

ICS:93.020

CCS:P22

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

J 17474—2024

DB65/T 8008—2024

改性水泥固化土地基处理技术标准

Technical standard for treatment of modified cement
solidified soil foundation

2024—03—11 发布

2024—06—01 实施



统一书号:155160·4568

定 价:40.00 元

新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅
新疆维吾尔自治区市场监督管理局

发布

新疆维吾尔自治区地方标准

改性水泥固化土地基处理技术标准

Technical standard for treatment of modified cement
solidified soil foundation

J 17474—2024

DB65/T 8008—2024

主编部门：新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅

批准部门：新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅

新疆维吾尔自治区市场监督管理局

实施日期：2024 年 06 月 01 日

中国建材工业出版社

2024 北 京

前 言

根据新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅、新疆维吾尔自治区市场监督管理局《关于发布 2022 年第一批自治区工程建设地方标准制（修）订计划的公告》（新建公告〔2022〕9 号）的要求，由新疆建筑设计研究院股份有限公司会同有关单位编制完成了本标准。

编制组针对新疆地区实际情况，广泛调查研究，结合自治区和国内其他省工程实践与成果，认真总结实践经验，参考国家现行行业标准及国内其他省的相关标准，并在广泛征求意见的基础上，对具体内容进行了认真研究与修改，最后经专家审查定稿。

本标准共分 7 章和 1 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料要求、地基处理设计、地基处理施工、质量控制与验收等。

本标准由新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅负责管理，由新疆建筑设计研究院股份有限公司负责具体技术内容解释，执行过程中如有意见和建议，请寄送新疆建筑设计研究院股份有限公司（地址：新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市天山区光明路 125 号，邮编：830002，联系电话：0991-8817209，邮箱：coycoy419@163.com）以便今后修订时参考。

主 编 单 位：新疆建筑设计研究院股份有限公司

参 编 单 位：新疆大学

新疆交通建设集团股份有限公司

新疆土木工程检测科技有限公司

新疆瑞驰胜达岩土工程有限公司

新疆西北岩土工程咨询有限公司

中铁第五勘察设计院集团有限公司乌鲁木齐分院

中冶地集团西北岩土工程有限公司
新疆创福斯新型建材科技有限公司

主要起草人：丁 冰 黄 勇 张长城 许培智
李 青 刘光清 温 勇 斯 毅
胡 涛 杨 睿 鲁海涛 任顺伟
柳人铭 齐 阳 杨江川 邢浩琦
马 超 师华强 李斯宁 鱼 瑞
周 易 武新成 岳锡颖 沈仕杰
吕 强 刘 念 贾小云 梅 泓
姜有超 韩雪芹 王玉鹤 韩 静
主要审查人：李忠研 朱瑞成 刘学军 王建平
杨 桓 唐杰林 张 忠 关丽娜
陆晓瑛

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
4	材料要求	6
4.1	水泥、水、改性剂	6
4.2	改性水泥	6
4.3	集料	8
4.4	合成级配	9
5	地基处理设计	11
5.1	一般规定	11
5.2	改性水泥固化土压实填土地基	12
5.3	改性水泥固化土刚性桩复合地基	16
6	地基处理施工	20
6.1	一般规定	20
6.2	改性水泥固化土压实填土地基	20
6.3	改性水泥固化土刚性桩复合地基	21
7	质量控制与验收	23
7.1	一般规定	23
7.2	原材料的质量检验	23
7.3	改性水泥固化土压实填土地基	24

7.4 改性水泥固化土刚性桩复合地基 25

附录 A 水泥改性指数试验方法 27

用词说明 28

引用标准名录 29

附：条文说明 31

1 总 则

1.0.1 为规范改性水泥固化土地基处理工程的材料、设计、施工和验收，统一质量标准，做到质量可靠、绿色环保、技术先进、经济适用，制订本技术标准。

1.0.2 本标准适用于新疆地区房屋建筑与市政基础工程，集料适用于碎石土和风积沙，地基处理方法适用于压实填土地基处理和刚性桩复合地基处理。

1.0.3 采用改性水泥固化土地基处理工程，应综合考虑结构设计要求、场地所处的环境特点、材料来源、工程地质条件、设备条件、工程造价等因素确定地基处理的适用性。

1.0.4 改性水泥固化土地基处理工程的材料、设计、施工和验收，除应符合本技术标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 改性剂 modifier

