

复杂场景下智能移动补能系统人智协同机制研究

摘要：随着交通电气化由规模扩张转向体系化发展，补能需求的时空波动持续增强，固定充电设施在高峰拥堵、空间受限和临时保障等场景中难以稳定匹配动态需求。智能移动补能系统依托自主移动、环境感知、任务调度和状态反馈能力，可动态调整补能资源的空间与时序配置，使补能服务由设备单向供给转向用户、运营者与智能系统共同参与的协作过程。系统自主程度提升后，主体对系统状态、能力边界与行动意图的理解，以及人工介入时机、控制权限和异常接管方式，成为影响服务效率、安全表现与现场秩序的关键因素。以高速公路服务区为主要场景，以封闭运营园区和临时活动场地为对照场景，考察不同场景约束和系统自主程度下用户、运营者与智能系统之间的任务分工、信息交互和控制权配置关系。拟通过场景调研、任务分析、问卷建模、情境实验、人在回路实验和原型验证等方法，揭示系统行为理解、感知控制、认知负荷与信任校准对监督、依赖、介入和接管行为的影响机制，构建智能移动补能系统人智协同机制模型，并将其转化为装备构型、智能交互、任务调度和协同策略的设计配置。预期形成具有理论解释力、实证支撑和设计适用性的人智协同设计框架，为智能移动补能系统及同类智能移动服务装备的设计、评价与运行组织提供依据。

关键词：智能移动补能系统；复杂场景；人智协同机制；人因设计；智能装备设计

1 研究背景

全球气候治理与能源转型持续推动道路交通领域的低碳发展。道路交通具有能源消耗规模大、运行活动分散、出行需求持续和基础设施依赖程度高等特征，其低碳转型直接关系能源结构调整、交通运行效率与公共出行质量。电动汽车的规模化应用为道路交通减排提供了重要路径（Matura 等，2025），同时提高了交通系统对电力供给、充电设施和数字服务的依赖。补能设施的覆盖能力、运行可靠性与服务连续性，已成为电动交通稳定运行的重要基础。

交通工具电动化改变了车辆与能源供给系统之间的连接关系。电动汽车需要依托充电设施、电力网络、数字平台和运营服务完成能源补给。车辆规模、出行规律与充电行为也会影响补能资源配置。现有研究已围绕设施布局、容量配置、价格机制、电网互动和运行调度等议题形成较为系统的分析框架（Ghanbari Motlagh 等，2025；Ghanbari Motlagh 和 Li，2026）。随着电动汽车保有量持续增长，补能体系的建设重点逐步由设施覆盖扩展至供需匹配、服务组织与运行韧性。

补能需求具有显著的时间波动、空间集聚和行为差异，而固定充电设施的位置、容量与服务范围相对稳定，其建设与扩容还受到土地资源、电网条件和建设周期的约束。节假日高速服务区、空间受限园区和临时活动场地等场景中，固定设施供给难以匹配动态变化的补能需求。车辆到达节奏、等待容忍度、停车秩序、场地安全边界和用户情绪共同影响补能过程，设施可达性、等待时间、价格信息与风险感知也会改变用户选择（Shariatzadeh 等，2025；Potoglou 等，2023）。补能体系需要形成能够随需求变化调整服务位置与供给时序的弹性资源配置方式。

移动补能系统通过储能载体迁移、任务调度和场景化部署，将补能能力配置到需求集中、空间受限或临时供给不足的区域。固定设施与移动充电单元的协同配置能够改善局部供给，并在服务覆盖、运行成本和调度效率方面形成新的优化空间（Golsefidi 等，2025；Deng 等，2025；Peng 等，2026）。移动补能系统已由临时补位设备逐步演变为补能网络中的柔性资源节点，承担局部供给补充、需求波动缓冲和服务连续性维护等功能。

环境感知、自主决策和行为调节能力的嵌入，进一步改变了移动补能系统的运行方式。系统进入具体场景后，需要综合车辆状态、空间条件、任务优先级和现场秩序，完成任务接

入、路径移动、停靠定位、状态反馈与异常处置。用户、运营者与智能系统围绕需求确认、任务分配、过程监督和异常接管形成持续协作，系统行为理解、信任匹配、人工介入与控制权配置成为影响协同绩效的关键因素。系统可理解性、与系统能力相匹配的信任及有效的人类控制，是人智协同可靠运行的重要条件 (Capel 和 Brereton, 2023; Mehrotra 等, 2024)。

