

骨料级配对C60混凝土强度的影响

张俊才

黑龙江科技大学材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2022年9月18日; 录用日期: 2022年10月8日; 发布日期: 2022年10月20日

摘要

良好的骨料级配不仅可以提高混凝土的和易性、密实度和强度, 还可以节约经济成本。本文将五组不同粒径的粗骨料进行组合进行混凝土配合比设计。根据设计配比拌制混凝土, 分别测试其和易性, 测试拌合物的表观密度, 成型、标准条件养护, 分别测试3d、7d、28d抗压强度, 分析骨料级配对C60混凝土和易性和强度的影响规律。实验结果表明: 粗骨料中间粒级骨料含量越多, 和易性越好, 强度越高; 骨料级配越趋近于连续级配, 混凝土强度就越高。

关键词

混凝土, 骨料级配, 流动性, 强度

Effect of Aggregate Gradation on the Strength of C60 Concrete

Juncai Zhang

College of Materials Science and Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

Received: Sep. 18th, 2022; accepted: Oct. 8th, 2022; published: Oct. 20th, 2022

Abstract

Good aggregate gradation can not only improve the workability, compactness and strength of concrete, but also save economic cost. In this paper, five groups of coarse aggregate with different particle sizes are combined to design the concrete mix proportion. Concrete shall be mixed according to the design proportion, and its workability, apparent density of the mixture, molding and curing under standard conditions shall be tested, and the compressive strength at 3D, 7d and 28d shall be tested respectively. The influence of aggregate gradation on workability and strength of C60 concrete is analyzed. The experimental results show that the more the content of coarse

aggregate in the middle size, the better the workability and the higher the strength. The more the aggregate gradation approaches to continuous gradation, the higher the concrete strength is. The better the fluidity of the aggregate is, the stronger the ability to fill the mold; the denser the specimen is, and the higher the strength is.

Keywords

Concrete, Aggregate Gradation, Fluidity, Strength

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

骨料级配分为连续级配和间断级配,经典的骨料连续级配理论有 W. B. Fuller 和 S. E. ThomPson 的最大密度理论, J. Bulomey 和 A. Birebent 等的级配公式[1] [2]。经典的骨料间断级配理论主要有法国的 R. Feret, R. Vallette, J. Villey 等间断级配理论及我国刘崇熙提出的包围垛密组合机理[3]。

董海英等研究了不同级配及组合骨料的混凝土配合比及工程,认为采用间断级配的组合骨料时,能够设计出满足混凝土性能的配合比,实际工程应用效果较好,与单一骨料混凝土对比,其单方混凝土的胶凝材料用量甚至更少[4]。王婕等在研究骨料级配和粉煤灰掺量对透水混凝土性能的影响时发现随着小粒径骨料比例的增多,抗压强度呈现逐渐上升的趋势[5]。袁文韬等通过低胶材自密实混凝土性能对设计碎石级配验证发现,4.75~9.5 mm 颗粒含量过低或过高均对混凝土工作性能产生不利影响,当 4.75~9.5 mm、9.5~16.0 mm、16.0~19.0 mm 颗粒含量为 25%、45%、30%时,混凝土的工作性能和力学性能均最佳[6]。众多学者的分析都可以看出骨料级配对混凝土的和易性和力学性能均有明显的影响。刘艳军等则针对混凝土企业面临的骨料来源、种类以及级配分布复杂多样的实际情况,介绍了两种骨料级配优化设计方法:0.45-幂指数紧密堆积法和均匀级配优化设计方法[7]。

本文以混凝土的基本组成材料、矿物掺合料(硅灰和粉煤灰)和外加剂(减水剂)为基础进行 C60 混凝土的配合比设计,将五组不同粒径的粗骨料进行组合,形成五组不同级配的粗骨料。采用机械振捣法使其成型,养护环境控制在相对湿度 $\geq 99\%$,温度为 20°C 。根据设计配比拌制混凝土,分别测试五组拌合物的和易性,再测试五组拌合物的表观密度;分别测试 3d、7d、28d 的抗压强度,根据实验实测数据分析骨料级配对 C60 混凝土和易性和强度的影响规律。

