

# 含泥量对黄河超细砂制备人工防汛石强度的影响

范培硕\*, 徐莉蓉, 赵阳, 杨永香

(华北水利水电大学地球科学与工程学院, 河南 郑州 450045)

**摘要** 黄河超细砂的资源利用是解决“地上悬河”的有效途径, 其中一种可行的方法是制作人工防汛石, 但因黄河超细砂的含泥量过高, 会影响防汛石的强度。为了研究黄河超细砂含泥量对防汛石工作性能、力学性能的影响, 通过筛分黄河砂再混合从而改变含泥量, 同时也研究了活性物质硅灰对原状黄河砂制备防汛石的强度影响。结果表明: 黄河超细砂不可直接用于人工防汛石, 通过添加 10% 的硅灰可以满足防汛石的强度要求; 随着含泥量的减少, 强度逐渐提高, 影响强度的主要原因是泥的增加使水化反应不充分, 结构性变差且空隙变大。

**关键词** 人工防汛石; 含泥量; 抗压强度; 流动度

中图分类号: TV8

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)05-0007-03

黄河是中国人的母亲河, 是中华文明最主要的发源地, 然而由于每年携带大量的泥沙流向下流, 给两岸人民造成了严重的危害<sup>[1]</sup>。要治理黄河就要先治理泥沙, 郑州段花园口黄河砂的含泥量高达 75% 以上, 含泥量 (天然砂中粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量<sup>[2]</sup>) 是影响混凝土和砂浆强度的重要因素, 泥的增加还会增大混凝土中的空隙和毛细孔的孔径<sup>[3]</sup>, 削弱混凝土和钢筋的粘结力, 促进混凝土干缩<sup>[4]</sup>。洗砂会浪费大量的人力物力, 并且会洗掉 75% 以上的砂, 破坏了原有的级配, 经济效益非常低, 因此研究黄河砂的含泥量对于黄河砂的资源利用有着尤为重要的作用。郭磊等<sup>[5]</sup>研究了胶凝砂砾石含泥量对强度的影响, 认为含泥量小于 10% 才能保证试块强度, 并用 SEM 电镜扫描分析了含泥量对结构的影响。吴永根等<sup>[6]</sup>研究了含泥量对干硬性水泥胶砂性能影响, 总结出了细骨料含泥量控制在 2% 左右以内有利于混凝土强度和耐久性的提高。陈建斌<sup>[7]</sup>在研究中分析了 0%、2%、4%、6%、8%、10% 含泥量对混凝土性能的影响, 认为含泥量在 0%~2% 时对混凝土影响最小, 却忽视了更高含泥量对混凝土的影响, 黄河上游和下游河砂组成占比有明显差异, 由于黄河干流上大型水库对水沙的年内调节等因素使得上游河砂粒径值要大于下游河砂粒径值, 因此要充分考虑到地区不同导致的含泥量不同<sup>[8]</sup>。黄河超细砂的资源利用得到了专家学者的充分重视, 对黄河超细砂的

物理性能、工艺性能进行了较系统的研究, 收获了大量的成果, 如墙体砖、空心砖、内燃烧结砖、蒸养砖、免蒸免烧砖, 黄河淤泥黑陶、彩陶制品、多孔材料, 黄河泥沙保温隔热材料的研究及黄河砂在日用陶瓷及玻璃工业中的应用等<sup>[9]</sup>, 但是现在还没有大规模应用, 仍在理论阶段。有学者提出利用黄河超细砂制作防汛石, 例如张婧芃等采用黄河超细砂为原料, 利用半干压法成型制作人工烧结备防石<sup>[10]</sup>; 王萍等以添加物为黄河超细砂、水泥, 粉煤灰等, 利用碾压混凝土技术成型制作防汛石<sup>[11]</sup>; 张金升等以黄河泥沙为主要原料, 采用压力成型、高温烧结等方法, 制备出了综合性能优于天然青石料的人工备防石<sup>[12]</sup>。这些均为黄河超细砂制作防汛石提供了参考。

