

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.06.014

橡胶颗粒对混凝土工作性能的影响规律

徐宏殷^{1,2}, 胡凤启³, 秦世兵⁴, 袁 群^{1,5}, 冯凌云^{1,5}

(1.河南省水利工程安全技术重点实验室, 河南 郑州 450003; 2.天津大学 建筑工程学院, 天津 300072;
3.河南省开封水文水资源勘测局, 河南 开封 475001; 4.新乡市水利科技推广中心, 河南 新乡 453000;
5.河南省水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘 要:从橡胶颗粒对混凝土拌合物的影响入手,分析了橡胶混凝土坍落度的变化规律。分析认为,随着橡胶颗粒掺量的增加,橡胶混凝土的坍落度可能呈现三种不同的变化趋势:逐渐减小、逐渐增大、先增大后减小,从而很好的解释了不同试验条件下产生不同试验结果的原因。试验研究了三种粒径的橡胶混凝土坍落度的变化规律,发现在15%的体积掺量范围内,随着掺量的增加粒径为3 mm~6 mm的橡胶混凝土的坍落度逐渐增大。而1 mm~3 mm和60目的橡胶混凝土的坍落度先变大后变小,且分别在10%~15%和5%~10%的体积掺量内达到最大值。

关键词:橡胶颗粒;混凝土;坍落度;变化规律

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)06-0067-04

The Influence of Rubber Particles to Working Capability of Concrete

XU Hongyin^{1,2}, HU Fengqi³, QIN Shibing⁴, YUAN Qun^{1,5}, FENG Lingyun^{1,5}

(1. He'nan Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security Technology, Zhengzhou, He'nan 450003, China;
2. School of Civil Engineering of Tianjin University, Tianjin 300072, China;
3. He'nan Kaifeng Hydrographic and Water Resources Survey Bureau, Kaifeng, He'nan 475001, China;
4. Xinxiang Water Conservancy Science and Technology Promotion Center, Xinxiang, He'nan 453000, China;
5. He'nan Water Conservancy Science Academy, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: The change rule of rubber concrete slump was analyzed in this paper, first the influence of rubber particles on the concrete mixture was tested. The results show that rubber concrete slump show three different trends: gradually decreases, increases, increases first and then decreases, with the increase of amount of rubber particles. The reason of the different test results under different experimental conditions is explained. The slump of three kinds of rubber concrete was analyzed. It was found that 3 mm~6 mm rubber concrete slump increased gradually and 1 mm~3 mm and 60 mesh rubber concrete slumps showed the change trend of increases first and then decreases with the increase of amount of rubber particles in 15% volume content. The volume content of the 1 mm~3 mm and 60 mesh rubber particles to reach the maximum slump were respectively 10%~15% and 5%~10%.

Keywords: rubber particles; concrete; slumps; change law

混凝土的工作性能与混凝土施工的难易程度和施工质量有密切关系,是评判混凝土和易性的一个重要指标^[1-3]。将橡胶颗粒掺入混凝土中配制橡胶混凝土,不仅改变了混凝土的物质组成和内部结构,也会对混凝土的工作性能产生较大的影响。目前,关于橡胶混凝土工作性能的研究较多^[4-8];Taha M

M R等^[6]发现,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加而减小;而Topcu I B等^[7]通过试验和模拟的方法,提出橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增大而增大,最大增幅为8.33%;王涛等^[8]用80目粉等体积取代骨料,发现橡胶混凝土拌合物的坍落度在某一掺量前后呈现出相反的变化规律。在橡胶混

凝土工作性能的研究中,不同的试验条件得到了不同的变化规律。

针对以上现象,从橡胶颗粒对混凝土拌合物的影响入手,分析了不同情况下橡胶混凝土坍落度的变化规律,解释了条件不同产生不同试验结果的原因。试验研究了粒径为 3 mm ~ 6 mm、1 mm ~ 3 mm 和 60 目的橡胶颗粒所拌制的橡胶混凝土的坍落度,分析了不同粒径橡胶混凝土的坍落度随橡胶掺量的变化规律,并初步得到了使橡胶混凝土坍落度达到最大值的橡胶掺量。

