

公路桥梁检测与加固技术研究

李倩¹ 李浩²

1. 内蒙古自治区交通运输科学发展研究院 内蒙古 呼和浩特 010051

2. 内蒙古路桥集团有限责任公司六分公司 内蒙古 呼和浩特 010051

摘要：随着交通基础设施建设的不断推进和交通流量的持续增长，公路桥梁的安全与稳定性问题愈发凸显。为确保公路桥梁的正常运行和延长其使用寿命，科学的检测与加固技术显得尤为重要。本文详细探讨了公路桥梁的检测技术与加固方法，旨在通过专业的技术手段提升桥梁结构的安全性和稳定性。文章从检测的重要性、常用方法以及加固技术的原则、程序和技术途径等方面进行了深入分析。

关键词：公路桥梁；检测技术；加固技术；结构安全；稳定性

引言

公路桥梁作为道路交通的枢纽，承载着繁重的交通压力。随着时间的推移，桥梁结构可能会因材料老化、环境影响或设计缺陷等因素而出现损伤和性能退化。为确保桥梁的安全运营，及时的检测与加固工作至关重要。

1 公路桥梁常用检测方法及技术

1.1 外观检查

外观检查的核心在于利用人眼的直接观察，对桥梁的各个关键部位进行系统的审视。其目标是及时发现并记录桥梁结构上可能存在的各种病害和损伤。

1.1.1 检查的重点部位

一是桥面：主要观察桥面铺装是否平整，有无裂缝、坑槽或车辙等损害。二是桥墩与桥台：检查是否有裂缝、剥落或锈蚀现象，同时要注意基础是否稳固。三是护栏：护栏的完整性和稳固性是检查的重点，特别是其与桥面连接的部分。四是桥梁底部和侧面：这些部位容易受到水、气候等因素的影响，因此要仔细检查是否有裂缝、锈蚀或混凝土剥落等问题。

1.1.2 常见的病害及其成因

(1) 裂缝：裂缝是桥梁最常见的病害，可能由混凝土的干缩、温度应力、超载或结构设计不合理等原因造成。裂缝的存在会严重影响桥梁的承载能力和耐久性。

(2) 锈蚀：锈蚀主要出现在钢结构部分，特别是暴露在外的构件。锈蚀会导致钢材截面减小，从而降低其承载能力。(3) 变形：长期荷载、地基沉降或材料蠕变都可能导致桥梁结构的变形^[1]。变形不仅影响桥梁的美观性，更可能危及其安全性。

1.1.3 外观检查的优缺点

优点是简单易行，成本低廉，能够直观地反映桥梁的当前状态。缺点是依赖于检查人员的经验和技能；可

能无法发现隐藏在结构内部的病害。

1.1.4 辅助工具与现代技术的应用

为了提高外观检查的准确性和效率，通常会使用一些辅助工具，如放大镜用于观察细微裂缝，手电筒帮助照亮阴暗部位，测量工具用于精确测量病害的尺寸。此外，现代技术如无人机搭载高清摄像头，可以轻松地捕捉到桥梁的各个角落，为检查人员提供更全面、更精确的数据。

1.2 无损检测

1.2.1 回弹仪检测

回弹仪检测是一种基于物理原理的快速评估混凝土强度的方法。利用回弹仪上的弹击锤撞击混凝土表面，通过测量撞击后弹击锤的回弹距离，可以间接推断出混凝土的抗压强度。这种方法的核心在于回弹距离与混凝土强度之间的相关性。回弹仪检测以其操作简便、快速有效的特点，在桥梁检测中得到了广泛应用。然而，该方法的准确性受到多种外部因素的影响，包括但不限于混凝土的龄期、湿度以及测试表面的平整度。因此，在使用回弹仪进行检测时，需要对这些变量进行严格控制，并结合其他检测方法进行综合评估。

1.2.2 超声波探测

超声波探测技术以其高精度和深层次的探测能力，在桥梁无损检测中占据重要地位。其通过向桥梁结构发射超声波信号，并接收和分析反射回来的波信号，可以精确地识别出结构内部的缺陷。超声波在传播过程中，遇到如空洞、裂缝等缺陷时，会发生反射、散射等现象，从而形成特定的波形图案^[2]。超声波探测技术对于发现桥梁内部的细微缺陷具有极高的敏感度，特别适用于检测混凝土与钢筋的粘结状态、内部空洞以及微小裂缝等问题。这一技术在桥梁的长期健康监测和预防性维护

中发挥着重要作用。

1.2.3 射线检测

射线检测技术以其独特的穿透能力，为桥梁内部结构的可视化检测提供了可能。利用高能射线（如X射线或 γ 射线）穿透桥梁结构，通过分析射线在穿透过程中发生的衰减情况，可以精确地定位并评估桥梁内部的缺陷。当射线穿过空洞、裂缝或密度变化区域时，其衰减程度会发生变化，从而形成特定的影像。射线检测技术对设备和操作人员的专业性要求较高，需要严格的安全防护措施。尽管如此，它在桥梁检测的某些特定场景中仍具有不可替代的优势，如对于深层结构缺陷的探测和定位。

