

## 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(一)

黄跃平,周明华,胥明

(东南大学,江苏南京 210096)

**摘要:**通过对目前广泛使用的桥梁板式橡胶支座的病害调查研究,对板式橡胶支座的病害进行了分类,对其失效机理及劣化过程进行了取样试验和分析。提出了控制板式橡胶支座设计应力取值的建议。

**关键词:**板式橡胶支座;劣化;疲劳极限应力;失效条件;损伤

由于橡胶具有独特的粘弹性行为,不仅可以像弹簧一样通过弹性形变来吸收储存能量,而且还可以通过分子链相对运动而大幅度地消耗能量,这种能力是任何其它材料所不具备的。所以橡胶材料通常作为减振隔振材料使用,尤其在房屋公路、铁路等交通工程中得以广泛应用,如房屋隔振基础、桥梁橡胶支座、轨下胶垫、支承块下胶垫等。然而,胶料配方和生产工艺对其力学性能、耐磨性能和耐老化性能影响很大,甚至严重影响产品质量和使用寿命。近年来最突出的问题反映在桥梁橡胶支座产品质量低劣,病害越来越多,早期劣化速度加快,使用寿命越来越短。

桥梁板式橡胶支座是由橡胶与钢板叠合而成,具有构造简单、加工制造容易、用钢量少、成本低廉、安装方便等优点,是国内外应用最为广泛的桥梁橡胶支座。国内公路桥梁尽管应用很多,但对橡胶支座的设计、配料、生产工艺和安装技术等研究很少,几乎处于盲目设计、盲目生产、盲目应用和盲目安装状态。所以公路桥梁橡胶支座出现众多病害是必然的,且越来越严重。

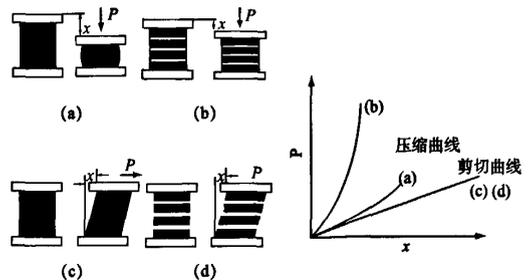
国外对橡胶支座的研究历史悠久,基础研究很深入。据有关研究报告,通过力学性能和老化性能试验的板式桥梁橡胶支座使用寿命可达到50~100年,而我国近几年公路桥梁橡胶支座出现大量过早劣化病害和损伤,究竟是什么原因?为此,我们对未使用的和过早劣化的板式橡胶支

座,对已通车和未通车的桥梁出现病害的支座进行了针对性调查研究、取样试验和理论分析,对板式橡胶支座的病害类型、病害性质进行了系统研究。

## 1 板式橡胶支座材料组成及其特征

### 1.1 组成材料及其作用

板式橡胶支座的组成材料为金属板和橡胶层(特点见图1)。金属板采用Q235钢板,金属板在支座中起加强作用。橡胶材料因具有高弹性、低弹性模量等特点成为橡胶支座的主体材料,主要采用天然橡胶与氯丁橡胶两种。



P—负荷;x—位移。

图1 板式橡胶支座的特点

### 1.2 橡胶与钢材的性能差别

橡胶弹性体的分子结构是由重复单元(链节)构成的长链分子。分子链柔软且具有高度的活性,其分子间的吸引力(范德华力)较小,在常态

(无应力)下是非晶态,分子彼此间易于相对运动。在金属中,每个原子都被原子间力保持在严格的晶格中,使金属变形所做的功是用来改变原子间的距离,引起内能的变化。其弹性变形的范围比橡胶的变化范围要小得多。

橡胶材料具有高弹性变形能力,弹性变形率最高可达1 000%,而金属材料的弹性变形率一般不超过1%。

橡胶材料具有低弹性模量,约为 $1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,而金属材料的弹性模量可达 $200 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。

