量，并在比增加新装机容量更经济有效的地点选择弃电。

图 35：电动汽车充电的长期影响

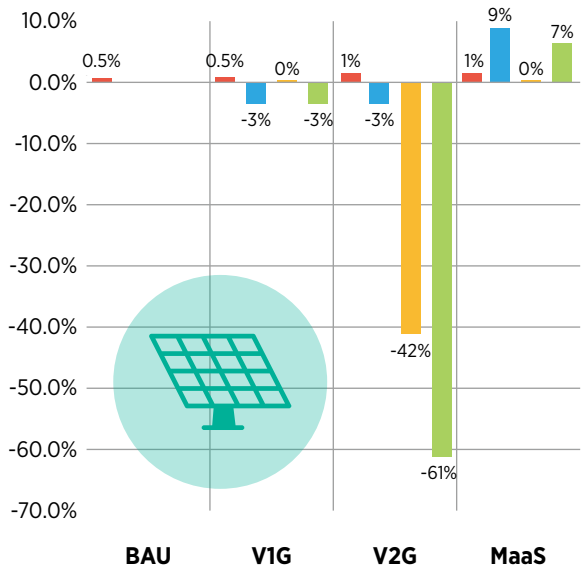
不同的充电情

90%  
80%  
70%  
60%  
50%  
40%  
30%  
20%  
10%  
0%

电动汽车充电在风电系统中的长期影响



电动汽车充电在太阳能发电系统中的长期影响



● 弃电量

● 年峰值负荷变化 (%)

● 平均短期边际成本变化 (%)

● 二氧化碳排放量变化 (%)

包括太阳能、风能

从更长远来看，智能充电（V1G 和 V2G）将有可把需求分散到非高峰时段和可再生能源发电旺盛的时段，转而增加对 VRE 的调度（减少 VRE 的弃电量）。与往常情况相比，它还将有助于进一步降低太阳能和风能发电系统的年峰值负荷。

EV 用作电池（V2G）为太阳能光伏集成敞开了大门，与此同时，还大大降低了系统的平均电力成本 - 也就是说，推动了经济实惠的可再生能源系统。这将很好的补偿了略微增加的弃电量。

在移动即服务模式 - EV 增加了系统负荷，能提供电网服务的电池容量更少 - V2G 在可再生能源容量和降低峰值负荷方面的益处将被大幅抵消。

## 其他类似研究结果

外部研究也就不受控 EV 充电和智能充电对电力系统的影响进行了评估，许多研究重点都集中在如今已在某些地区（比如加利福尼亚或德国）占了很高比例的 VRE 电力系统。表 20 提供了几项示范性研究的结果概述。与出于本研究目的而建模的案例一致，这些研究都发现了智能充电对削减系统峰值负荷（涉及二氧化碳排放）（Chen and Wu, 2018；RMI, 2016；Taljegard, 2017）以及减轻可再生能源弃电方面所产生的积极影响（McKenzie 等, 2016）。德国电力部门的研究也显示，通过使用以风能和太阳能发电为主的充电方式，用于满足 EV 需求的可再生能源占比将会增加一倍以上（Kasten 等, 2016）。

对 EV 灵活性可用性的影响，与基于个人 EV 所有权的交通系统相比，在基于共享自动驾驶汽车的未来系统中可能会降低，这一点将仍需要仔细研究。

## 6.2 对局部配电网的影响

### 对局部配电网运行的短期影响

即使在互联系统中，VRE 的高渗透率和电动汽车的无序增长提高了局部剩余需求的可变性。如果波动性可再生能源的局部渗透率很高，那么由于过电压和变压器过负荷的影响，局部弃电量就可能非常非常大。来

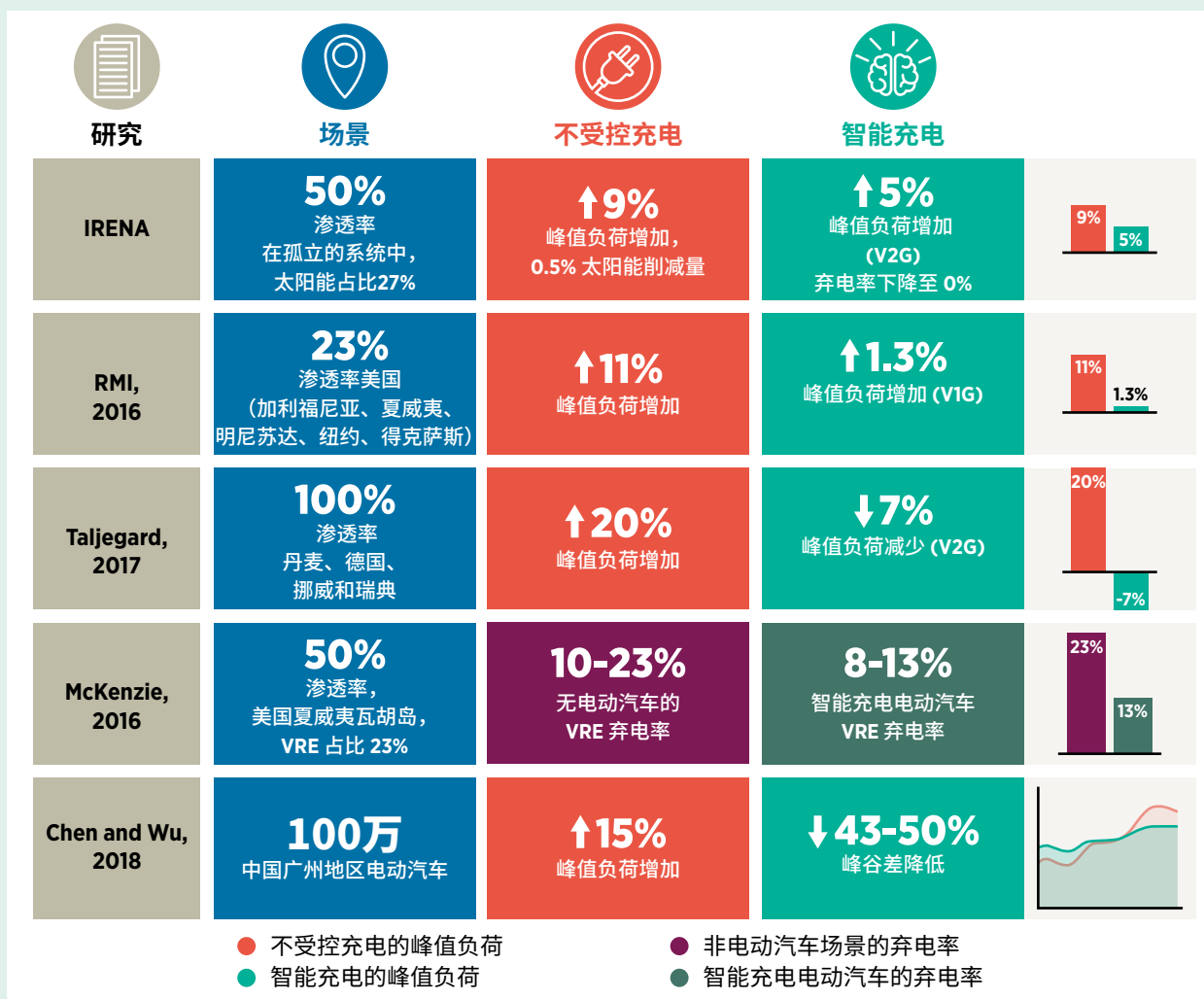
自 VRE 有效功率的局部注入增加了电网注入点的电压。线路的承载能力受变压器负载能力和关键线路负载的限制。如果经常超过这些限制，“饱和”的变压器和线路就需要加固。此外，如果局部电力供应超过需求，则产生的电力将会增加配电网的电压等级。

此外，非智能充电的 EV 在配电水平上面临巨大挑战，该配电网旨在促进单向功率流，其特点是电压等级较低，大多为放射状配电网结构。

智能充电能使太阳能光伏发电适用于 EV 充电。由欧盟共同资助的 PlanGridEV 项目旨在为不同局部网络设计的 EV 最优集成制定规划规则和运营准则。该项目的仿真模型显示（PlanGridEV, 2016a）：

- 常规充电时，变压器饱和程度随着 EV 数量的增加而提高。而在智能充电的情况下，相同数量的 EV 时，变压器饱和程度会有所改善。这是因为 EV 的需求峰值与常规需求峰值并不一致。智能充电可以减少从分布式发电到变压器的反向功率流。反向负载的减少由图 37 的紫色曲线表示。
- 如图 38 所示，智能充电可对电压分布产生积极影响。智能充电可减少过电压并使低压配电网的电压保持稳定，电压曲线平滑。在白天主要通过公共充电设施充电或办公室充电即可达到该效果。

图 36：评估电动汽车充电策略的研究示例

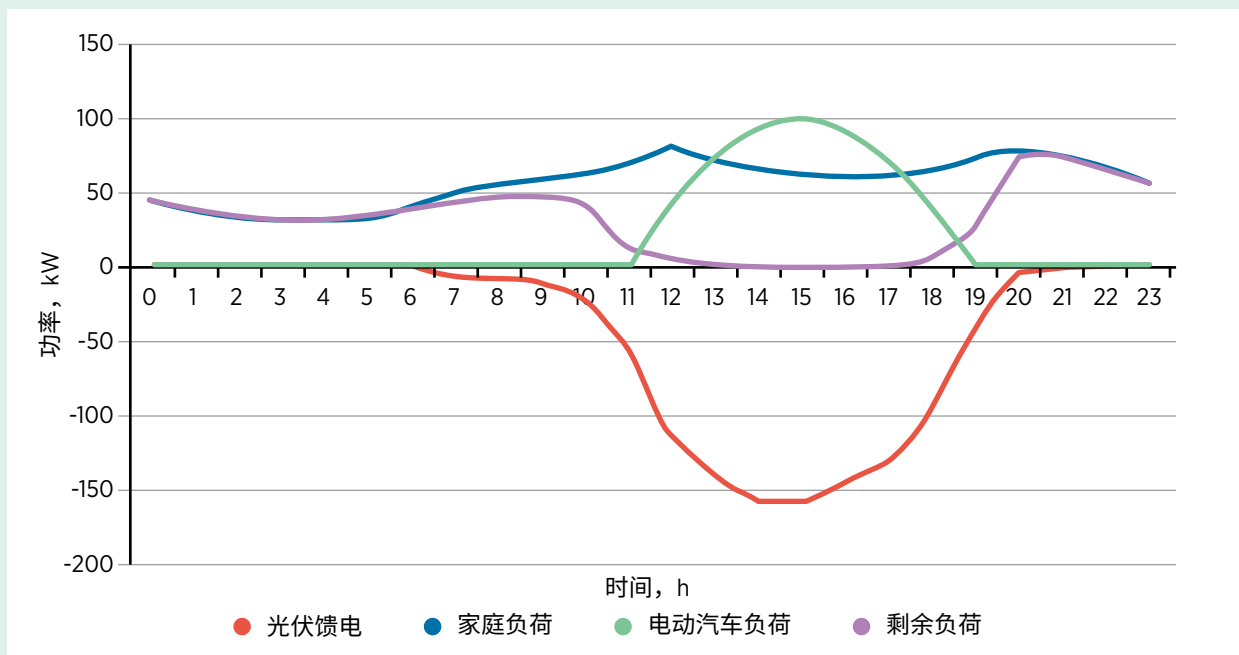


对在同一位置有三条配电网馈线的模拟 (Tractebel, 2018) 显示，仅单向智能充电 (V1G) 可每年减少 20% 的太阳能光伏弃光量。如果结合固定电池使用，与无序充电的情况相比，弃电量每年可减少 83%。

虽然智能充电对整个系统的影响在孤立系统中比互联系统中更为显著，但两种系统都能缓解局部堵塞的情况。智能充电可以减少反向功率流和变压器过负荷，从而增加配电网的承载能力。它也有助于缓解拥有高比例 VRE 的低压电网中出现的电压过高。

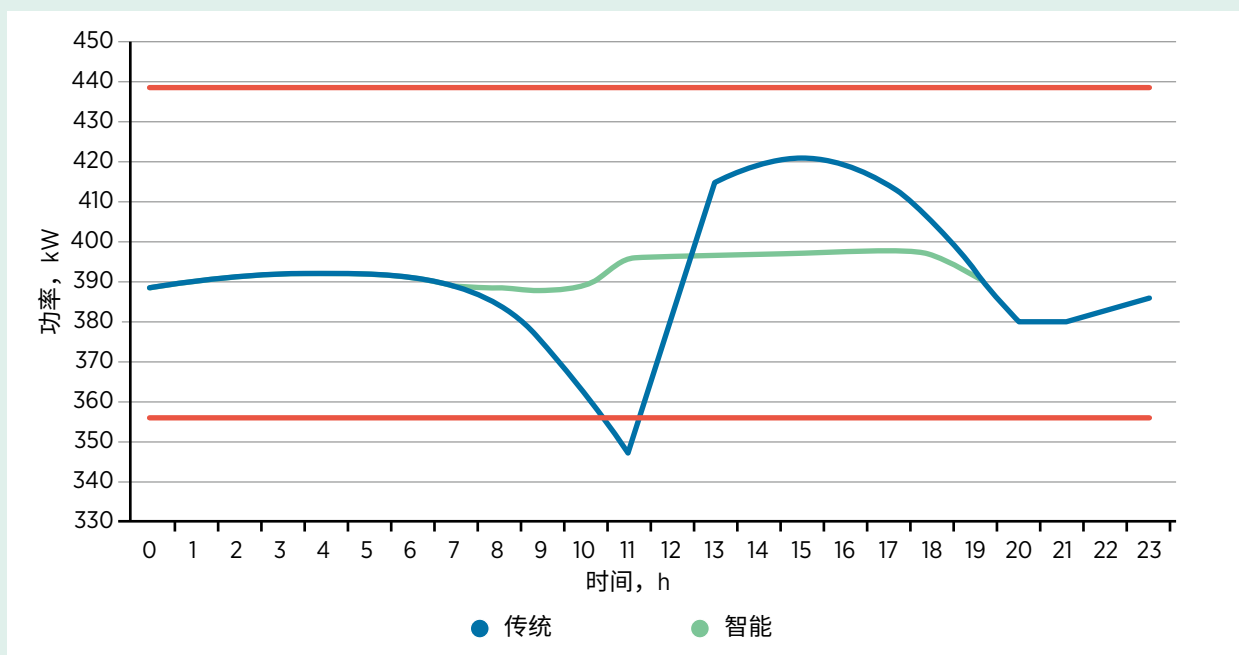


图 37: 智能充电的电力曲线走势



来源: PlanGridEV, 2016b。

图 38: 正午时的智能充电和常规充电电压曲线走势



来源: PlanGridEV, 2016b。



## 对配电网扩展的长期影响

EV 的大规模使用对电力基础设施产生影响。当现有的输电和/或配电线路，或变压器在高需求期间无法满足一切所需的负载时，比如数千辆 EV 同时充电，或在相邻线路停止工作等应急负载情况下，就会出现瓶颈或电网堵塞。

EV 充电对配电网堵塞的影响可以通过两个独立的中型欧洲配电网案例研究来说明：Stromnetz Hamburg（德国）和 Endesa（西班牙）。

### i. 电动汽车充电对汉堡市配电网的影响

汉堡是目前德国拥有最多充电桩的城市（截至 2018 年 11 月，有数百个家庭充电桩和 810 个公共充电桩）。该城市预计于 2019 年初安装 1,000 个公共充电桩。公共汽车电气化和 EV 的增加是城市负荷增长最关键的驱动力。在汉堡案例中，大多数电动汽车都分布在郊区，而那里的电网较弱（Pfarrherr, 2018）。

当地的配电系统运营商 Stromnetz Hamburg 进行了一项负荷增长分析，以确认 EV 使用负载为 11 kW 和 22 kW 的充电桩进行无序充电时的紧急情况。Stromnetz Hamburg 评估了两种情况：

- *情况 1*：EV 占比 3%，相当于私人充电设施需负载 20,000 辆 EV 的充电需求，这将导致 200 个充电瓶颈。这会导致低压电网出现问题。
- *情况 2*：EV 占比 9%，相当于私人充电设施需负载 60,000 辆 EV 的充电需求，在该城市的配电网中，这将致使 6,000 条馈线中有 800 条无法正常输电，或 15% 的馈线出现瓶颈（Pfarrherr, 2018）。

