

## 附件 1

# “信息光子技术”重点专项 2021 年度 项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“信息光子技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：积极抢抓新型光通信、光计算与存储、光显示与交互等信息光子技术发展的机遇，重点研发相关核心芯片与器件，支撑通信网络、高性能计算、物联网等应用领域的快速发展，满足国家战略需求。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕光通信器件及集成技术、光计算与存储技术、光显示与交互技术 3 个技术方向，按照基础前沿技术、工艺与共性技术、关键核心技术三个层面，拟启动 23 项任务，拟安排国拨经费 3.5 亿元。其中，围绕半导体激光器芯片、电光调制器芯片、光子集成芯片等技术方向，拟部署 9 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 4500 万元，每个项目 500 万元。除青年科学家项目外，配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，实施周期不超过 3 年。

申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过4个，项目参与单位总数不超过6家；共性技术类和关键核心技术类项目下设课题数不超过5个，项目参与单位总数不超过10家。项目设1名项目负责人，项目中每个课题设1名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过3家。项目设1名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为1983年1月1日以后出生，女性应为1981年1月1日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为1~2项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这2个项目。2个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对2个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 光通信器件及集成技术**

### **1.1 薄膜铌酸锂光子集成关键工艺及集成技术开发（共性技术类）**

研究内容：针对当前欠缺薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台的问题，建设开放共享的薄膜铌酸锂光电子加工工艺平台。研究大尺寸高品质光学级铌酸锂晶体生长技术，建设薄膜铌酸锂光电器件工艺线，研究无源波导的传输和损耗问题，研制滤波、偏振、模式等各类无源器件，研制薄膜铌酸锂电光调制器件，进行

一定规模的集成。开发薄膜铌酸锂光电子芯片的耦合封装技术。支撑国家重点研发任务的实施，为我国关键科研院所和企业提供流片服务，为产业界和学术界提供开放共享的芯片加工平台。

考核指标：建设纳米级薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享。具体考核指标包括：（1）铌酸锂单晶晶圆直径 $\geq 8$ 英寸，长度不低于60 mm，偏振消光比优于10000:1，折射率不均匀性 $\leq 2 \times 10^{-4} / \text{cm}$ @1310nm&1550nm。（2）开发出薄膜铌酸锂波导的标准化制备方法，加工精度达到40 nm。波导宽度误差小于20 nm，刻蚀深度误差小于20 nm。波导传输损耗小于0.1 dB/cm，工艺可重复性优于90%。开发薄膜铌酸锂电调/热调波导器件的工艺，电调系数 $\leq 3 \text{ V} \cdot \text{cm} / \pi$ ，热调系数 $\leq 150 \text{ mW} / \pi$ 。基于此波导研制3dB耦合器、波分复用器/解复用器、微环谐振器、偏振分束器、可调滤波器、光开关，建立工艺开发包（PDK）。（3）开发出薄膜铌酸锂MZI调制器的标准结构与工艺参数，研制出标准薄膜铌酸锂调制器芯片，调制器芯片带宽大于70 GHz，半波电压小于3 V，器件性能波动幅度小于10%。（4）实现薄膜铌酸锂光电子芯片的规模化集成，单片集成度不低于20个单元器件。（5）开发标准化的薄膜铌酸锂光电子芯片的耦合封装技术，采用标准单模光纤与芯片耦合时，单端耦合损耗小于1.5 dB。开发薄膜铌酸锂集成芯片高性能射频封装技术，封装器件带宽 $\geq 50 \text{ GHz}$ 。（6）建成纳米级薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享。申报发明专利20

项以上，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 5 项，平台外单位的用户数不少于 20 家（以加工合同和加工费拨付凭证为准），支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用，为国内行业骨干企业和设计单位提供流片服务。

## 1.2 PLC 光子集成关键工艺及集成技术开发（共性技术类）

研究内容：针对我国 PLC 光子集成芯片工艺平台加工能力不足的问题，建设开放共享的 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 光子集成加工工艺平台。建设和完善 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 光子集成工艺线，研究掺杂 SiO<sub>2</sub> 无源波导的损耗和偏振等问题，研制功率分配、波分复用、热光调制、相干混频等各类无源器件；开发 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 光子集成芯片的耦合封装及自动化测试技术。支撑国家重点研发任务的实施，为我国关键科研院所和企业提供流片服务，为产业界和学术界提供开放共享的芯片加工平台。促进我国 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 核心光子芯片技术研发及产业化，服务我国光电子信息产业发展。

考核指标：（1）开发出掺杂 SiO<sub>2</sub> 波导的标准化制备方法，具备掺杂组分可调 SiO<sub>2</sub> 材料均匀生长、陡直刻蚀、低应力高温退火工艺，其中掺杂 SiO<sub>2</sub> 波导折射率差控制范围为：0.3%~2.5%，折射率均匀性±0.0006，厚度均匀性±2%，芯区刻蚀陡直度 90°±1°，刻蚀深度≥7μm，波导最小传输损耗小于 0.01 dB/cm，工艺可重复性优于 90%。基于掺杂 SiO<sub>2</sub> 波导研制加工无源和热调器件，包括 Y 分支结构及级联、波分复用器/解复用器、微环谐振器、热光可调衰减器；形成 Y 分支、AWG、MZI 标准工艺库；（2）开

发标准化的 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 光子集成芯片的仿真设计软件、标准工艺 PDK、耦合封装技术，采用标准单模光纤与芯片耦合时，单端耦合损耗小于 0.5 dB；（3）打通 PLC 光子集成芯片仿真设计、加工制备和封测技术，整体水平达到国际先进工艺平台加工能力；（4）建成亚微米级 SiO<sub>2</sub> 基 PLC 光子集成芯片加工工艺平台，具备中试及小批量生产工艺技术能力，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享；（5）申报专利 20 项以上，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 5 项，平台外单位的用户数不少于 30 家（以加工合同和加工费拨付凭证为准），支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用，为国内行业骨干企业和设计单位提供流片服务。

### 1.3 光电芯片全流程联合仿真技术研发（共性技术类）

研究内容：聚焦光电芯片的全链条光电联合设计需求，研制覆盖工艺模拟、器件设计、链路分析、版图绘制的全流程设计软件；研究高效率全波仿真、高精度模式求解和分析、载流子输运仿真、热力学仿真等核心算法；结合国内工艺线建立光电集成器件紧凑模型、工艺参数抽取及校准模型、可靠性和良率分析模型、链路时域和频域分析模型；开发三维计算机辅助设计引擎、光电联合自动布线和规则检查引擎；建立开放源代码的可扩展基础器件库，通过 PCELL 的调用实现光电芯片的快速设计；建立从核心器件至功能芯片的全流程层次化仿真设计新架构，实现光电芯片仿真设计工具产品化。

考核指标：（1）三维时域全波仿真算法单节点峰值计算速度不低于 4000 Mcells/s；器件紧凑模型与全波仿真结果误差小于 5%；联合工艺线开发 PDK，支持国内工艺平台不少于 2 个，器件库器件数量不少于 20 种；链路分析支持光电器件数量不少于 500 个；三维计算机辅助设计引擎支持刷新速度不低于 30fps@2K；版图绘制、自动布线及规则检查速度不低于 100 个器件/小时；（2）开发出可适用 III-V 族和硅、氮化硅、锗等多种材料体系下光电芯片仿真软件，与国外同类软件相比精度误差小于 5%；软件用户不少于 100 个，单位用户不少于 20 个，支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用；相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 5 项，申请发明专利和软件著作权 15 项以上。

#### **1.4 面向规模集成的高效硅基光波导放大器和激光器（关键核心技术类，拟支持 3 项）**

研究内容：针对硅基光电集成发展所面临的瓶颈问题，开展可用于规模化硅光集成的光放大器和激光器研究。研究硅基发光的基础理论与方法，研制高增益、低损耗的硅基稀土掺杂光波导放大器；研究基于键合技术的硅光集成 SOA 放大器，实现片上高增益、高饱和功率光放大；研究基于掺杂玻璃材料的超小型低噪声光放大器；研究基于键合技术的大功率硅基 DFB 激光器，实现高性能硅光片上光源；研究高质量硅基 III-V 族外延关键工艺，研制电泵浦的高输出功率的硅基量子点激光器；研究高效新型波

导耦合器，使激光输出与 SOI 波导的基波场模高效耦合；开发 CMOS 工艺兼容的硅基光源与超低损耗波导以及其他无源器件的集成技术，完成芯片上光的放大和激光的高效耦合输出。

考核指标：研制出满足规模集成的通信波段、高增益、小尺寸硅基稀土掺杂光波导放大器，增益达到 5 dB/cm 以上，传输损耗低于 2 dB/cm；玻璃基掺杂的小型化光放大器信号增益 15 dB 以上，噪声系数 7 dB 以下，输出功率 10 dBm 以上；研制出基于键合技术的大功率硅基 DFB 激光器，输出光功率大于 20 mW，边模抑制比达到 40 dB，阈值电流小于 50 mA，工作温度范围 0~70°C；研制出低成本、高质量外延生长技术的硅基量子点激光器，激光器功率大于 30 mW，室温工作寿命大于 10 万小时，边模抑制比达到 40 dB，阈值电流小于 50 mA，业界标准条件下 1000 小时长期可靠性试验功率变化不超过 5%，满足温度在 0~70°C 正常工作。硅基光源与硅光波导的耦合效率大于 3 dB/每端面。实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请发明专利 20 项以上，技术就绪度不低于 6 级。

### **1.5 光电融合集成低功耗光频梳芯片（关键核心技术类）**

研究内容：围绕微腔光频梳的产生和调控核心机理，以及相关激光器、微腔、调制器和探测器等有源无源器件光电集成关键技术，研究微腔光场演化规律与锁模机制；研究高稳定性和相干性锁模方法；研究微腔耦合和色散调控新机理与方法；研究超低阈值光学微腔的结构与加工工艺；研究电光调制光频梳技术和光

频梳相位噪声的转化规律；研究片上集成高效率激光器、高速低功耗电光调制器、大功率光电探测器及其与微腔的光电融合集成技术。

考核指标：（1）研制出适用于波分复用的宽光谱覆盖、高单梳齿功率的片上微腔光频梳器件，梳齿间隔 100 GHz，梳齿数不低于 30，单梳齿功率不低于 1 mW，RIN 噪声  $< -145$  dBc/Hz；（2）突破多种材料单片异质集成及混合集成的新工艺，研制出低重频、光电融合集成的有源微腔光频梳芯片，梳齿间隔 10 GHz，实现有源器件与微腔的片上全集成，参量振荡阈值  $< 10$  mW，合成的微波信号相位噪声低于  $-120$  dBc/Hz@100 kHz；（3）突破超低损耗电光材料加工工艺，研制出重复频率连续可调、光谱平坦的单片集成光频梳产生器件，实现多调制器单片集成，梳齿间隔可在 5~25 GHz 之间连续可调，10 dB 带宽内梳齿数不低于 40，光纤到光纤插入损耗小于 15 dB；（4）攻克超低功耗光频梳光电集成芯片相关的新机理、新方法与新工艺，研制出高质量超低功耗光电融合集成光频梳芯片与器件。实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请发明专利 20 项以上，技术就绪度不低于 6 级。

### **1.6 相干太赫兹探测阵列芯片（关键核心技术类）**

研究内容：针对 6G 太赫兹波通信等应用需求，聚焦太赫兹波段阵列探测的光电融合感知集成芯片，突破抗干扰、多路并行传输和相干探测芯片关键技术，集成制备太赫兹高增益直接检测



和相干检测阵列芯片。开展集成超表面微纳结构研究，对光场的强度、相位、偏振等特性进行多维调控，获得超表面偏振、相位调控微结构，研制出高效率的太赫兹偏振和相位感知的新型探测芯片。

考核指标：（1）探测频段： $340\pm 20$  GHz，阵列规模： $1\times 128$ ，阵元间距：1~2 mm，支持直接检测和相干检测 2 种工作模式，直接检测帧频： $\geq 1$  kHz，直接检测 NEP： $\leq 50$  pW/Hz<sup>(1/2)</sup>，相干检测帧频： $\geq 100$  Hz，相干检测 NEP： $\leq 10$  fW/Hz，变频损耗： $\leq 47$  dB，工作环境温度： $-40\sim 50$  °C；（2）探测频段： $890\pm 45$  GHz：阵列规模： $1\times 128$ ，阵元间距：1~2 mm，支持直接检测和相干检测 2 种工作模式，直接检测帧频： $\geq 1$  kHz，直接检测 NEP： $\leq 100$  pW/Hz<sup>(1/2)</sup>，相干检测帧频： $\geq 15$  Hz，相干检测 NEP： $\leq 50$  fW/Hz，变频损耗： $\leq 47$  dB，工作环境温度： $-40\sim 50$  °C；（3）实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请发明专利 20 项以上，技术就绪度不低于 6 级。

### 1.7 通感测一体的阵列式微波光子关键技术(关键核心技术类)

研究内容：针对通信、传感、检测独立功能体系演进的资源和规模瓶颈，研究通感测一体微波光子关键技术，涉及信号共生共传、阵列化与信道化处理、多信道芯片与多波长器件等。重点研究微波光子通感测多模态信号一体化生成方法，以及跨光域与电域的共存传输理论与性能；研究通感测多功能交织下微波光子信号阵列化与信道化处理理论，以及并行时域、空域、频域多维

信号处理方法；研究支撑通感测一体化的幅度、频率、相位联合调控型多波长相干光源、多信道调制与多端口处理芯片及器件。

考核指标：完成微波光子多模态信号的共生方案，同时实现 3 种通感测功能：6G/B6G 大容量通信（容量不低于 100 Gbit/s）、高精度环境参量感知（分辨率达到厘米量级及以下）、宽开电磁环境检测（瞬时带宽不低于 20 GHz），并具备覆盖微波（2~30 GHz 范围中 1 个重要频段）、毫米波（30~100 GHz 范围中 1 个重要频段）、太赫兹波（100 GHz~10 THz 范围中 1 个重要频段）的能力；建立涵盖电光与光电转换、光纤非线性效应、无线多径效应、高移动性（500 km/h）多普勒频移效应等的通感测一体共传理论模型与仿真平台，对各种效应进行均衡和补偿，预测容量理论边界；完成基于多信道协同、矩阵分解与合成理论（ $8 \times 8$ ）的微波光子信号处理方案，实现宽带对消、多径解耦、深度去噪、稀疏时空频感知、多普勒频偏补偿等效果。研制幅/频/相灵活调控的相干多波长光源（信道数不低于 32），以及集多信道调制、复用、滤波、光路重构于一体的芯片与核心器件，工作带宽不低于 40 GHz。实现典型示范应用，申请发明专利 20 项以上，技术就绪度不低于 6 级。

### **1.8 多维复用基础理论研究（基础研究类）**

研究内容：面向未来空分复用光通信系统应用，针对弱耦合少模、强耦合少模、弱耦合多芯、强耦合多芯等新型空分复用光纤，研究模与模之间、芯与芯之间能量的相互作用机理，建立空

分光纤的品质因数模型，牵引空分复用光纤设计优化；设计并制备少模、多芯等新型空分复用有源光纤；研究非理想条件（如材料性能微扰、结构微扰、机械应力、温度应力等干扰因素）下的实用化光信号传输信道模型；研究增加空间维度后的 QoT 模型，指导空分复用系统的传输能力评估。

考核指标：建立实用化的光纤物理模型，实现骨干、城域典型距离下空分复用光纤对损耗、色散、非线性、skew/空间模式色散、偏振损耗、模式相关损耗的评估偏差全部 $<10\%$ ；非理想条件下信道传输模型对外部应力的影响模拟与实验结果偏差 $<20\%$ ；QoT 模型与长距离实验的 SNR 评估精度偏差小于  $0.5\text{ dB}$ ；在各层次模型综合指导下，设计并制备直径小于  $180\text{ }\mu\text{m}$  空分光纤及配套模分复用器或 FI/FO 器件，并支持实验演示  $2000\text{ km}$  距离、 $80\text{ km Span}$ 、skew/空间模式色散积累 $<10\text{ ns}$ 、频谱效率 $>50\text{ Bit/s/Hz}$  的传输能力。相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请发明专利 20 项以上，技术就绪度不低于 6 级。

### 1.9 超高速直调半导体激光器芯片（青年科学家项目）

研究内容：面向低成本高速光通信需求，研制超高速直调半导体激光器芯片。研究提升直调半导体激光器本征调制带宽的机理与方法；研究突破半导体激光器弛豫振荡频率限制并实现带宽拓展的物理机理与技术方案。掌握相关材料生长、器件设计与制备，以及性能表征技术。

考核指标：直接调制带宽 $\geq 67\text{ GHz}$ ；出光功率 $\geq 10\text{ dBm}$ ；边

模抑制比  $\geq 35$  dB；业界标准条件下 1000 小时长期可靠性试验功率变化不超过 5%。直接模拟调制带宽指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

#### **1.10 超小尺寸微纳电泵半导体激光器芯片（青年科学家项目）**

研究内容：面向低功耗高速数据通信需求，研制超小尺寸微纳电泵半导体激光器芯片。研究提升微纳激光器出射方向性的机理与方法；突破激光器出射方向性需要构建分布反馈式反射镜的限制。掌握相关材料生长、器件设计与制备，以及性能表征技术。

考核指标：实现 C 波段通信窗口电泵激射；有源区面积  $\leq 10 \mu\text{m}^2$ ，发散角  $\leq 10^\circ$ ，激射阈值  $\leq 100 \text{ kA/cm}^2$ 。有源区面积指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

#### **1.11 超高线性度电光调制器芯片（青年科学家项目）**

研究内容：研究电光调制器的带宽以及非线性特性，聚焦器件材料的物理效应机制，利用电光相互作用新方法，从材料、器件结构、驱动方法、测试表征技术等方面出发，对电光调制器的线性度进行改进。探索复合光波导超模式、干涉与谐振级联结构的组合原理，突破传统材料对器件性能的限制，同时实现大带宽、大无杂散动态范围的电光调制器。

考核指标：研制出超高线性度电光调制器芯片，工作波长 1550 nm 的调制效率  $V_\pi L_\pi$  高于  $2 \text{ V}\cdot\text{cm}$ ，纤到纤总体插入损耗  $\leq 6$  dB，无杂散动态范围  $\geq 130 \text{ dB}\cdot\text{Hz}^{2/3}@10\text{GHz}$ ，电光调制 3dB 带宽  $\geq 40 \text{ GHz}$ 。无杂散动态范围指标达到国际领先水平，实现典型示

范应用，申请不少于 10 项发明专利。

### **1.12 高速可集成单光子探测器（青年科学家项目）**

研究内容：研究单光子探测器的最佳工作机制，研制可集成的单光子级别的高灵敏度和高速光强度探测器。研究单光子探测阵列在高速单光子通信中的应用。

考核指标：实现对光信号在单光子级别上的高速（带宽  $\geq 2$  GHz）探测和片上集成，单光子探测效率  $\geq 50\%$ ，探测波长为近红外（ $\sim 900$  nm）或通信波段，暗计数率  $\leq 10^{-5}/\text{gate}$ 。单光子级别探测宽带指标达到国际领先水平，实现至少两个探测器的片上集成及其典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

### **1.13 超高品质因子光子集成芯片（青年科学家项目）**

研究内容：面向高相干性光信号产生与处理的应用需求，开展超高品质因子光子集成芯片关键技术研究。研究光波导线性和非线性损耗机理，分析能量耗散过程，探索极低损耗的光子集成新材料、新结构和加工工艺。研究超高品质因子微型谐振腔的制备方法，探索光场模式、色散的灵活调控机制。研究波导与微腔的高效耦合原理与方法，实现片上耦合的微腔芯片。

考核指标：低损耗光波导传输线，损耗不大于  $0.1$  dB/m，长度不小于 1 米；片上耦合集成微腔，本征品质因子不小于  $10^8$ ，片上波导耦合效率大于  $90\%$ 。片上耦合集成微腔本征品质因子指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

#### 1.14 近零功耗非易失可重构光子器件（青年科学家项目）

研究内容：针对智能光计算对超大规模、超低功耗集成光子芯片技术的需求，开展非易失可重构光交叉阵列芯片关键技术研究。探索人工异质结构内光场、电场、热场的纳米尺度耦合机制，发展极大光学常数反差新型低损相变材料的硅基集成方法，研制 CMOS 后端工艺兼容的电致可重构非易失光交叉连接器，实现静态零功耗的片上光场调控。

考核指标：研制出硅基单片集成的相变非易失光子芯片。在通信波段内，相变薄膜 $\Delta n > 0.8$  且 $\Delta k < 0.05$ ，非易失多态光开关插损 $< 0.5$  dB，串扰 $< -20$  dB，重构开关功耗 $< 1$  nJ，交叉阵列规模大于 $8 \times 8$ ，实现近零功耗可重构。非易失光开关插损串扰指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

#### 1.15 基于拓扑优化的多波长光子晶体激光器阵列芯片（青年科学家项目）

研究内容：深入研究光子晶体能带的鲁棒性及能带连续变化规律，基于拓扑优化的光子晶体结构，探索可兼容低成本的光刻技术，实现多波长激光器阵列光源的新原理及新方案，输出通道间隔满足 ITU 标准。

考核指标：实现 C 波段通信窗口 64 路波长间隔 100 GHz(0.8 nm) 的大规模光子集成光源，激光器自发发射耦合因子大于 0.8，激光器平均阈值优于 0.06 kW/cm<sup>2</sup>，每路单模输出，单路功率大

于 10 dBm，边模抑制比  $\geq 30$  dB，波长间隔  $100\text{GHz}\pm 20\text{GHz}$  ( $0.8\text{nm}\pm 0.16\text{nm}$ )。波长数与平均阈值等核心技术指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

### **1.16 光学全通滤波器（青年科学家项目）**

研究内容：研究全通滤波器的内在机理，基于有损的无源波导实现幅频响应为常数、相频响应非线性的光学全通滤波器。提高全通滤波器的灵活性，实现全通滤波器相频响应的可调谐和可重构。研究低插损的高阶全通滤波，拓展全通滤波器的应用范围。研究基于全通滤波器的延时器，实现低功率抖动的可调延时；研究基于全通滤波器的微波光子移相器，实现低功率抖动的宽带微波光子移相。

