

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.01.008

基于橡胶粒径、掺量的混凝土强度公式拟合

袁群^{1,2}, 宋德海³, 冯凌云^{1,2}, 王大辉^{1,2}, 李广辉⁴

(1. 河南省水利工程安全技术重点试验室, 河南 郑州 450003; 2. 河南省水利科学研究院, 河南 郑州 450003;
3. 河南省农田水利水土保持技术推广站, 河南 郑州 450003;
4. 河南水利投资集团有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 试验用3种不同粒径的橡胶颗粒以5种掺量配制橡胶混凝土, 橡胶颗粒改性采用NaOH和KH570复合改性方法, 得到3d~360d养护龄期的混凝土抗压强度值, 回归分析橡胶混凝土抗压强度与养护龄期、橡胶颗粒掺量、橡胶颗粒粒径及改性方法的函数关系。试验结果表明: 橡胶混凝土抗压强度随橡胶颗粒掺量增加而减小, 橡胶颗粒粒径较大, 橡胶混凝土抗压强度也较大; 橡胶混凝土改性后抗压强度比改性前提高了15%左右; 得出的橡胶混凝土立方体抗压强度计算式可较方便地指导不同强度橡胶混凝土的配制和工程应用中橡胶混凝土抗压强度的估算。

关键词: 基准橡胶混凝土; 改性橡胶混凝土; 抗压强度

中图分类号: TU528.041

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)01-0039-04

Concrete-Strength Function Based on The Rubber Particle Size and Dosage

YUAN Qun^{1,2}, SONG Dehai³, FENG Lingyun^{1,2}, WANG Dahui^{1,2}, LI Guanghui⁴

(1. The Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security Technology of He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450003, China;
2. He'nan Provincial Water Conservancy Research Institute, Zhengzhou, He'nan 450003, China;
3. He'nan Provincial Irrigation and Water Conservancy and Soil and Water Conservation Technology Extending Stations, Zhengzhou, He'nan 450003, China; 4. He'nan Water Conservancy Investment Group Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: A formula was proposed by tests which take three different particle size of rubber particles and five kinds of content in concrete to make Rubber concrete. The rubber particles is modified by NaOH and KH570. The tests of rubber compressive strength that contains curing age, rubber granule, rubber particle size and dosage under the concrete compressive strength of 3 d ~ 360 d curing age were carried out. The results showed that rubber concrete compressive strength decreased with increased of rubber granule, and rubber concrete's compressive strength is larger which have larger rubber particle. The rubber concrete modified have a 15% higher compressive strength. The calculation formula of rubber concrete cube compressive strength can be easily adopted to made different strength of rubber concrete and estimate concrete compressive strength in practical projects.

Keywords: benchmark rubber concrete; modified rubber concrete; compressive strength

橡胶混凝土以其优异的抗裂、抗震、抗冲击、抗冻、抗磨和隔音降噪等材料特性, 备受国内外学者关注。但是在橡胶颗粒提高混凝土上述性能的同时, 也使抗压强度降低较多。虽然不同学者配制橡胶混凝土的方法各自不同, 所用橡胶颗粒材料也不尽相同, 试验结果有所差异, 但橡胶混凝土抗压强度随橡胶颗粒掺量的增加而降低的观点却是一致的^[1-5],

即使有学者用化学或物理方法将橡胶颗粒进行了表面改性^[6-11], 在一定程度上提高了橡胶混凝土的强度(与改性前相比), 但与基准混凝土相比, 抗压强度还是降低的。而抗压强度是混凝土材料的一项首要性能, 因此, 在试验研究中或实际施工中, 人们首先关注的是橡胶混凝土的抗压强度大小。也正因为这一点, 一些学者用数学统计的方法, 在试验数据的基

收稿日期: 2016-10-17

修稿日期: 2016-11-21

基金项目: 水利公益性行业科研专项经费项目(201301027)

作者简介: 袁群(1966—), 男, 湖南洞口人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事混凝土结构新材料的开发与应用工作。

E-mail: yuanguan@hnsi.gov.cn

基础上拟合出橡胶混凝土抗压强度的计算公式,以期用来指导配制不同强度的橡胶混凝土和估算工程应用中橡胶混凝土的抗压强度。

郑州大学范国兵^[12]在橡胶混凝土抗压强度试验数据的基础上,回归分析出 28 d 龄期橡胶混凝土抗压强度在一定粒径下与橡胶颗粒掺量的一元二次关系式,相关指数 R^2 达到 0.95 以上。但是,这样的关系式只体现了橡胶混凝土抗压强度与橡胶颗粒掺量的关系,没有包含橡胶颗粒粒径的影响因素,应用时局限性较大。广东工业大学冯文贤等^[13]人根据试验数据进行多元非线性回归分析,得出 28 d 龄期高强橡胶混凝土的轴心抗压强度与橡胶颗粒掺量和粒径大小的 e 的指数关系式,该关系式不仅使橡胶混凝土轴心抗压强度与基准混凝土轴心抗压强度进行了较好的衔接,而且同时包含了橡胶颗粒掺量与粒径对橡胶混凝土轴心抗压强度的影响,但是,该关系式局限于 28 d 龄期橡胶混凝土抗压强度,没有体现橡胶混凝土抗压强度在短龄期时或长龄期时的情况,应用时也有一定的局限性。