为了避免这些紧急情况，Stromnetz Hamburg 对加固局部配电网所需的投资进行了评估。情况 2 需加固约

10,000 km 0.4 伏特 (kV) 的电缆线路，所需的投资至少为 2,000 万欧元（约 200 欧元/米）。这项投资预估不包括更换同样重要的过负荷变压器。

除加固局部电网的成本外，一个更具挑战性的问题，且也许比资金更复杂的是寻找加固电网的劳动力能力并获得许可，以及就需要关闭该城市的许多道路以替换地下电缆所需的长达数月甚至数年的工程获得公众的接受。

考虑到工程难度和加固当地电网所需的成本，Stromnetz Hamburg 正在寻找解决这一问题的替代方案。关键是要减少同时性，即减少同一时间在同一局部电网充电的 EV 数量。为此，一项实用数字化技术的智能解决方案正在测试中，其中包括：

- 每一个拥有充电桩的家庭都需向配电系统运营商报告。这些信息目前还不需要。
- 目前在汉堡还不需要测量 0.4 kV 的电缆负荷。只要瓶颈问题一出现就能找出来。
- 一种实时通讯系统能让配电系统运营商减少解决这一问题所需的充电桩负载。例如，11 kW 的充电桩可以将其负载从 16 安倍 (A) 减少到 8A，能够让 EV 充满电，但时间更长些。

在 Stromnetz Hamburg 与 Siemens 合作的该项目中将安装 30 个控制装置并监测私家充电设施的负载。这将有助于他们预测堵塞问题，并根据负载情况规划网络。这项解决方案的预估成本约 200 万欧元，也是常规解决方案中加固电缆所需成本（不包括变压器的成本）的 10%。他们还计划与充电桩运营商开展密切合作，以建立强大的 IT 和通信基础设施，从而将充电桩运营商和电网联系起来。

即使在技术解决方案可行的地区，要全面实施该解决方案也需要消费者和汉堡市 400 多家电力零售商的参与，例如，实行一种分时电价激励机制可以让配电系统运营商根据局部电网需求控制其充电桩。汉堡的案例不仅显示了电动汽车可能对当地电网产生的影响，还显示了解决这一问题的潜在方案，该方案可能需要将数字技术、新的商业模式和市场监管结合起来，从而让有需求的所有参与者都参与进来。

## ii. EV 充电对西班牙配电网的影响

这个案例在两种情形下评估了在交通运输行业，各种 EV 普及率的情况下，以及低压电网中不同充电桩密度时，配电网加固的潜在成本。充电桩的集中度越高 - 例如，在大型停车场 - 当多辆车同时充电时，发生局部过负荷的可能性越大。

两种情况包括：

- 第一种情况中没有智能充电。在这种情况下，避免局部堵塞的唯一方法是切实加强过负荷的电网部分（即“铜盘模式电网”解决方案）。
- 第二种情况是安装有智能充电 - 即允许对充电系统有一定程度的控制，包括充电电流的变化。假设一个变压器的充电容量基本配置为 V1G：当有太多的汽车要同时充电时，系统会让它们轮转来配置容量。该系统通过将可用电力分配到所有车辆上并让其按顺序充电，使所有 EV 都能充电，且不会使局部馈线过负荷。假定当电力不足以（例如如在夜间）为所有车辆充电时才进行电网加固。

表 19 总结了该案例研究的结果，这些结果基于配电网慢充（4 kW）部分的实际数据并外推至其余部分。他们展示了配电网成本规避方面的节约规模：在 EV 渗透率为 15% 时，与常规运行情况相比，智能充电可节约超过 10 亿欧元的巨额成本（Endesa, 2014）。

表 19：在“非智能”和“智能”充电情况下的配电网加固

		非智能充电情况下的配电网加固成本 (百万欧元)		智能充电情况下的配电网加固成本 (百万欧元)	
		局部配电网的 EV 普及水平		局部配电网的 EV 普及水平	
		5%	15%	5%	15%
低压电网的 EV 充电桩集中度	20%	<b>550</b>	<b>1 502</b>	<b>213</b>	<b>607</b>
	30%	<b>603</b>	<b>1 661</b>	<b>229</b>	<b>654</b>
	40%	<b>641</b>	<b>1 774</b>	<b>235</b>	<b>672</b>
	50%	<b>672</b>	<b>1 867</b>	<b>236</b>	<b>675</b>

来源：Endesa, 2014。

## 7. 结论——政策一览表

前景分析表明，由于交通行业的电气化速度预计将会加快，技术创新使电池容量增加，以及在电动汽车和充电基础设施方面持续采用 V1G、V2G 和 V2X 智能充电功能，使得 VRE 集成的 EV 潜力有望从现在到 2030/2050 年间得到大幅提升。数字化既能提高顾客的接受度和参与度，又能推动新的商业机会。

与此同时，也有几个障碍可能会放慢这种日益增长的潜力的实现步伐。目前 EV 发展的主要障碍之一是缺乏充电基础设施。由于此类基础设施的开发尚没有明确的商业模式，在大多数情况下还需要政府的支持（监管激励措施、政策目标等）。随着 EV 的普及，VGI 策略应得到实施，*不仅要*将这种额外负荷对电力系统的影响降到最低，*而且也要*利用 EV 和可再生能源在系统中的协同效应来满足提高灵活性的需求。即使硬件和软件都已就绪，要把在试验中显示的 V2G 和 V2X 的潜力转化为实际应用，也是一项复杂的任务。遵循可再生能源发电模式的智能充电需要得到适当的市场设计和自动化控制的激励。

要克服这些挑战，也需要政策支持和监管。政府的配套政策杠杆可划分为以下几类：货币和非货币激励政策、监管措施、宣传、公共关系以及政府采购。当地主管部门也应该在开发和测试方面起到带头作用。此外，他们还需要促进移动出行供应商与运营电网并提供电力的电力公司之间的互动，而不是在他们之间建立信息孤岛。

表 42 总结了针对政策制定部门的 3 项主要建议和 13 个具体行动要点：

**电力系统脱碳和交通脱碳必须齐头并进，缺一不可，否则将降低两者的潜在利益。**

一方面，采用高比例可再生能源实现脱碳的电力系统可确保电动汽车实现从油井到车轮的全流程的低排放，也有助于交通行业脱碳。另一方面，智能充电的 EV 通过利用可再生能源在系统和地方层面中的协同效应提高更高比例的可再生能源集成。为了能大规模使用这种灵活性的资源，EV 的成本需要进一步降低，进而能与 ICE 汽车一较高低。充电基础设施需要进一步发展，以克服续航里程焦虑并推动其广泛使用。

### **行动要点 1: 制定远大的交通目标**

除了对可再生能源保持较高的追求外（或在更多国家和地区开发可再生能源），对在全国实现电动交通设立更高的目标。各国应向已实施了电动交通目标和支持措施的先行国家学习。他们不仅应关注客运车辆，而且还要关注其他道路交通工具，比如公共交通工具。各城市和地方政府部门应以身作则，修改规程，甚至设立针对公共汽车政府采购和专用车辆的目标，以激励优质市场的建立。

道路交通目标应与航空或航运等其他交通行业分开，以便发挥其作用。

除了一些国家已经制定了交通目标和二氧化碳排放标准外，交通工具的二氧化碳减排目标也很重要。

## 行动 2：支持充电基础设施

处于 EV 市场初期的政府和地方部门应设计好充电基础设施激励政策，借鉴已取得成功经验，启动这些市场。所有政府都应解决复杂的市场细分问题，比如超高速充电和多单元住宅问题。简化安装充电基础设施的审批流程。

## 行动 3：维持或引入针对 EV 的暂时性优惠政策

预计在 2025 至 2030 年间，EV 在大部分地区以及大部分车型在成本上都有与 ICE 汽车一较高下的能力。虽然 EV 在主流汽车市场上的销售预计将迅速增长，但其全球增长的分布还远远不均。因此需要引进针对 EV 的直接货币激励措施，然后根据结果和需要逐步取消这些激励措施。

最终，非货币激励措施将变得更为普遍。例如，地方政府也应该考虑像实施零排放区等一些最好的间接激励政策等。

## 行动 4：部署更多可再生能源

各国家和国际组织应制定远大的可再生能源目标，如果他们还没有这样做，应该立刻行动起来。如果已经有了这样的政策，就应该定期更新，并保持较高的目标（IRENA，2015）。

**智能充电对于发掘电力系统利用 EV 的效益非常重要，反之亦然。随着 EV 销量从现在到 2030 年的激增，智能充电设施需要成为关注的焦点。**

在某些地区，即使 EV 以无序的方式进行充电，风能发电曲线走势有时也会与 EV 充电曲线走势相匹配，因为在 EV 需要充电的傍晚和夜间，风力可能更大。因此，智能充电的增量效益在太阳能发电系统中将尤

为显著。通过将充电方时间转移到太阳能发电更多的时段并实施 V2G，可在系统层面和局部电网层面集成更多的太阳能发电。与此同时，如果没有激励措施，要实现配合太阳能的智能充电的效益可能并非易事，因为大多数家庭充电都是在夜间进行，并且对于 VGI 来说，日益发展的快速充电的总体潜力较低。

## 行动 5：标准化并确保 EV 和电动汽车供应设备 (EVSE) 之间的互操作性。

与国际标准化进程保持同步（IEC），这样当 EV 在 21 世纪 20 年代中期进入大众市场时，这些标准已可用于推动智能充电的规模化。这些标准的制定应尊重数据的隐私和安全。

只有标准化还无法实现针对 EV 充电的互操作性解决方案。互操作性对避免标准的倍增和确保兼容性及高效沟通至关重要。EV、充电基础设施和电网之间的通用标准和互操作性是实现智能充电的先决条件。数据交换的互操作性，对那些想要在他们国内运营商运营区域之外为车辆充电的“漫游”顾客也很重要。

## 行动要点 6：开始在孤立系统和可再生能源占比较大的区域实施智能充电

首先要关注岛屿等孤立系统，在那里 EV 与其他灵活性车型的竞争较少（由于缺乏电网互连等）。相反，及早实施智能充电将对电力系统扩展，尤其是太阳能发电系统的扩展产生积极影响。

分布式发电局部渗透率高的地区，其分布式发电和智能充电的 EV 之间具有较高的局部协同效应潜力，应对其进行进一步开发。

同时，智能充电解决方案的商业化和示范力度也应加大，这能够为该领域的研究、开发和创新提供真实验证。

### **行动要点 7：在制定智能充电策略时要考虑到电力结构**

针对长期投资的法律法规应允许网络解决方案不再受传统的一劳永逸式方案的束缚。在开发智能充电功能时，应考虑到各个电力系统的特点。

在太阳能发电系统中，主要关注工作场所充电和其他商业充电类型。为了补充太阳能，EV 充电必须转移到正午进行，这也意味着充电桩必须设立在 EV 车主白天停放车辆的工作场所和其他商业场所。雇主可以在办公室为员工免费提供可再生能源电力以便充电（他们可能之后在家里使用）。为此，在商业建筑中应推广预先布线和智能充电桩。

在晚上和夜间风力较大的风力发电地区/系统中，主要关注在夜间进行的家庭充电，并根据风力发电的变化进行动态调整。

### **行动要点 8：从交通和电力系统的角度选择最佳的充电位置**

在规划阶段，支持最能满足交通需求和电网需求的解决方案：开发人员要能调取有关局部电网堵塞的配电网数据，以便将充电系统定位在更优的电网位置。

智能充电为快速充电站点配以储电装置和本地可再生能源（主要是太阳能光伏），从而降低成本并减少快速充电站容量升级的需求。

### **行动要点 9：开展智能充电的电力市场设计，并进行调控**

开发 V2G 和其他 EV 电池商业模式需要多个收益流的支持（电池的收益“叠加”），电价必须进行调整，以避免对网络所用电池的双重收费。还需要建立市场激励机制，以向驾驶员和聚合商等市场参与者释放适当的信号，即：

- 通过在所有地区释放适当的价格信号告知顾客并赋予他们权利。动态定价和配电网收费的更新是必要的，以向汽车释放最佳充放电时刻的信号。与此同时，自动化程度的提高更便于驾驶员和服务供应商管理该系统。
- 要做到这一点，最好的方法是设计能提供聚合各种资源的批发市场和零售市场，从而为价格波动提供空间。
- 还需要设计便于配电系统运营商灵活地进行就地采购的其他机制，以及能在整个系统和局部使用之间协调资源的灵活性平台。

### **行动要点 10：使用替代方案来辅助电网充电**

充电桩额外的电池储能或与更换辅助电池储能可在最优时间从电网中获得电力，然后将其用于 EV 电池充电以辅助电网充电。

**切勿低估交通行业的长期发展，否则可能会对智能充电的 EV 可用性产生巨大影响。**

EV 的主要作用还是交通工具，其次才是作为“系统电池”使用。主要集中在城市地区的出行即服务（MaaS）和全自动汽车不仅能推动无线充电等新技术的发展，而且还能将家庭/办公室充电转移到充电中心充电。

### **行动要点 11：支持整体电池组设计和充电研发（R&D）**

支持电池和充电研发的同时应考虑交通和电网需求。这样能使已经适应了电网需求的电池保持这些性能。

### 行动要点 12: 研究 MaaS 对电动汽车灵活性的影响




电动交通工具的广泛普及将有助于提高系统灵活性。对 EV 灵活性可用性的影响 - 与基于个人 EV 所有权的交通系统相比，在共享自动驾驶汽车为主的未来系统中可能会降低 - 还需要仔细研究。尤其是发达城市的城市地区会受到影响，对农村地区影响较小。

### 行动要点 13: 鉴于基础设施的需求，在适当地点兴建充电中心

充电计划（充电中心）应与出行计划紧密协调，以优化电网和出行需求，避免昂贵的电网加固成本，并尽力善用可再生能源。



图 39: 政策一览表

建议	行动列表
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 推广可再生能源以实现电力系统脱碳</li> <li>• 推广 EV 以实现交通脱碳</li> </ul>	<p>1 设立宏大目标</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同交通运输类型的目标</li> <li>• 二氧化碳减排目标</li> </ul>
	<p>2 支持充电基础设施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 公共充电、快速充电、多单元住宅</li> </ul>
	<p>3 维持或引入针对电动汽车的暂时性激励措施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 货币或其他优势</li> </ul>
	<p>4 部署更多可再生能源</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 远大的可再生能源目标</li> </ul>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 专注智能充电</li> <li>• 激励措施是在太阳能系统中挖掘巨大增量效益的关键</li> </ul>	<p>5 标准化和确保互操作性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EV 和供应设备之间的 V2G 标准和互操作性</li> </ul>
	<p>6 在可再生能源比例高的岛屿和区域实施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 工作场所和商业充电是‘太阳能发电系统’的关键</li> <li>• 风力发电系统的家庭充电和太阳能发电系统家庭充电之间的潜在协同效应</li> </ul>
	<p>7 制定智能充电策略以适应能源组合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 交通工具和电网之间的协同效应</li> </ul>
	<p>8 选择最佳的充电位置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 顾客激励措施</li> <li>• 避免网络费用和税费的双重收费</li> <li>• 在不同市场实现收益叠加</li> </ul>
	<p>9 市场设计应考虑智能充电，调整监管</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在不同市场实现收益叠加</li> </ul>
	<p>10 在充电桩或电池更换处利用储能辅助电网充电</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在不同市场实现收益叠加</li> </ul>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究交通行业长期发展对智能充电的影响</li> </ul>	<p>11 鉴于交通和电网的需求，支持电池和充电研发</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在最合适的地点兴建充电中心</li> </ul>
	<p>12 研究出行即服务对 EV 灵活性的影响</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在最合适的地点兴建充电中心</li> </ul>
	<p>13 电力和交通行业的综合规划</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在最合适的地点兴建充电中心</li> </ul>

