

# Research on Adaptability Optimization of On-Board Chargers in Electric Vehicles and AC Charging Piles

Fang Wang

Shunyi District Metrology and Food and Drug Testing Center, Beijing, 101300, China

## Abstract

With the rapid development of the electric vehicle industry, the adaptability problem of charging system has become a key bottleneck restricting the charging experience users and the scale development of the industry. As the core component of power conversion, the adaptability effect between on-board charging machine and AC charging pile directly affects the charging efficiency safety and equipment service life. This paper takes the adaptability of the two as the research core, firstly analyzes the compatibility of communication protocol, the coordination of power matching and the of electromagnetic compatibility, and then explores the technical mechanism of the three core factors causing adaptability faults in depth; Subsequently, the key technical strategies of communication protocol standardization optimization, power matching adjustment and electromagnetic compatibility performance improvement are proposed; Finally, combined with the actual application scenario, the feasibility and practical value of the optimization scheme are analyzed. The research results provide technical reference for the product research and development of charging equipment manufacturers and the formulation of industry adaptability standards, and have important significance for promoting the standardization and high efficiency of electric charging system.

## Keywords

Electric vehicle; On-board charger; AC charging pile; Adaptability optimization; Communication protocol; Power matching

## 电动汽车车载充电机与交流充电桩的适配性优化研究

王芳

北京市顺义区计量和食品药品检测中心, 中国·北京 101300

## 摘要

随着电动汽车产业的快速发展, 充电系统的适配性问题已成为制约用户充电体验与产业规模化发展的关键瓶颈。车载充电机作为电能转换的核心部件, 与交流充电桩的适配效果直接影响充电效率、安全性及设备使用寿命。本文以两者适配性为研究核心, 首先剖析通信协议兼容性、功率匹配协调性及电磁兼容干扰三大核心影响因素, 深入探讨各因素导致适配故障的技术机理; 随后针对性提出通信协议标准化优化、动态功率匹配调节及电磁兼容性能提升三大关键技术策略; 最后结合实际应用场景分析优化方案的可行性与实践价值。研究成果可为充电设备厂商的产品研发及行业适配标准制定提供技术参考, 对推动电动汽车充电系统的标准化与高效化具有重要意义。

## 关键词

电动汽车; 车载充电机; 交流充电桩; 适配性优化; 通信协议; 功率匹配

## 1 引言

在“双碳”目标引领下, 电动汽车凭借低排放、高能效的优势已成为汽车产业转型的核心方向。充电系统作为电动汽车的重要配套设施, 其运行稳定性直接决定产业发展质量。交流充电桩因安装便捷、覆盖广泛, 成为家用及公共充电场景的主流选择, 而车载充电机承担着将交流充电桩输出的交流电转换为直流电为动力电池充电的关键任务, 两者的适配性是保障充电过程高效安全的基础<sup>[1]</sup>。当前市场中, 不同品牌、型号的车载充电机与交流充电桩存在明显的适配差

异, 常出现充电启动失败、充电中途中断、充电效率偏低等问题, 不仅影响用户体验, 更潜藏安全隐患。现有研究多聚焦于单一设备的性能提升, 对两者适配性的系统性研究不足。基于此, 本文从技术机理出发, 深入分析适配性问题的核心成因, 提出针对性优化策略, 为解决充电系统适配难题提供理论与技术支撑<sup>[2]</sup>。

## 2 车载充电机与交流充电桩适配性核心影响因素

### 2.1 通信协议兼容性问题

兼容性标准是通过行业惯例或正式协议规定的技术规范, 旨在确保不同企业生产的产品能够协同工作, 从而使基于该标准生产的商品成为兼容产品网络的组成部分, 最

【作者简介】王芳(1979-), 女, 中国北京人, 本科, 从事计量检测研究。

终使消费者最大程度受益于网络规模扩张。其形成既可通过市场机制自发形成事实标准（如标准战、转换器应用），也可通过企业联盟、标准化组织与公共部门协作建立。通信协议是车载充电机与交流充电桩实现信息交互的“语言”，负责完成充电启动、参数协商、状态监测及充电终止等全流程的指令传递，其兼容性是保障适配的前提。当前市场存在协议版本不统一、厂商私有协议泛滥及协议执行精度不足三大问题。从协议标准来看，虽有国家标准规范通信框架，但不同版本标准在指令编码、数据帧格式及握手机制上存在差异，老旧车载充电机采用的低版本协议与新型交流充电桩的高版本协议常出现指令解析错误，导致充电启动阶段握手失败。从厂商实践来看，部分设备厂商为实现差异化竞争，在国家标准基础上增加私有通信字段，未向行业公开技术细节，当异品牌设备交互时，私有字段无法被识别，引发通信中断。从执行精度来看，部分低成本设备的通信模块存在时钟偏差，导致数据传输时序紊乱，在高负载充电场景下易出现状态反馈延迟，影响适配稳定性<sup>[3]</sup>。

