



申请代码	E050501
接收部门	
收件日期	
接收编号	5187050183



国家自然科学基金 申 请 书

(2018 版)

资助类别：	面上项目		
亚类说明：			
附注说明：			
项目名称：	基于深度神经网络的磨损颗粒智能识别与故障诊断技术研究		
申 请 人：	魏海军	电 话：	021-38282988
依托单位：	上海海事大学		
通讯地址：	上海市浦东新区 海港大道1550号 上海海事大学		
邮政编码：	201306	单位电话：	021-38284339
电子邮箱：	hjwei@shmtu.edu.cn		
申报日期：	2018年03月01日		

国家自然科学基金委员会



基本信息

申请人信息	姓名	魏海军	性别	男	出生年月	1971年07月	民族	汉族
	学位	博士	职称	教授	每年工作时间（月）		6	
	是否在站博士后	否		电子邮箱	hjwei@shmtu.edu.cn			
	电话	021-38282988		国别或地区	中国			
	个人通讯地址	上海市浦东新区 海港大道1550号 上海海事大学						
	工作单位	上海海事大学/商船学院						
	主要研究领域							
依托单位信息	名称	上海海事大学						
	联系人	郑爱兵		电子邮箱	abzheng@shmtu.edu.cn			
	电话	021-38284339		网站地址	www.shmtu.edu.cn			
合作研究单位信息	单位名称							
项目基本信息	项目名称	基于深度神经网络的磨损颗粒智能识别与故障诊断技术研究						
	英文名称	The research of auto-classification of wear particles and fault diagnosis techniques based on deep neural network						
	资助类别	面上项目			亚类说明			
	附注说明							
	申请代码	E050501. 机械摩擦、磨损与控制			F060611. 交叉学科中的人工智能问题			
	基地类别							
	研究期限	2019年01月01日 -- 2022年12月31日			研究方向：其他研究方向			
	申请直接费用	60. 2000万元						
中文关键词		磨损颗粒分析；深度神经网络；智能机械；在线铁谱技术						
英文关键词		Wear particle analysis; deep neural network; intelligent machine; on-line ferrography						



中 文 摘 要	<p>铁谱技术通过对机械润滑系统中的磨损颗粒进行分析，可为机械设备的状态监测和故障诊断提供依据。铁谱磨粒图像的智能识别可改善其耗时、依赖人工经验等缺点，使机械设备在线监测和故障诊断成为可能。本项目意在研究磨损颗粒智能分类方法及其计算机实现，拟将深度神经网络引入到铁谱磨损颗粒智能识别和故障诊断研究中，以严重滑动颗粒、层状颗粒、疲劳块状颗粒等相似度较高的非正常磨损颗粒作为研究对象，运用特征可视化技术分析深度神经网络的特征表达模式；结合交叉验证最佳化训练策略和结构设计，开展关于深度学习神经网络的基本模块、预训练方法、正则化方法等核心问题的研究，解决铁谱图像背景复杂、颗粒重叠等制约磨粒智能识别的瓶颈问题，最终形成一套适用于铁谱图像的深度学习神经网络架构和配套的训练方法理论，实现铁谱图像的高速、精准的识别，为未来机械设备摩擦状态在线监测提供技术依据，项目开展对于我国大飞机和大船关键机械装置的状态监测有重要的意义。</p>
英 文 摘 要	<p>This project aims to study the wear particles' auto-classification method and its computer implementation, the deep neural network is introduced into the ferrography wear particles' intelligent recognition and fault diagnosis research. Taking large similar particles such as severe sliding particles, laminar particles and fatigue particles as the main objects, this research use feature visualization technology to analyze the expression patterns of deep neural network; The research of training strategy and structure design is carried out with cross validation. The core study will focus on basic block test, pre-training method test and regularization method test to solve bottleneck problem of wear particles' identification such as complicated background and overlapping particles. Eventually this study will form a deep neural network framework together with the theory of training suited for ferrography images exclusively and achieves high speed and precision, Therefore provide valuable technical basis for future mechanical on-line state monitoring, meanwhile, the project is of great significance to country's great ship and plane's core mechanical system.</p>



项目组主要参与者（注：项目组主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	单位名称	电话	电子邮箱	证件号码	每年工作 时间（月）
1	魏立队	1975-03-08	男	讲师	博士	上海海事大学	13817329001	weilidui@163.com	410522197503083711	6
2	李精明	1981-05-18	男	讲师	硕士	上海海事大学	15021987066	jmli@shmtu.edu.cn	350725198105182018	8
3	杨智远	1980-12-20	男	讲师	硕士	上海海事大学	13818021269	yangzy@shmtu.edu.cn	320322198012203434	8
4	刘竑	1990-01-24	男	博士生	硕士	上海海事大学	15618961126	saoliuhong@126.com	140109199001240511	10
5	安超	1994-10-20	男	硕士生	硕士	上海海事大学	15002164843	920420738@qq.com	622824199410201693	10
6	张武龙	1992-06-13	男	硕士生	硕士	上海海事大学	18117013726	865390159@qq.com	14022519920613251x	10
7	李文浩	1991-06-23	男	硕士生	硕士	上海海事大学	13120759386	596947064@qq.com	372926199106234518	10

总人数	高级	中级	初级	博士后	博士生	硕士生
8	1	3			1	3



国家自然科学基金项目资金预算表（定额补助）

项目申请号：5187050183

项目负责人：魏海军

金额单位：万元

序号	科目名称	金额
	(1)	(2)
1	一、项目直接费用	60.2000
2	1、设备费	4.5000
3	(1)设备购置费	4.50
4	(2)设备试制费	0.0000
5	(3)设备改造与租赁费	0.0000
6	2、材料费	19.10
7	3、测试化验加工费	11.00
8	4、燃料动力费	0.0000
9	5、差旅/会议/国际合作与交流费	9.60
10	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	5.60
11	7、劳务费	9.60
12	8、专家咨询费	0.80
13	9、其他支出	0.0000
14	二、自筹资金来源	0.0000



预算说明书（定额补助）

<p>（请按《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》中的要求，对各项支出的主要用途和测算理由及合作研究外拨资金、单价≥10万元的设备费等内容进行详细说明，可根据需要另加附页。）</p> <p>1、试制设备费</p> <p>高性能深度学习架构电脑一台。小计 4.5 万元。</p> <p>2、材料费</p> <p>（1）油液污染度检测专用标准油样（20 种），3.5 万元/套，1 套，计 3.5 万元；</p> <p>（2）油液污染度检测用谱片、试管、药剂等耗材，计 4 万元；</p> <p>（3）实验用油，2.8 万元/吨，2 吨，计 5.6 万元；</p> <p>（4）摩擦磨损试验机用摩擦试件，5000 元/套，12 套，计 6 万元。</p> <p>材料费合计：19.1 万元。</p> <p>3、测试化验加工费</p> <p>（1）油品性能测试需要专业机构进行样品检测认证，油液取 30 个样品，单个样品检测分析费用 0.1 万元，计 3 万元；</p> <p>（2）摩擦磨损试验机试样材料力学性能、材料性能测试费，样品数量为 20 个，单个样品检测分析费用 0.2 万元，计 4 万元；</p> <p>（3）铁谱磨粒摩擦磨损试验台加工，费用 4 万元。</p> <p>小计：11 万元</p> <p>4、差旅费</p> <p>用于课题研究过程中课题人员进行调研、实验、参加相关学术交流与研讨会等的外埠差旅费、市内交通费。</p> <p>测算方法和依据：</p> <p>（1）参与课题的人员赴国外相关科研机构进行课题调研等，按每次平均 3 天，每次 2 人，共 1 次，共计 6 人次，差旅费 4000 元/人次计算，计 2.4 万元；</p> <p>（2）参加机械行业，人工智能领域等学术会议，四年共 2 次，每次 3 人，4 年合计 6 人次，按平均每人次 2000 元计，计 1.2 万元。</p> <p>差旅费合计：3.6 万元。</p> <p>5、会议费</p> <p>定期组织项目组成员参加国内学术交流会议，4 年共 2 次，每次 3 人，每次 3 天，每天会务费 2000 元，计 3.6 万元；</p> <p>赴国外参加人工智能领域会议一次，1.2 万元/人次，2 人次，计 2.4 万元；</p> <p>会议费合计：6 万元。</p> <p>6、国际合作与交流费</p> <p>7、出版/文献/信息传播/知识产权事务费</p> <p>支出的主要用途：支付本课题研究论文发表、文献检索、专利查新等费用。测算方法和依据：</p> <p>（1）SCI/EI 论文版面费：平均 0.8 万/篇，5 篇，计 4 万元；</p> <p>（2）中外文图书购买：平均 0.01 万/本，10 本，计 0.1 万元；</p> <p>（3）资料印刷、复印、邮寄通讯费：0.5 万元；</p> <p>（4）专利申请、知识产权事务费，每项专利申请费用按 0.5 万元计，预计申请 1 项专利，1 项软件著作权，计 1 万元；</p> <p>出版/文献/信息传播/知识产权事务费合计：5.6 万元。</p> <p>8、劳务费</p> <p>参加课题研究工作的研究生 3 人，博士生 1 人，平均每人 600 元/月，4 年内总共工作时间 160 月，计 9.6 万元。</p> <p>9、专家咨询费</p> <p>组织课题咨询会2次，每次1天，每次邀请高级专家5人，按每人每天800元计；计0.8万元；</p>
--



报告正文

参照以下提纲撰写，要求内容翔实、清晰，层次分明，标题突出。
请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。

（一）立项依据与研究内容（建议 8000 字以下）：

1. 项目的立项依据（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）；

1.1 研究意义

状态监测和故障诊断是目前机械设备维护的主流发展趋势，目的是在花费最小的情况下最大化延长机械设备寿命，并避免发生灾难性事故。该技术目前主要应用领域包括精密复杂的大型机械如飞机或船舶发动机、运行工况恶劣导致故障频发的大型机械如大型液压机、海上钻井平台设备等。在倡导绿色机械、智能化机械的今天，实现重要机械设备的实时在线状态检测对于确保其安全可靠运转，特别是对于我国大船及大飞机的安全可靠运转有着极其重要的意义。

油液检测作为一种无损检测技术，一方面可以为机械设备选择正确的润滑油以及延长设备换油周期，减少不必要的定期维修；另一方面能及时预报潜在故障以避免灾难性事故。作为一种极其有效的状态监测和故障诊断技术，油液监测技术受到了国内外学者的广泛关注。其中，铁谱分析是一门对润滑系统中的磨损颗粒进行提取、观察，通过其数量、大小、形状和纹理等方面判断摩擦副润滑状况、磨损机理及磨损剧烈程度的技术。与光谱、铁磁塞等油液检测技术相比，具有前瞻性强、磨粒检测范围大、直接反映主要磨损机理等优点。但是铁谱分析需要人工对显微镜下的微小颗粒进行测量分析统计分类，该工作不仅依赖专家经验、且耗时长、枯燥、可靠性差，上述缺点都严重制约了铁谱技术的推广应用。铁谱磨粒图像的智能识别是目前铁谱技术发展的技术瓶颈，因此，如何实现铁谱磨粒的智能识别，是实现机械设备实时、在线监测和故障诊断的核心和基础，在提升机械设备可



