面向新型电力系统的V2G与虚拟电厂融合发展趋势与挑战

蒋廷松[1] 李思文[2*]
1. 正泰安能数字能源（浙江）股份有限公司 浙江 杭州 310052
2. 吉利汽车控股（杭州）有限公司 浙江 杭州 310051

摘 要：面向新型电力系统，V2G与虚拟电厂融合发展意义重大。政策驱动上，电力市场化改革为其奠基，国家与地方政策支持明确，补贴政策降低企业参与成本。技术融合方面，5G通信技术提供实时数据交互支撑，区块链技术构建信任基石，智能合约提升业务自动化水平。规模效应上，我国电动汽车市场扩张带来储能潜力、调节能力与经济性优势。然而，发展面临技术、市场、政策与监管挑战，因此，本文针对这些挑战进行了分析，提出了一些有效的应对措施，旨在推动V2G与虚拟电厂融合发展，助力新型电力系统构建与能源绿色低碳转型。

关键词：新型电力系统；V2G；虚拟电厂；融合发展；挑战

引言

在能源转型与新型电力系统构建的大背景下，V2G（车辆到电网）与虚拟电厂的融合发展成为关键议题。V2G使电动汽车成为移动储能单元，虚拟电厂则聚合分布式资源实现优化调度。二者融合既能提升电力系统灵活性与稳定性，又能促进可再生能源消纳，推动能源绿色低碳发展。我国电动汽车市场快速增长，为融合发展提供了资源基础。同时，电力市场化改革持续深化，政策支持力度不断加大，技术融合创新加速，为V2G与虚拟电厂融合创造了有利条件。但融合发展也面临诸多挑战，深入研究其趋势与应对策略具有重要的现实意义。

1 面向新型电力系统的V2G与虚拟电厂融合发展趋势

1.1 政策驱动

在政策驱动层面，电力市场化改革的持续深化为V2G与虚拟电厂的融合发展奠定了坚实基础。（1）当前，我国电力市场化改革以构建“统一市场、两级运作”的体系为核心目标，旨在打破传统电力市场的区域分割与机制壁垒，通过全国统一电力市场与省级电力市场的协同运作，实现电力资源在更大范围内的优化配置。这一改革方向不仅提升了电力系统的运行效率，也为V2G与虚拟电厂等新兴市场主体提供了更广阔的发展空间。随着改革进程的推进，电力现货市场试点范围逐步扩大，覆盖了更多地区与市场主体，通过实时价格信号引导电力供需平衡；辅助服务市场机制不断完善，明确了调峰、调频、备用等服务的市场价值与补偿标准，为V2G与虚拟电厂参与系统调节提供了经济激励；绿电交易规模持续增长，通过市场化手段促进可再生能源消纳，为V2G与虚拟电厂聚合分布式可再生能源资源创造了条件。（2）国家层面高度重视V2G与虚拟电厂的发展，出台了一系列政策文件明确其战略定位与支持措施。这些政策不仅提出了加快虚拟电厂建设、推动新能源汽车与电网融合互动的总体要求，还从技术标准、市场准入、运营模式等方面给出了具体指导，为行业规范化发展提供了政策保障。地方层面积极响应国家号召，某些地区结合自身产业基础与资源禀赋，制定了更具针对性的实施方案，通过建设试点项目、探索商业模式、完善配套机制等方式，推动V2G与虚拟电厂从概念走向实践，形成了可复制、可推广的经验。（3）补贴政策在降低企业参与成本、激发市场活力方面发挥了关键作用。财政补贴直接支持V2G充电桩建设、虚拟电厂聚合平台开发等关键环节，缓解了企业初期投资压力，加速了技术迭代与设备普及。税收优惠通过减免增值税、所得税等方式，减轻了企业运营负担，提升了其持续投入与创新的积极性。

