

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

金属薄壁多层结构涡流阵列检测技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：汉中市人民政府

提名意见：

该项目团队自主研发成果，主要取得以下成果：

1. 设计了一种阻抗匹配的低频柔性涡流阵列探头，解决了柔性检测探头因匝数少无法实现低频激励检测的问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构埋深 4mm 缺陷的检测。

2. 提出了多频-脉冲涡流复合聚焦激励技术、多通道差分与相位合成优化滤波算法，解决了薄壁多层结构中螺栓和铆钉等结构噪声干扰大、深层微弱缺陷信号提取难等问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构的第二层下表面 0.2mm 当量缺陷信号的评定。

3. 提出了一种抑制复杂结构边缘扰动信号的原位快速检测方法，研制了圆形、V 型、 Ω 型仿形适形工装及专用涡流探头，显著降低了孔、R 角等复杂结构边缘诱发的干扰信号，检测效率提升了 40%。

同意提名陕西省科技进步三等奖。

三、项目简介

该项目属航空材料技术领域。

涡流阵列技术是一项新的涡流检测技术。涡流阵列技术是通过将检测线圈按照特殊的方式进行排布，然后利用计算机强大的处理分析能力实现对被检工件进行高速、高检测灵敏度检测的无损检测技术。涡流阵列技术与传统的涡流检测技术相比，主要不同点在于涡流阵列的探头是由多个独立工作的线圈构成，这些线圈按照特殊的方式排布，且激励线圈与检测线圈之间形成两种方向相互垂直的电磁场传递方式。线圈的这种排布方式，有利于发现取向不同的线性缺陷。

涡流阵列检测技术主要是由于其探头是由多个独立的线圈构成，这些线圈按照特殊的方式排布，且激励线圈与检测线圈之间按照一定的角度排布，线圈的这种排布有利于检测不同取向的缺陷。并且由于探头是由多个线圈构成，所以单次检测面积大，检测效率高。由于其扫描探头的特殊性，具有与常规涡流相似的缺陷分辨率，还有扫描的覆盖区域大的特性，使得其检测效率是一般常规涡流检测方法的 10 倍~100 倍。

由于涡流探头结构的特殊性，使其对缺陷的走向不敏感，因而对各个走向的缺陷都具有比较好的检测灵敏度。并且可以按照需要检测的工件外形特征去设计探头的尺寸等外观特性，从而使探头可以与待检工件具有稳定的电磁耦合，而不需要特意的设计专用的机械装置。因其具有这些优势，所以涡流阵列检测技术在航天、航空和装备维护等诸多领域中具有广阔的应用前景，如飞机蒙皮，飞机起落架等物件的表面等。

项目团队深耕涡流检测技术多年，不断优化改进，逐渐形成了集设备调试、试样设计、方法补偿、工艺验证等多技术融合的技术体系，顺利实现了通孔、导管内壁不可见区域的涡流阵列检测技术的工程化应用，打破了相关金属薄壁多层

公开

结构孔壁只能拆卸后检测的难题，大幅提高了零件在役检测、维修检测的效率，同时也降低了检测成本，为航空高质量发展贡献了重要力量。在此过程中，积累了一系列关键技术，具体如下：

- 1、多层结构件刻槽对比试样的制造技术；
- 2、人工缺陷对比试块的设计；
- 3、通孔、导管内壁涡流阵列检测技术。

为解决多层结构与管、棒材表面缺陷的检测难题，取得了如下创新：

- 1、针对阶梯形检测区域，设计、制作了专用柔性探头，实现了阶梯形结构表面缺陷的快速检测。
- 2、针对管材、棒材的表面缺陷，设计、制作了专用工装，典型人工缺陷对比试样，实现了管材、棒材表面缺陷的检测能力。
- 3、针对涡流阵列检测技术特性，结合公司薄壁多层结构设计、制作了三层结构件刻槽对比试样，实现了金属薄壁多层结构近表面检测及缺陷的解释与判定能力。

四、客观评价

该项目解决了金属多层薄壁结构涡流检测需拆卸的难题，通过优化工艺方法与对比试样结构，实现了金属薄壁结构（如薄板、薄壁管）的入厂复检项目及飞机蒙皮、壁板等表面、近表面缺陷的快速、准确检测。为后续自动化涡流阵列检测技术应用奠定了基础。

