

上海市工程建设规范

GS 土体硬化剂应用技术规程

Technical specification for application of GS soil hardening agent

DG/TJ 08—2082—2017

J 11831—2017

主编单位：上海市建筑科学研究院

上海宝钢新型建材科技有限公司

上海强劲地基工程股份有限公司

批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期：2017年8月1日

同济大学出版社

2017 上海

图书在版编目(CIP)数据

GS 土体硬化剂应用技术规程/上海市建筑科学研究院
院,上海宝钢新型建材科技有限公司,上海强劲地基工程
股份有限公司主编.--上海:同济大学出版社,2017.6

ISBN 978-7-5608-6918-6

I. ①G… II. ①上…②上…③上… III. ①土体—
硬化—技术规范 IV. ①TU43-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 085600 号

GS 土体硬化剂应用技术规程

上海市建筑科学研究院

上海宝钢新型建材科技有限公司 主编

上海强劲地基工程股份有限公司

策划编辑 张平官

责任编辑 朱 勇

责任校对 徐春莲

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 浦江求真印务有限公司

开 本 889mm×1194mm 1/32

印 张 2.125

字 数 57000

版 次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6918-6

定 价 20.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定[2017]294号

上海市住房和城乡建设管理委员会 关于批准《GS土体硬化剂应用技术规程》 为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市建筑科学研究院、上海宝钢新型建材科技有限公司、上海强劲地基工程股份有限公司主编的《GS土体硬化剂应用技术规程》，经审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为DG/TJ 08-2082-2017，自2017年8月1日起实施，原标准《脱硫石膏土体增强剂应用技术规程》(DG/TJ 08-2082-2011)同时废止。

本规范由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，上海市建筑科学研究院负责解释。

特此通知。

上海市住房和城乡建设管理委员会
二〇一七年三月三十一日

前 言

为进一步规范 GS 土体硬化剂的工程应用,根据《上海市住房和城乡建设管理委员会关于印发〈2016 年上海市工程建设规范编制计划〉的通知》(沪建管[2015]871 号文)的要求,由上海市建筑科学研究院、上海宝钢新型建材科技有限公司、上海强劲地基工程股份有限公司等单位对《脱硫石膏土体增强剂应用技术规程》DG/TJ 08—2082—2011 进行修订。编制组总结试验研究成果和工程实践经验,参考国内外相关标准,广泛征求意见,经过反复讨论,完成了修订工作。

GS 土体硬化剂是一种新型无机粉状水硬性胶凝材料,适用于深层搅拌法、高压喷射注浆法等施工工艺。本规程的制定对推动建设行业技术进步、高效利用工业废渣、节能降耗、保护环境具有积极意义。

本规程为 GS 土体硬化剂在地基处理、基础工程和基坑围护工程中的设计、施工与质量检验提供技术依据。本规程的主要内容包括:1 总则;2 术语;3 基本规定;4 技术要求;5 设计;6 施工;7 质量检验;附录。本次修订的主要内容有:

1. 将规程更名为《GS 土体硬化剂应用技术规程》。
2. 完善了技术要求,制定了产品分类和标记,增加了加固土浸出液重金属含量、加固特殊土稳定性等技术指标。
3. 在条文说明中补充了工程实例和检测结果。

各单位及有关人员在执行本规程时,请将有关意见和建议反馈给上海市建筑科学研究院(地址:上海市申富路 568 号;邮编:201108;E-mail:liyongjky@163.com),或上海市建筑建材业市场管理总站(地址:上海市小木桥路 683 号;邮编:200032;E-mail:

bzglk@shjjw.gov.cn),以供今后修订时参考。

主 编 单 位:上海市建筑科学研究院

上海宝钢新型建材科技有限公司

上海强劲地基工程股份有限公司

参 编 单 位:上海建工材料工程有限公司

上海中冶环境工程科技有限公司

上海善于建筑科技有限公司

上海建工集团工程研究总院

上海同济检测技术有限公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

上海海洋地质勘察设计有限公司

上海德农材料科技有限公司

现代集团上海申元岩土工程有限公司

上海建研建材科技有限公司

主要起草人:李 阳 单卫良 刘全林 朱敏涛 金 强

单永华 钟 铮 叶观宝 解子军 叶朝汉

张沈裔 刘斐然 虞佰先 吕文斌

主要审查人:张 刚 张冠军 周蓉峰 周玉石 陆峥嵘

程 斌 鞠丽艳

上海市建筑建材业市场管理总站

2017年3月

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 基本规定	3
4 技术要求	4
4.1 一般规定	4
4.2 分类和标记	4
4.3 质量要求	5
4.4 验收要求	6
5 设 计	8
6 施 工	10
7 质量检验	11
附录 A 浆体流动度的测定	13
本规程用词说明	14
引用标准名录	15
条文说明	17

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Basic requirements	3
4	Technical requirements	4
4.1	General provisions	4
4.2	Classification and labeling	4
4.3	Quality requirements	5
4.4	Acceptance requirements	6
5	Design	8
6	Construction	10
7	Quality Inspection	11
	Appendix A Determination of slurry fluidity	13
	Explanation of wording in this specification	14
	Normative standard	15
	Explanation of provisions	17

1 总 则

1.0.1 为了规范 GS 土体硬化剂的工程应用,确保技术先进、节约资源、保护环境、提高质量,特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于 GS 土体硬化剂在本市地基处理、基础工程和基坑围护工程中的设计、施工和质量检验。

1.0.3 GS 土体硬化剂在应用时,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。



2 术 语

2.0.1 GS 土体硬化剂 GS soil hardening agent

一种以水泥、矿渣、钢渣、脱硫石膏和外加剂等为原材料生产而成的,与土体充分拌合后,通过其自身各组分之间以及与土体之间的物理、化学反应,将土体胶结成为能够长期保持强度稳定的硬化体的无机粉状水硬性胶凝材料。

该产品以代号 GS 标记,其中 G、S 分别是英文单词 gypsum (石膏)、slag(矿渣)的首字母。

2.0.2 GS 土体硬化剂加固土 soil reinforced by GS soil hardening agent

将 GS 土体硬化剂的浆液或粉体与土体进行拌合,养护至一定龄期后形成的具有一定强度的硬化体。

2.0.3 加固土围护桩 soil reinforced retaining pile

设置在基坑周边,承受作用于基坑侧壁上各种荷载并起隔水作用的深层搅拌桩、旋喷桩、型钢水泥土搅拌桩。

2.0.4 加固土承载桩 soil reinforced bearing pile

为提高地基承载力、改善土体强度和变形性质的深层搅拌桩、旋喷桩、劲性复合桩。

2.0.5 加固土止水帷幕 soil reinforced water proof curtain

为提高基坑或边坡围护结构的抗渗性、采用 GS 土体硬化剂与土体混合而成的深层搅拌桩和旋喷桩的连续体。

3 基本规定

3.0.1 GS土体硬化剂适用于在地基和基坑围护工程中,固化剂与土体充分混合形成强度高于原状土的各种施工工艺,包括但不限于本规程提出的深层搅拌法和高压喷射注浆法。

3.0.2 GS土体硬化剂加固土的无侧限抗压强度和稳定性应采用配合比试验和现场试验的方法进行验证。配合比试验应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233 执行。现场试验项目包括但不限于本规程提出的钻孔取芯强度、标准贯入和载荷试验。

4 技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 GS 土体硬化剂的强度分为胶砂抗压强度和加固土无侧限抗压强度。

