

大理岩含石粉人工砂与混凝土耦合作用机制研究

谈安健

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘要:通过调配不同人工砂比例的混凝土试件并进行力学特性试验、XRD 图谱分析和 SEM 电镜扫描试验,探究了某水电站施工采用的混凝土中的含石粉人工砂与混凝土耦合作用机制及其对力学性能的影响。试验结果表明:随着人工砂含量的提高,混凝土力学强度逐渐提高,且以纯人工砂组的混凝土抗压性能和抗拉性能最好、结构较为密实,混凝土的整体力学性能得到了较大幅度的提升;并将力学试验结果与微观结构及成分分析测试结果进行了对比,进一步讨论了微观机理。

关键词:人工砂;天然砂;混凝土;力学性能;耦合作用机制;研究

中图分类号:TV7;TV42;TV22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)05-0092-04

Study on the Mechanism of Coupling Action Between Artificial Marble Sand Containing Stone Powder and Concrete

TAN Anjian

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610213)

Abstract: By blending concrete specimens with different proportions of artificial marble sand and conducting mechanical property experiments, through XRD pattern analysis and SEM electron microscope scanning experiments, the mechanism of coupling action between artificial sand containing stone powder and concrete as well as its impact on mechanical property are studied taking concrete used in one hydropower station as example. The experimental results show that the mechanical strength of concrete gradually increases with the increase of artificial sand content, and the compressive and tensile properties of concrete using pure artificial sand are the best, concrete using pure artificial sand is denser and the overall mechanical properties are greatly improved. Mechanical test results are compared with the microstructure and composition analysis test results, and the fine mechanism is further discussed.

Key words: artificial sand; natural sand; concrete; mechanical properties; mechanism of coupling action; study

1 概 述

混凝土是目前土木、水利水电工程建设中的重要建筑材料之一,在大量的基础设施建设中起着至关重要的作用。“砂是混凝土的主要骨架,由于天然砂分布不均衡、储量有限、不可再生等特点,人工砂代替天然砂成为了建筑行业的一种重要趋势”^[1,2]。“虽然我国对人工砂进行了大量的研究,并取得了一定的成果,但目前关于人工砂特性及其对拌和混凝土性能影响的认识仍存在明显的不足”^[3,4]。因此,开展不同岩性人工砂对水工混凝土的影响研究,对提高人工砂利用率与保证混凝土性能都具有重要的意义。

阐述了通过力学特性试验、XRD 图谱分析和 SEM 电镜扫描的方法比较了某水电站施工采用的混凝土原料中不同人工砂含量的混凝土在力学特性(抗压强度、抗拉强度)与电镜扫描试验中取得结果的差异。通过试验结果探究出人工砂含量对混凝土强度的影响规律,总结出某水电站施工采用的混凝土原料中的既能提高混凝土强度、又能在一定程度上保持其拌和流动性的最佳人工砂含量。介绍了所进行的研究过程。

2 力学性能试验

2.1 试验材料

试验采用峨胜 P·MH42.5 水泥,粉煤灰采用宣威 I 级粉煤灰。混凝土组成材料比例关系及用量见表 1。

收稿日期:2021-04-30

表1 混凝土组成材料比例关系及用量表

设计强度	水胶比	粉煤灰掺量 / %	砂率 / %	水 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	水泥 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	粉煤灰 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	砂 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	小石 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	中石 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	减气剂 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	引气剂 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
C30	0.45	35	37	118	170	92	753	651	651	2.1	0.039 3

为确保试验数据可靠,该试验根据人工砂与天然砂的不同比例分为5组,“每组按照国家规范《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2019^[5]制作尺寸为150 mm×150 mm×150 mm的立方体标准试件6个。试验过程中,根据混凝土拌和情况将每组的材料用量均进行了1.2倍量的扩大,人工砂掺量分别为100%、75%、50%、25%、0,并将细骨料的石粉含量控制在20%左右。

2.2 制备混凝土

混凝土拌制采用人工拌和,其制备流程^[6]为:

(1)人工拌和在钢板上进行,将称量好的水泥和掺合料(粉煤灰)预先拌制均匀,再掺入按不同比例计算的人工砂与天然砂,翻拌至颜色均匀后放入称量好的小石、中石,按要求翻拌后堆成锥形,并将中间扒成凹坑。

(2)将事先称量好的减气剂、引气剂和水混合,加入料堆中,翻拌均匀。

(3)将拌和均匀的混凝土拌和物分层倒入标准立方体模具中,按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣,同时用抹刀沿试模内壁插入数次以保证试件边壁平整,振捣均匀后将表面沿模口抹平,得到新拌制的混凝土试件。

将新拌制的混凝土试件按照规范在20℃的室内静置24 h后拆模编号,其后将编号后的试件放入标准养护室中养护,养护28 d后取出,试验编号分别为J-100、J-75、J-50、J-25、J-0。

2.3 试验内容

(1)抗压性能检测试验。抗压强度试验按国家规范《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2002进行,采用标准试验方法并按规定的计算方法得到试验强度值。所选取的试验编号为J-100-(1~3)、J-75-(1~3)、J-50-(1~3)、J-25-(1~3)、J-0-(1~3)。

(2)抗拉强度检测试验。抗拉强度试验按国家规范《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T

50081-2002进行,采用劈裂法测定混凝土的抗拉强度。所选取的试验编号为J-100-(4~6)、J-75-(4~6)、J-50-(4~6)、J-25-(4~6)、J-0-(4~6)。

(3)XRD图谱分析及SEM电镜扫描。将压碎后的试件按照检测要求制备并进行XRD图谱分析及SEM电镜扫描分析。

2.4 力学试验结果分析

各组混凝土试件的抗压强度和抗拉强度与人工砂百分比之间的力学试验结果见图1。

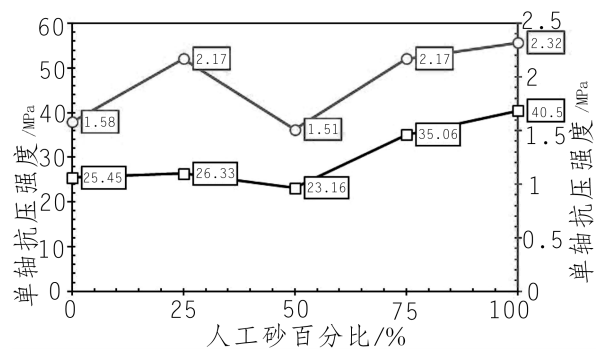


图1 力学试验结果图

从试验结果可以看出:在配合比相同的情况下,混凝土的抗压强度、抗拉强度随人工砂含量的增大而增大,人工砂含量的提升可以对混凝土性能起到一定的改善作用。

3 微观结构与化学组成分析

3.1 XRD 试验结果

通过X射线衍射仪(XRD)对某水电站人工砂样品进行了X射线衍射,分析其衍射图谱并获得材料构成物化学成分分子式以及含量百分比。某水电站人工砂样品的化学成分含量百分比见表2。

表2 某水电站人工砂样品的化学成分含量百分比表

成分	分子式	半定量百分比 / %
白云石	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	85
方解石	CaCO_3	7
石英	SiO_2	2
钠长石	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	6

由表2可知:某水电站人工砂样品的主要成分为白云石以及少量的方解石、石英和钠长石。从成分组成看,某水电站人工砂样品系由大理岩制备而成。

通过X射线衍射仪(XRD)对五组含有不同质量百分比大理岩人工砂的混凝土试样进行X射线衍射,分析其衍射图谱并获得材料构成物化学成分的分子式及含量百分比,各混凝土样品主要成分差异见图2。检测得知:各组混凝土组成材料基本一致,主要成分为石英、白云石、钠长石、方解石、微斜长石并存在少量的黑云母与斜绿泥石。

