

附件 1:

蔚来科研合作项目申报指南 (2022 年度第二批)

数字技术、电子科技、材料科学等领域的快步发展正在对下一代汽车体验带来颠覆式的影响,传统的车辆机械、工程技术也在快速迭代,车辆的性能、成本和效率获得进一步改善。融合了智能化、电动化技术的汽车工业再一次成为汇聚多领域尖端科技的赛道。

蔚来是一家坚持从长期价值思考,坚持核心技术全栈自研的智能电动汽车品牌。为了进一步加速公司对先进技术的探索与积累,更好地推动产业发展,培养高层次的跨界技术人才,蔚来将携手高校与科研机构共同开展智能电动汽车相关的科研合作,进行前瞻性、应用导向型的技术创新研究,并推动产学研转化。蔚来现向全球发布科研合作项目申报指南(2022 年度第二批)。

本指南阐述了智能电动汽车关键领域的 19 个研究课题,内容涉及人工智能、自动驾驶、音视频技术、无线通信、工业化软件、整车工程、电池技术、电机技术、先进制造、材料与工艺方向。蔚来将综合评估项目方案的研究价值与质量后,启动若干研究任务。同时,我们也公开向全球学者开放征集在上述领域内的科研合作课题,经评估课题意义与价值后,我们也将纳入本年度合作范畴。

对于本指南内的课题,项目统一按指南二级标题(如 1.1)的研究方向进行申报,申报项目的研究内容须涵盖该二级标题下指南所列的全部考核指标。每个项目设 1 名项目负责人,项目实施周期建议 1 年。

在建议的项目申请期限内,项目负责人需将项目申报材料提交至项目建议书征集通知中提供的统一邮箱:university@nio.com。

关于项目申请过程中的疑问或信息补充,可联系蔚来高校合作部。联系人及联系方式:夏禹,frank.xia@nio.com, 13645196320;赵雨薇,yuwei.zhao@nio.com, 15201277684。

目次

1.	人工智能类	3
1.1	基于导航路径的电动汽车行程能耗精准预测	3
1.2	基于大数据平台的 12V 电池剩余使用寿命预测	5
1.3	座舱人体热舒适性的研究	7
1.4	车端高性能计算前沿研究	9
2.	自动驾驶技术类	11
2.1	基于神经表示的三维建模渲染与感知	11
2.2	离线感知预标注算法	13
2.3	自动驾驶关键场景仿真生成与加速测试技术	15
3.	音视频技术类	17
3.1	智能音频技术应用研究	17
3.2	车内声场客观评价模型研究	19
4.	无线通信类	21
4.1	地下定位——短距支持超长距离定位	21
5.	工业化软件	23
5.1	基于 PIL 仿真的软件多核架构分析	23
6.	整车工程类	25
6.1	整车状态预估模型的开发	25
7.	电池技术类	27
7.1	锂电池极片的烘干仿真模型	27
8.	先进制造技术	29
8.1	铝前盖总成全工艺流程高精度尺寸仿真预测研究	29
8.2	铝板冲压边缘开裂失效预测模型应用研究	31
8.3	车身大型铸铝结构件机械性能仿真研究	32
9.	材料与工艺	33
9.1	具备全频率段吸音性能的新型复合材料	33
9.2	高隔热率夹层玻璃研究	36
9.3	板级 PTC 焊点可靠性仿真技术	38

1. 人工智能类

1.1 基于导航路径的电动汽车行程能耗精准预测

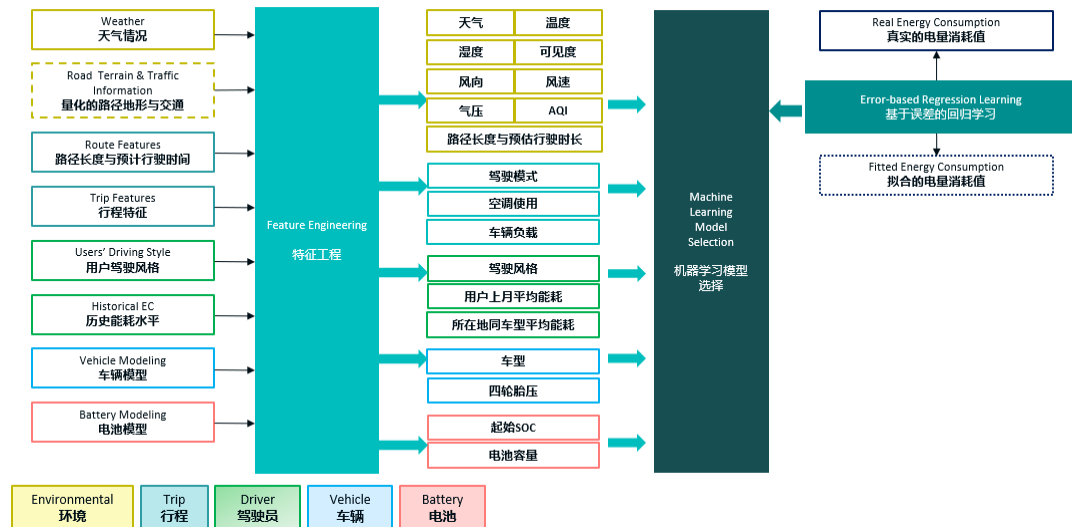
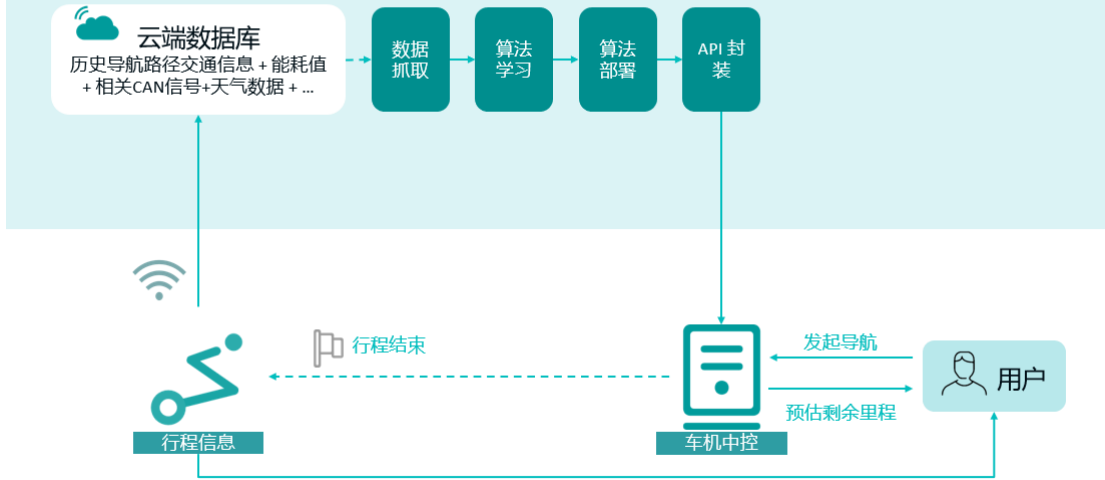
【研究背景/问题】

