

## 附件 1

# “基于深度学习的高端装备铸件射线探伤缺陷智能检测与定量评定系统”榜单概述及发榜金额测算说明

## 一、榜单概述

需求背景、国内外相关情况介绍（限 1000 字以内）

随着先进核能装备、“两机”装备等高端装备制造水平的持续提升，关键部件正向大型化、复杂化、薄壁化及高性能材料方向发展。高温合金及特种合金铸件广泛应用于航空发动机、燃气轮机及核能装备，其内部质量直接关系装备的安全性与服役可靠性。射线检测作为铸件内部缺陷识别与质量评定的核心手段，是产品放行、工艺优化和质量追溯的重要环节。

安徽应流长期从事高端装备关键部件、先进核能与“两机”装备关键部件制造，产品普遍具有结构复杂、检测难度大、质量等级要求高等特点。在实际生产过程中，射线评片主要依赖经验丰富的检测人员完成缺陷识别与质量评定。随着产品类型增加及检测任务增长，传统人工评片方式逐步显现出局限性：一是对高水平评片人员依赖度高，人员能力差异易导致质量判定一致性不足；二是在复杂结构件及低对比度缺陷场景下，人工评片效率与稳定性难以兼顾；三是大量历史底片及缺陷数据未形成结构化积累，难以支撑检测能力持续提升及质量数据深度应用。

国际上，以蔡司为代表的工业检测企业，已将 AI 缺陷识别技术应用于铸件 X 射线检测场景，其面向大尺寸压铸件的自动化检测系统集成缺陷识别与分类功能，体现出 AI 技术在复杂铸件高通量检测中的工程化应用能力。同时，在焊接结构检测领域，基于深度学习的 X 射线智能检测技术已在管道焊缝、压力容器等场景中得到应用，可实现对气孔、未熔合、裂纹等典型缺陷的自动识别与辅助评定，在工程实践中显著提升检测效率并提高质量评定一致性，部分应用场景下检测效率较传统人工方式实现成倍提升。国内方面，核电领域已开展智能评片的工程应用探索。以大亚湾核电为例，在机组大修中应用射线

检测智能评片系统，实现自动检测与辅助评定，有效提升检测效率并降低人工工作强度。总体来看，国内已具备一定技术基础，但面向高温合金复杂铸件及高可靠性要求场景，在缺陷定量评定能力、模型泛化能力及系统工程化应用方面仍存在提升空间。

基于上述背景，围绕安徽应流典型业务场景，开展基于深度学习的高端装备铸件射线探伤缺陷智能检测与定量评定系统研发，构建“AI 辅助评片、人工复核确认”的检测模式，对于提升检测效率、增强质量评定一致性、推动检测数据规范化积累及支撑制造过程优化具有重要意义。同时，对于推动高端装备关键部件无损检测向数字化、智能化方向发展，具有良好的示范作用。

**需求内容描述**（具体需求或技术难点问题概述、技术解决的价值意义，限 2000 字以内）

安徽应流长期面向高端装备关键部件、先进核能及“两机”装备关键部件开展研发制造，产品内部质量要求高、质量等级控制严格，射线探伤作为关键无损检测手段，是产品质量判定、等级评定、出厂放行及全过程质量追溯的重要依据，在企业质量保证体系中具有基础性和关键性作用。随着高端装备制造对可靠性和安全性的要求不断提升，射线检测不仅承担缺陷发现功能，更逐步向支撑质量控制、过程优化和责任追溯的重要技术手段转变，其规范性、稳定性和可追溯性要求不断提高。

在业务规模持续扩大的背景下，企业当前年 X 射线胶片检测量已达约 120 万张，检测任务呈现出批量化、高频次、连续化特征。然而，现阶段仍主要采用传统物理胶片方式开展检测，整体作业流程以“胶片流转—人工评片—结果复核—报告填写—资料归档”为主，存在流程环节多、人工依赖程度高、信息载体分散等突出问题。在高强度检测任务条件下，传统模式难以兼顾效率与规范性要求，具体表现为检测周期较长、内部流转效率偏低、人员劳动强度大以及质量管控难度增加。同时，胶片采购、冲洗及存储成本逐年上升，也在一定程度上加重了企业运行负担。

