

基于正交试验橡胶混凝土力学性能影响因素研究

王立伟, 万珊

(四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要:橡胶混凝土由于在某些性能上的优势,具有广阔的发展空间和应用前景。影响其性能的主要因素有:水灰比、橡胶细度和橡胶掺量。采用正交试验方法,以抗压和抗折强度为性能指标,通过回归分析和极差方差分析确定抗压和抗折强度影响因素的显著性大小,得出了水灰比影响最大,橡胶细度和掺量有一定影响,为工程实践提供一定参考。

关键词:橡胶混凝土;正交试验设计;抗压强度;抗折强度

中图分类号:TU99

文献标志码:A

引言

随着我国汽车产业和橡胶工业的快速发展,废旧轮胎和橡胶制品不断增多。废橡胶填埋后不易自然降解,对环境的污染较大,焚烧又会造成大气污染,废旧橡胶的处理已经成为严重的社会问题。橡胶混凝土是把橡胶研磨成粉状或颗粒作为一种混凝土掺合料而添加到水泥混凝土中配制而成的新型混凝土。研究表明^[1-2],橡胶混凝土韧性较好,可以很好地解决混凝土的脆性问题,另外还具有轻质、弹性减震、降噪隔音、透气透水等优点,因此把废旧橡胶作为建材回收利用不仅可以改善混凝土原有的缺陷,而且实现了废旧橡胶的无污染处理,具有巨大的经济和社会意义。但是由于橡胶的掺入会造成混凝土抗压、抗折等性能的下降,对于橡胶对混凝土抗压、抗折性能的影响规律,目前的研究结果并不一致:有研究表明,橡胶的掺入对混凝土的强度影响不大^[3];也有结果表明,橡胶的掺入使混凝土的强度大幅度下降^[4]。

目前,国内对橡胶混凝土的研究尚处于初步阶段。在研究橡胶混凝土力学性能的影响因素时,大部分考虑

单一因素变化对橡胶混凝土力学性能的影响,忽略了不同因素之间对橡胶混凝土力学性能的交互影响和加速影响^[5]。基于这一考虑,本文通过设置正交试验,研究水灰比、橡胶细度和橡胶掺量对橡胶混凝土抗压、抗折性能的单独影响、交互影响及加速影响,并初步确定各因素影响的显著性大小关系,为以后橡胶混凝土的研究提供一定的依据。

1 试验研究

1.1 试验材料

(1)水泥:采用P. O 42.5级普通硅酸盐水泥,主要性能见表1。

(2)砂:采用中砂,细度模数2.8。

(3)橡胶:采用8目、16目和24目三种细度的橡胶颗粒。

(4)石子:采用人工碎石,粒径5-10 mm占45%,10-20 mm占55%。

(5)减水剂:采用山西凯迪建材有限公司生产KDNOF-1高效减水剂。

(6)水:拌制混凝土采用实验室自来水。

表1 水泥的主要物理性能

品种	细度/ %	初凝 时间/ min	终凝 时间/ min	安定性	抗折 强度/ MPa	抗压 强度/ MPa
P.O 42.5	0.8	245	310	合格	8.3	51.4

1.2 试验设计

橡胶混凝土的性能主要取决于混凝土的水灰比、橡胶的细度以及橡胶的掺量等因素^[6]。本试验采用正交设计原理,分析水灰比、橡胶细度和橡胶掺量对橡胶混凝土抗压和抗折性能的影响,并对各因素采用极方差分析,确定各因素对抗压和抗折性能影响的显著性大小。正交试验表见表2。

1.3 试件成型与养护

参照《水工混凝土试验规程》(SL352-2006)成型试块,并将试块按标准养护条件养护到规定龄期^[7]。

2 试验数据分析

2.1 试验结果

选用3因素3水平正交试验,试验结果见表2。

表2 正交试验表

编号	水灰比	橡胶细度	橡胶掺量	误差列	7 d 抗压强度	28 d 抗压强度	28 d 抗折强度
1	0.35(1)	8(1)	3(1)	1	32.1	41.2	5.8
2	0.35(1)	16(2)	6(2)	2	29.7	35.5	5.1
3	0.35(1)	24(3)	9(3)	3	24.5	34.4	4.7
4	0.45(2)	8(1)	6(2)	3	27.5	36.2	4.6
5	0.45(2)	16(2)	9(3)	1	24.7	33.1	4.3
6	0.45(2)	24(3)	3(1)	2	25.8	34.6	5.0
7	0.55(3)	8(1)	9(3)	2	17.5	23.7	3.7
8	0.55(3)	16(2)	6(2)	3	19.3	29.4	3.9
9	0.55(3)	24(3)	3(1)	1	21.5	27.5	4.0