整车能耗水平和真实续航里程是用户选择购买电动汽车时主要参考的因素之一。电池真实可用容量，补能体验，剩余里程预估，是用户最为关心的三个方面。随着电池技术和整车电子电气架构的迭代，以及蔚来充换电网络的持续建设，前两个方面已经有所缓解。而剩余续航里程显示非线性，无法针对用户实际用车行为和用车场景进行精准预估，是长期困扰用户的痛点。基于简单经验公式的计算，已无法为用户创造安心和懂我的体验。在强调智能网联技术的今天，利用量产车辆产生的海量真实数据，结合先进的机器学习算法，有望实现更为精准的剩余续航里程预测。

【研究目标】

采用车队数据来校正经验模型，或者训练机器学习/深度学习模型，以对车辆实时能耗水平进行精准预测。潜在的特征为驾驶员历史能耗水平、平均车速、关键驾驶行为(急加速急减速等)、地区同车型能耗水平、及当前行程发起导航后图商返回的路径长度、预估行驶时间、路径红绿灯个数、交通拥堵态势，路径坡度变化等信息，综合车辆当前的驾驶模式、胎压、SoC、电池健康度、乘员舱载客数，空调及车内娱乐设施开启情况等。合作老师需要与蔚来技术人员一起设计系统框架，并进行特征工程、模型选择、模型调优、工程验证等工作。

技术研究
系统设计



【项目产出】

1. 交付一套基于导航路径的电动汽车行程能耗预测模型，包括算法及源代码；
2. 合作发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇；
3. 合作申请专利 1-2 件。

【交付指标】

- 模型精度：对于验证集/实车验证的预测精度达到 90%以上。

1.2 基于大数据平台的 12V 电池剩余使用寿命预测

【研究背景/问题】

12V 电池为整车所有控制器供电，一旦工作不正常，会导致车辆趴窝或产生安全隐患，因此其可靠性和稳定性非常重要；目前，市场反馈回来的数据显示，部分 12V 电池寿命只有 1-2 年，用户体验差，抱怨多。12V 电池寿命预测是行业的难点，需要用到大量的数理统计，机器学习相关算法，蔚来希望能进一步提升 12V 电池寿命预测的准确度。

【研究目标】

1. 依托高校的科研实力和基础理论分析能力，结合蔚来的使用场景和电池全生命周期的数据，采用机器学习和机理研究相结合，实现 12V 电池的寿命的精准预测。
2. 基于大数据平台的 12V 电池剩余使用寿命的精确模型，实现 12V 电池故障的提前预警。同时，探索电池的老化路径，优化整车控制策略，避免或减缓老化进程，延长电池的寿命。

【项目产出】

1. 搭建 12V 电池老化模型与算法平台，通过对电池全生命周期大数据的特征提取，机器学习算法的运用，精确预测 12V 电池寿命，有效避免突发电池故障，通过智能提醒帮助用户规划好维修日程，提升公司的高科技智能化形象和用户满意度；
2. 识别电池的老化路径，通过整车控制器的策略优化，优化电池的运行，减少滥用，提高电池寿命降低用户的用车成本。
3. 白盒交付电池的老化模型与算法源代码，完成在线部署。

【交付指标】

- 预期寿命误差在 4 周以内；
- 数据处理与算法源码与说明文档；

- 合作发表国际顶级期刊/会议论文或申请高质量专利 2~3 篇；
- 联合培养硕博士生 1~2 名。

1.3 座舱人体热舒适性的研究

【研究背景/问题】

随着智能化汽车的发展，座舱热舒适性已经成为评价汽车性能的重要指标，良好的热舒适性是智能座舱的研究热点和必备条件。而汽车是一个非常复杂的热环境场，除了空气温度外，人的舒适性还受到空气相对湿度、空气流速、热辐射等的影响，这些因素都造成了车内气候环境的复杂性和不稳定性。乘员的人体的热舒适性不仅跟所处热环境有关，还跟人体的主观感受有关，且人体不同部位对热环境的敏感程度也不一样，这为热舒适性评估增加了复杂性和难度。目前所有的汽车座舱热环境都是通过空调的控制达到用户设定的温度的方式被动控制方式，并且这种方式是以标定人员的主观评价为主，并不能满足不同用户特有的需求。通过传感器主动探测人体舒适性，在建筑环境已经有大量研究和部分应用。本次项目希望能把这种主动探测人体舒适性的技术应用到座舱空调控制中，来满足人体舒适性的差异化需求，为乘客创造更加舒适的车内环境和驾驶体验。

【研究目标】

结合合作高校前沿的技术研究与实际应用结合，研究影响人体舒适性的背后生理的本质，通过传感器主动探测人体表面温度，特别是人体脸部温度，对其温度场进行重述建模和重点参数的提取，来建立分析人体热舒适性的模型和算法，并且通过上车实际测试验证来保证模型及算法的准确性和可靠性，并建立测试流程规范，从而为蔚来的用户提供更加舒适的乘员舱环境和驾乘体验。

【项目产出】

项目预期产出为交付准确性和可靠性高的人脸温度计算模型及算法，满足需求的舒适性评价模型及算法，实车上满足准确性和可靠性测试验证报告，和可指导验证的测试流程规范。

【交付指标】

- 交付热舒适性检测流程规范及实验报告，检测准确率达到 85%以上；
- 交付人体热舒适性检测及控制算法代码；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并申请专利 2 项。

1.4 车端高性能计算前沿研究

【研究背景/问题】

新能源汽车智能座舱依托 AI/大数据、人机交互、汽车芯片与操作系统技术越来越快的发展，给用户带来了越来越多的极致的产品体验。

蔚来座舱基于 Nomi 的人机交互链路包含了语音信号处理、语音唤醒、语音识别、自然语音理解、对话、语音合成、视觉感知、多模交互 (OMS/DMS) 等模块，整个交互链路长，模块多，对算力的需求较大，调度复杂；云端服务器集群有充足的算力，大模型会带来好的算法效果，但弱网和断网情况下，对用户的产品体验影响较大，而且涉及隐私问题，车机数据不能往云端上传需要端侧来进行相关的处理和计算。对车机芯片而言，近些年有了长足发展，但端侧计算资源限制面临很大的挑战，算力和效果需要基于产品优先级做各种权衡，如何在当前的车机芯片上利用芯片的算力资源提升算法效果和性能成为关键，同时端侧涉及多操作系统（例如 Android、Qnx），多芯片类型(例如 Dsp、Cuda、Arm)，如何对底层多设备的混合调度也提出了高要求。