改善水泥、土料等的物理、化学性能的助剂。

2.1.2 改性水泥 modified cement

在普通硅酸盐水泥中添加适量改性剂，形成在常温下能够有效激发集料中细颗粒物进行胶凝反应的水泥。

2.1.3 水泥改性指数 cement modification index

水泥胶砂与对比胶砂的 28d 抗压强度比值。

2.1.4 高含泥量土料 high mud content soil

含泥量在 5% ~ 20% 的土料。

2.1.5 风积沙 aeolian sand

因风力作用沉积的沙。

2.1.6 碎石土 gravel soil

粒径大于 2mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土。

2.1.7 改性水泥固化土 solidified soil

在土中添加改性水泥而形成的具有一定强度的土体。

2.1.8 改性水泥固化土刚性桩强度 strength of splid pile in modified cement solidified soil

利用改性水泥固化土作为地基处理刚性桩桩身材料时，采用边长为 150mm 的立方体，在标准养护（温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\geq 95\%$ ）条件下养护至 28d 龄期，具有 95% 强度保证率的无

侧限轴心抗压强度。

2.1.9 改性水泥固化土压实填土地基承载力 subgrade bearing capacity

利用改性水泥固化土作为压实填土地基时，由原位载荷试验测定的地基承载力特征值。

2.2 符 号

f_a ——修正后的地基承载力特征值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值；

f_{spk} ——刚性桩复合地基承载力特征值；

H_{28} ——水泥改性指数；

d ——基础埋置深度；

θ ——固化填土材料的压力扩散角。

3 基本规定

3.0.1 改性水泥固化土压实填土地基和刚性桩复合地基的使用年限应符合设计要求，且不得低于上部主体结构的设计使用年限，并符合下列要求：

1 建（构）筑物地基处理选用的碎石土和风积沙材料，硫酸钠含量应小于1%；

2 场坪、道路等地基处理选用的碎石土和风积沙材料，硫酸钠含量应小于0.5%；

3 改性水泥固化土压实填土地基的渗透性指标应满足设计要求，当不能满足要求时，应通过增设隔水层等有效措施满足地基对渗透性的控制要求。

3.0.2 地基处理设计前应完成下列工作：

- 1 搜集岩土工程勘察报告、建筑结构及基础设计资料；
- 2 调查拟用碎石土和风积沙的工程性能和经济指标；
- 3 调查当地施工设备和施工技术情况；
- 4 调查施工场地的周边环境。

3.0.3 对拟采用改性水泥固化土进行地基处理的工程，应进行室内试验、现场试验或试验性施工，确定改性水泥固化土地基处理的材料配合比、设计参数、施工工艺和处理效果。

3.0.4 采用改性水泥固化土地基处理的工程应检验以下内容：

- 1 改性水泥固化土原材料；
- 2 改性水泥固化土刚性桩材料抗压强度；
- 3 改性水泥固化土刚性桩的完整性、单桩承载力；

4 改性水泥固化土压实填土地基承载力、刚性桩复合地基承载力；

5 设计文件要求检验的参数。

3.0.5 建（构）筑物应在施工期间和使用期间进行沉降监测，直至沉降达到稳定为止。

4 材料要求

4.1 水泥、水、改性剂

4.1.1 硅酸盐水泥熟料、混合材及石膏的技术要求应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4.1.2 改性水泥固化土施工用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

4.1.3 改性剂物理化学指标应符合表 4.1.3 的规定，掺量应符合配合比要求。

表 4.1.3 改性剂物理化学指标

检测内容	指标	试验方法	检测内容	指标	试验方法
MgO	≤10%	GB/T 176	氯离子	≤1.0%	GB/T 176
f-CaO	≤1.5%	GB/T 176	密度	1.2 ~ 2.4g/cm ³	GB/T 208
SO ₃	≤10%	GB/T 176	/	/	/

4.2 改性水泥

4.2.1 改性水泥固化土地基处理所用改性水泥强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四个等级。

4.2.2 改性水泥理化指标应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 改性水泥理化指标

项目	烧失量 (%)	SO ₃ (%)	MgO (%)	Cl ⁻ (%)	C ₃ A (%)	f-CaO (%)
技术指标	≤5.0	≤3.5	≤6.0	≤0.1	≤7.0	≤1.0

- 4.2.3 有抗盐冻要求时不得掺生石灰粉。
- 4.2.4 改性水泥不同龄期抗压强度应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 改性水泥抗压强度

强度等级	抗压强度（MPa）	
	3d	28d
42.5	≥17.0	≥42.5
42.5R	≥22.0	
52.5	≥23.0	≥52.5
52.5R	≥27.0	