4.1.2 GS 土体硬化剂的性能应以胶砂抗压强度的检测结果作为评定依据。GS 土体硬化剂加固土的性能应以加固土无侧限抗压强度的检测结果作为评定依据。

4.2 分类和标记

4.2.1 GS 土体硬化剂根据提供方式分为两类：

W 类：为完整的 GS 土体硬化剂产品，可直接与拟加固土体拌合使用。

F 类：为非完整的 GS 土体硬化剂产品，必须先与指定的外加剂按要求的比例混合后，再与拟加固的土体拌合使用。

4.2.2 GS 土体硬化剂产品根据适用范围分为两类：

Y 类：用于一般土体的加固。

T 类：用于特殊土的固化，如盐渍土、有机质土等。

4.2.3 GS 土体硬化剂产品按下列顺序，以产品代号、提供方式、适用范围的符号组合标记，且适用范围可进一步说明具体使用对象。

4.3 质量要求

4.3.1 GS 土体硬化剂的物理力学性能指标应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 物理力学性能指标

项目	指标	检验方法	
细度(80 μ m 方孔筛筛余)(%)	≤ 10	GB/T 1345	
密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	≥ 2.5	GB/T 208	
安定性(雷氏夹煮沸后增加距离)(mm)	≤ 5.0	GB/T 1346	
凝结时间	初凝(min)		≥ 45
	终凝(h)	≤ 15	
流动度(mm)	初始	≥ 120	附录 A
	60min	≥ 100	
胶砂抗压强度(MPa)	7d	≥ 17.0	GB/T 17671
	28d	≥ 32.5	

4.3.2 GS 土体硬化剂加固土的无侧限抗压强度应符合设计要求。

4.3.3 GS 土体硬化剂加固土的浸出液重金属含量应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 加固土的浸出液重金属含量

项目	指标	检验方法
加固土的浸出液重金属含量	应符合 GB 3838 IV 类限值的规定	取测定 28d 无侧限抗压强度后的加固土试件的核心部分,按 GB 5085.3 进行试验

4.3.4 加固特殊土的稳定性应符合以下要求:

在与施工场地原位地下水水质相同的水溶液中,将 GS 土体硬

化剂加固土浸泡至 28d、90d、180d 龄期,其无侧限抗压强度不应随龄期增长而降低。

4.4 验收要求

4.4.1 批号与取样应符合以下规定:

1 以连续供应的 500t 产品为一编号,不足 500t 按一个编号论,每一编号为一取样单位。

2 取样方法按现行国家标准《水泥取样方法》GB 12573 进行。取样应有代表性,可连续取,也可从 10 个以上不同部位取等量样品,总量应不少于 3kg。

3 F 类土体硬化剂应同时对硬化剂配比所指定的外加剂进行取样和签封。

4 必要时可对产品进行随机抽样检验。

4.4.2 GS 土体硬化剂进施工现场 15d 内,生产单位应提供本规程第 4.3.1 条的各项试验结果(除 28d 胶砂抗压强度以外)。28d 胶砂抗压强度应在发货之日起 36d 内补报。报告内容还应包括:

1 用户名称。

2 生产厂名和地址。

3 试验报告编号及日期。

4 生产批号和数量。

5 检验结果。

4.4.3 当获得工程拟加固土的土样后,生产单位应根据用户要求,提供加固土无侧限抗压强度、加固土浸出液重金属含量、加固特殊土稳定性的检测结果。

4.4.4 应对产品包装和标识进行检验。包装袋应符合现行国家标准《水泥包装袋》GB 9774 的有关规定。袋装产品每袋净重 50kg,不得少于标志质量的 98%。随机抽取 20 袋,总量不得少于 1000kg。包装袋上应标明产品名称、标记、生产厂名和地址、净含

量、生产日期(或批号)、执行标准号。散装产品应具备相同标志内容的卡片。

4.4.5 应委托第三方检测机构,对产品进行检验,并留样备查。

4.4.6 检验结果评定应符合以下规定:

1 符合本规程第 4.3.1 条要求的为合格品。

2 凡不符合本规程第 4.3.1 条中任何一项技术要求的为不合格品。

4.4.7 GS 土体硬化剂的贮存应符合以下规定:

1 产品在贮存过程中,不应受潮和混入杂物。

2 散装产品应贮存在散装移动筒仓中,筒仓应密闭,且防雨、防潮。

3 袋装产品应贮存在干燥环境中,应有防雨、防潮、防扬尘措施。贮存过程中,包装袋不应破损。

4.4.8 产品保质期自生产日期起为 3 个月。超过存放期限的产品,应按本规程的要求重新检验。

5 设计

5.0.1 GS 土体硬化剂用于工程的设计,应按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199、《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 和上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DG J 08—11、《地基处理技术规范》DG/T J08—40、《基坑工程技术规范》DG/TJ 08—61 执行。

5.0.2 深层搅拌法或高压喷射注浆法形成的加固体,可作为复合地基、劲性复合桩基、基坑工程围护挡墙、被动区加固、止水帷幕、大体积稳定土等。

5.0.3 GS 土体硬化剂适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、粉性土、砂土、素填土、黏性土等地基。处理欠固结土地基时,应提高掺量。相似地质及工程条件的其他区域,也可参考应用。

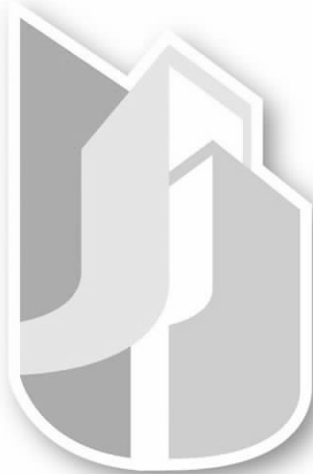
5.0.4 设计时可采用 GS 土体硬化剂替代水泥,GS 土体硬化剂的掺量等同于水泥的掺量,或根据经验确定其掺量。GS 土体硬化剂的水灰比也等同于水泥的水灰比。

5.0.5 在以下任一情况下,应参照表 5.0.5 的掺量范围,进行配合比试验,以确定 GS 土体硬化剂的适用性和掺量,必要时应进行现场试验。

- 1 在缺乏工程经验的地区使用。
- 2 易溶盐含量超过 0.3% 的土体加固处理。
- 3 地下水的 pH 值小于 6,或地下水具有腐蚀性。
- 4 土体的有机质含量超过 10%。

表 5.0.5 GS 土体硬化剂的掺量范围

施工工艺	土的天然含水率	
	$\leq 60\%$	$> 60\%, \leq 100\%$
深层搅拌法	10%~18%	13%~25%
高压喷射注浆法	15%~22%	18%~35%



6 施 工

6.0.1 采用 GS 土体硬化剂施工时,应按现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199、《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 和上海市工程建设规范《地基处理技术规范》DG/TJ 08—40、《基坑工程技术规范》DG/TJ 08—61 执行。

6.0.2 施工前宜进行工艺性试桩,以确定施工参数,工艺性试桩数量不宜少于 3 根。当场地地质条件变化较大时,应针对不同地质进行工艺性试桩。

6.0.3 采用深层搅拌法施工时,GS 土体硬化剂配制浆液的水灰比宜为 0.45~2.0。

6.0.4 采用高压喷射注浆法施工,GS 土体硬化剂配制浆液的水灰比宜为 0.8~1.2。

6.0.5 对于 F 类 GS 土体硬化剂,施工时应根据生产单位提供的配比,将外加剂掺加到 GS 土体硬化剂中,共同拌制浆液。

6.0.6 施工时应控制提升速度,并控制灰浆泵压力和喷浆量,以确保整根桩的实际掺量不得低于设计值。

6.0.7 相邻桩搭接施工的时间间隔不宜大于 24h。当超过 24h 时,搭接施工时应放慢搅拌速度。若无法搭接或搭接不良,应作为冷缝记录在案,并应经设计单位认可后,在搭接处采取补救措施。

7 质量检验

7.0.1 GS 土体硬化剂用于工程的质量检验,应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199、《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327 和上海市工程建设规范《地基处理技术规范》DG/TJ 08-40、《基坑工程技术规范》DG/TJ 08-61 执行。

7.0.2 承重加固土桩的成桩质量可采用钻孔取芯、标准贯入、载荷试验等方法进行检验,并符合以下规定:

1 应根据设计要求,进行单桩、单桩复合地基或多桩复合地基静荷载试验。钻孔取芯和荷载试验宜在成桩 28d 后进行。

2 对整根桩进行钻孔取芯,将整根桩等分成上、中、下三段,每段分别制作一组试件(每组三块),试件高度与直径之比为 1.0~2.0(可根据试样软硬程度作适当调整),进行无侧限抗压强度试验。