另外，目前科研界和工业界开源训练和推理框架（例如 pytorch/tensorflow）很多，但存在以下两个问题：一、各种开源框架出于通用性的考虑，会带来不同程度的性能损失；二、不同的算法模块可能采用不同的框架进行训练；如何投入更少人力快速适配不同框架的模型推理，同时获得极致的性能是需要我们亟需解决的一个问题；因此需要一套适配我们各种车型不同芯片（arm/dsp/cuda/x86）的推理引擎框架，兼具高性能、异构调度，能够支持各种算法模块的快速上线，改善座舱交互的产品体验。

【研究目标】

积累高性能计算相关技术：GPU/CPU/DLA/NPU 异构调度、模型稀疏化/量化、结合特定硬件的矩阵乘/卷积计算加速、循环神经网络相关算子的加速等。

【项目产出】

1. 高性能计算相关技术：基于不同底层硬件的异构调度、稀疏化/量化加速技术、卷积/循环神经网络的加速等。

【交付指标】

- 高性能加速技术在推理引擎得到实际应用，在具体的公开模型，例如 Conformer/Bert 等模型上精度损失 0.3%的情况下速度提升 30%；
- 完成相关技术的算法和代码实现，提供相关文档，代码可测试并达标；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。

2. 自动驾驶技术类

2.1 基于神经表示的三维建模渲染与感知

【研究背景/问题】

自动驾驶道路场景下，感知数据采集中，会遇到难采集(hard-to-source, e.g. 异形车、人在机动车道、雨雪雾天、障碍物等)、难标注(hard-to-label, e.g. 复杂路口元素、远距离物体等)等情景，这些难点增加了数据驱动的感知算法难度。

算法测试因不可控因素（上述难采集、难标注问题），导致高测试覆盖率的测试人力物力时间成本巨大。

- a. 数据难采集，即使采集到，相较于常规场景，难采集的训练数据量也远远不够。
- b. 异形物造成的交通事故（人站在车尾、路面翻车）。

现状与挑战：基于神经表示的三维建模与渲染，相比传统 MVS/SfM 建模方法，对新视角生成、低纹理区域有较大优势，主要的挑战是场景泛化能力、规模化无界动静场景 Neural Modeling & Rendering 能力 (BlockNerf、CityNerf、HumanNerf、Mip-Nerf 360)、Training 能力 (iNerf、BARF) 等。

未来发展趋势、新技术方向：目前方法针对独立场景训练推理，使得它难以泛化不同场景，也不是真正意义的基于数据的训练学习。多样性场景数据驱动的神经建模渲染，有望提高单一场景渲染方法的泛化性。

【研究目标】

1. 构造户外重建场景，维护虚拟训练、虚拟测试算法流程，解决上述问题。
2. 构建虚拟数据训练算法，提高虚拟场景和现实场景的算法鲁棒性、可迁移性。

【项目产出】

1. 三维场景重建工具链、虚拟训练测试验收指标不低于真实数据结果；

【交付指标】

- 在真实数据集基础上，虚拟训练测试验收指标高于真实数据结果；
- 虚拟训练测试解决若干上述举例中真实数据无法解决的情况，如：
 - a. 人+车异形物检测能力；
 - b. 侧翻车检测能力；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。

2.2 离线感知预标注算法

【研究背景/问题】

大模型数据标签预标注：自动驾驶道路场景下，感知任务多而复杂，人工标注周期慢、成本大，基于离线大模型的机器自动预标注是解决该问题的重要方向。

大模型到车端小模型的知识迁移：车端感知算法受算力限制，不能发挥极致性能，离线大模型性能强但无法部署，从离线大模型到车端模型的知识迁移则能解决该问题。

现状与挑战：学界有研究包括 CLIP、悟道，作为文本、图像等通用大模型，可以为多种简单任务的下游场景作为预训练模型。但复杂的下游场景（如自动驾驶）则不能直接用预训练模型帮助提升性能，因为存在任务、数据、和应用场景的差距。

未来发展趋势、新技术方向：多模态、无监督、多任务、知识迁移等任务的性能提升。

【研究目标】

离线大模型算法研究：提高动态目标、静态场景检测识别（基于摄像头、激光雷达等模态传感器）。

离线大模型算法应用：

- a. 大模型学习到的高性能感知能力，知识迁移到车端模型；
- b. 各任务性能上限提升，完善模型后处理规则，作为数据标签预标注，强化机器-人工标注自动化能力。

【项目产出】

离线模型感知算法原型。

【交付指标】

- 自动驾驶场景离线感知算法，道路目标和静态元素检测效果提升，在公开数据集上

取得 SOTA 最优效果，并在业务数据集上取得大幅提升（指标不低于 5%）；

- 标注修正算法：在模型预标注算法基础上，做规则算法修正，标注结果作为训练集，测评指标达到或超过人工标注数据集水平；
- 在自动标注数据集上训练的结果，超过人工标注的数据集训练结果；
- 知识迁移：从离线模型到小模型的知识迁移能力，在小模型上取得效果指标提升（不低于 5%）；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
- 联合培养硕博生数人。

2.3 自动驾驶关键场景仿真生成与加速测试技术

【研究背景/问题】

自动驾驶（AD）系统的预期功能安全（SOTIF）测试面临超长测试里程，边缘场景概率极小等挑战。以软件在环（SIL）和硬件在环（HIL）为主的虚拟仿真测试是应对这些挑战的主要手段。本项目重点研究 SIL/HIL 测试中关键场景（safety-critical scenarios）的虚拟生成与优化技术，用于对 AD 系统做端到端 SOTIF 黑盒测试。研究方向是关键场景、交通流的生成算法与测试评价技术（而非仿真技术）。生成的测试用例将以 OpenX 等标准化文件表达，并且能够运用加速测试的方法提升测试效率，等效还原到真实测试里程。

【研究目标】

开发基于场景的 AD 虚拟测试技术与工具，使测试过程具有自动化、系统化、可定制，可加速等特点。具体实现上，对测试用例（即 OpenX 等标准的道路和交通场景文件）进行系统化的描述、生成、选取、优化、和使用；并可借助路采数据，通过数据挖掘和机器学习等手段，将虚拟场景与真实数据有机结合，提高前者的真实性。

