

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-101-2017

住房和城乡建设部备案号：J11186-2017

## 福建省水泥土配合比设计与试验规程

Specification for mix proportion design and  
test of cement-mixed soil in Fujian Province

2017-02-05 发布

2017-05-01 实施

福建省住房和城乡建设厅 发布

福建省工程建设地方标准

福建省水泥石配合比设计与试验规程

Specification for mix proportion design and  
test of cement-mixed soil in Fujian Province

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-101-2017

住房和城乡建设部备案号：J11186-2017

主编单位：福建省建筑科学研究院

宏峰集团（福建）有限公司

批准部门：福建省住房和城乡建设厅

实施日期：2017年05月01日

2017年 福州

# 福建省住房和城乡建设厅关于发布省工程建设地方标准

## 《福建省水泥石配合比设计及试验规程》的通知

闽建科[2017]3号

各设区市建设局（建委），平潭综合实验区交通与建设局，各有关单位：

由福建省建筑科学研究院和宏峰集团（福建）有限公司共同主编的《福建省水泥石配合比设计及试验规程》，经审查，批准为福建省工程建设地方标准，编号 DBJ/T 13-101-2017，自 2017 年 5 月 1 日起实施。原《水泥石配合比设计规程》DBJ 13-101-2008 同时废止。在执行过程中，有何问题和意见请函告省厅建筑节能与科技处。

该标准由省厅负责管理。

福建省住房与城乡建设厅

2017年2月5日

## 前 言

根据福建省住房和城乡建设厅《关于印发福建省住房和城乡建设系统 2014 年第二批科学技术项目计划的通知》（闽建科[2014]21 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，结合我省当前实际情况，总结近年来的实践经验，参考国家现行有关标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了 DBJ 13-101-2008《水泥土配合比设计规程》。

本规程修订的主要技术内容是：1. 修改了水泥土及水泥土配合比设计的术语表述，新增了施工工艺系数及外加剂掺量等术语；2. 增加了水泥土外加剂的相关技术要求；3. 明确规范了水泥土试配强度的计算公式；4. 调整了水泥土配合比设计步骤，增加了各材料用量的计算过程，修改了水泥浆水灰比的选取原则及选用范围，取消了水泥浆水灰比的计算公式及水泥土假定表观密度的选用范围表；5. 修改了无侧限抗压试件尺寸规格及试件的成型工艺；6. 增补了水泥土的渗透试验、压缩试验及剪切试验方法；7. 增补了水泥土现场取样及试验。

本规程修订后，章节调整为：1、总则；2、术语和符号；3、基本规定；4、原材料要求；5、配合比设计；6、试件制备；7、试验方法。

本规程由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送福建省住房和城乡建设厅建筑节能与科技处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和福建省建筑科学研究院（地址：福州市杨桥中路 162 号，邮编：350025），以供今后修订。

本规程主编单位：福建省建筑科学研究院

宏峰集团（福建）有限公司

本规程参编单位：飞阳建设工程有限公司

福建宏盛建设集团有限公司

福建省骏业市政工程有限公司

福建省聚煌建设工程有限公司

福建才溪建设集团有限公司

福建建工集团总公司

福建祥荣建设投资集团有限公司

福州市建设工程质量监督站

福建省建设工程质量安全监督总站

福建省雄盛建筑工程有限公司

本规程主要起草人员：黄 芳 蔡 晟 黄 欢 陈 苓 张 蔚 王金权 李家伟  
夏 杨 林生凤 赵剑豪 刘晓群 郑 斌 郭雄玉 潘春玲  
高泳波 张富城 林玉狮 陈志湖 李高华 林 敏 蔡奇峰  
林相儒

本规程主要审查人员：黄可明 刘毓炘 郑金伙 姚琪钦 姚志雄 林联财 许尚春

# 目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	2
3	基本规定.....	4
4	原材料要求.....	4
5	配合比设计.....	5
5.1	配合比计算.....	5
5.2	配合比的试配、调整与确定.....	7
6	试件制备.....	8
6.1	仪器设备.....	8
6.2	试件的成型与养护.....	8
7	试验方法.....	10
7.1	一般规定.....	10
7.2	无侧限抗压强度试验.....	10
7.3	渗透试验.....	10
7.4	压缩试验.....	13
7.5	剪切试验.....	14
7.6	水泥土现场取样及试验.....	14
	本规程用词说明.....	15
	引用标准名录.....	16
	附：条 文 说 明.....	17

# Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Basic Requirements.....	4
4	Raw Material Requirements.....	4
5	Mix Proportion Design.....	5
5.1	Calculation of Mix Proportion.....	5
5.2	Trial Mix, Adjustment and Determination of Mix Proportion.....	7
6	Specimen Preparation.....	8
6.1	Instruments and Equipments.....	8
6.2	Molding and Curing.....	8
7	Test Methods.....	10
7.1	General Requirements.....	10
7.2	Unconfined Comprehensive Strength Test.....	10
7.3	Permeability Test.....	10
7.4	Compressive Test.....	13
7.5	Shear Strength Test.....	14
7.6	Field Sampling and Test of Cement-Mixed soil.....	14
	Explanation of Wording in This Code.....	15
	List of Quoted Standards.....	16
	Addition:Explanations of Provisions.....	17

# 1 总 则

- 1.0.1 为规范福建省水泥石配合比设计及其性能试验方法，保证水泥石质量，做到技术先进，经济合理，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于采用水泥作为固化剂加固淤泥、淤泥质土、素填土、黏土、粉土、砂类土等土层的水泥石配合比设计及其性能试验。
- 1.0.3 水泥石配合比设计及其性能试验方法，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业及地方现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 水泥土 cement-mixed soil

水泥和土以及其他组分按适当比例混合、拌制并经硬化而成的材料。

#### 2.1.2 水泥土配合比设计 mixed proportion design of cement-mixed soil

根据原材料性能、工程设计及施工要求，确定水泥掺入比及水泥浆水灰比，并经试验室试配、调整，确定水泥土中各材料质量比的过程。

#### 2.1.3 施工工艺系数 technology coefficient of construction

设计要求的水泥土无侧限抗压强度与试验室配合比水泥土试配强度的比值，该系数与搅拌工艺、施工质量、土的分类、水泥掺入比等因素相关。

#### 2.1.4 水泥掺入比 cement mixing ratio

掺入的水泥质量与被加固原状土的质量比，以百分数表示。

#### 2.1.5 水泥浆水灰比 ratio of water to cement

用于加固土体的水泥浆中水与水泥的质量比。

#### 2.1.6 外加剂掺量 dosage of admixtures

水泥土中掺入外加剂与水泥的质量比，以百分数表示。

#### 2.1.7 无侧限抗压强度 unconfined compressive strength

水泥土立方体试件在无侧向压力的条件下，抵抗轴向应力的最大值。

### 2.2 符号

$f_{cs,0}$ ——水泥土试配强度 (MPa);

$f_{cs,k}$ ——设计要求的水泥土无侧限抗压强度值 (MPa);

$\sigma$ ——施工工艺系数;

$\alpha_w$ ——水泥掺入比 (%);

$\omega$ ——土的天然含水率 (%);

$\omega_0$ ——风干土的含水率 (%);

$m_0$  ——风干土的质量 (kg);

$m_c$  ——水泥的质量 (kg);

$m_s$  ——湿土的质量 (kg);

$m_w$  ——加水量 (kg);

$\mu$  ——水泥浆水灰比;

$m_a$  ——外加剂的质量 (kg);

$a_a$  ——外加剂掺量 (%);

$m_1$  ——试件养护前的质量 (kg);

$m_2$  ——试件养护后的质量 (kg);

$k_T$  ——水温  $T^\circ\text{C}$  时水泥土渗透系数 (cm/s);

