



电力圆桌
POWER SECTOR ROUNDTABLE



专题报告

车网互动先行地区面向电动汽车的需求侧响应机制研究

电力圆桌项目课题组

2024年12月

电力圆桌项目

电力圆桌（全称电力可持续发展高级圆桌会议）项目于 2015 年 9 月启动，旨在紧扣应对气候变化、调整能源结构的国家战略，邀请业内专家和各利益方参与，共同探讨中国电力部门低碳转型的路径和策略。通过建立一个广泛听取各方意见的平台机制，电力圆桌将各方关心的、有争议的、目前决策困难的关键问题提交到平台讨论，选出核心问题委托智库开展高质量研究，并将研究成果和政策建议提交到平台征求意见，从而支持相关政策的制定和落地，推动中国电力行业的改革和可持续发展，提高电力行业节能减排、应对气候变化的能力。

项目课题组



清华四川能源互联网研究院（EIRI）是四川省校合作的第一个科研机构，于 2016 年 3 月正式落户四川天府新区，致力于打造能源互联网领域的人才汇聚平台、科技创新中心、产业发展高地。自成立以来，研究院立足成都、服务四川、连接海内外，面向清洁低碳能源、新型电力系统、能源交叉融合、能源碳中和等前沿技术与关键领域，大力推动学科交叉融合，积极开展产学研协同创新，已发展成为能源互联网领域具有引领作用的技术创新研发机构，为清华大学服务西南地区和天府新区对外开放做出了突出贡献。

感谢自然资源保护协会专家为本报告提供的宝贵建议。

Cover Image @Freepik

所使用的方正字体由方正电子免费公益授权

车网互动先行地区面向电动汽车的 需求侧响应机制研究

**Demand Response Mechanisms for Electric Vehicles
in Pioneering Regions for Vehicle-Grid Integration**

2024 年 12 月

目 录

- 摘要1
- 1. 电动汽车参与需求响应的意义 3
 - 1.1 需求响应的定义与分类3
 - 1.2 新能源汽车规模化发展，充电负荷快速提升 4
 - 1.3 新型电力系统对灵活性资源的需求巨大.....5
 - 1.4 电动汽车作为移动储能的调节潜力7
 - 1.5 车网互动的灵活调节潜力备受关注 8
- 2. 电动汽车参与需求响应的经验分析 10
 - 2.1 支持车网互动的政策环境.....10
 - 2.2 支持车网互动的电价与市场机制..... 14
 - 2.3 车网互动的试点分析 20
- 3. 电动汽车参与需求响应的现状分析 25
 - 3.1 支持车网互动的相关政策..... 25
 - 3.2 电价与市场机制 28
 - 3.3 试点示范32
 - 3.4 国内发展车网互动面临的问题总结及国际经验借鉴 34
- 4. 电动汽车参与需求响应的建议 36
- 参考文献..... 38

摘要

在全球能源转型与交通变革的大背景下，可再生能源的大规模接入电网以及新能源汽车保有量的快速增长，带来了能源供需双侧的新需求与新挑战。能源供应侧需应对可再生能源的间歇性和波动性，需求侧新能源汽车的充电负荷对电网稳定性造成影响，这些发展的制约因素共同促使车网互动成为实现能源高效利用和电力系统平衡的关键路径，亟需推动车网互动的规模化发展。

国外在车网互动需求侧管理领域起步较早，历经长期发展积累了众多成功实践案例。国际车网互动先行地区在明确发展目标、完善立法和监管体系、健全电价与市场机制以及强化试点示范保障等方面形成了较为成熟的经验，为解决我国车网互动发展中的问题提供了宝贵的参考范例。

我国近年来积极出台车网互动支持政策，加大力度支持车网互动产业发展。在政策支持背景下，全国各地已开展多个试点示范，验证了车网互动的可调节潜力。然而车网互动尚未实现规模化应用，在实际推广过程中仍面临诸多制约因素，如电网服务体系有待强化、电价和市场机制有待健全、试点示范保障力度不足等。因此，深入研究国外车网互动成功经验，有助于我国加速推动车网互动的发展进程，支撑新型能源体系和新型电力系统构建。

分类	主要问题	国际可借鉴经验
监管与立法	车网互动的监管体系亟待强化，相关主管部门在车网互动领域的监管权责不够清晰。	美国加州形成了三个部门有序管理的发展格局，澳大利亚也明确了监管部门分工职责。
	缺乏车网互动强制性推广政策，不利于车网互动的发展。	美国和英国已出台 V2X 和智能有序充电的强制性政策，提供立法依据。
	可选的放电车型和设备较少。	构建产业合作体系，加强产业协同，共同推进产业进步。
电网服务	V2G 并网缺乏依据。	制定电动汽车并网流程和要求，出台相应规范。
	居民用户和转供电的表后资源用户无法进入市场交易，缺乏计量依据。	美国加州在推动分表计量规范，英国也在推进表后计量模式，为表后车网互动用户计量创造有利条件。
零售市场	居民分时电价尚未全面覆盖，电价机制不够精细化。	国际上已出台充电独立峰谷电价，同时考虑与新能源出力特点相适配，并逐步往实时方向演进。
	重庆出台的放电上网电价机制仅面向试点车辆，缺乏常态化激励手段。	美国加州和英国积极推动针对车网互动的放电价格机制，为电动汽车提供常态化激励。
批发市场	尽管国家已明确车网互动的市场主体地位，但各省市批发市场规则尚未响应。	美国已出台 FERC 2222 法案，明确了车网互动的主体地位。
	目前聚合交易准入门槛较高，基本都在 1MW 以上。	美国加州独立系统运营商将聚合交易门槛降低至 100kW，着力推动分布式资源参与电力批发市场。
	车网互动资源可参与市场品种较少。	为电动汽车资源提供多元化市场交易机制，如频率响应、平衡机制等。
试点示范	除重庆地区以外，尚未出台放电试点电价；V2X 设备成本较高。	私人 V2X 由于常态化激励和设备成本较高，导致无人参与，需要出台常态化激励和设备补贴政策提高收益。
	电池质保体系缺失，用户对放电存在顾虑。	车网互动可为车主、电网和环境带来有益效果，需进一步挖掘车网互动潜力。

电动汽车参与需求响应的意义

1.1 需求响应的定义与分类

本项目采用国际能源署（International Energy Agency, IEA）给出的广义需求响应概念——通过激励客户在电力供应充足或需求较低的时段调整其用电行为，以平衡电网负荷。从电网角度来看，用户谷充峰放行为可有效缓解电网保供压力和促进低谷用电。因此，本质上电动汽车是通过车网互动（Vehicle Grid Integration, VGI）参与需求响应。

车网互动目前尚无统一的概念，国际上主流的分类方式是根据能量互动流向、控制引导方式的不同对车网互动模式进行划分。根据能量流向的不同，将单向能量互动模式定义为 V1G，将双向能量互动模式定义为车到一切（Vehicle to everything, V2X），包括车辆到电网（Vehicle to grid, V2G）；根据引导控制方式的不同，车网互动可以分为“间接型”和“直控型”两种。具体分类方式如图 1-1 所示。

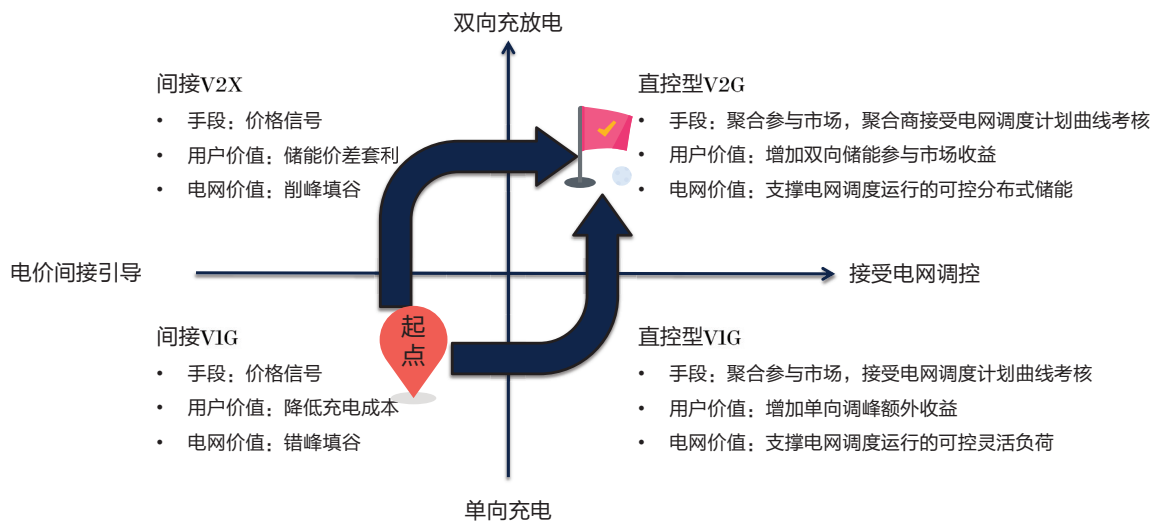


图 1-1 车网互动分类

1.2 新能源汽车规模化发展，充电负荷快速提升

我国新能源汽车保有量持续走高，其中纯电动汽车已成为主流模式，并处于国际领先地位。根据国际能源署数据，中国新能源汽车的保有量已位居全球首位，占比 50% 以上。根据公安部统计数据，截至 2023 年底，全国新能源汽车保有量已达 2041 万辆，占汽车总量的 6.07%，其中纯电动汽车的保有量达到 1552 万辆，占新能源汽车的 76.04%，在我国新能源汽车市场中占据了主导地位。