橡胶的线膨胀系数约是钢的20倍,应特别注意体积收缩的影响,例如橡胶支座中橡胶与钢板粘合界面会因温度收缩或膨胀产生过度的应力而导致早期损坏。

对于同一种橡胶,胶料的硬度与生胶含量密切相关,硬度与含胶率成反比。同时对胶料的收缩率也有较大的影响,收缩率与硬度成反比。

因此,板式橡胶支座设计就是根据橡胶和钢板的各自特点和优势进行科学配料和优化组合而成,充分发挥两种材料的特长,制成受力合理和耐用的优质产品。

## 2 板式橡胶支座使用情况与问题调查

我们对江苏、安徽、贵州、福建、宁夏等省的高速公路上安装的板式橡胶支座的使用状况开展了抽样调查工作。对调查结果进行分类和统计后,将板式橡胶支座的病害主要分为两大类,一类源于支座内在质量因素,另一类源于支座设计、布置不当,支座设计应力过高,施工安装质量不到位和维护不当等。

1. 板式橡胶支座的产品质量问题。板式橡胶支座的产品质量是影响其使用寿命主要因素之一。由于配料不科学和加工工艺落后,胶层厚度不均匀,导致支座产品质量低劣,造成支座安装初期就出现表面裂纹和龟裂现象,这加速了钢板的锈蚀和钢板与橡胶层脱开。在调查中还发现,由于支座内部钢板位置定位不准,不仅造成支座胶层和保护层厚薄不均,还造成支座内部各层性能不同,导致支座局部承载能力大幅下降。因此,保证产品质量对板式橡胶支座的使用寿命至关重要。

2. 板式橡胶支座设计的问题。调查发现,在

许多桥梁设计图纸中,通常仅仅对支座的规格如直径或长、宽、高提出了要求,而对所选支座的内部结构、承载力和形状因数( $s$ )都没有具体的要求。这会导致支座厂商提供外观、规格符合设计图纸要求,但内部结构(含胶量、支座的形状因数)符合厂商利益要求的产品。而支座的含胶量和形状因数直接影响支座的承载能力和寿命。

3. 板式橡胶支座设计布置不合理。桥梁支座有固定支座和活动支座,活动支座有单向活动支座和双向活动支座之分。然而在调查中发现,在许多桥梁设计图纸中,橡胶支座的布置存在问题,即活动支座与固定支座的布置不正确。桥梁的纵坡和横坡没有进行调整,让支座直接放置,这将造成落梁后,支座初始变形(剪切)过大,支座处于非正确的变形受力状态中,主要是支座的实际转角超出设计转角的范围,造成支座局部超载,影响支座使用功能的发挥并导致承载能力下降,严重的还发生了落梁即梁体滑落事故。

4. 板式橡胶支座安装不到位。支座的安装技术与工艺很重要,支座安装质量的好坏将直接影响支座的使用和寿命。每个支座位置是否正确,是否与支承垫石顶面和梁底紧密接触、均匀受力,将直接影响支座的正常使用。调查发现,许多支座安装时存在初始剪切变形过大,不均匀受力,甚至部分支座脱空,支座被压溃和钢板脱胶等现象,主要是支座局部偏压、部分支座安装超载造成的。

5. 其他还有环境、荷载、养护和维修等因素的影响。所以支座的使用寿命是各种因素综合作用的结果。

## 3 板式橡胶支座劣化表现及其分类

### 3.1 支座劣化表现与原因分析

板式橡胶支座劣化主要表现为外表裂纹、不均匀外鼓和压溃现象以及支座内层间缺陷及脱胶现象。外表裂纹主要是表面拉应变和橡胶表面老化造成的;不均匀外鼓是由于支座内钢板出现局部层脱胶或形状因数过小所引起的;压溃是由于支座内钢板严重脱胶、弯曲断裂、钢板严重锈蚀等所引起的且使支座完全丧失了使用功能;当然,施工安装不当和设计选型失误也可导致橡胶支座提前劣化直至丧失使用功能。

有文献研究表明真正影响橡胶支座使用的是支座压溃。压溃现象则表明支座中的橡胶部分已丧失弹性功能，压溃应当是一个漫长的过程。橡胶支座的劣化过程通常经历橡胶外鼓→裂纹萌生期→裂纹成长期→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。