- 4.2.5 改性水泥物理化学指标应符合表 4.2.5 的规定，掺量应符合配合比要求。

表 4.2.5 改性水泥物理化学指标

检测内容	指标	试验方法	检测内容	指标	试验方法
胶砂强度	28d 抗压强度 ≥42.5MPa	GB/T 17671	凝结时间	初凝时间 >45min; 终凝时间 <600min	GB/T 1346
胶砂强度	28d 抗折强度 ≥3.5MPa	GB/T 17671	标准稠度 用水量	一般在 24% ~33%	GB/T 1346
安定性	两个试件煮后 增加距离的 平均值≤5.0mm	GB/T 1346	/	/	/

- 4.2.6 改性水泥的标准稠度用水量、凝结时间和安定性应符合现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 的有关规定；强度试验方法应符合现行国家

标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 的有关规定；细度用比表面积指标进行控制，应符合现行国家标准《水泥比表面积测定方法 勃氏法》GB/T 8074 的有关规定；细度用筛析法控制，应符合现行国家标准《水泥细度检验方法筛析法》GB/T 1345 的有关规定。

4.2.7 水泥改性指数应不小于 1，试验方法按本标准附录 A 的规定执行。

4.2.8 改性水泥的检验批次、取样数量、包装、运输与贮存应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。

4.3 集 料

4.3.1 改性水泥固化土地基处理用碎石土的技术指标应符合表 4.3.1 的规定，碎石土的颗粒粒径应符合设计要求。

表 4.3.1 改性水泥固化土地基处理用碎石土技术指标

项目	技术要求		试验方法
水泥混凝土强度	≥C30	< C30	GB/T 50107
压碎值（%）	< 23	< 26	GB/T 14685
含泥量（%）	< 15	≤20	GB/T 14685
有机物含量（比色法）	合格	合格	GB/T 14685
坚固性（%）	< 8	< 8	GB/T 14685
硫化物及硫酸盐含量（%）	≤1.0		GB/T 14685

注：含泥量小于 0.075mm 颗粒粘土矿物中的伊利石、蒙脱石及绿泥石等含量应不大于 10%。

4.3.2 改性水泥固化土地基处理用风积沙技术指标应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 改性水泥固化土地基处理用风积沙技术指标

序号	试验项目	指标要求	试验方法
1	有机质含量（%）（比色法）	合格	GB/T 14684
2	易溶盐含量（%）	≤1	GB/T 50123
3	硫酸钠含量（%）	≤0.5	GB/T 50123
4	含泥量，小于 0.075mm 细颗粒物（%）	≤40	GB/T 50123

注：含泥量小于 0.075mm 颗粒粘土矿物中的伊利石、蒙脱石及绿泥石等含量应不大于 10%。

4.4 合成级配

4.4.1 改性水泥固化土刚性桩采用的碎石土，合成级配应符合表 4.4.1 的规定，且最大粒径应满足设计要求。

表 4.4.1 刚性桩水泥混凝土地基处理用集料合成级配

筛孔（mm）	53.0	37.5	31.5	19.0	9.5	4.75	0.6	0.075
通过率（%）	100	80~100	70~95	50~70	35~65	25~45	10~25	0~20

- 注：1. 当碎石土级配波动较大时，应分档掺配使用；
2. 当小于 0.075mm 颗粒粘土矿物（伊利石或绿泥石）含量大于 10% 时，应采用与改性水泥固化土配伍性优良的减水剂进行集料复合改良，从而满足混凝土的水灰（胶）比和施工和易性要求。

4.4.2 改性水泥压实填土采用的碎石土、风积沙，其级配及粒径应符合表 4.4.2-1 和表 4.4.2-2 的设计要求。

表 4.4.2-1 改性水泥压实填土地基处理用碎石土合成级配

筛孔（mm）	53.0	37.5	31.5	19.0	9.5	4.75	0.6	0.075
通过率（%）	100	80~100	70~95	50~70	35~65	25~45	10~35	0~25

- 注：1. 当碎石土级配波动较大时，应分档掺配砂砾石使用；
2. 当小于 0.075mm 颗粒粘土矿物（伊利石或绿泥石）含量大于 10% 时，应采用与改性水泥固化土配伍性优良的减水剂进行集料复合改良，从而满足混凝土的水灰（胶）比与施工和易性要求。

表 4.4.2-2 改性水泥压实填土地基处理用风积沙合成级配

筛孔 (mm)	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率 (%)	80 ~ 100	50 ~ 90	20 ~ 50	0 ~ 40