3 应根据试件的高径比,按照公式(7.0.2)对试件的无侧限抗压强度 R 进行修正,获得修正后的无侧限抗压强度值 R' 为

$$R' = \beta R \quad (7.0.2)$$

式中: β ——高径比修正系数,按表 7.0.2 取插值。

表 7.0.2 高径比修正系数 β

高径比	< 0.79	1.11	1.30	1.48	1.67	1.85	2.00
β	0.85	0.89	0.93	0.96	0.97	0.98	1.00

7.0.3 支护、止水加固土桩的成桩质量检验应符合以下规定:

1 宜在成桩 28d 后,进行钻孔取芯试验,方法同承重加固土桩。

2 必要时可进行早期($<28d$)取芯试验。

3 对于搭接质量和止水效果,可在止水帷幕施工闭合后且达到养护时间要求的条件下,采用坑内降水观察法进行检验。

7.0.4 检验点应优先布置在下列部位:

1 有代表性的桩位。

2 施工过程中出现异常情况的部位。

3 地基情况复杂,可能对施工质量产生影响的部位。

7.0.5 钻孔取芯强度、标准贯入和载荷试验等项目的试验结果应符合设计要求。

附录 A 浆体流动度的测定

A.0.1 本附录规定了浆体流动度的测定方法。

A.0.2 试验材料应符合以下要求：

- 1 水：符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的技术要求。
- 2 GS 土体硬化剂：符合本规程第 4.3.1 条的要求。

A.0.3 试验应采用以下仪器：

- 1 水泥净浆搅拌机。
- 2 截锥圆模：上口直径 36mm，下口直径 60mm，高度为 60mm，内壁光滑无接缝的金属制品。
- 3 玻璃板：400mm×400mm×5mm。
- 4 秒表。
- 5 钢直尺：300mm。
- 6 刮刀。
- 7 天平：称量 2000g，分度值 0.01g。

A.0.4 试验应按以下步骤进行：

1 将玻璃板放置在水平位置，用湿布擦抹玻璃、截锥圆模、搅拌机及搅拌锅，使其表面湿而不带水渍。将截锥圆模放在玻璃板的中央，并用湿布覆盖待用。

2 称取 GS 土体硬化剂 900g 倒入搅拌锅内，加入 450g 水搅拌。

3 将拌好的浆体一部分迅速注入截锥圆模内，用刮刀挂平，将截锥圆模按垂直方向提起，同时开启秒表计时，任浆体在玻璃板上流动，至 30s，用直尺量取流淌部分相互垂直的两个方向直径，取平均值作为浆体初始流动度。

4 将剩余的浆体分 2 份用保鲜袋密封放入标准养护箱中养护，在 60min 时取出，搅拌 1min，测定 60min 时的浆体流动度。

A.0.5 计算结果精确至 1mm。

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,非这样做不可的用词:
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用词:
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,在条件许可时首先这样做的用词:
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用词,采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《水泥密度测定方法》GB/T 208
- 2 《水泥细度检验方法 筛析法》GB/T 1345
- 3 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 4 《地表水环境质量标准》GB 3838
- 5 《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 5085.3
- 6 《水泥包装袋》GB 9774
- 7 《水泥取样方法》GB 12573
- 8 《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》GB/T 17671
- 9 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 10 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 11 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 12 《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199
- 13 《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233
- 14 《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327
- 15 《地基基础设计规范》DGJ 08—11
- 16 《地基处理技术规范》DG/TJ 08—40
- 17 《基坑工程技术规范》DG/TJ 08—61

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

上海市工程建设规范

GS 土体硬化剂应用技术规程

DG/TJ 08—2082—2017

J 11831—2017

条文说明

2017 上海

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

版权所有，不得转载翻印

目次

1 总 则	21
2 术 语	23
3 基本规定	24
4 技术要求	25
4.1 一般规定	25
4.2 分类和标记	25
4.3 质量要求	27
4.4 验收要求	29
5 设 计	30
6 施 工	36
7 质量检验	37
附录 A 浆体流动度的测定	60

Contents

1	General provisions	21
2	Terms	23
3	Basic requirements	24
4	Technical requirements	25
4.1	General provisions	25
4.2	Classification and labeling	25
4.3	Quality requirements	27
4.4	Acceptance requirements	29
5	Design	30
6	Construction	36
7	Quality Inspection	37
	Appendix A Determination of slurry fluidity	60

1 总 则

1.0.1 上海地处长江三角洲入海口东南前缘,浅层沉积有多层厚度较大的软土层,土层强度低,地下水位高,潜水水位埋深为0.3m~1.5m,受降雨、潮汐、地表水的影响有所变化,年平均水位埋深0.5m~0.7m。

随着城市建设的发展,上海地区的基坑围护工程数量多、任务重。在软土地区,基坑围护结构应有挡土和止水的双重作用。上海地区常用的围护形式有搅拌桩重力坝、板式支护体系等主要的几种类型。这几种围护形式,一般均需用到水泥土搅拌桩或旋喷桩进行止水或挡土的作用。

采用普通水泥施工的水泥土搅拌桩或旋喷桩加固体在施工质量和养护期有所保证的情况下,一般能满足抗渗及挡土(以重力坝形式)的要求。但是水泥土搅拌桩施工存在以下问题,应引起重视:

1 对于高天然含水率的饱和淤泥质黏土,搅拌桩或旋喷桩的桩身强度较低,强度往往达不到设计要求。

2 对于沿海地区的高氯盐和高硫酸盐的盐渍土,水泥土易膨胀开裂。

3 水泥土搅拌桩的早期强度较低,影响工期。

本规程涉及的GS土体硬化剂就是针对以上问题开发的一种用于地基处理加固的粉状胶凝材料,可取代水泥用于深层搅拌桩和旋喷桩施工,具有以下特点:

1 较高的早期强度和后期强度:GS土体硬化剂加固土的强度可超过水泥土强度的50%~100%,所需养护时间更短,节省工程工期。

2 较高的稳定性:对于一般土体或特殊土(如盐渍土或有机质土)采用 GS 土体硬化剂进行加固,其强度具有较好的稳定性。

3 较好的施工性:GS 土体硬化剂的细度、配制浆液的流动性、泵送性等施工性能良好,可采用浆液或粉体的形式与土体进行搅拌。

4 较好的社会效益:矿渣、钢渣、脱硫粉煤灰和脱硫石膏等废渣的利用率较高,节能降耗和保护环境的社会效益较好。

综上所述,GS 土体硬化剂作为一种替代水泥的、专用于土体加固处理的胶凝材料,有必要通过应用技术规程的制定,进一步规范产品质量、设计、施工和质量检验,以利于技术成果的推广应用。

2 术 语

2.0.1 GS 土体硬化剂在土体加固中的作用机理如下：

1 针对土体天然含水率高的特点，GS 土体硬化剂在软土中形成适宜的钙硫浓度，易生成高结晶水的钙矾石晶体，将软土的自由水转化为钙矾石的结晶水，降低了软土的自由水含量。

2 针对土体孔隙大、能容纳较大的膨胀量的特点，GS 土体硬化剂生成适量的膨胀组分，在软土中微膨胀，有利于其硬化体结构的密实和强度提高。

3 针对土体粒径小、比表面积大的特点，GS 土体硬化剂中超细、高活性的矿渣、钢渣，在碱性激发下，生成水化硅酸钙，增强土粒间的结构连结。

4 针对土颗粒具有潜在的火山灰活性，GS 土体硬化剂中氧化钙含量高的水泥、钢渣，与土粒产生缓慢的水化反应，提高后期强度。

2.0.5 在基坑围护中，有的搅拌桩和旋喷桩只作止水帷幕，不承受荷载用，只作止水用，对密实性的均匀性要求较高。

3 基本规定

3.0.1 由于 GS 土体硬化剂与土体强制搅拌后,与土体发生一系列物理化学反应,使得加固土获得较高的强度。而对于不与土体搅拌、混合的施工方法,如压密注浆,尽管 GS 土体硬化剂也产生一些水化产物,具有一定强度,但不能获得明显高于水泥的使用效果,因此,GS 土体硬化剂宜采用深层搅拌法、高压喷射注浆法或其他加固材料与土体强制搅拌的施工工艺进行施工。

