

人工拌合条件下橡胶混凝土的力学性能

陶丽梅¹, 李厚民²

1. 湖北开放大学 / 湖北科技职业学院, 湖北 武汉 430074

2. 湖北工业大学, 湖北 武汉 430068

DOI:10.61369/ECE.2026050043

摘 要 : 采用人工搅拌方式, 用20% 的橡胶掺量按体积替换砂骨料来制备橡胶混凝土, 和传统混凝土开展对照试验, 同时检测其抗压性能与劈裂抗拉强度。研究表明在手动搅拌情形中, 未掺入橡胶的常规混凝土以及含有橡胶的混凝土, 它们的抗压强度均未能满足标准规定, 当中橡胶混凝土的强度降低非常突出。不过橡胶混凝土的劈裂抗拉强度明显优于常规混凝土, 其拉压比也更高。相较于常规混凝土, 手动搅拌时的橡胶混凝土仍然显示出更为明显的韧性特征。

关 键 词 : 人工拌合; 橡胶混凝土; 抗压强度; 劈拉强度

Mechanics Performance of Rubber Concrete Under the Condition of Artificial Mixing

Tao Limei¹, Li Houmin²

1. Hubei Open University / Hubei Institute of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074

2. Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068

Abstract : A blend that includes 20% rubber to substitute the volume of sand forms rubber-incorporated concrete. This research explores the disparities in tensile and splitting strengths between rubber-based concrete and ordinary concrete. The findings show that the tensile strength of both kinds is below the standard specifications, and rubber-based concrete has even lower figures. Nevertheless, the splitting strength and toughness of rubber-based concrete are higher than those of normal concrete. Even though its tensile strength is decreased, rubber-based concrete shows better durability and resilience compared to the traditional type.

Keywords : artificial mixing; rubber concrete; tensile strength; splitting strength

在混凝土里加入橡胶颗粒会使它的抗压强度和弹性模量降低, 不过能提高材料的韧性, 进一步改善其抗拉与抗折性能。这些变化和橡胶颗粒的添加量以及颗粒大小紧密相关^[1-6]。另外橡胶混凝土的力学性能会因内部气孔的数目出现明显改变。研究显示橡胶混凝土的含气量受橡胶掺加比例、颗粒大小和形状等多方面要素的共同作用。不过关于其具体的影响机理, 当前尚未形成统一看法^[7-11]。在查阅相关资料时, 常常会发觉, 不同研究者开展掺量一样、粒径相同的橡胶混凝土试验时, 其试验结果有时会出现不一致甚至相互冲突的状况。原因或许是, 不一样的搅拌形式以及有差异的试样制备方法, 造成试样内部橡胶颗粒分布不均衡, 并且混凝土含气量产生改变, 进一步影响测试结果的精确性。

以往研究人员一般按照试验标准, 在实验室里利用搅拌装置和振动台来实现样品的制备流程。本文会研究采用人工搅拌方式时, 加入20% 橡胶颗粒的橡胶混凝土在抗压强度以及劈裂强度方面的情况, 并且和同条件下制作的普通混凝土开展对比分析。

一、试样原材料及制作

(一) 试样原材料

(1) 水泥种类: 采用华新品牌32.5级别的硅酸盐产品。

(2) 碎石选取: 选择颗粒主要尺寸处于5mm 到20mm 区间的碎石当作粗骨料, 将最大粒径把控在20mm 以内, 并且保证粒径分布合理且均匀。

(3) 砂: 选用品质较好的河砂, 其表观密度是2613kg/m³, 堆积密度为1374kg/m³, 空隙率为41%。此砂的最大颗粒直径小于5mm, 细度模数为2.61。

(4) 橡胶粒子: 橡胶粒子的规格是5目, 粒径区间在3到4毫米

之内, 添加占比为20%, 由山东宏达橡胶颗粒厂供应。

(5) 外加剂: 选取萘系磺酸型外加剂当作减水成分, 该减水效果大概为17%, 添加量大约占胶凝材料总量的2.0%。

(6) 水: 自来水。

根据C25标准开展素混凝土的配制, 其中橡胶混凝土与素混凝土的具体配合比详见下表1。

表1 各类骨料于橡胶混凝土里的使用量 (单位: kg/m³)

