

文章编号:1007-9629(2022)01-0097-05

配合比和龄期对塑性混凝土强度、pH 值和电导率的影响

王升位^{1,*}, 闻一江¹, 洪项华², 张笑彬³

(1.扬州大学 建筑科学与工程学院,江苏 扬州 225127; 2.江苏省水利勘测设计研究院有限公司,江苏 扬州 225127; 3.扬州市公共交通集团有限责任公司,江苏 扬州 225100)

摘要:通过室内试验,研究了配合比和养护龄期对塑性混凝土强度的影响,并测定了相应条件下塑性混凝土的 pH 值和电导率,明确了水泥掺量和龄期对 pH 值和电导率的影响规律,进一步发现塑性混凝土 pH 值、电导率与强度之间存在定量关系.结果表明:随着水泥掺量的增加,塑性混凝土强度、pH 值和电导率均增大;随着龄期的增加,塑性混凝土强度增大,pH 值和电导率均先增大后减小;不同水泥掺量和龄期下,塑性混凝土 pH 值可划分为 3 个阶段:11.60~12.20、12.20~12.35 和 12.35~12.80,各阶段下电导率与强度均呈幂函数关系.

关键词:塑性混凝土;水泥掺量;养护龄期;强度;pH 值;电导率

中图分类号:TU528.32

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-9629.2022.01.014

Effect of Mix Proportion and Age on Strength, pH Value, Electrical Conductivity of Plastic Concrete

WANG Shengwei^{1,*}, WEN Yijiang¹, HONG Xianghua², ZHANG Xiaobin³

(1. College of Civil Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225127, China;

3. Yangzhou Public Transportation Group Co., Ltd., Yangzhou 225100, China)

Abstract: From indoor experiments, the effects of mix proportion and curing age on unconfined compressive strength of plastic concrete were studied. The pH value and electrical conductivity were measured under the corresponding cement content and curing age. The quantitative relationship between pH value, electrical conductivity and strength of plastic concrete was established. Results show that with the increase of cement content, the strength, pH value and electrical conductivity of plastic concrete increase. With the increase of curing age, the strength of plastic concrete increases, while pH value and electrical conductivity firstly increase and then decrease. Under different cement contents and curing ages, pH value of plastic concrete shows three stages: 11.60–12.20, 12.20–12.35, 12.35–12.80, and there is a good power function relationship between electrical conductivity and strength at each stage of pH value.

Key words: plastic concrete; cement content; curing age; strength; pH value; electrical conductivity

目前,简易填埋场渗沥液渗漏和污染场地污染物运移污染地下环境等工程问题凸显,垂直防污屏障具有很好的强度和防渗性,可以较好的控制污染物向周围运

移,被广泛的应用于填埋场工程和污染场地管控工程^[1-3].垂直防污屏障类型有水泥-膨润土墙、土-膨润土墙、塑性混凝土墙和高密度聚乙烯(HDPE)土工膜-膨润土复

收稿日期:2021-01-19; 修订日期:2021-04-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(42107151);中国博士后基金资助项目(2018M640527);江苏高校“青蓝工程”资助项目

第一作者(通讯作者):王升位(1986—),男,黑龙江海林人,扬州大学讲师,硕士生导师,博士. E-mail: dvlove2007@126.com

在同一龄期下,随着水泥掺量的增加,塑性混凝土强度逐渐增大;所有试件强度范围在1~12 MPa,并且28 d强度均满足工程强度要求(2~4 MPa).这主要是由于不同配合比和龄期下塑性混凝土的水化产物和水化程度不同,水化程度随龄期增加而增大,强度因此增大;同理,水泥掺量越大,相同龄期下水化产物越多,塑性混凝土强度越大.

