

铁尾矿砂水泥复合土的力学性能研究

侯芮, 陈四利*, 马啸, 胡炎通, 江国龙

(沈阳工业大学 建筑与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 为了研究铁尾矿砂水泥复合土的力学性能,通过室内无侧限抗压试验、抗折试验,研究铁尾矿砂水泥复合土的抗压强度、抗折强度随水泥掺量、龄期及铁尾矿砂掺量的变化规律。试验研究表明:铁尾矿砂水泥复合土的抗压强度和抗折强度都随水泥掺量增加而逐渐增加;当水泥掺量超过某一界限值时,增长较缓慢;其抗压强度和抗折强度随龄期的增长而逐渐增加,但后期增长较缓慢;在铁尾矿砂掺量小于25%的条件下,与纯水泥土相比,铁尾矿砂水泥复合土的抗压、抗折强度略有增加。应用Matlab软件拟合出抗压、抗折强度与铁尾矿砂掺量的函数关系。

关键词: 水泥土; 铁尾矿砂; 抗压强度; 抗折强度

1 引言

水泥土由于具有低渗、高强等特点,可作为路基加固土应用在铁路、公路、飞机跑道等路基加固工程中。中国铁尾矿的产出量巨大,尾矿的堆积占用土地、污染环境、不安全等问题都造成了诸多负面影响。将铁尾矿砂应用于水泥土不仅可以改善环境污染,更加节约了建筑材料。因此,对铁尾矿砂水泥土的力学性能的研究具有重要的理论意义和工程应用价值。

近年来,国内外学者对水泥土的力学性能作了广泛研究。如曹智国、严红霞、陈瑞生等进行了水泥土抗压强度的影响因素研究,得出影响水泥土强度的主要因素有水泥掺量、养护龄期、含水率等。鹿群、夏永杰、陈四利等研究了掺石灰、纤维、废钢渣等对水泥土力学性能的影响;韩鹏举等研究了化学腐蚀溶液对水泥土

强度的影响规律;赫文秀等进行了掺砂水泥土的力学性能研究,得出掺砂量为50%时效果最佳。

该文在上述研究基础上将铁尾矿砂应用于水泥土,并通过室内无侧限抗压试验、抗折试验研究铁尾矿水泥复合土的抗压性能,抗折性能随水泥掺量、龄期、尾矿砂掺量的关系;分别拟合出抗压强度、抗折强度与尾矿砂掺量的函数关系,为工程应用服务。

2 试验概况

2.1 试验原材料

试验采用的土样为取自沈阳市某路基地的粉质黏土,其主要物理性质指标见表1。所用铁尾矿砂取自鞍山某尾矿库,其主要物理性质指标见表1,细度模数为1.2,属于高硅型特细尾矿砂。选用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥,试验用水为自来水。

表1 土样、铁尾矿砂的物理性质指标

材料	含水率/ %	天然重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	天然空 隙比	天然密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数	液性 指数	细度 模数
土样	25.0	19.3	—	1.97	33.0	18.2	14.8	0.46	—
铁尾矿砂	7.3	—	0.42	2.05	36.5	28.3	8.2	—	1.2

收稿日期:2018-05-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51279109;51608332)

作者简介:侯芮,女,硕士研究生,E-mail:2632505934@qq.com

* 通讯作者:陈四利,男,博士,教授,E-mail:chen1458@163.com

2.2 试验方案及方法

水泥土试件中水泥掺量取 3 种:12%、16%、20%,尾矿砂按 0、15%、20%、25% 等质量代替土体,水灰比取 1.2。根据 JGJ T233—2011《水泥土配合比设计规程》,采用 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm、40 mm×40 mm×160 mm 的试模分别制备试件 108 个,在清水环境下养护 7、14、28 d。