更为突出的是，当前检测过程仍以人工经验判定为主，尚未形成统一、标准化、可量化的评定支撑体系。对于复杂铸件而言，其射线图像中缺陷类型多样、形态复杂、背景干扰明显，在缺陷识别、尺寸界定及等级划分过程中，对检验人员经验依赖程度较高。不同人员在缺陷判读和等级评定上的理解差异，容易导致同类问题判定结果不一

致，进而影响产品放行决策、返修判断以及质量责任界定，对质量控制的稳定性和一致性带来不利影响。这一问题在大批量检测条件下尤为突出，已成为制约质量管理水平提升的重要因素。

同时，检测数据尚未实现有效沉淀和贯通应用。企业在长期生产过程中积累了大量胶片、评片记录及检测报告，相关信息主要以纸质或非结构化形式分散存储，缺乏统一的数据管理与组织方式，尚未形成连续、完整的质量数据链条。检测结果难以与原材料、熔炼、浇注、热处理等关键制造环节建立有效关联，导致检测数据在缺陷规律分析、工艺问题溯源及质量持续改进中的支撑作用未能充分发挥，数据资源价值有待进一步挖掘。

从行业发展趋势看，推动射线探伤由传统经验主导模式向标准化、数字化和智能化方向转型，已成为高端装备制造领域的重要发展方向。相关标准体系和工程实践表明，通过底片数字化、评片过程规范化以及检测数据结构化管理，可以有效提升检测一致性、可追溯性和运行效率。在此基础上，引入智能辅助评片技术，通过人机协同方式对缺陷进行识别、标注及定量表征，可在不改变现有质量责任体系的前提下，显著降低人为差异对评定结果的影响，提升检测工作的稳定性与可靠性。

针对上述问题，亟需面向复杂铸件检测场景，构建射线探伤智能缺陷识别与定量评定技术体系。本项目拟建设覆盖“胶片数字化、智能预评、人工复核、定量评定、报告生成、结果归档及质量追溯”的一体化系统，推动射线探伤由传统经验主导模式向标准化、数字化及人机协同模式转变。在此基础上，重点开展复杂缺陷智能识别、缺陷定量表征与辅助评定、评片规则统一及检测数据贯通等关键技术研究，逐步形成统一、可执行、可复核的质量评定体系，并构建企业级缺陷知识库与检测数据资源体系。

项目实施后，将在以下方面形成支撑作用：一是实现射线探伤业务流程及评定规则的统一化，降低人为经验差异对检测结果的影响，提升质量评定一致性和稳定性；二是提升复杂铸件缺陷识别与评定效率，减少重复性人工工作，提高检测业务整体运行效率；三是推动检测数据结构化积累与贯通应用，使射线探伤由单一质量把关环节向支撑缺陷分析、工艺优化及质量持续改进的重要基础环节转变。

**考核指标**（成果形式、关键绩效指标，包括但不限于提质、降本、增效以及“双招双引”等情况，限 1000 字以内）

本项目面向高端装备关键部件、先进核能与“两机”装备关键部件射线探伤场景，预期形成面向企业实际应用的射线检测智能缺陷识别与定量评定系统成果，并在典型场景完成示范验证。

### **1. 标志性成果指标**

(1) 建成 1 套基于深度学习的高端装备铸件射线探伤缺陷智能检测与定量评定系统，实现“胶片数字化、智能预评、人工复核、评定输出、报告生成、结果归档”的一体化应用。

