

关于混凝土中氯离子渗透的试验与细观数值分析

颜成杰 (广东省有色工业建筑质量检测站有限公司, 广东 广州 510725)

摘要: 为探索混凝土中氯离子渗透规律, 开展了氯离子渗透试验, 通过调整粗骨料含量、水灰比确定氯离子迁移系数发生的变化, 然后通过细观数值分析确定氯离子渗透性能受到的影响。从分析结果来看, 提高粗骨料含量能够降低氯离子迁移系数, 提高水灰比则将增加孔隙率, 促进氯离子渗透, 为降低混凝土中氯离子渗透性能, 需要加强界面区扩散系数和厚度控制。

关键词: 混凝土; 氯离子渗透试验; 细观数值

在建筑行业快速发展过程中, 钢筋混凝土结构也得以在海洋环境中得到了广泛应用。但暴露在氯离子浓度较高的环境中, 将造成混凝土受到氯离子侵蚀, 引发结构耐久性失效问题, 给工程使用安全和寿命带来影响。而混凝土中氯离子渗透, 与粗骨料含量和水灰比等因素密切相关, 因此应开展有关试验确定混凝土抗侵蚀能力受到的影响。为探索氯离子渗透规律, 需引入细观数值模拟分析方法, 以便得到科学的研究结论, 为混凝土性能改善提供参考。

1 混凝土中氯离子渗透试验

1.1 试验条件

分析混凝土水灰比、粗骨料含量给氯离子渗透带来的影响, 采用 P.O42.5 水泥, 细骨料采用模数为 2.63 的天然河沙, 粗骨料采用粒径 5~20mm 级配碎石, 粉煤灰为 II 级, 拌合水为自来水。按照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011) 规范进行配合比设计, 共开展 A1-A5 和 B1-B5 共计 10 组试验。试验 A1-A5 水灰比不变, 均为 0.4, 粗骨料含量分别为 0、0.15、0.30、0.45 和 0.60。B1-B5 粗骨料含量不变, 均为 0.37, 水灰比分别为 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6。

1.2 试验方法

开展氯离子渗透试验, 按照不同试验配比进行混凝土试件制作, 每组各制作 3 个试件用于平行试验, 取平均值为试验结果。按照规定顺序, 需要依次添加石子、砂、骨料、水泥, 均匀搅拌后在直径 $100 \pm 1\text{mm}$ 、高 $50 \pm 2\text{mm}$ 圆柱体模具中浇灌^[1]。经过振捣密实和 24h 标准养护, 可以将模具拆除得到试件。经过 28d 标准养护, 利用真空干燥器在 $1\sim 5\text{kPa}$ 负压下进行干燥处理, 3h 后添加蒸馏水配制的饱和氢氧化钙溶液将试件浸没 1h。之后恢复常压状态, 浸泡 $18 \pm 2\text{h}$ 后达到试验要求状态。

开展 RCM 试验, 经过 $120 \pm 20\text{s}$ 超声浴处理后, 将表面吹干, 确认无油污、水珠等物质后, 可以将试件安装在 RCM 装置上开展电迁移试验。采用的溶液提前 24h 配置, 在常温下密封保存, 阴极为 10% 氯化钠溶液, 阳极为 0.3mol/L 氢氧化钠溶液。将装置电源开启, 电压调节至 $30 \pm 0.2\text{V}$, 对各通道电流和通电时间进行记录。采用 0.1mol/L 硝酸银显色剂进行氯离子渗透深度测定, 按照《普通混凝土长期性能和耐久性性能试验方法标准》(GB/T50082-2009) 规范进行非稳态氯离子迁移系数计算^[2]。

对混凝土孔结构进行细观分析, 需要采用压汞法。通过施加外部压力在砂浆孔隙中注入液态汞, 采用压泵仪在恒温 25°C 条件下开展测试, 压力达到 227.53MPa , 得到孔