2. 原材料、实验设备及研究方法

2.1. 原材料

实验所选的材料及其属性如表 1 所示。

Table 1. Experimental materials and their properties

表 1. 实验材料及其属性

材料	属性
水泥	强度等级为 42.5 MPa 的普通硅酸盐水泥
粗骨料	2.36 mm~25 mm 的碎石块

Continued

细骨料	4.75 mm 以下的河砂
减水剂	聚羧酸高效减水剂, 减水率为 25%, 掺量为胶凝材料用量的 0.8%
水	实验室自来水
粉煤灰	Ⅱ级粉煤灰, 掺量为胶凝材料用量的 5%
硅灰	SiO ₂ ≥ 93%, 掺量为胶凝材料用量的 5%

2.2. 原材料各项参数的测定

2.2.1. 粗骨料各参数的测定

实验选择五种粒级天然碎石为, 实验测得粗骨料技术参数如表 2。

Table 2. Technical parameters of coarse aggregate

表 2. 粗骨料的技术参数

粗骨料粒径, mm	2.36~4.75	4.75~9.5	9.5~16	16~19	19~25
堆积密度, kg/m ³	1479	1489	1419	1330	1292
堆积空隙率, %	37.6	37.2	40.2	43.9	45.5
表观密度, kg/m ³	2371				

粗骨料的堆积密度和堆积空隙率随着粒级的增加, 其变化趋势如图 1 所示。

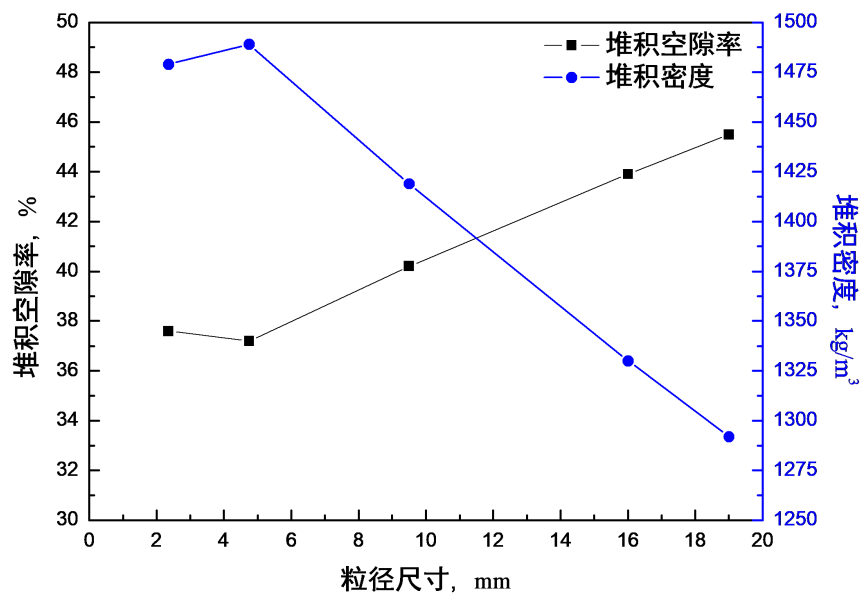


Figure 1. Relationship between the bulk density and bulk porosity of coarse aggregate and aggregate size

图 1. 粗骨料的堆积密度和堆积空隙率与骨料粒径的关系

由图 1 可以看出骨料的堆积密度呈现先上升后下降的趋势, 并且骨料粒级在 4.75 mm~9.5 mm 范围内堆积密度达到最大; 骨料的堆积空隙率呈现先下降后上升的趋势, 并且骨料粒级在 4.75 mm~9.5 mm 范围内堆积空隙率达到最小。

2.2.2. 细骨料的参数测定

实验中选用 4.75 mm 以下的普通砂作为细骨料。实验测得细骨料技术参数如表 3。

Table 3. Parameters of ordinary sand

表 3. 普通砂的各项参数

普通砂粒径, mm	含水率, %	表观密度, kg/m ³	堆积密度, kg/m ³	堆积空隙率, %
0.9~2.36	4.85	2468	1.549	35.4
2.36~4.5	4.85	2468	1.595	37.2

3. C60 混凝土配合比设计及实验方案

不要使用空格、制表符设置段落缩进，不要通过连续的回车符(换行符)调整段间距。

3.1. C60 混凝土配合比设计

混凝土的初步配合比如表 4 所示。

Table 4. Concrete mix proportion

表 4. 混凝土配合比

实验组	水胶比	配合比, kg/15L						
		水泥	水	硅灰	粉煤灰	减水剂	碎石	普通砂
1~5 组(15 L)	0.31	6.5	3.05	0.36	0.36	0.12	17.72	9.54