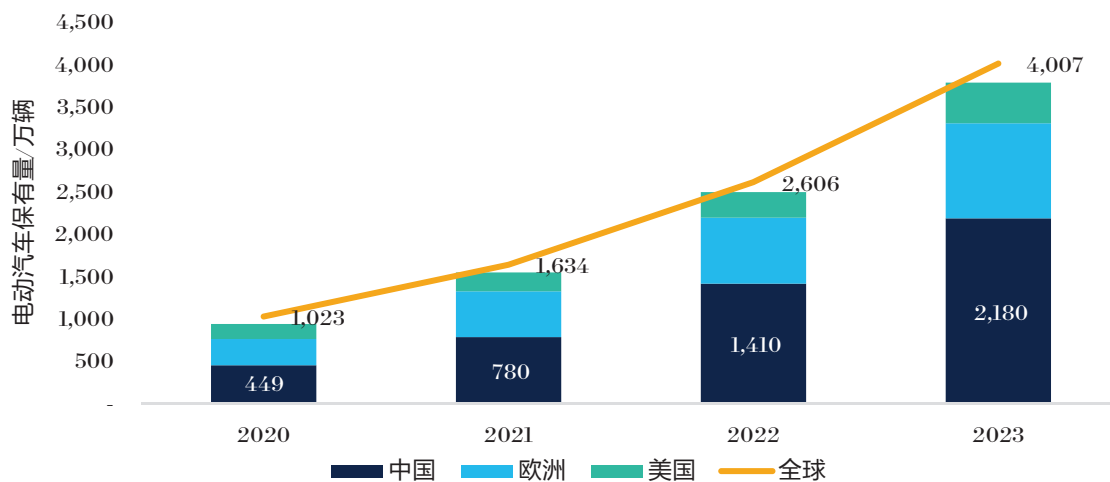


图 1-2 各国 2020-2023 年电动汽车保有量

随着电动汽车保有量的提升，充电电量需求也随之增长。据国际能源署测算，随着中国电动汽车渗透率的不断提升，预计到 2030 年，中国充电需求预计达到 312.6TWh，而《中国电力行业年度发展报告 2024》显示，2030 年中国全社会用电需求将达到 13000TWh，充电量需求约占中国全社会用电需求的 2.4%。

1.3 新型电力系统对灵活性资源的需求巨大

1.3.1 国际需求侧资源发展预测

2023 年加州政府发布的 SB 846 法案明确到 2030 年以前，负荷转移量由 2020 年的 3100-3600MW 提升到 7000MW，其中，经加州能源委员会（California Energy Council, CEC）测算，车网互动资源可提供约 1000MW 的灵活性调节潜力，占总灵活性资源 5100MW 的 19%，占最大负荷比重约 2%。

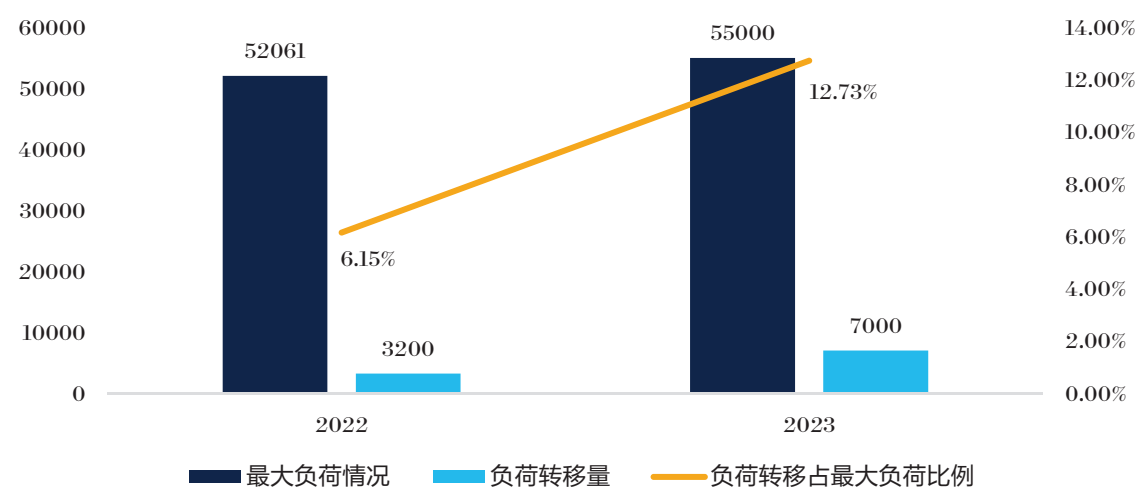


图 1-3 美国加州负荷转移量及占最大负荷的百分比

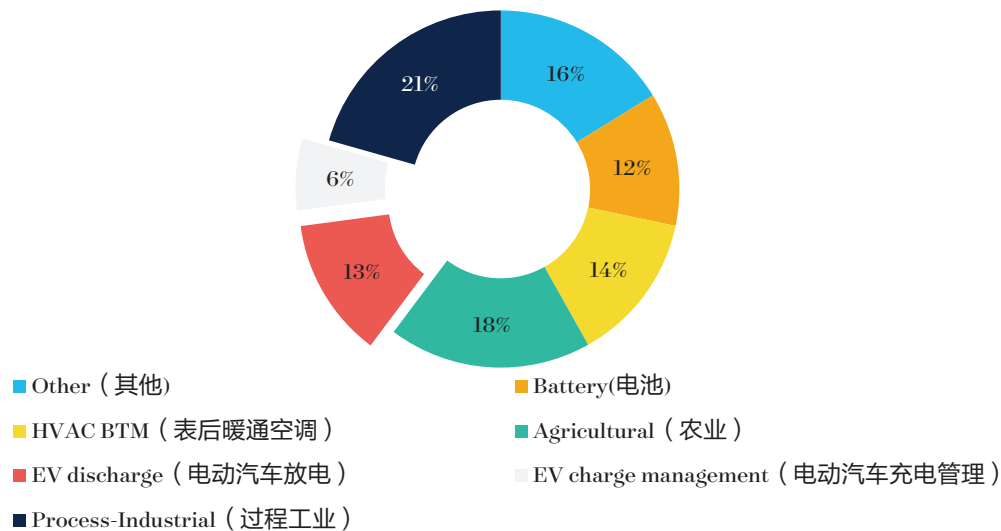


图 1-4 根据用户端和部门划分的负荷可调节潜力

英国国家电网电力系统运营商（Electricity System Operator, ESO）对英国未来能源场景进行了仿真^[1]，概述了从现在到 2050 年的能源路径设计了四个情景，分别为消费转型（Consumer Transformation, CT），系统转型（System Transformation, ST），引领潮流（Leading the Way, LW），稳步推进（Steady Progression, SP）。在四种场景中，引领潮流场景假设政府和企业采取强有力的政策措施，技术进步迅速，社会各界对环境问题高度关注。在此情景下，V2G 被视为未来灵活性资源的重要组成部分，预计到 2050 年 V2G 技术的装机容量将达到 39.1GW，占英国总灵活性资源的 17%。

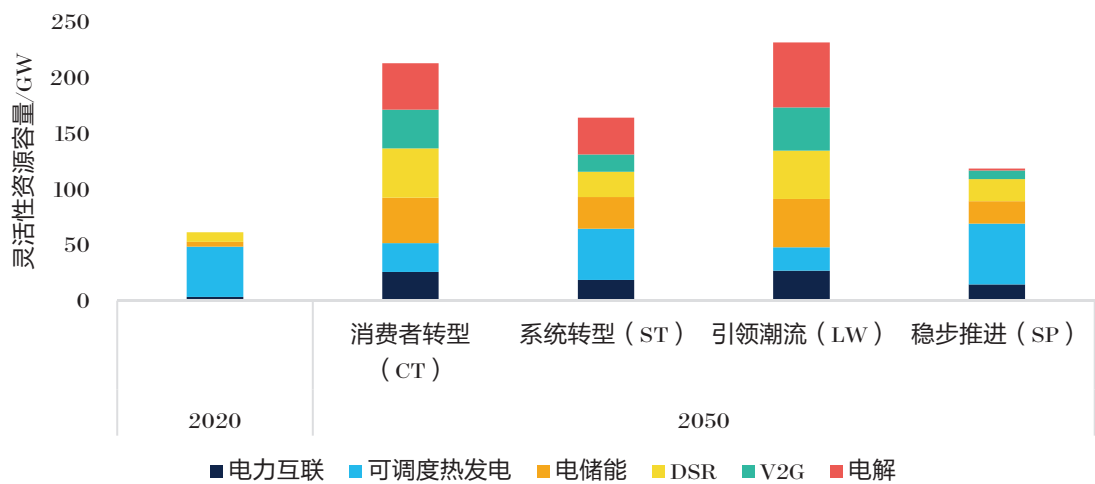


图 1-5 2050 年四种场景的电力系统灵活性来源^[1]

1.3.2 我国需求侧资源发展预测

国内学者对未来我国灵活性资源的需求等开展了优化分析^[2]，如图 1-6 所示。测算结果显示，到 2030 年，需求侧资源的可利用规模预计将达到电力系统最大负荷的 6% 以上，相当于大约 90-100 GW 的灵活性资源规模，约等于数座大型燃煤电厂的总装机容量；到 2060 年，需求侧资源的可利用规模将进一步扩大，其可利用规模将超过最大负荷的 15%，相当于 250-300 GW 的灵活性资源，表明了需求侧资源的巨大潜力。因此，电力系统将依赖于这些需求侧资源，来应对大规模可再生能源接入所带来的挑战。