$k_{20}$  ——水温为标准温度时试件的渗透系数 (cm/s)。

### 3 基本规定

- 3.0.1 在进行水泥土配合比设计前应收集详细的岩土工程勘察资料，结合工程情况和拟使用的施工工艺，了解当地相关经验、配合比试验资料和影响水泥土强度的因素，确认土体用水泥加固的可行性。
- 3.0.2 水泥土配合比设计应满足工程设计和施工要求。
- 3.0.3 水泥土配合比设计所用原材料应与施工现场用原材料一致。
- 3.0.4 水泥土的每种配合比宜进行 7d、28 d 和 90 d 三种龄期的无侧限抗压强度试验。
- 3.0.5 有渗透性能要求的水泥土宜增加 28 d 和 90 d 二种龄期的渗透试验。
- 3.0.6 水泥土性能指标宜以 90d 龄期的试验结果为准；有特殊要求的工程，水泥土性能指标应按工程设计要求或现行有关标准执行。

### 4 原材料要求

- 4.0.1 试验用土应在拟加固的土层中取样，采集的原状土样应密封包装，取样方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定。
- 4.0.2 水泥品种、强度等级应根据水泥土无侧限抗压强度及特殊性能的要求进行选择。采用通用硅酸盐水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定，采用其他品种水泥应符合国家现行有关标准的规定。
- 4.0.3 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。
- 4.0.4 外加剂应符合下列规定：
  - 1 可根据工程需要和土质条件选用不同类型的外加剂，其品种和掺量应通过试验或工程经验确定；
  - 2 外加剂性能应符合国家现行有关标准的规定。

## 5 配合比设计

### 5.1 配合比计算

5.1.1 水泥土配合比计算应按下列步骤进行：

1 进行土样的天然含水率、密度、颗粒级配、液限、塑限、pH值和有机质含量等性能参数测试，试验方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123执行，当有特殊要求时，可增加土样的其他相关性能的试验；

- 2 根据设计强度值，计算水泥土试配强度；
- 3 选取水泥掺入比基准值；
- 4 计算并选取水泥浆水灰比；
- 5 计算各材料用量。

5.1.2 水泥土试配强度应按下式确定：

$$f_{cs,0} = \frac{f_{cs,k}}{\sigma} \quad (5.1.2)$$

式中： $f_{cs,0}$ ——水泥土试配强度（MPa）；

$f_{cs,k}$ ——设计要求的水泥土无侧限抗压强度值（MPa）；

$\sigma$ ——施工工艺系数，取值0.35~0.75。

5.1.3 水泥掺入比基准值可根据土样的工程分类、水泥土试配强度、水泥强度等级等按表5.1.3选取，水泥掺入比 $\alpha_w$ 用下式表示：

$$\alpha_w = \frac{m_c}{m_s} \times 100\% \quad (5.1.3)$$

式中 $m_c$ ——水泥的质量（kg）；

$m_s$ ——湿土的质量（kg）。

表 5.1.3 水泥掺入比选用表

土样工程分类	土的天然含水率 $\omega$ (%)	水泥土试配强度 (MPa)	强度等级 32.5 的水泥掺入比 (%)	强度等级 42.5 的水泥掺入比 (%)
淤泥、 淤泥质土、 黏土、 粉土	$10 < \omega < 30$	$< 2.0$	12~15	10~12
		$\geq 2.0$	15~18	12~15
	$30 \leq \omega \leq 70$	$< 2.0$	15~18	12~15
		$\geq 2.0$	18~21	15~18
砂类土	$10 < \omega < 30$	$< 5.0$	12~18	10~15
		$\geq 5.0$	20~25	18~22
	$30 \leq \omega \leq 70$	$< 5.0$	18~22	15~18
		$\geq 5.0$	20~25	18~22

注：1. 当土样为有机质土、高含水率土、酸性土等时，可按其它方式确定水泥掺入比；

2. 有实际工程经验或设计上有水泥掺入比要求的，可直接确定或采用；

3. 高压旋喷桩宜在施工现场采用试桩法确定水灰比及水泥掺入比。

5.1.4 水泥浆的水灰比  $\mu$  可根据施工工艺、土的天然含水率及处理目的，按照设计要求或当地经验确定，湿法可取 0.45~2.0，粉喷法取 0。

5.1.5 水泥土的各材料用量应按下列步骤确定：

1 测定土样的天然含水率  $\omega$ ；

2 土样经风干、碾碎，并通过 5mm 筛，测定风干土的含水率  $\omega_0$ ，试算用量，称取一定量的风干土  $m_0$ ；

3 根据选定的水泥掺入比基准值，计算水泥掺入量：

$$m_c = 0.01a_w \cdot \frac{1 + 0.01\omega}{1 + 0.01\omega_0} m_0 \quad (5.1.5-1)$$

式中：  $m_c$  ——水泥的质量 (kg)；

$a_w$  ——水泥的掺入比 (%)；

$\omega$  ——土的天然含水率 (%)；

$\omega_0$  ——风干土的含水率 (%)；

$m_0$  ——风干土的质量 (kg)。

4 根据选定的水泥浆水灰比，计算加水量：

$$m_w = \mu m_c + \frac{0.01\omega - 0.01\omega_0}{1 + 0.01\omega_0} m_0 \quad (5.1.5-2)$$

式中：  $m_w$  ——加水量 (kg)；

$\mu$  ——水泥浆水灰比。

5 确定外加剂的用量，并按下式计算：

$$m_a = 0.01a_a m_c \quad (5.1.5-3)$$

式中： $m_a$ ——外加剂的质量 (kg)；

$a_a$ ——外加剂掺量 (%)，可根据外加剂性能按经验取值。

## 5.2 配合比的试配、调整与确定

5.2.1 混凝土试配时，应选定一个水泥掺入比为配合比基准值，另外两个配合比的水泥掺入比宜比基准值分别增加和减少 3%，一组试配应做不少于三个掺入比。

5.2.2 混凝土试配时，试件制备应符合本规程第 6 章的规定，混凝土的性能试验应按本规程第 7 章执行。

5.2.3 根据试配结果，宜选定符合试配强度及其他设计性能要求、较小水泥掺入比所对应的配合比。当试配结果不满足设计要求时，应调整试配结果中水泥掺入比基准值，重新进行试验。

## 6 试件制备

### 6.1 仪器设备

6.1.1 试验用试模应符合下列规定：

- 1 试模应具有足够刚度，内表面应光滑、防渗；
- 2 无侧限抗压强度试验采用立方体试模，其尺寸应为  $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ ，且试模内表面平整度应为每  $70.7\text{mm}$  不超过  $0.1\text{mm}$ ，各相邻板面的垂直度偏差应为  $\pm 0.5^\circ$ ；
- 3 当渗透试验采用截头圆锥形成型试模时，其上口内径应为  $70\text{mm}$ ，下口内径应为  $80\text{mm}$ ，高度应为  $30\text{mm}$ ，应为铸铁、铸钢等磁性材质；
- 4 当渗透试验采用圆柱体试验试模时，其内径应为  $80\text{mm}$ ，高度应为  $40\text{mm}$ 。

6.1.2 除试模外，水泥石配合比试验采用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 称量土料、水泥和水用天平的量程宜为  $30\text{kg}$ 、分度值宜为  $5\text{g}$ ，称量外加剂用天平的量程宜为  $500\text{g}$ 、分度值应为  $0.01\text{g}$ ；
- 2 捣棒宜采用直径为  $10\text{mm}$  且端部磨圆的光滑钢棒；
- 3 搅拌机宜采用转速可调、可封闭搅拌的行星式搅拌机，转速宜为  $(100 \sim 400) \text{r/min}$ ；
- 4 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T 245 的规定。

### 6.2 试件的成型与养护

6.2.1 试件原材料应符合本规程第 4 章的规定，配合比应符合本规程第 5 章的规定。

6.2.2 每批试件宜一次搅拌成型，搅拌方式应采用机械搅拌，并应符合下列规定：

- 1 风干土与水泥应先均匀混合，再洒水搅拌直至均匀；当有掺入外加剂时，外加剂应与水混合均匀后洒水搅拌；
- 2 加水搅拌直至均匀，拌合水可一次加入，也可逐次加入。当采用逐次加入时，每次拌合时间应不少于  $1\text{min}$ 。搅拌时间应不少于  $10\text{min}$ ，并不应超过  $20\text{min}$ 。