3.2. 实验方案设计

以粗骨料级配为控制变量研究粗骨料级配 against 高强混凝土不同龄期强度的影响。设计实验方案如表 5、表 6。

Table 5. Grading of coarse aggregate

表 5. 粗骨料级配

	粒径尺寸, mm	比例
配比 1	16:4.75:2.36	1:3:1
配比 2	16:4.75:2.36	2:6.5:1.5
配比 3	16:4.75:2.36	2:7:1
配比 4	16:9.5:4.75:2.36	1:1:3:1
配比 5	19:16:9.5:4.75:2.36	1:1:1:3:1

Table 6. Consumption of raw materials, kg/m³

表 6. 各原料用量, kg/m³

	水泥	水	硅灰	粉煤灰	减水剂	碎石	普通砂
配比 1~5	433	149	24	24	4	1181	636

4. 实验结果分析

4.1. 混凝土和易性分析

实测两组方案的和易性如表 7。

Table 7. Workability of concrete
表 7. 混凝土的和易性

		配比 1	配比 2	配比 3	配比 4	配比 5
和 易 性	坍落度, mm	195	200	205	202	210
	粘聚性	好	好	非常好	好	非常好
	保水性	好	好	好	好	好

坍落度是体现混凝土流动性好坏的指标，将两组方案的坍落度绘制成曲线如图 2。

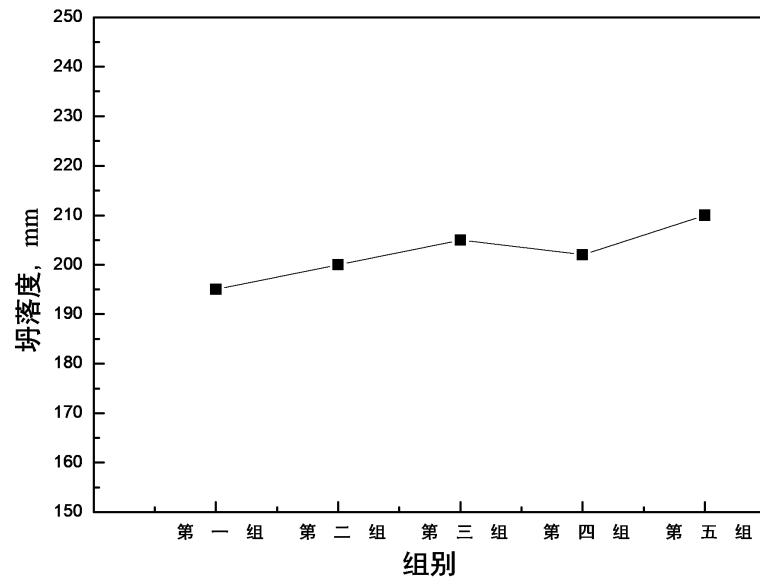


Figure 2. Effect of aggregate grade on concrete slump

图 2. 骨料级配对混凝土坍落度的影响

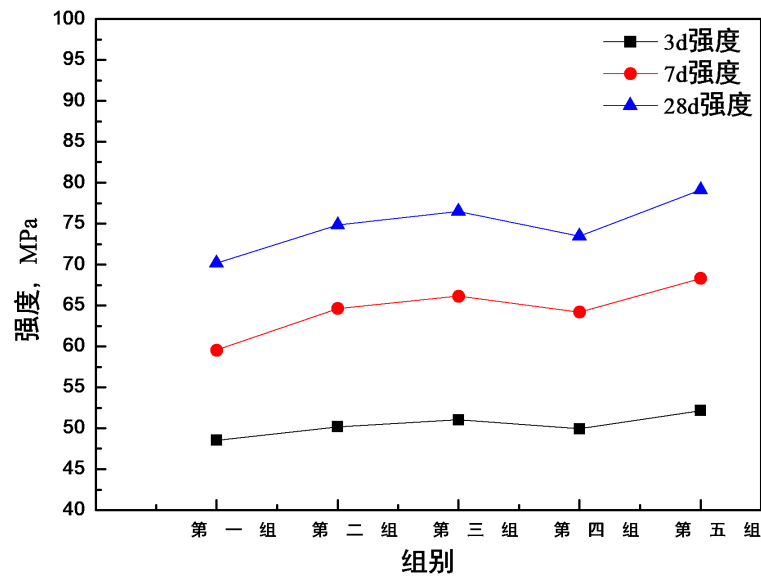


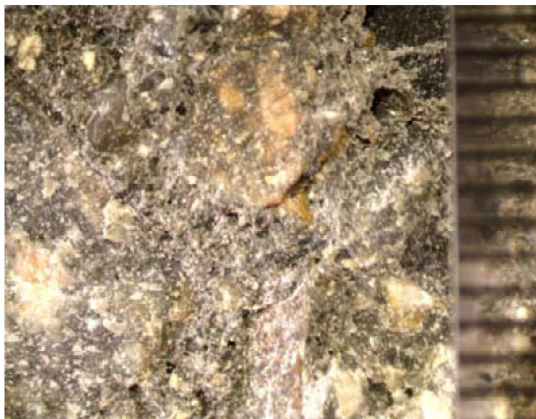
Figure 3. Effect of aggregate grade on strength of concrete at different ages

图 3. 骨料级配对混凝土不同龄期强度的影响

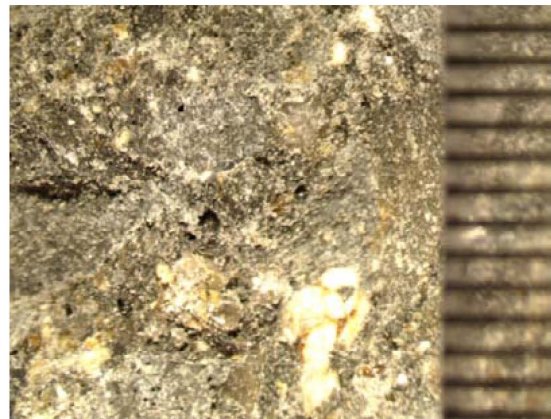
由图2可以看出,在保证集浆比不变的情况下,组合方式为三种粒级级配(三组,控制变量为中间粒级骨料掺量)的混凝土随着中间粒级含量的增加,流动性呈现上升趋势;在三种粒级级配的基础上增加一个粒级和两个粒级,使骨料的级配更趋近于连续,混凝土的流动性也逐渐上升。分析原因如下:随着中间粒级骨料含量的增加,骨料总比表面积降低,需水量减少,相同用水量情况下,混凝土拌合物流动性大。