

高阻尼隔震橡胶支座硫化工艺的优化

杨希凤

(中裕铁信交通科技股份有限公司, 河北 衡水 053000)

摘要: 采用 TP700 多路数据记录仪对硫化过程进行温度监测, 结合温度监测结果对胶料的物理性能和胶料与钢板的黏接性能进行了测试。根据测试结果对硫化工艺进行优化, 优化后各胶层物理性能和黏接性能与基准值一致, 且硫化后支座的力学性能得到提高。此外, 硫化工艺的调整缩短了硫化时间, 提高设备利用率, 实现了节能降耗的目的。

关键词: 硫化工艺; 物理性能; 黏接性能; 力学性能

引用论文: 杨希凤. 高阻尼隔震橡胶支座硫化工艺的优化 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(4):44-47.

中图分类号: TQ330.46

文章编号: 1009-797X(2026)04-0044-04

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.04.009

2008年汶川地震以后,我国许多重大桥梁工程中逐步推广使用减隔震技术,港珠澳大桥和北京大兴新机场是其中著名的项目^[1-2]。高阻尼隔震橡胶支座在桥梁隔震中起重要作用,主要通过延长桥梁结构的自振周期,避开地震波的高能频段,从而减小桥梁结构的地震能输入,降低桥梁结构受到的地震响应^[1-3]。

高阻尼隔震橡胶支座和普通板式橡胶支座的区别在于支座用的橡胶是由高阻尼的橡胶材料制成,可以赋予支座15%~20%的阻尼比,利用其高阻尼特性,在地震时可以吸收能量,降低地震时桥梁结构受到的影响^[4-5]。

高阻尼橡胶支座为厚壁制品,支座本体厚度在100~500 mm之间,直径在200~1 500 mm之间,在实际生产过程中,容易出现与上下热板距离较近的胶片在高温下硫化时间长而过硫,而距离热板较远的胶片由于支座后热量传导慢而欠硫,从而影响高阻尼支座的力学性能,包括支座的竖向刚度、水平刚度和阻尼性能。高阻尼支座本体中钢板和胶片的黏接也是影响支座力学性能的重要因素,黏接效果差,会导致在实际使用过程中,出现鼓包的问题,从而导致支座的隔震性能^[5-6]。

本文重点对高阻尼支座的硫化工艺进行了研究,利用热电偶探测器对各胶层温度进行了测量,监测各胶层温度随时间的变化,对硫化工艺进行优化,从而使高阻尼支座胶能发挥其最大的优势,使高阻尼支座获得优良的力学性能,同时提高设备使用效率,节约

动力和能源,降低成本^[6-7]。

1 实验

1.1 主要原材料

胶黏剂, 普利通 815; Q345 钢板, 25 mm×60 mm×2 mm; 25 mm×60 mm×3 mm; 高阻尼支座胶

1.2 试样

高阻尼成品支座, 规格型号 HDR (I) d770×286

1.3 仪器设备

流变仪, M-2000-AN, 高铁检测仪器; 万能拉伸试验机, SANS; 数字测厚仪, HD-10 型测厚仪, 河北多凯建材仪器厂; TP700 多路数据记录仪, 拓扑瑞; 平板硫化机, 邢台维斯特机械有限公司

1.4 支座测温埋线位置

支座中热电偶埋线测温位置为从上往下开始埋设第1层、第3层、第5层, 其中第5层是中间胶层。

2 实验数据分析

2.1 温度监测

高阻尼支座现有的硫化工艺为 143 °C & 7 h, 下图 1 为用 TP700 多路数据记录仪记录的硫化过程中支座各胶层的温度随硫化时间的变化曲线。从图 1 可知, 第 1 层胶片在硫化 4 h 后达到 135 °C, 已基本接近设