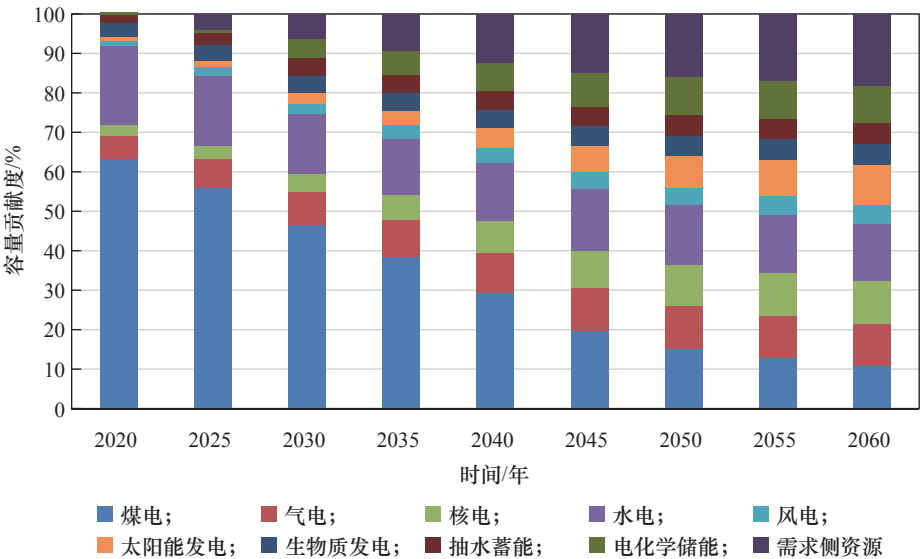


图 1-6 2020—2060 年我国各类电源电力平衡贡献图^[2]

1.4 电动汽车作为移动储能的调节潜力

研究^[3]表明，到 2050 年，全球车载电池技术的总电池容量将达到 32 至 62TWh。只需 12% 至 43% 的电动汽车参与车网互动，即可满足电网调节需求。即电动汽车的储能能力能够在不影响其驾驶需求的情况下，为电网提供灵活的调节资源。

1.5 车网互动的灵活调节潜力备受关注

1.5.1 国际先行地区车网互动政策目标逐步明晰，相关准备工作取得重要进展

一些国家和地区将车网互动作为交通零碳转型的重要组成，初步明确了车网互动目标与路径，以 2025 年作为商业化导入的关键节点。

美国加州提出 2035 年实现所有新销售乘用车和货车全面“零碳化”，2045 年存量中重型商用车实现全面零碳化。为支撑此目标，加州通过立法明确在 2030 年前实现规模化车网互动全面应用。加州各个监管机构围绕车网互动关键环节形成多方协同推动体系，2020 年 6 月完成多部门联合研究并提出推进政策路径建议，计划在 2025 年前基本完成车网互动商业化导入试点和准备工作。

英国明确 2030 年禁售传统轻型燃油车，2035 年禁止销售插电混动轻型汽车，2040 年实现所有新销售中重型商用车全面零碳化^[4]。为支撑交通零碳化目标，英国以车网互动体系建设为抓手，提出“两阶段”推进策略：第一阶段制定智能充电桩强制性法规并于 2022 年 6 月实施；第二阶段在 2025 年前实现车网互动系统解决方案落地实施。

德国 2023 年发布《德国充电基础设施总体规划 II》^[5]，将车网互动纳入规划范畴并提出促进双向充放电落地。德国国家充电基础设施中心制定了双向充放电分阶段实施路线图，提出到 2030 年前实现全场景商业化落地。

澳大利亚国家电网为加速脱碳步伐，着力促进包含车网互动资源在内的分布式能源集成到电网，将车网互动列入近期四大重点目标之一。同时，联合能源市场监管机构、电动汽车委员会、可再生能源署等 8 家单位成立车网互动工作组。

1.5.2 我国车网互动获得政策支持鼓励，但仍需完善目标路径、加快落地实施的准备工作

在双碳目标驱动下，结合电力供需新形势，为保障全社会电力安全平稳供应，我国对电力需求管理提出了新要求。2023 年和 2024 年分别出台文件，要求到 2025 年，各省需求响应能力达到最大用电负荷的 3%—5%；到 2027 年，实现典型地区需求侧响应能力

达到最大用电负荷的 5% 或以上，着力推动具备条件的典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的 10% 左右。

我国首个车网互动顶层设计文件正式发布，并启动车网互动试点申报工作。2023 年，国家发改委出台《关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见》，提出要构建新能源汽车与供电网络的信息流、能量流双向互动体系，可有效发挥动力电池作为可控负荷或移动储能的灵活性调节能力。2024 年，国家发改委等部门联合印发《关于推动车网互动规模化应用试点工作的通知》，正式启动了我国 V2G 试点项目申报工作。

尽管国家层面对需求侧管理和车网互动提出了明确的目标和要求，但在落地层面，技术路径的完善、监管和强制政策的明确、配套电价和市场机制以及试点示范等方面仍有待加强。例如，需要进一步推动跨行业协同技术攻关、构建车网互动标准体系，促进车一桩一网技术产业体系转型升级。同时，也需要探索电动汽车放电上网电价、参与现货市场、绿证交易、碳交易的实施路径，加大力度开展车网互动试点示范，识别车网互动未能实现规模化应用关键瓶颈，提出可行应对策略，激发新能源汽车作为泛在灵活性资源的调节潜力。这些措施的实施，将对推动我国车网互动和电力系统绿色低碳转型起到关键作用。

2 电动汽车参与需求响应的经验分析

2.1 支持车网互动的政策环境

2.1.1 政策背景：交通和电力“零碳”目标

作为全球交通和电力低碳转型先行地区，美国加州、英国、德国、澳大利亚等明确了交通和电力的“零碳”目标，这是其推动车网互动发展的重要政策背景。

美国加州作为全球交通和电力低碳转型先行地区，通过多种立法明确交通和电力“零碳”目标。在电力脱碳方面，2018 年 SB 100 法案^[6]提出到 2030 年实现 60% 的电力来自零碳排放能源，到 2045 年实现 100% 零碳排放电力供应。在交通脱碳方面，2020 年州长令 N-79-20 提出 2035 年新销售乘用车和货车全面“零碳化”，2045 年存量中重型商用车全面零碳化。2022 年发布《需求侧灵活性管理规定（Demand Flexibility Rulemaking）》，将需求响应作为关键资源实现温室气体减排目标。2023 年 SB 846 法案明确到 2030 年负荷转移量提升，经加州能源委员会（California Energy Commission, CEC）测算，车网互动资源占总灵活性资源 19%，约占最大负荷的 2%。

英国是交通和电力低碳转型的代表性国家。电力零碳化方面，2050 年“碳中和”未来能源情景研究提出有望在 2035 年前实现电力零碳化目标。交通零碳化方面，立法明确

2030 年禁售传统轻型燃油车，2035 年禁止销售插电混动轻型汽车，实现轻型车辆全面“零碳化”，2040 年实现所有新销售中重型商用车全面零碳化。经英国国家电网电力系统运营商测算，2050 年 V2G 资源需求高达 32GW，可削减最大负荷的 17%-25%。

德国提出 2035 年 65% 以上碳减排及 2045 年前实现碳中和目标。电力脱碳方面，2030 年可再生能源发电量占比达 80%，2035 年实现 100% 零碳排放电力供应。**交通脱碳方面**，2030 年交通运输部门温室气体排放量比 1990 年减少 48%，且可再生能源占比达 32%^[7]。

澳大利亚积极践行交通和电力低碳转型。电力零碳化方面，国家电价将实现高渗透率的分布式能源列入 2024 年四大重点目标之一，2022-2023 年可再生能源发电量已达总发电量的 35%，朝着 100% 覆盖目标迈进。**交通零碳化方面**，积极推动新能源汽车发展和应用，加大充电基础设施建设投入，减少传统燃油车使用。

2.1.2 立法进展：加大车网互动推动力度

美国加州明确车网互动目标与实施路径。2019 年，加州颁布 SB 676 法案^[8]，提出 2030 年前实现规模化车网互动全面应用，首次立法明确发展目标。2020 年，加州按此要求在电力监管条例中增加车网互动条款^[9]。同时，依据该法案，加州三大监管机构组建车网互动工作组，组织相关方编制了车网互动研究报告^[10]，提出不同阶段的推进策略和建议^[11]。报告中利益相关方多建议 2025 年前基本完成车网互动规模商用准备，2025 年后着重扩大对中重型运营车辆的覆盖以及加强并网与相关技术标准的协同。

英国推动智能有序充电强制性推广“两阶段”策略。英国政府对实现个人智能有序充电规模化应用提出“两阶段”推进策略，具有实操性和借鉴意义。**第一阶段为设备级要求——智能充电桩强制性法规**，2018 年《自动驾驶电动汽车法案》提出智能充电桩条款，2021 年 7 月形成《电动汽车智能充电桩法规》草案^[12-13]，于 2022 年 6 月实施，该草案对智能充电桩提出 10 方面要求，涵盖功能、安全、互操作等，凸显对电网安全重视，适用于 V2X 个人充电桩。第二阶段为监管层面要求——智能充电长期解决方案，英国政府将其作为政策目标，关注智能充电互动途径，提出智能电表方案为首推方案，也提出潜在解决方案，包括智能用电设备标准及其他方案。

德国制定双向充放电分阶段实施路线。德国联邦政府于 2023 年 4 月发布了《德国充电基础设施总体规划 II》，将电动汽车与电网互动纳入范畴，包括并网、标准、连接、双向充放电、典型案例等方面。随后，国家充电基础设施中心咨询委员会为实施《充电基础设施总体规划 II》第 47 号措施(推动无差别的双向充放电)而提出行动建议。行动建议提出，2030 年，所有双向充放电典型案例已具备市场化条件，且用户可实现互操作。

