

桥梁工程中橡胶支座的影响因素及检测方法

蒲春江

(四川智通路桥工程技术有限责任公司, 四川 成都 610200)

摘要 为解决橡胶支座性能劣化隐患, 满足桥梁工程安全运维需求, 本文系统讨论了桥梁工程中影响橡胶支座服役性能的材料因素、施工因素、结构因素及环境因素。同时, 总结了外观检测、尺寸检测、物理性能检测、声波无损检测等检测手段的具体方法, 旨在为综合评估橡胶支座质量提供有益参考, 进而推动被动桥梁养护维修向主动预防转变。

关键词 桥梁工程; 橡胶支座; 外观检测; 尺寸检测; 物理性能检测

中图分类号: U446

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.038

0 引言

在我国交通体系中, 桥梁是重要的基础设施, 受各结构部件影响, 需重视其运行安全。而桥梁工程中的橡胶支座具备良好的弹性变形能力, 在调节桥梁上部结构位移方面发挥着关键作用。但也要注意, 不同桥梁工程在材料质量、施工技术以及使用环境等不同因素上存在一定差异, 严重影响着桥梁上的橡胶支座老化、错位情况, 易降低桥梁工程的使用寿命, 甚至对桥梁整体结构安全造成不利影响。基于此, 使用科学有效的检测手段及时掌握桥梁工程的支座运行状态, 成为桥梁运维管理的重要研究方向。

1 桥梁支座质量影响因素

1.1 材料因素

材料品质是决定橡胶支座性能的核心基础, 若原材料存在缺陷, 即便后续生产与施工环节管控再严格, 也无法避免支座出现早期劣化问题, 因此需从入场到生产全流程构建严密的材料管控体系。借助专业检测装置与方法对每批次入场的原材料施行严格检查, 唯有经检验达标的基础材料方能流入生产流程, 未达标的必须坚决退回, 绝不能应用于橡胶支座的生产和使用。在橡胶支座生产环节中, 构建原材料质量追溯体系可以达成全过程的质量监控目标。引入批次管理理念, 记录每一批次原材料的采购路径、批次编号、投入使用的时间及对应部位等多个关键参数, 在成品显现问题时有助于锁定原材料的生产和供货源头以采取应对措施; 采用信息化手段开发追溯管理系统则便于在线维护与调取数据内容, 进一步优化追溯效能和信息精度, 同时该系统通过数字化方式实现了对原料流通过

程的信息留痕功能^[1]。针对《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)新增的剪力卡榫装置等配套部件, 还需额外检测其材料的强度及耐磨损性能, 保证符合规范工艺要求。这些材料管控的举措, 能从源头保障橡胶支座品质, 为桥梁结构长期稳定运营筑牢关键基础。

1.2 施工因素

橡胶支座需借助施工环节精准安装到桥梁结构中, 才能真正发挥协调变形的核心作用, 这一过程的操作质量管控直接关系到支座设计性能能否落地。施工准备阶段, 支座安装前的基础处理至关重要却易被忽视。若桥梁墩台支座垫石表面平整度未达到设计要求, 会致使支座受力面接触不均, 长期运营中局部应力集中, 不仅会加速橡胶老化, 还可能引发支座偏压、脱空等病害, 严重削弱其承载与变形协调能力。此外, 若施工团队未按《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)规范要求, 结合施工环境温度控制支座安装位置偏差, 温度变化时上部结构伸缩会对支座产生额外剪切力, 超出其承载极限后易出现开裂问题。同时, 安装操作过程中的细节把控同样关键, 不当的施工行为会直接损伤支座性能。定位时若未使用高精度测量仪器控制支座中心坐标与高程, 偏差超出规范允许范围, 会使支座传力路径改变, 原本应均匀传递的上部荷载出现分布失衡, 部分支座承担过量荷载, 缩短使用寿命。此外, 施工后的防护措施缺失, 也会为支座后期劣化埋下隐患。这些施工环节的疏漏, 虽短期内可能未显现突出的问题, 但随着桥梁运营时间增长, 会逐步引发支座性能劣化, 威胁桥梁结构安全^[2]。

作者简介: 蒲春江 (1994-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 道路与桥梁。

1.3 设计因素

设计环节是橡胶支座发挥性能的蓝图,若设计方案与桥梁实际工况脱节,即便材料优质、施工规范,支座仍可能因先天不足陷入性能失效的困境。一方面,部分设计未充分考虑桥梁长期运营中的动态荷载和静态荷载的叠加效应,仅按理论值选取支座承载等级,致使支座实际受力远超设计阈值,长期处于超负荷状态,加速橡胶老化及钢材疲劳。另一方面,支座结构选型与桥梁特性不匹配也会引发问题。此外,设计中对环境适应性考量不足同样关键。部分设计未结合桥梁所在地的气候条件优化支座材质配方。例如:在高温地区未选用耐高温橡胶,支座长期受高温烘烤易出现软化、变形。在沿海地区未针对盐雾腐蚀设计防腐涂层,钢材组件易锈蚀,影响支座整体稳定性。这些设计层面的疏漏,会使橡胶支座从应用之初就存在性能短板,无法满足桥梁长期安全运营需求^[3]。

