

高强泡沫混凝土性能的研究

刘春娥¹ 刘威江² 李亚飞³ 张晓东¹

1.黑龙江工业学院 黑龙江 鸡西 158100

2.鸡西市设计院 黑龙江 鸡西 158199

3.中交(天津)轨道交通工程建设有限公司 天津 300060

【摘要】：随着土木工程的发展，土木工程材料在不断进步，而每一次材料的进步，都促使了土木工程的巨大变革。十九世纪初硅酸盐水泥的诞生，促使了近代土木工程材料的蓬勃发展。十九世纪中期，钢筋混凝土开始问世。十九世纪后期，美国纽约建造了首幢钢筋混凝土的建筑，开启了建筑的新历史。二十世纪上半叶，预应力混凝土开始出现，是混凝土技术的一大突破。而后，混凝土中开始掺入外加剂，这可以提高混凝土的性能，如今在混凝土中掺入外加剂已经屡见不鲜。泡沫混凝土是一种混凝土掺入外加剂的典型代表，它将用发泡剂通过发泡机制备好的泡沫加入到搅拌均匀的水泥砂浆中继续搅拌，并将搅拌均匀的泡沫水泥浆在适宜条件下进行养护，最后制备出一种内部含有大量气孔的新型保温建筑材料。文章在此基础上进行了一定研究。

【关键词】：混凝土；土木工程；材料发展

从历史上看，两千多年前，罗马人第一次观察到，在砂浆中加入动物的血液并搅拌它，就会产生小的气泡，形成一种多孔的混凝土，这种混凝土的工作性比原来的石灰砂浆混合物更好，这就是 FC 的雏形。从十九世纪初开始，逐渐出现了对 FC 的研究，瑞典率先把 FC 应用到了保温材料中去，并对 FC 展开了初步的研究。1923 年，Axel Eriksson 获得第一批以硅酸盐水泥为基础的 FC 的专利，并首次投入使用，主要是用作保温材料。此后，FC 吸引了世界的目光，很多的科学家对 FC 技术做出了积极的研究，FC 的发展在这时达到了一个高峰。这个时期的 FC 依然大部分应用于建筑保温材料，但是生产的技术已经比较成熟。而前苏联在这方面的技术最为成熟，20 世纪 30 年代开始，前苏联在国内开设了很多生产 FC 的工厂，在世界范围内最早出台了关于 FC 的标准。当 FC 在前苏联得到了广泛使用后，前苏联把这项技术传播到了世界各国，从此 FC 得到了更好的发展。FC 的物理性能、组成和制造等方面的综合研究始于 20 世纪 50 年代和 60 年代，此时，FC 开始不只应用在保温材料上。最初 FC 开始用于空隙填充和地基稳定，后来被广泛用作建筑材料。

1 研究背景

在过去的 20 年多年来，随着生产设备的大幅改进和高效减水剂的不断改进，使 FC 得到了更大的应用，为了使 FC 能在结构中应用，人们对 FC 的特性和性能进行了全面的研究，从而研制出可应用于结构的高强 FC。到目前为止，一些研究人员报道了 FC 具有低密度等优良性能，在结构中应用有利于降低结构静载、基础尺寸、人工、运输和运营成本。此外，由于 FC 的结构特性，提高了材料的耐火性、导热性

和吸声性，使得建筑的耐火性和保温性更好。

FC 在地板隔音保温、平顶、单斜、双斜屋面的保温、回填、空腔充填、砌体灌浆、砌块和墙板生产、保温、整体低层及独立房屋建筑、桥台路基维护和地面稳定等方面有着广泛的应用。尽管 FC 具有很好的性能，但在北美、澳大利亚、欧洲和非洲，对 FC 的使用率分别为 5.6%、5.6%、33.3% 和 5.6%。因此，人们很清楚地看到，FC 对建筑行业的贡献没有得到很好的承认，最主要是当时人们对材料缺乏认识，缺乏对所需技术的信心。

中国对 FC 的研究始于上个世纪 50 年代，当时是由前苏联传至中国，但由于历史的原因，FC 的发展受到了限制。直到 80 年代改革开放后，FC 才开始在广东区域被用于屋面保温材料，再从南方区域逐渐扩大至北方区域。从 90 年代开始，FC 应用在建筑及岩土工程回填和地面保温的技术在中国得到发展，现如今，这两项技术已在中国得到了广泛的应用。而从二十一世纪以来，中国也开始了对 FC 更广泛的研究，对应用于结构的高强 FC 的研究也越来越多。并且，近些年来中国对 FC 的研究越来越深入，在某些方面的研究也处于世界领先。然而，FC 也存在着许多不足之处：强度低，吸水率和存水率大，开裂严重，收缩率大等。其中强度低和收缩率大是其主要的不足之处，所以提高 FC 的强度和降低其收缩率，对拓宽 FC 的应用有着积极的意义。

