

[文章编号] 1003-4684(2020)02-0092-04

# 玻璃纤维掺量对混凝土流动性及力学性能的影响

乐东钊, 姜久红, 文 韬, 王云飞

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

**[摘 要]** 为探究玻璃纤维掺量对混凝土流动性及力学性能的影响,在混凝土中分别掺入不同掺量的普通玻璃纤维、耐碱玻璃纤维,测定了玻璃纤维混凝土的流动性、抗压强度、抗折强度。结果表明:混凝土的流动性随着玻璃纤维掺量的增加而逐渐降低。玻璃纤维改善了混凝土的抗压与抗折破坏形态,提升了混凝土的抗压强度和抗折强度,当耐碱玻璃纤维掺量为  $9 \text{ kg/m}^3$  时,混凝土的抗压强度提升了 23.5%。当耐碱玻璃纤维掺量为  $6 \text{ kg/m}^3$  时,混凝土抗折强度提升了 43.9%。

**[关键词]** 流动性; 力学性能; 普通玻璃纤维; 耐碱玻璃纤维; 玻璃纤维混凝土

**[中图分类号]** TU528.572 **[文献标识码]** A

中国交通运输部在 2015 年发布的《交通运输行业发展统计公报》,我国境内的公路总里程达到了 457.7 公里,公路总密度提高到 47.68 公里/百平方公里,已经远远超过了世界上大多数的国家。由于水泥混凝土与沥青混凝土相比拥有较高的承载力、较长的使用时间等优点<sup>[1]</sup>,常常被运用于道路桥梁工程中。但普通水泥混凝土抗弯以及抗裂性能较差,且养护与修复难度极大,所以许多国内外学者尝试在水泥混凝土中添加纤维材料来改善水泥混凝土的各方面性能。邓宗才<sup>[2]</sup>等研究发现当混凝土中加入玻璃纤维后能够明显增强其抗弯冲击性能,提高混凝土的耐久性;李永靖<sup>[3]</sup>等经过大量试验发现,加入一定量的玻璃纤维后,水泥混凝土的抗折以及劈拉强度显著提升,但对抗压强度的提升并不十分明显;沈武<sup>[4]</sup>等经研究发现,耐碱玻璃纤维对水泥混凝土的抗折以及劈拉强度有很明显的提高,同时提高了混凝土的韧性;刘亚飞<sup>[5]</sup>等通过研究发现玻璃纤维能在一定程度上增强混凝土的抗压强度,但是会减小混凝土的弹性模量;Alireza Dehghan<sup>[6]</sup>等经过大量试验发现,从回收的玻璃纤维和原始 E 玻璃纤维中回收的纤维会对混凝土的抗压强度产生不良影响,但有助于提高其劈拉强度。Faiz A Mirza<sup>[7]</sup>等研究发现,玻璃纤维可以抑制混凝土裂纹的扩展,同时还能提升混凝土的弯曲韧性。

本试验探究在不同掺量下,普通玻璃纤维、耐碱玻璃纤维对混凝土流动性与力学性能的影响,分析

影响玻璃纤维混凝土流动性与力学性能的因素,为配制更好的纤维混凝土材料提供参考。

## 1 试验方案

### 1.1 原材料

选用湖北京兰 P.O 42.5 级水泥, S95 级矿粉;细骨料为细度模数 2.5 的江砂,细度模数 2.6 的机砂;粗骨料为粒径 5-25 mm 的普通碎石;外加剂采用聚羧酸减水剂,减水率为 31%;玻璃纤维为直径为  $12 \mu\text{m}$ ,密度为  $2.68 \text{ g/cm}^3$  的普通玻璃纤维(GF),直径为  $20 \mu\text{m}$ ,密度为  $2.72 \text{ g/cm}^3$  的耐碱玻璃纤维(AR)。

### 1.2 配合比

混凝土的配合比通过《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2011)<sup>[8]</sup>来制定,强度为 C30。胶凝材料采用水泥与矿粉,水胶比为 0.35,减水剂掺量为胶凝材料的 2.4%,并在此条件下分别添加  $0 \text{ kg/m}^3$ 、 $3 \text{ kg/m}^3$ 、 $6 \text{ kg/m}^3$ 、 $9 \text{ kg/m}^3$ 、 $12 \text{ kg/m}^3$  的玻璃纤维。配合比如表 1 所示。

### 1.3 试件制备与方法

混凝土采用 HJS-60 型双卧轴混凝土试验用搅拌机搅拌,为了避免玻璃纤维在混凝土中分布不均匀,适当地延长搅拌时间。玻璃纤维的掺量每增加  $3 \text{ kg/m}^3$ ,搅拌时间相应地延长 2 min。待搅拌完成后,先使用坍落度测定仪来测定拌和物的坍落度,随后将拌合物浇筑于模具中,在振动台振动成型,在