1.3 荷载试验

1.3.1 静载试验

静载试验主要是为了模拟桥梁在静止状态下的承载状况。通常，会利用已知重量的重物，如沙袋、混凝土块等，或使用液压千斤顶等设备，对桥梁施加静态荷载。在荷载施加过程中，工程师会利用高精度的位移计、应变计等测量工具，对桥梁的关键结构部位，如桥墩、桥面等，进行细致的变形和应力变化监测。收集到的数据不仅展现了桥梁在静载下的即时反应，还能为工程师提供关于桥梁长期性能退化的线索。这些数据对于预测桥梁的使用寿命、制定维护策略至关重要。

1.3.2 动载试验

与静载试验不同，动载试验更侧重于模拟桥梁在真实交通条件下的动态行为。通过使用行驶的车辆、振动台或其他动态加载设备，我们可以在桥梁上产生动态荷载。在此过程中，桥梁的振动特性、动态变形和应力变化成为监测的重点。这些数据能够揭示桥梁在动态环境下的稳定性和响应特性。动载试验不仅有助于评估桥梁的抗震、抗风等性能，还能为桥梁的疲劳设计和维修策略提供关键依据。

1.3.3 试验的关键要素

无论是静载还是动载试验，精确控制荷载的大小和作用点是确保试验有效性的基础。同时，试验的安全性也是不可忽视的，必须严格遵守相关的安全操作规程，确保人员和设备的安全无虞。试验结束后，对收集到的数据进行深入分析是至关重要的。结合桥梁的原始设计参数、实际使用状况以及环境因素，可以对桥梁的承载能力和整体结构安全性做出更为准确、全面的评价。这不仅为桥梁的日常维护和管理提供了有力的数据支持，也为未来桥梁的设计和建造提供了宝贵的经验反馈。

2 公路桥梁加固的原则与程序

在进行公路桥梁加固时，必须遵循一系列原则以确

保加固工作的有效性和经济性。一是技术可行性：加固方案应确保技术上可实现，能够有效提升桥梁的承载能力和稳定性。二是经济合理性：在考虑加固方案时，应评估其经济效益，确保加固成本合理且不超过新建成本的一定比例（如70%），以体现加固的价值。三是施工便捷性：加固施工应尽量选择简单、高效的施工方法，以减少对交通的干扰。四是交通干扰最小化：加固过程中应尽量减少对正常交通的影响^[3]。加固程序一般包括以下几个步骤：（1）明确加固目的与要求：根据桥梁的实际情况和使用需求，确定加固的具体目标和要求。（2）全面检查与评估：对桥梁的现状进行全面细致的检查，包括结构状况、损伤情况等，并进行评估。（3）设计加固方案：基于检查和评估结果，设计科学合理的加固方案，选择适宜的加固材料和技术。（4）组织施工实施：按照设计方案进行施工，确保施工质量和进度。（5）竣工验收：施工完成后，进行全面的竣工验收，确保加固效果符合预期。

3 公路桥梁加固技术的实施途径

3.1 加强薄弱构件

3.1.1 钢板黏贴技术

此技术主要适用于裂缝严重的构件。这些裂缝可能是由于长期承载、温度变化或材料老化等原因造成的，若不及时处理，裂缝可能进一步扩大，严重影响构件的完整性。实施步骤包括：①清理构件表面：彻底清除构件表面的污垢、锈蚀等杂质，确保黏贴面干净、平整。②打磨处理：对构件表面进行适当打磨，增强钢板与构件之间的粘结力。③钢板选择与准备：根据裂缝的大小和形状，选择合适尺寸和厚度的钢板，并确保钢板表面清洁、无锈蚀。④结构胶涂抹：在钢板和构件的黏贴面上均匀涂抹专用的结构胶，确保胶层厚度均匀且无气泡。⑤钢板黏贴：将钢板对准裂缝位置，紧密贴合在构件上，并施加适当的压力以确保钢板与构件之间的粘结牢固。通过钢板黏贴技术，可以有效阻止裂缝的进一步发展，同时利用钢板的强度和刚度来增强构件的承载能力，提高桥梁的安全性和耐久性。

3.1.2 碳纤维布加固技术

碳纤维布加固技术适用于承载能力不足的区域。这些区域可能是由于设计不足、材料老化或长期过载等原因导致的承载能力下降。实施要点包括：①表面清洁：将构件表面彻底清洗干净，确保无油污、灰尘等杂质。②结构胶涂抹：在构件表面均匀涂抹专用的结构胶，确保胶层均匀且无气泡。③碳纤维布粘贴：将碳纤维布平整地粘贴在涂抹了结构胶的构件上，确保布层平整无褶