靠性和经济性两方面均有重要意义。

近年来, 深度神经网络蓬勃发展, 在图像物体检测和识别等任务中表现优异, 较传统机器学习方法有识别准确率高、泛用性强等优点。因而, 应开展运用深度神经网络实现铁谱磨粒图像智能识别的研究, 为故障诊断信息化和机械状态实时监测提供理论依据和技术支持, 是一项兼具理论意义和工程实用价值的课题。

1.2 国内外研究现状及发展动态分析

1、 磨损颗粒智能识别的发展动态分析

1970 年第一台铁谱仪诞生使得磨粒可以从油液中被提取出并放置到显微镜下被观察分类, 掀起了磨损颗粒形态学研究的热潮。摩擦学家对不同磨损状态下的磨粒进行了大量研究, 并总结了至少 6 种形态学上的特征, 例如磨粒尺寸、形状、边界细节、颜色、厚度长度比例以及表面纹理^[1,2]。近年里才趋向于将磨损颗粒分为主要的 6 种: 正常滑动颗粒、严重滑动磨粒、切削颗粒、球状颗粒、块状颗粒和层状颗粒。

铁谱分析技术具有信息量大、反映磨损模式、实时性强等优点, 但是极其依赖工程人员经验、操作复杂、分析耗时, 图 1 中显示了铁谱图像中的磨损颗粒。国内外摩擦学家普遍认为磨损颗粒智能识别是铁谱技术推广应用, 实现在线化监测的唯一出路^[3], 为此进行了大量研究:

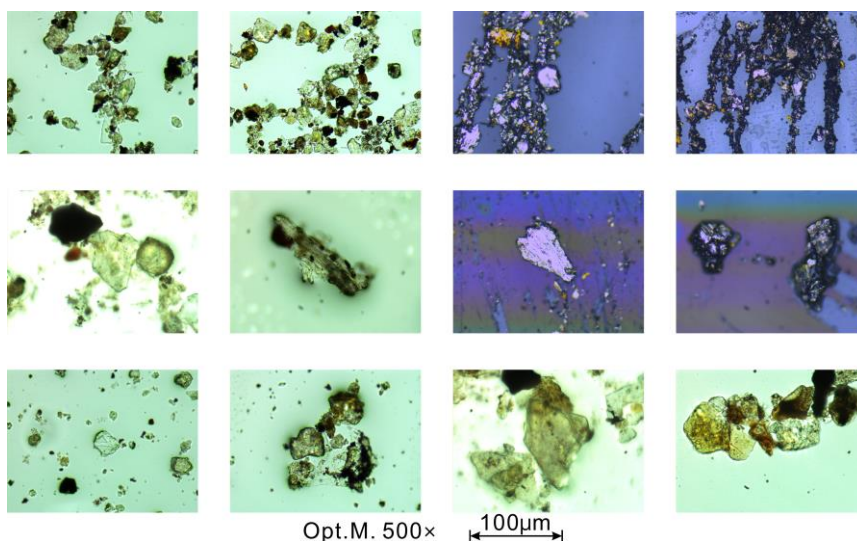


图 1 典型铁谱磨粒图像



国外的研究发展较早,在 1982 年斯旺西国际摩擦会议之后,铁谱技术广泛应用于冶金、石油开采、车辆船舶等设备的无损检测。为了建立了飞机引擎状态监测,英国国防部采购局、英国皇家空军、QinetiQ 公司和威尔士斯旺西大学的摩擦学和状态监测小组^[2]进行了大约十年的联合研究,开发了 computer aided vision engineering 系统,简称 CAVE^[4,5]。CAVE 使用磨粒轮廓的傅里叶变换以及曲率作为神经网络的输入以实现磨粒自动分类,但是 CAVE 不能正确分类重叠的颗粒,而且系统操作复杂,最终不能胜任飞机引擎状态检测。经过 CAVE 研发人员不断研究和改进,SYCLOPS^[6]诞生了,用于直升机齿轮箱的早期故障预测。SYCLOPS 使用了图形界面进行人机交互,降低了对操作的要求,但是磨粒参数的输入仍然需要人工测量并输入到系统中,因而并不能完成自动识别。澳大利亚新南威尔士大学的 Peng. Z^[7,8,9]等人将灰色系统理论中的聚类分析技术和定权聚类技术用于磨粒的自动识别,在对磨粒图像的形态特征参数进行敏感性分析的基础上,确定了各参数的灰类白化权函数,并结合试验给出了各类特征参数的聚类权值。而后开发了磨粒识别的专家系统,大大减少了人工参与。但是此系统使用激光扫描共聚焦显微镜 (LSCM) 拍摄图像,目前没有任何使用 LSCM 能完成在线铁谱检测的证据,而且 LSCM 费用高昂,从经济性角度出发并不现实。

西澳大学的 G.W.Stachwiak 和 P. Podzialo^[10,11,12,13]小组对磨粒进行了十余年的研究,针对磨粒磨损、疲劳磨损和滑动磨损三大磨损形式的颗粒进行了形状、尺寸和纹理分析。该小组使用销盘磨损试验机生成切削颗粒和粘着磨损颗粒,使用齿轮磨损试验机 (FZG) 生成疲劳磨粒,并用扫描电镜进行观察和形态学分析处理。该小组第一次设置了不同的荷载用于生成不同磨损时期下的磨粒进行分类,并指出,磨合期和平稳期的颗粒用上述参数识别率很低。文献中指出:实用性强的分类系统依赖于包含不同工况、材料、摩擦副产生的各类磨粒的数据库。Stachwiak 等的研究较为充分,为国内外的研究奠定了基础。但是,该小组的图像皆由扫描电子显微镜采集。这就导致了两个问题:一是其使用的特征提取方法用于低分辨率光学传感器图像可能不适用;二是忽略了在线铁谱图像中的颗粒分割难题,如图 1 所示,铁谱



图像存在颗粒重叠堆积的问题使得单一颗粒的形态学特征测量难以完成。而且扫描电镜虽然可以拍摄高质量照片，但是式样的准备和拍摄条件（喷金，真空环境）都严重限制了其在线化检测的可能性。

国内方面，左洪福等^[14,15]运用 C-均值聚类方法实现了 8 类磨粒的有效聚类，并用实例表明了该方法的有效性。文献^[16]中还分别对 BP 神经网络的基本算法以及改进型进行了分析，采用了形态学描述子提取的特征输入参数的双 BP 神经网络，对它们应用于磨粒识别时的学习效率、精度等性能分别作了比较。然而这些研究仅对少量磨粒图像样本进行了参数提取，不具有代表性，且颜色、形状因子、尺寸等参数仍是人工测量并输入系统，并没有实现智能识别。

为了解决铁谱磨粒重叠堆积难以分割的问题，南京航空大学王静秋等^[17,18]使用了蚁群算法实现聚类提取了磨粒边缘，并与分水岭算法、K 均值聚类等传统方法进行了对比，研究表明蚁群算法对彩色图像的适应性较高，但是对图像需要进行人工阈值的选取预处理，因而不能达到完全的智能化分割。为了改善这一缺点，提出了一种评估分割的算法，用于指导智能化分割，但具体效果有待验证

西安交通大学的武通海团队^[19,20,21,22]对磨损颗粒的在线监测进行了大量研究，基于分水岭算法对灰度图像分割，并将其应用于齿轮箱的在线监测设备中，在磨粒提取和重叠颗粒的分离方面取得了一定进展。但该方法只能对背景较为单一且尺寸相近的磨粒进行分割，在面对小颗粒时无能为力，且在复杂油液背景下分水岭算法的效果会十分依赖于人工选取初始参数，因而很难做到自动分割。该团队自主开发了一套在线可视化铁谱（OLVF），并提出可视区域中颗粒覆盖面积和颗粒直径可以作为评判机械运转状态的指标，该研究对如何实现铁谱在线化提供了硬件设计思路，但是由于没有获取颗粒的形态学特征，因而不能准确反映磨损模式和磨损部位。在 OLVF 的基础上，Peng. Y 使用磨粒的三维特征，提出了一种混合的树形结构搜索来实现在线磨损颗粒的分类。研究表明颗粒的三维特征可以用于实现分类^[23,24,25]，但 OLVF 并不能直接得到磨粒的三维特征，而是通过颗粒随油液流动过程中旋转和位移来变相从多角度拍摄，最后通过复杂的算法重构出磨损颗粒的三维样貌，由于磨粒运动的随机性以及较短的



拍摄时间，这种重构出的伪三维图像的有效性还有待验证，且复杂的算法使其对图片的处理时间太久，因而不能做到实时监控。

综上所述，国内外对铁谱磨粒图像智能识别进行了大量的研究，基本实现了切削磨粒、球状磨粒、氧化物磨粒的识别。但基于机械设备磨粒数据的分类系统的实现仍存在许多问题，首先复杂磨粒的智能识别难，严重滑动颗粒、疲劳层状颗粒和块状颗粒等相似颗粒的辨识仍然是智能识别的技术瓶颈；其次，未有有效的算法能够解决铁谱图像中经常出现的颗粒重叠堆积以及复杂背景下的自动分割问题。

2、 深度神经网络的发展动态分析

人工神经网络（Artificial Neural Network）是对生物神经网络的一种模拟和近似，是由大量神经元相互连接而构成和自适应非线性动态网络系统。上世纪 50 年代末，Rosenblatt 提出了单层感知器模型，第一次把神经网络的研究付诸实践^[26]，但该模型不能解决线性不可分问题。直至 1986 年，Rumelhart 和 Hinton 等提出了一种按误差逆传播算法（Back Propagation），才解决了感知器的问题。由于在 90 年代后，各种浅层机器学习模型相继被提出，较经典的如支持向量机。而且当增加神经网络的层数时，传统 BP 网络会遇到局部最优、过拟合以及梯度扩散等问题，深度模型的研究被搁置。

2006 年，Hinton 等人在《Science》上发文，其主要观点有：1) 多隐藏层的人工神经网络具有优异的特征学习能力；2) 可通过“逐层预训练”来有效克服深度神经网络在训练上的困难，从此引出了深度学习（Deep learning）的研究，也掀起了人工神经网络的又一热潮，Bengio 系统地介绍了深度学习所包含的网络结构和学习方法。目前，常用的深度学习模型有深度置信网络、自动去噪编码器、卷积神经网络（CNN）等。随后，谷歌旗下公司 DeepMind 开发的 AlphaGo 以 5:0 战胜欧洲冠军棋手，也证明了其强大的潜力。

深度神经网络在图像识别中的应用非常广泛，主要运用的模型是卷积神经网络（CNN）^[27,28,29]，卷积神经网络的局部连接、权值共享及池化操作等特性使之可以有效的降低网络的复杂度，减少训练参数



的数目，使模型对平移、扭曲、缩放具有一定程度的不变性，并具有强鲁棒性和容错能力，且易于训练和优化网络结构。早在上世纪 80、90 年代，CNN 就在手写数字识别中表现优异。然而此时的 CNN 只适合做小图片的识别。直至 2012 年，Krizhevsky 等使用拓展了深度的 CNN 在 ImageNet 大规模视觉识别挑战竞赛 (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, LSVRC) 中取得了当时最佳的分类效果。自此，在大小图像识别赛事中，夺冠的均为深度神经网络模型。

