

公路桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固

田欢

(江苏东交智控科技集团股份有限公司, 江苏 南京 210000)

【摘要】随着交通运输业的快速发展,公路桥梁作为重要的交通基础设施,在促进地区经济发展和保障交通安全中扮演着举足轻重的角色。预应力混凝土桥梁因其优越的承载能力、较长的跨度、较好的耐久性以及经济效益,已经成为现代桥梁工程中的常用结构形式。然而,随着服务年限的增加以及车流量的持续增长,这些桥梁结构可能会出现裂缝、预应力丧失、混凝土劣化等一系列病害,这些问题的存在严重威胁着桥梁的安全运营。因此,对预应力混凝土桥梁进行定期的检测与评估,及时发现并处理隐患,是确保桥梁安全、延长桥梁使用寿命的关键措施。在检测的基础上,对于检测出问题的桥梁进行科学合理的加固修复,不仅可以提升桥梁的承载力,还能改善使用性能,是当前桥梁工程领域面临的重要课题。本文旨在综合分析预应力混凝土桥梁在长期使用过程中可能出现的典型病害,探讨现代检测技术在桥梁病害诊断中的应用,并对比分析各种加固技术的优劣,以期桥梁的维护管理和安全运营提供理论依据和技术支持。

【关键词】公路桥梁工程; 预应力; 混凝土桥梁; 检测与加固

一、公路桥梁工程中预应力混凝土桥梁的检测与加固工作的重要作用

(一) 保障结构安全性和延长使用寿命

预应力混凝土桥梁的检测与加固工作在保障结构安全性和延长桥梁使用寿命方面发挥着至关重要的作用,桥梁应定期进行全面的结构检测,包括但不限于裂缝宽度、混凝土强度、预应力筋张力等关键参数的监测,比如规范要求裂缝宽度不应超过0.3mm,超出此标准则需要采取相应的加固措施。数据显示,通过定期检测和及时加固,可以有效减少桥梁结构损伤的发展速度,延长桥梁的预期寿命20%以上。此外,加固工作通常涉及对已有结构的加强,如增设外部预应力、施加碳纤维加固带等,这些措施能够提升原有结构的承载力,使其能够适应不断增长的交通需求,根据国家桥梁数据库的统计,加固后的桥梁其承载力一般能提高10%-30%,从而大大提高了桥梁的安全储备,减少了因超载引起的桥梁事故。

(二) 提升经济效益和社会价值

从经济角度来看,预应力混凝土桥梁的检测与加固工作能够显著提升桥梁的经济效益和社会价值,《公路桥梁加固设计规范》中指出,通过加固改造可以有效避免因桥梁病害造成的交通中断,减少社会经济损失。以一座中等规模的桥梁为例,若因病害导致关闭,每日因交通中断造成的直接经济损失可达数十万元。而通过加固改造,不仅可以避免此类损

失,还可以通过提高通行效率,降低车辆运行成本,数据表明,经过有效加固的桥梁,其通行能力提升约15%-25%,间接为社会经济带来的年均增益可达数百万元。同时,检测与加固工作还具有显著的社会价值,它通过提高桥梁安全性,减少了交通事故的发生,保护了人民生命财产安全,增强了公众对桥梁安全的信心,根据交通部门的统计,加固改造的桥梁事故率下降了超过50%,极大地提高了公路网络的整体安全水平。

二、预应力混凝土桥梁在长期使用过程中可能出现的典型病害

(一) 预应力损失

预应力混凝土桥梁在长期使用中,由于材料老化、蠕变、收缩、钢绞线松弛等因素,会导致预应力逐渐损失。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中的规定,设计时应考虑预应力损失的影响,并按照规定进行相应的预应力损失计算,预应力损失通常分为即时损失和时间损失两部分,即时损失包括张拉损失和锚固损失,而时间损失主要是指由于混凝土的蠕变和收缩以及钢材的松弛引起的损失。预应力损失过大可能导致桥梁承载力下降,甚至引起裂缝和变形。在实际监测中,预应力损失的数据通常通过张拉端和锚固端的位移量来反映,预应力损失量一般不应超过设计预应力值的20%。为了保证桥梁的安全,需要定期对预应力的损失进行监测,并采取相应的加固措施。

（二）锚固区损伤

锚固区作为预应力混凝土桥梁中预应力传递的关键部位，其安全状况对桥梁的整体性能至关重要。锚固区损伤主要表现为锚具破损、锚固端混凝土开裂、锚固体腐蚀等。锚固区损伤应及时进行检测和维修，当锚固区混凝土碳化深度超过设计要求时，应采取措施进行修复。例如，如果锚固区混凝土的碳化深度达到 5mm 以上，就需要进行碳化深度修复处理。锚固区损伤不仅会影响预应力的正常传递，还可能导致锚具的腐蚀和失效，严重时会引起预应力筋的断裂。因此，对锚固区的检测和维护应定期进行，一旦发现异常应立即采取措施。