智能移动补能系统由能源输送设备演变为融合物理装备、智能行为、信息交互与服务组织的复合型设计对象。复杂场景中的空间秩序、任务风险、运行边界和主体状态如何影响人智协同，并进一步作用于装备构型、交互方式、任务调度与运行策略，构成研究的核心问题。研究问题的生成机制如图 1 所示。

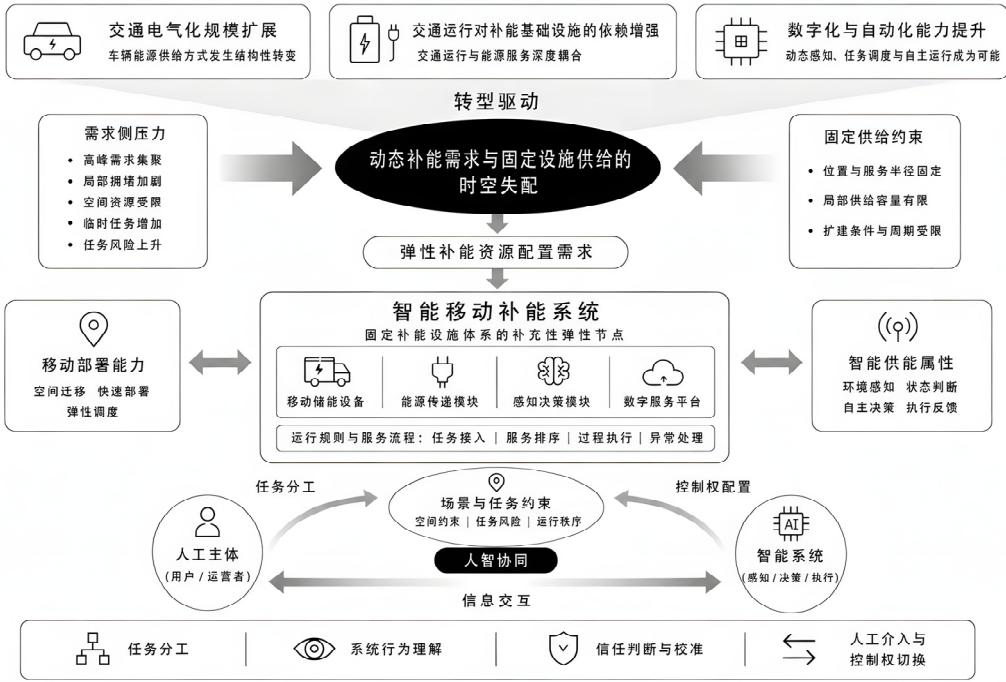


图 1 交通能源系统转型背景下智能移动补能系统设计问题的生成机制

2 智能移动补能系统的生成逻辑

智能移动补能系统产生于固定充电设施与移动补能资源协同运行的补能体系。固定设施承担常态化能源供给，移动补能单元依靠空间迁移、快速部署和任务调度能力，根据服务位置、需求时序与局部负荷配置补能资源。行驶中补能及其他动态补能方式进一步拓展了传统充电网络的服务边界 (Khan 等, 2025)。在这一体系中，移动补能系统作为可调度的柔性节点，承担局部供给补充、需求波动调节和服务接续。

移动补能系统的功能需要通过连续的场景任务实现。设备依据服务需求完成任务接入、路径移动、停靠定位、车辆连接、能量传递、状态确认和服务退出，并协调车辆通行、人员活动与场地秩序。移动补能任务涉及能源调配、服务进程和现场条件之间的动态关系 (Duan 等, 2025)。空间结构、需求密度、任务风险和运行规则共同限定设备的移动方式、停靠位置、服务顺序及人工介入条件，使系统运行具有明确的场景依赖性。

连续服务依赖数字平台对用户需求、设备状态和运行规则进行组织。平台汇集车辆电量、任务请求、设备位置、能源余量、服务进度与场地信息，完成需求匹配、任务排序、路径安排、运行监测和信息反馈。补能服务的稳定运行建立在设备、用户、运营主体和服务规则的持续协调之上 (Trinko 等, 2023)。数字平台将分散设备纳入统一服务网络，使单次补能任务转化为可持续调度的服务过程。

