

水利工程材料耐久性检测及其影响因素分析

杨骞尧

塔城水利工程质量检测有限公司 新疆 塔城 834700

摘要：水利工程作为国家基础设施建设的核心构成部分，其材料耐久性直接关乎工程的安全稳定运行与使用寿命。本文深入剖析水利工程材料耐久性检测的方法与技术细节，涵盖物理检测、化学检测以及无损检测等多个维度，并详尽分析影响水利工程材料耐久性的多种因素，如环境因素、材料自身性质等。通过对这些内容的系统研究，旨在为提升水利工程材料的耐久性、保障水利工程的长期稳定运行提供坚实的理论支撑与实践指导。

关键词：水利工程；材料耐久性；检测方法；影响因素

1 引言

水利工程在防洪、供水、发电等方面具有重要作用，但长期受水流冲刷、化学侵蚀、温度变化等多因素影响，材料性能易劣化，耐久性下降，威胁工程安全。因此，开展科学精准的耐久性检测，深入分析影响因素，对发现问题、采取防护措施、延长使用寿命具有重要意义。

2 水利工程材料耐久性检测方法与技术

2.1 物理检测方法

2.1.1 外观检测

外观检测是最基本、最直观的检测方法。通过肉眼观察水利工程材料的表面状况，如是否有裂缝、剥落、锈蚀、变形等缺陷，初步判断材料的耐久性状况。例如，对于混凝土结构，观察其表面是否有蜂窝、麻面、露筋等现象；对于金属材料，检查是否有锈蚀斑点、腐蚀坑等。外观检测虽然简单，但能够快速发现一些明显的质量问题，为后续的深入检测提供线索。

2.1.2 尺寸测量

尺寸测量用于检测水利工程材料的几何尺寸是否符合设计要求。使用卡尺、千分尺、测距仪等测量工具，对材料的长度、宽度、厚度、直径等尺寸进行精确测量。尺寸偏差过大可能会影响材料的力学性能和结构稳定性，进而影响工程的耐久性。例如，在混凝土构件制作过程中，如果模板尺寸偏差较大，会导致构件尺寸不符合设计要求，影响结构的承载能力和整体性能。

2.1.3 密度与孔隙率检测

密度和孔隙率是反映水利工程材料内部结构特征的重要物理指标。密度检测可通过排水法、比重瓶法等方法进行，通过测量材料的质量和体积，计算其密度。孔隙率检测则可采用压汞法、气体吸附法等，了解材料内部孔隙的分布和大小。一般来说，孔隙率越大，材料的耐久性越差，因为孔隙为水分、化学物质等侵蚀介质的

侵入提供了通道，加速了材料的劣化过程。

2.2 化学检测方法

2.2.1 化学成分分析

化学成分分析是确定水利工程材料化学组成的重要手段，常用技术包括原子吸收光谱法（AAS）、原子发射光谱法（AES）和电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）。AAS通过测量特定波长光的吸收来定量金属元素含量；AES则利用原子在激发态下发射的特征光谱进行定性和定量分析。ICP-MS灵敏度高，适合痕量元素的多元素同时分析^[1]。色谱分析如气相色谱法（GC）和液相色谱法（HPLC）用于有机成分分析，质谱分析能提供分子量和结构信息。例如，水泥材料中的氧化钙、二氧化硅等主要成分的含量可通过这些方法确定，以评估其类型和质量；钢材中碳、硫、磷等元素的含量分析有助于判断其力学性能和耐腐蚀性。

2.2.2 酸碱度检测

酸碱度（pH值）检测对评估水利工程材料所处环境至关重要。常用的工具有pH试纸和pH计。pH试纸操作简便，通过颜色变化与比色卡对比得出pH值范围；pH计则提供更精确的测量结果。在水利工程中，需检测水、土壤等介质以及材料表面的酸碱度。不同材料对酸碱环境的耐受性差异大，例如混凝土在酸性环境中易发生碳化反应，导致钢筋锈蚀，影响结构承载力。因此，准确的pH值检测对于预防材料损伤和确保工程安全极为关键。

2.2.3 氯离子含量检测

氯离子是引发钢筋锈蚀的关键因素，影响工程结构耐久性。传统化学滴定法通过氯离子与特定试剂反应，依据滴定剂消耗量计算氯离子含量，如莫尔法利用硝酸银和铬酸钾指示滴定终点。离子选择电极法则基于氯离子选择电极的响应特性，测量电极电位变化以确定氯离子浓度，具备简便、快速及高灵敏度等优点，适用于水

利工程材料检测。当混凝土内氯离子超标时，会破坏钢筋钝化膜导致锈蚀，引起混凝土开裂剥落，严重威胁结构安全。因此，精确检测氯离子含量对预防钢筋锈蚀、保障工程耐久性至关重要。

2.3 无损检测方法

2.3.1 超声波检测

超声波检测利用超声波在材料中的传播特性来探测内部缺陷和性能变化。它主要由发射器、接收器及信号处理系统构成。发射器产生的高频脉冲进入被测材料，当遇到如裂缝或空洞等缺陷时，会发生反射与散射。接收器捕捉这些波并转换为电信号供分析。通过参数的变化，如波的传播时间和振幅，可以判断缺陷的存在及其性质。该方法因快速、非破坏性且可实时监控而被广泛应用于混凝土结构和金属焊缝的检测中。