2.1.3 职责分工：构建跨部门协同推进体系

美国加州目前在车网互动方面形成了由监管机构加州公共事业委员会（California Public Utilities Commission, CPUC）牵头，加州能源委员会、加州空气资源委员会（California Air Resources Board, CARB）以及非营利组织加州独立系统运营商（California Independent System Operator, CAISO）多方协同推动的发展格局。

表 2-1 加州主要相关监管机构在推动车网互动政策中的定位

监管机构	责任分工	重点职责
加州公共事业委员会	配电网与电力零售市场环节以及电力公司监管	- 牵头制定车网互动整体策略和行动计划 - 车网互动零售电价改革与“独立子表”计量机制 - 直流与交流 V2G 设备并网管理制度 - 零售市场环节需求响应以及 V2G 上网电力补偿机制 - 用户侧主动负荷控制技术应用与机制设计
加州独立系统运营商	输电网与电力批发市场组织管理	按照 FERC 2222 法案要求，落实分布式资源聚合参与批发市场的规则
加州能源委员会	加州电力需求预测与电力系统规划、充电设施推广与补贴	- 将车网互动相关标准纳入政府充电基础设施补贴和推广计划当中 - 负责车网互动路线图的修订升级 - 明确车网互动在加州零碳电力系统中的定位和价值 - 可要求电动汽车具备双向能力
加州空气资源委员会	零排放车辆积分和车用低碳燃料标准积分与交易机制	将车网互动的减碳价值纳入其低碳燃料标准（Low Carbon Fuel Standard, LCFS）排放积分交易机制。

澳大利亚分布式能源集成计划成立了车网互动工作组，该工作组由九个组织组成，包括澳大利亚可再生能源署、澳大利亚能源市场运营商等。工作组聚焦于电动汽车数据可用性、标准制定、住宅电价和激励措施以及大容量电价和连接这四个领域。

2.1.4 电网服务：强化电网保障服务体系

(1) 设备并网是规模化车网互动面临的一个关键问题

加州积极开展 V2G 设备并网工作。加州早在 2017 年就启动了分布式能源并网规定 Rule 21 的修订工作^[14]。2020 年 9 月，加州公共事业委员会发布了决议 20-09-35，明确了 V2G 设施并网管理的基本原则^[15]。2021 年 11 月，加州公共事业委员会通过了 E-5165 号行政决议^[16]，明确直流 V2G 并网按照 Rule 21 规定执行，交流 V2G 通过额外加装可编程保护开关作为临时性并网措施以满足 Rule 21 相关要求。Rule 21 对 V2G 并网要求在功能和安全方面以 IEEE 1547 标准为基础，通信标准则以 2030.5 作为首选方案，开展了全面规范工作。

英国行业组织能源网络协会（Energy Networks Association, ENA）针对电动汽车、热泵这两类可调节低碳技术负荷单独制定了并网流程和要求^[17]，对于单向充电桩设备和热泵设备采取了数据库备案管理机制；对于 V2G 设备采取了型式试验注册清单管理机制，满足分布式能源并网要求（G98 和 G99）的 V2G 设备需要在 ENA 上进行型式试验注册^[18]。该协会还为大规模电动汽车车队提供了多种连接方式，包括优化连接、负载管理、智能充电、分时段柔性并网、自发自用 + 储能以及改变变电站等多种连接方式。

(2) 可信计量是实现车网规模化应用的另一基础前提

美国加州加快分表计量规范进程。2022 年 8 月，加州公共事业委员会通过 D.22-08-024 决定，批准了美国首个电动汽车分表计量规范，该规范要求加州电力公司允许电动汽车及充电设施用户使用新型分表进行单独计量，无需购买相对昂贵的传统电表，为表后充电设施用户参与车网互动创造了有利条件^[19]，可有效提升用户车网互动收益，扩大参与用户规模。

英国政府正在积极推进智能电表功能延伸、用户表后计量等创新模式。英国政府 2020 年推出了智能电表系统的比例负荷控制功能要求，实现了智能电表系统对于表后

部分用户负荷的高精度计量与控制，为支撑车网互动应用创新提供了计量与控制方案支撑。2021 年 2 月，英国电力监管机构天然气与电力市场办公室（The Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem）批准了“用户产权分界点的表后计量”条款 P375^[20]，允许英国电力市场结算机构 Elexon 利用用户表后计量数据参与市场结算，并制定了对应的 COP 11 规范。

2.1.5 产业协同：加强政府与企业的合作

加州政府积极推动与美国联邦政府在 V2X 方面的合作，2022 年联合美国能源部及产业链上下游多家企业签署 V2X 合作备忘录，推动构建美国国家层面的 V2X 合作平台。该平台由美国能源部牵头组织，发动 17 个国家实验室全面参与 V2X 相关技术研发等工作，提出完成美国 V2X 发展路线图制定等任务。加州政府和加州三大电力公司深度参与该计划，有望为加州 V2X 工作争取更多联邦政府支持，并将 V2X 推广至美国其他地区。

在英国政府要求下，英国产业界于 2018 年成立了一个跨行业的联合工作组（EV Energy Taskforce, EVET），该联合工作组由来自能源、基础设施、汽车和交通行业的 350 多家英国头部企业和机构组成，旨在汇集汽车和能源行业向政府和行业提出建议，确保英国能源系统能够加速电动汽车的大规模普及，同时给电力系统带来收益。该联合工作组按照三个阶段配合政府推进智能充电相关信息安全以及互操作性方面的解决方案。

2.2 支持车网互动的电价与市场机制

2.2.1 零售市场

(1) 国际先行地区已出台充电独立峰谷分时电价

目前加州 SCE、SDG&E 和 PG&E 三大电力公司为居民用户制定独立电动汽车充电峰谷零售电价。居民电价方面，PG&E 为居民用户提供统一结算 EV2-A 和独立结算 EV2-B 两种分时电价，统一结算为住宅负荷整体结算，独立结算专为有单独电表需求客户设计，因申请独立电表有额外成本致 EV-B 用户占比不高，但 EV2-A 用户低谷电比例约 60%，EV-B 用户超 80%。在工商业峰谷充电电价方面，PG&E 为非居民用户提供 BEV-1 和

BEV-2 两部制电价机制，收取需量电费和设定分时电价，这两类电价用户低谷充电比例分别为 69% 和 66%。

英国六大能源供应商为电动汽车用户制定了绿电消纳套餐。英国头部能源供应公司通过在市场“低买高卖”套利或促进自建的可再生能源发电机组消纳，为电动汽车车主制定了促进绿电消纳的灵活套餐，如下表所示。

表 2-2 英国能源供应公司的电动汽车电价套餐

能源供应公司	电价套餐	概述
E.ON Next	Drive	夜间低谷电价，100% 绿电
Octopus Energy	Intelligent Octopus Go, Octopus Go	提供夜间绿电低谷充电电价，采用智能充电时电价更低
Ovo Energy	Drive Anytime	用户通过软件选择充电时间，OVO 为其优化充电电价
EDF Energy	GoElectric Overnight, EDF EVolve	提供夜间低谷充电电价（核电兜底）
	Exclusive Pod Point charger customer tariff	仅供 Pod Point EV 家用充电器客户使用； 夜间低谷充电电价（核电兜底），三个套餐中最低。

澳大利亚已具备健全的电力交易平台和价格形成机制，有利于能源供应公司实现峰谷套利。为充分利用午间丰富太阳能资源和夜间相对较低的电力需求产生的剩余发电能力，多家能源供应商为电动汽车提供午间和夜间低价充电服务，引导电动汽车车主在电力供应相对充足的时段进行充电，从而实现削峰填谷，提高电力系统的利用效率。

表 2-3 澳大利亚能源供应公司的电动汽车电价套餐

能源供应商	电价套餐	概述
Red Energy	Red EV Saver	提出“可再生匹配承诺”，保证用户购买的电力为可再生能源电力。在每周六和周日中午 12 点至下午 2 点期间免收电费。
OVO Energy	The EV Plan	每天上午 11 点到下午 2 点的免费绿电用电服务，和午夜到早上 6 点的便宜用电服务。

能源供应商	电价套餐	概述
ENGIE Energy	Night Saver Plan	电动汽车车主可以在凌晨 12 点至早上 6 点之间获得 6C/kWh 的低谷折扣，且没有锁定合同或退出费用。
Powershop	Power Drive Plans	为电动汽车用户提供了夜间四小时时段和午间两小时的便宜用电服务，但要求客户必须拥有智能电表并转为分时电价。
Momentum Energy	EV Does It	无合同计划，提供太阳能上网电价，帮助装有光伏的用户优化充电计划。

(2) 车网互动配套零售电价逐步往实时方向演进

美国加州构建了发电部分价格的实时价格计算方法。实时发电成本定价主要包括边际能量成本（Marginal Energy Cost, MEC）、偏差成本分摊（Revenue Neutral Adder,RNA）、以及边际发电容量成本（Marginal Generation Capacity Cost, MGCC）三部分，其中边际发电容量成本是变化最大部分。边际发电容量成本反映了与边际负荷峰值需求相关的发电容量成本变化。加州公共事业委员会评估认为，引入边际发电容量成本可在电网紧张时段显著放大价格信号，并通过引入价格封顶机制以避免价格过度上涨；同时该机制还可以在净负荷较低时避免出现负电价，降低不同年份电力企业收入的波动性和不平衡比例。

英国电力监管机构天然气与电力市场办公室正在大力推动的**全市场半小时结算机制**（Market-wide Half-Hourly Settlement, MHHS）改革。可利用电动汽车建立灵活资源，更容易传导价格机制，比如分时电价、第三方管理等。

德国电价组成结构包含基本电费、可变能源价格及税费等，其中可变能源价格受电力市场价格波动影响。为了更好地应对能源价格波动，德国约 20 家能源供应商为电动汽车车主推出了**动态电价套餐**，使车主从电力现货市场价格波动中受益，同时也对电力市场的优化和可再生能源的消纳起到了积极作用。

