

公路工程橡胶混凝土配比优化及性能研究

任 甲

中国水利水电第五工程局有限公司 四川 成都 610200

【摘 要】：废旧轮胎橡胶经破碎后部分取代细骨料，可以改变水泥基材料的变形和耗能特征，但颗粒表面疏水、弹性模量偏低，容易引起界面黏结减弱与强度损失。面向公路路面的承载、冲击和环境作用，从原材料筛分、橡胶颗粒预处理、水胶比与取代水平协调、试件成型及性能复核等方面开展技术分析，并给出多因素试配和施工适配的控制口径。性能判读将力学指标、破坏形态和环境条件联系起来，并限定试验结果的适用范围。

【关键词】：公路工程；橡胶混凝土；配合比；路用性能

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.026

引言

橡胶颗粒掺入普通水泥混凝土后，骨料级配、界面过渡区和内部孔隙会同时变化。对公路材料而言，只比较抗压强度不足以判断配比是否可用，还要核对拌合物和易性、抗折及抗冲击表现，并把冻融、水损伤等环境条件纳入复核范围。配比调整应保留原材料批次、颗粒粒径、表面处理和成型制度等记录，以免把工艺波动误判为材料差异。试验结论还应与拟用结构层位和气候条件对照，不用单一室内指标代替工程适用性判断。

1 橡胶混凝土配比优化技术

1.1 橡胶混凝土原材料特性分析

配比调整要从橡胶颗粒与水泥基体的材性差异出发，不能把橡胶简单当作普通细骨料换算。同一轮试配的搅拌器、投料顺序、拌合时间、试件尺寸和养护条件保持一致，每组至少设置3个平行试件。橡胶颗粒的表观密度明显低于天然砂，以等体积取代时会增加颗粒数量和界面面积，以等质量取代则容易改变混合料总体积，因而试配前应先锁定取代口径。原料检查宜包括粒径区间、含水状态、杂质与团聚情况，并对水泥、粉煤灰、粗细骨料及外加剂做相容性复核。橡胶路用材料的配合比应同时考察强度和变形特征^[1]。在同一试配组中保持颗粒来源、筛分方法和预处理时间一致，才能将后续差异归因到配比因素。

1.2 配比优化设计原则

试配前先统一取代方式，对颗粒来源、粒径、表面状态和含水状态编号，再将水胶比、砂率和矿物掺合料设为可调因素。方案初选时先排除明显泌水、离析或颗粒上浮的组别，再比较力学性能和耗能表现，使配比结果可以回溯到具体原料批次与试验条件。配比设计先以基准混凝土的水胶比和砂率为起点，再将橡胶取代水平、颗粒粒径与预处理方式列为独立因素。试配时每轮只改变约定因素，拌合时间、投料顺序、试件尺寸和

养护制度保持一致，并设置不含橡胶的基准组。水胶比降低可补偿部分界面强度损失，但用水量过低会使橡胶颗粒分散受限；减水剂授量应根据拌合物状态试调，不把单一掺量写成固定值。初选方案以强度不超出工程要求、拌合物无明显泌水离析、抗冲击指标有可比改善为共同判据。每轮试拌保留原料批次、实际用水量、拌合时间、出机温度、和易性、成型时间、试件编号和养护位置等记录。某一参数失控时，该组先重新试拌，不与其他组直接比较。

1.3 关键组分配比方案

多因素试配可将橡胶体积取代水平、水胶比、砂率和矿物掺合料掺量分成若干水平，表中数值仅作为工程试配起点，不代表规范限值或已完成项目的实测值。六组方案覆盖低、中、高取代水平，每组至少成型3个平行试件，异常破坏试件单独记录，不直接用其他组数值补齐。试配顺序按低取代水平向高取代水平推进，每组拌合后清理搅拌器内壁，避免残留胶沙改变下一组的实际配比。

表1 橡胶混凝土建议试配水平

组别	橡胶取代率/%	水胶比	砂率/%	掺合料/%
1	5	0.42	36	10
2	5	0.38	38	15
3	10	0.4	36	15
4	10	0.38	38	10
5	15	0.42	38	15
6	15	0.4	36	10

1.4 配比方案性能验证

方案筛选不以单一高值为目标，而是先剔除拌合物状态不

稳定、强度余量不足的组别，再对剩余方案进行抗折、抗冲击和耐久性复核。纤维或橡胶组分的复合作用会改变裂缝扩展和破坏形态^[2]。因此，破坏后除记录峰值荷载，还应拍摄裂缝路径，分辨骨料断裂、界面脱粘和橡胶颗粒拔出。每组数据先核对平行试件差异，超出试验稳定范围时重复成型与测试，不用删除不利数值的方式得出配比结论。