2.2 试验结果分析

2.2.1 各因素对7 d 抗压强度的影响

水灰比是影响普通混凝土强度的主要因素。由表2试验数据可知,随着水灰比的增大,橡胶混凝土7 d 抗压强度降低,水灰比由0.35增大到0.55,抗压强度降低了32.6%;随着所掺入橡胶细度的增大,7 d 抗压强度降低,橡胶细度由8目增大到24目,抗压强度降低了7.0%;随着橡胶掺量的增大,7 d 抗压强度降低,掺量由3%增大到9%,抗压强度降低了16.2%。由于各影响因素具有不同的单位量纲,为方便直观比较各因素与7 d

抗压强度的关系,采用相对数值分析法,将量纲进行同一归化。各影响因素与7 d 抗压强度的关系如图1所示(横坐标为各影响因素不同取值与各自最大值相除的归化值)。

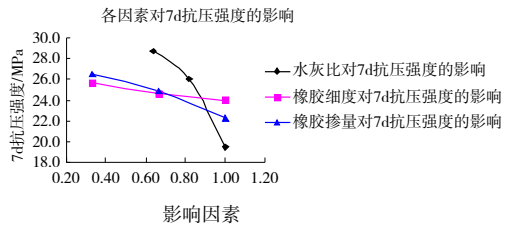


图1 各因素与7 d 抗压强度正交分析点图

试验编号为1、5和9的三组试验作为验证试验。依据表2中其他六组试验数据,通过回归分析,得到7 d 抗压强度与各影响因素的三元一次线性回归方程为:

$$f_{ck,7} = -55.16a - 0.29b - 1.20c + 61.32 \quad (1)$$

式中: $f_{ck,7}$ 为7 d 抗压强度(MPa); a 为水灰比; b 为橡胶细度(目); c 为橡胶掺量(%)。

2.2.2 各因素对28 d 抗压强度的影响

由表2试验数据,水灰比由0.35增大到0.55,28 d 抗压强度降低了27.3%;橡胶细度由8目增大到24目,28 d 抗压强度降低了4.6%;橡胶掺量由3%增大到9%,28 d 抗压强度降低了11.6%。各影响因素与28 d 抗压强度的关系如图2所示。

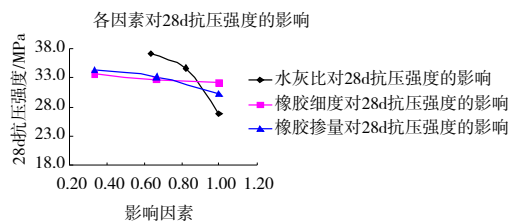


图2 各因素与28 d 抗压强度正交分析点图

通过回归分析,得到28 d 抗压强度与各影响因素的三元一次线性回归方程为:

$$f_{ck,28} = -46.54a - 0.11b - 1.14c + 62.49 \quad (2)$$

式中: $f_{ck,28}$ 为28 d 抗压强度(MPa)。

2.2.3 各因素对28 d 抗折强度的影响

由表2试验数据,水灰比由0.35增大到0.55,28 d 抗折强度降低了25.0%;橡胶细度由8目增大到24目,28 d 抗折强度降低了8.5%;橡胶掺量由3%增大到9%,28 d 抗折强度降低了14.3%。各影响因素与28 d 抗折强度的关系如图3所示。

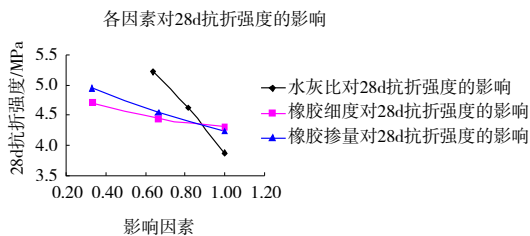


图 3 各因素与 28 d 抗折强度正交分析点图

通过回归分析,得到 28 d 抗折强度与各影响因素的三元一次线性回归方程为:

$$f_{u,28} = -5.71a - 0.003b - 0.13c + 7.99 \quad (3)$$

式中: $f_{u,28}$ 为 28 d 抗折强度 (MPa)。

2.2.4 回归方程验证分析

将编号 1、5 和 9 三组试验作为验证试验,回归方程计算的预测值及与实际值的差值和相对误差见表 3。

表 3 验证试验实测值与预测值比较

试验编号	7 d 抗压强度/MPa				28d 抗压强度/MPa				28d 抗折强度/MPa			
	实测值	预测值	残差	相对误差/%	实测值	预测值	残差	相对误差/%	实测值	预测值	残差	相对误差/%
1	32.1	36.1	-4.0	-12.5	41.2	41.9	-0.7	-1.7	5.8	5.6	0.2	3.4
5	24.7	21.1	3.6	14.6	33.1	29.5	3.6	10.9	4.3	4.2	0.1	2.3
9	21.5	20.4	1.1	5.1	27.5	30.8	-3.3	-12.0	4.0	4.4	-0.4	-10.0

