

# 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室

## 2020 年度开放课题申请指南

为促进学术交流，动车组和机车牵引与控制国家重点实验室(以下简称“实验室”)面向国内外开放，实验室根据研究方向设置开放基金和课题，积极吸引国内外优秀科技工作者到实验室从事研究工作，同时鼓励重点实验室固定研究人员与国内外同行联合申报各级各类课题，积极开展国内外学术交流与科技合作，充分发挥开放运行专项经费的作用，凝聚和培养科技人才，实验室根据相关领域科学发展趋势和需求，结合实验室研究工作规划，设立开放研究基金，发布 2020 年度开放课题申请指南。

### 一、实验室简介

动车组和机车牵引与控制国家重点实验室于 2011 年开始建设，2016 年 4 月通过国家科技部验收，主管部门为中国国家铁路集团有限公司和国务院国有资产监督管理委员会，依托单位为中国铁道科学研究院集团有限公司和中国中车股份有限公司，设立铁科院实验基地、株洲实验基地和大连实验基地。

实验室致力于我国动车组和机车牵引与控制相关的基础及关键技术、技术集成与应用、成果转化以及标准体系建设等方面的研究，以铁路行业发展的重大需求、重大科学技术问题引导实验室的主要研究方向，促进我国动车组和机车牵引与控制成套技术及装备的自主创新，实现对牵引控制技术领域创新成果的集成应用，研究成果向生产力转化，建立健全具有自主知识产权的技术标准体系，打造具有世界一流水平的国家级科技创新平台。

实验室具体情况可实地考察或电话咨询。

## 二、开放课题主要资助的研究方向与内容

### 课题一：复杂供电条件下的三相整流器控制技术研究

课题简介：

对于一些受地势所限、或经济欠发达地区，架设供电网存在困难，柴油发电机组作为一种简单、经济的供电方式获得广泛应用。目前通常采用柴油发电机组加不控整流方式，为后续电路提供直流电压。这种方式下的直流环节电压波动较大，功率因数低，电流谐波含量较大，电机发热严重。为此需采用三相 PWM 整流方式提供负载所需的、稳定的直流电压，并且抑制谐波电流、提高功率因数。

三相整流器的输入端是阻抗较高的宽频发电机组，且线路上电感较小，当整流器的 PWM 驱动信号给出时，机组端电压波形发生畸变，且频率、幅值在一定范围内变化，这给普通的数字锁相环准确获取输入电压的相位和频率带来严峻挑战。

三相整流器的电流调节器方面，传统方法通常采用同步旋转坐标系下的 PI 控制器，通过状态反馈解耦的方法消除交、直轴耦合，这对电路参数的准确性提出了更高要求。为适应负载的快速变化，需要整流器能够快速响应负载的功率需求，同时维持中间直流电压的稳定。

根据油耗曲线，柴油发电机组在相同油耗下存在较高效率的工作点（也就是最佳工作点），所以当负载的需求功率一定时，应尽量减小柴油发电机组的油耗。柴油发电机组的实际输出功率更接近最大可用功率时，比同负载下更高转速的工作点油耗要小。考虑柴油发电机组的能耗和经

济性，在柴油发电机组工作点的优化过程中十分重要。

研究内容：

### （1）复杂供电条件下的锁相问题

考虑柴油发电机组端电压存在不平衡的情况，则需完成对端电压正序分量的提取，要求锁相环具备对输入电压信号进行正交分相的能力；由于柴油发电机组的供电频率在宽范围内实时变化，锁相环输出信号的幅值和相位均会出现跟踪误差，要求锁相环具备频率自适应功能；另外，当输入信号中含有谐波时，锁相环需只跟随输入的基波信号，保证即使在电压畸变等非理想情况下，锁相环仍具有较好的稳态性能和动态性能。

