

## 《航空发动机钛合金轮盘损伤容限设计与验证技术》公示信息

项目名称	航空发动机钛合金轮盘损伤容限设计与验证技术								
提名单位	株洲市科技局								
提名等级	湖南省科学技术进步奖二等奖								
主要知识 产权：	知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准发布)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
	软著	应用于航空发动机限寿件概率损伤评估综合软件系统 V1.0	中国	2019SR1352752	2019.10	软著登字第4773509号	中国航发湖南动力机械研究所	单晓明、丁水汀、郭小军、李果	有效
	发明专利	一种离心叶轮中心孔裂纹扩展特征模拟件设计方法	中国	ZL201810797101.4	2020.03.31	证书号第3735466号	北京航空航天大学、中国航发湖南动力机械研究所	胡殿印、单晓明、石建成、王西源、赵淼东、毛建兴	有效

发明专利	一种离心叶轮凸台裂纹扩展特征模拟件设计方法	中国	ZL20181079 8013.6	2019.11.08	证书号第 3586231 号	北京航空航天大学、中国航发湖南动力机械研究所	胡殿印、郭小军、刘宗晖、崔金铎、赵淼东、毛建兴	有效
论文	内含硬 $\alpha$ 夹杂钛合金轮盘裂纹扩展研究	中国		2020 年	失效分析与预防	中国航发湖南动力机械研究所	郭小军、徐友良、单晓明、刘建新	有效
论文	预置硬 $\alpha$ 夹杂钛合金轮盘疲劳裂纹扩展性能研究	中国		2020 年	中国航空学会动力分会第二十届发动机结构强度与振动学术交流会	中国航发湖南动力机械研究所	刘宗晖、刘建新、郭小军	有效
发明专利	一种成分可控的氮化钛块体制备方法	中国	ZL20191028 1013.3	2021.03.26	证书号第 4321544 号	中国科学院金属研究所	吉海宾、蔡雨升、雷家峰、杨锐、单晓明、郭小军	有效
发明专利	一种基于概率密度演化理论的概率	中国	ZL20181113 5082.5	2021.01.08	证书号第 4195863 号	北京航空航天大学	李果、丁水汀、刘俊博、刘晓静	有效

		失效风险评估高效技术方法							
	发明专利	一种钛合金缺陷数据修正方法	中国	ZL201811135083.X	2020.11.24	证书号第4107809号	北京航空航天大学	李果、丁水汀、张笑天、刘晓静	有效
	发明专利	一种基于分区的内含硬a夹杂周围残余应力计算方法	中国	ZL201910475120.X	2020.07.07	证书号第3875929号	北京航空航天大学	李果、武红艳、刘俊博、丁水汀、周煜	有效
	实用新型	一种涡轮发动机转子内部缺陷扩展在线超声检测装置	中国	ZL201920533937.3	2019.04.16	证书号第9801322号	浙江大学	吴英龙、宣海军、郭小军、单晓明	有效
<b>主要完成人情况:</b>	单晓明、郭小军、刘宗晖、胡殿印、吉海宾、刘晓静、宣海军、刘建新、刘俊博								
<b>主要完成单位及创新推广贡献:</b>	第1完成单位: 中国航发湖南动力机械研究所 创新推广贡献: 本项目的管理、研制及应用单位, 对第1、2、3条创新点做出贡献: 1、创建了基于整机非完备信息的高效轮盘概率损伤容限设计技术。针对航空发动机信息不完备条件下过渡过程边								

献:

界难以确定、损伤容限设计方法及工具缺失,建立了整机非完备信息条件下发动机过渡过程分析模型,发明了基于概率密度演化 - 概率守恒定律的轮盘失效风险快速分析方法,提出了基于小样本理论的缺陷检出概率和缺陷分布曲线获取方法,开发了结构件概率损伤容限分析软件,钛合金轮盘概率损伤容限分析效率较美国同类软件提升了 2 个数量级,该成果已成功应用于 WZ16 适航取证,在军民用航空发动机损伤容限设计分析中发挥了重要作用。

2、创立了硬 $\alpha$ 夹杂缺陷特征精确控制的钛合金盘件制备技术。针对试验件内含缺陷成份及位置难以精确控制,发明了氮化钛成分可控的缺陷制备、含缺陷钛合金棒材及离心叶轮盘件制造方法,解决了夹杂缺陷试验件制备难题,实现了缺陷成份、尺寸和位置精确控制,构建了钛合金概率损伤容限设计用数据库。