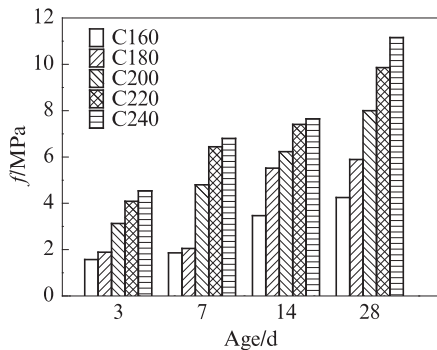


图2 塑性混凝土的强度

Fig. 2 Strength of plastic concrete

2.2 配合比和龄期对塑性混凝土pH值及电导率的影响

2.2.1 配合比和龄期对塑性混凝土pH值的影响

塑性混凝土的pH值测定结果见图3.由图3可见,塑性混凝土初期pH值基本集中在12.20附近,3 d时pH值集中在12.70附近;不同配合比塑性混凝土0~3 d的pH值均逐渐增大,3~28 d的pH值逐渐减小;随着水泥掺量的增加,pH值逐渐增大;0~3 d时,随着水泥掺量的增加,pH值增幅较小;7~28 d时,随着水泥掺量的增加,pH值增幅较大.这主要是由于不同配合比和龄期下塑性混凝土的水化产物和水化程度不同,因此导致塑性混凝土pH值发生变化.

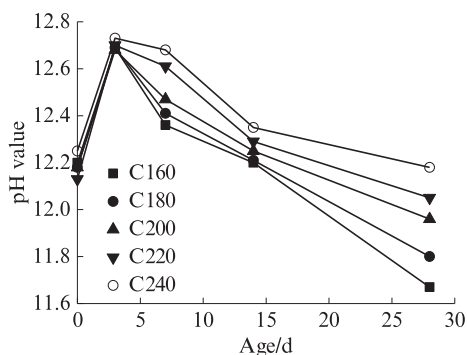


图3 塑性混凝土的pH值

Fig. 3 pH value of plastic concrete

2.2.2 配合比和龄期对塑性混凝土电导率的影响

塑性混凝土电导率测定结果见图4.由图4可

见:随着水泥掺量的增加,塑性混凝土电导率逐渐增大,并且电导率增加速率逐渐减小;5种配合比下塑性混凝土的电导率均随龄期增加而先增大后减小,0~3 d时电导率增加,3~28 d时电导率下降.对比图3、4发现,pH值和电导率随配合比、龄期的变化规律基本一致.

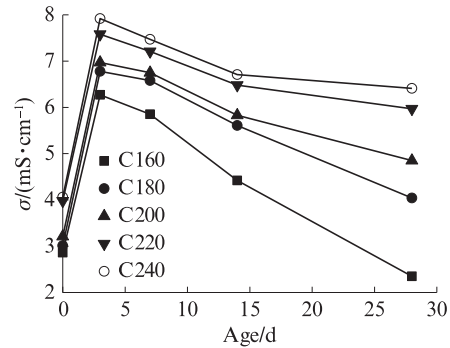


图4 塑性混凝土的电导率

Fig. 4 EC of plastic concrete

2.2.3 影响机理分析

由图3、4发现,随着水泥掺量的增加,塑性混凝土pH值和电导率均增大.这一方面是由于水泥掺量的增加使得参加反应的硅酸钙含量增多;另一方面是由于所有试样水灰比相同,水泥掺量的增加也就意味着膨润土掺量减少,膨润土具有高度分散性,会在水泥颗粒周围形成一层膨润土薄膜,减缓水泥水化过程^[17].

水泥水化后的产物为氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、水化硅酸钙(C-S-H凝胶)和水化铝酸钙(C-A-H)等,其稳定存在的pH值分别为12.23、10.40、11.43.混凝土的孔隙水为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液,其pH值为12.00~13.00,呈强碱性^[18]. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在水泥与水接触时就会不断生成,然而 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是微溶物,饱和浓度很低,因此前期处于饱和状态,pH值在12.20左右.膨润土的掺入使得其中的阳离子与水泥水化过程释放的离子产生反应,生成 NaOH (pH值为12.70)和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (pH值为12.40,溶解度低)等物质.3 d时pH值可达12.70.随着龄期的增加,水化反应和碳化反应不断进行,造成塑性混凝土中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 以及其他离子不断减少,使得pH值不断降低,混凝土逐渐呈现中性.0~7 d在水化反应阶段大量的 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 和 Al^{3+} 会从水泥中释放出来,电导率在此阶段不断上升.随着水化反应的不进行,离子释放的速率变缓或停止,此时形成C-S-H凝胶、水化硅铝酸钙(C-A-S-H)凝胶和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等稳定化合物的水化反应变成主导因素,导致电导率在7~28 d内逐渐下降.同时,考虑水溶液中含有 Pb^{2+} , Pb^{2+} 的存在会对塑性混凝土pH值和电导率产生影