考核指标：基于半导体无源波导研制出集成高阶光学全通滤波器，阶数  $\geq 3$ ，平坦度优于  $\pm 0.1$  dB，插入损耗（不包含耦合损耗）小于 5 dB，并实现滤波器的可调谐和可重构，响应时间  $\leq 100$   $\mu\text{s}$ 。基于高阶光学全通滤波器，实现 ns 级延时的光学可调延时器，改变延时大小时信号功率抖动  $\leq 0.3$  dB；实现移相范围不小于  $2\pi$ 、带宽不小于 40 GHz 的微波光子移相器，功率抖动  $\leq 0.3$  dB。阶数、平坦度、延时量等综合指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

### **1.17 超宽带高隔离度非互易光子集成芯片（青年科学家项目）**

研究内容：研究非互易光子集成芯片，实现近红外光通信波段光隔离器、光环行器和多端口非互易光学器件的硅基集成。研

究超宽带、温度稳定的硅基光波导集成非互易光学器件理论和设计方法；发展高性能非互易光学材料的硅基集成方法，实现低损耗、强非互易性磁光薄膜材料的硅基集成；突破磁光材料等非互易光学材料与硅基 CMOS 工艺兼容难题，发展硅基 CMOS 后端工艺兼容的非互易光子芯片集成技术。

考核指标：研制出硅基单片集成的磁光非互易光子芯片。芯片插损低于 3 dB，隔离度高于 25 dB，20 dB 隔离带宽大于 80 nm，覆盖 1530~1565 nm 波段，实现 8×8 端口间的非互易光传输。核心技术指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，申请不少于 10 项发明专利。

## 2. 光计算与存储技术

### 2.1 光电混合 AI 加速计算芯片(关键核心技术类,拟支持 2 项)

研究内容：面向 CNN（卷积神经网络）中对卷积计算的算力需求，研究非相干光、相干光多波复用的卷积实现机理和方法，研制基于混合集成技术的光学卷积芯片，实现包括光源、模拟芯片、数字芯片在内的同步设计和综合集成方案；面向时序信息处理蓄水池计算网络对存储和算力的需求，研究光学蓄水池计算实现的机理与方法，研制支持规则拓扑实现与随机拓扑生成的片上光学蓄水池计算芯片。研制实现基于特殊应用优化的集成光学计算芯片方案。

考核指标：（1）研制出混合集成的光学卷积芯片，一维卷积单芯片最大支持 128 相量长度，二维卷积单芯片最大支持 128×128



规模矩阵，目标精度 8 bit，同时通过光学矩阵的波长数量大于等于 2 路，端到端单次时延小于 500 ps，能效比高于 10 TOPS/W，力求达到计算密度 1TMACs/s/mm<sup>2</sup>，完成数据智能搜索和查找应用场景演示，整体能效比相比同期电系统（GPU 和 FPGA 等）提升 10~100 倍；（2）研制出光学蓄水池计算芯片，有效输入输出端口不小于 128 路，隐含层 500 节点以上规模，系统归一化均方误差小于 0.05，完成多维时间序列数据异常检测和趋势预测应用场景演示；（3）完成光电芯片联合封装和控制，其中光芯片上主动单元数量大于 10000 个，完成主流卷积神经网络指标测试和演示，包括应用于 Imagenet 数据集的 Resnet50 神经网络演示，每秒处理图像数量不小于 5000 帧（>5000 fps），总能耗小于 150 W；（4）探索出适用于混合集成光学芯片的深度学习应用场景；（5）实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请不少于 20 项发明专利，技术就绪度不低于 6 级。

## 2.2 光学神经拟态计算系统（关键核心技术类）

研究内容：探索神经拟态处理模拟生物大脑处理机制，研究具备自适应性、稳健性和快速性的光学神经拟态脉冲网络。研究拟态神经网络实现架构、神经元的硬件实现（低损耗、可恢复、低阈值）和大规模相位调制芯片，研究脉冲神经元的时间编码机制、突触可塑性机制等的光学实现。研究激光器、探测器等非线性器件集成技术与扩展性，进行全光神经网络非线性材料及功能研究，并研究神经拟态网络训练算法。研究高速信号输入、大规

模探测阵列、光电接口线性与非线性计算神经网络架构。针对匹配目标追踪、基因分析等应用场景进行研究。

考核指标：（1）完成光脉冲神经网络理论研究，包括建立光脉冲网络可扩展性理论模型，至少可模拟 1000 个节点。模拟生物神经元的兴奋响应、抑制响应、不应期等性质，模拟突触可塑性机制，设计实现光脉冲神经网络的无监督/监督学习算法，可实现高准确度的元音单词识别，达到国际先进水平。（2）实现神经元个数>100 个，神经突触>1000 个，算力达到 10 TOPS，可以进行语音识别，完成准确率>90%的光脉冲神经网络芯片及原型制备。（3）研制大规模光学神经网络协处理器，技术指标满足当前目标跟踪、基因分析等场景的神经网络计算需求，最终实现光学神经网络协处理器的计算演示。实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请不少于 20 项发明专利，技术就绪度不低于 5 级。

### **2.3 PB 级超低功耗纳米光信息存储技术（关键核心技术类）**

研究内容：研究超分辨光信息存储技术，突破衍射极限，实现 10 纳米以下分辨率的超分辨记录与读取，同时结合多维复用技术，实现等效单张标准光盘 1 PB 的容量的光信息存储技术，简化超分辨光学系统，降低超分辨率技术的能耗，实现单比特 10 fJ 的读写能耗。研究金属纳米颗粒、稀土掺杂纳米颗粒、量子点、石墨烯、拓扑绝缘体钙钛矿等新型纳米材料，结合有机、无机的晶态、非晶态等基质，开发适合超分辨光信息存储技术的长寿命光

信息存储材料，实现 200 年以上存储寿命。通过深度学习等人工智能技术，结合人工智能芯片，针对颜色、偏振、强度等光信息存储的特征参数，建立基于超分辨光信息存储技术的人工神经网络，实现大量并行的读写过程，从而达到 100 Gb/s 的存储速度。

考核指标：开发长寿命新型纳米复合材料，结合人工智能技术，实现低能耗纳米光子学光信息存储技术研发，实现 200 年连续的读写 1 PB 的信息，单数据点存储能耗优于 10 fJ/bit，数据读写速度达到 100 Gb/s。突破纳米光子学光信息存储技术，支撑下一代大数据中心数据存储向更长寿命、更高速度、更加节能方向发展。实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请不少于 20 项发明专利，技术就绪度不低于 4 级。

### **3. 光显示与交互技术**

#### **3.1 感存算一体光电融合芯片技术（关键核心技术类）**

研究内容：面向视觉图像大数据边缘实时处理需求，研究智能化三维堆叠型视觉信息光电感存算芯片，包括：研究灰度、深度兼容成像并具备速度感知功能的多维度视觉信息传感技术，研制具备灰度、深度、速度等多维度信息感知功能的视觉传感器；研究基于深度神经网络的多维度视觉信息处理器架构及电路设计；研究二维三维融合视觉信息光电感存算芯片架构设计、视觉图像处理软硬件协同设计、多层三维堆叠集成技术，以及相关可靠性问题，研制智能化三维堆叠型视觉芯片，具备图像信息原位、智能化识别处理、语义分析及情感计算功能，具备大容量图像信

息存储功能。

考核指标：研制出多维度视觉信息传感器，二维视觉图像分辨率>500 万像素、成像速率>100 帧/秒，深度图像分辨率>100 万像素、三维成像速率>60 帧/秒，速度场分布图像分辨率>100 万像素、生成速率>30 帧/秒；研制出多维度视觉信息智能处理器和智能化三维堆叠型视觉信息光电感存算芯片，实现智能化检测、识别、目标跟踪以及语义分析、情感计算的实时处理，集成视觉存储器容量>100 M、视觉处理器算力>10 TOPS。研制出面向先进显示与交互应用的感存算一体光电融合系统芯片，建立技术优势。感存算融合芯片对特定数据集场景的 Top-5 目标识别率不低于 85%；对特定数据集的语义处理正确性解析度指标 PPL<20。实现典型示范应用，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，申请不少于 20 项发明专利，技术就绪度不低于 6 级。

### **3.2 高通量三维光场实时获取和感知技术(关键核心技术类)**

研究内容：针对三维视觉感知与三维内容生成的能力和精度瓶颈，研究高通量光场获取与三维处理技术，实现对大范围视觉场景的高精准三维视觉感知和高逼真光场三维内容获取及呈现；研究面向宽视场大范围的高通量光场获取装置，实现宽视场大范围现实场景光场感知；研究宽视场高分辨的大范围动态场景的多对象三维表示与实时三维重建方法，支持具有平移+旋转自由度的自由视点绘制。

考核指标：构建基于三维动态场景实时光场获取及实时呈现

技术与系统，在医疗、工业、教育、文化等领域实现应用示范，形成国际领先的技术优势；针对高通量光场获取与三维处理技术、宽视场大范围高通量光场获取装置，实现 0.25 米到 200 米范围内场景连续深度信息的光场获取与感知，RGB 通道视频分辨率达到 10 亿像素/帧@30fps，深度信息分辨率达到 1 亿分辨率/帧@30fps，横向视场范围  $\geq 180$  度，纵向视场范围  $\geq 60$  度，深度精度误差  $\leq 1\text{mm}@2$  米， $\leq 100\text{mm}@10$  米， $\leq 5\text{m}@100$  米；针对宽视场高分辨的大范围动态场景的多对象三维表示与三维重建方法，实现场景内的多动态对象高精度实时三维重建，三维重建精度： $\leq 1\text{mm}@2$  米， $\leq 10\text{mm}$ （20 米外，相对精度），场景光场绘制速度  $\geq 30\text{fps}$ 。实现体系化典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 3 项，技术就绪度不低于 6 级。

### **3.3 临场真实感近眼三维显示技术与装置（关键核心技术类）**

研究内容：围绕限制真实感近眼显示发展的高性能核心器件、便携呈现方案、质量评估方法以及移动混合现实应用等方面开展技术研究，研究面向人眼观察习惯的光场再现高分辨率三维显示方法，实现便携化光场近眼显示系统；研究大视角、非相干、低噪声全息近眼显示方法，实现高图像质量轻小型宽色域全息近眼显示方法；研究真实感近眼显示的性能测试与质量评价方法，建立面向近眼显示的真三维模型创建渲染以及性能参数测试平台和规范标准；研究端云协同的真三维混合现实场景构建、呈现与

应用。

考核指标：实现临场真实感近眼三维显示技术与装置，搭建近眼显示测试平台，覆盖深度、分辨率、清晰度、延时等核心参数，并在医疗、工业、军事、文化等领域进行应用，形成国际领先的技术优势；实现空间带宽积（ $\geq 10^7$ ），连续深度再现（0.25~10m），视场角大于 50 度，出瞳距离 18 mm 的条件下，眼动范围大于 16mm×14mm，轻质量（光学系统质量 $\leq 350$  g），旨在保持高分辨率和大视角的基础上，实现符合人眼观看习惯（观看前后人眼融合范围变化统计值 $\leq 5D$ ，其中  $D$  为屈光度）的真实感近眼三维呈现技术和系统。实现体系化典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，国际行业标准提案不少于 2 项，技术就绪度不低于 6 级。

## 附件 2

# “高性能计算” 重点专项 2021 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“高性能计算”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：在高性能计算机的体系结构、新型处理器结构、高速互连网络、整机基础架构、软件环境、面向应用的协同设计、大规模系统管控与容错等核心技术方面取得突破，研制适应应用需求的新型高性能计算机系统。研发基础算法库、编译器及性能优化等支撑软件，研发一批重大关键领域/行业的高性能计算应用软件，构建可持续发展的国产高性能计算应用生态环境。探索新型高性能计算服务机制，建立具有金字塔层次结构和全局调度能力的国家超级计算基础设施，依托该设施，研发重点行业和关键领域的应用平台，提高国家超级计算基础设施的应用服务能力。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕高性能计算机研发技术方向，拟部署 15 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 7500 万元，每个项目 500 万元。项目执行周期为 2 年。

青年科学家项目（项目名称后有标注）不再下设课题，每个项目所含参研单位总数不超过3家。项目设1名项目负责人。本任务为开放性研究项目，申请者可聚焦指南1.1的部分研究内容进行申报（即不必涵盖所有的研究内容），提出明确的任务目标和具体的考核指标。青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为1983年1月1日后出生，女性应为1981年1月1日后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

## **1. 高性能计算机研发**

### **1.1 1000万核以上并行计算系统的基础理论和方法研究（青年科学家项目，拟支持15项）**

研究内容：研究超导、量子、光电子等新兴技术加速计算的理论和方法；缓解存储墙问题的新理论和方法；新型运算节点的构建方法和技术；混合精度计算的理论、方法和技术；可靠性方法和技术；新型计算节点互联方法和技术；新型高效并行编程、编译、调度方法和技术；多域协同的任务调度方法和技术；多域异构数据的处理框架。

考核指标：在1000万核以上并行计算系统场景下，围绕上述研究内容，形成从数据、节点、系统、多域协同的创新成果，建立相应的可验证系统，并开源模型和代码等。



## 附件 3

# “多模态网络与通信”重点专项 2021 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“多模态网络与通信”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：开展多模态网络核心芯片、设备、关键技术和创新环境构建的研究，初步构建全维可定义的多模态融合网络架构、协议体系、安全体系和服务体系，使我国成为支持演进和创新的新型网络技术的主导者；巩固我国在移动通信领域的领先优势，重点开展 5G 演进及 6G 技术的前期研究，开展天地一体化技术的先导研究，使我国成为 6G 技术、系统和标准的全球引领者，并使我国高频段通信系统核心模块和芯片达到国际先进水平；充分发挥我国在光通信系统产品上的领先优势，带动光通信核心模块和芯片逐步取得竞争优势；并与微电子、光电子、新材料等方面交叉融合，借助本领域已有的产业优势，在前沿技术上率先取得突破。

2021 年度指南部署围绕多模态网络、新一代无线通信、超宽带光通信 3 个技术方向，按照基础研究、共性技术两个层面，拟启动 10 项任务，拟安排国拨经费 2.64 亿元。共性技术类项目配

套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个项目拟支持数为 1~2 项，实施周期不超过 4 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性技术类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 多模态网络**

### **1.1 多模态网络的软件定义互连交换芯片关键技术与验证（共性技术类）**

研究内容：面向多模态网络网元设备研制需求，以软件定义硬件为基础，开展多模态网络交换芯片架构、模态隔离转发技术、状态可编程技术、模态加载和编译技术等研究，突破软件定义数据链路层协议、软件定义报文解析、多模态混合可编程交换和软件定义 QoS、高负载下模态弹性无扰隔离技术、大规模状态表下的线速转发等关键技术难点，形成多模态高效芯片处理架构，完

成支撑多模态网络的软件定义互连交换处理器原理验证。

考核指标：提出高效多模态网络互连交换处理器架构和系列芯片设计方案与制造方案,具有存算一体异构集成结构,支持状态可编程,支持多模态加载、编译及运行,实现大规模状态表下的高性能转发,支持模态间的弹性隔离。端口传输速率 100Gb/s,支持不同模态下的有状态寻址或无状态寻址,流表项状态表大于 10k,支持两种以上软件定义数据链路层协议。完成设计方案 1 份、完成关键技术在 FPGA 上验证、形成关键技术验证报告 1 份,专利 15 篇。

## **1.2 工业互联网络模态关键技术研究及验证（共性技术类，拟支持 2 项）**

研究内容：针对工业互联网人机物全面互联的发展趋势，以及港口、能源、交通、制造等工业应用特征，开展基于多模态网络的工业互联网络模态总体架构、网络控制管理技术、基于工业标识的寻址路由、异构工业网络融合和复合业务灵活编排技术、内网能力融合部署、云网边缘融合模型下的算力度量和工业智能技术、面向重点行业的模态生成和应用适配技术等研究，突破工业互联网共性能力生成、确定性转发、内生安全体系构建、快速高效的静态/动态流量调度、超低时延传输、边缘网络组网、大连接高效分发等技术难点，开展工业互联网络模态相关关键技术原理和原型系统验证，形成重点行业多模态网络解决方案。

考核指标：完成基于多模态网络的工业互联网络模态总体架

构的方案设计，构建基于多模态网络的工业网络和算力融合互联互通技术体系，建立基于多模态网络的工业网络模态能力评估体系与评估工具；完成多模态网络架构下，具有时延敏感特性的工业网络控制系统验证，支持不少于 3 个厂家的设备互联互通，流量调度延时时间达到<10 微秒级；端到端抖动不大于 20 微秒；完成工业互联网模态的内生安全方案，实现新设备基于可信身份的入网认证，具备主动 DoS 攻击防御、精细化访问控制的能力；完成异构硬件算力和用户算力需求可度量的算力服务系统、时延敏感网络边缘网关系统的方案验证，支持不少于 5 种工业网络模态；形成不少于 3 个行业的多模态网络解决方案，开展不少于 5 种典型应用验证；申请专利或者软件著作权 15 项以上，提交国际或国内标准草案 5 项以上。

### **1.3 多模态边缘网络芯片与设备关键技术与验证（共性技术类）**

研究内容：围绕协议体制异构、安全等级不同、接入速率多样和服务需求差异等多模态边缘网络特性，开展多模态边缘网络协议体系、异构协议适配与融合，多模态用户安全准入与流量隔离，多模态报文确定性性能保证等技术的研究，突破异构协议高效适配与一体化融合技术、动态用户身份认证与安全加固技术、有限资源实时优化调度与确定性保证技术，完成多模态边缘网络芯片的创新性方案设计和多模态边缘网络设备关键技术的验证。

考核指标：提出多模态边缘网络协议体系，支持各种边缘网

络模态的平滑接入；设计轻量化的异构协议适配与融合机制，支持多模态边缘网络无损互联互通；设计多模态边缘网络内生安全机制，支持多模态用户安全准入与流量隔离；设计确定性资源调度算法，支持多模态报文确定性性能保证；完成边缘设备芯片的方案设计和高性能多模态网络边缘设备关键技术的验证，单端口速率不低于 40Gb/s,吞吐量不低于 2.56Tb/s，支持网络有状态数据平面可编程，具有存算异构集成结构。形成多模态边缘网络芯片和设备技术方案，提交方案设计报告一份，完成关键技术 in FPGA 上验证，完成技术验证报告一份，申请专利 10 项。

## 2. 新一代无线通信

### 2.1 6G 通信—感知—计算融合网络架构及关键技术(共性技术类)

研究内容：海量数据驱动 6G 网络向智能化演进，算力需求飞速增长。依赖于环境信息感知和超强算力的自动驾驶等无人化业务、沉浸式体验业务孕育催生，通信节点的内生智能感知能力亟待提升。亟需研究 6G 通—感—算融合网络架构，构建智能、分布式算力、通感的融合；研究智能通—感—算一体化的融合技术、多维信息感知与数据处理机制、干扰管理技术；研究 6G 通—感—算融合的资源管理；研究实时/智能/绿色的算力网络技术，为 6G 通—感—算融合网络架构提供算力支撑；研制通—感—算一体化试验系统。

考核指标：形成一套 6G 通—感—算深度融合的网络架构方

案，同时具备 AI 计算和无线计算两种能力，显著降低 6G 网络的部署成本、能耗水平，提升系统容量、速率和可靠性，降低时延。与通一感一算非融合的系统相比，通信容量、能效和可靠性的性能指标提升 50%，时延降低 50%，感知精度达到厘米级。构建软件仿真与试验验证平台，对 6G 通信—感知—计算融合网络架构及关键技术开展性能评估。申请发明专利不少于 20 项，其中国际专利不少于 5 项；提交国际国内标准技术提案 10 篇。

## **2.2 6G 超低时延超高可靠大规模无线传输技术（共性技术类）**

研究内容：工业物联网、自动驾驶等垂直行业应用对 6G 网络提出了超低时延超高可靠及信息时效性的需求，低时延和高可靠成为 6G 支撑智能物联的基础性指标。开展 6G 超低时延超高可靠大规模无线传输理论研究，建立面向低时延高可靠通信的信道容量表征；研究海量终端低时延高可靠通信的跨域协同及适配技术；研究时频空码波及计算缓存多域资源的协同和调度技术；研究海量终端低时延高可靠通信接入与多连接技术；研究 6G 超低时延超高可靠无线空口技术，实现无线传输环境、业务模型和用户特征等多维特性的深度适配。

考核指标：建立超低时延超高可靠大规模无线传输技术体系，提出跨域协同及适配、低时延高可靠接入及多连接技术。传输时延和可靠性相比于 5G URLLC（3GPP R15）的性能指标提升 1 个数量级以上。构建软件仿真与试验验证平台，对 6G 超低时延超高可靠大规模无线传输技术开展性能评估。申请发明专利不少

于 20 项，其中国际专利不少于 5 项；提交国际国内标准技术提案 10 篇。

### **2.3 Q/V 频段宽带星载相控阵多波束天线技术(共性技术类)**

研究内容:面向低轨道卫星互联网星座业务向更高的通信频段延伸发展的需求，研究突破宽带 Q/V 频段星载相控阵多波束天线总体设计、超密集收发组件与多波束形成网络集成、空时频多维抗干扰、波束灵活赋型以及机电热一体轻量化设计等关键技术，研制 Q/V 频段天线原理样机，申请国家发明专利不少于 1 项。

考核指标:(1)频段:发射 37.5~42.5GHz,接收 47.2~50.2GHz、50.4~52.4GHz;(2)波束数量:发射不小于 8 个,接收不小于 8 个;(3)极化方式:圆极化;(4)最大单波束带宽:不小于 1GHz;(5)支持跳波束扫描应用模式,扫描范围大于等于 $\pm 45^\circ$ 圆锥区域;(6)支持波束赋形,支持功率在波束间的灵活分配;(7)支持功率向特定波束集中,单波束最大可达 EIRP:不低于 58dBW;(8)单波束最大 G/T:不低于 13dB/K;(9)样机重量不大于 35kg。