5 地基处理设计

5.1 一般规定

5.1.1 基础底面的压力，应符合下列规定：

1 当轴心荷载作用时

$$p_k \leq f_a \quad (5.1.1-1)$$

式中： p_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

f_a ——经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

2 当偏心荷载作用时，除符合式（5.1.1-1）要求外，尚应符合下式规定：

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (5.1.1-2)$$

式中： p_{kmax} ——相应于作用的标准组合时，基础底面边缘的最大压力值（kPa）。

5.1.2 处理后的地基，地基承载力特征值进行修正时，应符合下列规定：

1 改性水泥固化土压实填土地基，基础宽度的地基承载力修正系数应取零。对于大面积压实填土地基，基础埋深的地基承载力修正系数，最大干密度大于 2100kg/m^3 的级配砂石可取 2.0；非大面积压实填土地基，基础埋深的地基承载力修正系数取 1.0。

2 改性水泥固化土刚性桩复合地基，基础宽度的地基承载力修正系数应取零，基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

5.1.3 处理后的地基应满足建筑物地基承载力、变形和稳定性要求，地基处理的设计尚应符合下列规定：

1 经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算；

2 按地基变形设计或应作变形验算且需进行地基处理的建筑物或构筑物，应对处理后的地基进行变形验算；

3 对建造在处理后的地基上受较大水平荷载或位于斜坡上的建筑物及构筑物，应进行地基稳定性验算。

5.1.4 本标准规定的地基处理工程，设计单位应当在设计文件中注明涉及工程风险的重点部位和环节。当涉及危大工程时应执行《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住房城乡建设部令第37号）的有关规定。

5.2 改性水泥固化土压实填土地基

5.2.1 根据就地取材的原则，利用原土料添加胶结料、外加剂、水拌合后，经碾压工艺形成改性水泥固化土，适用于处理大面积填土地基、浅层软弱地基以及局部不均匀地基。本标准采用的原土料为碎石土、风积沙等透水性材料，不宜用于处理湿陷性土或膨胀土地基。

5.2.2 改性水泥固化土压实填土地基按压实固化土分布特征可分为两类：

1 地基主要受力层范围内均为压实固化土；

2 地基中压实固化土作为夹层分布于主要受力层范围内。

5.2.3 压实固化土压实系数 λ_c 应根据结构类型和压实固化土所在部位按表 5.2.3-1、5.2.3-2 选用。

表 5.2.3-1 房屋建筑压实固化土的压实系数

结构类型	压实固化土所在部位	压实系数 λ_c
砌体承重结构、框架结构、剪力墙结构、框-剪结构	在地基主要受力层范围以内	≥ 0.97
	在地基主要受力层范围以下	≥ 0.95
排架结构	在地基主要受力层范围以内	≥ 0.96
	在地基主要受力层范围以下	≥ 0.94

表 5.2.3-2 市政道路压实固化土的压实系数

路床顶面以下深度 (m)	快速路	主干路	次干路	支路
0 ~ 0.8	≥ 0.96	≥ 0.95	≥ 0.94	≥ 0.92
0.8 ~ 1.5	≥ 0.94	≥ 0.93	≥ 0.92	≥ 0.91
> 1.5	≥ 0.93	≥ 0.92	≥ 0.91	≥ 0.90

注：1. 压实固化土压实系数 λ_c 为填土压实后的干密度 ρ_d 与最大干密度 ρ_{dmax} 的比值，压实固化土的最大干密度宜采用室内击实试验或现场试验确定。

2. 场坪工程压实固化土的压实系数根据地面荷载要求，可参照本表执行。

5.2.4 压实固化土地基承载力应根据现场静载荷试验确定。

5.2.5 压实固化土修正后的地基承载力特征值 (f_a) 应按下列式计算：

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (5.2.5)$$

式中： f_a ——修正后的地基承载力特征值 (kPa)；

f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa)；

η_d ——基础埋深的地基承载力修正系数，按本标准 5.1.2 条取值；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m³)，位于地下水位以下的土层取有效重度；

d ——基础埋置深度 (m)，宜自室外地面标高算起。在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上

部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起。对于地下室，当采用箱形基础或筏基时，基础埋置深度自室外地面标高算起；当采用独立基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

5.2.6 压实固化土厚度及宽度的确定应符合下列规定：

1 应根据需置换软弱土（层）的深度或下卧土层的承载力确定，并应符合下式要求：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (5.2.6-1)$$