径测量结果。结合孔径与压力关系, 能够对孔体积大小和分布规律展开分析。

1.3 试验结果

从试验结果来看, 提高粗骨料含量, 能够使氯离子迁移系数得到降低。随着粗骨料含量不断增加, 氯离子迁移系数不断降低。在含量达到 0.60 时, 迁移系数与粗骨料含量为 0 时相比能够降低 65% 左右, 约能达到 $2.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。在不添加粗骨料时, 氯离子迁移系数能够达到 $7.4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 左右。分析原因可知, 增加粗骨料含量能够增强稀释、界面等效效应, 通过综合作用降低混凝土渗透能力, 阻止氯离子在混凝土中迁移、扩散。提高水灰比, 将使混凝土孔隙率增加。结合压汞试验结果可知, 在水灰比提高时, $5\sim 100\text{nm}$ 孔体积增量较大。由此可知, 混凝土孔径主要在这一范围内分布。根据水灰比和孔隙率关系可知, 在水灰比为 0.2 时, 孔隙率达到 0.10 左右。随着水灰比的提升, 孔隙率不断增加, 在水灰比达到 0.6 时孔隙率约 0.17。而在混凝土中, 孔隙率的增加意味着结构内部微观孔隙有所增加, 能够为氯离子提供更多传输通道, 促使氯离子迁移系数有所提高。因此增加水灰比, 将造成氯离子在混凝土中快速扩散, 造成结构抗侵蚀能力有所下降。

2 混凝土中氯离子渗透细观数值分析

2.1 骨料模型

单纯采用试验方法因为试验周期过长, 难以精确掌握各种参数对混凝土中氯离子渗透性能的影响。作为非均质材料, 混凝土内部结构较为复杂, 从细观上来看为多相复合结构, 造成各部分渗透性能存在差异。而氯离子将从界面开始渗透, 因此加强细观数值分析, 能够加强氯离子渗透规律的把握, 为混凝土使用寿命预测提供科学数据依据, 为加强结构耐久性设计提供指导。根据上述试验结果, 可知粗骨料含量和水灰比将给氯离子渗透带来影响。采用数值模拟方法加强细观分析, 能够进一步了解界面区扩散系数、厚度等因素带来的影响。采用 Matlab 软件进行分析, 可将砂浆、粗骨料等构成的混凝土当成是复合材料, 利用 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 骨料模型展开分析。模型为圆形, 分别采用 $5\sim 10\text{mm}$ 、 $10\sim 15\text{mm}$ 和 $15\sim 20\text{mm}$ 的连续级配。为使分析过程得到简化, 界面过渡区厚度设定为 $100\mu\text{m}$, 得到的骨料模型中粗骨料含量按照 A1-A5 试验含量设定。将模型导入 COMSOL 软件进行分析, 完成参数设定和网格规划后, 可以利用模型进行细观数值分析。

2.2 细观验证

为确定模型有效, 需要对不同组分的 (下转第 251 页)

4.2 农业上的应用

煤灰中的成分较多,有氧化二钾、氧化镁、氧化二钠、氧化钙等,如果遇到酸雨,这些成分与酸雨反应,就会产生碱性物质,可以在酸雨多发地进行土壤改良。面对土壤污染中的一系列问题,如黏性、板结、硬化等问题,煤灰也可以对土壤成本进行改良,其所含的大量元素有利于植物的生长,因此对于农业发展具有重要贡献。

4.3 建筑上的应用

第一,煤灰是建筑领域的重要材料。通过煤灰可以制作建筑领域需要的高质量砖头,如烧结粉煤灰砖、泡沫粉煤灰保温砖、蒸制粉煤灰砖,通过在煤灰中加入加气混凝土,可以在建筑领域生产高质量的多孔材料,为建筑领域提供大量优质材料。第二,煤灰中具有耐高温的特性。所以可以通过煤灰制作耐热保温砖和陶瓷等建筑材料,充分利用煤灰的耐火性、保温性。同时利用这些材料也可以让建筑材料变得更轻、质量更好,并节约大量的施工成本。

4.4 化学上的应用

对煤灰的分析是化工领域的重要研究,其运用十分广泛,通过对煤灰进行分析,可以发现煤灰在化学实验中能够起到良好的催化作用,有利于实验的开展。比如在双氧水的化学实验里,煤灰就可以成为良好的催化剂;在甲烷制作实验中,通过加入煤灰,实验反应会特别剧烈,在无水酒精的实验中,也可以把煤灰当催化剂,更加顺利地完成任务。

4.5 环保上的应用

一般情况下,煤灰被归属于污染物,不被人们所重视,

实际上煤灰在环保领域中有极大的作用,如当前很多环保材料由煤灰制作而成,如吸附材料、速凝剂和分子筛等。煤灰中还有三氧化二铝、氧化钙等成分,这些成分可以被运用于废水处理领域,利用煤灰的特性可以更好地保护环境。另外,煤灰中的一些成分对有毒气体等具有吸附作用,可以达到净化空气的目的。