1.2 技术融合

在技术融合层面，5G通信技术与区块链技术正成为推动V2G与虚拟电厂深度融合的关键力量。（1）5G通信技术凭借其高速率、低时延、大连接的特性，为电动汽

作者简介：蒋廷松，男，1988年3月，硕士研究生，中级工程师，研究方向：电力市场，邮箱：tingsong.jiang@chintanneng.com

通讯作者：李思文，男，1986年10月，硕士研究生，中级工程师，研究方向：新能源汽车能量管理；邮箱：lisiwen86@126.com

车、充电桩与虚拟电厂平台之间的实时数据交互提供了可靠支撑。高速数据传输能力使得电动汽车的电池状态、充电需求、电网负荷等信息能够以毫秒级速度上传至虚拟电厂平台。同时，平台下发的调度指令也能即时传达至充电桩与车辆端，确保信息传递的时效性与准确性。低时延控制特性则进一步支持了V2G的快速响应与精准调度，当电网出现功率波动或需求响应需求时，虚拟电厂可通过5G网络迅速调整电动汽车的充放电功率，实现毫秒级的功率调节，有效提升电网的稳定性与抗干扰能力[1]。此外，5G的大规模设备连接能力可支持海量电动汽车与分布式能源资源的接入与管理，无论是城市中的充电桩集群，还是偏远地区的风光发电设备，均可通过5G网络实现统一监控与协同优化，为虚拟电厂聚合多元资源提供了技术保障。（2）区块链技术则通过其去中心化、不可篡改、可追溯等特性，为V2G与虚拟电厂的融合发展构建了信任基石。在数据安全与隐私保护方面，区块链的加密技术与分布式账本机制可确保交易数据在传输与存储过程中的安全性，防止数据被篡改或泄露，并通过权限管理实现用户隐私的分级保护，增强用户对数据共享的信任度。在信任机制建立上，区块链的透明性与可验证性消除了电动汽车用户、充电桩运营商与虚拟电厂平台之间的信息不对称，各方可通过区块链浏览器实时查看交易记录与调度指令，确保流程的公开公正，从而降低协作门槛，促进多方深度参与。（3）智能合约的引入则进一步提升了业务自动化水平，通过将V2G交易规则、需求响应策略等编码为可执行的智能合约，可实现交易结算、功率调节等流程的自动触发与执行，减少人工干预，降低运营成本，同时提升业务处理的效率与准确性。5G与区块链的协同应用，正推动V2G与虚拟电厂向更高效、更安全、更智能的方向发展。

1.3 规模效应

我国电动汽车市场正以惊人的速度扩张，成为全球新能源汽车产业的核心引擎。一方面，规模效应的释放为能源系统转型带来多重优势，海量电动汽车的接入，本质上构建了一个分布式“移动储能网络”，其储能潜力远超传统固定式储能设施。通过智能聚合平台，这些分散的储能资源可被高效调度，形成覆盖秒级到小时级的灵活调节能力，既能快速响应电网频率波动，又能平抑可再生能源发电的间歇性，显著提升电力系统的稳定性与韧性。另一方面，与传统储能方案相比，V2G模式的经济性尤为突出[2]。电动汽车电池的规模化应用降低了单位储能成本，而其“即插即用”的特性避免了新建电厂的高额投资与长期运维开支。更重要的是，这一模式将车主从单纯的能源消费者转变为“产消者”，通过参与电网调峰、需求响应等市场交易，获得额外收益，进一步激发市场参与热情。随着电池循环寿命的提升与智能调度算法的优化，V2G的商业化路径愈发清晰，有望成为构建新型电力系统、推动能源绿色低碳转型的关键支撑。

2 挑战与应对策略

2.1 技术挑战与应对

在V2G与虚拟电厂融合发展的进程中，技术挑战成为制约其规模化应用的关键瓶颈。资源聚合效率低是首要难题，由于电动汽车、充电桩、分布式能源等设备类型多样、分布分散，且运行状态动态变化，传统聚合方法难以实现跨区域、跨层级的资源高效整合，导致系统整体调节能力受限。协同控制精度有限则进一步削弱了应用效果，电网对充放电功率的实时响应要求与设备控制指令的传输延迟、执行偏差之间存在矛盾，尤其在面对高比例可再生能源接入时，微秒级的功率波动都可能影响电网稳定性，而现有控制技术尚难以满足这一需求。与此同时，信息安全风险高的问题日益凸显，海量设备接入与数据交互扩大了攻击面，交易数据泄露、设备被恶意控制等事件可能引发系统性风险，而传统安全防护体系在应对新型网络攻击时显得力不从心。针对上述挑战，需从核心技术突破与协同创新机制构建两方面协同发力[3]。在核心技术研发层面，需聚焦聚合算法优化，通过引入人工智能、大数据分析等技术，提升对动态资源的实时感知与智能调度能力，实现跨设备、跨场景的高效聚合；同时推进通信协议标准化，统一设备间数据交互格式与传输规则，降低协同控制延迟，确保指令精准执行；此外，需构建多层次安全防护体系，融合区块链的加密技术、边缘计算的安全隔离机制以及动态威胁监测系统，形成覆盖数据全生命周期的安全保障网络。在协同创新机制方面，需打破产学研用之间的壁垒，建立由相关部门引导、企业主导、高校与科研机构支撑的创新联合体，通过共享实验平台、联合攻关课题、制定行业标准等方式，加速技术从实验室到市场的转化进程；同时完善知识产权保护与利益分配机制，激发各方参与创新的积极性，形成技术迭代与产业应用的良性循环。

2.2 市场挑战与应对

如今市场机制尚不完善，电力市场规则对V2G与虚拟电厂的定位模糊，缺乏针对其特性的交易品种设计，导致充放电服务、需求响应等价值难以通过市场化手段实现，市场主体参与积极性受限。并且，商业模式不成熟的问题突出，现有盈利路径多依赖政策补贴或单一服务收费，未能充分挖掘用户侧储能资源的多元化价值[4]。此