式中： p_z ——相应于作用的标准组合时，压实固化土底面处的附加压力值（kPa）；

p_{cz} ——压实固化土底面处土的自重压力值（kPa）；

f_{az} ——压实固化土底面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

2 压实固化土底面处的附加压力值 p_z 可分别按式（5.2.6-2）和式（5.2.6-3）计算：

1) 条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (5.2.6-2)$$

2) 矩形基础

$$p_z = \frac{bl(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (5.2.6-3)$$

式中： b ——矩形基础或条形基础底面的宽度（m）；

l ——矩形基础底面的长度（m）；

p_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值（kPa）；

p_c ——基础底面处土的自重压力值（kPa）；

z ——基础底面下垫层的厚度（m）；
 θ ——固化填土材料的压力扩散角（°），宜通过试验确定。
 无试验资料时，可按表 5.2.6 采用。

表 5.2.6 固化填土材料压力扩散角 θ （°）

固化填土材料 E_{s1}/E_{s2} z/b	碎石土			风积沙
	5	10	15	
0.15	9	18	20	30
≥ 0.50	26	30	30	

注：1. 当 $z/b < 0.15$ 时 θ 取 0° ，当 z 小于 0.5m 时 θ 取 0° 。
 2. 当 $0.15 < z/b < 0.5$ 时， θ 值可以内插。
 3. 本表适用于 $E_{s1}/E_{s2} \in [5, 15]$ 情况， E_{s1} 为固化土层的变形模量， E_{s2} 为下卧层的变形模量。

3 压实固化土底面的宽度应符合下列规定：

1) 压实固化土底面宽度应满足基础底面应力扩散的要求，可按下式确定：

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad (5.2.6-4)$$

式中： b' ——压实固化土底面宽度（m）；

θ ——压力扩散角，按本标准表 5.2.6 取值。

2) 压实固化土顶面每边超出基础底边缘不应小于 300mm，且从压实固化土底面两侧向上，按当地基坑开挖的经验及要求放坡。

3) 整片压实固化土底面的宽度可根据施工的要求适当加宽。

5.2.7 压实固化土地基的变形可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行计算。在规定计算深度范围内，对一般建筑物可不计算压实固化土自身的变形量，对地基沉

降有严格限制的建筑，应计算压实固化土自身的变形量。

5.3 改性水泥固化土刚性桩复合地基

5.3.1 改性水泥固化土刚性桩宜在基础范围内布桩，并可根据建筑物荷载分布、基础形式和地基土性状，合理确定布桩参数：

1 内筒外框结构内筒部位可采用减小桩距、增大桩长或桩径布桩；

2 对相邻柱荷载水平相差较大的独立基础，应按变形控制确定桩长和桩距；

3 筏板厚度与跨距之比小于 $1/6$ 的平板式筏基、梁的高跨比大于 $1/6$ 且板的厚跨比（筏板厚度与梁的中心距之比）小于 $1/6$ 的梁板式筏基，应在柱（平板式筏基）和梁（梁板式筏基）边缘每边外扩 2.5 倍板厚的面积范围内布桩；

4 对荷载水平不高的墙下条形基础可采用墙下单排布桩；

5 对满堂桩桩中心与基础边缘的距离不宜小于桩径的 1 倍；桩的边缘与基础边缘的距离，条形基础不宜小于 75mm，其他基础形式不宜小于 150mm。

5.3.2 布桩方式和桩距应根据基础形式、复合地基承载力、土性、施工工艺、周边环境条件等确定：

1 采用非挤土成桩工艺和部分挤土成桩工艺，桩间距宜为 3~5 倍桩径；

2 采用挤土成桩工艺和墙下条形基础单排布桩的桩间距宜为 3~6 倍桩径；

3 桩长范围内有饱和粉土、粉细砂层，成桩施工中可能发生窜孔时宜采用较大桩距。

5.3.3 改性水泥固化土刚性桩单桩竖向承载力特征值可按下式估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p \quad (5.3.3)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

u_p ——桩的周长（m）；

q_{si} ——桩周第 i 层土的侧阻力特征值（kPa），可按地区经验确定；

l_{pi} ——桩长范围内第 i 层土的厚度（m）；

α_p ——桩端端阻力发挥系数，应按地区经验确定；

q_p ——桩端端阻力特征值（kPa），可按地区经验确定；

A_p ——桩的截面积（ m^2 ）。

5.3.4 复合地基增强体桩身强度应满足式（5.3.4-1）的要求。当复合地基承载力进行基础埋深的深度修正时，增强体桩身强度应满足式（5.3.4-2）的要求。

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (5.3.4-1)$$

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \left[1 + \frac{\gamma_m (d - 0.5)}{f_{spa}} \right] \quad (5.3.4-2)$$

