

锅炉承压部件射线检测底片缺陷识别准确性影响因素分析

张 洋

四川经准特种设备检验有限公司 四川 广安 638000

【摘要】：锅炉承压部件的射线检测在结构完整性评估中具有关键意义，而底片缺陷识别的准确性直接关系到安全评价结果的可靠性。影响识别效果的因素十分复杂，包括射线曝光参数、工件材质与厚度差异、底片显影质量、成像噪声分布以及判读方法的适用性等。若任一环节控制不当，均可能造成缺陷边界模糊、对比度不足或伪影干扰等问题，从而降低识别精度。依据射线成像机制与锅炉承压部件典型结构特征对相关因素进行系统分析，可为优化检测工艺、提升底片成像质量与判读一致性提供依据，并为后续制定更有效的质量控制策略奠定基础。

【关键词】：锅炉承压部件；射线检测；底片质量；缺陷识别；影响因素

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.091

锅炉承压部件在长期服役过程中容易受到时间、温度、压力及溶解氧、二氧化碳腐蚀等因素多重作用，其结构完整性监测始终处于安全管理工作的核心位置。射线检测因具备穿透能力强、成像直观等特点，在缺陷评估中得到广泛应用。底片上呈现的缺陷特征往往受到成像条件、材料特性及检测环境的共同制约，使识别过程充满不确定性。若无法准确呈现缺陷轮廓与对比信息，任何评估结论都可能受到影响。对影响识别准确性的关键因素进行深入梳理，不仅有助于理解底片成像的本质规律，也为改进检测流程和提升判读质量提供清晰方向，从而使检测结果更加可信。

1 缺陷识别准确性受限的主要因素

锅炉承压部件在射线检测过程中呈现的底片图像往往受多种因素共同影响，导致缺陷识别的准确性难以稳定保持。承压构件的材质组织、厚度变化以及内部复杂结构会改变射线衰减路径，使底片上形成的黑度分布出现不均，使缺陷边界的黑度差难以达到理想水平。再加上射线束能量不匹配、曝光量偏差和散射线控制不足，会使底片信噪比降低，影像中出现伪影干扰、层次压缩或局部过度曝光，使微小缺陷的可辨识度受到明显削弱^[1]。锅炉承压部件表面粗糙度变化大，焊接部位余高、焊趾形貌及焊缝金属组织差异均可能对射线透照均匀性造成影响，使缺陷影像呈现不稳定特征。

射线成像系统及底片处理环节的偏差是影响识别准确度的另一重要来源。底片显影液成分控制、显影时间、定影充分性以及干燥均匀度都会决定影像颗粒度与对比度表现。当显影过程波动超出允许范围时，底片会出现灰雾上升、颗粒粗大或层次丢失等问题，使缺陷轮廓在噪声背景中不易分辨。加之暗室环境光泄漏、温度湿度调控不稳以及火花状伪影的产生，都可能让本应清晰呈现的缺陷在底片上变得模糊。若底片存储不当、受压折损或受化学腐蚀，射线影像信息会被进一步削弱，

从而降低缺陷数据的真实性。

缺陷识别过程本身也受到人为因素影响。判读人员经验层次、理解射线成像机理的深度以及对锅炉承压部件常见缺陷形态的掌握程度，会直接决定射线检测底片缺陷识别质量。若对焊缝裂纹、未焊透、气孔、夹渣、未熔合等缺陷的几何投影特征掌握不足，容易将真实缺陷误判为结构性影像差异。识别依赖的参照 NB/T47013.2-2015 射线检测标准、影像对比样本以及测量工具的精度都会影响判读一致性。在缺乏规范化训练或质量控制体系不完善的情况下，识别误差呈现累积效应，使最终缺陷识别结果缺乏准确性与可重复性。

2 提升底片识别精度的关键路径

锅炉承压部件的射线检测需在成像质量上取得稳定表现，提高底片识别精度的关键在于优化透照条件与能量参数的匹配度。针对承压部件厚度差异大、组织复杂等特点，应通过调节射线源能量范围、增强束流方向控制和减少散射线干扰，使影像密度分布更加均衡。合理选择焦距、曝光量及增感材料，可使底片对比度得到提升，使缺陷与基体之间的黑度差更加突出^[2]。透照角度的动态调整对焊缝区域尤为重要，不同角度射线束的入射方式能够强化缺陷投影的呈现，使识别过程具备更高的清晰度与稳定性。通过对工件几何结构和焊缝坡口形式的深入分析，可建立匹配更精确的透照工艺，提高底片影像细节还原度。

底片处理的质量控制构成提升识别精度的另一核心路径。显影液浓度、温度以及显影时间的精准控制，能够有效降低底片颗粒噪声，使影像层次更接近真实衰减规律。为了避免灰雾上升和对比度损失，需要在定影时间、液槽搅动方式和干燥过程中保持一致的技术规范。暗室设施应具备稳定的光密封能力与湿度调控能力，避免底片在成像后期出现斑点、污迹或局部密度异常。底片存储和搬运环节同样需要严格的防压、防潮与

抗污染措施,以保证影像信息不因环境变化而衰减。通过引入数字化记录装置对关键工艺参数进行实时监控,可使底片质量保持在受控范围内,从而使缺陷影像的可靠呈现得以保障。

识别过程的专业化建设也是提升精度的重要环节。判读人员需掌握射线成像机理、承压构件典型缺陷的几何投影特征以及材料内部结构变化对影像的影响规律。利用标准化对比图谱、数字增强工具和测量软件,可使识别过程更具量化依据。通过建立缺陷识别培训体系,使判读思路在区域密度判断、边缘特征识别、影像伪影排查等方面形成统一标准,有助于减少人为差异。识别策略中加入多次复核机制、交叉判读模式以及专业小组评审,可显著提升识别结果的准确性。

3 影响因素分析的综合认知与经验凝练

锅炉承压部件射线检测过程中呈现出的各种影像差异,源自材料特性、透照工艺和成像系统之间的相互耦合作用,对这些因素的综合认知能够反映缺陷识别精度的真实规律。承压构件在制造与服役阶段形成的组织变化,会影响射线衰减曲线,使底片密度梯度呈现出特定的结构性分布,这种分布若与缺陷的黑度变化叠加,就会导致识别难度上升^[3]。焊缝内部因熔合比变化而形成的金属组织带,使局部透照效果与基体产生偏移,也会使影像边缘出现过渡不均的现象。透照能量选择、散射控制方式以及射线束准直精度共同影响底片的成像稳定性,使缺陷影像表现出多样化特征,对识别过程提出更高要求。

底片处理的经验积累在控制影像质量波动方面具有重要意义。显影时间偏差带来的颗粒噪声变化,会使密度阶梯过度拉伸或压缩,使缺陷边界的视觉连贯性被破坏。定影过程不足

或过度,会让底片在使用阶段出现密度衰退,使原本清晰的影像逐渐模糊。干燥速度、暗室光泄漏以及存储湿度变化等因素,都会对底片影像质量产生耦合影响,使同一类缺陷在不同拍片批次中呈现不同表现。通过长期检测实践积累,可对底片出现的各种异常影像形态进行分类,从而提升对噪声来源、伪影种类及异常密度区的识别能力,使底片质量控制更具针对性。

缺陷识别经验的凝练体现在判读人员对影像细节的敏感度与对规律性特征的把握能力上。不同类型缺陷在密度分布、边界锐度、影像投影方向等方面呈现出稳定的诊断特征,通过大量实际底片的反复比对,可形成对典型形貌的快速辨识能力。对于承压部件中的焊接区域,裂纹、未熔合、气孔、未焊透、夹渣等缺陷在几何投影结构上具有可归纳的特征模式,通过系统化训练能够使识别过程更加准确。随着对射线成像机理理解的深入,判读思路会逐渐从经验型向模型化过渡,使复杂影像的判定更依赖规律分析而非单纯直观判断,从而使影响因素之间的逻辑结构得到更清晰的呈现,识别行为也随之更具一致性与稳定性。

4 结语

射线检测底片中缺陷影像的呈现受多重因素共同制约,锅炉承压部件的结构特征与成像条件之间的耦合作用,使识别过程必须建立在成熟、稳定的工艺控制与系统化认知基础上。成像参数、底片处理与判读方法之间的协调程度,决定了缺陷识别的可靠性。随着经验的积累与技术路径的不断完善,识别逻辑愈加清晰,使射线检测在锅炉承压部件安全评估中的支撑能力得到进一步强化。

参考文献:

- [1] 黄松发.电站锅炉安装中对承压部件的质量控制[J].模具制造,2025,25(10):243-245.
- [2] 沈利,谢尉扬,刘文新.锅炉金属承压部件失效分析及对策[J].电站系统工程,2022,38(02):33-35+38.
- [3] 聂敏.循环流化床锅炉承压部件磨损原因及防范措施[J].中国高新科技,2020,(21):78-79.