(3) 国际先行地区正着力推动 V2G 放电价格机制

美国加州着力推动放电补偿机制。加州跨部门成立的车网互动工作组，在 2020 年建议将车网互动放电补偿纳入加州普遍使用的净电量计量（Net Energy Metering, NEM）的零售价格机制，加州公共事业委员会也将放电价格补偿机制作为车网互动战略的近期优先重点任务之一。加州公共事业委员会在 2022 年 8 月正式发布决议明确将开展基于边际发电容量成本计算方法的放电补偿价格机制研究，并在 2022 年 10 月批准 PG&E 结合电动商用车实时电价试点制定美国首个 V2G 放电价格。

拥有约五分之一电动汽车用户的英国能源供应公司 Octopus Energy 推出英国首个 V2G 电价——“Octopus Power Pack”。该能源计划提供免费的电动汽车充电，以换取能源供应商使用电动汽车的电池并放电到电网。放电电价准入门槛涉及设备、标准和充电行为等规定。设备上，需兼容特定 V2G 充电设备以及三款特定电动汽车；并网方面，用户要联系所在地区配电网运营商获取将能源出口到当地配电网的许可；充电行为方面，用户应每隔几天插枪约 12 小时且每月充电少于 333kWh。电价方面，Octopus Energy 自动管理用户充放电并提供免费充电，经测算，V2G 车主每年通常可节省 880 英镑的充电费用。

2.2.2 批发市场

(1) 美国加州通过立法推动分布式能源全面参与批发市场

因现有区域输电组织 (Regional Transmission Organization, RTO) 市场规则不适用于小型分布式资源，美国联邦能源监管委员会 (Federal Energy Regulatory Commission, FERC) 2020 年出台 2222 命令要求独立系统运营商 (ISO) 和区域输电组织制定配套合规文件推动分布式能源参与批发市场。随后加州独立系统运营商于 2021 年 7 月提交配套合规方案，方案于 2023 年 5 月获批准，最晚于 2024 年 11 月正式生效。合规方案的具体要点如表 2-4 所示。

表 2-4 加州独立系统运营商合规方案中关于分布式资源聚合商的要点

关键因素	规则要点
规模范围	一个分布式资源聚合商（Distributed Energy Resources, DERA）单元应在 100kW-20MW 之间。
分布要求	一个 DERA 单元必须位于同一“子负荷聚合点（sub-LAP）”，需明确在各个价格节点（P-Node）的分布因数。
交易模型	同时支持“能量注入型”和“需求削减型”两类分布式能源。
计划申报	DERA 的报价必须通过净收益测试。
出清结算	支持“功率注入型”和“需求削减型”两类分布式能源的独立出清结算。
双重计算	明确参与批发市场的 DERA 资源不能从零售市场获得“双重补偿”。
计量和通信要求	构成 DERA 的每个分布式资源必须具备直接计量条件；大于 10MW、以及参与辅助服务的 DERA 需接入调度机构的 EMS 系统。
配网公司审查	DERA 的并网管理和资源合规性审查（如是否参与多重市场）由配网公司负责，配网公司应与 CAISO 建立信息共享机制。

（2）英国平衡机制为车网互动聚合商参与市场提供可行路径

平衡机制是目前英国最大的灵活性资源市场，通过 2019 年 P344 条款“扩大电力市场参与”和 2021 年发布的 P375 条款“用户产权分界点的表后计量”，为车网互动聚合商参与英国电力批发市场的平衡机制交易奠定了基础，预计 V2G 通过聚合将从 2022 年 6 月开始参与平衡机制交易。

电动汽车可聚合参与的英国电力批发市场如下表所示，其中备用对实时调控能力要求较高。

表 2-5 英国聚合参与批发市场情况

市场类型	市场名称	响应时长	交付时长	最小容量要求	交易方式	计量要求
备用	平衡机制	取决于动态参数	15min	1MW	提前 60min	有功功率测量要求在 1Hz，精度为 $\pm 1\%$ 。
	短期运行备用	20min	120min	3MW	日前交易	与平衡机制 (Balancing Mechanism, BM) 的 BM 单位 (Balancing Mechanism Units, BMUs) 相同。对于非 BMU，需要每 15 秒测量一次 (可以包括每分钟重复读取一次)。
	快速备用	2min	15min	25MW	可选择实时	与 BMU 的 BM 相同。对于非 BMU，需要每 15 秒测量一次
	超快速备用	1min	15min	1MW	日内 14:30	待定
	慢备用	15min	120min	1MW	日内 14:30	待定
	平衡备用	2min	待定	待定	待定	待定
灵活性	灵活性服务需求	最少 7.5h	30min	1MW	日前 -16:30	有功 - 半小时节点或资产计量
	区域约束市场	最少 4h	最少 12h	1MW	日前 (21:00) 或日内 (13:00)	有功 - 半小时计量

2.3 车网互动的试点分析

2.3.1 智能有序充电用户参与意愿较强，可有效促进可再生能源消纳和延缓配网投资

美国加州、英国等地区电动汽车参与需求响应的试点参与情况如下表所示。

表 2-6 国际智能有序充电试点情况

试点项目名称	地区	应用场景	项目目的	项目概述
Charge Ready DR Pilot	US	商业和多户住宅客户	协助部署充电设施，但要求采用分时电价和参与需求响应计划	站点数量：60 个。 支持的充电站（端口）：已安装或正在建设的充电站端口数量为 1000 个，预计端口数量为 1250 个。 平均每个端口成本：2014 年时的平均成本为 13000 美元
BMW Charge Forward Phase I	US	BMW i3 车主（家庭充电）	用户参与意愿、可调节潜力分析	规模：100 辆 BMW i3，以及二次电池包，目标是提供 100kW 的调节能力。 时长：2015 年 7 月至 2016 年 12 月共 18 个月 结果：发起 209 次需求响应，总计 19,500kWh，大约 80% 的电池参与，20% 的车辆参与
BMW Charge Forward Phase II	US	家庭充电和旅途充电，可在工作场所充电	用户参与意愿、可调节潜力分析，可再生能源消纳，延迟配网投资	规模：超过 400 名 BMW 车主，包括 39%BEV 和 16%PHEV，44% 增程式，42% 拥有屋顶太阳能 时间：2016 结果：平均每台车消纳 1200kWh 绿电，以家庭充电为主
BMW ChargeForward Phase III	US	家庭充电	用户参与意愿、可调节潜力分析，可再生能源消纳	规模：3000 台 BMW，包括 BEV 和 PHEV 目标是每台车要消纳 1200kWh 绿电

试点项目名称	地区	应用场景	项目目的	项目概述
the Domestic Scarcity Reserve Trial	UK	家庭充电	用户参与意愿、可调节潜力分析	规模：面向 Octopus Energy 的 140 万智能电表客户，超过 105,300 户家庭注册，33% 的用户参与 累计降低了 197MWh，平均每次活动降低 12.3MW 负荷 每次每户平均降低 0.79kWh 智能电价和 0.46kWh 固定电价，平均需求降低成本 227 英镑 / MWh
Flexibly-Responsive Energy Delivery	UK	私人车主	用户参与意愿、可调节潜力分析	招募了 250 名电动汽车车主，通过使用 zappi 充电点和 Virtual Power Plant 软件，体验智能充电。

以宝马汽车智能充电项目 ChargeForward 第二阶段试点为例，2017 年至 2020 年，宝马以扩展和测试新的智能充电功能为目标，开展了第二阶段试点工作。超过 400 名宝马车主参与试点，主要面向家庭充电和旅途充电，也可在工作场所充电。

对用户来说，智能充电收益可观，体验良好。用户可获得 300 美元的参与奖励以及最高 900 美元的额外响应奖励。体验方面，87% 的用户每周至少在家插枪一次，50% 用户可在工作场所充电，61% 用户每天用车超过 45 分钟，预计每年收益为 325 美元。

对电网来看，智能充电有助于绿电消纳和延缓配网投资。平均每台车消纳 1200kWh 绿电，以家庭充电为主，可削减 83% 的高峰负荷。此外，每个站点通过智能充电一年可创造约 70 美元的配网延迟投资价值，21 个站点的配网延迟投资价值上限为 450 美元。

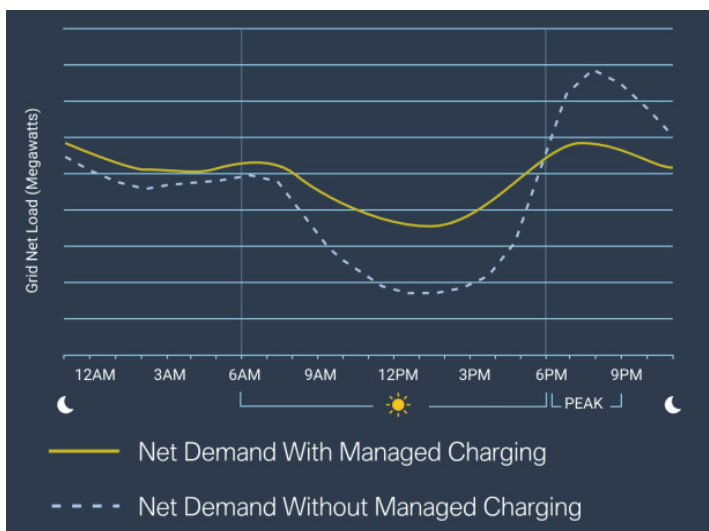


图 2-1 采用智能充电前后的负荷曲线对比

2.3.2 全球正在开展 V2G 技术验证和小规模试点

据 V2G-Hub 显示，目前已有 131 个 V2G 案例，其中欧洲 88 项、美国 23 项、亚洲 13 项。其试点内容包括时间平移（削峰填谷）、调频、配网阻塞管理、应急备用、峰谷套利、旋转备用等。