4 技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 由于 GS 土体硬化剂是一种专用于土体加固处理的胶凝材料,本规程规定 GS 土体硬化剂的强度分为胶砂强度和加固土无侧限抗压强度,并规定“GS 土体硬化剂加固土的无侧限抗压强度应达到设计要求”。

4.1.2 在胶砂强度试验中,有“ISO 标准砂”以供使用。而在加固土试验中,无“标准土”进行试验。现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233 中规定:“试验用土应为工程拟加固土”,但是现场取土尤其是取深层土存在一定难度。为了使生产单位和应用单位快速方便地对 GS 土体硬化剂的质量进行检验,本规程规定:“GS 土体硬化剂的性能应以胶砂抗压强度的检测结果作为评定依据。GS 土体硬化剂加固土的性能应以加固土无侧限抗压强度的检测结果作为评定依据。”

4.2 分类和标记

4.2.1 GS 土体硬化剂中包含较大比例的硅酸盐系列水泥、矿渣、粉煤灰或其他大宗低值的材料,当 GS 土体硬化剂需要远途供应时,这些大宗低值的材料的运输费用将增加 GS 土体硬化剂成本。因此,可以采取仅远距离运送 GS 土体硬化剂的核心组分,而就近采购大宗低值材料,现场组配成完整 GS 土体硬化剂的方法。此外,一些工业废渣的利用需要脱水等工艺,耗费能源;如果在工地直接与其他固化剂组分拌合使用,可以减少这部分能耗。所

以,根据提供方式分为两类:完整的GS土体硬化剂产品的W类和非完整的GS土体硬化剂产品的F类。

4.2.2 从已完成的工程案例来看,GS土体硬化剂的工程应用主要为一般软土和特殊土(盐渍土、有机质土等)的地基处理加固。

1 盐渍土的工程应用实例

在珠海华孚石油化工有限公司油罐及污水处理厂软弱地基加固处理工程中,场地由围海造地形成,淤泥层厚8m~12m,天然含水率60%~70%,可溶盐量3%~5%,有机质含量5%以上。

设计要求采用深层搅拌桩进行处理,桩径700mm,设计桩长19.0m,10m以上桩身强度要求2MPa,单桩承载力标准值300kN。

设计前进行室内配合比试验,试验将掺量为12%、15%、18%的GS土体硬化剂分别与工程中的现场土样加一定量海水(水灰比为0.45)搅拌均匀后成型,一天后脱模。标准条件下密封养护。至测试前一天用海水浸泡24h。测试7d、14d、28d、60d、90d五个龄期的无侧限抗压强度。试验结果见表1。

表1 珠海盐渍土加固室内试验结果

编号	土样量	GS土体硬化剂掺量	水灰比	无侧限抗压强度(MPa)				
				7d	14d	28d	60d	90d
1	粉细砂	12%	0.45	1.05	1.81	2.13	2.65	2.85
2	粉细砂	15%	0.45	1.76	2.99	3.75	4.12	4.44
3	淤泥	12%	0.45	0.44	0.61	0.89	1.02	1.78
4	淤泥	15%	0.45	1.09	1.75	2.19	2.77	3.12
5	淤泥	18%	0.45	1.35	2.36	2.85	3.22	3.76

由表1可知,当掺量达15%以上时,对于各土层的盐渍土,GS土体硬化剂加固土90d强度均达到设计要求(2MPa以上),并且随龄期增长,加固土的后期强度仍有所增长,说明GS土体硬化剂加固盐渍土的稳定性较好。

根据现场 90d 龄期取芯试验结果,10m 以上桩身强度均满足设计要求。单桩承载力达到设计要求。

2 有机质土的工程应用实例

在江西衡茶吉铁路地基处理工程中,土体的有机质含量高达 13%,天然含水率高达 70%,施工单位采用 GS 土体硬化剂进行搅拌桩施工,经现场试验,GS 土体硬化剂的掺量达 40%时,取芯强度超过 1.5MPa,满足设计要求。

4.2.3 GS 土体硬化剂标记的示例如下:GS-W-T-盐渍土:表示以 W 类形式供应的、用于加固特殊土(盐渍土)的土体硬化剂。

4.3 质量要求

4.3.1 GS 土体硬化剂的物理力学技术指标分析如下:

(1) 细度($80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余):为了充分发挥 GS 土体硬化剂中各种胶凝材料的潜在活性,并保证浆液泵送性能,应控制其细度,用 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余来表示。

(2) 密度:GS 土体硬化剂的组成材料中含有密度较小的矿渣、脱硫石膏、脱硫粉煤灰等,故 GS 土体硬化剂密度(约 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$)低于水泥密度(约 $3.1\text{g}/\text{cm}^3$)。

(3) 凝结时间、安定性(雷氏法):GS 土体硬化剂属水硬性胶凝材料,故采用现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 的方法,检测其凝结时间和安定性。由于 GS 土体硬化剂的水泥熟料含量相对较少,故凝结时间比水泥略长。

(4) 流动度:为保证 GS 土体硬化剂浆液在施工过程中的流动性和可泵性,本规程规定了初始流动度和 60min 流动度。

(5) 胶砂抗压强度:由于 GS 土体硬化剂的水泥熟料含量相对较少、活性混合材的掺量较高,故 GS 土体硬化剂的 28d 胶砂强度相当于 32.5 水泥的强度。

将 GS 土体硬化剂送上海市建筑科学研究院检测站进行了两次检测,检测结果见表 2。

表 2 GS 土体硬化剂的物理力学性能指标

项目		本规程规定值	检验结果(一)	检验结果(二)
细度(80 μ m 方孔筛筛余)(%)		≤ 10	4	3.5
密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)		≥ 2.5	2.7	2.9
安定性(雷氏夹煮沸后增加距离)(mm)		≤ 5.0	合格	0.8
流动度(mm)	初始	≥ 120	160	175
	60min	≥ 80	180	/
凝结时间	初凝(min)	≥ 45	684	227
	终凝(h)	≤ 15	13 小时 12 分	5 小时 00 分
胶砂抗压强度(MPa)	7d	≥ 17.0	24	26.8
	28d	≥ 32.5	40	42.1
加固土无侧限抗压强度(MPa)	28d	/	/	5.1

由表 2 可知,GS 土体硬化剂的物理力学性能的检测结果均符合本规程的要求。

4.3.2 由于各种黏土和淤泥的土性、天然含水率差异较大,加固材料的掺量各不相同,难以统一规定加固土无侧限抗压强度值,故本规程提出“应符合设计要求”。

4.3.3 GS 土体硬化剂是无机胶凝材料,由水泥、矿渣、钢渣、脱硫酸石膏和外加剂生产而成的。因此,GS 土体硬化剂的特征污染物是重金属含量。本规程提出加固土浸出液中重金属含量作为控制指标,应符合现行国家标准《地表水环境质量标准》GB 3838 中 IV 类的要求(IV 类地表水主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水)。

GS 土体硬化剂的加固土浸出液中重金属含量检测结果见表 3。

表 3 GS 土体硬化剂的加固土浸出液中重金属含量

项目	GB 3838 中Ⅳ类要求	检验结果
砷(mg/L)	0.1	0.004
镉(mg/L)	0.005	<0.0005
铜(mg/L)	1.0	0.037
铅(mg/L)	0.05	<0.003
锌(mg/L)	2.0	<0.0018
汞(mg/L)	0.001	<0.00001
六价铬(mg/L)	0.05	<0.004

由表 3 可知,GS 土体硬化剂的加固土浸出液中重金属含量符合 GB 3838 中Ⅳ类的要求。

4.3.4 由于特殊土(如盐渍土)和地下水中含有大量的硫酸盐和氯盐等复杂成分,应重视加固土后期强度的稳定性。故本规程对加固特殊土的稳定性规定如下:“在与施工场地原位地下水水质相同的水溶液中,将 GS 土体硬化剂加固土浸泡至 28d、90d、180d 龄期,其无侧限抗压强度不应随龄期增长而降低。”

