

附件1

低频电磁通信技术实验室 2021 年开放基金项目指南

一、 设立目的

低频电磁通信技术实验室 2021 年开放基金项目，用于推进甚低频传播机理与通信覆盖预测、超细长铜包钢绞线排线技术、超细长缆索损伤缺陷现场检测方法、收放绞车排缆与故障容错关键技术研究、拖曳天线水下极低频振动特性与电磁噪声、兆瓦级极低频发射与间谐波抑制技术的基础科研工作。

二、 相关技术应用背景

1. 甚低频传播机理与通信覆盖预测研究

甚低频通信受发射/接收位置、传播路径、昼夜、季节和当地噪声等诸多因素影响，导致接收点在不同位置、不同时间和不同频率的收信效果差异较大。为避免实际使用时通信不畅，开展甚低频传播机理与通信覆盖预测研究，深入分析时、空、频变化对信号场强的影响和噪声变化规律，对甚低频通信信号场强进行预测，从而实现对通信覆盖区域的准确预估，对提高通信效能具有重要意义。

2. 超细长铜包钢绞线排线技术研究

超细长铜包钢绞线缆索需要高速释放、回收，超细长铜包钢绞线长度为 6500m~8000m，直径为 $\phi 4.1\text{mm} \sim \phi 5.1\text{mm}$ ，收放速度为 2.0m/s~5.0m/s。为了保证超细长铜包钢绞线释放时稳定、可靠，避免出现卡缆现象，超细长铜包钢绞线在回收卷筒上时必须排列整齐、紧密，不能出现乱缆、陷缆、挤缆等现象，因此，

需要对超细长铜包钢绞线排线技术进行重点研究。

本课题针对超细长铜包钢绞线排线这一关键技术需求,在深入开展理论研究和运动仿真的基础上,广泛分析各种因素对排线性能的影响,提出超细长铜包钢绞线排线技术的解决措施和可实施方案,为后续收放装置的研制提供技术支撑。

3. 超细长缆索损伤缺陷现场检测方法研究

数千米的超细长缆索需要在使用后现场对损伤缺陷情况作出快速检测,根据损伤情况,评估其使用寿命和安全性,判断是否可以继续使用。

本课题针对超细长缆绳伤痕、磨损、锈蚀、绳径变化等损伤缺陷的现场检测需求,设计以高灵敏度小型化探伤传感器,研究伤痕、磨损、锈蚀、绳径变化等微小信号的目标特征并建立特征模型,研究典型目标特征识别算法,通过实时高速信号分析处理系统,形成一套高灵敏度、高响应速度、小型化、低功耗且抗干扰能力强的超细长缆绳损伤缺陷现场检测技术解决方案。

4. 收放绞车排缆与故障容错关键技术研究

超细长缆收放绞车电机克服缆索气阻力进行高速收放,排缆电机根据天线长度按预设算法在滚筒轴向做往复运动。其故障包括电机本体故障、驱动主电路故障、反馈检测电路故障(含旋变检测电路)、控制软件故障以及输入电源异常、输出负荷过载等,开展绞车无间隙主备切换、故障诊断与容错设计关键技术研究对提高系统可靠性具有重要意义。

本课题针对细长拖曳天线排缆难题,开展航空绞车排缆机构和协同控制策略研究。针对航空绞车故障,开展无间隙主备切换、故障诊断技术研究,有效识别故障信息,根据系统特点制定针对

性的保护措施。开展驱动装置容错设计,包括电机与驱动电路冗余设计、传动与制动装置优化、双电源输入设计等,达到主用电机驱动装置故障时备用电机驱动装置无缝介入的目的。

5. 拖曳天线水下极低频振动特性与电磁噪声研究

拖曳式电天线可用于在水下采集极低频段电场信号。在拖曳航行状态下展开接收信号时,处于运动状态的天线受水流冲击引发振动,同时拖曳平台自身振动也会对拖曳天线产生影响,从而产生低频段电磁噪声,对极微弱极低频段信号的接收产生影响。

通过分析拖曳天线的水中运动状态,研究天线极低频振动特性,建立天线振动产生的电磁噪声模型;对不同参数下的天线振动规律和电磁噪声特性进行仿真计算,评估拖曳天线水下极低频振动产生的低频段电磁噪声影响

6. 兆瓦级极低频发射与间谐波抑制技术研究

极低频探地工程实现了 $0.1\text{Hz} \sim 300\text{Hz}$ 宽频范围 500kW 功率放大,但该拓扑规模庞大,成为限制极低频发射系统功率提升的主要因素。

为进一步提升 $5\text{Hz} \sim 300\text{Hz}$ 极低频发射机功率容量,基于 IGBT 的通用高压变频器和基于 IGCT 的中压变频器等技术发展,从功率密度和器件可靠性等角度开展极低频发射机功率器件和拓扑对比论证,开展电源和功放集成设计,确定兆瓦级极低频发射机技术路线,形成兆瓦级极低频发射机初步方案和仿真模型。针对极低频发射系统特有的间谐波问题,开展间谐波传导机理研究,评估兆瓦级极低频发射机间谐波对电网和天线谐波的影响,探索间谐波抑制技术并进行电路仿真研究。

