

TPEE材料硬度对力学性能及轨下垫板静刚度影响的研究

颜 湘 邓 娇

株洲时代新材料科技股份有限公司 湖南株洲 412007

摘 要: 本文对常用硬度TPEE材料的基本力学性能进行研究,并制备相应轨下垫板,对其本体取样性能及静刚度进行测试,分析了TPEE材料硬度对轨下垫板相关性能的影响。同时,建立静刚度仿真模型,对产品刚度进行仿真分析,通过对比仿真分析与静刚度试验结果,调整仿真参数,得到常用硬度TPEE材料的弹性模量拟合公式,为TPEE垫板的研发及工程化应用提供重要的指导意义。

关键词: 硬度; 静刚度; 弹性模量; TPEE 垫板

Study on the effect of TPEE material hardness on mechanical properties and static stiffness of rail plate

Xiang Yan, Jiao Deng

Zhuzhou Times New Material Technology Co.LTD, Zhuzhou 412000, China

Abstract: In this paper, the basic mechanical properties of TPEE materials with common hardness are studied. The corresponding rail plate are prepared, which sampling performance and static stiffness are tested, and the effect of hardness of TPEE materials on cushion properties is analyzed. The static stiffness simulation model is established, and the stiffness of the product is simulated and analyzed. By comparing the simulation results with the static stiffness test results, and the simulation parameters are adjusted, the elastic modulus simulation formula of commonly used hardness TPEE material is obtained, which provides important guidance for the development and engineering application of TPEE plate.

Keywords: Hardness; Elastic Modulus; Static Stiffness; TPEE Plate

前言:

近年来,轨道交通的迅速发展为人们的出行提供了极大的便利。同时,随着生活水平的不断提高,人们对出行舒适性提出了更高的要求,由此引发的振动问题日益受到关注^[1-2],安全、平稳、高效、低噪对轨道交通提出了更高的要求。为了降低轨道交通噪声和提供更好的乘坐舒适性,在钢轨和混凝土枕(或整体道床)之间设置了轨下垫板,该垫板在降低轨道结构刚度、提高线路弹性、改善轮轨间作用力和降低动态效应方面起着重要作用^[3]。常见的轨下垫板主要包括橡胶、乙烯-乙酸乙酯塑料(EVA)、热塑性聚氨酯(TPU)及热塑性聚酯弹性体(TPEE)垫板四种^[4],其中橡胶材料易老化、使用寿命短,低温不利于橡胶分子链段的运

动,弹性降低甚至失去弹性^[5-6];塑料材料刚性大、动态力学性能差等缺点,热塑性弹性体材料和微型发泡材料具有一系列特殊的优异性能,其在室温和低温下都具有优良的柔韧性、优异的耐屈挠龟裂、高弹性和抗应力松弛、蠕变性能,因此在弹性垫层的应用中更为广泛^[7]。热塑性聚酯弹性体又称聚酯橡胶,是一类含有PBT(聚对苯二甲酸丁二醇酯)聚酯硬段和脂肪族聚酯或聚醚软段的线性嵌段共聚物^[8]。TPEE的模量比相同硬度的其他热塑性弹性体高,当以模量为重要的设计条件时,用TPEE可缩小制品的横截面积,减少产品空间体积^[9]。宛会林、申娟^[10]等应用可发泡的特种模具注射成型了热塑性聚酯弹性体(TPEE),探讨了在注射成型中TPEE发泡的结构形态与性能。徐娇、杨柳^[11]等利用DSC测试改性TPEE的熔点和玻璃化转变温度。但对TPEE轨下垫板的性能研究较少,相关文献往往仅对垫板刚度进行测试,而忽略了材料性能对产品性能的影响。

作者简介: 颜湘,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事轨道扣件产品开发工作。

响。而在实际产品开发过程中,材料的参数(如弹性模量和收缩率)对产品性能具有较大的影响,因此,深入研究不同硬度TPEE材料物性及垫板性能,确定合理、准确的仿真参数,对实际开发及生产过程具有重要的指导意义。

一、性能测试

1. 硬度

硬度选用邵氏D型硬度,依据GB/T 531.1进行测试,试验仪器为邵氏硬度计,型号为LX-D,生产厂家为耐博检测技术(上海)有限公司。

2. 强度指标

拉伸强度、拉断伸长率、200%定伸应力反映材料及垫板的强度性能,依据GB/T 528进行测试,试验仪器为电子万能拉伸试验机,型号为CMT4104,生产厂家为美特斯工业系统(中国)有限公司。