2.3.2 射线检测

射线检测包括X射线和 γ 射线两种方式。射线穿透材料并在底片上成像。不同材料密度和内部结构对射线的吸收差异会在底片上形成对比影像，从而揭示气孔、夹渣等问题。X射线具有高能量和清晰成像的优势，但设备复杂； γ 射线则更便携，适合现场使用，不过其穿透力较弱^[2]。由于射线对人体有害，因此必须采取严格的安全防护措施以保护操作人员的安全。此方法准确度高，适用于金属和混凝土材料的内部缺陷检测。

2.3.3 红外热成像检测

基于物体热辐射原理，红外热成像检测用于识别水利工程材料中的缺陷。材料损伤会导致局部热传导效率改变，造成表面温度不均。红外热成像仪能捕捉这些温差，并将其转化为热图像，不同颜色代表不同温度。这种方法特别适用于大面积、非接触式检测，如混凝土裂缝和金属腐蚀的检测。它的优势在于无需直接接触待检物，能够迅速覆盖大范围区域，有效识别表层及近表层的缺陷。

3 影响水利工程材料耐久性的因素分析

3.1 环境因素

3.1.1 水环境

水利工程大多处于水环境中，水的作用对材料耐久性影响显著。水的侵蚀作用包括溶解、冲刷、渗透等。对于混凝土结构，水会渗入其内部，与水泥石中的氢氧化钙等成分发生化学反应，生成碳酸钙等物质，导致混凝土内部的碱度降低，钢筋表面的钝化膜破坏，引发钢筋锈蚀。同时，水的冲刷作用会使混凝土表面的细骨料和水泥浆体流失，形成冲刷坑，降低混凝土的强度和耐久性。此外，水中的氯离子、硫酸根离子等有害物质会加速钢筋的锈蚀和混凝土的腐蚀。氯离子能够穿透钢筋表面的钝化

膜，与铁离子反应生成氯化铁，导致钢筋体积膨胀，使混凝土开裂。硫酸根离子会与混凝土中的氢氧化钙反应生成硫酸钙，硫酸钙进一步与水化铝酸钙反应生成钙矾石，钙矾石的生成会导致混凝土体积膨胀，产生裂缝。

3.1.2 化学侵蚀环境

水利工程所处的化学侵蚀环境主要包括酸性水、碱性水、盐碱地等。在酸性环境中，混凝土会发生碳酸化反应，使钢筋表面的钝化膜破坏，引发钢筋锈蚀。同时，酸性水还会与混凝土中的硅酸盐水泥水化产物发生反应，导致混凝土强度降低。在碱性环境中，某些材料可能会发生碱骨料反应。碱骨料反应是指混凝土中的碱性物质（如氢氧化钠、氢氧化钾等）与骨料中的活性二氧化硅发生化学反应，生成碱-硅酸凝胶^[3]。碱-硅酸凝胶吸水膨胀，导致混凝土开裂，降低混凝土的耐久性。在盐碱地环境中，土壤中的盐分会对金属材料 and 混凝土造成腐蚀。盐分中的氯离子、硫酸根离子等会加速金属材料的锈蚀，同时盐分的结晶压力也会对混凝土造成破坏。

3.1.3 温度变化

温度变化会引起水利工程材料的热胀冷缩，导致材料内部产生应力。不同材料的热膨胀系数不同，在温度变化时，材料之间的变形不协调会产生附加应力。长期反复的温度变化会使材料出现疲劳损伤，降低其耐久性。例如，在寒冷地区，水利工程结构会受到冻融循环的作用。当温度降低时，混凝土中的水分结冰，体积膨胀，产生冻胀力；当温度升高时，冰融化，体积缩小。反复的冻融循环会使混凝土内部的微裂缝逐渐扩展，导致混凝土开裂、剥落，降低混凝土的强度和耐久性。

3.1.4 生物侵蚀

水利工程中的生物侵蚀主要指微生物、植物等对材料的破坏。某些微生物会分泌酸性物质，腐蚀金属材料和混凝土。例如，硫酸盐还原菌在缺氧环境下能够将硫酸盐还原为硫化物，同时产生酸性物质，对金属管道和混凝土结构造成腐蚀。植物根系会穿透混凝土结构的裂缝，随着根系的生长，裂缝会逐渐扩大，加速结构的破坏。例如，在渠道衬砌工程中，水生植物的生长可能会破坏衬砌结构的完整性，影响渠道的输水能力和耐久性。

3.2 材料自身性质

3.2.1 混凝土材料

混凝土的原材料质量、配合比设计、水灰比等因素直接影响其耐久性。优质的水泥应具有合适的矿物组成和细度，能够提供良好的水化产物和强度发展。骨料应具有良好的级配、坚固性和化学稳定性，避免使用含有有害物质的骨料。外加剂的合理使用可以改善混凝土