外，用户参与度低是另一大瓶颈，由于对V2G技术认知不足、收益预期不明确以及担心电池损耗等问题，电动汽车车主普遍缺乏主动参与电网调节的积极性，而分布式能源业主也因缺乏便捷的接入渠道与透明的收益分配机制，对虚拟电厂聚合持观望态度。针对上述挑战，需从市场规则完善、商业模式创新与用户参与提升三方面协同突破。（1）在市场机制层面，需加快修订电力市场相关规则，明确V2G与虚拟电厂作为独立市场主体的地位，设计涵盖充放电价格、辅助服务补偿、容量市场等多元化的交易品种，构建与电力现货市场、辅助服务市场协同运行的机制框架，确保市场主体可通过灵活参与不同市场获取合理收益。（2）商业模式创新方面，需探索共享储能、碳交易、绿证交易等新型盈利模式，例如通过聚合分散的电动汽车电池形成共享储能池，向电网提供调峰服务并获取收益；或基于V2G的减排效果参与碳市场交易，将碳收益反哺用户，提升其参与经济性。（3）在用户参与提升上，需加强技术普及与收益透明化，通过可视化平台展示用户参与电网调节的实时收益与电池健康状态，消除其顾虑；并且设计阶梯式激励政策，如根据参与时长或调节量给予差异化补贴或积分奖励，激发用户主动参与意愿。

2.3 政策与监管挑战与应对

政策与监管层面的挑战成为制约其规模化落地的关键因素，当前政策支持力度不足的问题较为突出，尽管部分地区已出台相关扶持政策，但覆盖范围有限且力度较弱，财政补贴多集中于设备购置环节，对运营阶段的持续激励不足。税收优惠缺乏针对性，未能有效降低企业参与V2G与虚拟电厂的长期成本。电价机制尚未完全市场化，充放电价格难以反映电网实时供需与调节价值，导致市场主体收益预期不明确，参与积极性受挫。另外，跨部门协同困难进一步加剧了政策落地阻力，V2G与虚拟电厂的发展需能源、交通、工信、市场监管等多部门共同推动，但部门间目标差异、信息壁垒与权责不清等问题，导致政策制定碎片化、执行效率低下，难以形成支持融合发展的系统性合力。针对上述挑战，需从政策强化、监管完善与协同机制构建三方面协同发力。（1）在政策支持层面，需加大财政补贴力度，扩展至运营维护、技术研发等全生命周期环节，同时优化税收优惠设计，针对V2G充放电服务、虚拟电厂聚合平台等关键业务给予增值税、所得税减免，降低市场主体参与门槛[5]。加快电价市场化改革，建立基于时间、位置、调节需求的动态电价机制，使充放电价格真实反映电网价值，激发市场活力。（2）在监管体系构建上，需制定覆盖准入、运营、安全的全链条标准，明确设备认证、数据交互、应急响应等关键环节的技术规范，建立跨部门联合监管机制，通过信息共享与联合执法提升监管效能，保障市场健康有序运行。（3）在跨部门协同方面，需建立由相关部门主导的统筹协调机制，明确各部门职责边界与协作流程，通过联合规划、政策联动与数据互通打破信息壁垒，并推动建立跨部门政策评估与调整机制，根据发展需求动态优化政策组合，形成支持V2G与虚拟电厂融合发展的长效合力。

结语

综上所述，V2G与虚拟电厂融合发展是新型电力系统建设的重要方向，虽面临技术、市场、政策与监管等多方面挑战，但也具备政策、技术、规模等多重发展优势。随着技术的不断进步和政策的持续完善，V2G与虚拟电厂融合将在提升电力系统稳定性、促进可再生能源消纳、实现能源绿色低碳转型等方面发挥更大作用，为构建清洁低碳、安全高效的能源体系提供有力支撑，创造更加可持续的能源未来。

参考文献：

[1]陈泽,左晓军,侯波涛,等.基于云服务的虚拟电厂优化调度与隐私保护[J].电力信息与通信技术,2023,21(11):13-20.

[2]徐慧慧,田云飞,赵宇洋,等.考虑绿证碳交易的多虚拟电厂混合博弈优化调度[J].智慧电力,2024,52(3):1-7,16.

[3]刘汉民,史学伟,董文琦,等.基于5G网络的储能数据采集架构与典型应用场景设计[J].电力信息与通信技术,2023,21(12):46-53.

[4]王飞,王歌,徐飞.面向系统响应能力提升的虚拟电厂聚合特性及交易机制综述[J].电力系统自动化,2024,48(18):87-103.

[5]杨光明.新型电力系统下虚拟电厂研究[J].电器与能效管理技术,2024,(11):65-72.