

硫化温度对轮胎胎面胶结构及性能的影响

禹沙沙, 苟金峰, 秦增辉, 尚荣武, 赵淑霞

(山东万达宝通轮胎有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 本文主要采用实验的方式分析轮胎在生产中需要注意的问题, 在了解轮胎胎面胶结构优化中, 硫化胶制备的关键影响因素与结构及性能测试的关键问题。目前, 硫化中是否填充 SBR/BR 混炼胶对于轮胎生产后投入使用性能的影响较大, 轮胎胎面结构质量也存在较大的差异, 轮胎在相同温度中, 硫化的时间、能耗、速率也随之发生变化^[1]。基于此, 本文针对硫化温度控制相同状态下, 添加不同混炼胶的反应进行分析, 明确相同温度变化下, 胎面胶结构出现的差异, 并找到提升轮胎胎面结构质量的最佳办法。

关键词: 硫化温度; 轮胎胎面胶结构; 轮胎性能

中图分类号: TQ330.6

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)03-0058-03

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.03.012

硫化剂在橡胶制品的制造工艺之中可以发挥重要作用, 通过物理与化学性能上的转变, 提升其使用寿命与强度, 满足橡胶制品使用者的对应需求。基于此, 轮胎作为橡胶制品中的一种, 需要在温度、压力以及时间等条件一定的情况下, 完成大分子链的交联反应, 使轮胎在塑性过程中可以实现定伸强度增强、硬度提升、弹性提升、抗溶胀性提升等^[2]。因此, 在轮胎硫化工作的推动中, 需要轮胎制造单位从硫化剂的添加工作着手, 选择合适的硫化剂量, 在确保其性能提升的同时, 使其抗张强度、气密性、低温屈挠以及电绝缘性能等随之增强。

1 实验部分

1.1 实验用原材料

天然橡胶 (NR)、丁苯橡胶 (SBR)、丁腈橡胶 (NBR)、丁腈橡胶 (NBN)、顺丁橡胶 (BR)。

1.2 实验仪器

QX-2000B 型热空气老化试验机; 电子万能试验机; 硬度计; 扫描电镜 (SEM); 密炼机、压片机; 电子天平。

1.3 实验配方

天然橡胶 90/60 NM, 硫磺, 过氧化二异丙苯, 促进剂 N,N'-二甲基-3-甲氧基丙基三甲基氯化铵, 促进剂 D,E, 促进剂 B, 硫磺用量 4%。

1.4 实验过程

将天然橡胶与丁苯橡胶、SBR、BR 按一定比例

均匀混合后混炼成型轮胎胎面胶。硫化前将胶料放入 180 °C 烘箱中进行加热硫化。分别在 140 °C、150 °C、160 °C、170 °C 和 180 °C 下进行硫化处理, 处理时间为 2 h^[3]。将处理后的轮胎胎面胶在电子天平上称重后放入烘箱中干燥备用。分别将硫化后的胶料与不硫化的天然橡胶和丁腈橡胶进行拉伸测试和耐磨测试。对未硫化的胶料进行硬度测试; 对处理后的胶料进行扫描电镜 (SEM) 观察; 对处理后的胶料进行密炼机压延实验。



图 1 实验胶物理拉伸测试

作者简介: 禹沙沙 (1988-), 女, 本科, 物理实验员, 主要从事橡胶物理实验及数据分析工作。

1.5 实验讨论

采用双螺杆挤出机将胶料挤出，模压成型，硫化温度分别为 140 °C、150 °C、160 °C、170 °C、180 °C^[4]。电子万能试验机测试胎面胶的力学性能，测试结果见表 1。由表 1 可以看出，随着硫化温度的升高，在 180 °C 时达到最大值，轮胎胎面胶的硬度下降，耐磨性提升，其中硬度从 140 °C 时持续下降，耐磨性能也随着硫化温度的升高而下降，当硫化温度为 180 °C 时胎面胶的综合性能最好。经调研发现轮胎投入使用后需要保持一定的硬度，但硬度过高，则轮胎在长时间使用后会发生硬度增加，出现老化、发脆、断裂等情况，冬季则更为严重。随着硫化温度的升高，胎面胶的拉伸强度和剪切强度达到最大值。可见，在实际生产中胎面胶性能随硫化温度变化较为明显，控制好