2 研究内容

本文利用 OPC、SAC、普通硅灰、纳米二氧化硅、粉煤灰、石灰粉、石英砂、发泡剂、减水剂等制备密度为 1600kg/m³

的FC。首先,改变FC的普通硅灰、粉煤灰、石灰粉、水胶比四个参数,利用正交试验设计法,测试不同试件的抗折抗压强度,得出四个掺合料的最佳配比。然后,在这个最佳配比的基础上,设置单掺试验,改变普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC的掺量,测试不同配比的试件的抗折抗压强度、自收缩值、干燥收缩值,用扫描电子显微镜和非金属超声波检测仪研究其强度和收缩值变化的机理。水胶比取0.18、0.22、0.26,普通硅灰掺量取10%、15%、20%,石灰粉掺量取1%、1.5%、2%,粉煤灰掺量取15%、20%、25%,砂胶比取1,减水剂掺量取1%,设计密度为1600kg/m³的九组FC配比,测试各个配比的抗折抗压强度,并采用极差分析,找出最优配比。

(1) 硅灰对高强FC力学性能和收缩性能的影响在最优配比的基础上,改变其中普通硅灰的掺量,掺入5%、10%、15%、20%、25%的普通硅灰,以及把普通硅灰改为纳米二氧化硅,掺入1%、2%、3%、4%、5%的纳米二氧化硅。首先研究不同普通硅灰和纳米二氧化硅掺量对FC的抗折抗压强度的影响并比较掺入普通硅灰和纳米二氧化硅的差别,其次研究不同普通硅灰和纳米二氧化硅掺量对FC自收缩值和干燥收缩值的影响并比较掺入普通硅灰和纳米二氧化硅的差别,然后利用扫描电子显微镜,观察不同掺量普通硅灰和纳米二氧化硅的FC的微观结构,研究微观结构与FC强度和收缩值的关系并比较掺入普通硅灰和纳米二氧化硅的差别,最后利用非金属超声波检测仪,研究不同普通硅灰和纳米二氧化硅掺量的FC的超声波速度,探究FC强度与超声波速度的关系并比较掺入普通硅灰和纳米二氧化硅的差别。

(2) 石灰粉对高强FC力学性能和收缩性能的影响在最优配比的基础上,改变其中石灰粉的掺量,掺入1%、1.5%、2%、2.5%、3%的石灰粉。首先研究不同石灰粉掺量对FC的抗折抗压强度的影响,其次研究不同石灰粉掺量对FC自收缩值和干燥收缩值的影响,然后利用扫描电子显微镜,观察不同掺量石灰粉的FC的微观结构,研究微观结构与FC强度和收缩值的关系,最后利用非金属超声波检测仪,研究不同石灰粉掺量的FC的超声波速度,探究FC强度与超声波速度的关系。

(3) SAC对高强FC力学性能和收缩性能的影响在最优配比的基础上,用SAC替代OPC,掺入10%、20%、30%、40%、50%的SAC。首先研究不同SAC掺量对FC的抗折抗压强度的影响,其次研究不同SAC掺量对FC自收缩值和干燥收缩值的影响,然后利用扫描电子显微镜,观察不同掺量SAC的FC的微观结构,研究微观结构与FC强度和收缩值的关系,最后利用非金属超声波检测仪,研究不同SAC掺量的FC的超

声波速度,探究FC强度与超声波速度的关系。

3 试验方案

本文设定FC的干密度为1600kg/m³,并利用水泥、硅灰、石灰粉、粉煤灰、石英砂、减水剂、发泡剂等原材料制备FC。为了研究普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC替代硅酸盐水泥的比例对高强FC的影响,必须要通过抗折抗压强度来确定FC的最优基准配比,在此基础上改变各掺合料的掺量。因为高强FC的低水胶比,本文设定加入1%的高效减水剂。又通过前人的研究,确定了高强FC的砂胶比为1.0。而水胶比、普通硅灰掺量、石灰粉掺量、粉煤灰掺量则还需要试验确定。正交试验是研究多因素多水平的一种设计方法,可以大大减少试验的工作量,是一种高效快速的设计方法。根据正交试验设计理论,采用四因素三水平正交设计法,水胶比取0.18、0.22、0.26,普通硅灰掺量取10%、15%、20%,石灰粉掺量取1%、1.5%、2%,粉煤灰掺量取15%、20%、25%。在砂胶比为1,减水剂掺量为1%的情况下,设计密度为1600kg/m³的九组FC配比,测试各个配比的抗折抗压强度,并采用极差分析,找出最优配比。通过FC抗折抗压试验,得出各配合比的抗折抗压强度。