本研究以黄河超细砂作为细骨料, 以水泥为胶结物质, 利用固结胶凝技术制作人工防汛石, 含泥量过高会严重影响人工防汛石的性能, 因黄河超细砂含泥量存在区域差异性, 因此以郑州段黄河超细砂 75% 含泥量为初始, 20% 含泥量为改变量, 来研究高含泥量对人工防汛石的性能影响, 为以后利用黄河超细砂制作人工防汛石提供参考。本研究选择用砂浆来研究黄河超细砂含泥量对人工防汛石强度的影响。通过筛分黄河砂, 再按照既定的含泥量来重新配比混合, 制作出不同的含泥量的黄河砂, 研究不同含泥量对砂浆工作性能、力学性能的影响, 为治理黄河、充分利用黄

\*本文通讯作者, E-mail: fanps1997@126.com。

河砂提供理论依据。

## 1 材料及试验方法

### 1.1 原材料

实验所用的水泥为河南省新乡市新星水泥有限公司出品的P.O42.5级普通硅酸盐水泥。细骨料采用的是黄河超细砂,粒径大于0.075mm采用筛分法,小于0.075mm采用比重计法,对黄河郑州段的土壤进行颗粒分析;添加剂为上海臣启化工生产的西卡牌325C型聚羧酸减水剂,掺量为胶凝材料质量的0.5%;硅灰由石家庄亿田矿产生,硅含量93%;用水为河南省郑州市本地自来水。

依据《砌筑砂浆配合比设计规程》JGJ/T98-2010砂浆的密度取 $\rho=1980\text{kg/m}^3$ ,水胶比为1.55。计算得砂浆配合比确定为: $M_{co}:M_{so}:M_{wo}=1:4.91:1.55$ 。砂浆每立方米用料量为水泥260kg,黄河砂1277kg,水404kg。

### 1.2 试验方法

试验采用液塑限联合测定法对黄河超细砂的液限和塑限进行测定,选取200g黄河砂,每次添加纯水改变含水量,使其接近于液态,固态的含水率。含泥量是天然砂中粒径小于0.075mm的颗粒含量,通过级配曲线可以得到黄河砂的含泥量为75%,进行制样前先对黄河砂进行处理,将0.075mm的筛子置于电动筛土机上进行分离处理,然后再按照含泥量不同将两种粒径的土混合在一起进行试样的制备。

实验采用《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70-2009,分别制作试块大小为70.7mm×70.7mm×70.7mm的立方体样进行抗压、抗拉强度实验,根据《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》GB 17671-2021,试块大小为40mm×40mm×160mm的长方形样进行抗折强度试验,成型脱模后放入养护箱中养护28天,每组三块,进行抗压强度、抗折强度、抗拉强度试验。

随机取大小为 $1\text{cm}^3$ 的抗压样的碎块进行SEM电镜扫描,所观测样品较平整,实验前进行喷金处理。

### 1.3 实验方案

本实验通过改变含泥量来测试含泥量对砂浆试样强度的影响,通过筛分法将原状黄河砂筛分为0.075mm以上及以下,再重新混合以配制不同含泥量的黄河砂,再分别制作含泥量为0%、15%、35%、55%、75%的砂浆试样,测试砂浆的抗压强度、抗拉强度、抗折强度。水胶比为1.55,砂灰比为4.91。其中在含泥量75%的黄河砂中添加硅灰,硅灰用量分别为胶凝物质质量的

5%、10%、15%。硅灰是一种非常活泼的火山灰材料,因为它的极细和非常高的非晶二氧化硅含量。硅灰的颗粒极细,95%以上的硅灰颗粒小于 $1\mu\text{m}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 含泥量对抗压强度的影响