作者简介: 杨希凤 (1987-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为公路桥梁减隔震支座。

置温度,后3 h 硫化温度变化较小,可将135 °C作为后续胶料性能验证和与钢板黏接实验的验证温度;第2层胶片在硫化5 h后达到122 °C,后面的2 h 硫化温度变化较小,可将122 °C作为后续胶料性能验证和与钢板黏接实验的验证温度;第三层胶片在硫化5.5 h后达到110 °C左右,后1.5 h 硫化温度变化较小,可将110 °C作为后续胶料性能验证和与钢板黏接实验的验证温度。

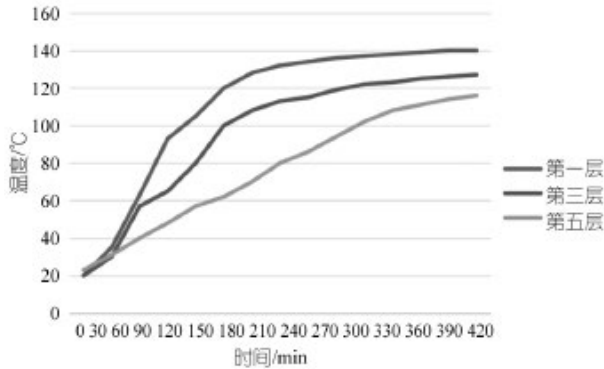


图1 支座各胶层的温度随时间的变化曲线

2.2 硫化特性

依据温度监测结果,做了135 °C,3 h;122 °C,2 h;110 °C,1.5 h的硫化特性分析,硫化特性参数见表1,硫化特性曲线见图2。表1中 M_H 和 M_L 分别表示各胶层在硫化特性实验中转子剪切时的最大转矩和最小转矩, M_H 代表胶料在该温度下硫化时达到的交联程度。从表1和图2中可知,随着温度降低,胶料的起硫时间和正硫化时间延长,交联程度增加。原因是随着硫化温度的降低,硫化速度变慢,交联键中低硫交联键占比高,低硫交联键键能高,交联键较稳定,不易断裂,因此交联程度较高。

表1 半成品胶料硫化特性曲线

| 不同温度 | t_{10}/min | t_{90}/min | $M_H/dN\cdot m$ | $M_L/dN\cdot m$ |
|------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| 143 | 3:31 | 7:25 | 4.22 | 0.43 |
| 135 | 6:56 | 13:17 | 4.41 | 0.45 |
| 122 | 17:32 | 39:16 | 4.79 | 0.63 |
| 110 | 24:19 | 55:46 | 5.13 | 0.65 |

从图2可知,半成品胶料在135 °C硫化约2 h后出现过硫,结合硫化工艺,支座的第1层胶片在生产时已过硫;半成品胶料在122 °C硫化30 min到硫化平坦期,后1.5 h内未出现过硫,结合硫化工艺,由图1可知,第3层胶片在122 °C时已硫化5 h,硫化2.5 h后到90 °C,硫磺发生反应,因此第3层胶片在支座硫化5.5 h后已完成硫化反应;半成品胶料在110 °C

硫化60 min到硫化平坦期,结合硫化工艺,根据图1可知,第5层胶片在110 °C时已硫化5.5 h,硫化4 h后到90 °C,硫磺发生反应,因此第5层胶片在硫化6.5 h后已完成硫化反应。