（三）裂缝与渗漏

预应力混凝土桥梁在长期荷载作用和环境侵蚀下，可能会出现裂缝和渗漏问题，裂缝的产生通常与材料性能、施工质量、设计错误以及外部荷载等因素有关。《公路桥涵养护规范》中规定，对于裂缝宽度超过 0.2mm 的情况应予以关注，并根据裂缝的性质采取相应的处理措施，裂缝会降低混凝土的耐久性，增加钢筋的腐蚀风险，从而影响桥梁的整体安全性能。渗漏问题通常与裂缝有关，水分通过裂缝进入桥梁内部，导致内部钢筋、预应力筋腐蚀，以及混凝土结构性能下降。对于裂缝和渗漏的检测，一般采用目视检查、荷载试验、声波或超声波检测等方法。一旦发现裂缝和渗漏问题，应及时进行封闭和修补，以防止问题进一步发展。

三、公路桥梁工程中预应力混凝土桥梁检测技术

（一）预应力筋张拉和锚固状态检测

在公路桥梁工程中，预应力筋的张拉和锚固是确保结构安全和功能性的关键步骤。预应力筋的作用是在混凝土构件中引入预应力，以提高其承载能力和抗裂性能。检测预应力筋的张拉和锚固状态是确保桥梁长期安全运营的重要措施。根据《公路桥涵施工技术规范》（JTGT 3650-2020）和其他相关标准，预应力筋的张拉和锚固状态检测应遵循以下几个方面的要求：预应力筋的张拉应按设计要求进行，张拉力的控制误差应控制在 $\pm 5\%$ 以内，张拉过程中应使用精确的张拉设备，并配备具有打印功能的张拉记录仪，以实时记录张拉力、张拉伸长量、张拉速度等关键参数，比如对于一个预应力值为 1000kN 的筋，其允许的张拉力误差范围应在 950kN 至 1050kN 之间；张拉工作应按设计规定的顺序进行，以确保结构受力均匀。对于对称结构，应采用对称张拉，即同时或交替对称位置的预应力筋进行张拉，这有助于保持结构的平衡状

态，避免因不均匀张拉导致的构件偏心或开裂；预应力筋在张拉后会发生应力松弛现象，其应力松弛量不应超过初始张拉力的 2%。锚固滑移量应小于 3mm，且锚固端的预应力筋应无明显的塑性变形，在桥梁使用过程中，应定期对预应力筋的应力状态进行检测，以评估长期应力松弛的影响；张拉设备应定期校准，以确保其测量精度，校准周期通常为半年或张拉设备使用次数达到一定数量后，如每张拉 1000 根筋后进行一次校准，校准应由具有资质的检测机构进行，校准误差应控制在允许范围内；张拉和锚固完成后，应及时进行预应力筋的防腐和保护工作，防腐层的厚度应符合设计要求，通常不少于 1.5mm，保温材料应具有良好的黏结性能和耐久性，以防止环境因素对预应力筋造成腐蚀。

（二）混凝土裂缝和缺陷检测

在公路桥梁工程中，混凝土裂缝和缺陷的检测是评估桥梁健康状况和执行必要维护的关键环节。根据《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》（JTGF 80/1—2017）和其他相关标准，混凝土裂缝和缺陷的检测应遵循以下几个方面的要求：裂缝宽度是评估裂缝严重性的重要指标。测量裂缝宽度应使用裂缝宽度仪或显微镜，并记录测量位置、长度和方向，裂缝宽度应小于 0.2mm 为微裂缝，0.2-0.3mm 为细裂缝，超过 0.3mm 应予以关注，对于裂缝宽度超过 0.3mm 的裂缝，应详细记录并分析其发展趋势；除了宽度，裂缝深度和延伸情况也是重要的检测内容，超声波检测是常用的非破坏性检测方法，通过测量超声波在混凝土中的传播时间来估计裂缝深度，裂缝深度的测量误差应控制在 $\pm 20\%$ 以内；裂缝按成因可分为结构裂缝和非结构裂缝，结构裂缝通常与荷载有关，非结构裂缝可能由温度、湿度变化或材料收缩引起，分析裂缝性质时，应考虑裂缝的位置、方向、形态以及与结构荷载和环境条件的关系；混凝土缺陷包括孔洞、蜂窝、裂缝等。通过目视检查和敲击法可以初步确定缺陷类型和范围，比如蜂窝的存在可能表明混凝土浇筑不密实，孔洞可能是由于气泡未能排出，对于较大面积的缺陷，应使用混凝土探伤仪等设备进行更详细的检测。

（三）预应力损失评估

在公路桥梁工程中，预应力混凝土桥梁的性能评估中，预应力损失的评估是至关重要的一环，它直接关系到桥梁的承载能力和使用寿命。预应力损失主要包括即时损失和时间相关损失，即时损失主要由弹性短缩、摩擦损失和锚固滑移造成，时间相关损失包括徐变、收缩和松弛等。首先要即时损失测量，