而基于 CNN，深度神经网络在图像分割任务中的效果近年来也极大的改善。这些进步主要归功于 Fast/Faster RCNN 以及 Fully Convolutional Network (FCN) ^[30,31,32] 等基本框架的提出和发展。这些方法不仅在概念上参考生物视觉的概念，拥有很好的鲁棒性和可塑性。目前相关研究的主要致力于解决即时分割问题，即时分割的挑战性在于准确的检测到图像中的所有目标且能准确地分割出每一个对象，这就结合了传统的目标检测和目标分割两个任务，前者是检测目标的类别并用围盒 (bounding box) 进行定位，后者则侧重于将图像中的每一个像素进行分类标记。

综上所述，深度学习在解决图像分割和图像识别等任务的能力十分强大，且已经在许多领域进入实用化阶段。

3、 基于深度神经网络的磨损颗粒智能识别研究

目前大多数关于铁谱磨粒图像智能分类的研究提取了磨粒的二维或甚至三维形态特征，但仍有以下两个主要问题：

(1) 研究者们使用的特征并不能清楚的反映各类磨粒的纹理特质，因而难以对相似度高的复杂颗粒进行分类，严重滑动颗粒、层状颗粒、疲劳块状颗粒以及滑动滚动混合颗粒的辨识仍然是技术瓶颈；

(2) 铁谱图像是一类特殊的显微图像，背景布满小颗粒，颗粒之间时常重叠，边界模糊，没有有效的算法能够解决铁谱图像的自动分割问题。

而深度神经网络，尤其是近年来发展的卷积神经网络相关的模型，非常适用于解决上述两个问题，首先，深度神经网络将原始数据直接输入到网络中，然后隐性地从训练数据中进行网络学习，避免了



手工提取特征。这就很好的解决了上述问题（1），因为磨损颗粒表面纹理十分复杂，布满坑洞、划痕、皱褶，这些特征用手动设计的算法进行提取是不现实的，在合适的训练算法下，让拥有上万个参数的深度神经网络自动提取则更有可行性。且深度神经网络在LSVRC比赛中对1000种物体分类的错误率低于5%，也证明了其在处理分类问题中的强大能力。其次，深度神经网络的图像分割效果近年来突飞猛进，图2中给出了运用Mask-RCNN对照片中物体的分割结果，可以看到其在处理重叠人像时几乎没有犯错，因而其对重叠的颗粒分割能力值得期待。而在左下角的图中，远方的人也被成功检测分割了出来，这与铁谱图像中背景中布满小颗粒的情况十分类似。因此，深度神经网络适用于解决上述问题（2）。

综上所述，深度神经网络应用于铁谱磨粒智能识别有广阔的前景。然而，到目前为止，国内外关于研究深度神经网络实现磨粒智能识别的研究仍为空白。因此，应开展深度神经网络实现磨粒图像智能识别的研究，开发适用于磨粒图像分割分类的深度网络总体结构、与之配套的训练算法以及模块结构、权重初始化方法、正则化方法等细节问题，解决铁谱图像背景复杂、颗粒重叠等制约铁谱磨粒智能识别的瓶颈问题，最终形成一整套适用于铁谱磨粒的智能分类流程。为以后的机械摩擦状态在线监测装备设计提供方向性和系统性理论依据。



图2 Mask-RCNN对复杂图像的分割结果



参考文献:

- [1] Raadnui, S. (2005). "Wear particle analysis – utilization of quantitative computer image analysis: A review." *Tribology International* 38,871-878.
- [2] Roylance, B.J.; Williams J.A.;Dwyer-Joyce,R.(2000) “Wear debris and associated wear phenomena-fundamental research and practice” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, J: Journal of Engineering Tribology*, 214 (1), 79-106
- [3] Kowandy C, Richard C, Chen YM, Tessier JJ. (2007), "Correlation between the tribological behaviour and wear particle morphology—case of grey cast iron 250 versus Graphite and PTFE." *Wear: an international journal on the science and technology of friction lubrication and wear*,262(7-8), 996-1006
- [4] Leavers, V.F.(2007), V41 Particles Ltd., “Classifying Wear Debris Particles with Automatic Image Analysis”, *Practicing Oil Analysis*,
- [5] Xu K.; Luxmoore, A.R. (1997), "An integrated system for automatic wear particle analysis." *Wear* 208,184-193.
- [6] Khan, M.A.; Starr, A.G.; Cooper, D. (2007), "Academic and commercial efforts in Wear Debris Analysis Automation (WDAA)". *Insight* 49(12).
- [7] Peng, Z. (2001), "Wear-debris analysis in expert systems." *Tribology letters* 11.3,177-184.
- [8] Peng, Z.; Goodwin, S. (2001), “The development of an expert system for wear debris analysis”, *DSTO International Conference on Health and Usage Monitoring*, Melbourne, February 19-20,
- [9]. Peng, Z.; Kirk T. B. (1999), "Wear particle classification in a fuzzy grey system." *Wear* 225-229: 1238-1247.
- [10].Stachowiak GP, Stachowiak GW, Podsiadlo. P. (2008), Automated classification of wear particles based on their surface texture and shape features. *Tribology International*. 41(1):34-43
- [11].Stachowiak GP, Podsiadlo P, Stachowiak GW. (2006), Evaluation of methods for reduction of surface texture features. *Tribology Letters*. 22(2):151-65
- [12].Stachowiak GW,Podsiadlo P. (2006), Towards the development of an automated wear particle classification system. *Tribology International*. 39(12):1615-23
- [13].Stachowiak GP, Podsiadlo P, Stachowiak GW. (2005), A Comparison of Texture Feature Extraction Methods for Machine Condition Monitoring and Failure Analysis. *Tribology Letters*.
- [14].左洪福, 吴振峰. (2000), 双 BP 神经网络在磨损颗粒自动识别中的应用. *航空学报*,21(4):372-375
- [15].陈国, 左洪福. (2002), 润滑油金属磨粒的分类参数研究. *航空学报*, 23(3):279-281
- [16].王伟华, 殷勇辉, 王成焄. (2003), 基于径向基函数神经网络的磨粒识别系统. *摩擦学学报*, 23 (4) :340-343.
- [17].Wang J, Zhang L, Lu F, Wang X. (2014), The segmentation of wear particles in ferrograph images based on an improved ant colony algorithm. *Wear : an international journal on the science and technology of friction lubrication and*



wear. 311(1-2):123-9

- [18]. Wang, Jingqiu, Bi, Ju. (2018), A non-reference evaluation method for edge detection of wear particles in ferrograph images. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 100,863:876
- [19] Y.P. Peng, T.H. Wu, S. Wang, Z. Peng, (2017), Wear state identification using dynamic features of wear debris for on-line purpose, *Wear* 376–377, 1885–1891.
- [20] T.H. Wu, H.K. Wu, Y. Du, Z. Peng, (2013), Progress and trend of sensor technology for online oil monitoring, *Sci. China Technol. Sci.* 56,2914–2926.
- [21] T.H. Wu, J.Q. Wang, Y.P. Peng, Y.L. Zhang. (2012), Description of wear debris from on-line ferrograph images by their statistical color, *Tribol. Trans.* 55 606–614.
- [22] T.H. Wu, Y.P. Peng, C.X. Sheng. (2014), J.Y. Wu, Intelligent identification of wear mechanism via on-line ferrograph images, *Mech. Eng.* 27,411–417.
- [23] Y.Tian, J.Wang, Z.Peng, X.Jiang, (2012), A new approach to numerical characterisation of wear particles surfaces in three-dimensions for wear study, *Wear* 282,59–68.
- [24] G. Stachowiak, P. Podsiadlo, (2006), Shape and texture features in the automated classification of adhesive and abrasive wear particles, *Tribol. Int.* 24(1) 15–26.
- [25] L.G. Gladkiss, H. Timmers, J.M. Scarvell, P.N. Smith, (2011), Detailed three-dimensional size and shape characterisation of fuhrmwp wear debris, *Wear* 270(7) 455–463.
- [26] Frank Rosenblatt. (1958), The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*. 65(6): 386-408
- [27] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition,” in *CVPR*, 2016.
- [28] S. Levine, C. Finn, T. Darrell, and P. Abbeel, (2016), “End-to-end training of deep visuomotor policies,” *Journal of Machine Learning Research*, (17), 39, 1–40,.
- [29] T. N. Sainath, A.-r. Mohamed, B. Kingsbury, and B. Ramabhadran, “Deep convolutional neural networks for LVCSR,” in *ICASSP*, 2013.
- [30] J. Dai, K. He, and J. Sun. Instance-aware semantic segmentation via multi-task network cascades. In *CVPR*, 2016.
- [31] J. Dai, Y. Li, K. He, and J. Sun. R-FCN: Object detection via region-based fully convolutional networks. In *NIPS*, 2016.
- [32] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *CVPR*, 2014.

2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

2.1 研究内容

结合深度学习领域的研究成果，依托现有磨粒图像样本库及实验室控制条件下获得的磨粒图像，以严重滑动颗粒、层状颗粒、疲劳块



状颗粒等大型相似磨粒作为重点研究对象,开展对磨粒智能分类方法的深入研究:针对铁谱图像背景复杂、颗粒重叠的特点,开展关于深度网络模型的基本骨架结构和模块链接方式、先验知识辅助输入的有效性验证,预训练方法和正则化方法等核心问题的研究,解决铁谱磨粒图像中颗粒重叠覆盖导致的难以自动分割、相似颗粒形态复杂导致识别准确率低下、深度神经网络难以训练、模型容易发生拟合等问题。申请人和课题组在完成图像样本的采集和数据库建立后,拟在以下几方面开展研究

(1) 以 Mask-RCNN 作为框架,开展深度神经网络的结构研究。

①深度神经网络由最小单元模块组成,采用交叉验证优化神经网络中卷积层的模块结构。

②研究模块间连接方式和数据流的变化对分割效果和识别精度的影响。

③研究适用于铁谱磨粒图像的卷积网络深度,使之对磨损颗粒图像具有最强特征表达能力。

(2) 先验知识对提升神经网络分割效果的有效性研究。

①磨损颗粒聚合重叠现象严重,探究传统算法中对分割重叠物体较为有效的特征的加入对神经网络训练和测试的影响。

②运用特征可视化技术分析在卷积层中的不同位置插入先验知识后,深度神经网络在特征寻找方面的变化,以实现最佳信息融合。

(3) 神经网络的训练方法研究。

①深度网络参数的初始化和预训练方法研究。

②交叉验证各类参数,优化整个深度神经网络。运用深度网络特征可视化技术研究正则化方法应用于不同类型模块和连接方式的规律。

2.2 研究目标

(1) 通过一系列试验建立适用于磨损颗粒实时检测的深度神经网络结构,为磨损颗粒自动识别问题提炼出有效模型。

(2) 优化网络的训练方法,研究先验知识对识别的影响,完成准确分割并识别疲劳块状磨粒、层状颗粒、严重滑动磨粒以及滑动滚



动混合颗粒的任务，为铁谱在线化应用提供技术支持。

(3) 通过特征可视化技术总结深度神经网络在磨损颗粒识别中的基本规律，为纹理图像分类问题提供依据。

2.3 拟解决关键问题

(1) 从背景中实时准确分割出所有单个磨粒是一个图像分割难题。因显微图像背景复杂，颗粒边界模糊，导致传统的分水岭算法、阈值分割、边界算子等方法时常导致欠分割或过度分割。在运用深度神经网络解决分割问题时，先验知识输入、模块的连接方法对分割的准确性会有显著的影响，为此需要进行大量的试验。为了达到实时的检测速度，整体的结构和相应的训练策略又需要最大程度的优化，否则对机械设备在线监测的意义就会大大降低，同时保证精度和速度是本次研究面临的最大挑战。

