

同规格橡胶支座不同温度条件下抗剪弹性模量试验研究

王琳卿

中交路桥科技有限公司 河北石家庄 050000

【摘要】橡胶支座是目前应用最广泛的支座类型之一，主要设置于桥梁或其他结构中。为了规范市场行为，控制产品质量，保障工程安全，我们要对工程实体使用的橡胶支座进行质量检测，其中抗剪弹性模量是一项很重要的力学性能参数，下面针对同规格橡胶支座不同温度条件下抗剪弹性模量试验深入的分析探究。

【关键词】橡胶支座；抗剪弹性模量

前言

本文主要针对国家规范《公路桥梁板式橡胶支座》JT/T 4-2019/附录A 公路桥梁板式橡胶支座力学性能试验方法中的试验条件要求 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 试验条件下进行试验，本次研究对同规格板式橡胶支座进行不同温度条件 21°C 和 25°C 的情况下抗剪弹性模量试验，两种环境条件分别对同规格橡胶支座进行试验，通过两种不同试验环境、同一试验加载方式，加载所采用的支座形状系数的计算、试验过程支座承压压力、试验结束抗剪弹性模量平均值的比较，通过试验数据进行全面分析研究。

1 两次试验所采用的样品结构、规格和型号及环境条件

1.1 本次研究采用的为圆形橡胶支座，由加劲钢板和橡胶叠层硫化而成的橡胶支座。支座平面尺寸为 $375\text{mm}\times 77\text{mm}$ ，总厚度 77mm ，橡胶层总厚度 56mm ，中间橡胶层厚度 8.5mm ，内部加劲钢板尺寸 $365\text{mm}\times 3\text{mm}$ 经过计算，该支座形状系数为 $S=10.74$ 。

1.2 本次研究两次试验前均按照所采用温度标准对橡胶支座进行调节，调节条件为标准室温 21°C 和 25°C ，调节时间为 24h 之后进行试验。

1.3 本次试验对样品的要求：板式支座的设计参数和规格系列，在符合设计要求及正常生产、安装、使用和养护条件下，I型板式支座设计使用寿命不应低于30年，II型板式支座设计使用寿命不应低于50年。板式支座内部加劲钢板厚度不应小于 2mm ，不应使用拼接钢板。同一块支座中不应使用不同厚度的加劲钢板。板式支座侧面橡胶保护层设计厚度为 10mm ，上、下橡胶保护层的厚度不应小于 2.5mm 。II型板式支座硅橡胶防护圈厚度不应小于 2mm 。滑

动板式支座的滑板表面应压制储脂槽，其布置方式储脂槽的总平面面积应为滑板总平面面积的 $20\%\sim 30\%$ 。在考虑橡胶支座的外观质量时，气泡和杂质的总面积不得超出支座表面积的 0.1% ，每处不得超过 50 平方毫米，且深度最大限制为 2 毫米。若支座表面积低于 0.15 平方米，凹凸不应超过两处；超过 0.15 平方米，不超过四处。每一凹凸处的高度限制在 0.5 毫米以内，面积不超过 6 平方毫米。此外，橡胶支座的四边应无任何裂纹或钢板暴露，同时保持无掉块、无裂解和无任何机械性损伤。钢板和橡胶接合部位应紧密相连，无裂缝或剥离现象。表面不平整度应不大于平面最大长度的 0.4% 。

a) 滑板：板式支座使用的聚四氟乙烯或改性聚四氟乙烯滑板应用模压工艺制成，密度、拉伸强度、断裂拉伸应变、球压痕硬度和在 $5201-2$ 硅脂润滑条件下与不锈钢冷轧钢板滑动摩擦系数应符合规定。

b) 钢板：支座本体内部加劲钢板应采用Q355及以上等级的钢板，拉伸性能应符合GB/T 1591的有关规定，配套的上、下钢板应采用Q235及以上等级的钢板，拉伸性能应符合GB/T 700的有关规定。