# 参考资料

- ACEA**, 2017. 参考数据 (Registration figures)。European Automobile Manufacturers Association, Brussels. [www.acea.be/statistics/article/Registration-Figures](http://www.acea.be/statistics/article/Registration-Figures).
- AER**, 2018. 电动交通革命：电动汽车对 GB 电力系统和新兴公共设施商业模式的影响 (*The e-mobility revolution: impact of electric vehicles on the GB power system and emerging utility business models*)。Aurora Energy Research, Oxford, UK.
- AIRQUALITYNEWS.COM**, 2017. “Ford 和 Deutsche Post DHL 推出电动汽车” ( “Ford and Deutsche Post DHL unveil electric van” )。 [www.airqualitynews.com/2017/08/16ford-deutsche-post-dhl-unveil-electric-van](http://www.airqualitynews.com/2017/08/16ford-deutsche-post-dhl-unveil-electric-van).
- AYRE, J.**, 2017. “Mitsubishi 宣布在阿姆斯特丹使用 Outlander PHEV 进行 V2G 试点项目 (Mitsubishi announces V2G pilot project utilizing Outlander PHEVs in Amsterdam)” 。 CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2017/10/31/mitsubishi-announces-v2g-pilot-project-utilizing-outlander-phevs-amsterdam/> (accessed December 2017).
- BACH ANDERSEN, P. et al.**, 2019. Parker 项目总结报告 (Parker Project Final Report)。能源技术开发和示范计划 (EUDP)
- BATTERY UNIVERSITY**, 2018. “BU-1003: 电动汽车 (EV)” (BU-1003:Electric vehicle (EV))。 [http://batteryuniversity.com/learn/article/electric\\_vehicle\\_ev](http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev).
- BHUNIA, P.**, 2018. “中国发布自动驾驶汽车道路测试的全国性指导方针 (China issues nationwide guidelines for road-testing of autonomous vehicles)” 。 OpenGov Asia. [www.opengovasia.com/china-issues-nationwide-guidelines-for-road-testing-of-autonomous-vehicles/](http://www.opengovasia.com/china-issues-nationwide-guidelines-for-road-testing-of-autonomous-vehicles/) (accessed November 2018).
- BMW AND PG&E**, 2017. BMW i ChargeForward: PG&E 的电动汽车智能充电试点 (PG&E's Electric Vehicle Smart Charging Pilot)。Pacific Gas and Electric, San Francisco. <https://efiling.energy.ca.gov/GetDocument.aspx?tn=221489>.
- BNEF AND MCKINSEY**, 2016. 对未来交通行业的综合观点 (*An integrated perspective on the future of mobility*)。Bloomberg New Energy Finance and McKinsey & Company.
- BNEF**, 2018a. 城市里的电动公共汽车，全球版 (*Electric buses in cities, global edition*)。Bloomberg New Energy Finance, London.
- BNEF**, 2018b. 自动驾驶汽车：汽车制造商的上市策略 (*Autonomous vehicles:Automakers' launch strategies*)。Bloomberg New Energy Finance, London.
- BNEF**, 2017a. 电动汽车数据中心，全球版 (Electric vehicle data hub, global edition)。Bloomberg New Energy Finance, London.
- BNEF**, 2017b. 全球 EV 和充电政策支持数据库，全球版 (Global EV and charging policy support database, global edition)。Bloomberg New Energy Finance, London.
- BNEF**, 2017c. 电动汽车长期展望，全球版 (*Long term electric vehicle outlook, global edition*)。Bloomberg New Energy Finance, London.
- BNEF**, 2017d. “微软使用人工智能发展其智能电网和 EV 充电业务” ( “Microsoft uses AI to grow its smart grid, EV charging business” )。Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/blog/microsoft-uses-ai-grow-smart-grid-ev-charging-business/> (accessed November 2018).
- BNEF**, 2017e. “美国公用事业公司提供多种电动汽车充电费率” ( “U.S. utilities offer multiple electric car charging rates” )。Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/blog/u-s-utilities-offer-multiple-electric-car-charging-rates/> (accessed July 2018).
- BoA/ML**, 2018a.从泵到插头：城市 EV 充电——重大机遇；重大挑战 (From pump to plug:EV charging in cities - Major opportunity; major challenge)。Bank of America Merrill Lynch.
- BoA/ML**, 2018b.从泵到插头：EV 充电专家来电系列——我们所学的内容 (EV charging expert call series - What we learned)。Bank of America Merrill Lynch.
- BRIONES, A. et al.**, 2012. AVTA 对车辆到电网 (V2G) 功率流规定和建筑法规的审查 (*Vehicle-to-grid (V2G) power flow regulations and building codes review by the AVTA*)。Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho.
- BUSINESSWIRE**, 2016. “Technavio 公布 2016 年至 2020 年中国电动汽车充电桩市场的前五大供应商” ( “Technavio announces top five vendors in the electric vehicle charging station market in China from 2016 to 2020” )。BusinessWire. [www.businesswire.com/news/home/20160614005085/en/Technavio-Announces-Top-Vendors-Electric-Vehicle-Charging](http://www.businesswire.com/news/home/20160614005085/en/Technavio-Announces-Top-Vendors-Electric-Vehicle-Charging).
- CAMUS, C., Farias, T.**, 2012. “电动汽车作为减少二氧化碳排放和降低边远地区能源成本的手段。The São Miguel (Azores) 案例研究” ( “The electric vehicles as a mean to reduce CO<sub>2</sub> emissions and energy cost in isolated regions.The São Miguel (Azores) case study” )。 *Energy Policy*, Vol. 43: 153-165.



- CATAPULT**, 2016. 出行即服务：探索英国的出行即服务机会 (*Mobility as a service: Exploring the opportunity for mobility as a service in the UK*)。Catapult Transport Systems.Conference in Birmingham, UK.
- CEM-EVI**, 2017. EV30@30 Campaign. 清洁能源部长级会议——电动汽车倡议 (Clean Energy Ministerial – Electric Vehicles Initiative)。
- CHADEMO ASSOCIATION**, 2018. “Members” 。 [www.chademo.com/membership/members](http://www.chademo.com/membership/members) (accessed November 2018).
- CHARIN**, 2018a. “CharIN e.V 成员” ( “Members of CharIN e.V” )。 [www.charinev.org/membership/members-of-charin-ev/](http://www.charinev.org/membership/members-of-charin-ev/) (accessed November 2018).
- CHARIN**, 2018b. 通往全球充电标准之路 (*The path to a global charging standard*)。CharIN e.V.
- CHASE, A.**, 2016. 车辆到电网的经济性 (*Economics of vehicle to grid*)。E4Tech. [www.e4tech.com/wp-content/uploads/2016/09/EV-grid-economics\\_E4tech\\_WEB.pdf](http://www.e4tech.com/wp-content/uploads/2016/09/EV-grid-economics_E4tech_WEB.pdf).
- CHEN, L., WU, Z.**, 2018. “研究电动汽车通过充电聚合器对全球负荷特性的影响” ( “Study on effects of EV charging to global load characteristics via charging aggregators” )。 *Energy Procedia*, Vol. 145: 175-180.
- CREARA**, 2017. 电动汽车——欧盟能源和气候政策目标的主要贡献者 (*The electric vehicle – A major contributor to EU energy & climate policy objectives*)。Creara, Madrid.
- DAIMLER**, 2016. “案例：Mercedes-Benz 汽车战略的新型战略焦点” (New strategic focus for Mercedes-Benz Cars strategy)。 [www.daimler.com/innovation/specials/electric-mobility/case.html](http://www.daimler.com/innovation/specials/electric-mobility/case.html) (accessed 27 December 2017).
- DE BREY, B.**, 2017. “智能太阳能充电：荷兰双向 AC 充电 (V2G)” (Smart solar charging:Bi-directional AC charging (V2G) in the Netherlands)。 *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 11: 483-490.
- DE VROEY, L.**, 2016. “车辆到家庭或车辆到电网适用于电动汽车用户吗？针对一年的集中体验展开讨论” (Is vehicle-to-home or vehicle-to-grid suitable for the electric vehicle user?Discussion from a one year intensive experience)。Presentation. EVS29 Symposium, Montréal.
- DELOITTE**, 2017. 为交通行业的未来提供动力：电力行业如何为其在新型交通生态系统中扮演的关键角色做好准备 (*How the electric power sector can prepare for its critical role in the new transportation ecosystem*)。Deloitte Center for Energy Solutions.
- DELTA-EE**, 2018. EV 和电力的交叉点— 机遇和威胁 (*The intersection between EVs and electricity – opportunities and threats*)。Delta Energy & Environment, Edinburgh.
- DEMOGRAPHIA**, 2017. “世界城市区域研究” ( “Demographia world urban areas” )。 [www.demographia.com](http://www.demographia.com).
- DEUTSCHE BANK**, 2016. 欢迎来到锂离子时代 (*Welcome to the Lithium-ion age*)。Deutsche Bank Markets Research.
- DODGSON, L.**, 2016. “公共汽车和电池：一个崛起的行业” ( “Buses and batteries:A rising sector” )。Power Technology. [www.power-technology.com/features/featurebuses-and-batteries-a-rising-sector-4904956/](http://www.power-technology.com/features/featurebuses-and-batteries-a-rising-sector-4904956/).
- DYBLE, J.**, 2018. “了解 SAE 自动驾驶——0-5 级说明” ( “Understanding SAE automated driving – Levels 0 to 5 explained” )。Gigabit. [www.gigabitmagazine.com/ai/understanding-sae-automated-driving-levels-0-5-explained](http://www.gigabitmagazine.com/ai/understanding-sae-automated-driving-levels-0-5-explained) (accessed July 2018).
- EA TECHNOLOGY**, 2016. “我的电动大道” ( “My Electric Avenue” )。 <http://myelectricavenue.info/>.
- EAF0**, 2017. 欧洲替代燃料观察组织 (European Alternative Fuels Observatory)。 [www.eafo.eu](http://www.eafo.eu) [accessed January 2018].
- EC**, 2017. EU Directive 2014/94/EU. 替代燃料基础设施国家计划 (*National plans for alternative fuel infrastructure*)。Member States fiches.European Commission, Brussels.
- ELINGO**, 2018. 电动汽车动态行驶电力传输技术 (*Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles*)。货物运输的电力基础设施 (Electric infrastructure for goods transport)。 [www.sintef.no/globalassets/project/elingo/18-0733---rapport-3---technology-for-dynamic-on-road---6-til-nett.pdf](http://www.sintef.no/globalassets/project/elingo/18-0733---rapport-3---technology-for-dynamic-on-road---6-til-nett.pdf).
- ENDESA**, 2014. *Smart Grids*, Direccion de regulacion de E&P. Endesa, Madrid.
- ENEL**, 2017. “Enel 收购 eMotorWerks 以提供电网平衡解决方案并打入美国电动交通市场” (Enel acquires eMotorWerks to provide grid balancing solutions and tap into us e-mobility market)。Enel. [www.enel.com/media/press/d/2017/10/enel-acquires-emotorwerks-to-provide-grid-balancing-solutions-and-tap-into-us-e-mobility-market](http://www.enel.com/media/press/d/2017/10/enel-acquires-emotorwerks-to-provide-grid-balancing-solutions-and-tap-into-us-e-mobility-market) (accessed March 2018).
- ENEL**, 2016. “Nissan、Enel 和 Nuvve 在丹麦经营世界上第一家全商用车辆到电网中心” ( “Nissan, Enel and Nuvve operate world's first fully commercial vehicle-to-grid hub in Denmark” )。 [www.enel.com/media/press/d/2016/08/nissan-enel-and-nuvve-operate-worlds-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark](http://www.enel.com/media/press/d/2016/08/nissan-enel-and-nuvve-operate-worlds-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark) (accessed March 2018).
- ENERDATA**, 2016. “全球能源研究” ( “Global energy research” )。Enerdata. [www.enerdata.net/research/global-energy-research.html](http://www.enerdata.net/research/global-energy-research.html).

- ENERGY EXEMPLAR**, n.d. *PLEXOS 指南 (PLEXOS Guide)*。
- ENGERATI**, 2018. “TenneT 进行区块链测试以解锁灵活性” ( “TenneT tests the blockchain to unlock flexibility” )。Engerati. [www.engerati.com/energy-retail/article/blockchain/tennet-tests-blockchain-unlock-flexibility](http://www.engerati.com/energy-retail/article/blockchain/tennet-tests-blockchain-unlock-flexibility).
- ENGERATI**, 2017. “EV 电池可否回收或再利用” ( “Can you recycle or re-use EV batteries” )? Engerati. [www.engerati.com/energy-management/article/energy-storage/can-you-recycle-or-re-use-ev-batteries](http://www.engerati.com/energy-management/article/energy-storage/can-you-recycle-or-re-use-ev-batteries) (accessed January 2018).
- EPRI**, 2018. *美国国家电气化评估 (U.S. National electrification assessment)*。Electric Power Research Institute, Palo Alto. <http://mydocs.epri.com/docs/PublicMeetingMaterials/ee/000000003002013582.pdf>.
- EURELECTRIC**, 2015. *智能充电：掌控负载，推动变化 (Smart charging: steering the charge, driving the change)*。Eurelectric, Brussels.
- FAGAN, A.**, 2017. “以色列测试电动汽车的无线充电道路” ( “Israel tests wireless charging roads for electric vehicles” )。Scientific American. [www.scientificamerican.com/article/israel-tests-wireless-charging-roads-for-electric-vehicles/](http://www.scientificamerican.com/article/israel-tests-wireless-charging-roads-for-electric-vehicles/).
- FEV**, 2017. [www.fev.com](http://www.fev.com) [accessed January 2018].
- FLEETEUROPE**, 2017. “法国邮政经营着欧洲最大的电动车队” (La Poste runs largest electric fleet in Europe)。 [www.fleeteurope.com/en/news/la-poste-runs-largest-electric-fleet-europe](http://www.fleeteurope.com/en/news/la-poste-runs-largest-electric-fleet-europe).
- GALLAGHER, C.**, 2018. “电动汽车车主获得新的政府补贴” ( “New government grant for electric car owners available” )。The Irish Times. [www.irishtimes.com/news/environment/new-government-grant-for-electric-car-owners-available-1.3342126](http://www.irishtimes.com/news/environment/new-government-grant-for-electric-car-owners-available-1.3342126) (accessed January 2018).
- GHATIKAR, G., PARCHURE, N., PILLAI, R.J.**, 2017. “整合多种电动汽车充电基础设施的灵活性。应用于印度” ( “Integration of multifarious electric vehicle charging infrastructure flexibility. Applications for India” )。1st E-mobility Power System Integration Symposium, Berlin. [http://mobilityintegrationsymposium.org/wp-content/uploads/sites/7/2017/11/2B\\_4\\_EMob17\\_222\\_paper\\_Ghatikar\\_Rish.pdf](http://mobilityintegrationsymposium.org/wp-content/uploads/sites/7/2017/11/2B_4_EMob17_222_paper_Ghatikar_Rish.pdf).
- GHOSHAL, D.**, 2017. 即将降临印度：“电动公共汽车可以在类似加油站的设施处更换电池” ( “Coming soon to India: Electric buses that can swap batteries at petrol pump-like facilities” )。Quartz India. <https://qz.com/1033014/ashok-leyland-wants-to-bring-electric-buses-that-can-swap-batteries-at-petrol-pump-like-facilities-to-india/>.
- GOGORO**, 2018. Gogoro 1 系列——更加容易 “Gogoro 1 Series – Easier” 。 [www.gogoro.com/smartscooter/1-series/plus/easier/](http://www.gogoro.com/smartscooter/1-series/plus/easier/) (accessed November 2018).
- GOODWIN, A.**, 2017. “Qualcomm 的感应式充电之路可能为新型 EV 铺平道路” ( “Qualcomm's inductive charging road could pave the way to new EVs” )。CNET. [www.cnet.com/roadshow/news/qualcomms-inductive-charging-road-could-change-the-way-we-build-evs/](http://www.cnet.com/roadshow/news/qualcomms-inductive-charging-road-could-change-the-way-we-build-evs/).
- GUARDIAN**, 2017. “中国将在不久的将来禁止生产汽油和柴油汽车” (China to ban production of petrol and diesel cars ‘in the near future’)。The Guardian. [www.theguardian.com/world/2017/sep/11/china-to-ban-production-of-petrol-and-diesel-cars-in-the-near-future](http://www.theguardian.com/world/2017/sep/11/china-to-ban-production-of-petrol-and-diesel-cars-in-the-near-future).
- GUINN, S.**, 2017. “EVSE 按州进行退税和税收减免” ( “EVSE rebates and tax credits, by state” )。ClipperCreek. [www.clippercreek.com/evse-rebates-and-tax-credits-by-state/](http://www.clippercreek.com/evse-rebates-and-tax-credits-by-state/) (accessed December 2017).
- HAO, H. ET AL.**, 2014. “中国的电动汽车补助计划：基本原理和影响” ( “China's electric vehicle subsidy scheme: Rationale and impacts” )。Energy Policy. Vol. 73: 722-732.
- HERRON, D.**, 2013. “太阳能电动汽车充电的商业模式” ( “The business model for solar powered electric car charging” )。PluginCars.com. [www.pluginCars.com/solar-powered-electric-car-charging-business-model-127710.html](http://www.pluginCars.com/solar-powered-electric-car-charging-business-model-127710.html).
- HOLDER, M.**, 2018a. “阿姆斯特丹竞技场接通了巨大的 Nissan LEAF 电池存储系统” ( “Amsterdam Arena switches on giant Nissan LEAF battery storage system” )。BusinessGreen. [www.businessgreen.com/bg/news/3035094/amsterdam-arena-switches-on-nissan-leaf-battery-storage-system](http://www.businessgreen.com/bg/news/3035094/amsterdam-arena-switches-on-nissan-leaf-battery-storage-system).
- HOLDER, M.**, 2018b. “Ofgem 提出电网激励措施，以促进灵活的电动汽车充电和可再生能源” ( “Ofgem proposes grid incentives to boost flexible electric vehicle charging and renewable power” )。BusinessGreen. [www.businessgreen.com/bg/news-analysis/3036320/ofgem-proposes-grid-incentives-to-boost-flexible-ev-charging-and-renewable-power](http://www.businessgreen.com/bg/news-analysis/3036320/ofgem-proposes-grid-incentives-to-boost-flexible-ev-charging-and-renewable-power).
- ICCT**, 2017a. *电动汽车充电基础设施的新兴最佳实践 (Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure)*。International Council on Clean Transportation, Berlin. [www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-charging-best-practices\\_ICCT-white-paper\\_04102017\\_vF.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-charging-best-practices_ICCT-white-paper_04102017_vF.pdf).
- ICCT**, 2017b. *中国新能源汽车的补贴调整 (Adjustment to subsidies for new energy vehicles in China)*。International Council on Clean Transportation, Berlin. [www.theicct.org/sites/default/files/publications/China-NEV\\_ICCT\\_policy-update\\_17052017\\_vF.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/China-NEV_ICCT_policy-update_17052017_vF.pdf).

