

公路桥梁改扩建工程中的结构设计优化

王成帅

中经建研设计有限公司

摘要：在公路桥梁的发展历程中，改扩建工程因其在提升交通能力和延长桥梁使用寿命方面的重要作用而日益受到关注。本文集中讨论了公路桥梁改扩建工程在结构设计上的优化方法，特别是在确保结构安全和增强承载能力方面的策略。文中首先分析了考虑原有结构特性、强化耐久性设计以及适应性和可扩展性的设计要点。接着，提出桥梁结构的主要设计方案，并探讨了设计过程面临的主要挑战，包括旧结构数据的不完整、环境与地质条件的限制、维护交通流动性等问题。针对这些挑战，提出了相应的优化措施，如采用现代化数据测量补充、模块化和适应性设计、交通组织设计与分段施工等解决方案。

关键词：公路桥梁；改扩建工程；结构设计；优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.10.067

一、引言

在当前的基础设施建设中，公路桥梁作为交通网络的重要组成部分，承担着巨大的交通流量。随着时间的推移和交通需求的增长，许多现有的桥梁需要进行改扩建来满足更高的使用标准和承载要求。改扩建工程不仅需要考虑到原有结构的特性和局限，还要面对各种环境和技术挑战。这些挑战包括但不限于旧结构资料的缺失、桥梁结构形式的多样化、交通流的维持以及项目成本的控制。有效地解决这些问题，对于确保公路桥梁改扩建工程的成功至关重要。因此，对公路桥梁的改扩建进行结构设计优化，不仅是技术挑战，更是一项系统工程，需要综合考虑技术、环境、经济和社会因素。本文旨在通过对公路桥梁改扩建工程中结构设计优化的全面探讨，为该领域的实践和理论发展提供参考和指导。

二、改扩建工程中结构设计优化的重要性

（一）确保结构安全

在公路桥梁改扩建工程中，结构安全是最基本也是最重要的考虑因素。结构安全的核心在于确保桥梁在正常使用和极端条件下均能承受预期的负载，避免发生结构损坏或崩塌。根据交通统计局的数据，桥梁崩塌的主要原因包括设计缺陷、材料老化和超载。因此，在设计阶段，必须严格按照国家和国际标准进行，如公路工程师协会（AASHTO）提出的桥梁设计规范。此外，结构安全还涉及对原有桥梁材料和构造的深入分析，以评估其当前状态和未来潜在风险^[1]。例如，对于老化的钢筋混凝土结构，应通过详细的材料测试和结构评估来确定其耐久性。对于老化和损坏的部分，必须进行加固或更换，以提高整体结构的稳定性和安全性。结构安全的优

化还包括对桥梁进行定期检查和维修，以及使用先进的监测技术如应变计和加速度计，实时监控桥梁的健康状态。通过这些方法，可以及时发现并处理潜在的结构问题，从而有效预防桥梁事故的发生。

（二）增强承载能力

增强公路桥梁的承载能力是改扩建工程的另一项重要目标。承载能力指的是桥梁能够安全承受的最大负载。根据《国际桥梁和结构工程协会》的报告，随着交通量的增加和车辆重量的上升，现有桥梁的承载能力已经无法满足当前的交通需求。为此，增强桥梁承载能力成为改扩建工程的关键。在增强承载能力时，首先要对现有桥梁进行验收评估。然后根据桥梁的不同状况，采用合理的旧桥加固方式，以改善原有结构工作性能，解决桥梁承载能力不足的问题。最后，还需考虑到长期的承载能力，如考虑未来的交通增长和重型车辆的频繁使用，进行超前的设计和材料选择。通过这些措施，不仅可以提升桥梁的即时承载能力，还能确保其在未来几十年内能够持续满足交通需求的变化。

三、公路桥梁改扩建工程中的结构设计要点

（一）考虑原有结构特性

在公路桥梁改扩建工程的结构设计中，充分考虑原有结构的特性至关重要。这包括了解和评估桥梁的历史设计、使用的材料、建造方法、已承受的负载历史、以及目前的结构状况。例如，一座建于20世纪初的石桥与一座近代的钢筋混凝土桥，在材料的耐久性、承载能力和可扩展性方面有显著差异。针对老桥梁，重要的是要确定其历史负载情况和潜在的疲劳损伤。根据《土木工程师学会》的数据，老桥梁的疲劳损伤是引发结构问题的主要原因之一。为此，使用如声发射技术和红外热成像等现代检测技术来评估桥梁的结构完整性是必要的。此外，还需考虑原有结构的历史价值和美学特点，特别是对于具有文化和历史意义的桥梁。这就要求设计团队采取保守和尊重原始设计的方法，同时引入现代化的加固技术，以提高其结构安全性和功能性。