6.2.3 试件的成型应符合下列规定：

- 1 成型试验室的环境温度应为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不应低于  $50\%$ ；
- 2 在试件成型前，试模内表面应涂一薄层矿物油或其他不与水泥石发生反应的脱模剂；
- 3 水泥石搅拌后应尽快成型，成型时间不应超过  $25\text{min}$ ；
- 4 试件成型步骤应符合下列规定：

- 1) 拌合物宜分两层插捣，每层装料高度宜相等；
- 2) 每层应按螺旋方向从边缘中心均匀插捣 15 次，在插捣底层拌合物时，捣棒应达到试模底部，插捣上层时，捣棒应贯穿该层后插入下一层 5mm~15mm，插捣时捣棒应保持竖直，插捣后应用油灰刀或刮刀沿试模内壁插拔数次；
- 3) 试模应附着或固定在振动台上振实，振实时间应不少于 2min，振实后拌合物应高于试模上沿口；
- 4) 试模顶部多余的水泥土应刮除，抹平后应盖上塑料薄膜。

#### 6.2.4 试件拆模与养护应符合下列规定：

- 1 试件应在  $(20 \pm 5)$  °C 的环境条件下静置 48h 后拆模；
- 2 拆模后应检查试件外观，不得有肉眼可见的裂纹、缺棱掉角、倾斜及变形；
- 3 应称取试件养护前的质量 ( $m_1$ )，精确至 1g，并应根据试件的公称尺寸计算拆模后水泥土的密度。当同组试件密度的最大值或最小值与平均值之差超过 3% 时，或当该组试件密度平均值小于天然土密度时，该组试件应作废，并应重新制备；
- 4 称量后的试件应放入  $(20 \pm 2)$  °C 水中养护，试件间的间隔不应小于 10mm，水面高于试件表面不应小于 20mm。

## 7 试验方法

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 试件从养护室取出后应立即进行试验。
- 7.1.2 试验前应用拧干的湿布擦干试件表面，称取试件养护后的质量（ $m_2$ ），精确至 1g，养护后与养护前的试件缺损质量不应超过试件养护前的质量（ $m_1$ ）的 1%。
- 7.1.3 应测量试件尺寸，并精确至 1mm。试件的不平整度应为每 70.7mm 不超过 0.1mm，垂直度允许偏差应为  $\pm 0.5^\circ$ 。
- 7.1.4 试验前，应根据试件的质量和尺寸计算水泥土试件的密度。

### 7.2 无侧限抗压强度试验

- 7.2.1 水泥土的无侧限抗压强度应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233 执行。

### 7.3 渗透试验

- 7.3.1 本试验适用于测定水泥土的渗透系数。
- 7.3.2 水泥土渗透试验应采用下列仪器设备和材料：
- 1 动力源：应能使水压按规定要求稳定地作用在试件上；
  - 2 渗透试模：应采用金属试模，试模上部侧面应带有出水孔，截头圆锥形试件用渗透试模如图 7.3.2-1、图 7.3.2-2 所示，圆柱形试件用渗透试模为内径 80mm 通孔。尺寸应符合表 7.3.1 的规定：

表 7.3.1 渗透试验用试模及透水石尺寸

试模类型	试模尺寸 (mm)		透水石尺寸 (mm)	
截头圆锥形试模	上口内径	70	直径	80
	下口内径	80		
	高度	40	厚度	4
圆柱体试模	内径	80	直径	80
	高度	40	厚度	4

- 3 压力表：量程应为（0~2.5）MPa，压力设定的最小分值应不大于 0.02 MPa；
- 4 密封材料：可采用水泥加黄油、橡皮筋、聚四氟乙烯密封带等；
- 5 透水石：尺寸应符合表 7.3.2 的规定，且渗透系数应大于  $10^{-3}$ cm/s，应在试验前用抽

气法或煮沸法脱气；

6 滴定管：分度值应不大于 0.1mL；

7 滤纸：直径宜为 40mm；

8 秒表：分度值应不大于 1s；

9 试验用水：应采用纯水，应在试验前用抽气法或者煮沸法脱气，试验时的水温宜高于试验室温度（3 ~4）℃；

10 温度计：量程 0~50℃，分度值 0.1℃。

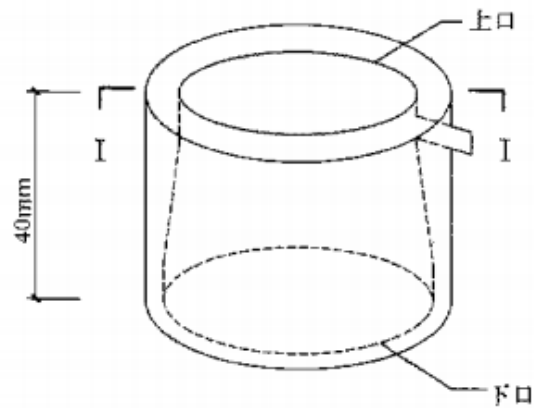


图 7.3.2-1 截头圆锥形试件用渗透试模示意图

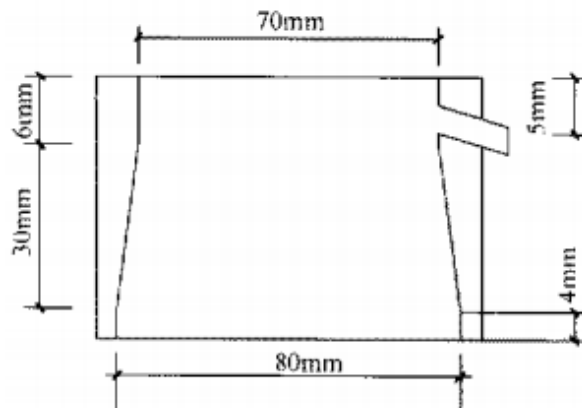


图 7.3.2-2 截头圆锥形试件用渗透试模 I-I 剖面示意图

7.3.3 水泥土渗透试验装置应符合下列规定（图 7.3.3）：

1 渗透容器：应由渗透试模、透水石和滤纸组成；

2 水泥土渗透试验装置：应由渗透容器、动力源、压力表、出水管、进水管等组成。

7.3.4 水泥土渗透试验的试件制备应符合本规程第 6 章的规定，现场取芯应符合本规程第 7.6 节的规定。

7.3.5 渗透试验应按下列步骤进行：

1 养护至规定龄期的试件应从养护室取出，并用拧干的湿布擦拭试件表面；采用密封材料密封装入渗透试模，下口放置透水石，装入渗透仪，将试件上表面擦拭干净，放置滤纸；

2 调节压力表，逐级施加压力。第一级压力宜为 0.02MPa，加压等级宜为 0.02MPa、0.04MPa、0.06MPa、0.08MPa、0.1MPa，以后应以 0.1MPa 的加压幅度递增；每级渗透压力的恒压时间应为 1h，最后一级压力应加至水泥土试件表面有水渗出为止，应记录此时的渗透压力 (p)，并应在恒定的压力 (p) 下测定水泥土试件渗出的水量；

3 当滴定管内液面变化逐渐稳定后，开始读数和记录，同时测记水温，温度读数精度应为 0.1℃。读数时间间隔应根据水泥土试件的渗水量而确定。对渗水量大的试件，宜每隔 (3~5) min 读数一次；当渗水量小时，宜每隔 (30~60) min 读数一次；

4 试验持续时间应根据渗水量稳定情况而确定。当由渗水量计算的渗透系数差值不大于  $2 \times 10^{-n}$  时，即可停止试验；

5 在试验过程中，应观察滤纸透水情况，当发现水从试件周边渗出时，应停止试验，并应重新密封试件后再继续试验。

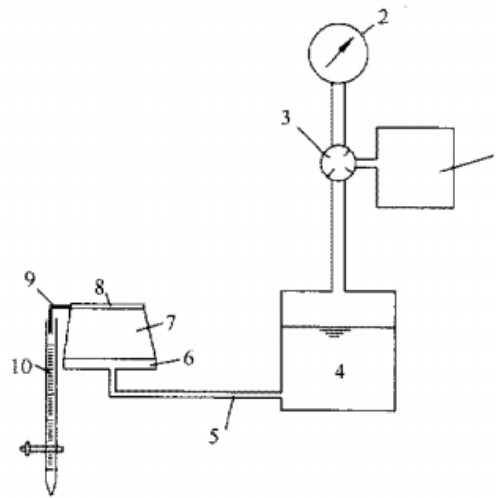


图 7.3.3 水泥土渗透试验装置示意图

1-动力源；2-压力表；3-调压阀；4-水；5-进水管；  
6-透水石；7-水泥土试样；8-滤纸；9-出水管；10-滴定管

### 7.3.6 试验结果计算及确定应符合下列规定：

1 水温  $T^{\circ}\text{C}$  时水泥土渗透系数  $k_T$  应按下式：

$$k_T = \frac{V}{iAt} \quad (7.3.6-1)$$

$$i = \frac{100P}{\rho gh} \quad (7.3.6-2)$$

式中： $k_T$  ——水温  $T^\circ\text{C}$  时水泥石渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )，精确至  $0.01 \times 10^{-n} \text{cm/s}$ ；