3. 收缩率

收缩率对产品模具设计具有指导意义,依据GB/T 17037.4进行测试。

4. 静刚度

垫板静刚度测试依据TB/T 2626,试验仪器为微机控制电液伺服万能试验机,型号为SHT4305,生产厂家为美特斯工业系统(中国)有限公司。

二、结果与讨论

1. 材料性能测试

本文为使所选材料具有普适性,选用常用的TPEE材料,调整配方,制备多种不同硬度的TPEE材料,硬度范围为37D-57D,并对其进行物理性能测试,分别得到不同硬度TPEE材料的拉伸强度、断裂伸长率、200%定伸应力及收缩率,其结果如图1-4所示。

图1为材料硬度与拉伸强度关系图。由图1可知:选定配方材料的拉伸强度在18MPa-32MPa之间,且随着硬

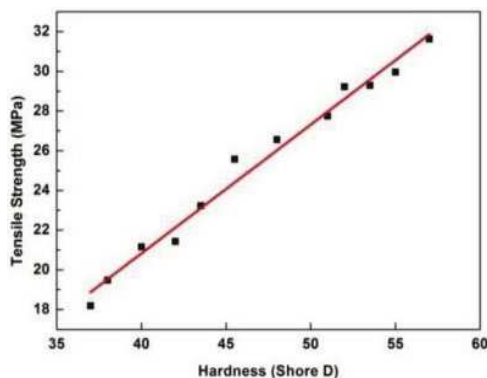


图1 材料硬度与拉伸强度曲线图

Fig 1 Hardness and tensile strength curves of materials

度的增加,材料的拉伸强度呈现逐渐增大的趋势,这是由于TPEE材料为软硬段组成的嵌段共聚物,其硬度主要与软硬段含量及分子量有关,高硬度的TPEE材料,其硬段含量较高;因此随材料硬度增大,其体系中硬段含量增加,充当物理交联点的数目增多,分子间作用力增强,材料的拉伸强度逐渐增大。

图2为材料硬度与拉断伸长率关系图。由图2可知:选定配方材料的断裂伸长率范围为580%-760%。且随着材料硬度的增加,其断裂伸长率逐渐减小。这是由于TPEE硬度增大,其结晶度逐渐增加,分子链柔性降低,因此材料的断裂伸长率逐渐降低。

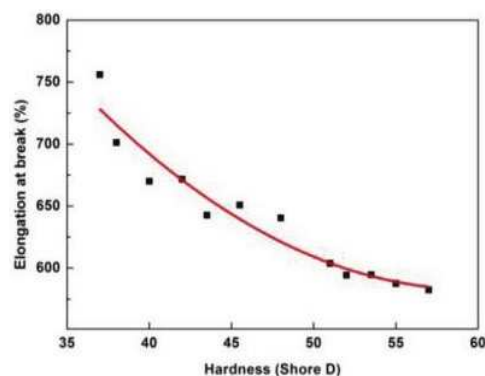


图2 材料硬度与断裂伸长率曲线图

Fig 2 Hardness and elongation at break curves of materials

图3为材料硬度与200%定伸应力曲线图,由图3可知:材料的200%定伸应力范围9MPa-16MPa。且其整体趋势与拉伸强度一致,随着材料硬度的增加,200%定伸应力逐渐增大。

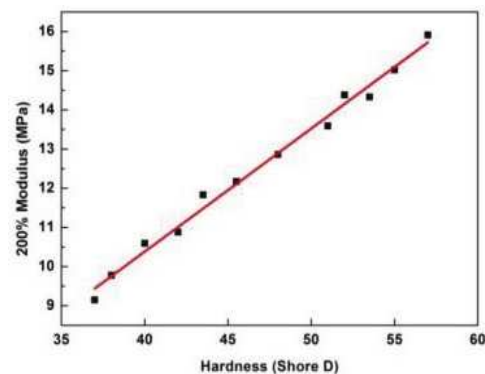


图3 材料硬度与200%定伸应力曲线图

Fig 3 Hardness and 200% tensile stress curves of materials

结晶聚合物在结晶的过程中体积减小,而TPEE为结晶聚合物,因此其在冷却过程中会发生收缩,材料的收缩率对制品尺寸具有至关重要的影响,为了更好的进行模具设计,分析TPEE材料的收缩率,对模具开发具有重要的指导意义。