响。 Pb^{2+} 在水泥水化过程中会生成 $Pb(OH)_2$,从而对水化产物 $Ca(OH)_2$ 和C-S-H凝胶的生成产生抑制作用^[19].同时 Pb^{2+} 会和 CO_3^{2-} 发生反应,生成不易降解的 $PbCO_3$,进一步影响碳化产物 $CaCO_3$ 的含量.

由于碳化反应的速度在相同条件下保持不变,因此,可以结合图3、4以及水化反应速率将pH值和电导率分为4个阶段:第1阶段(0~3 d),水泥与水接触后,发生溶解,矿物中的 Ca^{2+} 、 OH^- 、 SO_4^{2-} 不断释放到水溶液中,离子浓度上升,pH值和电导率增加;第2阶段(3~7 d),这些离子被消耗形成钙矾石、C-S-H凝胶、 $Ca(OH)_2$ 和 $Pb(OH)_2$ 等稳定化合物,并且碳化反应不断进行, $Ca(OH)_2$ 和 $Pb(OH)_2$ 不断被消耗,pH值和电导率不断减小;第3阶段(7~14 d):随着离子浓度的升高,C-S-H凝胶在混凝土表面形成一层保护膜,导致水化速率降低,离子析出速率减缓,pH值和电导率继续减小;第4阶段(14~28 d):随着水化反应的进一步进行,颗粒表面的保护膜破裂,水化速率加快,从而导致pH值和电导率进一步降低.

2.3 pH值、电导率与塑性混凝土强度的关系

2.3.1 pH值与强度的关系

图5给出了各配合比和龄期下塑性混凝土pH值与强度的关系.由图5可见,不同配合比的塑性混凝土,在相同龄期时,随着pH值的增加,其强度不断增加.各试件pH值与强度的关系,大致可以分为3段:(1)3、7 d对应pH值为12.35~12.80,该阶段强度随pH值增加而增加;(2)14 d对应pH值为12.20~12.35,该阶段强度随pH值增加其增长速率逐渐减缓;(3)28 d对应pH值为11.60~12.20,该阶段强度随pH值增加而线性增加.考虑水泥掺量不同,会导致相同龄期下水化产物含量不同,因此pH值有所差异.整体表现为相同龄期下塑性混凝土pH值越大,该阶段水化产物含量越多,强度越大.另外,不同龄期下水化产物种类不同,导致其pH值有所差异.

2.3.2 电导率与强度的关系

图6给出了各配合比和养护龄期下塑性混凝土电导率与强度的关系.由图6可见:塑性混凝土电导率与强度之间的关系并不能用单一公式进行表达,在pH值的3个阶段,电导率与强度之间分别呈现不同的数学表达式,每个阶段塑性混凝土强度均随着电导率的增加而增大.由于塑性混凝土电导率主要来源是水化反应过程中离子的释放,对于不同配合比和龄期的试件,水化程度和水化产物均有差异,因此,在pH值的3个阶段下电导率与强度均呈现较好的幂函数关系.