环境感知与自主决策能力使系统形成感知、判断、规划、执行和反馈相衔接的行为闭环。系统通过传感、定位与通信获取车辆、人员和场地信息，依据任务目标、运行状态与安全边

界生成行动方案，并根据执行结果调整路径、服务顺序与交互策略。感知、连接、定位和执行成为自动化补能的重要技术环节（Piedel 等，2024），使系统能够持续响应场景变化，并具备接受人类监督、干预与接管的智能体属性。

移动能力实现补能资源的空间配置，任务流程建立装备与场景的运行联系，数字平台组织需求、设备与服务规则，智能行为闭环支持系统响应环境变化。智能移动补能系统是由移动储能装备、能源传递模块、感知与决策模块、数字服务平台及运行规则共同构成，在用户和运营者参与下完成能源输送、任务组织、空间协调与服务协同的复合型智能移动服务系统。

3 智能移动补能系统的发展趋势

交通电气化规模扩大、补能需求波动加剧，以及数字化与自动化能力提升，正在重塑移动补能系统在交通能源网络中的角色。其功能已从局部补位延伸至需求调节和网络协同，运行方式也由单体设备执行转向平台组织下的分层自主运行。其发展主要表现为网络功能拓展、服务组织平台化、运行模式分层化和设计重点协同化。

移动补能系统将在补位服务基础上进一步参与局部负荷调节、需求响应与补能网络韧性维护。未来补能体系将形成固定充电、移动补能和动态充电等多种方式协同运行的混合结构（Nguyen 等，2024）。充电行为的不确定性、区域负荷差异及可再生能源接入，对补能资源的弹性配置与协同规划提出了更高要求（Zhang 等，2026；Mogire 等，2026）。移动补能系统可根据需求变化调整服务位置、供给时序和能源分配，在固定设施覆盖不足或局部负荷快速上升时提供弹性支撑。

服务范围扩大将推动系统由单台设备控制转向多设备、多任务和多主体的平台化组织。数字平台需要持续连接用户需求、车辆状态、设备位置、能源余量、场地条件与运营规则，将需求识别、任务分配、路径安排、状态监测、异常处理和服务反馈纳入统一调度过程。运行数据还可用于修正服务规则和资源配置，使装备运行、服务交付与运营管理形成连续反馈。

场景差异将推动系统形成分层化的自主运行方式。封闭运营园区具有流程稳定、职责明确和连续作业等特征，适合配置自动识别、精准定位、自主对接和连续调度能力，识别、定位、对接与插拔执行已成为自动化补能的重要技术方向（Saputra 等，2024）。高速服务区具有需求集中、人员与车辆混行、等待压力较高和空间秩序动态变化等特征，需要强化任务确认、状态说明、风险提示与人工介入。充电方式、等待成本、场站条件和服务体验也会影响用户选择（Chen 等，2025）。临时活动和应急保障场景则更强调快速部署、任务优先级、信息共享与异常响应。

不同任务结构、环境开放程度与风险水平要求系统采用差异化的自主与协同配置。规则明确、环境稳定的任务可提高系统自主水平；人员关系复杂、状态变化频繁的场景则需强化信息确认、过程监督与人工接管。系统评价应考察其行为是否易于理解、可以预测并支持适时介入。系统行为解释、状态反馈、自主权限与控制权切换，是协调技术能力、场景约束与主体需求的关键设计变量。

自主能力的提升使智能移动补能系统的设计重点由功能实现转向人与智能系统如何共同完成任务。设备构型为车辆运行、人员活动与人工操作提供空间基础，智能交互承担状态说明、意图表达与风险提示，任务调度和协同策略则协调服务优先级、资源配置及控制权变化。系统行为理解、感知控制、认知负荷与信任校准通过监督、介入和接管影响运行绩效与场景适配。移动补能正在由单一储能设备转向复合型智能服务系统，设计重点也从自动化能力配置转向复杂场景中的人智协同。场景约束、主体认知与系统自主程度之间的作用关系，构成后续研究的核心内容。

4 研究缺口与研究问题

现有研究已从设施规划、能源配置、移动设备调度、用户充电选择与服务组织等方面，对移动补能系统的技术基础和运行价值进行了较为充分的讨论。随着环境感知、自主决策和任务执行能力逐步嵌入移动补能装备，系统开始参与需求识别、路径规划、服务排序与异常处置，补能服务也由设备单向执行转变为用户、运营者与智能系统共同参与的 task 过程。研究关注点随之延伸至任务分配、信息传递、系统行为理解，以及人在何种条件下介入系统运行。现有成果对这一协同关系的形成条件、作用过程及设计影响仍缺少研究阐释。

