



东北师范大学  
Northeast normal university



# 中子照相图像后处理及应用

汇报人: 张 天

单 位: 东北师范大学

时 间: 2025年7月24日



# 目录

- 1 研究背景
- 2 中子照相图像数据集构建
- 3 中子照相图像多重降质复原
- 4 中子照相图像质量评价
- 5 图像处理在缺陷检测上应用

# 一、研究背景



东北师范大学  
Northeast normal university

东北师范大学中子技术研究团队，多年来一直从事高产额**中子管**和与之匹配的**低通量降质图像复原、增强和质量评价**等工作，在中子照相图像处理领域形成了自己的特色。先后提出了基于BM3D滤波、Richardson-Lucy反演和稀疏表示与广义范数模型的混合噪声、模糊抑制和细节增强方案<sup>[1-4]</sup>。

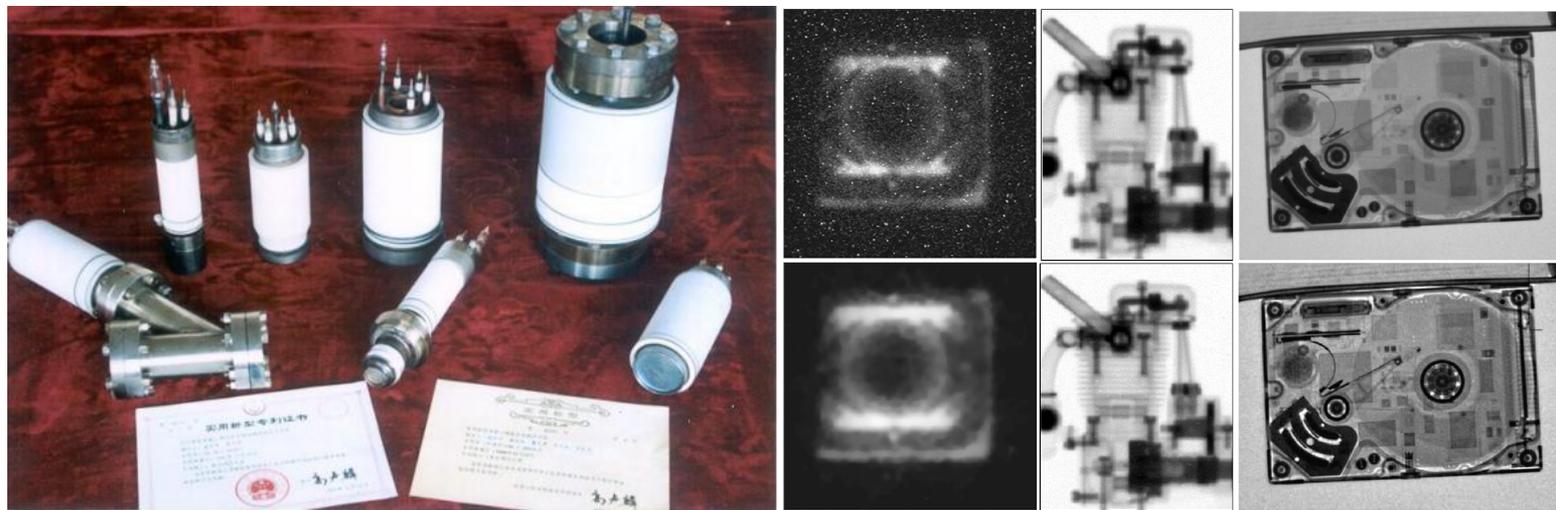


图1 师大自主知识产权中子管和早期的中子照相图像去噪、去模糊和细节增强算法

[1]Zhao C, Yan Y, Wang Y, et al. White spots noise removal of neutron images using improved robust principal component analysis[J]. Fusion Engineering and Design, 2020, 156: 111739.

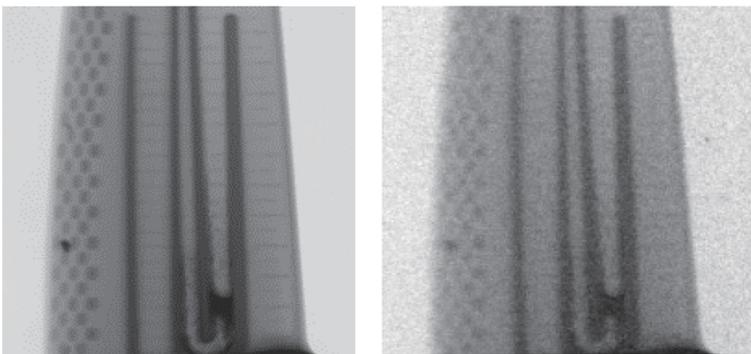
[2]Zhao C, Qiao S, Sun J, et al. Sparsity-based shrinkage approach for practicability improvement of H-LBP-based edge extraction[J]. NIM- A, 2016, 825: 1-5.

[3]Qiao S, Zhao W, Sun J. Neutron radiographic image restoration using BM3D frames and nonlinear variance stabilization[J]. NIM- A, 2015, 789: 95-100.

[4]Qiao S, Wang Q, Sun J, et al. A new method by steering kernel-based Richardson-Lucy algorithm for neutron imaging restoration[J]. NIM- A, 2014, 735: 541-545.



