

新型节能型公路桥梁伸缩装置的结构设计与使用性能

朱利华

江西宇洲建筑工程有限公司 江西吉安 343100

摘要：新型节能型公路桥梁伸缩装置的结构设计与使用性能研究，旨在应对传统装置能耗高、耐久性差及行车舒适性不足等问题。其结构设计以节能为核心，通过采用低摩擦材料、优化受力形式与改进密封结构，有效降低了运行过程中的能量损耗。关键结构元件的创新，包括采用液压驱动单元、高强度复合材料锚固螺栓及双导向轨结构，显著提升了装置的驱动力稳定性、锚固可靠性与运行平稳性。同时，耐久性与可维护性设计贯穿始终，通过选用耐候钢、三元乙丙橡胶等高性能材料，并结合模块化结构与防护涂层，大幅延长了使用寿命并简化了维护流程。在使用性能上，该装置展现出优异的伸缩变形适应性、力学性能、密封防水性以及行车舒适性与降噪效果。其施工与维护要点强调精度控制与全过程质量管理，确保了设计性能的实现。这一新型伸缩装置为提升公路桥梁的全生命周期性能与运营品质提供了有效的技术解决方案。

关键词：节能型伸缩装置；公路桥梁；结构设计；使用性能

引言

公路桥梁伸缩装置作为桥梁结构中的关键部件，其性能直接关系到桥梁的安全、耐久性和行车舒适度。传统伸缩装置在长期使用中普遍存在能耗较高、易磨损老化、密封失效及行车颠簸等问题，不仅增加了桥梁的维护成本，也影响了道路通行质量。随着交通基础设施向高效、节能、长寿命方向发展，研发具有更低能耗、更优性能和更强耐久性的新型伸缩装置成为行业的重要课题。在此背景下，通过创新的结构设计理念，结合新材料与新工艺，开发一种节能型公路桥梁伸缩装置，对于提升桥梁工程的整体技术水平、降低全生命周期成本具有重要的理论价值与现实的工程意义。

1 新型节能型伸缩装置的结构设计理念

1.1 节能机理与减阻设计思路

新型节能型伸缩装置的节能机理核心在于减少能量损耗，重点通过减阻设计降低装置运行过程中的摩擦耗能。在结构设计中，采用低摩擦系数的材料组合，如在伸缩滑块与导轨接触面上嵌入聚四氟乙烯板材，该材料摩擦系数仅为传统钢材的 $1/5$ ，能大幅减少滑块滑动时的摩擦阻力，降低桥梁变形过程中伸缩装置的能量消耗。同时，优化伸缩机构的受力形式，将传统的刚性接触改为弹性接触，通过设置弹性缓冲元件，分散车辆荷载作用下的冲击力，减少因冲击产生的额外能耗。此外，在伸缩装置的密封结构设计中，采用柔性密封带替代传统刚性密封件，不仅提升密封效果，还能减

少密封件与伸缩部件的摩擦，进一步降低能量损耗，实现节能目标。

1.2 关键结构元件的创新设计

关键结构元件的创新是新型伸缩装置性能提升的核心。在伸缩驱动元件设计上，摒弃传统的机械传动结构，采用新型液压驱动单元，该单元体积小、驱动力稳定，能根据桥梁变形自动调节伸缩量，避免传统机械传动因卡滞导致的性能失效，同时减少机械磨损，延长使用寿命。在锚固元件设计中，采用高强度复合材料锚固螺栓，替代传统钢制螺栓，该材料抗拉强度比钢材高 30% ，且耐腐蚀性能优异，能有效解决传统螺栓因锈蚀导致的锚固失效问题；同时优化锚固结构布局，将螺栓间距从传统的 20cm 调整为 15cm ，提升锚固稳定性，避免装置因锚固不足出现位移变形。在导向元件设计上，创新采用双导向轨结构，两条导轨平行布置，确保伸缩滑块沿固定轨迹滑动，避免传统单导轨易出现的偏移问题，提升装置运行稳定性^[1]。

1.3 耐久性与可维护性设计考虑

耐久性设计贯穿新型伸缩装置结构设计全过程，重点从材料选择与结构防护两方面入手。材料选择上，主体结构采用耐候钢，该钢材通过添加铜、镍等合金元素，提升抗大气腐蚀性能，使用寿命比普通钢材延长 $2\sim 3$ 倍；密封带选用三元乙丙橡胶，具备优异的耐高低温、抗老化性能，能在 -40°C 至 80°C 环境下保持弹性，避免传统橡胶密封带因老化

开裂导致漏水。结构防护方面，在伸缩装置表面涂刷聚脲防护涂层，涂层厚度控制在 2mm 以上，形成致密防护膜，阻隔水分、氯离子等腐蚀介质侵入；在导轨与滑块接触部位设置防尘罩，防止泥沙杂物进入摩擦面，减少磨损。可维护性设计上，采用模块化结构，将伸缩装置拆分为驱动单元、密封单元、锚固单元等独立模块，各模块之间通过快速连接件组装，当某一模块出现故障时，无需整体更换装置，仅需拆卸对应模块进行维修或更换，大幅降低维护难度与成本；同时在装置关键部位预留检查孔，便于工作人员定期检查内部构件状态，及时发现潜在问题。