(2) 形成 1 套适用于安徽应流典型产品场景的智能评片业务流程、评定规则和应用规范。

(3) 建成 1 个企业专有数字底片样本库、缺陷知识库和评定规则库，形成不少于 2 万张典型胶片数字样本，形成覆盖典型产品和典型缺陷类型的基础数据资源。

(4) 新增申请知识产权不少于 5 项，其中发明专利不少于 2 项；形成企业技术规范、操作规程或应用标准不少于 1 项。

(5) 引进或培养 AI+无损检测复合型人才不少于 3 人，推动形成产学研协同创新机制。

### **2. 可考核的关键技术指标**

(1) 在企业典型射线底片测试集上，典型缺陷辅助检出率不低于 90%，综合识别准确率不低于 85%。

(2) AI 建议等级与人工最终复核结论一致率不低于 85%，重点缺陷漏检率不高于 5%。

(3) 单张底片智能预评时间不高于 5 秒，检测评定整体效率较现状提升 100%以上。

(4) 在示范场景中实现评片规则统一、过程留痕完整、结果可追溯，跨人员评定一致性达到 90%以上。

(5) 系统应具备缺陷识别、辅助评级、人工复核、报告自动生成和结果归档等完整功能，满足企业实际应用要求。

### **3. 应用成效指标**

(1) 显著提升射线探伤业务处理效率，减少重复性人工评片、记录和流转工作量，提升检测业务组织效率。

(2) 推动评片规则和质量标准统一实施，提升复杂铸件射线评

定的一致性和稳定性，降低因人员经验差异造成的质量波动。

(3) 实现检测数据规范化沉淀和归档管理，支撑缺陷追溯分析、工艺问题定位和质量持续优化。

(4) 形成可复制、可推广的智能评片应用模式，为高端装备关键部件射线检测数字化、智能化升级提供示范。

**现有基础情况**（已经开展的工作、所处阶段、投入资金和人力、仪器设备、研发生产条件等，限 1000 字以内）

安徽应流集团霍山铸造有限公司（简称应流铸造）是安徽应流集团核心企业，是安徽应流机电股份有限公司（简称应流机电）全资子公司，应流机电于 2014 年在上海主板上市（股票代码：603308）。

应流铸造是制造业单项冠军企业、国家高新技术企业、国家技术创新示范企业、国家级绿色工厂、国家智能制造优秀场景试点示范、国家知识产权示范企业；承担参与国家重点研发计划、国家科技重大专项、国家“两机”重大专项、国家核电重大专项、工业强基示范工程等多项国家级项目；两机叶片热等静压再制造技术入选《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录》、国家“两机”耐高温叶片“一条龙”应用计划、国家重点产品、工艺“一条龙”应用计划；入选长三角（含江西）大飞机集群。

应流铸造专业从事航空航天、核能核电、海洋油气等高端装备领域关键零部件的研制，主导高端部件出口 42 个国家和地区，服务于包括 GE 航空、西门子、艾默生、贝克休斯等 13 家世界 500 强在内的 100 多家全球行业龙头客户，是行业领先并具有国际影响力的高端装备关键零部件制造企业，国内极少数拥有核一级泵阀类、支承类产品制造资质的企业。国内第一家取得 ASME 核设施部件质量认证证书、通过法国 RCCM 工厂认可。泵阀零件出口一直保持国内第一。核电铸件市场占有率第一，全部国内核电站和出口核电站均有应流的产品。完成核电站核一级主泵泵壳、核一级爆破阀、核动力装置和核岛主设备金属保温层等关键产品首台套、首批次国产化任务。是国内唯一实现 CAP1000、CAP1400 和华龙一号核岛核一级主泵泵壳、叶轮、爆破阀等关键部件国产化研制并批量交付企业，目前仍是华龙一号核一级主泵泵壳铸件的唯一供应商。