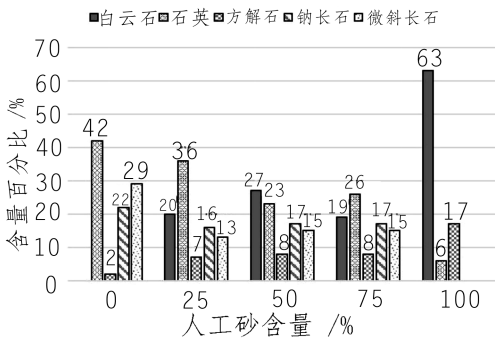


图2 各混凝土样品主要成分差异图

从图2可以看出:纯天然砂组的主要成分为石英、钠长石和微斜长石以及少量的方解石与黑云母;纯人工砂组的主要成分为白云石、方解石和钙十字沸石-钾,以及少量的石英与黑云母;其余三组天然砂与人工砂混配的混凝土试件含有少量的斜绿泥石。对于五组混凝土试件来说,黑云母和斜绿泥石的含量相对较少。

随着大理岩人工砂质量百分比的增加,混凝土试件中白云石和方解石的含量越来越多。方解石是混凝土试件在养护过程中空气中的 CO_2 与试样中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 发生反应生成的碳化产物(CaCO_3 或 $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$)。大量碳化产物的填充使混凝土试件结构更加致密,吸水率降低。但过量的方解石会降低混凝土结构的耐久性,容易导致钢筋锈蚀。

同时,随着大理岩人工砂质量百分比的增加,混凝土试件中石英和方解石的含量越来越少。虽然在一定范围内石英含量的增加会使水灰比减少,导致水泥水化后留下的孔隙减少,提高了固相

基体的连续性,进而使混凝土性能得到了改善与提高。但如果石英含量继续增加,则会降低水泥浆的和易性,进而降低混凝土的均匀性和密实性,其强度反而降低。

纯人工砂组主要成分中的钙十字沸石-钾是沸石的一种,其化学组成为 SiO_2 和 Al_2O_3 。一方面,在碱性激发下,沸石能与水泥水化时析出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成水化硅酸钙凝胶体,促进水泥水化反应的进行;另一方面,沸石本身具有网格状结构,其内部充满大小均匀的孔穴和通道并具有很大的开放性,大理岩人工砂经机器磨细后具有较大的比表面积,自然状态下能吸附大量的水分子和气体并与大气相对湿度平衡。当将其掺入混凝土时可吸收混凝土中多余的拌和用水,克服混凝土经时泌水性,使混凝土黏性增加,集料裹浆量提高,因而能改善混凝土的工作性能。

3.2 混凝土试件微观结构分析

基于某水电站施工混凝土配合比,五组含有不同质量百分比大理岩人工砂的混凝土试件的SEM照片见图3。

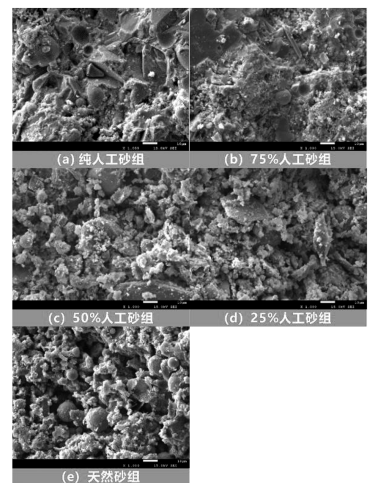


图3 混凝土试件的SEM照片

对比了五组混凝土试件样品的电镜扫描图以及所对应的抗压性能和抗拉试验结果,基于微观表面形态分析了大理岩人工砂对混凝土试件力学性能的影响。从1000倍放大镜头下微观结构的密实程度看,纯人工砂混凝土>天然砂与人工砂质量比为1:3的混凝土>天然砂与人工砂质量比为3:1的混凝土>纯天然砂>天然砂与人工

砂质量比为1:1的混凝土。从针状晶粒体的发育情况看,当人工砂质量百分比大于50%时,针状晶粒体开始明显发育。同时,随着大理岩人工砂质量百分比的增加,针状晶粒体越发育,但其在1000倍放大镜头下表现的并不明显。五组混凝土试件都观察到有大小不一的球状物体存在。结构密实程度的观察结果与力学性能测试结果基本一致:天然砂组与人工砂质量比为1:1组的混凝土结构最为松散,孔隙最多。天然砂与人工砂质量比为3:1组与纯天然砂组虽然孔隙间发育有颗粒状物质,但掺有人工砂的天然砂与人工砂质量比为3:1组的颗粒状物质发育程度更好。纯人工砂组与天然砂与人工砂质量比为1:3组基本为块状物质与球状物质,孔隙较少,结构较为密实。

