

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.03.021

石粉对碾压混凝土性能及微观孔结构的影响

龚 英¹, 曹 洁², 丁晶晶¹

(1. 江西省水利科学研究院 江西省水工安全工程技术研究中心, 江西 南昌 330029;

2. 山东黄河东平湖工程局, 山东 泰安 271000)

摘 要: 粉煤灰资源短缺及不经济问题日益突出, 石灰石粉可否替代粉煤灰需深入研究。试验研究了不同掺量石粉取代粉煤灰对碾压混凝土工作性、抗压强度、劈裂抗拉强度及抗渗性的影响规律; 同时通过吸水动力学测试砂浆孔结构, 开展了石粉取代粉煤灰对砂浆微观结构的影响研究。试验结果表明: 石粉取代粉煤灰, 可细化砂浆平均孔径, 使砂浆微观结构更密实, 可提高碾压混凝土工作性及抗渗性; 但石粉的掺入降低了胶凝材料活性, 不利于碾压混凝土强度的发展。综合考虑石粉取代粉煤灰对碾压混凝土各性能的影响, 试验推荐石粉取代率不宜超 27%。

关键词: 石粉; 粉煤灰; 碾压混凝土; 强度; 抗渗; 微观

中图分类号: TV42+3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)03-0121-04

Effects of Stone Powder on RCC Performance and Pore Microstructure

GONG Ying¹, CAO Jie², DING Jingjing¹

(1. Jiangxi Hydraulic Science Research Institute, Jiangxi Hydraulic Safety Engineering Technology Research Center, Nanchang, Jiangxi 330029, China; 2. Shandong Yellow River Dongping Lake Engineering Bureau, Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: The shortage of fly ash resources and its uneconomical problems are becoming increasingly important. It is urgent to find a new kind of green, high quality and low-cost concrete admixture. In order to explore the feasibility of using stone powder instead of fly ash as concrete admixture, stone powder is used to replace fly ash in different dosages. The effects of stone powder on the workability, compressive strength, splitting tensile strength and impermeability of RCC are analyzed experimentally. The influence of stone powder content on the microstructure of mortar was quantified by testing the pore structure of mortar by water absorption dynamic method. The test results show that the replacement of fly ash by stone powder can refine the average pore size of mortar, make the microstructure of mortar more compact, and improve the workability and impermeability of RCC. However, the addition of stone powder reduces the activity of cementitious materials and is not conducive to the development of RCC strength. Considering the influence of replacement of fly ash with stone powder on the properties of RCC, we recommend that the replacement rate of stone powder should not exceed 27%.

Keywords: stone powder; fly ash; RCC; strength; impermeability; microcosmic

大掺量粉煤灰可改善碾压混凝土诸多性能的观点在混凝土工程界已达成共识^[1-3]。在我国大坝碾压混凝土工程中, 粉煤灰掺量一般为 50% ~ 70%^[4]。在我国水电开发建设的迅猛发展形势下, 粉煤灰资源供不应求, 优质粉煤灰的价格也在逐渐攀升, 在我国西南地区粉煤灰资源短缺及不经济问题则尤为突出^[5]。开发新型混凝土掺和料替代粉煤

灰是当前混凝土材料研究热点之一。

石粉是骨料生产过程中产生的副产品。起初, 石粉主要用于替代砂^[6-9], 增加砂中的粉体含量, 有利于提高砂浆对骨料的包裹性和黏聚性, 改善碾压混凝土工作性。随着人们对石粉作用认识的深入, 有学者大胆尝试采用石粉取代粉煤灰配制大坝碾压混凝土^[10-13], 这样既解决了粉煤灰供应紧张的原

收稿日期: 2019-02-11

修稿日期: 2019-04-10

基金项目: 江西省水利厅科技计划项目(201820TG17, 201820YBKT10); 水利部鄱阳湖中心开放基金项目(ZXKT201702)