复杂场景中的人智协同结构尚未得到清晰界定。高速服务区、封闭运营园区与临时活动场地在空间开放程度、任务稳定性、风险水平和人员参与方式上存在差异。场景条件不仅限定设备的运行范围，也会改变用户、运营者与智能系统之间的职责分配和控制边界。需求确认主体、任务优先级设定权限、系统决策核验方式与人工介入条件，均受到任务特征、系统能力及主体角色关系的共同制约。现有研究多将人员、设备与环境作为相对独立的影响因素，对任务关系、信息关系和控制关系如何共同构成人智协同缺少说明。

人智协同的作用机制仍需进一步揭示。随着系统自主程度提高，人的角色逐渐转向目标设定、运行监督与异常接管。主体需要依据系统提供的信息判断其当前状态、行动意图与能力边界，并据此选择接受系统方案、持续核验任务进程、调整运行要求或实施接管。系统行为理解、感知控制与认知负荷会影响主体对系统能力的判断，而主体信任与系统实际表现之间的匹配程度，则进一步影响依赖、监督和介入行为。协同结果还会反向更新主体对系统的认识，并改变后续任务中的监督强度与控制策略。现有研究较少从连续任务过程考察动态调整关系，难以解释相同自主能力在不同场景和主体条件下产生差异化协同结果的原因。

用户与运营者在人智协同中承担不同职责。用户主要参与服务需求确认、状态理解、操作配合与风险响应，其协同质量取决于系统信息是否清晰、行动是否符合预期，以及必要时能否有效调整或终止服务。运营者需要处理设备状态、任务冲突、资源配置与异常恢复，更加关注多任务监督、运行决策和控制权接管。两类主体共享系统行为理解、感知控制与信任校准等基本人因变量，但在信息需求、决策权限和绩效标准方面存在差异。人智协同研究需要在统一框架下区分不同主体的任务职责。

人智协同机制与系统设计之间的联系也有待进一步建立。系统自主水平、信息反馈方式、行为解释程度、任务分工和控制权限均可通过设计进行调整，并影响人的理解、判断和介入行为。设备构型决定人员接近、现场操作与异常处置的空间条件，任务调度则影响服务优先级、等待秩序和运营负荷。机制研究需要说明关键变量如何进入装备构型、智能交互、任务调度与协同策略，并通过可比较的设计方案检验其实际效应。

针对上述研究缺口，将场景与任务条件、主体认知、协同行为及联合任务绩效纳入统一分析框架，重点考察用户、运营者与智能系统在任务分工、信息交互和控制权切换中的作用关系，并分析人智协同机制对系统设计的影响。整体研究框架如图 2 所示。围绕这一框架，研究提出以下三个问题。