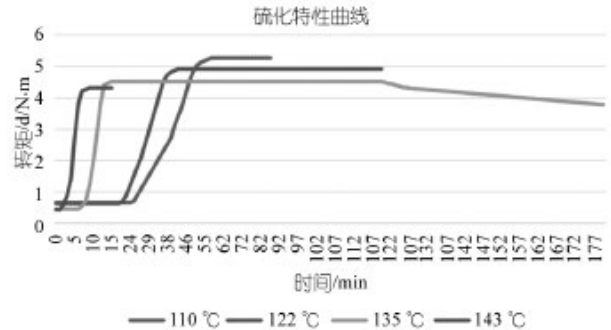


图2 硫化过程中支座不同胶层测试温度的硫化特性曲线

2.3 物理性能

对半成品胶料按支座不同胶层的硫化温度进行硫化,支座各胶层的物理性能如下表2所示。

表2 支座各胶层的物理性能

| 温度 / 硫化时间 | 邵氏 A/度 | 拉伸强度 /MPa | 断裂伸长率 /% | 定伸应力 /150%/MPa |
|---------------|--------|-----------|----------|----------------|
| 143 °C /15min | 57 | 20 | 543 | 3.2 |
| 135 °C /3h | 60 | 15 | 500 | 3.8 |
| 122 °C /2h | 58 | 19 | 540 | 3.1 |
| 110 °C /90min | 59 | 20 | 542 | 3.3 |

半成品胶料以143 °C硫化15 min为基准,从表2可知,135 °C硫化3 h后的硬度、定伸应力增加,拉伸强度、断裂伸长率和基准相比明显下降,结合图2分析,过硫使内部的交联键断裂重组为单双硫键,交联网络结构增加,因而硬度和定伸应力增加,伸长率和拉伸强度下降;在122 °C硫化2 h和110 °C硫化90 min后的硬度、拉伸强度、断裂伸长率、定伸应力与基准一致,与图2的结果相符,未出现过硫现象。

2.4 黏接实验

依据上述温度监测和硫化特性的结果,对半成品胶料按照GB/T 7760—2003《硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材黏和强度的测定 90°剥离法》制样,硫化条件为143 °C,25 min;135 °C,3 h;122 °C,2 h;110 °C,90 min,结果见表3。

表3 半成品胶料黏接实验结果

| 硫化条件 | 143 °C 25 min | 135 °C 3 h | 122 °C 2 h | 110 °C 90 min |
|-----------|------------------|------------|------------|------------------|
| 黏接强度 /MPa | 18 | 13 | 17 | 18 |

从表3可知,143 °C硫化25 min的黏接性能为

18 MPa, 135 °C 硫化 3 h 的黏接性能降低, 结合上述半成品胶料物理性能的结果, 表明硫化时, 现有硫化工艺使第 1 层胶料物理性能和胶料和钢板的黏接性能降低; 半成品胶料在 122 °C 硫化 2 h 和 110 °C 硫化 90 min 的黏接强度与 143 °C 硫化 25 min 的黏接强度基本接近, 结合上述半成品胶料物理性能的结果, 表明硫化时, 现有硫化工艺对第 3 层和第 5 层胶料的物理性能和橡胶与钢板的黏接性能无影响。

2.5 支座硫化工艺优化

(1) 硫化工艺优化。支座现有硫化工艺为 143 °C, 7 h, 结合第 1、第 3、第 5 胶层的温度监测、硫化特性分析、物理性能和黏接性能结果分析: 第 1 层胶料出现过硫情况, 黏接性能与基准黏接条件下的强度相比出现下降; 第 3 层和第 5 层胶料的物理性能和黏接强度与基准相比变化不大。综合考虑, 将支座的硫化时间缩短 1.5 h, 优化后为 143 °C, 5.5 h。

(2) 硫化工艺优化后各层胶料的物理性能见表 4。从表 4 可知调整后, 第 1 层胶料硫化后的物理性能和 143 °C 硫化 15 min 的物理性能一致, 未出现过硫; 第 3 层胶料硫化后的物理性能和 143 °C 硫化 15 min 的物理性能一致, 未发生欠硫; 第 5 层胶片的温度监测结果为硫化 4 h 到 90 °C, 硫化 5.5 h 到 110 °C, 第五层胶片为支座的最中间胶层, 硫化完成后继续温度监测, 结果显示第 5 层的温度在 3 h 后降到 90 °C, 因此第 5 层胶片的硫化时间总共为 5.5 h, 按最低硫化温度 90 °C 硫化 5.5 h 作为第 5 层胶片的硫化性能表征, 结果见表 4, 与 143 °C 硫化 15 min 的结果一致, 说明调整后的硫化工艺可以使中间胶层完成硫化, 符合要求。