试件养护到指定龄期后,采用 WDW—100C 微机控制电液伺服万能试验机进行抗压试验,电动抗折试验机进行抗折试验。

3 试验结果及分析

3.1 水泥掺量对尾矿砂水泥土强度的影响

图 1 为 7、28 d 龄期水泥土抗压强度随水泥掺量的变化情况。

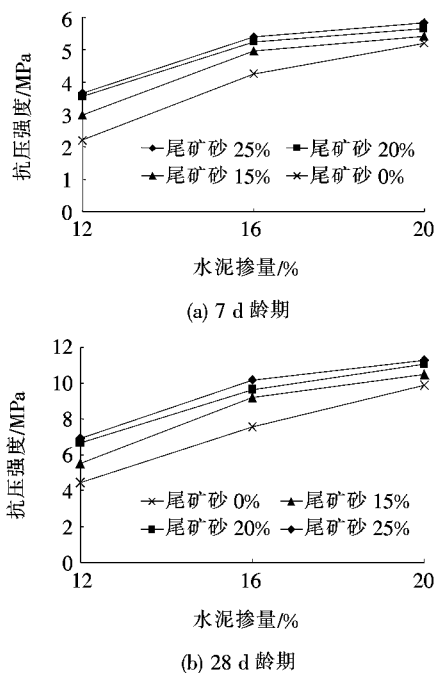


图 1 不同龄期水泥掺量—抗压强度曲线

从图 1 可以看出:水泥掺量对铁尾矿砂水泥复合土的抗压强度影响显著。在养护时间为 7 d、铁尾矿砂掺量为 15% 的条件下,水泥掺量为 16%、20% 的强度达到 4.96、5.41 MPa,较同龄期水泥掺量为 12% 的强度分别增长 67%、82%。所以,抗压强度随水泥掺量的增加而增大。

图 2 为 28 d 抗折强度随水泥掺量的变化规律。

由图 2 可以看出:随水泥掺量的增加,抗折强度增加。铁尾矿砂掺量为 25%,水泥掺量为 20% 的水泥土

试件抗折强度达到 2.82 MPa,较水泥掺量为 12%、16% 的强度分别增长 63.0%、13.25%。其主要原因在于水泥掺量的增加,加剧了水泥水解、水化反应,生成的水化胶凝物质增多,包裹在土颗粒和铁尾矿砂表面,增加土体内部的黏结力,使内部结构更加密实,水泥土的抗压、抗折强度增加。与水泥掺量由 12% 增至 16% 相比,水泥掺量由 16% 增至 20% 时,抗压、抗折强度均增长缓慢。所以从经济效益角度出发,铁尾矿砂水泥复合土的水泥掺量不宜过大,控制在 16% 左右较为合理。

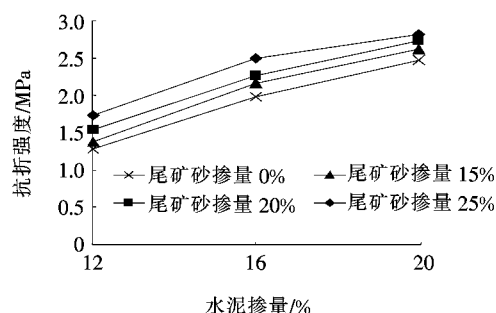


图 2 28 d 龄期水泥掺量—抗折强度曲线

3.2 尾矿砂掺量对水泥土强度的影响

图 3 为不同龄期水泥土抗压强度随铁尾矿砂掺量的变化情况。从图 3 可以看出:在不同龄期,不同水泥掺量下,抗压强度随尾矿砂掺量的增加逐渐增加。铁尾矿砂掺量为 25%,水泥掺量为 12%、16%、20% 的试件,养护 7 d 后,其抗压强度分别达到 3.65、5.39、5.82 MPa,是纯水泥土强度的 1.65、1.27、1.12 倍,能够满足一般工程的强度需要。当龄期达到 28 d 时,铁尾矿砂掺量每增加 5%,水泥掺量为 20%、16%、12% 的铁尾矿砂水泥复合土试件,其抗压强度平均增长 0.34、0.57、0.69 MPa。因此,在铁尾矿砂掺量小于 25% 的条件下,尾矿砂掺量越大,水泥土的抗压强度越大。