[收稿日期] 2019-10-17

[第一作者] 乐东钊(1995-),男,湖北大悟人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为玻璃纤维混凝土

[通信作者] 姜久红(1969-),女,吉林伊通人,工学博士,湖北工业大学教授,研究方向为结构动力学

表 1 混凝土配合比

标号	材料用量/(kg·m <sup>-3</sup> )								
	水泥	碎石	机砂	江砂	水	减水剂	GF	AR	矿粉
C	370	1020	380	445	160	11.1	0	0	90
GF3.0C	370	1020	380	445	160	11.1	3	0	90
GF6.0C	370	1020	380	445	160	11.1	6	0	90
GF9.0C	370	1020	380	445	160	11.1	9	0	90
GF12.0C	370	1020	380	445	160	11.1	12	0	90
AR3.0C	370	1020	380	445	160	11.1	0	3	90
AR6.0C	370	1020	380	445	160	11.1	0	6	90
AR9.0C	370	1020	380	445	160	11.1	0	9	90
AR12.0C	370	1020	380	445	160	11.1	0	12	90

试块成型 24 h 后脱模,放入有标准条件的养护室里养护 28 d,取出后清除试块表面附着的污垢,待试块上的水分消失。

根据《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081-2002)<sup>[9]</sup>和《纤维混凝土试验方法标准》(CECS:13-2009)<sup>[10]</sup>对玻璃纤维混凝土进行抗压与抗折试验。在 YAW-3000 型微机控制电液伺服压力试验机上对 27 个 150 mm×150 mm×150 mm 的标准立方体试块进行抗压试验,加载速率为 0.5 MPa/s。在 CBT1105-D 微机控制电子压力试验机上对 27 个 150 mm×150 mm×550 mm 的棱柱体试块进行抗折试验,加载速率为 0.05 MPa/s,抗折试验采取四点弯曲的方法。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 流动性

良好的流动性是保证浇筑成型的混凝土试块质量的重要因素,试验在保证混凝土的粘聚性能和保水性能良好的情况下,测定不同玻璃纤维混凝土的坍落度(表 2)。

表 2 玻璃纤维混凝土的坍落度

玻璃纤维掺量/ (kg·m <sup>-3</sup> )	玻璃纤维混凝土的坍落度/mm	
	普通玻璃纤维	耐碱玻璃纤维
0	210	210
3	185	196
6	174	182
9	158	168
12	142	156

从表 2 可以看出:随着玻璃纤维掺量的增加,玻璃纤维混凝土的坍落度逐渐降低,当玻璃纤维掺量从 0 增加到 12 kg/m<sup>3</sup>,普通玻璃纤维混凝土的坍落度从 210 mm 降低到 142 mm,普通玻璃纤维混凝土的坍落度从 210 mm 降低到 156 mm。究其原因,玻璃纤维作为拌合物之一,同样需要水泥砂浆的包裹,这导致包裹砂石等材料的水泥砂浆相对减少,混凝土原先的整体平衡被打破,流动性自然会受到

影响。另一方面,玻璃纤维具有很强的吸附性,其吸水率在正常情况下能够达到 10%~20%。随着玻璃纤维掺量的增加,其吸收的水分会越来越多,导致混凝土的流动性越来越差。

### 2.2 抗压强度

试块的抗压破坏形态如图 1 所示。随着荷载的不断增大,普通混凝土试块表面的裂纹越来越明显,且扩展迅速。当达到极限荷载后,试件在无任何征兆的情况下突然崩裂破坏,并伴随着剧烈声响,同时试件表面严重剥落。相较于普通混凝土,玻璃纤维混凝土试块破坏的时候并没有剧烈声响,裂纹相对于普通混凝土来说更细小,扩展速度比普通混凝土慢,破坏时整体性较好。当玻璃纤维掺量越多,破坏时整体性越好。这是由于分布在混凝土中的玻璃纤维起到了关键的桥接作用,阻碍了裂缝的产生与扩展。