【项目产出】

技术产出包括从数采场景到泛化生成仿真场景的工具，并能够进行复杂度、危险度的评价，通过加速测试方法进行场景优化，并将测试结果还原到真实世界测试里程代表性上。同时利用 AI 等技术，生成高真实感的关键测试用例与边缘场景（包括用 OpenX 等标准化文件表达的虚拟场景和交通流）。这些自动化测试技术将不仅节省人力测试的成本，更将提升 AD 系统的安全（safety）和用户满意度。

【交付指标】

考核指标：功能性与准确性满足需求。具体包括：

- 基于数采场景的场景泛化生成工具链 1 套；

- 仿真场景复杂度、危险度评价指标与配套工具 1 套；
- SIL/HIL 仿真场景加速测试工具链 1 套；
- 高真实感的虚拟关键场景生成工具 1 套；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
- 联合培养硕博生数人。

3. 音视频技术类

3.1 智能音频技术应用研究

【研究背景/问题】

新能源汽车智能座舱依托 AI/大数据、人机交互、汽车芯片与操作系统技术越来越快的发展，给用户带来了越来越多的极致的产品体验，业界将蔚来智能座舱定义为“第二起居室”“第三生活空间”。音乐座舱、游戏座舱、影院座舱是智能座舱重要的子功能，消费者对智能座舱最直观的感受来自播放音乐或视频时的空间音频体验，同时车载扬声器系统可赋能游戏，为车内游戏玩家提供更身临其境的音视频融合体验。但当前座舱内音乐、视频、游戏体验仍有很大不足，比如：空间方位感知的缺失；全车放音没有区域分割概念，不支持差异化指向放音；盲目的增加扬声器的数量，成本显著增加体验改善不够；游戏场景和车载扬声器系统割裂等等，以上都限制了蔚来为用户营造更极致舒适的座舱体验的愿景。

基于 WFS 技术、Ambisonics 技术的虚拟声场重建理论逐渐完备，理论上可以实现“完美”的声场重建。但 3D 音频重建时，需要通过耳机重放或者大型的扬声器阵列系统重放，耳机重放受 HRTF 个性化和耳机均衡影响容易出现声像畸变，大型扬声器阵列系统比较复杂，难以短时间普及到普通用户，只能在电影院、会场等大型场所体验 3D 音频效果。智能座舱具备布置扬声器阵列的条件（NIO 大量车型扬声器数量 23+），利用好已有扬声器阵列（or 重新布型）可以实现更好的声场重建和定向放音，提升乘客的空间音频体验，将智能座舱打造成真正的音乐座舱、游戏座舱、影院座舱。

针对上述各项问题，进行如下的研究工作：

车载座舱内声场渲染(空间音频)：研究不同音源（单声道、立体声、5.1 等）的声场渲染方式，提升声场重建效果，提升座舱听感体验。

【研究目标】

积累座舱听感提升技术：3D 空间音频（声场渲染、声场重建）、扬声器均衡等技术，提升舱内音频感知体验。

【项目产出】

1. 交付物：智能音频处理技术，包括：声场渲染重建技术等；

【交付指标】

- 给出建议的座舱扬声器布置建议及说明，包括扬声器个数、扬声器阵型等；
- 完成声场渲染算法研发，提供算法文档和代码，代码可以是：python/matlab/c；
- 算法效果验收：仿真效果达到或者超过当前实车算法。如有条件可实车集成验收主观效果；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
- 联合培养硕博生数人。

3.2 车内声场客观评价模型研究

【研究背景/问题】

影响车内声场的因素很多，比如整车隔声量、声场特性及音效；整车隔声量可以通过隔声量测试，将车辆不同位置的隔声性能及贡献量解耦，如玻璃，钣金厚度（重量），气密以及车内声场；但是声场特性则直接与声包及车内空间相关，同时也影响隔声性能，声场的定义用于较大的空间场合中较多，汽车这类小空间没有量化模型可以参考。另外，车内声场作为音箱系统的载体，对音箱的音质也产生了影响。

- 主要难点：

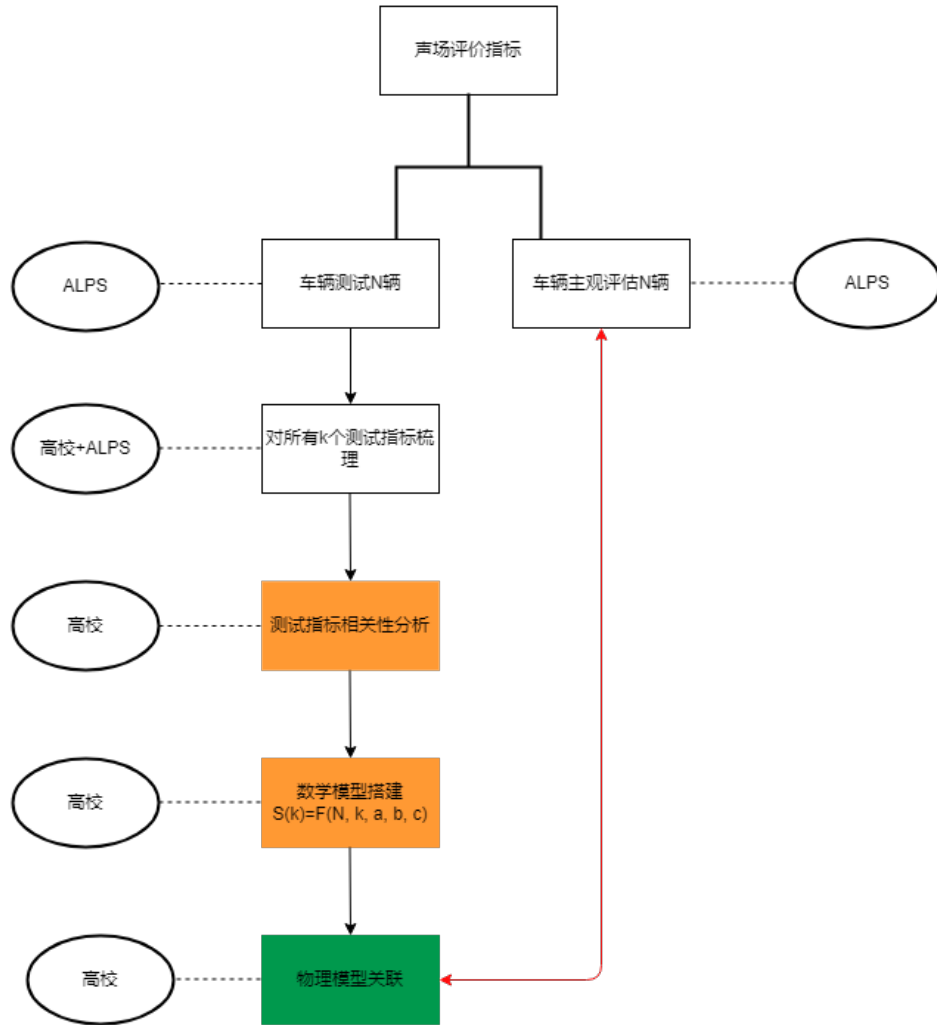
- a) 受限空间的声场评价指标没有定义；
- b) 对受限空间声场影响因素无法有效量化
- c) 声音效果的主观性太强，行业内没有主客观评价体系的应用，以支持声音 DNA 设计及音效设计。