### **2.4 天地一体多场景、宽窄带融合接入技术(共性技术类)**

研究内容:面向未来天地融合多频段、宽窄带一体、大容量和安全接入需求,开展多频段天地一体接入新型波形设计、基于业务与环境感知的大连接低时延接入管控和按需服务技术、面向跳波束捷变覆盖的波形优化设计及空间分集传输技术、面向天基物联网的大容量、低复杂度非正交多址接入技术、天基物联网空中信号重构及低复杂度检测方法、星地非理想链路条件下的物理

层安全接入技术研究以及基于多业务子带滤波的资源切片方法，研制原理样机，完成演示验证。

考核指标：波形支持 L/S、Ku、Ka 和 Q/V 多频段的天地一体化接入；波形设计支持相控阵跳波束服务模式，波束切换时间不大于  $100\mu\text{s}$ ；在相同 SINR 下，新波形设计较 OFDM 的频谱效率提升 10%，相同频谱效率下峰均比较 OFDM 降低至少 3dB；物联网信道超载率不小于 200%，单波束支持用户数不小于 10 万（1.5MHz 带宽）；物理层传输和安全一体化设计，非合作用户误码率可达 50%；支持至少 2 种场景不同波形的切片处理。

## 2.5 天地融合智能组网技术（基础研究类）

研究内容：面向天地融合的组网互联与信息传输需求，结合卫星网络动态拓扑、异构链路等条件，探索网络的自主管控与调度机理，研究网络结构与功能的弹性自适应技术、星地网元自适应动态协作部署技术、多尺度网络切片及智能适配技术、天地一体混合业务感知和智能接入控制技术、天地一体多维网络资源智能感知技术以及时敏确定性路由转发技术，构建地面原型系统，完成演示验证，申请国家发明专利不少于 2 项。

考核指标：（1）支持面向异构业务和网络协议的智能服务部署、迁移、升级及扩容等能力，支持不少于三种组网协议的动态加载；（2）适应不同业务需求与节点处理能力，支持网络功能柔性分割与网元动态协作部署；（3）支持至少 5 类业务的智能感知、识别和自动化网络配置，识别准确性不低于 95%；（4）实现时空



大尺度下的细粒度网络资源利用态势的感知，资源类型不少于 6 种，时间精度可达毫秒级；（5）支持多要素的灵活切片，可同时运行至少 5 类切片策略；（6）实现时延可预测的大尺度空间路由机制，时延预测误差不超过 10%。

### 3. 超宽带光通信

#### 3.1 高速长距光纤传输系统软件设计平台（基础研究类）

研究内容：面向高速长距离单模光纤传输系统的应用需求，聚焦灵活性、可靠性、可演进性，基于计算机编程语言，研究开发具有自主知识产权的高速长距光纤通信系统仿真软件平台，服务于下一代高速长距光纤通信系统设计开发和系统应用，填补国内空白。基础仿真性能对标业界现有商用软件，实现光电器件建模、光纤信道建模和经典收发算法集成；仿真建模支持 GPU 加速，支持灵活可编程和人工智能收发算法。开发一套完整开源、可靠的、智能化、可编程的高速长距光纤通信系统仿真软件平台。

考核指标：（1）基于高速长距单模光纤传输系统，实现 C+L 波段，最少 40 通道、单波长最高速率不低于 800 Gb/s、最长距离不低于 1000 公里的仿真软件平台，面向少模多芯空分复用光纤传输系统应用需求，建立新型光纤（多芯光纤、少模光纤）模型库，实现至少 7 芯 6 模、单通道最高速率不低于 100 Tb/s、最长距离不低于 1000 公里的仿真软件平台；（2）智能仿真软件平台包括光电器件建模模块、光纤信道建模模块以及收发端数字信号处理算法模块，支持多通道、双偏振信号传输，光纤信道建模支

持经典分布傅里叶算法建模和人工智能建模双模式；（3）源代码通过计算机编程语言（C、C++、Python 等）以及开源代码库实现，支持 GPU 加速，收发算法支持灵活编程，支持人工智能算法，具备实现端到端深度学习算法的能力；（4）软件需要开源，模块化可扩展，具有图形用户界面（GUI）控制光学组件布局、传输系统参数以及算法模块，同时具有可视化工具分析时域波形、光谱、眼图、星座图等；（5）在背靠背底噪相同的情况下，40 通道 800Gb/s 信号 1000 公里仿真软件平台运行结果与真实系统的误码率在同一量级；（6）申请不少于 10 项发明专利、10 项软件著作权。

### **3.2 面向工业互联网应用的超低延迟、超大连接无源光网络关键技术研究（共性技术类，拟支持 2 项）**

研究内容：聚焦工业互联网中的确定性低延迟和低抖动传输、单主站多点控制等新特性、新场景的应用需求，开展匹配工业多样化场景应用网络的支持超大连接的无源光网络新型接入复用架构研究，研究基于 P2MP 架构的低成本高集成度光接入系统、工业互联网汇聚网关 OLT 与接入网关 ONU 的关键技术，探索通过多维复用、相干光检测等多种路线提升单端口在线连接数并降低端到端传输延迟的方案。研究超大连接下工业无源光网络智能管理运维方案，开展边云协同模型架构及功能研究，构建面向工业智能的边云协同模型与要求的统一标准规范，进一步完善工业互联网边缘计算行业标准体系，开展工业无源光网络在新场景下

的示范演示，推动相关产业标准制定，实现成果落地。

考核指标：针对工业多样化场景应用需求，研制低延迟、超大连接工业无源光网络系统，系统单个 OLT 设备可同时支持用户光接入节点数不少于 1024 个，单节点接入能力最大不低于 50Gb/s，各接入节点上下行单节点转发延时可根据业务应用场景灵活配置，平均延迟最小不超过 10 $\mu$ s，定时精度不超过 50ppb，工业 ONU 网关支持边缘计算以及容器功能，支持 Modbus、EtherNet/IP、EtherNet TCP/IP、DL/645、IEC104、S7、OPC 等 30 种工业协议，匹配工业互联网智能制造的各类设备，开展支持智能运维的工业无源光网络在新场景下的示范应用。申请不少于 30 项发明专利，贡献国际标准提案不少于 10 项。

## 附件 4

# “区块链”重点专项 2021 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“区块链”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：聚焦区块链领域的紧迫技术需求和关键科学问题，建立自主创新的区块链基础理论体系，突破区块链系统构建共性关键技术，加强区块链监管与治理技术研究，构建自主知识产权的区块链基础平台，开展重大应用示范。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕区块链基础理论、区块链系统构建共性关键技术、区块链安全监管与治理技术 3 个领域方向，拟启动 8 项任务，拟安排国拨经费 1.16 亿元。其中，围绕区块链基础理论与方法、威胁感知与取证两个方向，拟部署 4 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 1200 万元，每个项目 300 万元。除区块链基础理论方向、区块链安全监管与治理技术方向、青年科学家项目外，其他项目配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向组织申报。除特殊说明外，每个项目拟支持数为 1~2 项，项目实施周期不超过 3 年。项目应整体申报，须覆盖该二级标题下指南所列的全部内

容。区块链基础理论类项目下设课题数不超过3个，项目参与单位总数不超过4家；共性技术类项目下设课题数不超过4个，项目参与单位总数不超过6家。每个项目设1名项目负责人，项目中每个课题设1名课题负责人，项目负责人可同时担任1个课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过3家。项目设1名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为1983年1月1日后出生，女性应为1981年1月1日后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为1~2项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这2个项目。2个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对2个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 区块链基础理论**

### **1.1 新型区块链体系架构设计理论与方法（基础理论类，拟支持2项）**

研究内容：针对当前区块链体系架构在性能、可扩展性、安全性、隐私保护等方面的困难与挑战，研究新型的多链（片）并行区块链体系架构，提升区块链系统的可扩展性和可伸缩性；研究海量业务并发支撑技术，提升区块链的交易并发处理性能；研究链上链下智能化协同优化技术，将复杂业务逻辑迁移至链下执

行；研究适应复杂多变运行环境的区块链高效同步方法；研究区块链的节点身份认证、分级访问控制、跨域可信及隐私保护等核心功能在区块链体系结构的内生支持机制。

考核指标：提出高性能多链（片）并行区块链体系架构，支持的并行分片数不低于 1000，跨链（片）关联交易对系统性能不造成显著影响；提出支持海量业务并发及链上链下交互等新型交易处理机制，支持区块链系统整体通量线性可扩展；提出高效区块链同步方法，适应多样化、高动态运行环境，随着节点规模增大，性能保持稳定；实现面向新型区块链体系结构的身份认证、新型分级访问控制、跨域可信及可信服务等机制；发表高质量论文；申请发明专利 10 项以上。

## **1.2 高延展性可证明安全共识算法及系统设计理论与方法研究（基础理论类，拟支持 2 项）**

研究内容：针对拜占庭共识机制的动态节点增删安全性缺乏理论保障、异步网络环境安全性难以保障、系统可延展性弱等问题，研究可证明安全高效、可支持动态节点、高延展性、高吞吐量的共识机制设计理论；研究在网络异步的环境中同时保障安全性及活性的高性能共识算法和负载低、延展性强的容错系统架构；研究可证明安全的高效分片共识方案；构建复杂网络环境下共识协议的合理安全模型。

考核指标：提出具有可证明安全性的异步共识算法，在网络带宽不低于 100 Mbps 时，延迟低于 200 ms，吞吐量达到 60000

TPS；给出支持节点动态加入和离开的可证明安全的拜占庭共识算法，延迟增幅低于 50 ms；提出分片共识及存储方案，可延展至 500 个节点以上，分片后吞吐量提高 200%；给出精准的共识评估模型刻画共识协议的安全性；发表高质量论文；申请发明专利 10 项以上。

### **1.3 高并发可扩展区块链存储的基础理论和方法研究（青年科学家项目，拟支持 2 项）**

研究内容：针对传统链式区块链难以支撑高频次高并发应用场景的需求，研究区块链系统的高效可扩展存储理论、缓解存储压力的轻量级弹性区块链数据模型、支持数据查询检索的高效完整性及一致性验证技术。

考核指标：核心区块链弹性可扩展存储模型具备创新性；支持基于图式区块链的轻量级可扩展数据分级存储功能；实现至少对 10TB 区块链数据的高效一致存储，将存储开销降低 5 倍以上；支持高效可信存储的数据索引机制，并能对查询结果进行有效验证；发表高质量论文；申请发明专利 5 项以上。

## **2. 区块链系统构建共性关键技术**

### **2.1 区块链性能模型及多层次协同优化关键技术研究（共性技术类）**

研究内容：针对传统区块链低性能与高频交易需求间的矛盾，研究区块链性能模型及多层次协同优化技术。研究多指标约束下的区块链性能模型；研究低时延低冗余区块链网络传输协议

及数据传播架构，支持大规模节点应用的高效数据分发和数据同步；研究适用于大规模网络部署的低开销且兼顾公平与效率的区块链共识机制；研究数据存储模型及高效存储与访问机制；研究智能合约并行执行冲突消解技术，提高合约并行执行效率。

考核指标：提出多指标约束下的区块链性能模型，基于该模型设计至少 3 种主流区块链系统的性能优化方法；建立 1 套区块链性能多层次协同优化技术体系，部署不少于 3 种主流区块链系统，交易确认延时不超过 1 秒；在多核 CPU、千兆局域网、SSD 硬盘、16 个共识节点的规模下，测试转账类业务的吞吐量不低于 55000 TPS；研发区块链智能合约执行平台，支持不少于 10 种应用场景的智能合约；申请发明专利 15 项以上，提交国际/国家/行业标准草案 2 项以上。

## **2.2 区块链可证明安全隐私保护技术研究（共性技术类，拟支持 2 项）**

研究内容：针对区块链数据公开透明、无中心节点管控、隐私保护困难的问题，研究区块链系统的隐私安全风险，研究区块链匿名交易技术，研究通用的安全可重组的隐私保护技术；研究监管友好的区块链交易隐私保护机制，涵盖零知识证明、账号匿名、同态加密、安全多方计算等技术与方法，保护交易身份和交易内容等敏感的交易信息；研究交易追踪溯源技术，支持针对特定异常交易的识别和追踪溯源；研究基于国家认可的商用密码算法的隐私交易平台，在工业、农业、政务、商务、民生、金融等



领域开展示范应用。

考核指标：区块链协议具备在并发混合使用场景下的安全性，提供严格的形式化等证明，实现区块链交易隐私保护机制的功能正确性和规范一致性证明，满足可追溯性和可验证性；提出不少于 3 种区块链交易隐私保护方法，保护交易双方身份和内容等敏感信息；实现监管友好的区块链隐私保护系统，支持权威监管机构对异常交易信息的识别和追踪溯源；区块链隐私交易平台支持用户账户数量不低于 10 亿；支持日交易量不低于 10 亿笔；链上存储量可弹性扩展；平台技术成果应用于不少于 3 类场景；申请发明专利 15 项以上，提交国际/国家/行业标准草案 2 项以上。

### **2.3 区块链评测技术体系与系统研究（共性技术类）**

研究内容：针对区块链快速发展与评测体系、技术手段尚不完备之间的矛盾问题，研究建立区块链评测技术体系，涵盖性能、功能、真伪性、安全性、可靠性和合规性等方面；研究新型区块链技术的组件化评测方法；研究区块链系统的脆弱性发现、对抗策略与问题关系验证机制；研究区块链密码算法及协议、密码模块和密码应用安全性的检测评估方法；研究区块链信息内容安全评测技术；研究多样性测试数据集构造方法，保障异构区块链性能测试公平性；构建评测工具库，设计实现区块链评测系统，支持评测策略的自适应调整；以区块链在法定数字货币、数据生产要素流通、智慧城市、金融科技、工业互联网、政务民生、能源、社会治理等应用为评测场景，研制差异化评测模板，实现穿透式

评测，并对区块链系统的创新程度进行评测。

考核指标：建立区块链评测技术体系，形成 1 套区块链评测规范；提出不少于 3 种区块链系统脆弱性、内容安全防护、共识有效性的评测技术；研制区块链脆弱性评测工具，支持多种网络协议、共识算法等的对抗推演和评测；研制区块链密码评测工具，并实际完成不少于 2 款区块链密码产品评测；提出不少于 3 种测试数据集构造方法；提出面向智能合约的功能正确性和安全性评测方法，构建自动化评测工具，支持 3 个以上主流区块链平台，自动化检测 20 种以上常规智能合约安全漏洞；构建评测工具库，支持对区块链设备接入、数据存证和流通、智能合约、跨链、安全防护等方面进行评测；建设评测平台，支持大规模网络节点，性能测试上限达到 12 万 TPS，兼容不少于 5 种底层链，具备区块链隐藏安全风险评测能力、高风险漏洞检测定位能力，支持评测策略自适应调整和执行；在法定数字货币、数据生产要素流通、智慧城市、金融科技、工业互联网、政务民生、能源、社会治理等应用中设计并实现不少于 3 种典型区块链应用场景的评测模板，支持区块链应用生态的自动化安全风险测试评估；申请发明专利 15 项以上，提交国际/国家/行业标准草案 3 项以上。

#### **2.4 区块链安全威胁感知与取证研究（青年科学家项目，拟支持 2 项）**

研究内容：针对区块链层出不穷的安全威胁，设计具有高兼容性、高扩展性且具有快速响应能力的区块链安全威胁感知平台；

研究各类区块链安全威胁的内部机理；提出应对已知和未知类型安全威胁的通用解决方案；设计区块链海量数据快速获取和存储方法；设计在海量区块链数据中快速关联安全威胁的算法；研究可扩展的区块链安全威胁取证系统，支持自定义的取证模式，以支持多种取证场景。

考核指标：区块链安全威胁感知平台的性能开销不超过10%；区块链安全威胁感知平台能发现不少于10种类型的安全威胁；区块链安全威胁感知平台能应用于三种以上主流区块链基础平台；支持在10亿级交易数量的区块链上开展安全威胁取证；从10亿级区块链数据中关联安全威胁的时间开销不超过5分钟；支持不少于5种安全威胁取证模式；申请发明专利5项以上。

### **3. 区块链安全监管与治理技术**

#### **3.1 区块链生态安全监管关键技术研究（共性技术类，拟支持2项）**

研究内容：面向区块链生态中存在的安全风险，研究区块链安全生态监管技术框架，实现对区块链生态体系的监管。研究精细化深度分析与识别技术，研究账号、交易、链群三维一体的区块链生态实体关联关系构建技术，研究区块链数字身份关联技术；研制区块链生态安全监管系统，实现区块链生态共性安全风险识别与定位、安全风险事件的精准刻画和风险及时发现预警、网络空间与物理空间的实体关联以及跨账户、跨平台的关联式监管等能力；形成法定数字货币、数据生产要素流通等区块链场景下的

生态安全风险分析和安全监管方案，开展监管示范应用。

考核指标：构建区块链安全生态监管技术框架，提出共性安全风险规范，明确区块链不同层级安全风险；提出不少于3种具有精细化深度分析与识别、区块链生态实体关联关系构建、区块链数字身份关联等能力的技术；支持不少于10类安全风险点的分析与识别；支持实体关系的构建、融合、推理等，形成千万级规模的实体关系库；对智能合约异常交互行为的检测准确率超过90%；面向法定数字货币、数据生产要素流通、智慧城市、金融科技、工业互联网、政务民生、能源、社会治理中的至少2类区块链应用场景形成针对性监管方案并进行应用示范，每类场景下部署区块链应用不少于3个；申请发明专利15项以上，提交国际/国家/行业标准草案3项以上。

## **“氢能技术”重点专项 2021 年度 项目申报指南**

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“氢能技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：以能源革命、交通强国等重大需求为牵引，系统布局氢能绿色制取、安全致密储输和高效利用技术，贯通基础前瞻、共性关键、工程应用和评估规范环节，到 2025 年实现我国氢能技术研发水平进入国际先进行列。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕氢能绿色制取与规模转存体系、氢能安全存储与快速输配体系、氢能便捷改质与高效动力系统及“氢进万家”综合示范等 4 个技术方向，按照基础前沿技术、共性关键技术、示范应用，拟启动 18 个项目，拟安排国拨经费 7.95 亿元。其中，围绕氢能安全存储与快速输配体系技术方向，拟部署 1 个青年科学家课题，课题拟安排国拨经费不超过 500 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。每个项目拟支持数为 1~2 项，实施周期不超过 4 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基

基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家，共性关键技术类和示范应用类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

项目下设青年科学家课题的（项目名称后有标注），青年科学家课题负责人及课题参与人员年龄要求，男性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1981 年 1 月 1 日以后出生。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 氢能绿色制取与规模转存体系**

### **1.1 光伏/风电等波动性电源电解制氢材料和过程基础（基础前沿技术）**

研究内容：针对光伏/风电等制氢系统应用所面临的动态适应性和运行可靠性等问题，开展波动电源电解制氢材料和过程基础研究，具体内容包括：研究复杂工况下电解制氢系统动/静态响应特性与建模方法；研究复杂运行工况对电解堆性能和寿命的影响机理与提升技术，包括适应波动性输入的电解堆材料/结构的设计和优化；研究新能源富集地区源/网特征刻画方法及模拟技术，研制电解堆及系统的适应性验证平台；研究高比例新能源电网系统

中电解堆及系统的适应性评价和表征方法；研究适应复杂工况的电解制氢系统配置优化与过程控制技术，研制适应波动性输入的长寿命电解制氢试验装置。

考核指标：电解制氢系统模型动静态误差 $\leq 10\%$ ；研制适应波动性输入的水电解制氢试验系统，其中电解堆：额定电流密度 $1.5\text{A}/\text{cm}^2$ 、电解电压 $\leq 2.0\text{V}@1.5\text{A}/\text{cm}^2@80^\circ\text{C}$ 、额定功率 $\geq 100\text{kW}$ 、操作压力 $\geq 3.5\text{MPa}$ 、产氢纯度 $\geq 99.99\%$ ，5~150%额定功率范围内连续调节，稳态工作3000h、平均单节电压衰减率 $\leq 15\mu\text{V}/\text{h}$ ，模拟华北、西北、东北等典型新能源富集地区电网能量平衡规律下工作2000h、平均单节电压衰减率 $\leq 40\mu\text{V}/\text{h}$ ；构建复杂工况下电解堆适应性验证平台，纹波频率：100~2000Hz，占比1~10%可调，电流阶跃响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ，复现误差 $\leq 1\%$ ；建立水电解制氢系统波动电源适应性评价体系；相关标准规范（送审稿） $\geq 3$ 项。

## 1.2 低成本质子交换膜（PEM）水电解制氢电堆关键材料制备技术（共性关键技术）

研究内容：针对关键材料制备规模小、单位成本高等制约PEM水电解制氢应用和发展的的问题，开展低成本电解水制氢用关键材料设计与批量化制备技术研究，具体内容包括：研究新型低铱（Ir）基/非Ir基催化剂的设计、合成与高一致性批量化制备工艺；研究高电导率、高强度、高稳定性的离子交换树脂及其增强薄膜的设计与制备技术；研究低成本大面积膜电极涂布及成型工艺；研制适于连续工业化生产的质子膜及膜电极制备装备。