三、 相关技术主要研究内容及目标

表1 主要研究内容及目标

主要研究方向	子方向	研究内容与目标
甚低频传播机理与通信覆盖预测研究	甚低频传播机理与通信覆盖预测研究	针对甚低频通信受多因素影响的特点, 基于地-电离层波导模式理论, 深入分析昼夜、季节、传播路径等变化对信号场强的影响, 搭建甚低频通信覆盖预测系统, 为进一步提高甚低频通信效能提供理论支撑。主要完成以下研究内容: 1) 建立地-电离层波导中甚低频电磁波传播模型, 研究甚低频电磁波传播特性及表征方法; 2) 结合实测数据, 分析昼夜变化等对信号场强变化的影响; 3) 研究大气噪声及其对通信影响; 4) 搭建甚低频通信覆盖预测分析软件, 实现甚低频信号场强空间分布的可视化。
超细长铜包钢绞线排线技术研究	超细长铜包钢绞线排线技术研究	针对长度为 6500m~8000m, 直径为 $\phi 4.1\text{mm} \sim \phi 5.1\text{mm}$, 收放速度为 2.0m/s~5.0m/s 的超细长铜包钢绞线, 对其排线技术进行研究。主要研究内容包括: 1) 卷筒结构形式和参数研究: 主要包括卷筒结构形式(双折线槽、螺旋槽等)、卷筒的直径、长度、绳槽节距以及卷筒两侧挡板强度等, 选择合适的卷筒结构形式以及相关参数; 2) 排线机构研究: 主要包括机械式(如往复丝杠、光筒排线等)和电动式(步进电机控制)排线机构, 针对本课题超细长铜包钢绞线的排线需求, 分析国内外相关排线装置的技术特点以及使用要求, 选择合适于本课题需求的排线结构形式; 3) 减张力机构研究: 分析各类减张力机构(如摩擦轮、履带机构等形式)特性, 选择合适的减张力机构, 实现超细长铜包钢绞线在卷筒上低张力储存, 保证收放线工作稳定可靠; 4) 交叉排线技术研究: 针对机载环境的特殊性, 研究卷筒交叉排线技术是否适用于机载环境, 以及可实施技术方案。
超细长缆索损伤缺陷现场检测方法研究	超细长缆索损伤缺陷现场检测方法研究	针对超细长缆索伤痕、磨损、锈蚀、绳径变化等损伤缺陷的现场检测需求, 研究高灵敏度、高响应速度、小型化、低功耗且抗干扰能力强的超细长缆绳损伤缺陷现场检测技术解决方案。主要研究内容包括: 1) 分析超细长缆绳本体物理、电磁等特征, 研究高灵敏度、高响应探测技术; 2) 研究现场检测中磁环境干扰抑制方法以及损伤缺陷引起的特征分析方法; 3) 建立损伤缺陷引起的特征模型, 研究磨损、锈蚀、绳径变化等不同损伤缺陷引起的特征识别算法;

主要研究方向	子方向	研究内容与目标
		4) 识别并采集细长缆索特征信号, 及时完成现场高速信号分析处理, 形成现场缆绳损伤缺陷检测结果与技术报告。
收放绞车排缆与故障容错关键技术研究	1. 绞车排缆技术研究 2. 绞车故障诊断技术 3. 绞车容错设计	1) 针对细长拖曳天线排缆难题, 开展航空绞车排缆机构和协调控制策略研究。 2) 针对绞车故障, 全面开展故障诊断技术研究, 有效识别故障信息, 根据系统特点制定针对性的保护措施。研究的故障类型应包括电机本体故障、驱动主电路故障、反馈检测电路故障(含旋变检测电路)、控制软件故障以及输入电源异常、输出负荷过载。 3) 开展驱动装置容错设计, 达到主用电机驱动装置故障时备用电机驱动装置无缝介入的目的。容错设计应包括电机与驱动电路冗余设计、传动与制动装置优化、双电源输入设计等。
拖曳天线水下极低频振动特性与电磁噪声研究	拖曳天线水下极低频振动特性与电磁噪声研究	针对水下拖曳天线接收极低频电场信号的应用场景, 通过分析拖曳天线的水中运动状态, 研究由此产生的天线极低频振动特性, 建立天线振动产生的电磁噪声模型; 对不同参数下的天线振动规律和电磁噪声特性进行仿真计算, 评估拖曳天线水下极低频振动产生的低频段电磁噪声影响。研究内容: 1) 拖曳电天线的水中运动振动特性, 以及受拖曳平台激励产生振动的特性; 2) 天线在不同航速下不同位置的振动特性建模; 3) 天线振动产生的极低频电磁噪声建模; 4) 不同参数下的天线振动电磁极低频噪声特性仿真计算; 5) 拖曳电天线振动产生的低频段电磁噪声影响评估。
兆瓦级极低频发射与间谐波抑制技术研究	1. 兆瓦级极低频发射技术研究 2. 兆瓦级极低频发射机间谐波抑制技术研究	1) 基于 IGBT 高压变频器和基于 IGCT 中压变频器等技术发展, 从功率密度和器件可靠性等角度开展极低频发射机功率器件和拓扑对比论证, 开展电源和功放集成设计, 确定兆瓦级极低频发射机技术路线, 形成兆瓦级极低频发射机初步方案和仿真模型。 2) 针对极低频发射系统特有的间谐波问题, 开展间谐波传导机理研究, 评估兆瓦级极低频发射机间谐波对电网和天线谐波的影响, 探索间谐波抑制技术并进行电路仿真研究。