

影响公路桥梁板式橡胶支座总体质量水平的关键因素

黄跃平, 周明华, 胥明

(东南大学土木工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 针对近几年公路桥梁板式橡胶支座普遍过早劣化的现象, 研究了支座设计应力的取值与强度储备的关系, 分析了我国交通行业规范对板式橡胶支座设计应力要求的变化, 比较了国内外支座设计应力取值, 认为我国交通行业规范规定的板式橡胶支座设计应力取值偏高, 造成现役橡胶支座的强度储备太低。建议适当降低板式橡胶支座设计应力取值。并从支座产品质量、安装技术等方面提出了防止支座过早劣化的措施。我国橡胶支座企业应大力实施质量竞争和创新竞争战略。

关键词: 橡胶支座; 应力; 强度储备; 公路桥梁

板式橡胶支座由多层均匀分布的橡胶与钢板叠合而成, 是公路桥梁重要的承力和抗震减振装置, 近 20 年来在我国得到广泛应用。但是在应用中发现其质量优劣和工作应力直接影响着支座的作用功能以及桥梁结构的安全可靠度与使用寿命。据病害调查发现, 自产品标准 JT/T4—1993 及相应规格系列颁布以来, 几乎每条高速公路上的橡胶支座都有不同程度的劣化, 无病害的支座很少, 板式橡胶支座使用寿命远远低于设计寿命。现在甚至出现未通车的在建桥梁的板式橡胶支座安装后就大量损坏。虽然难以置信, 但调查结果就是如此。这当然有多方面因素的影响, 有施工质量方面的问题, 也有支座生产厂生产工艺和选用原料如橡胶、填充剂等的质量问题, 也有桥梁设计(包括支座的设计与选用)的问题。

1 过早劣化现象及主要影响因素

橡胶支座的劣化过程通常表现为橡胶层外鼓→裂纹发生→裂纹发展→钢板外露→钢板氧化→钢板锈蚀脱胶→支座压溃(失稳)或钢板断裂, 这应当是一个漫长的过程。通过对支座使用状况的调查发现, 支座病害可分为两大类, 一是内在质量, 如胶料质量差; 胶层厚度不均匀; 胶料中有杂质、微孔等形成的初始病源。二是施工安装不到

位; 支座设计应力过高造成强度储备不足; 支座设计、布置不当等。橡胶支座早期劣化的起始标志是橡胶保护层外鼓, 随着应力集中加大, 外鼓面出现细微的裂纹。裂纹的产生及扩展速度与工作应力状态和胶料质量、疲劳、温度等有关。橡胶老化需要一定的时间, 目前大面积出现的支座早期劣化是极不正常的。

1.1 胶料质量对耐久性的影响

胶料质量是影响橡胶支座使用寿命的主要因素。胶料质量的优劣与含胶量、填充剂和是否掺加再生胶密切相关, 通常以硬度和抗剪弹性模量来评定。橡胶的老化是一种不可逆转的化学反应, 直接影响橡胶支座的使用寿命。世界各国对橡胶支座使用的胶料都明确规定禁止掺入任何再生胶, 因为掺入再生胶的支座会使支座过早劣化而影响使用寿命。可是目前国内市场上掺入再生胶的支座很普遍, 这是支座普遍出现早期病害的重要原因之一。

1.2 界面粘合质量和厚薄均匀性对力学性能的影响

叠合质量是指橡胶与钢板的粘合质量、支座内部加劲钢板位置定位的准确性和橡胶层厚薄均匀性以及胶层质量的均匀性。粘合质量不良在造成橡胶钢板的剥离强度降低的同时, 还常常在支

座内部留下初始病灶。加劲钢板位置定位不准常表现为错位和不平行,造成胶层和保护层厚薄不均。胶层厚薄不均无法通过宏观力学性能检测项目检测出来,却会造成支座局部胶层力学性能大幅下降,直接影响支座的耐久性。

1.3 安装质量缺陷的影响

支座的安装技术与工艺很重要,支座安装质量将直接影响支座的受力状态和耐久性。调查发现支座安装中常见质量问题如下:(1)支座垫石与梁底支承楔块的位置、尺寸、标高的施工偏差过大;(2)支座垫石混凝土顶不水平、不平整;(3)支座垫石与梁底支承楔块内钢筋缺漏或保护层厚度过大;(4)个别支座的规格型号与设计要求不完全相符;(5)支座安装的位置与轴线位置偏差过大;(6)支座上、下面未与梁底支承面、垫石顶面完全紧密贴合或支座顶面不水平,支座顶标高的施工偏差过大,出现支座局部脱空、偏压、初始剪切变形过大等现象;(7)四氟乙烯滑板与不锈钢滑板划伤、表面脏污、硅脂未注满,导致活动支座不滑动。

