

新产品 新技术

公路桥梁板式橡胶支座 失效条件和损伤机理的分析(二)

黄跃平,周明华,胥明
(东南大学,江苏南京 210096)

(续上期)

4 板式橡胶支座劣化机理研究

板式橡胶支座为橡胶与钢板叠合、粘结而成。由于生产工艺落后造成存在胶片厚薄不均和凹凸不平整、支座内部残留有空穴、固体杂质等现象,由此产生的潜在问题就是层间粘结失效和胶层初始空穴。在车辆等循环载荷作用下,此类缺陷在层间界面萌生裂纹并扩展,最终导致脱层破坏。为此,根据断裂力学基本理论等对支座劣化机理进行了分析研究。

4.1 胶层间开裂问题与裂纹增长特性

以直径为 275 mm 的圆板式橡胶支座为例,得到各特征阶段的应力水平与橡胶支座形状因数的关系曲线,见图 3。

根据 JT/4—2004 和 AASHTO M251 对抗压弹性模量的定义和剪切模量值的取值范围,计算出临界压应力分布区域。根据形状因数不同其疲劳极限应力值分布在 4~23 MPa 之间。当橡胶支座的工作应力在此应力水平之上时,橡胶支座在周期载荷下可能发生裂纹并扩展。

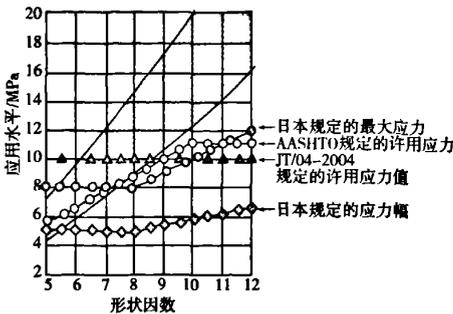


图3 不同撕裂能下形状因数与临界应力水平曲线

欧标 prEN 1337-3:1996 对于板式橡胶支座设计压应力取值规定为: $\sigma_c \leq G_s$ 且 σ_c 不大于 5G; 美标 AASHTO LRFD 2000 对于橡胶支座 (PEP) 设计压应力取值规定为: $\sigma_c \leq 0.55 \times G_s \leq 5.5 \text{ MPa}$; 对于增强型板式橡胶支座 (FGP) 设计压应力取值规定为: $\sigma_c \leq 1.0 \times G_s \leq 5.5 \text{ MPa}$ 。由图 3 可见,依欧标、美标和日本规定的板式橡胶支座的许用应力由 G 和 s 确定,基本都工作在临界疲劳极限应力 (σ_r) 值以下的工作区间。交通部标准 JTG D62—2004 规定橡胶支座的许用应力统一取为 10 MPa,过于简化,缺乏科学根据。当支座形状因数较小时,支座的工作应力将大于疲劳极限值,由于周期载荷的作用,支座表面和内部均有可能萌生裂纹。如果再考虑因支座安装不当 (三点承力、偏心受力、初始剪切变形过大等现象) 或支座质量的偏差 (内部胶层分布不均匀、内加强钢板不平行、局部橡胶-钢板粘合性差及初始空穴等),这些现象都会在橡胶支座中造成局部胶层的性能下降或造成局部的应力集中,有限元研究表明其应力集中因数高达 16。

值得注意的是,根据撕裂能理论计算,随着形状因数的下降,橡胶支座的临界承载能力也同步下降。当形状因数由 12.5 下降至 7 时,橡胶支座的临界承载能力下降约 42%。

板式橡胶支座的损伤和破坏受许多因素的影响,如含胶量、填充剂质量及钢板表面处理质量、界面粘合剂的质量、厚薄均匀性等。橡胶原料质量尤其低成本填料对橡胶和钢板材料界面的临界 T_c 值的影响有待进一步研究。破坏形式主要有两种:一种是沿着橡胶和钢板之间的界面破坏,