1.4 环境因素

桥梁橡胶支座长期暴露于自然环境中,需持续承受各类环境因素的动态侵蚀,这种慢性损耗会逐步破坏支座材料结构,削弱其力学性能,成为支座性能劣化的重要诱因。首先,极端气候条件的循环作用会显著影响支座的稳定性。在温差剧烈的地区,夏季高温会使橡胶材料软化、弹性降低,冬季低温则会使橡胶脆化、抗裂性下降,长期冷热交替会引发橡胶内部产生微裂纹,进而扩展为明显破损。而多雨及高湿度的环境中,水分会渗透至支座内部,不仅使橡胶发生溶胀,破坏其原有分子结构,也会致使内部钢材组件生锈,削弱支座整体承载能力,尤其在桥梁墩台排水不畅时,支座底部易积水,加速腐蚀进程。其次,特定环境中的腐蚀性介质还会加剧支座劣化。沿海桥梁面临的盐雾腐蚀最为典型,含盐雾气会附着在支座表面,借助橡胶缝隙侵入内部,与钢材发生化学反应生成铁锈,同时破坏橡胶的抗老化性能,使支座出现表面剥落、强度衰减的现象。这些环境因素的综合作用,虽然短期内不会引发支座突发失效,但会持续缩短支座使用寿命,增加桥梁的运维风险^[4]。

2 桥梁支座检测方法

2.1 外观及尺寸检测,初步判断支座质量状态

外观及尺寸检测的核心思路是结合视觉识别及精准量测,借助直观观察支座表面状态,同时量化关键尺寸参数,综合判断支座是否符合《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)中对橡胶支座的设计规范。此类外观尺寸检测主要是基于桥梁橡胶支座的形态特征与性能关系进行检测,并以橡胶支座表

面是否出现裂缝、鼓起等异常现象为具体判定因素。若橡胶支座表面已经出现相应问题,则表明其内部结构已发生变化,需进行进一步的检测。在此基础上,该检测方式还注重观察支座的尺寸参数,若发现参数与设计不符,也表明支座受力发生改变,可能存在荷载分布不均的情况^[5]。基于此,检测人员要在检测过程中遵循“先筛查、后精测”思路,先肉眼观察支座外观,再使用相应的专业测量仪器精确量化尺寸数据。在此过程中,检测人员还需要记录表面裂纹的裂纹长度(L)、宽度(W)及深度(D),依照规范逐一判断支座存在的缺陷类型及程度。若裂纹宽度超过0.3 mm且长度超过50 mm则为严重缺陷。随后,检查支座上的橡胶与钢板黏结情况,及时判定脱粘面积(S)占总黏结面积(S总)的比例是多少,在其超过5%(即 $S/S_{总} \times 100\% > 5\%$)时则上报管理人员黏结失效。同时,记录支座表面老化或腐蚀等现象。

在尺寸检测方面,检测人员还应使用卡尺、全站仪等相应检查设备测量橡胶支座的几何参数,计算偏差率。偏差率计算公式如下:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= |L_{实} - L_{设}| / L_{设} \times 100\% \\ \eta_2 &= |B_{实} - B_{设}| / B_{设} \times 100\% \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中,L实是实测长度、B实是宽度与L设、B设是相应的设计值。

《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)规范要求 η_1 、 η_2 均 $\leq 2\%$,超出则分析安装或生产误差原因。

厚度偏差率计算公式如下:

$$H_3 = |H_{实} - H_{设}| / H_{设} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中,H实是测量的支座实际厚度,H设是设计的厚度。

当 $\eta_3 > 3\%$ 时,橡胶支座的缺陷会不断影响支座竖向承载能力,要求检测人员结合抗压性能检测进行进一步的评估,即对角线偏差,要求测量矩形支座的两组对角线长度(d_1 、 d_2),计算偏差值 $\Delta d = |d_1 - d_2|$,若 $\Delta d > 5 \text{ mm}$,表明支座存在变形。

由此,检测人员综合分析橡胶支座的外观缺陷与尺寸偏差,能够明确该支座的质量初步分级。其中无明显缺陷且各项尺寸指标均满足规范要求的是合格支座,仅存在轻微缺陷但尺寸符合要求的是需跟踪观察对象,缺陷明显或尺寸偏差超标的支座是不合格支座。相关管理人员需要及时更换处理不合格的支座。

2.2 物理性能检测,量化评估支座基本性能

物理性能检测的核心理论是借助测定支座在受力时的抗压强度、弹性模量等具体力学参数,判断其是否符合

《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)设计要求。该理论基于“材料力学响应反映结构性能”原理。支座的力学参数直接决定着其传递上部荷载的效率,以及在温度变化、车辆制动等工况下的变形适应能力,只有精准测量这些参数,才能突破外观检测仅能判断表面状态的局限,从力学本质上评估支座的能否满足桥梁长期服役需求。

