

基于铁路工务钢轨探伤工作探讨

刘庆伟

漯阜铁路有限责任公司 河南 周口 466000

摘 要：钢轨探伤对铁路运输安全至关重要。超声波、磁粉、涡流等探伤技术各具优势，结合数据处理与分析技术，提升了探伤准确性。新型探伤技术如激光超声、声发射等展现出巨大潜力。铁路工务部门通过标准化管理、人员培训、设备维护更新及应急预案等措施，确保探伤工作高效可靠，为铁路运输安全提供坚实保障。未来，随着人工智能和机器学习技术的融入，探伤系统将更加智能化，进一步提高铁路安全水平。

关键词：铁路工务；钢轨探伤；探伤技术；应对策略

引言

钢轨作为铁路轨道的核心部件，其状态直接影响铁路运输的安全与效率。长期承受列车荷载与环境侵蚀，钢轨易产生裂纹、磨损等损伤。探伤技术作为预防铁路事故的关键手段，通过专业设备与技术手段检测钢轨缺陷，为维修决策提供依据。随着铁路运输向高速、重载发展，钢轨探伤工作的重要性愈发凸显，技术革新与管理优化成为必然趋势。

1 钢轨探伤的重要性

钢轨作为铁路轨道结构的主要部件，其质量和状态直接关系到铁路运输的安全与稳定。在铁路运营过程中，钢轨承受着来自列车车轮的巨大压力、冲击力以及交变应力，同时还受到自然环境中风雨、温度变化等因素的影响。长期的复杂受力和恶劣环境作用下，钢轨极易出现各种形式的损伤，如裂纹、磨损、核伤等。这些损伤若不能及时发现和处理，随着列车的不断运行，损伤会逐渐扩大，最终导致钢轨断裂，引发严重的铁路安全事故。钢轨探伤工作通过运用专业的探伤设备和技术手段，对钢轨进行全面、细致的检测，及时发现钢轨内部和表面的各类损伤。通过对探伤结果的分析 and 评估，准确掌握钢轨的伤损程度和发展趋势，为制定合理的维修和更换方案提供科学依据。这有助于保障铁路运输的安全，降低事故风险，还能有效延长钢轨的使用寿命，减少不必要的维修和更换成本，提高铁路运营的经济效益。随着铁路运输向高速、重载方向的快速发展，列车运行速度和轴重不断增加，对钢轨的质量和性能提出了更高的要求。在这种情况下，钢轨探伤工作的重要性愈发凸显。

2 钢轨探伤工作的关键技术要点

2.1 超声波探伤技术

超声波探伤技术在钢轨探伤领域应用极为广泛，其

原理基于超声波在不同介质中传播时，遇到界面会产生反射、折射和透射等现象。当超声波传入钢轨后，若钢轨内部存在缺陷，如裂纹、气孔等，超声波会在缺陷处产生反射和散射，使接收探头接收到的信号发生变化，通过分析这些信号的特征，即可判断钢轨内部是否存在缺陷以及缺陷的位置、大小和形状等信息。在实际应用中，超声波探伤设备种类繁多，包括A型脉冲反射式探伤仪、数字式探伤仪等。其中，数字式探伤仪具有数据存储、分析处理和显示直观等优点，得到了更为广泛的应用。探头的选择对于超声波探伤的准确性至关重要，不同类型的探头适用于检测不同位置和类型的缺陷。如直探头主要用于检测钢轨内部的纵向缺陷，斜探头则常用于检测钢轨轨头、轨腰和轨底等部位的横向和斜向缺陷。在钢轨探伤过程中，需根据钢轨的材质、规格以及出现的缺陷类型，合理调整探伤仪的参数，如发射频率、增益、扫描速度等，以确保能准确检测到各类缺陷；为了提高探伤的可靠性，还需采用多种探头组合的方式进行检测，并对检测结果进行综合分析。

2.2 磁粉探伤与涡流探伤技术

2.2.1 磁粉探伤原理及应用

（1）磁粉探伤技术基于铁磁性材料在磁场作用下的磁化特性。当钢轨等铁磁性材料被磁化后，若其表面或近表面存在缺陷，这些缺陷会打破磁场的连续性，形成漏磁场。漏磁场具有吸引磁粉的能力，通过在钢轨表面施加磁粉，清晰地显示出缺陷的位置、形状和大小。（2）磁粉探伤在钢轨探伤领域具有显著优势。其检测灵敏度高，能够精确捕捉到微小的缺陷信息，为钢轨的安全评估提供可靠依据。同时磁痕的形成使得检测结果直观易懂，便于检测人员快速判断缺陷情况。（3）磁粉探伤技术也存在一定的局限性。它仅适用于铁磁性材料的检测，对于非铁磁性材料的钢轨则无法发挥作用。磁粉

探伤对检测环境有严格要求,需在清洁、干燥的条件下进行,并在检测后清理钢轨表面,以避免磁粉残留对后续使用造成干扰。尽管如此,磁粉探伤技术在铁路、航空和机械制造等行业中仍广泛应用,因其能快速、有效地发现材料表面和近表面的缺陷^[1]。