作者简介: 龚 英(1984—), 女, 江西抚州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水工新材料的研究工作。E-mail: 30796715@qq.com

材料问题,又合理利用了废弃资源石粉、减少了石粉的环境污染,同时还降低了工程造价。然而,要进一步推进石粉作为替代粉煤灰的混凝土掺和料应用,仅依靠目前一些工程应用研究还不够,还需进行系统深入研究。

以江西某大坝碾压混凝土为研究对象,石粉以不同掺量取代粉煤灰,研究石粉对碾压混凝土工作性、抗压强度、劈裂抗拉强度、抗渗性的影响;同时结合石粉对砂浆微观结构影响的试验研究,尝试从宏观和微观角度探究石粉对碾压混凝土性能的影响规律。

1 试验设计

1.1 试验原材料

(1) 水泥:海螺 P.O42.5 水泥。

(2) 粉煤灰:江西景德镇发电厂生产的粉煤灰,属 II 级。

(3) 石粉:由人工砂中筛出,属石灰石粉。

(4) 细骨料:人工砂,细度模数为 2.9,属中砂。

(5) 粗骨料:二级配 5 mm ~ 20 mm、20 mm ~ 40 mm 人工碎石。

(6) 外加剂:萘系缓凝高效减水剂。

(7) 水:试验当地饮用水。

1.2 试验配合比

试验以江西某工程大坝碾压混凝土(C₉₀20W6)为基准配合比,胶凝材料为水泥和粉煤灰,试验用不同掺量的石粉取代粉煤灰,石粉取代率分别为 0%、27%、51%、73%。4 组碾压混凝土试验配合比见表 1。

表 1 碾压混凝土试验配合比

混凝土编号	胶凝材料用量/(kg·m ⁻³)	粉煤灰掺量/%	石粉取代率/%	水量/(kg·m ⁻³)	水胶比	砂量/(kg·m ⁻³)	用石量/(kg·m ⁻³)		外加剂掺量/%
							5 mm ~ 20 mm	20 mm ~ 40 mm	
C	220	55	0	99	0.45	828	648	648	1.0
L1	220	40	27	99	0.45	828	648	648	1.0
L2	220	27	51	99	0.45	828	648	648	1.0
L3	220	15	73	99	0.45	828	648	648	1.0

在上述碾压混凝土宏观性能研究基础上,试验同步研究了石粉对砂浆孔结构的影响。石粉以不同

掺量取代粉煤灰,石粉取代率分别为 0%、27%、51%、73%。4 组砂浆试验配合比见表 2。

表 2 砂浆试验配合比

编号	胶凝材料用量/g	粉煤灰掺量/%	石粉取代率/%	用水量/g	水胶比	标准砂/g	外加剂掺量/%
M	450	55	0	180	0.4	1350	0.8
M1	450	40	27	180	0.4	1350	0.8
M2	450	27	51	180	0.4	1350	0.8
M3	450	15	73	180	0.4	1350	0.8

1.3 试验方法

采用《水工混凝土试验规程》^[14](SL 352—2006)中碾压混凝土相关试验方法,测试了碾压混凝土 VC 值;成型了 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体强度试件,测试了 7 d、28 d、90 d、180 d 试件抗压强度,测试了 90 d 试件劈裂抗拉强度;分两层加压振动成型抗渗试件,试件标养 90 d,再测试抗渗试件在恒定水压下的渗水高度,并计算其相对渗透性系数。

采用吸水动力学法测试砂浆孔结构。砂浆试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 160 mm。砂浆试件标养 180 d 后取出进行试验。首先将砂浆试件在 110℃ 下烘至少 24 h,然后在 20℃ 等温条件下进行砂浆毛细孔

吸附试验,称量不同浸水时刻的试件质量,如浸水前(干燥状态)、浸水 15 min、1 h、24 h。最后计算平均孔径、开口连通孔孔隙率等砂浆孔隙特征参数^[15-17]。