- ICCT**, 2016. 欧洲领先的电动汽车政策和发展比较 (Comparison of leading electric vehicle policy and development in Europe). International Council on Clean Transportation, Berlin. [www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EVpolicies-Europe-201605.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EVpolicies-Europe-201605.pdf).
- IEA**, 2018a. “电动汽车。跟踪清洁能源进展” (“Electric vehicles.Tracking clean energy progress” ), International Energy Agency, Paris. [www.iea.org/tcep/transport/evs/](http://www.iea.org/tcep/transport/evs/) (accessed November 2018).
- IEA**, 2017. 2017 全球 EV 前景展望 (Global EV outlook 2017). International Energy Agency, Paris.
- IEA**, 2016. 国际能源署能源地图集——国家概况 (IEA atlas of energy - Country profiles). International Energy Agency, Paris. <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/3> (accessed February 2018).
- INRIX**, 2017. “INRIX 确定了美国高度自动化的自动驾驶车辆共享部署的主要城市” (“INRIX identifies top U.S. cities for shared highly autonomous vehicle deployment” ). INRIX. [http://inrix.com/wp-content/uploads/2017/03/INRIX-Automated-Vehicle-Study-2017\\_FINAL.pdf](http://inrix.com/wp-content/uploads/2017/03/INRIX-Automated-Vehicle-Study-2017_FINAL.pdf).
- IONITY**, 2018. [www.ionity.eu/ionity-en.html](http://www.ionity.eu/ionity-en.html).
- IRENA**, 2019a. 可再生能源未来的创新前景：集成可变可再生能源的解决方案 (Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2019b. 全球能源转型：到 2050 年的路线图 (Global energy transformation:A roadmap to 2050), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2017a. 电动汽车：技术概要 (Electric vehicles: Technology brief). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2017b. 电力存储和可再生能源：到 2030 年的成本和市场 (Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2015. 中国可再生能源目标设置 (Renewable energy target setting). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- JAGUAR**, 2018. “Jaguar 以全新的电动 i-PACE 全速前进” (“Jaguar charges ahead with all-new electric i-PACE” ). Jaguar. <https://media.jaguar.com/news/2018/03/jaguar-charges-ahead-new-all-electric-i-pace>.
- KARSTEN, J., WEST, D.** 2018. “美国的自动驾驶汽车法律情况” (“The state of self-driving car laws across the U.S” ). Brookings Institution. [www.brookings.edu/blog/techtank/2018/05/01/the-state-of-self-driving-car-laws-across-the-u-s/](http://www.brookings.edu/blog/techtank/2018/05/01/the-state-of-self-driving-car-laws-across-the-u-s/).
- KASTEN, P., BRACKER, J., HALLER, M.**, 2016. 欧洲的电动汽车——对碳排放和能源系统的未来影响 (Electric mobility in Europe - Future impact on the emissions and the energy systems). Öko-Institut e.V. & Transport and Mobility Leuven, Berlin.
- KEMPTON, W.**, 2016. 电网集成式车辆实施：学习和展望未来 (Grid-integrated vehicle implementation: Learnings and looking ahead). [www.ceem-dauphine.org/assets/dropbox/Kempton-Dauphine-ImpactEVs.pdf](http://www.ceem-dauphine.org/assets/dropbox/Kempton-Dauphine-ImpactEVs.pdf).
- KENSINGTON AND CHELSEA**, 2017. “肯辛顿-切尔西西区委、OVO 和 ubitricity 联手扩大伦敦的首个灯柱式电动汽车充电网络” (“Kensington and Chelsea Council, OVO and ubitricity join forces to expand London's first lamp post electric vehicle charging network” ). The Royal Borough of Kensington and Chelsea. [www.rbkc.gov.uk/press-release/kensington-and-chelsea-council-ovo-and-ubitricity-join-forces-expand-london%E2%80%99s-first](http://www.rbkc.gov.uk/press-release/kensington-and-chelsea-council-ovo-and-ubitricity-join-forces-expand-london%E2%80%99s-first).
- KOETSIER, J.**, 2017. “诧异：70% 的千禧一代不想要电动汽车” (“Surprise: 70% of millennials do not want electric vehicles” ). Forbes. [www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2017/04/17/surprise-70-of-millennials-do-not-want-electric-vehicles/#72dfe143f66b](http://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2017/04/17/surprise-70-of-millennials-do-not-want-electric-vehicles/#72dfe143f66b).
- LABORELEC**, 2017. “SMATCH——高性价比的 EV 充电管理” (“SMATCH - cost-effective EV charging management” ). [www.laborelec.be/ENG/smach-cost-effective-ev-charging-management/](http://www.laborelec.be/ENG/smach-cost-effective-ev-charging-management/).
- L' AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE**, 2016. Projet Helios.
- LAMBERT, F.**, 2016. “BMW 和 Bosch 推出了新的 2.8 MWh 能源存储设施，该设施由 100 多辆电动汽车的电池构成” (“BMW and Bosch open new 2.8 MWh energy storage facility built from batteries from over 100 electric cars” ). Electrek. <https://electrek.co/2016/09/22/bmw-bosch-energy-storage-facility-built-from-batteries-from-over-100-electric-cars/>.
- LAURISCHKAT, K., VIERTELHAUSEN, A., JANDT, D.**, 2016. “电动交通的商业模式” (“Business models for electric mobility” ). *Procedia CIRP*, Vol. 47: 483-488.
- LEEMPUT, N.**, 2015. 用于插电式电动汽车的电网支持式充电基础设施 (Grid-supportive charging infrastructure for plug-in electric vehicles). PhD thesis.University of Leuven.
- LÉVAY, P.Z., DROSSINOS, Y., THIEL, C.**, 2017. “财政激励措施对电动汽车市场渗透率的影响：总拥有成本的两两比较” (“The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership” ). *Energy Policy*, Vol. 105: 524-533.
- LIENERT, P.**, 2017. “德尔福的首席执行官表示，到 2025 年，自动驾驶的成本将下降 90%” (“Self-driving costs could drop 90 percent by 2025, Delphi CEO says” ). Reuters. [www.reuters.com/article/us-autos-delphi/self-driving-costs-could-drop-90-percent-by-2025-delphi-ceo-says-idUSKBNIDY2AC](http://www.reuters.com/article/us-autos-delphi/self-driving-costs-could-drop-90-percent-by-2025-delphi-ceo-says-idUSKBNIDY2AC).

- LIVING LAB SMART CHARGING**, 2017. [www.livinglabsmartcharging.nl/nl/](http://www.livinglabsmartcharging.nl/nl/).
- LOVEDAY, E.**, 2017. “中国批准 NMC 电池技术用于绿色汽车补贴” ( “China approves NMC battery technology for green car subsidies” )。InsideEVs. <https://insideevs.com/china-nmc-battery-technology-green-car-subsidies/>.
- MANTHEY, N.**, 2018. “布鲁塞尔从 2030 年起禁止使用柴油” ( “Brussels bans diesel from 2030” )。electrive.com. [www.electrive.com/2018/06/02/brussels-bans-diesel-from-2030/](http://www.electrive.com/2018/06/02/brussels-bans-diesel-from-2030/).
- MAURI, G., VALSECCHI, A.**, 2012. “电动汽车快速充电桩在可再生能源配电网集成和优化中的作用” ( “The role of fast charging stations for electric vehicles in the integration and optimization of distribution grid with renewable energy sources” )。国际供电会议组织 2012 年技术会议：可再生能源与配电网的集成 (CIRED 2012 Workshop: Integration of Renewables into the Distribution Grid)。
- McKENZIE, K. ET AL.**, 2016. “作为电网资源的电动交通工具” ( “Electrified transportation as a power grid resource” )。IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Dearborn, Michigan. [www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/2016%20ITEC%20IEEE%20Electrified%20Transportation.pdf](http://www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/2016%20ITEC%20IEEE%20Electrified%20Transportation.pdf).
- McKINSEY**, 2018. 全球电动汽车市场正变得活跃且呈上升趋势 (The global electric-vehicle market is amped up and on the rise)。McKinsey & Company. [www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-global-electric-vehicle-market-is-amped-up-and-on-the-rise](http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-global-electric-vehicle-market-is-amped-up-and-on-the-rise).
- McKINSEY**, 2014. 欧洲的电动汽车：为新的阶段做准备 (Electric vehicles in Europe: Gearing up for a new phase)。McKinsey & Company and Amsterdam Roundtables Foundation, Amsterdam.
- MURATORI, M., RIZZONI, G.**, 2016. “住宅需量反应：动态能源管理与时变的电力定价” ( “Residential demand response: Dynamic energy management and time-varying electricity pricing” )。IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 31(2): 1108-1117.
- NAVIGANT RESEARCH**, 2016a. 电动公共汽车 (Electric drive buses)。Navigant Research.
- NAVIGANT RESEARCH**, 2016b. 电动货车 (Electric drive trucks)。Navigant Research.
- NAVIGANT RESEARCH**, 2016c. 市场数据：电动汽车市场预测 (Market data: Electric vehicle market forecasts)。Navigant Research.
- NEDELL, Z.A. ET AL.**, 2016. “美国个人汽车出行普遍电气化的潜力” ( “Potential for widespread electrification of personal vehicle travel in the United States” )。Nature Energy, Iss. 1.
- NEXTKRAFTWERKE**, 2018. “接下来，Kraftwerke 和 Jedlix 启动了使用电动汽车电池来稳定电网的计划” ( “Next Kraftwerke and Jedlix launch initiative to use electric car batteries for grid stability” )。 [www.next-kraftwerke.com/news/next-kraftwerke-jedlix-launch-initiative-to-use-electric-car-batteries-for-grid-stability](http://www.next-kraftwerke.com/news/next-kraftwerke-jedlix-launch-initiative-to-use-electric-car-batteries-for-grid-stability).
- NEWMOTION**, 2018. “使用 V2X 技术进行 EV 充电的前景展望” ( “The future of EV charging with V2X technology” )。NewMotion. <https://newmotion.com/en/drive-electric/v2g-charging-next-generation-technology>.
- NHEDE, N.**, 2018. “埃克塞尔能源公司在顾客家里进行 2 级 EV 充电试点” ( “Excel Energy to pilot level-2 EV charging in consumer homes” )。Smart Energy. [www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/excel-energy-ev-charger/](http://www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/excel-energy-ev-charger/).
- NISSAN**, 2018. “Nissan 推出 Nissan 太阳能发电系统：为英国家庭提供终极一体化能源解决方案” ( “Nissan launches Nissan Energy Solar: The ultimate all-in-one energy solution for UK homes” )。 <https://uk.nissannews.com/en-GB/releases/release-426215639>.
- NOEL, L. ET AL.**, 2019. 车辆到电网——超越电动交通的社会技术转型 (Vehicle-to-Grid - A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility)。Springer Nature Switzerland AG.
- OICA**, 2017. “2005-2017 年按国家和车型划分的世界机动车辆销售情况” ( “World motor vehicle sales by country and type 2005-2017” )。International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. [www.oica.net/category/sales-statistics/](http://www.oica.net/category/sales-statistics/) (accessed February 2018).
- OLSEN, K.**, 2017. “一位出租车驾驶员平均每年行驶多少英里 ( “How many miles does an average taxi cab driver drive yearly” )? Career Trend. <https://careertrend.com/how-many-miles-does-an-average-taxi-cab-driver-drive-yearly-13658842.html>.
- ONTARIO**, 2018. O. Reg. 332/12：建筑法规 (BUILDING CODE)。Government of Ontario. [www.ontario.ca/laws/regulation/120332](http://www.ontario.ca/laws/regulation/120332).
- OVO ENERGY**, 2018. “EV 无处不在” ( “EV everywhere” )。 [www.ovoenergy.com/ev-everywhere](http://www.ovoenergy.com/ev-everywhere) (accessed November 2018).
- OVO ENERGY**, 2017. “Nissan 和 OVO 宣布了一项新的合作，以加速英国家庭电池存储的普及” ( “Nissan and OVO announce a new collaboration to accelerate the adoption of home battery storage in the UK” )。 [www.ovoenergy.com/ovo-newsroom/press-releases/2017/october/nissan-and-ovo-announce-a-new-collaboration-to-accelerate-the-adoption-of-home-battery-storage-in-the-uk.html](http://www.ovoenergy.com/ovo-newsroom/press-releases/2017/october/nissan-and-ovo-announce-a-new-collaboration-to-accelerate-the-adoption-of-home-battery-storage-in-the-uk.html).