美国加州启动全球规模最大的 V2X 试点项目，包括私人、商业和微电网三种场景。其中私人 V2X 场景由于缺乏稳定预期，经济性较差导致参与率不理想。PG&E 居民用户参与 V2X 试点有车型、充电设备、电价套餐、参与资格、互联规则等要求。车主必须选择特定车型及与之配对的充电设备，须参与特定计划和分时电价套餐，且私人车主只能参与备用电源，不能上网放电；互联要求依据加州互联规范前面 2.1.4 所述的 Rule 21 的要求实现互连。成本和收益方面，用户联网需缴纳费用，收益主要来自试点激励和参与加州紧急负荷削减计划（Emergency Load Reduction Program, ELRP）等所得，整体收益不足以覆盖成本，对用户吸引力不足，目前尚无居民用户参与该计划。

校车 V2X 场景已取得实质性进展。加州奥克兰学区是美国首个采用 V2G 技术并实现校车全面电动化的学区。学生交通服务平台 Zum 为该学区提供由 74 辆电动校车和双向充电设备组成的车队，电力公司 PG&E 为其充放电设施提供 2.7MW 负荷，车队由 Zum 的 AI 支持技术平台管理。该车队的 V2G 试点成效显著，实现零排放且作为虚拟发电厂

每年向电网返回 2.1GWh 能源, 对社区碳减排意义重大, 有望降低 25000 吨温室气体排放。Zum 设定了实现 10000 辆双向校车电气化的目标, 计划在未来几年内在全国范围内部署 100% 电动车队。

2.3.3 总结

国际车网互动发展在监管与立法、电网服务、零售和批发市场以及试点示范方面取得一定成效, 结合我国国情特点, 可为我国提供经验借鉴。

表 2-7 国际车网互动成效以及适应性分析

分类	成效	是否适应我国发展
监管与立法	美国加州和澳大利亚通过立法等手段明确了各部门的职责分工。	我国更多以政策为导向, 且各省市部门职责分工存在差异, 需要结合实际情况出台相应政策。
	美国加州和英国已出台 V2X 和智能有序充电的强制性政策, 提供立法依据。	上海已出台智能有序充电强制性推广政策, 可作为其他地区的参考借鉴。
	构建产业合作体系, 加强产业协同, 共同推进产业进步。	国内已有企业形成产业联盟的先例, 为产业协同提供经验借鉴。
电网服务	制定电动汽车并网流程和要求, 出台相应规范。	已有政策明确要强化电网企业支撑服务能力, 在政策支持下, 由电网企业出台并网服务体系可行且易操作。
	美国加州在推动分表计量规范, 英国也在推进表后计量模式, 为表后车网互动用户计量创造有利条件。	分表计量机制有望解决我国表后资源计量依据不足问题, 但需要结合我国的实际情况进行深入研究和改进。
零售市场	国际上已出台充电独立峰谷电价, 同时考虑与新能源出力特点相适配, 并逐步往实时方向演进。	短期内充电独立峰谷电价可为我国峰谷电价覆盖提供借鉴; 考虑到电力市场尚未完善, 应将实时电价作为中远期目标。
	美国加州和英国积极推动针对车网互动的放电价格机制, 为电动汽车提供常态化激励。	已有政策明确完善车网互动电价机制, 为放电价格机制出台提供政策依据。

分类	成效	是否适应我国发展
批发市场	美国已出台 FERC 2222 法案，明确了车网互动的主体地位。	已出台国家层面的市场规则，明确了车网互动的市场地位，为各省市提供依据。
	美国加州独立系统运营商将聚合交易门槛降低至 100kW，着力推动分布式资源参与电力批发市场。	我国各省市资源禀赋和电力市场建设与美国加州存在差异，各地需要评估实际情况后考虑是否采纳。
	为电动汽车资源提供多元化市场交易机制，如频率响应、平衡机制等。	我国车网互动顶层设计政策提出，要丰富交易品种，提供政策遵循。但考虑到各省市电力市场建设进展差异，需要根据实际情况丰富完善。
试点示范	私人 V2X 由于常态化激励和设备成本较高，导致无人参与，缺乏常态化激励和设备补贴政策。	近年来，我国已陆续出台政策，明确要推进电价与市场机制建设，对车网互动试点示范项目加大资金支持，为相应政策出台提供依据。

3 电动汽车参与需求响应的现状分析

随着电动汽车的快速发展，车网互动成为能源领域的重要研究方向。本章将对国内车网互动在配套政策、技术标准、电价与市场机制以及试点示范等方面的现状进行分析，旨在全面了解国内车网互动的发展现状和存在问题，并通过借鉴国际经验为未来的发展提供参考依据。

3.1 支持车网互动的相关政策

3.1.1 中央政策高度重视车网互动资源

近年来，中央政府在车网互动领域给予高度重视并积极推动，出台了一系列相关的政策机制，为车网互动提供了有力的遵循准则，推动车网互动在我国的健康、有序发展。

表 3-1 国内近期车网互动政策文件

发布时间	发布机构	政策名称	政策要点概述
2023 年 5 月	国务院常务会议	关于加快推进充电基础设施建设 更好支持新能源汽车下乡和乡村振兴的实施意见	提出要构建“车能路云”融合发展的产业生态，这进一步证实了车网互动作为新能源汽车产业发展的一个重要方面
2023 年 6 月	国务院办公厅	国务院办公厅关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见	提升车网双向互动能力。推广应用智能充电基础设施和推动配电网智能化改造，加强电动汽车与电网能量互动，推动相关试点示范等。
2023 年 12 月	发改委、能源局等 4 部委	关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见	明确车网互动 2025 年和 2030 年发展目标以及 6 项重点任务，明确启动规模化示范工作。
2024 年 8 月	国家发展改革委办公厅国家能源局综合司工业和信息化部办公厅市场监管总局办公厅	关于推动车网互动规模化应用试点工作的通知	正式启动了我国 V2G 试点项目申报工作。 要求各地 10 月 31 日前完成申报，首次提出单个项目不少于 500kW，年放电量不少于 10 万 kWh 的常态化运行要求。

3.1.2 地方积极响应车网互动政策

北京、上海、深圳等城市陆续出台了一系列相关政策推动车网互动的发展，包括对智能有序充电桩和 V2G 桩的补贴政策，激励充电桩企业和相关市场主体积极投入智能有序充电桩和 V2G 桩的建设与推广。同时，还出台了智能有序强制性政策，对充电桩的使用和充电行为进行规范和约束，避免无序充电对电网造成冲击和不良影响，从而保障车网互动的高效、稳定运行。

表 3-2 地方车网互动政策文件

发布类型	发布地区	发布时间	政策名称	要点
强制政策	上海	2020-03	《上海市促进电动汽车充（换）电设施互联互通有序发展暂行办法》	要求车企随车的充电桩必须智能化
		2021-07	《关于进一步落实本市新增充电设施智能化技术要求的通知》	明确要求经销商应向购车者提供智能有序充电管理服务
		2021-08	居民智能有序充电强制政策	全市或局部小区供电出现紧张时，平台企业应按电网企业要求，进行有序充电管理。
补贴政策	上海	2022-09	《上海市鼓励电动汽车充换电设施发展扶持办法》	进行智能化改造，给予充电设备 300 元 / 桩的财政资金补贴
	深圳	2024-06	《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》	为 V2G 充电桩提供补贴，单个项目最高不超过 1500 万元支持
	北京	2023-10	《关于促进新能源汽车充电服务水平提升的工作措施》	将对符合条件的充放电设施和试点示范应用给予资金支持。
顶层设计	安徽	2024-05	《关于支持新能源汽车与电网融合互动工作方案的通知》	推动新能源汽车与电网之间的高效融合互动，包括智能有序充电、双向充放电等技术的应用，并探索建立新能源汽车与充换电场站对电网放电的价格机制，以实现到 2025 年多项车网互动技术标准形成、充电峰谷电价机制全面实施，并持续优化市场机制建设，力争为电力系统提供 10 万千瓦级的双向灵活调节能力。

3.2 电价与市场机制

车网互动已在充电峰谷电价、需求响应和调峰辅助服务取得积极成效，并实现常态化运营，其他类型市场交易仍处于小范围探索阶段。

3.2.1 零售市场

目前国内电动汽车参与零售市场主要以峰谷分时电价形式开展，部分省份也开展了以价格引导为主的需求响应试点。

- (1) 公共和专用充换电场站已实现峰谷电价全面覆盖，部分地区居民充电电价仍有提升空间

除部分转供电用户外，目前公共与专用充换电场站已基本实现了峰谷电价覆盖。

2021 年 7 月，国家发展改革委印发了《关于进一步完善分时电价机制的通知》，要求各地进一步完善分时电价机制，更好地引导用户削峰填谷，最大系统峰谷差率超过 40% 的地方，峰谷电价价差原则上不低于 4:1，其他地方原则上不低于 3:1；建立尖峰电价机制，尖峰电价在峰段电价基础上进一步上浮 20% 以上。

目前，对于公共与专用充换电场站等经营性集中式充换电设施，实行优惠电价政策，执行大工业电价免收基本电费，除了部分转供电用户外，基本实现了峰谷电价机制的覆盖。

部分省份居民充电也实施了峰谷电价，但在覆盖范围和价差幅度方面还存在较大的提升空间。

截至 2024 年 6 月，全国有 23 个省份出台了居民充电峰谷电价，允许用户自行选择是否执行峰谷电价。各地峰谷价差相差比较大，大部分省市的价差低于 0.5 元 /kWh，仅广东、海南两地的价差在 0.8 元 /kWh 左右。