### （2）复杂供电、负载工况下整流器控制

中间直流电压波动的实质是整流器交流侧输入功率与直流侧负载功率不平衡所致，引起电容的充放电。传统的电压外环，忽略了直流电压与电流有功分量的非线性关系，以及电流的有功、无功分量的耦合关系，直接设计 PI 控制器，难以获得理想的控制效果，需从瞬时功率平衡的角度出发，重新对直流电压外环进行设计。在电流控制方面，传统采用同步旋转坐标系的控制器，需要电路参数信息计算状态反馈解耦项，为保证系统良好的鲁棒性，需引入参数辨识方法对电感等关键参数进行实时校正，或者采用复矢量控制器等方法避免解耦项计算，但同时需要调整电流环带宽以获得快速的动态响应。

### （3）柴油发电机组最优工作点控制策略

传统的柴油发电机组由柴油发动机及其调速器、同步发电机组成。根据柴油发电机组的油耗曲线，其燃油消耗率与发动机转速、发动机转

矩和负载功率相关，而发动机转矩与单周期供油量成正比，调速器负责将转速误差转化为油门指令信号，也就是说，当负载需要的功率一定时，通过给定柴油发电机组的转速，可以实现其在最优工作点运行。最优工作点的评估，不仅要考虑负载的能量消耗，也要考虑能耗效率，即在计算柴油发电机组油耗的同时，也要计算相同燃油消耗下的能耗效率。通过最优工作点控制策略，使柴油发电机组在动态的运行过程中，尽量工作在燃油能耗效率较高的工作点。

研究目标：

（1）研究并掌握在柴油发电机组端电压存在波形畸变，且频率在一定范围内变化的情况下的快速、精准锁相技术；

（2）研究并掌握复杂供电、及负载条件下，三相整流器新型控制策略，即在提高系统鲁棒性的同时，能够快速满足负载的功率需求，并维持中间直流电压的稳定；

（3）研究并掌握柴油发电机组的工作点优化控制策略，提高机组的能耗效率和经济性。

提交成果：

（1）发表 SCI/EI 论文 2 篇；

（2）离线仿真模型（包括柴油发电机组模型、三相整流器主电路及控制模型）、软件源码及说明文档。。

（3）《复杂供电条件下的三相整流器控制技术研究》项目研究报告 1 篇。

课题经费额度：不超过 36 万元

计划年限：2 年

联系人：刘洋 18515652979 [liuyang3@zemt.cn](mailto:liuyang3@zemt.cn)

## 课题二：轨道交通列车牵引变流器在线状态监测与健康评估研究

### 课题简介：

本课题以牵引变流器的健康状态评估为主题，以牵引变流器功率模块、直流侧电容、直流侧电抗器、辅变侧变压器等关键部件为主要分析对象，开展在线健康监测与评估研究。在 TCU 中设置了独立板卡实时采集变流器系统现有传感器的数据，作为在线监测分析的信息源。以部件在系统中的运行特性为依据，通过数据清洗对采集数据进行筛选和分类；将清洗后的数据通过模型与数据驱动相结合的方式推导出关键部件的状态表征参数——健康因子的变化状态；利用离线历史数据建立健康因子与部件寿命的映射模型，将模型导入在线分析算法中，以期实现对部件健康状态的有效在线监测和评估。

### 主要研究内容：

#### （1）变流器监测信息的清洗和分类研究

牵引变流器传感器种类众多，由于系统内部机电磁热耦合影响，外部恶劣环境干扰，不同监测信息都包含了大量干扰和噪声。利用信息融合、异常数据处理、多维降噪等信息处理技术研究干扰抑制和噪声消除的算法获取有效信息。并研究关键部件运行状态特征，分析所需的关键数据，对监测信息进行分类，为健康因子提取提供基础。

#### （2）基于模型与数据驱动结合的变流器关键部件健康因子提取研究

在线分析的关键是得到表征关键部件运行状态的特征参数及其变化情况。针对变流器关键部件的物理健康因子或虚拟健康因子，结合变流器的监测信息清洗和分类，从数据驱动和理论模型相结合出发，通过信号