混凝土种类	水泥	河砂	碎石	水	橡胶	减水剂
素混凝土 (C)	405	707	1205	185	0	7.74
橡胶混凝土 (RR20C)	405	626	1205	175	81	7.74

（二）试样的制作

橡胶混凝土的制备方法和传统混凝土相近，不过要精准把控骨料的投放次序以及搅拌的均匀程度。具体流程如下：

（1）经计算明确各类材料的占比后，精确称取水泥、碎石、河砂、橡胶颗粒以及减水剂的用量，水的添加数量由工人根据混凝土的黏稠程度情况予以灵活调节；

（2）对模具表面进行全面清洁，之后在其内侧均匀涂抹一层润滑剂，从而能够顺利取出成型物品；

（3）依次添加河砂、碎石以及水泥，采用人工方式进行搅拌，确保材料实现充分混合。若采用橡胶混凝土，要先把砂、石和水泥充分融合，接着慢慢添加橡胶颗粒，保证骨料和胶凝材料彻底拌匀。

（4）把水与减水剂根据顺序添加后开展手动搅拌，保证充分混合均匀，接着倒入立方体试模里，搅拌后的混凝土应稍高于模具顶端。

（5）通过手工方式，运用抹刀针对模具里的混凝土拌合物开展振动捣实以及成型操作。当混凝土试块内部基本压实，表面出现浮浆且无明显气泡溢出时，需停止振捣操作。接着运用抹刀把超出模具出口范围的混凝土混合物刮除并整理得平整。

（6）脱模操作在24小时后开展，把试样整齐摆放，埋进细砂里，接着用自来水把细砂浸湿；每隔一天查看细砂的湿润状态，及时补充水分，如此持续养护28天。

二、试验

试验所用试件为标准规格的立方体，其具体尺寸是150毫米×150毫米×150毫米。按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GBT 50081-2002）的规定，通过额定容量达1000KN的电子压缩试验设备对混凝土试块开展抗压强度以及劈裂抗拉强度的检测^[7]。

两个实验都运用载荷控制模式来设定加载速率，其中压缩试验的加载速率是0.5兆帕每秒，劈裂试验的加载速率为0.05兆帕每秒。

（一）抗压试验

当素混凝土试块达到最大抗压强度时，它会即刻出现损坏，同时伴有较大的声响。在破坏出现之前几乎不存在任何迹象，之后所承受的载荷快速降低，丧失支撑能力。试块表面的材料大量剥落或破碎成块状，体现出素混凝土明显的力学脆性特征。橡胶混凝土受压破坏之际，会伴有轻微的闷响，荷载逐步降低，其下降进程相较于普通混凝土更为平缓，还能够维持一定的承载水平。破坏之时试块整体方案基本维持完整，不会马上断裂，也不会出现大面积的混凝土剥落状况。两类混凝土试块的破坏形式对比可详见图1，具体测量结果显示在表2之中。



图1 橡胶混凝土与素混凝土破坏形态对比

表2 两种混凝土材料实测数据

试件编号	极限抗压荷	平均抗压	极限劈拉荷	平均劈拉强	拉压比
	载 /kN	强度 /MPa	载 /kN	度 /MPa	λ
素混凝土 (C)	575.9	24.88	40.82	1.113	0.0447
	563.6		36.71		
	540.2		40.45		
橡胶混凝土 (RR20C)	469.9	19.91	73.65	1.991	0.1000
	435.2		69.73		
	438.9		67.65		

由表2能够看出，普通混凝土的抗压强度是24.88MPa，橡胶混凝土的抗压强度为19.91MPa，这两个数据都低于C25混凝土抗压强度的标准数值。主要原因包括以下四点：其一混凝土里各成分的分布不够均衡，在人工拌和过程中，材料的混合成效比不上运用搅拌机；其二密实度存在欠缺，试样制作仅依靠人工插捣实现，未通过振动台开展振捣，导致试样内部存在孔隙；其三缺少必要的前期处置，在人工拌和过程中未对原材料实施筛选、清洗或者浸泡等预处理，而实验室制作试样时会对砂石、橡胶颗粒采取这些措施；其四养护方法不够规范，现场试样一般直接埋于潮湿沙中进行露天养护，而实验室则在专业养护室内根据严格的环境条件进行养护。尽管人工搅拌的混凝土强度相较于标准混凝土略低，但此篇文章的核心目的是通过对比试验，分析人工搅拌情形下橡胶混凝土和普通混凝土的力学性能差别。