2.2.2 涡流探伤原理及适用场景

涡流探伤技术的核心原理基于交变磁场诱发的涡流效应。在导电材料中,当探伤线圈靠近钢轨表面时,线圈内交变电流会在钢轨表面催生感应涡流。若钢轨表面存在诸如裂纹、腐蚀等缺陷,这些缺陷会干扰涡流的正常分布与大小,致使探伤线圈的阻抗产生变化。通过精准检测线圈阻抗的改变,就能判定钢轨表面是否存在缺陷。此技术尤其适用于探测钢轨表面的细微缺陷,对微小裂纹的检测灵敏度颇高。相较于磁粉探伤,涡流探伤优势明显,其检测速度快,无需预先处理工件表面,且便于实现自动化检测流程,提升了检测效率。然而,涡流探伤并非尽善尽美。它对缺陷的形状、尺寸和方向极为敏感,对于深埋在钢轨内部的缺陷,检测能力相对薄弱;钢轨的材质特性、形状结构以及表面状态等因素,都会对检测结果的准确性产生较大影响。

2.3 数据处理与分析技术

随着信息技术的飞速发展,现代数据处理和分析技术在钢轨探伤领域得到了越来越广泛的应用。传统的钢轨探伤主要依靠人工对探伤数据进行分析 and 判断,这种方式效率低下,且容易受到人为因素的影响,导致检测结果的准确性和可靠性存在一定的局限性。利用机器学习、人工智能等先进的数据处理和分析技术,有效提高钢轨探伤的准确性和效率。机器学习算法能对大量的钢轨探伤数据进行学习和训练,建立起缺陷特征与探伤信号之间的映射关系,实现对缺陷的自动识别和分类。如通过支持向量机(SVM)、神经网络等算法对采集到的超声波探伤信号进行分析处理,准确判断钢轨内部是否存在缺陷以及缺陷的类型和严重程度。人工智能技术中的深度学习算法,如卷积神经网络(CNN),在图像识别领域具有强大的优势,可用于对磁粉探伤和涡流探伤所得到的图像数据进行分析,快速准确地识别出钢轨表面的缺陷。大数据分析技术可综合钢轨探伤数据,挖掘潜在规律,预测伤损趋势,为维修计划提供决策支持。通过分析历史数据,能识别易损地段,加强针对性检测与维护^[2]。

2.4 新型探伤技术的探索

2.4.1 激光超声探伤技术

(1) 激光超声探伤技术作为一种前沿的无损检测技

术,为钢轨探伤带来了新的解决方案。该技术通过高能量激光脉冲在钢轨表面诱导产生超声波,这一非接触式的激发方式避免了传统探伤方法中探头与钢轨的直接接触,减少了检测过程中的干扰因素。(2) 激光超声探伤技术展现出了明显优势。其检测速度快,能在短时间内完成对钢轨的大面积扫描;空间分辨率高,精确捕捉超声波在钢轨内部的传播细节;该技术还具备对复杂形状钢轨进行检测的能力,拓宽了探伤技术的应用范围。

(3) 尽管激光超声探伤技术目前仍处于研究和发展阶段,但其在钢轨探伤领域所展现出的潜力不容忽视。随着技术的不断成熟和完善,激光超声探伤有望成为未来钢轨探伤领域的一种高效、精准的新型技术,为铁路交通安全提供更为坚实的保障。

2.4.2 声发射探伤技术

声发射探伤技术是基于材料在受力变形或损伤过程中会产生弹性波(即声发射信号)的原理。当钢轨内部存在缺陷且在列车荷载等外力作用下,缺陷处会发生微观结构的变化和损伤扩展,产生声发射信号。通过布置在钢轨上的声发射传感器接收这些信号,并对其进行分析处理,可以判断缺陷的位置、大小和活动性等信息。声发射探伤技术的独特优势在于能实时监测钢轨在运行过程中的损伤情况,实现对钢轨伤损的动态检测。然而,该技术也面临一些挑战,如声发射信号易受到外界噪声的干扰,需要采取有效的降噪措施;对声发射信号的分析 and 解读需要丰富的经验和专业知识。尽管如此,声发射探伤技术作为一种具有实时监测能力的新型探伤技术,在未来钢轨探伤领域具有广阔的应用前景^[3]。

3 钢轨探伤工作的应对策略

3.1 标准化与规范化管理

(1) 为确保钢轨探伤工作的质量和一致性,建立统一且完善的探伤标准和规范至关重要。铁路工务部门需综合考量国内外先进的探伤技术和实践经验,结合我国铁路运营的实际情况,科学制定钢轨探伤标准。这些标准应详尽规定探伤设备的选型原则、操作流程的具体步骤、检测频率的合理设定、缺陷判定的明确准则以及报告格式的统一要求,为探伤工作提供全面、具体的指导。(2) 在探伤工作的实施过程中,须严格遵守既定标准和规范。强化操作人员的培训和教育,确保他们熟练掌握探伤技能,并严格按照标准流程执行,有效避免因人为因素或操作不规范而引发的漏检和误检问题。(3) 加强对探伤工作的质量监督和检查同样不可或缺。定期对探伤数据进行复查和评估,及时发现并纠正潜在问题,确保探伤工作的准确性和可靠性。标准化与规范化