2 结果与分析

2.1 碾压混凝土性能

2.1.1 碾压混凝土工作性

石粉取代粉煤灰,碾压混凝土 VC 值的变化规律见图 1。

与基准混凝土 C 相比,石粉取代粉煤灰,明显降低了碾压混凝土 VC 值,改善了碾压混凝土和易性。

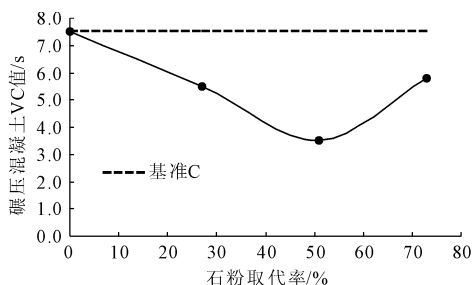


图 1 碾压混凝土 VC 值随石粉取代率的变化规律

随石粉取代率的增大,碾压混凝土 VC 值先减小后增大。试验结果表明,存在最优石粉取代率 51%。这说明,石粉以最佳掺量替代粉煤灰,石粉可与水泥、粉煤灰形成最优颗粒级配^[9],最大程度地填充水泥浆基体的空隙,使得用于填充空隙的自由水减少了、而用于水泥浆体流动性的自由水增多了,自然碾压混凝土会获得更好的和易性和工作性。不论石粉少量或过量取代粉煤灰,胶凝材料中细颗粒含量过少或过多,均会增大碾压混凝土 VC 值,降低石粉对碾压混凝土工作性的改善效果。

2.1.2 碾压混凝土抗压强度

石粉取代粉煤灰,碾压混凝土抗压强度随龄期发展的变化规律见图 2。

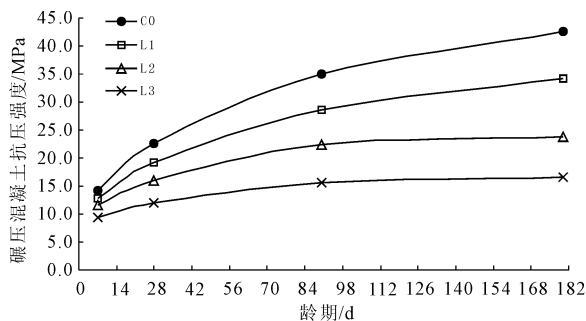


图 2 4 种碾压混凝土抗压强度随龄期的发展规律

当石粉取代率为 0%、27%、51%、73%,碾压混凝土 90 d 抗压强度分别为 35.0 MPa、28.7 MPa、22.5 MPa、15.7 MPa,碾压混凝土 180 d 抗压强度分别为 42.7 MPa、34.2 MPa、23.9 MPa、16.7 MPa。对比 90 d 和 180 d 强度数据可知,4 组碾压混凝土后期强度分别增长 7.7 MPa、5.5 MPa、1.4 MPa、1.0 MPa。试验结果表明,随石粉取代率的增大,碾压混凝土抗压强度逐渐降低,后期强度增长幅度也逐渐降低。

从碾压混凝土后期强度发展差异来看,粉煤灰对碾压混凝土后期强度贡献较大,石粉的作用非常有限。说明与粉煤灰相比,石粉的活性较低,可能属于惰性掺和料范畴。如果石粉过量取代粉煤灰,会明显降低碾压混凝土抗压强度,尤其是混凝土后期强度。

当石粉取代率为 27%时,碾压混凝土 90 d 抗压强度为 28.7 MPa,180 d 强度为 34.2 MPa,超过配制强度 26.6 MPa,满足混凝土强度设计要求(C9020)。