1 橡胶颗粒对混凝土工作特性的影响

1.1 橡胶颗粒对混凝土拌合物的影响

现有的研究成果^[9-11]显示,橡胶颗粒加入混凝土拌合物后,会对混凝土拌合物产生两种作用:吸水作用和引气作用。吸水作用表现为,橡胶颗粒属于多孔性材料,其开口孔隙能够吸收混凝土拌合物中的自由水,从而降低混凝土拌合物的流动性。引气作用表现为,橡胶颗粒加入混凝土拌合物能够增加混凝土内部的含气量,从而提高混凝土拌合物的流动性。

对于同一种橡胶颗粒,其吸水作用随着橡胶掺量的增加呈现线性增大的规律。同样的,橡胶颗粒的引气作用随着掺量的增加也不断增大,但增长的规律并非与掺量呈线性关系。橡胶颗粒的引气作用可以通过橡胶混凝土拌合物中的含气量衡量,根据不同学者的试验研究结果^[12-15],橡胶混凝土的含气量随着橡胶掺量的增加不断增大,但增长速率逐渐变慢,如图 1 所示。

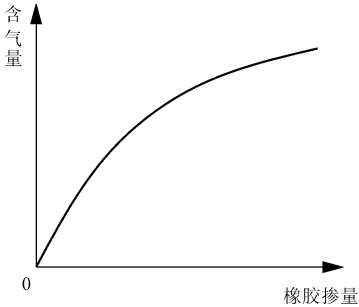


图 1 橡胶混凝土含气量随橡胶掺量的变化

1.2 橡胶混凝土的坍落度随橡胶掺量的变化规律

橡胶混凝土的坍落度受橡胶颗粒的吸水作用和引气作用的影响。其中吸水作用对坍落度的增加为副作用,引气作用对坍落度的增加为正作用。设橡胶颗粒的吸水作用为 R ,引气作用为 F (吸水作用可以橡胶颗粒浸水 30 min 质量差来测定,引气作用可

用骨料含气量检测方法来测定)。当 $R > F$ 时,混凝土的坍落度减小;当 $R < F$ 时,混凝土的坍落度增大。

根据以上分析,橡胶颗粒的吸水作用随着掺量的增加线性增大,而引气作用随着掺量的增加也逐渐增大,但增长速率逐渐降低。故可分为以下三种情况进行考虑。

工况一(见图 2):当橡胶颗粒的孔隙较多,吸水作用很强时,其吸水作用始终大于引气作用,即 $R > F$ 。此时橡胶颗粒的加入对混凝土坍落度的增大始终为负面作用,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶颗粒掺量的增加而逐渐降低。

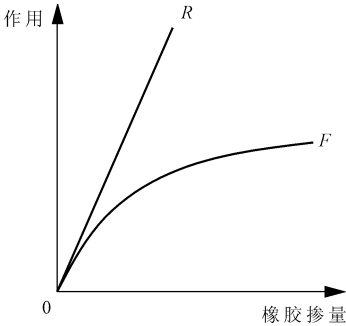


图 2 工况一时作用 R 与作用 F 随橡胶掺量的变化规律

工况二(见图 3):橡胶颗粒的吸水作用与引气作用相当。当橡胶颗粒的掺量较少时,引气作用大于吸水作用, $R < F$;当橡胶颗粒的掺量较多时,吸水作用大于引气作用, $R > F$ 。此时,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶颗粒掺量的增加表现出先增大后减小的变化规律。且存在一个最优掺量,使橡胶混凝土的坍落度达到一个最大值。

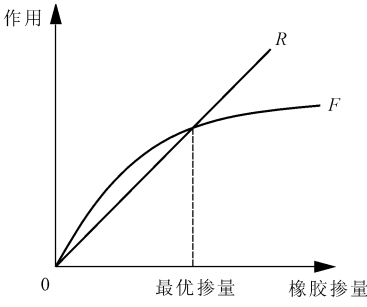


图 3 工况二时作用 R 与作用 F 随橡胶掺量的变化规律

工况三(见图 4):当橡胶颗粒的孔隙较少,吸水性较差时,在 100% 掺量的范围内,橡胶颗粒的引气作用始终大于吸水作用,即 $R < F$ 。此时橡胶颗粒的加入对混凝土坍落度的增大始终为正面作用,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶颗粒掺量的增加而逐渐增大。