图 4 为不同龄期尾矿砂水泥土抗折强度随尾矿砂掺量的变化关系。从图 4 可看出:在尾矿砂掺量小于 25% 条件下,龄期达到 28 d 时,抗折强度与铁尾矿砂掺量近似呈直线增长,水泥掺量为 20%、16%、12% 的铁尾矿砂水泥复合土,铁尾矿砂掺量每增加 5%,其抗折强度分别平均增长 0.12、0.17、0.15 MPa。

低掺量的尾矿砂提高水泥土强度的主要原因:① 尾矿砂的加入可以改善土颗粒的级配,减小土体的空隙率,增加水泥土的密实性,因此水泥土的抗压、抗折强度有所提高;② 铁尾矿砂属于高硅型特细尾矿砂,化学成分与土相似,但粒径大于黏土颗粒,在土体中充

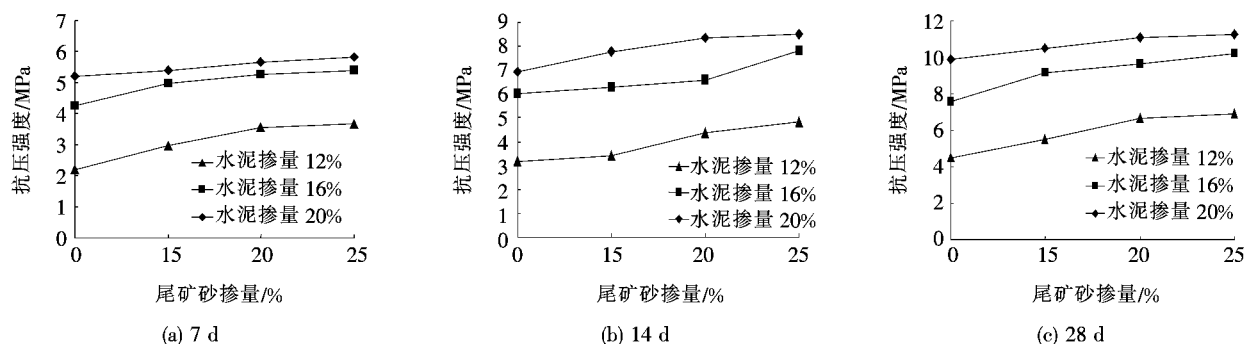


图 3 不同龄期尾矿砂掺量—抗压强度曲线

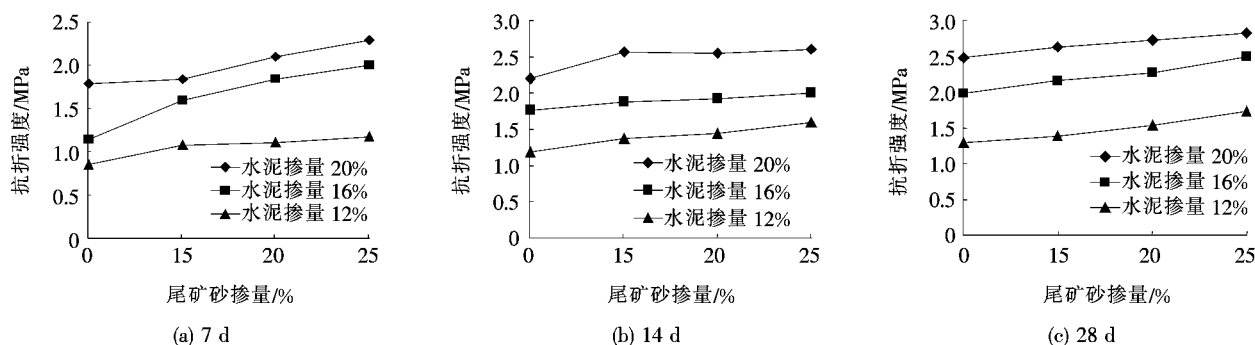


图 4 不同龄期尾矿砂掺量—抗折强度曲线

当了粗骨料的作用,在水泥水化、硬化形成的胶凝物质的作用下,使土颗粒围绕其形成整体,故水泥土的抗压、抗折强度有所提高。

由于水泥土早期强度不稳定,在这里讨论龄期为 28 d,不同水泥掺量的水泥土抗压强度、抗折强度与尾矿砂掺量的函数关系,应用 Matlab 软件进行拟合。得到尾矿砂水泥土的强度 f_{cu} 、抗折强度 f_t 与尾矿砂量 S 的表达式如下:

$$f_{cu} = a(S) + b \quad (1)$$

$$f_t = c(S) + d \quad (2)$$

式中: a 、 b 、 c 、 d 为回归系数。

求得的抗压、抗折强度与铁尾矿砂掺量的回归系数和相关度 R_1 、 R_2 见表 2, 相关度 R_1 、 R_2 均大于 0.9, 说明抗压强度、抗折强度与尾矿砂掺量按照一次函数拟合效果较好。

表 2 强度与铁尾矿砂掺量的回归系数

水泥掺量/%	a	b	R_1	c	d	R_2
12	0.101	4.372	0.975	0.017	1.234	0.910
16	0.112	7.574	0.994	0.014	2.454	0.944
20	0.064	9.843	0.982	0.019	1.944	0.997

3.3 龄期对尾矿砂水泥土强度的影响

图 5、6 分别为纯水泥土、尾矿砂掺量为 15% 的水

泥土抗压、抗折强度随龄期的变化情况。

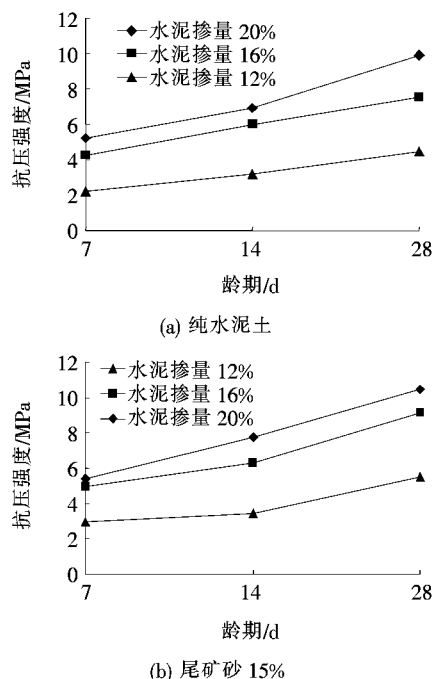


图 5 纯水泥土、尾矿砂 15% 水泥土龄期—抗压强度曲线

从图 5、6 可以看出:在养护龄期小于 28 d 的条件下,铁尾矿砂水泥复合土的抗压、抗折强度随龄期增长而增加,与纯水泥土的变化规律相同,强度增加的原因在于水泥的水化反应是一个长期作用的过程,养护时

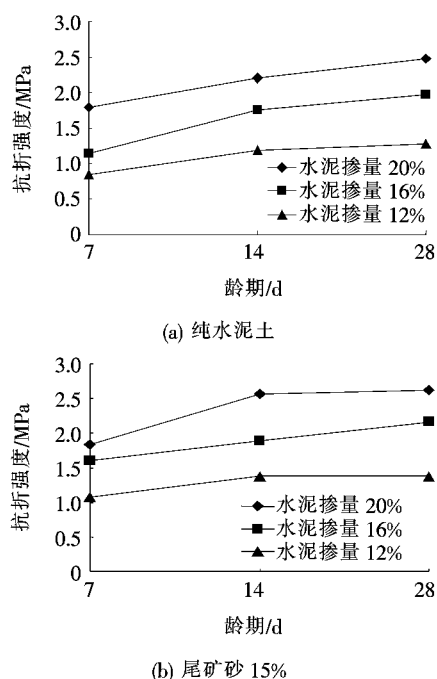


图6 纯水泥土、尾矿砂15%水泥土龄期—抗折强度曲线

间越长,水泥的水化反应越充分,水化产物越多,所以水泥土强度不断提高。

水泥掺量为12%,尾矿砂掺量为15%的水泥土在前7、7~14、14~28 d龄期,抗压强度平均每天分别增长0.99、0.15、0.16 MPa,抗折强度平均每天增长0.04、0.15、0.01 MPa,故铁尾矿砂水泥复合土的抗压、抗折强度早期强度增长较快,后期强度增长较慢,这一变化规律与纯水泥土相似。