(2) 实现疲劳块状磨粒、层状颗粒以及严重滑动磨粒等非正常磨损大颗粒的精确识别是本项目的关键问题。与主流的图像识别任务不同，磨损颗粒的分类并无可以参考的案例，所有参数都需要从零开始测试分析，如何运用卷积神经网络提取以纹理特征为中心的特征向量，通过何种预训练方法和正则化方法能保证深度网络不会发生过拟合且保证识别准确率，如何设置学习率和误差函数，这类细节对于缺乏完善理论支持的深度神经网络既是技术细节，也是重要科学问题，会极大影响识别的准确率。

3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

3.1 研究方案

根据以上研究内容，结合本项目的研究目标，本项目的整体技术路线如图 3 所示。本项目的研究方案包括：

结合已有的磨损颗粒图像样本，加上实验室严格控制温度、荷载、转速条件下的摩擦磨损试验机，以及不同工况下的船用发动机、齿轮箱及轴承台架试验采集不同磨损机理、不同磨损烈度下的磨粒图像，使用人工标记颗粒类型和边界后的图片作为训练和测试样本，开展对

深度神经网络总体结构模型设计、先验知识对分割质量的影响以及神经网络的训练方法、正则化方法等关键问题的全面深入研究，最终实现磨粒即时且准确的智能识别。其中，人工对图像中颗粒边界标注的工作量较大，是前期的基础工作；而深度网络的结构设计、模块和连接方式研究、训练和正则化方法等细节则需要反复的交叉验证，则是本项目的研究核心；具体技术路线如图 3 所示：

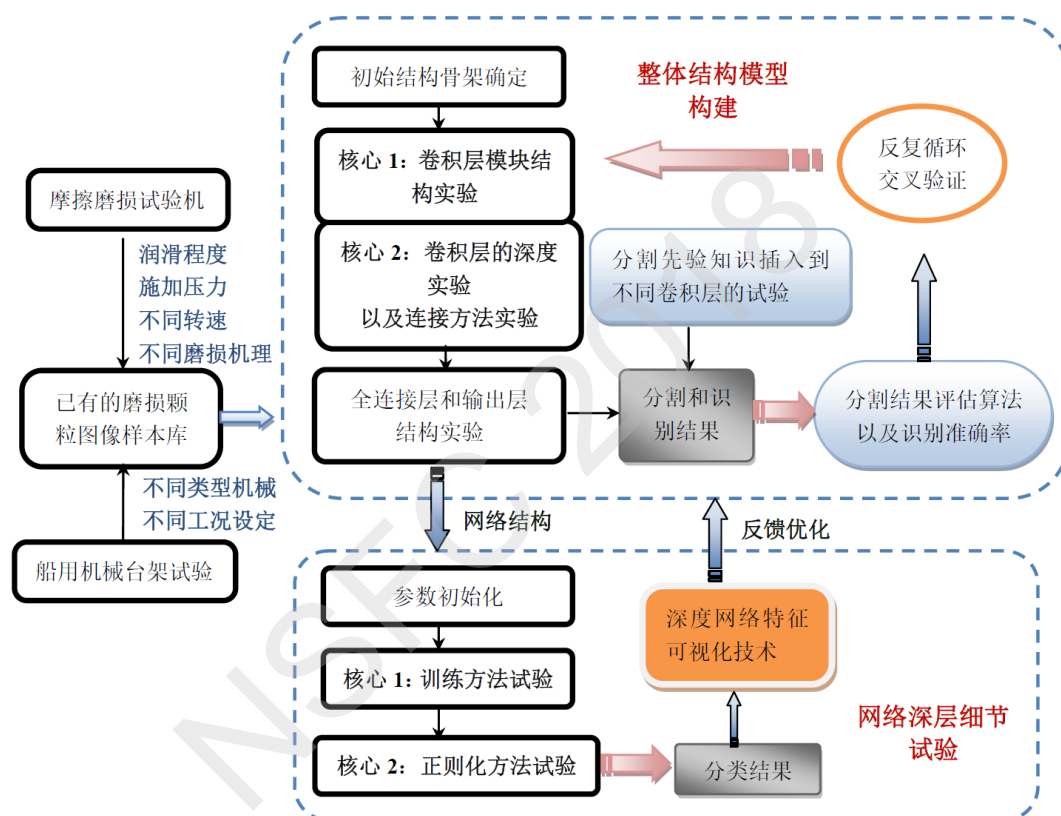


图 3 项目总体技术路线图

(1) 铁谱磨粒图库的建立

本研究需要建立在严格控制下的样本采集基础上，通过实验室严格控制温度、荷载、转速条件下的摩擦磨损试验机，制造不同磨损机理下不同磨损剧烈程度下的各类磨粒，如图 4 所示。其中，销盘磨损机主要用于生成粘着磨损颗粒，荷载分别为 150N，300N，450N，对应转速为 900rpm，其中高档位的设计是为了生成严重滑动磨损颗粒，转头和转盘材料拟分别使用不锈钢和低碳钢，经过一系列实验，这种参数设定不容易产生局部咬死。疲劳颗粒的生成则用 4 球磨损测试



仪，最大荷载和转速分别设定为 1800N 和 300rpm。混合型颗粒则用标准齿轮测试机生成，齿轮机在不同荷载下，分别运转 4 个 20 分钟度过咬合期，在此基础上将齿轮机在较高荷载下连续工作 20h，每两小时取样本，收集不同时间段的疲劳颗粒。所有机械开机时保持实验室相对湿度 50%，温度 22° 左右。

另一方面，进行船用发动机、齿轮箱及轴承多工况台架试验，除正常工况，另外通过减少进油量，增大负荷以模拟恶劣润滑工况下的摩擦副运转，收集气缸油、齿轮箱油以及轴承润滑系统油中的磨损颗粒。

收集好颗粒样本后，用直读铁谱仪进行制谱，光学显微镜进行图像拍摄，并人工进行分类以及边界标注（此步骤工作量极大）以建立详实、可靠完善的磨损颗粒图像数据库，数据库可以通过**磨损机理**和**磨损剧烈程度**两个标签共进行查找。其中磨损机理分为粘着磨损、疲劳磨损、混合磨损三大类，磨损剧烈程度则分为：正常，边界润滑，严重磨损三大类，总共研究的磨损颗粒类型为 9 个小类。主要研究对象则是 20 μm 以上的非正常大型磨损颗粒，包括疲劳块状磨粒、层状颗粒、严重滑动磨粒以及滚动滑动混合型颗粒因为这类颗粒相似度很高，是自动识别的难点。

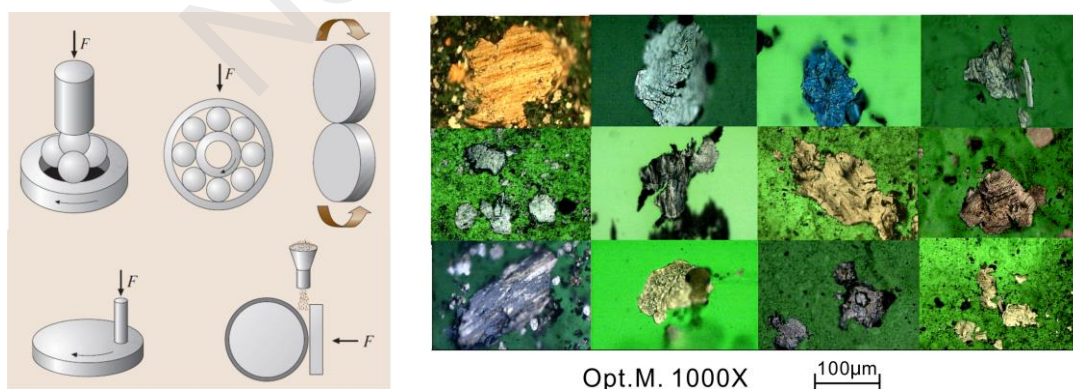


图 4 磨损试验机和磨粒图像采集示意图

(2) 深度神经网络结构研究

深度神经网络的结构研究是本项目的核心研究，一个适用于铁谱磨粒图像的深度神经网络需要具有以下 3 个特征：



- 显微图像背景复杂，颗粒边界模糊等情况的分割效果较好；
- 对纹理特征提取能力强，可实现疲劳块状磨粒、混合磨损机理颗粒以及严重滑动磨粒等相似颗粒的准确识别；
- 保证检测速度，即时识别是磨损颗粒在线化检测的必要条件。

为了得到符合上述特点的网络模型，具体研究方案如下：

- ①确立骨架，Mask-RCNN 基本框架如图 5 所示，整体结构应分为输入层、卷积层、全连接层和输出层，其中输入层为原始图像，卷积层则兼具磨粒分类和图像分割两方面的特征提取，为最重要组成部分，基本框架结构如图 5 所示，全连接层用于卷积层和输出层的连接，输出层则需设置不同的目标函数并能同时输出分割后的结果和图像中各个磨损颗粒的类型；

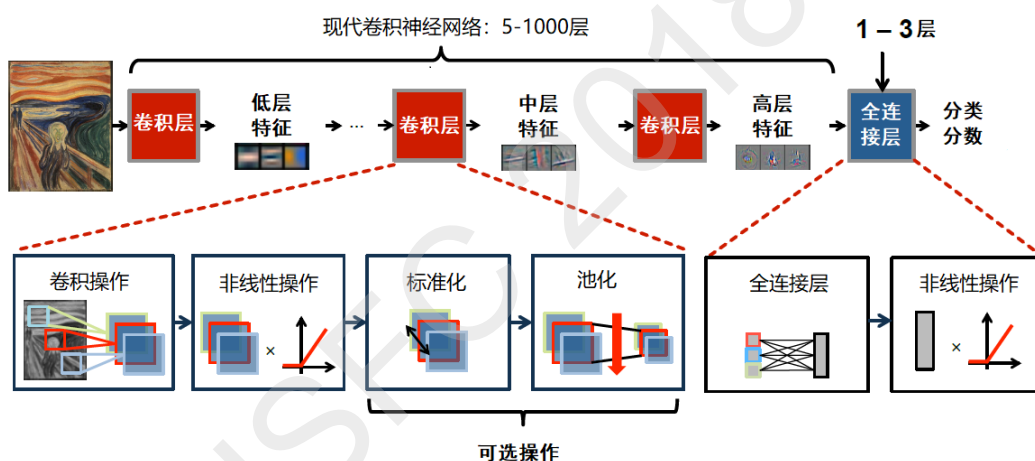


图 5 卷积神经网络的基本框架结构

- ②以卷积层的模块作为基本研究对象，开展模块的结构设计、模块间的连接方式的交叉验证。模块结构的实验对象包括残差神经网络模块、分形神经网络分形块、宽度神经网络的宽度，以及对应模块中卷积层滤波器的设计和池化层尺寸试验，三种模块的结构如图 6 所示。通过特征可视化技术研究不同网络结构和相应的连接方式和数据流传递理论；
- ③测试传统算法中的分割特征图，如 JSEG 中的 J-image，彩色图像梯度算子图等作为先验知识对神经网络输出精度的影响，通过插入特征图到卷积层中不同层作为输入，验证先验知识的有效性，主要针对提升分割效果；