# 一、研究背景



(a) 反应堆中子照相

(b) 低通量加速器中子成像

图2 航空发动机涡轮叶片中子成像<sup>[1]</sup>

[1]王倩妮, 郭广平, 顾国红, 唐彬, 尹伟, 陈子木, 张建合. 航空发动机叶片残余型芯中子照相检测.失效分析与预防, 2021, 16(1): 76-82

相比于**高通量成像**（研究堆和散裂中子源），低通量图像（中子源产额低于 $10^{10}$ n/s的小型加速器、紧凑型中子发生器）呈现出空间分辨率下降，蕴含包括混合噪声、不锐度（模糊）和白斑等多重降质。

针对低通量图像的多重降质问题，研究适用于低通量图像的**清晰化重建方法**就成为了所有小型中子成像系统面临的共性问题。

然而，既有的传统中子成像图像复原、增强算法，大都针对某一类特定的图像降质有效（如噪声、模糊），且常常出现为了**抑制一种降质而引入或加重另外一种降质的情况**。为此，引入**深度学习（DL）**新方法，实现低通量图像的**智能化、自动化**提质十分必要。

## 同类成果支撑：

2024年，[[Science,384\(6696\)](#)]上报道了采用深度学习技术利用0.05Tesla的低剂量MRI图像可重建出媲美3Tesla的MRI成像结果。

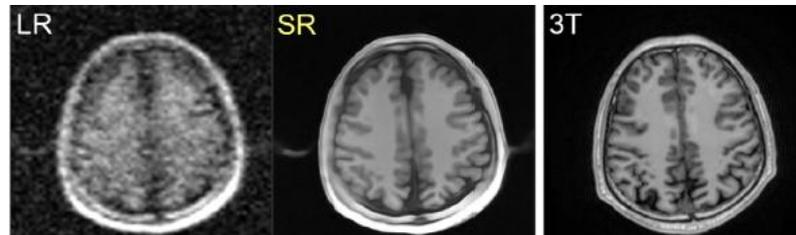


图3 基于深度学习的**低剂量**MRI图像高质量重建

## 二、中子照相图像数据集构建



**深度学习技术**利用其强大的特征提取能力，可以在含有多重降质的图像中重建潜在的清晰图像，但其学习能力极大地依赖于训练**数据集的大小和分布**。然而，迄今为止，**尚未见任何一个开源的用于科学研究的中子成像图像数据库**，这促使我们自己构建数据集。（1.图像算法生成； 2.Geant4模拟成像； 3.数据共享合作）

依据中子照相图像的退化模型，构造数据集：

$$g = P(H * f) + n + b$$

其中， $g$  为模拟的降质图像， $H$  为不锐度模糊核， $*$ 表示卷积操作， $f$  为高通量设备上的清晰图像， $n$  为加性高斯噪声， $P(\cdot)$  为乘性泊松噪声， $b$  为白斑。