表 3-3 居民充电峰谷电价

省 / 市	尖峰 (元 / 度)	高峰 (元 / 度)	平段 (元 / 度)	低谷 (元 / 度)	峰谷价差
甘肃		0.759	0.51	0.261	0.498
安徽		0.6153	/	0.3353	0.28
重庆		0.62	0.52	0.34	0.28
福建		0.563	0.533	0.333	0.23
湖南		0.704	0.604	0.504	0.2
江苏		0.5583	/	0.3583	0.2
河北		0.57	0.5362	0.31	0.26
湖北	0.78	0.68	0.58	0.43	0.25
江西		0.65	0.62	0.5	0.15
黑龙江	0.9234	0.7695	0.513	0.2565	0.513
吉林		0.6924	/	0.3924	0.25
河南		0.598	/	0.448	0.15
冀北		0.57	0.5362	0.31	0.26
内蒙		0.695288	0.465	0.234713	0.460575
陕西 (不含榆林地区)		0.5609	/	0.3109	0.25
陕西 (榆林地区)		0.5473	/	0.2973	0.25
上海		0.641	0.617	0.331	0.31
四川	1.049088	0.87424	0.5464	0.21856	0.65568
山东	0.888	0.585	0.555	0.385	0.2
宁夏		0.4986	/	0.2486	0.25
山西		0.517	0.487	0.2922	0.2248
浙江		0.588	0.558	0.308	0.28

省 / 市	尖峰（元 / 度）	高峰（元 / 度）	平段（元 / 度）	低谷（元 / 度）	峰谷价差
天津（民心工程）		1.0766	0.755	0.4077	0.6689
广州	1.232875	0.9863	0.5802	0.2205	0.7658
深圳		1.1121	0.6542	0.2486	0.8635
云南		0.61	0.51	0.31	0.3
海南		1.0333	0.6295	0.2488	0.7845

(2) 上网电价仍处于探索阶段，仅重庆出台试点 V2G 上网电价

目前国内 V2G 放电价格机制处于起步阶段，尚未实际运行 V2G 上网电价，商业化试点主要是通过园区的 V2B 模式进行。对于私人 V2G 等直接上网以及部分余电上网的公共 V2G，目前仅重庆等部分出台了相关政策。重庆 V2G 上网电价暂由电网企业统一收购，迎峰度夏期间，参照 2023 年 7-9 月重庆市外购省间现货电量交易出清加权均价执行，“低充高放”价差约 0.7-1 元 /kWh；其他月份，V2G 示范项目上网电价参照 2024 年 1-6 月煤电市场化分时段交易均价执行，“低充高放”价差约 0.3-0.55 元 /kWh。该上网电价价差高，且与现有电网代购电衔接性好，适合作为当前阶段 V2G 上网电价的参考。

3.2.2 批发市场

(1) 上海、天津、山东等多个省市开展了涵盖电动汽车车主的用户自主响应为主的需求响应

全国已有广东、上海、天津、山东等十余个省（区）市实施了电力需求响应，主要以电力缺口型为主，响应资源涵盖工业企业、商业楼宇、用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电、智慧用电设施等类型。目前要通过日前邀约模式引导用户参与，激励价格以固定价格或日前竞价方式确定。

表 3-4 全国需求响应开展情况

国家、省、市、区	响应类型		启动条件		补偿方式	
	削峰	填谷	电力缺口	经济	电能量	容量
浙江	√		√		√	√
海南	√		√			
广东	√		√		√	√
上海	√		√		√	√
云南	√	√	√		√	
甘肃	√	√	√		√	
四川	√		√		√	
河北	√		√		√	√
贵州	√		√		√	
天津		√	√		√	
江苏	√	√	√		√	
宁夏	√		√		√	
山东	√	√	√	√	√	√
陕西	√		√	√		
福建	√		√		√	
重庆	√		√		√	
安徽	√	√	√		√	√
广西	√	√	√		√	
湖北	√		√		√	√

3.3 试点示范

3.3.1 车网互动已在辅助服务、现货市场、绿电交易中充分验证其聚合参与市场的调节潜力

目前聚合电动汽车资源参与电力市场的主要方式有辅助服务、需求响应、绿电交易、现货市场等。

辅助服务方面，比较典型的是华北调峰辅助服务市场，这是目前规模最大、运行最为成熟的辅助服务市场，电动汽车聚合商可作为第三方独立主体参与电网调峰辅助服务，国网电动、特来电公司代理超过 2.7 万台充电桩资源参与了市场。图 3-1 是北京某公交充电站参与市场调节前后的功率曲线变化情况^[21]，展现了良好的调峰效果。

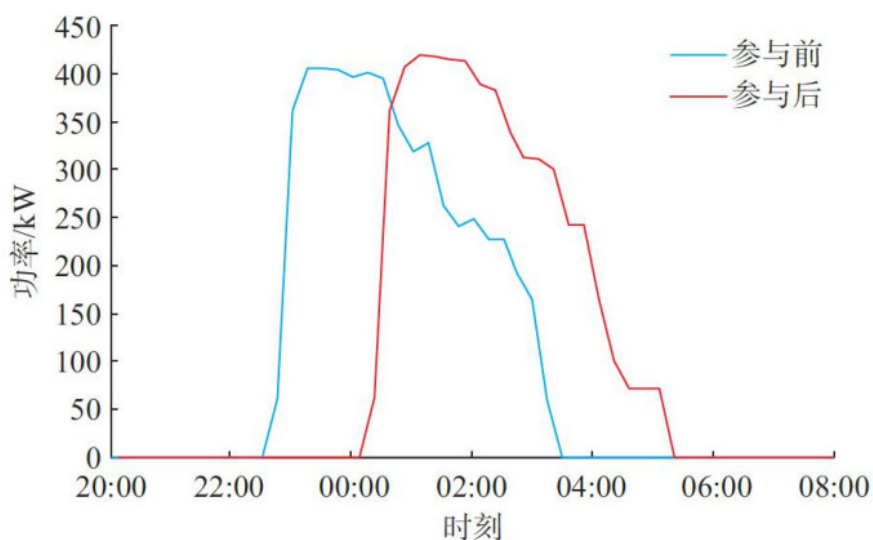


图 3-1 北京某公交充电站参与市场前后功率曲线^[21]

现货市场方面，特来电和星星充电等民营企业通过聚合参与现货市场初步验证车网互动资源的可调节潜力。特来电在山东 10 个充电场站部署了约 400 根直流充电桩，平均单桩功率为 60kW，并组织聚合参与山东现货市场，年交易电量达到 800 万 kWh 左右。星星充电基于健全庞大的充电网络，通过能源调度，实现有序充电、双向充放电，实现削峰填谷、调峰调频。通过在日前电能量市场主动超量购入低价电，不仅节约用电成本，多余的低价电还可以在实时电能量市场自动售出，实现盈利。

绿电交易方面，国家电网公司近年来基于车联网平台的聚合功能在跨省绿电交易方面进行了试点探索，根据公开发布信息，目前国网绿电交易已经在 16 个省市开展，消纳绿电 1.344TWh，传导红利 8927 万元。2021 年，湖南省首次出台了电动汽车参与省内绿电交易的政策，省发改委印发《2021 年湖南电动汽车绿电交易试行方案》，提出了针对电动汽车这一可调节资源专门的绿电交易品种，明确了各主体的关系、注册和交易流程、各方分配比例等，为电动汽车聚合参与绿电交易政策创新提供参考借鉴，图 3-2 是方案中各主体之间的关系和各方分配比例。

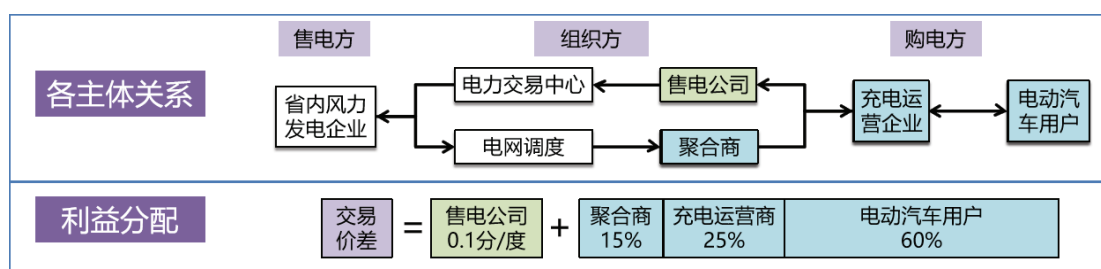


图 3-2 湖南省电动汽车绿电交易试行方案各主体关系图

3.3.2 双向充放电多聚焦技术验证，鲜有实现常态化运营

我国积极推动 V2X 技术的发展和运用，在北京、保定、上海、广州等多个城市广泛开展了相关试点项目，V2X 试点建设与运营都取得了较大程度的进展。

然而，目前国内 V2G 试点以技术验证为主，鲜少能够实现常态化激励机制。例如已经常态化运营的中再中心和保定长城，虽然在运营方面取得了一定的成果，但是由于面临着一些实际问题，比如充放电价差较小，操作不便等，导致常态化激励的成效并不突出，用户积极性不高，制约了 V2G 技术在国内的进一步推广和应用。