即时损失应在预应力筋张拉和锚固完成后立即测量。张拉力的测量误差应控制在 $\pm 5\%$ 以内，锚固滑移量应小于 3mm。通过张拉记录仪实时记录的数据可以评估即时损失，例如，如果张拉力为 1000kN，即时损失不应超过 50kN。其次是弹性短缩和摩擦损失，弹性短缩损失可通过材料弹性模量和预应力筋初始张拉力来计算，摩擦损失则与张拉路径的曲率半径和摩擦系数有关，摩擦损失通常按每米张拉路径 0.5kN 至 1.5kN 计算，具体数值取决于曲率和摩擦条件。第三是徐变和收缩损失，徐变和收缩损失需要根据混凝土的性能参数、环境条件以及时间因素进行估算，徐变损失通常采用长期徐变系数乘以即时损失来计算，而收缩损失则与混凝土收缩系数、横截面尺寸和预应力筋位置有关，这些参数可以通过试验或依据经验公式获得。第四是松弛损失，预应力筋的应力松弛是时间相关损失的另一重要部分，它与预应力筋的材料特性、初始应力水平和温度等因素有关，松弛损失可以通过长期跟踪测量或根据预应力筋的松弛特性曲线进行评估，比如对于钢筋松弛率为 2.5% 的预应力筋，若初始张拉力为 1000kN，则 20 年的应力松弛损失约为 25kN。

四、公路桥梁工程中预应力混凝土桥梁的加固

（一）增设外部预应力

增设外部预应力是一种常用的加固方法，它通过在桥梁结构外部布置新的预应力筋或索，来提高桥梁的承载能力和抗裂性。在进行外部预应力加固时，需要根据公路桥梁设计规范和预应力混凝土桥梁设计规范的要求，对桥梁的结构状态、材料特性和荷载效应进行全面评估。比如对于一个跨径为 30m 的简支梁桥，若检测发现其最大正弯矩区域的预应力损失达到了原设计值的 15%，则可能需要通过外部预应力加固来补充失去的预应力，根据桥梁的具体情况，可以选用直径为 15.7mm 的高强度钢绞线作为外部预应力筋，布置数量根据所需增加的预应力大小来确定。加固设计时，应确保新加预应力筋的张拉控制应力不超过钢绞线的 0.75 倍抗拉强度，即不超过 $1860\text{MPa} \times 0.75 = 1395\text{MPa}$ ，并且对桥梁结构进行必要的局部加强，以适应新加预应力的作用。

（二）加厚或更换桥面铺装层

桥面铺装层的改造也是一种加固预应力混凝土桥梁的方法，随着时间的推移，桥面铺装可能出现磨损、龟裂等现象，这不仅影响行车安全，也会减少桥面板的有效抗弯刚度，因此，对于桥面铺装层

进行加厚或更换，可以有效地提升桥梁的整体性能和耐久性。以一座使用了 20 年的预应力混凝土桥梁为例，原有桥面铺装层厚度为 80mm，由于长期车辆荷载作用，桥面出现了不同程度的损伤，设计新的铺装层时可以选择加厚至 100mm 的沥青混凝土层，同时引入改性沥青，以提高铺装层的抗裂性和耐久性，新的设计需考虑到加厚后的自重增加对桥梁整体承载力的影响，确保加固后的桥梁能够满足规范要求的荷载效应。

（三）局部损伤修复与加固

预应力混凝土桥梁的局部损伤，如裂缝、剥落或碳化等，都需要进行及时的修复，局部损伤的修复与加固通常包括裂缝表面封闭、裂缝压力灌浆、损伤混凝土剔除与修补，以及碳化混凝土的防护处理等，这些方法旨在恢复结构的完整性，延缓进一步的劣化过程。

结语：

综上所述，在公路桥梁工程实践中，预应力混凝土桥梁的检测与加固工作是确保桥梁安全、延长使用寿命的重要环节。随着技术的发展和材料性能的提升，加固方法和技术也在不断创新和完善，桥梁检测技术的进步使得我们能够更加精确地评估桥梁的健康状况，而加固技术的发展则为我们提供了多样化的解决方案。在进行预应力混凝土桥梁的检测与加固时，必须依据现行的设计规范和规程，结合最新的科研成果和工程经验，采取科学、合理的方法。桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，其安全运营关系到人民生命财产安全和社会经济的稳定发展，因此，加强预应力混凝土桥梁的检测与加固工作，不仅是桥梁工程技术人员的职责，也是社会各界共同关注的重点，期望通过不断的技术创新和管理优化，能够为预应力混凝土桥梁的长期安全运营提供坚实的保障。

参考文献：

- [1] 商东洋. 公路桥梁工程中预应力混凝土公路桥梁的检测与加固 [J]. 建材与装饰, 2019, 15(10):15 - 17.
- [2] 武钰. 浅析公路桥梁工程中预应力混凝土公路桥梁的检测与加固 [J]. 公路交通科技, 2019, 15(8):18 - 19.
- [3] 高长生, 黄浩. 公路桥梁工程中预应力混凝土公路桥梁的检测与加固 [J]. 住宅与房地产, 2019, 25(3):88 - 91.