4.4 验收要求

4.4.1、4.4.2 GS 土体硬化剂验收批量、取样和检验等是根据 GS 土体硬化剂的实际情况,同时参考现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 制定的。

4.4.3 GS 土体硬化剂的物理力学性能指标是出厂检验、进场验收的技术指标,为必检指标。而加固土无侧限抗压强度、加固土浸出液重金属含量、加固特殊土稳定性等技术指标,可根据工程实际情况及用户要求,有选择性地进行检测。

5 设计

5.0.3 根据科研成果、检测结果和工程经验,GS 土体硬化剂的适用范围较广,主要适用于正常固结的淤泥、淤泥质土、粉性土、砂土、素填土、黏性土等地基的加固处理。在绝大多数的工程条件下,GS 土体硬化剂加固土的强度均明显高于水泥土的强度。特别是在加固高含水率的土体时(如淤泥和淤泥质黏土),GS 土体硬化剂的技术优势更明显。

5.0.5 在一些特殊恶劣的工程环境下,例如易溶盐含量超过 0.3%、有机质含量超过 10%的土体等加固处理工程,往往影响加固土的强度形成。因此,应通过现场试验确定 GS 土体硬化剂的稳定性。

1 现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 对盐渍土的规定为易溶盐含量超过 0.3%。由于盐渍土对水硬性胶凝材料的水化反应可能会产生影响,故应采用 GS 土体硬化剂进行现场试验。

2 工程实践表明,在处理有机质土时,应大幅度提高 GS 土体硬化剂的掺量。例如,在江西衡茶吉铁路地基处理工程中,土体的有机质含量高达 13%,天然含水率高达 70%,该工程 GS 土体硬化剂的掺量达 40%,取芯强度超过 1.5MPa。

5.0.6 本规程修订过程中,选取上海第④层淤泥质黏土作为加固对象,开展了 GS 硬化剂加固土和 P. O42.5 水泥加固土的对比工程特性试验,包括无侧限抗压强度、压缩、剪切和渗透,了解掺量和龄期等因素对加固土体的影响,获得的试验结果供设计、施工单位参考。

试验方法参照现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ

T233,具体方案见表 4。

表 4 试验方案

土层	固化剂	固化粉掺量	水灰比	龄期
淤泥质黏土	水泥	10%,13%,16%	1	14d,28d,90d
	GS 土体硬化剂	8%,10%,13%,16%	1	14d,28d,90d

(1) 重度试验

表 5 为 GS 土体硬化剂加固土湿重度增加率,重度增加率 = (GS 加固土重度 - 水泥土重度) / 水泥土重度。由表中可以得出: GS 土体硬化剂加固土重度与水泥土的重度相近,GS 土体硬化剂加固土的重度仅比水泥土重度增加 0.5%~2.7%,所以采用 GS 土体硬化剂加固软土地基时,其加固部分对于下部未加固部分不致产生过大的附加荷重,也不会产生较大的附加沉降。

表 5 GS 土体硬化剂加固土重度增加率

掺量(%)	龄期(d)	水泥土(kN/m ³)	GS 加固土(kN/m ³)	增加率(%)
10	14	18.20	18.70	2.7
	28	18.63	18.73	0.5
	90	18.73	18.90	0.9
13	14	18.67	18.90	1.2
	28	18.73	19.03	1.6
	90	18.90	19.17	1.4
16	14	18.93	19.03	0.5
	28	19.00	19.37	1.9
	90	19.13	19.30	0.9

(2) 无侧限抗压强度

从表 6 的试验结果可见,对于相同掺量的 GS 土体硬化剂加固土和水泥土,14d、28d、90d 龄期时,GS 土体硬化剂加固土无侧限抗压强度分别为水泥土无侧限抗压强度的 1.3~1.4 倍、1.5~

1.9 倍、1.6~2.1 倍。另一方面，基本上掺入 8%、10%、13% 的 GS 土体硬化剂加固土抗压强度，分别可以达到掺入 10%、13%、16% 的水泥土的抗压强度所要求的效果。

随着龄期的增加，同配合比的 GS 土体硬化剂加固土和水泥土的无侧限抗压强度都在增长，增加趋势基本一致，且呈非线性增长。GS 土体硬化剂加固土具有较高的早期强度，而且随着龄期增长其强度提高也明显。

表 6 GS 土体硬化剂加固土强度提高系数

掺量(%)	龄期(d)	水泥土(MPa)	GS 加固土(MPa)	提高系数
8	14	/	0.45	/
	28	/	0.75	/
	90	/	1.20	/
10	14	0.43	0.61	1.42
	28	0.71	1.12	1.58
	90	0.99	1.55	1.57
13	14	0.68	0.97	1.43
	28	1.16	1.77	1.53
	90	1.54	2.45	1.59
16	14	0.89	1.16	1.30
	28	1.48	2.85	1.93
	90	1.99	4.12	2.07

(3) 压缩试验

由表 7 试验结果可见，GS 土体硬化剂加固淤泥质黏土的压缩模量随掺量的增长趋势与水泥土基本一致，增长幅度呈非线性增长，压缩系数呈非线性减小。相同龄期时，GS 土体硬化剂加固土的压缩模量是水泥土的 1.1~1.3 倍。GS 土体硬化剂加固土早期具有较高的压缩模量和较低的压缩系数，而且随着龄期增长其压缩模量提高也明显。

表 7 加固土在荷载 100kPa~200kPa 范围内的压缩系数和压缩模量

掺量(%)	龄期(d)	水泥土		GS 加固土	
		压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)	压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)
8	14	/	/	0.11	20.27
	28	/	/	0.07	30.41
	90	/	/	0.05	43.15
10	14	0.10	21.37	0.08	25.81
	28	0.10	31.61	0.06	35.41
	90	0.05	43.20	0.04	49.81
13	14	0.08	26.08	0.06	33.81
	28	0.08	37.64	0.05	44.25
	90	0.04	49.83	0.03	60.87
16	14	0.06	33.83	0.05	38.71
	28	0.06	46.49	0.04	52.03
	90	0.43	60.92	0.03	66.47

(4) 剪切试验

由表 8、表 9 试验结果可见, GS 土体硬化剂加固淤泥质黏土的抗剪强度随垂直压力的增长趋势与水泥土基本一致, 抗剪强度与垂直压力成正比; 相同掺量条件下, GS 土体硬化剂加固土内摩擦角略高于水泥土的内摩擦角, 内聚力为水泥土的 1.1~1.3 倍, 抗剪强度为水泥土的 1.1~1.3 倍; GS 土体硬化剂加固土具有较高的早期黏聚力和早期抗剪强度, 而且随着龄期增长提高也明显。

表 8 加固土的内摩擦角和内聚力

掺量(%)	龄期(d)	水泥土		GS 加固土	
		内摩擦角 (°)	内聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)	内聚力 (kPa)
8	14	/	/	38.5	187
	28	/	/	42.1	249
	90	/	/	45.1	289
10	14	39.0	178	40.7	221
	28	41.9	221	44.5	286
	90	44.2	238	48.3	312
13	14	41.2	205	43.0	261
	28	44.3	231	47.0	329
	90	46.2	270	50.5	356
16	14	43.5	238	45.4	310
	28	46.8	263	50.6	380
	90	48.8	305	52.6	474

表 9 垂直压力 100kPa 下 GS 土体硬化剂加固土抗剪强度提高系数

掺量(%)	龄期(d)	水泥土(kPa)	GS 加固土(kPa)	提高系数
10	14	258	306	1.19
	28	311	385	1.24
	90	335	425	1.27
13	14	293	354	1.21
	28	329	436	1.33
	90	374	477	1.28
16	14	332	412	1.24
	28	369	502	1.36
	90	419	604	1.44

(5) 渗透试验

由表 10 可以看出,经过 GS 土体硬化剂加固的上海第④层淤泥质黏土的渗透系数为 $0.97 \times 10^{-8} \text{ cm/s} \sim 2.76 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$,可见 GS 土体硬化剂对于提高上海第④层淤泥质黏土的抗渗性具有显著的作用。随着龄期的增加,同配合比的 GS 土体硬化剂加固土和水泥土的渗透系数逐渐呈非线性减小,抗渗能力逐渐增强。GS 土体硬化剂加固土早期抗渗性较好,而且随着龄期增长其渗透系数减小也明显。

