

橡胶改性对再生混凝土应力-应变性能的影响

宝鼎晶¹, 邱剑辉², 姚明辉², 刘俊辉²

(1. 广东白云学院建筑工程学院, 广东 广州 510450; 2. 仲恺农业工程学院城乡建设学院, 广东 广州 510225)

摘要: 为研究橡胶改性对再生混凝土应力-应变性能的影响机制, 以橡胶掺杂量作为变量, 在高温环境中均匀加热再生混凝土至不同温度, 测试再生混凝土高温后的应力-应变关系曲线, 分析常温条件下的橡胶再生混凝土的强度、弹性形变和塑性形变性能。结果表明: 再生混凝土的延展性随橡胶粉含量增加而增加; 当橡胶粉含量(质量分数)为4%时, 其强度、弹性形变和塑性形变的性能劣化最小; 此外, 添加橡胶粉使再生混凝土在高温下的爆裂性能有所改良。

关键词: 橡胶; 再生混凝土; 应力-应变曲线; 高温; 拟合

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2023)01-0166-05

引文格式: 宝鼎晶, 邱剑辉, 姚明辉, 等. 橡胶改性对再生混凝土应力-应变性能的影响[J]. 材料研究与应用, 2023, 17(1): 166-170.

BAO Dingjing, QIU Jianhui, YAO Minghui, et al. Effect of Rubber Modification on Stress-Strain Performance of Recycled Concrete[J]. Materials Research and Application, 2023, 17(1): 166-170.

混凝土材料作为当今使用最广泛的建筑材料, 对土木行业的进步有着深远的影响。随着城市化发展的进程, 拆迁建筑产生的大部分废弃混凝土都是采取简单填埋或露天堆放的处理方式, 既浪费土地, 还破坏环境。为此, 天然碎石被广泛用作混凝土的粗骨料, 将处理后的废弃混凝土替代天然碎石作为新的混凝土骨料, 重新配制再生混凝土, 这样既能减少环境污染, 又可以避免资源浪费^[1]。近些年, 再生混凝土的性能研究无论在国内还是国外都有良好的发展, 在公路工程中其也得到了较多的实际应用^[2]。

然而, 现代化建设的进程中, 难免会存在较多处于高温状态的建筑物, 如: 冶金厂、化工厂、烟囱等^[3]。这一类的建筑结构一般会受到较高的温度辐射, 如果不能保证这类材料在高温后仍能保证结构的安全性, 很难将再生混凝土材料向更大更广的范围内推行^[4]。为此, 研究在高温条件下混凝土的基本性能还要对在高温条件下工作的混凝土结构的应力-应变曲线变形规律进行系统的总结分析。

1 试验部分

1.1 试验原材料

为了模拟工程实际, 材料均选用工程中常用原始材料。水泥选用32.5R的普通硅酸盐水泥, 砂按连续级配进行筛选, 其粒径为0—4.75 mm细度模数为2.1; 碎石按连续级配进行筛选, 粒径为5—35 mm, 表观密度为1627 kg·m⁻³; 再生骨料按连续级配进行筛选, 粒径为5—35 mm, 表观密度为1510 kg·m⁻³; 橡胶选用粒径5—40 mm。

抗压强度试件用150 mm立方体的试模制作, 新拌再生混凝土在出机5 min内, 由振捣棒密实平整后等待成形, 然后将试件静置36 h后拆模标记, 养护28 d后进行抗压强度试验。

在再生混凝土领域中, 配合比设计暂时未有统一规范。因此, 试验的单位用水量根据普通混凝土配合比设计规范计算的用水量又增加20 kg·m⁻³的附加用水量。根据此规范^[6], 选取坍落度在10—

30 mm 区间内的砂率,配制 C50 再生混凝土,其目的是为了 保证再生混凝土的工作性能(主要是坍落度) 保持不变,与文献[5]一样。混凝土单位体积配合比

设计及立方体抗压强度列于表 1,橡胶掺量为 0%、 4% 和 9% 的橡胶混凝土单位体积配合比设计和立 方体抗压强度列于表 2。

表 1 混凝土试件配合比

Table 1 Mix proportion of cube concrete specimen

组号	水灰比	水泥/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	碎石/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	再生骨料/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	砂/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	坍落度/ mm	立方体抗压 强度/MPa
RC50	0.43	430	618	618	547	185	19	63.62

表 2 橡胶混凝土试件配合比

Table 2 Mix proportion of rubber cube concrete specimen

橡胶粉取代细集 料的百分率/%	组号	水泥/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	碎石/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	再生骨料/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	砂/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	橡胶/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	坍落度/ mm	强度/ MPa
0	RC50-0	430	618	618	547	185	0	19	52.5
4	RC50-4	430	618	618	524	185	22	20	44.1
9	RC50-9	430	618	618	497	185	49	22	43.3