本文分别在基准混凝土、基准橡胶混凝土(参加的橡胶颗粒为改性)和改性橡胶混凝土(参加的橡胶颗粒已改性)多龄期抗压强度试验基础上,以现行已有的混凝土抗压强度公式为模板,进行多元非线性回归分析,得出橡胶混凝土立方体抗压强度与混凝土龄期、橡胶颗粒掺量、橡胶颗粒粒径和改性方法的综合关系式,可较方便地指导不同强度橡胶混凝土的配制和工程应用中橡胶混凝土抗压强度的估算。

1 基准橡胶混凝土抗压强度试验

1.1 试验材料与配合比

水泥采用河南省某水泥公司生产的复合硅酸盐水泥 P·C 32.5;石子为 5 mm ~ 20 mm 碎石,表观密度 2 732 kg/m³;砂的细度模数为 2.70,表观密度 2 703 kg/m³;橡胶颗粒由河南新乡一橡胶厂生产,粒径分别为 0.3 mm、1 mm ~ 3 mm 和 3 mm ~ 6 mm 三种,表观密度 1 119 kg/m³。

基准橡胶混凝土的配合比是在基准混凝土的配合比基础上,保持其它材料不变,将橡胶颗粒按砂体积的 5%、10%、15%、20% 和 30% 等体积取代砂变换而来,具体配合比见表 1。

试验采用 150 mm 的标准立方体试件,试件制备、养护及抗压试验参照《水工混凝土试验规程》^[14](DL/T 5150-2001),养护龄期分为 3 d、7 d、28 d、60 d、90 d、180 d 和 360 d。

表 1 橡胶混凝土配合比

单位: kg/m³

橡胶颗粒 掺量/%	不同材料用量				
	水泥	水	砂	石子	橡胶颗粒
0(基准混凝土)	380	215	650.0	1155	0.0
5	380	215	617.5	1155	13.5
10	380	215	585.0	1155	26.9
15	380	215	552.5	1155	40.4
20	380	215	520.0	1155	53.8
30	380	215	455.0	1155	80.7

1.2 基础公式

文献[15]提到 CEB—FIP model code 1990 中标准养护条件下混凝土在不同龄期时的抗压强度 $f_{cu}(t)$ 计算式为:

$$f_{cu}(t) = e^{s(1-\sqrt{28/t})} f_{cu}(28) \quad (1)$$

式中: $f_{cu}(t)$ 为混凝土在 t 天龄期时的立方体试件抗压强度平均值, MPa; $f_{cu}(28)$ 为混凝土在 28 d 龄期时的立方体试件抗压强度平均值, MPa; s 为水泥种类系数,对快硬高强水泥取 0.20,对快硬水泥取 0.25,对普通和慢硬水泥取 0.38。

混凝土抗压强度 - 龄期关系曲线见图 1, JZ 代表基准混凝土; D 表示参加 3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒混凝土; Z 代表参加 1 mm ~ 3 mm 橡胶颗粒混凝土; X 表示参加 60 目橡胶颗粒混凝土。基准混凝土曲线和式(1)曲线较吻合,说明公式(1)适用于计算本试验的基准混凝土抗压强度。基准橡胶混凝土以 15% 掺量为例, 3 mm ~ 6 mm 曲线、1 mm ~ 3 mm 曲线和 0.3 mm 曲线的形态与式(1)相似,只是在龄期相同时抗压强度有所不同,这说明基准橡胶混凝土抗压强度与龄期的关系式可用式(1)的形式表达,以此为基础公式,引进代表橡胶颗粒粒径和掺量的因子即可。