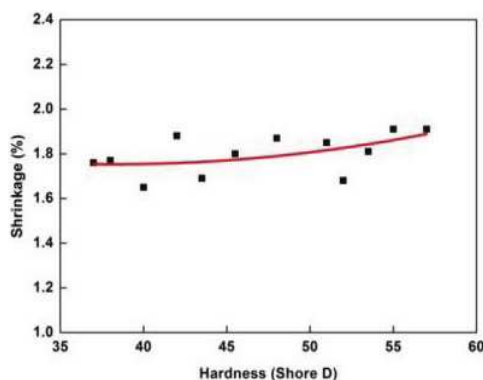


图4 材料硬度与收缩率曲线图

Fig 4 Hardness and shrinkage rate curves of materials

图4为材料硬度与收缩率曲线图。由图4可知：选定配方材料的收缩率范围为1.65%–1.91%，硬度越高，材料结晶度越高。对于不同配方的材料收缩率随硬度变化却呈现不规则的趋势，由于不同分子链蜷曲程度不同，导致其排列规整性迥异，与材料的结晶度不同有关。

2. 垫板性能测试

采用同一注塑机台，同种生产工艺制备不同硬度的轨下垫板产品（图5所示），并对制备的产品进行本体取样，测试其拉伸强度、拉断伸长率和200%定伸应力，其测试数据如图6–8所示。



图5 轨下垫板样品图

Fig 5 sample of rail plate

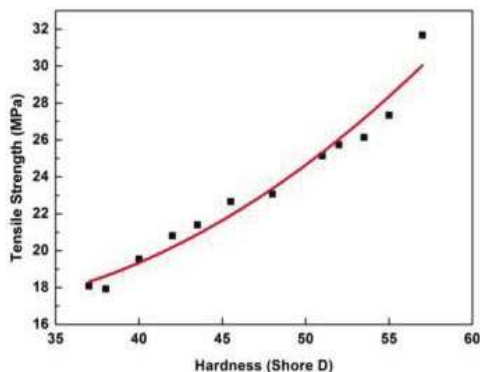


图6 轨下垫板硬度与拉伸强度曲线图

Fig 6 Hardness and tensile strength rate curves of rail plate

图6为硬度与轨下垫板本体取样拉伸强度关系图。由图6可知：轨下垫板本体取样的拉伸强度范围18MPa–31MPa，略低于原材料拉伸强度。且拉伸强度随硬度变化趋势与材料一致，随硬度的增加，垫板本体取样的拉伸强度逐渐增大。

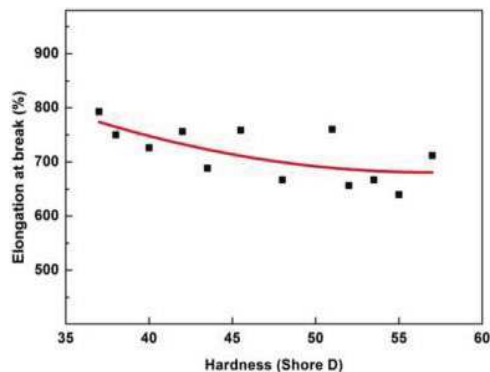


图7 轨下垫板硬度与拉断伸长率曲线图

Fig 7 Hardness and elongation at break curves of rail plate

图7为硬度与轨下垫板本体取样拉断伸长率的曲线图。由图7可知：轨下垫板本体取样的拉断伸长率范围630%–790%，高于原材料断裂伸长率，这可能与试验机台塑化能力有关。且其变化趋势与材料拉断伸长率随硬度变化一致，随硬度增大，垫板本体取样拉断伸长率逐渐降低。

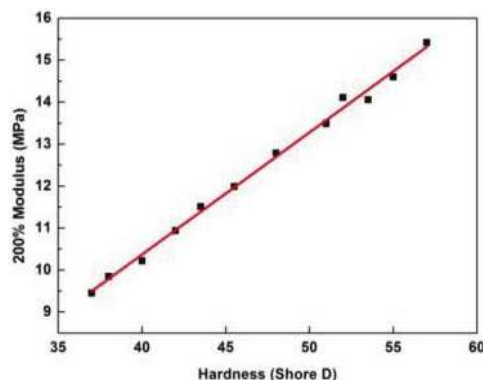


图8 轨下垫板硬度与200%定伸应力曲线图

Fig 6 Hardness and 200% tensile stress curves of rail plate

图8为硬度与轨下垫板200%定伸应力曲线图。由图8可知：轨下垫板本体取样的200%定伸应力范围9MPa–15.5MPa，与材料自身200%定伸应力基本一致。

垫板的静刚度是指垫板抵抗变形的能力，其主要与垫板的结构及材料的弹性模量有关，对于同类材料而言，其弹性模量大小与硬度有关。对不同硬度的轨下垫板进行静刚度测试，其硬度与静刚度关系曲线如图9所示。