根据实际测试情况，在混凝土里添加20%的橡胶颗粒会使它的抗压强度降低，降低幅度达19.98%。这主要是由两方面因素造成的：其一橡胶颗粒的材质强度相较于混凝土里的其他骨料要更低，所以在采用相同体积的橡胶颗粒替换砂子时，会使混凝土内部出现局部强度较弱的区域。随着橡胶颗粒含量的提高，或许会导致更多薄弱之处和缺陷产生。所以橡胶混凝土试块的实际受压面积相较于普通混凝土稍有减小，导致试块的承载能力有所降低。另外因为橡胶颗粒属于憎水性有机高分子材料，其表面易吸附空气，而水泥显示出亲水特征，这种性质差别让橡胶颗粒与混凝土拌合物里的胶凝材料之间形成较弱的界面黏结，同时也使混凝土试块的孔隙率相对增加。弱结合界面数量增加导致其抗压能力降低。根据参考文献^[4]，实验室检测结果表明，C40普通混凝土的抗压强度是41.67MPa。当橡胶颗粒掺入量达到20%时，它的抗压强度降至35.36MPa，和普通混凝土相比降低15.14%。故而和实验室里的标准化操作相较，人工搅拌的橡胶混凝土，它的抗压强度降低更为明显。

根据试验获取的数据，绘制出两种材料的应力、应变关系曲线，具体情况显示于图2。

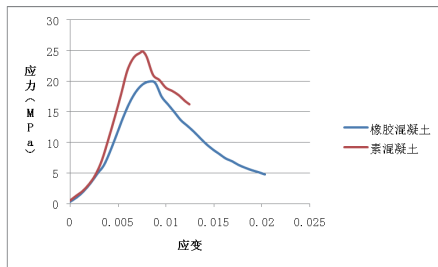


图2 橡胶混凝土与素混凝土的应力-应变曲线

由图2能够得知，当试块还未达到破坏极限状态时，两种材料的应力和应变关系都显示出单调递增的形势。另外和普通混凝土相比较，掺入橡胶颗粒的混凝土显示出较为平缓的曲线，这表明橡胶颗粒的添加降低混凝土的弹性模量。在同等外力作用下，橡胶混凝土的变形程度更为明显。当抵达损坏极限状态时，素混凝土会由于开裂而裂成数块，或者出现边缘大范围剥落的状况，其承载能力也会随之迅速降低。由于在混凝土里添加橡胶颗粒，橡胶混凝土能够在裂纹尖端形成缓冲区，降低应力强度因子造成的影响，延缓裂纹的扩展速率，进一步明显提高混凝土的韧性性能。所以在橡胶混凝土抵达其损伤界限之后，仍然可以保持一定的荷载能力。

（二）劈拉试验

因为混凝土的抗拉能力远不如抗压性能，其抗拉强度处于抗压强度的4%至10%范围，这同样是评定混凝土力学特性的主要标准之一。拉压比值是衡量混凝土材料脆性的主要参数，其体现的是抗拉强度和抗压强度之间的比例关联。对于普通的混凝土而言，当它的抗压强度提高时，拉压比会明显降低，这意味着高强度混凝土显示出更高的脆性特点。

未采取加强手段的混凝土在出现劈裂破坏时，一般显示出一种突然性，缺少明显的预先提示，并且可能伴有强烈的声响。受损后它基本失去承受任意负载的能力，试样往往会从中间加载点断成两部分，通常不会出现别的明显的次要裂纹。当橡胶混凝土出现劈裂破坏时，发出的声响较为轻柔，且不会表现得尖锐刺耳。试块表层虽有细微裂纹，但仍然具备一定承载能力。在试件的表面，除主要裂缝之外，还可观察到一些细微的次生裂纹。这显示普通混凝土显示出明显的易脆性特点，而橡胶混凝土则展现出一定程度的塑性特质。