$t$  ——时间间隔 ( $\text{s}$ )，精确至  $1\text{s}$ ；

$A$  ——试件中部横截面积 ( $\text{cm}^2$ )，精确至  $0.1 \text{cm}^2$ ；

$h$  ——渗径，即试件高度 ( $\text{cm}$ )，精确至  $0.1\text{cm}$ ；

$V$  ——经时间间隔  $t$  渗出的水量 ( $\text{mL}$ )，精确至  $0.1\text{mL}$ ；

$i$  ——水力梯度，精确至  $0.01$ ；

$p$  ——施加的渗透压力 ( $\text{MPa}$ )，精确至  $0.02\text{MPa}$ ；

$\rho$  ——水的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )，取  $1.0\text{g/cm}^3$ ；

$g$  ——重力加速度 ( $\text{N/g}$ )，取  $9.8 \times 10^{-3} \text{N/g}$ 。

2 每个试件应至少测定 6 次，并应取 3~4 个在允许差值范围内的相近值的平均值，作为该水泥石试件在某一龄期下的渗透系数，允许差值不应大于  $2 \times 10^{-n}$ 。

3 渗透试验应以水温  $20^\circ\text{C}$  为标准温度，标准温度下的渗透系数应按式 (7.3.6-3) 计算，且黏滞系数系数比的  $\left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}}\right)$  确定应符合国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123-1999 第 13.1 节表 13.1.3 的规定：

$$k_{20} = k_T \times \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (7.3.6-3)$$

式中： $k_{20}$  ——水温为标准温度时试件的渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )，精确至  $0.01 \times 10^{-n} \text{cm/s}$ ，其中  $n$  为数量级；

$\eta_T$  ——水温  $T^\circ\text{C}$  时水的动力黏滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ )；

$\eta_{20}$  ——水温  $20^\circ\text{C}$  时水的动力黏滞系数 ( $\text{kPa} \cdot \text{s}$ )。

4 试验结果的确定应符合下列规定：

- 1) 每组应制作 3 个试件，分别测定渗透压力  $p$ ；
- 2) 当 3 个试件在相同的渗透压力  $p$  下渗水时，应计算 3 个试件的渗透系数平均值作为该组试件的渗透系数，结果精确至  $0.01 \times 10^{-n} \text{cm/s}$ ；
- 3) 当 3 个试件中有 2 个试件在相同的渗透压力  $p$  下渗水时，应以这 2 个试件渗透系数平均值作为该组试件的渗透系数，结果精确至  $0.01 \times 10^{-n} \text{cm/s}$ ；
- 4) 当 3 个试件在不同的渗透压力  $p$  下渗水时，该组试件的试验结果应作废，并应重新制作试件。

## 7.4 压缩试验

7.4.1 水泥石的压缩试验应按现行行业标准《水泥石配合比设计规程》JGJ/T 233 执行。

## 7.5 剪切试验

7.5.1 水泥土的剪切试验应按《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233 执行。

## 7.6 水泥土现场取样及试验

7.6.1 水泥土现场取样方法应按《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 中水泥土钻芯法试验的规定执行。芯样抗压试件直径不宜小于 70mm，试件的高径比宜为 1:1；渗透试验的芯样试件直径宜为 80mm，高度不小于 30mm。

7.6.2 芯样抗压强度应按《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 中水泥土钻芯法试验的规定执行。

7.6.3 渗透试验应按本规程第 7.3 节执行。

## 本规程用词说明

- 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：  
正面词采用“可”，反面词采用“不可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……要求(或规定)”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时，写法为“可参照……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 2 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 3 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 4 《混凝土试验用振动台》 JG/T 245
- 5 《水泥土配合比设计规程》 JGJ/T 233
- 6 《建筑地基检测技术规范》 JGJ 340

福建省工程建设地方标准

# 福建省水泥土配合比设计与试验规程

Specification for mix proportion design and  
test of cement-mixed soil in Fujian Province

工程建设地方标准编号：DBJ/T 13-101-2017

住房和城乡建设部备案号：J11186-2017

条文说明

2017年 福州

## 修订说明

《福建省水泥土配合比设计与试验规程》(DBJ/T 13-101-2017),经福建省住房和城乡建设厅 2017 年 2 月 5 日以闽建科[2017]3 号公告批准发布并经住房和城乡建设部批准备案,备案号为: J11186-2017。

本规程是在《水泥土配合比设计规程》(DBJ 13-101-2008)的基础上修订而成,上一版的主编单位是福建省建筑科学研究院,主要起草人员是郑敏升,黄金荣,张蔚,林云腾,高庆强,刘洪学,方家强,赵剑豪。本次修订的主要技术内容是:1. 修改了水泥土及水泥土配合比设计的术语表述,新增了施工工艺系数及外加剂掺量等术语;2. 增加了水泥土外加剂的相关技术要求;3. 明确规范了水泥土试配强度的计算公式;4. 调整了水泥土配合比设计步骤,增加了各材料用量的计算过程,修改了水泥浆水灰比的选取原则及选用范围,取消了水泥浆水灰比的计算公式及水泥土假定表观密度的选用范围表;5. 修改了无侧限抗压试件尺寸规格及试件的成型工艺;6. 增补了水泥土的渗透试验、压缩试验及剪切试验方法;7. 增补了水泥土现场取样及试验。

本规程修订过程中,编制组对全省主要软土分布地区的土样进行广泛、深入的调查研究,总结了我省工程建设中采用水泥作为固化主剂加固土体的实践经验,同时参考了国内水泥土配合比设计、土工试验方法、水泥土搅拌桩等相关的先进技术法规、技术标准。通过不同水泥浆水灰比、水泥品种和外加剂掺量,在不同水泥掺入比条件下,取得了水泥土无侧限抗压强度和渗透系数等重要技术参数。

为了便于广大设计、施工、科研、学校、检测等单位有关人员在使用本规程时,能够正确理解和执行条文规定,《福建省水泥土配合比设计与试验规程》编制组按章、节、条顺序修订了本规程的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明,但是,本条文说明不具备与规程正文同等法律效力,仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

## 目 次

1	总则.....	21
3	基本规定.....	22
4	原材料要求.....	24
5	配合比设计.....	27
5.1	配合比计算.....	27
5.2	配合比的试配、调整与确定.....	31
6	试件制备.....	32
6.1	仪器设备.....	32
6.2	试件的成型与养护.....	32
7	试验方法.....	33
7.1	一般规定.....	33
7.3	渗透试验.....	33
7.6	水泥石现场取样及试验.....	36

## Contents

1	General Provisions.....	21
3	Basic Requirements.....	22
4	Raw Material Requirements.....	24
5	Mix Proportion Design.....	27
5.1	Calculation of Mix Proportion.....	27
5.2	Trial Mix, Adjustment and Determination of Mix Proportion.....	31
6	Specimen Preparation.....	32
6.1	Instruments and Equipments.....	32
6.2	Molding and Curing.....	32
7	Test Methods.....	33
7.1	General Requirements.....	33
7.3	Permeability Test.....	33
7.6	Field Sampling and Test of Cement-Mixed soil.....	36