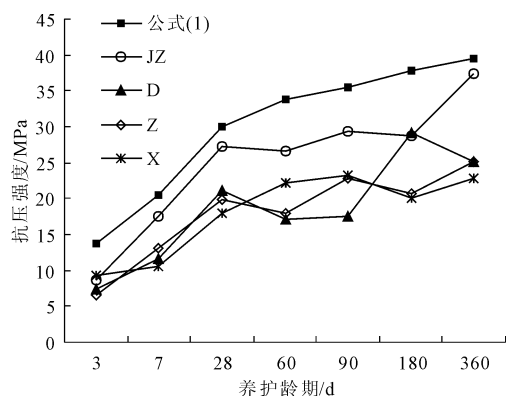


图 1 混凝土抗压强度 - 龄期关系曲线

1.3 基准橡胶混凝土抗压强度与橡胶颗粒掺量、粒径的关系

见图 2,以基准橡胶混凝土 28 d 龄期抗压强度为例,抗压强度随橡胶颗粒掺量的增加而近似线性降低(橡胶颗粒掺量为 0 时代表基准混凝土);橡胶颗粒掺量相同时,3 mm ~ 6 mm 混凝土抗压强度较大,1 mm ~ 3 mm 混凝土抗压强度次之,0.3 mm 混凝土抗压强度较小,表明掺加的橡胶颗粒粒径较大,基准橡胶混凝土抗压强度也较大。

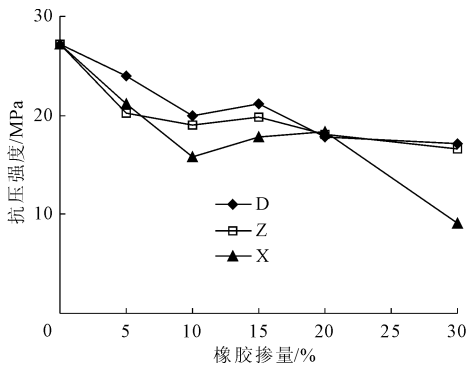


图 2 橡胶混凝土 28 d 抗压强度 - 掺量关系曲线

1.4 基准橡胶混凝土抗压强度计算式

文献[15]借鉴式(1)的形式,加入橡胶颗粒掺量和粒径因子,得到拟合关系式(2):

$$f_{cu}(t) = e^{s(1-\sqrt{28/t})} e^{-gw} f_{cu}(28) \quad (2)$$

式中: $f_{cu}(t)$ 为混凝土在 t 天龄期时的立方体试件抗压强度平均值,MPa; $f_{cu}(28)$ 为基准混凝土在 28 d 龄期时的立方体试件抗压强度平均值,MPa; s 为水泥种类系数,取 0.4; t 为标准养护龄期,d; g 为橡胶颗粒种类系数,不掺加橡胶颗粒时取 0,掺加 0.3 mm、1 mm ~ 3 mm、3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒时分别取 0.022、0.020、0.018。 w 为橡胶颗粒掺量,%。

式(2)既符合橡胶混凝土抗压强度与橡胶颗粒粒径和掺量的一般规律,又将基准混凝土与基准橡胶混凝土的抗压强度统一表达,且计算值与试验值较接近。

2 改性橡胶混凝土抗压强度试验

2.1 试验材料与配合比

水泥采用河南省某水泥公司生产的普通硅酸盐水泥 P·O 42.5;石子为 5 mm ~ 20 mm 碎石,表观密度 2 732 kg/m³;砂的细度模数为 2.65,最大粒径 5 mm,表观密度 2 700 kg/m³;橡胶颗粒由河南新乡某橡胶厂生产的 60 目橡胶粉、1 mm ~ 3 mm 橡胶颗粒和 3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒三种,表观密度 1 119

kg/m³;改性剂为 20% 浓度的 NaOH 溶液和 1% 质量分数的 KH570 复合改性。

橡胶颗粒改性方法:先用浓度为 20% 的 NaOH 溶液浸泡橡胶颗粒 24 h 后,用清水冲洗至 pH = 7,然后自然晾干,再取 1% 橡胶颗粒质量的 KH570 溶液,用适量乙醇稀释后充分润湿橡胶颗粒,晾干备用。

改性橡胶混凝土的配合比是在基准混凝土的配合比基础上,保持其它材料不变,以橡胶颗粒等体积取代砂变换而来,具体配合比见表 2。试验试件采用 150 mm × 150 mm × 150 mm 的标准立方体,试件制备、养护及抗压试验参照《水工混凝土试验规程》^[14](DL/T 5150 - 2001),养护龄期为 28 d。编号说明:JZ 表示基准混凝土,DR 表示掺加 3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒(15% 掺量)的改性橡胶混凝土,ZR 表示掺加 1 mm ~ 3 mm 橡胶颗粒(15% 掺量)的改性橡胶混凝土,XR 表示掺加 0.3 mm 橡胶颗粒(10% 掺量)的改性橡胶混凝土。

表 2 改性橡胶混凝土配合比 单位:kg/m³

混凝土类别	不同材料用量				
	水	水泥	石子	砂	橡胶颗粒
JZ	182	330	1138	750.0	0
DR	182	330	1138	637.5	45
ZR	182	330	1138	637.5	45
XR	182	330	1138	675.0	30