【研究目标】

1. 通过建立声场的主观评价量体系，量化车内声场客观指标；
2. 利用车内声场客观指标，建立车内音响音效评价体系，用以指导车内音响布置和音响系统选型。

【项目产出】

1. 建立车内声场体验主观评价系统



2. 建立车内声场客观评价指标

3. 基于车内声场特性的音箱音效设计及评价指标: 包括车内扬声器位置的设计理论依据, 音效的量化评价系统, 以及对应音箱配置精益设计。

【交付指标】

- 结合整车隔声, T60, PBNR 及其他试验结果, 构建对车内声场的评价系统和指标, 并与主观建立联系;
- 通过音效设计, 提出精益化设计方案, 实现降本的目标。

4. 无线通信类

4.1 地下定位——短距支持超长距离定位

【研究背景/问题】

随着经济的发展和水平的提高，汽车也越来越普及，已经成为一种不可或缺的出行工具，但是随着汽车的数量不断增加，在一线城市以及人口密度较高的二线城市，“停车难”的问题也日益严重，为了解决汽车的停放，并且占用大量公共场所的停车问题，很多人口分布集中的区域修建了大型的地下停车场。但是地下停车场的建设虽然解决了用户停车问题，但是没有解决用户寻车问题，尽管有些商场的停车场为了方便用户找车和取车，已经配备有相应的车辆查询系统，但是覆盖率较低。对于较大的停车场，寻车问题仍然是困扰用户的一大难题。此外地下停车场具有无 GPS 信号覆盖、手机信号差和地图数据不健全等问题，极大地影响了用户的寻车体验。解决地下停车场用户定位问题是当前解决寻车问题的关键。随着 CCC3.0 数字车钥匙的普及，车辆和手机实现了越来越深的绑定关系，也为解决地下停车场用户定位提供了技术契机。车辆和手机可以通过 UWB 技术进行短距离定位，用户也可以使用手机的传感器硬件进行算法融合实现。面临的难题如下：

难题 1：使用 UWB 进行定位，由于相关法规的无线功率限制导致车辆和手机之间的通信距离过近，这个是制约通过车辆对手机进行定位的关键。

难题 2：使用手机的传感器硬件进行融合定位会存在长时间累计误差增大，且由于室内和地下无 GPS 信号，无法进行纠偏和位置校准。。

【研究目标】

现期望通过相关方法或优化方案实现更远距离的短距定位。申请人可根据自身的技术储备选择以下方案之中的一种进行研究：

方案一：使用车机之间的 UWB 技术进行用户手机定位，在符合法规功率限制的前提下，

实现 UWB 测距距离大于 50m-100m。

方案二：使用手机传感器或其他相关硬件的用户定位方案，需实现在无 GPS 且停留大于 4 小时的场景，室内定位精度小于 $\pm 3m$ 。

【项目产出】

方案一：项目预期产出高可靠性的 UWB 测距软硬件（遵循 CCC3.0 测距协议或 Fird 测距协议），提供测试报告、Demo、原理图/PCB 和源代码。

方案二：手机端的硬件要求和对应的自主定位算法，提供测试报告、测试手机、软件和算法源码。

【交付指标】

- 方案一：
 - 1) 手机和车辆 UWB 测试硬件保持高度相同；
 - 2) 车端硬件需要安装在 B 柱、前挡内；
 - 3) 全向视距测距距离 $\geq 50m$ ；
 - 4) 丢包率 $\leq 10\%$ 。

- 方案二：
 - 1) 在地下和室内无 GPS 信号场景实现 4 小时内手机自主定位；
 - 2) 90%定位点的定位精度 $\leq \pm 3m$ 。

- 双方共同发表高水平论文并申请专利 2-3 项。

5. 工业化软件

5.1 基于 PIL 仿真的软件多核架构分析

【研究背景/问题】

车控 ECU 的系统架构正在由单核 MCU 向多核域控、Zone + CCC 异构平台演进，整车应用也需要相应地向下一代平台进行迁移，这将给嵌入式软件架构带来巨大变化。同时，车控应用对功能安全、确定性实时有较高要求，需要在日趋复杂的架构上仍保证对时序和安全隔离等需求。另一方面，我们在进行多核软件设计分析的时候仍以专家经验为主，缺少方法和工具。面对这些挑战，我们需要探索诸如基于模型化的方法进行业务架构建模和多核平台建模，并构建接近真实硬件的 PIL 仿真环境以提升系统验证的自动化能力和验证覆盖率。

【研究目标】

通过对系统和软件架构进行时序建模分析和调度仿真，在产品研发早期进行合理的业务部署和验证确认，可以避免在项目后期进行架构变更，引入高昂的变更成本。可应用的场景如下：

- 业务软件从单核 MCU 向多核或多 MCU、异构、分布式等平台进行迁移；
- 业务软件因算力需求增加、Cost down、芯片供应问题等原因调整多核、多 MCU 间的静态部署以实现负载均衡或安全冗余。

PIL (Processor In the Loop) 技术介于 SIL (Software In the Loop) 和 HIL (Hardware In the Loop) 之间，兼顾软件仿真的灵活性和对目标硬件的高度模拟。本项目拟构建面向 Aurix 1G/2G 的多核 PIL 仿真平台，并结合对多核软件架构建模方法的探索，进行多核软件的设计分析（如数据一致性）、优化（内存管理、静态任务映射）和时序验证，高效、安全地解决多核软件平台上的调度同步、数据共享、资源竞争等问题。

【项目产出】

1. 基于 T32Sim 或 QEMU 的多核仿真环境，实现不做修改地运行目标系统（Aurix）软件 image，支持 Tricore 指令集运行、存储模拟、CAN 外设仿真以及多核并行；
2. 调研 Aurix TC3x 架构中可用于 Performance Monitoring 的单元（如 Cycle Cnt, Cache Analysis, Stall Cnt 等），识别影响系统确定性的关键影响因子（如 Cache miss、Bus Contention 等），及其仿真的可行性和备选方案，以进一步支持多核系统时序分析和性能调优的平台搭建；
3. 构建基于实时操作系统（以 SafeRTOS/FreeRTOS 为例）的时序模型，以及多核系统的时序建模方法（周期性任务、中断激活模式等）；
4. 结合调度模拟和 PIL 仿真开发多核时序建模和分析的平台 PoC，优化系统多核时序设计，提前验证部署方案，提高问题定位效率。