由图9可知：随着材料硬度的增加，垫板静刚度非线性增加，静刚度的范围为18KN/mm–90KN/mm。

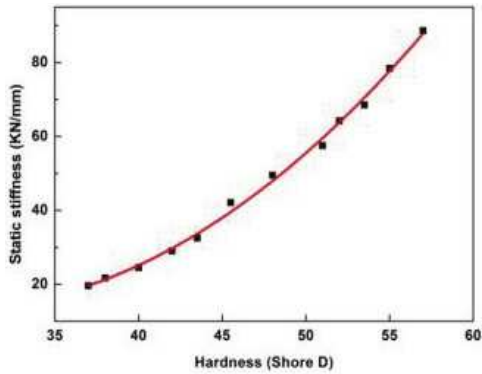


图9 轨下垫板硬度与静刚度曲线图

Fig 9 Hardness and static stiffness curves of rail plate

3. 垫板仿真参数的拟合

由于轨下垫板属于对称结构，结合试验条件建立 1/4 模型，根据轨下垫板的静刚度试验条件，确定钢轨和试验工装的材料参数，并将载荷转化为压强，建立仿真模型如图 10 所示。

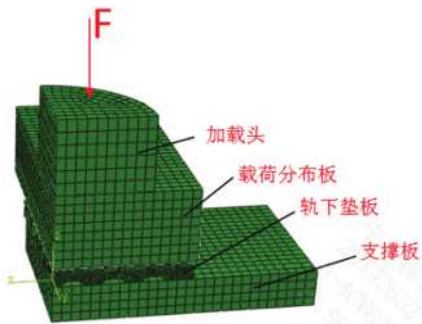


图10 轨下垫板仿真模型

Fig 10 simulation model of rail plate

对不同硬度轨下垫板产品进行静刚度测试，得到轨下垫板的静刚度范围为 19KN/mm-89KN/mm，主要受到材料弹性模量的影响。运用建立的轨下垫板静刚度仿真模型，调整垫板的材料参数，对其弹性模量进行拟合，得到结果如表 1 和图 11 所示。

表1 轨下垫板弹性模量拟合表

Table 1 elastic modulus fitting table

检测项目	仿真结果					
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
硬度 /Shore D	57	55	53.5	52	51	48
静刚度 / (KN/mm)	88.6	78.4	68.5	64.2	57.5	49.5
弹性模量 / (MPa)	165	145.2	125	116.5	103.5	89
检测项目	仿真结果					
	7#	8#	9#	10#	11#	12#
硬度 /Shore D	45.5	43.5	42	40	38	37
静刚度 / (KN/mm)	42.1	32.5	29.0	24.5	21.7	19.6
弹性模量 / (MPa)	75.5	61	52.5	42	36	32

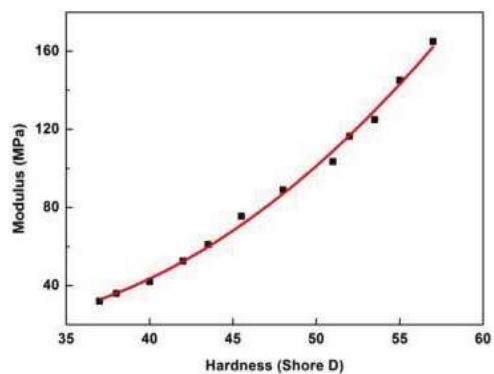


图11 轨下垫板硬度与弹性模量曲线图

Fig 11 Hardness and elastic modulus curves of rail plate

由表 1 轨下垫板弹性模量拟合表和图 11 轨下垫板硬度与弹性模量曲线图可知：轨下垫板的弹性模量范围 32MPa-165MPa，材料的硬度对 TPEE 材料的弹性模量影响较大，导致硬度对轨下垫板的静刚度影响较大，静刚度范围为 19KN/mm-89KN/mm，且随着材料硬度增加，其弹性模量逐渐增大。根据图 11 中的轨下垫板硬度与弹性模量曲线图，使用 Origin 软件进行拟合得到 TPEE 材料硬度与弹性模量的关系式： $y = 155.48 - 9.67x + 0.17x^2$ （y 为材料弹性模量，x 为材料硬度）。利用上述公式，可得到不同硬度 TPEE 材料的弹性模量，根据轨下垫板的静刚度要求，选择合适的材料硬度进行结构设计，使用所拟合的弹性模量进行仿真分析，从而提升仿真结果与试验数据的准确性。

