

台山市都斛堤围东濬水闸重建工程水泥搅拌桩

室内配合比试验研究

罗素芬，王立华

(广东省水利水电科学研究院，广州，510610)

摘要：本文通过室内配合比试验，研究了水泥掺量、龄期、水灰比、工艺等对水泥土试件无侧限抗压强度的影响。

关键词：水泥土；外加剂；工艺；强度

1 概述

水泥土搅拌法是适用于加固饱和粘性土和粉土等地基的一种方法，它是利用水泥等材料作为固化剂，将软土和固化剂强制搅拌，使软土硬结成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥加固土，从而提高地基土强度。根据固化剂掺入状态不同，可分为浆液搅拌和喷射搅拌。

为了给设计和施工提供合理的水泥土配合比，必须进行水泥土室内配合比试验。本文根据委托方的要求通过不同的水灰比、不同的水泥掺量、不同工艺进行试验对比，研究了对水泥土抗压强度的影响。

2 室内配合比试验

2.1 原材料

试验用水泥为英德市翔发旋窑水泥有限责任公司生产的普通硅酸盐水泥，强度等级为 42.5R；试验用土为粉土及粘土混合，土样含水量 80.0 %、土样有机质含量 3.60% ~ 2.15%、 SO_4^{2-} 含量 977.86mg/kg ~ 339.7mg/kg、PH 值 8.41 ~ 8.35。根据《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 中关于场地土对混凝土结构的腐蚀性评价方法，本工程环境类别属 Ⅲ类，所检土样对混凝土不具有泛酸型腐蚀、对混凝土具有弱硫酸盐型腐蚀。

2.2 水泥土配合比试验（无侧限抗压强度）

2.2.1 水泥土（湿喷）配合比试验

- (1) 外掺剂：不掺、掺三乙醇胺 0.05%；
- (2) 水泥掺量：18%、21%、24%；
- (3) 水灰比：0.50；
- (4) 试验龄期：7d、14d 和 28d。

2.2.2 水泥土（粉喷）配合比试验

- (1) 水泥掺量：18%、21%、24%；
- (2) 水灰比：0；
- (3) 试验龄期：7d、14d 和 28d。

2.3 试验方法

水泥土搅拌桩室内试验参照《软土地基深层搅拌加固法技术规程》YBJ255-91、《粉体喷搅法加固软弱土层技术规程》TB10113-96、《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 和《建筑地基处理技术规范》DBJ15-38-2005。试验时将委托方送检的土样混合，用 5mm 筛筛去其中的夹杂物，拌合均匀，在密封桶内，放置 24h 后进行配合比试验。各种材料的用量按配合比准确称量，采用人

工拌和，制模后用塑料薄膜覆盖试件，以防水分蒸发过快。试件 2d 后拆模，拆模后放置于温度为 20±2 的水中养护至试验龄期。

3 配合比试验结果及分析

水泥石无侧限抗压强度试验结果见表 1、表 2 及表 3。

表 1 水泥石（湿喷）室内配合比无侧限抗压强度结果表

| 水灰比 | 0.50 | | |
|-------------------|---------------------|------|------|
| 龄期 | 7d | 14d | 28d |
| 水泥掺量 (占土质量, %) | 无侧限抗压强度(MPa) | | |
| 18 | 1.02 | 1.21 | 1.50 |
| 21 | 1.17 | 1.46 | 1.76 |
| 24 | 1.31 | 1.69 | 2.02 |
| 备注 | 水泥为普通硅酸盐、强度等级 42.5R | | |