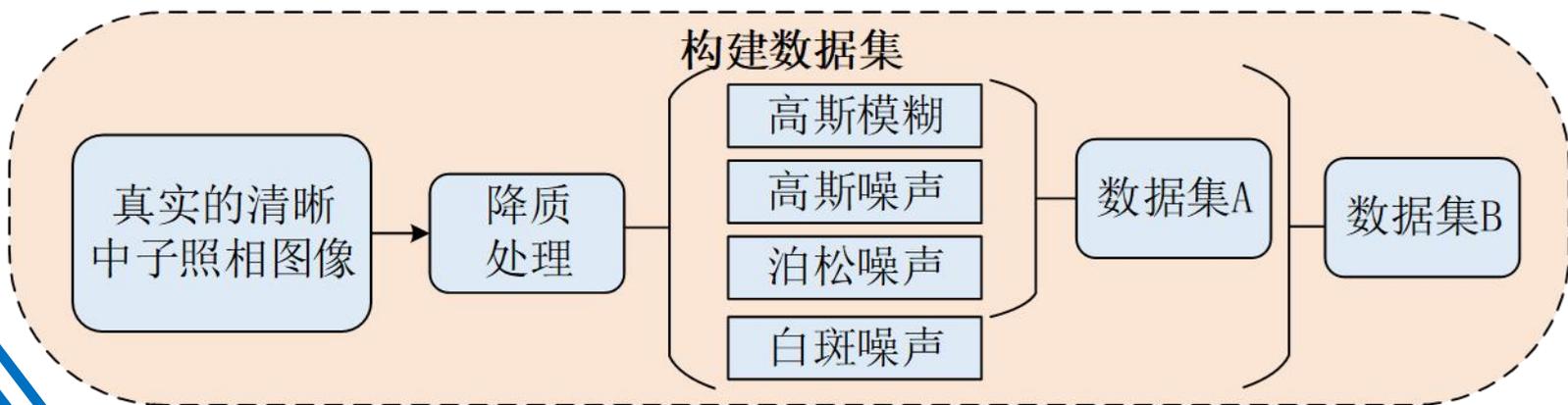


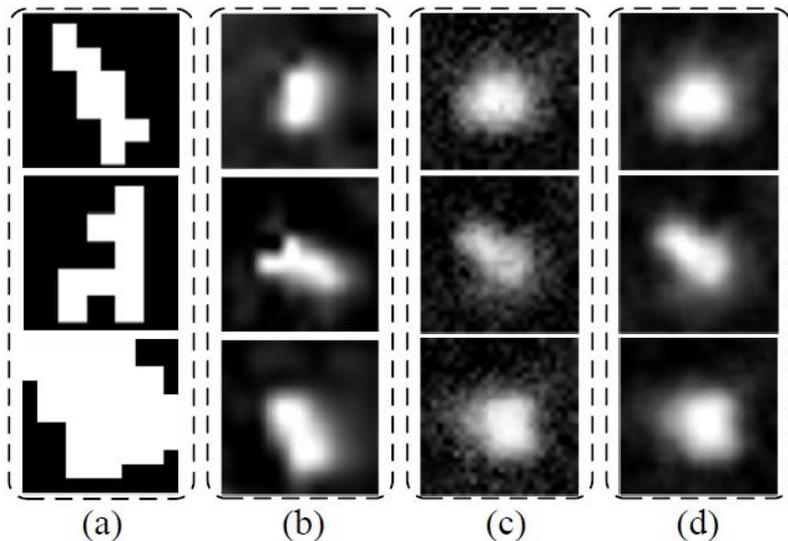
图4 中子照相图像数据集构造流程图

## 二、中子照相图像数据集构建



东北师范大学  
Northeast normal university

值得一提的是，我们利用GAN网络+图像处理，可以生成高保真的像素级白斑样本。



- (a) 为早期的白斑样本模拟；
- (b) 真实的白斑样本；
- (c) GAN直接生成的白斑样本；
- (d) 图像处理后的GAN样本。

借此，构建包含不同等级**高斯模糊**、**高斯噪声**、**泊松噪声**和**白斑**的降质中子照相图像数据集，用以实现图像清晰化网络训练。

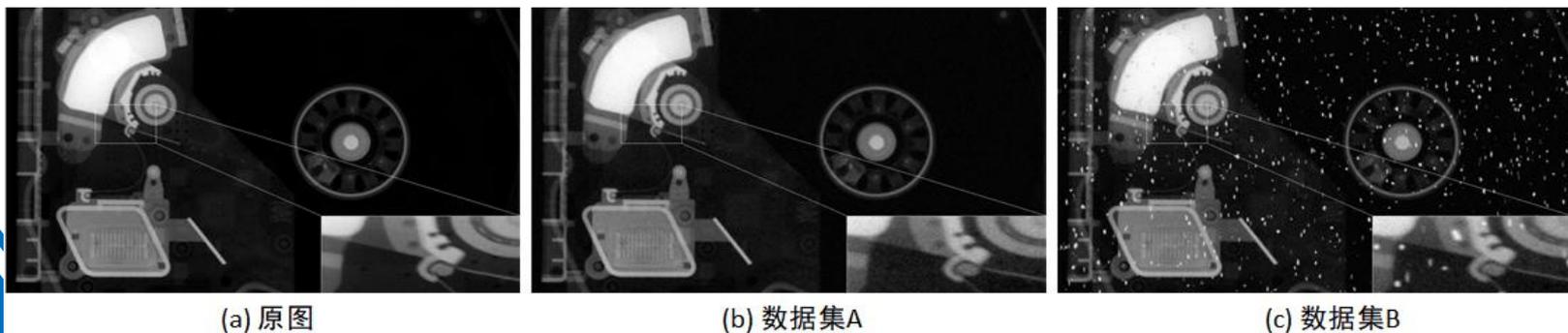
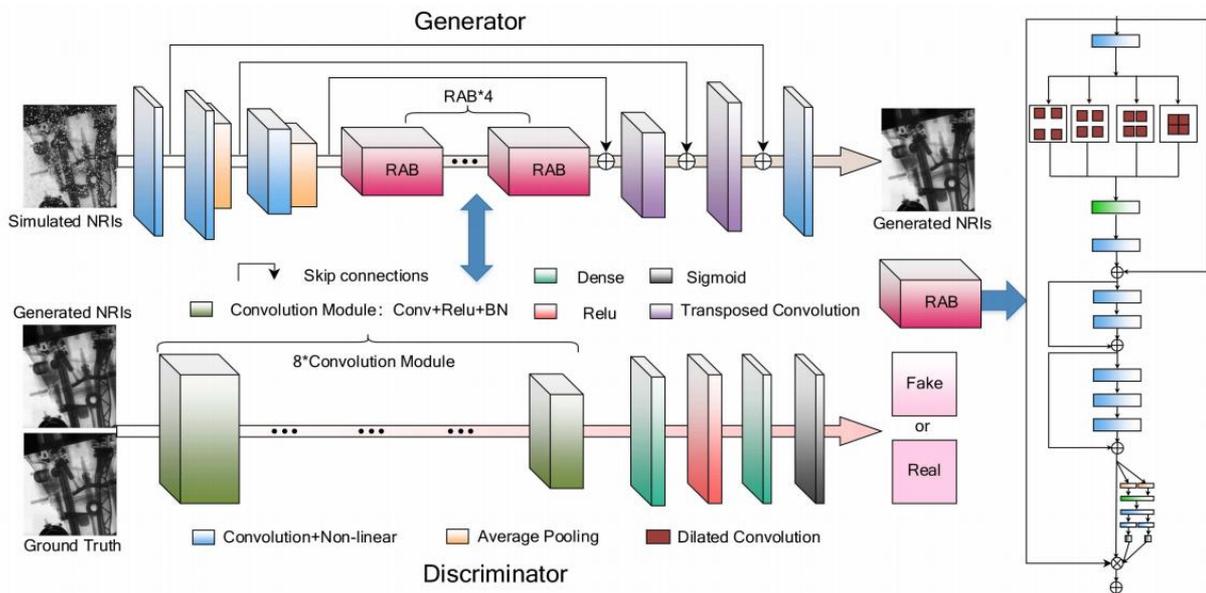


