

城镇建设工程检测中无损检测技术的成本效益

文 / 张嗣瑞 安庆市九华工程质量检测有限公司

摘要：在城镇建设快速发展的今天，各种基础设施和建筑项目层出不穷。工程质量的好坏直接关系到民众生命和财产安全，关系到城镇可持续发展。无损检测技术在确保工程质量方面正在扮演越来越重要的角色。该技术能在不损害工程结构的情况下，准确地检测出内部的缺陷，从而为工程项目的安全性评价提供强有力的支持。但在实践中，它的成本效益问题却始终一直是各方面研究的重点。深入分析无损检测技术成本构成并对其所产生的经济效益，社会效益和环境效益进行评价，对合理应用该项技术和优化资源配置具有十分重要的意义。

关键词：城镇建设；工程检测；无损检测技术；成本；效益

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.022

引言

在城镇化进程加快的背景下，我国城镇建设工程规模与数量节节攀高，工程质量要求越来越苛刻。无损检测技术以其特有的优点逐渐成为工程检测领域中必不可少的一部分。从超声检测、射线检测、磁粉检测等等，很多技术都各显神通为工程的质量提供了保障。但同时无损检测技术在应用过程中所付出的代价也是不可忽视的，它既涉及设备，人力和物资等直接费用，又包含了检测时间所产生的间接费用。探索如何既能确保检测效果又能最大限度地发挥成本效益成为当前城镇建设工程领域急需解决的一个重要问题。

一、无损检测技术原理及分类

(一) 超声检测技术

1. 原理

超声检测是利用材料内部超声波的传播特点，对内部缺陷进行检测。当超声波传入被检测物体时，遇到不同介质界面（例如，缺陷和基体材料之间的接口）会发生反射、折射和散射。通过对反射波在时间，幅度及相位上的信息进行分析，可以判断出缺陷的部位，尺寸，形状和性质。以混凝土结构检测为例，超声波传播到均匀混凝土内部比较平稳，如果碰到内部空洞或者裂缝之类的缺陷时，一部分超声波就会反射到缺陷上回到探头，当检测仪器收到这些反射波时，通过处理和分析就可以判断缺陷的状况（如图1 超声检测技术）^[1]。

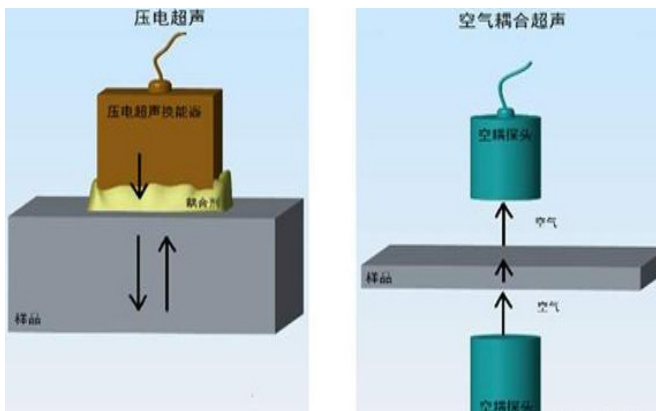


图1 超声检测技术

2. 分类

按超声检测的波形，可分为纵波检测、横波检测、表面波检测和板波检测。纵波检测对于大部分金属及非金属材料内部缺陷检测都是合适的；横波检测常被用来探测与被探测面呈一定夹角的缺陷并被广泛应用于焊缝检测；表面波检测多应用于材料表面缺陷探测；对于薄板材料的检测，板波检测是非常合适的。根据检测方式的不同，还可以分为脉冲反射法，穿透法以及共振法等。脉冲反射法作为超声检测方法中应用最为广泛的一种，它利用接收反射波的方式对缺陷进行检测；穿透法根据超声波在穿透被检物体时能量的变化情况，对缺陷进行判断；共振法是利用超声波与被检物体发生共振这一现象进行缺陷检测，常被用于厚度测量及小缺陷检测^[2]。