- PASAOGLU, G. ET AL.**, 2013. 基于出行调查数据的欧洲电动汽车负荷概况预测 (*Projections for Electric Vehicle Load Profiles in Europe Based on Travel Survey Data*)。European Commission Joint Research Centre, Petten. [https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Projections\\_for\\_Electric\\_Vehicle\\_Load\\_Profiles\\_in\\_Europe\\_Based\\_on\\_Travel\\_Survey\\_Data.pdf](https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Projections_for_Electric_Vehicle_Load_Profiles_in_Europe_Based_on_Travel_Survey_Data.pdf)
- PASAOGLU, G. ET AL.**, 2012. 欧洲汽车驾驶员的行车和停车模式——一项出行调查 (*Driving and parking patterns of European car drivers – a mobility survey*)。European Commission Joint Research Centre, Petten. [https://setis.ec.europa.eu/system/files/Driving\\_and\\_parking\\_patterns\\_of\\_European\\_car\\_drivers-a\\_mobility\\_survey.pdf](https://setis.ec.europa.eu/system/files/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf).
- PASCAL-LOUISE BLYTH, S.**, 2011. 在 100% 可再生能源岛 (Samsø) 上的电动汽车 (*Electric cars on the 100% renewable energy island of Samsø*)。Master's thesis. Aalborg University. [https://projekter.aau.dk/projekter/files/52872570/SEPM4\\_2011\\_8.pdf](https://projekter.aau.dk/projekter/files/52872570/SEPM4_2011_8.pdf).
- PERKOWSKI, J.**, 2017. “中国是如何凭借积极的新电动汽车规则推进发展的” ( “How China is raising the bar with aggressive new electric vehicle rules” )。 *Forbes*. [www.forbes.com/sites/jackperkowski/2017/10/10/china-raises-the-bar-with-new-electric-vehicle-rules/#a92230977acf](http://www.forbes.com/sites/jackperkowski/2017/10/10/china-raises-the-bar-with-new-electric-vehicle-rules/#a92230977acf).
- PFARRHERR, B.**, 2018. 管控公共低压电网中的私人电动交通充电桩 (*Controlling private e-mobility charging points in public low voltage grids*)。Stromnetz Hamburg, Vienna.
- PG&E**, 2018. “电动汽车 (EV) 费率计划” ( “Electric vehicle (EV) rate plans” )。Pacific Gas and Electric. [www.pge.com/en\\_US/residential/rate-plans/rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page?WT.mc\\_id=Vanity\\_pevrates](http://www.pge.com/en_US/residential/rate-plans/rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page?WT.mc_id=Vanity_pevrates).
- PLANGRIDEV**, 2016a. 分析与性能评估是进一步建议的基础 (*Analysis and performance evaluation as basis for further recommendations*)。
- PLANGRIDEV**, 2016b. 在集成可再生分布式能源资源的同时, 大规模推广电动汽车配电网规划和操作原则 (*Distribution grid planning and operational principles for electric vehicle mass roll-out while enabling integration of renewable distributed energy resources*)。
- PORSCHE**, 2016. “800 伏特电压充电” ( “800-volt charging” )。 <https://newsroom.porsche.com/en/technology/porsche-engineering-e-power-electromobility-800-volt-charging-12720.html> (accessed 6 August 2018).
- PYPER, J.**, 2018. “BMW 的计划可优化电网上使用可再生能源的 EV 充电” ( “BMW's plan to optimize EV charging with renewables on the grid” )。Greentech Media. [www.greentechmedia.com/articles/read/bmw-optimizing-ev-charging-renewable-energy#gs.0Fv6LQE](http://www.greentechmedia.com/articles/read/bmw-optimizing-ev-charging-renewable-energy#gs.0Fv6LQE).
- PYZYK, K.**, 2017. “Atlanta passes infrastructure ordinance to support EV charging” . Smart Cities Dive. [www.smartcitiesdive.com/news/atlanta-passes-infrastructure-ordinance-to-support-ev-charging/511500/](http://www.smartcitiesdive.com/news/atlanta-passes-infrastructure-ordinance-to-support-ev-charging/511500/).
- RAMÍREZ DÍAZ, A. ET AL.**, 2015. “电动汽车在孤立系统中用作分布式能源存储的影响: Tenerife 事件” ( “Impact of electric vehicles as distributed energy storage in isolated systems: The case of Tenerife” )。 *Sustainability*, Vol. 7(11): 15152-15178.
- RAO, R. ET AL.**, 2015. “在电池更换模式下优化电动汽车用户的充电行为” ( “Optimizing electric vehicle users' charging behaviour in battery swapping mode” )。 *Applied Energy*, Vol. 155: 547-559.
- RECC**, 2019, “电动汽车家用充电桩简介” ( “An introduction to Electric Vehicle home chargepoints” )。Renewable Energy Consumer Code, [www.recc.org.uk/images/upload/news\\_240\\_Consumer-Guidance-on-EV-Home-Chargepoints-14.pdf](http://www.recc.org.uk/images/upload/news_240_Consumer-Guidance-on-EV-Home-Chargepoints-14.pdf).
- REID, G., JULVE J.**, 2016. 二次寿命电池可灵活存储可再生资源 (*Second-life batteries as flexible storage for renewable energies*)。Bunderversband Erneuerbare Energie e.V. and Hannover Messe. [www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604\\_Second-Life-Batterien\\_als\\_flexible\\_Speicher.pdf](http://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second-Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf).
- RENAULT**, 2017. “雷诺使用 SCOOP 为未来联网汽车的基础设施做准备” ( “Renault preparing infrastructures for the connected car of the future, with SCOOP” )。 <https://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-preparing-infrastructures-for-the-connected-car-of-the-future-with-scoop/>.
- RENEWABLES & ENVIRONMENT**, 2017. “雷诺和 Powervault 在家用储能中对 EV 电池进行再利用。可再生能源和环境” ( “Renault & Powervault to reuse EV batteries in home storage. Renewables & Environment” )。 [www.renewablesandenvironment.com/mag/renault-powervault-to-reuse-ev-batteries-in-home-storage/](http://www.renewablesandenvironment.com/mag/renault-powervault-to-reuse-ev-batteries-in-home-storage/).
- RMI**, 2016. 电动汽车用作分布式能源资源 (*Electric vehicles as distributed energy resources*)。Rocky Mountain Institute, Basalt. [https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI\\_Electric\\_Vehicles\\_as\\_DERs\\_Final\\_V2.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI_Electric_Vehicles_as_DERs_Final_V2.pdf).
- SANTI, P.**, 2017. Interview
- SAUER, N., STEFANINI, S.**, 2018. “西班牙作为欧洲第二大汽车生产国计划禁止使用内燃机” ( “Spain, Europe's second largest carmaker, plans combustion engine ban” )。Climate Home News. [www.climatechangenews.com/2018/11/13/spain-plans-ban-petrol-diesel-cars-fossil-fuels-subsidies/](http://www.climatechangenews.com/2018/11/13/spain-plans-ban-petrol-diesel-cars-fossil-fuels-subsidies/).

- SCHEWEL, L.**, 2017. “大数据帮助部署电动汽车充电桩的4种方式” ( “4 ways big data can help with electric vehicle charger deployment” )。StreetLight Data. [www.streetlightdata.com/4-ways-big-data-can-help-with-electric-vehicle-charger-deployment](http://www.streetlightdata.com/4-ways-big-data-can-help-with-electric-vehicle-charger-deployment).
- SCHUCHT, B.**, 2017. “从德国传输系统运营商的角度看电动汽车的发展” ( “The development of e-mobility from the perspective of a German TSO” )。50Hertz.
- SHAHAN, Z.**, 2017. “28%-40% 的 EV 驾驶员拥有太阳能板” ( “28-40% of EV drivers have solar panels” )。CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2017/06/25/28-40-ev-drivers-solar-panels-cleantechnica-ev-report/>.
- SIEMENS**, 2017. “Desigo——先进的楼宇自动化系统” ( “Desigo – the state-of-the-art building automation system” )。 [www.siemens.com/global/en/home/products/buildings/automation/desigo.html](http://www.siemens.com/global/en/home/products/buildings/automation/desigo.html) (accessed 2017).
- SLOCAT**, 2017. *电动交通的趋势和目标 (E-mobility trends and targets)*。Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport. [http://slocat.net/sites/default/files/e-mobility\\_overview.pdf](http://slocat.net/sites/default/files/e-mobility_overview.pdf).
- SMART CITIES CONNECT**, 2017. “华威大学展示汽车到电网技术” ( “University of Warwick demonstrates vehicle-to-grid technology” )。Smart Cities Connect. <https://smartcitiesconnect.org/university-of-warwick-demonstrates-vehicle-to-grid-technology/>.
- ST. JOHN, J.**, 2015. “EV 充电桩和能源存储如何与电网携手合作” ( “How EV chargers and energy storage can make good grid partners” )。Greentech Media. [www.greentechmedia.com/articles/read/how-ev-chargers-and-energy-storage-can-make-good-grid-partners](http://www.greentechmedia.com/articles/read/how-ev-chargers-and-energy-storage-can-make-good-grid-partners).
- SUH, N.P., CHO, D.H.**, 2017. “电动汽车的无线电源传输” ( “Wireless power transfer for electric vehicles” )。In: *The On-Line Electric Vehicle*.Springer.
- SULLIVAN, M.**, 2018. “为电动汽车提供无线充电服务的小型公司” ( “The little company that’s bringing wireless charging to electric cars” )。Fast Company. [www.fastcompany.com/40533008/the-little-company-thats-bringing-wireless-charging-to-electric-cars](http://www.fastcompany.com/40533008/the-little-company-thats-bringing-wireless-charging-to-electric-cars).
- TAIBI, E., FERNÁNDEZ, C.**, 2017. *电动汽车部署对加勒比海岛国发电成本的影响 (The impact of electric vehicles deployment on production cost in a Caribbean Island country)*。IRENA Innovation and Technology Center (IITC), Bonn.
- TALJEGARD, M.**, 2017. *公路运输电气化对电力系统的影响 (The impact of an electrification of road transportation on the electricity system)*。Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- TBC**, 2017. *现代混合动力汽车电池组报告 (Battery packs of modern xEVs report)*。Total Battery Consulting.
- TESLA**, 2018. “Tesla semi” . [www.tesla.com/semi](http://www.tesla.com/semi) (accessed March 2018).
- THE CLIMATE GROUP**, 2017. “跨国公司推出全球项目以加速朝电动汽车的转换” ( “Multinationals launch global program to speed up switch to electric vehicles” )。 [www.theclimategroup.org/news/multinationals-launch-global-program-speed-switch-electric-vehicles](http://www.theclimategroup.org/news/multinationals-launch-global-program-speed-switch-electric-vehicles).
- TRACTEBEL**, 2018. 内部研究 (Internal studies)。Tractebel, Brussels.
- TRICOIRE, J-P., STARACE, F.** 2018. “这3个要素对电动汽车的未来至关重要” ( “These 3 elements are crucial for the future of electric cars” )。World Economic Forum. [www.weforum.org/agenda/2018/02/mobility-future-electric-cars-fourth-industrial-revolution/](http://www.weforum.org/agenda/2018/02/mobility-future-electric-cars-fourth-industrial-revolution/).

- TURPEN, A.**, 2016. “加利福尼亚州为公用事业提供能进行动态定价的 EV 充电桩” ( “California to get utility-owned EV charging stations with dynamic pricing” )。New Atlas. <https://newatlas.com/california-electric-car-utility-charging/41585/>.
- UCS**, 2017. 加速美国在电动汽车领域占据领导地位 (Accelerating US leadership in electric vehicles)。Union of Concerned Scientists, Washington, D.C. [www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2017/09/cv-factsheets-ev-incentives.pdf?\\_ga=2.108452610.1630188791.1517413160-1434713090.1436805699](http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2017/09/cv-factsheets-ev-incentives.pdf?_ga=2.108452610.1630188791.1517413160-1434713090.1436805699) [accessed November 2018].
- UITP**, 2016. ZeEUS eBus 报告: 欧洲电动公共汽车概况 (ZeEUS eBus report: An overview of electric buses in Europe)。ZeEUS project. <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>.
- UK GOVERNMENT**, 2016. “电动汽车充电基础设施资助计划” ( “Grant schemes for electric vehicle charging infrastructure” )。 [www.gov.uk/government/collections/government-grants-for-low-emission-vehicles](http://www.gov.uk/government/collections/government-grants-for-low-emission-vehicles) (accessed January 2018).
- V2G CLARITY**, 2017. IEC 63110——规范电动汽车充放电基础设施管理 (IEC 63110 – Standardizing the management of electric vehicle (dis-)charging infrastructures)。 [www.v2g-clarity.com/en/blog/iec-63110-standardizing-management-of-ev-charging-infrastructures/](http://www.v2g-clarity.com/en/blog/iec-63110-standardizing-management-of-ev-charging-infrastructures/).
- VAN DEN STEEN, F.**, 2018. “各城市推广使用电动汽车的政策” ( “Cities' policies push electric vehicles” )。Global Fleet. [www.globalfleet.com/en/safety-environment/global-analysis/cities-policies-push-electric-vehicles](http://www.globalfleet.com/en/safety-environment/global-analysis/cities-policies-push-electric-vehicles).
- VATTENFALL**, 2017. “Vattenfall 正将着手将其整个车队更换为电动汽车” ( “Vattenfall is switching its whole car fleet to electric vehicles” )。 <https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/2017/vattenfall-is-switching-its-whole-car-fleet-to-electric-vehicles/>.
- VIRTA**, 2017. “芬兰兴建公共双向EV 充电桩” ( “Public bidirectional EV charging point installed to Finland” )。 [www.virta.global/news/the-first-public-bidirectional-ev-charging-point-to-finland](http://www.virta.global/news/the-first-public-bidirectional-ev-charging-point-to-finland).
- WALLBOX**, 2018. [www.wallbox.com](http://www.wallbox.com) (accessed January 2018).
- WEILLER, C.**, Sioshansi, R. 2016. “使用可再生能源的插电式电动汽车在电力系统中的作用” ( “The role of plug-in electric vehicles with renewable resources in electricity systems” )。 *Revue d'économie industrielle*, vol. 148: 291-316.
- WENYU, S.**, 2017. “中国兴建了世界上最大的 EV 充电网, 包括 167,000 个充电桩” ( “China builds world's largest EV charging network with 167,000 stations” )。People's Daily Online. <http://en.people.cn/n3/2017/0906/c90000-9265487.html>.
- WHO**, 2018. “空气污染” ( “Air pollution” )。World Health Organization, Geneva. [www.who.int/airpollution/ambient/en/](http://www.who.int/airpollution/ambient/en/).
- XCEL ENERGY**, 2015. “电动汽车充电桩” ( “Electric vehicle charging station” )。

# 附录 1：部署电动汽车及充电基础设施的激励措施

## 针对 EV 的直接货币激励措施

金融和财政（与政府收入和税收有关）类货币激励措施的目的是通过一次性补贴鼓励人们购买电动汽车，并降低其拥有成本。最常见的金融和财政类措施包括：

- **购买津贴或补助金：**这类激励措施直接以金钱奖励的方式支持 EV 的购买、用 EV 替换商业或国有企业车队，以及实施 EV 充电服务的做法。这些津贴或补助金通常是政府预算的一部分，用于促进交通行业的可持续发展，并且每年都会进行更新和修订。
- **汽车报废计划：**在各国政府的推行下，此类激励措施在世界各地都有多种形式，但内在机制是报废一辆污染环境的旧汽车，以换购一辆环保性能更好的新车时的折扣。
- **电价：**电力公司为商业或私人顾客的 BEV 或 PHEV 充电提供电价折扣，这将降低 EV 的总成本。
- **免税或减税：**这包括一系列旨在降低购买新车的财政成本的激励措施。从这个意义上说，EV 可以免征增值税（VAT）、登记税、道路流通税、车辆所有权税和购置税等。
- **所得税的抵免：**在这种激励措施中，安装了电动汽车充电设备或购买了新替代燃油车辆的企业或私人顾客可以有资格获得相当于投资总成本一定百分比的所得税抵免，或给定的抵免金额。这一概念类似于购买津贴；但其收款的方式有所不同。在这种情况下，抵免金额会在年度纳税申报时返还给受益人。

## 案例研究：法国和中国针对 EV 实施的直接货币激励措施

自 2008 年以来，法国一直采用奖惩机制，即购买低污染的汽车会获得补贴，购买高污染的汽车则会受到惩罚。购买 BEV 的补贴为其价格的 27% 或最高达 6,300 欧元，购买 PHEV 的补贴为其价格的 20% 或最高达 4,000 欧元。销售量的逐年增加证明这种激励措施是有效的。2015 年 4 月，法国 EV 销量激增，市场占有率达到 1%。这是在奖惩机制之上引入 3,700 欧元的报废计划的结果。截止到 2015 年 4 月，报废柴油汽车和购买 EV 的用户可受益于针对 BEV 的 10,000 欧元和针对 PHEV 的 7,700 欧元的财政优惠政策（Lévay 等，2017）。

多年来，中国中央政府根据 2009 年颁布的 EV 补贴计划（EVSS）为 EV 的购买提供大量的资金支持。起初，该补贴仅适用于政府采购，但在 2010 年延长之后，个人顾客也有资格获得补贴。该计划涵盖一系列车辆类型：公共汽车、货车和客车。

对于最新的类别，中国最初的 EVSS 一直持续到 2012 年底，并按额定功率、续航里程和电池储能密度为 PHEV 和 BEV 分别提供 50,000 元和 60,000 元的补贴。从 2013 年到 2015 年间，该计划重新更新，即 PHEV 和 BEV 的补贴金额分别为 35,000 和 60,000 元。2016 年，该计划再次延长至 2020 年，并将逐步取消补贴计划的时间定为 2021 年。为配合一次性补贴，2014 年中国政府还宣布免除 EV 10% 的购置费（Hao 等，2014；ICCT，2017b；Perkowski，2017）。



## 针对 EV 的非货币激励措施

除了由国家政府和组织领导并支持的电动交通目标与集体协议外，地方政府实施的最常见的非货币激励措施包括：

- **驾驶许可：**作为低污染车辆，EV 可以在城市中心免除驾驶限制、可以享受道路收费减免或折扣优惠，并可以在指定的公共交通专用车道上行驶。
- **停车许可：**EV 用户在申请停车许可时享有优先权或享受免费停车服务。
- **免费充电：**EV 用户可在指定地点免费充电。
- **排放测试豁免：**在美国，一种常见的作法是免除 BEV 和 PHEV 的排放检查。