（二）强化耐久性设计

强化耐久性设计是公路桥梁改扩建工程中的一个关键点，其目的是延长桥梁的使用寿命，减少维护成本。耐久性设计涉及选择适合的材料、保护措施以及设计方法，以提高结构对环境因素的抵抗力^[2]。例如，在海洋或化学侵蚀环境中，使用耐腐蚀的材料如不锈钢或涂有防护层的钢材是至关重要的。根据《混凝土修复学会》的分析，适当的混凝土混合比和添加剂可以显著提高混凝土结构的耐久性。此外，考虑到气候变化对桥梁

结构的影响，设计时还需考虑抵抗极端气候条件的能力，如抗震、防洪和耐风设计。这些设计要求不仅基于当前的气候模式，还需要预见未来几十年的气候变化趋势。因此在结构设计上，采用冗余设计原则，即使部分结构受损，整体结构依然保持稳定，也是提高耐久性的一种策略。

（三）适应性和可扩展性

适应性和可扩展性设计是确保公路桥梁在未来能够适应不断变化需求的重要因素。这种设计思路要求在现阶段的设计中考虑到未来潜在的改变和扩展，从而避免未来进行大规模的重建工作。例如，设计时可预留足够空间和结构准备，以便未来增加额外车道或轨道。根据《桥梁和结构工程学会》的报告，预留扩建空间的桥梁设计可以在未来减少高达30%的改建成本。同时，适应性设计还包括使用模块化构件和连接方式，使得未来的维修、改造或扩建能更加快捷和经济。此外，在材料选择上，考虑到未来技术的发展，优先选择易于升级或更换的材料和部件。同时，考虑到数字技术的发展，桥梁设计中还应包括智能监测系统，如传感器网络，以便未来能够实时监控桥梁的健康状态并进行智能维护。

四、公路桥梁改扩建工程中的结构设计方案

（一）拼宽桥梁结构设计方案

公路桥梁改扩建工程中一个重要内容就是对既有桥梁进行拼宽改造，为减小新旧桥梁之间的刚度差异，桥梁拼宽部分一般采取“相同结构、相同类型、相同跨径”的原则进行设计。新旧桥梁结构连接形式主要为“上、下部均连接”、“上、下部均不连接”、“上部连接、下部铰接”、“上部连接、下部不连接”。

上、下部均连接主要适用于区域地质条件较好的路段，优点为新旧结构连接成整体结构，减小了桥梁受力下的不均匀变形，提高了行车的舒适性；缺点是因上下部结构新旧混凝土的收缩徐变导致桥梁附加内力较大，上下部结构连接处易产生裂缝。

上、下部均不连接主要适用于道路等级较低的路段，优点为新旧结构互不影响、结构受力明确，施工对旧桥交通影响小，造价较低；缺点为桥梁整体性较差，沥青铺装层易破坏，后期的养护维修工作量大。

上部连接、下部铰接适用于沉降较大、新建部分桥梁下部结构为单桩独柱形式的路段，优点为上部结构能整体受力，下部结构可以适用一定的变形，缺点为工程费用较高，施工较为复杂。

上部连接、下部不连接适用于沉降较大、新建部分桥梁下部结构非单桩独柱形式的路段，优点为上部结构能整体受力，下部结构不产生附加内力，缺点为下部结构整体性较差，拼宽桥的整体稳定性较差。

拼宽桥梁与既有桥梁连接方式是桥梁拼宽成败与否的主要因素，应根据项目区域地质条件、项目区域交通量大小、既有桥梁结构形式、跨径等方面考虑，采用对既有结构扰动性最小的连接形式。

（二）利用桥梁结构设计方案

公路桥梁改扩建工程中另外一个重要内容就是对既有桥梁进行维修利用，不仅要认识既有桥梁现状，更要研究改扩建后桥梁未来使用状况。因此，在桥梁改扩建前对既有桥梁结构的使用状况、承载能力进行充分的认识和评定是十分必要的，通过评定判断其维修利用的可能性和可行性，从而确定原有桥梁是否利用、如何维修加固，以达到原桥利用的安全、适用、经济的基本要求。