2 橡胶混凝土性能研究与公路应用

2.1 橡胶混凝土路用性能影响机制

路用性能评定应保留强度、抗冲击和环境耐久性三类证据，并把拌合物状态与施工可操作性作为进入性能测试的前置条件。每批试验前检查仪器零点与加载速率，平行试件差异超出试验方法允许范围时，先反查试件尺寸、受力面和养护位置，再决定是否重新成型。橡胶颗粒在水泥石中形成低刚度包含体，受压时可以吸收部分局部变形能，并降低脆性碎裂的突然性；但橡胶与水泥石的黏结面也可能成为初始微裂缝的起点。路面复合结构的冲击响应与材料耗能、板厚和支承条件共同相关^[3]。配比判读需把材料层和结构层分开，室内试件的抗冲击改变不能直接等同于路面板寿命变化。当颗粒掺入量继续增大时，界面数量增多可能抵消耗能改善，这种转折应在同一养护龄期和加载制度下识别。

2.2 路用性能复核配套方法

强度试件记录峰值荷载和破坏断面，抗冲击试件记录首裂、裂缝扩展与终裂状态，环境作用组则保留温度、含水状态、循环制度和外观损伤记录。未经与目标路面结构和气候条件对照的结果，不扩展为通用工程结论。路用性能复核按“强度—抗冲击—耐久性”分组开展，同一批试件使用一致的养护条件和平行数量。强度组记录抗压、抗折及破坏形态，抗冲击组记录首裂与终裂对应的加载次数，耐久组根据拟用地区选择冻融或水损伤项目。橡胶混凝土的路用性能会随作用环境和内部界面状态演变^[4]。复核记录因此要保留养护龄期、试验温度、试件含水状态和加载速率，便于判断差异是否来自配比。具体技术流程如图1所示。

参考文献：

- [1] 许胜,薛刚,林大地.基于正交试验的路用橡胶混凝土配合比设计及性能研究[J].混凝土与水泥制品,2025,(7):106-109.
- [2] 申阳瑾.玻璃-钢纤维增强路用橡胶混凝土力学性能研究[J].广州建筑,2024,52(4):48-52.
- [3] 薛刚,牟一飞,董亚杰.橡胶混凝土复合路面结构对抗冲击性能的影响[J].内蒙古科技大学学报,2024,43(2):167-171.
- [4] 周治霖,葛庆雷.橡胶混凝土路用性能演变规律及作用机理研究[J].建材技术与应用,2024,(3):1-9.

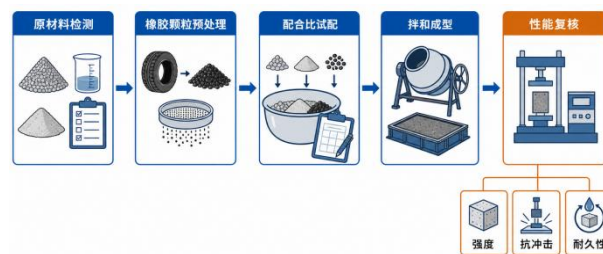


图1 橡胶混凝土配比与性能复核流程

2.3 施工适配性控制

橡胶颗粒质量轻且表面润湿性差，现场拌合时容易出现上浮、团聚和局部砂浆偏少。投料可先将橡胶颗粒与细骨料干拌30—60 s，再加入胶凝材料和大部分拌合水，剩余水量用于调整外加剂分散状态。每生产批次建议至少取前、中、后3个时点检查拌合物，记录出机时间、环境温度、和易性和颗粒分布。运输超出试拌确定的时间窗口时，不得仅靠二次加水恢复流动性，应将该车次单独标识并复核强度试件。成型后养护制度与室内试配保持可比，避免养护差异掩盖材料问题。

2.4 性能差异与适用边界

橡胶混凝土适用性应由路面结构位置、交通荷载、气候环境和维修条件共同决定。对冲击和振动较敏感、并允许一定变形的部位，可重点比较耗能和抗裂表现；对强度储备和耐久性要求较高的主要承重部位，应以力学性能与环境作用后的保留状态作为先决条件。当工程地区存在冻融、盐蚀或长期湿润环境时，不能用常温干燥试件的结果直接替代专项复核。未获得完整环境试验证据前，配比只能用于限定工况的试验段判断，不外推为不同地区、不同结构层的通用值。

3 结语

公路工程橡胶混凝土的配比调整，本质上是强度储备、变形耗能、拌合物状态和环境耐久性之间的协调。原材料批次、橡胶取代口径和预处理条件应在试配前锁定，再用多因素方案筛出候选组合，以强度、抗冲击和耐久性结果复核。现场应用还需控制投料顺序、拌合时间、运输窗口和养护条件，并将未完成环境验证的配比限定在试验段范围内。试验段运行期间应继续保留原材料批次、出机状态、铺筑位置和取样结果，记录缺失的组别不用于扩大应用范围。