（一）行业组织评价

2025 年 11 月 28 日，“薄壁多层结构涡流阵列检测技术及应用”通过了行业鉴定，鉴定委员会听取了项目研制总结报告，审查了技术材料，经质询和讨论，形成鉴定意见如下：“薄壁多层结构涡流阵列检测技术难度大，在总体设计上有独到创新，达到了国内领先水平。核心关键技术自主可控，有国产化替代方案。该项目研究成果已完成技术攻关并应用，应用于 Y8、Y9 系列飞机，具有显著的军事和经济效益。

（二）应用企业评价

公司在飞机故障维修过程中使用“薄壁多层结构涡流阵列检测技术及应用”，通过薄壁多层结构涡流阵列检测技术的应用，公司对于飞机故障维修及保障的效率和产品质量稳定性显著提升，有力保障了生产科研进度，更为将来的飞机战时抢修、维修售后提供了技术支撑，具有很大的社会、经济、军事效益。

五、应用情况

薄壁多层结构涡流阵列检测技术的成功应用实现了薄壁结构（如薄板、薄壁管）的快速复检，三年内共计完成 5A02、TA16 等管材入场复检涡流检测项目 3000 余件，产生经济小于不低于 20 万元（经咨询，单件外协费用约为 70 元/根）；

- 实现了飞机蒙皮、壁板等薄壁多层结构表面、近表面的缺陷检测；
- 实现了飞机薄壁多层结构疑似缺陷信号的解释与评定；
- 在对军方培训时，作为重点项目进行了推广、介绍，得到了一致认可。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
----	--------	----------	--------	-----	------	------	-----	-----

1	发明	一种三通接头加工的涡流检测方法	中国	ZL202111317675.5	2024年05月24日	7023383	陕西飞机工业有限责任公司	钟丽英；张家瑞；薛磊；杨书勤；张亚荣；张敬彤；王宇魁；王景海；李进；邢建伟
2	实用新型	一种无蒙皮损伤的涡流检测装置	中国	ZL201920695442.0	2020年04月07日	10235883	陕西飞机工业有限责任公司	钟丽英；杨书勤；张家瑞；张敬彤；王宇魁
3	实用新型	一种无损检测工具	中国	ZL201821531986.5	2019年08月02日	9180524	陕西飞机工业有限责任公司	张家瑞；钟丽英；杨书勤；吴军豪；张敬彤
4	实用新型	一种用于孔型内壁缺陷定位、定量涡流检测工装	中国	ZL202022064976.9	2021年06月01日	13296502	陕西飞机工业有限责任公司	张家瑞；杨书勤；张亚荣；钟丽英；王宇魁
5	论文	《飞机维修中涡流检测对比试块的设计和应用》	中国	1000-6656(2015)09-0062-03	2015年9月	2015年第9期	中航飞机股份有限公司汉中飞机分公司	张亚荣；钟丽英；张敬彤；陈鑫；薛磊
6	论文	《7075-T6包铝材料电导率测试分析和处理》	中国	1000-6656(2016)04-0041-04	2016年4月	2016年第4期	陕西飞机工业(集团)有限公司	钟丽英；张亚荣；薛磊；张敬彤；杨书勤
7	标准规范	航空无损检测方法 涡	中国	Q/AVIC BM 1007-2022	2022年12月31日	/	陕西飞机工业有限责任公司	薛磊；钟丽英；张亚荣；张家瑞；李进