图5 构造的中子图像数据集展示



# 三、中子照相图像多重降质复原



**生成器部分：**以模拟的含有多重降质的中子照相图像作为输入，通过一系列特征提取、残差单元上的学习和上采样重建得到复原后的中子照相图像。

**判决器部分：**通过与真值图像的比对来迭代获取最终的神经网络参数。

操作流程  
流程图

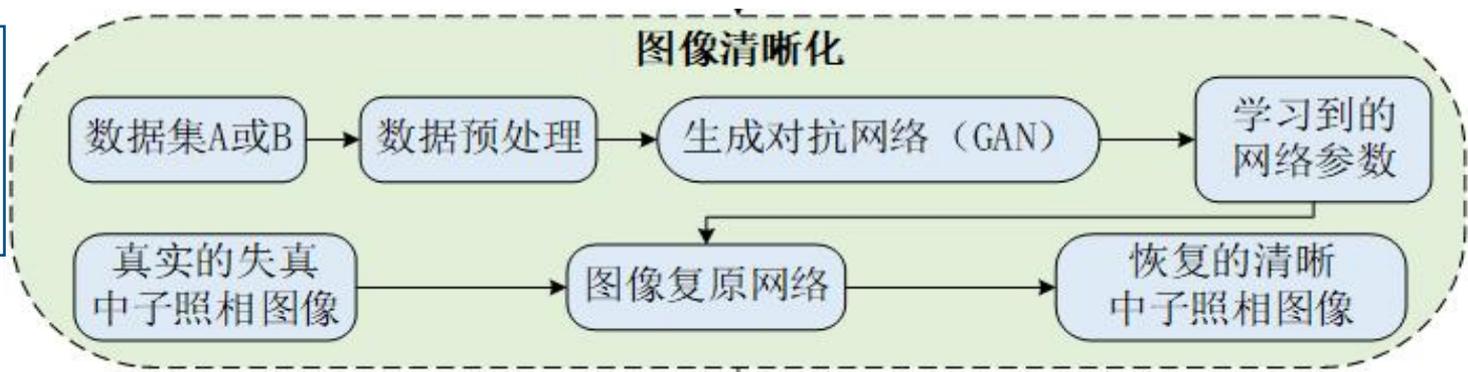


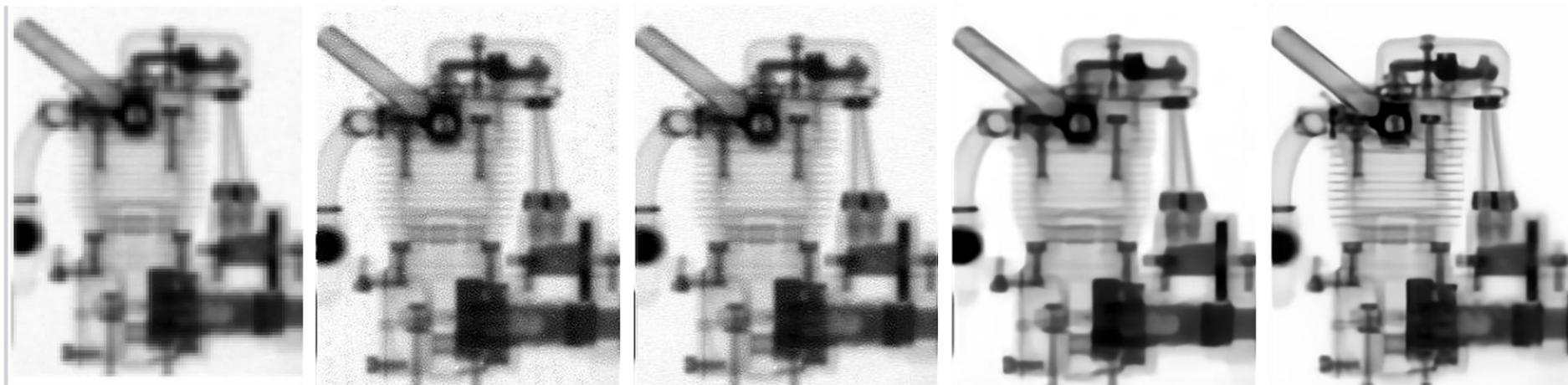
图6 基于GAN的中子照相图像多重降质复原模型

[1]Chengbo Meng, Wangwei Zhu, Zhen Zhang, Zhitong Wang, Chenyi Zhao, Shuang Qiao, Tian Zhang\*. Multi-distortion suppression for neutron radiographic images based on generative adversarial network, Nuclear Science and Techniques, 2024, 35 (81) : 1-13.

### 三、中子照相图像多重降质复原



东北师范大学  
Northeast normal university



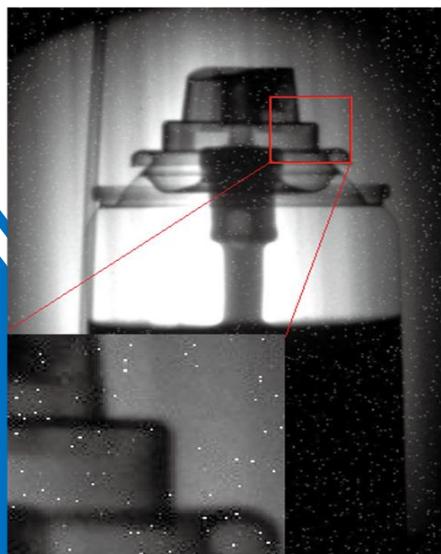
(a) 原图

(b) SK-RL

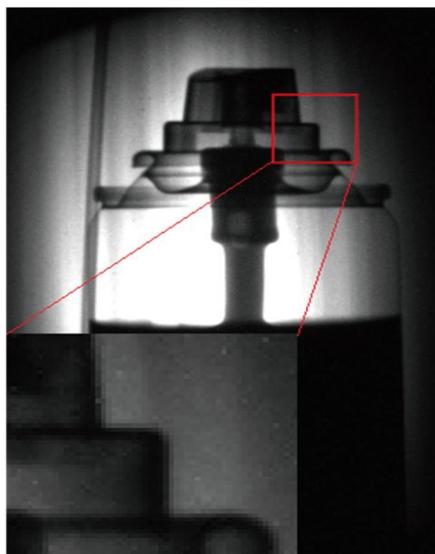
(c) imageJ

(d) RIDNet

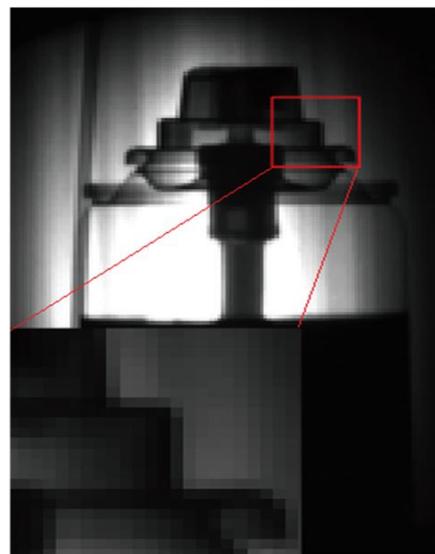
(e) 本文



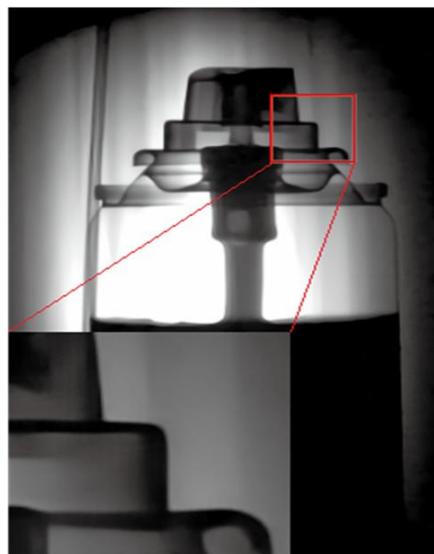
(a) Origin



(b) Image J



(c) IRPCA



(d) Proposed

图7 含有噪声、模糊和白斑等多重降质的清晰化效果展示



## 四、中子照相图像质量评价

中子照相不具备参考图像，且降质类型与自然图像迥异，既有的经典图像质量评级方法均难以评价真实的中子照相图像质量，也不具备对图像处理后的中子照相图像的客观评价能力。因此，我们团队提出了利用图像显著度算法修正局部质量图的质量度量方案，实现了对中子照相图像主流降质类型（噪声、模糊、白斑）的全覆盖评价<sup>[1, 2]</sup>。