## 2.2 功率匹配协调性问题

最大功率传输定理（maximum power transfer, theorem on）是关于使含源线性阻抗单口网络向可变电阻负载传输最大功率的条件。定理满足时，称为最大功率匹配。最大功率传输定理是关于负载与电源相匹配时，负载能获得最大功率的定理。功率匹配是实现高效充电的核心，其本质是车载充电机的额定功率与交流充电桩的输出功率、动力电池的充电需求三者之间的动态平衡。当前适配场景中存在的功率匹配问题主要表现为“过载适配”与“欠载适配”两种极端情况。过载适配多发生于小功率车载充电机接入大功率交流充电桩的场景，交流充电桩输出的高功率超出车载充电机的额定转换能力，虽然部分设备具备过流保护功能，但长期运行会导致车载充电机的功率器件发热加剧，不仅降低转换效率，更会缩短设备使用寿命，严重时引发绝缘老化故障。欠载适配则表现为大功率车载充电机接入小功率交流充电桩，此时充电桩输出功率无法满足车载充电机的满负荷运行需求，充电功率被强制限制在低水平，充电时间大幅延长，用户体验显著下降。此外，部分设备缺乏动态功率调节能力，在动力电池 SOC（State of Charge）变化导致充电需求改变时，无法及时调整功率输出，进一步加剧功率不匹配问题<sup>[4]</sup>。

## 2.3 电磁兼容干扰问题

电磁兼容性（EMC）是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰的能力。因此，EMC 包括两个方面的要求：一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值；另一方面是指器具对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，即电磁敏感性。充电过程中车载充电机与交流充电桩均处于高频开关工作状态，易产生电磁干扰，干扰信号通过传导、辐射两种路径影响两者

的适配稳定性。从传导干扰来看，车载充电机的整流滤波模块、交流充电桩的功率变换模块在工作时会产生高频谐波，这些谐波通过充电电缆传导至对方设备，干扰通信模块的正常信号传输，导致数据误码率升高，出现充电参数误判。从辐射干扰来看，设备内部的高频元器件会向外辐射电磁能量，若车载充电机与交流充电桩的电磁屏蔽设计不足，干扰信号会穿透外壳影响自身及对对方的控制单元，例如干扰车载充电机的 MCU（微控制单元）导致充电电流调节异常，或干扰充电桩的计费模块引发计量误差。电磁兼容问题具有隐蔽性，易被误判为通信或功率问题，增加适配故障排查难度。

## 3 适配性优化关键技术策略

### 3.1 通信协议标准化与兼容性优化

通信协议优化的核心是实现“统一语言”与“容错交互”，通过标准化设计与兼容性增强提升交互稳定性。首先推进协议框架标准化，基于现行国家标准制定统一的通信协议规范，明确数据帧结构、指令编码规则及握手流程，强制要求设备厂商删除私有通信字段，仅保留标准字段用于信息交互。同时建立协议版本兼容机制，在新协议中预留版本识别字段，当高版本充电桩与低版本车载充电机交互时，自动识别对方版本并切换至兼容通信模式，例如高版本设备通过降级输出指令格式，适配低版本设备的解析能力。其次强化通信模块容错设计，采用双冗余通信架构，同时搭载 CAN 总线与以太网两种通信方式，当一种通信方式出现干扰时，自动切换至另一种方式保障通信连续性。在数据传输层面引入 CRC（循环冗余校验）机制，对传输数据进行校验，若发现数据误码则自动请求重传，提升数据传输可靠性。此外建立设备通信兼容性认证体系，由第三方机构对上市设备进行协议兼容性测试，仅通过认证的设备方可进入市场，从源头杜绝协议不兼容问题<sup>[5]</sup>。

### 3.2 动态功率匹配调节技术

动态功率匹配的核心是实现“按需分配”，通过实时监测与智能调节实现功率的精准匹配。一方面研发车载充电机宽范围适配技术，采用模块化功率变换设计，使车载充电机的输入功率范围可覆盖不同功率等级的交流充电桩，例如通过增减功率模块数量，实现 2kW-7kW 的宽范围适配，当接入不同功率充电桩时，自动激活对应数量的功率模块，避免过载或欠载情况。另一方面构建动态功率调节算法，在车载充电机与充电桩中植入智能控制芯片，实时采集三者关键参数：充电桩输出功率上限、车载充电机额定功率及动力电池当前 SOC、充电电压需求。通过算法计算最优充电功率值，由充电桩与车载充电机协同调节输出功率，例如当动力电池 SOC 较低时，在设备额定范围内以最大功率充电；当 SOC 达到 80% 进入涓流充电阶段时，自动降低充电功率，匹配电池充电需求。同时设计功率保护机制，当检测到功率超出设备额定范围时，立即触发软切断功能，逐步降低功率至安