考核指标：低 Ir 催化剂：Ir 载量  $\leq 0.3\text{mg}/\text{cm}^2$ ，基于膜电极测试电解电压  $\leq 1.9\text{V}@2\text{A}/\text{cm}^2@80^\circ\text{C}$ ，过电势  $\leq 200\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，不同批次催化剂，制成膜电极测试的过电势偏差  $\leq \pm 10\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，工作 3000h 后，电势衰减  $\leq 2\%$ 。非 Ir 析氧催化剂：载量  $\leq 1.5\text{mg}/\text{cm}^2$  条件下，膜电极电解电压  $\leq 1.80\text{V}@500\text{mA}/\text{cm}^2$ ，过电势  $\leq 350\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，酸性条件下 10000 次循环后过电势衰减  $\leq 20\text{mV}$ ；质子膜：树脂交换容量(IEC)  $\geq 0.9\text{mmol}/\text{g}$ ，厚度  $\leq 80\mu\text{m}$ 、偏差  $\leq \pm 5\%$ （采样面积  $\geq 300\text{cm}^2$ ），质子电导率  $\geq 0.2\text{S}/\text{cm}@80^\circ\text{C}$ ，拉伸强度  $\geq 50\text{MPa}$ 、弹性模量  $\geq 300\text{MPa}$ （50%RH，25°C），面向尺寸变化率  $\leq 5\%$ （50%RH 至 100%RH），成本  $\leq 2300$  元/ $\text{m}^2$ ；质子膜制备装备：幅宽  $\geq 600\text{mm}$ ，产能  $\geq 10$  万  $\text{m}^2/\text{年}$ ；膜电极制备装备：单片活性面积  $\geq 3000\text{cm}^2$ ，产能  $\geq 10$  万  $\text{m}^2/\text{年}$ ；质子膜制备及膜电极制备装备设计寿命  $\geq 10$  年；采用本任务研制的材料、工艺等技术制成低 Ir 催化剂单电池，活性面积  $\geq 3000\text{cm}^2$ ，电解电压  $\leq 1.9\text{V}@2\text{A}/\text{cm}^2$ ，过电势  $\leq 200\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ 。

### 1.3 高效大功率碱水电解槽关键技术开发与装备研制（共性关键技术）

研究内容：针对碱性电解水制氢大功率、高电流密度、低能耗的需求，研发大功率碱性水电解制氢关键技术与系统集成技术，具体内容包括：低成本、高活性、长寿命一体化大面积新型复合电极设计与批量制备技术，功率波动工况下的电极过



程动力学特性；大面积、低传质阻抗、高亲水性、高耐热性新型非石棉隔膜批量制备技术；大直径碱性电解槽结构优化设计与集成技术；具有宽功率波动适应性的电解水制氢成套装备的优化设计与集成技术，宽功率波动工况下制氢系统的电—热—质均衡优化技术。

考核指标：电解槽额定产氢量  $\geq 3000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，电极小室电压  $\leq 1.80\text{V}@5000\text{A}/\text{m}^2$ ；制氢负荷  $\geq 80\%$  额定条件下，电解槽直流电耗  $\leq 4.3\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ，系统单位能耗  $\leq 4.8\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ，2000h 后电解槽直流电解效率衰减  $\leq 0.1\%$ ；电解制氢装备额定功率  $\geq 15\text{MW}$ ，设备运行压力可调范围  $\geq 0.8\sim 1.6\text{MPa}$ ，功率可调范围  $\geq 20\sim 110\%$  的额定功率。

#### 1.4 电解制氢加 $\text{CO}_2$ 制甲醇工程技术及中试装备开发（共性关键技术）

研究内容：针对大规模氢气加  $\text{CO}_2$  实现碳减排的产业化发展需要，研发电解制氢加  $\text{CO}_2$  制甲醇工程技术与中试装备，具体内容包括：构筑用于  $\text{CO}_2$  高效活化的催化剂体系；研究  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}_2$  在催化剂表面的吸附与活化、失效规律以及中间物种的形成和变迁规律；研究粘结剂和催化剂成型方式、催化剂强度及孔结构优化技术；开发工业化规模的换热优化新型反应器及工艺；开发工程化甲醇/水分离关键技术以及能源协同高效利用方案；开发氢气加  $\text{CO}_2$  制甲醇成套工艺包，实现十万吨级工业示范。

考核指标：催化剂运行 5000h 甲醇收率衰减  $\leq 5\%$ ；反应器：

单塔规模 $\geq 10$ 万吨，氢气转化率 $\geq 90\%$ ， $\text{CO}_2$ 单程转化率 $\geq 15\%$ ，甲醇选择性 $\geq 90\%$ ；有机相中甲醇含量 $\geq 99.5\%$ ；编制氢气加 $\text{CO}_2$ 制甲醇十万吨级优化工艺包，提交能耗、全工艺流程核算报告；建立十万吨级工业示范装置， $\text{CO}_2$ 总转化率 $\geq 90\%$ ，甲醇总选择性 $\geq 95\%$ ，稳定运行时间 $\geq 5000\text{h}$ 。

### 1.5 电解制氢—低温低压合成氨关键技术及应用（共性关键技术）

研究内容：针对发展可再生能源与低温低压合成氨互补融合新路径，开展电解制氢—温和条件合成氨关键技术及应用，具体内容包括：探索近常压氢气和氮气合成氨新机制，研发低温低压高效合成氨的催化新材料和副反应的抑制新方法，阐明 $\text{N}\equiv\text{N}$ 键活化和 $\text{N-H}$ 键形成的催化机理；研究高性能热化学合成氨催化剂及批量制备技术；构建可再生能源电解水制氢—低温低压热化学合成氨的模拟仿真平台，开发互补融合系统的成套新技术；设计并建成万吨级可再生能源制氢—低温低压热化学合成氨技术的验证装置。

考核指标：氢气转化率 $\geq 26\%$ ；近常压合成氨催化剂：反应温度 $\leq 200^\circ\text{C}$ 、反应压力 $\leq 0.2\text{MPa}$ ，产氨速率 $\geq 100\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；低温低压条件合成氨催化剂：反应温度 $\leq 400^\circ\text{C}$ ，反应压力 $\leq 7.0\text{MPa}$ 、空速 $\geq 10000\text{h}^{-1}$ ，氨产率 $\geq 15\%$ ；可再生能源制氢—低温低压热化学合成氨技术的验证装置：可再生能源制氢电解系统 $\geq 3\text{MW}$ ，合成氨运行压力 $\leq 7.0\text{MPa}$ 、反应温度 $\leq 400^\circ\text{C}$ ，氨净值

≥15%，3000h 以上连续稳定运行。

## 1.6 十万吨级可再生能源电解水制氢合成氨示范工程（示范应用）

研究内容：针对我国西南地区水/光发电消纳困难以及传统合成氨工艺的碳减排等问题，开展十万吨级可再生能源电解水制氢合成氨示范应用，具体内容包括：研究适应可再生能源动态特性的电解水制氢合成氨系统建模与优化配置方法；研究适应柔性生产的合成氨工艺流程优化与调控；研究适应水光互补特性的大规模电解水制氢系统集成与集群控制技术；研究源—网—氢—氨互动的全系统协同控制技术；研究计及电、氢、氨等要素的全方位安全防护与市场运营机制，形成绿氢合成氨相关标准体系。

考核指标：掌握可再生能源电解水制氢合成氨全工艺环节建模技术，动静态模型误差 ≤5%，开发适应柔性生产的合成氨工艺流程仿真分析软件；建成十万吨级电解水制氢合成氨示范工程：绿氢占比 100%，合成氨产能 ≥10 万吨/年，产量调节范围 50~100%，为可再生能源制氢—低温低压（运行压力 ≤7.0MPa、反应温度 ≤400℃）热化学合成氨装置提供工程验证条件；电解制氢系统：规模 ≥100MW，系统单位能耗 ≤4.8kWh/Nm<sup>3</sup>，集群系统调节范围 10~100%，冷启动时间 ≤30min，热启动时间 ≤30s，动态调节速率 ≥20%/min；可再生能源消纳能力 ≥5 亿 kWh/年；电网调峰指令响应时间 ≤1s；形

成技术标准（送审稿） $\geq 5$ 项。

## 2. 氢能安全存储与快速输配体系

### 2.1 高密度储氢材料及其可逆吸/放氢技术（基础前沿技术，含青年科学家课题）

研究内容：针对高密度储氢材料的应用需求，研发具有高质量储氢量的可逆储氢材料、批量制备工艺以及示范储氢系统。具体内容包括：高密度储氢材料的设计和制备；高密度储氢材料吸/放氢热力学和动力学研究；高密度储氢材料的吸/放氢速率控制；高密度储氢材料循环性能的衰减机制和稳定化方法；以高密度储氢材料为工质进一步研制示范储氢系统，以及释放氢气中杂质的种类、含量及抑制方法等。

考核指标：低于  $200^{\circ}\text{C}$  下材料的质量储氢密度  $\geq 9.0\text{wt}\%$ ，可逆放氢量  $\geq 95\%$ ，吸/放氢循环寿命（50次） $\geq 90\%$ ，储氢压力  $\leq 7\text{MPa}$ ；示范储氢系统的吸/放氢速率  $\geq 3.0/0.3\text{gH}_2/\text{min}$ ，氢气纯度  $\geq 99.99\text{wt}\%$ ，杂质气体含量满足燃料电池用氢气品质 GB/T 37244—2018 要求。

有关说明：本项目中关于高密度储氢材料的设计和制备拟设立一个青年科学家课题。

### 2.2 氢气液化装置氢膨胀机研制（共性关键技术）

研究内容：针对液氢规模化、致密化储运所需的低温液化系统核心装备，开展氢膨胀机、低温氢气换热器和正仲氢转化技术研究。具体内容包括：氢液化流程及氢膨胀机组参数优化与动态

仿真技术；高效低温氢膨胀机设计方法；低温氢膨胀机变工况与两相膨胀适应性；低温氢膨胀机的密封、绝热技术与制造工艺和可靠性；高效紧凑型低温氢气换热器设计方法与制造工艺；高效正仲氢转化催化剂材料及转化器设计；液氢储罐液位在线精密测量技术；基于氢气膨胀机的氢液化验证装置。

考核指标：氢气膨胀液化装置液化能力 $\geq 5$ 吨/天，液氢产品仲氢含量（体积分数） $\geq 97\%$ ；氢膨胀机等熵膨胀效率 $\geq 80\%$ ，启停寿命 $\geq 1000$ 次，连续10000h免维护运行；液氢储罐液位测量偏差 $\leq 0.5\%$ ；开发氢液化流程设计与仿真软件，液化量预测偏差 $\leq 15\%$ ；开发低温氢气换热器设计软件，换热量等关键热物理量预测和实验值偏差 $\leq 10\%$ ；建立氢膨胀机及氢液化装备国家/行业产品标准（送审稿）1~2项。

### **2.3 车载复合材料储氢气瓶服役检测监测与诊断评估技术（共性关键技术）**

研究内容：针对在用车载复合材料高压储氢气瓶服役安全的在线检测与评定需求，开展车载气瓶在线检测、监测与安全评估技术研究。具体内容包括：车载气瓶无损检测技术，满足道路行驶要求的气瓶支撑紧固结构设计与安装准则，复合材料层与内衬在正常充装、供氢等工况下性能退化行为规律与结构健康在线检测监测技术；车载工况下气瓶典型缺陷和损伤的演化规律，车辆事故对支撑、瓶体结构的损伤及隐患评估技术；车载气瓶缺陷和损伤在线检测技术、车规级实时监测器件与诊断技术；复合材料

储氢瓶的寿命预测模型和在线检测评定方法；车载复合材料高压储氢系统设计与安装、服役和在线检测监测与评估技术规范。

考核指标：研制的车载复合材料高压储氢气瓶在线系统达到开口裂纹检测灵敏度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，纤维层分层/脱粘灵敏度优于 $\phi 6\text{mm}$ ，分层/纤维断裂监测相应时间小于 $1\text{s}$ ；氢泄漏感知响应速度 $\leq 0.5\text{s}$ ；在 $\geq 50$ 辆燃料电池汽车上部署结构健康在线监测系统，与充装、使用过程中典型损伤演化规律预测模型比对误差 $\leq 15\%$ ，与寿命预测模型比对误差 $\leq 15\%$ ，与车规级器件实时诊断比对偏差 $\leq 15\%$ ；提出车载复合材料高压储氢系统设计与安装、服役与监测、检验与检测技术规范1套（适用范围包括GB/T 35544—2017、T/CATSI 02 007—2020），提交包含复合材料高压储氢气瓶在线检测、监测与评价方法的国家/行业标准不少于2项。

#### **2.4 气氢与液氢容器及管件泄漏、燃烧与爆炸行为分析和材质要求（共性关键技术）**

研究内容：针对氢能及燃料电池产业对储氢装置在生产、储运、加注和使用全链条过程中“耐高压、高密封及爆燃安全”等性能的全面需求，开展氢容器及管件安全健康诊断方法、失效—泄漏—燃烧—爆炸全过程灾害风险演化模型、氢能爆炸时空演化规律、安全防护装备与应急救援研究。具体内容包括：研究氢气泄漏行为的全链条表征与评价，研究高速碰撞下储氢装置的失效破坏模式，提出气氢及液氢泄漏—扩散—爆炸风险全链条预测评估模型；研究适用于加氢站、灌装厂等场景下氢气及液氢爆燃发

展规律与毁伤机制，揭示氢容器在典型失效条件下的爆炸判据和失效特征；提出氢容器燃烧与爆炸防护基准策略，研制系列爆炸冲击防护材料和隔爆、抑爆材料；研究储氢及临氢装置的本质安全设计方法，形成储氢装置的全面安全健康诊断方法和具有高燃爆防护效应的储氢安全装置、设施的设计准则；研究氢能爆炸事故现场应急处置部署决策技术方案及实现方法，综合提升氢能爆炸应急自救及消防救援能力。

考核指标：构建氢气泄漏检测及氢气火焰识别方法，通风或惰性气体稀释装置的快速联动响应时间 $\leq 1s$ ；建立典型公共场所车载高压氢气和液氢泄漏扩散以及低温可燃云团爆燃预测模型，预测误差 $\leq 15\%$ ；建立高压氢泄漏自燃以及含有杂质的液氢爆炸的引发机理及判据，并进行试验验证，其中高压氢气泄漏压力 $\leq 35MPa$ ，单次液氢爆炸试验容量不低于200L，试验次数不少于5次；揭示大尺度开敞空间氢气云爆炸传播特征，超压预测模型在宽温度、宽压力、宽浓度范围下的精度 $\geq 90\%$ ；提出储氢安全装置及设施爆燃安全防护方法，设计适用于加氢站和灌装厂的新型抗爆燃储氢安全装置及设施，抑爆材料可对区域内的爆炸火焰完全抑制，爆炸压力下降95%以上；隔爆材料可对系统内不低于0.3MPa的爆炸压力实现完全控制；防护材料使爆炸压力下降70%以上；泄漏爆炸不引起临近装置及设施殉爆，爆炸破片速度在不低于725m/s（动能不低于2100J）下储氢安全装置及设施不被穿透，100gTNT当量外部接触爆炸不破裂；爆炸冲击波、破片及其

联合作用的致灾效应计算精度大于 90%；提出储氢装置安全指标体系，建立储氢装置运行全过程健康诊断评估方法；构建加氢站及灌装厂等典型氢能场景下燃爆风险实时应急预警系统，系统反应时间 $\leq 5\text{min}$ ；建立临氢装置安全管理信息平台，实现不少于 1000 台（套）氢能储运装备的信息化管理。

## 2.5 搭载瓶装氢气燃料电池汽车转运与集中存放技术与规范 (共性关键技术)

研究内容：基于燃料电池车辆应用中车辆停放、跨地域运输需要，研究车辆带氢运输、与燃油车混合运输过程中，在公路隧道、轮船、停车场等封闭、半封闭、开放典型场景下，集中运输和停放技术。具体内容包括：研究轮船滚装过程、服务区和停车场氢燃料电池汽车停放过程的风险识别与评价技术；研究搭载瓶装氢气燃料电池车辆转运与集中存放安全技术要求；研究停放/运输氢燃料汽车，在典型密闭、半密闭、开放场景下，氢气安全区间快速识别监测、预警、评价技术；研究氢燃料电池汽车高风险场景安全防范技术；研究典型场景氢泄漏扩散仿真与应急救援技术。

考核指标：建立针对车辆带氢运输、存放的安全风险分析与评测方法，并完成示范应用 $\geq 5$ 项；形成不同场景下的燃料电池汽车运输、存放、风险评价国家/行业标准报批稿 $\geq 2$ 项；建立叠加 20 至 1000 辆混合停车场存放或运输的在线监测系统 1 套，氢燃料电池汽车储氢瓶在线监测系统 1 套，覆盖泄漏、过载、超温



等主要风险点，形成燃料电池汽车储氢瓶在线监测国家/行业标准报批稿 $\geq 1$ 项。

### **3. 氢能便捷改质与高效动力系统**

#### **3.1 跨温区新型全氟质子膜研究（基础前沿技术）**

研究内容：针对燃料电池快速冷启动和系统简化需求，设计具有跨温区工作能力的全氟质子聚合物结构，突破其单体合成、聚合物制备、成膜及工程化制造技术，包括：兼具低温质子传导能力和高温稳定性的离子聚合物结构设计及多元协同质子传导机理；全氟离子功能单体的合成及其聚合技术；宽服役温度、长寿命全氟离子聚合物与增强体的高效复合结构，新型质子交换膜成膜工艺及其工程化制造技术；多元复合全氟质子膜在燃料电池中的应用研究。

考核指标：全氟质子聚合物单体纯度 $\geq 99\%$ ；聚合物分子量 $\geq 25$ 万、交换容量(IEC) $\geq 1.25\text{mmol/g}$ ；玻璃化转变温度 $\geq 130^\circ\text{C}$ ，聚合物分子量热分解温度 $\geq 350^\circ\text{C}$ ；质子交换膜EW $\leq 900\text{g/mol}$ ，工作温度范围 $-30\sim 120^\circ\text{C}$ （膜电极实际工作条件），电导率 $\geq 45\text{S/cm}^2$ （ $60\sim 120^\circ\text{C}$ 、 $50\%\text{RH}$ ）、 $\geq 5\text{S/cm}^2$ （ $-30\sim 0^\circ\text{C}$ ，膜电极实际工作条件），机械强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，干湿循环耐久性 $\geq 20000$ 次；批量制造厚度偏差 $\leq \pm 1\mu\text{m}$ 、成品率 $\geq 99\%$ 。

#### **3.2 低成本长寿命碱性膜燃料电池电堆研制（基础前沿技术）**

研究内容：针对低成本基站用不间断电源需求，突破千瓦级非铂碱性膜燃料电池电堆、材料及其组件关键技术，具体内容包  
括：研究高活性阳极非铂催化剂和阴极非贵金属催化剂的制备技

术；开发非贵金属催化电极的高效传质结构与制备技术；研究 $\geq 80^{\circ}\text{C}$ 工况下碱性燃料电池的水管理技术，实现碱性燃料电池电堆的高性能输出；研究碱性条件下电解质及电极结构对 $\text{CO}_2$ 的敏感性、自由基对碱性聚电解质的攻击等关键问题，实现氢气/空气条件下碱性燃料电池电堆的长寿命运行。

考核指标：氢电极使用非铂催化剂、氧电极使用非贵金属催化剂，膜电极中贵金属催化剂用量 $\leq 0.05\text{mg}/\text{cm}^2$ 、氧还原催化剂活性 $\geq 0.044\text{A}/\text{cm}^2@0.9\text{V}_{\text{IR-free}}$ ；碱性膜电导率 $\geq 45\text{S}/\text{cm}^2$ （ $25\sim 80^{\circ}\text{C}$ ）、氧传输阻力 $\leq 10\text{s}/\text{cm}$ ；碱性膜燃料电池电堆功率 $\geq 2\text{kW}$ 、功率密度 $\geq 1\text{W}/\text{cm}^2$ ，氢气/空气操作寿命 $\geq 3000\text{h}$ （实测，性能下降 $\leq 10\%$ ）。

### 3.3 电站用高效长寿命膜电极技术（共性关键技术）

研究内容：针对固定式电站对燃料电池长寿命和高效率的应用需求，开展电站用燃料电池膜电极设计、制备及寿命关键技术研究，具体内容包括：膜电极关键材料催化剂、质子交换膜、扩散层在发电工况下的衰减规律与结构强化技术，提升膜电极寿命和抗 $\text{CO}$ 能力；突破电站用膜电极催化层低极化和扩散层高传质技术，降低催化剂用量、提升电池能量转化效率和功率密度；突破膜电极高可靠性一次成型封装结构及其工程化制备技术，提升膜电极产能、批量制备的一致性和可靠性。

考核指标：基于发电稳态工况，膜电极在额定工作点电压衰减率 $\leq 10\%@40000\text{h}$ （实际测试 $10000\text{h}$ ，性能衰减 $\leq 2\%$ ）；膜电极

Pt 载量  $\leq 0.25\text{mg}/\text{cm}^2$ , 性能  $\geq 0.80\text{V}@0.4\text{A}/\text{cm}^2$ 、 $\geq 0.70\text{V}@1.2\text{A}/\text{cm}^2$  (空气压力  $\leq 150\text{kPa}_{\text{abs}}$ 、氢气中 CO 含量  $\geq 5\text{ppm}$ ); 基于高可靠性一次成型封装结构, 开发的膜电极在设计寿命范围内满足氢气渗透要求、年产能  $\geq 60$  万片, 性能偏差  $\leq 10\text{mV}$  ( $1.2\text{A}/\text{cm}^2$  工况条件, 抽检样本  $\geq 300$  片); 建立涵盖催化剂、离聚物、质子交换膜等关键材料的性能衰减预测模型, 性能衰减预测误差  $\leq 10\%$ 。

### 3.4 管式固体氧化物燃料电池发电单元及电堆关键技术 (共性关键技术)

研究内容: 针对固定式电站发电供能领域对高效、长寿命固体氧化物燃料电池的需求, 开展管式固体氧化物燃料电池用电解质膜、单电池、电堆的制备工艺与工程化研究。具体包括: 开发针对管式结构特征的致密电解质膜的制备工艺和生产装备; 研究兼具高输出功率和高运行可靠性的管式单电池的结构及其制造方法; 研究管式单电池及电堆模块的热、电、应力分布规律, 确立管式电堆的组堆方式及热管理策略; 研究运行条件对电堆效率及运行寿命的影响规律, 确立管式固体氧化物燃料电池电堆模块组装技术, 同时确立管式电池、电堆的工程化技术。