处理、多变量分析、深度学习、专家知识等方法得到变流器关键部件健康因子的量化表征方法。通过离线历史数据的拟合分析和优化后，将表征模型加载到在线监测板卡中实现健康因子的在线提取，实时分析其变化情况。

### （3）健康映射模型的建立与在线状态评估研究

针对关键部件，建立多输入条件、多参数时变下表征系统劣化状态的解析模型。并在解析模型中量化运行工况、环境温度和湿度等多任务剖面的影响，利用智能算法和解析模型建立健康因子与关键部件健康状态的映射关系。最后加载模型到在线分析板卡中，实现对变流器关键部件或关键部件支路的健康状态在线评估。

研究目标：

本项目面向轨道交通列车牵引变流器系统，针对关键部件开展在线状态监测与健康评估研究。以 TCU 板卡收集的传感器数据为分析基础，根据数据清洗和分类结果，利用模型与数据驱动结合的方式表征关键部件的健康因子和健康状态映射模型，以期实现牵引变流器的在线监测与健康评估，为保障高速列车安全高效运行和智能维护提供理论基础与技术支撑。

提交成果：

（1）牵引变流器关键部件的健康因子表征和解析模型，包括功率模块功率损耗和结温计算模型、电容电热应力的估算模型、变压器温度评估模型、谐振回路电抗器模型等关键部件的健康状态模型；

(2) 发表 SCI/EI 论文 1~2 篇；

(3)《轨道交通列车牵引变流器关键部件在线状态监测与健康评估研究》项目研究报告 1 份。

课题经费额度：不超过 36 万元

计划年限：2 年

项目联系人：王骁 13521270923 [wangxiao@zemt.cn](mailto:wangxiao@zemt.cn)

### 课题三：碳纤维复合材料变流器箱体结构技术研究

课题简介：

具有轻量化、高强度、高耐候等优异性能的碳纤维复合材料（CFRP，Carbon Fiber Reinforced Plastic）在飞机、船舶等交通装备领域的成熟工程化应用，为解决轨道交通领域轻量化问题提供了可行性指导。碳纤维复合材料在变流器结构中的运用将提变流器的综合性能指标，并有望系统解决金属材料应用领域常见的轻量化、环境适应性问题。

主要研究内容：

(1) CFRP 在轨道交通领域中应用调研分析，包括 CFRP 构件的设计方法、CFRP 构件的加工制造技术、CFRP 构件的全生命周期成本、CFRP 结构仿真分析方法、CFRP 构件主要国内供应商情况调研等内容；

(2) CFRP 变流器箱体总体技术方案设计。

研究目标：

(1) 掌握国内 CFRP 产业的基本情况，CFRP 供货周期及全生命周期成本；

(2) 掌握 CFRP 材料适用范围，CFRP 构件设计方法；

(3) 研究并掌握 CFRP 构件结构力学性能仿真方法；

(4) 研究并掌握 CFRP 变流器箱体总体技术方案。

提交成果：

(1) CFRP 在轨道交通领域中应用调研分析报告，包括 CFRP 构件的设计方法、CFRP 构件的加工制造技术、CFRP 构件的全生命周期成本、CFRP 结构仿真分析方法、CFRP 构件主要国内供应商情况调研等内容；

(2) 系统设计方案：基于典型变流器箱体结构，对 CFRP 变流器箱体进行总体技术方案设计；

(3) 发表 SCI/EI 论文 2 篇。

课题经费额度：不超过 28 万元

计划年限： 2 年

联系人：张颖川 15001082763 [zhangyingchuan@zemt.cn](mailto:zhangyingchuan@zemt.cn)