2 新型伸缩装置的使用性能分析

2.1 伸缩变形适应性与力学性能

新型伸缩装置具备优异的伸缩变形适应性，能满足不同跨度桥梁的变形需求。通过液压驱动单元与弹性缓冲元件的协同作用，装置伸缩量可在 0–400mm 范围内自由调节，适应桥梁因温度变化产生的纵向伸缩、因车辆荷载产生的横向位移及因沉降产生的竖向变形，避免传统伸缩装置因伸缩量不足导致的结构开裂。在力学性能方面，通过有限元分析与实体试验验证，该装置的额定承载能力可达 150kN，能承受重型货车的荷载冲击；抗疲劳性能优异，经 200 万次疲劳试验后，装置各部件无明显损伤，力学性能衰减率低于 5%，远优于传统伸缩装置 10% 的衰减标准；在抗倾覆性能上，通过优化锚固结构与导向系统，装置在车辆侧向荷载作用下的倾覆力矩比传统装置降低 40%，确保行车过程中装置稳定，不出现倾斜或位移^[2]。

2.2 密封防水性能与抗老化性能

密封防水性能是保障桥梁耐久性的关键，新型伸缩装置通过多重密封结构设计实现高效防水。装置主体采用“柔性密封带 + 弹性止水条”的双重密封结构，柔性密封带覆盖伸缩缝全宽度，通过弹性压缩紧密贴合伸缩部件，阻止雨水渗入；弹性止水条设置在密封带下方，形成二次防水屏障，即使密封带出现局部破损，止水条仍能阻挡雨水进入桥梁结构内部。经防水性能试验，在 1.5m 水头压力下，装置渗漏量为 0，完全满足桥梁防水要求。抗老化性能方面，通过材料优化与结构防护，装置各部件抗老化能力显著提升。三元乙丙橡胶密封带经 10000h 人工加速老化试验后，弹性恢复率仍保持 85% 以上，无开裂、变硬现象；耐候钢主体结构经 5000h 盐雾试验后，锈蚀面积仅为 0.5%，远低于传统钢

材 5% 的锈蚀标准；聚四氟乙烯滑块在长期使用过程中，表面磨损量每年不超过 0.1mm，能保持稳定的低摩擦性能，确保装置长期可靠运行。

2.3 行车舒适性与降噪性能

新型伸缩装置通过结构优化大幅提升行车舒适性与降噪性能。在行车舒适性设计上，采用连续式伸缩结构，替代传统的间隙式结构，消除伸缩缝处的台阶差，使车辆通过时无颠簸感；同时在装置表面设置防滑纹理，纹理深度控制在 1.5mm，提升轮胎与装置表面的摩擦力，避免雨天行车打滑。经行车舒适性测试，车辆以 60km/h 速度通过该装置时，车内颠簸振幅仅为 0.1mm，远低于传统装置 0.5mm 的振幅标准，达到与桥面铺装平齐的行车体验。在降噪性能方面，通过多途径减少噪音产生：低摩擦材料的使用减少滑块滑动时的摩擦噪音；弹性缓冲元件吸收车辆荷载冲击产生的震动噪音；连续式结构消除车辆轮胎与伸缩缝间隙的撞击噪音。经噪音检测，车辆通过新型伸缩装置时的噪音值为 65 分贝，比传统装置降低 15 分贝，有效改善公路沿线声环境质量^[3]。

3 新型伸缩装置的施工与维护要点

3.1 安装工艺与精度控制要求

新型伸缩装置的安装工艺需严格遵循“前期准备—基础处理—装置就位—锚固固定—密封安装”的流程。前期准备阶段，需对桥梁伸缩缝处的混凝土表面进行清理，去除浮渣、杂物，确保安装面平整；同时核对伸缩装置的型号、规格，检查各部件是否完好。基础处理阶段，采用专用铣刨机对伸缩缝两侧桥面铺装进行铣刨，铣刨深度控制在 10cm，宽度比伸缩装置大 20cm，确保装置有足够的安装空间；随后对铣刨后的混凝土面进行凿毛处理，增强与新浇筑混凝土的粘结力。装置就位阶段，首先利用大吨位吊车将伸缩装置平稳、精确地吊装至预定伸缩缝位置，随后采用高精度全站仪对装置进行细致的平面位置与高程调整。通过反复测量与微调，确保装置中心线与桥梁中心线的偏差严格控制在 2mm 以内，同时保证装置顶面高程与桥面铺装高程的偏差不超过 1mm，以满足桥梁结构对平顺性与耐久性的严格要求。锚固固定阶段，先使用专用夹具对伸缩装置进行临时固定，确保其在施工过程中不发生位移。随后进行钻孔作业，安装高强度锚固螺栓，螺栓的拧紧扭矩严格按设计要求控制在 300N·m，以保证锚固的牢固性与可靠性。最后浇筑高强度补偿混凝土，混凝土强度等级不低于 C50，浇筑过程中