根据孟龙等^[7]的研究经验,高温试验中混凝土 试件会出现崩裂现象。因此,本试验的升温速率采 用临界升温速率 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$,由初始室温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 直接 升至指定温度,恒温 1 h 后停止升温,将试件静置于 炉内,进行自然通风降温,当试件温度低小于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时取出,待试件自然冷却后方可加压。

1.2 试验方法

在高温环境条件下,再生混凝土经橡胶改性后 的试件经过不同温度的加热后冷却至室温,参考混 凝土立方体试件强度标准试验方法^[8]给试件加压, 并且保持加压速率恒定。在轴压试验过程中,为避 免压力机对试件上下表面产生局部破坏,在试件上 下表面涂一定厚度的环氧树脂,为测试在橡胶改性 再生混凝土的表面粘贴应变片。

2 结果及分析

2.1 温度影响

根据以往研究试验,橡胶掺率低于 4% 时橡胶

粉发挥性能不明显,故选 4% 的橡胶掺量比较有代 表性。试样以 RC50-4-0 环为例,其中 R 代表再生混 凝土,50 代表混凝土的强度等级,4 代表橡胶掺量,0 代表加热温度,环代表环向应变,纵代表纵向应变。

图 1 为不同温度下试件应力-应变曲线。从图 1 可见:随着温度的升高,再生混凝土的环、纵应力-应 变关系曲线发展变化类似,但峰值应力随着温度变化 显著下降,而峰值应变逐渐增大;当试件在常温下 时,再生混凝土经橡胶改性后试件的峰值应力达到 44.1 MPa ,纵向峰值应变仅为 0.002 5,环向峰值应变 为 0.001 3;在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下,橡胶改性再生混凝土试 件的峰值应力为 36.8 MPa ,环向峰值应变为 0.003 1,纵向峰值应变为 0.002 7;在 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下, 再生混凝土经橡胶改性试件的峰值应力为 13.14 MPa ,环向峰值应变为 0.003 6,纵向峰值应变为 0.009 4;在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下,橡胶改性再生混凝土试件 的峰值应力为 9.7 MPa ,环向峰值应变为 0.005 3, 纵向峰值应变为 0.009 1。再生混凝土在经过高温 处理后,随着温度的升高,其变形性能降低, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温对材料性能的影响较大。

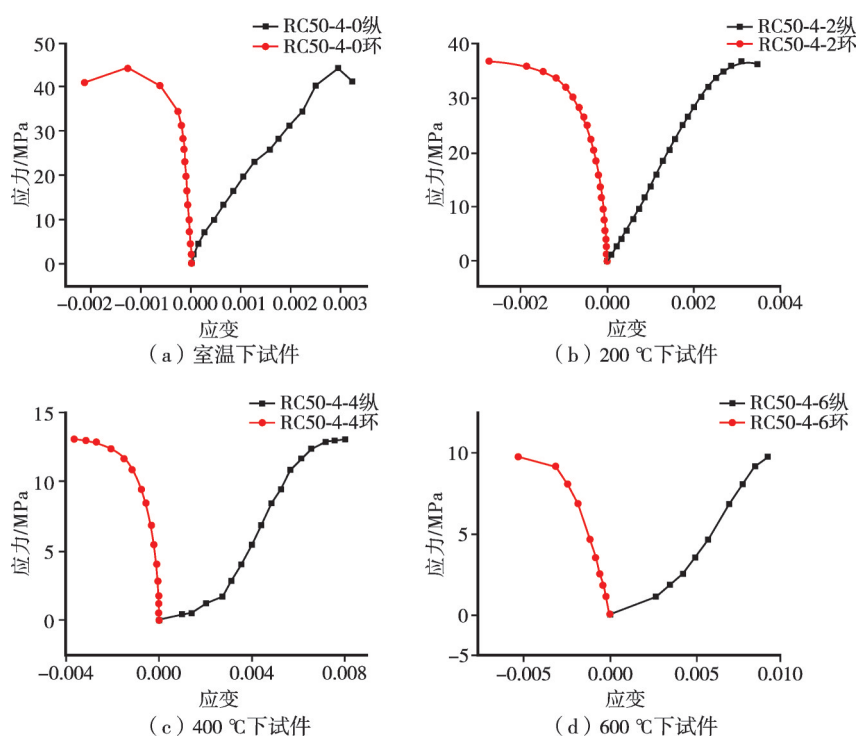


图1 再生混凝土经橡胶改性(掺率4%)后不同温度下的应力-应变曲线

Figure 1 Stress-strain curve of recycled concrete after high temperature

2.2 温度影响及公式拟合分析

有关再生混凝土理论被广泛研究,尤其是再生混凝土应力-应变关系全曲线的理论研究,相应的应力-应变关系的公式也比较多,分别为清华大学建议公式^[9]、有理方程式、Saenz公式及CEB/FIP公式^[10],此类公式一般是对不同再生粗骨料取代率的