图 1 混凝土抗压破坏形态

混凝土的抗压强度公式为

$$f_{cc} = \frac{F}{A}$$

其中  $f_{cc}$  为立方体的抗压强度,MPa;  $F$  为混凝土试块的极限荷载,N;  $A$  为试块的受压面积,mm<sup>2</sup>。

玻璃纤维掺量对混凝土抗压强度的影响如图 2 所示。

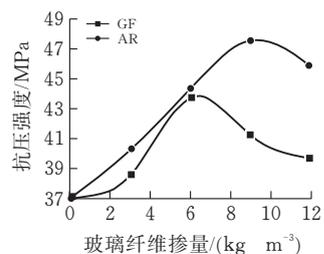


图 2 玻璃纤维掺量对混凝土抗压强度的影响

从图 2 可以看出,在普通混凝土中掺入 3 kg/m<sup>3</sup>、6 kg/m<sup>3</sup>、9 kg/m<sup>3</sup>、12 kg/m<sup>3</sup> 的两种不同玻璃纤维,普通玻璃纤维混凝土的抗压强度较普通混凝土提高了 3.3%~14.9%,当普通玻璃纤维的掺量为 6 kg/m<sup>3</sup> 时增长幅度最大。耐碱玻璃纤维混凝土的抗压强度较普通混凝土提高了 7.1%~23.5%,当耐碱玻璃纤维的掺量为 9 kg/m<sup>3</sup> 时增长幅度最大。这是因为在混凝土内部呈空间均匀分布的玻璃纤维与水泥砂浆有效粘结,减缓了混凝土中裂缝的

扩展速度,防止新裂缝的出现,在改善混凝土变形性能的同时,提升了混凝土的抗压强度。耐碱玻璃纤维对混凝土抗压性能改善效果明显好于普通玻璃纤维,这是因为耐碱玻璃纤维能更好地与水泥砂浆粘结在一起,同时普通玻璃纤维的耐腐蚀性差,容易被混凝土中的高碱物质所侵蚀,而减弱了对混凝土力学性能的改善效果。当普通玻璃纤维的掺量超过  $6 \text{ kg/m}^3$ ,耐碱玻璃纤维的掺量超过  $9 \text{ kg/m}^3$  后,两种玻璃纤维混凝土的抗压强度不升反降,这是由于掺量过多,玻璃纤维在搅拌时容易“结团”,“结团”现象使混凝土内部受力不均,并且会使玻璃纤维之间难以形成有效的纤维网络,所以,混凝土的抗压强度降低。

### 2.3 抗折强度

普通混凝土发生抗折破坏时表现为明显的脆性破坏,荷载达到极限值后瞬间降低,在破坏时发生剧烈声响。而玻璃纤维混凝土在荷载达到极限值后缓缓降低,且破坏时仅有很低沉的声响。

混凝土的抗折强度公式为

$$f_f = \frac{Fl}{bh^2}$$

其中: $f_f$ 为棱柱体的抗压强度,MPa; $F$ 为混凝土试块的极限荷载,N; $l$ 为支座间距,mm; $b$ 为试块的截面宽度,mm; $h$ 为试块的截面高度,mm。

玻璃纤维掺量对混凝土抗折强度的影响如图3所示。

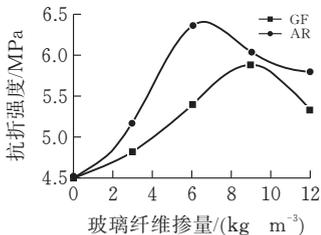


图3 玻璃纤维掺量对混凝土抗折强度的影响

从图3可以看出,混凝土的抗折强度同样呈现出先增大后减小的趋势,但抗折强度增长的幅度要优于抗压强度。

当普通混凝土中分别添加  $3 \text{ kg/m}^3$ 、 $6 \text{ kg/m}^3$ 、 $9 \text{ kg/m}^3$ 、 $12 \text{ kg/m}^3$  的两种不同玻璃纤维后,混凝土的抗折强度得到了不同程度的提升。普通玻璃纤维混凝土的抗折强度较普通混凝土提高了  $7.7\% \sim 32.6\%$ ,耐碱玻璃纤维混凝土的抗折强度较普通混凝土提高了  $15.8\% \sim 43.9\%$ ,这是因为当试块受到应力作用后,分布在混凝土内部的玻璃纤维可以桥接与传递应力,减缓了裂缝的产生与发展,从而提升了混凝土的抗折强度。当普通玻璃纤维的掺量为  $9 \text{ kg/m}^3$  时改善效果最佳,耐碱玻璃纤维的掺量为

$6 \text{ kg/m}^3$  时改善效果最佳。掺量继续增加后,两种玻璃纤维混凝土的抗折强度不升反降,这是因为当掺量过多时,玻璃纤维无法有效地与水泥砂浆粘结在一起。因此,在探究玻璃纤维对混凝土抗折强度的影响时,需要同时考虑玻璃纤维的改善效果,与水泥砂浆粘结不良引起的强度降低这两方面因素。

### 2.4 折压比

混凝土的折压比为混凝土的抗折强度与抗压强度之比,它是衡量混凝土力学性能与脆性性能的一个重要指标,折压比越大,混凝土的韧性则越强,反之则越弱。表3为不同类型混凝土的折压比。