皱。④固化与养护：按照结构胶的使用说明进行固化和养护，确保碳纤维布与构件之间形成牢固的粘结^[4]。碳纤维布具有高强度、轻质、耐腐蚀等优点，通过合理的布置和粘贴层数的设计，可以显著提升构件的承载能力和抗震性能，同时碳纤维布加固技术对原结构的影响较小，能够保持桥梁的原有功能和外观。

3.1.3 增加截面面积法

增加截面面积法适用于某些承载能力不足的构件，尤其是那些由于设计或施工原因导致的截面面积不足的构件。此方法是在原有构件的基础上增加材料，如浇筑混凝土或焊接钢材等，以增加构件的截面面积。这种方法需要根据构件的具体情况和加固需求进行合理设计，并确保新增加的材料与原有材料能够协同工作。在实施过程中需要注意施工质量的控制，确保新增加的材料与原有材料之间的连接牢固可靠，避免出现剥离、开裂等问题。同时，还需要考虑加固后对桥梁整体性能和外观的影响。

3.2 增加辅助构件

3.2.1 体外预应力筋的设置

体外预应力筋技术，作为增加辅助构件的一种重要方式，其关键在于在桥梁外部增设并张拉预应力筋至预定的应力状态。这一技术的引入，旨在通过预应力筋的张拉力来抵消桥梁在使用中由自重及活载所产生的部分内力，进而达到几个关键目标：一是改善受力状态：预应力筋的引入改变了桥梁原有的受力分布，使得结构在承受荷载时能够更加均匀和有效地传递力量。二是减少变形与裂缝：通过预应力筋的张拉，有效减小了桥梁在使用过程中的变形，同时抑制了裂缝的发展，提升了结构的耐久性。三是提高承载能力：预应力筋不仅增强了桥梁的抗裂性能，还显著提升了其整体承载能力，使得桥梁在面临重载时能够表现出更好的稳定性。

3.2.2 增设支撑与拉杆

除了体外预应力筋，增设支撑或拉杆也是桥梁加固中常用的技术手段。这些辅助构件的战略性布置，能够带来多方面的结构性能提升：一是分担荷载：通过在桥梁的特定位置，如跨中或支座附近，增加支撑构件（如斜撑、横撑等），可以有效地分担主梁所承受的荷载，从而降低其弯矩和剪力，提高整体的承载能力^[5]。二是增强结构整体性：拉杆的增设则进一步加强了桥梁各部分之间的连接，形成了一个更加稳固的整体结构。这不仅增强了桥梁的刚性，还显著提高了其抗震和抗风能力，使得桥梁在极端天气或地质条件下仍能保持稳定。

3.3 改变结构体系

在桥梁加固与改造的实践中，改变结构体系被视为一种根本性的加固策略。它特别适用于那些结构布局不合理或承载能力不足的桥梁。通过重新调整桥梁的整体布局和构件之间的连接方式，能够显著优化桥梁的受力状态，进而提升其整体稳定性。

3.3.1 简支梁桥改造为连续梁桥

以简支梁桥为例，当其跨度较大而承载能力又显得捉襟见肘时，一个有效的策略是将其改造为连续梁桥。这种转变不仅强化了桥梁的整体结构，还有效降低了跨中弯矩，从而显著提升了桥梁的承载能力。在实施改造时，关键在于增设支座和必要的连接构件，这样可以将原本各自独立的简支梁段有机地连接成一个连续的整体。这一过程中，对新形成的连续梁进行周密的受力分析和设计至关重要，它确保了改造后的桥梁能够满足日益严苛的使用要求。

3.3.2 增加桥墩以强化结构

此外，增加桥墩也是改变结构体系中的一项有效措施。对于那些由于桥墩数量或布局问题而受限的桥梁，合理地增加桥墩能有效分担原有桥墩所承受的荷载，进而提升桥梁的整体稳定性。在增加桥墩时，我们必须综合考虑桥墩的理想位置、适宜尺寸和型式，以及新桥墩如何与原有结构实现稳固连接，这些都是确保新增桥墩能够完美融入整个桥梁体系的关键因素。

结语

公路桥梁的检测与加固技术是确保桥梁安全与稳定的重要保障。通过科学的检测方法和合理的加固措施，可以及时发现并处理桥梁结构中的病害和损伤，延长桥梁的使用寿命并提高道路交通安全性与畅通性。未来随着相关技术的不断创新与发展，我们有理由相信公路桥梁的安全性能将得到进一步提升和保障。

参考文献

- [1]刘亦凡.无损检测技术在公路桥梁检测中的应用研究[J].黑龙江交通科技,2020,43(5):242-243.
- [2]刘勇.新时期公路桥梁检测质量控制与检测技术应用实践分析[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(2):255-256.
- [3]樊金虎.高速公路桥梁加固施工技术的应用要点[J].甘肃科技纵横,2022,51(2):52-54+58.
- [4]付学进.公路桥梁养护及维修加固施工技术分析[J].中国高新科技,2022(4):112-113.
- [5]舒春生.混凝土桥梁检测与加固技术的应用[J].城市道桥与防洪,2019(8):120-122,17.