混凝土流动性有利于混凝土的自密实,并且有利于实际工程中混凝土的泵送。图3为五种配比混凝土不同龄期强度对比。对比图3和图2,可以看出,五组不同龄期的混凝土的强度变化趋势曲线与混凝土流动性的变化趋势曲线基本相似,也就是说,骨料级配对混凝土不同龄期强度的影响实际上是骨料级配对混凝土坍落度影响的直接结果。即由于骨料级配的变化导致流动性的变化,从而影响到不同龄期的强度。

4.2. 混凝土的抗压强度及微观形貌分析

混凝土压碎的碎块经过体视显微镜的测试微观形貌如图4。



A Group I: topography of 3d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:3:1
A 第一组 3d 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。
比例: 1:3:1



B Group II: topography of 3d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 2.5:6.5:1
B 第二组 3d 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。
比例: 2.5:6.5:1



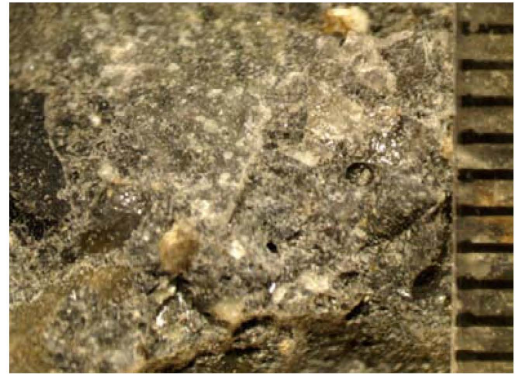
C Group III: topography of 3d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 2:7:1
C 第三组 3d 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。
比例: 2:7:1



D Group IV: topography of 3d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:1:3:1
D 第四组 3d 粗骨料粒径: 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 1:1:3:1



E Group V: topography of 3d
Grain size of the coarse aggregate: 19 mm, 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:1:1:3:1
E 第五组 3d 粗骨料粒径: 19 mm, 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 1:1:1:3:1