全范围，避免突发过载对设备造成损坏。

### 3.3 电磁兼容性提升方案

电磁兼容优化需从“干扰源抑制”与“传播路径阻断”两方面入手，构建全链路电磁防护体系。在干扰源抑制上，优化设备功率变换拓扑，采用谐振软开关技术替代传统硬开关技术，减少开关过程中产生的高频谐波，从源头降低电磁干扰强度。对车载充电机的整流模块、充电桩的逆变器为核心干扰源，采用集成化设计缩小器件布局间距，减少干扰信号的辐射范围。在传播路径阻断上，强化设备电磁屏蔽设计，外壳采用镀锌钢板材质，内部关键模块加装金属屏蔽罩，屏蔽罩接地处理以增强屏蔽效果；充电电缆采用带屏蔽层的双绞线，屏蔽层两端可靠接地，抑制传导干扰。此外在设备电路中增加 EMC（电磁兼容）滤波模块，通过共模电感、差模电容组成的滤波网络，滤除线路中的高频干扰信号。最后建立系统级电磁兼容测试流程，在设备研发阶段模拟实际充电场景，测试不同工况下的电磁干扰水平，确保设备满足电磁兼容标准要求。

## 4 适配性优化验证与实践价值

### 4.1 优化方案可行性分析

从技术可行性来看，本文提出的优化策略均基于成熟的电子技术与控制理论，通信协议标准化可依托现有国家标准体系扩展，双冗余通信架构已在工业控制领域广泛应用；动态功率调节算法可通过 MCU 实现，宽范围功率模块采用成熟的 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）器件搭建；电磁兼容优化采用的软开关技术、屏蔽滤波设计均为行业成熟方案，技术门槛较低，易实现产业化落地。从成本可控性来看，核心优化措施无需新增高成本器件，例如协议优化主要通过软件升级实现，动态功率调节依托现有控制芯片升级算法，电磁兼容优化仅增加屏蔽材料与滤波模块，成本增幅可控制在设备总成本的 10% 以内，具备市场推广可行性。

### 4.2 实践应用价值体现

在用户层面，优化方案可显著提升充电体验，通信协议兼容性优化使异品牌设备交互成功率提升，避免充电启动失败问题；动态功率匹配技术可将充电效率提升，缩短充电

时间；电磁兼容优化减少充电故障发生率，提升使用安全性。在厂商层面，标准化的适配方案可降低设备研发成本，避免厂商为适配不同品牌设备进行重复研发；兼容性提升可扩大设备市场覆盖面，增强产品竞争力。在行业层面，统一的适配标准可推动充电设备产业化规范化发展，解决“设备孤岛”问题；适配性提升可促进公共充电设施的共享利用，加速充电网络建设，为电动汽车产业化规模化发展提供支撑。此外，统一标准可降低行业准入门槛，激发中小厂商创新活力，形成良性竞争格局。对社会而言，充电效率提升与网络完善可缓解用户里程焦虑，进一步推动新能源汽车普及，助力“双碳”目标实现，构建绿色交通生态。

## 5 结语

车载充电机与交流充电桩的适配性是影响电动汽车充电系统运行质量的核心要素，其适配性问题源于通信协议不兼容、功率匹配不协调及电磁兼容干扰三大技术瓶颈。本文提出的通信协议标准化优化、动态功率匹配调节及电磁兼容性提升策略，可从源头解决适配性问题，实现两者的高效稳定交互。研究表明，优化方案具备技术可行性与成本可控性，在提升用户体验、降低厂商成本及推动行业规范化发展方面具有重要实践价值。未来研究可结合人工智能技术，构建基于大数据的适配性预测模型，通过学习不同设备的适配特性，实现个性化适配参数调节；同时探索无线充电场景下的适配性问题，为充电技术升级提供理论支撑。

### 参考文献

- [1] 王俊杰.非车载充电机检定误差评定方法研究[J].实验室检测,2025,3(17):7-9.
- [2] 李彩萍,赵新明,齐欣,李三强,刘畅,弓捷.直流电能表外附分流器对非车载充电机误差影响的探讨[J].中国计量,2025,(08):107-108+117.
- [3] 刘坚.车载充电机(OBC)通信协议失效导致充电中断的解决方案探讨[J].汽车维修技师,2025,(14):22-24.
- [4] 付国良,蓝贤平,黄妍琼,刘广浩.车载充电机交流传导发射测试方法研究[J].汽车工程师,2025,(07):24-28.
- [5] 唐磊,姜本杰,王国庆,胡核,张杨,竺昂.电动汽车车载充电机的AC电网适应性测试方法[J].汽车电器,2025,(04):1-5+8.