表 4 优化硫化工艺后各胶层的物理性能

| 温度 / 硫化时间 | 邵氏 A/度 | 拉伸强度 /MPa | 断裂伸长率 /% | 定伸应力 150%/MPa |
|----------------|--------|-----------|----------|---------------|
| 143 °C /15 min | 57 | 20 | 543 | 3.2 |
| 135 °C /1.5 h | 57 | 20 | 541 | 3.2 |
| 122 °C /0.5 h | 58 | 19 | 540 | 3.1 |
| 90 °C /5.5 h | 58 | 19 | 539 | 3.3 |

(3) 硫化工艺调整后各胶层黏接性能的验证。结合表 4, 对胶料与钢板的黏接性能调整后的各胶层硫化工艺制样, 黏接性能结果见表 5。

表 5 硫化工艺调整后各胶层黏接性能

| 硫化条件 | 143 °C /25 min | 135 °C /1.5 h | 122 °C /0.5 h | 90 °C /5.5 h |
|-----------|----------------|---------------|---------------|--------------|
| 黏接强度 /MPa | 18 | 18 | 18 | 18 |

从表 5 可知, 调整后的第 1 层、第 3 层、第 5 层胶片的黏接强度与 143 °C 硫化 25 min 一致, 说明硫化工艺调整后各层胶片与钢板的黏接强度得到优化。

(4) 支座的力学性能检测, 表 6 是硫化工艺调整前后支座的力学性能检测结果, 支座的竖向刚度变化较小, 水平刚度和阻尼比提升, 水平刚度较调整前提高 13%, 阻尼比提高 16%, 结合胶料物理性能和黏接性能结果可知, 调整后支座各层胶料的性能与基准值一致, 在正硫化范围内, 无过硫和欠硫, 且黏接强度未下降。胶料优良的物理性能和与钢板较大的黏接强度, 使支座在受到水平方向剪切时, 与钢板保持良好的黏接, 且良好的物理性能使材料具有良好的弹性和刚度, 使支座的水平刚度和阻尼比提高。

表 6 硫化工艺调整前后支座的力学性能结果

| | 竖向刚度 (±30%) | 水平刚度 (±15%) | 阻尼比 (±15%) |
|---------|-------------|-------------|------------|
| 硫化工艺调整前 | 7% | -10% | -6% |
| 硫化工艺调整后 | 8% | 3% | 10% |

3 结论

(1) 对支座各胶层的硫化工艺进行温度监测, 根据温度监测结果对半成品胶料做物理性能和黏接性能测试, 从而对支座各胶层的性能做评估, 根据评估结果对硫化工艺进行调整。

(2) 硫化工艺由 143 °C, 7 h 调整为 143 °C, 5.5 h, 优化后各胶层的物理性能和胶料与钢板的黏接强度得到提升, 同时支座的力学性能与调整前相比也得到提高。此外, 硫化工艺的调整使支座的硫化时间缩短, 设备利用率提高, 实现了节能降耗的目的。

参考文献:

- [1] 孟凡超, 刘明虎, 吴伟胜, 等. 港珠澳大桥设计理念及桥梁新技术 [J]. 中国工程科学, 2015,17(01):27-35.
- [2] 郭迅. 汶川地震对我国城乡建筑抗震的启示. 城市与减灾, 2018(03):30-35.
- [3] 刘兢兢, 吴憬, 凌程建. 大直径建筑橡胶隔震支座力学性能研究. 四川建筑科学研究, 2021,47(4):39-47.
- [4] 刘文光, 杨巧荣, 周福霖. 天然橡胶隔震支座温度相关性能试验研究 [J]. 广州大学学报 (自然科学版), 2002,1(6):51-56.
- [5] 王亚勇, 戴国莹. 《建筑抗震设计规范》的发展沿革和最新修订 [J]. 建筑结构学报, 2010,31(06):7-16.
- [6] 张晓琳, 陆永高, 王廷利, 等. 11.00R20 规格全钢子午线轮胎硫化工艺优化. 橡塑技术与装备, 2023,49(06):1-6.
- [7] 张远喜, 任姝, 等. 隔震橡胶支座的硫化工艺优化 [J]. 橡胶工业, 2021,68(12):921-926.