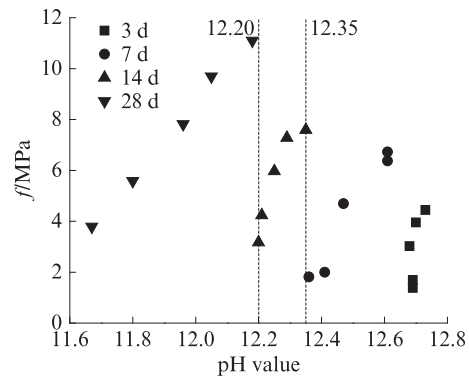


图5 塑性混凝土pH值与强度的关系
Fig. 5 Relationship between pH value and strength of plastic concrete

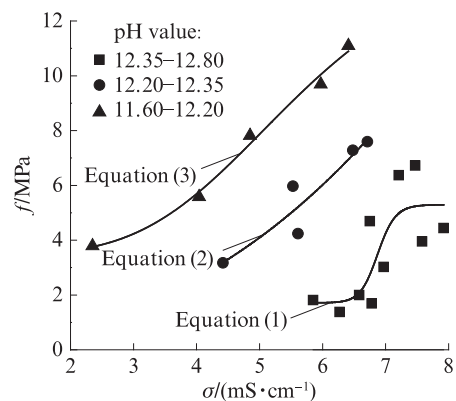


图6 塑性混凝土电导率与强度的关系
Fig. 6 Relationship between electrical conductivity and strength of plastic concrete

在pH值为12.35~12.80时(3~7 d),塑性混凝土主要剩余水化产物为钙矾石、C-S-H凝胶、 $Pb(OH)_2$ 和 $Ca(OH)_2$,电导率 σ 与强度 f 的关系为:

$$f=5.29-3.58/[1+(\sigma/6.88)^{49.30}] \quad (1)$$

在pH值为12.20~12.35时(7~14 d),塑性混凝土主要剩余水化产物为C-S-H凝胶、 $Pb(OH)_2$ 和 $Ca(OH)_2$,电导率与强度的关系为:

$$f=1139-1139/[1+(\sigma/56.93)^{2.37}] \quad (2)$$

在pH值为11.6~12.2时(14~28 d),塑性混凝土主要剩余水化产物为C-S-H凝胶,电导率与强度的关系为:

$$f=15.28-11.81/[1+(\sigma/5.66)^{4.22}] \quad (3)$$

综上所述,前人采用单一指标pH值或导电性来描述塑性混凝土强度会导致一定的误差,pH值和电导率可以综合反映塑性混凝土产物种类和水化反应程度,因此采用pH值和电导率来综合描述塑性混凝土强度是合理的,在不同pH值范围内,塑性混凝土强度和电导率之间存在很好的幂函数关系.

3 结论

(1)塑性混凝土强度随着水泥掺量和养护龄期的增加而增大;pH值和电导率随着水泥掺量的增加而增大,随着养护龄期的增加而先增大后减小。

(2)不同养护龄期和配合比下,塑性混凝土水化反应程度和水化产物不同,导致pH值和电导率不断变化,进而影响塑性混凝土强度。

(3)pH值和电导率可以综合反映塑性混凝土水化产物种类和水化反应程度,pH值呈现3个阶段:11.60~12.20、12.20~12.35、12.35~12.80,每个阶段下塑性混凝土电导率与强度均呈现很好的幂函数关系。

参考文献:

- [1] 王清友,孙万功,熊欢.塑性混凝土防渗墙[M].北京:中国水利水电出版社,2008:18-20.
WANG Qingyou, SUN Wangong, XIONG Huan. Plastic concrete cut-off wall[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2008:18-20. (in Chinese)
- [2] FAN R D, DU Y J, LIU S Y, et al. Engineering behavior and sedimentation behavior of lead contaminated soil-bentonite vertical cutoff wall backfills [J]. Journal of Central South University, 2013, 20(8):2255-2262.
- [3] DU Y J, FAN R D, REDDY K R, et al. Impacts of presence of lead contamination in clayey soil-calcium bentonite cutoff wall backfills[J]. Applied Clay Science, 2015, 108:111-122.
- [4] LI X P, CAI G J, PUPPALA A J, et al. Compression behavior of reconstituted soils mixed with bentonite for a cutoff wall in a landfill site[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(10):390.
- [5] SOROUSH A, SOROUSH M. Parameters affecting the thickness of bentonite cake in cutoff wall construction: Case study and physical modeling[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42(2):646-654.
- [6] 于玉贞,濮家骊,刘凤德.土石坝基础塑性混凝土防渗墙材料力学特性研究[J].水利学报,1995(8):21-27.
YU Yuzhen, PU Jialiu, LIU Fengde. Study on mechanical properties of plastic concrete for cut off wall [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1995(8):21-27. (in Chinese)
- [7] 金盼,陈波,胡云世.孔径分布对软黏土渗透特性的影响分析[J].水文地质工程地质,2018,45(4):86-93.
JIN Pan, CHEN Bo, HU Yunshi. Analyses of the effect of pore-size distribution on permeability of soft clays [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(4):86-93. (in Chinese)
- [8] LUO Y L, ZHANG M L, SHENG J C, et al. Hydro-mechanical coupling mechanism on joint of clay core-wall and concrete cut-off wall [J]. Journal of Central South University, 2013, 20(9):2578-2585.
- [9] 张亭亭,李江山,王平,等.磷酸镁水泥固化铅污染土的力学特性试验研究及微观机制[J].岩土力学,2016,37(增刊2):279-286.
ZHANG Tingting, LI Jiangshan, WANG Ping, et al. Experimental study of mechanical and microstructure properties of magnesium phosphate cement treated lead contaminated soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(Suppl 2):279-286. (in Chinese)
- [10] MAHBOUBI A, AJORLOO A. Experimental study of the mechanical behavior of plastic concrete in triaxial compression[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(2):412-419.
- [11] LI Y Q, LIU W, XING F, et al. Carbonation of the synthetic calcium silicate hydrate (C-S-H) under different concentrations of CO₂: Chemical phases analysis and kinetics [J]. Journal of CO₂ Utilization, 2019, 35:303-313.
- [12] BA M F, XUE T, HE Z M, et al. Carbonation of magnesium oxysulfate cement and its influence on mechanical performance [J]. Construction and Building Materials, 2019, 223:1030-1037.
- [13] HAN Y S, HADIKO G, FUJI M, et al. Crystallization and transformation of vaterite at controlled pH [J]. Journal of Crystal Growth, 2006, 289(1):269-274.
- [14] PRINCIGALLO A, VAN BREUGEL K, LEVITA G. Influence of the aggregate on the electrical conductivity of Portland cement concretes [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33(11):1755-1763.
- [15] LIU S Y, DU Y J, HAN L, et al. Experimental study on the electrical resistivity of soil-cement admixtures [J]. Environmental Geology, 2008, 54(6):1227-1233.
- [16] 车东日,罗春泳,沈水龙.水泥混合上海黏土pH值和电导率与强度特性研究[J].岩土力学,2012,33(12):3611-3615.
CHE Dongri, LUO Chunyong, SHEN Shuilong. Relationship between pH value and electrical conductivity and strength characteristics of cement treated Shanghai clayey soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(12):3611-3615. (in Chinese)
- [17] 王泽东,周盛涛,方文,等.膨润土改性水泥土力学特性试验研究[J].硅酸盐通报,2019,38(10):3287-3292.
WANG Zedong, ZHOU Shengtao, FANG Wen, et al. Experimental study on mechanical properties of cement soil modified by bentonite [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2019, 38(10):3287-3292. (in Chinese)
- [18] 李姗姗.水泥石碳化性能的影响因素及其机理研究[D].重庆:重庆大学,2014.
LI Shanshan. The influence factors and the mechanism of the carbonation of hardened cement pastes [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014. (in Chinese)
- [19] 章定文,曹智国,张涛,等.碳化对水泥固化铅污染土的电阻率特性影响规律[J].岩石力学与工程学报,2014,33(12):2563-2572.
ZHANG Dingwen, CAO Zhiguo, ZHANG Tao, et al. Effect of carbonation on electrical resistivity of cement solidified lead-contaminated soils [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(12):2563-2572. (in Chinese)