### 案例研究：某些国家/地区的间接（非货币）激励措施：

**中国：**在中国，减少空气污染和限制交通拥堵的一种常见做法是根据车辆牌照尾号实施道路限行。北京、天津等城市已经用这种方法对 EV 实行了豁免，允许 EV 在所有时间上路行驶（Van den steen, 2018）。

**德国：**根据 2015 年批准的《联邦电动交通法规》（federal electric mobility regulation），市政府有权为低排放或电动汽车提供特殊福利。这些特殊福利包括免费或优惠停车、允许进入车辆占用率高的车道和交通限制区域。该规定在全国范围内适用；但它赋予市政当局设计和实施激励措施的权利。例如，斯图加特市在公共停车位为 EV 提供免费停车服务（ICCT, 2016）。

**荷兰：**虽然荷兰没有国家级的非财政激励计划，但许多市政当局出台了他们自己在间接激励措施方面的策略。例如，在阿姆斯特丹 EV 驾驶员可以优先获得停车许可，并在充电桩附近预留停车位（ICCT, 2016）。

**挪威：**作为世界上 EV 渗透率最高的国家，挪威多年来一直为 EV 用户提供非货币福利。尽管这些特殊福利是由市政府实施的，城市之间可能有所不同，但政府规定了全国性的补贴。BEV 驾驶员可免除道路收费、享受较低的渡轮费用、可在公共汽车专用道上行驶，并在公共充电处免费充电和停车。EV 也获有特殊牌照（ICCT, 2016）。



# 附录 2：电动汽车电池状况及充电站技术

## 提供电网服务的 EV 存储技术的实用性

一个电池每年大约需要进行 300 次完全充电循环，通过吸收额外的可再生能源电力为全系统提供平衡或进行电表后端优化，以限制波动。需要较高的放电深度 (DoD) 容差。现如今所有类型的锂电池都非常合适。然而，由于氧化还原流电池技术的长周期寿命，它可以承受较高的 DoD，并提供这种服务。锂金属聚合物 (LMP) 适用于 DoD，但由于高温和高自放电的特性而面临局限性。ZEBRA 技术无法实现 100% 的 DoD，在此无法预计未来的发展。

对于实施分时电价的地区，顾客可能被改变他们的用电方式，能量比电力更重要。因为氧化还原流电池的能量和电力可以独立扩展，它们适用于此类情况。锂离子技术也非常适用这种应用。

辅助服务用于平衡电网——即将电网频率保持在参考范围内（欧洲为 50 赫兹，美国为 60 赫兹）。这些服务可在备用市场（在适当的地方）通过采购获得，备用市场可分为一级备用、二级备用和三级备用<sup>9</sup>。

- 对于一级备用，DoD 和电池的参与比可再生能源的平衡更顺利。当频率下降时，电池必须注入电力（反之亦然）。为此，建议电池的充电状态保持在 50% 左右并将在该级别上的一个窄频带范围内波动。例如，在比利时，每天必须考虑约 1.5 个全等效周期。这些全等效周期由多个低 DoD 周期组成，不易于电池老化。频率间隙出现得更少，并且电池可在充电率低于 1C 时使用（充电和放电）。

- 与频率控制备用 (FCR) 相比，二级备用所需的反应时间更慢，所需的循环次数更少。
- 与自动频率恢复备用 (aFFR) 相比，三级备用所需的反应时间更慢，所需的循环次数更少。与 FCR 和 aFFR 相比，所需的能量更高（充电率更低）。

锂离子和氧化还原流电池可以用于此目的，因为该应用对电池来说不那么粗糙。LMP 与可再生能源存储（维持高温环境）存在相同的局限性，在此应用中必须确认其使用情况。

对于备用应用（降低对电网的依赖，并通过在非高峰时段收取较低的电费来降低能源费用），电池的相关性已得到证实。循环频率依赖于电网的可靠性，但曲线走势保持不变：电池必须维持长时间的充电状态，并支持深度 DoD，以维持可再生能源的平衡，但完全充电状态的长待机时间也是可能的。

锂离子电池通常不是这种情况下的最佳选择，因为与铅酸电池相比，锂离子电池在充电状态下（不稳定）老化得更快。如果要长时间使用锂离子电池备份，则电池就必须保持部分充电状态，而非完全充电状态，以便保持化学稳定，并防止任何电量流失或容量急剧下降（因此只有一部分电池容量可用）的情况。虽然铅酸循环性能不如锂离子，但它可以长时间保持充电状态而不老化。

<sup>9</sup> 在欧洲也称为 R1、R2 和 R3 或频率控制备用 (FCR)、自动频率恢复备用 (aFRR) 和手动频率恢复备用 (mFRR)。

## 电力充电等级和模式

三种常用的不同功率输出等级（主要用于北美的术语）：

- 1级充电桩（AC  $\leq$  3.7 kW）是安装在私人家庭中的设备，EV 充电并非其主要用途。
- 2级充电桩（AC  $>$  3.7 kW 和  $\leq$  22 kW）主要安装在公共或私人场所。
- 3级充电桩（AC 或 DC  $>$  22kW）主要安装在公路沿线。

在欧洲，1级和2级被称为慢速充电桩，而3级被称为快速充电桩。在北美，SAE J1172 定义了这三种等级。

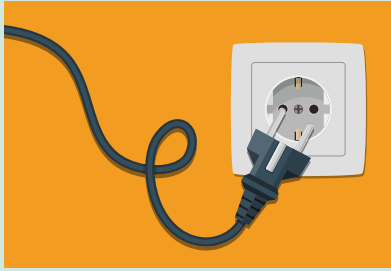

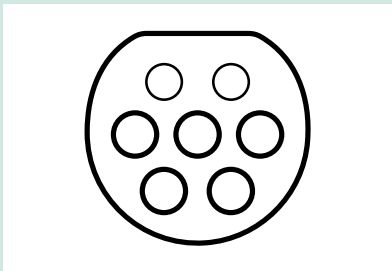
模式是一个标准化的概念，主要指所需的电气保护系统，它与功率范围相联系。IEC61851-1:2017 定义了四种不同功能的电缆充电“模式”。表 20 提供了不同充电方式的技术规格，包括所使用的插座和连接器的类型。

IEC 62196 定义了模式 3 的三种插头类型：

- 类型 1，也称为“Yazaki 插头”，并在 SAE J1772 中有定义。在北美和日本使用。
- 类型 2，也成为“Mennekes 插头”。它是欧盟推荐的插头。
- 类型 3 已过时。过去曾在法国和意大利推广过。

此外，中国使用模式 3 的 GB/T 20234.2。

表 20：充电模式的详细信息和相应的插座和连接器类型

模式 1	模式 2	模式 3
		
EV 与交流电（AC）供电网络的标准插座的连接	EV 与交流电（AC）供电网络的标准插座的连接	EV 与连接 AC 供电网络的 AC EV 永久供电设备的连接
无补充引导和辅助触点	带有控制引导和个人电击保护的电缆	控制引导功能从 AC EV 供电设备延伸到 EV
每相最大 16A，1- 或 3- 相	每相最大 32A，1- 或 3- 相	每相最大 63A，1- 或 3- 相，通常 EVSE 不超过 32A 每相
在大多数国家/地区都不推荐这种解决方案，有时会被禁止或在较低的电流范围内受到限制	在一些国家/地区禁止公共充电或限制低电流	最安全的 AC 充电解决方案

### 模式 4:

利用直流电 (DC) EV 供电设备将 EV 与 AC 或 DC 供电网络相连。

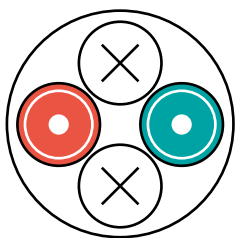
控制引导功能从 DC EV 供电设备延伸到 EV。

现在最大达 200 kW, 朝 350 kW 迈进。

#### CHAdeMO

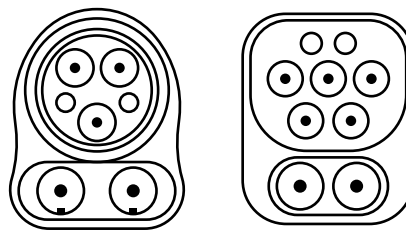
由主要标准化组织 (IEC, IEEE, EN and JIS) 发布的起源于日本的国际标准; 全球一致的插头。由日本、韩国和一些欧洲汽车制造商使用。

目前充电功率通常为 50kW, 但 CHAdeMO 协会在其最新版本中已提高到 400kW。



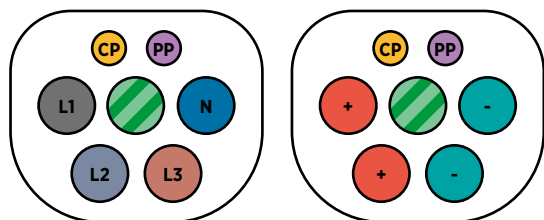
#### CCS1/2

美国/欧洲工业标准中, CCS2 是欧盟规定的最低要求 (所有模式 4 的解决方案应至少实施欧盟的一种 CCS)。目前充电功率通常为 50kW, 但一些新车型的充电功率更高 (100-150 kW), 比如 Jaguar I-PACE、Audi e-Tron。首个 350kW 的充电桩在 2018 年部署, 例如, 在 Ionity 项目中 (Ionity, 2018)。



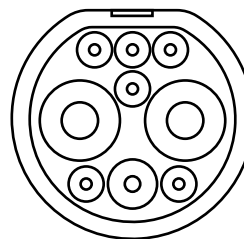
#### Tesla

专有充电技术与 Tesla 汽车的超级充电站 (Superchargers) 兼容; 现在充电功率为 120kW。一些 DC 和 AC 充电接线插脚相同, 但美国/欧盟的插头不同



#### GBT

在中国使用模式 4 的 GB/T 20234.3 (CharIN, 2018b)。



## 充电技术的前景

表 21: 小客车和重型车辆 (通常为公共汽车) 的充电解决方案概况

	PHEV 汽车	BEV 汽车	PHEV 公共汽车	BEV 公共汽车
<b>电缆充电功率 3-50 kW</b>	成熟		成熟 用于停车场充电, 充电功率为 50kW。	
<b>电缆充电功率 100kW</b>	发展中	发展中预计 2017-2018 年为 150kW 主要用于远程行驶 (例如,高速公路)	发展中	发展中可能在相对 较长的停靠时间时 使用 (10 分钟)
<b>静态无线充电功率 3-22kW</b>	新兴技术 原始设备制造商试点 可进行更新 预计 2018 年大规模使用 商业化 (奢华) 有望在 2019 年推出的汽车 限制性标准		低成熟度 试点	
<b>静态无线充电功率 &gt; 50kW</b>	考虑中		当前商业线路数量有限; 潜在增长	
<b>动态无线充电</b>	非常有限的试点数量; 限制增长潜力		试点数量有限; 昂贵	
<b>受电弓 (100 kW - 1 MW)</b>	无效		当前的商业线路; 适度的增长潜力	
<b>电池更换</b>	曾经的项目; 不适用		亚洲非常有限的试点数量; 由于 高复杂性和高成本导致潜力非常有限	
<b>架空线</b>	NA ICE 发动机可做 备用之用	不适用	下降	
<b>地面轨道</b>	研发			

## 附录 3：EV 充电服务供应商的商业模式

**充电服务供应商**模式包括为顾客安装和维护公共和/或私人充电桩。一些子模式，包括充电桩本身的制造和/或供应以及提供相邻的服务。对于私人充电，用户按合同支付充电桩和能源的费用。就公共充电而言，事实证明，公共融资能够有效地限制高昂的前期资金成本，其主要收入来源也来自充电费用。

市场中的主要参与者是电力公司、科技公司和专业化的独立公司：

- 电力公司专注于充电桩的兴建和运营。

例如，德国电力业公司（E.ON、Vattenfall、innogy、EnBW）拥有德国 35% 以上的公共充电基础设施，以及 Fortum 在芬兰的充电与驾驶计划。在挪威，电力公司 Grønn Kontakt 经营一家全国性的 DC 快充网络，该网络有 140 个充电桩，Statkraft 公司是其主要股东。在某些情况下，配电系统运营商可以安装并操作充电桩（例如，荷兰的 Elaad 协会<sup>10</sup>）。

世界上最大的充电网络由中国国家电网运营（Wenyu, 2017），国家电网在管理和供应充电站点方面具有垄断地位，但最近向私营企业开放了市场竞争（BusinessWire, 2016）。2018/19 年随着许多新型 EV 模式进入市场，充电桩的进一步大规模推广计划也在进行中，例如意大利的 Enel 公司和由丹麦五家公用事业公司组成的集团 E.ON 和 Clever（表 8）。

- 对大型科技公司（比如 Bosch 和 Schneider Electric）而言，充电桩的兴建仅占其投资组合的一小部分。

专业化的独立公司拥有各种子模式，可以建设和/或安装并运营充电桩，以及提供相关服务，比如维护支持和云数据服务。

最常用的是“拥有和运营”模式，通常与软件即服务（SaaS）模式共同使用。例如，专业化的独立公司通常会提供针对智能充电的定期软件更新和订购服务（例如，欧洲最大的两家充电桩运营商 EVBox 和 NewMotion）。

ChargePoint 公司开发的另一种模式占据了美国 70% 的市场份额。ChargePoint 销售的是一种结合了硬件、小额固定资产（他们不拥有自己的充电桩）和服务收入的整体解决方案。所有 ChargePoint 充电桩均联网（3G 或 4G），可以在世界任何地方对充电桩进行实时管理，这并不常见。还有基于其他收入流的子模式（例如，加州的 Volta）。

该市场最近经历了大规模的整合。2017 年，ENGIE 收购了 EVBox，以及其他几家石油公司——起初是为了寻找传统加油站之间的协同效应，最后是为了寻找新的商业模式——对 EV 充电表现出了兴趣。2017 年，Shell 收购了欧洲最大的充电桩运营商 NewMotion，NewMotion 拥有 80,000 个站点的网络。

<sup>10</sup> 在欧洲不属于受监管的运营商所有的受监管的资产基础。

# 附录 4：电动汽车技术的预期发展

## EV 的成本和竞争力

与等效的 ICE 汽车相比，当前 EV 尚不具备成本竞争力，因为其高昂的电池成本导致其前期成本较高。

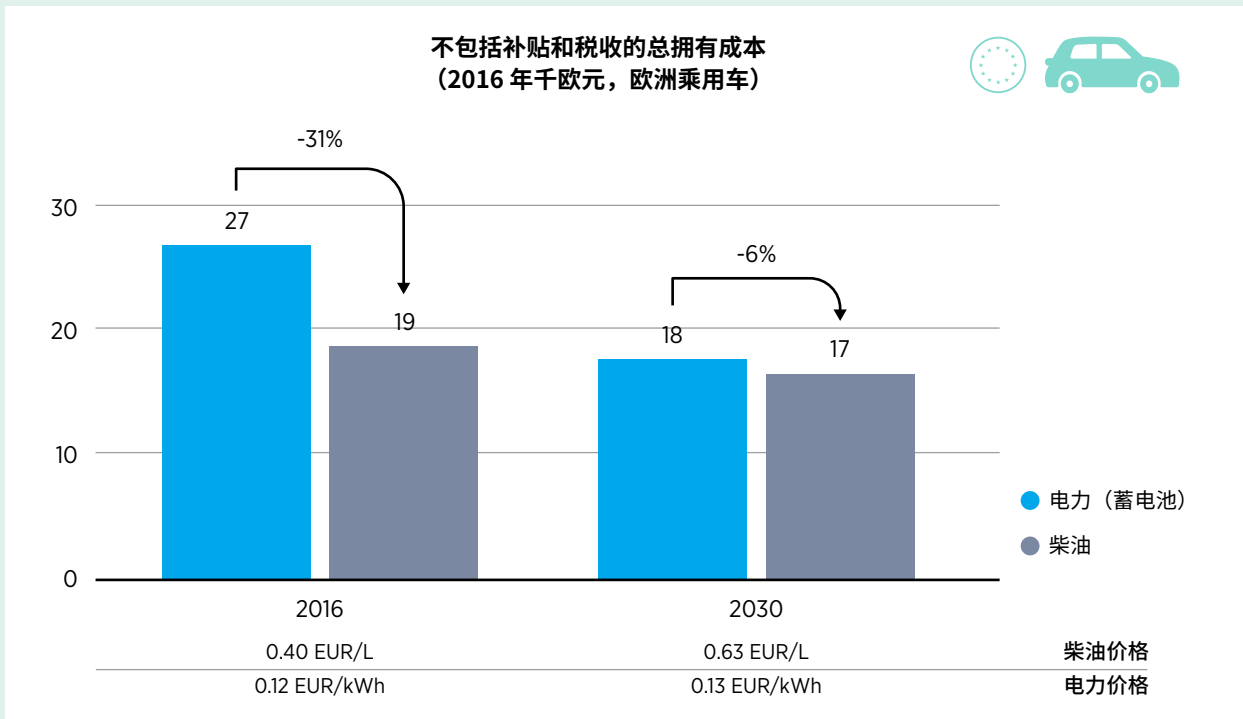
在中期，没有补贴的总拥有成本（TCO）平价可能会实现，并使 EV 在寿命成本的基础上具有竞争力。利润仍然有限，选电动车还是燃油车竞争力将对年行驶里程非常敏感。

从图 40 可以看出，在没有补贴和税收减免的情况下，2016 年一辆柴油汽车比同等的 EV 便宜 31%。而到 2030 年柴油汽车将仅比电动汽车便宜 6%。

这一趋势的背后有三个主要助力和因素：EV 资本支出（CAPEX）减少、柴油价格上涨和行驶里程增加。对监管制度也要进行审查以提供全面的情况。

首先也最重要的是，EV 的总拥有成本是由其较高的购买价格驱动的。2016 年，一辆典型的 EV 客车比同等柴油汽车的价格高出约 25%（CEEME，2016a）。虽然因为 EV 每千米的电力价格较低（与柴油相比），使 EV 在运营方面更加经济，但目前柴油上节省下来的资金无法抵消更高的 CAPEX。如图 43 所示，EV 总拥有成本下降 30%，其中很大一部分是由于 EV CAPEX 的下降，而 EV CAPEX 下降又受到电池 CAPEX 下降的推动。

图 40：当前和未来的电动汽车总拥有成本（TCO）——和柴油汽车



来源：Tractebel, 2016.