Optimization of vulcanization process for high damping seismic isolation rubber bearings

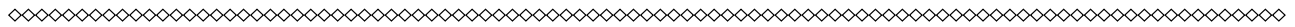
Yang Xifeng

(Zhongyu Tiexin Transportation Technology Co. LTD., Hengshui 053000, Hebei, China)

Abstract: This paper employs the TP700 multi-channel data recorder for temperature monitoring during the vulcanization process. Based on the temperature monitoring results, tests are conducted on the physical properties of the rubber compound and the bonding performance between the rubber compound and steel plates. According to the test results, the vulcanization process is optimized. After optimization, the physical properties and bonding performance of each rubber layer are consistent with the benchmark values, and the mechanical properties of the vulcanized support are improved. Furthermore, the adjustment of the vulcanization process shortens the vulcanization time, increases equipment utilization, and achieves the goal of energy saving and consumption reduction.

Key words: vulcanization process; physical properties; bonding performance; mechanical properties

(R-03)



全球轮胎巨头，高层架构大调整！

The global tire giant Bridgestone Corporation has announced a comprehensive restructuring of its management structure

近日，为巩固核心竞争力、敏捷应对全球商业变化，普利司通集团宣布全面执行管理层架构调整，新架构将于 2026 年 3 月 24 日正式实施，作为迈向 2031 年成立 100 周年目标的关键战略部署。

本次变动聚焦最高执行层，优化东西业务区领导力量、深化“全球本土化”战略，多项关键职位迎来晋升与职责调整：田村信之由执行副总裁兼代表执行官员、BRIDGESTONE EAST CEO，晋升为代表执行官员、EAST CEO，强化东方业务区管理权重。

西方业务区方面，Scott DAMON 由执行副总裁兼执行官员、BRIDGESTONE WEST CEO、全球首席数字化转型官（CDXO），调任为执行官员、WEST CEO，继续兼任 BSAM 集团总裁，其全球 CDXO 职责不再保留。

技术条线，Emilio TIBERIO 由高级副总裁兼执行官员、BRIDGESTONE WEST CTO，升任执行官员、WEST CTO；草野智宏由高级副总裁兼执行官员、全球 CIO，调任为执行官员、CIO（首席创新官），聚焦创新职能。

职能支持层面，今井宏由副总裁兼高级官员、全球赛车运动负责人，晋升为执行官员、CPO（首席产品官）并继续主管该领域；細幸彦由副总裁兼高级官员、BRIDGESTONE EAST 轮胎生产负责人，晋升为执行官员、CMO（首席制造官），负责提升全球制造成本竞争力。

此次调整中，原执行副总裁兼执行官员、全球 CTO 坂野正人，原 BSJP 轮胎销售总裁久米新伍、原 BSEAST CQMO 渡边慎一将于 2026 年 3 月同期退休。

副总裁兼高级官员层面亦有职能聚焦调整：草野昭雄职责缩至“产品开发”，山崎賢治转向“生产技术”，并上翔出任 CQO（首席质量官），菱沼直樹任 CFO（首席财务官），信太良一专注“组合管理”；蓮沼俊之从子公司调回总部，晋升为副总裁兼高级官员，出任 BSJP 轮胎销售总裁兼代表董事。

普利司通表示，新架构将“打造优质服务”与“提升成本竞争力”列为增长核心，通过人事重塑强化业务协同、优化组合、加速创新，为百年庆典奠基。所有人事变动需经 2026 年 3 月 24 日股东大会后的董事会最终批准。

摘编自“聚胶”

(R-03)