考核指标: 单个管式电池的空载电压大于  $20\text{V}$ , 输出功率密度  $\geq 0.4\text{W}/\text{cm}^2$ , 最大输出功率  $\geq 100\text{W}$ ; 管式电池支撑体平直度  $\leq 2\text{L}\%$ , 孔隙率  $\geq 25\%$ , 抗弯强度  $\geq 50\text{MPa}$ ; 可级联放大的电堆模块功率  $\geq 5.0\text{kW}$ , 初始电效率  $\geq 55\%$ , 冷热循环启动次数  $\geq 100$  次, 电效率衰减  $\leq 0.2\%/次@100$  次, 连续运行时间  $\geq 1500\text{h}$  (实测),

稳定运行情况下每 1000h 衰减率  $\leq 1\%$ ，电堆预期寿命  $\geq 20000\text{h}$ 。

### 3.5 千瓦级固体氧化物燃料电池发电系统及高可靠性电堆关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对住宅、楼宇、社区分布式供能领域对高效、长寿命、可多次启停固体氧化物燃料电池的需求，开展高可靠性固体氧化物燃料电池与电堆工程化技术与系统集成研究，具体内容包括：研究支撑电极结构对电池的抗氧化还原、冷热循环、燃料重整性能的影响，提出电池结构与性能优化策略；研究电堆环境下电池与连接体的热、电、应力分布规律，开展电堆界面电子收集与封装材料特性研究，优化电堆集成方案，开展千瓦级电堆的工程化制造与评价技术研究；研究燃料特性对电堆效率及运行寿命的影响规律，开展燃料处理与热量回收处理方式技术研究，开展千瓦级热电联供系统集成应用研究。

考核指标：单体电池面积比电阻(ASR)  $\leq 0.25\Omega/\text{cm}^2@750^\circ\text{C}$ ，冷热循环电效率衰减  $\leq 0.2\%/次@100次$ ；电堆功率  $\geq 1\text{kW}@0.85\text{V}$ ，效率  $\geq 65\%$ ；系统功率  $\geq 2.0\text{kW}$ （掺氢天然气燃料），系统发电效率  $\geq 55\%$ ，热电联供效率  $\geq 90\%$ ；系统连续运行时间  $\geq 4500\text{h}$ （实测），冷热循环启动次数  $\geq 100$  次，预期寿命  $\geq 80000\text{h}$ 。

## 4. “氢进万家”综合示范

### 4.1 中低压纯氢与掺氢燃气管道输送及其应用关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对城镇地区用氢需求，开展中低压纯氢与掺氢

(5~20%)燃气管道输送及其应用关键技术研究。具体内容包括:管材和焊缝中渗氢扩散机理,管材和焊缝对纯氢/掺氢输送的相容性研究,纯氢/掺氢输送架空和埋地管道连接工艺;管道中掺氢传质输运机理,多级减压和调压技术,纯氢/掺氢燃气管输工艺,掺氢设备研发;纯氢/掺氢燃气管道和关键设备的安全事故特征和演化规律研究、失效后果及防护研究、完整性管理及应急抢修技术;氢气分离工艺与设备研发及末端增压设备研发(用于燃料电池气源);纯氢管道输送试验平台、掺氢综合实验平台;纯氢/掺氢家用燃烧器、换热器内传热传质机理及结构优化研究、形成家用燃气灶、家用热水器及末端增加装置等科技试验平台。

考核指标:形成中低压纯氢/掺氢燃气管输工艺、管材、试验方法行业/国家标准送审稿2~3项,开发管输工艺软件1套,研发流量随动精准掺氢设备1套;开发纯氢/掺氢燃气管道完整性评估软件1套,形成纯氢/掺氢燃气管道应急抢修的行业/团体规范或标准送审稿1~2项;建成纯氢管道输送科技试验平台:最高压力 $\leq 4\text{MPa}$ ,长度 $\geq 4\text{km}$ ,管径 $\geq 300\text{mm}$ ,输氢总量 $\geq 5000$ 吨/年,安全运行60天,气密性试验1.1P下泄漏率 $< 0.3\%/h$ (试验时间24h),材料满足输氢工作条件下抗氢脆要求;建成掺氢综合实验平台:掺氢比5~20%,压力平稳调控,稳压精度 $\pm 2\%$ ,可实现不同输送设备的气密性检测,氢气分离纯度 $\geq 99.999\%$ ;进户压力 $> 2.0\text{kPa}$ ,家用燃氢热水器热效率 $\geq 80\%$ ,家用燃氢灶具热负荷 $\geq 3.0\text{kW}$ ,燃烧烟气中的氮氧化物含量 $\leq 0.015\%$ ;末端增压

装置增压至 0.2MPa；形成纯氢/掺氢燃气燃烧器具国家/行业标准送审稿 1~2 项。

#### 4.2 住宅用质子交换膜燃料电池综合供能系统集成关键技术（共性关键技术）

研究内容：综合考虑质子交换膜燃料电池（PEMFC）的产电、产热特性以及住宅场景的电、热能需求，开展住宅用 PEMFC 热电联供系统及其关键技术研究，具体内容包括：研究典型住宅场景热电用能模式与影响因素，以及燃料电池热电动态耦合运行机制、能量协同管控技术；研究固定式住宅用燃料电池热电联供系统集成优化及运行状态实时监测诊断技术；开发固定式住宅用燃料电池热电联供系统的关键器件及测试评价技术；开发耦合燃料电池的高效余热回收、蓄热及电辅热技术；研究家用燃料电池热电联供系统接入电网技术，研发低成本的自适应并网控制器。

考核指标：基于管道氢燃料的 PEMFC 热电联供系统中 PEMFC 电堆功率密度  $\geq 0.8\text{kW/L}$ ；系统额定功率  $\geq 1\text{kW}$ ，峰值发电效率  $\geq 50\%$ ，热电联供效率  $\geq 85\%$ ；住宅热电需求与燃料电池热电输出功率匹配度  $\geq 95\%$ ，功率控制响应时间  $\leq 100\text{ms}$ ，实测寿命  $\geq 7500\text{h}$ ，目标寿命  $\geq 40000\text{h}$ ，具备  $\geq 5\text{min}$  抗 200ppm CO 冲击能力，电流过载能力  $\geq 2$  倍@100ms，单一家用电器冲击下电压恢复时间  $\leq 10\text{ms}$ ，电网控制指令响应时间  $\leq 2\text{s}$ ，满足家用电气安全、电能质量等相关标准；万套级系统成本  $\leq 5000$  元/kW。

## 附件 6

# “储能与智能电网技术”重点专项 2021 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“储能与智能电网技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：通过储能与智能电网基础科学和共性关键技术研究的布局，推动具有重大影响的原始创新科技成果的产生，着力突破共性关键技术，增强创新能力建设，促进科技成果转化和产业化，从而保证未来高比例可再生能源发电格局下电力供应的安全可靠性、环境友好性、经济性和可持续发展能力，推动我国能源转型，为实现“碳达峰”“碳中和”战略目标提供坚实的技术支撑。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕中长时间尺度储能技术、短时高频储能技术、高比例可再生能源主动支撑技术、特大型交直流混联电网安全高效运行技术、多元用户供需互动用电与能效提升技术、基础支撑技术等 6 个技术方向，按照基础前沿技术、共性关键技术，拟启动 20 项指南任务，拟安排国拨经费 6.67 亿元。其中，围绕中长时间尺度储能技术方向，拟部署 2 个青年科学家课题，每个课题拟安排国

拨经费不超过 500 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。每个项目拟支持数为 1~2 项，实施周期不超过 4 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家，共性关键技术类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

项目下设青年科学家课题的（项目名称后有标注），青年科学家课题负责人及参与人员年龄要求，男性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1981 年 1 月 1 日以后出生。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 中长时间尺度储能技术**

### **1.1 吉瓦时级锂离子电池储能系统技术（共性关键技术）**

研究内容：针对高比例可再生能源并网消纳及电力供应峰谷差加剧问题，研究适用于吉瓦时级应用的新型锂离子电池规模储能技术，具体包括：研究开发宽温区、超长寿命、高能量转换效率、低成本、高安全的新型锂离子储能电池；电池系统高电压化



集成技术；电池系统高效热管理技术；系统级安全防护技术；吉瓦时级锂离子电池储能系统集成技术及智能管理系统。

考核指标：兆瓦时级锂离子电池储能系统单元循环寿命不小于 15000 次(0.5 倍额定充电功率/0.5 倍额定放电功率, 25°C, 100% 放电深度)；支持不小于 0.5 倍额定放电功率下 2 小时储能，高压电池系统单元对地绝缘耐受水平不小于 35 千伏（直流），系统能量转换效率不小于 90%（含主回路和辅助回路功耗，AC 低压侧效率），额定功率不小于 1 倍充放电额定功率，1 分钟持续峰值功率不小于 2 倍充放电额定功率，预期服役寿命不小于 25 年，锂离子电池储能系统输出规模不小于 1 吉瓦时，等效度电成本不大于 0.1 元/千瓦时。

## **1.2 兆瓦时级本质安全固态锂离子电池技术（共性关键技术）**

研究内容：针对包括可再生能源接入等各类中长时间尺度的储能需求，研究具有高安全长寿命的固态锂离子电池技术，具体包括开发全寿命周期具有低电阻和高稳定性的固态电解质膜与电极材料；本质安全、长寿命、低内阻的界面与电极结构及储能型固态锂离子电池电芯开发；适应全气候域应用、具有高成组效率、高可靠性的模组和系统设计；固态储能锂离子电池的失效分析、在线检测、状态预测和预警以及热失控行为研究。

考核指标：突破储能型固态电池的关键材料、电芯设计与系统设计。电池单体电芯中液体电解质含量占比低于电芯质量的

5wt%，循环寿命不小于 15000 次（1C 充电/1C 放电，25°C，100% 放电深度）；研制 10 兆瓦时级固态储能锂离子电池系统，模组成组效率超过 90%，电池柜级别系统成组效率超过 80%，40 尺集装箱可装电量超过 5 兆瓦时；系统循环次数不小于 12000 次（0.5 倍额定充电功率/0.5 倍额定放电功率，25°C，100% 放电深度），响应速度不大于 200 毫秒，系统能量转换效率不小于 90%（含主回路和辅助回路功耗，AC 低压侧效率），等效度电成本不大于 0.2 元/千瓦时，系统极限滥用下不起火，不爆炸。

### **1.3 金属硫基储能电池（基础前沿技术，含青年科学家课题）**

研究内容：针对中短时长大规模储能发展对于降低成本、减少资源依赖的需求，研究基于锂/钠等金属负极和含硫正极的本质安全、低成本和长寿命金属硫基储能电池。具体包括：高比容量、高面容量金属或合金负极、含硫正极、本质安全电解液或固态电解质、多功能隔膜与粘结剂等关键材料的设计与低成本规模化制备技术；金属负极服役条件下的保护策略；力、电、热耦合条件下金属硫基储能电池界面反应热力学、动力学、稳定性行为研究；电池电芯、模组、系统的模拟仿真、原位与非原位表征以及失效机制分析；长寿命电池的电芯、模组、系统的设计、研制、智能管理控制、环境适应性和安全性的评测和改进技术。

考核指标：金属硫基储能电池单体循环寿命不小于 15000 次（室温，充放电倍率不小于 0.5C，80% 放电深度）；安全性达到国标要求；负极在 3 毫安/平方厘米电流密度，面容量 6 毫安时/

平方厘米下，500次循环平均库伦效率高于99.99%。研制出100千瓦时级金属硫基储能电池系统，0.5倍额定充电功率/0.5倍额定放电功率，25℃下，系统能量转换效率不小于80%，循环寿命不小于12000次，-20℃工作环境下放电容量保持率不小于80%，系统成本不大于0.6元/瓦时。

有关说明：本项目中关于金属负极服役条件下的保护策略研究以及力、电、热耦合条件下金属硫基储能电池界面反应热力学、动力学、稳定性行为研究拟设立为两个青年科学家课题。

## **2. 短时高频储能技术**

### **2.1 低成本混合型超级电容器关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对负荷跟踪、系统调频、无功支持及机械能回收、新能源场站转动惯量等分钟级功率补充等应用需求，研究开发兼具高能量、高功率和长寿命的低成本储能器件，具体包括：混合型超级电容器材料体系、复合电极及器件的优化设计和关键材料国产化；“能量—功率—寿命”和“热—电—寿命”的耦合模型及寿命衰减机制的模拟仿真和试验验证；兆瓦级储能系统集成技术；不同应用场景混合型超级电容器系统服役的失效机理，改性和应用研究。

考核指标：单体能量不小于15瓦时，比能量不小于70瓦时/千克，10秒充/放电比功率不小于10千瓦/千克，实测最大比功率不小于30千瓦/千克；80%放电深度循环寿命不小于20万次，-40℃和5C放电能量保持率不小于60%，安全性满足标准；储能

系统不小于 200 千瓦时，功率响应不小于 1 兆瓦，最优充/放电能效不小于 95%；15 分钟级储能工况系统成本不大于 1 元/瓦，1 分钟级储能工况系统成本不大于 0.4 元/瓦。

### **3. 高比例可再生能源主动支撑技术**

#### **3.1 光伏/风电场站暂态频率电压主动快速支撑技术（共性关键技术）**

研究内容：针对提高光伏/风电高占比电力系统运行稳定性和消纳能力的迫切需求，研究光伏/风电场站对电力系统暂态频率电压的主动支撑技术，具体包括：光伏/风电场站实时调节能力动态评估技术；适应可再生能源资源特性的光伏/风电场站快速频率响应及支撑技术；光伏/风电场站多无功源协同暂态电压控制技术；光伏/风电场站暂态支撑多级协同优化技术；光伏/风电场站主动支撑控制系统研制开发。

考核指标：光伏/风电场站控制系统具备场站调节能力动态评估和暂态主动支撑功能，暂态电压控制响应时间不大于 50 毫秒，无功调节能力不小于场站额定容量 20%；快速频率控制响应时间不大于 200 毫秒；紧急有功控制响应时间不大于 100 毫秒；在可用有功出力范围内上调幅度不小于 10%、下调幅度不小于 20%场站额定容量；控制系统可接入发电单元数量不小于 200 台；在装机容量不小于 100 兆瓦的光伏电站或风电场验证。

#### **3.2 柔性直流海上换流平台轻型化关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对远海风电大规模开发和输送的需求，研究高

压大容量柔性直流海上换流平台的轻型化技术，具体包括：海上风电直流输电系统拓扑及过电压与绝缘配合方法；柔性直流换流阀轻型化设计及抗震技术；高压直流气体绝缘开关（GIS）关键技术及样机研制；换流平台与电气主设备的紧凑化协同设计技术；千兆瓦柔性直流轻型化换流平台工程方案典型设计。

考核指标：提出柔性直流输电技术在海上风电送出并网中的离岸具体范围；针对海上风电送出千兆瓦柔性直流轻型化换流平台，提出换流阀紧凑化设计方法，体积和重量比国内现有柔性直流工程用同等级换流阀减小 30%；直流 GIS 样机额定电压不小于  $\pm 320$  千伏，操作冲击过电压耐受水平不小于 850 千伏，雷电冲击过电压耐受水平不小于 950 千伏，体积较敞开式空气绝缘布置减小 60%以上；平台设计重量不超过 1.2 万吨/1000MW（不含平台桩基结构）。

### **3.3 规模化储能系统集群智能协同控制关键技术研究及应用（共性关键技术）**

研究内容：针对双碳目标场景下电力系统储能应用场景，研究规模化储能系统集群智能协同控制关键技术，具体包括：研究兼顾灵活性、安全性、经济性与支撑能力的电力系统多类型储能智能规划与接入技术；研究规模化储能系统特性及其与风、光、水、火等电源联合优化运行技术和稳定支撑技术；研究规模化储能系统电网主动支撑能力和评估指标；研究多场景下储能参与调峰、调频和紧急功率支撑等电力辅助服务的成本和价值评价方法；

研究规模化储能支撑新能源外送技术。

考核指标：研究提出规模化储能集群智能协同控制策略；建立规模化储能系统电网主动支撑能力评价指标体系；形成规模化储能配置和调度运行规范；研发规模化储能集群智能协同控制平台，实际接入控制对象不少于 30 个储能电站，容量规模不小于 0.5GW；具备规模化储能与多类型电源联合优化运行、协同稳定支撑、支撑清洁能源外送和辅助服务边际成本量化分析等功能。储能集群控制精度不低于 1%，储能集群控制指令响应时间不大于 5 秒，紧急功率控制响应时间不大于 300 毫秒。

#### 4. 特大型交直流混联电网安全高效运行技术

##### 4.1 响应驱动的大电网稳定性智能增强分析与控制技术（共性关键技术）

研究内容：针对现有安全稳定控制系统无法有效保障复杂非预想故障情况下电网安全运行的问题，研究响应驱动的大电网智能增强稳定分析与控制技术，具体包括：含高比例可再生能源的交直流混联电网受扰后电气量的时空分布特性和稳定特性；关键响应特征提取及稳定性判别技术；提升响应驱动稳定性判别可信度的混合增强智能分析技术；非预案式的电力系统自主协同稳定控制技术；研发响应驱动的大电网稳定性混合智能增强分析与控制系统。

考核指标：研发稳定性混合智能增强分析与控制系统，并进行试验验证。与至少含 30 台同步电源、15 个风/光可再生能源场站、3 回直流和 1 万三相节点规模电网的全电磁暂态仿真结论进

行对比测试，其中运行方式不少于 10 套典型方式及连续 30 天峰谷平实际方式，故障集覆盖范围不小于 50% 的 500 千伏及以上交直流线路，稳定判别方法对失稳样本的正确识别率达到 100%，对稳定样本的误报率小于 5%，单次判断时间小于 150 毫秒。

#### **4.2 多馈入高压直流输电系统换相失败防御技术（共性关键技术）**

研究内容：针对多馈入直流系统发生换相失败后，可能导致连锁故障并严重影响电网稳定的问题，研究多馈入直流换相失败的多层级综合防御技术，具体包括：多馈入直流系统换相失败及其与电网相互作用机理；考虑交直流混联电网稳定约束的换相失败防御方法；可防御换相失败的新型直流换流器样机研制及等效试验技术；多馈入直流系统数字物理仿真平台技术；防御换相失败的直流输电系统设计及控制保护技术。

考核指标：提出抵御换相失败的多层级综合防治方法，可使多馈入直流系统发生连续换相失败的概率降低 80% 以上；针对新建及在运直流工程分别提出可防御换相失败的新型换流器拓扑；建成包含至少 5 条直流系统详细模型的数字物理仿真平台；研制抵御换相失败的换流阀及阀控样机，换流阀额定电流不低于 3 千安，并完成验证。

#### **4.3 基于自主芯片的变电站高可靠性保护与监控技术（共性关键技术）**

研究内容：针对变电站保护与监控系统软硬件自主可控程度

低、站内设备监控水平亟待提升等问题，研究全面采用自主芯片及操作系统的高性能保护及监控技术，具体包括：安全、集约、协同、兼容的变电站保护与监控体系架构；基于自主芯片的硬件架构及内生安全的设备研制；全过程实时数据高精度统一采集及高效安全传输技术；保护系统采、传、算、控、监全环节整体可靠性提升技术；基于国产操作系统的主辅设备全景监控预警技术与多级协同的系统开发。

考核指标：提出高可靠性变电站保护与监控系统整体架构，研制基于全国产化软硬件的 35~500 千伏电压等级变电站保护设备和监控系统样机，并通过工程验证，保护设备可耐受电磁干扰性能不低于标准要求（在 A 级快速瞬变、雷电波 4 千伏冲击干扰下保护动作值误差不超过 5%），监控系统接入数据容量不低于 10 万点，单节点实时计算能力不低于 20 万次/秒，支持模拟量、累积量、同步相量、故障录波、报文、模型、图形和报告等多类型数据。

#### **4.4 柔性低频输电关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对中、远距离海上风电高效汇集送出的迫切需求，研究新型柔性低频交流输电系统构建与核心装备技术，具体包括：低频输电频率对输电系统和设备特性的影响规律；低频输电系统构建方案、主回路设计、系统控制保护与仿真技术；大容量交交换流拓扑及异频能量交互控制技术；计及各级换流器暂态特性的低频输电系统过电压特性和设备绝缘配合；低频输电系统



短路开断技术及断路器等核心装备样机研制与试验检测技术。

考核指标：提出海上风电柔性低频汇集送出等系统典型方案及抑制过电压用避雷器配置和高盐雾环境下外绝缘配合方案；研制柔性低频交流输电核心装备并完成验证：交直流换流器样机容量不低于 220 千伏等级/100 兆伏安，效率不低于 98%，频率变换比不小于 2；断路器样机额定电压/电流不小于 250 千伏/3150 安，额定短路开断电流不小于 50 千安；线路故障检测时间不超过 3 毫秒。

## 5. 多元用户供需互动与能效提升技术

### 5.1 规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对大规模分布式资源参与电网互动调节的重大应用需求，研究规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控技术，具体包括：虚拟电厂分层分区动态构建、响应能力量化分析技术；虚拟电厂通信网络调度及业务承载时延控制技术；海量异构终端实时安全接入及用户隐私数据保护技术；基于区块链的分布式可信交易技术；虚拟电厂分布式协同互动运行控制技术。

考核指标：研发“云边协同+物联网技术+人工智能”架构的虚拟电厂协同互动调控系统，支持百万数量级智能终端即插即用安全接入，支持不少于 10 个区块链交易节点（覆盖源、网、荷、储各环节），交易共识达成时间小于 1 秒；建成的虚拟电厂含分布式电源总容量不低于 300 兆瓦，可调节资源总容量 1000 兆瓦

以上，其中快速调频容量不低于 100 兆瓦，快速调频指令响应时延小于 300 毫秒；可实现最高峰值负荷降低 200 兆瓦及以上。

## **5.2 配电网业务资源协同及互操作关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对配电网及海量充电桩、分布式电源等监控设备数据接入管控以及跨业务、跨应用、跨角色数据共享与业务应用需求，研究配电网业务资源协同及互操作关键技术，具体包括：跨域跨应用的配电网运行数据共享体系及互操作技术；配电网业务资源的统一数据建模及语义贯通关键技术；配电网智能设备的通用性即插即用关键技术；配电网边缘计算平台技术及系列化软件定义智能终端；动态可伸缩的配电网云平台微服务架构及云边端协同应用技术。