#### 课题四：基于移动 5G 与无线时间敏感网络 WTSN 的列车控制技术研究

课题简介：

总体预期目标是实现基于移动 5G 与无线时间敏感网络 WTSN 的列车系统，该系统能够同时满足动车组、地铁、机车的设计要求。

主要研究内容：

(1) 5G 蜂窝定位技术与实现；

(2) 5G 通信设备到设备 (D2D) 技术与实现；

(3) TSN 技术与实现。

研究目标：

(1) 设计一款基于 5G/LTE 和 WIFI6 的无线控制终端样机；



- (2) 设计一款基于 5G/LTE 和 WIFI6 的 WLTBN 样机；
- (3) 掌握有线 TSN 路由器工作原理；
- (4) 掌握基于无线 TSN 路由器工作原理；
- (5) 设计一款具备 TSN 功能的设备终端 (WED\_TSN) 样机；
- (6) 搭建地面测试平台，实现基于 5G 与无线时间敏感网络 WTSN 的列车控制系统测试仿真。

提交成果：

- (1) 关键核心技术整套设计文件和软件；
- (2) 实物目标：一套基于移动 5G 与无线时间敏感网络 WTSN 的产品；
- (3) 发表 SCI/EI 论文 2 篇；
- (4) 专利 1 项。

课题经费额度：不超过 10 万元

计划年限： 1 年

项目联系人：张立斌 13998449233 [zhanglibin@crcgc.cc](mailto:zhanglibin@crcgc.cc)

## 课题五：基于振动的机车变流器故障诊断算法及模型开发

课题简介：

基于振动的机车变流器故障诊断技术在轨道交通领域都有着非常巨大的应用前景和发展空间，该技术具有早期发现、特征明显等优势。目前该技术在已相对成熟，通过合作引进成熟技术开展基于振动信号故障诊断研究，能快速实现技术攻关及应用，提升产品附加价值。

主要研究内容：

- (1) 振动故障特征提取和智能诊断算法研究；
- (2) 振动故障预警模型及专家数据库搭建；
- (3) 基于振动的故障诊断算法及模型软件开发。

研究目标：

建立针对牵引电机和风机的轴承的状态监测和故障诊断软件，软件需具备针对其余故障的扩展功能。掌握行业内主流的振动特征提取和智能诊断算法和相关的经验，并掌握算法自主开发能力。掌握故障诊断专家系统和设计和开发的流程及方法，并具备独自开发专家系统的能力。建立故障诊断系统工程化实现的能力。

提交成果：

- (1) 振动的故障诊断算法
- (2) 模型开发软件源码、测试报告
- (3) 发表 SCI/EI 论文 1 篇

课题经费额度：不超过 40 万元

计划年限：2 年

项目联系人：**臧晓斌** 15073336041 [zangxb@csrzc.com](mailto:zangxb@csrzc.com)

### 三、开放课题申请指南

1. 开放课题设“重点项目”和“一般项目”，各项目资助预算见各研究课题。国内外研究机构、大专院校中具有高级技术职称、博士学位和具有硕士学位的中级职称的科技工作者均可申请。

2. 申请者已承担一项在研开放课题且尚未结题的，不予受理。对申报人承担条件、课题申报流程和研究内容等有疑义的，请与联系各申报

课题联系人。

3. 开放课题的研究期限一般为 1~2 年，具体申报要求请参考《动车组和机车牵引与控制国家重点实验室开放课题管理办法》(附件 1)。

4. 申请采用网上下载中文申请书方式，申请者通过铁科院网站首页 (<http://www.rails.cn>) 登录“动车组和机车牵引与控制国家重点实验室开放课题项目申报”下载开放课题申请书(附件 2)。

5. 开放课题申请截止日为 2020 年 8 月 20 日(邮寄申请书以投递日邮戳为凭)。签字盖章的纸质申请书原件一式四份(附申请书电子版)统一提交到重点实验室管理部。

6. 通过最终审核的课题申请，将由动车组和机车牵引与控制国家重点实验室通知申请方并立项执行。

#### 四、联系方式

通讯地址：北京海淀区大柳树路 2 号铁科院机辆所 303 室

邮政编码：100081

联系人：邱羽

电话：010-51874935 18618264868

传真：010-51849263

电子邮箱：qiuyu@rails.cn