【交付指标】

- 交付物：
 1. 面向 Aurix 1G/2G 的 PIL 仿真平台代码，以及性能仿真的可行性分析报告；
 2. 实时操作系统、中间件和示例业务的时序模型、数据流模型等的源代码及调度分析报告；
 3. 调度分析核心算法及 benchmark 报告，验收指标包括：
 - a) 系统实时性（如调度周期抖动、响应时间）；
 - b) 仿真准确度（CET benchmark）；
- 技术影响力：
 1. 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
 2. 联合培养硕博生数人。

6. 整车工程类

6.1 整车状态预估模型的开发

【研究背景/问题】

整车状态预估模型的优化开发项目意义重大，能够对整车的控制功能提供基础的状态信息，使得整车的上层控制功能更加精准和可控，整车运行也更加安全。对自动驾驶来说，可靠性更高的整车状态预估模型，能够提高自动驾驶功能的安全性。

本课题覆盖整车相关的不同领域的状态信息的预估算法。双方可以根据实际情况对全部或者选择部分状态预估模型进行开发和验证。

在项目初期需要提出实现以上预估模型的大致技术路线和最终的目标模型精度，双方共同确认每个预估模型需要的信号和质量要求。最终的开发模型需要能够支持满足 NIO 控制器的编译。NIO 可以提供编译相关的工具链和技术支持，但双方需要共同制定模型的验证计划和实施验证测试。

【研究目标】

在相关算法进一步优化之后，能够进一步提高模型的精度和鲁棒性。目标是在全工况下得到实时的整车状态量，从而更好的满足上层的控制算法对整车的运动控制。

【项目产出】

本项目主要通过使用 Simulink 建模的方式，对整车所处的状态进行预估计算。需要预估的模型包括：

1. 基于自行车模型（两轮，四轮，带后轮转向）的整车参考车速，整车横摆角速度，车身侧偏角，横向加速度；
2. 路面附着系数的计算，路面高低附着系数的判断，路面 split μ 的判断，路面 μ jump 的判断；

3. 路面坡度的估算；
4. 静态和动态载荷；
5. 整车转向不足和转向过度的判断；
6. Bump, Pothole, rough road 的检测和判断；
7. Bank road 的判断；
8. 带悬架刚度的整车模型。

【交付指标】

- 交付物： 试验开发计划，Simulink 模型，建模原理，验证测试数据和模型精度分析，总结报告；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
- 联合培养硕博生数人，并派遣实习生到蔚来。

7. 电池技术类

7.1 锂电池极片的烘干仿真模型

【研究背景/问题】

锂电池极片的制备工艺对锂电池的质量和寿命起着至关重要的作用，目前国内各个厂商的主要极片阶段工艺流程包括：涂布、干燥、辊压和分切。烘箱是极片干燥的核心工艺设备，烘箱的结构和流场特性对于极片的干燥效果起着重要作用。

国内锂电池厂过去基本是以实验为主，通过实验测试来优化电池生产制造过程中的工艺参数。进行烘干工艺的优化一般都需要进行大量的工艺实验，试错和验证的成本极高。

国内排名前十的锂电池厂从 20 年下半年才开始做锂电池生产制造过程中的工艺仿真，这一块属于非常新的领域，存在非常大的机遇。极片的烘干仿真，目前行业内对这块的研究较少，主要是由于仿真过程太复杂，多物理场耦合很难收敛。

【研究目标】

电极干燥是一个复杂的过程，它涉及多相（固、液、气）、多尺度（设备尺度、宏观尺度、微米尺度和纳米尺度）以及多物理场（耦合热量、质量和动量传输）问题。建立极片的烘干仿真的介观/微观仿真模型，可以弥补单纯依靠烘干曲线来指导工艺条件和设备设计的确定方面的不足。极片烘烤是溶剂（水或 NMP）从浆料体系中蒸发出来形成极片这一微观/介观尺度上的多孔材料的传热传质过程，锂离子电池极片初始溶剂含量较高，但对残留溶剂量的要求又非常苛刻，因此溶剂蒸发会经历渗透脱溶剂、解吸附脱溶剂和毛细脱溶剂各个阶段。尤其在溶剂含量很低的解吸附/毛细脱溶剂过程中，溶剂从微观/介观尺度的微通道中迁移和蒸发的动力学和热力学过程复杂，仅通过实验的方法不能获得最优化的数据，因此需要借助微观/介观的仿真手段，建立溶剂从多孔结构中的扩散和相变的模型，进而指导建立该过程中的热量传递和质量传递物理模型，为烘烤过程中具体的热量沿极片的热传导、热风

加热、红外辐射加热等提供优化模拟数据，从而指导产线确定具体的烘箱热参数和空间排布模型，以烘烤得到优化的极片结构，同时降低烘烤过程能耗，达到高品质精益生产的目标。

【项目产出】

1. 建立极片的烘干仿真模型，建立以第一原则计算为基础的初步工艺“数字孪生”模型；
2. 在仿真模型的指导下，有效指导和设计实验，减少实验次数，大幅度地降低配套的工艺开发的实验成本；
3. 制定合理的极片烘干工艺参数（涂层厚度、热风温度、热风速度等），有利于提高生产制造过程中极片的烘干速度和烘干质量。

【交付指标】

- 极片烘干模型的仿真模型及仿真报告；
- 仿真模型的案例设置流程文档；
- 仿真模型的源代码；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件；
- 联合培养硕博生数人，并派遣实习生到蔚来。

8. 先进制造技术

8.1 铝前盖总成全工艺流程高精度尺寸仿真预测研究

【研究背景/问题】

前盖总成在整车制造过程中，涉及冲压、焊接、包边、电泳等多个工艺环节，影响因素复杂。铝板冲压前盖内外板单件回弹非常大(6~12mm)，内板因行人保护要求料厚薄(0.85mm)，内外板刚度弱，前盖总成小件分拼和折边过程中，内外板相互作用，总成尺寸不跟随内板，因此前盖总成件的尺寸难以控制，尺寸合格需要多轮次 Q-Loop 调试，优化时间长。

【研究目标】

希望能在项目前期工艺设计及 CAE 仿真阶段就能准确预测单件及总成尺寸偏差并制定准确的尺寸补偿策略，在零件出件首样就能达到 70%~80%或以上的尺寸合格率，从而能快速的实现零件高质量交付。