应流铸造现拥有国家级企业技术中心、国家地方联合工程研究中

心等 9 个省级以上创新平台；授权发明专利 45 项、PCT 专利 6 项。主持或参与制修订国家标准 23 项、行业标准 16 项。公司研发及生产设备整体处于国内领先水平，由其构成的产能规模处于行业前列，是同行业具备铸造成形、精加工和模块化制造完整产业链的领先企业。拥有 CNAS 国家认可实验室，具备对高端零部件产品的化学成分、机械性能、物理性能、金相组织、几何尺寸、内在缺陷等进行全面检测的设备和技術能力，拥有 Ir192 射线探伤机、Co60 射线探伤机、6 兆/9 兆/12 兆直线加速器等多台无损检测设备，设备检测能力达到国内领先水平，为基于深度学习的高端装备铸件射线探伤缺陷智能检测与定量评定项目奠定了良好基础，本项目的成功研发将在国内同行业形成标杆示范。

**对揭榜方要求**（希望与哪类企业、高校、科研院所等科研单位开展合作，以及对专家及团队所属领域和水平的要求，限 1000 字以内）

### 1. 对揭榜单位的要求

（1）揭榜单位企业或高校院所应拥有制造业或人工智能领域重点实验室、工程研究中心、制造业创新中心等国家级科创平台，具备开展智能感知、智能计算、大数据分析、智能系统设计等关键技术攻关的软硬件基础设施，有牵头承担国家科研项目的经验，牵头或参与获得省级及以上科技进步一等奖者优先。

（2）揭榜单位须在工业智能、人工智能、大数据分析及智能制造领域具备核心技术实力的企业，拥有成熟的工业 AI 研发应用经验，并熟悉精密器件生产、质量控制等流程，能够提供软件系统开发、数据处理与工业现场集成服务。具备完整的研发和工程实施能力，能够支撑全流程的开发、测试与工程化应用，同时有能力参与技术标准制定、软件平台维护和系统迭代优化。

（3）揭榜单位应具备工业数据采集、清洗、标注等数据管理能力，建有行业高质量数据集者优先。

### 2. 对揭榜团队的要求

（1）项目团队须具备扎实的工业 AI 理论研究功底与丰富的产业实践融合经验，跨学科协同攻关与系统集成能力，团队核心成员应具有博士学位、高级技术职称或省级 B 类及以上高层次人才，主持过省部级及以上重大科研或产业化项目。

（2）在智能化无损检测领域具有行业成功应用经验，具备 AI 算

法、深度学习、工业大模型等人工智能技术研发和工程化应用经验。能够将成果快速转化为可实施的工业应用方案，在生产现场实现端到端的数据采集、分析、优化与闭环控制。

### 3、诚信与合作要求

(1) 良好信誉：揭榜方单位及团队成员应恪守科研诚信，无不良信用记录。

(2) 合作精神：具备强烈的合作意愿和高效的协同能力，能够与我方建立紧密的沟通机制，共同推进技术攻关与成果落地。

## 二、发榜金额测算说明

### 1. 设备费

购置设备费：预算 310 万元，其中财政资金 50 万元，企业自筹 260 万元，主要用于购置项目研发过程中的胶片扫描仪 40 万元（1 台）、CR 成像系统 90 万元（1 套）、AI 训练服务器 120 万元（1 台）、数据存储服务器 60 万元（3 台）。

### 2. 业务费

(1) 材料费：预算 190 万元，其中财政资金 114 万元，企业自筹 76 万元，主要用于 X 射线检测胶片及项目研发测试所需耗材采购。

(2) 测试化验加工费：预算 30 万，全部为企业自筹，主要用于项目系统指标完成效果的验证测试。

(3) 差旅费/会议费/国际合作与交流费：预算 6 万元，全部为企业自筹，主要用于项目组人员出差调研及参加行业会议等支出。

(4) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：预算 5 万元，全部为企业自筹，主要用于专利和软件著作权的申请费，文

献检索费、查新和资料费、打印费等。

(5) 劳务费：预算 279 万元，全部为企业自筹，主要用于项目实施过程中数据标注辅助、算法开发支持、系统测试及现场应用支撑人员劳务支出等。