界面裂纹在剪切载荷的作用下沿着界面方向向前扩展;另一种是橡胶被撕裂,界面裂纹在剪切载荷的作用下向橡胶内部扩展,见图4。

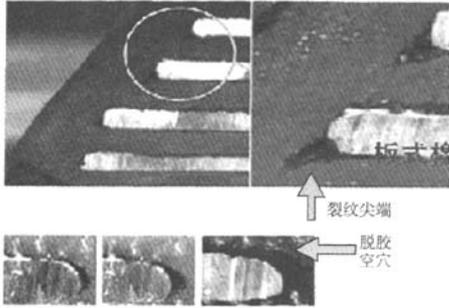


图4 橡胶与钢板界面破坏形式

4.2 支座设计应力与形状因数的关系

有文献根据有限元计算研究了橡胶支座设计应力与形状因数的关系。若支座的设计压应力为10 MPa,形状因数为5,则支座的最大剪应力为平均压应力的1.63倍,为16.3 MPa,远远超过标准规定的胶层与钢板之间的剥离强度10 MPa,接近标准规定的橡胶拉伸强度17 MPa。这说明:当支座的形状因数较小时,支座局部(胶层与钢板结合边缘处)的剪应力放大因数高,在相同的设计应力下,剪应力将随之提高,当超出剥离强度时,胶层容易与钢板剥离,形成空穴或裂纹,出现损伤现象。若胶层与钢板之间的剥离强度10 MPa为控制应力,则在设计压应力为10 MPa时,支座的形状因数至少应大于8。当支座的形状因数小于8时,支座设计应力应随形状因数大小进行相应的调整。这在JTG 023—1985《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中得到了体现。即板式橡胶支座的许用应力或设计应力与形状因数是有紧密关联的。形状因数与支座几何尺寸、胶层及钢板厚度、支座力学性能息息相关。设计者必须根据实际负载设计或选择板式橡胶支座,确保板式橡胶支座有一定的强度储备,并应保证橡胶支座工作应力在疲劳极限应力内。这有利于延长橡胶支座使用寿命和确保桥梁的安全营运。然而,目前我国的支座设计人员和生产厂家技术人员对上述机理缺乏认识,橡胶支座的设计和生处于盲目状态,所以目前公路桥梁使用的板式橡胶支座不仅仅通车后损坏率

高,未通车的桥梁支座也在大量损坏(过早显现并加速了支座劣化进程),江苏省境内已出现多起案例。

4.3 老化变质现象

自19世纪发现橡胶在使用过程中有老化变质现象以来,普遍认为氧气的作用是引起橡胶老化的原因。因此,可以用吸氧量来表征橡胶老化的程度和速度,建立氧气消耗速率与橡胶物理性能变化的关系。

4.3.1 老化的内在原因

引起橡胶老化的内因有:高分子材料本身结构上的弱点,如化学组成(分子链的组成元素)、分子链结构(分子链的长度、有机基团在链上的分布)、物理结构(结晶性、玻璃化温度及卷曲程度);加工后高聚物中产生的新弱点(高分子链断裂及氧化等);添加剂如抗氧剂、增塑剂、交联剂及有机溶剂等对材料的影响。

4.3.2 老化的外在原因

引起橡胶老化的外因主要有:气候环境(氧气和臭氧的作用,气温和相对湿度的影响)和橡胶表面应变水平(模压、挤出等)。由于橡胶表面应变水平和环境的不同,同种橡胶的老化性能也有一定的差异。橡胶制品的用途不同,对老化性能的要求也不同。橡胶的老化极其复杂,研究橡胶的老化必须结合实际使用环境,分析影响老化的主要因素、影响机理及程度。老化会引起橡胶外观和理化性能的改变。外观变化包括材料表面硬化、龟裂或变软、发粘,材料几何尺寸发生变化;理化性能变化包括化学组成和结构、密度、硬度、拉伸性能、压缩性能、蠕变、粘弹性、电性能等发生变化。

实验研究表明,橡胶在恒定表面张力作用下,经过一定时间后,其表面必将萌生龟裂。这正是—些桥梁橡胶支座在产生外鼓后,即使尚未通车,也会在外鼓层出现龟裂。龟裂与层间橡胶外鼓相伴生成,这正是因与果的关系。橡胶支座的承压力(恒载)和支座形状因数决定了支座的外鼓量,形状因数小则外鼓量大。如何控制支座的外鼓量于设计选型直接有关,本课题组正展开这方面的研究工作,将进一步论证合理的设计选型和外鼓量的控制值。