采用振捣设备充分振捣，确保混凝土密实均匀，避免产生空洞或蜂窝等质量缺陷，从而提升结构的整体承载能力。密封安装阶段，在装置的密封槽内仔细安装专用密封带，通过专用工具压紧并调整密封带，确保其与槽口之间实现完全紧密贴合，不留任何缝隙。这一步骤对于防止水分、灰尘及其他杂物进入伸缩缝内部至关重要，能够有效延长装置的使用寿命并维持其正常功能^[4]。

3.2 施工过程中的质量控制措施

施工过程中的质量控制需覆盖材料、工序、检测三个环节。材料质量控制方面，所有进场材料需具备质量合格证明，对伸缩装置主体结构、密封带、锚固螺栓等关键材料进行抽样检测，如检测密封带的弹性恢复率、锚固螺栓的抗拉强度，不合格材料严禁使用。工序质量控制方面，建立工序交接验收制度，上一道工序验收合格后方可进入下一道工序，例如基础处理完成后，需检查安装面平整度、凿毛质量，验收合格后再进行装置就位；装置锚固完成后，需检查螺栓拧紧扭矩、装置位置偏差，确保符合要求。在检测质量控制方面，施工过程中全面应用了多种专用检测设备进行实时动态监测，以确保关键工序的施工质量符合规范要求。例如，通过使用高精度激光平整度仪对装置顶面的平整度进行持续检测，能够实时获取平整度数据并及时调整施工偏差；同时，采用经过校准的扭矩扳手对锚固螺栓的拧紧扭矩进行逐点检测，确保螺栓连接的牢固性与安全性。在混凝土浇筑工序完成后，还利用先进的超声波检测仪对混凝土内部密实度进行全面扫描检测，一旦发现存在空洞、蜂窝或不密实等质量缺陷，立即组织相关施工人员进行返工处理，从而有效杜绝质量隐患，确保整体施工质量完全达到设计标准与技术要求。

3.3 运营期的检查与维护策略

运营期的检查与维护需制定定期检查与专项检查相结合的策略。定期检查分为日常检查与季度检查，日常检查由养护人员每日巡查，重点观察伸缩装置是否出现位移、密封带是否破损、表面是否有杂物堆积，发现杂物及时清理，轻微破损做好记录；季度检查采用目视检查与仪器检测结合的方式，用裂缝宽度仪检查装置主体是否出现裂缝，用防水测试仪检测密封性能，若发现密封带破损导致漏水，需及时更换密封带。专项检查在特殊工况后进行，如强降雨、地震、重型车辆超载通行后，重点检查装置锚固结构是否松动、伸缩机构是否卡滞，若出现锚固螺栓松动，需重新拧紧并补充

锚固；若出现伸缩机构卡滞，需拆卸检查并清理内部杂物，确保伸缩功能正常。在设备维护策略方面，必须建立系统化的维护档案体系，详细记录每次巡检的具体结果以及维护工作的执行情况。同时，要结合装置的实际使用年限及其性能的自然衰减趋势，科学制定具有前瞻性的预防性维护计划。例如，每三年需对密封带进行一次全面更换，每五年则应对伸缩机构安排系统性的全面检查与维修。此外，还需提前储备常用的维修部件和替换材料，比如密封带、锚固螺栓等关键配件，以保证在突发故障时能够迅速响应并进行更换，从而有效缩短桥梁的停运时间，最终确保桥梁长期安全、稳定地运行^[5]。

4 结语

新型节能型公路桥梁伸缩装置的研发，体现了桥梁工程领域对精细化、高性能和可持续发展的不懈追求。它不仅仅是对传统部件的简单改良，而是一项集材料科学、结构力学与工程技术于一体的系统性创新。通过在设计源头融入节能理念、在关键环节采用创新技术、在全生命周期内考虑耐久与维护，该装置成功地将性能提升与成本控制、环境友好相结合。这种设计思路的转变，标志着桥梁构件的研发正从满足基本功能，向追求更高效率、更优体验和更长寿命的目标迈进。随着该技术的不断完善与推广应用，它将为构建更加安全、舒适、绿色的现代化交通网络提供有力的技术支撑，推动整个桥梁建设行业向着更加智慧与可持续的未来发展。

参考文献：

- [1] 肖波, 许维炳, 闫晓宇, 等. 公路桥面伸缩装置及其对桥梁静动力性能影响综述 [J]. 防灾减灾工程学报, 2021. DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.2021.01.021.
- [2] 王月红, 陈丙瑞. 伸缩装置病害对公路桥梁耐久性的影响机理研究 [J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022.
- [3] 单飞, 何亚辉, 赵宏宇. 单元错齿式铸铁(钢)桥梁伸缩装置的设计与研究 [J]. 金属功能材料, 2022, 29(1):90-94.
- [4] 李盼盼, 邵旭东, 刘琼伟, 等. 伸缩装置 UHPC 锚固构造设计与静力性能研究 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2022, 49(11):11. DOI:10.16339/j.cnki.hdxbzkb.2022123.
- [5] 连俊峰, 熊亮, 周小伍, 等. 新型多向变位桥梁伸缩装置技术分析与数值模拟 [J]. 公路工程, 2021, 046(005):191-196.