式中： f_{cu} ——桩体试块（边长 150mm 立方体）标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值（kPa）；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度（ kN/m^3 ），地下水位以下取有效重度；

d ——基础埋置深度（m）；

f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值（kPa）。

5.3.5 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验或采

用增强体静载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，可按式 5.3.5 估算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta (1 - m) f_{\text{sk}} \quad (5.3.5)$$

式中： λ ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值，无经验时 λ 可取 0.8 ~ 0.9；

β ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验取值，无经验时 β 可取 0.9 ~ 1.0；

m ——面积置换率， $m = d^2/d_e^2$ ； d 为桩身平均直径（m）， d_e 为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径（m）；等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$ ，正方形布桩 $d_e = 1.13s$ ，矩形布桩 $d_e = 1.13\sqrt{s_1 s_2}$ ， s 、 s_1 、 s_2 分别为桩间距、纵向桩间距和横向桩间距；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值（kPa），对非挤土成桩工艺，可取天然地基承载力特征值；对挤土成桩工艺，松散砂土、粉土可取天然地基承载力特征值的 1.2 ~ 1.5 倍，原土强度低的取大值。按式 5.3.3 估算单桩承载力时，桩端端阻力发挥系数 α_p 可取 1.0。

5.3.6 改性水泥固化土刚性桩复合地基修正后的地基承载力特征值（ f_{spa} ）应按下列式计算：

$$f_{\text{spa}} = f_{\text{spk}} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (5.3.6)$$

式中： f_{spa} ——修正后的复合地基承载力特征值（kPa）；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa），按本标准第 5.3.5 条的原则确定。

5.3.7 复合地基变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础

设计规范》GB 50007 的有关规定，地基变形计算深度应大于复合土层的深度。复合土层的分层与天然地基相同，各复合土层的压缩模量等于该层天然地基压缩模量的 ξ 倍， ξ 值可按式确定：

$$\xi = \frac{f_{\text{spk}}}{f_{\text{ak}}} \quad (5.3.7)$$

式中： f_{ak} ——基础底面下天然地基承载力特征值（kPa）。

5.3.8 复合地基的沉降计算经验系数 ψ_s 可根据地区沉降观测资料统计值确定，无经验取值时，可采用表 5.3.8 的数值。

表 5.3.8 沉降计算经验系数 ψ_s

$\bar{E}_s$ (MPa)	4.0	7.0	15.0	20.0	35.0
ψ_s	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注： $\bar{E}_s$ 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{\text{spi}}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{\text{sj}}}}$$

式中： A_i ——加固土层第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；
 A_j ——加固土层下第 j 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

5.3.9 桩顶和基础之间应设置褥垫层，褥垫层厚度宜为桩径的 40% ~ 60%。垫层材料可采用粗砂、中砂或碎石等，垫层材料最大粒径不宜大于 30mm。褥垫层的夯填度不应大于 0.9。

6 地基处理施工

6.1 一般规定

6.1.1 改性水泥固化土压实填土地基适用于处理大面积填土地基、浅层软弱地基以及局部不均匀地基等。改性水泥固化土刚性桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土和自重固结已完成的素填土地基。

6.1.2 地基处理施工前应按设计要求进行室内配合比验证，并应在场地有代表性的地段进行试验或试验性施工，根据检测结果复核设计取值并确定施工参数。

6.1.3 根据现场条件，拌制改性水泥固化土可采用专业化成套设备工厂拌制或机械配合人工现场拌制。原材料及添加剂的质量应称量准确且搅拌均匀。

6.1.4 施工资料记录符合相关技术及规范要求，且真实有效。

6.2 改性水泥固化土压实填土地基

6.2.1 改性水泥固化土压实填土地基拌料场地应规划合理，可采用现场拌合或搅拌站拌合。

6.2.2 压实设备宜采用振动碾、平碾或平板振动器等。

6.2.3 改性水泥固化土地基处理施工流程为：定位放样→机械准备→材料准备→改性水泥固化土拌制→地基处理施工→地基处理检测。

6.2.4 改性水泥固化土压实填土地基处理的施工应符合下列规定：

- 1 压实填土的拌制设备、施工工艺应符合设计要求；
- 2 基坑开挖严禁扰动设计标高处的原状土层，保留 200mm ~ 300mm，待铺填改性水泥固化土前由人工挖至设计标高；
- 3 压实填土的第一层应根据下部土层、施工机械设备等确定铺填厚度，其余分层铺填厚度宜为 200mm ~ 300mm；
- 4 每层验收合格后应及时铺填上一层；
- 5 压实填土上下两层的缝距不得小于 0.5m，且接缝处应夯压密实；
- 6 压实填土施工气温不得低于 5℃，填土压实后应根据气温进行养护；
- 7 改性水泥固化土压实填土地基施工竣工验收合格后，应及时进行基础施工与基坑回填。