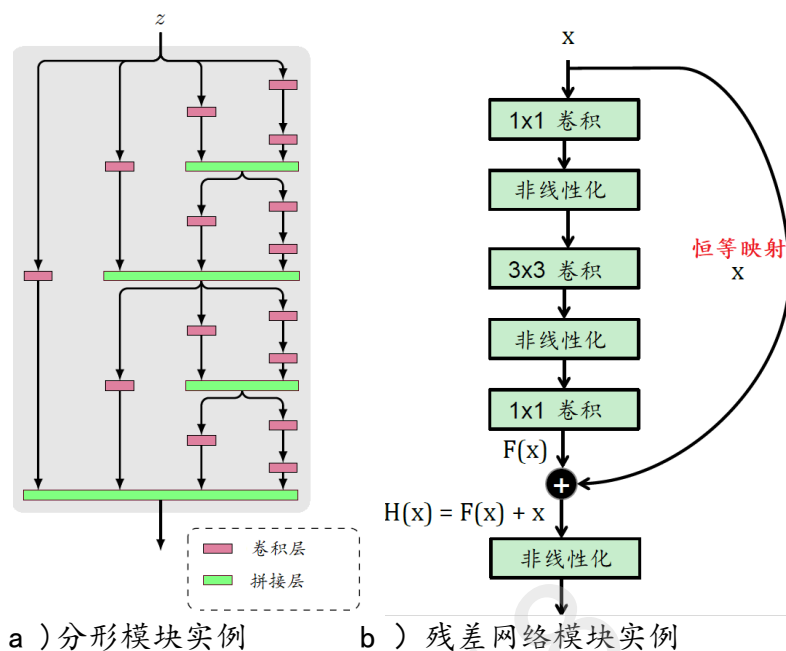


图6 开展研究的三种基本模块结构示例

- ④测试不同模块时，网络深度对分割以及分类效果的影响，其中分割效果与人工标记的边界做比较，分类效果通过分类准确率作为指标，寻找最适合磨粒图像的深度；
- ⑤根据分割和分类结果，重复步骤②-④进行循环交叉验证，达到局部最佳优化。

3) 通过特征可视化对神经网络模型的实现细节研究。

如前所述，深度神经网络目前缺乏完善的理论支持，仍处于发展阶段，通过特征可视化技术可以窥探神经网络的实现原理并反向优化网络以适应具体问题。对于深度神经网络而言，参数初始化方法，



训练方法以及正则化方法的选择不仅是技术细节，也是最重要的科学问题，具体研究路线如下：

- ①网络中参数的初始化和网络的预训练对后续深度网络的表现至关重要，对卷积层的每一层进行自动编码处理后，从数据库中每种类型的磨损颗粒选取最具代表性的 500 张作为预训练样本进行网络参数的微调。
- ②对不同的初始化策略和学习率进行分析，对输入层，中间层和全连接层进行特征可视化分析并改善特征提取的质量，保证在卷积层中，逐渐提取出诸如裂纹、坑洞、划痕等磨损颗粒表面纹理特质。
- ③规则化策略的研究。对三种规则化方法 batch normalization、weight decay 以及 dropout 等的有效性进行对比试验，并对每一种策略中的参数进行交叉验证评估，寻找最佳参数设定，防止过拟合的发生。
- ④重复步骤②-③，寻找局部最优化的策略以及对应的最佳参数，保证整个网络拥有强大的纹理特征表达能力的同时，不发生严重的过拟合。

3.2 可行性分析

(1) 国内外学者的成果为本项目的研究奠定了理论和技术基础

本项目是在综合国内外研究成果的基础上提出的，符合磨粒智能识别研究的发展趋势，具有良好的可行性。图像分割和智能识别技术一直是机器视觉领域的研究热点，而深度神经网络的出现大大提升了智能化分割识别的可能性，在近年来掀起一阵研究热潮，发展十分迅速。而本项目重点研究其中的卷积神经网络，并与摩擦学中的具体任务相结合，因而本项目的研究方法可以做到相对成熟。且本研究理论方法运用恰当，思路清晰，技术路线可行，从严格设置实验条件建立完备详实的数据库，到神经网络的实现中每一个细节的研究方案，均是参照人工智能科学中遇到的难点而设计，为解决具体而实际问题存在。



(2) 前期研究为本项目提供技术支撑。

项目围绕铁谱磨粒智能识别的问题,主要在即时检测分割识别的深度神经网络结构设计和通过特征可视化探索神经网络模型的细节实现两方面展开研究。目前针对上述研究已经开展了一定的工作,为本项目工作的开展提供了良好的理论基础和实验支持。

① 课题组从 2005 年开始就从已有的铁谱颗粒数据库和图谱中收集了大量典型磨粒,展开了对铁谱磨粒图像分割问题的研究。因为 Jseg 算法同时利用了图像的纹理和颜色两方面信息,因此课题组对 Jseg 以及其改进算法进行了研究,可以半智能化完成颗粒与背景色差大情况下的分割,初步证明了该算法的有效性。

② 课题组一直跟踪图像工程领域的最新成果,并应用于摩擦学研究领域。课题组运用了游走序列法以及分形维数的特征提取,并在疲劳磨损颗粒和严重滑动磨损颗粒两种复杂大尺度颗粒识别问题上取得一定进展。课题组开发的游走法运用在彩色图像中的思路可以用于解决特定磨粒的细致分类问题。

③在人工智能方法研究方面课题组已开展了一系列工作。对于磨粒图像,课题组对支持向量机、Alex-net、Res-net 等方法进行过大量试验。试验表明对于不同的网络以及不同的样本集合效果不同,网络实现中的细节对分割和分类结果影响极其显著。糟糕的初始化和正则化选取会让识别效果一落千丈。因而项目组十分注重网络实现中的每一个具体实现细节。

因此,本项目具有较好的前期研究基础,可为本项目研究提供技术支撑。虽然本项目的研究难度大,涉及知识面广,但本项目组成员有较强的科研能力,项目的研究方法合理,技术路线正确,对研究内容有较深入的了解,已经收集了大量的研究资料,在前期工作中对有关内容进行了初步的探索研究。申请者对项目有较系统和全面的把握,制定的研究内容具体、明确,可保证项目的顺利开展。

4. 本项目的特色与创新之处;

磨损颗粒智能识别的方法是目前国内外摩擦学学科的研究热点,长久以来虽然开展了基于图像工程领域和模式识别方法铁谱磨粒分



类研究,为磨粒智能化识别奠定了一定理论基础,但未形成基于大量样本的,针对磨粒图像特点的分割算法的和磨粒典型纹理的识别方法的系统性研究。而深度学习发展迅速的现如今,关于深度学习应用于这一工程问题的研究几乎为空白。本项目不仅探索深度神经网络中的最新研究成果应用于磨损颗粒图像即时检测的方法,并进行大量系统性的试验、交叉验证以及算法改进,还将进行对大量样本进行标记的工作,为以后基于数据驱动的人工智能应用于机械设备故障诊断打下基础。因此是一项开拓性前沿性研究工作,研究内容具有鲜明的创新性主要表现在:

(1) 首次引入深度神经网络对磨粒的彩色图像进行实时分割和分类,对神经网络的结构展开了深入研究的同时,对先验知识的有效性进行探索, 并对磨损颗粒的分类精度和检测速度同时提出标准。

(2) 提出用特征可视化技术反向解释深度模型的实现原理,针对磨损颗粒表面的坑洞、裂纹、划痕等具体特征微调神经网络的参数和训练策略,探索深度神经网络在纹理表达方面的细节,为将来所有纹理分类问题建立一个深度神经网络预训练模型,让以后的学者可以轻松进行迁移学习。

(3) 建立足够支持深度学习网络训练的数据库(预计原始图像样本达到 6000 张),在信息时代,磨损颗粒的信息非常不完善,数据库的建立除了能满足本项目的研究目标外,还能对磨损颗粒和磨损机理未来的研究提供数据,同时能金属纹理分类、金属检测等人工智能提供新的框架。

5. 年度研究计划及预期研究结果(包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等)。

2019 年

第一季度: 查阅文献调研,在前期预研的基础上将前期已开展实验室实验数据做进一步分析,制定研究方案和工作计划。

第二季度: 研究不同工况下的磨粒特征,用四球摩擦试验机和销盘摩擦试验机、齿轮磨损试验机、完成第一批实验室磨粒的收集工作。

第三季度: 跟随一次柴油机台架试验,收集第一批气缸油,并用



分析式铁谱仪和电子显微镜完成磨粒图像的样本收集整理工作。

第四季度：进行图片的分类和边界标注工作。计划选派课题参加 1 次国内学术交流活动。

2020 年

第一季度：开始搭建深度网络骨架，包括计算机硬件调试，系统搭建，用 python 实现 GPU 支持的程序。

第二季度：进行恶劣工况下的摩擦磨损试验机试验，进行第二波样本收集入库，完成神经网络骨架搭建。

第三季度：开始用少量样本测试初始深度网络骨架，进行系统的测试寻找程序漏洞，为之后研究打下基础。计划选派课题组成员参加 1 次人工智能前沿领域的国际学术交流活动

第四季度：进行第二波台架试验，收集齿轮箱油和系统油进行磨损颗粒图像收集，持续进行原有数据库里图像的标注。

2021 年

第一季度：持续完善数据库，开始测试 Res-net 和 fractal-net 模块的交叉验证工作，研究模块之间连接方式的优劣性。

第二季度：开展各类模块框架下，不同深度对分类和分割效果的影响，寻找最佳深度，保证具有强大的纹理特征表达能力。

第三季度：持续测试不同模块结构和连接方式的特征，完成数据库中的图像标注，计划举行 1 次国内学术交流活动。

第四季度：对模块进行循环交叉验证的同时，开始对传统分割方法中的特征作为先验知识的有效性进行探索。持续优化程序。

2022 年

第一季度：开始测试不同的预训练样本对分类精度的影响。依据特征可视化技术，微调神经网络参数，提高识别精度。

第二季度：交叉验证寻找不同正则化方法的最佳参数。不断优化网络的结构，持续优化代码，保证程序运行速度。

第三季度：结合之前的模块研究，测试最后的整体网络结构和训练方法，并进行各类组合的对比。

第四季度：对本研究进行全面总结，撰写结题报告，组织项目验收和鉴定。



（二）研究基础与工作条件

1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

本项目预研工作充分，项目组成员理论知识基础扎实，具有丰富的实践经验。课题申请人长期以来一直从事机械故障与诊断领域的研究工作，对国内外关于磨粒智能分类的研究进展熟悉，申请人通过国家自然科学基金面上项目“基于油液多信息融合的船舶动力系统故障诊断技术研究”，对铁谱磨粒的智能化识别进行一些有益的尝试，积累了一定的基础。之后申请参与了多个国家 863 项目，针对对现役机械设备的基于油液检测的故障诊断有较为深入和全面的研究。目前主持的上海市自然科学基金“基于表面纹理和人工智能的铁谱磨粒智能分类与故障诊断方法研究”，对传统方法中磨粒图像的分割方法以及纹理参数进行了大量的研究，为本项目的开展奠定了良好的基础。