表 2 水泥石（湿喷）室内配合比无侧限抗压强度结果表

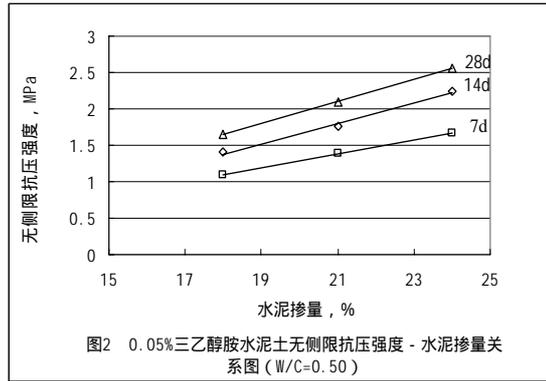
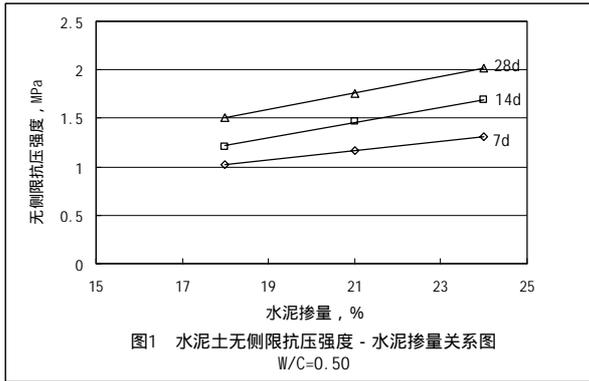
| 水灰比 | | 0.50 | | |
|-------------------|---------------------------------|---------------------|------|------|
| 龄期 | | 7d | 14d | 28d |
| 水泥掺量 (占土质量, %) | 三乙醇胺掺量 (占被加固土体和外加水泥的质量之和, %) | 无侧限抗压强度(MPa) | | |
| 18 | 0.05 | 1.09 | 1.40 | 1.64 |
| 21 | | 1.39 | 1.76 | 2.10 |
| 24 | | 1.67 | 2.25 | 2.55 |
| 备注 | | 水泥为普通硅酸盐、强度等级 42.5R | | |

表 3 水泥石（粉喷）室内配合比无侧限抗压强度结果表

| 水灰比 | 0 | | |
|-------------------|---------------------|------|------|
| 龄期 | 7d | 14d | 28d |
| 水泥掺量 (占土质量, %) | 无侧限抗压强度(MPa) | | |
| 18 | 1.08 | 1.43 | 1.77 |
| 21 | 1.54 | 2.36 | 2.95 |
| 24 | 2.11 | 2.74 | 3.38 |
| 备注 | 水泥为普通硅酸盐、强度等级 42.5R | | |

3.1 水泥掺量的影响

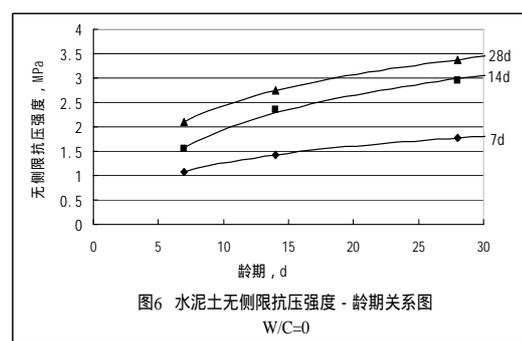
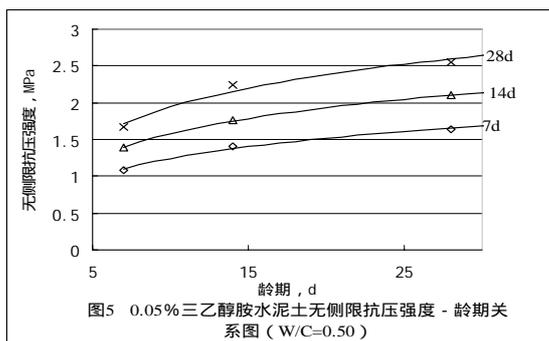
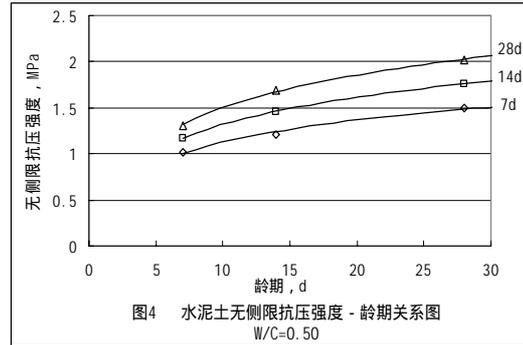
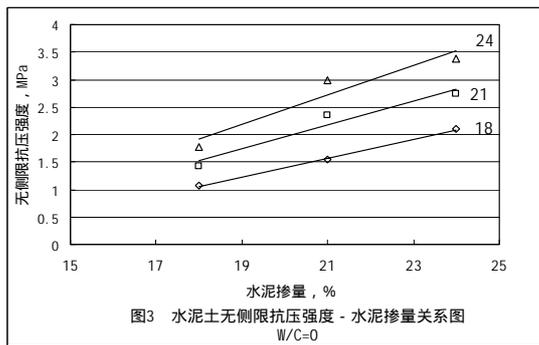
由水泥石室内配合比无侧限抗压强度结果可知，不掺外加剂、水灰比为 0.50，掺三乙醇胺 0.05%、水灰比为 0.50，水灰比为 0（粉喷），水泥石试件无侧限抗压强度与水泥掺量的关系见图 1、图 2、图 3，两者呈线性关系，相关性良好。