随着含泥量的降低,抗压强度逐渐增大,含泥量从75%降低到0%时,抗压强度分别上升了9.35%、26.30%、43.03%、78.23%。含泥量0%比15%的砂浆抗压强度上升幅度大81.8%,原因可能是当含泥量很高时,小于0.075mm以下的砂会吸附大量的水,导致水泥的水化反应不充分,内部气泡增加,空隙增大,密实度降低,含泥量高的砂浆水泥包裹泥的含量越多,削弱了水泥与细骨料的粘结力,形成粘结力弱化区,从而导致砂浆的强度降低<sup>[13]</sup>。随着含泥量的减少,泥对水泥表面的结构破坏较小,对抗压强度影响也较小。为保证备用的防汛石在抛投时的基本完整性,对于抗压强度的要求为大于10MPa,含泥量0%的砂浆抗压强度为9.85MPa,郑州段原状黄河砂抗压强度为5.21MPa,含泥量为0%可以达到防汛石的抗压强度要求。但是洗砂会浪费大量的人力物力,经济效益低。

在细骨料的含泥量为75%时,随着硅灰的增加,砂浆强度逐渐提高,当硅灰用量增加到15%时强度变化不明显。当硅灰用量为5%时,抗压强度提高了31.29%;当用量提升到10%时,强度提高了94.6%,大于10MPa,满足防汛石的抗压强度要求。但是硅灰含量15%时强度较10%的砂浆并没有明显变化,原因可能是在水灰比一定的前提下,水不仅要用于水泥的水化反应,还要用于硅灰的反应,当硅灰含量过高时硅灰大部分发生反应,导致胶凝材料没有足够的水发生反应,所以强度没有提高<sup>[14]</sup>。总的来说硅灰提高强度的原因可能是硅灰填充了水泥颗粒间的空隙,使胶凝材料具有良好的级配,硅灰的充填效应使水泥石更加密实,降低了孔隙的总体积,导致了砂浆的强度提高<sup>[15]</sup>。对比于洗砂,通过添加硅灰来提高强度具有明显的优异性,操作简单,用量较少,只需要10%即可满足强度要求,节省了洗砂的人力物力,加快了工期,具有较高的经济效益。

### 2.2 含泥量对砂浆应力应变的影响

随着含泥量的减少,应力峰值逐渐增加,破坏时的应变也原来越小,砂浆的破坏模式发生了显著变化。可以观察到,0%含泥量的砂浆在承受荷载后,在约0.5%

的应变下迅速达到峰值应力, 应力应变曲线斜率较高。在破坏时, 由于倾斜剪切破坏界面的可能相对滑动, 砂浆伴随着一些剥落, 顶部和底部的锥形破坏面近似对称<sup>[16]</sup>。0% 含泥量的砂浆具有脆性材料的明显特征。75% 含泥量的砂浆具有良好的完整性, 在失效时没有明显的剥落, 并且应力应变曲线斜率较低, 失去了它原有的弹性。相比较于 0% 含泥量的砂浆, 可以得出含泥量增加会增加砂浆的塑性。

### 2.3 含泥量对抗折强度、抗拉强度的影响

含泥量从 75% 降低到 0% 时, 抗折强度分别增加了 5.1%、11.76%、20%、34.5%; 抗拉强度分别增加了 8%、22.22%、34.22%、42.67%。在含泥量相同时, 抗拉强度的增长率比抗折强度的增长率更高一些, 表明砂浆的抗拉强度对于含泥量的改变来说更敏感<sup>[17]</sup>。强度增长的原因因为含泥量较高的颗粒较细, 总表面积较大, 则砂浆中需要包裹泥砂粒表面的水泥浆更多, 因此在水泥量一定的情况下, 泥的含量过多降低了细骨料与水泥石之间的黏结力, 更主要的是降低了水泥对粗砂的握裹力, 骨架支撑作用较弱, 拌和物受力较差, 导致强度越来越低, 相反的, 含泥量低的砂浆强度越来越高。

## 3 结论

本实验研究了含泥量对黄河超细砂的性能影响, 进而反映了超细砂含泥量对人工防汛石的强度影响, 用 SEM 电镜扫描分析了增加含泥量强度下降的原因, 并讨论了因不同区域导致的不同含泥量对人工防汛石的强度影响, 并对细骨料为郑州段黄河超细砂的砂浆添加硅灰来研究强度的变化, 以满足人工防汛石的强度要求, 得出以下结论:

1. 在水灰比一定的情况下, 含泥量由 75% 降低到 0% 时, 抗压强度、抗折强度、抗拉强度均有不同程度的增强, 其中 15% 到 0% 含泥量的砂浆抗压强度增长速率最大, 含泥量对砂浆强度影响较为明显。随着含泥量的降低, 砂浆的弹性、延展性逐渐增大, 塑性越来越差。

2. 硅灰对含泥量高的砂浆强度影响显著, 添加硅灰后砂浆强度有明显的提高, 添加硅灰的经济效益较高, 郑州段黄河超细砂添加 10% 硅灰抗压强度已满足人工防汛石的强度要求。

综合本实验结果, 含泥量过高会对人工防汛石的工作性能、力学性能有较大影响, 在添加硅灰后强度有

明显提高, 并且减小了含泥量对强度的影响, 添加 10% 硅灰用量有利于黄河超细砂用于人工防汛石的制备。

### 参考文献:

- [1] 刘璐, 左其亭. 古代水文化代表事件梳理及其对现代黄河治理的借鉴 [J/OL]. 人民黄河, 2022-05-01: 1-5. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1128.TV.20220217.1630.002.html>.
- [2] 陈家琬, 杨斌, 周文娟, 等. 建筑用砂: GB/T 14684-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [3] CHO S W. Effect of silt fines on the durability properties of concrete [J]. Journal of Applied Science and Engineering, 2013, 16(04): 425-430.
- [4] NORVELL J K, STEWART J G, JUENGER M C, et al. Influence of clays and clay-sized particles on concrete performance [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(12): 1053-1059.
- [5] 郭磊, 王佳, 郭利霞, 等. 胶凝砂砾石含泥量对其强度的影响 [J]. 人民黄河, 2020, 42(03): 136-139.
- [6] 吴永根, 韩照, 李建丰, 等. 含泥量对干硬性水泥胶砂性能影响 [J]. 混凝土, 2012(09): 112-114, 133.
- [7] 郭玉林, 胡家兵, 谭洪波, 等. 不同粘土矿物与聚羧酸减水剂相互作用机理研究 [J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(04): 1125-1129, 1142.
- [8] 刘斌, 何廷树, 何娟, 等. 含泥量对掺聚羧酸减水剂混凝土性能的影响 [J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(02): 349-353.
- [9] 宓永宁, 王振国, 孙荣华, 等. 特细砂砂浆性能及砌筑砂浆配合比研究 [J]. 人民黄河, 2014, 36(07): 121-123, 127.
- [10] 何鼎辉, 李闯民. 矿物掺合料对水泥砂浆性能影响试验研究 [J]. 公路, 2021, 66(04): 285-290.
- [11] 陈思甜, 龚尚龙, 刘敬莹. 特细砂硅粉高性能砼的应用研究及展望 [J]. 重庆交通学院学报, 2001(04): 50-53.
- [12] 张金升, 李希宁, 李长海, 等. 利用黄河泥沙制作备防石的研究 [J]. 人民黄河, 2005(03): 14-16, 63.
- [13] 宓永宁, 王振国, 孙荣华, 等. 特细砂砂浆性能及砌筑砂浆配合比研究 [J]. 人民黄河, 2014, 36(07): 121-123, 127.
- [14] 何鼎辉, 李闯民. 矿物掺合料对水泥砂浆性能影响试验研究 [J]. 公路, 2021, 66(04): 285-290.
- [15] 陈思甜, 龚尚龙, 刘敬莹. 特细砂硅粉高性能砼的应用研究及展望 [J]. 重庆交通学院学报, 2001(04): 50-53.
- [16] R. Ren, J F Liang, D W Liu, et al. Mechanical behavior of crumb rubber concrete under axial compression [J]. Advances in Concrete Construction, 2020: 249-256.
- [17] 李亚静, 谢丽霞, 曹忠露, 等. 相同流动度下含泥量对水泥胶砂强度的影响 [J]. 中国港湾建设, 2016, 36(06): 37-40.