# 1 总则

1.0.1 水泥土作为道路路面基层、护坡修筑、衬砌注灌、地基加固、基础夯土和铺垫等工程的常见材料，具有经济耐久、就地取材、施工简便等优点，并以其施工期短、可加固深度大、处理效果好等特点广泛应用在福建省软弱地基加固处理工程中。随着水泥土的发展，水泥土的室内试验也越来越受到重视，室内试验在工程设计中起着很关键的作用，在一定程度上决定了处理方案的经济性、合理性以及工程的成败。因此《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）中第 7.3.1 条第 4 点明确规定设计前应进行拟处理图的室内配比试验，为设计提供依据。

本规程编制组充分考虑了近年来福建省有代表性土质地区水泥土施工技术及工艺的变化，针对近年来水泥土在生产和施工中出现的問題，广泛收集资料，开展调查研究，在试验研究的基础上，参考了诸多相关的技术资料 and 标准规范，统一了水泥土配合比及设计中常用的水泥土相关参数的试验方法。

1.0.2 本规程中水泥土一般适用于淤泥、淤泥质土、素填土、黏土、粉土、砂类土等土层加固。室内试验条件与施工现场条件存在较大的区别，但既然是室内试验，应认为是离散小的数值，即应认为水泥土是搅拌充分且均匀的。进行室内试验可为工程上寻求更加经济、合理的配方和合理的施工参数提供理论上的依据。

1.0.3 本条指出了在进行水泥土配合比设计时，还应执行现行的《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）、《软土地基深层搅拌加固法技术规程》（YBJ 225）、《水下深层水泥搅拌桩加固软土地基技术规程》（JTJ/T 259）、《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》（TB 10113）等标准规定。

### 3 基本规定

3.0.1 本条规定在进行水泥石配合比设计前应完成的工作。对拟采用水泥加固软弱土的工程，除了常规的工程地质勘察要求外，尚应注意查明：

一、填土层的组成：特别是大块物质（石块和树根等）的尺寸和含量。含大块石对采用水泥石搅拌法的施工有很大的影响，所以必须清除大块石等再予施工。

二、土的含水率：当水泥石配方相同时，其强度随土样的天然含水率的降低而增大。试验表明，当土的含水率在 50%~85% 范围内变化时，含水率每降低 10%，水泥石强度可提高 30%。

三、有机质含量：有机质含量较高会阻碍水泥水化反应，影响水泥石强度的增长。故对有机质含量较高的明、暗浜填土及吹填土应予慎重考虑。对生活垃圾的填土不应采用水泥石方法进行加固。

四、水质分析：对地下水的酸碱度（pH 值）以及硫酸盐含量等进行分析，以判断对水泥石侵蚀性的影响。

五、塑性指数：当土的塑性指数大于 25 时，水泥和土不易搅拌均匀。采用水泥加固砂类土应进行颗粒级配分析。特别注意土的粘粒含量及对水泥有害的土中离子种类及数量，如  $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  等。

根据室内试验，一般认为用水泥作加固料，对含有高岭石、多水高岭石、蒙脱石等粘土矿物的软土加固效果较好；而对含有伊利石、氯化物和水铝英石等矿物的黏土以及有机质含量高、pH 值较低的黏土加固效果较差，当对含有有机质或含盐量较高的土进行加固时，需进行试验确定选用适合的水泥类型及掺量，以减少水泥石强度损失。

3.0.3 为保证配合比设计与施工现场更贴近，因此要求试验用原材料与施工现场一致。由于土具有孔隙率大、吸附能力强、离散性大的特点，不宜采用体积法进行水泥石配合比的设计，因此本规程材料用量都以质量计。

3.0.4 《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）第 7.3.3 条第 3 点的条文说明规定如下：水泥石的强度随着龄期的增长而提高，一般在龄期超过 28d 后仍有明显增长，为了降低造价，对竖向搅拌桩试块国内外都取 90d 龄期为标准龄期。对起支挡作用承受水平荷载的搅拌桩，考虑开挖工期影响，水泥石强度标准可取 28d 龄期为标准龄期。从抗压强度试验得知，在其它条件相同时，不同龄期的水泥石抗压强度间关系大致呈线性关系，其经验关系式如下：

$$f_{cu7} = (0.47 \sim 0.63) f_{cu28}$$

$$f_{cu14} = (0.62 \sim 0.80) f_{cu28}$$

$$f_{cu60} = (1.15 \sim 1.46) f_{cu28}$$

$$f_{cu90} = (1.43 \sim 1.80) f_{cu28}$$

$$f_{cu90} = (2.37 \sim 3.73) f_{cu7}$$

$$f_{cu90} = (1.73 \sim 2.82) f_{cu14}$$

上式  $f_{cu7}$ 、 $f_{cu14}$ 、 $f_{cu28}$ 、 $f_{cu60}$ 、 $f_{cu90}$  分别为 7d、14d、28d、60d 和 90d 龄期的水泥土无侧限抗压强度。

当龄期超过三个月后，水泥土的强度增长缓慢。同样，据电子显微镜观察，水泥和土的硬凝反应约需 3 个月才能充分完成。因此水泥土选用 90d 龄期强度作为水泥土的标准强度较为适宜。一般情况下，龄期少于 3d 的水泥土强度与标准强度间关系其线性较差，离散性较大。

实际工程中，大多数对工期有严格要求，建议配合比龄期至少应进行 7d、28d、90d 三种龄期的试验，可用 7d 或 28d 龄期的试验结果推算标准龄期 90d 的参数。由于龄期越短，试验结果离散性越大，与标准龄期指标间关系的线性较差，因此，一般情况下可进行 7d、14d、28d、60d、90d 等龄期的试验，在工期允许的情况下，尽可能采用较长龄期 (14d、28d) 的试验结果进行推算。

**3.0.6** 为便于积累地区经验，室内试验应进行 90d 标准龄期的试验，尽管试验时间较长，但对积累经验、建立不同龄期与标准龄期之间的相关关系、提高推算精度非常有意义。

但从工程实际出发，对于承受竖向荷载的水泥土宜以 90d 龄期无侧限抗压强度为准，对于承受水平荷载的水泥土可以以 28d 龄期无侧限抗压强度为准。对于有特殊要求的工程可按现行相关规范要求执行，或按照设计图纸要求的龄期的强度为准。

## 4 原材料要求

4.0.1 试验用土一般为淤泥、淤泥质土、黏土、饱和黄土、粉土、素填土以及无流动地下水的饱和松散砂土等高压缩性土，均应在有代表性的土层中挖掘或钻取，采集的土样应密封包装，以保持天然含水率。并搜集拟加固区域内详尽的岩土工程资料，尤其是土层的组成、厚度，加固土层的分布范围、分层情况，地下水位及 pH 值，了解典型土层的物理力学性能指标，主要包括土的含水率、塑性指数、土颗粒级配和有机质含量等，以及地下水的埋藏条件、渗透性和水质成分等。但对硬粘土和含有较多大粒径块石或有大量植物根茎的土将会影响处理效果。对于含有过多有机质的土层，其处理效果取决于固结体的化学稳定性。对于湿陷性黄土地基，因当前试验资料和施工实例较少，应预先进行现场可行性试验。

目前，试验用的土样有原状土、风干土和烘干土三种类型，其试验结果存在着较大的差异。原状土是指土样从现场钻孔或挖掘采取后，立即用厚聚氯乙烯塑料袋封装，四小时之内即开始配制试件。从表面上看，利用原状土做室内试验，似乎与实际情况较吻合，但存在着一些问题：

①原状土在取样过程中有应力释放和人为扰动的影响，特别是灵敏度大的土，土体结构易破坏，与真正的原状土相比也有较大差异；

②现场采取的原状土若为淤泥质粘土，其粘性很大，在土中渗入水泥浆后不易搅拌均匀，试验结果离散性较大，在工程运用中失去其代表性；

③在水泥土搅拌法的设计公式中， $f_{cu}$  是与桩身水泥土配方相同的室内水泥土试块在标准养护条件下 90d 龄期的抗压强度。既然是室内试验，应认为就是离散小的数值，即应认为水泥土是搅拌充分且均匀的，而不需完全与现场水泥土条件相同。风干土是指土样从现场采取后，运回试验室进行风干、碾碎和通过 5mm 筛的粉状土料；烘干土是指土样运回试验室进行烘干、碾碎和过筛的粉状土料。这两种土由于是加工成粉末状的，它可以先和干水泥粉充分混合，然后加入所需的水，能够保证搅拌均匀，提供的设计参数相对可靠、合理。不过，土样经烘干后，土中所含的有机质成分和粘土矿物成分会遭到破坏，从而改变了土的内力结构和土的性质，其试验结果不能代表实际情况，提供的设计参数将不可靠。因此，应取风干土，并碾碎和通过 5mm 筛子制成粉末状。