1.4 设计选型和布置存在缺陷的影响

许多桥梁设计图纸中,通常仅仅对支座的直径或规格(长、宽、高)提出了要求,而对所选支座内部结构、形状系数和承载力却没有具体要求。可是支座的含胶量和形状系数直接影响支座的各项性能如承载能力和耐久性。而且调查还发现,在许多桥梁设计图纸中,橡胶支座的布置有错误,即活动支座与固定支座的布置不正确,这直接影响支座使用功能的发挥、承载能力及使用寿命。

1.5 设计应力对强度储备的影响

板式橡胶支座的临界疲劳应力下限值随形状系数的大小而分布在 10~30 MPa 之间。其上、下限是按 ISO 22762-2 规定的抗压弹性模量上下限取值计算而得。当支座的工作应力大于临界疲劳应力时,在周期载荷的作用下将发生裂纹并扩展。

图 1 纵向比较了 1985~2004 年我国交通部行业标准中关于许用应力规定的变化。已废止的交通部标准 JT/T4-1993 规定圆形支座橡胶支座的许用应力统一取 $12.5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, 矩形支座取 $10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。现行桥涵设计规范 JTG D62-2004 中规定橡胶支座的许用应力取 $10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。二者均过于简化,这种一刀切的规定不符合科学

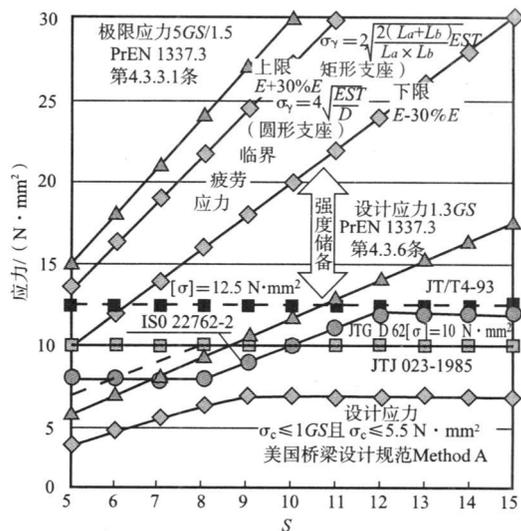


图 1 各标准对许用应力或最大压应力的规定规律。

当支座形状系数小于 8 时,部分规格橡胶支座已无足够的强度储备。调查得知,近年来橡胶支座大面积出现早期劣化的桥梁(运营中或正在建设中)都是按原产品标准 JT/T4-1993 设计和在其附录《支座规格系列》选取规格的,而未按原桥涵设计规范 JTJ 023-1985 的规定设计。

产品标准对设计应力取值应遵守原桥涵设计规范(JTJ 023-1985)的规定,显然 JT/T4-1993 与 JTJ 023-1985 的规定不一致。产品标准应满足设计规范的要求和质量要求。笔者研究认为 JTJ 023-1985 中规定考虑了形状系数的因素是合理的,与国际标准及欧美设计规范的规定值是相近的。我国已废止的交通部标准 JTJ 023-1985 中规定:当形状系数 $S > 8$ 时,许用应力 $[\sigma] = 10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$; 当 $5 \leq S \leq 8$ 时, $[\sigma] = 7.0 \sim 9.0 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。

国际标准 ISO 22762-2 2005 规定板式橡胶支座的最大压缩应力 σ_{\max} 取值的的规定为:当第一形状系数 $S_1 < 8$ 时, $\sigma_{\max} \leq 8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$; 当 $8 \leq S_1 < 12$ 时, $\sigma_{\max} \leq S_1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$; 当 $S_1 \geq 12$ 时, $\sigma_{\max} \leq 12 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。ISO 22762-2 2005 规定的最大压缩应力值均小于计算实例的临界疲劳应力下限值。日本关于道路桥梁用板式橡胶支座的 σ_{\max} 值与 ISO 22762-2 2005 完全相同。