6.3 改性水泥固化土刚性桩复合地基

6.3.1 应根据现场地质情况选择合适的成孔设备，可采用长螺旋钻机、回旋钻机、旋挖钻机等。

6.3.2 施工流程

- 1 清理场地，施工机械设备应有足够的工作面，钻机设备就位；
- 2 钻孔取土，钻机钻取的土方应远离孔口并清运出场；
- 3 根据设计配合比拌制改性水泥固化土并充分拌合均匀；
- 4 灌注成桩，灌注高度满足设计要求；
- 5 移至下一桩位，重复上述操作，直至所有桩施工完毕。

6.3.3 改性水泥固化土刚性桩复合地基的施工应符合下列规定：

- 1 粗骨料为碎石土时，根据设计文件，采取措施限制碎石

土的最大粒径；

2 长螺旋内压灌成桩施工的固化土塌落度宜为 160mm ~ 200mm；

3 长螺旋内压灌成桩施工钻至设计深度后，应控制提拔钻杆时间，混合料泵送时间应与提拔钻杆速度相互配合。当采用非长螺旋内压灌成桩工艺时，混凝土的灌注、水下混凝土的灌注应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定；

4 遇有松散饱和粉土、粉细砂等，宜采用隔桩跳打措施；

5 桩顶固化土超灌高度不宜小于 0.5m，或依据现场施工条件、土方开挖设计标高等确定，桩顶固化土强度应符合设计强度要求；

6 刚性桩复合地基施工时，应合理选择灌注方式，保证桩体的施工质量，充盈系数宜为 1.0 ~ 1.2；

7 施工桩径不得小于设计桩径；桩顶应保证平整，严禁出现桩顶斜面、尖头、掉块等质量问题；

8 端承桩孔底沉渣厚度不得大于 50mm，摩擦桩孔底沉渣厚度不得大于 100mm；

9 应采取有效措施，消除地下水渗流对刚性桩成桩质量的影响；

10 冬季施工时，固化土入孔温度不得低于 5℃，对桩头和桩间土应采取保温措施。

6.3.4 桩顶应铺设褥垫层，宜采用静压法压实。

6.3.5 清理桩间土和凿桩头时，应采用小型机械或人工清除，严禁破坏桩身和扰动桩间土。

6.3.6 刚性桩桩体垂直度允许偏差为 0.5%；对满堂布桩基础，桩位允许偏差为桩径的 0.4 倍；对条形基础，桩位允许偏差为桩径的 0.25 倍。

7 质量控制与验收

7.1 一般规定

7.1.1 改性水泥固化土压实填土地基、改性水泥固化土刚性桩复合地基的质量控制与验收，应符合本标准和现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

7.1.2 改性水泥固化土压实填土地基应进行密实度检验；改性水泥固化土刚性桩复合地基应进行强度及桩身完整性检验。

7.1.3 改性水泥固化土压实填土地基承载力的验收检验应采用地基静载荷试验，改性水泥固化土刚性桩复合地基承载力的验收检验应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。

7.1.4 当检测结果或合格率不满足现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定时，应查明原因并扩大检测。应根据扩大检测结果和原检测结果对改性水泥固化土压实填土地基、改性水泥固化土刚性桩复合地基进行综合评价。

7.1.5 改性水泥固化土压实填土地基检测方法，依据现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 执行。

7.1.6 改性水泥固化土刚性桩复合地基检测方法，依据现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

7.2 原材料的质量检验

7.2.1 改性剂应有质量证明书或出厂合格证书，每 10t 应为一个检验批，每个检验批应检验 1 次。

7.2.2 改性剂的技术性能指标应符合本标准 4.3 节的有关规定。

7.2.3 水泥进场前应查验各批次产品的出厂质量检验报告并进行复检。同一厂家、同一品种、同一批号连续进场的水泥，应按袋装不超过 200t 为一个检验批，散装不超过 500t 为一个检验批。水泥质量主要控制项目应包括标准稠度用水量、细度、凝结时间、安定性、胶砂强度。