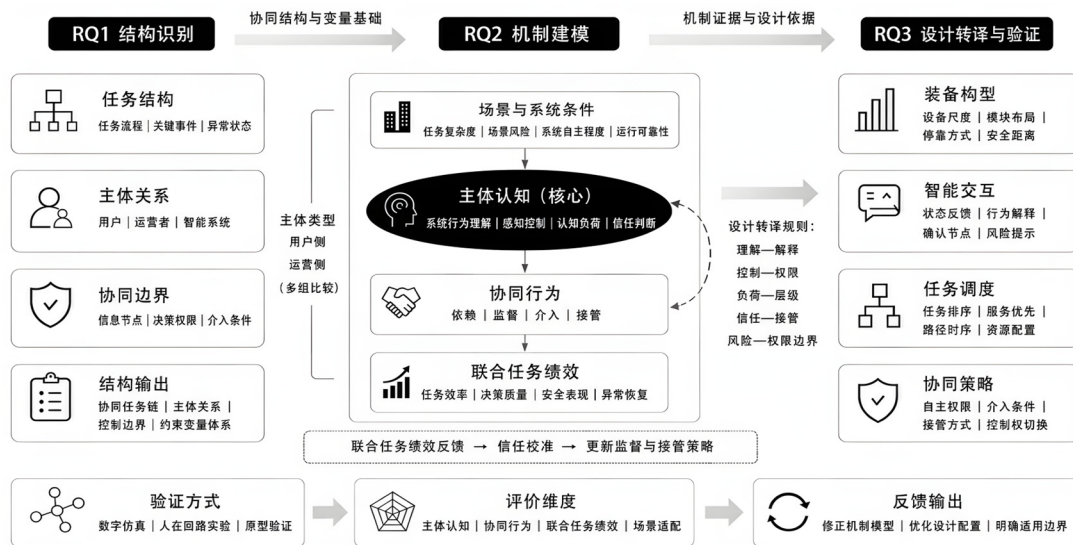


图2 复杂场景下智能移动补能系统人智协同机制研究框架

RQ1: 复杂场景中的任务特征、主体角色与系统能力如何共同塑造人智协同的任务结构、信息关系与控制边界？

RQ1 关注人智协同发生的基础条件。研究将识别不同场景中的任务链、主体职责、信息节点、控制权限与典型异常事件，分析空间条件、任务风险和系统能力对任务分工及人工介入条件的影响，形成复杂场景下的人智协同任务结构与设计约束体系。

RQ2: 场景约束与系统自主程度如何影响主体认知，主体认知又如何作用于依赖、监督、介入与接管行为，任务反馈如何进一步调整信任判断与控制策略？

RQ2 构成本研究的核心问题。研究将考察场景约束与系统自主程度对系统行为理解、感知控制、认知负荷和信任校准的影响，探索主体认知作用于依赖、监督、介入与接管行为的路径，并分析任务结果对后续信任判断和控制策略的反馈作用，构建能够反映主体差异与场景边界的人智协同机制模型。

RQ3: 如何依据人智协同机制配置装备构型、智能交互、任务调度与协同策略，并提升联合任务绩效与场景适配水平？

RQ3 关注人智协同机制的设计实现。研究将依据关键变量及其作用关系，形成支持系统理解、任务监督、人工介入和异常接管的设计配置，并通过方案比较检验不同配置对主体认知、协同行为、联合任务绩效与场景适配的影响。

5 研究方法与研究设计

采用探索性序列混合研究，以高速服务区为主场景，依次开展人智协同结构识别、机制建模与设计验证。封闭运营园区和临时活动场地作为对照场景，用于比较不同任务稳定程度、环境开放水平和系统自主程度下的人智协同差异。整体研究路径如图 3 所示。