表 10 GS 土体硬化剂加固土渗透系数

掺量(%)	龄期(d)	GS 加固土渗透系数(cm/s)
8	14	2.76×10^{-8}
	28	2.23×10^{-8}
	90	1.92×10^{-8}
10	14	2.17×10^{-8}
	28	1.75×10^{-8}
	90	1.56×10^{-8}
13	14	1.84×10^{-8}
	28	1.47×10^{-8}
	90	1.29×10^{-8}
16	14	1.42×10^{-8}
	28	1.11×10^{-8}
	90	0.97×10^{-8}

6 施 工

6.0.3 在插入型钢或预制桩时,制浆的水灰比应大于 1.0,达到 1.2~2.0 时才方便插入,并能与土体搅拌均匀。现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 中表 4.1.5 提出水灰比取值在 1.2~2.0 之间。故本规程提出:“采用深层搅拌法施工时,GS 土体硬化剂配制浆液的水灰比宜为 0.45~2.0。”

6.0.6 本规程根据工程实践经验,提出施工时应控制喷浆提升速度,以保证搅拌的均匀性。根据国家和本市相关标准和规程,施工时提升速度可参照以下执行:

1 深层搅拌法:深层搅拌法的提升速度与搅拌轴的转速有关,现在的转速范围为 15 r/min ~60r/min,所以提升速度宜为 0.5 m/min ~2.0m/min。

2 高压喷射注浆法:《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2013 未规定。上海市工程建设规范《地基处理技术规范》DG/TJ 08-04-2010 规定提升速度可取 0.05m/min~0.25m/min,或根据工程要求和工程经验确定。

6.0.7 本条参照现行行业标准《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 制定。

7 质量检验

7.0.2 由于室内试验是在标准条件下进行,搅拌较均匀,而现场施工时,由于搅拌不均匀、计量控制误差、地质条件波动等因素,桩身强度一般低于室内试验的强度。因此,应进行现场试验,检验 GS 土体硬化剂的实际效果,为设计方案提供技术依据。

相对于其他检验方法,钻孔取芯的检验方法最直接反映地基加固工程的质量,无侧限抗压强度是加固土最重要的技术指标。本规程对钻孔取芯的检验方法进行了具体的规定,突出了钻孔取芯的重要性,体现了标准的严谨性和先进性。

本规程提出的加固土芯样试件高径比修正系数,取自江苏省地方标准《公路工程水泥搅拌桩成桩质量检测规程》DB32/T 2283—2012。

7.0.3 GS 土体硬化剂用于基坑围护(加固土围护桩)的工程实例

I. 工程实例一:虹口区凉城地区社区中心场地改造项目

1 场地地质条件

第①层填土,平均层厚 1.28m;第②层粉质黏土,平均厚度 1.80m;第③层淤泥质粉质黏土,平均厚度 4.81m;第④层黏质粉土,平均厚度 2.05m;第⑤层淤泥质黏土,平均厚度 6.53m。

各土层的主要物理力学性质如表 11 所示。

表 11 试验场地各土层物理力学性质一览表

土层	平均层厚(m)	重度(kN/m ³)	含水率(%)	直剪固快(峰值)		标贯击数(击)	比贯入阻力(MPa)
				$\varphi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$		
①填土	1.28	/	/	/	/	/	/
②粉质黏土	1.80	18.5	31.6	22.5	20	3.0	0.97

续表 11

土层	平均层厚(m)	重度(kN/m ³)	含水率(%)	直剪固快(峰值)		标贯击数(击)	比贯入阻力(MPa)
				$\varphi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$		
③ 淤泥质粉质黏土	4.81	17.5	41.1	15.2	10	/	0.64
③a 黏质粉土	2.05	18.7	28.6	31.7	3	7.4	1.96
④ 淤泥质黏土	6.53	16.8	49.3	11	10	/	0.53

2 试桩施工计划

为了检测 GS 土体硬化剂和普通硅酸盐水泥的性能差异,对本次原位试验进行了以下计划安排:

- 1) 胶结材料选用 GS 土体硬化剂和 P. O42.5 级普通硅酸盐水泥两种。
- 2) 施工机械采用市场上应用广泛的 SJB-2 型双轴搅拌机,每台搅拌机配置灰浆搅拌机、灰浆泵、电气控制柜、自动流量计各一台及其他辅助设备。
- 3) 根据检测需要及现场场地条件,共施工 18 根搅拌桩,桩长均为 11m(考虑到搅拌桩施工前开槽定位的深度在 1.0m 左右,则搅拌桩桩端入土深度约为 12.0m),桩端进入第④层淤泥质黏土深度在 2.0m 左右。
- 4) 18 根搅拌桩的具体安排为:共 12 根搅拌桩采用 GS 土体硬化剂进行施工,其中 6 根掺量为 10%,其余 6 根掺量为 13%;另外 6 根搅拌桩采用普硅水泥施工,水泥掺量为 13%。
- 5) 检测项目安排如表 12 所示。

表 12 搅拌桩取芯试验时间安排

搅拌桩编号	胶结材料	掺量	检测项目	养护期
1#~3#	GS 土体硬化剂	10%	取芯试验	21d
4#~6#	GS 土体硬化剂	10%	取芯试验	40d
7#~9#	GS 土体硬化剂	13%	取芯试验	21d
10#~12#	GS 土体硬化剂	13%	取芯试验	40d
13#~15#	42.5 级普硅水泥	13%	取芯试验	21d
16#~18#	42.5 级普硅水泥	13%	取芯试验	40d

注：在原位检测过程中，为了直观了解由 GS 土体硬化剂施工的搅拌桩的均匀性及加固土强度增长情况，又增加了 4# 和 12# 孔的原位标准贯入试验。

3 原位标准贯入试验检测

两根桩的标准贯入试验结果如表 13 所示。

表 13 搅拌桩标准贯入试验结果一览表

试验桩号	技术指标	试验深度(m)										
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
4#	标贯击数(击)	15	74	66	96	91	68	87	65	65	64	56
	估算 Ps 值(MPa)	3.75	17.5	23.3		17.8				15.1		
12#	标贯击数(击)		80	74	105	77	71	70	78	52	25	33
	估算 Ps 值(MPa)	3.75	19.2		22.8		16.9			7.2		
原状土	层序	②	③		③a		③			④		
	Ps	0.97	0.64		1.96		0.64			0.53		

由表 13 可得出以下结论：

- 1) 经 GS 土体硬化剂搅拌加固后，土体强度明显增长，

10%~13% 掺量 40d 龄期的无侧限抗压强度均达到 1.5MPa(按 $f_{cu} = P_s/10$ 进行估算)。

2) 第③层的强度增长比例较大,而第③_a层虽然强度增长比例不是最大的,但其强度仍是最高。

3) 第④层由于本身土性和深度等原因,相对强度较低,这与常规的经验也是较为符合的。

4 钻探取芯无侧限抗压强度试验检测

现场钻探取芯试样使用 STYE-2000B 型压力试验机进行无侧限抗压强度试验,如表 14 所示。

表 14 钻探取芯无侧限抗压强度结果一览表

芯样编号	取样深度 (m)	养护时间 (d)	加固剂类型	掺量	无侧限抗压强度 (MPa)			
1-3	5.0	21	GS 土体硬化剂	10%	1.52			
1-4	8.0				0.81			
2-1	1.5				1.15			
2-2	3.0				1.47			
2-3	5.0				1.43			
2-4	7.0				1.67			
3-1	1.5				0.62			
3-3	5.0				1.56			
3-4	8.0				1.35			
3-5	10.7				0.47			
平均值 (MPa)					1.24			
7-1	1.5				21	GS 土体硬化剂	13%	0.96
7-2	5.0	1.28						
7-4	9.5	1.01						
8-2	3.0	1.95						
8-3	3.3	1.58						
8-4	4.0	3.31						
8-5	5.0	1.46						
8-6	7.5	1.47						