表3 混凝土折压比

混凝土类型	抗折强度/MPa	抗压强度/MPa	折压比
C	4.42	37.12	0.1191
GF3.0C	4.76	38.36	0.1241
GF6.0C	5.36	42.64	0.1257
GF9.0C	5.86	40.56	0.1445
GF12.0C	5.29	39.24	0.1348
AR3.0C	5.12	39.75	0.1288
AR6.0C	6.36	43.12	0.1475
AR9.0C	6.02	45.84	0.1313
AR12.0C	5.76	44.42	0.1297

由表3可知,相较普通混凝土,当掺入玻璃纤维后,混凝土的折压比有着不同程度的提高,当普通玻璃纤维的掺量为  $9 \text{ kg/m}^3$  时,折压比达到最大,较普通混凝土提高了  $21.3\%$ 。当耐碱玻璃纤维的掺量为  $6 \text{ kg/m}^3$  时,折压比达到最大,较普通混凝土提高了  $23.8\%$ 。

玻璃纤维掺量对混凝土折压比的影响如图4所示。

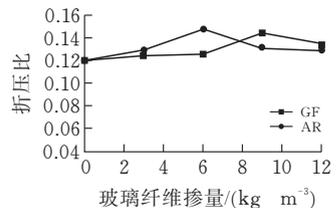


图4 玻璃纤维掺量对混凝土折压比的影响

从图4可以看出,当混凝土中掺入两种玻璃纤维后,其折压比呈现出先增大后减小的趋势,但从整体上来说,折压比均得到不同程度的提升。这表明玻璃纤维能够改善混凝土的脆性性能,提高混凝土的韧性。

## 3 结论

1) 玻璃纤维混凝土的流动性随着玻璃纤维掺量的增加而逐渐降低。

2) 玻璃纤维的掺入改善了混凝土的抗压与抗折

破坏形态,提升了混凝土的抗压强度与抗折强度,耐碱玻璃纤维对混凝土力学性能的改善效果要优于普通玻璃纤维。当耐碱玻璃纤维的掺量为  $9 \text{ kg/m}^3$  时,对混凝土抗压强度改善最佳,其抗压强度提高了 23.5%。当耐碱玻璃纤维的掺量为  $6 \text{ kg/m}^3$  时,对混凝土抗折强度改善最佳,其抗折强度提高了 43.9%。

3) 玻璃纤维的掺入整体上提高了混凝土的折压比,改善了混凝土的脆性性能,增强了混凝土的韧性。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郭寅川,申爱琴,田丰,等.动态疲劳荷载作用下路面混凝土力学性能研究[J].中国公路学报,2017,30(7):18-24.
- [2] 邓宗才,薛会青,张鹏飞,等.耐碱玻璃纤维混凝土的抗弯冲击性能研究[J].公路,2007(12):184-187.
- [3] 李永靖,潘铖,张镇山,等.耐碱玻璃纤维骨料混凝土

- 力学特性试验[J].非金属矿,2019,42(2):87-90.
- [4] 沈武,杨鼎宜,骆静静,等.耐碱玻璃纤维混凝土的长期力学性能研究[J].混凝土,2017(6):102-106.
- [5] 刘亚飞,武崇福.玻璃纤维混凝土弹性模量的试验研究[J].混凝土,2017(6):64-66,79.
- [6] Alireza Dehghan, Karl Peterson, Asia Shvarzman. Recycled glass fiber reinforced polymer additions to Portland cement concrete[J]. Construction and Building Materials, 2017, 146: 238-250.
- [7] Faiz A Mirza, Parviz Soroushian. Effects of alkali-resistant glass fiber reinforcement on crack and temperature resistance of lightweight concrete[J]. Cement and Concrete Composites, 2002, 24(2): 223-227.
- [8] 中国建筑科学研究院. JGJ55-2011. 普通混凝土配合比设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [9] 中华人民共和国建设部批准. GB/T50081-2002. 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [10] 大连理工大学. CECS:13-2009. 纤维混凝土试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.

## Effect of Glass Fiber Content on the Fluidity and Mechanical Properties of Concrete

YUE Dongzhao, JIANG Jihong, WEN Tao, WANG Yunfei

(School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

**Abstract:** In order to explore the influence of glass fiber on the fluidity and mechanical properties of concrete, different amounts of ordinary glass fiber and alkali resistant glass fiber were added into the concrete, and the fluidity, compressive strength and flexural strength of glass fiber concrete were measured. The results show that the fluidity of concrete decreases with the increase of glass fiber content. Glass fiber improves the compressive and flexural failure modes of concrete, and improves the compressive strength and flexural strength of concrete. When the content of alkali resistant glass fiber is  $9 \text{ kg/m}^3$ , the compressive strength of concrete increases by 23.5%. When the content of alkali resistant glass fiber is  $6 \text{ kg/m}^3$ , the flexural strength of concrete increases by 43.9%.

**Keywords:** mechanical properties; ordinary glass fiber; alkali resistant glass fiber; fiber glass reinforced concrete

[责任编辑: 裴 琴]