轮胎胎面胶的硫化温度有利于提高其综合性能。

2 实验结果分析

2.1 温度测试硫化胶分子变化测试

从上述实验结果可以看出，随着硫化温度的升高，轮胎胎面胶的硫化胶分子结构发生变化，但其性能指标均未发生明显变化，即轮胎胎面胶在不同硫化温度下其性能指标均满足使用要求。这主要是因为胎面胶在硫化过程中，分子结构发生了变化，同时各项性能指标也会随着硫化温度的升高而发生变化^[5]。就下表 1 中内容所示，不同温度下轮胎物理机械能中，180 °C 下轮胎拉伸强度最低，拉伸伸长率最高，硬度、回弹度、撕裂强度也均达到最佳，伸张疲劳度最低，轮胎性能最好。

表 1 不同温度下轮胎物理机械能测试情况分析

硫化温度 / °C	140	150	160	170	180
拉伸强度 / MPa	1.85±0.18	1.95±0.19	2.00±0.17	1.80±0.08	1.75±0.07
拉断伸长率 / %	416±30	404±8	420±8	383±17	420±10
硬度 (Shore A)	31.5±0.1	31.3±0.1	31.2±0.1	30.9±0.2	29.2±0.1
回弹 / %	69.5±0.9	70.0±0.5	67.0±0.7	63.8±0.6	63.6±0.4
撕裂强度	12.7±0.1	12.8±0.7	13.3±1.5	15.1±0.5	15.7±2.4
100% 伸张疲劳	85.5±1.0	70.3±1.0	46.6±1.0	29.9±1.0	17.7±1.0

此外，随着硫化温度的升高，胎面胶中的交联密度减小；当硫化胶中含有较多交联结构时，会导致胎面胶交联密度降低，从而影响轮胎胎面胶力学性能和耐热老化性能。随着硫化温度的升高，轮胎胎面胶中的交联键密度也会有所降低。因此，在实际生产中可以通过适当调整硫化剂用量、适当降低硫化温度来提高轮胎胎面胶的各项性能。当硫化温度升高时，橡胶分子链间相互作用增强，导致分子链运动加快；同时随着橡胶分子链间相互作用力增加，橡胶分子链运动变得更加复杂。在此情况下胎胶生热增加、表面张力降低、流动性提高等因素综合作用下会导致胎胶脆性增加。当硫化温度升高时，橡胶分子链运动速度加快且变得更加复杂；同时随着硫化温度升高，轮胎胎面胶中交联键密度降低、交联密度下降。

对于轮胎胎面胶，其物理机械性能主要包括硬度、拉伸强度、拉断伸长率、硬度、回弹率、撕裂强度等方面，需要实验人员根据不同温度下的反应记录的同时，明确相应温度下轮胎橡胶的稳定性。通过实验热电偶预埋线测试此种胎面胶带束层中上部位置，在 145 °C 硫化温度下此部位温度随时间变化如下：

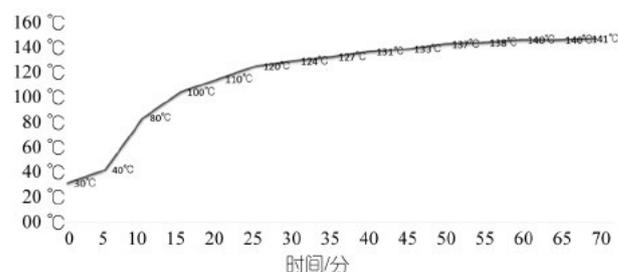


图 2 实验胎面胶硫化温度与时间图

虽然 180 °C 硫化可获得优异的综合性能，但过高的温度可能导致材料老化加速，特别是在轮胎硫化中，更应该综合考虑个部位硫化速率。因此在实际生产中需权衡硫化温度与材料耐久性之间的关系。建议在 140~170 °C 范围内优化硫化工艺参数，以实现性能与耐久性的最佳平衡。

通过图表计算在 70 min 时硫化效应 $E_{70}=I \cdot t=1583.9$ (硫化强度 $I=K \frac{T-100}{10}$, K 取近似值 2)，虽然该值略低于标准硫化效应值 1600，但已接近过硫临界状态。而通过拉伸实验测定表明，当硫化效应达到 1600 时，胎面胶的拉伸强度为 1.78 MPa，此时材料已错过最佳拉伸强度区间，所以此胎面胶在 145 °C 硫化时，硫化时间建议控制在 60~65 min。由此得出合适