试件应力-应变数据进行分析。

首先收集记录下高温处理后的RC50再生混凝土的应力-应变数据,通过采用不同公式对数据进行拟合,结果如图2所示。从图2可见:同一温度下不同公式的拟合结果不同,400 °C下的橡胶改性再生混凝土的试验数据点与有理方程式拟合曲线基本重

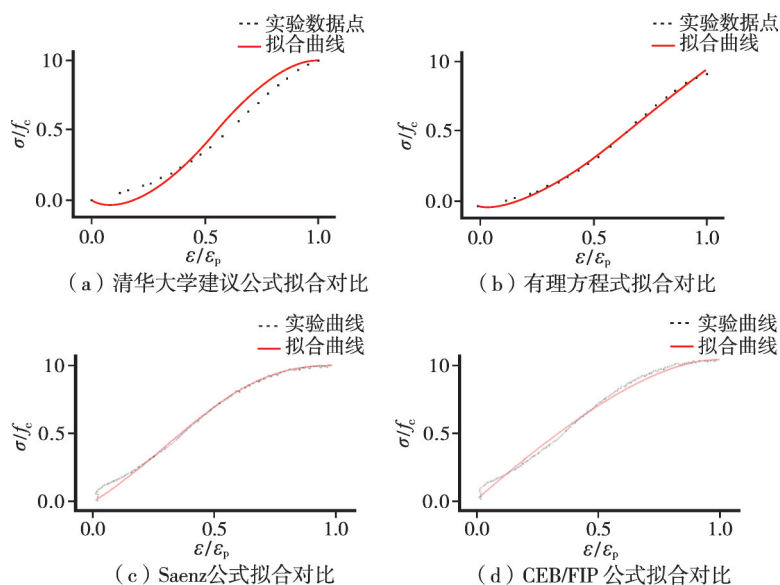


图2 应力-应变拟合曲线与试验数据点比较

Figure 2 Comparison of stress-strain fitting curves and measured data

合,而清华大学建议公式拟合出的曲线与试验数据的重合度不高,Saenz公式拟合出的曲线与试验数据点的偏差主要集中在开始阶段,CEB/FIP公式拟合出的曲线与试验数据点的偏差无论在上升段还是下降段都比较明显。因此,利用Origin软件对试验所获取的数据进行多元非线性回归拟合,结果表明高温下再生混凝土应力-应变曲线通过有理方程式能够较好的反映出来。

2.3 橡胶掺率的影响

图3为常温下橡胶含量对再生混凝土应力-应变

变的影响曲线。从图3可见:随着橡胶掺量的增加,应力-应变曲线的变化趋势类似;橡胶混凝土试件的强度与无橡胶混凝土试件的强度相比,差别较大,表明橡胶掺率的大小对应力-应变曲线的影响不明显,从而说明常温下再生混凝土的性能发生了改变,其抗压强度随橡胶粉掺率的增大而降低;橡胶粉掺率的增大对再生混凝土经橡胶改性的应力-应变关系曲线中的纵向峰值应变有影响,并且应变值也逐渐增大。因此,可以说明在再生混凝土中掺入橡胶,可以改善其延伸性。