【项目产出】

大幅缩减冲压模具、包边模具的制造调试周期，对提高零件质量和降低成本具有较大的意义。

系统性考虑，从整体到单个零件，进行多工序成形尺寸敏感性分析：

1. 提升前盖外板多序成形尤其是翻边回弹的模拟精度；
2. 建立前盖总成分拼焊接和包边模拟分析，基于单件尺寸精确预测总成回弹；
3. 总结单件、总成回弹&变形机理，根据总成尺寸合格目标制定单件尺寸补偿策略，

缩短前盖总成尺寸整改周期，快速提高整车质量。

【交付指标】

- 研究适用于多步成形回弹精确预测的本构模型建立方法；

- 铝前盖总成全工艺流程高精度尺寸仿真方法；
- 总结报告：按时完成各阶段的进展报告，并在项目终期形成完整的技术总结报告；
- 专利和成果应用：合作申请 1~2 个相关专利，在一个车型项目铝前盖总成中应用并实施，3 轮 Q-Loop 尺寸合格率（安装+匹配面， $\pm 0.5\text{mm}$ ）90%；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文 1-2 篇；
- 联合培养硕博生数人。

8.2 铝板冲压边缘开裂失效预测模型应用研究

【研究背景/问题】

轻量化驱动下，白车身应用大量铝板。铝板冲压件边缘开裂问题之前频发，零件报废率较高。原因在于冲压前期 SE 过程中无法有效进行前期边缘开裂风险的识别。本课题拟对该类问题进行系统研究，最终目标：实现边缘开裂风险 SE 阶段的有效量化识别，更改和优化。

【研究目标】

NIO 能够在前期 SE 设计阶段量化控制边缘开裂的风险，有效提升仿真精度，降低后期调试的隐性成本。

【项目产出】

预期的成果：论文、专利、研究报告。

【交付指标】

- 获得材料级别扩孔率，并获得不同牌号与应变量，切口质量，板厚等之间的关系，获得扩孔率影响因素及相关规律；
- 建立扩孔率（HER）与实际零件边缘开裂的关系模型；
- Autoform 中的边缘开裂量化指标；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。

8.3 车身大型铸铝结构件机械性能仿真研究

【研究背景/问题】

当前车身铝铸件向大型化、集成化、薄壁化发展，但工程应用领域仍存在前期分析不足的情况，导致零件过设计、失效不能精准预测、零件重量和成本没有达到最优化。需要解决的问题：行业内没有合适的 CAE 分析手段，进行前期机械性能预测。需运用实际的机械性能检测结果与工艺仿真软件中的参数（模流、凝固等）进行耦合，形成算法，迭代更新，最终建立机械性能预测能力，并逐步提高精度。研究价值：实现铸造零件在机械性能方面的高精度仿真，提升零件设计和生产的稳健性。

【研究目标】

通过铸铝机械性能模块的前期模拟，有效提高铸件的在机械性能方面的设计精度，增加制造稳健性，降低投产废品率。

【项目产出】

预期的成果：论文、专利、研究报告。

【交付指标】

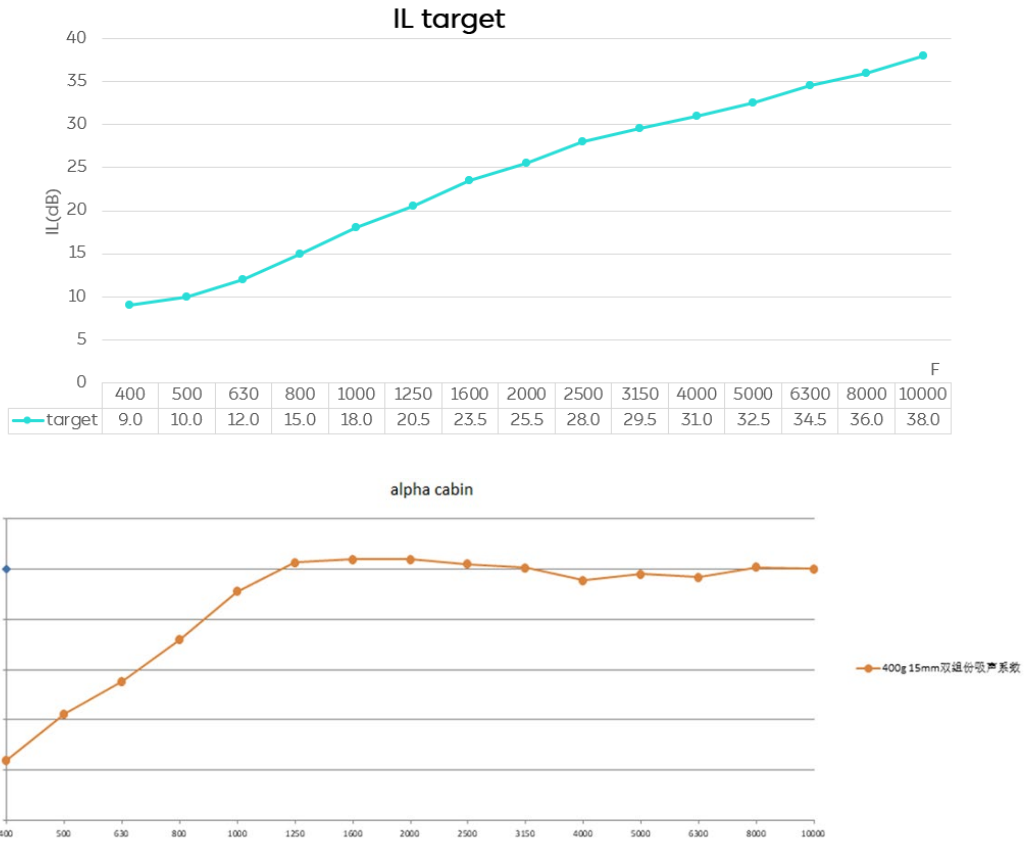
- 获得合金材料、铸造工艺、金相组织、铸件缺陷等与机械性能的关系；
- 对铸件关键机械性能可进行模拟、预判；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。

9. 材料与工艺

9.1 具备全频率段吸音性能的新型复合材料

【研究背景/问题】

声学包是汽车座舱内噪声处理的主要零件，声学包进行噪声处理的基础原理是在噪声的传播路径上进行吸隔音降噪。目前声学包零件所采用的声学材料对中高频的噪声能起到良好隔音的效果，但对中低频率的噪声的处理效果不明显。且针对泄露到座舱内的噪声，目前所采用的吸音材料也是对中高频的噪声能起到良好的吸音作用，但对中低频的噪声的处理效果有限。