的性能,如减水剂可以降低水灰比,提高混凝土的密实性和抗渗性;引气剂可以在混凝土中引入微小气泡,提高混凝土的抗冻性。合理的配合比设计可以优化混凝土的孔隙结构,减少裂缝的产生。例如,通过调整水泥用量、砂率等参数,使混凝土达到最佳的密实状态。此外,混凝土的抗冻性、抗碳化性、抗氯离子渗透性等性能指标也需要满足工程要求。抗冻性是指混凝土在冻融循环作用下保持其性能的能力;抗碳化性是指混凝土抵抗二氧化碳侵蚀的能力;抗氯离子渗透性是指混凝土阻止氯离子侵入的能力。

3.2.2 金属材料

水利工程中常用的金属材料如钢材、铸铁等,其耐久性主要取决于材料的化学成分、组织结构和表面处理。钢材的化学成分中,碳含量会影响钢材的强度和韧性,硫、磷等有害元素会增加钢材的热脆性和冷脆性。合理的组织结构可以提高钢材的力学性能和耐腐蚀性能。例如,通过热处理工艺可以改变钢材的组织结构,提高其强度和硬度^[4]。表面处理是提高金属材料耐久性的重要手段。采用镀锌、涂漆、喷塑等方法可以在金属表面形成一层保护膜,阻止水分、氧气和有害物质的侵入,延缓金属的腐蚀过程。例如,在钢结构桥梁中,对钢材进行热镀锌处理,可以显著提高其耐腐蚀性能,延长使用寿命。

3.2.3 土工材料

土工材料如土工布、土工膜等,在水利工程中用于防渗、排水等。其耐久性受材料的老化性能、抗紫外线能力、化学稳定性等因素影响。土工膜在长期暴露于阳光、氧气和水的作用下,可能会发生老化,导致其防渗性能降低。老化过程主要包括热氧老化、光老化等。热氧老化是指材料在高温和氧气的作用下,分子链发生断裂和交联,导致材料性能下降。光老化是指材料在紫外线的作用下,发生光化学反应,导致材料变色、脆化等。因此,需要选择质量可靠的土工材料,并加强施工过程中的保护措施,如避免长时间暴露在阳光下,减少紫外线照射。

4 提高水利工程材料耐久性的对策与建议

4.1 加强材料研发与应用

加大对新型水利工程材料的研发力度,开发具有更高耐久性、抗侵蚀性的材料。例如,研发高性能混凝土,通过优化原材料选择和配合比设计,提高混凝土的密实性、抗渗性和抗化学侵蚀性;开发耐腐蚀金属材料,如不锈钢、耐候钢等,减少金属结构的锈蚀问题。同时,在工程中合理选用材料,根据不同的环境条件和

使用要求,选择最适合的材料,避免盲目追求低成本而忽视耐久性。例如,在腐蚀性较强的环境中,应优先选用耐腐蚀材料或采取有效的防护措施。

4.2 强化环境保护

针对不同的环境因素,采取相应的防护措施。在水环境中,采用防水、防渗、抗冲刷的材料和结构形式,如设置防水层、增加混凝土的抗渗等级等。在化学侵蚀环境中,选用耐腐蚀的材料,并进行表面防护处理,如对金属结构进行涂漆、镀锌等处理,对混凝土结构进行防腐涂层处理。在温度变化较大的地区,采取保温、隔热等措施,减少温度应力对材料的影响,如在混凝土结构中设置伸缩缝、采用保温材料等。

4.3 完善检测与监测体系

建立定期的水利工程材料耐久性检测制度,采用先进的检测技术和方法,对水利工程材料进行全面、深入的检测。例如,定期对混凝土结构进行碳化深度检测、钢筋锈蚀检测等,对金属结构进行厚度检测、腐蚀速率检测等。同时,建立长期监测机制,对工程结构的应力、应变、腐蚀等参数进行实时监测,及时发现材料的性能变化,为工程的维护和加固提供科学依据。例如,在重要工程部位安装传感器,实时监测结构的受力状态和环境参数,通过数据分析及时发现潜在问题并采取措施。

结语

水利工程材料耐久性检测是保障工程安全运行的重要手段,而影响材料耐久性的因素众多,涉及环境、材料自身性质和施工质量等多个方面。通过加强材料研发、优化施工管理、强化环境保护和完善检测监测体系等措施,可以有效提高水利工程材料的耐久性,延长工程的使用寿命,为水利事业的可持续发展提供坚实保障。在未来的水利工程建设中,应更加重视材料耐久性问题,不断探索和创新,以适应日益复杂的工程需求和环境条件。同时,随着科技的不断进步,应积极引入新的检测技术和材料,进一步提升水利工程材料的耐久性和工程质量。

参考文献

- [1]王帅.水利工程材料质量检测技术与控制策略分析[J].水上安全,2025,(06):160-162.
- [2]孙文娟.材料检验检测技术在水利工程中的应用[J].内江科技,2024,45(08):15+144.
- [3]马静玉.水利工程材料检测中影响因素分析及优化措施研究[J].水上安全,2023,(06):70-72.
- [4]徐伟.水利工程施工现场建筑材料质量检测与控制研究[J].治淮,2021,(08):54-56.