4. 实例验证

选取某型轨下垫板进行设计，其物理性能如表 2 所示。

表2 某型轨下垫板的物理性能

Table 2 physical property of rail plate

序号	项目	单位	指标	试验方法
1	邵尔 D 型硬度	度	44 ± 4	GB/T531
2	拉伸强度	MPa	≥ 18	GB/T528
3	扯断伸长率	%	≥ 600	GB/T528
4	200%定伸应力	MPa	≥ 11	GB/T528
5	静刚度	弹性垫板	kN/mm	30 ~ 40
				TB/T 2626

根据某型轨下垫板的物理性能表，对比轨下垫板本体取样性能图和轨下垫板弹性模量拟合表，选取硬度为 43D 配方进行结构设计，将该硬度带入 TPEE 材料硬度与弹性模量的关系式得到其弹性模量为 54MPa，通过仿真分析，得到某型轨下垫板的静刚度为 34.7KN/mm，静刚度曲线如图 12 所示；

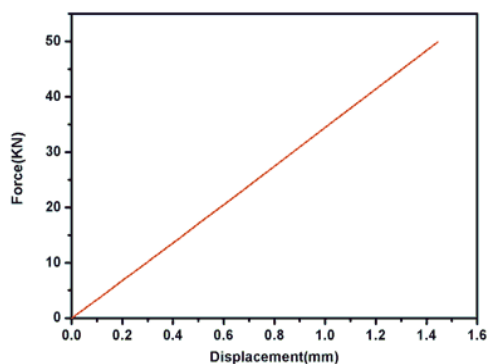


图 12 某型轨下垫板的静刚度曲线

Fig 12 static stiffness curves of rail plate

对样品进行试制,通过静刚度试验得到样品的静刚度为35.2kN/mm,与仿真结果基本保持一致,且通过测试,该轨下垫板其它物理性能满足表2要求。

三、结论

本文通过对不同硬度(37D-57D)的TPEE材料及对应轨下垫板的性能进行研究,得到该硬度范围内的TPEE材料和轨下垫板本体取样的拉伸强度、断裂伸长率和200%定伸应力的变化范围及对应趋势,并得到该硬度范围内材料的收缩率,为轨下垫板产品材料的选型及模具的开发设计提供了基础数据。同时,通过建立轨下垫板静刚度仿真模型,并结合其试验静刚度,得到不同硬度条件下材料弹性模量拟合关系式。通过实际案例论证,本论文研究成果能够对垫板类产品的开发做出理论指导,为其工程化应用提供可靠支持。

参考文献:

- [1]王文斌,刘维宁.更换减振扣件前后地铁运营引起地面振动的研究[J].中国铁道科学,2010,31(1):87-92.
- [2]马蒙,刘维宁,定德云等.地铁列车振动对精密仪器影响的预测研究[J].振动与冲击,2011(3):185-190.
- [3]蔡文锋.关于橡胶垫板刚度计算方法的研究[J].铁道建筑,2008(4):83-85.
- [4]冯刚,苑会林.高速铁路用热塑性聚酯弹性体发泡材料挤出成型工艺[J].塑料工业,2010,38(5):76-81.
- [5]李子睿,许绍辉,方杭玮等.老化作用对无砟轨道扣件橡胶垫板刚度影响的试验研究[J].铁道建筑,2013(6):142-143.
- [6]杨清芝.现代橡胶工艺学[M].1版.北京:中国石化出版社,1997.
- [7]刘晓倩,李心,王进.重载扣件系统轨下弹性垫层的研究[J].中国橡胶,2014,17,40-43.
- [8]祝爱兰,李洪元,吴立明.热塑性聚酯弹性体[J].弹性体,2005,15(1):70-75.
- [9]李胜.热塑性聚酯弹性体垫板减振机理分析及应用设计[J].科技咨询,2011,(18):1-3.
- [10]苑会林,申娟,刘长维等.高速铁路垫片TPEE的注射发泡性能研究[J].工程塑料应用,2013,41(10):17-21.
- [11]徐娇,杨柳,谭帅霞等.Py/GC-MS在聚酯材料成分分析中的应用[J].塑料科技,2016,44(2):71-74.