在其它条件相同的情况下，水泥掺量越大，试件的无侧限抗压强度就越大。水泥加固软土主要是由于水泥与土之间相互的物理化学反应，包括水泥的水解和水化反应、硬凝反应、水泥和软土之间的离子交换和团粒化作用。水泥作为加固剂，掺量越大，与软土的物理化学作用进行得越快、程度越深入、加固作用越大、效果越显著。

3.2 龄期的影响

由水泥土室内配合比无侧限抗压强度结果可知，不掺外加剂、水灰比为 0.50，掺三乙醇胺 0.05%、水灰比为 0.50，水灰比为 0（粉喷），水泥土试件无侧限抗压强度与水泥掺量的关系见图 4、图 5、图 6，两者呈对数关系，相关性良好。



当其它条件相同时，水泥土的无侧限抗压强度随龄期增长而增大。水泥作为一种水硬性材料，在有水的条件下，其熟料矿物与水发生水化反应，形成水化产物，水化产物凝聚产生强度。水泥早期的水化非常迅速，当水泥颗粒与水接触后，水化反应立即开始。首先水化的是水泥颗粒的外层，当水化进行到一定程度后，水化产物包裹其表面，内部未水化的水泥核心进一步水化变得困难，水化速度大大降低，水泥完全水化需要相当长的时间，由此可见，水泥水化是一个长期的过程，随着水泥的不断水化，水泥石的强度不断增长。

3.3 外加剂的影响

三乙醇胺是一种早强剂。早强剂的加入，一方面使其本身与水泥颗粒表面矿物发生化学反应，生成不溶于水的水化产物，更重要的是能加快水泥的水解和水化反应，生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水硅酸钠、含水铝酸钙等水化物，这些水化物又与具有一定活性的粘土颗粒发生离子交换、团粒化作用及凝硬反应，从而使水泥土的强度大大提高。随着三乙醇胺掺量的增大水泥土的无侧限抗压强度也增大。

通过试验可知，掺三乙醇胺比不掺的水泥土无侧限抗压强度约增大 6.9%~33.1%。

3.4 工艺的影响

粉喷与湿喷两种不同工艺进行室内配合比试验，对不同龄期的水泥土无侧限抗压强度比较，粉喷由于不再加入附加水分，粉喷比湿喷水泥土无侧限抗压强度约增大 5.9%~67.6%。

4 结论

(1) 土样对混凝土不具有泛酸型腐蚀而具有弱硫酸盐型腐蚀。

(2) 水泥土无侧限抗压强度随水泥掺量增加而增大，两者呈线性关系；水泥土无侧限抗压强度随龄期增长而增大，两者呈对数关系。

(3) 掺三乙醇胺比不掺的水泥土无侧限抗压强度较高。

(4) 粉喷比湿喷水泥土无侧限抗压强度较高。

因此，在水灰比与水泥掺量能满足设计要求，适宜施工，并保证水泥土强度的均匀性，建议优先选用粉喷工艺或掺入三乙醇胺的水泥土配合比。

参考文献：

- [1] 《粉体喷搅法加固软弱土层技术规程》TB10113-96
- [2] 《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002
- [3] 《软土地基深层搅拌加固法技术规程》YBJ255-91