表 1 各试验项目土样最少取样质量

试验项目	最少试样量 (kg)	取样量 (kg)
含水率	0.6	1
颗粒级配	1	2
液塑限	2	4

pH 值	0.5	1
有机质含量	0.5	1
密度	以现场试验所取土样为准	

4.0.2 水泥固化剂一般适用于正常固结的淤泥与淤泥质粘土、黏土、粉土、素填土（包括冲填土）、饱和黄土、粉砂、以及中粗砂、砂砾（粗粒土中无明显的流动地下水）等地基加固。一般情况下，所用水泥的品种宜根据设计要求并结合当地工程经验和土质条件确定，其最佳掺量应通过试验结果最终确定，水泥强度等级的评定方法应按照国家相关技术规范执行。目前，多采用普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥，复合硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥也有少量使用，若采用火山灰质硅酸盐水泥则需首先确定其适用性，抗冻水泥土不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。福建省属于夏热冬暖地区，抗冻需求一般不考虑。

当地下水中含有大量硫酸盐（海水渗入地区），因硫酸盐与水泥发生反应时对水泥土具有结晶性侵蚀，会出现开裂、崩解而丧失强度。为此应适当添加防腐剂或选用抗硫酸盐水泥，使水泥土中产生的结晶膨胀物质控制在一定数量范围内，籍以提高水泥土的抗侵蚀性能，其可行性需经试验确定。

4.0.3 由于水是影响水泥硬化、水泥土固结的重要因素之一，为确保水泥土拌和的真实可行，为设计提供可靠依据，尽量采用施工现场用水。工程现场用水应符合《混凝土用水标准》（JGJ 63）的规定，试验室内搅拌用水应尽可能采用工程现场用水，若无工程现场用水，也可采用自来水代替。

4.0.4 外加剂具有改善水泥土加固土层性能的作用，是提高水泥土强度的有效措施之一。当采用混凝土外加剂时，应符合《混凝土外加剂》（GB 8076）及《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定。当采用其他品种外加剂时，应符合国家现行有关标准规定，并确保外加剂与水泥品种的适应性。可根据工程需要和土质条件选用不同类型的外加剂和掺合料，其掺量应根据配比试验确定。在有经验的地区使用普通硅酸盐水泥作为固化剂时可以适当添加粉煤灰。粉煤灰是具有较高活性和较明显的水硬性的工业废料，可作为水泥搅拌桩的掺合料，对于不同土质，不同水泥掺入比的水泥土强度提高量不同，其掺量应通过试验确定。冬季施工时，应注意负温对处理效果的影响。在我国北纬 40° 以南的冬季负温条件下，冰冻对水泥土的结构损害甚微，由于水泥与粘土矿物的各种反应减弱，水泥土的强度增长缓慢（甚至停止），但正温后随着水泥水化等反应的继续深入，水泥土的强度可接近标准强度。不同的外加剂对水泥土强度有着不同的影响。如木质素磺酸钙对水泥土强度的增长影响不大，主要起减水作用。石膏、三乙醇胺对水泥土强度有增强作用，而其增强效果对不同土质和不同水泥掺入比又有所不同，所以选择合适的外加剂可提高水泥土强度和节约水泥用量。一般早强剂可选用三乙醇胺、氯化钙、碳酸钠或水玻璃等材料；减水剂可选用木质素磺酸钙；石膏兼有缓凝和早强的双重作用。

表 2 常用水泥土外加剂种类及掺量汇总表

试 剂	外加剂掺量/%	说 明
氯化钙	1~2	加速凝结和硬化
硅酸钠	0.5~3	加速凝结
铝酸钠		
木质磺酸钙	0.2~0.5	缓凝亦增加流动性
酒石酸	0.1~0.5	
糖	0.1~0.5	

注：由于各地土质条件不同，以上外加剂掺量仅供参考，应以试验结果、设计文件、产品说明书为准。

## 5 配合比设计

### 5.1 配合比计算

5.1.1 为了判定土的工程分类、水泥土的拌合性能及确定水泥掺入比的选用，需要测定土样的天然含水率、密度、颗粒级配、液限、塑限等参数。由于福建省处于沿海地区，土层的pH值和有机质含量对水泥土的抗硫酸盐等性能产生影响，因此需要测定。

5.1.2 设计的水泥土无侧限抗压强度值 $f_{cs,k}$ 是指水泥土加固土层（一般采用钻孔取芯法）的无侧限抗压强度质量要求值。依据有关单位和专家的研究成果和建议，并收集福建省内水泥土搅拌桩及水泥土道路基层等统计资料进行分析，提出工艺系数取值范围（0.35~0.75），这与《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》（SL174-2014）中附录A中提出的黏土混凝土及塑性混凝土的试配强度采用的离差系数计算法的系数范围内。结合工程实践经验推荐高压旋喷桩可取0.65~0.75，深层搅拌桩施、双轴搅拌桩、单轴双动搅拌桩可取0.5~0.65，对三轴搅拌桩、粉喷桩可取0.35~0.50，结合土层的分类，推荐淤泥土、淤泥质土、黏土可取高值，粉土可取中值，砂类土可取较低值。因水泥掺入比较小的水泥土不易搅拌均匀，故推荐水泥掺入比小的可取较低值，水泥掺入比大的可取较高值。

5.1.3 本规程编制组对福建地区（尤以福州、厦门为代表）水泥土配合比的设计、施工及应用进行了相关数据的总结，并根据不同工程分类的土、天然含水率、水泥土试配强度、采用水泥标号情况，提出了水泥土水泥掺入比的参考选用值，供各单位组织试配时选用。

编制组收集了福建省以下六个地区的土样，室内土工试验结果见表3和表4：

表3 土样物理性能试验结果

地区	天然含水率 (%)	液限 (%)	塑限 (%)	塑性指数	pH 值	有机质含量 (%)	土样类别
福清	20.5	33.1	19.2	13.9	6.23	0.12	低液限粘土
泉州	23.1	30.8	20.6	10.2	6.05	0.15	低液限粘土
福州市区	29.5	42.0	25.1	16.9	6.08	0.21	含砂低液限粘土
厦门	26.4	47.7	26.3	21.4	6.05	0.15	低液限粘土
莆田	55.1	51.0	26.8	24.2	6.24	0.08	高液限粘土
永泰	12.3	31.1	16.1	15.0	6.32	0.05	粘土质砂

表 4 筛分试验结果

筛孔 地区	通过圆孔筛的百分率 (%)						
	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075
福清	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	99.2	83.5
泉州	100.0	100.0	99.8	99.5	99.0	97.6	80.7
福州市区	100.0	100.0	95.0	90.6	84.2	76.2	66.2
厦门	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	98.9	96.7
莆田	100.0	100.0	100.0	98.3	97.2	95.9	95.6
永泰	100.0	98.2	93.6	82.1	68.8	58.5	38.8

编制组对收集到的六种土样进行室内配合比设计，所用水泥为 P.C 32.5 和 P.O 42.5，根据不同土样的天然含水率按规程中表 5.1.3 水泥掺入比选用表选择水泥掺入比，每组配合比进行五组无侧限抗压试验，结果见表 5 和表 6。

表 5 室内配合比设计结果（水泥 P.C 32.5）

地区	水泥掺入比 (%)	水灰比	无侧限抗压强度平均值 (MPa)		
			7d	28d	90d
福清	15	0.6	0.61	1.49	2.02
	18	0.5	0.78	1.63	2.24
泉州	15	0.6	0.82	1.58	2.15
	18	0.5	0.99	1.84	2.39
福州市区	15	0.7	1.05	2.45	3.40
	18	0.6	1.50	2.68	3.74
厦门	15	0.7	0.81	1.35	2.26
	18	0.6	0.89	1.52	2.51
莆田	18	0.7	0.75	1.42	2.24
	21	0.6	0.82	1.49	2.63
永泰	12	0.6	1.42	2.46	3.95
	18	0.5	1.56	2.88	4.32