（1）在磨粒图像分割方面的工作

课题组进行了对铁谱磨粒图像分割问题的研究。研究表明，由于背景复杂，颗粒重叠堆积，从原始铁谱图像中分割出单一磨粒并不容易。运用分水岭算法结合传统梯度算子边界搜索在排列较为松散的颗粒图像可以达到不错的效果，但较为密集或者背景有污染物情况下的图像则需要综合运用纹理和边界两方面的信息，例如运用边界加权处理的区域融合算法可以对堆积颗粒的分离有不错的效果。如前文所述，因为 Jseg 算法同时利用了图像的纹理和颜色两方面信息，因此课题组对 Jseg 以及其改进算法进行了研究，可以半智能化完成颗粒与背景色差大情况下的分割，初步证明了该算法的有效性。而对于颜色本身，不同的颜色空间选取以及不同色调加权处理课题组都进行过大量研究，如 Peer Group Filtering 等。

（2）在磨损颗粒纹理和形状特征提取方面的工作

课题组一直跟踪图像工程领域的最新成果，并应用于摩擦学研究领域。近年来，已有多位研究生从事最新纹理分割、纹理辨识的算法实现和改进，并运用 Brodatz 纹理特征库进行试验。对于磨粒纹理复杂程度的描述，课题组运用了游走序列法以及分形维数的特征提取，



并在疲劳磨损颗粒和严重滑动磨损颗粒两种复杂大尺度颗粒识别问题上取得一定进展。课题组开发的游走法运用在彩色图像中的思路以及针对严重滑动颗粒的直线边界检测等方法均可以用于解决磨粒的细致分类问题，并在国际期刊上发表了相关论文。

(3) 在人工智能方面开展的研究工作

课题组长期攻关故障信息的处理问题，故涉及到大量数据、特征、分类等问题，因而对模式识别方法开发有着大量的研究经验。对于磨粒图像，课题组对最小邻近法、K 均值聚类法以及支持向量机等方法进行过大量试验。面对高维特征向量，课题组对主成分分析、LDA 算法等传统算法同样进行过大量研究试验。课题组一直跟踪深度学习领域的最新成果，已经测试过 Alex-net、VGG-16 等经典深度网络的效果，在软件开发测试方面十分有经验。

2. 工作条件（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）；

上海海事大学商船学院现有 4 个实验室，8 个工程技术中心，其中 3 个通过中国船级社的认证；2 个轮机模拟器，并有较齐全的试验、测试设备，其中部分为进口的先进设备，具备了国内一流的、现代化的科学研究与高级专门人才培养的基础条件和设施。这些条件和设施提供了学术梯队的科研条件，为承担重大科研项目和培养更多更符合海上运输事业发展的专门人才创造了良好的工作环境。

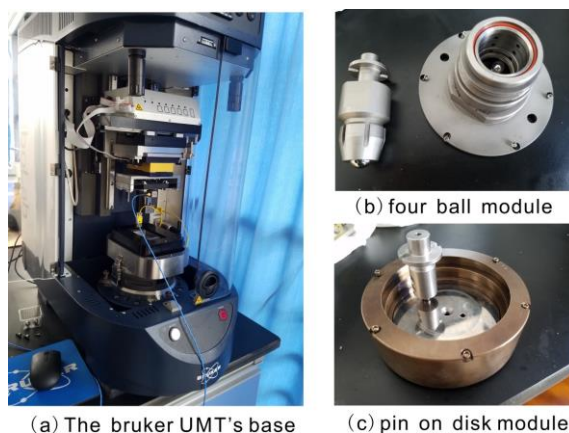


图 7 bruker UMT 以及各类磨损试验模块



船舶动力装置实验室现有实验室和研究室面积 2200 m²，该实验室拥有国际先进的船用柴油机台架，包括主机、齿轮箱、轴承等全套主机配套机械，下属的油液监测和故障诊断实验室包括常规理化室、光谱分析室、铁谱分析室和颗粒计数室等，能够监测船舶润滑油、燃油、船舶污水等各项指标，硬件还有内燃机燃烧分析仪、透光式烟度仪、内燃机废气排放分析仪、内燃机颗粒排放分析仪、铁谱分析与图像采集系统。具备润滑油与燃料油常规理化性能、直读发射光谱元素、铁谱、污染度的检测与分析、零件失效分析、柴油机零件无损检验、摩擦、磨损、润滑试验等实验条件。并配备磨粒表面形貌分析系统 ContourGT-K, SPECTRO 的 LaserNet Fines 磨粒形貌分析仪器和标准分析式铁谱仪以及多功能摩擦磨损试验机 UMT-TriboLab，如图 7 所示，可以用于磨粒的收集和分析，为基于油液监控技术的轮机故障诊断及预测预警、船用大型机械摩擦副摩擦磨损研究与智能磨粒分类系统的开发提供了物质上的保证。

此外，本项目成员是一支具有创新精神的团队。本课题人员主要由中青年教师组成，是教学科研的中坚，通过近十多年的磨练，已经成熟起来了。课题组成员讲团结，讲合作，讲效率，是具有创新精神的一个团队。

3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况（申请人和项目组主要参与者正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的名称和编号、经费来源、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）；

上海市自然科学基金，17ZR1412700，基于表面纹理和人工智能的铁谱磨粒智能分类与故障诊断方法研究，2017/01-2019/12，20 万，在研，主持。基金项目为本项目的研究提供了传统算法上的支持和一部分磨损颗粒样本，积累了有关问题的难点处理的经验，而在传统算法的基础上本项目要开展深度神经网络模型的研究是。

4. 完成国家自然科学基金项目情况（对申请人负责的前一个已



结题科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该已结题项目研究工作总结摘要（限 500 字）和相关成果的详细目录）。

国家自然科学基金面上项目，50975035，基于油液多信息融合的船舶动力系统故障诊断技术研究，2010.1~2012.12，33 万，已结题，主持。本项目是在已结题基金项目的基础上进行的延续和深入。

工作总结摘要：基于油液检测的故障诊断技术是远程、离线诊断大型船舶动力系统故障和预防突发性故障的有效手段，是船舶安全航行的重要保证。项目通过油液光谱分析临界参数和磨粒表面形貌三维评定参数的信息融合研究，结合实验室模拟、实车试验和实船试验，为大型船舶动力系统的远程故障诊断提供理论和技术支持。主要研究内容如下：首先通过数学建模、实验室模拟实验，提出了一种提高光谱分析精度的方法，在此基础上建立了船舶动力系统基于润滑油光谱分析临界参数的数学模型，并通过实验室实验、实船采样分析相结合，对船舶动力系统磨损性磨粒成分和含量进行光谱分析，研究了其变化规律以及与船舶动力系统摩擦副摩擦磨损的内在关系，建立了基于润滑油磨损性元素光谱分析临界参数船舶动力系统故障诊断预测预警方法；其次，建立了基于油液磨粒表面形貌三维特征参数的数学模型，并结合实验室摩擦磨损试验机模拟实验和实船采样，获取了船舶动力系统润滑油中磨粒的表面形貌图像，完成了表面形貌图像特征参数的提取，分析研究了磨粒表面形貌图像特征参数与船舶动力系统摩擦副摩擦磨损的内在关系；最后，研究光谱分析临界参数与表面形貌三维特征参数的内在关系，为船舶动力系统的基于油液多信息融合的远程故障诊断提供技术支持。

（三）其他需要说明的问题

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目之间的区别与联系。

无特殊需要说明情况



2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因。

无特殊需要说明情况

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无特殊需要说明情况

4. 其他。

无特殊需要说明情况



魏海军 简历

上海海事大学，商船学院，教授

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

- (1) 2000.9 - 2005.10, 大连海事大学, 轮机工程, 博士, 导师: 孙培廷
- (2) 1995.9 - 1998.3, 大连海事大学, 轮机工程, 硕士, 导师: 满一新
- (3) 1990.9 - 1994.6, 大连海事大学, 轮机管理, 学士, 导师: 满一新

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）：

- (1) 2012.7-至今, 上海海事大学, 商船学院, 教授
- (2) 2006.7-2012.6, 大连海事大学, 轮机工程学院, 教授
- (3) 2002.7-2006.6, 大连海事大学, 轮机工程学院, 副教授

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）：

主持或参加科研项目（课题）及人才计划项目情况：

1. 上海市自然科学基金, 17ZR1412700, 基于表面纹理和人工智能的铁谱磨粒智能分类与故障诊断方法研究, 2017/01-2019/12, 20万, 在研, 主持。
2. 国家863重点项目, 2013AA040203, 工程机械共性部件再制造关键技术及示范, 2013/01-2015/12, 87万, 结题, 分课题主持。
3. 国家自然科学基金面上项目, 50975035, 基于油液多信息融合的船舶动力系统故障诊断技术研究, 2010/01~2012/12, 33万, 已结题, 主持。
4. 国家863重点课题, 2009AA044901, 大型风力发电机专用轴承实验台, 2010/01~2012/12, 50万, 已结题, 参加。
5. 国家863重点项目, 2008AA042803, 工程机械远程故障维护及监控系统, 2008/10~2010/10, 30万, 已结题, 参加。

代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯



作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。)

按照以下顺序列出：①10篇以内代表性论著；②论著之外的代表性研究成果和学术奖励。

一、10篇以内代表性论著

(1) 孙迪, 魏海军^(*), Recent Patents on Oil Analysis Technologies of Mechanical Equipment, Recent Patents on Mechanical Engineering, Vol6, p11-25
(期刊论文)

(2) 魏立队^{(#)(*)}; 魏海军^(*), 船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑分析, 内燃机学报2013(1)1-9 (期刊论文)

(3) lidui wei; haijuwei^(*); shulin duan, An EHD-mixed lubrication analysis of main bearings for diesel engine based on coupling between flexible whole engine block and crankshaft, Industrial Lubrication and Tribology, 2015.3.1, 67(2): 123~131 (期刊论文)

(4) Hong Liu^(#); Haijun Wei^(*); Lidui Wei; Jingming Li; Zhiyuan Yang, An experiment on wear particle's texture analysis and identification by using deterministic tourist walk algorithm, Industrial Lubrication and Tribology, 2015, 67(6): 582~593 (期刊论文)

(5) 魏立队; 魏海军; 段树林; 武起立; 李精明, 基于机体与曲轴耦合下的船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑特性, 机械工程学报, 2014.5, (13): 97~105 (期刊论文)

(6) 魏立队^(#); 魏海军^(*); 段树林, 柔性机体下船舶柴油机主轴承TEHD 润滑分析, 哈尔滨工程大学学报, 2015.8, 36(8) (期刊论文)

(7) 孙迪; 李国宾; 魏海军; 廖海峰; 柳霆, 磨合磨损过程中摩擦振动变化规律研究, 哈尔滨工程大学学报, 2015, (02): 166~170 (期刊论文)