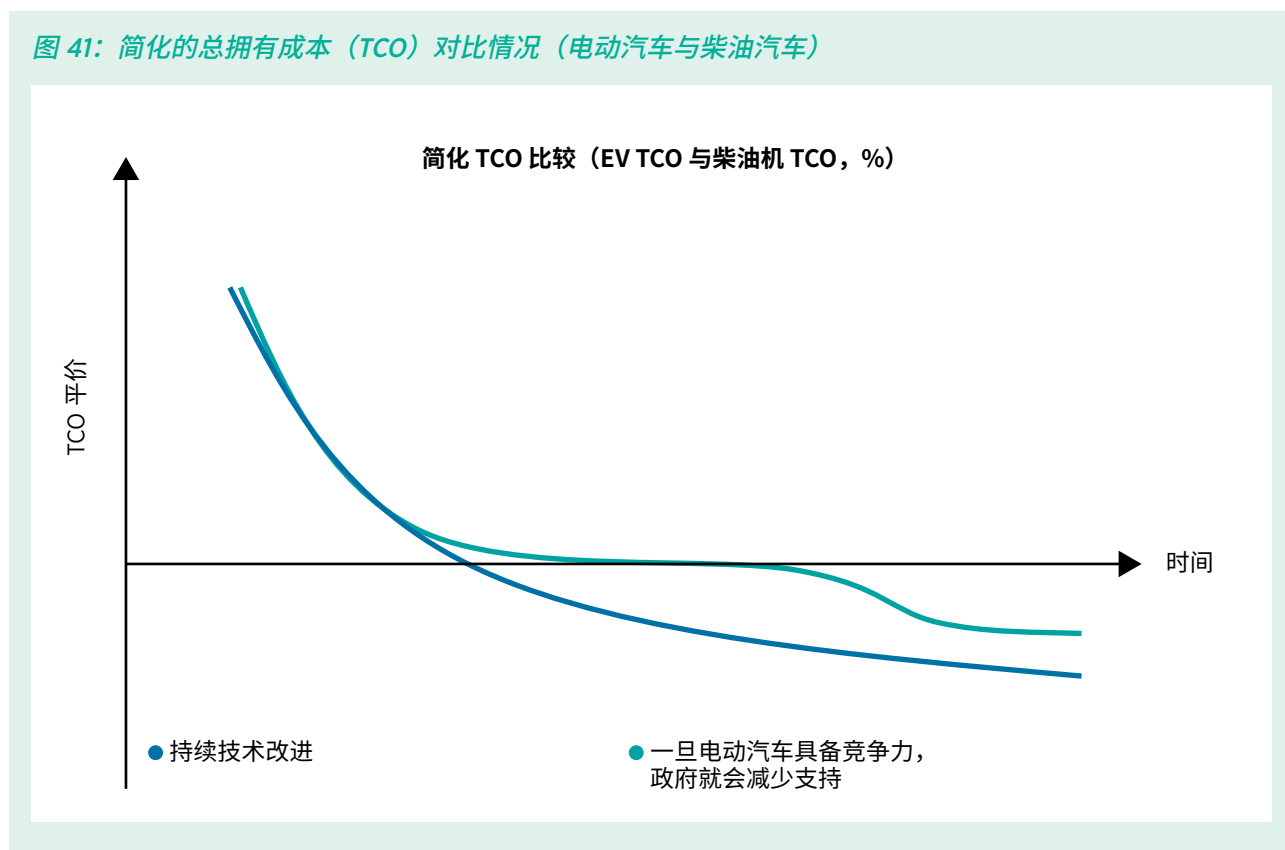
2016 年，电池成本占新 EV 成本的 40%（CEEME，2016a），电池成本的大幅下降极大地提高了整体 EV 的 CAPEX。与此同时，作为一项成熟的技术，柴油汽车的 CAPEX 预计将在 2016 年至 2030 年间保持稳定。<sup>11</sup>

关于车辆的运营成本，有两个重要的因素需要考虑：燃油成本的变化和车辆的行使里程。如图 40 所示，到 2030 年，平均电力价格预计将小幅上涨，而柴油价格预计将上涨一半以上。虽然燃油成本对 EV 的总拥有成本的影响将取决于车辆的行使里程——即购买的燃油量——但这一趋势确实表明，到 2030 年，EV 将比现在更具竞争力。图 40 将驾驶员的平均总拥有成本做了比较（每年 20,000km）（BNEF and McKinsey，2016）。

最后，取决于政府选择减少对 EV 的支持的速度和方式，在政府支持减少的这段时期内，不断改善的 EV 经济性会因补贴减少而受到限制。虽然许多人已经察觉到 EV 的经济性在不断改善，而且预计到 2030 年 EV 将变得接近于有竞争力（图 41），但补贴和财政优势将改变这一局面。此外，柴油可能将面临更严格监管，从而降低其吸引力。

与没有补贴的情况相比，该分析假设 EV 将在 2030 年之前就会变得有竞争力。然而，一旦 EV 变得更具吸引力，政府可能会选择加快目前降低优惠政策步伐。因此，随着政府减少其对 EV 的支持，一个过渡时期可能会出现，在这期间，EV 和柴油汽车的竞争力旗鼓相当。从长远来看，一旦所有支持逐步取消，EV 的总拥有成本可能会再次开始改善。

图 41: 简化的总拥有成本 (TCO) 对比情况 (电动汽车与柴油汽车)



<sup>11</sup> 2016 年至 2030 年期间，柴油汽车按实质计算的资本支出预计将保持稳定。



## EV 的电池

全球电池产量的绝大部分都用于交通用途，这一趋势可能在未来几年持续下去。针对不同的交通应用选择电池技术主要考虑的有价格、安全级别和能源以及电力性能。电池的容量和其他技术特性是决定 EV 可用性的关键因素之一。

随着时间的推移，电池的能量密度——即单位体积内存储在给定系统或空间区域内的储能量——已经增加。这种现象部分是由于电池和电池组设计的优化（例如，通过改变电池形状优化温度耗散），但主要因素是电池中用作电极的材料性质。

锂离子是当今最普遍的技术，与亚化学物质无关。它既适合交通应用，也适合电网应用，而且还越来越有经济效益。目前在锂离子电池中使用的电池亚化学物质的种类有限。电池技术的选择要考虑到安全性、成本和性能。

如表 22 所强调，主要是正极技术类型大大提高了电池的能量密度。用于电池正极的关键子技术以 LFP（磷酸铁锂）、NMC（镍钴锰）和 NCA（镍钴铝）为基础。与其他两种材料相比，NCA 虽然具有很高的能量（和功率）密度，但在高温下不稳定，安全性较低。表 23 提供了交通行业中使用最多的两种化学物质

LFP 和 NMC 的详细技术比较。LFP 更安全、更便宜且使用寿命更长，而 NMC 则具有更高的容量和功率。

表 24 对比了锂离子电池在典型的轻型车型中使用的亚化学成分。

电动公共汽车市场由中国主导，其中 75% 的公共汽车电池均由国内生产。最常用的化学物质是 LFP。NMC 电池主要在其他地方生产和使用（Dodgson, 2016）。LFP 是基于安全性、性能和成本考虑的最佳选择。为了 LFP 的利益，甚至有人就出于安全原因，禁止 NMC 在中国的交通应用中使用的问题进行争论（尽管它并没有 NCA 那么危险）（Deutsche Bank, 2016）。然而，其他消息人士提到了针对 EV 使用 NMC 电池的补贴计划（Loveday, 2017）。

能量密度从电池级到电池组级是在下降的。目前安装在汽车上的电池能量密度可以达到 250 Wh/kg，而电池组的能量密度只有 140 Wh/kg（FEV, 2017；TBC, 2017）。安装这种电池的车辆可行驶 400 公里左右，在 30 分钟内可充电 80%（快速充电会加速老化）。2020 年科研项目的目标是使电池的能量密度达到 300 Wh/kg，使电池组的能量密度达到 200 Wh/kg，比如法国项目 Helios（L'Agence nationale de la recherche, 2016）。这种能量密度的提高可使续航里程达到 550 km 左右。

表 22：锂离子电池主要化学成分的比较

	LCO (钴酸锂) */ 石墨	LMO (锰酸锂) **/ 石墨	LFP/ 石墨	NMC (三元材料) / 石墨	NCA (镍钴铝) / 石墨	氧化物正极 材料/LTO (钛酸锂) ***
电池级能量密度 (Wh/kg)	120-190	105-180	80-160	110-220	80-260	80-100
能量密度 (Wh/L)	250-640	250-350	220-320	325-400	210-700	< 170

\*钴酸锂\*\*锂锰氧化物\*\*\*钛酸锂

表 23: LFP 和 NMC 锂离子电池技术的比较

锂离子电池化学物质	LFP	NMC
最大充电率	3C	1-2C
标准充电率	0.5-1C	0.5C
循环寿命	达到 10,000 (100% DoD, 70-80% EoL, 25 °C)	达到 5 000 (80% DoD, 80% EoL, 25 °C)
标准保修	10 年 (100% DoD, 60% EoL) 注意: 未提及充电率	10 年 (100% DoD, 60% EoL) 注意: 未提及充电率
电池级循环效率 (DC)	< 90%	94-99%
优势	与其他锂离子系统相比, 安全性更高。 比 NMC 的使用寿命更长。成本更低。	与 LFP 相比, 容量和功率更高。
主要问题	与 NMC 相比, 能量密度较低。 增加系统大小以达到	与 LFP 相比, 安全性更低。对高温更敏感。比 LFP 的使用寿命更短。

表 24: 就电池类型和容量、续航里程和充电时间等指标对选定的电动汽车进行比较

汽车供应商	BMW	Chevrolet	Mitsubishi	Nissan	Tesla
Model	i3	Chevy Volt	i-Miev	LEAF	Model S
电池化学 物质	LMO/NMC (22 kWh, 204 kg)	LMO/NMC (16 kWh, 181 kg)	NMC (16 kWh, 147 kg)	LMO (30 kWh, 272 kg)	NCA (90 kWh, 540 kg)
里程 (km)	130-160	64	128	250	424
充电时间	230 V AC, 30 A; 充电 4 小时; 50 kW Supercharger; 30 分钟充电 80%	115 V AC, 15 A; 充电 10 小时; 230 V AC, 15 A 充电 4 小时	115 V AC, 15 A; 充电 13 小时; 230 V AC, 15 A 充电 7 小时	230 V AC, 15 A; 充电 8 小时; 230 V AC, 30 A 充电 4 小时	10kW 充电桩 充电 9 小时; 120kW Supercharger; 30 分钟 充电 80%

根据 Battery University, 2018; ENGIE, 2017。

电池容量会随着时间和循环而降低。对于任何交通应用, 当电池容量衰减到初始容量的 70% 时, 电池容量会急剧加速下降, 必须更换电池 (达到其“寿命终点”)。小客车和公共汽车制造商已经相当关注交通用电池的老化问题。如果电池在更平稳的条件下循环 (循环速率/充电速度、温度、放电深度和充电使用状态), 则与其被要求以最大的容量充放电时相比, 寿命会更长。

为达到最长使用寿命并保证安全, 就需要有一个有效的冷却系统来保持电池周围的温度恒定不变。与 LFP 相比, NMC 对温度更为敏感, 在其生命周期内, 温度越高, 其老化速度越快。NMC 对所应用的循环速率也很敏感 (该亚化学物质的标准循环速率较低)。

# 附录 5：建模方法

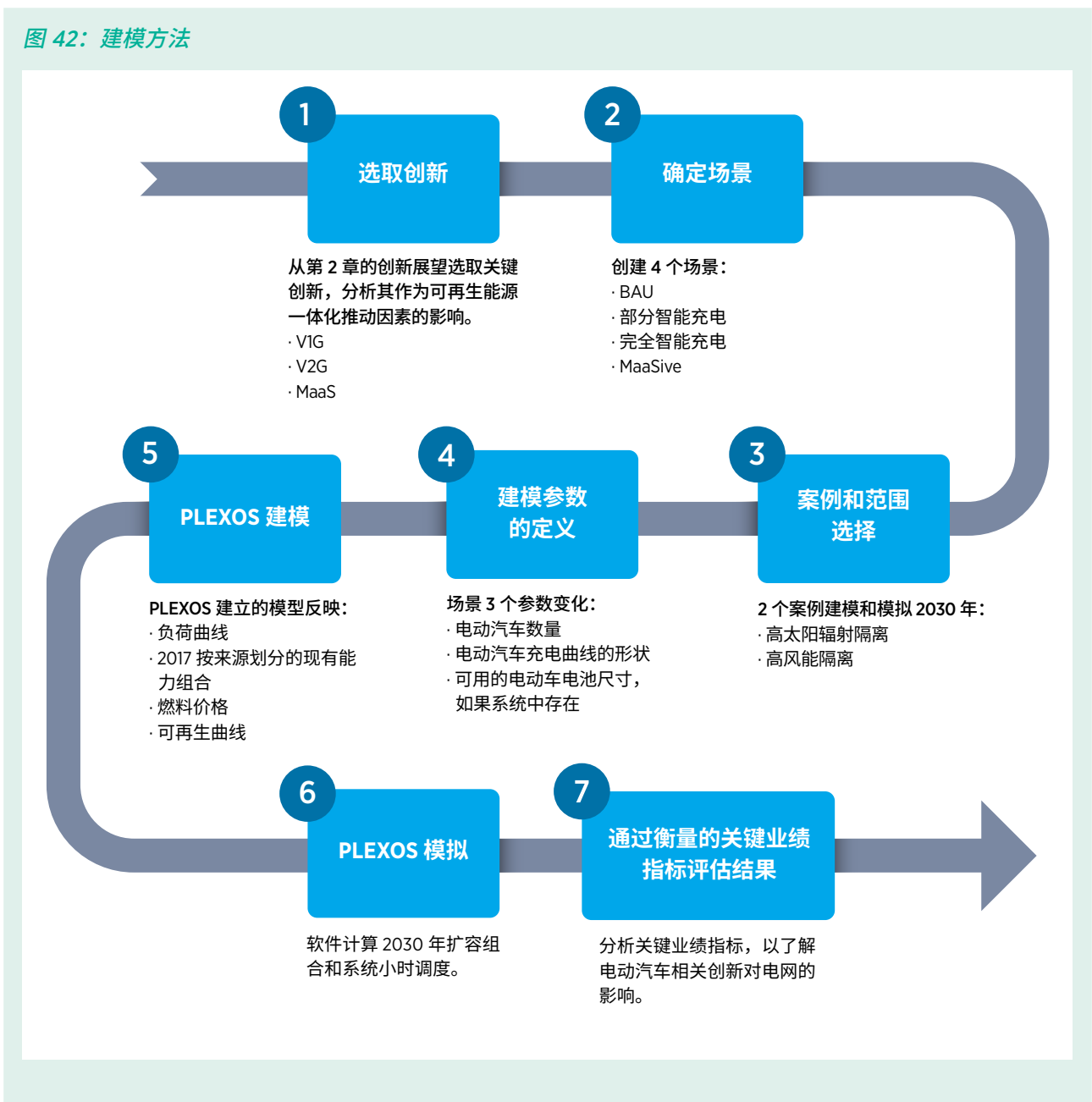
## 建模方法的关键要素

建模的目的是分析在各种情况下将 EV 与高比例可再生能源系统集成影响，这些情况的区别不仅表现在电力和交通行业的发展水平上，而且在电力结构中占

主导地位的可再生能源也各不相同。建模方法在图 42 的七个步骤中进行了说明。

研究选取了两个孤立系统，一个太阳能发电占比高，另一个风能发电占比高。在四种不同的情形下对这

图 42：建模方法



些系统进行了模拟，这四种情形考虑了电力行业（无序充电、V1G 和 V2G 情况）和交通行业（所谓的 MaaS 情况）的不同创新水平。该研究使用了三个关键的 EV 建模参数，以反映针对这些场景采用创新