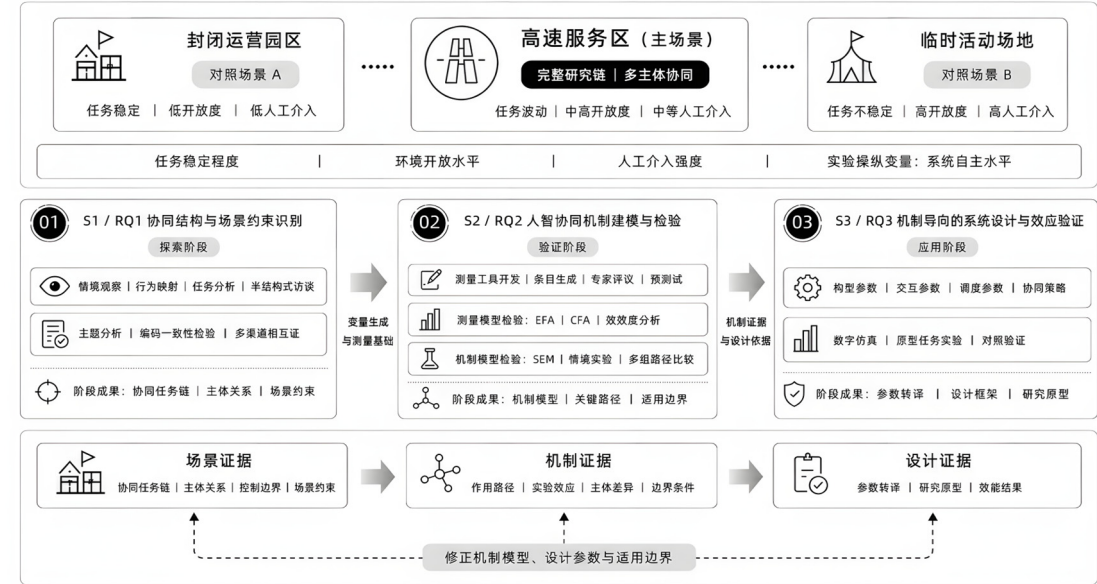


图 3 复杂场景下智能移动补能系统人智协同机制的三阶段研究设计

第一阶段聚焦复杂场景中的人智协同任务结构与设计约束。通过情境观察、行为映射、任务分析和半结构式访谈，梳理需求提出、任务接入、设备移动、停靠连接、能源传递、异常处置与服务退出等环节，分析用户、运营者与智能系统在任务分工、信息获取和控制权限上的关系。识别影响协同过程的空间条件、任务风险、系统能力、关键交互节点与人工介入条件，并通过主题分析、交叉编码和多源资料互证，形成协同任务链、主体角色关系、信息节点、控制边界及设计约束变量体系。

第二阶段聚焦人智协同机制的构建与检验。依据前期形成的变量体系开发测量工具，通过问卷调查考察场景约束、系统自主程度、主体认知、协同行为与联合绩效之间的关系，并采用探索性因子分析、验证性因子分析和结构方程模型检验变量结构与作用路径。机制分析重点关注系统行为理解、感知控制、认知负荷和信任校准对监督、依赖、介入与接管行为的影响。情境实验和人在回路实验将进一步研究系统自主程度、运行可靠性、行为解释、信息反馈与控制权配置，比较不同任务条件下主体认知、行为反应与任务表现的变化。用户侧研究主要考察服务理解、方案接受与风险响应，运营侧研究主要考察多任务监督、异常识别与接管恢复。该阶段将形成经统计建模与实验检验的人智协同机制模型，并明确其在不同任务结构和场景条件下的适用边界。

第三阶段聚焦人智协同机制的设计实现与效应验证。依据机制模型中的关键变量及其作用关系，对装备构型、智能交互、任务调度与协同策略进行配置。装备构型主要回应车辆通行、设备停靠、人员接近和异常操作需求；智能交互重点支持状态识别、行为理解、风险判断与接管操作；任务调度用于协调用户需求、服务顺序与资源配置；协同策略用于明确系统自主权限、人工监督方式、介入条件和控制权切换规则。将在此基础上形成基准方案与优化方案，通过数字仿真评价空间组织、服务时序与异常恢复，通过人在回路实验检验系统行为理解、信任校准、介入行为与接管表现，结合研究原型考察装备、交互与服务流程的适配性。验证结果将用于检验机制模型的解释力和设计配置的有效性，修正关键变量关系、自主权限、介入条件与控制策略，形成面向复杂场景的智能移动补能系统人智协同设计框架。

6 预期贡献

在理论层面，将空间约束、任务风险、系统自主程度与主体角色纳入人智协同分析，解释复杂场景如何塑造用户、运营者与智能系统之间的任务分工、信息关系和控制边界。可揭示系统行为理解、感知控制、认知负荷与信任校准对监督、依赖、介入和接管行为的作用，以及任务结果对后续判断与控制策略的反馈影响。相关成果将推动补能系统人智协同研究由相对单一的交互情境拓展至多主体参与、连续任务运行和环境动态变化的智能移动装备场景。

在方法层面，将形成贯通真实场景研究、机制建模、因果检验与设计验证的研究路径。场景调查用于识别协同任务、主体职责与控制关系，量化建模用于检验变量之间的稳定联系，情境实验与人在回路实验用于揭示关键条件对认知和行为的影响，设计方案与研究原型则用于验证机制结论在具体系统中的有效性。在场景证据、统计关系、因果效应与设计结果之间建立联系，为复杂智能装备的人智协同研究提供兼具解释力与可验证性的实证方法。

在设计层面，将提出面向智能移动补能系统的人智协同设计框架，明确系统自主水平、行为解释、信息反馈、任务分工、人工介入与控制权切换等关键设计变量及其适用条件。研究将形成适配高速服务区任务特征的装备、交互、调度与协同配置，并通过对照场景识别相关结论的适用边界。相关成果可为智能移动补能系统的方案设计、运行组织与综合评价提供依据，并为同类智能移动服务装备的人智协同设计提供方法参照。