表 6 室内配合比设计结果（水泥 P.0 42.5）

地区	水泥掺入比 (%)	水灰比	无侧限抗压强度平均值 (MPa)		
			7d	28d	90d
福清	12	0.6	0.68	1.41	2.12
	15	0.5	0.81	1.58	2.35
泉州	12	0.6	0.81	1.65	2.24
	15	0.5	0.93	1.71	2.52
福州市区	12	0.7	1.15	2.33	3.51
	15	0.6	1.42	2.62	3.84
厦门	12	0.7	0.74	1.41	2.18
	15	0.6	0.85	1.61	2.36
莆田	15	0.7	0.69	1.36	2.31
	18	0.6	0.78	1.58	2.59
永泰	10	0.7	1.36	2.61	3.89
	15	0.5	1.51	2.91	4.25

高压旋喷桩存在冒浆、泌水率大、结石率低现象，旋喷过程中仅有少部分水与水泥起化学作用，成桩截面大小影响因素较多，桩径大小不易控制。影响旋喷桩强度的因素较多，有土质、喷射材料及水灰比、注浆管的类型和提升速度、单位时间的注浆量等。《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）给出旋喷桩注浆宜采用强度等级为 42.5 级的普通硅酸盐水泥，可根据需要加入适量的外加剂和掺合料，水灰比宜为 0.8~1.2。《水泥土复合管桩基础技术规程》（JGJT 330-2014）给出水泥掺量不宜小于被加固土质量的 20%，水泥浆的水灰比应按工程要求确定，可取 0.8~1.5。对不同土层的高压旋喷桩所用水灰比、水泥掺入比提供一个参考值，如表 7 所示。

表 7 不同地层水灰比推荐表

地层	水灰比	水泥掺入比 (%)
砂类土	1.5~1.2	20~25
粉土	1.2~1.0	30~35
黏土	1.1~0.9	45~55
淤泥土	0.8~0.6	55~65

注：水泥掺入量含旋喷桩溢出损失量。

5.1.4 本条指出了水泥浆水灰比的选取原则，主要基于三点考虑：一是水泥浆水灰比较低时，水泥浆较稠，在现场施工时不利于水泥浆的泵送；二是水泥浆中所带入的水量对水泥土

最终的强度影响不大；三是综合考虑我国相关规范规定的水泥浆水灰比取值范围。《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)给出的水泥土搅拌法的水泥浆水灰比范围为 0.5~0.6；《水下深层水泥搅拌桩加固软土地基技术规程》(JTJ/T 259-2004)给出的水泥土搅拌法的水泥浆水灰比范围 0.7~1.3。三轴搅拌桩(墙)的水灰比一般为 1.2~2.0。室内试验时应充分收集当地施工经验,合理选择水泥浆水灰比。水泥浆水灰比也可以通过试拌,观察水泥土拌合物塑性情况确定。可在水泥用量不变的情况下适当调整水泥浆水灰比,直到水泥土拌合物塑性满足试件成型要求为止。由大量工程应用及实验数据表明,当水泥土含水率在土的液塑限中值附近时,该水泥土具有良好的拌合性能及施工性能。

5.1.5 风干土是指土样从现场采取后,运回试验室进行风干、碾碎和通过 5mm 筛的粉状土料。风干含水率试验方法应符合国家现行标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123)规定。水泥土性能试验项目所需风干土的样品数量如表 8 所示。

表 8 水泥土性能试验项目的风干土的样品数量

试验项目	最少试样量 (kg)	取样量 (kg)
无侧限抗压 (3 组)	16	26
渗透试验 (1 组)	1	2
压缩试验 (3 个试件)	0.5	1
直接剪切试验 (3 组)	3.5	6
三轴压缩试验 (3 组)	35	56

为便于技术人员掌握水泥土室内试验各材料用量的计算步骤,现举例如下:

某道路工程路基为粉质软土,采用水泥土搅拌法加固,水泥搅拌桩桩身 90d 设计强度为 1.5MPa,施工工艺系数  $\sigma$  为 0.42,采用 P.042.5 水泥,水泥掺入比不小于 10%。加固土体的天然含水率为 50%,风干土的含水率为 10%,湿法施工。采用 70.7mm×70.7mm×70.7mm 立方体试件;以水泥掺入比基准值及在基准值上分别增加和减少 3%确定三种水泥掺入比;分别进行 7d、28d、90d 三个龄期的无侧限抗压强度试验。每种配合比每个龄期为 1 组试验,每组试验 6 个试件。

因此,共需制作 54 个试件,每种水泥掺入比制作 18 个试件:

$$\text{水泥土试配强度 } f_{cs,0} = \frac{f_{cs,k}}{\sigma} = 3.57\text{MPa}。$$

由本规程表 5.1.3,根据土的工程分类、土的天然含水率、水泥土试配强度、水泥等级,选取试配水泥掺入比为 15%,即  $\alpha_w = \frac{m_c}{m_s} \times 100\% = 15\%$ ,可得  $m_c = 0.15m_s$ 。

称取  $m_0=16\text{kg}$  的风干土,计算水泥掺入量为:

$$m_c = 0.01a_w \frac{1+0.01w}{1+0.01w_0} m_0 = 3.27\text{kg}$$

由本规程表 5.1.4, 选取水泥浆水灰比  $\mu = 0.5$ 。计算加水量为:

$$m_w = \mu m_c + \frac{0.01w - 0.01w_0}{1 + 0.01w_0} m_0 = 7.45kg$$

## 5.2 配合比的试配、调整与确定

5.2.3 按计算的基准配合比进行试拌, 观察水泥土拌合物塑性情况 (塑性要求应以拌合物具有一定的拌合性能为准, 可目测得出), 可在水泥掺入比不变的情况下适当调整水灰比 (固定水泥掺入比并加水拌合的办法改善拌合物塑性), 直到符合水泥土拌合物塑性满足试验试件成型要求为止。当试配结果中强度等参数不满足设计要求时, 根据无侧限抗压强度试验结果, 宜绘制强度和水泥掺入比的线性关系图确定略大于配制强度对应的水泥掺入比。也可以直接采用前述 3 个水泥掺入比无侧限抗压强度试验中一个满足配制强度的水泥掺入比作进一步配合比调整。

## 6 试件制备

### 6.1 仪器设备

6.1.1 试模分为立方体、截头圆锥形和圆柱形三种：立方体试模用于无侧限抗压强度试验；截头圆锥试模和圆柱体试模用于渗透试验，截头圆锥试模尺寸规格参照砂浆渗透试验试模。

6.1.2 捣棒长度可根据试模尺寸选择，以方便插捣为宜，可选用 350mm 长度，宜采用直径为 10mm 且端部磨圆的光滑钢棒。

采用砂浆搅拌机和混凝土搅拌机等设备对水泥土进行搅拌时，水泥土在搅拌初期包裹在搅拌叶片上，无法将其搅拌均匀，故考虑是用低速搅拌和高速搅拌相结合的搅拌方式。经试验证明，选用转速为（100~400）r/min 且转速可调的搅拌机，采用高低速交替搅拌的方式，可达到搅拌均匀的效果。当低速搅拌时水泥土包裹在叶片上，高速搅拌时包裹在叶片上的水泥土被甩在搅拌锅壁上，通过不断的高低速重复搅拌，使水泥土达到均匀的效果。但因高速搅拌时，如采用不封闭的搅拌锅，水泥土会溅出因此采用可封闭的搅拌锅。

### 6.2 试件的成型与养护

6.2.1 水泥土试配原材料应提前一天放置在成型试验室进行调温调湿处理。

6.2.2 搅拌机应能调节转速，先使用搅拌机的慢转使材料均匀混合，再使转速改为快转，使粘在搅拌棒上的水泥土回落到搅拌器中。慢转与快转交替进行使试验材料均匀混合。建议搅拌时采用先低速搅拌 1min，再高速搅拌 30s，如此循环反复，直至搅拌均匀。