技术的影响：系统中 EV 的数量、EV 充电负荷模型和可用的 EV 电池尺寸。方框 14 定义了这些情况，并就其如何建模作了详细说明。

### 方框 14：电动汽车在 PLEXOS 中的建模

PLEXOS 中的 EV 模型的变化与上述四种情形中所假定的创新相对应。这些变化反映在以下三种模型参数上：

1. 系统中的 EV 数量
2. 充电所需的 EV 负荷概况
3. 灵活性服务的交通模式和可用电池容量

电力系统的创新——即，V1G 和 V2G，体现在 EV 负荷曲线的形状和利用 EV 电池提供电网灵活性服务的可能性。MaaS 的使用影响了 EV 的数量、交通模式和 EV 电池的可用性。

表 25 总结了 MaaS 中开展的创新的意义，表 43 和表 44 说明了每种情形下一天中如何使用 EV。

表 25：出行即服务中创新的意义

MAAS 创新	
否	是
<p>汽车拥有率和汽车年行驶里程将保持在目前的数值。汽车将会 90% 时间停放，每天仅约一小时处于驾驶模式（Pasaoglu, 等, 2013）。为了反映这一点：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 人均汽车拥有量为 0.4 辆</li> <li>· 汽车每年行驶 20,000 公里</li> <li>· 平均 60% 电动汽车将可用并与电网连接</li> </ul> <p><b>图 43：出行即服务无创新时电动汽车和电网的使用</b></p>	<p>将向汽车共享和自动驾驶车辆转变，私家车将减少。汽车将从更高利用率中受益，从而减少汽车在可用时的闲置时间与电网连接。为了反映这一点：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 人均汽车拥有量为 0.25 辆</li> <li>· 汽车每年行驶 60,000 公里</li> <li>· 平均 20% 电动汽车将可用并与电网连接</li> </ul> <p><b>图 44：出行即服务场景中电动汽车和电网的使用</b></p>

表 26: 全智能充电中创新的意义 (V2G)

V2G 创新	
否	是
电动汽车电池不能连接到电网以提供灵活性服务，即充电以减少可再生电力的削减量，或放电以避免调度成本较高的边际单位和削减峰值负荷。	<p>部分电动车电池可提供联网服务。可用于联网的电池大小取决于系统中是否存在 MaaS。为了反映这一点：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 无 MaaS：60% 电动汽车电池可用</li> <li>· 有 MaaS：20% 电动汽车电池可用</li> </ul>

表 27 中列出用于建模 2030 年系统中电动汽车存在的其他假设。

表 27: 充电电池相关假设 (CEEME, 2017)

**2030 年**

电动汽车在乘用车车队中的普及率	50%
燃油经济性	0.17 kWh/km
电池大小	80 kWh

来源: CEEME, 2017.

出于该目的所选的建模工具是 PLEXOS。这种商用软件可创建一个具有代表性的电力系统，该系统能反映负荷情况、按来源分类的当前容量组合（例如，装机容量和技术与经济参数）、燃油价格和可再生能源情况。EV 模型配有一个额外的 EV 负荷曲线走势，并且将 EV 作为一个单一系统电池来表示为电网提供灵活服务的 EV 电总量。该软件计算出了最小化系统总成本并满足 2030 年需求的最佳容量组合，以及按以小时分辨率表示的技术类型的最优调度。它还计算了系统指标，比如地区电力成本、可用能源、发电量和燃油消耗量。

然后，根据一系列关键性能指标对模拟结果进行评估，从而衡量 V1G、V2G 和 MaaS 对 EV 与高可再生能源系统集成中的作用。该建模研究模拟了 2030 年的结果。有关 2050 年关键性能指标如何变化和解释的定性观点为这一结果提供补充。

最终，为了评估系统创新的使用情况及其对维持关键性能指标（例如，能量削减、年平均电力成本）等的影响，对高比例的太阳能发电系统在一切照旧（BAU）情况下相同容量组合的敏感性进行了模拟。为此，该模型在外部因素的作用下将 2030 年的能量组合维持在先前在 BAU 情况中计算的扩展水平上。

### 模拟案例

所选的地理位置孤立偏远，某种意义上与任何国家或边界制度无关；因此，他们需要凭借自己的发电资源来满足需求。此外，不考虑向邻近系统出口电力，系统产生的电力全部就地消耗。

高比例的太阳能孤立系统反映了在一个接近赤道的位置，太阳能发电占比接近 24%，是该地区年太阳辐照度最高的位置之一。就大型光伏发电厂的土地可用性，以及光伏和建筑屋顶、外墙和窗户的集成而言，在该系统中安装光伏的可能性很大。

风能占比高的孤立系统反映了某地区的发电组合中风能占比 40% 的发电情况。尽管风能发电厂的土地可用性可能成为该系统未来容量投资的限制，但其地理位置受益于重要的风力资源。

除了满足上述定义外，两个研究案例地理位置的具体选择也要以系统建模数据在未来的可用性为基础，主要包括：对未来负荷需求的长远展望、太阳能和风能负荷概况的可用性、对各项技术的技术特性进行预测（例如，CAPEX、OPEX、效率等）和根据现有的发电资产，很好地反映实际电力系统情况。

为了进行建模和技术模拟而选用的工具为 PLEXOS。PLEXOS 用于对所描述的两个案例进行建模，并在给定条件下的四种不同情形中对它们进行模拟。模拟的结果可评估与 EV 相关的关键创新的影响，这些创新会影响可再生能源与电网的集成。

## 在 PLEXOS 中建模

PLEXOS 是一种电力系统模拟工具，可创建集成的能源模型。它使用线性和混合整数规划、优化和随机技术以求解长期扩展和/或短期机组组合模型。为此，建立了两种案例的电力系统模型。这些模型显示了系统在容量组合、需求、可再生能源和燃油方面的当前状态。

模型首先在长期容量扩展和投资计划模式（长期）中进行模拟。为此，模型将考虑系统中现有的装机容量，并计算出满足 2030 年需求且在规划期内最小化系统总成本的净现值的最优投资决策（Energy Exemplar, n.d.）——即同时解决发电和传输容量扩展的问题，以及从长远角度看，解决中央规划的调度为题。模型可在以下技术中进行选择：联合循环燃气

轮机、开式循环燃气轮机、太阳能光伏和风能。根据 2030 年的经济和技术参数对这些技术建模。

一旦知晓能满足 2030 年需求的容量组合，则在机组组合和经济调度模式下对模型进行模拟（短期）。此阶段以小时为单位按时间顺序进行，而且将更好地对系统上的 EV 进行分析。

表 28 总结了用于建模的关键输出数据及其来源清单。

此外，EV 在系统中的状态和集成是凭借两个关键因素在 PLEXOS 中进行模拟的。

1. EV 负荷（MWh）：以曲线走势的形式反映 EV 连接电网充电时将增加到系统的额外电量需求。负荷曲线将受到系统中所使用的智能充电技术、未来的交通趋势和 EV 普及情况的影响。
2. EV 电池（MW + MWh）：体现 EV 在放电或充电时可向电网提供的灵活服务。这被模拟为一个单一系统电池，其中 EV 所有电池容量的大小，未来都可用于电网服务。

EV 负荷在系统最高负荷基础上添加，并集成到由 PLEXOS 求解的供需平衡中。此外，该模型就如何以最优的方式调度 EV 电池进行选择。该模型使用 EV 电池来平衡系统的方式将影响 EV 对电网的影响，并在对其关键性能进行进一步观察。

当模拟完成时，PLEXOS 会提供平衡未来 2030 年负荷所需的最优容量投资决策。与此同时，PLEXOS 还对不同的技术进行调度。鉴于此，为 2030 年提供的主要输出数据为：

- 按来源分类的装机容量（MW）
- 按来源分类的发电量（Mwh）

- 按来源分类的可用能源 (Mwh)
- 按来源分类的装机容量 (terajoule, TJ)
- 每小时的边际电力成本 (EUR/MWh)
- 每小时的调度
- 碳排放 (吨/二氧化碳)

表 29 显示了系统扩展后, 在 BAU 情况下, 太阳能孤立系统和风能孤立系统的最终容量组合。

表 28: 建模所需的输入数据列表和来源

2017 年的现有系统基础设施	
按来源分类的发电容量 (MW)	CEEME, 2017
负荷 (MW) 和年概况	CEEME, 2017
燃油成本 (EUR/GJ)	CEEME, 2017
风能和太阳能的负荷概况	CEEME, 2017
展望 2040	
未来投资的技术 CAPEX 和 OPEX	CEEME, 2017
负荷 (MW) 和年概况	CEEME, 2017
燃油成本 (EUR/GJ)	CEEME, 2017
风能和太阳能的负荷概况	CEEME, 2017

表 29: 长期 BAU 情形下, 两个系统的装机容量

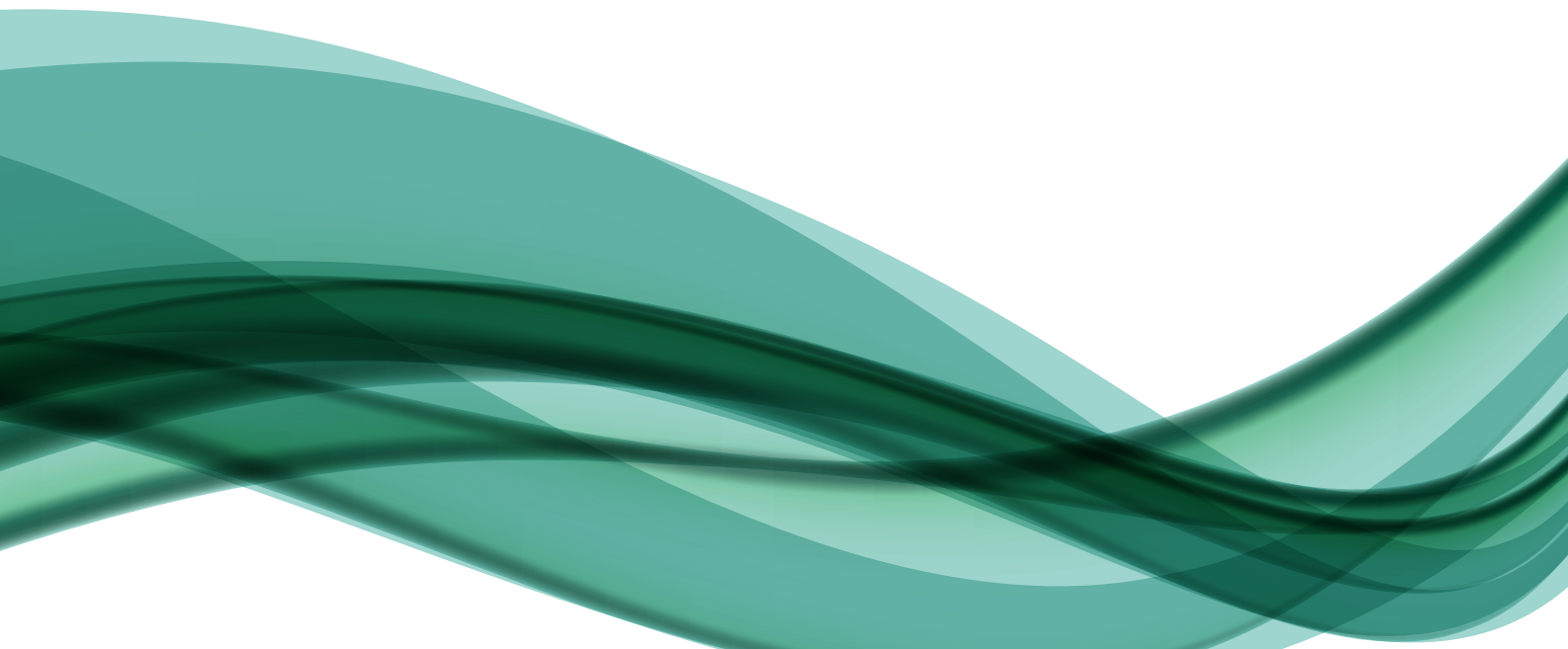
太阳能案例 2030 BAU		风能案例 2030 BAU	
类别	装机容量 (MW)	类别	装机容量 (MW)
新型 CCGT	604	新型 CCGT	500
新型太阳能	336.8	新型 OCGT	1,000
新型风能	31.6	新型太阳能	300
OCGT	238	新型风能	1,800
太阳能	109	CCGT	1,261.4
风能	0.6	OCGT	31.5
地热	5	太阳能	680
内燃	606	风能	297.5
生物质能	60.7	IC	4.26
分布式太阳能	42	生物质能	64.1
		分布式太阳能	329
		热电联供	21.09

## 其他研究案例： 智能充电的影响

表 30：评估电动汽车充电策略的研究示例

报告	电力系统研究	情况	主要问题和关键指标	研究结果
RMI, 2016	所选的美国 5 个州：加利福尼亚、夏威夷、明尼苏达、纽约、德克萨斯	2030 年 EV 市场渗透率为 23%， i) 无序的充电模式， ii) 优化的充电模式	随着 EV 渗透率的提高，峰值负荷也会增加，从而将增加发电量和配电网容量	两种情况下的峰值负荷差异很大。例如，在加利福尼亚： i) 所有 EV 在无序充电模式下的峰值负荷增加 11.14%； ii) 使用智能充电仅将峰值负荷提高 1.33%。智能充电有助于优化电网资源并避免对新峰值发电容量的投资。
Taljegard, 2017	丹麦、德国、挪威、瑞典	2050 年 100% 的 EV 市场渗透率， i) 包括电力道路系统 (ERS)； ii) 包括 ERS 和 V2G	EV 充电与电力系统峰值负荷有关，因此，电源容量的峰值需求和二氧化碳的排放量会有所增加	i) 如果不使用 V2G，ERS 将使斯堪的纳维亚半岛和德国的净峰值曲线提高 20%（从 127 GW 提高到 152 GW），ii) 如果使用 V2G，客运 EV 将使斯堪的纳维亚半岛和德国电力系统的净负荷曲线保持平稳，从而使最大净负荷减少 7%（从 127 GW 下降到 118 GW）。
McKenzie 等, 2016	美国夏威夷欧胡岛	随着美国能源信息署上调了油价，到 2045 年欧胡岛将有 130,000 辆 EV，最终达到 260,000 辆；按照可再生能源的投资组合标准，可再生能源发电量占 23%，太阳能和风能的渗透率非常高	鉴于岛上的可再生能源组合，在没有 EV 的情况下，10% 到 23% 的太阳能和风能组合将需要削减	使用智能充电（即，如果太阳能和风能发电能完全用于 EV 充电），根据充电行为和智能充电的类型，可再生能源的削减量最高可减少 18-45%
Chen and Wu, 2018	中国，广州地区	以广州 100 万辆 EV 夏季日常真实的负荷曲线为基础的案例	EV 充电与电力系统峰值负荷有关，因此，电源容量的峰值需求会有所增加	在无任何充电控制的情况下，100 万辆 EV 会将电网的峰值负荷提高 15%。然而，在没有 V2G 技术的情况下，波动将减少 43%，而在使用 V2G 的情况下，波动将减少 50%。





 [www.irena.org](http://www.irena.org) [www.facebook.com/irena.org](https://www.facebook.com/irena.org) [www.twitter.com/irena](https://www.twitter.com/irena) [www.instagram.com/irenaimages](https://www.instagram.com/irenaimages) **IRENA**  
International Renewable Energy Agency

© IRENA 2019 版权所有