续表 14

芯样编号	取样深度 (m)	养护时间 (d)	加固剂类型	掺量	无侧限抗压强度 (MPa)
平均值(MPa)					1.46
5-4	3.5	40	GS 土体硬化剂	10%	1.28
5-6	5.0				1.25
5-7	6.0				1.13
5-8	7.0				1.22
5-9	8.0				0.97
5-12	10.7				0.73
6-1	1.0				1.71
6-2	2.0				2.63
6-4	4.0				0.83
6-5	5.0				1.53
6-7	7.0				1.01
6-9	9.0	1.07			
6-11	10.7	1.61			
平均值(MPa)					1.24
10-2	3.0	40	GS 土体硬化剂	13%	0.91
10-3	4.0				1.36
10-4	5.0				0.97
10-5	6.0				2.02
10-6	7.0				1.02
10-7	8.0				1.17
10-8	9.0				0.88
11-1	2.0				1.62
11-2	3.0	0.50			
11-3	3.5	2.81			
11-4	4.0	1.82			
11-5	5.0	1.70			
11-6	6.0	2.03			
11-7	7.0	1.21			
11-8	8.0	1.65			

续表 14

芯样编号	取样深度 (m)	养护时间 (d)	加固剂类型	掺量	无侧限抗压强度 (MPa)
平均值(MPa)					1.41
17-1	1.0	40	42.5 级普通水泥	13%	0.38
17-2	2.0				0.18
17-4	4.0				0.87
17-5	5.0				1.94
17-9	9.0				0.32
平均值(MPa)					0.74

注:1 以上芯样编号由两个数字组成,其中前一个数字表示该芯样取自的搅拌桩编号,第二个数字表示该芯样在该搅拌桩中所有芯样的序号。

- 2 除 42.5 普通水泥芯样的无侧限抗压强度值为所有试样试验值的算术平均值以外,其余平均值均为去除该类型芯样中一个最大值和一个最小值之后的算术平均值。

由以上无侧限抗压强度试验结果可以得到以下几点结论:

(1) 采用 GS 土体硬化剂的搅拌桩桩身强度明显要高于采用 42.5 级普通水泥的搅拌桩的强度,其中 10%掺量的 GS 土体硬化剂土搅拌桩强度约为 13%掺量的普通水泥土搅拌桩强度的 1.67 倍,13%掺量的 GS 土体硬化剂土搅拌桩强度约为 13%掺量的普通水泥土搅拌桩强度的 2 倍。

(2) 掺量的增加对于搅拌桩强度有较为明显的影响,其中 13% GS 土体硬化剂掺量的搅拌桩约比 10%搅拌桩强度高约 15%。

(3) 相同掺量、养护龄期分别为 21d 和 40d 的 GS 土体硬化剂搅拌桩芯样强度并没有明显提高,说明 GS 土体硬化剂在 21d 已基本完成水化反应。

(4) 芯样无侧限抗压强度在距离桩顶较浅处离散性较大,而中下部位置(桩顶 4m 以下)则相对较为稳定。说明浅部土样综合受到搅拌施工、钻孔取芯施工以及外界温度等的综合影响比较大,从而导致更大的离散性。同时,距离桩顶 8.0m 以下加固土强

度明显降低,说明软土含水率提高对加固土的强度有所影响。

(5) 40d 养护龄期的 13% 掺量普通水泥土搅拌桩的芯样的无侧限抗压强度试验,仍不能满足基坑围护工程中对其要求的 28d 无侧限抗压强度不小于 0.8MPa~1.0MPa 的要求。这也在一定程度上反映了现今搅拌桩施工质量和搅拌桩强度的现状。

5 两种固化材料在同一土层的取芯强度对比分析

根据表 14 的检测结果,对于相同养护期(40d)、相同取芯深度(1.0m、2.0m、4.0m、5.0m、9.0m),将掺量 13% 水泥土搅拌桩与掺量 10%、13% 的 GS 土体硬化剂搅拌桩进行取芯强度对比,结果列于表 15。

表 15 两种固化材料在同一土层的取芯强度对比分析

取芯深度(m)	水泥土		GS 土体硬化剂加固土			GS 土体硬化剂加固土		
	掺量	强度(MPa)	掺量	强度(MPa)	比水泥土提高(降低)幅度	掺量	强度(MPa)	比水泥土提高(降低)幅度
1.0	13%	0.38	10%	1.71	350%	/	/	/
2.0		0.18		2.63	1360%			
4.0		0.87		0.83	-5%	13%	1.36	56%
5.0		1.94		1.53	-21%		0.97	-50%
9.0		0.32		1.07	234%		0.88	175%

由表 15,相同养护期(40d),两种固化材料在同一土层的取芯强度对比分析如下:

(1) GS 土体硬化剂搅拌桩的取芯强度较稳定,最低 0.83MPa,最高 2.63MPa,所有检测结果均满足设计要求。而水泥搅拌桩的取芯强度较离散,最低仅 0.18MPa,最高 1.94MPa,深度 1.0m、2.0m、9.0m 的取芯强度达不到设计要求。

(2) 在 1.0m、2.0m、9.0m 三种取芯深度,10% 掺量的 GS 土体硬化剂搅拌桩的取芯强度,分别比 13% 掺量水泥土搅拌桩的取芯强度提高 3.5 倍、13.6 倍、2.34 倍。说明在以上三种浅层和深

层的深度,GS 土体硬化剂的加固效果均远远优于水泥。

(3) 在 4.0m 取芯深度,10%、13% 掺量的 GS 土体硬化剂搅拌桩的取芯强度,分别比 13% 掺量水泥土搅拌桩的取芯强度降低 5%、提高 56%。说明在 4.0m 深度,相同掺量下,GS 土体硬化剂的加固效果仍优于水泥。

(4) 在 5.0m 取芯深度,尽管 10%、13% 掺量的 GS 土体硬化剂搅拌桩的取芯强度,分别比 13% 掺量水泥土搅拌桩的取芯强度降低 21%、50%,但 GS 土体硬化剂搅拌桩的取芯强度仍达到设计要求。水泥土在 1.0m、2.0m、9.0m 三种取芯深度的强度均不理想,但是在 5.0m 深度的强度很高,可能与搅拌不均匀、局部处水泥含量富集有关。

综上所述,GS 土体硬化剂可以替代普通水泥在搅拌桩工程中加以利用,并且 GS 土体硬化剂加固效果总体上远远优于水泥加固土。

II. 工程实例二:上海闵行宝龙城市广场项目

1 场地地质条件

上海闵行宝龙城市广场项目位于德福路以东、天祝路以南、阿克苏路以西、宝塔路以北,总占地面积约 4.1 万 m^2 。

勘察报告表明,拟建场地在勘察深度(最大深度为 90m)范围内揭露的地基土均属于第四纪沉积物,主要有黏性土、粉性土及砂性土组成。根据地基土的成因、时代、结构特征及物理力学性质指标等综合分析,可划分为 9 个工程地质及分属不同工程地质层的亚层:

(1) 第①层素填土层,以黏性土为主,场地内填土平均厚度 0.55m。

(2) 第②₂层褐黄~灰黄色粉质黏土层,场地普遍分布,平均厚度 1.45m,层位分布较平稳。

(3) 第②₃层灰色黏质粉土层,含云母,夹薄层粉砂,干强度中等,土质欠均匀,普遍分布,平均厚度 0.54m。

(4) 第③层灰色淤泥质粉质黏土,含云母,夹薄层粉砂,普遍

分布,层位分布均匀,平均厚度 6.28m。

(5) 第④层灰色淤泥质黏土,含有机质,有光泽,普遍分布,层位埋深较平稳,平均厚度 7.12m。

(6) 第⑤层灰色粉质黏土,含云母及贝壳碎屑,夹薄层粉砂,古河道区有分布,平均厚度 7.94m。

(7) 第⑥层暗绿色粉质黏土,含氧化铁斑点,在古河道分布区,局部有缺失,平均厚度 2.97m。

(8) 第⑦层草黄色砂质粉土,在古河道分布区,局部有缺失;在正常沉积区其层位分布较平稳,平均厚度 8.12m。

2 施工计划及检测方案

(1) 施工计划

宝龙城市广场项目采用现有的五轴搅拌桩施工工艺和施工机械进行 GS 土体硬化剂搅拌桩的施工,并对成桩后的质量进行检测。同时为了与水泥搅拌桩的成桩质量进行对比,在试验场地相应施工了五轴水泥搅拌桩,并采用相同的检测方法对其成桩质量进行检测分析。