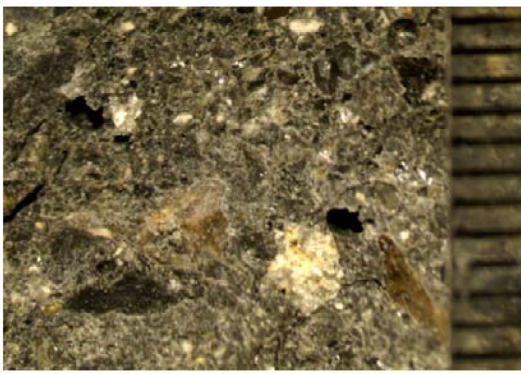
F Group I: topography of 28d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:3:1
F 第一组 28d 天 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 1:3:1



G Group II: topography of 28d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 2.5:6.5:1
G 第二组 28d 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 2.5:6.5:1



H Group III: topography of 28d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 2:7:1
H 第三组 28d 粗骨料粒径: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 2:7:1



I Group IV: topography of 28d
Grain size of the coarse aggregate: 16 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:1:3:1
I 第四组 28d 粗骨料粒径: 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 1:1:3:1



J Group V: topography of 28d
Grain size of the coarse aggregate: 19 mm, 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm. Scale: 1:1:1:3:1
J 第五组 28d 粗骨料粒径: 19 mm, 16 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm。比例: 1:1:1:3:1

Figure 4. Micro topography of concrete at 3d and 28d
图 4. 混凝土 3d、28d 的微观形貌图

由图 4 可以看出在集浆比不变的情况下, 组合方式为三种粒级的混凝土随着中间粒径含量的增加, 强度呈现上升趋势。在三种粒级级配的基础上增加一个粒级和两个粒级, 使骨料的级配更趋近于连续, 混凝土的强度也逐渐上升。其强度的变化规律与流动性的变化基本一致, 说明流动性的优劣与强度有关, 随着骨料流动性的提高, 骨料填充模具的能力越强, 混凝土就越密实, 强度就越高。

在图 4 中可以看出混凝土内部结构发展越密实, 水泥浆与骨料间的接触非常紧密, 并且可以看见大量的骨料, 所以其抗压强度能达到很高的值。

图中 28d 较 3d 的微观形貌更为密实, 随着时间的增长混凝土内部的化学反应进行得更加彻底, 进而导致混凝土越来越密实, 气孔越来越少, 强度越来越高。

5. 结论

本文研究骨料的各级配对比高强混凝土和易性以及不同龄期强度的影响, 根据实验研究得出以下结论:

- 1) 集浆比不变, 三组粒级粗骨料的混凝土随着中间粒径含量的增加, 混凝土的流动性和强度上升。
- 2) 集浆比不变, 在三组粒级粗骨料的基础上增加一组和两组骨料, 使骨料的级配趋于连续, 混凝土的流动性和强度上升。
- 3) 混凝土拌合物流动性越好, 填充模具能力越强, 混凝土就会越密实, 混凝土的孔隙率就越低, 原料间粘结程度就越好, 强度就越高。

参考文献

- [1] Fuller, W.B. (1907) The Laws of Proportioning Concrete. *Journal of Transportation Division*, **59**, 67-143. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0001979>
- [2] Bolomey, J. (1927) Determination of the Compressive Strength of Mortars and Concretes. *Bulletin Technique De la Suisse Romande*, No. 16, 22-24.
- [3] 彭祖强. 考虑骨料级配及密度的混凝土配合比设计研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [4] 董海英, 叶新. 不同级配及组合骨料的混凝土配合比研究及工程应用[J]. 云南水力发电, 2020, 36(9): 225-228.
- [5] 王婕, 杨建永, 张裕显, 刘建, 娄建新, 李俊. 骨料级配和粉煤灰掺量对透水混凝土性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2022(2): 13-17.
- [6] 袁文韬, 杨仕海, 刘东, 张武宗, 张远. 自密实混凝土骨料级配优化研究[J]. 新型建筑材料, 2021, 48(10): 70-74.
- [7] 刘艳军, 陈旭峰, 李胜, 周钰论. 骨料级配优化方法与新拌混凝土工作性设计[J]. 混凝土, 2020(12): 98-102.