与滑动板式支座配套使用的不锈钢冷轧钢板，应采用06Cr17Ni12Mo2、06Cr19Ni13Mo3或06Cr18Ni11Ti牌号的精轧不锈钢板，沿海和跨海结构用板式支座应采用022Cr17Ni12Mo2 或 022Cr19Ni13Mo3精轧不锈钢板，表面加工应符合GB/T 3280-2015规定的8#表面加工要求，其化学成分及力学性能应符合GB/T 3280-2015的有关规定。

c) 锚栓组件：对于随橡胶支座提供的锚栓部件，当选用45号优质碳结构钢制造时，必须确保其化学组分及机械强度满足GB/T 699规范的规定。在选用40Cr号合金钢为材料

时,同样要保证其符合相关标准的化学和机械性质要求。

d) 硅脂:滑动板式支座采用5201-2硅脂的锥入度、油离度、挥发物含量及腐蚀性应符合 HG/T 2502 -1993中一等品的相关规定。

e) 加劲钢板:平面尺寸允许偏差为 $\pm 1\text{ mm}$,不平整度或翘曲量不大于矩形长边或圆形直径的0.4%;其他钢板部分的尺寸公差必须遵循设计规定,对于未明确标注的线性尺寸和角度公差,应达到c级公差标准;而那些未具体说明的形状与位置公差,则需符合L级公差的要求。

f) 橡胶:硬度测试应依据GB/T 6031的规范进行。根据GB/T 528规范进行的拉伸强度和断裂延伸率测定,需使用类型1哑铃样本。脆性温度测试应按照GB/T 1682-2014规定,选用B方法进行。对于压缩永久形变的测量,按GB/T 759.1规范进行,采用类型A样本,并在70℃的条件下维持24小时。耐臭氧老化的评估则遵循GB/T 7762的指导方针进行。试验条件:20%伸长,40℃,96 h,相对湿度不大于65%,氯丁橡胶(CR)、三元乙丙橡胶(EPDM)臭氧浓度为 $(100\pm 10)\times 10^{-8}$,天然橡胶(NR)臭氧浓度为 $(25\pm 5)\times 10^{-8}$,硅橡胶(Q)臭氧浓度为 $(200\pm 20)\times 10^{-8}$ 。

热空气老化试验按 GB/T 3512的规定进行。试验条件:氯丁橡胶(CR)、三元乙丙橡胶(EPDM)为100℃,70 h,天然橡胶(NR)为70℃,168 h,硅橡胶(Q)为150℃,70 h。依据GB/T 7760标准,对橡胶与钢板或滑动板之间粘合的剥离强度进行测量。

g) 对于标识、包装、运输和存储方面:每一个标准橡胶支座都应在显眼位置附有标识或标签,其内容需包括产品的标识、生产日期、制造序号以及制造商的全名或商标。普通橡胶支座应根据分类、规格分别进行包装,包装应牢固可靠,并附有产品合格证和产品使用说明书等文件。产品合格证内容应包含支座的合同号、标记、数量、收货单位发货日期及检验结论等,产品说明书中应包括支座的安装工艺和养护要求,包装内技术文件应装人封口的塑料袋中以防受潮。

在运输普通橡胶支座时,必须确保它们摆放在平坦的表面上,并且避免直接暴露于阳光、雨水或积雪之下,同时保持其清洁。应避免与可能损害橡胶品质的物质接触,并在装卸过程中小心操作,以防止碰撞和机械性损伤。普通橡胶支座应贮存在干燥通风的库房中,整齐放置于置物架上,不应磕碰;保持清洁,严禁与酸、碱、油类、有机溶剂等相接触;避光贮存,且贮存环境温度不应超过40℃。

在满足规定的条件下,自生产之日起在不超过1年的贮存期内,产品性能应符合规定。

1.4板式支座规格系列设计参数要求:

支座使用阶段平均压应力限值 $\sigma = 10\text{ MPa}$ ($S < 7$ 时, $\sigma = 8\text{ MPa}$) 温热地区抗剪弹性模量 $G = 1.0\text{ MPa}$ 。抗剪弹性模量随温度下降而递增,当累年最冷月平均温度的平均值 $-10^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$ 时为寒冷地区,抗剪弹性模量 $G = 1.2\text{ MPa}$;当低于 -10°C 时为严寒地区,抗剪弹性模量 $G = 1.5\text{ MPa}$;当低于 -25°C 时,抗剪弹性模量 $G = 2.0\text{ MPa}$ 。

支座橡胶弹性体体积弹性模量 $E_h = 2000\text{ MPa}$ 。普通板式支座与混凝土接触时,摩擦系数 μ 取0.3,与钢板接触时,摩擦系数 μ 取0.2。若有实测资料时,也可参考实测资料选用。对于支座的剪切角 α 的正切值,若不考虑制动力的影响,其 $\tan \alpha$ 的值应不超过0.5;而在考虑制动力的情况下, $\tan \alpha$ 的值则应不超过0.7。支座形状系数宜在5~12范围内,板式支座形状系数根据公式验算,所采用的计算参数为:矩形板式支座加劲钢板短边尺寸,单位为毫米(mm);矩形板式支座加劲钢板长边尺寸,单位为毫米(mm);圆形板式支座的加强钢板直径以毫米(mm)为单位表示;而板式支座内部单层橡胶层的厚度,也以毫米(mm)作为度量单位。

取值原则:规格系列表中抗滑最小承压压力 R_{ck} 均为不计汽车制动力的情况,当计入汽车制动力时,需自行计算,普通板式支座抗滑最小承压压力括号外数字为支座与混凝土接触时采用值,括号内数字为支座与钢接触时采用值;滑动板式支座抗滑最小承压压力 R_{ck} 为支座与钢接触时采用值。允许转角正切值为沿支座短边方向转动时计算值,若沿长边方向转动则需自行计算。

2 试验设备:

2.1 试验机具有下列功能:

a) 试验通过微机控制执行,实现自动化的连续加载和卸载功能;能够自动保持负荷(确保试验负荷在满载状态下至少维持4小时,且负荷读数的波动不超过0.5%)、数据收集、应力-应变曲线的绘制、试验数据的保存以及结果的打印;

b) 试验所用的承载板尺寸应大于测试样品的尺寸,并具备适当的刚性,以保证在最大负荷作用下不会出现弯曲变形。承载板的上下表面应保持清洁,不沾有油污。

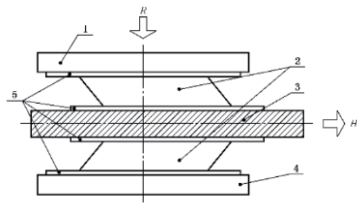
2.2 试验机示值准确度和相关的技术要求符合JJG 139中1级的规定,正压力和水平力的使用宜在最大力值的20%~80%范围内。

2.3 在进行剪切试验过程中,试验机的水平油缸和负荷传感器的中心线必须与钢制拉伸板的中心轴线完全对齐,这一步骤保证了测试样品能够在水平方向上均匀受力。

2.4 测定垂直压缩变形量和水平变形量时,其测量的最小单位为0.01毫米,测量结果的示值误差以及符合的技术标准需根据相应的检测规程进行验证。

3 抗剪弹性模量试验过程:

3.1 确定抗剪弹性模量的过程遵循以下步骤,具体的试验装置和布局可以参照下面提供的结构示意图。



标引序号说明:

1—上承载板;2—板式支座试样;3—中间钢拉板;4—下承载板;5—防滑摩擦板。

图 剪切试验装置示意图

a) 首先,将测试样品与中间的钢制拉板安装在双剪试验配置中,确保支座沿其较短边进行剪切,并对齐中心点,使得中心的偏移不超过样品直径的1%。在上下承载板及中间钢拉板上贴上防滑摩擦板,以增强试验的精确度。