2.2 物理机械性能测试

的硫化温度和硫化时间,以确保硫化温度下橡胶性能得到提升,这样既能保证足够的交联密度,又可避免过硫导致的性能下降,从而使橡胶分子链稳定性得到提升。

2.3 硫化剂添加配方优化设计

轮胎胎面胶的硫化工艺包括开炼机、硫化机混炼、硫化模具、硫化剂、促进剂等。通常情况下,胎面胶的配方设计主要考虑以下几方面因素:首先,胎面胶的结构,一般来讲,胎面胶的结构越复杂,其弹性越好,但易发生“龟裂”现象,因此需选择适当的硫化剂;其次,胎面胶的硫化速度,一般来讲,硫化速度越快,其表面温度越高,从而会导致胎面胶出现“发白”现象;再次,胎面胶的硬度,一般来讲,硫化温度越高其硬度也会随之增大;同时,胎面胶的耐磨性和耐老化性能;最后,轮胎胎面胶的拉伸强度和撕裂强度等。上述几方面均是温度实验中,轮胎实验中需要重点关注的部分^[6]。同时,在实际生产中,不同橡胶制品所处的环境不一样,其硫化工艺也有所不同,需要实验人员根据材料情况选择合适的硫化剂添加配方。一般来说,轮胎胎面胶在高温环境下进行硫化时需要控制好温度和时间。由于胎面胶属于高分子化合物,其分子结构中存在大量的活性基团。如果温度过高,会导致分子链发生降解反应;温度过低则会导致分子链断裂或交联反应不完全。因此,要根据不同的硫化温度和时间来调整配方参数,使胎面胶能达到理想的硫化效

果。

轮胎胎面胶是轮胎重要的组成部分,它不仅能够改善轮胎的耐磨性能、缓冲性能,而且能够降低滚动阻力、减小噪音等。轮胎胎面胶通常采用天然橡胶、合成橡胶或两者的混炼而成。对于天然橡胶和合成橡胶来说,它们的硫化温度较低,可以通过控制硫化温度来提高其力学性能,从而实现良好的胎面胶生产效果。对于混炼胶来说,其硫化温度需要控制在一定范围内。基于此,轮胎硫化质量的提升可以从调整硫化体系、增加助剂的添加量、增加补强剂含量、延长硫化时间等方面出发,满足温度控制下轮胎橡胶强度提升需要,使轮胎的物理机械能得到提升,使其在行驶中保持稳定的状态,并延长使用寿命^[7]。

参考文献:

- [1] 马晓. 一种用于防爆轮胎气密层的胶料及其制备方法[J]. 轮胎工业, 2021(001):041.
- [2] 张琦. 汽车轮胎及其它橡胶制品需求预测[J]. 华东科技(综合), 2021,(002):1.
- [3] 孟洁, 肖咸德, 卢志强, 等. 橡胶制品行业优控物质分析及控制对策研究[J]. 环境科学研究, 2021, 34:1 079-1 090.
- [4] 朱永康译. 含不同官能团的硅烷改性剂对白炭黑填充天然橡胶胶料的影响[J]. 聚合物与助剂, 2021(2):5.
- [5] 陈维芳. 2018年度全球非轮胎橡胶制品50强析评[J]. 中国橡胶, 2022, 38(9):3.
- [6] 刘潇, 陈维芳. 2021年度世界非轮胎橡胶制品50强排行榜析[J]. 橡胶科技, 2021,(009):425-427.
- [7] 吴洪全, 安丰永, 臧云红, 等. 烷基苯酚二硫化物在航空子午线轮胎气密层中的应用[J]. 橡胶科技, 2021(012):019.

Impact of vulcanization temperature on the structure and performance of tire tread rubber

Yu Shasha, Gou Jinfeng, Qin Zenghui, Shang Rongwu, Zhao Shuxia

(Shandong Wanda Baotong Tire Co. LTD., Dongying 257506, Shandong, China)

Abstract: This study uses experimental methods to analyze key issues in tire production, focusing on critical factors for vulcanized rubber preparation and structure-performance testing during tire tread rubber optimization. Currently, filling SSBR/BR compound during vulcanization significantly affects tire performance and tread structure quality. Under the same temperature, tire vulcanization time, energy consumption, and rate vary. Based on this, the study analyzes the effects of different compounds under constant vulcanization temperature, clarifies tread rubber structure differences caused by temperature variations, and explores optimal methods to improve tread structure quality.

Key words: vulcanization temperature; tire tread rubber structure; tire performance

(R-03)