(8) 孙迪; 李国宾; 魏海军; 崔洋; 廖海峰, 磨合过程摩擦振动混沌吸引子演变规律, 振动与冲击, 2015, (06): 116~121 (期刊论文)

(9) Wei, Li-Dui^(#); Duan, Shu-Lin^(*); Xing, Hui; Wu, Ji; Wei, Hai-Jun, Thermo-elasto-hydrodynamic behavior of main bearings of marine diesel engines in mixed lubrication, Transactions of CSICE, 2013, 31(2): 183~191 (期刊论文)

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励



- (1) 孙迪; 李国宾; **魏海军**; 崔洋; 廖海峰, [磨合过程摩擦振动混沌吸引子演变规律, 振动与冲击](#), 2015, (06): 116~121 (期刊论文)
- (2) Ting Liu¹, Haijun Wei^{2,*}, Xuming Wang, [Measurement of Asphaltene Precipitation Onset](#), Recent Patents on Mechanical Engineering, 2015.2.1, 8(1): 12~20 (期刊论文)
- (3) Odhiambo, John Otieno, Wei, Haijun; Li, Pinyou, [Understanding asphaltenes stability in Marine Fuel Oil through separability number](#), Information Technology Journal, 2013.12.1, v 12(n 24): 8510~8513 (期刊论文)
- (4) 郑慧敏; **魏海军**; 赵向博, [基于声发射信号频谱分析的焊接夹渣试件特征参数分析](#), 无损检测, 2014, (09): 46~48+58 (期刊论文)
- (5) Di, Sun^{(#)(*)}; Haijun, Wei; Haifeng, Liao, [Recent patents on oil analysis technologies of mechanical equipment](#)[✓], Recent Patents on Mechanical Engineering, 2013, 6(1): 11~25 (期刊论文)
- (6) WANG H, CHEN L, AN J, [Dynamic Modeling of Marine Diesel Propulsion System in All Kind of Running Conditions](#), Advanced Materials Research, 2013.7.2, 655-657(2013): 98~104 (期刊论文)
- (7) **WeHaijun**^(#), [Effects of coefficient of excess air on the combustion performance of marine two-stroke diesel engine](#), Green Power, Materials and Manufacturing Technology and Applications, 2012.5.3-2012.5.8 (会议论文)
- (8) Li, Guo-Bin^{(#)(*)}; Huang, Ye-Hua; Wei, Hai-Jun, [Stability characteristics of running-in process based on Nyquist stability criterion](#)[✓], Tribology, 2012, 32(4): 325~331 (期刊论文)
- (9) Wei Lidui, Duan Shulin, Wu Ji, [Mode Experiment and Finite Element Method Investigation of Bolted Joints Considering Interface Stiffness and Preload.](#), International Journal of Plant Engineering and Management, 2012.6.6, 17(2): 77~84 (期刊论文)
- (10) Liuhong; Weihaijun^(*), [The Segmentation of Wear Particles Images Using J-Segmentation Algorithm](#), Advances in Tribology, 2016.4.21, 2016(1): 33~43 (期刊论文)
- (11) 魏海军, [一种检测船舶超载的系统](#), 2012.9.10, 中国, 2012103309323 (专利)
- (12) 魏海军, [油品稳定性判定方法和装置](#), 2011.10.3, 中国, 2011104568301 (专利)



- (13) 魏海军, [用于机械设备液压系统的故障分析监控系统及方法](#), 2010. 4. 23, 中国, 2010101551003 (专利)
- (14) 魏海军^(#); 刘竑, [一种铁谱磨粒纹理特征提取和模式识别的方法](#), 2014. 10. 1, 中国, CN201410769766. 6 (专利)
- (15) 魏海军, [船用燃料油的使用与管理](#), 大连海事大学出版社, 2011. 11. 1 (学术专著)
- (16) 魏海军; 左春宽; 史卜坤, [船舶动力装置](#), 大连海事大学出版社, 2012. 6. 3 (学术专著)
- (17) 魏海军; 金国平, [轮机维护与修理](#), 大连海事大学出版社, 2010. 5. 10 (学术专著)

NSFC 2018



除非特殊说明，请勿删除或改动简历模板中蓝色字体的标题及相应说明文字

参与者 简历

魏立队，上海海事大学，商船学院，讲师/工程师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

1. 2009/09 - 2012/11，大连海事大学，轮机工程学院，博士，导师：段树林
2. 2003/09 - 2006/07，清华大学，精密仪器与机械学系，硕士，导师：潘尚峰
3. 1995/09 - 1999/07，大连海事大学，轮机工程学院，学士，导师：孙建波

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站(或工作站)从事研究，请列出合作导师姓名)：

1. 2012/12 - 至今，上海海事大学，轮机工程学院，讲师
2. 2001/1 - 2009/09，河南安彩高科股份有限公司，工程师
3. 1999/06 - 2000/12，北京中海海员对外技术服务有限公司，二管轮
4. 2015/12-2016/12, University of Wollongong, 访问学者，合作导师：杜海平

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

身份证，410522197503083711

主持或参加科研项目(课题)及人才计划项目情况(按时间倒序排序)：

1. 上海市自然科学基金，17ZR1412700，基于表面纹理和人工智能的铁谱磨粒智能分类与故障诊断方法研究，2017/01-2019/12，20万，在研，参加。
2. 国家863重点项目，2013AA040203，工程机械共性部件再制造关键技术及示范，2013/01-2015/12，87万，已结题，参加。
3. 国家自然科学基金面上项目，50975035，基于油液多信息融合的船舶动力系统故障诊断技术研究，2010/01~2012/12，33万，已结题，参加。
4. 上海高校青年教师培养资助计划，船舶柴油机整机振动与轴系润滑研究，2014/01-2015/12，5万，结题。
5. 横向项目，DMD20120208、MAN B&W 5S60MC-C整机台架振动噪声预报与控制，2012/02-2012/10，5万，结题，主要参与。
6. 横向项目，DMD20110707，船舶主推进系统实船振动预报与控制，2011/7-2012/6，8万，结题，主要参与。



代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称(或会议论文集名称及起止页码)、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

一、期刊论文（仅不列此项时可删除该标题）

请按如下顺序列出：

1. 第一作者论文（仅不列此项时可删除该标题）

(1) Wei Lidui, Wei Haijun*, Haiping Du, DuanShulin, Three-dimensional vibration of the crankshaft of a large marine diesel engine under a mixed thermo-elastic-hydro-dynamic lubrication coupling between flexible crankshaft and engine block, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2018, (140): 062802-1 ~ 062802-10.(SCI)

(2) Wei Lidui, Wei Haijun*, DuanShulin, Zhang Yu, An EHD-mixed lubrication analysis of main bearings for diesel engine based on coupling between flexible whole engine block and crankshaft, Industrial Lubrication and Tribology, 2015, 67(2): 150-158.(SCI)

(3) 魏立队, 魏海军*, 李精明, 杨智远, 武起立, 刘竑, 大型船舶低速柴油机柔性曲轴三维振动研究, 内燃机学报, 2017, 35(2):185-191. (EI)

(4) 魏立队, 魏海军*, 段树林, 李精明, 杨智远, 刘竑, 船舶柴油机柔性曲轴与机体EHD耦合下振动研究, 哈尔滨工程大学学报, 2017, 38(2): 181-188. (EI)

(5) 魏立队, 魏海军*, 李精明, 杨智远, 刘竑, 船舶柴油机机体与曲轴间耦合模式对其振动的影响, 大连海事大学学报, 2017, 43(1): 53-60.

(6) 魏立队, 段树林*, 魏海军, 柔性机体下船舶柴油机主轴承TEHD润滑分析, 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(8): 1035-1041. (EI)

(7) 魏立队, 魏海军*, 段树林, 武起立, 李精明, 基于机体与曲轴耦合下的



船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑特性.机械工程学报, 2014, 50(13): 97-105. (EI)

(8) 魏立队, 魏海军*, 孙运龙, 武起立, 李精明, 杨智远, 基于质量守恒边界条件和微凸峰接触的动载轴承热弹性流体动力润滑特性, 润滑与密封, 2015, 40(10): 17-24.

(9) 魏立队, 段树林*, 邢辉, 吴汲, 魏海军, 船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑分析, 内燃机学报, 2013, 31(2):183-191. (EI)

(10) Wei Lidui, DuanShulin*, Wu Qili, Lubrication simulation of main bearing about a marine diesel engine based on multi-body dynamics and elastohydrodynamic, Advanced Materials Research, 2012: 2679-2683. (EI)

(11) Wei Lidui, Duan Shulin*, Wu Ji, Mode Experiment and Finite Element Method Investigation of Bolted Joints Considering Interface Stiffness and Preload, International Journal of Plant Engineering and Management, 2012, 17(2): 77-84.

(12) 魏立队, 段树林*, 武起立, 吴汲, 于洪亮, 船用柴油机曲柄连杆机构与机体非线性耦合的数值仿真, 大连海事大学学报, 2012, 38(1): 89-93.

(13) 魏立队, 段树林*, 吴汲, 武起立, 于洪亮, 船用柴油机机体组合结构模态分析方法, 噪声与振动控制, 2012, 32(2):132-136.

(14) 魏立队, 段树林*, 武起立, 吴汲, 张文春, 魏海军, 基于柔性整机体模型柴油机主轴承混合润滑特性, 润滑与密封, 2012, 37(10): 16-21.

2. 通讯作者论文(勿与第一作者论文重复)(仅不列此项时可删除该标题, 序号按实际情况编排)

(1) 魏海军, 魏立队*, 李品友, 杨智远, 李精明, 孙秀成, 大型低速二冲程船舶柴油机气缸油台架试验评定研究, 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37(4): 503-507. (EI)

3. 既非第一作者又非通讯作者论文(仅不列此项时可删除该标题, 序号按实际情况编排)

(1) 李精明, 魏海军*, 魏立队, 杨智远, 刘竑, 摩擦振动信号的经验模式分解和多重分形研究, 振动与冲击, 2016, 35(3): 198-203. (EI)

(2) 李精明, 魏海军*, 魏立队, 孙迪, 杨智远, 梅立强, 摩擦振动信号的EEMD和多重分形去趋势波动分析, 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37(9): 1204-1209. (EI)



(3) 杨智远, 魏海军*, 贺献忠, 魏立队, 李精明, 刘竑, 生物柴油在船用柴油机上的适用性研究, 2016, 37(1): 71-75. (EI)

(4) 武起立*, 林叶春, 魏立队, 刘冲, 李精明, 段树林, 船用二冲程柴油机十字头轴承润滑分析, 润滑与密封, 2016, 41(12): 68-73.

(5) Liu Hong, Wei Haijun*, Wei Lidui, Li Jingming, Yang Zhiyuan, An experiment on wear particle's texture analysis and identification by using deterministic tourist walk algorithm, Industrial Lubrication & Tribology, 2015, 67 (6) : 582-593.

(6) JI WU, SHULIN DUAN*, LIDUI WEI, JIN YAN, Strength analysis in piston crown of the marine diesel engine, Journal of Engineering Research, 2013, 1 (1) : 251 -269.

(7) 吴伋, 段树林*, 武占华, 邢辉, 魏立队, 6S50MC-C柴油机活塞头的优化设计, 船舶工程, 2013, 35 (2) : 22-26.