公开

		流检测			日			
--	--	-----	--	--	---	--	--	--

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
杨书勤	1	副组长	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“典型表面缺陷的人工缺陷对比试块”的改进、优化方案作出创造性贡献。
张家瑞	2	组长	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“三层结构件刻槽对比试样”、“做出创造性贡献。
张亚荣	3	三级技术专家	研究员级高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“三层结构件刻槽对比试样”的改进、优化方案作出创造性贡献。
李进	4	主任	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“三层结构件刻槽对比试样”的设计方案做出创造性贡献。
王玮	5	一级管理专家	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“三典型表面缺陷的人工缺陷对比试块”的设计方案做出创造性贡献。
王景海	6	三级技术专家	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“典型表面缺陷的人工缺陷对比试块”的验证方案、缺陷判定作出创造性贡献。
石爱乾	7	三级技术专家	高级工程师	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	对“三层结构件刻槽对比试样”的验证方案、缺陷判定作出创造性贡献。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
陕西飞机工业有限责任公司	1	陕西飞机工业有限责任公司根据自立基础科研课题 SK43，开展了“涡流阵列检测技术研究”攻关，旨在攻克传统检测手段无法满足现代装备高效、高精度无损检测的行业难题，基于对无损检测行业技术发展趋势的研判，结合自身在电磁检测领域的技术积累，开展了柔性涡流阵列检测探头设计、检测算法优化及检测工装研制，实现了金属薄壁多层结构近表面缺陷的高精度快速检测。其主要创新点是：1）设计了一种阻抗匹配的低频柔性涡流阵列探头，解决了柔性检测探头因匝数少无法实现低频激励检测的问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构埋深 4mm 缺陷的检测；2）提出了多频-脉冲涡流复合聚焦激励技术、多通道差分与相位合成优化滤波算法，解决了薄壁多层结构中螺栓和铆钉等结构噪声干扰大、深层微弱缺陷信号提取难等问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构的第二层下表面 0.2mm 当量缺陷信号的评定；3）提出了一种抑制复杂结构边缘扰动信号的原位快速检测方法，研制了圆形、V 型、Ω 型仿形适形工装及专用涡流探头，显著降低了孔、R 角等复杂结构边缘诱发的干扰信号，检测效率提升了 40%。该成果已在 Y8、Y9 系列飞机等型号上成功应用。 陕西飞机工业有限责任公司为该项目付出了人力、物力、财力等资源。

完成人合作关系说明

“金属薄壁多层结构涡流阵列检测技术”的应用研究，设计了一种阻抗匹配的低频柔性涡流阵列探头，解决了柔性检测探头因匝数少无法实现低频激励检测的问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构埋深 4mm 缺陷的检测；提出了多频-脉冲涡流复合聚焦激励技术、多通道差分与相位合成优化滤波算法，解决了薄壁多层结构中螺栓和铆钉等结构噪声干扰大、深层微弱缺陷信号提取难等问题，实现了机身、机翼等薄壁多层结构的第二层下表面 0.2mm 当量缺陷信号的评定；提出了一种抑制复杂结构边缘扰动信号的原位快速检测方法，研制了圆形、V 型、Ω 型仿形适形工装及专用涡流探头，显著降低了孔、R 角等复杂结构边缘诱发的干扰信号，检测效率提升了 40%。

该项目属于航空材料技术领域，通过“金属薄壁多层结构涡流阵列检测技术”的应用，实现了薄壁结构（如薄板、薄壁管）的入厂复检项目及飞机蒙皮、壁板等表面、近表面缺陷的快速、准确检测。为后续自动化涡流阵列检测技术应用奠定了基础。

为确保该项目工作的顺利开展，成立了项目攻关团队，各团队成员协同工作，顺利完成了项目目标，达到了技术指标要求。技术指导团队成员，主要负责技术方案的总体论证、方案设计、技术攻关，其成员包括杨书勤、张家瑞、张亚荣；项目实施团队成员，主要负责项目实施、项目进度管控、项目质量监控，其成员包括李进、石爱乾、王伟、王景海。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签字：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作起 始时间	合作完 成时间	合作成果	证明 材料
1	主持项目，整体把控项目方案制定，组织完成金属薄壁多层结构涡流阵列检测技术应用研究	杨书勤/1 张家瑞/2 张亚荣/3 王景海/6	2020年 01月01 日	2022年 12月 31日	标准规范《航空无损检测方法 涡流检测》 专利《一种三通接头加工的涡流检测方法》、《一种无蒙皮损伤的涡流检测装置》、《一种无损检测工具》、《一种用于孔型内壁缺陷定位、定量涡流检测工装》	附件
2	组织技术方案的论证，完成工艺流程设计，优化工艺设计及专用对比试样设计工作。	张亚荣/3 张家瑞/2 李进/4 王玮/5 石爱乾/7	2020年 01月01 日	2022年 12月 31日	《一种无损检测工具》、《一种用于孔型内壁缺陷定位、定量涡流检测工装》	附件
3	工艺试验验证及判定工作	张家瑞/1	2020年 01月01 日	2022年 12月 31日	标准规范《航空无损检测方法 涡流检测》	附件

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签字：