(二) 射线检测技术

1. 原理

射线检测是根据射线在物体中传播过程中不同材料对射线的吸收能力不同这一原理而进行的。常用的射线有X射线和γ射线，当射线穿过被检测物体时，若物体内部存在缺陷（如气孔、夹杂等），缺陷部位对射线的吸收能力与基体材料不同，导致透过物体的射线强度发生变化。通过将射线投射到胶片或其他成像设备上，并根据成像的黑度差异（胶片成像）或信号强度差异（数字成像），可以清晰地显示出缺陷的影像，从而对缺陷进行定性和定量分析。以管道焊接质量检测为例，射线通过焊缝时，缺陷部分通过的射线强度和正常焊缝部分强度不一样，对胶片产生黑度不一样的图像，通过对图像的观察，检测人员对焊缝中有无缺陷及缺陷种类与尺寸进行了判断。

2. 分类

从射线源的观点来看，它可以分为X射线检测与γ射线检测。X射线是X射线机输出的，它的能量可以通过调整管电压、管电流等参数进行调控，适合各种厚度范围内物料的探测，具有很高的探测灵敏度。γ射线是由放射性同位素，例如钴-60和铯-137等，生成的。这些同位素具有固定的能量、小巧的体积和轻便的重量，因此非常适合携带到现场进行检测，特别是在野外或大型构件的检测中。从成像方式分，有胶片射线照相法、

数字射线成像法（如 DR、CR 等）。胶片射线照相法作为一种常规射线检测成像方法具有成像质量好，图像可以长时间保存的优势，但是也有检测速度慢和胶片处理流程烦琐的不足。数字射线成像技术因其快速的检测能力、图像的即时处理和存储特点而受到青睐，近几年其发展势头强劲，逐步替代了传统的胶片射线摄影技术。

（三）磁粉检测技术

1. 原理

磁粉检测适用于铁磁性材料，当被检测的铁磁性材料被磁化后，若其表面或近表面存在缺陷（如裂纹、气孔等），缺陷处的磁力线会发生畸变，形成漏磁场。这时，将磁粉作用于材料表面，磁粉吸附于漏磁场中，使缺陷上产生磁痕，观察磁痕形状，尺寸及位置等信息，可以对缺陷状况进行判断。以钢结构焊缝检测为例，首先将焊缝区域磁化后再喷入磁粉，如果焊缝有表面或者近表面缺陷则磁粉会堆积于缺陷，形成清晰的磁痕可以让检测人员对缺陷进行直观的观察（如图 2 磁粉检测技术）。



图 2 磁粉检测技术

2. 分类

根据磁化方法的不同又分为连续法、剩磁法等。连续法就是一边磁化一边加磁粉，它对各种铁磁性材料都适用，具有很高的检测灵敏度，可以探测到细小的缺陷。剩磁法利用物质经磁化产生的剩磁吸附磁粉的特性，只适合剩磁比较大的硬磁性材料使用，探测速度比较快，但是对于缺陷探测灵敏度比连续法要低。根据磁粉的种类可以将其分为荧光磁粉检测与非荧光磁粉检测两大类。荧光磁粉经紫外线辐照后会产生荧光，具有很高的检测灵敏度，能探测到较小的瑕疵，适合于需要很高探测灵敏度的情况。对于常规的检测需求，非荧光磁粉的检测方法更为合适，并且其成本也相对较为经济^[3]。

（四）渗透检测技术

1. 原理

渗透检测就是利用液体渗透作用，对物质表面开口缺陷进行检测。首先将含有色染料（着色渗透检测）或荧光剂（荧光渗透检测）的渗透液涂覆在被检测物体表面，渗透液会在毛细管作用下渗入表面开口缺陷中。接着除去表面过剩的渗透液并重新涂上显像剂，显像剂在缺陷处吸附渗透液并在物体表面产生符合缺陷形状的显示痕

迹，通过对这些痕迹的观察，判断出缺陷的部位，尺寸，形状等。如对铝合金铸件表面缺陷进行检测时，渗透液可以渗透至铸件表面微小裂纹或者气孔等缺陷内部，通过显像剂进行显像，在缺陷处就会显示出清晰痕迹，便于检测人员对缺陷进行鉴别。