当既有桥梁承载能力极限状态不满足现行规范要求时，应对桥梁结构采取增强、局部更换或调整其内力等加固措施，使其满足现行规范要求。在桥梁维修加固中主要分为主动加固及被动加固两种形式，主要加固的特点为对结构应力状态进行重新分布，加固后不仅会改变结构强度，也会改变结构刚度，不仅承担活载，也会承担部分恒载，具体加固方法有：增大截面和配筋加固法、体外预应力加固法、改变结构体系加固法等；被动加固的特点为加固后结构的应力状态变化不大，对刚度改变较小，仅承担活载效应，具体加固方法有：粘贴钢板加固法、粘贴纤维复合材料加固法等。

五、公路桥梁改扩建工程中结构设计面临的挑战

（一）旧结构数据不全

在公路桥梁改扩建工程中，旧结构数据的不完整性是一个重要的技术问题。准确的历史数据对于评估现有桥梁的结构完整性和制定改扩建方案至关重要。旧桥梁的设计记录、施工日志、维修历史以及过往的检测报告，都是评估其当前状态的关键信息。然而，对于许多历史悠久的桥梁，这些数据往往不齐全、过时或甚至丢失。例如，根据《国际桥梁和结构工程学会》的分析，约有20%的历史桥梁在档案中缺乏完整的设计和维护记录。数据不全不仅增加了结构评估的难度，也增加了设计风险。为应对这一问题，工程师们常采用非破坏性检测技术（如超声波检测、磁粉检测、X射线和红外热成像）来评估桥梁的物理和结构状态。通过这些方法，可以在一定程度上重建桥梁的历史负载和应力状况，为改扩建工程的设计提供更准确的依据。

（二）桥梁结构形式的多样化

在公路桥梁改扩建工程中，对拼宽桥梁结构形式的合理选取直接对工程的可靠性、运营维护的可实施性、结构的耐久性甚至整个项目的投资效益产生重大影响。现行使用的桥梁结构形式较为多样化，上部结构有空心板、实心板、预制小箱梁、预制T梁、现浇箱梁等多种形式，下部结构有柱式墩、花瓶墩、独柱墩、重力台等。对既有桥梁进行拼宽设计时，拼宽桥结构形式、跨径尽量与老桥一致，以减小对老桥受力、变形的影响。

（三）维护交通流动性

在公路桥梁改扩建工程中，维护交通流动性的挑战尤为严峻。桥梁改扩建工程通常涉及长期的施工活动，这直接影响到桥梁周边地区的交通流。首先，工程施工

往往导致交通路线的改变、车道的减少甚至完全封闭，从而引发交通拥堵和延误。根据《交通研究报告》，桥梁施工期间的交通延误会导致交通流量下降40%，增加周边区域的通勤时间和交通事故风险。其次，交通流动性的下降还会影响紧急服务如救护车和消防车的迅速到达，从而危及公共安全。最后，交通限制对商业运输和物流也造成负面影响，容易导致货物运输延误、增加运输成本，进而影响当地经济。因此，在公路桥梁改扩建工程中，设计方案应考虑对现状道路的保通，并进行相应的交通组织设计。桥梁改扩建中普遍采取边运营边施工或者封闭施工的形式，在公路桥梁改扩建设计过程中，应结合施工组织设计拟定桥梁的改扩建设计方案，以减小对既有交通的影响，确保项目区域交通的顺畅和区域经济的稳定。

六、公路桥梁改扩建工程中优化结构设计的措施

（一）采用现代化数据测量补充

针对旧结构数据不全的问题，采用现代化数据测量技术是一项关键的实践措施。这一措施主要涉及使用先进的测量和分析工具，如3D激光扫描、无人机航拍和地理信息系统（GIS），来补充和更新桥梁的结构数据。例如，3D激光扫描技术能够提供精确的桥梁几何形状和结构缺陷的详细信息。据《测量与地理信息科学学会》的数据显示，使用3D激光扫描可以提高数据精度达到厘米级，大大超过传统测量方法。无人机航拍则可用于快速获取桥梁的整体视图和周边环境信息，尤其适用于难以接近的区域。GIS技术的应用可以帮助工程师在地理空间上分析桥梁数据，更好地理解桥梁与其周边环境的关系。此外，结合现代化的结构健康监测系统，如安装在桥梁上的各类传感器，可以实时监控桥梁的应力、变形和振动等情况，为桥梁的维护和改扩建提供重要数据。这些技术的综合应用，不仅能够补充历史数据的不足，还能提高对桥梁当前状态的认识，为改扩建工程提供更加精确和可靠的数据支持。