4 结论

对尾矿砂水泥复合土的抗压强度、抗折强度随水泥掺量、龄期、铁尾矿砂掺量的变化关系进行研究,得到的主要结论如下:

(1) 铁尾矿砂水泥复合土的抗压、抗折强度均随水泥掺量的增加而增大,但水泥掺量大于16%时强度增长较缓慢,所以,水泥掺量控制在16%左右,更具有经济效益。

(2) 铁尾矿砂水泥复合土的抗压、抗折强度随龄期的增长而增大,并且早期强度增长较快,后期强度增长较慢。

(3) 当尾矿砂掺量小于25%时,水泥土的抗压、抗折强度随铁尾矿砂掺量的增加而增大,符合线性函数关系,并且当水泥掺量较小时,掺尾矿砂效果明显。

(4) 在该文试验条件下,养护龄期为28 d,水泥掺量为12%,尾矿砂掺量为15%的水泥土抗压抗折强度分别达到5.5、1.38 MPa,能够满足一般工程的强度需要。

参考文献:

- [1] 张登良.加固土原理[M].北京:人民交通出版社,1990.
- [2] 陈四利,宁宝宽.岩土材料的环境效应[M].北京:冶金工业出版社,2010.
- [3] JGJ/T 233—2011 水泥土配合比设计规程[S].
- [4] 陈甦,宋少华,沈剑林,等.水泥土配合比试验研究[J].中外公路,2006(6).
- [5] 申莉.水泥砂浆固化土的工程特性研究[J].中外公路,2014(2).
- [6] 宁宝宽,孙思淼,张幼鹤.尾矿砂免烧砖砌体的破裂特征[J].沈阳工业大学学报,2014(2).
- [7] 宁宝宽,张俊祥,等.废玻璃粉—尾矿砂混凝土的强度试验研究[J].矿产综合利用,2015(3).
- [8] 欧阳克连,宁宝宽.水泥土强度影响因素的研究[J].中外公路,2009(4).
- [9] 曹智国,章定文.水泥土无侧限抗压强度表征参数研究[J].岩石力学与工程学报,2015(增1).
- [10] 严红霞,孙磊,钱玉林.水泥土拉、压强度影响因素综述[J].岩土工程,2009(2).
- [11] 陈瑞生,蔡荣坤.水泥土无侧限抗压强度的影响因素分析[J].中外公路,2005(2).
- [12] 鹿群,郭少龙,王闪闪,等.纤维水泥土力学性能的试验研究[J].地下空间与工程学报,2016(增2).
- [13] 夏永杰,王丽艳,刘瀚森.掺废弃钢渣的水泥土强度特性试验研究[J].中外公路,2016(5).
- [14] 陈四利,董凯赫,宁宝宽.水泥复合土的渗透性研究[J].应用基础与工程科学学报,2016(4).
- [15] 陈四利,倪春雷,董凯赫.水泥复合土的抗压强度试验研究[J].科学技术与工程,2015(30).
- [16] 陈四利,杨雨林,周辉,等.污水环境对水泥土渗透性能影响的试验研究[J].岩土力学,2015(11).
- [17] 韩鹏举,白晓红,赵永强,等. Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 相互影响对水泥土强度影响的试验研究[J].岩土工程学报,2009(1).
- [18] 韩鹏举,白晓红,赵永强.硫酸钠对水泥土的强度及微观孔隙影响研究[J].岩土力学,2014(9).
- [19] 赵永强,白晓红,韩鹏举.无机化合物环境中水泥土力学特性试验研究[J].中外公路,2009(1).
- [20] 赫文秀,申向东.掺砂水泥土的力学性能研究[J].岩土力学,2011(1).
- [21] 赫文秀,申向东.玻璃纤维粉煤灰水泥土的力学特性[J].公路交通科技,2012(3).