2. 分类

根据渗透液的种类可将渗透检测分为着色渗透检测与荧光渗透检测。着色渗透检测所用渗透液中有红色和其他有色染料存在，自然光照射下缺陷的显示痕迹可以被观测到，且操作比较简单、成本低、适合现场检测。荧光渗透检测所用渗透液中有荧光剂存在，经紫外线照射后会产生明亮荧光，其检测灵敏度高，可探测到较细微缺陷，常被应用在检测精度高的领域，例如航空航天零部件等。从显像剂的种类来看，有干式显像法，湿式显像法及快干式显像法。干式显像法采用干粉显像剂进行操作，虽然操作过程相对简单，但其显像效果却不尽如人意。湿式显像法采用水悬浮显像剂进行显像，显像效果比较理想，但是干燥时间比较长。快干式显像法采用快干型显像剂进行显像，其干燥速度和显像效果亦比较理想，得到了比较广泛的应用。

二、无损检测技术成本构成分析

（一）设备购置与维护成本

不同无损检测技术，其装置价格相差很大。超声检测设备的价格范围很宽，便携式可能只需要几万元人民币，功能完善的自动化超声检测系统可能需要几百万元人民币。射线检测设备由于其工艺的复杂性和安全防护的苛刻性，其价格往往在数十万元到数百万元不等。磁粉检测设备的结构比较简单，一套常用的设备约数万元人民币。在设备的维护和保养方面，超声检测设备每年的维护成本大约占购买成本的 5%-10%，因此需要定期对探头进行校准等操作。对于射线检测设备，维护的标准更为严格，其每年的维护成本可以达到购买成本的 10%-20%，这包括对射线源的定期检查和防护设施的维护。磁粉检测设备的维护成本占据了 3%-5% 的比例，这主要是为了替换磁粉和保养磁化设备^[4]。

（二）人力成本

无损检测工作对于检测人员专业技能有着极高要求。超声检测人员需要熟练掌握超声波的传播原理和数据分析方法；射线检测人员不仅需要熟练掌握检测技术，而且必须熟悉辐射安全防护知识。进行检测的工作人员通常需要接受专业的培训，并获得相关的资格认证，如由国家市场监督管理总局颁发的无损检测资格证书，这份证书可以分为初级、中级和高级三个等级。不同层次的培训费用是不一样的，初级的几千元、中高级的几万元都有。并且，检测人员还需要定期参加资质复审培训，每次认证也需花费数千元。

（三）检测材料与消耗品成本

超声检测以耗用耦合剂为主，尽管耦合剂的单价不

高，但是长期应用其成本不可低估。射线检测如果使用的是传统胶片的话，每一张的售价从几元至几十元，数字成像板虽然可以反复使用但价格昂贵。磁粉检测要使用磁粉，荧光磁粉比普通磁粉贵。渗透检测所用渗透液和显像剂每公升售价数十至数百元。这类消耗品使用频度视检测项目而定，如超声检测一次用耦合剂费用几十至几百元不等，而射线检测胶片用量根据检测对象及标准而定，费用比较昂贵。

（四）检测时间与效率成本

各种检测方法在检测速度上存在显著差别。超声检测更快速，特别是自动化设备每分钟可探测几平方米。射线检测速度慢，常规的胶片检测既需长时间曝光又需暗室处理且费时。磁粉与渗透的测试速度中等，但是对于大型结构的测试则因需逐点测试而费时。检测时间太长则耽误了工程进度，又增加了人工窝工费和设备闲置费的间接费用。以建筑项目为例，若无损检测拖延一个星期，就有可能增加几万元乃至几十万元费用。

三、城镇建设工程检测中无损检测技术的效益分析

（一）经济效益

城镇建设工程的无损检测技术产生了明显的经济效益。一种是能够预先觉察工程结构内细微缺陷如建筑混凝土结构微小裂缝和桥梁钢结构初期破坏。通过对这些小毛病的及时维修，避免了因缺陷扩大而造成的严重损失，显著减少了维修成本。以特定的桥梁为研究对象，通过无损检测技术，我们发现了早期的裂缝并进行了修复，所需的费用大约只是后期裂缝扩展导致的桥梁部件更换费用的20%。二是可以有效地避免由于没有及时发现主要缺陷导致结构拆除重建所耗费的大量资金。统计表明：避免了一次高层建筑的拆迁和重建就可以节约上千万元的经费。三是经过无损检测确保品质的项目，寿命更长，后期养护频率更低，远期运营成本更低，同时也能够因为优质而提高资产价值和租赁，售卖收益，整体经济效益非常可观^[5]。