5 结语

根据断裂力学撕裂能理论,证明板式橡胶支座的临界疲劳极限应力与支座的直径成反比,与支座的形状因数成正比。

橡胶支座的许用应力或设计应力应控制在临界疲劳极限应力以下,这样可有效地提高橡胶支座的使用年限。

我们认为,交通部行业标准 JT/T4—2004 中规定的支座许用应力不论支座的规格和支座形状因数,统一取 10 MPa,且规定极限应力不小于 70 MPa,这在一定范围内误导了设计者对支座的力学性能的认识和设计选型。不仅仅使设计者误认为支座的许用应力为 10 MPa,还认为有足够的强度储备。本课题研究结果表明,许用应力 10 MPa 的选择仅仅适用于部分形状因数较高的板式橡胶支座。对于大规格、形状因数小于 8 的橡胶支座是不适合的,可导致支座工作于临界疲劳极限应力水平之下。如橡胶支座内部存在缺陷(如胶层分布不均匀、局部脱胶、内部因气泡或加工缺陷留下的空穴及机械划伤或化学损伤等),必然导致支座过早地萌生裂纹和老化速度加快。

调查结果表明,由于施工安装不当(标高偏差、落梁初始剪切变形或位移过大、垫板尺寸不合理等),可导致大量现役支座存在受力不均现象,如三点受力(一点脱空)、偏心受力等,这必将导致部分橡胶支座的受力远高于设计值(10 MPa),这部分橡胶支座将工作在裂纹扩展应力水平下,毫

无疑,这些支座一定会提前出现劣化现象。

由于支座内部层间分布不均匀可导致一些层的形状因数偏大,另一部分层的形状因数偏小,而支座宏观静力学性能还符合标准的要求。此时在相同载荷下由于各层形状因数的不同,导致同一块橡胶支座一些胶层工作在疲劳极限以下,而另一些橡胶层则工作在裂纹扩展应力水平下,这同样将导致橡胶支座提前出现劣化现象。

欧洲标准和美国标准中关于设计应力的规定是合理的,即 $\sigma_c \leq 0.55 \times G_s \leq 5.5$ MPa,与撕裂能理论的结果基本相符,依此设计应力可以控制橡胶支座的工作应力在疲劳极限应力以下,并有一定的强度储备。

建议橡胶支座的研究人员和相关职能部门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,设计人员在设计橡胶支座时,应在明确支座的规格选型时,特别明确所设计橡胶支座的形状因数和承载能力的要求。

板式橡胶支座的许用应力或设计应力与形状因数是密切相关的。设计者应根据实际负载设计或选择板式橡胶支座。适当降低板式橡胶支座的设计应力,并确保板式橡胶支座有一定的强度储备并工作在疲劳极限以内,这样有利于延长橡胶支座使用寿命和确保桥梁的安全营运。

参考文献:略

(完)

巴陵石化顺丁橡胶 凝聚新技术应用获成功

一项凝聚新技术已在中国石化巴陵石化公司合成橡胶事业部的顺丁橡胶(BR)装置上成功应用,该工艺操作平稳,仅投用3个月就显现出节能、降耗效果,创造了良好的经济效益。这是该技术在国内同类装置上的首次应用。

在BR生产中,凝聚环节所消耗的能量占总能耗的60%,因此凝聚工艺是BR生产中能耗物耗控制的一道关键工艺。为降低成本,提高产品竞争力,巴陵石化将其列为公司节能重点技改项

目,集中力量在凝聚工艺优化、技术改进方面进行攻关。借鉴其他合成橡胶的凝聚生产技术,自行开发出BR三釜凝聚新技术。

2008年1月,该公司合成橡胶事业部对BR装置凝聚工艺进行改造,5月初开车成功。该工艺控制手段先进;在同等条件下生产每吨BR的蒸汽单耗减少了0.4t以上,循环水每小时消耗减少70多t。同时,由于凝聚效果增强,生产过程中溶剂油的挥发减少,不但降低了物耗,还消除了因溶剂挥发而产生的安全隐患。目前,巴陵石化合成橡胶事业部正在对BR装置的凝聚工艺进一步优化和改进,以期达到更好的效果。钱伯章