4 结 语

基于某水电站施工采用的混凝土配合比得出以下结论:含纯大理岩人工砂混凝土标准试件的抗压强度均值与抗拉强度均值最大。而根据对混凝土试件进行的微观结构与化学成分分析得知:纯天然砂组的孔隙是由球状粉煤灰以及周围的氢氧化钙结晶发生火山灰反应生成具有胶凝性质的产物填充;纯大理岩人工砂组的孔隙是由原有的辉石填充。人工砂组的孔隙

(上接第77页)

国铁路混凝土结构建造技术作出贡献。

参考文献:

- [1] 王子龙, 白银, 丁建形, 等. 基于X射线衍射法的人工骨料中云母含量分析方法[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 150-153.
- [2] 徐振山, 魏军. 复杂环境提升混凝土耐久性的施工技术探讨[C]//“川藏铁路建设的挑战与对策”2016学术交流会议论文集. 2016.
- [3] 李雪峰, 付智, 罗翥, 等. 高原低气压环境对新拌混凝土含气量的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(5): 1046-1051.
- [4] 曹庆朋. 氟碳涂料在整治高原冻土地地区铁路桥梁墩台身混凝土病害中的应用[J]. 交通世界(建养. 机械), 2012, 29(3): 153-155.
- [5] 周有禄, 熊治文, 牛东兴, 等. 高寒地区桥墩混凝土开裂原因及修补材料研究[J]. 铁道建筑, 2015, 55(9): 38-40.
- [6] 李家正, 石妍, 杨华全. 骨料品种对混凝土体积变形特性

发育有片状物质,结构最为密实,对混凝土力学性能有明显提升作用。

综合力学性能测试、XRD图谱分析和SEM电镜扫描的结果看:纯大理岩人工砂组的抗压性能和抗拉性能最好。由此可见,在制备混凝土时应合理考虑大理岩人工砂的含量,适当增大大理岩人工砂的比例对保证混凝土强度及建筑结构安全具有至关重要的作用。

参考文献:

- [1] 陈家珑. 人工砂—新型建筑用砂[J]. 新型建筑材料, 2002, 29(6): 32-34.
- [2] 刘志和, 刘金明. 水利水电工程施工技术全书(第三卷)混凝土工程(第三册)混凝土骨料生产[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.
- [3] 阮光华, 主编. 混凝土骨料制备工程[M]. 北京:中国电力出版社, 2014.
- [4] 唐静. 人工砂混凝土收缩性能及耐久性研究[D]. 重庆大学, 2012.
- [5] 混凝土物理力学性能试验方法标准, GB/T 50081-2019[S].
- [6] 张光碧, 董建华. 建筑材料(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2019.

作者简介:

谈安健(1975-),男,重庆南川人,高级工程师,从事水电、市政工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)

的影响研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(6): 16-19.

- [7] Fulton's Concrete Technology. Eds B. J. Addis and G. Owens, 8th ed., Midrand: Cement and Concrete Institute, 2001.
- [8] 张艳聪, 高玲玲, 田波. 粗集料对水泥混凝土热工参数的影响[J]. 公路, 2013, 9(4): 37-41.
- [9] 周平, 王志杰, 杨跃, 等. 玄武岩纤维喷射混凝土在热害环境下的性能试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2016, 38(1): 69-76.
- [10] 周志东, 刘春文, 王位. 西藏高寒地区混凝土的耐久性问题及对策[J]. 水利水电技术, 2013, 44(3): 82.
- [11] 田正宏, 边策, 毛龙, 等. 混凝土振捣动态可视化监测系统开发研究[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(3): 508-513.

作者简介:

许文英(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事混凝土材料研究。

(责任编辑:李燕辉)