劣化的标志是裂纹或损伤的萌生。裂纹的萌生和发展速度主要取决于胶料配方及老化的速度和支座的应变水平。橡胶老化需要一定的时间，一般不会影响橡胶支座正常使用。应变水平与设计选型相关，取决于支座的工作载荷、剪切弹性模量(G)和形状因数。

根据调查结果我们将橡胶支座的病害归纳如

图2及表1、表2所示。

### 3.2 支座劣化过程

1. 劣化初期(由施工安装不当、设计选型失误和支座内在质量问题导致)。外鼓(起因胶料质量差、胶料混炼不均匀和胶片坑凸不平整、支座内部存留着空穴,造成胶层与钢板胶结失效);表面龟裂(外鼓局部应变过大、老化、机械损伤)。

2. 裂纹成长期(由表面应变过大、钢板胶结失效、老化、疲劳问题导致)。龟裂贯穿、层间裂纹、中度裂纹。

3. 锈蚀期(由裂纹贯穿、钢板外露、支座运行环境等因素导致)。加强钢板外露、环形裂纹向纵深发展、层间裂纹扩展。

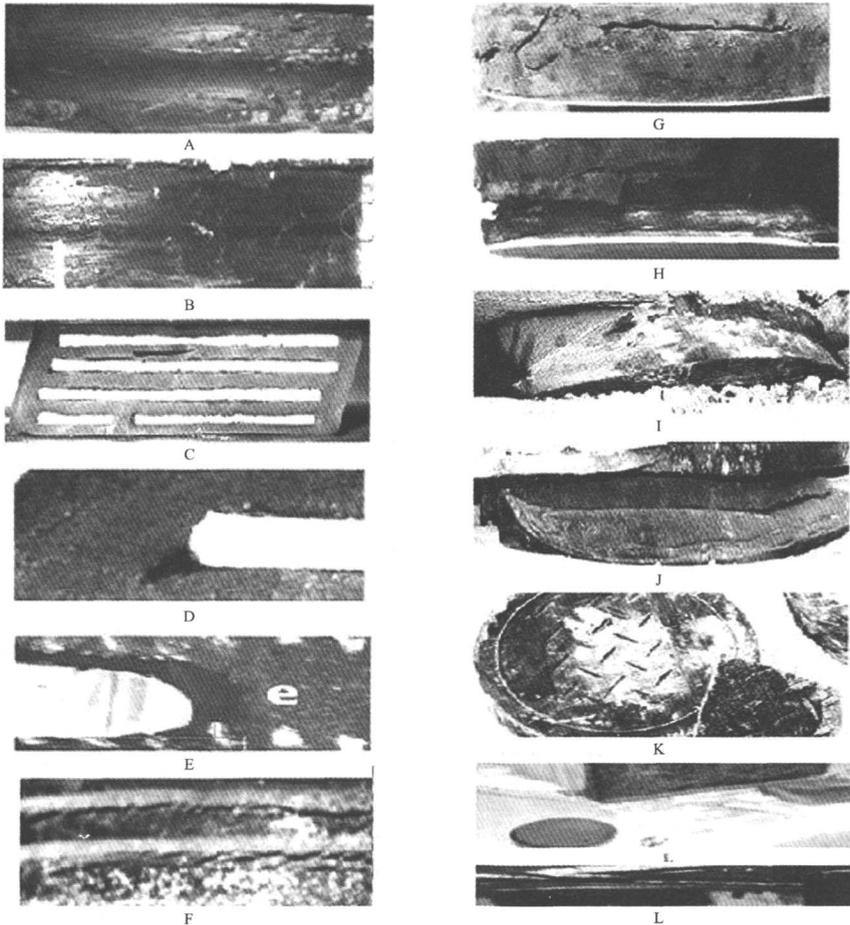


图2 板式橡胶支座劣化分类图

表 1 橡胶支座劣化的分类

劣化过程	现象	说明
初期	轻微外鼓	外鼓或凹凸不平
初期	表面龟裂	浅表短裂纹, 裂纹细小
裂纹成长期	中度裂纹	多于 30 ~ 40 条, 宽度 > 2~3 mm
裂纹成长期	重度裂纹	侧面产生的水平裂纹长度超过边长的 50%
钢板锈蚀期	表层剥离掉块	表面橡胶层剥离掉块
钢板锈蚀期	加强钢板外露	钢板外露, 且具有腐蚀环境
钢板锈蚀期	加强钢板外露锈蚀	钢板外露, 钢板严重腐蚀
支座失效期	内层钢板断裂	当活载加载时, 橡胶支座变形 ≈ 0
支座失效期	支座弯曲	压缩永久变形超过支座厚度的 15 %
支座失效期	支座扭曲	支座剪切角过大
支座失效期	支座失稳	支座剪切角正切 $\tan\gamma \geq 0.7 (\gamma \geq 35^\circ \text{以上})$

表 2 板式橡胶支座劣化分类图说明

劣化分类	说 明	图例
外鼓	胶料质量差; 胶料粘合性差/脱胶; 钢板层间分布不均匀	A
表面龟裂	外鼓局部应变过大, 过早老化	B
层间脱胶	胶料粘合性差/脱胶	C
层间内裂纹	胶层分布不均匀; 厚薄不均; 各层形状因数不同; 层间裂纹(空穴)	D