根据实际测试所得数据，把它运用到混凝土立方体劈裂抗拉强度的计算式里，得出两种材料的劈裂抗拉强度以及对应的拉压比 λ ，具体结果详见表2。

从表2能够看出，在素混凝土里添加20%的橡胶颗粒后，它的抗压强度从24.88MPa降至19.91MPa，降低19.98%。不过其劈裂强度有明显提高，由1.113MPa增至1.991MPa，增长幅度达78.9%。另外拉压比从原本的0.0447提高到0.1，增长123.7%。以往的研究表明，在混凝土里添加橡胶颗粒，能够加强其韧性并改善拉压比。总体而言橡胶混凝土的劈裂抗拉强度一般接近乃至稍低于普通混凝土。不过在本文里运用手动搅拌方式制备的橡胶混凝土，它的抗拉性能明显比普通混凝土更优。原因分析或许包括以下几个方面：其一因运用人工方法拌制混凝土试件，或许会造成骨料和砂浆之间的黏结强度不够坚实，对于普通混凝土而言，这易成为裂纹

的起始点，促使主裂纹快速形成并延展。其二就橡胶混凝土来讲，其橡胶颗粒与砂浆的交界面本身黏结性较弱，所以即便出现类似的黏结状况，整体影响依然相对有限。其次添加橡胶颗粒可加强混凝土的韧性，提高其塑性，同时改进材料的变形协同能力。这能有效减少加载区域的应力集中情况，进一步延缓裂缝的产生与发展。第三方面就普通混凝土来说，主裂纹一旦产生就会快速扩展直至破裂，所以试样表面基本看不到次生裂纹。但在橡胶混凝土里，裂纹尖端位置的橡胶颗粒会发挥钝化功效。当主裂纹延伸到此处时，其扩展形势或许会被减弱，促使裂纹转移到其他地方重新形成主裂纹。这种机理明显降低裂纹的扩展速度，因而在橡胶混凝土试样的表面一般能观测到多条次生裂纹。

三、结论

本研究论文通过人工搅拌的方式来制备橡胶混凝土，按照等体积替换砂石骨料的原则，采用20%的橡胶掺量开展配比工作，并且和传统混凝土开展对比试验。测试的项目包括抗压强度以及劈裂强度，主要总结如下：

（1）经人工搅拌方式制备的素混凝土以及橡胶混凝土，二者的抗压强度均未达到标准数值；另外和对应标准的素混凝土相比较，采用手工搅拌制成的橡胶混凝土试件，其抗压强度相较于实验室标准制样下降得更为明显。

（2）通过人工搅拌能够明显提高橡胶混凝土的劈裂抗拉性能，其拉压强度比亦远高于普通混凝土。

（3）经由人工搅拌，橡胶混凝土仍然保持着良好的韧性，和普通混凝土相比更有优势。

因为人工搅拌期间存在不确定的要素，并且受试样数目约束，本文的数据和结论仅作参考。

参考文献

- [1] 刘日鑫，侯文顺，徐永红等. 废橡胶颗粒对混凝土力学性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(3): 341-344.
- [2] 付乾，薛刚，许胜等. 基于正交试验的橡胶混凝土单轴受压应力-应变全曲线研究[J]. 工业建筑, 2022, 52(03): 191-199.
- [3] 刘雨珊. 复杂环境下巷道橡胶喷射混凝土力学性能研究及应用[D]. 安徽理工大学, 2023.
- [4] 李厚民，张岩，王仪政等. 钢纤维改性橡胶混凝土力学性能研究[J]. 建筑科学, 2015, 31(11): 45-49.
- [5] 亢景付，王秀芬，韩春翠等. 碾压橡胶混凝土的强度特性[J]. 天津大学学报, 2008, 41(7): 763-768.
- [6] 张亚梅，王超，路宜等. 普通混凝土和橡胶混凝土弯曲损伤过程的声发射研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(11): 24-30.
- [7] 李鹏飞，李志堂，许伟等. 泥灰石粉对自密实混凝土性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2021, 43(03): 1-6.
- [8] 王卓，李秋义，张辉等. 再生骨料透水砖的制备及其性能研究[J]. 混凝土, 2020, (12): 123-126.
- [9] Toutanji H A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates[J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18(2): 135-139.
- [10] Fedoroff D, Ahmad S H, Savas B Z. Mechanical properties of concrete with ground waste tire rubber[J]. Transportation research record, 1996(1532): 66-72.
- [11] Li G, Stubblefield M A, Garrick G, et al. Development of waste tire modified concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34(12): 2283-2289.