b) 接着,调整试验设备的剪切试验部分,确保水平油缸和负荷传感器的轴线与中间钢拉板的中轴线对齐。

c) 然后,以每秒0.03到0.04兆帕的速度逐渐增加压力,直至平均压应力达到10兆帕(针对竖向加载,以支座的有效承载面积计算,也就是支座内单层加劲钢板的表面积。当支座形状系数小于7时,平均压应力也需增加至10兆帕),并在整个剪切测试过程中绘制出应力-时间曲线,保持此参数不变。

d) 首先进行水平力的预加载,通过以每秒0.002到0.003兆帕的速率不断增加水平剪切力,直至剪切应力达到1.0兆帕(基于支座表面积计算,即橡胶层表面积),并保持该荷载5分钟。然后,以相同的速率降低至剪切应力0.1兆帕,继续保持5分钟。记录起始数据,绘制应力-应变曲线,并对支座进行三次水平力的预加载。

e) 在正式加载阶段,每个加载循环从剪切应力 $\sigma = 0.1$ 兆帕开始,以每秒0.002至0.003兆帕的速率逐级增加0.1兆帕的剪切应力,并持续1分钟,直到剪切应力达到1.0兆帕

为止,同时收集板式支座的变形数据并绘制应力-应变曲线。该曲线应显示为线性关系。接着,以同样的速率将剪切应力降低至0.1兆帕。在等待10分钟后,开始下一个加载循环,整个加载过程需连续进行三次。根据各级水平荷载下,通过位移传感器测量得到的试样的累积水平剪切变形量 Δs ,和橡胶层总厚度 t_e ,计算出在不同试验荷载下的试样累计剪切应变 $\gamma_i = \Delta s / t_e$ 。

$$3.2 \text{ 实测抗剪弹性模量按公式计算: } G_1 = \frac{\tau_{1.0} - \tau_{0.3}}{\gamma_{1.0} - \gamma_{0.3}}$$

在该公式内: G_1 指的是实验测得的抗剪弹性模量实际值,该值的精确度达到0.01兆帕(MPa); $\tau_{1.0}$ 表示在1.0兆帕的试验负荷下测量到的剪切应力,单位为兆帕(MPa); $\tau_{0.3}$ 代表在0.3兆帕的试验负荷下得到的剪切应力,同样以兆帕(MPa)为单位; $\gamma_{1.0}$ 是指在1.0兆帕的试验负荷下累计的剪切应变;而 $\gamma_{0.3}$ 则关于0.3兆帕试验负荷下的累积剪切应变值。

3.3 在每次测试中,针对每一对板式支座组成的试样,通过计算该试样在三次加载测试中得到的三个抗剪弹性模量 G_1 的结果的算术平均值来确定其实际的抗剪弹性模量。

4 两种不同环境温度试验条件下同一规格橡胶支座试验采集数据的比对分析

通过上述不同环境温度试验条件下对同一规格橡胶支座进行抗剪弹性模量试验,试验数据表明:

21℃环境条件下支座的抗剪弹性模量,三次加载后实测的三次抗剪弹性模量为1.080MPa、1.085MPa、1.088MPa,抗剪弹性模量实测值的平均值为1.084MPa。实测值与标准容许值1.0MPa的偏差为8.4%;

25℃环境条件下支座的抗剪弹性模量,三次加载后实测的三次抗剪弹性模量为1.052MPa、1.055MPa、1.059MPa,抗剪弹性模量实测值的平均值为1.055MPa。实测值与标准容许值1.0MPa的偏差为5.5%;

两种环境条件最终计算出的抗剪弹性模量分别为1.084MPa和1.055MPa,两者平均值为1.0695MPa,与平均值偏差分别为1.36%和-1.36%,由此得出两种环境条件下,随着试验温度由21℃升高至25℃,本次所做橡胶支座的抗剪弹性模量是呈下降趋势的。

参考文献:

- [1] 冯蓂. 抗剪弹性模量试验[J]. 公路桥梁板式橡胶支座, 2019(9): 15-16.
- [2] 唐伟, 贺林军. 桥梁板式橡胶支座抗压弹性模量分析[J]. 北方交通, 2009(4): 94-95.