对汽车的主要噪声源（动力噪声、高速风噪、胎噪）进行分析，电机噪声覆盖全频率段，高速风噪在中低频率段更为明显，胎噪同样覆盖全频率段。

因此开发一种具备全频率段（尤其是在 400Hz~1000Hz 上的突破）良好吸音性能的材料

料，并运用在声学包零件上，配合重层的运用，将有利于改善座舱内声品质。同时也有机会研究声学零件的材料组合的更多种可能，实现零件的更高效（性能、重量、成本）。

【研究目标】

1. 探索新型吸音材料：结合汽车的声学包零件对吸音材料的吸音性能的更高要求，开发出一种在 1000Hz 以下具备良好的吸音性能（吸音系数在 1000Hz 以下时能达到 0.6 以上），并同时具备工业化可行性的新型吸音材料；
2. 最佳吸隔音材料的多层组合方案：在探索出新型吸音材料的基础上，结合现有汽车声学包零件噪音处理的原理（吸隔音材料体系：隔音重层+吸音软层），对该材料的工业化小样（结合现有声学包零件的隔音重层材料）进行平板样件级别的三明治吸隔音体系的材料吸隔音性能研究，探索出一个最佳吸隔音材料多层组合结构，该吸隔音材料多层组合结构，可较 Base 方案（广泛运用的传统吸隔音材料多层结构：3200gsm 的重层+65kg/m³ 的厚度在 20mm 的 PU 发泡）隔音性能提升 20%，且重量不增加；或者重量降低 20%，隔音性能不低于 Base 方案；
3. 实现针对性噪音消除：结合开发出来的这种具备全频率段吸音性能的新型复合材料，对座舱内特定噪音源（电机/出风口等）进行分析，开发一种吸隔音材料结构，实现特定噪音源的噪声消除；
4. 隔热性能研究：对所探索出的新型吸音材料进行隔热性能研究，得到新型吸音材料的隔热性能参数，对评估材料的隔热性能对整车保温指标的影响提供数据基础。

【项目产出】

项目预计产出一种具备全频率段吸音性能的新型复合材料，并运用在声学包零件上，用来替代声学包零件现有吸音层材料，实现声学包零件的吸隔音性能的提升（不增加零件重量的前提下），或者实现声学包零件的轻量化（不降低零件的吸隔音性能的前提下）。

【交付指标】

- 开发出一种具备全频率段吸音性能的新型复合材料，尤其是对 1000Hz 的噪音具备良好的吸音性能，交付该材料的具体材料配方、原理和工业化方向上的制备工艺；
- 探索出一个或多个吸隔音材料多层组合结构，在轻量化或者隔音性能维度上有明显提升，交付探索出的吸隔音材料多层组合结构隔音性能测试参数，以及对各类参数的分析的研究论文；
- 针对研究出的这种具备全频率段吸音性能的新型复合材料，在材料配方、工业化方案、材料运用等多维度上，双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利 2-3 件。

9.2 高隔热率夹层玻璃研究

【研究背景/问题】

电动汽车对于节能减耗的需求日益增加，驱动了车内热管理要求的提高。据目前研究分析，天幕玻璃太阳能总透过率每降低 1%，行驶里程增加约 0.33km。因此如何通过天幕玻璃的隔热方案，减少车内外的热量传递、降低空调能耗、提高行驶里程数成为了每个车企现阶段的重点研究方向。

同时，由于电动汽车造型的特点，天幕玻璃成为了热门标配，且透光面积有日益增大的趋势。这又提高了对于玻璃隔热性能的要求。在保证天幕视野的同时，如何减少阳光对于客户的灼烧感，提高对客户的体验，是当前最为紧迫、最被关注的课题。

目前的汽车玻璃隔热技术主要为在玻璃表面镀金属膜，即在线 Low-E 与离线 Low-E。这一技术最早应用于建筑玻璃，方案较为成熟，近几年逐渐在汽车领域发展。这一技术对于太阳能总透过率（TTS）降低较为明显，但受限于零部件生产商的设备与产量原因，目前价格较高；同时，由于是金属镀膜，也存在颜色色差、隔绝信号等问题。

【研究目标】

寻求降低车用夹层玻璃太阳能总透过率的方案：

- 降低高温天气下，驾驶舱内温升速度；
- 减弱阳光直射时，天幕区域乘客的灼烧感；
- 无信号干扰，不影响集成于天幕玻璃处电器元件的正常使用。

【项目产出】

预期交付物：产品原型，太阳能总透过率检测报告，工业化应用样件。

【交付指标】

- 太阳能总透过率（TTS）：可见光透过率 10%的条件下， $TTS < 10\%$ ；

- 信号干扰：无金属材料影响电器信号，或可通过局部剥离方案避免信号影响；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。

9.3 板级 PTC 焊点可靠性仿真技术

【研究背景/问题】

随着社会的发展,经济的活跃,人们外出的频率逐步提高,每天用车的次数(95%分位)由 2001 年的 8.12 次上升至目前的 12.19 次,每增加一次开车频率对应增加一定程度的累计疲劳损伤和蠕变,对焊点可靠性的要求越来越高,导致测试阶段的温度循环耐久测试成本和时间增加。

基于蔚来提出的行业最高标准的可靠性目标(R99C50@10 年),我们对焊点的可靠性提出了更高的要求。同时汽车产品敏捷开发的要求,给到可靠性测试验证的时间又越来越短,因此强烈需要焊点可靠性仿真替代相关的测试。

【研究目标】

建立温度循环下(Power Thermal Cycle)焊点可靠性仿真评估方法,在产品敏捷开发过程中,针对 DFMEA 中温度应力下焊点风险可以快速评估,给出指导意见完成方案迭代和再评估,逐步构建焊点可靠性正向设计能力。确保低成本高可靠焊点设计,大大提高焊点可靠性测试一次性通过率。

【项目产出】

建立温度循环下焊点可靠性仿真能力,包括温度循环下器件模型,焊点材料属性,制定应力加载条件标准化。

PTC 焊点可靠性仿真作为平台技术,可应用于后续我司所有电子电气零部件开发,确保低成本高可靠焊点设计。

【交付指标】

- 焊点温循疲劳寿命评估方法(仿真方法、试验方案),焊点寿命仿真精度基础目标 $\geq 70\%$,挑战目标 $\geq 80\%$;

- 建立《常见焊料属性数据库》，覆盖 SAC305、SAC1205、SACQ、INNOLOT；
- 建立《TOP3 高风险器件温度循环失效阈值库》，高风险器件类型在 NIO 当前产品开发中用到的器件中选取、确认；
- 双方共同发表国际顶级期刊/会议论文至少 1 篇，并合作申请专利至少 1 件。