7.2.4 风积沙应符合本标准 4.5 节、4.6 节要求。同一地区风积沙，同一取材地取材前应按要求进行质量检测，对颗粒级配、有机质含量、含泥量、易溶盐含量等项目进行检测。固化土压实填土地基检验批宜为 3000m^3 ，固化土刚性桩复合地基检验批宜为 1000m^3 。

7.2.5 碎石土应符合本标准 4.5 节、4.6 节的相关规定。同一地区碎石土，同一取材地取材前应按要求进行质量检测，对颗粒级配、压碎值、含泥量、易溶盐含量等项目进行检测。固化土压实填土地基检验批宜为 3000m^3 ，固化土刚性桩复合地基检验批宜为 1000m^3 。

7.3 改性水泥固化土压实填土地基

7.3.1 改性水泥固化土压实填土地基施工质量验收检验应分层检测，并应在每层的压实系数符合设计要求后再铺填上层。

7.3.2 改性水泥固化土压实填土地基应检验压实系数，场坪或道路施工应进行弯沉量检测，并应符合下列规定：

1 压实系数应采用环刀法、灌砂法或灌水法分层进行检验，检测数量每层每 $50\text{m}^2 \sim 100\text{m}^2$ 应有 1 个检测点，且每层不应少于 3 点；

2 弯沉试验现场检测方法应符合现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 的有关规定。检测数量：施工现场路基弯沉试验每车道、每 20m 检测 1 点。

7.3.3 改性水泥固化土压实填土地基竣工验收应采用静载荷试验检验承载力，地基承载力的检验数量每 300m^2 不应少于 1 点，超过 3000m^2 部分每 500m^2 不应少于 1 点。每单位工程不应少于 3 点，静载荷试验的压板面积不宜小于 1.0m^2 。

7.3.4 改性水泥固化土压实填土地基均匀性检测，可采用动力触探、波速测试等原位测试方法。检测点的数量，可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地的一般建筑物，按每 400m^2 不少于 1 个检测点，且总点数不少于 3 点；对于复杂场地或重要建筑地基，每 300m^2 不少于 1 个检测点，且总点数不少于 3 点。

7.4 改性水泥固化土刚性桩复合地基

7.4.1 改性水泥固化土刚性桩检测开始时间应符合下列规定：

1 当采用低应变法或声波透射法检测时，受检桩桩身强度不应低于设计强度的 70%，且不应低于 15MPa；

2 当采用钻芯法检测时，受检桩的桩体龄期应达到 28d，或受检桩同条件养护试件强度应达到设计强度要求。

7.4.2 改性水泥固化土刚性桩复合地基质量检验应符合下列规定：

1 刚性桩应检测桩体试块抗压强度；

2 竣工验收时，改性水泥固化土刚性桩复合地基承载力检验应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验；

3 承载力检验宜在施工结束 28d 后进行，其桩身强度应满足试验荷载条件。复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验的数量均不应少于总桩数的 1%，且每个单位工程的复合地基静载荷试验的数量不应少于 3 点；

4 采用低应变法检测桩身完整性，检测数量不低于总桩数的 10%，且不少于 10 根；

5 采用钻芯法检测桩身完整性，抽检数量不少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 根；当桩长大于等于 10m 时，桩身强度抗压芯样试件按每孔不少于 9 个截取，桩体三等分段各取 3 个；当桩长小于 10m 时，桩身强度抗压芯样按每孔不少于 6 个截取，桩体二等分段各取 3 个。

附录 A 水泥改性指数试验方法

A.0.1 本方法适用于测定房屋建筑与市政基础设施工程水泥改性指数和评价改性水泥的胶凝性能。

A.0.2 试验采用的普通硅酸盐水泥、标准砂，技术指标应符合《通用硅酸盐水泥标准》GB 175 的规定。

A.0.3 试验配合比：水泥与标准砂的质量比为 1 : 3，水灰比 0.5。

A.0.4 普通水泥胶砂和改性水泥胶砂应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 中有关搅拌、试件制作、养护和试验等规定。

A.0.5 水泥改性指数按下式计算：

$$H_{28} = R/R_0 \quad (\text{A.0.5})$$

式中： H_{28} ——水泥改性指数；

R ——改性水泥胶砂 28d 抗压强度；

R_0 ——普通水泥胶砂 28d 抗压强度。

用词说明

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，采用“可”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 《水泥密度测定方法》 GB/T 208
- 《水泥细度检验方法筛析法》 GB/T 1345
- 《水泥比表面积测定方法 勃氏法》 GB/T 8074
- 《建设用砂》 GB/T 14684
- 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》 GB/T 17671
- 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 《建筑地基检测技术规范》 JGJ 340