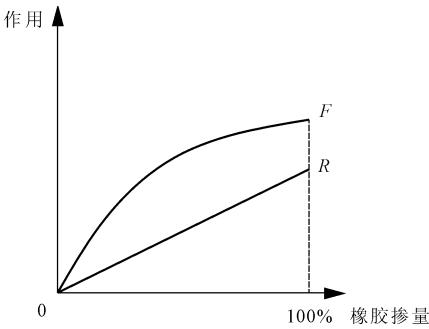


图 4 工况三时作用 R 与作用 F 随橡胶掺量的变化规律

综上所述,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的变化规律可能有三种情况:逐渐减小、逐渐增大、先增大后减小,其主要影响因素为橡胶颗粒吸水作用和引气作用的相对大小。根据以上分析,配制橡胶混凝土采用的橡胶颗粒不同,其坍落度的变化规律也不同,这就解释了国内外文献中不同试验条件下得到不同试验结果的原因。

2 橡胶混凝土工作性能的试验研究

根据以上的分析,采用粒径为 3 mm~6 mm、1 mm~3 mm 和 60 目的橡胶颗粒拌制橡胶混凝土,研究了其坍落度随着橡胶掺量的变化规律。

2.1 试验原材料

试验所用水泥为标号 P·O42.5 的普通硅酸盐水泥;采用的细骨料为普通河砂,细度模数 2.83,最大粒径 5 mm,级配合格,表观密度 2 532 kg/m³;采用的粗骨料为普通碎石,粒径为 5 mm~25 mm,表观密度 2 703 kg/m³,堆积密度 1 514 kg/m³;试验用水为普通自来水;橡胶颗粒共 3 种,粒径分别为 3 mm~6 mm、1 mm~3 mm、60 目,表观密度 1 119 kg/m³。

2.2 试验设计

试验采用 C20 和 C30 两种标号的混凝土。其中 C20 基准混凝土的水灰比为 0.65,砂率为 38.6%,单位用水量为 180 kg。C30 基准混凝土的水灰比为 0.53,砂率为 35.7%,单位用水量为 190 kg。橡胶颗粒按照等体积的原则取代基准混凝土中的砂子,体积掺量分别为 1%、3%、5%、7%、10%、15%。具体配合比如表 1、表 2 所示。

根据设计配合比拌制橡胶混凝土,为了让橡胶颗粒与水泥石很好的粘结,试验前先将橡胶颗粒与水泥充分混合,然后按照石子、橡胶与水泥的混合物、砂子、水的顺序依次加入搅拌机,搅拌 180 s 后倒出,按照《水工混凝土试验规程》^[16] (DL/T 5150-2001)进行橡胶混凝土的坍落度的试验。

表 1 C20 橡胶混凝土配合比设计 单位:kg/m³

编号	材料用量				
	水	水泥	砂	石子	橡胶
20JZ	180	275	750	1195	—
20RC-M-1	180	275	743	1195	3.315
20RC-M-3	180	275	728	1195	9.944
20RC-M-5	180	275	713	1195	16.573
20RC-M-7	180	275	698	1195	23.202
20RC-M-10	180	275	675	1195	33.146
20RC-M-15	180	275	638	1195	49.719

表 2 C30 橡胶混凝土配合比设计 单位:kg/m³

编号	材料用量				
	水	水泥	砂	石子	橡胶
30JZ	190	360	660	1190	—
30RC-M-1	190	360	653	1190	2.917
30RC-M-3	190	360	640	1190	8.750
30RC-M-5	190	360	627	1190	14.584
30RC-M-7	190	360	614	1190	20.418
30RC-M-10	190	360	594	1190	29.168
30RC-M-15	190	360	561	1190	43.752