7 时间计划

本研究计划在四年内完成理论框架构建、协同任务结构识别、人智协同机制检验、机制导向设计验证及学位论文撰写。具体安排如图4所示。

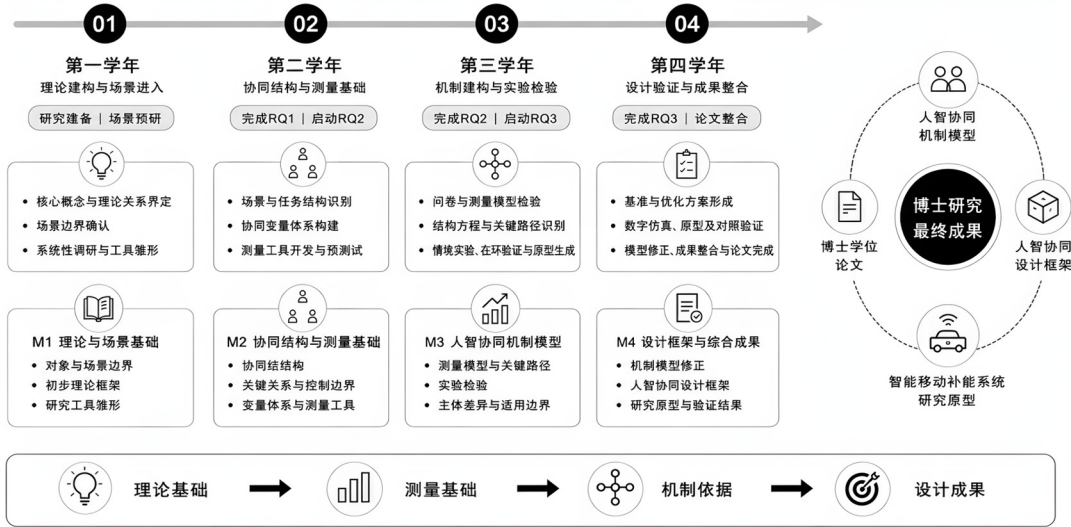


图4 四年研究计划与阶段成果

第一学年重点完成理论建构、研究对象界定与场景探索。将梳理智能移动补能、人智协同、人因设计和智能装备设计等相关成果，明确核心概念、理论关系与研究边界，并对高速服务区、封闭运营园区和临时活动场地开展探索性考察。通过案例分析、初步观察与访谈，掌握移动补能任务流程、参与主体和典型协同问题，形成理论框架、场景边界与研究实施方案。

第二学年重点识别人智协同的任务结构与场景约束。将在高速服务区开展情境观察、行为映射、任务分析和半结构式访谈，分析用户、运营者与智能系统在不同任务环节中的职责分配、信息需求、控制权限与介入条件，形成协同任务链、主体关系、关键节点与约束变量体系。在此基础上开发人智协同测量工具，完成专家评议与预测试，为机制建模建立变量与

测量基础。

第三学年重点构建并检验人智协同机制。将开展问卷调查，通过探索性因子分析、验证性因子分析与结构方程模型检验变量结构和作用路径，并通过情境实验与人在回路实验分析系统自主程度、运行可靠性、行为解释、信息反馈和控制权配置对主体认知及协同行为的影响。比较用户侧与运营侧任务中的作用差异，形成具有统计支持、因果依据和适用边界的人智协同机制模型，并据此提出初步设计配置与原型方案。

第四学年重点完成机制导向的设计验证与成果整合。将依据机制模型完善装备构型、智能交互、任务调度与协同策略，形成基准方案和优化方案，通过数字仿真、人在回路实验与原型验证比较不同配置对主体认知、协同行为、联合绩效和场景适配的影响。封闭运营园区和临时活动场地用于典型任务复验与机制边界分析。根据验证结果修正机制模型和设计框架，完成研究成果总结、学位论文撰写及答辩工作。

参考文献:

- [1] MATURA A, SINGH R K, KUMAR R. Decarbonizing road transport: A systematic literature review based on use case analysis[J]. *Case Studies on Transport Policy*, 2025, 20: 101416. DOI: 10.1016/j.cstp.2025.101416.
- [2] GHANBARI MOTLAGH S, OLADIGBOLU J, LI L. A review on electric vehicle charging station operation considering market dynamics and grid interaction[J]. *Applied Energy*, 2025, 392: 126058. DOI: 10.1016/j.apenergy.2025.126058.
- [3] GHANBARI MOTLAGH S, LI L. A review on electric vehicle charging station planning: Infrastructure placement, sizing, upgrades, and uncertainties[J]. *Journal of Energy Storage*, 2026, 141: 119325. DOI: 10.1016/j.est.2025.119325.
- [4] SHARIATZADEH M, LOPES M A R, HENGgeler ANTUNES C. Electric vehicle users' charging behavior: A review of influential factors, methods and modeling approaches[J]. *Applied Energy*, 2025, 396: 126167. DOI: 10.1016/j.apenergy.2025.126167.
- [5] POTOGLU D, SONG R, SANTOS G. Public charging choices of electric vehicle users: A review and conceptual framework[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023, 121: 103824. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103824.
- [6] GOLSEFIDI A H, HIPOLITO F, PEREIRA F C, SAMARANAYAKE S. Incremental expansion of large scale fixed and mobile charging infrastructure in stochastic environments: A novel graph-based Benders decomposition approach[J]. *Applied Energy*, 2025, 380: 124985. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.124985.
- [7] DENG Y, CHEN Z, LIN X. Cost-competitiveness analysis of mobile chargers in an electric vehicle parking and charging system[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2025, 171: 104951. DOI: 10.1016/j.trc.2024.104951.
- [8] PENG C, YANG Y, YAO E, PAN L, ZHU Y. Coordinate fixed and mobile charging station deployment and scheduling for fluctuating demand[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2026, 155: 105331. DOI: 10.1016/j.trd.2026.105331.
- [9] CAPEL T, BRERETON M. What is human-centered about human-centered AI? A map of the research landscape[C]//*Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: Association for Computing Machinery, 2023: 1-23. DOI: 10.1145/3544548.3580959.
- [10] MEHROTRA S, DEGACHI C, VERESCHAK O, JONKER C M, TIELMAN M L. A systematic review on fostering appropriate trust in human-AI interaction: Trends, opportunities and challenges[J]. *ACM Journal on Responsible Computing*, 2024, 1(4): 1-45. DOI: 10.1145/3696449.
- [11] KHAN M A, BURGHOUT W, CATS O, JENELIUS E, CEBECAUER M. Charge-on-the-move solutions for future mobility: A review of current and future prospects[J]. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2025, 29: 101323. DOI: 10.1016/j.trip.2025.101323.
- [12] DUAN S, ZHANG Z, WANG Z, XIONG X, CHEN X, QUE X. A study on mobile charging station combined with integrated energy system: Emphasis on energy dispatch strategy and multi-scenario analysis[J]. *Renewable Energy*, 2025, 239: 122111. DOI: 10.1016/j.renene.2024.122111.
- [13] TRINKO D, HORESH N, PORTER E, DUNCKLEY J, MILLER E, BRADLEY T. Transportation and electricity systems integration via electric vehicle charging-as-a-service: A review of techno-economic and societal benefits[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, 175: 113180. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113180.
- [14] PIEDEL E, LAUTH E, GRAHLE A, GÖHLICH D. Review and evaluation of automated charging technologies for heavy-duty vehicles[J]. *World Electric Vehicle Journal*, 2024, 15(6): 235. DOI: 10.3390/wevj15060235.

- [15] NGUYEN D M, KISHK M A, ALOUINI M S. Dynamic charging as a complementary approach in modern EV charging infrastructure[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 5785. DOI: 10.1038/s41598-024-55863-3.
- [16] ZHANG B, XIN Q, CHEN S, WANG Z, LU Y, NIU N, ZHANG F, LIU G, BANSAL P. Behavioral uncertainty in EV charging drives heterogeneous grid load variability under climate goals[J]. Nature Communications, 2026, 17(1): 43. DOI: 10.1038/s41467-025-66796-4.
- [17] MOGIRE E, KILBOURN P, LUKE R. Resilient electric vehicle charging stations in urban areas: A systematic literature review[J]. World Electric Vehicle Journal, 2026, 17(3): 148. DOI: 10.3390/wevj17030148.
- [18] SAPUTRA H M, NOR N S M, RIJANTO E, MD ZAIN M Z, MAT DARUS I Z, YAZID E. A review of robotic charging for electric vehicles[J]. International Journal of Intelligent Robotics and Applications, 2024, 8(1): 193-229. DOI: 10.1007/s41315-023-00306-x.
- [19] CHEN B, GUO H, ZHOU F, HU Z, HUANG J S, WU K, MEROUX D, BAO S. Electric vehicle users' charging patterns and selection considerations at public charging stations[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2025, 149: 105081. DOI: 10.1016/j.trd.2025.105081.