2.2.5 橡胶细度和橡胶掺量对抗压和抗折强度的影响分析

橡胶混凝土抗压和抗折性能与普通混凝土有较大的差别,掺入橡胶会使混凝土抗压和抗折强度降低。造成抗压和抗折强度下降的原因主要有:(1)橡胶颗粒可看做是混凝土中分布的微小空隙,掺入橡胶颗粒相当于增加了混凝土的空隙率,密实度降低,从而造成混凝土的抗压和抗折强度降低^[8]。(2)橡胶颗粒是非均匀的、憎水的,掺入使水泥水化产物变得不完整^[9];另外由于橡胶颗粒表面为非极性,水泥基体为极性,两者相容性较差,因而使橡胶颗粒-水泥基体不能很好地结合,从

而造成混凝土抗压和抗折强度的降低^[10]。

3 各影响因素的极方差分析

3.1 各影响因素的极差分析

极差 R_j 反应的是第 j 个因素的水平变动时,试验指标的变动幅度。 R_j 越大,说明该因素对试验指标的影响越大,因此也越重要。

根据极差 R_j 的大小,可以判断各因素对试验指标的影响主次。各因素对橡胶混凝土 7 d、28 d 抗压强度和 28 d 抗折强度的极差分析见表 4,其中,A 为水灰比,B 为橡胶细度,C 为橡胶掺量,D 为误差列。

表 4 试验结果极差分析表

指 标	因素	K_{1j}	K_{2j}	K_{3j}	\bar{K}_{1j}	\bar{K}_{2j}	\bar{K}_{3j}	极差 R_j
7 d 抗压强度/MPa	A	86.3	78	58.3	28.8	26.0	19.4	9.4
	B	77.1	73.7	71.8	25.7	24.6	23.9	1.8
	C	79.4	76.5	66.7	26.5	25.5	22.2	4.3
	D	78.3	73.0	71.3	26.1	24.3	23.8	2.3
28d 抗压强度/MPa	A	111.1	103.9	80.6	37.0	34.6	26.9	10.1
	B	101.1	98	96.5	33.7	32.7	32.2	1.5
	C	103.3	101.1	91.2	34.4	33.7	30.4	4.0
28 d 抗折强度/MPa	D	101.8	93.8	100	33.9	31.3	33.3	2.6
	A	15.7	13.9	11.6	5.2	4.6	3.9	1.3
	B	15.2	13.3	13.8	5.1	4.4	4.6	0.7
	C	14.8	13.6	13.3	4.9	4.5	4.4	0.5
	D	14.1	13.9	13.2	4.7	4.6	4.4	0.3

由表 4 可知,对于 7 d 和 28 d 抗压强度, $R_A > R_C > R_B$, 所以各因素对 7 d 和 28 d 抗压强度影响的主次顺序

为: $A \rightarrow C \rightarrow B$, 即:水灰比 \rightarrow 橡胶掺量 \rightarrow 橡胶细度,水灰比对 7 d 和 28 d 抗压强度的影响最大,橡胶掺量影响

较小,橡胶细度影响最小;对于28 d抗折强度, $R_A > R_B > R_C$, 所以各因素对28 d抗折强度影响的主次顺序为: $A \rightarrow B \rightarrow C$, 即:水灰比 \rightarrow 橡胶细度 \rightarrow 橡胶掺量,水灰比对28 d抗折强度影响最大,橡胶细度影响较小,橡胶掺量影响最小。

为了进一步分析各因素对7 d、28 d抗压强度和28 d抗折强度的显著性大小,再进行方差分析。

3.2 各影响因素的方差分析

各因素对橡胶混凝土7 d、28 d抗压强度和28 d抗折强度的方差分析见表5,其中,A为水灰比, B^∇ 为橡胶细度,C为橡胶掺量,D为误差列, D^∇ 为误差列, Σ 为总和。同时,各因素在10%水平以上为较为显著,记以“*”;在5%水平以上为显著,记以“**”;在1%水平以上为极为显著,记以“***”。