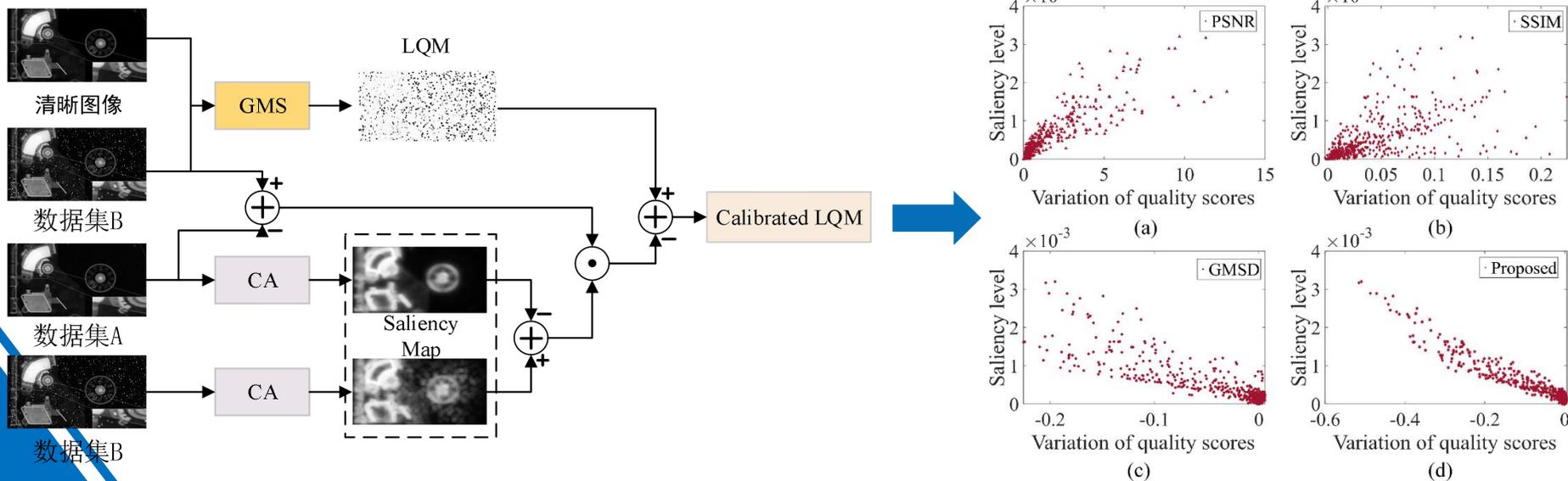
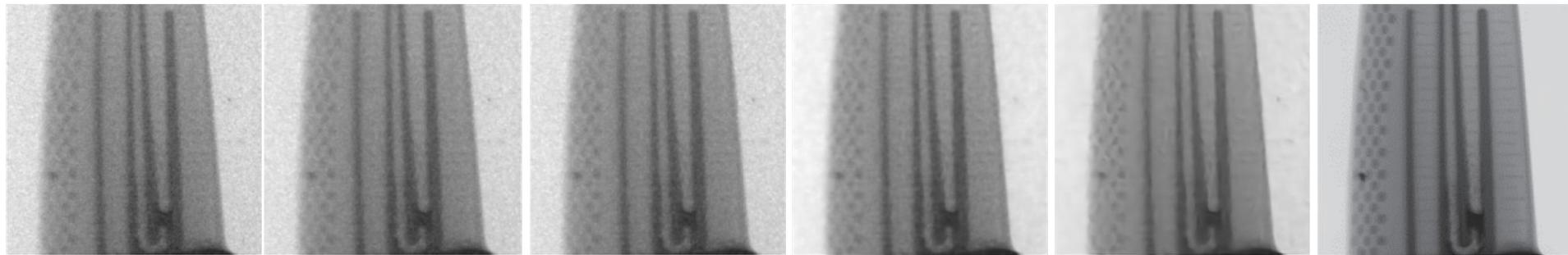


图8 中子照相图像无参考图像质量评价方法

[1] Zhen Zhang, Chengbo Meng, Xiaolong Jiang, Chenyi Zhao, Shuang Qiao, **Tian Zhang\***. Comprehensive Quality Assessment Method for Neutron Radiographic Images based on CNN and Visual Saliency. Nuclear Science and Techniques, 2025, 36(118), 1-13.

[2] Li J, Qiao S, Zhao C, et al. A practical residual block-based no-reference quality metric for neutron radiographic images[J]. NIM-A, 2021, 1019: 165841.

# 四、中子照相图像质量评价



(a) 加速器原图

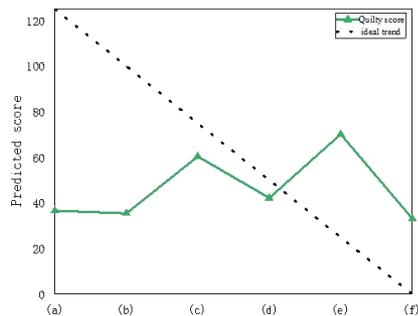
(b) SK-RL

(c) imageJ

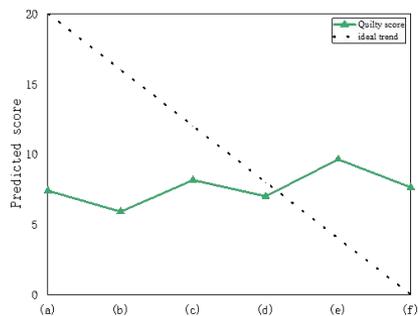
(d) RIDNet

(e) 本文

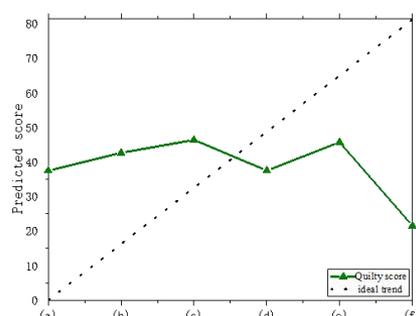
(f) 反应堆原图



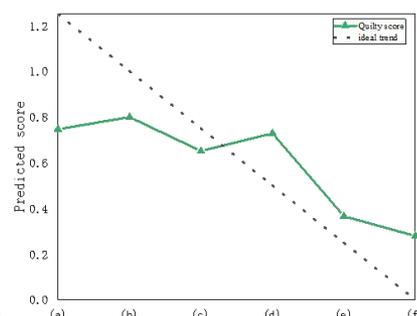
(a) BRISQUE



(b) NIQE



(c) BLIINDS



(d) 本文

图9 中子照相图像的质量分数预测与评价方法的主观一致性验证<sup>[1]</sup>

上图的预测分数与主观分级趋势 (ideal trend) 的折线图显示, 本文所提质量评价方法与**人眼主观评价具有较好的一致性**。

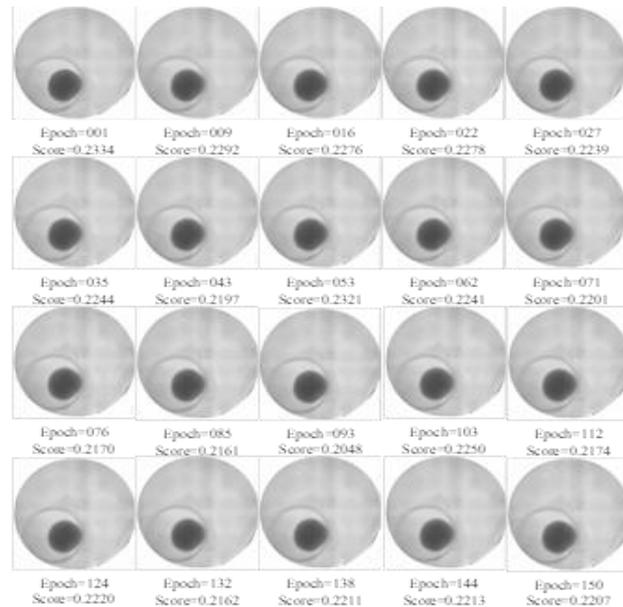
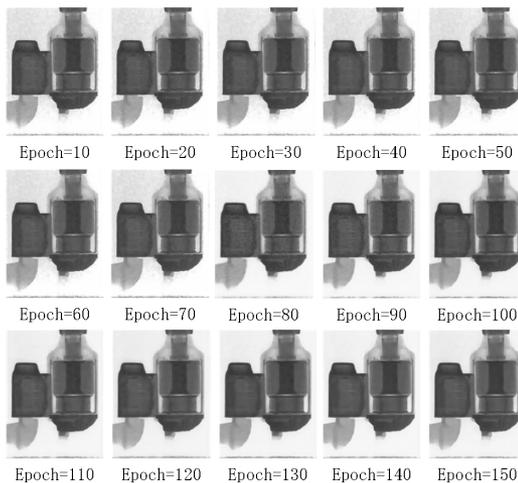
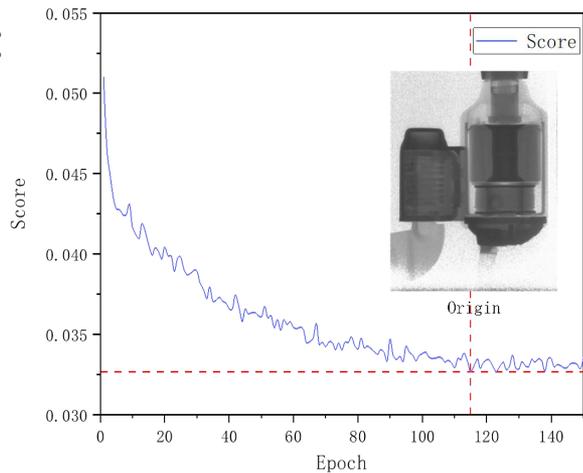
[1]张天, 孟成博, 张震, 赵辰一, 乔双. 降质中子照相图像清晰化及其质量度量方法[J]. 原子能科学技术, 2024, 55(11),pp2386-2392.

# 四、中子照相图像质量评价



东北师范大学  
Northeast normal university

复原:



筛选:

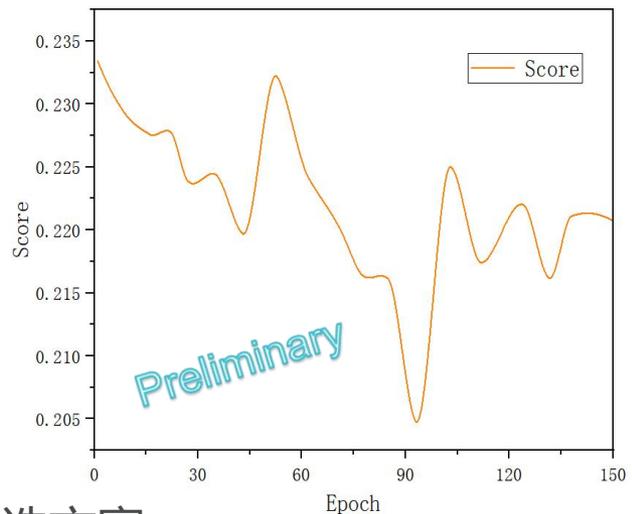
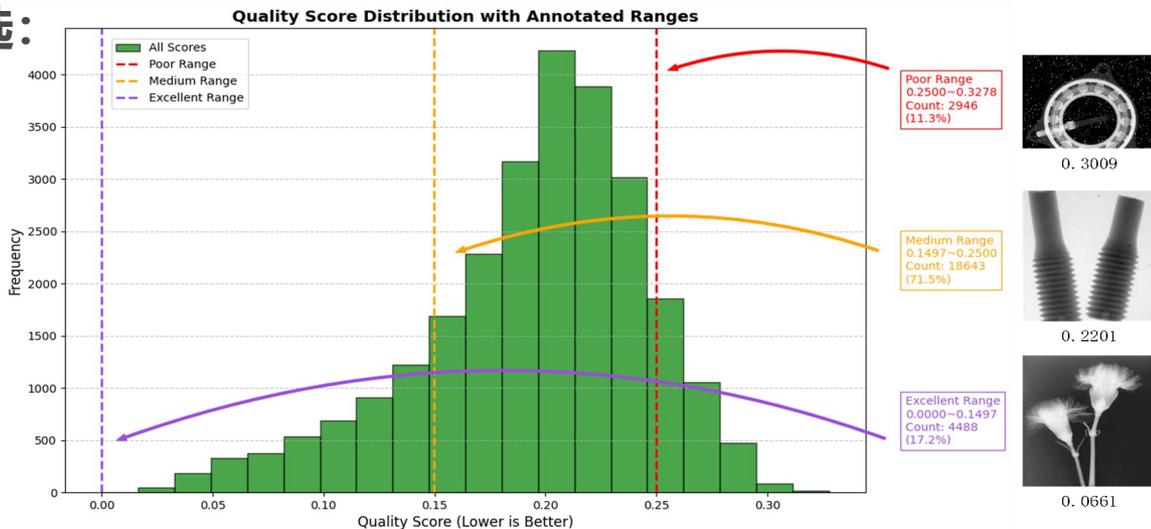


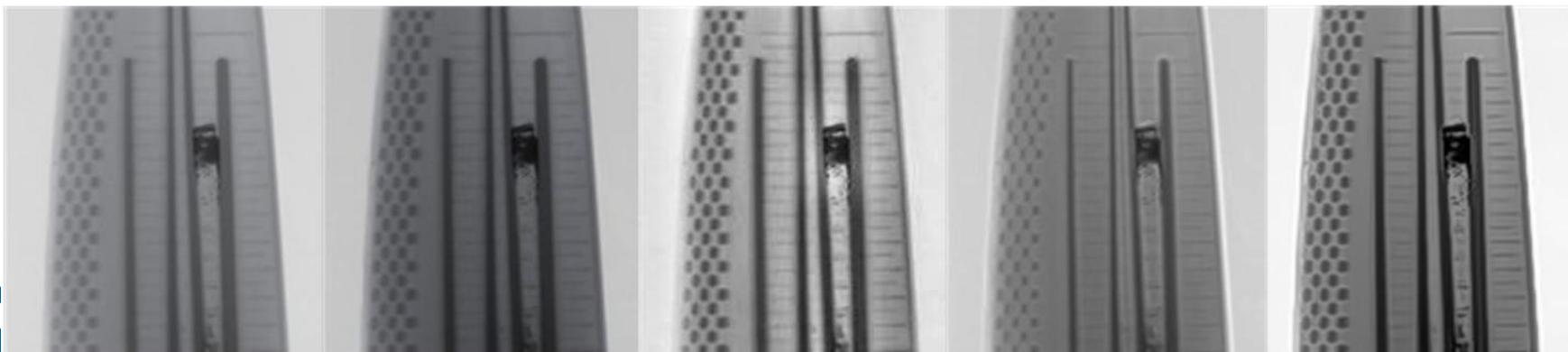
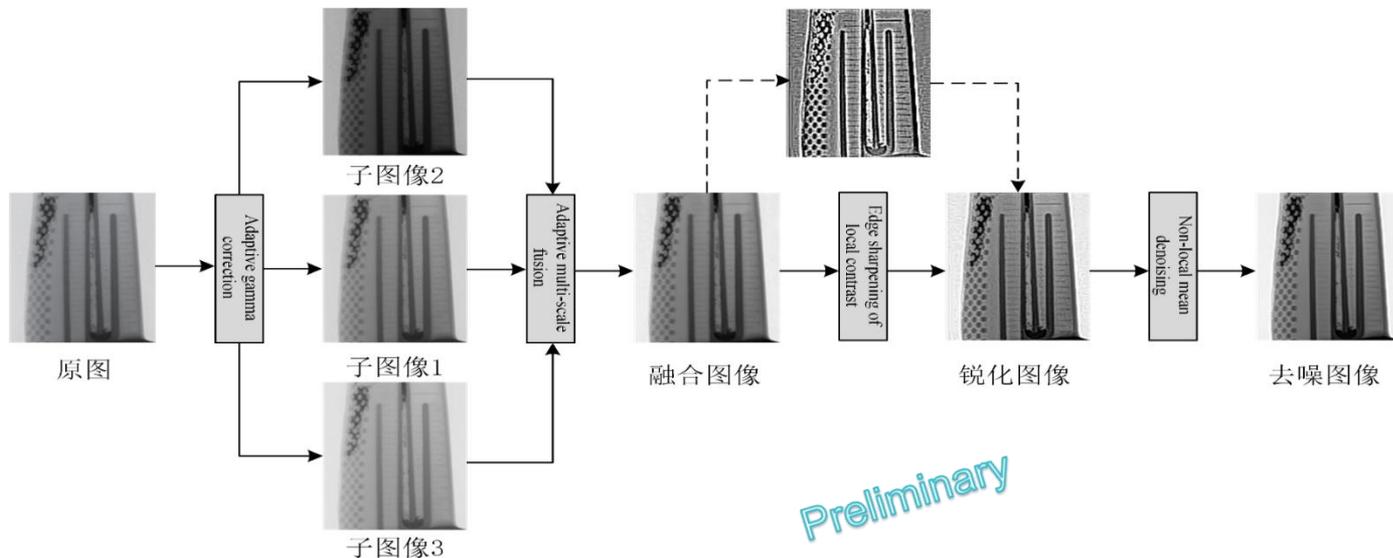
图10 中子照相图像自动复原-筛选方案

质量分级便于专业人员和非专业人员快速质量评估，分数越小代表图像质量越好

# 五、图像处理在缺陷检测上应用



DL方法在图像复原（如去噪、去模糊和去白斑）上效果显著，但在**图像增强**上有**局限**。



原图

伽马变换

CLAHE

九院 [1]

本文

图11 基于DL+传统方法的中子照相缺陷图像增强

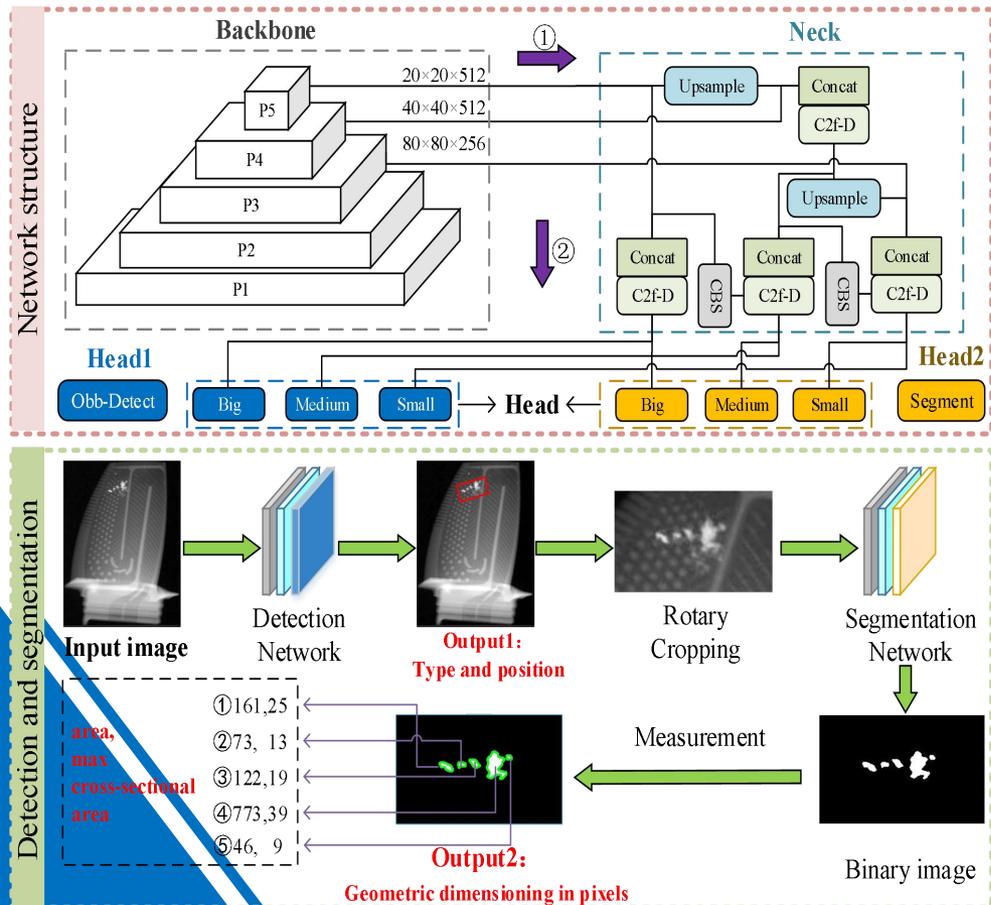
[1]Wu Y, Yang Z, Yang H, et al. Recognition of Residual Cores in Aero-Engine Blade Neutron Images Using Improved Patch SVDD[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2025. (九院)

# 五、图像处理在缺陷检测上应用

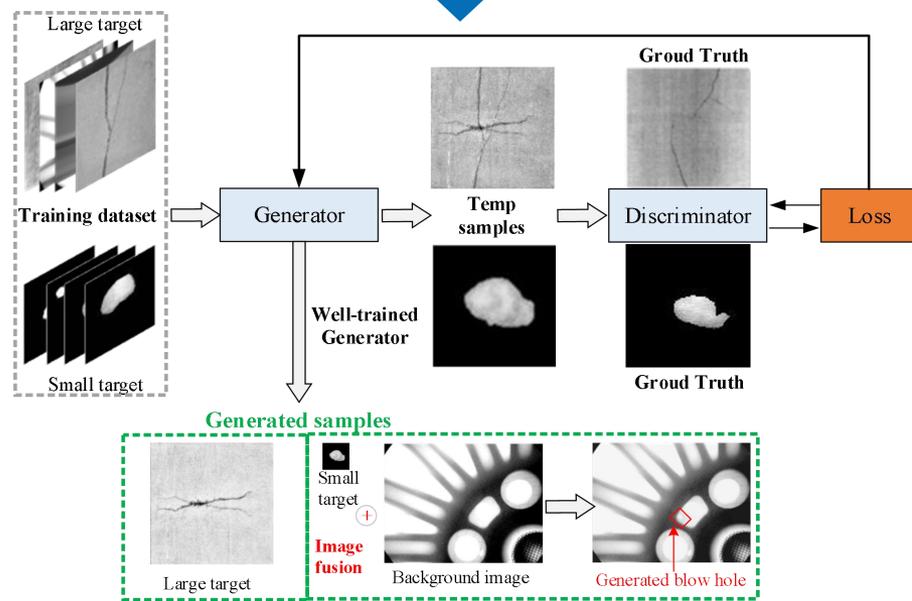


东北师范大学  
Northeast normal university

传统中子成像缺陷检测依赖人工判读，存在漏检、耗时、耗力等问题。



结合人工智能**生成式**模型扩增中子照相缺陷图像数据样本。



提高检测模型的**识别准确率和测量精确度**

Preliminary

图12 基于YOLOv8的中子成像缺陷自动检测方法

**优势：**基于深度学习技术的低通量中子照相图像清晰化技术，可以在**不改变硬件设备**的前提下，进一步改善图像质量，提高检测准确率，在小型可移动中子缺陷检测设备上具有良好的应用前景。

**需求：**大规模中子成像图像数据，包括高通量的清晰高质量图像和不同成像参数如准直比、中子注量率和成像时间的降质图像，提高网络泛化能力。



热忱欢迎国内同行交流合作，共建**中子成像数据库**！

联系人：张天，副教授，东北师范大学

联系方式：17390943626

Email: [zhangt100@nenu.edu.cn](mailto:zhangt100@nenu.edu.cn)

团队成员包括：**乔双教授**、赵辰一老师等人。

感谢和欢迎各位专家交流指导

谢谢!



东北师范大学

物理学院

物理学院欢迎您