（二）采用模块化和适应性设计

针对环境与地质条件限制的问题，采用模块化和适应性设计是一项有效的实践措施。模块化设计指的是将桥梁的主要组成部分设计成标准化、可互换的模块，这样可以在不同的环境和地质条件下进行快速调整和组装^[4]。这种设计方法增加了桥梁在面对地质变化时的灵活性和适应性。据《桥梁工程学会》的分析，模块化设计可以缩短施工时间20%以上，并且在未来的维护和改造中更加经济高效。此外，适应性设计强调在设计初期就考虑到桥梁面临的各种环境变化，例如水位上升、地震或场地不均匀沉降等。这要求工程师进行深入的地质和环境分析，预测未来容易出现的各种情况，并在设计中采用适应这些变化的结构和材料。例如，可以使用具有高弹性和抗震性能的材料，或者优化桥墩基础设计来适应场地地质的变化。通过这种方法，桥梁不仅能够适

应当前的环境条件，还能够预备应对未来发生的变化，从而确保其长期的稳定性和安全性。

（三）交通组织设计与分段施工

在公路桥梁改扩建工程中，对现状道路交通流影响较大。尤其是对于交通量较大的高速公路及重要国省干道，施工期间为应对维护交通流动性的挑战，实施有效的交通组织设计和分段施工策略是至关重要的。首先，详细的交通影响评估应在项目初期进行，以预测施工对周边区域交通的潜在影响。根据这些评估，判断桥梁改扩建过程中采取的施工组织形式。并根据采取边运营边施工还是封闭施工方式制定相应的交通管理计划。包括设置临时交通标志、调整交通信号灯时序，以及建立临时绕行路线。这些措施旨在最大限度地减少施工对交通流的干扰。例如，通过调整工作时间以避开高峰时段，可以显著降低对交通流的影响。此外，采取边运营边施工组织形式时，对于长度较长的桥梁，采取分段施工是保持交通流动性的另一个关键措施。这意味着将整个工程划分为多个阶段，每个阶段独立进行，以减少同时施工区域对交通的影响。例如，可以先施工桥梁的一个部分，而其他部分仍然保持通行，然后在完成第一部分后，再进行下一部分的施工。这种方法不仅有助于维持交通流，还可以减少施工期间的混乱和安全风险。为了有效实施分段施工，需要精确的项目规划和严格的进度管理，以确保各阶段工程按时完成，避免延误对交通的进一步影响。

结束语

在对公路桥梁改扩建工程的结构设计优化进行全面分析后，显然，这一过程涉及多方面的综合考量和策略实施。从确保结构安全、增强承载能力到考虑环境与地质条件的挑战，每一步都要求精确和创新的方法。本文提出的优化措施，如采用现代化数据测量补充、模块化和适应性设计，旨在提供实用且高效的解决方案，以应对改扩建过程中遇到的复杂情况。此外，交通组织设计与分段施工是确保工程成功和可持续性的关键。总之，通过这些综合措施的实施，公路桥梁改扩建工程能够更好地满足现代化交通网络的需求，同时保持结构的稳定性和安全性。

参考文献

- [1] 胡海洋. 高速公路改扩建工程中的拼宽桥梁设计分析[J]. 运输经理世界, 2023, (16): 124-126.
- [2] 熊锋. 改扩建工程中的桥梁拼宽设计研究[J]. 运输经理世界, 2022, (33): 106-108.
- [3] 胡火全, 罗剑. 公路改扩建工程中的桥梁拼宽设计[J]. 运输经理世界, 2022, (19): 88-90.
- [4] 成威. 高速公路改扩建工程中的拼宽桥梁设计[J]. 交通世界, 2022, (09): 27-28.

作者简介: 王成帅(1990.11-), 男, 汉, 海南省海口人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 路桥设计。