注:表 1 和表 2 中,20JZ 和 30JZ 分别表示 C20 和 C30 基准混凝土,橡胶混凝土的代号为 20RC-M-N 和 30RC-M-N。其中 RC 代表橡胶混凝土,M 代表橡胶的粒径(3 mm~6 mm 代号为 D、1 mm~3 mm 代号为 Z、60 目代号为 X),N 代表橡胶取代砂子的百分比。

2.3 试验结果与分析

图 5 所示为 3 mm~6 mm 的橡胶混凝土坍落度随着橡胶掺量的变化情况。C20 橡胶混凝土在 1%、3%、5%、7%、10%、15% 掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 32%、14%、9%、32%、68%、68%,而 C30 橡胶混凝土在六种掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 13%、39%、19%、16%、26%、39%。从图 5 中可以看出,3 mm~6 mm 橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加有不断增大的趋势,且在 15% 掺量的范围内并未出现降低的拐点。说明在 15% 掺量范围内,3 mm~6 mm 的橡胶混凝土坍落度的变化规律符合工况三所述的情况。

对于粒径为 1 mm~3 mm 的橡胶颗粒所拌制的橡胶混凝土,C20 系列在 1%、3%、5%、7%、10%、15% 掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 -55%、-32%、77%、9%、73%、86%,而 C30 系列在 6 种掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 6%、45%、39%、81%、129%、55%。从图 6 可以看出,C20 系列的橡胶混凝土的坍落的变化规律稍差,但 C30 系列的橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的

增加表现出较为明显的先增大后降低的趋势。这与工况二所述情况相符,且使坍落度达到最大值的体积掺量在 10% ~ 15% 之间。

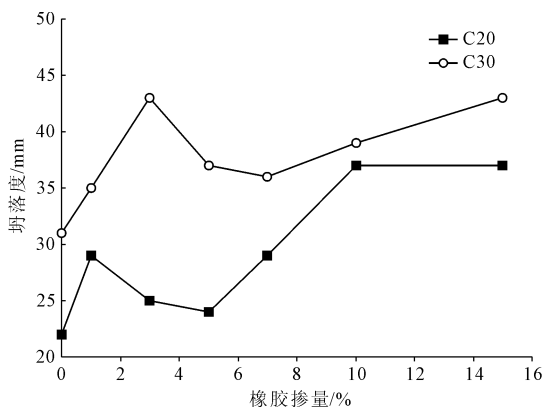


图 5 3 mm ~ 6 mm 橡胶混凝土的坍落度随橡胶掺量的变化

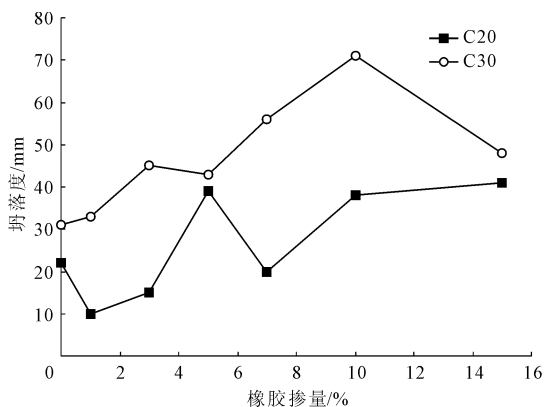


图 6 1 mm ~ 3 mm 橡胶混凝土的坍落度随橡胶掺量的变化

由图 7 可以看出,60 目橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加表现出明显的先增大后降低的趋势,这与工况二中所描述的情况相符。根据试验结果,能够使混凝土的坍落度达到最大值的橡胶颗粒的体积掺量在 5% ~ 10% 之间。其中 C20 橡胶混凝土在 1%、3%、5%、7%、10%、15% 掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 -41%、14%、82%、55%、68%、9%;C30 橡胶混凝土在 6 种掺量下的坍落度比基准混凝土分别提高了 -32%、84%、87%、129%、97%、58%。

试验分析认为,1 mm ~ 3 mm 和 60 目橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加呈现出先增大后减小的趋势,能够使混凝土的坍落度达到最大值的橡胶体积掺量分别为 10% ~ 15%、5% ~ 10%。而 3 mm ~ 6 mm 橡胶混凝土的坍落度在 15% 体积掺量以内表现为逐渐增大的变化趋势。橡胶颗粒越细,在 1% 小掺量时,吸水作用会大于引气作用,坍落度会略有减小(见图 6、图 7)。