（二）社会效益

无损检测技术社会效益凸显。一方面有力地维护了公众的生命财产安全。在如学校、医院和商场这样的高人流区域的建筑项目中，采用无损检测手段来确保建筑的结构稳定性，并避免由于结构瑕疵导致的坍塌事故，每年都能避免巨大的人员伤亡和财产损失，保卫着无数个家庭的幸福。另一方面降低了项目对周围环境及居民生活的影响。在进行道路桥梁维修或者建筑施工时，采用无损检测精准定位的问题避免了不必要的大范围拆除和重构，减少了施工噪音和粉尘污染，本实用新型降低了交通堵塞的时长，保证了市民的正常出行和生活秩序，提高了市民的生活满意度和社会的和谐稳定。

（三）环境效益

从环境角度看，无损检测技术意义重大。首先，降低资源消耗。由于避免了因严重缺陷导致的工程结构拆

除重建，减少了大量建筑材料如钢材、水泥、砖石等的浪费，促进资源可持续利用。例如在建筑翻新项目中，无损检测指导下精准维修，相比拆除重建可减少约30%的建筑材料使用。其次，显著减少废弃物排放。工程拆除重建会产生海量建筑垃圾，而无损检测助力合理维修，降低建筑垃圾产生量，减轻垃圾填埋场处理压力，减少对土壤、水体、空气的污染，保护生态环境，推动城镇绿色建设发展。

（四）工程质量保障效益

无损检测技术为工程的质量提供了坚实的后盾。在城镇建设的各个环节中，无论是建筑基础的建设还是桥梁主体的架设以及市政管道的铺设都可以对结构的完整性和材料的性能进行综合的测试。准确地进行混凝土强度和钢结构焊缝质量的测试，并提供数据支持。当发现质量隐患时，能够及时调整施工工艺，采取补救措施以保证工程质量达到高标准。经过无损检测对质量进行控制的项目，其性能在长时间运行过程中更加稳定，降低了因质量问题而导致的安全事故和维护频率，提高了项目的使用寿命，确保了城镇基础设施的长期平稳运转，为城镇的持续发展打下了坚实的基础。

结语

总之，无损检测技术在城镇建设工程检测方面起着关键作用。其成本构成上涉及了设备，人力，物料和检测时间几个层面，虽然每一部分的成本存在一定的差别，但是均会影响到总体的成本。但它所产生的收益也同样显著，经济效益表现为维修和重建成本的降低和资产价值的增加；社会效益确保公众安全，维持社会和谐；环境效益又有助于资源节约和环境保护；工程质量效益，更构筑了城镇基础设施长期平稳运行的坚实基础。今后，要不断对无损检测技术进行优化应用，发挥出其应有的利益，同时对成本进行控制，促进城镇建设工程的优质发展。

参考文献

- [1] 辛卫宁，闫希伟. 无损技术在钢结构建筑工程检测中的应用 [C]// 广西信息化发展组织联合会. 第四届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 青岛市即墨区建筑业管理服务中心；山东弘丰信工程检测鉴定有限公司；, 2024: 50-52.
- [2] 徐琳. 无损检测技术在制造过程中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (09): 38-40.
- [3] 谷秀娟. 无损检测技术在道路桥梁检测中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (18): 69-71.
- [4] 薛建忠. 浅谈钢产品无损检测技术及其标准化发展 [J]. 冶金标准化与质量, 2024, 62 (03): 19-21.
- [5] 杨亚鹏. 无损检测技术在起重机械安检中的应用 [J]. 装备维修技术, 2024, (03): 75-77.

作者简介：张嗣瑞，1990年4月，男，汉，安徽省安庆市人，本科，工程师，研究方向建筑工程检测。