3、构建了复杂构型轮盘内部裂纹扩展及爆裂失效实时监测技术。针对复杂构件内部裂纹扩展难以检测,发明了基于全聚焦相控阵超声三维重构的轮盘内部裂纹扩展特征确定方法、高速旋转轮盘内部缺陷扩展在线检测方法,解决了试验过程轮盘内部裂纹扩展特征难以实时监测的难题,实现了轮盘内部缺陷形貌和裂纹扩展规律的全程实时监测。

第 2 完成单位: 北京航空航天大学

创新推广贡献: 对第 1 条创新点做出贡献:

1、建立了概率损伤容限评估输入数据的数据架构,针对缺陷材料数据提出了详细试验方法及获取流程,并负责具体实施。形成了国内首条钛合金缺陷检出概率曲线与缺陷分布曲线。

2、突破了分区失效风险分析模型;含裂纹体疲劳裂纹扩展的处理、极限状态函数的构造;蒙特卡洛算法和数值积分算法下的抽样等技术难点,形成钛合金轮盘概率失效风险评估流程,方法通过美国 FAA AC33.14-1 的算例验证,同时获得国内局方认可。

第 3 完成单位: 中国科学院金属研究所

创新推广贡献: 对创新点 1、2 做出贡献:

1、负责不同氮含量硬 $\alpha$ 夹杂 (TiN) 材料制备方法研究,突破了氮化钛材料导电性差导致无法采用真空自耗电极熔炼成形、化学反应法难以实现氮含量精确控制等技术难点,提出采用钛粉与氮化钛粉末混合冷压后真空非自耗熔炼的方法,实现了不同含氮量 (2%-12%) 氮化钛材料的精确制备。

2、提出了内含硬 $\alpha$ 夹杂缺陷钛合金制备方法,研究优化了钛合金棒材端面打孔、缺陷植入、焊接热压等工艺实现了

	<p>内含硬<math>\alpha</math>夹杂缺陷钛合金棒材、盘件的制备，缺陷和钛合金基体材料间的扩散区与实际发现的缺陷结合形态一致，为涡轴发动机适航取证提供了技术支持。</p> <p>第4完成单位：浙江大学</p> <p>创新推广贡献：对创新点3做出贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、形成了一种针对内部缺陷的一种基于含凸轮、摩擦件传动装置的超声波无损检测方法，可对复杂轮盘内部缺陷的扩展过程进行了精确记录。</li> <li>2、建立了一套轮盘失效前安全检测技术，通过轮盘旋转过程中主轴振动特性实时采集和分析，对裂纹扩展进行在线检测，可以避免转子出现异常裂纹后的突然爆裂。</li> <li>3、国内首次开展了含硬夹杂钛合金模拟盘及离心叶轮裂纹扩展试验，有利的支撑了方法验证工作。</li> </ol>
<p>主要完成人合作关系说明：</p>	<p>项目完成人单晓明、郭小军、刘宗晖、胡殿印、吉海宾、刘晓静、宣海军、刘建新、刘俊博同志均是《航空发动机钛合金轮盘损伤容限设计与验证技术》项目团队的核心成员，均进行了长期合作研究。</p> <p>项目完成人单晓明同志作为本项目负责人，负责项目的总体策划、实施和技术把关等工作，并具体负责了硬<math>\alpha</math>夹杂钛合金失效风险分析实施方案的制定。单晓明同志与郭小军合作申请了软件著作权1项（软著登字第4773509号），并与胡殿印、吉海宾、宣海军合作申请了2项国家发明专利（证书号第3735466号、证书号第4321544号）和1项实用新型专利（证书号第9801322号）。</p> <p>郭小军同志参与了本项目的立项、方法研究与试验验证工作，与刘宗晖、刘建新等同志合作在《失效分析与预防》、《中国航空学会动力分会》上发表了相关技术论文，与胡殿印合作申请了1项国家发明专利（证书号第3586231号）。</p> <p>刘俊博与单晓明、郭小军等其他成员共同参与了本项目科学技术成果鉴定（航发技鉴字[2022]第149号），与刘晓静共同申请了1项发明专利（证书号4195863）。</p> <p>通过上述各位同志的共同努力，最终圆满完成了本项目航空发动机钛合金轮盘损伤容限设计与验证技术的研究工作。</p>