在实际检测中,抗压弹性模量检测是核心项目之一,相关团队需借助压力试验机施加分级竖向荷载,记录对应变形量。其计算公式为:

$$E=(F_2-F_1) \times t / (A \times (\delta_2-\delta_1)) \quad (3)$$

式(3)中, E 为抗压弹性模量(MPa), F_1 、 F_2 分别为分级荷载的初始值与终值(kN), t 为支座总厚度(mm), A 为支座有效承压面积(mm^2), δ_1 、 δ_2 为对应荷载下的竖向变形(mm)。《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)规范要求板式橡胶支座的抗压弹性模量需在 1 000 ~ 1 500 MPa 范围内,超出该范围则表明橡胶弹性不足,影响变形协调能力。

抗剪性能检测同样关键,相关团队需固定支座一端,对另一端施加水平剪切力,测量剪切变形。例如:检测支座抗剪弹性模量时,按支座短边长度的 1/300 施加水平位移,记录对应的剪切力,计算公式为:

$$G=\tau / \gamma=(F_s/A) / (\delta_s/t) \quad (4)$$

式(4)中, G 表示支座抗剪弹性模量(MPa), F_s 是施加的水平剪切力(kN), δ_s 是对应的剪切位移(mm), τ 表示剪应力, γ 为剪应变。当计算的 G 值低于《桥梁减隔震装置通用技术条件》(JT/T 1062—2025)规定的 0.9 MPa 限值时,就表明该支座的抗剪性能不足,容易在桥梁承受水平作用力时发生过大剪切变形,影响桥梁结构安全。在此基础上,检测人员还应当逐级加载直至支座破坏,检测橡胶支座的极限抗压能力,且判断极限破坏荷载低于设计荷载 1.5 倍的支座不满足桥梁使用要求,避免在实际服役过程中出现压碎等问题。

2.3 声波无损检测,探查支座内部结构缺陷

在检测橡胶支座时,检测人员可基于声波在材料中的传播特性,使用声波无损检测技术辅助评估橡胶支座内部可能存在的空洞、分层等隐蔽缺陷,弥补外观检查与力学性能测试在识别支座内部缺陷方面的不足。若橡胶支座内部存在缺陷时,能够直观发现声波传播路径发生改变,并具体表现为传播速度降低,衰减振幅。

在实际检测中,检测人员可以计算声波在完好橡胶中的传播速度,再使用超声波脉冲反射法向支座发

射超声波,接收从内部界面反射的回波信号。声波传送公式如下:

$$v=d/t \quad (5)$$

式(5)中, v 是声波传播速度(m/s), d 是支座厚度(m), t 是从发射到接收声波的时间(s)。若橡胶支座的局部区域存在声波传播速度 v_1 低于完好区域速度 $v_{10\%}$ 的情况,则可直接判定该区域存在空洞、脱粘等问题。

在具体检测过程中,检测人员应当按照 20 mm×20 mm 网格划分超声波检测区域,并逐点采集声波传播时间、回波振幅数据,及时发现回波振幅 A_1 低于参考振幅 A 的 70% 的缺陷部位,进而分析声波速度变化,判断该位置内部损伤情况。在此基础上,若检测人员发现存在多重反射信号,还要根据声波衰减系数,分析橡胶支座内部是否存在分层或裂纹,评估缺陷严重程度。衰减系数 α 计算公式如下:

$$\alpha=(20 \lg(A/A_1))/d \quad (6)$$

式(6)中, α 为衰减系数(dB/m)。 α 值越大,说明橡胶支座内部损失的声波能量越多,也说明内部缺陷越严重。检测人员综合分析上述这些检测参数,可明确了解橡胶支座的内部缺陷分布情况,为后续维修提供依据,减少因隐蔽缺陷引发的安全风险。

3 结束语

橡胶支座检测是明确橡胶支座情况,保障桥梁全寿命周期安全运行的基础。明确影响橡胶支座的因素,并系统分析检查橡胶支座质量的相关检测手段,既有助于为桥梁运维养护提供依托,还能降低桥梁结构失效风险,推动桥梁养护模式从传统事后维修过渡到主动预防。未来,随着智能监测技术不断发展,橡胶支座检测将逐步实时,为桥梁工程安全运行提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 游新,王艺钦,吴刚.板式橡胶支座老化时变性及其对斜交桥地震响应影响研究[J].世界地震工程,2025,41(04):192-200.
- [2] 齐澍椿,杨文,李晗,李茂,张晗,田泽敏.盆式橡胶支座老化对铁路简支梁桥受力性能的影响分析[J].山西建筑,2025,51(20):166-170.
- [3] 任炫知.圆形板式橡胶支座高度对连续桥梁抗震能力的影响[J].科学技术创新,2025,(18):125-128.
- [4] 龚程豪.公路工程橡胶支座原材料性能与质量控制措施[J].运输经理世界,2025(14):163-165.
- [5] 王怡,陶庆东,罗丹霞.基于实际桥梁工程的板式橡胶支座的设计研究[J].四川建材,2022,48(07):108-109.