图 1 横向比较了欧美标准,欧洲标准 PrEN 1337.3; 2000 中规定板式橡胶支座的最大压应力

(第 4.3.3.1 条)是形状系数函数,最大压应力是指支座在地震时暂时允许承受的极限应力,也是欧洲标准规定的极限试验应力。该值远远低于我国现行行业标准规定的极限试验应力值($70 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$)。图 1 中长期设计应力是根据欧洲标准规定的最大压应力按现行国际标准的规定的计算方法计算而得,ISO 22762-3 2005 第 6.4 条规定长期设计应力或名义应力 σ_{nom} 为 σ_{max} 的一半 ($\sigma_{\text{nom}} = \sigma_{\text{max}}/2$)。设计应力的最大取值,按 PrEN 1337.3:2000 第 4.3.6 条 $\sigma_{\text{nom}} = 1.3GS$ (G 为抗剪弹性模量) 计算得出。欧洲标准规定无论是极限试验应力、设计应力还都是形状系数的函数。

美国桥梁设计规范关于板式橡胶支座平均压应力取值的方法有两种,即方法 A (Method A) 和方法 B (Method B)。

方法 A 对应于普通板式橡胶支座,橡胶支座外无上下承压钢板,基本与我国交通行业用的板式橡胶支座类似。此类板式橡胶支座的平均压应力 σ_c 设计值为 $\sigma_c \leq 1.0 \times GS$, 并且 $\sigma_c \leq 5.5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ (1.00 KSI)。

方法 B 对应于橡胶支座外有上、下两块承压钢板的板式橡胶支座,其平均压应力设计值为如下。

以剪切应变为主的支座 $\sigma_c \leq 1.66 \times GS$, 并且 $\sigma_c \leq 11 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ (1.6 KSI);

无剪切应变的橡胶支座 $\sigma_c \leq 2.0 \times GS$, 并且 $\sigma_c \leq 12 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ (1.75 KSI)。

值得注意的是,随着 S 的减小,橡胶支座的临界承载能力和强度储备系数均同步下降。其中当 $S=7$ 时, JT/T4—1993 标准设计选用的橡胶支座已无足够的强度储备。2004 年修订 JT/T4—2004 新标准时,总体思路无本质的改变,尤其对支座设计应力的取值与 JTJ 023—1985 设计规范有合理规定相比反而大大倒退,降低了支座使用应力的安全可靠度。

2 价格恶性竞争对橡胶支座总体质量的影响

《产品质量法》中规定:产品质量应当符合两项默示担保条件和一项明示担保条件的要求,即产品不存在不合理的危险;具备产品应当具备的使用性能;符合国家标准规定的质量状况。由此

不难看出,规定的质量要求不但包含了产品应当符合有关明确规定的内涵,更着重地提示了产品质量要具备满足用户使用需要(包括明确的和隐含的)的能力。换句话说,产品质量不但要满足“符合性”的要求,更要满足“适应性”的要求。从法制角度看,《产品质量法》就是对产品要求的规定,是对产品生产者、销售者应当履行的产品质量义务作出的法律规定。但是面对越演越烈的价格竞争,有些企业为了抢占市场,竟以牺牲产品质量为代价低价竞销,早把质量抛到了九霄云外。质量意识上的缺陷,给我国橡胶支座行业发展带来的负面影响是十分明显的。只要看一看在经营活动中,以牺牲质量为代价,掺再生橡胶、换铁板、拼成本、抢市场的问题,就可感受到橡胶支座质量问题的严重性和质量监督与质量管理、规范市场与打假治劣的必要性。

可以说企业法制意识和产品质量意识淡薄,市场不规范,无法无序的价格竞争和低价中标是我国橡胶支座总体质量水平下降的主要原因之一,质监部门的质量监督和质量管理工作十分艰巨。国家有关部门领导应引起高度重视,采取有效措施扼制低价中标后的低质橡胶的使用。每立方厘米单价在 5 分钱以上才有可能保证产品质量。笔者在此大声疾呼!否则后患无穷。看来只有运用行政手段提高企业的质量意识;运用市场手段健全市场竞争规则;逐渐淘汰质量意识差、产品质量低的企业;把质量意识纳入企业建设之中,促进企业产品质量提高,增强产品在市场上的竞争能力。

3 应对措施

橡胶支座作为桥梁的重要构件,承受和传递梁体荷载并适应梁体的转动和位移,支座一旦安装,更换将非常困难,且更换支座的成本和技术难度是相当大的,因此应强化对橡胶支座质量重要性的认识。由于胶料质量是影响橡胶支座使用寿命的主要因素,必须严格控制支座含胶量,严禁使用再生胶和胶粉,严格控制填充剂的使用。严格控制橡胶-钢板叠合(粘合)质量,确保支座内部橡胶层和钢板的平整度、平行度及粘合强度,保证支座各橡胶层的性能均匀性。支座内胶层厚度不