管理能提升钢轨探伤工作的质量和效率,更为铁路运输安全构筑起一道坚实的防线。培训和考核探伤人员的专业技能也是至关重要的。通过持续的教育和实践,提高他们的技术水平和判断能力,从而保障铁路运营的安全与稳定。

3.2 人员培训与技能提升

在钢轨探伤工作体系里,探伤人员的专业素养和操作技能是确保工作质量的关键因素。铁路工务部门需高度重视,积极构建全面且科学的培训体系,精心规划培训方案,确保探伤人员能够定期参与高质量的技术培训与业务学习。培训内容应做到全面且深入,既要涵盖各类探伤技术的基本原理,让探伤人员从根源上理解技术的运作机制,也要细致讲解设备的操作要点与维护技巧,保障设备的稳定运行与检测精度;针对缺陷的分析与判断方法,以及安全操作规程的培训也不可或缺。为提升培训效果,可邀请行业内资深专家进行授课,通过理论知识的深度讲解、实际案例的细致剖析以及现场操作的亲身示范,多维度提升探伤人员的专业知识与实操能力。鼓励探伤人员踊跃参与各类技术交流与技能竞赛,使其在交流与竞争中拓宽视野,激发自我提升的积极性。同时,建立完善的考核评价机制至关重要。定期对探伤人员的工作表现与技能水平进行严格考核,并将考核结果与薪酬待遇、职业发展紧密相连,以此激励探伤人员持续提升自身素质,为钢轨探伤工作注入源源不断的专业力量。

3.3 设备维护与更新

(1) 探伤设备的性能是确保钢轨探伤工作准确性和可靠性的基础。铁路工务部门需高度重视对探伤设备的日常维护与管理,建立健全设备档案系统,详尽记录设备的购置日期、使用历程、维护保养历史等关键信息,以便追踪设备状态,及时发现潜在问题。(2) 制定并严格执行设备维护计划至关重要。通过定期对探伤设备进行全面检查、精确校准、专业调试和系统保养,确保设备始终处于最佳工作状态。对于磨损或老化的部件,应及时予以更换,以保障设备的整体性能稳定可靠。(3) 随着探伤技术的日新月异和铁路运输需求的日益增长,对探伤设备进行适时的更新换代同样不可忽视。铁路工务部门应积极引进先进的探伤设备和技术,如数字化、

智能化的新型探伤设备,这些设备实现对探伤数据的自动采集、深度分析和高效处理,有效减少人为因素的干扰,显著提升探伤结果的可靠性^[4]。

3.4 应急预案与响应机制

在钢轨探伤过程中,发现严重损伤或潜在风险,须迅速启动应急预案,采取有效的措施进行处理,以确保铁路运输安全。铁路工务部门应制定完善的应急预案,明确在不同情况下的应急处置流程、责任分工和资源调配等内容。应急预案应包括现场封锁、列车限速或停运、缺陷修复或钢轨更换等措施;加强与铁路运输、调度等部门的沟通协调,建立快速响应机制,确保在发现问题后能够及时通知相关部门,采取相应的措施,最大限度地减少对铁路运输的影响。定期组织应急演练,检验和提高应急预案的可行性和有效性,使相关人员熟悉应急处置流程,提高应对突发事件的能力。通过建立健全应急预案与响应机制,能在钢轨出现严重问题时迅速做出反应,保障铁路运输的安全畅通。利用智能监测、AI技术提升钢轨探伤效率,强化设备升级与无损检测,建立健康档案系统,加强员工培训,共筑铁路运输安全。实时监控,防微杜渐,确保钢轨状态良好。

结束语

综上所述,钢轨探伤工作对保障铁路运输安全具有重要意义。通过综合运用多种探伤技术、加强数据处理与分析,结合标准化管理、人员培训与设备维护,铁路工务部门能够准确、高效地识别钢轨缺陷,及时采取措施预防事故。未来,随着新型探伤技术的不断涌现与应用,钢轨探伤工作将更加智能化、精准化,为铁路运输安全提供更为坚实的保障。

参考文献

- [1] 辛建兵.基于铁路工务钢轨探伤工作的探讨[J].现代交通与路桥建设,2025,4(1):2-4.
- [2] 王炳辉.普速铁路钢轨探伤及伤损原因分析[J].减速顶与调速技术,2022(01):25-27.
- [3] 彭晔.重载铁路钢轨探伤高速试验平台超声验证研究[J].铁道建筑,2022,62(02):42-46.
- [4] 吴昊.铁路工务钢轨探伤工作分析[J].科学与财富,2021,13(5):305-306.