2.2 改性橡胶混凝土抗压强度计算式

橡胶混凝土的抗压强度改性前比改性后增大了,增大幅度在 15% 左右,橡胶混凝土改性前后抗压强度对比见表 3。

表 3 橡胶混凝土改性前后抗压强度对比

橡胶颗粒种类	改性前后	抗压强度 /MPa	强度增幅 /%
3 mm ~ 6 mm	改性前	24.1	/
	改性后	28.0	16.2
1 mm ~ 3 mm	改性前	23.3	/
	改性后	26.9	15.5
60 目	改性前	22.7	/
	改性后	26.0	14.5

鉴于改性橡胶混凝土抗压强度与基准橡胶混凝土的关系,借鉴式(2)的形式,加入橡胶颗粒改性系数,得到拟合关系式(3):

$$f_{cu}(t) = e^{s(1-\sqrt{28/t})} e^{-\beta gw} f_{cu}(28) \quad (3)$$

式中: $f_{cu}(t)$ 为混凝土在 t 天龄期时的立方体试件抗

压强度平均值, MPa; $f_{cu}(28)$ 为基准混凝土在 28 d 龄期时的立方体试件抗压强度平均值, MPa; s 为水泥种类系数, 取 0.4; t 为标准养护时间, d; g 为橡胶颗粒种类系数, 不参加橡胶颗粒时取 0, 掺加 0.3 mm、1 mm ~ 3 mm、3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒时分别取 0.022、0.020、0.018; w 为橡胶颗粒掺量 (适用于 0% ~ 30%), %; β 为橡胶颗粒改性系数, 不改性时取 1; 用 20% 浓度的 NaOH 溶液和 1% 质量分数的 KH570 复合改性 3 mm ~ 6 mm 橡胶颗粒时取 0.45; 复合改性 1 mm ~ 3 mm 橡胶颗粒时取 0.51; 复合改性 60 目橡胶粉时取 0.58。

3 小 结

(1) 橡胶混凝土抗压强度随橡胶颗粒掺量增加而减小, 橡胶颗粒粒径较大, 橡胶混凝土抗压强度也较大; 橡胶混凝土改性后抗压强度比改性前提高了 15% 左右。

(2) 基准橡胶混凝土和改性橡胶混凝土抗压强度计算式是在普通混凝土抗压强度公式(1)的基础上演变而来, 既符合混凝土抗压强度增长的一般规律, 又体现了橡胶颗粒掺量、粒径和改性方法对橡胶混凝土抗压强度的影响。

(3) 由于时间关系, 改性橡胶混凝土抗压强度试验较为简单, 缺少多掺量、多养护龄期的改性橡胶混凝土抗压强度值, 后期需补充这方面的试验。

参考文献:

- [1] 张海波, 管学茂, 勾密峰, 等. 废旧橡胶粒径对水泥砂浆和混凝土强度影响研究[J]. 硅酸盐通报, 2012, 31(4): 931-934, 938.
- [2] 熊 杰, 郑 磊, 袁 勇. 废橡胶混凝土抗压强度试验

研究[J]. 混凝土, 2004(12): 40-42.

- [3] 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.
- [4] 袁 群, 冯凌云, 袁 宾, 等. 橡胶颗粒粒径和掺量对混凝土性能的影响[J]. 人民黄河, 2013, 35(2): 111-113.
- [5] 冯凌云, 袁 群, 马 莹, 等. 橡胶混凝土力学性能研究[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(7): 115-118.
- [6] 马一平, 刘晓勇, 谈至明, 等. 改性橡胶混凝土的物理力学性能[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(4): 379-383.
- [7] 董素芬, 姜 丽, 田元艳. 硅烷偶联剂对橡胶集料水泥砂浆力学性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2012(5): 20-23.
- [8] 季卫娟, 袁 群, 李慧霞, 等. 改性橡胶水泥砂浆强度的试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 98-101.
- [9] 袁 群, 马 莹, 徐宏殷, 等. 无机改性剂增强橡胶混凝土强度的试验研究[J]. 人民黄河, 2015, 37(1)5: 133-136.
- [10] 代灿灿, 李宗坤, 冯凌云, 等. 橡胶混凝土改性剂的配制研究[J]. 混凝土, 2015(9): 68-71.
- [11] 张国岑, 徐宏殷, 袁 群. 改性剂对橡胶混凝土的作用机理研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(4): 115-120.
- [12] 范国兵. 橡胶混凝土的材料特性及其应用技术研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007: 20.
- [13] 冯文贤, 魏宜达, 李丽娟, 等. 高强橡胶混凝土单轴轴压本构关系的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2010, 37(2): 12-15.
- [14] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 水工混凝土试验规程: DL/T 5150-2001[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [15] 冯凌云. 橡胶混凝土材料性能的试验研究[D]. 郑州: 华北水利水电学院, 2012.