4 结语

目前,高强泡沫混凝土越来越受到人们的关注。FC是一种经济、环保的绿色材料,以其质轻、保温隔热、减震、防火等特性,被广泛应用于民用建筑、地下工程、市政工程、体育和军事等诸多领域。但是,FC也存在许多不足,强度低、收缩率高是其主要缺点,因此提高FC强度、降低FC收缩率,对于拓展FC的应用有着积极的意义。本文主要探究高强FC的力学及收缩性能,用普通硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、普通硅灰、纳米二氧化硅、粉煤灰、石灰粉、石英砂、发泡剂、减水剂等制备密度为1600kg/m³的FC。首先,改变FC的普通硅灰、粉煤灰、石灰粉、水胶比四个参数,利用正交试验设计法,测试不同试件的抗折抗压强度,得出四个掺合料的最佳配比。然后,在这个最佳配比的基础上,设置单掺试验,改变普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC的掺量,测试不同配比试件的抗折抗压强度、自收缩值、干燥收缩值,用扫描电子显微镜和非金属超声波检测仪研究其强度和收缩值变化的机理,得出以下结果:

(1) 研究了密度为1600kg/m³的FC,在综合考虑28d抗折和抗压强度基础上,得出了最优配合比为:水胶比0.22,普通硅灰掺量15%,石灰粉掺量2%,粉煤灰掺量25%。在最优配合比条件下,FC的7d和28d抗折强度分别为6.6MPa和8.7MPa,抗压强度分别为21.7MPa和32.8MPa,72h自收

缩值为 741.2×10^{-6} , 56d 干燥收缩值为 862.5×10^{-6} 。在水胶比、普通硅灰掺量、石灰粉掺量、粉煤灰掺量四个因素中,对 28d 抗折强度影响从大到小的顺序为:普通硅灰、水胶比、石灰粉、粉煤灰;对 28d 抗压强度影响从大到小的顺序为:水胶比、石灰粉、粉煤灰、普通硅灰。

(2) 随着普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 掺量的增加,FC 的抗折和抗压强度都先增大后减小。当普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 的掺量分别为 15%、4%、2%、10%时,FC 的抗折和抗压强度最大。说明掺入适量的普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 能有效提高 FC 的抗折抗压强度。在加入普通硅灰和纳米二氧化硅的 FC 的抗折抗压强度均达到最大值时,纳米二氧化硅的添加量比普通硅灰少 73.3%,但其强度高于添加普通硅灰的 FC。

(3) 随着普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 掺量的增加,FC 的自收缩值先减小后增大,干缩值先增大后减小。

当普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 的掺量分别为 15%、4%、2%、10%时,FC 的自收缩和干燥收缩值达到极值。而掺入 4%纳米二氧化硅的 FC 比掺入 15%普通硅灰的 FC 的收缩值更大。

(4) FC 的微观结构随普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 的添加量而变化,强度越高的 FC 的孔隙越小,未水化颗粒越少,C-S-H 凝胶越多,钙矾石越致密,结构越致密。当普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 的掺量分别为 15%、4%、2%、10%时,FC 的微观结构最好。掺入 4%纳米二氧化硅的 FC 比掺入 15%普通硅灰的 FC 具有更好的微观结构。

(5) FC 的超声波速度和它的强度有较强的关联性,FC 的强度越大,超声波速度越大。当普通硅灰、纳米二氧化硅、石灰粉、SAC 的掺量分别为 15%、4%、2%、10%时,FC 的超声波速度最大。掺入 4%纳米二氧化硅的 FC 比掺入 15%普通硅灰的 FC 的超声波速度更快。

参考文献:

- [1] 周明杰,王娜娜,赵晓艳等.泡沫混凝土的研究和应用最新进展[J].混凝土,2009,4:104-107.
- [2] 李楠.防水隔热泡沫混凝土的研究与应用[J].国外建材科技,2006,27(4):9-13.
- [3] 王伟,熊传胜.泡沫混凝土的研究现状[J].科技信息,2009,25:7-8.
- [4] 余红发,胡仁.蛋白质型发泡剂的性能研究[J].新型建筑材料,1994,12:30-32.

项目来源于《2021 年度黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目,编号 2021-KYYWF-11676,高强泡沫混凝土性能的研究》。