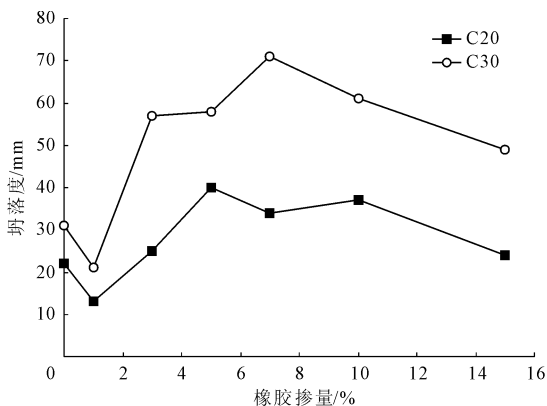


图 7 60 目橡胶混凝土的坍落度随橡胶掺量的变化

3 总 结

分析认为,橡胶颗粒对混凝土拌合物的影响有引气和吸水两方面的作用,两种作用对混凝土的工作性能分别表现为正负两方面的效果。在不同试验条件下,橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加可呈现出三种不同的变化趋势:逐渐增大、逐渐减小和先增大后减小。

试验研究的结果显示,粒径为 1 mm ~ 3 mm 和 60 目的橡胶混凝土的坍落度随着橡胶掺量的增加呈现出先增后减的变化趋势,且能够使混凝土坍落度达到最大值的橡胶体积掺量分别为 10% ~ 15% 和 5% ~ 10%;3 mm ~ 6 mm 橡胶混凝土的坍落度在 15% 体积掺量以内表现为逐渐增大的变化趋势。受试验条件限制,本文得到的试验数据较少。若要深入验证橡胶混凝土坍落度的变化规律,仍需根据不同粒径进行更大掺量范围的试验。

参考文献:

- [1] Khatib Z K, Bayomy F M. Rubberized portland cement concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1999, 11(3): 206-213.
- [2] 谢友均,周士琼,尹 健.免振高性能混凝土拌合物工作性检测方法及评价指标的研究[J].混凝土,1997(3): 10-14.
- [3] 亢景付.高性能混凝土拌合物流变性能测试方法探讨[J].混凝土,2002(10): 8-9, 37.
- [4] 张国岑,徐宏殷,袁 群,等.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(8): 115-120.
- [5] Benazzouk A, Mezreb K, Doyen G, et al. Effect of rubber aggregates on the physic-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25(7): 711-720.

(上接第 70 页)

- [6] Taha M M R, El - Dieb A S, Abd El - Wahab M A, et al. Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(10): 640-649.
- [7] Topcu I B, Saridemir M. Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic[J]. Construction and Building Materials, 2008, 22(4): 532-540.
- [8] 王 涛,洪锦祥,缪昌文,等.橡胶混凝土的试验研究[J].混凝土,2009(1):67-69.
- [9] 王培竹.橡胶集料混凝土冻融循环后力学性能的试验研究[D].沈阳:沈阳大学,2014.
- [10] 李光宇.橡胶粉混凝土抗冻性能试验研究[J].混凝土,2008(4):60-62.
- [11] 杨春峰,王培竹,孙明博.废旧橡胶集料混凝土拌合物含气量及坍落度的试验研究[J].混凝土,2014(11): 53-55.
- [12] 杨 萌.渠道衬砌橡胶粉混凝土性能试验研究与应用[D].济南:山东大学,2013.
- [13] 夏孝维.基于橡胶粉改性混凝土的高速铁路路桥过渡段结构性能研究[D].兰州:兰州交通大学,2014.
- [14] 史新亮.废旧轮胎橡胶路面混凝土性能研究[D].焦作:河南理工大学,2009.
- [15] Albano C, Camacho N, Reyes J, et al. Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: destructive and non-destructive testing[J]. Composite Structures, 2005, 71(3/4): 439-446.
- [16] 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.