内层裂尖	应力集中形成内裂尖	E
环形裂纹	交变载荷引起龟裂扩展; 龟裂贯穿; 层间裂纹	F
钢板锈蚀期	由于胶层与钢板结不好或胶料质量问题造成裂纹贯穿, 钢板失去保护层	G
钢板锈蚀期	由于裂纹贯穿或保护层失效造成钢板外露并氧化锈蚀	H
失效期	支座弯曲; 支座扭曲; 支座失稳	I
失效期	永久压缩变形大且丧失弹性即支座压溃	J
外因 1	施工安装不当, 选型失误造成应力过大, 支座垫石高度不够, 临时加设支座垫板尺寸偏小且垫板不平整, 导致支座局部应力增大, 此例说明支座的使用者对支座的使用和受力条件完全不清楚, 处于盲目状态	K
外因 2	滑脱	L
外因 3	不可滑动安装时有初始剪切变形, 且活动支座安装不当, 造成活动支座不滑动, 形成永久变形, 此例说明支座的使用者对支座的使用安装条件的不了解	M

4. 失效期(加强钢板和橡胶丧失工作能力)。支座扭曲、支座失稳、压缩永久变形过大。调查中发现, 有的板式橡胶支座出现裂纹和变形时, 维修部门认为这些支座出现了病害, 便急于把它换下; 而有些橡胶支座使用一段时间后出现压溃和

脱胶现象, 却没有引起重视, 仍在继续使用。这样就出现了以下问题: 可以继续使用的支座被换掉造成浪费, 而真正出现了病害的支座却没有得到及时更换, 这势必会给公路安全留下隐患。

(未完待续)

(上接第 14 页)

#### 4.2.2 新品种开发

开发冷粘、注射和热硫化工艺的各种体育专业运动鞋、旅游休闲鞋、学生鞋以及特种功能用途的劳动防护鞋, 要发展有自主知识产权的鞋, 减少模仿品种的研制。到 2010 年, 胶鞋的中、高档产品比例达到 50% 以上。

#### 4.2.3 大力推进民族企业知名品牌

各级政府、胶鞋行业协会和地方协会要根据

胶鞋产业在本地区经济发展中的地位和作用, 制定相应的培育民族企业自主品牌、争创中国名牌和世界名牌的政策和规划方案, 努力创建一批民族知名品牌和世界级的中国名牌, 形成可与世界知名品牌相抗衡、合理竞争的新局面。

#### 4.2.4 建立现代营销网络

建立现代营销网络, 全方位的利用国内外两种资源, 两个市场; 寻找资源的合理配置, 改变目前以委托销售为主要的传统营销方式。