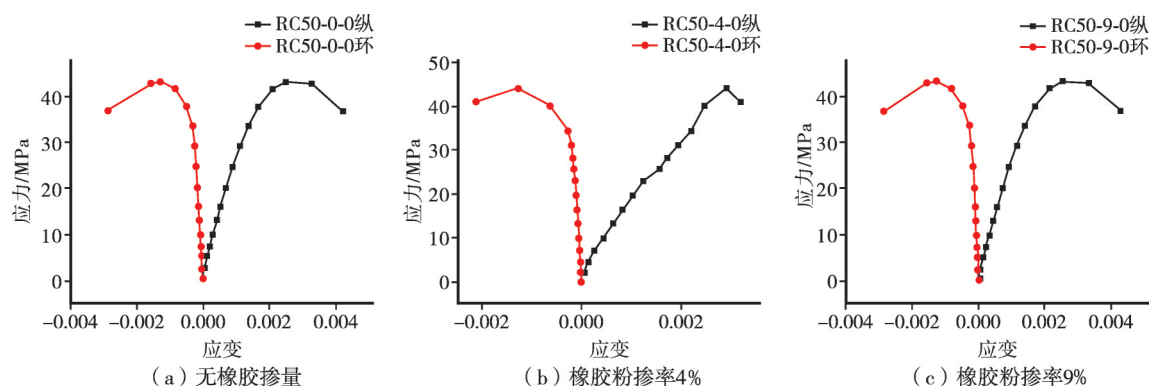


图3 橡胶-再生混凝土的应力-应变影响曲线

Figure 3 Stress-strain relations curve of rubber recycled concrete

3 结论

以高温下再生混凝土经橡胶改性的试件和常温下再生混凝土经橡胶改性试件为试样,通过轴压试验研究他们不同温度下、不同橡胶粉含量下的应力与应变的变化趋势。

(1)常温下,无橡胶掺入的再生混凝土的峰值应力为52.5 MPa、环向峰值应变为0.0023、纵向峰值应变为0.0021,橡胶掺量为4%的再生混凝土的峰值应力为44.1 MPa、环向峰值应变为0.0013、纵向峰值应变为0.0025,橡胶掺量为9%的再生混凝土的峰值应力为43.3 MPa、环向峰值应变为0.0013、纵向峰值应变为0.0025。表明,常温下再生混凝土掺入橡胶粉后,其力学性能变化较为明显,掺入橡胶粉使得再生混凝土试件峰值应力下降了16.2%、环向峰值应变下降了43.5%、纵向峰值应变提高了19.1%。但当橡胶粉掺率为4%和9%时,对再生混凝土力学性能的影响并不明显。

(2)通过试验数据对以往应力-应变关系曲线的经验公式进行拟合分析发现,再生混凝土经高温后的应力-应变曲线的变化规律,通过有理方程式能

够较好地反映出来。

(3)根据以往研究,高温后再生混凝土的性能裂化主要与自由水和结合水的蒸发有关^[11]。本试验证明,随着温度的升高,试件中水分的蒸发引起试件性能裂化。试件由室温升至200℃的过程中,峰值应力下降了16.6%,由200℃升至400℃过程中,峰值应力下降了64.3%,由400℃升至600℃的过程中,峰值应力下降了26.2%。

参考文献:

- [1] 唐昀超,陈正,黄钊丰,等.基于U-net神经网络算法和改进的细化算法的水坝混凝土裂缝测量[J].实验力学,2022,37:209-220.
- [2] SOLTANABADI R, BEHFARNIA K. Shear strength of reinforced concrete deep beams containing recycled concrete aggregate and recycled asphalt pavement[J]. Construction and Building Materials, 2022,314:125597.
- [3] CHEN X D, SHI D D, ZHANG J H, et al. Experimental investigation of the residual physical and mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2021,33(7): 4021162.
- [4] FERNANDES B, CARRE H, MINDEGUIA J C,

- et al. Effect of elevated temperatures on concrete made with recycled concrete aggregates—An overview [J]. *Journal of Building Engineering*, 2021, 44: 103235.
- [5] 彭勇军. 再生混凝土性能影响因素分析及耐久性研究[J]. *建筑结构*, 2021, 51(9): 74-78
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 普通混凝土配合比设计规程 JGJ55-2011[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2011.
- [7] 孟龙, 黄瑞源, 蒋东, 等. 不同强度混凝土高温下动态劈拉性能研究[J]. *工程力学*, 2021, 38(3): 202-213.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 混凝土物理力学性能试验方法标准 GB/T50081-2019[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2019.
- [9] 过镇海. 混凝土的强度和变形-实验基础和本构关系[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [10] DARWIN D, PECKNOLD D A. Nonlinear biaxial stress-strain in law for concrete[J]. *ASCE*, 1997, 103(2): 229-234.
- [11] DIAS A R D. Behavior of concrete subjected to high temperatures [J]. *Materia-Rio De Janeiro*, 2020, 25(2): 126-129.

Effect of Rubber Modification on Stress-Strain Performance of Recycled Concrete

BAO Dingjing, QIU Jianhui, YAO Minghui, LIU Junhui

(1. College of Architectural Engineering, Guangdong Baiyun University, Guangzhou 510450, China; 2. College of Urban and Rural Construction, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: In order to study the influence mechanism of rubber modification on the stress-strain performance of recycled concrete, this paper takes the amount of rubber doping content as a variable, uniformly heats recycled concrete to different temperatures in a high temperature environment, and tests the stress-strain relationship curve of recycled concrete after high temperature, to analyze the strength, elastic deformation and plastic deformation properties of rubber recycled concrete at room temperature. The results show that the ductility of recycled concrete increases with the increase of rubber powder content. When the content of rubber powder is 4%, the performance degradation of strength, elastic deformation and plastic deformation is minimal. In addition, the addition of rubber powder improves the burst performance of recycled concrete at high temperatures.

Keywords: rubber; recycled concrete; stress-strain curve; high temperature; fitting

(学术编辑: 宋琛)