表5 试验结果方差分析表

性能	因素	平方和	自由度	均方和	F值	\rightarrow	显著水平
7 d 抗压 强度/MPa	A	137.89	2	68.94	20.16	$F_{0.01}(2,4) = 18.0$	***
	B^∇	4.81	2	2.41	0.70	$F_{0.05}(2,4) = 6.94$	
	C	49.32	2	24.66	7.21	$F_{0.1}(2,4) = 4.32$	**
	D	8.89	2	4.44			
	D^∇	13.7	4	3.42			
	Σ	200.91	8				
28 d 抗压 强度/MPa	A	169.44	2	84.72	22.0		***
	B^∇	3.67	2	1.84	0.48		
	C	58.55	2	29.28	7.61		**
	D	11.74	2	5.87			
	D^∇	15.41	4	3.85			
	Σ	243.4	8				
28 d 抗折 强度/MPa	A	5.14	2	2.57	19.77		***
	B^∇	1.86	2	0.93	7.14		**
	C	0.10	2	0.05			
	D	0.42	2	0.21			
	D^∇	0.52	4	0.13	0.38		
	Σ	7.52	8				

由表4、表5可知,通过对各影响因素的极差和方差分析,所得到的结论是一致的:水灰比和橡胶掺量对7 d和28 d的抗压强度有比较显著的影响;水灰比和橡胶细度对28 d抗折强度有比较显著的影响。影响7 d和28 d抗压强度的因素显著性顺序为:水灰比 \rightarrow 橡胶掺量 \rightarrow 橡胶细度,水灰比对7 d和28 d抗压强度的影响最显著,橡胶掺量影响较显著,橡胶细度影响最小;影响28 d抗折强度的因素显著性顺序为:水灰比 \rightarrow 橡胶细度 \rightarrow 橡胶掺量,水灰比对28 d抗折强度影响最显著,橡胶细度影响较显著,橡胶掺量影响最小。

4 结论

(1)通过分析可以得出影响橡胶混凝土7 d和28 d抗压强度的因素显著性顺序是水灰比 \rightarrow 橡胶掺量 \rightarrow 橡

胶细度;影响28 d抗折强度的因素显著性顺序是水灰比 \rightarrow 橡胶细度 \rightarrow 橡胶掺量。随着水灰比的增大,抗压和抗折强度普遍下降较快;随着橡胶掺量的增大,抗压强度有一定的降低,抗折强度略有降低;随着橡胶细度的增大,抗压强度略有降低,抗折强度有一定的降低。

(2)在实践中,影响橡胶混凝土性能的可能因素较多,可以采用本文的方法研究其他因素对橡胶混凝土性能的影响,以此为工程实践提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 郭灿贤,黄少文,徐玉华.用于水泥混凝土的废轮胎胶粉的改性方法研究[J].混凝土,2006(1):60-62.
- [2] 李丽娟,谢伟锋,刘锋,等.高温作用后高强橡胶混凝土的性能研究[J].建筑材料学报,2007,6(10):692-698.

- [3] 董建伟,袁琳,朱涵.橡胶集料混凝土的试验研究及工程应用[J].混凝土,2006(7):69-71.
- [4] 廖正环,曾玉珍.废旧轮胎在国外道路工程中的应用[J].国外公路,2000,22(1):39-42.
- [5] 薛凯,朱涵等.橡胶膨胀混凝土抗裂性能和力学性能研究[J].混凝土与水泥制品,2014(1):12-14.
- [6] 屈妍.橡胶集料混凝土力学性能试验研究[J].混凝土,2012(2):96-98.
- [7] SL352-2006,水工混凝土试验规程[S].
- [8] 杨春峰,杨敏.废旧橡胶混凝土力学性能研究进展[J].混凝土,2011(12):98-109.
- [9] 王俊,白英,郭帅.橡胶混凝土力学性能的分形研究[J].混凝土,2012,33(2):117-120.
- [10] 梁金江,何壮彬,覃峰,等.橡胶粉改性水泥混凝土引气性能试验分析的研究[J].混凝土,2011(1):98-100.

Research on the Influential Factors of Rubber Concrete's Mechanical Properties Based on Orthogonal Experiment

WANG Liwei, WAN Shan

(School of Architecture and Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Because of some performance advantages, rubber concrete has broad space for development and application prospect. The main factors affecting its performance are water cement ratio, rubber fineness and rubber dosage. This paper adopts orthogonal experiment, takes the compressive strength and flexural strength as performance indexes, determines the significance of the main factors affecting the compressive strength and flexural strength by regression analysis and variance analysis, and a conclusion is obtained: the influence of water-cement ratio is significant, the rubber fineness and rubber dosage have little influence. The paper's results can provide a certain reference for the engineering practice.

Key words: rubber concrete; orthogonal experiment design; compressive strength; flexural strength