考核指标：兼容智能断路器、智能换相开关、无功补偿装置、电动汽车充电桩及分布式电源并网点监控 5 种关键装置的通用性即插即用；边缘计算平台的内核自主化率 100%，支持国产自主可控处理器，支持至少 10 款不同终端 APP 同时运行，APP 可兼容不同硬件平台；软件定义馈线终端、站所终端、台区终端采用国产 CPU 和边缘计算平台；智能终端管控平台具备百万级智能终端并发接入管理能力，在示范工程中实现 10 万级智能终端的并发接入与管理；支持 5 类以上应用场景，末端应用响应时间不超过 1 分钟。

## **6. 基础支撑技术**

### **6.1 新型环保绝缘气体研发与应用（基础前沿技术）**

研究内容：针对电力系统中大量设备使用的 SF<sub>6</sub>（六氟化硫）

绝缘气体带来温室效应的问题，研究探索新型环保绝缘气体及其应用技术，具体包括：新型环保绝缘气体分子结构与理化特性；新型环保绝缘气体批量制备与精制提纯技术；新型环保绝缘气体工程用绝缘、灭弧特性与气固相容性；基于新型绝缘气体的 110 千伏环保输电管道（GIL）样机研制。

考核指标：研发并制备出 10 公斤级新型环保绝缘气体，全球变暖指数不超过 SF<sub>6</sub> 的 5%，臭氧消耗潜值为零，0.1 兆帕下绝缘强度高于 SF<sub>6</sub>，液化温度低于 -23℃，急性吸入毒性 LC<sub>50</sub>（大鼠）大于 20000μL/L，研制基于新型绝缘环保气体的 110 千伏环保 GIL 样机，最低使用温度达到 -25℃，并通过型式试验。

## **6.2 干式直流电容器用电介质薄膜材料（共性关键技术）**

研究内容：针对干式直流电容器用绝缘材料及其批量化生产的应用需求，研究超净聚丙烯粒料及电介质薄膜批量化制备、干式直流电容器应用及其可靠性评估技术，具体包括：电工级超净聚丙烯粒料关键参数调控与批量化制备技术；薄膜材料双向拉伸、电极蒸镀工艺及批量化制备技术；交直流电压叠加作用下薄膜材料绝缘、热稳定及自愈特性；基于国产化薄膜的干式直流电容器设计和研制；薄膜材料及直流电容器试验与可靠性评价技术。

考核指标：单次批量化聚丙烯粒料不小于 18 吨，等规度不小于 98%、灰分不大于 20ppm；批量化双向拉伸聚丙烯薄膜不小于 10 吨，厚度不大于 6 微米，均一性标准偏差不大于 0.05 微米，常温下直流击穿强度不小于 600 千伏/毫米、拉伸强度不小于 155

兆帕；研制的干式直流电容器，电压不低于 2.8 千伏、容量不小于 7.5 毫法，并通过换流阀组级工况验证。

### **6.3 高压大功率可关断器件驱动芯片关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对高比例电力电子装备智能电网发展需求，研究高压大功率可关断器件驱动技术及自主化驱动芯片，具体包括：高压大功率可关断器件电压型和电流型驱动技术；高压大功率绝缘栅双极型晶体管（IGBT）用低功耗模拟驱动芯片设计；高压大功率 IGBT 用数字驱动芯片设计；高压大功率集成门极换流晶闸管（IGCT）电源与信号管理驱动芯片设计；基于自主驱动芯片的可关断器件驱动器开发与应用。

考核指标：研制适用于 3300 伏及以下 IGBT 器件的模拟驱动芯片，功耗不超过 0.8 瓦；研制适用于 4500 伏和 6500 伏 IGBT 的数字驱动芯片，控制步长不超过 200 纳秒；研制适用于 4500 伏 IGCT 的电源与信号管理驱动芯片，关断换流时间小于 1 微秒；研制基于自主化芯片的 IGBT 和 IGCT 驱动器并进行应用验证。

### **6.4 高压电力装备多物理场计算软件（共性关键技术）**

研究内容：针对高压电力装备多物理场计算软件的迫切需求，研究自主可控的多物理场计算技术及软件，具体包括：变压器、套管等典型电力装备的多场耦合机理及精确模型；适应复杂部件和结构的几何模型预处理技术以及场量非线性和大梯度变化的网格生成技术；多物理场仿真内核和耦合求解技术；软件架构设计以及无代码化专用仿真模型开发和编译技术；变压器、套管

和桥臂电抗器等设备多参数优化设计及可视化性能评估技术。

考核指标：研制的软件具有电动力学、固体力学、流体力学、热力学等单物理场及多物理场耦合的自主化仿真求解器，可实现亿级自由度的稳定计算，求解精度和计算效率与主流商业软件相当，支持完全无代码化的电力装备仿真模型定制开发和独立运行。

### **6.5 储能电池加速老化分析和寿命预测技术(共性关键技术)**

研究内容：针对锂离子电池储能系统全寿命周期对健康状况可知可控的要求，研究储能电池加速老化评估和寿命精准预测技术，具体包括：电池材料、电极、界面和单体在力、热、电、气、反应等多衰减因素耦合下的衰减机理；储能材料和器件的多尺度模拟仿真方法；储能单体、模组、系统在工况条件下寿命自然衰减的预测模型与模拟仿真；储能单体、模组、系统在加速老化条件下的寿命衰减预测模型和模拟仿真；储能电池老化的户外实证研究以及与模拟仿真的对比。

考核指标：开发高精度电池热力学状态评估方法，开路电压—充电状态（OCV-SOC）曲线预测电池绝对容量误差低于 1%；建立电解液消耗/浸润/残余、电池膨胀模量、电池原位产气等关键衰减因子的量化评估方法及评估装置/平台，测试相对偏差低于 2%；对器件的电池健康状态（SOH）、充电状态（SOC）、温度分布、膨胀等模拟仿真结果的准确率高于 90%；建立基于电化学耦合算法的寿命预测机理模型，实现基于 3 个月的电池单体和 1.5 个月的电池模块寿命实测数据预测电池系统 25 年以上可靠性衰减图谱。

## 6.6 储能锂离子电池智能传感技术（共性关键技术）

研究内容：针对储能锂离子电池提高运行效率、安全性、稳定性的迫切要求，研究基于单体电池内部和外部的在线数据实时准确监测方法，构造从单体锂离子电池到储能装置的智能检测系统。具体包括：研究锂离子电池单体内部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究锂离子电池单体外部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究储能电池单体植入式或外置式智能传感一体化集成技术；研究传感器监测信号通信技术；发展具备单体电池传感信息的实时采集、无线和有线传输、自动分析和主动预警功能的实时监测控制的储能系统管理技术及其典型应用集成技术。

考核指标：植入式传感器对储能锂离子电池容量（500次循环）影响小于5%；电解液环境对植入式传感器影响小于5%；多种信号传输采样频率大于100赫兹；内部温度测量量程： $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；内部应变测量量程： $3000\mu\epsilon$ ，示值误差小于 $5\mu\epsilon$ ；内部气压测量量程2兆帕，精度0.1兆帕；内部气体测试多于2种，精度0~100%（体积百分比）；内部电压测量范围2.3~6.0伏，误差小于5%，内部电流测量误差小于5%；建立电池内部传感器或外部传感器获取的传感信号与电池外部电化学特性及热失控行为之间的关系；集成传感的储能智能控制系统能实时采集单体的传感信号，实现有线或无线传输，并能在控制单元自动分析传感信息，据此发出预警指令。

## 6.7 锂离子电池储能系统全寿命周期应用安全技术（共性关键技术）

研究内容：针对规模化电化学储能中面临的安全问题，开展锂离子电池储能器件的灾害演化机制及灾害防控技术研究，具体包括：研究不同装置层级锂离子电池热失控触发机理及动态扩散演变机制，研究全尺寸储能系统火灾特征及致灾危害综合评价技术，研究电池储能安全性能等级评价体系及标准；发展储能电池热失控阻隔技术，开发高效、主动安全的储能电池模块及电池簇，研究不同布置方式对储能系统安全性的影响；建立电池热失控征兆集，发展基于大数据分析的故障检测诊断技术，研发高效、可靠的全生命周期分级预警方法；开发清洁高效低成本灭火技术，研究分等级应急处置技术；研究并改善电池安全系统对不同实际环境的适应性。

考核指标：建立电池储能安全性能等级评价体系，研发的热失控阻隔技术实现电池电芯间不发生热失控扩散，且电池簇外部无明火等现象；开发的全寿命周期电池故障诊断技术诊断准确率不小于 85%；开发一套适用于兆瓦时级储能大数据监控系统，实现提前 15 分钟事故预警；研发出锂离子电池储能系统先进灭火技术，在火灾报警信号发出后，5 秒内扑灭电池初期火灾，24 小时不复燃，覆盖范围不小于 1 兆瓦时。建立全尺寸电池系统火灾模拟试验平台，可模拟不小于 1 兆瓦时电池系统故障着火试验；建立认证机构认可的电池储能安全性能等级评价认证实施规则。

有关说明：实施年限 3 年

## “交通基础设施”重点专项 2021 年度 项目申报指南

为落实《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》和“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“交通基础设施”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：着力破解材料、结构、信息、能源等技术融合的基础性、科学性难题，突破交通基础设施绿色化、智能化建设与运维等重大技术短板，攻克交通基础设施耐久性差和服役寿命短等核心技术瓶颈，创新交通能源自洽系统技术，大幅增强交通基础设施绿色、智能、安全建设能力和水平，全面支撑“一带一路”倡议、“交通强国”战略实施和“碳中和”愿景实现。专项实施周期为 5 年。

2021 年指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕交通基础设施绿色技术、智能技术、韧性技术、长寿命技术、交通与能源融合 5 个技术方向，按照基础前沿技术、共性关键技术、示范应用，拟启动 16 个项目，拟安排国拨经费 3.25 亿元。原则上共性关键技术类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 2:1；示范应用类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 3:1。



项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。每个项目拟支持数为 1~2 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家，共性关键技术类和示范应用类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 交通基础设施绿色技术**

### **1.1 生态敏感地区陆路交通基础设施环境保护与修复重建（共性关键技术）**

研究内容：研究陆路交通基础设施与生态环境协调机制、生态环境影响跟踪监测及立体巡查技术；研究陆路交通基础设施自然融合设计、生态建造和无害化穿（跨）越技术；研究陆路交通走廊生态环境影响与效益提升评估技术，生态环境影响贡献率评估方法与标准体系；构建基于物质循环、生物群落演替平衡的全生态、全环境要素生态治理与恢复技术体系，研究生态敏感地区陆路交通廊道受损生态系统修复与生物群落结构重建技术。

考核指标：形成生态敏感地区陆路交通基础设施环境保护与修复重建和资源利用技术方法；研发陆路交通基础设施环境影响空天地立体评估与监测系统，技术就绪度不低于 7 级，监测精度不低于 90%，预测精度不低于 75%；在不少于 2 处的典型生态敏感地区开展工程技术验证，总长度不低于 300 公里，交通基础设施沿途生态环境修复率不低于 80%，生物群落恢复率不低于 95%；形成我国陆路交通基础设施环境低影响核心技术标准体系框架，编制技术标准规范 2 项以上。

## 1.2 绿色港口建设与生态安全保障技术（共性关键技术）

研究内容：面向“一带一路”重要节点港口，研发绿色港口环境智能监测与控制技术，开发港口典型污染物实时动态监测及全流程智能化控制系统；研究缺水地区港口雨污水、压载水等非常规水源综合利用技术，港口水资源高效循环利用保障技术体系；研发港口水环境与生态动力学精细化模拟技术，海陆交错敏感带港口建设与栖息地协同保护修复技术，疏浚土等资源循环利用与抛泥区伴生修复技术，港口海域敏感生物智能识别与损害防护技术；研发高度契合典型生物栖息需求的生态友好型港口防护结构和码头结构。

考核指标：建成港口环境监测与智能控制系统，技术就绪度 8 级，典型污染物控制率不低于 85%，周界外浓度低于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）相应限值 15%；形成港口水资源高效循环利用保障技术体系，港口雨污水、压载水等非常规水源利用率不低于 90%；建成港口水环境与生态动力学精细化

模拟系统、港口海域典型敏感生物智能识别系统，技术就绪度 8 级，覆盖鱼类等典型敏感生物多行为过程模拟，平均精确度（mAP）达到 0.85 以上；形成不少于 2 种透水型生态码头结构，生态友好型港口防护结构适用的谱峰周期大于 16s，稳定系数 KD 值达到 24，生态防护结构临近水域典型生物种群数量提高 20% 以上；编制绿色港口建设相关技术指南不少于 2 部，在“一带一路”重要节点港口开展应用验证。

## 2. 交通基础设施智能技术

### 2.1 交通基础设施数字化软件技术研发（共性关键技术）

研究内容：研究交通基础设施数字化工业软件体系架构；研究共性/异性设施单元集与逻辑功能架构，多源异构数据的空间数据融合技术和空间单元全要素统一编码技术；研究交通基础设施数字化模型，研发全生命周期多源异构数据实时接入、处理和资源化分析技术；研究我国交通基础设施数字化核心技术标准体系；开发交通基础设施数字化基础性软件。

考核指标：开发具有全生命周期、数字信息交互和多模态运输基础设施互通能力的交通基础设施数字化工业软件，技术就绪度不低于 7 级，需求预测、规划评价、数字建模、信息索引、大场景真实渲染、多模式交互等数字化模型精度  $\geq 95\%$ ，3D GIS、影像、深度和点云等多场景多源数据快速分割错误率小于 2.5%；支持亿级以上智能物联点位流数据接入、存储和溯源分析计算，处理延迟时间小于 5 秒；具备各类型交通基础设施数据计算分析

接口扩展功能；形成我国交通基础设施数字化核心技术标准体系框架，编制相关技术标准不少于5项。

## **2.2 陆路交通基础设施智能化设计共性关键技术（共性关键技术）**

研究内容：面向陆路交通基础设施智能设计，研究全天候、高精度的基础设施空天地定位技术，基于人工智能和空天地的基础设施空间地理与地质信息快速获取、多源数据融合及三维数字化表达技术；研究基于数据、智能和星基位置服务技术的交通基础设施勘察、测绘、选线、设计等关键技术；研究陆路交通基础设施关键结构数字化建模和集成设计智能技术，以及设计成果数字化交付技术及标准。

考核指标：形成基于人工智能和空天地一体化的陆路交通基础设施勘察、测绘、选线、设计技术系统，技术就绪度8级；建立陆路交通基础设施主要构造物数字化模型库，数字化建模准确率大于90%；勘察、测绘空间定位精度达到厘米级，勘察、测绘、选线、设计全流程效率提高10%以上；形成交通基础设施勘察设计与交竣工验收成果数字化交付清单；编制陆路交通基础设施智能化、数字化设计标准不少于2项。

## **3. 交通基础设施韧性技术**

### **3.1 交通基础设施韧性评估与风险防控基础理论方法（基础前沿技术）**

研究内容：研究交通基础设施工程韧性提升方法，研究交通

基础设施复杂网络系统建模、智能仿真与系统韧性优化技术；研究局部设施失效对综合交通系统服务能力影响和系统失效机制，交通设施系统韧性分级标准和综合评估技术；研究自然灾害和突发事件下交通系统功能损失、交通迟滞精准评估、交通系统功能重构和灾后恢复决策等技术方法；研究交通基础设施韧性风险防控系统理论。

考核指标：形成交通基础设施韧性评估与风险防控理论方法，建立适用于道路、铁路、民航、码头和航道的基础设施系统韧性量化评估指标体系；形成交通基础设施系统连通可靠度、重要度和关联度的快速建模技术，模型精度不低于 90%；形成具备交通基础设施隐性风险甄别、灾变演化预测、防控措施遴选的决策支持技术方法；研发交通基础设施韧性评估和风险防控仿真系统，技术就绪度不低于 7 级，具备不小于 1000 公里交通网的分析能力，重大自然灾害影响下交通设施力学性能分析准确率不低于 80%；编制相关技术标准不少于 2 项。

### **3.2 陆路交通基础设施韧性提升共性关键技术(共性关键技术)**

研究内容：研究自然灾害或突发事件作用下的陆路交通基础设施结构动力响应特性、损伤机理与失效模式；研发陆路交通基础设施全要素结构仿真分析与验证系统；研究融合北斗系统的“空一天一地”一体化智能监控及系统安全预警关键技术；研发陆路交通基础设施重点区段结构安全和抗灾韧性提升关键技术及装置，研究设施柔性运行与灾后快速恢复关键技术及装备。

考核指标：形成陆路交通基础设施韧性提升关键技术体系架构；研发3种以上重点区段结构抗灾韧性提升关键装置；建立陆路交通基础设施全要素结构仿真与验证系统，技术就绪度不低于7级，仿真验证精度不低于95%；建立高精度空天地一体化设施安全性监控系统，重大自然灾害预警前置时间大于48小时，安全预警稳定性提升25%；开发设施安全性能智能检测技术装置不少于2种，灾后快速恢复技术不少于2种，灾后恢复应急保障装备不少于2台（套）；编制相关技术标准不少于2项。

### **3.3 沿海交通水工建筑物韧性提升关键技术（共性关键技术）**

研究内容：研究全球气候变化背景下强潮大浪时空分布规律，建立高分辨率的中国沿海海域时序海浪及长重现期要素数据库；研究超设计标准强浪条件下沿海防浪建筑物全时域脆性破坏机理及分析方法；研究强震作用下考虑地基液化弱化沿海交通水工建筑物结构动力灾变机理；研究沿海桩基结构海床冲刷演变及防护技术，研发沿海交通水工建筑物损害部位快速诊断装备；建立沿海交通水工建筑物整体性安全评价方法和韧性分级标准；研发提升沿海交通水工建筑物韧性的新材料及施工装备。

考核指标：开发波浪—结构物—地基耦合模拟软件1套，开展模型比尺不小于1:5且覆盖中国海区的极端海况实验验证，波浪力模拟误差小于10%；建立能够考虑土体动应变0.2以上的液化大变形沿海交通水工建筑物耦合分析方法，并开展水平—垂直双向地震同时作用的离心模型试验验证；形成沿海交通水工建筑

物损害快速诊测技术，水下及隐蔽部位损伤识别精度小于 0.5m；提出 3 种以上基于混凝土胶结、摩擦力增大的韧性增强材料及装备，混凝土水下胶结体强度达到 50MPa 以上，重力式结构与地基摩擦系数增大至 1.0 以上，形成的沿海交通水工建筑物韧性提升施工装备作业波高大于 2m，技术就绪度不低于 7 级；形成沿海交通水工建筑物整体性安全评估技术、韧性评价标准及设计指南等不少于 3 项；在典型港口和跨海工程开展应用验证。

### **3.4 海底隧道建造与韧性增强关键技术（共性关键技术）**

研究内容：针对强侵蚀、多构造等复杂严酷海洋环境，研发钻爆法/机械法海底隧道建造高韧性、耐久性与智能感知型材料，开发隧道材料—结构—信息融合关键技术；揭示海底隧道断层、强风化槽等特殊不良地质段结构长期复杂荷载作用下劣化破坏机制，研究长寿命隧道结构增强设计方法；构建隧道运维人、机、流程、数据、实物结合的物理—信息互联感知系统，研发长距离、大断面海底隧道安全状态智慧感知与诊断技术；研发基于人—机—环境信息交互技术的海底隧道重大地质灾害预控技术，构建海底隧道灾害防控与决策云平台；研发适用于复杂海洋环境的隧道智能维养设备与快速修复方法。

考核指标：研发新型海底隧道建造材料 2~3 种，材料耐久性提升  $\geq 20\%$ ，结构韧性提升  $\geq 30\%$ ；研制海底隧道安全状态智慧识别设备  $\geq 1$  套，感知裂缝、渗漏水等关键数据种类  $\geq 3$  种，识别准确率  $\geq 90\%$ ；研制海底隧道病害维护智能设备  $\geq 1$  套，作业

效率提升 $\geq 40\%$ ；研发海底隧道结构内外信息无人化巡检设备 $\geq 1$ 套，无线传输距离 $\geq 1\text{km}$ ，结构病害诊断与灾变预测预警平台响应延迟时间 $15\text{s}$ ，裂缝病害识别精度达 $0.2\text{mm}$ ，可识别最小渗漏水面积 $5$ 平方厘米；编制海底隧道特殊不良地质段长寿命系统韧性增强设计标准 $2$ 项，海底隧道建造中重大地质灾害预控技术指南 $1$ 项；开展海底隧道工程应用验证不少于 $2$ 处。

#### **4. 交通基础设施长寿命技术**

##### **4.1 重大交通基础设施长寿命设计理论与方法(基础前沿技术)**

研究内容：针对我国重大交通基础设施设计使用年限短问题，揭示极端环境、不稳定地质条件和大交通量荷载等多场耦合作用下的材料、构件、结构的性能演变规律和演变机理，建立性能追踪等模型；研究面向新建、扩建基础设施的长寿命设计理论，构建基于性能目标的全寿命、全概率设计方法体系；研究材料—结构—功能—环境协同的长寿命设计方法。

考核指标：构建适用于区域性环境差异的重大交通基础设施荷载与抗力演变概率模型，模型精度不低于 $90\%$ ；形成支撑沥青路面设计寿命 $30$ 年、重载水泥路面设计寿命 $50$ 年、无砟轨道设计寿命 $100$ 年、桥梁隧道设计寿命 $200$ 年、港口码头设计寿命 $100$ 年、设有基床的内河航道整治工程设计寿命 $25$ 年的重大交通基础设施长寿命设计理论与实验验证方法；编制相关技术标准不少于 $3$ 项。