6.2.3 综合使用插捣和振动两种方法是因为考虑到不同地区土质差异较大，对水泥土拌合物成型有不利影响，为减小试验误差，统一成型方法。

6.2.4 本规程规定测定试件密度，分别在拆模后养护前和养护后试验前。拆模后养护前测定试件密度并计算同组试件密度的最大值或最小值与平均值的偏差，判定该组试件搅拌、成型过程的均匀性，以减小试验数据的离散性。养护后试验前测定密度主要是供工程中使用。养护条件对水泥土强度影响很大，通常采用标准养护（将试件放入塑料袋中密封  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  养护）、标准水中养护（将试件浸入  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  水中养护）、软土养护（将试件包裹在  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  土样中养护）三种方式，通过对淤泥进行无侧限抗压强度试验表明：标准水中养护或软土养护试件强度离散型较小，且强度明显高于标准养护试件；标准水中养护与泥土养护试件的强度无明显差别。为便于操作，本规程提出采用标准水中养护。

## 7 试验方法

### 7.1 一般规定

7.1.3 当试件尺寸不符合要求时，应重新制样。

### 7.3 渗透试验

7.3.1 室内配合比中水泥石渗透试件可采用截头圆锥形试件或圆柱形试件，现场取芯芯样的渗透试验中试件宜采用圆柱形试件。

特殊工程可增加其他渗透试验方法。对有防渗要求的工程，也可参照《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70)中抗渗性能试验方法的规定执行。

7.3.2 本条第1款规定渗透仪需提供一定的渗透压力，且提供的水压应能按规定的要求稳定地作用在试件上，主要因为水泥石的渗透系数非常小，参照《土工试验方法标准》GB/T 50123中的变水头渗透装置，存在某些水泥石试件基本不能渗水，试验时间周期长且测定的数据不够准确，所以规定水泥石渗透仪应能提供稳定的渗水压力，这样不仅更具有可操作性，而且更符合实际工程使用情况。

本条第2款规定渗透试模应采用高度为40mm，且试模上部侧面应带有出水孔的金属试模，主要是考虑到由于水泥石渗透试模的高度为30mm，为了便于测定起渗出的水量，防止侧溢而作此规定的。

关于试验用水问题。水中含气对渗透系数的影响主要由于水中气体分离，形成气泡堵塞水泥石的孔隙，致使渗透系数逐渐降低，因此，试验中要求用无气水，最好用实际作用于土中的天然水。本标准规定采用的纯水要脱气，并规定水温高于室温3~4℃，目的是避免水进入试样因温度升高而分解出气泡。

7.3.5 本条第1款按下列方法进行试件的密封：用水泥加黄油密封时，其质量宜为(2.5~3):1，应采用三角刀将密封材料均匀地刮涂在试件侧面上，用橡皮筋时，建议使用直径50mm，宽度10mm，厚度1.5mm的橡皮筋，橡皮筋与橡皮筋的接缝处应使用聚四氟乙烯包裹密封，用聚四氟乙烯密封带时，应将密封带均匀地裹附在试件侧面上，其厚度应能保证试件与试模密封，套上试模并将试件压入。

在试模下口装入透水石，使透水石与试模底齐平。另外，试件上端面放置滤纸，是便于观察试件周围是否渗水，以判定试件是否密封完好。

本条第 2 款规定刚开始试验时加压幅度比较小，主要是考虑到低掺量的水泥石试件强度较低，较小幅度的加压可防止试件破损。

本条第 3 款中滴定管液面变化逐渐稳定是指在相同的时间间隔内，当滴定管内液面的变化量基本相同时，可以认为液面达到稳定，可继续进行试验。另外，本条文只规定了渗水量大（渗水量大于 10mL/min）和渗水量特别小（渗水量小于 1mL/min）两种情况下测定试件渗透水量的间隔时间，因此，一般情况下，试验人员可以根据试件实际情况，选择合适的时间间隔测定其渗水量。

7.3.6 试验采用的纯水应符合《土工试验方法标准》（GB/T 50123-1999）第 13.1.2 条的规定。为便于查阅，将（GB/T 50123-1999）第 13.1 节表 13.1.3 列出，如表 9 所示。

表 9 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正值

温度 (°C)	动力粘滞系数 $\eta$ [kPa·s (10 <sup>-6</sup> ) ]	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度校正 值 $T_p$	温度 (°C)	动力粘滞系数 $\eta$ [kPa·s (10 <sup>-6</sup> ) ]	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度校正 值 $T_p$
5.0	1.516	1.501	1.17	17.5	1.074	1.066	1.66
5.5	1.498	1.478	1.19	18.0	1.061	1.050	1.68
6.0	1.470	1.455	1.21	18.5	1.048	1.038	1.70
6.5	1.449	1.435	1.23	19.0	1.035	1.025	1.72
7.0	1.428	1.414	1.25	19.5	1.022	1.012	1.74
7.5	1.407	1.393	1.27	20.0	1.010	1.000	1.76
8.0	1.387	1.373	1.28	20.5	0.998	0.988	1.78
8.5	1.367	1.353	1.30	21.0	0.986	0.976	1.80
9.0	1.347	1.334	1.32	21.5	0.974	0.964	1.83
9.5	1.328	1.315	1.34	22.0	0.968	0.956	1.85
10.0	1.310	1.297	1.36	22.5	0.952	0.943	1.87
10.5	1.292	1.279	1.38	23.0	0.941	0.932	1.89
11.0	1.274	1.261	1.40	24.0	0.919	0.910	1.94
11.5	1.256	1.243	1.42	25.0	0.899	0.890	1.98
12.0	1.239	1.227	1.44	26.0	0.879	0.870	2.03
12.5	1.223	1.211	1.46	27.0	0.859	0.850	2.07
13.0	1.206	1.194	1.48	28.0	0.841	0.833	2.12
13.5	1.188	1.176	1.50	29.0	0.823	0.815	2.16
14.0	1.175	1.168	1.52	30.0	0.806	0.798	2.21
14.5	1.160	1.148	1.54	31.0	0.789	0.781	2.25

15.0	1.144	1.133	1.56	32.0	0.773	0.765	2.30
15.5	1.130	1.119	1.58	33.0	0.757	0.750	2.34
16.0	1.115	1.104	1.60	34.0	0.742	0.735	2.39
16.5	1.101	1.090	1.62	35.0	0.727	0.720	2.43
17.0	1.088	1.077	1.64	---	---	---	---

为便于技术人员掌握如何确定渗透系数，现举例如下：

某技术人员测得水泥土试件的渗透系数见表 10。根据本规程 B. 3. 3 条第 4 款的规定，由于序号 (1) ~ 序号 (2) 的渗透系数与序号 (3) ~ 序号 (6) 的渗透系数差值大于  $2 \times 10^{-7}$ ，故该水泥土试件的平均渗透系数应取最后四次渗透系数的平均值。

表 10 水泥土试件的渗透系数

次数序号 渗透系数	1	2	3	4	5	6
水温 20℃ 渗透系数 $k_{20}$ (cm/s)	$5.46 \times 10^{-7}$	$4.86 \times 10^{-7}$	$2.78 \times 10^{-7}$	$2.64 \times 10^{-7}$	$2.58 \times 10^{-7}$	$2.58 \times 10^{-7}$
平均渗透系数 $k_{20}$ (cm/s)	$2.64 \times 10^{-7}$					

## 7.6 水泥土现场取样及试验

7.6.1 因《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233-2011)中水泥土渗透试件采用截头圆锥形以防止其在试验中脱出试模,对于室内成型截头圆锥形试件操作方便,但对于现场取芯的圆柱体试件,再加工成截头圆锥形就很难操作,试件加工后因密封难导致漏水,故新增了适用于现场取芯圆柱体试件的渗透系数试验。

因参照《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340)中规定水泥土钻芯法试验钻取的芯样直径为(70~100)mm,考虑可直接采用室内水泥土渗透装置,故本规程规定渗透试件的直径宜为80mm。