5 结论

煤灰在生活是一种常见的物质,但是对其分析的过程是复杂、繁琐的,对技术和工艺有严格的要求,如果按照规范进行操作,就能顺利地对其进行分析。对此,研究人员应对煤灰作用进行深入、全面认识,加大研究力度,将影响煤灰分析的因素考虑到位,促进煤灰的利用程度不断提高。

参考文献:

- [1] 戴爱军,杜彦学,谢欣馨.煤灰成分与灰熔融性关系研究进展[J].煤化工,2019(4).
- [2] 李咏霞.X-射线荧光经验系数法测定神东煤灰成分[J].煤质技术,2016(3).
- [3] 王进伟,赵新木,李少华,等.循环流化床锅炉煤灰成分对其磨损特性的影响[J].化工学报,2017(3).
- [4] 段云龙.煤炭试验方法标准及其说明[M].北京:中国标准出版社,2004.
- [5] 李英华.煤质分析应用技术指南[M].北京:中国标准出版社,1991.
- [6] 张丽珊,贺俊修,郝麦英,等.煤炭化验操作问答[M].北京:煤炭工业出版社,1985.

(上接第249页)混凝土氯离子迁移性能进行分析。砂浆氯离子迁移系数设定为骨料为0时的数值,具体为 $7.47 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。考虑到界面区域系数能够达到砂浆数十倍,初步设定为 $74.7 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。而骨料渗透系数较小,可以看成是0。将结构表面氯离子浓度设定为0.5%,初始值设定为0,然后分别将侵蚀时间设定为240d、270d和300d。通过分析可以发现,在时间达到270d时,数值模拟分析结果能够与试验保持一致。在骨料含量达到0.45时,试验和模拟得到的氯离子迁移系数均为 $4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$,并且其他数值也较为接近,因此说明模型能够用于分析混凝土中氯离子渗透性能。

2.3 数值分析

利用模型分析不同骨料含量给氯离子渗透带来的影响,可以发现在骨料含量不断增加过程中,混凝土内部相同深度氯离子含量有所减少。在深度为10mm时,骨料含量为0时氯离子浓度约0.32%,含量为0.60时约0.20%。随着深度的增加,氯离子的浓度也有所下降,但骨料为0.60时的氯离子浓度始终最低,说明增加骨料含量能够有效抑制氯离子渗透。分析原因可知,增加骨料含量,界面区骨料的曲折效应和稀释效应将发挥主要作用,将造成氯离子迁移系数有所降低,继而使混凝土抗侵蚀能力得到提高。

对不同界面区厚度带来的影响展开分析可以发现,在水灰比较大时,孔隙率有所增加,将造成界面区氯离子渗透性能有所提高。在混凝土水灰比和孔隙率之间,保持

了较强相关性。而孔隙率与氯离子迁移系数之间同样体现较好相关性,完成对应关系拟合分析,能够深入分析界面区和砂浆扩散系数与氯离子迁移系数的关系。根据数值模拟分析结果可知,在界面区厚度分别为25、50、75、100 μm 时,随着厚度的增加氯离子迁移系数将有所增加。在界面区与砂浆扩散系数分别达到10和100时,厚度从25 μm 增加至100 μm ,氯离子迁移系数分别增加27.7%和82.0%。由此可见,提升界面区扩散系数后,增加厚度将造成氯离子加速迁移,加快向混凝土内部渗透。

3 结论

开展氯离子渗透试验可以发现,混凝土中氯离子迁移速度与粗骨料含量和水灰比密切相关。随着粗骨料含量增加,氯离子渗透将受到阻碍。而水灰比的增加将造成孔隙率提高,加速氯离子渗透,削弱混凝土抗侵蚀能力。建立骨料模型进行数值模拟分析,可以确认数值分析结果有效,为分析界面区扩散系数和厚度与氯离子渗透关系提供支撑。从分析结果来看,增加界面区厚度和扩散系数,能够加速混凝土中氯离子渗透,不利于混凝土抗侵蚀能力提升。

参考文献:

- [1] 袁春坤,闫博宸,王元战等.引气混凝土抗冻性及抗氯离子渗透性试验研究[J].水道港口,2020,41(05):590-597.
- [2] 朱红兵,朱先明,彭晨曦等.碳化环境下聚丙烯纤维陶粒混凝土抗氯离子渗透性能试验研究[J].混凝土,2020(09):56-59.