##### **4.2 陆路交通基础设施耐久性提升关键技术(共性关键技术)**

研究内容：揭示陆路交通基础设施运营效能演变和可靠性保



障机理，研究结构长寿命定量测度和定性分析评价技术，研究可靠性、耐久性、安全性提升保障技术体系；研发严酷环境下高性能混凝土桥隧构造物、高性能钢轨、高性能路面的延寿和修复技术；研发基于新材料的陆路交通基础设施一体化设计和建造关键技术；开发陆路交通关键大型构造物服役能力测试装备。

考核指标：构建陆路交通基础设施服役年限延长和性能提升技术体系；建立在役重大基础设施状态演变模型与足尺试验验证系统，仿真精度不低于 90%；建立基于新材料的陆路交通基础设施关键设计参数，形成寿命不低于 200 年的陆路交通桥隧构造物混凝土制备成套技术，技术就绪度不低于 7 级；开发强度 690MPa 及以上且具备良好低温韧性的铁路设施高强钢及配套制造工艺，寿命提升 50% 以上；形成沥青路面服役寿命大于 30 年、水泥路面服役寿命大于 50 年的路面耐久性增强技术和工艺；开发陆路交通基础设施服役能力智能检测设备及平台不少于 2 套，检测工效提升不低于 20%；编制技术标准不少于 3 项。

### **4.3 沿海港口桩基码头泥沙淤积机理及其防治关键技术（共性关键技术）**

研究内容：研究不同海域重大港口码头前、后方及下方泥沙回淤演变机理、预测理论与评估方法；研究水下淤积岸坡变形失稳灾变机制，以及水下淤积与清淤对港口水工结构物各类桩基服役性能的影响；研发港口码头后方及下方淤泥强度原位触探技术，研发可移动式码头后方导流技术和智能清淤作业技术；研发港口

码头水动力及回淤高精度预警预报、清淤效果实时监测与定量评估技术。

考核指标：建立沿海重大港口码头前、后方及下方泥沙淤积预测方法，预测与实测回淤量偏差不超过 20%；形成水动力及泥沙淤积实时监测预警技术，研制原位触探装备及回淤预警系统各 1 套，触探测量精度不低于 0.2kPa，淤积厚度监测分辨率不超过 1cm；研制可移动式码头后方导流装备 1 套，导流冲淤流速提高 50%；提出适用于码头后方及下方的灵巧型智能清淤作业技术，研制作业装备 1 套，技术就绪度不低于 7 级，清淤效率不低于 150m<sup>3</sup>/h；编制码头后方及下方清淤技术标准不少于 2 项；在沿海典型重大港口码头开展应用验证。

#### **4.4 道面设施寿命增强与性能提升技术（共性关键技术）**

研究内容：针对既有道面设施更新升级的重大技术需求，研究复杂条件下道面设施结构和功能的寿命演化机理与行为理论；研究不同类型道面设施结构寿命—功能寿命协同增强技术；研究结构—材料相统一的道面设施性能提升技术；研究不同应用场景下道面设施抗冲击、抗磨耗等安全性能提升与保持技术，以及低干扰条件下的道面装配式更新技术。

考核指标：形成机场道面设施、道路铺装更新升级技术方法和施工工艺，开发装配式道面施工技术和设备，技术就绪度不低于 7 级；既有机场道面设施经更新升级的结构设计使用寿命延长至 50 年，沥青道面结构使用寿命延长至 30 年以上；1.5MPa 以上

飞机胎压下道面抗着陆冲击、抗磨损等功能性能保持不少于 10 年，抗除冰剂冻融损伤能力提升不少于 50%；装配式道面的单板装配时间小于 1 小时；形成相关技术标准不少于 3 项；在大型机场、国（省）公路等不同场景进行应用验证。

## 5. 交通与能源融合

### 5.1 交通自洽能源系统基础设施规划与设计技术（基础前沿技术）

研究内容：研究交通多态清洁能源的自洽系统构成，以及与交通智能化运行、绿色化运维之间的适配性；研究差异化地理区域下多态能源供给潜力评估与交通需求驱动的能源负荷预测技术；研究交通能源自洽基础设施的运行模态、方案及效能提升技术；研究交通需求驱动的自洽能源系统设计技术与系统关键特性的评估技术；研发交通需求驱动的自洽能源系统规划与设计软件系统。

考核指标：形成交通自洽能源系统规划设计理论与方法，构建绿色交通能源系统基础设施规划和设计技术体系；建立与环境相适应、与交通运输特性相匹配的具备多场景适配、架构优化、性能评估的交通自洽能源系统规划与设计软件系统，技术就绪度不低于 7 级，软件系统覆盖公路、水路、铁路 3 种交通方式以及建设、维养、管理等不少于 9 个交通自洽能源规划设计场景，并支持不少于 3 类非碳基清洁能源、不少于 3 类储能的集成设计，具备支持不少于 500 公里交通路网、不低于 100 个用能节点、不低于 50MW 清洁能源接入容量的交通自洽能源系统规划设计功

能；编制相关技术标准/设计规范不少于 3 项。

## **5.2 公路交通自洽能源系统的多能变换与控制技术（共性关键技术）**

研究内容：研究保障公路交通运转运维的用能需求与环境低影响的系统构型；研究支持电、热、氢等多态能源间的变换与控制技术；研制具备多能变换功能的公路交通自洽能源系统的高可用性一体化关键装备；研究公路交通自洽能源变换装备全生命周期服役能力保持技术；研究适用于公路交通能源自洽及其运转运维装备在途补给的多能变换装备优化集成、综合效能评价以及场景适配的运行控制技术。

考核指标：形成公路交通自洽能源系统多能变换与控制技术架构；研制适配公路交通环境、具备发储配用一体化功能的多能变换关键装备，技术就绪度不低于 7 级，公路交通自洽能源变换装备平均功率密度在  $1.0\text{W}/\text{cm}^3$  以上，平均无故障工作时间不低于 1000 小时，平均维修时间不超过 1 小时，装备可用性不低于 99.9%；装备可提供公路交通运转运维装备的在途补给能力，适用于冷热负荷、交/直流负荷、风电、太阳能发电、储电储热等多能转换场景，实现 5 种以上能源间的转换，装备供电规模不低于 3MW，交直流转换效率不低于 95%，综合能源利用效率不低于 90%。

## **5.3 轨道交通“网—源—储—车”协同供能技术（共性关键技术）**

研究内容：研究与轨道交通场景相适配、“网—源—储—车”

相协同的多源供电系统体系架构；研究“网—源—储—车”协同的高效能与高弹性轨道交通能源自洽技术；研制适配于轨道交通场景的分布式可再生能源发电和储能接入的电力变换与互联装备；研究轨道交通自洽能源系统的能源管控与高效利用技术；开展轨道交通“网—源—储—车”协同供电系统工程示范验证。

考核指标：形成普适于我国轨道交通系统“网—源—储—车”协同供电的系统技术架构和解决方案集；建立“网—源—储—车”协同的轨道交通自洽供电技术体系；研制轨道交通供能场景可调制的高效储/供能装备，其中风电/光伏汇集变换器的单机容量不低于 5MW、效率大于 96%；研发轨道交通“网—源—储—车”协同供电的能量管理系统；完成不少于 300 公里的示范工程建设，新能源渗透率不低于 15%，可再生能源发电接入容量不低于 5MW，峰值负荷削减 30%以上，具备可保持不超过 4MW 的轨道交通重要负荷 15min 应急供电能力。

#### **5.4 水运港—船多能源融合技术及集成应用（示范应用）**

研究内容：研究我国港区“风、光、储、氢”等多能源融合系统网络构架；研究不同负荷及特征各异能源的捕获、变换与控制技术；研发与港—船多能源融合系统相适应的氢气注—储—供系统和能量管理系统等关键装备；研究港—船多能源融合系统与港区负荷的匹配与优化控制技术；研究港—船多能源融合系统技术集成应用及效益评估。

考核指标：形成与自然禀赋相适应的港区“风、光、储、氢”

等多能源融合系统网络规划理论与设计技术；研制水运港—船多能源融合系统的关键装备，实现港—船多能源融合系统的集成应用，港区多能源融合系统具有 3 种及以上供能模式，总容量不小于 2MW，可再生能源渗透率不低于 30%，用电自洽率不低于 20%，稳态下电能质量 THD 小于 2%，氢能发电系统容量不低于总容量的 8%；能量管理系统能实现至少 5 个子系统的协同互动，监测节点数不小于 200 个；在典型港口开展示范应用。

## 附件 8

# “新能源汽车”重点专项 2021 年度 项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“新能源汽车”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：坚持纯电驱动发展战略，夯实产业基础研发能力，解决新能源汽车产业卡脖子关键技术问题，突破产业链核心瓶颈技术，实现关键环节自主可控，形成一批国际前瞻和领先的科技成果，巩固我国新能源汽车先发优势和规模领先优势，并逐步建立技术优势。专项实施周期为 5 年。

2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕能源动力、电驱系统、智能驾驶、车网融合、支撑技术、整车平台 6 个技术方向，按照基础前沿技术、共性关键技术、示范应用，拟启动 18 个项目，拟安排国拨经费 8.6 亿元。其中，围绕全固态金属锂电池技术方向，拟部署不超过 3 个青年科学家项目，拟安排国拨经费不超过 1500 万元，每个项目 500 万元。原则上共性关键技术类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 1:1；示范应用类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊

说明外，每个项目拟支持数为 1~2 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家，共性关键技术类和示范应用类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

青年科学家项目（项目名称后有标注）不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1981 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 能源动力**

### **1.1 全固态金属锂电池技术（基础前沿技术，含青年科学家项目）**

研究内容：全固态电池中电极（正极、负极）与固体电解质界面稳定化与自修复机制；微结构固态复合正极（含活性材料、电解质、电子导电介质等）中电子、离子的输运特性；具有导电



骨架结构的金属锂负极和固态电池中界面/结构对锂沉积形态的影响；超薄高离子电导率固体电解质层制备技术及面离子输运均匀性、机械强度、与正负极界面兼容性；新型电池结构、干法电极、新型电解质层制备方法及其封装方式；电池内部温度/力学/电化场以及失效破坏等实验表征技术及固态电池综合评价方法。

考核指标：固态复合正极比容量  $> 400\text{mAh/g}$ ；复合金属锂负极比容量  $> 1500\text{mAh/g}$ ；固体电解质厚度  $< 15\mu\text{m}$ ，室温电导率  $> 1\text{mS/cm}$ ，锂离子迁移数  $> 0.8$ ；全固态金属锂电池：容量  $> 10\text{Ah}$ ，比能量  $> 600\text{Wh/kg}$ ，循环寿命  $\geq 500$  次。

有关说明：支持一般项目的同时，并行支持不超过 3 个不同技术路线（互相之间、与一般项目之间技术路线均明显不同）的青年科学家项目；实施周期不超过 5 年。

## **1.2 车用固体氧化物燃料电池关键技术（基础前沿技术）**

研究内容：针对不同燃料场景需求的车用燃料电池发电系统，研究固体氧化物燃料电池（SOFC）关键部件、电堆、系统设计及集成技术，主要包括：优化电极微观结构，研究高性能、高可靠电池结构设计及可控制备技术；优化连接体材料及结构，开发低成本连接体加工及涂层致密化技术；开发高一致性、长寿命电堆组装技术，形成千瓦级电堆批量制造能力；研发氢气、天然气、醇类等不同燃料处理技术及关键部件；集成不同燃料应用场景的 SOFC 系统，研究系统快速启动响应技术，研究系统在模拟行驶工况下的应用安全。

考核指标：建立车用 SOFC 关键部件、电堆与系统技术及理论体系。完成高性能、高可靠电池的结构设计和验证，电流密度  $\geq 300\text{mA}/\text{cm}^2$  条件下，电压衰减  $\leq 4\%/千小时$ （运行时间  $\geq 1000\text{h}$ ）；形成低成本金属连接体及涂层材料加工工艺，连接体高温服役  $5000\text{h}$ ， $\text{ASR} \leq 30\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ；掌握 SOFC 电堆组装技术，单电堆功率  $\geq 1.0\text{kW}$ ，电堆功率密度  $\geq 1.0\text{kW}/\text{L}$ ，电效率  $\geq 60\%$ ；完成氢气、天然气以及醇类等为燃料的 SOFC 系统开发，额定发电功率  $\geq 50\text{kW}$ ，启动 3 分钟达  $50\%$  输出功率，发电效率  $\geq 55\%$ （DC，LHV），建立系统安全性能评价体系。

有关说明：实施周期不超过 5 年。

### 1.3 高密度大容量气氢车载储供系统设计及关键部件研制 （共性关键技术）

研究内容：针对燃料电池重型车辆长途续航需求，研究车载储氢瓶、车载储氢系统设计、制造和检测技术，研究不同工况下大容量储氢的释放和泄露规律，研制车载  $70\text{MPa}$  大容量 IV 型瓶、集成瓶阀、储氢系统调压阀组、储氢系统控制器、氢气泄漏探测传感器等，形成高压力、大容量车载储氢系统。

针对大功率燃料电池发动机供氢需求，研究大流量、高动态等复杂工况条件下供氢系统集成与控制技术，研制氢气流量控制阀组、循环引射器、机械循环泵等核心部件。

针对燃料电池重型车辆快速加注需求，研究加氢口预冷高压大流量气氢在车载系统中的扩散、增压、升温等规律，获得稳定

匹配与安全阈值控制技术，定义各部位材质循环加载要求、车载储氢系统受氢口与加氢枪的机械接口方式，开发面向高可靠、高安全的氢燃料快速加注操作流程、接插连接规范及通信协议。

考核指标：车载 70MPa 大容量 IV 型瓶储氢系统有效储氢质量  $\geq 32\text{kg}$ ，氢气泄漏率  $\leq 10\text{mL/h}$ ，供氢能力  $\geq 7\text{g/s}$ ，系统服役寿命  $\geq 10$  年；形成相应气瓶与瓶阀的自主知识产权及产品标准，制定系统零部件、总体结构、集成设计等安全设计准则。其中，70MPa 氢 IV 型瓶满足 T/CATSI 02007—2020 要求、容积  $\geq 400\text{L}$ ，单瓶质量储氢密度  $\geq 6.8\text{wt}\%$ ，单位储氢能力碳纤维使用量  $< 10.7\text{kg/kg H}_2$ ；集成瓶阀设计压力  $\geq 70\text{MPa}$ ，内置电磁阀寿命  $\geq 50000$  次，瓶阀功耗  $\leq 8\text{W}$ ，瓶阀质量  $\leq 1.2\text{kg}$ ，瓶阀集成电磁开关装置、过流量装置、超温超压泄放装置（TPRD）、温度检测装置和手动操作装置；调压阀组循环寿命  $\geq 50000$  次，输出压力波动范围 10~15%，波动持续时间  $\leq 10\text{s}$ ，输出流量  $\geq 7\text{g/s}$ ，质量  $\leq 1.2\text{kg}$ ；车载氢系统控制器具备独立加氢模式、红外通讯、6 路以上氢安全检测通道，具备加氢状态控制与停车氢安全巡检策略；加氢口及加氢枪加注速率  $\geq 7.2\text{kg/min}$ ，加氢口使用寿命  $\geq 20000$  次，加注过程瓶内气温  $\leq 85^\circ\text{C}$ 。大流量氢气流量控制阀组最大喷射流量  $\geq 7\text{g/s}$ （阀组流量），内外氢气泄露率  $\leq 0.3\text{mL/h@30bar}$ ，耐久性：喷射阀开闭次数不小于 4 亿次（比例电磁阀全开闭次数不小于 500 万次）；大流量氢循环引射器压升  $\geq 50\text{kPa}$ ，引射比  $\geq 2.2$ ，电堆功率覆盖范围 60~400kW；大流量氢气循环泵系统压升  $\geq 50\text{kPa}$ （采

用氢气混合气体,循环流量 $\geq 3000\text{slpm}$ ,氢气浓度 $\geq 90\%$ ),功耗 $\leq 1.5\text{kW}$ ,效率 $\geq 46\%$ ,噪音 $\leq 70\text{dB}$ ,寿命 $\geq 20000\text{h}$ 。建立快速加注机械接口标准、通信协议和加注操作规范,并形成标准送审稿;加注协议标准符合国际通用需求。

## 2. 电驱系统

### 2.1 基于新材料和新器件的电驱动系统技术(基础前沿技术)

研究内容:在电驱动系统集成与控制方面,研究 SiC 电驱动系统新结构、多物理场集成和全域高效控制方法,研究 SiC 电驱动系统电磁兼容特性及抑制方法,解决 SiC 电驱动系统在高密度集成和高效控制的基础科学问题。开展新型电驱系统技术测试与分析,完成电驱系统前沿技术对标评价;开展车用服役条件下电驱系统功率器件、电机绝缘和轴承等系统致命故障检测、诊断和预测方法研究,形成电驱系统健康管理技术体系和标准规范。在新材料与新器件方面,研究高性能超级铜线(包括但不限于基于铜合金和铜/纳米管等复合材料的高性能超级铜线)及电机绕组制备技术,探索大电流 SiC MOSFET 芯片载流子输运性能高温骤降机理和抑制栅介质界面缺陷等可靠性增强方法,研究超低杂散参数/高效散热的 SiC 模块与组件协同优化技术,实现材料与器件优化。

考核指标:超级铜线在  $20^{\circ}\text{C}$  的电阻率 $\leq 1.90\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$ ,  $180^{\circ}\text{C}$  的电阻率 $\leq 2.57\times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$ ,并应用于高性能电机样机;  $1200\text{V}$  SiC MOSFET 单芯片通流能力 $\geq 250\text{A}@150^{\circ}\text{C}$ ,导通压降 $\leq 2.5\text{V}@250\text{A}/150^{\circ}\text{C}$ ,最高结温  $250^{\circ}\text{C}$ ,阈值电压偏移 $\leq$

0.1V@150°C; SiC 电机控制器峰值功率体积密度  $\geq 70\text{kW/L}$ @峰值功率 300kW, EMC 达 CISPR 等级 4 要求; 提交电驱系统产品对标测试与技术分析报告共 5 份, 每年样本量 2 套, 提交电驱系统健康管理标准规范 1 项。

有关说明: 实施周期不超过 5 年。

## 2.2 高性能轮毂电机及总成技术 (共性关键技术)

研究内容: 在高性能轮毂电机及总成方面, 突破轮毂电机与制动、转向和悬架系统深度集成与转矩矢量分配技术难题, 实现轮毂电机系统性能、功率密度和转矩密度的持续提升, 为全新电动化底盘开发和产业化提供核心零部件支撑; 在高密度轮毂电机方面, 研究高密度轮毂电机的电磁机热声等多物理场协同设计与仿真、故障诊断与容错控制、转矩脉动抑制、噪声抑制和可靠性与耐久性验证方法, 开发轮毂电机的新材料、新结构和新工艺技术 (包括冷却结构、动密封等)。

考核指标: 轮毂电机总成 30s 峰值扭矩重量比  $\geq 20\text{N}\cdot\text{m}/\text{kg}$ ; 轮毂电机总成系统最高效率  $\geq 92\%$ , 系统 CLTC 工况综合使用效率  $\geq 80\%$ ; 轮毂电机在额定转速点 (额定转矩转折点), 1 米噪声总声压级  $\leq 72\text{dB (A)}$ , 防护等级不低于 IP68, 冲击振动标准不低于传统轮毂指标, 电磁兼容性能满足 Class4 级及以上, 轮毂电机总成产品实现装车运行。形成可靠性与耐久性测试规范。

## 2.3 混合动力专用发动机及高效机电耦合技术 (共性关键技术)

研究内容: 研究高效清洁燃烧 (包括但不限于新型喷射、高

EGR 率、新型点火、高压压缩比、可变机构技术等) 结构优化、高效热管理、高效后处理、先进控制策略、低摩擦和低噪声等混合动力专用发动机技术, 开发出热效率高、排放好的混合动力专用发动机; 研究新型构型、一体化机电集成、高效传动、高效热管理、动态控制和低噪声等机电耦合技术, 开发出高效率、高集成、低成本的机电耦合变速箱。研究先进混动控制系统、高效混动控制策略、混动专用电机及电池、高压安全管理、测试验证等混动总成技术, 实现总成高效和高可靠性, 通过整车高效优化控制实现整车级行业领先动力和能耗指标。

考核指标: 专用发动机最高热效率  $\geq 45\%$ , 整车排放满足国六 b+RDE; 机电耦合系统机械传动效率  $\geq 95\%$ , 机电耦合系统综合效率  $\geq 85\%$  (注: WLTC 工况电平衡工况下的发电和驱动的加权综合效率); 产品可靠性及寿命满足整车要求, 实现装车运行。所搭载的整车 0~100km/h 加速时间  $\leq 7s$ , A 级车在电量维持模式下油耗  $\leq 0.0018 \times (CM-1415) + 3.8L/100km$ 。混合动力专用高效发动机在额定功率下, 1 米噪声总声压级  $\leq 90dB(A)$ ; 机电耦合系统在其基速点 (转矩转折点), 1 米噪声总声压级  $\leq 78dB(A)$ , 完成产品公告的量产车。

### **3. 智能驾驶**

#### **3.1 多域电子电气信息架构 (EEI) 技术 (基础前沿技术)**

研究内容: 构建基于服务的车路云网一体化集中式电子电气信息架构, 探索高内聚、低耦合架构新形式, 研究混合关键级任

务调度与分配机理，建立域内、域间高可靠软件动态资源共享协议，探索车辆终端、边缘节点和云平台算力分配技术和通用应用开发架构，形成域内、域间、车云标准接口，实现软件模块复用以及整车软件管理；研究 C-V2X 和车载网络融合的新型架构底层软件设计关键技术，研究车载以太网和时间敏感网络等通信机制，设计高带宽、低时延、高可靠的软件信息系统构架，构建数据远程分析、诊断、调校与升级一体化技术平台；研究电子电气架构安全冗余体系，基于多维度安全设计方法，构建故障检测、主动重构控制及可靠高效的多层纵深防御体系；研究电子电气架构评估与实时性仿真分析技术，建立多层级、一体化电子电气架构测试验证体系，搭建车路云网一体化集中式电子电气信息架构测试平台；研究电子电气信息架构集成应用，实现技术应用与示范。