均匀可导致同一块橡胶支座中各层形状系数和力学性能及强度储备不同。

3.1 完善检测手段

应重视对橡胶支座成品含胶量及填充剂成分的检测。同时,增加剪粘合性能与老化后抗剪的交叉试验来检测支座是否含有再生胶。加大对橡胶支座的研究,尤其是加大橡胶支座的损伤与失效机理及老化性能的研究力度。增加对橡胶支座成品耐疲劳性能、耐老化性能、抗剪极限能力的检测项目。

橡胶支座各生产企业和检测机构应强化并完善对支座成品的检测手段。推广采用自动检测装置并在检测报告中提供检测曲线。对规范规定的常规检测项目认真把关,增加解剖试验的检测力度,杜绝宏观性能合格但内部质量有问题的橡胶支座和掺了再生胶的产品流入市场。

3.2 适当降低支座的设计应力

试验研究和理论分析表明,板式橡胶支座的临界疲劳应力 σ_T 与 S 、 G 与支座规格密切相关。依现行桥涵规范 JTG D62—2004 规定, G 的取值偏高并且范围太窄,同时许用应力统一取 $10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,对 S 小于8的橡胶支座是不适合的,会导致橡胶支座的疲劳强度储备严重不足。

现行规范 JT/T 4—2004 中极限抗压试验应力取值太高,不仅不合理,还容易带来误导,让设计人员误认为支座的极限应力可达到 $70 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,因此设计应力统一取为 $10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。实际上 σ_{\max} 和 σ_c 均由 G 和 S 确定,不是一个定值。

同时, JT/T 4—2004 中关于抗压弹性模量的计算方法也值得商榷。抗压弹性模量计算应与橡胶硬度建立联系。

3.3 规范支座安装工艺确保支座安装质量

支座垫石及梁底支承楔块施工前应对测量放线进行复核,确保其施工控制线的精度满足要求。确保墩台顶与垫石的轴线位置、标高、垫石尺寸、平整度等方面的施工质量满足设计与规范要求;支座安装时使支座轴线与垫石上的支座设计位置中心线重合;如果设计采用活动支座,则还应复核支座的运动方向,以确保支座的运动方向与设计要求完全相符。

支座安装前,应先将垫石顶面清理干净,确保

垫石顶面无浮砂、灰尘、油污,然后在垫石上采用环氧树脂砂浆找平、坐浆,将支座及时安放在砂浆上,并采用水平尺检查支座的水平度,确保支座顶面水平。支座上加设的支承钢板外观应平整,无翘曲、变形、锈蚀、裂缝等现象,钢板还应刷防锈漆。当施工过程中发现某种支座缺乏或规格、型号不对时,严禁对各处的支座随意代换,也不得以大代小、以强代弱,更不能以小代大、以弱代强。四氟乙烯板式橡胶支座储运时,应注意对支座内的四氟乙烯滑板与不锈钢滑板进行保护,避免划伤和表面粘附脏物、砂尘等。在支座安装前应注满硅脂,以避免摩擦系数过大影响支座正常滑动。

4 结语

1 完善橡胶支座的设计方法,应根据橡胶支座的疲劳强度储备来确定橡胶支座的设计应力,按形状系数大小区分适当降低板式橡胶支座的设计应力水平,确保有足够的疲劳强度储备。设计人员在设计图中应注明橡胶支座的规格尺寸、设计应力、支座成品的形状系数等重要参数,便于控制质量和检测验收。

2 政府行政部门管理、监督检查不严,质检机构检测手段和检测能力差别极大。应对现行支座产品标准和桥梁设计规范进行修订,橡胶支座的设计应力必须与形状系数和抗剪弹性模量建立联系。应适当调宽抗剪弹性模量的取值范围,并与橡胶的硬度建立联系。抗剪弹性模量的取值可分类划定。

3 低价竞销抢占市场的恶性价格竞争极大地降低了产品质量,严重地干扰了市场营销秩序。面对当今国际橡胶支座技术与工艺的快速发展,对比我国近几年抽查结果和总体质量水平,橡胶支座的生产企业和各级质检行政部门应该感到形势的严峻性和责任重大。强化质量意识,落实橡胶支座生产许可证考核必备条件。只有质量好,才有竞争力。希望我国橡胶支座企业尽快告别疯狂的价格大战,大力实施质量竞争和创新竞争战略,用设计创新和工艺创新来提高我国橡胶支座的质量和信誉度,培养叫得响、用得好、站得住的名牌产品。