表 3-5 国内 V2G 试点情况

项目	地点	场景	说明
中再中心 V2G 示范项目	北京	商业楼宇	国内第一个实现 V2G 商业化应用的 V2G 示范项目。该项目是典型工商业楼宇商业化试点示范项目，V2G 桩接入电力用户内部专用配电系统，可以为内部电动汽车用户提供充放电服务。
保定长城工业园区 V2G 示范项目	北京	工业园区	于 2021 年 4 月建成投运，安装了 42 台 V2G 充电桩，场地对外开放为电动汽车用户提供充电服务；也可支持参与工商业园区内部电网智能调控；参与电网辅助服务等功能应用。
虚拟电厂项目	上海	园区	富特北路充电站已配备 5 台 V2G 充电桩，最大反向供能能力达 600kW，是浦东地区首个支持双向充放电和计量的电动汽车充电站。2024 年 6 月完成了上海全市区域最大规模虚拟电厂快速削峰能力验证工作，最大响应负荷达到了 64.10 万 kW。
居民社区的有序充放电项目	上海	居民社区	2024 年，蔚来上海首批 10 座 V2G 充电桩正式投入运营，除了在园区、办公楼宇、商场等典型场景探索有序充放电模式外，还与上海电网携手在奉贤地区率先试点居民社区的有序充放电。
车网互动应用项目	深圳	多元场景	2024 年 5 月，全国最大规模的车网互动应用在深圳成功实施。本次响应中，1420 辆车参与“有序充电”，53 辆车参与“反向放电”，响应历时 1 小时，涉及充电站 500 座，充电桩 1.5 万支，削峰电量规模达 4389 度，相当于 548 户家庭一天的用电需求。

3.4 国内发展车网互动面临的问题总结及国际经验借鉴

表 3-6 国内发展车网互动面临的主要问题和国际经验借鉴

分类	主要问题	国际可借鉴经验
监管与立法	车网互动的监管体系亟待强化，相关主管部门在车网互动领域的监管权责不够清晰。	借鉴美国加州和澳大利亚，各省市可通过立法或政策等手段压实各方主体责任。
	缺乏车网互动强制性推广政策，不利于车网互动的发展。	参考美国加州、英国以及上海的经验，出台强制性推广政策。
	可选的放电车型和设备较少。	参考国际产业合作体系，可由行业龙头企业组织建立车网互动产业合作体系，快速形成 V2G 配套产品。

分类	主要问题	国际可借鉴经验
电网服务	V2G 并网缺乏依据。	参考美国、英国等并网流程以及我国分布式光伏发展的成功经验，快速形成电网服务保障体系。
	居民用户和转供电的表后资源用户无法进入市场交易，缺乏计量依据。	参考美国加州分表计量经验，结合我国的实际情况进行深入研究和改进分表计量规范。
零售市场	居民分时电价尚未全面覆盖，电价机制不够精细化。	参考国外电价机制，推动居民分时电价的全面覆盖以及充电独立峰谷电价机制，结合新能源出力特点，优化午间低谷电价。
	重庆已出台放电上网电价机制，但大部分地区仍缺乏常态化激励手段。	参考美国加州和英国的放电机制，各地结合自身电价特点，以及近期车网互动试点示范工作，出台相应的放电电价机制，并将放电电价限定在试点范围内。
批发市场	尽管国家已明确车网互动的市场主体地位，但各省市批发市场规则尚未响应。	借鉴美国加州明确分布式资源地位经验，各省市结合电力市场建设进程，明确车网互动的主体地位。
	目前聚合交易准入门槛较高，基本都在 1MW 以上。	参考美国推动聚合交易门槛降低经验，基于我国各省市电力市场建设情况和资源禀赋适当降低聚合交易门槛。
	车网互动资源可参与市场品种较少。	借鉴国外车网互动可参与市场交易品种，建立健全车网互动资源聚合参与需求侧管理以及市场交易机制，优化完善辅助服务机制，探索车网互动参与现货市场、绿电交易和碳交易的实施路径。
试点示范	除重庆地区以外，尚未出台放电试点电价；V2X 设备成本较高。	借鉴国外试点示范经验，出台放电试点电价等常态化激励和设备补贴政策提高收益。
	电池质保体系缺失，用户对放电存在顾虑。	支持车企和电池企业制定电池质保条款，消除用户顾虑。

4 电动汽车参与需求响应的建议

随着新能源汽车的快速发展，车网互动作为一种创新的能源管理模式，具有巨大的潜力。V2G 可以实现电动汽车与电网的双向互动，提高能源利用效率，促进可再生能源的消纳，为实现可持续发展的能源体系提供有力支撑。本章针对国内车网互动发展所面临的问题，基于国际需求响应案例研究，提出国内车网互动发展的建议，以推动其进一步落地。

（1）顶层设计

各地发展改革委、能源部门会同有关部门将车网互动纳入“十五五”规划范畴，明确其在能源规划中的重要地位。出台强制性智能有序充电政策，规范车网互动的发展。

（2）配套电价与市场机制

各地发展改革委、电网企业应完善零售市场分时电价机制，结合国家 V2G 示范，出台独立的充放电峰谷电价，将其纳入电网代购电范畴。拓展电力辅助服务场景，深化中长期和现货服务场景，推动车网互动参与绿电交易和碳交易，构建容量租赁市场和未来容量市场。

（3）跨部门协调

地方政府、车企、电池企业、充电设备企业等应明确相关政府主管部门的分工，加强产业链协同。各地发展改革、能源部门会同有关部门，结合能源规划、虚拟电厂等，共同推进车网互动发展。建立跨部门协调机制，加强信息共享和沟通，解决车网互动发展中的问题。

（4）标准体系建设

车网互动标准所在标委会应建立健全标准体系，包括车、桩、电池等产品标准，V2X 并网、计量、通信和运行控制保护等基础设施标准，车网互动聚合参与市场交易和电网调度运行相关技术标准规范，以及产品认证、测试等。加强不同标准之间的衔接，促进跨标委会的协同合作，确保车网互动的标准化发展。

（5）资金补贴

各地充电基础设施主管部门、财政部应鼓励地方政府通过超长期特别国债大规模设备更新资金，加大对智能有序充电桩和 V2G 桩的设备补贴，以及配套电力改造。应制定具体的补贴政策，支持车网互动项目的建设和运营。

（6）电网保障服务

电网企业应完善智能有序充电并网管理和容量考核流程，提供双向并网、双向计量服务，可借鉴现有户用光伏计量、并网技术体系和要求。

电网企业应做好放电收益清分结算工作，借鉴光伏行业经验，争取政府支持为私人 V2G 用户提供代开发票服务。

（7）消费者权益保护

车企、动力电池企业应建立健全车网互动消费者权益保护机制。推动车企和动力电池企业提供 V2G 充放电次数质保，确保产品质量和可靠性。公开电池健康状态（State of Health, SoH）状态信息，让消费者了解电池的使用情况和寿命，增强消费者的信心。

参考文献

- [1] <https://www.nationalgrideso.com/future-energy/future-energy-scenarios>
- [2] 舒印彪, 张丽英, 张运洲, 王耀华, 鲁刚, 元博, 夏鹏. 我国电力碳达峰、碳中和路径研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(06): 1-14.
- [3] Xu, C., Behrens, P., Gasper, P. et al. Electric vehicle batteries alone could satisfy short-term grid storage demand by as early as 2030. Nat Commun 14, 119 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35393-0>
- [4] UK.GOV. Decarbonising Transport A Better, Greener Britain.[R] UK: UK.GOV, 2021.
- [5] Nationale-leitstelle.de. Charging Infrastructure Masterplan II.[R] The federal Government, 2023.
- [6] https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180SB100
- [7] Nationale-leitstelle.de. Charging Infrastructure Masterplan II.[R] The federal Government, 2023.
- [8] https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201920200SB676
- [9] https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes_displayText.xhtml?lawCode=PUC&division=1.&title=&part=1.&chapter=4.&article=2.
- [10] https://gridworks.org/wp-content/uploads/2020/09/GW_VehicleGrid-Integration-Working-Group.pdf
- [11] CPUC. DECISION CONCERNING IMPLEMENTATION OF SENATE BILL 676 AND VEHICLE- GRID INTEGRATION STRATEGIES [R] California: CALIFORNIA GOV, 2021.
- [12] HM government. Government Response to the 2019 Consultation on Electric Vehicle Smart Charging July 2019[R]. UK: UK.GOV, 2021.

- [13] UK. GOV. ROAD TRAFFIC The Electric Vehicles (Smart Charge Points) Regulations 2021[R] UK: UK. GOV, 2021.
- [14] CPUC.CA.GOV. Rule 21 Interconnection. <https://www.cpuc.ca.gov/Rule21/>.
- [15] CPUC.DECISION ADOPTING RECOMMENDATIONS FROM WORKING GROUPS TWO, THREE, AND SUBGROUP[R] California: CPUC, 2020.
- [16] CPUC. Approval, with Modifications, of Vehicle-to-Grid Implementation Plans and Technical Requirements in Compliance with Decision 20-09-035.[R] California: CPUC, 2021.
- [17] Energynetworks. Electric Vehicle Charge Point and Heat Pump Connections Process[R] US: Energynetworks, 2020.
- [18] ENA. ENA Type Test Register (ena-eng.org) [EB/OL] . [2021-12-30] <https://www.ena-eng.org/gen-ttr/index?Action=Home>.
- [19] CPUC. D.22-08-024 DECISION ADOPTING PLUG-IN ELECTRIC VEHICLE SUBMETERING PROTOCOL AND ELECTRIC VEHICLE SUPPLY EQUIPMENT COMMUNICATION PROTOCOLS[EB/OL]. (2022-08-04)[2023-06-20].<https://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M496/K419/496419890.PDF>.
- [20] Elexon. Settlement of Secondary BM Units using metering behind the site Boundary Point [EB/OL] . [2021-12-30] <https://www.elexon.co.uk/mod-proposal/p375/>.
- [21] 国网华北分部电力调控分中心张哲 . 负荷侧资源参与华北电力调峰辅助服务市场 .

作者

清华四川能源互联网研究院（EIRI）：钟丹婷，李立理，李树军，蔡静茹，米荣伟，邓思维，郭文琳

联系方式

郭文琳，guowenlin@tsinghua-eiri.org