考核指标：架构支持车路云一体化协同的高级别自动驾驶系统，可实现软硬件独立和域间协同计算，架构支持算力集中的弹性中央计算平台和分布区域管理控制器实现整车软件定义功能开发，形成具有自主知识产权的标准化软硬件接口  $\geq 400$  个，接口包括：智能化传感器接口，原子服务接口，车-云标准接口和车与路侧设备接口等，标准接口支持 2 种以上的操作系统。电子电气架构一体化技术平台支持 C-V2X 信息交互，车辆相关软件升级时间  $\leq 20$  分钟，车载网络通讯速率可达 10Gbit/s，时间敏感业务流转发时延小于 50 微秒，时间同步精度小于 20 纳秒。具有高可靠的冗余防失效机制，形成架构冗余设计准则和预期功能安全的解决方案。满足复

杂电磁环境下的电磁安全要求,通过 GB/T 18387 和 GB 34660 标准测试。建立信息安全纵深防御设计准则和防护策略。形成整车电子电气架构仿真、评估、优化和测试验证评价体系。在 2 家以上整车企业获得应用,完成相关技术标准或草案 3 项。

有关说明: 实施周期不超过 5 年。

### 3.2 学习型自动驾驶系统关键技术(共性关键技术)

研究内容: 研究人车路广义系统的多尺度场景理解技术,开发交通参与者的长时域行为预测系统;自动驾驶感知—决策—控制功能在线进化学习技术,研发模型与数据联合驱动的高效迭代求解算法,开发通用的建模、优化与分析软件;研究自动驾驶系统的高实时车载计算装置,包括低功耗异构计算架构、分布式高效任务管理、策略模型压缩/编译/部署等关键技术;研制多维驾驶性能分析系统与训练平台,包括边缘场景的自然驾驶数据库、以安全性为核心的驾驶性能评估模型、支持虚拟交通场景的半实物在环训练等;开发自动驾驶系统学习功能集成与测试验证技术,包括符合车规级标准的开发方法及测试流程,功能优化、故障诊断、远程监控、人机交互等辅助模块,以及封闭测试场和开放示范道路的试验。

考核指标: 典型交通参与者行为预测时域不少于 5s,长时域轨迹预测误差 $\leq 0.6\text{m}$ (横向)和 $\leq 2\text{m}$ (纵向);支持 L3 级及以上自动驾驶功能的自我进化训练,涵盖典型道路场景 $\geq 5$ 类和交通参与者 $\geq 4$ 类,在线学习系统的更新周期 $\leq 30\text{min}$ ;车载计算装置



运行 L3 级及以上自动驾驶算法模块时，单位功耗算力  $\geq 2\text{Tops/W}$ ，主要功能模块平均延迟  $< 150\text{ms}$ ；边缘场景的自然驾驶样本片段  $\geq 1$  万个，边缘场景类型  $\geq 80$  类，自动驾驶性能评估模型的准确性  $\geq 90\%$ ；训练平台支持  $\geq 100$  个交通节点虚拟交通场景，支持不少于 20 辆实车的封闭测试场或开放示范道路的验证；制定国家/行业标准  $\geq 3$  项。

### 3.3 智能汽车预期功能安全技术（共性关键技术）

研究内容：研究智能汽车预期功能安全认知技术，包括与场景理解紧密相关的感知认知和决策规划等系统的性能局限分析技术、结合系统正向开发流程的危害分析及风险评估技术，构建面向智能汽车的预期功能安全量化评估模型；研究预期功能安全实时防护技术，构建预期功能安全实时监测与防护系统；研究降低预期功能安全风险的机器学习成长系统关键技术，包括面向自动驾驶机器学习成长平台的数据系统以及面向大数据的预期功能安全高性能云计算技术；研究人机交互的预期功能安全关键技术，包括车内外人机交互的预期功能安全防护技术及其功能模拟技术；研究预期功能安全场景库建设及测试评价技术，包括场景库测评优先子集和覆盖梯度研究、搭建预期功能安全仿真测试模型，研究预期功能安全量化与测试评价技术，建立预期功能安全试验验证规范及标准。

考核目标：开发预期功能安全实时防护系统一套，实现预期功能安全的实时保障，并在不少于 20 个边缘场景下进行技术验

证；搭建面向大数据的数字孪生高性能云计算平台 1 套；开发自动驾驶系统预期功能安全分析、仿真测评和管理工具软件 1 套；开发有条件自动驾驶及以上级别的智能网联汽车预期功能安全测试案例库 1 套，测试用例  $\geq 300$  条；搭建预期功能安全实车测试平台 1 个；完成  $\geq 100$  万公里实车道路数据采集，构建预期功能安全场景  $\geq 1000$  个；完成预期功能安全量化开发及测试评价体系标准或草案 1 项。

#### **4. 车网融合**

##### **4.1 智能汽车信息物理系统（CPS）技术（基础前沿技术）**

研究内容：面向智能汽车与信息通信及智能交通一体化，建立智能汽车信息物理系统基础理论，研究智能汽车信息物理系统架构体系构建、分析与构型优化方法；研究智能汽车信息物理融合机理，解构系统要素功能间协同机制与耦合规律，研究智能汽车信息物理系统建模方法；研究智能网联汽车信息物理系统开放性、涌现性和演进性特性，研究智能网联汽车信息物理系统全生命周期数字孪生重构设计与系统工程方法；研究智能汽车信息物理系统测试验证与量化评估方法，建立智能汽车信息物理系统关键指标体系；研究智能汽车信息物理系统协同实现方法，构建典型参考系统以及系统确认方法。

考核指标：建立智能汽车信息物理系统架构、特性分析、建模、设计、评估、验证、协同实现、系统确认与系统工程方法；架构体系包含设计分析维度  $\geq 7$  个；总系统架构包含系统需求定

义≥2000项，系统功能、逻辑和物理架构要素不少于4500个；系统建模工具原型可支持不少于4个类别的模型融合；系统设计工具原型可支持不少于7个维度的系统全生命周期重构设计考量，且可支持不少于50个用户端的数据库并发访问修改和唯一设计版本溯源；智能汽车信息物理系统关键指标体系包含不少于7个维度的量化关键指标且总数不少于50个；智能汽车信息物理系统典型参考系统原型的可支持不少于16类智能汽车运行场景和不少于3000项测试用例的测试验证；完成相关理论著作不少于3项，技术指南或路线图不少于3项，完成系统工程应用手册1套。

有关说明：实施周期不超过5年。

#### **4.2 高精度自动驾驶动态地图与北斗卫星融合定位技术（共性关键技术）**

研究内容：研究支持自动驾驶的高精度动态地图模型与架构，研究面向中国道路特点、支持增量更新与扩展的地图数据模型，建立动静态、变分辨率地图数据的表达与存储机制；研究面向量产车众包数据的地图在线更新技术，研究地图数据实时加密与偏转技术；研究基于地图感知容器的网联汽车协同感知技术，建立车一路一云网联信息的多源融合机制；研究车规级北斗定位芯片与车载多源定位终端技术，构建基于北斗及其增强系统的车载定位、导航、授时一体化系统，研究融合视觉、惯导与地图的智能全息组合主动定位技术；研究自动驾驶地图与定位系统的车

载软硬件集成技术。

考核指标：地图模型支持动静态多层数据调用，包括自动驾驶感知与决策的应用接口协议，地图覆盖公里数 $\geq 1$ 万公里；高精度地图每100米相对误差 $\leq 15$ 厘米，基于专业采集车地图更新准确率 $\geq 99\%$ ，基于众包数据地图更新准确率 $\geq 90\%$ ；超视距无盲区感知检测准确率 $\geq 90\%$ ，动态信息传输延迟 $\leq 1$ 秒；基于车载北斗卫星定位终端，多源信息融合实现高精度定位，试验场条件下，静态高精度增强定位误差 $\leq 1$ 厘米，动态高精度增强定位误差 $\leq 10$ 厘米，有卫星信号覆盖的常规城市综合路况下，动态高精度增强定位误差 $\leq 20$ 厘米；支持具备车路协同感知功能的高精度地图示范区域2个以上，完成相关技术标准或草案 $\geq 5$ 项。

#### **4.3 自动驾驶仿真及数字孪生测试评价工具链(共性关键技术)**

研究内容：“人一车一路一环”耦合的高保真建模仿真技术，研究高精度传感器、动力学、环境建模技术和强耦合机制，研发支撑L3及以上自动驾驶实时仿真软件；融合自动驾驶场景及交通流特征的云端仿真技术，研究包含中国自动驾驶事故场景特性的宏微观一体化交通流建模与加速测试技术，开发场景批量生成与高并发大规模云计算测试平台；车一云一场协同的自动驾驶在线加速测试评估技术，研究基于交通流的驾驶员行为、自动驾驶车辆行为的云端协同与场地孪生连续测评技术；多车协同的整车交通在环数字孪生技术，研制高灵敏的驱动、制动、转向一体化整车级系统平台，研究“人一车一路一环”实时模拟与虚实融合

交互集成测试技术；自动驾驶测试评价平台及工具链，研究驾驶智能性评级、缺陷自动识别与安全性能认证技术，构建标准化的工具软件及硬件平台。

考核指标：高精度自动驾驶仿真软件的极限工况动力学模拟精度 $\geq 90\%$ ；开放道路自动驾驶事故场景案例 $\geq 1000$ 例；云控平台数据规模支持PB级，仿真任务执行成功率 $\geq 99.9\%$ ，达到10000个/分钟用例生成速率及10000个/小时用例测试速率；数字孪生测试系统支持车速200km/h，最大制动强度 $10\text{m/s}^2$ ，最大转向角 $40^\circ$ ；数字孪生支持虚、实传感器信号叠加；工具链支持L3级以上自动驾驶全流程测试，完成相关技术标准或草案不少于2项，服务自动驾驶车型不少于20个。

## 5. 支撑技术

### 5.1 汽车电控单元关键工具链开发（共性关键技术）

研究内容：研发汽车电控单元模块级软件建模工具，实现基于模型的软件设计功能；研发汽车电控单元软件测试验证工具，实现软件测试验证的流程标准化、接口统一化、测试自动化；研发汽车电控单元软硬件集成测试与标定工具，实现电控软硬件功性能的在线优化；研发车辆通讯总线仿真与测试工具，实现对车辆通讯总线的功能测试和性能优化；开发基于云技术的汽车电控单元设计仿真平台与模型库，实现自主工具链的云端并行计算技术。

考核指标：汽车电控单元软件开发及验证的关键工具链能够

满足 V 型开发流程，研制覆盖软件建模、软硬件测试、通讯总线仿真与测试等环节的关键工具不少于 4 种；汽车电控单元模块级软件建模工具能够支持系统图形化建模、连续与离散仿真、状态机建模等不少于 3 项的基本功能；汽车电控单元软件测试验证工具支持图形化测试用例搭建、支持自定义测试用例库、测试用例库及测试计划统一管理不少于 3 项基本功能；汽车电控单元软硬件集成测试与标定工具能够支持不少于 2 种类型标定协议，支持用户可定制的图形标定界面，支持标定数据的记录以及刷写等不少于 3 项基本功能；车辆通讯总线仿真与测试工具支持总线监测分析、总线激励、诊断服务等不少于 3 项基本功能；自主开发工具的云上服务平台实现云端用户登录不少于 1000 人次/12 个月，工具链包含的云端模型库中有效模型数量不少于 50 个。

## **5.2 关键车规级芯片的测试技术和评价体系研究（共性关键技术）**

研究内容：研究车规控制、通讯、计算、安全、存储芯片在车载使用要求下的可靠性、电磁兼容性测试技术，设计开发基于 FPGA 半实物平台和芯片实物平台的车规芯片功能安全测试用例库及测试技术；针对智能驾驶使用要求，研究车规计算芯片的算力、能耗测试技术；针对网联驾驶使用要求，研究车规信息安全芯片基于国密算法安全保证能力的信息安全测试技术；搭建车规控制、通讯、计算、安全、存储芯片测试平台，建立其在车载使用要求下的评价方法和评价体系。

考核指标：搭建支持多样本（ $\geq 20$  个）同步试验、试验温度范围 $-40\sim 250^{\circ}\text{C}$ 、湿度相对湿度 $>65\%$ 、压力 $\geq 15\text{psig}$ （磅/平方英寸）的环境应力试验系统，以及可施加电源（电压范围 $0\sim 20\text{V}$ 且分辨率 $10\text{mV}$ ）偏置的寿命试验系统；搭建 EMC 测试环境，支持传导干扰（ $20\text{Hz}\sim 108\text{MHz}$ ）、辐射干扰（ $20\text{Hz}\sim 40\text{GHz}$ ）、HBM\_ESD（ $10\text{kV}$ ）、电源间断跌落实验（时间 $\leq 1\text{ms}$ ）；搭建支持 1024 数字通道资源，5G 通讯速率，激励电压范围 $-0.5\sim +1.5\text{V}$ 且分辨率为 $10\mu\text{V}$ 的 ATE 测试系统；开发车规计算芯片测试系统，支持 GPU/AI 等多种架构车规计算芯片在不同系统配置下（内核可配置、主频测试精度最小 $100\text{MHz}$ ）的算力测试（范围覆盖 $5\sim 20\text{TFlops}$ 、 $5\sim 300\text{Tops}$ ）及能耗测试（最高精度 $0.1\text{W}$ ）；设计开发支持车规芯片半实物和实物芯片的功能安全测试系统，测试范围覆盖车规计算芯片的总线、存储、DDR、时钟、IO、中断等硬件模块及底层软件，完成 1~2 款芯片功能安全测试用例开发至少 1000 条；开发车规信息安全芯片国密算法（SM1~SM4）检测系统，支持被测芯片 $\geq 5000$ 次/秒签名验签测试，开发支持置信度（ $\alpha$ 值 $0.02\sim 0.05$ ）任意定义且不少于 4 个真随机源任意开关的随机数据采集及随机性水平的测试平台，开发信息安全测试用例（包含安全攻击用例）至少 100 条；在车规芯片测试方面形成 5 项以上标准提案。

### **5.3 车载储能系统安全评估技术与装备（共性关键技术）**

研究内容：研究多场景全工况多因素耦合下电池系统安全性损伤机理、演变规律及评价技术，研究电池系统热失控热扩散评价技

术，研究电池系统失效致灾危害评估技术，研究电池系统使用寿命与安全耦合机制与规律，建立动力电池多维度安全性评价体系和标准；研究动力电池系统高频失效行为的孕育演化机制和复现评估技术，研究车端感知、线下检测、云端数据协同的在役动力电池系统安全性风险评估技术；开发智能无损检测装备及软件。

研究多场景多因素耦合下车载氢系统失效机理、失效模式及定量化安全评估技术；研究车载氢系统失效危害评估技术，建立车载氢系统多维度安全性评价体系；研究氢气泄露可视化检测技术，研究车载氢系统微量氢泄漏检测技术；研究车载氢系统安全风险在线监测方法。

考核指标：建立动力电池多维度安全性评价体系和装备；开发在役动力电池系统安全性智能无损检测系统不少于 2 套，测试准确度不低于 90%；搭建车载氢系统安全性定量化评价体系和在线监测系统，在商用车和乘用车上进行应用验证，在线监测系统安全响应时间小于 1 秒；车载氢系统微量泄漏检测精度高于 50ppm；车载氢系统严重泄漏预判准确率 > 95%；形成 5 项以上动力电池系统和车载氢系统安全性评价相关标准提案。

#### **5.4 高效协同充换电关键技术及装备（共性关键技术）**

研究内容：研究车一桩（站）一云多层次充电物理信息网体系架构，大数据驱动的安全高效充电管理与控制技术，研发车桩（站）互联互通实时数据交互平台；研究基于用户行为识别与充电设施状态感知协同的充电负荷时空多维度预测方法，充换电设



施网点布局与站点构型规划方法；研究车一桩一云协同信息服务的运营管理与决策理论方法，用户行为识别与充电设施状态感知协同的车群充电规划方法与引导技术；研究快换站多型号动力电池包融合存储、识别和充电技术，快换电池包标准化技术，多车型、多型号电池包识别和匹配技术，研发可多车型共用动力电池快换设备；研究多功率等级兼容的无线双向充放电技术，研发大功率、高效率、智能适配的双向无线充放电装备。

考核指标：建成车桩数据交互平台，实现跨平台车桩数据互联互通，跨平台的数据互通与调用平均响应时间 $\leq 1s$ ，高并发服务能力 $\geq 200$ 万个，接入充电桩 $\geq 100$ 万个，车 $\geq 100$ 万台，车型 $\geq 100$ 个，抗DDoS攻击能力 $\geq 200G/s$ ；数据传输可靠性 $> 99.95\%$ ，信息安全通过三级等保评测；构建城市公共充换电场所建设规划模型和技术规范；充电桩利用率提高 $\geq 30\%$ ，车辆充电等待时间降低 $\geq 30\%$ ；快换电池系统兼容电池包类型 $\geq 3$ 种，可更换车型 $\geq 3$ 个，电池更换时间 $\leq 90s$ ；无线充放电系统双向功率 $\geq 30kW$ ，工作间隙 $\geq 20cm$ ，输出电压范围DC250-900V，10%到100%负载范围内系统效率 $\geq 92\%$ ，最高效率 $\geq 94\%$ ，满足多车型互操作性，实现3个以上车型搭载验证。

## 6. 整车平台

### 6.1 纯电动客车/乘用车高效高环境适应动力平台技术（共性关键技术）

研究内容：研究极寒环境整车低能耗自保温技术，高温高湿

环境下动力平台高效冷却技术、高绝缘和高安全防护技术；研究多应用场景的电驱动系统、动力电池系统内部温度预测方法、温控回路智能高效控制技术；研究电驱动、动力电池以及乘员舱热管理系统间的能耗耦合机理，研究高效智能化热管理控制技术，研发多热源协同智能高效一体化热管理系统；研究多阀门多通道多冷却回路一体化、压缩机低温可靠性、可变制冷剂充注量等空调技术，研发低温高效热泵空调系统；研究基于功能域的动力平台高效集中式控制技术、基于大数据的整车能量管理优化标定技术，研发基于自主核心芯片的多合一高压集成控制器和网联化整车综合控制系统，研发高环境适应动力系统平台和专用化底盘。

考核指标：12米纯电动客车：整车能耗 $\leq 52\text{kWh}/100\text{km}$ （CHTC工况）；全气候（环境温度范围覆盖 $-30\sim+55^{\circ}\text{C}$ ）续驶里程 $\geq 300\text{km}$ （CHTC工况）； $-30^{\circ}\text{C}$ 环境下，车辆续驶里程不低于常温续驶里程的85%，车辆冷启动时间 $\leq 8\text{min}$ ，空调制热功率 $\geq 14\text{kW}$ ，COP $\geq 1.3$ 。 $55^{\circ}\text{C}$ 环境下，空调制冷功率 $\geq 22\text{kW}$ ，COP $\geq 1.7$ ；研制车型 $\geq 2$ 个，30分钟最高车速 $\geq 100\text{km}/\text{h}$ ， $0\sim 50\text{km}/\text{h}$ 加速时间 $\leq 15\text{s}$ ，最大爬坡度 $\geq 25\%$ ，实现百辆级验证应用。

B级乘用车：整车能耗 $\leq 14\text{kWh}/100\text{km}$ （CLTC工况）；全气候（环境温度范围覆盖 $-30\sim+55^{\circ}\text{C}$ ）续驶里程 $\geq 500\text{km}$ （CLTC工况）； $-30^{\circ}\text{C}$ 环境下车辆续驶里程不低于常温续驶里程的85%，车辆冷启动时间 $\leq 5\text{min}$ ，空调制热功率 $\geq 4\text{kW}$ ，COP $\geq 1.3$ 。 $55^{\circ}\text{C}$ 环境温度下，空调制冷功率 $\geq 7.5\text{kW}$ ，COP $\geq 1.7$ ；研制车型 $\geq 2$ 个，

最高车速 $\geq 180\text{km/h}$ ; 0~100km/h 加速时间 $\leq 4\text{s}$ , 满载最大爬坡度 $\geq 30\%$ ; 实现千辆级验证应用。

## 6.2 智能电驱动重载车辆平台关键技术及应用（示范应用）

研究内容：开发智能电驱动重载车辆一体化平台架构，研究重载车辆的整车物理结构与电驱动系统、智能驾驶系统间的耦合机理与设计方法；开发面向恶劣环境的重载车辆智能驾驶系统，研究颠簸路面大盲区多源传感器融合感知技术，研究强振动、重载荷等条件下车辆故障诊断及导向安全智能决策技术，研究大幅变载荷工况下车辆纵横向协调控制技术；面向复杂工况的重载车辆大功率智能电驱动系统开发，构建面向重载车辆的新型驱动系统拓扑结构，研究湿滑坡道下自适应力矩分配与预测型智能控制技术；开发面向多场景作业的智能电驱动重载车辆仿真验证平台，研究智能电驱动重载车辆的硬件在环仿真与编组作业模拟技术；开展典型场景下智能电驱动重载车辆的无人化协同作业示范应用。

考核指标：开发智能电驱动重载车辆的整车平台原理样机 1 套；小尺寸（ $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ ）障碍物检测距离 $\geq 100\text{m}$ ，距离检测误差 $\leq 0.3\text{m}$ ，重载车辆在 100 吨及以上载重条件下停靠控制误差 $\leq 0.5\text{m}$ ，可实现 16%坡道的坡停坡起；开发自主可控的电驱动系统，与国际同类产品相比，特定场景与工况下综合能效提升 20%，在 1km/h 车速下仍可有效电制动；开发智能电驱动重载车辆仿真验证平台 1 套；在典型场景下开展不少于 50 台、100 吨及

以上载重车辆的无人化协同作业示范运行,并稳定运行 1 年以上,与国际同类产品相比,平均能耗降低 15%;形成相关技术标准或草案 1 项。