(8) 武起立, 段树林*, 邢辉, 魏立队, 武占华, 二冲程船舶柴油机主轴承润滑数值分析, 大连海事大学学报, 2011, 37 (4) : 25-29.

二、会议论文（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）

请按如下顺序列出：

1. 第一作者论文（仅不列此项时可删除该标题）

(1) Wei Lidui, DuanShulin*, Wu Ji, Experimental Investigation and Numerical Simulation of Mode of Bolted Joints Considering Interface Stiffness and Preload, 2011 3rd international conference on computer and network technology, Taiyuan, P.R. China, 2011, 03.11-03.14.

2. 通讯作者论文（勿与第一作者论文重复）（仅不列此项时可删除该标题，序号按实际情况编排）

3. 既非第一作者又非通讯作者论文（仅不列此项时可删除该标题，序号按实际情况编排）

格式见示例

三、专著（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）

格式：所有作者，专著名称（章节标题），出版社，总字数，出版年份。

四、授权发明专利（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）



格式：发明人，专利名称，授权时间，国别，专利号

五、会议特邀学术报告（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）

六、其他成果（请按发表或发布时的格式列出）（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）

请按发表或发布时的格式列出

七、获得学术奖励（仅不列此项时可删除该标题，标题序号按实际情况编排）

NSFC 2018



除非特殊说明，请勿删除或改动简历模板中蓝色字体的标题及相应说明文字

李精明 简历

李精明，上海海事大学，轮机工程学院，讲师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

1. 2012/09 - 至今，大连海事大学，轮机工程学院，博士在读，导师：魏海军
2. 2006/09 - 2008/07，大连海事大学，轮机工程学院，硕士，导师：李世臣
3. 2001/09 - 2005/07，大连海事大学，轮机工程学院，本科，导师：关晓光

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站（或工作站）从事研究，请列出合作导师姓名）：

1. 2011/07 - 至今，上海海事大学，商船学院，讲师
2. 2008/07 - 2011.7，上海海事大学，商船学院，助教

主持或参加科研项目(课题)及人才计划项目情况(按时间倒序排序)：

1. 横向项目，20150146，船舶消防仿真系统，2015/04-至今，5.5 万，在研，参加。
2. 国家863重点项目，2013AA040203，工程机械共性部件再制造关键技术及示范，2013/01-2015/12，87万，结题，参加。
3. 横向项目，20110105，热汽机-动力装置匹配验证模型，6.8万，2011/01-2011/6，结题，参加。

代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称(或会议论文集名称及起止页码)、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

一、期刊论文（仅不列此项时可删除该标题）

1. 第一作者论文

(1) Jingming Li, Haijun Wei, Li Fan. Multifractal Detrended Fluctuation



Analysis of Frictional Vibration Signals in the Running-in Wear Process,
Tribology Letters, 2017,65:50-1~50-9. (SCI)

(2) 李精明, 魏海军 (*), 魏立队, 等. 摩擦振动信号的经验模态分解和多重分形研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(3): 198-203.

(3) 李精明, 魏海军 (*), 魏立队, 等. 摩擦振动信号的EEMD和多重分形去趋势波动分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37(9): 1204-1208.

(4) 李精明, 魏海军, 丁刚. 基于多重分形的摩擦振动信号研究, 润滑与密封, 2017, 42(7): 37-42.

(5) 李精明, 魏海军, 等. 用经验模式分解和重标极差分析法进行摩擦振动信号分析, 上海海事大学学报, 2016, 37 (2) :89-93.

(6) 李精明 (*), 王海燕, 陈宝忠. 基于C#的船舶液压舵机系统动态仿真[J]. 船海工程, 2010, 39(2): 126-130.

2. 既非第一作者又非通讯作者论文

(1) 魏立队, 魏海军 (*), 孙运龙, 武起立, 李精明, 杨智远, 基于质量守恒边界条件和微凸峰接触的动载轴承热弹性流体动力润滑特性, 润滑与密封, 2015, 40(10): 17-24.

(2) Hong Liu, Haijun Wei (*), Lidui Wei, **Jingming Li**, Zhiyuan Yang, An experiment on wear particle's texture analysis and identification by using deterministic tourist walk algorithm, Industrial Lubrication and Tribology, 2015, 67 (6) : 582-593.

(3) 魏立队, 魏海军 (*), 段树林, 武起立, 李精明, 基于机体与曲轴耦合下的船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑特性. 机械工程学报, 2014, 50(13): 97-105

二、专著 (仅不列此项时可删除该标题, 标题序号按实际情况编排)

1. 王海燕, 李精明, 可编程控制器及工业控制网络, 上海交通大学出版社, 561 千字, 2015.

2. 林叶春, 陈文涛, 李精明, 李军军, 刘冲, 船舶电气及控制系统, 上海交通大学出版社, 809 千字, 2015.



除非特殊说明，请勿删除或改动简历模板中蓝色字体的标题及相应说明文字

参与者 简历

杨智远 上海海事大学，商船学院，讲师

教育经历（按时间倒排序）：

1. 2013 年 - 至今， 上海海事大学，商船学院，工学博士，江国和
2. 2007 年 - 2009 年，上海海事大学，商船学院，工学硕士，詹玉龙
3. 2003 年 - 2007 年，上海海事大学，商船学院，工学学士，於世成

科研与学术工作经历(按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾进入博士后流动站(或工作站)从事研究，请列出合作导师姓名)：

1. 2011 年 - 至今， 上海海事大学，商船学院，讲师
2. 2009 年 - 2011 年，上海海事大学，商船学院，助教

主持或参加科研项目(课题)及人才计划项目情况(按时间倒序排序)：

1. 国家 863 重点项目，2013AA040203，工程机械共性部件再制造关键技术及示范，2013-2015，87 万，在研，参加。

2. 国家自然科学基金青年项目，61403250，基于近似动态规划的数据驱动非线性多输入多输出在线优化与控制算法，2015.01~ 2017.12，24 万，在研，参加。

3. 教育部博士点基金项目，20133121120003，敷设智能消声声衬和压电约束阻尼层的加筋剪切变形双复合板声辐射主动控制，2014.1~2016.2，4 万，在研，参加。

4. 上海海事大学校基金项目，20130447，船舶柴油机排气净化消声技术研究，2013.9~2016.8，4 万，在研，参加。

5. 企事业单位委托科技项目，20130286，船用发动机脱硝技术及其推广应用研究，2013.7~2013.12，5 万，已结题，参加。

6. 企事业单位委托科技项目，20130262，国产 180#燃料油使用安全性、经济性 & 深度净化技术研究，2013.7~2013.12，20 万，已结题，参加。

7. 中外运集装箱运输有限公司安标建设技术服务 29 万，在研 主要参与者

8. 中国外运阳光速航运输有限公司安标建设技术服务 5 万，主持

代表性研究成果和学术奖励情况（每项均按时间倒序排序）



(请注意:①投稿阶段的论文不要列出;②对期刊论文:应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷(期)及起止页码(摘要论文请加以说明);③对会议论文:应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称(或会议论文集名称及起止页码)、会议地址、会议时间;④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况:所有共同第一作者均加注上标“#”字样,通讯作者及共同通讯作者均加注上标“*”字样,唯一第一作者且非通讯作者无需加注;⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。)

一、期刊论文(仅不列此项时可删除该标题)

1. 第一作者论文

(1) 杨智远,魏海军^(*),贺献忠,魏立队,李精明,刘竝. 生物柴油在船用柴油机上的适用性研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,2016,01:1-5.

2. 既非第一作者又非通讯作者论文

(2) 江国和,赵开琦,王志刚,杨智远,曾向明. 基于 EMD 的 Hilbert 变换的柴油机气缸套磨损故障诊断[J]. 上海海事大学学报,2014,03:80-84.

(3) 魏立队,魏海军,孙运龙,武起立,李精明,杨智远. 基于质量守恒边界条件和微凸峰接触的动载轴承热弹性流体动力润滑特性[J]. 润滑与密封,2015,10:7-14.

(4) 林新通,詹玉龙,杨智远. 基于 SVM 的船舶废气涡轮增压器故障诊断研究[J]. 南通航运职业技术学院学报,2012,01:32-35

(5) 詹玉龙,赵海洲,杨智远. 基于 ERM 的轮机长综合评价体系的研究[J]. 南通航运职业技术学院学报,2011,04:19-22.

(6) 李精明,魏海军,魏立队,杨智远,刘竝. 摩擦振动信号的经验模式分解和多重分形研究[J]. 振动与冲击,2016,03:198-203.

(7) YL Zhan, W Wei^(*), CF Huo, ZY Yang, Research on Delamination Fault Diagnosis of Marine Diesel Engine Based on Support Vector Machine, Tribology, 2013, 21 (4) : 315-321

(8) Hong Liu, Haijun Wei^(*), Lidui Wei, Jingming Li, Zhiyuan Yang, An experiment on wear particle's texture analysis and identification by using



deterministic tourist walk algorithm, Industrial Lubrication and Tribology, 2015, 67
(6) : 582-593.

二、专著

(1) 船用发动机润滑油的应用, 上海浦江教育出版社 2011.12,
ISBN978-7-81121-203-7 主编

(2) 《轮机资源管理》, 上海浦江教育出版社、 主编

(3) 轮机英语阅读与写作, 上海浦江出版社 副主编

NSFC 2018



附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型

NSFC 2018

**签字和盖章页(此页自动生成, 打印后签字盖章)**

接收编号: 5187050183

申请人: 魏海军

依托单位: 上海海事大学

项目名称: 基于深度神经网络的磨损颗粒智能识别与故障诊断技术研究

资助类别: 面上项目

亚类说明:

附注说明:

申请人承诺:

我保证申请书内容的真实性。如果获得资助, 我将履行项目负责人职责, 严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定, 切实保证研究工作时间, 认真开展工作, 按时报送有关材料。若填报失实和违反规定, 本人将承担全部责任。

签字:

项目组主要成员承诺:

我保证有关申报内容的真实性。如果获得资助, 我将严格遵守国家自然科学基金委员会的有关规定, 切实保证研究工作时间, 加强合作、信息资源共享, 认真开展工作, 及时向项目负责人报送有关材料。若个人信息失实、执行项目中违反规定, 本人将承担相关责任。

编号	姓名	工作单位名称 (应与加盖公章一致)	证件号码	每年工作时间 (月)	签字
1	魏立队	上海海事大学	410522197503083711	6	
2	李精明	上海海事大学	350725198105182018	8	
3	杨智远	上海海事大学	320322198012203434	8	
4	刘竑	上海海事大学	140109199001240511	10	
5	安超	上海海事大学	622824199410201693	10	
6	张武龙	上海海事大学	14022519920613251x	10	
7	李文浩	上海海事大学	372926199106234518	10	
8					
9					

依托单位及合作研究单位承诺:

已按填报说明对申请人的资格和申请书内容进行了审核。申请项目如获资助, 我单位保证对研究计划实施所需要的人力、物力和工作时间等条件给予保障, 严格遵守国家自然科学基金委员会有关规定, 督促项目负责人和项目组成员以及本单位项目管理部门按照国家自然科学基金委员会的规定及时报送有关材料。

依托单位公章

日期:

合作研究单位公章1

日期:

合作研究单位公章2

日期: