

# 航空复杂构件X射线DR成像检测虚拟仿真 实验教学的建设与实践

敖 波

(南昌航空大学 测试与光电工程学院, 南昌 330063)

**摘要:** 在加快培养高素质数字化射线检测技术人才的背景下, 为解决X射线DR成像检测复杂性高、设备台套数少、课内学时不足等问题, 基于虚拟仿真技术, 开发了面向航空复杂构件的X射线DR成像检测虚拟仿真实验教学平台。构建了基础-应用-提高的3层次虚拟仿真实验教学设计, 通过开发综合性实验内容、多样化实验教学方法、检测过程性评价等内容, 有力支撑了学生的工程实践能力和创新能力的培养, 后续还需要进一步完善虚拟仿真平台建设, 强化训练实效。

**关键词:** 射线数字成像; 虚拟仿真实验; 航空构件; 图像评定

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2024)08-0096-05

## Construction and practice of virtual simulation experiment teaching for X-ray DR imaging of aviation complex components

AO Bo

( School of Measuring and Optical Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China )

**Abstract:** Under the background of accelerating the cultivation of high-quality digital radiography technology talents, in order to solve the problems of high complexity, few equipment sets, and insufficient class hours in X-ray DR imaging testing, a virtual simulation experimental teaching platform for X-ray DR imaging testing of aviation complex components was developed based on virtual simulation technology. A three-level virtual simulation experimental teaching design of foundation-application-improvement was constructed, through the development of comprehensive experimental content, diversified experimental teaching methods, and inspection process evaluation. It effectively supports the cultivation of students' engineering practical ability and innovative ability, further improvement is needed in the construction of virtual simulation platforms to enhance training effectiveness.

**Key words:** digital radiography; virtual simulation experiment; aviation component; image evaluation

提高高等教育质量是目前社会各界共同关注的焦点问题, 评价教育质量的核心标准是学生是否具有创新精神和实践能力。因此, 提高工科学生工程实践能力是工科院校培养创新型人才的重要途径<sup>[1-2]</sup>。

自1895年伦琴发现X射线以来, 胶片照相检测一直是工业射线检测领域的主流技术。DR(数字射

线成像)技术的发展, 为工业射线检测技术从模拟化走向数字化奠定了基础。射线DR成像检测技术以平板探测器代替胶片进行射线照相检测<sup>[3]</sup>, 具有可实时成像、检测效率高、可实现自动化、检测结果存储方便等优点, 是目前工业领域主流的射线检测技术, 广泛应用于特种设备、航空航天、核电等行业。随着无损检测数字化、自动化和智能化需求的快速增长, 企业对高素质射线DR成像检测技术人才的需求量非常大, 现有生产一线技术人员严重缺乏射线DR检测专业知识及工程实践能力。但受设备条件、学时等限制, 大部分开设无损检测方向的高校未

收稿日期: 2024-05-03

基金项目: 江西省高等学校教学改革研究课题(JXJG-20-8-5)

作者简介: 敖 波(1979—), 男, 博士, 教授, 主要从事射线检测的研究工作

通信作者: 敖 波, aobo0328@163.com

开设射线DR成像检测实验相关课程，笔者所在学校本科层次射线检测实验教学中也仅提供了2学时DR检测教学实验，难以满足智能化背景下创新型技术人才的需求。

因此，建设航空复杂构件X射线DR成像检测虚拟仿真实验教学平台，可以为学生提供一个安全、高效的学习和训练环境<sup>[4-7]</sup>，帮助学生更好地理解和应用X射线DR成像检测技术，使学生得到系统、规范、自主的实践技能训练，提高实验教学水平，提升射线检测技术人才培养质量。

## 1 X射线DR成像检测实验教学现状

X射线DR成像检测技术是一种数字化的射线照相检测手段，但与胶片照相检测技术相比，其检测方式、检测结果、评片方式等都发生了根本性的改变，对专业人才的工程实践能力培养和实验实训教学都提出了更高要求。但是目前X射线DR成像检测实验教学存在以下几方面的问题。

(1)射线DR成像检测理论涉及数学、物理学、核技术、机械、图像处理、电子学、成像等多学科交叉理论知识，设备操作复杂性更高，需要经过系统培训。

(2)射线DR成像检测设备昂贵，一次投入动辄上百万，设备台套数少，存在辐射风险，加上学生规模越来越大，学生的实际动手实践机会较少，学生的专业技能训练难以保障，训练效果远不能满足社会需求。

(3)在工程教育专业认证背景下，面对知识量增大而课时压缩的新情况，需要紧跟科技前沿和工程实际，与时俱进，深化教学改革，开拓课外实践新渠道，弥补课内学时的不足。

## 2 虚拟仿真实验教学平台建设

### 2.1 虚拟仿真实验教学设计

射线DR成像检测虚拟仿真实验教学设计上分为以下3个层次。

第一层为基础层，主要掌握射线DR成像基础知识，了解平板探测器结构和成像原理，学习基本操作和掌握设备功能，使学生对射线DR成像检测有清晰的认知和理解。该部分采用习题测验方式进行考核，总分为10分，重点考察知识点的掌握情况。

第二层为应用层，主要掌握射线DR成像检测的基本操作，包括探测器的初始化、暗场/增益/坏像素图像采集、工艺规范设计、透照布置、工艺参数选

择、曝光、DR图像质量评价、DR图像处理、技术标准的使用等知识和能力培养。通过应用层的训练，使学生具备使用技术标准进行工艺操作的能力。该部分采用过程性考核，总分为65分，重点考察实验步骤与操作规范性和熟练程度。由于工艺规范属于技术类文件，因此，考核分数有所弱化。

第三层次为提高层，主要掌握依据技术标准进行图像评定和编制检测报告等知识和能力，使学生具备应用验收标准的能力。该部分重点考察学生对实验结果的收集总结及改进措施，考核总分为25分，由实验指导教师主观评分。

射线DR成像检测虚拟仿真实验平台总体设计方案如图1所示，学生评价以过程性评价为主。

### 2.2 虚拟仿真实验开发

在实验平台总体设计方案的基础上，采用Unity3D、3D Studio Max、Maya、Mysql等多种开发工具，开发了航空复杂构件X射线DR成像检测虚拟仿真实验平台，其界面如图2所示。该平台完全参照实际检测场景模拟了涡轮叶片射线DR成像检测的全过程，包括系统预热与初始化、校正文件采集、透照布置、工艺参数设置、开机检测、DR图像采集与校正、信噪比测量、像质计灵敏度测量、不清晰度测量、窗宽窗位调节、缺陷检测与量化、编制检测报告等，实验内容设计上以综合性实验为主。

在虚拟实验中1:1复现了探伤室、检测系统、控制台、涡轮叶片检测对象等检测场景，控制台仿真界面如图3所示，为射线DR成像检测提供场景支持。虚拟实验主要分为以下几个主要过程：①模拟探测器初始化及校正文件采集过程，该过程支持暗场、增益和坏像素校正文件采集，这是获得高质量射线DR图像的重要前提；②模拟透照布置、工艺参数设置、开机曝光的过程，模拟环境中通过插件方式调用自研的射线DR图像采集与评定软件实现DR图像的采集，允许学生自主制定透照方案，获得不同的检测结果；③模拟图像评定过程，该过程以插件方式调用第三方开源软件实现检测图像的打开、图像质量指标的评定等操作，突出像质计灵敏度、归一化信噪比和不清晰度等指标的测量，使学生掌握基本的工艺设计和工艺操作能力，能区分胶片照相检测的异同，并模拟编制检测报告。涡轮叶片射线DR成像检测界面如图4所示，涡轮叶片射线DR图像评定界面如图5所示，编制检测报告界面如图6所示。

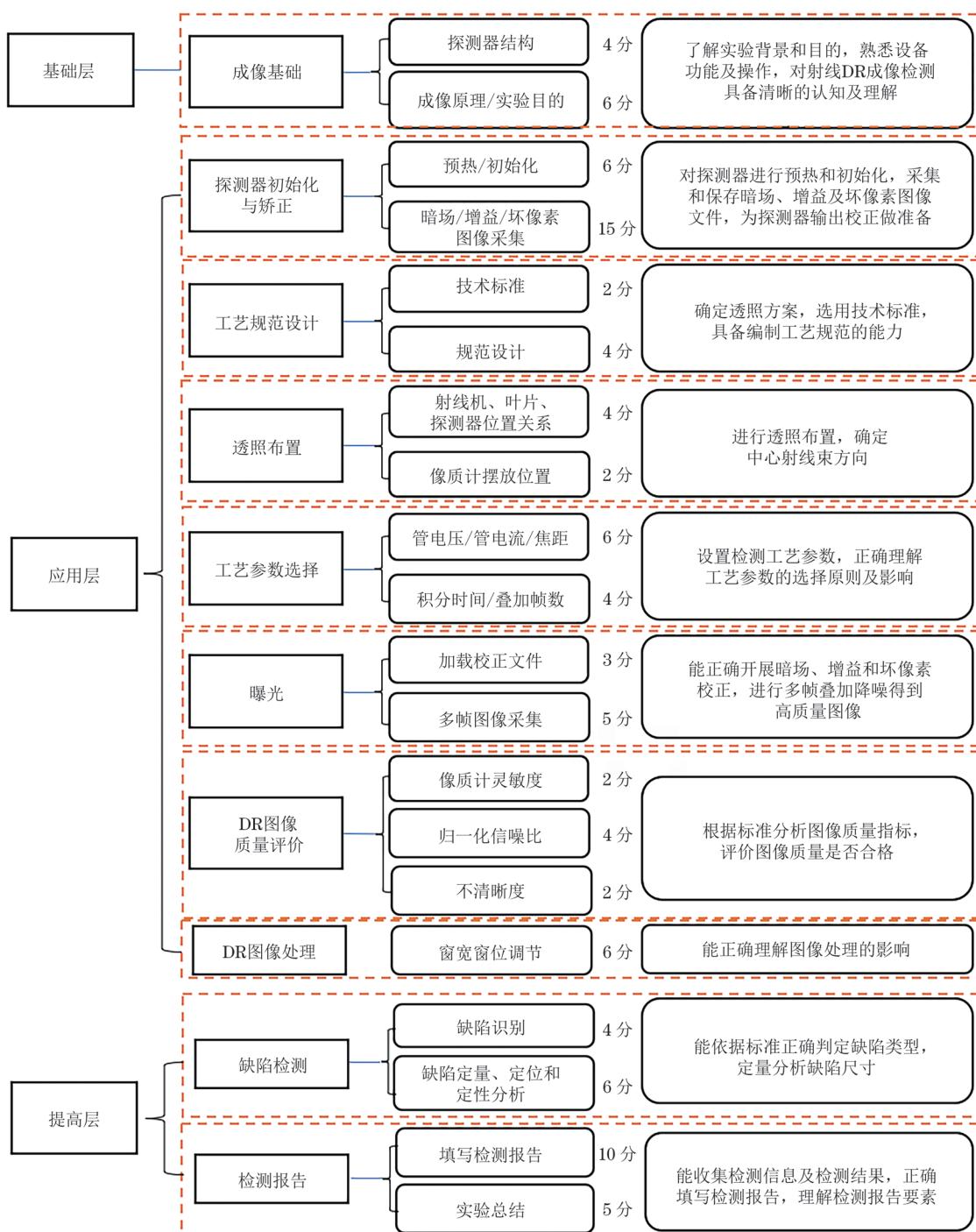


图 1 射线 DR 成像检测虚拟仿真实验平台总体设计方案



图 2 X 射线 DR 成像检测虚拟仿真实验平台界面



图 3 控制台仿真界面

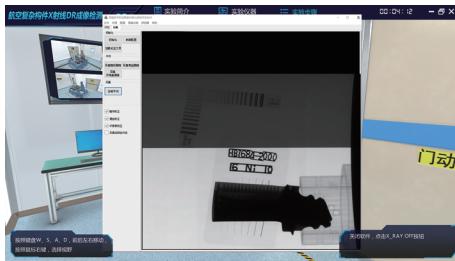


图 4 涡轮叶片射线 DR 成像检测界面



图 5 涡轮叶片射线 DR 图像评定界面



图 6 编制检测报告界面

射线 DR 成像检测虚拟仿真实验平台设计了学习模式和考核模式。学习模式下,系统会根据射线 DR 成像检测过程,自动提示下一步操作方法,引导学生训练;考核模式下,系统不会提示下一步操作方法,学生需要根据训练方法自主操作,系统会自动评判成绩。学生可以利用计算机先开展模拟训练再参加操作考核,学生可以利用课余时间完成,要求所有学生必须考核通过。

### 3 虚拟仿真实验平台实验教学方法

实验平台主要采用沉浸式、自主体验式、交互式、探索改进式相互融合的实验教学方法,致力于培养学生的问题意识、主动学习和持续创新的能力,实验教学方法架构框图如图 7 所示。

#### (1) 沉浸式环境漫游

实验中,学生以第一视角进入虚拟的射线检测现场,沉浸式体验方式可使学生快速熟悉实验环境,如临其境地开展实验,从而激发学习兴趣。

#### (2) 自主体验式实验设计

以项目为导向,按实际操作流程进行 DR 检测,系统自动记录实验过程,实时显示检测实验结果,学

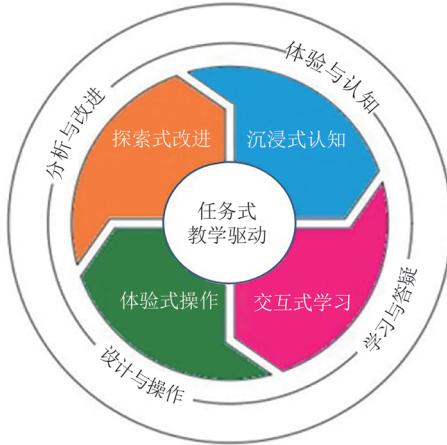


图 7 实验教学方法架构框图

生可及时查看所实施的检测工艺规范是否具有合理性和可行性,以便及时纠错。学生通过自主探索实验,锻炼自主探索能力,拓展创新思维。

#### (3) 交互式实验操作

学习模式下,设计了向导式提示引导学生操作,帮助学生在交互式实验操作中深化对核心知识和技术的理解,培养其系统性思维判断与分析能力,提升其解决复杂无损检测工程问题的能力。

#### (4) 探索改进式评价反馈

实验操作结束后,要求学生填写检测报告和实验报告,系统提供回看错误操作的功能,学生可以反思自己的操作合理性,及时了解自身的知识能力缺陷。学生还可根据评价结果和兴趣,尝试改进工艺方案反复进行虚拟仿真实验,探索创新检测工艺设计。通过评价反馈及时发现并弥补知识能力的欠缺,提高学习效果,达到仿真实验的教学目标。

#### (5) 思政育人

以航空发动机涡轮叶片为检测对象,强化国防军工产品质量对国家安全的重要意义,将航空报国情怀寓教于学中,践行服务航空理念,培养学生献身国防事业的使命担当精神。

### 4 结语

利用虚拟现实技术,构建了高度仿真的射线 DR 成像检测虚拟实验环境和实验对象,通过典型航空构件射线 DR 成像检测的虚拟仿真实验教学,突破了传统教学环境的限制,扩展了射线 DR 成像检测技术的广度和深度,培养了学生工程实践能力和创新能力。

近 3 年来,射线 DR 成像检测虚拟仿真实验教学一直辅助学校“射线检测”课程教学使用,作为课外

实践训练的一部分，已经有连续3届学生参与课外训练，累计超过500名学生受益，有效弥补了学生在射线DR成像检测方面知识和实践能力培养方面的不足，受到学生的一致好评，相关工作获“2023年虚拟现实教学应用创新大赛”技术创新赛道一等奖。

#### 参考文献：

- [1] 刘文锁. 高职院校射线检测实训基地的建设研究[J]. 广东化工, 2019, 46(24): 124, 110.
- [2] 敖波, 张小海, 邬冠华, 等. 新工科背景下射线检测实验教学体系探索[J]. 无损检测, 2023, 45(12): 81-85.
- [3] 俞梦倩, 吴伟, 邬冠华, 等. 航空发动机涡轮叶片DR检  
测工艺参数优化[J]. 航空动力学报, 2023, 38(8): 1837-1845.
- [4] 张鹏林, 赵志强. 射线照相检测及质量评定虚拟仿真实验系统开发[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(4): 194-196, 202.
- [5] 刘超. 一种DR设备教学模拟系统的设计与实现[J]. 现代信息科技, 2018, 2(1): 21-23.
- [6] 樊敬锋. 基于Hololens的射线DR成像检测虚拟训练系统开发[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2021.
- [7] 李炯, 吕秀玲, 平学军, 等. 虚拟仿真DR操作智能训练系统在医学影像学创新教育教学改革中的应用[J]. 中国继续医学教育, 2023, 15(5): 1-5.