2.1.3 碾压混凝土劈裂抗拉强度

石粉取代粉煤灰,碾压混凝土 90 d 劈裂抗拉强度的变化规律见图 3。

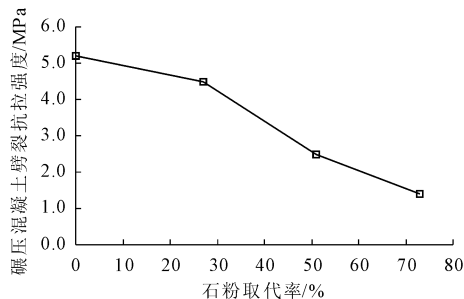


图 3 碾压混凝土劈裂抗拉强度随石粉取代率的变化规律

随石粉取代率的增大,碾压混凝土劈裂抗拉强度逐渐降低,尤其当石粉取代率大于 50%时,碾压混凝土劈裂抗拉强度至少降低 50%。可见,石粉过量取代粉煤灰,会显著降低碾压混凝土劈裂抗拉强度,与石粉对碾压混凝土抗压强度的影响规律较一致。

2.1.4 碾压混凝土相对渗透系数

石粉取代粉煤灰,90 d 碾压混凝土相对渗透性系数的变化规律见图 4。

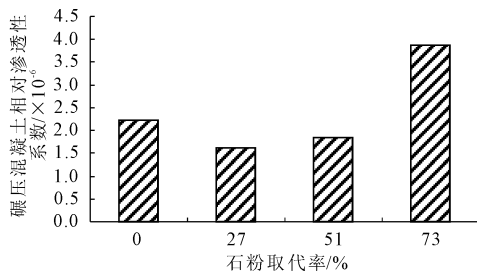


图 4 碾压混凝土相对渗透性系数随石粉取代率的变化规律

随石粉取代率的不断增大,碾压混凝土相对渗透性系数先减小后增大。当石粉取代率 27%时,碾压混凝土相对渗透性系数最小,碾压混凝土抗渗性能最优。当石粉取代率超过 50%,与基准混凝土相比,石粉取代粉煤灰,碾压混凝土相对渗透性系数却变大了,不利于碾压混凝土抗渗性。

可见,石粉适量取代粉煤灰,石粉与水泥、粉煤灰形成良好的级配,使水泥浆体具有良好的流动性和黏聚性,既有效填充骨料之间的空隙,又较好地粘附包裹骨料,形成较密实的混凝土微观孔结构,从而提高碾压混凝土抗渗性。然而,一旦石粉过量取代粉煤灰,胶凝材料中细颗粒含量的急剧增多,会使水泥浆体失去较好的流动性,不能有效填充骨料间的空隙,不利于形成密实的微观孔结构,会导致碾压混

凝土渗透性的增大。

2.2 砂浆孔结构测试

石粉取代粉煤灰对砂浆平均孔径、开口孔隙率的影响规律见图 5、图 6。



图 5 砂浆平均孔径随石粉取代率的变化规律

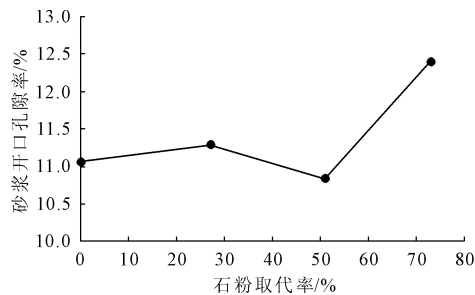


图 6 砂浆开口孔隙率随石粉取代率的变化规律

由图 5 可知,随石粉取代率的增大,砂浆平均孔径呈减小的趋势,当石粉取代率大于 50% 时,砂浆平均孔径没有继续变小,而是趋于某一数值稳定不变。由图 6 可知,当石粉取代率不大于 50%,石粉取代粉煤灰对砂浆开口孔隙率影响不大;当石粉取代率大于 50%,石粉取代粉煤灰使砂浆开口孔隙率变大。试验结果表明,石粉取代粉煤灰,可减小砂浆平均孔径,但石粉取代率不宜大于 50%,否则石粉砂浆平均孔径不仅没有得到进一步细化,而且砂浆开口孔隙率会增大,导致砂浆孔结构朝不利的方向发展。

综合分析石粉对碾压混凝土宏观性能及微观结构性能的影响规律,石粉适量取代粉煤灰掺入混凝土中,可与水泥、粉煤灰形成良好的颗粒堆积体,改善水泥浆基体的流动性和黏聚性,有效填充骨料间空隙,实现减小砂浆孔径、优化孔结构的作用;正是石粉的填充效应,为改善碾压混凝土工作性及抗渗性发挥了主要作用;与粉煤灰相比,石粉活性较低,石粉的掺入会降低胶凝材料活性,会对碾压混凝土强度发展产生负面影响。

3 结 语

(1) 石粉取代粉煤灰,可细化砂浆孔隙,优化砂浆孔结构,与石粉对碾压混凝土工作性及抗渗性的

改善效果较为吻合。石粉取代率不宜超 50%,否则会增大砂浆开口孔隙率,使砂浆孔结构朝不利方向发展,从而降低石粉对碾压混凝土工作性及抗渗性的改善效果。

(2) 与粉煤灰相比,石粉的活性较低。石粉取代粉煤灰掺入,会显著降低胶凝材料的活性,对碾压混凝土后期强度发展尤为不利。试验推荐石粉取代率不宜超过 27%。

参考文献:

- [1] 朱良,苗壮,马荣杰,等.粉煤灰对碾压混凝土力学性能的影响研究[J].人民珠江,2016,37(4):65-68.
- [2] 张正亚,严勇.超贫碾压混凝土力学及抗冻性影响因素分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(1):171-174.
- [3] 翟超,唐新军.水胶比和粉煤灰掺量对高性能混凝土塑性开裂的影响[J].水利与建筑工程学报,2014,12(6):141-144.
- [4] 樊启祥,李文伟,陈文夫,等.大型水电工程混凝土质量控制与管理关键技术[J].人民长江,2017,48(24):91-100.
- [5] 陈倩慧.矿渣与石灰石粉双掺代替单掺粉煤灰的混凝土可行性研究[J].西北水电,2017(4):18-22.
- [6] 张勇,董芸,李响.掺石粉与石屑砂对碾压混凝土工作性和强度的影响[J].中国水能及电气化,2015(6):57-61.
- [7] 王立华,刘佳,詹镇峰.人工砂中石粉含量对碾压混凝土性能的影响[J].混凝土,2014(4):115-118.
- [8] 李嘉琳,杨永民,王立华,等.碎石裹粉量对普通混凝土及碾压混凝土性能影响分析[J].广东水利水电,2014(3):10-13.
- [9] 葛唯.硅灰和石灰石粉用作碾压混凝土掺合料的性能试验研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [10] 付建平,陈歆,付斌.内掺石粉在沱若水电站 RCC 中的试验研究及应用[J].湖南水利水电,2015(6):70-74.
- [11] 李明卫,罗健,张毅,等.白云岩石粉含量对碾压混凝土力学性能影响研究[J].施工技术,2018,47(S2):42-44.
- [12] 刘文娟,田承宇.石粉掺合料在碾压混凝土中的应用研究[J].广州航海学院学报,2017,25(2):39-42,58.
- [13] 刘建平.南欧江五级水电站掺石粉碾压(变态)混凝土试验研究[J].水利水电施工,2015(5):34-39.
- [14] 水工混凝土试验规程:SL 352—2006[S].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [15] 王凯.施工扰动对碾压混凝土层间结合质量的影响研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [16] 娄亚东.碾压混凝土层面处理对层间结合性能影响研究[D].杭州:浙江大学,2015.
- [17] 陈景,兰聪,刘永道,等.基于吸水动力学法研究砂浆孔结构对其力学性能与软化系数的影响[J].混凝土与水泥制品,2016(10):14-18.