(2) 检测方案

根据试验要求,对已竣工的 GS 硬化剂搅拌桩和水泥搅拌桩随机、均匀抽检,分别按钻孔取芯芯样的硬度或状态检验、现场标准贯入试验、芯样无侧限抗压强度试验和水泥搅拌桩桩体质量指标 I_p 值四个方面的指标进行桩身施工质量综合评价。GS 硬化剂搅拌桩和水泥搅拌桩桩身质量检测工作计划详见表 16。

表 16 检测工作汇总表

项目	五轴搅拌桩	
	GS 硬化剂	水泥
加固剂	GS 硬化剂	水泥
桩长(m)	25	14
掺量(%)	10、13	13
检测龄期(d)	14、28	14、28
抽检数量	每个龄期 3 根	每个龄期 3 根

(3) 现场试验方案

评定标准如下:

① 计算各分层得分时,对于每层检测成果,标贯击数按 70% 计,无侧限抗压强度按 15% 计,硬度或状态描述按 10% 计,桩体质量指标按 5% 计。

② 当某层缺无侧限抗压强度的检测数据时,则不计该检测项目,按标贯击数按照 80%,硬度或状态描述按 10%,桩体质量指标按 10%,计算该层分数。

③ 根据各分层得分,采用层厚加权平均分为该抽检桩的综合得分,见表 17。

表 17 计分办法

土名	硬度或状态		标准贯入试验		无侧限抗压强度		桩体质量指标	
	硬度	记分	击数	记分	强度(MPa)	记分	I_p (%)	记分
桩 体 土	坚硬	100	≥ 20	100	≥ 0.50	100	≥ 55	100
	硬塑	75	10	75	0.20	75	40	75
	软塑~可塑	25~50	4	50	0.03	50	25	50
	流塑	0	< 4	0	< 0.03	0	< 10	0

注:1 标贯击数、无侧限抗压强度和桩体质量指标等指标在中间值时,采用线性插入法计分。

2 当硬度或状态描述介于两种状态之间时取中值。

3 检测数据及结果分析

根据试验要求,对已竣工的 GS 硬化剂搅拌桩和水泥搅拌桩进行抽检,分别按钻孔取芯芯样的硬度或状态检验、现场标准贯入试验、芯样无侧限抗压强度试验和水泥搅拌桩桩体质量指标 I_p 值四个指标进行桩身施工质量综合评价,搅拌桩桩身质量评定汇总见表 18。

表 18 搅拌桩桩身质量评定汇总表

编号	桩排号 (排一号)	设计桩长 (m)	实际桩长 (m)	加固粉	掺灰量 (%)	龄期 (d)	综合得分
zk-4	2-1	25	25	GS 硬化剂	10	14	97.1
zk-5	2-2	25	25	GS 硬化剂	10	15	96.3
zk-6	2-3	25	25	GS 硬化剂	10	15	98.8
zk-7	2-4	25	25	GS 硬化剂	13	16	89.7
zk-8	2-5	25	25	GS 硬化剂	13	16	100
zk-9	2-6	25	25	GS 硬化剂	13	17	99.9
zk-15	2-9	25	25	GS 硬化剂	13	27	97.7
zk-16	2-10	25	25	GS 硬化剂	13	28	98.0
zk-17	2-11	25	25	GS 硬化剂	13	28	99.6
zk-18	2-12	25	25	GS 硬化剂	10	29	97.6
zk-19	2-13	25	25	GS 硬化剂	10	29	97.7
zk-20	2-14	25	25	GS 硬化剂	10	30	98.3
zk-1	1-1	14	14	水泥	13	13	73.7
zk-2	1-2	14	14	水泥	13	14	74.0
zk-3	1-3	14	14	水泥	13	14	75.3
zk-11	1-4	14	14	水泥	13	28	85.6
zk-12	1-5	14	14	水泥	13	28	74.0
zk-13	1-6	14	14	水泥	13	28	88.1

表 18 列出了 GS 硬化剂五轴搅拌桩和水泥五轴搅拌桩 14d 龄期和 28d 龄期抽检桩的评分结果。从表中可以看出,GS 硬化剂五轴搅拌桩的综合得分明显高于水泥搅拌桩五轴搅拌桩的综合得分,说明了采用 GS 硬化剂的五轴搅拌桩桩身质量好于采用普通水泥的五轴搅拌桩桩身质量。同时,从加固粉的掺量对比来看,掺量 10% 的 GS 硬化剂五轴搅拌桩综合得分比掺量 13% 的水

泥五轴搅拌桩综合得分要高。这表明当采用GS硬化剂作为土体加固材料时,要达到一定掺量水泥所达到的搅拌桩桩身质量,GS硬化剂的用量要小于水泥的用量。因此,GS硬化剂具有很好的经济效益。

对GS硬化剂五轴搅拌桩和水泥五轴搅拌桩抽检结果的综合得分进行进一步分析,计算各掺量的五轴搅拌桩14d龄期和28d龄期的抽检桩的平均综合得分,得到综合得分对比直方图(图1)。从图7.0.3中可以看出,掺量10%和13%的GS硬化剂搅拌桩的平均综合得分明显高于掺量13%的水泥搅拌桩的平均综合得分。掺量10%的GS硬化剂搅拌桩平均综合得分高于水泥搅拌桩的平均综合得分31.1%(14d)和18.5%(28d);掺量13%的GS硬化剂搅拌桩平均综合得分高于水泥搅拌桩的平均综合得分29.9%(14d)和19.1%(28d)。

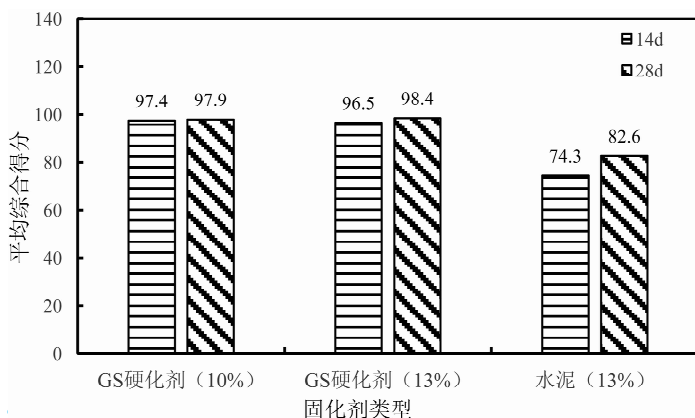


图1 综合得分对比直方图

随着龄期的增加,水泥搅拌桩的桩身强度会增加。因此,水泥搅拌桩28d龄期的平均综合得分要高于其14d龄期的平均综合得分,高出比例为11.2%。GS硬化剂搅拌桩也具有这样的特性,即28d龄期的平均综合得分要高于其14d龄期的平均综合得

分,但其高出比例较小。掺量10%和13%的GS硬化剂搅拌桩28d的平均综合得分高于其14d的平均综合得分分别为0.5%和2%。由于GS硬化剂搅拌桩14d龄期的综合得分已较高,因此说明GS硬化剂搅拌桩具有早期强度较高的特点。

Ⅲ. 工程实例三:松江区泗泾镇朝晖路一号地块止水帷幕

1 工程概况

该地块内筹建1幢14层高层住宅、1幢5层多层住宅及一座地下车库等附属建(构)筑物,总用地面积6855.1m²,总建筑面积为15459.0m²。基坑深度为4.50m~5.70m,局部深坑落深0.95m~1.45m,基坑安全等级为三级,基坑东西侧环境保护等级为二级。南北两侧环境保护等级为三级。围护结构采用钻孔灌注桩+三轴搅拌桩止水帷幕+一道内支撑的围护形式。

2 场地地质条件

拟建场地位于长江三角洲入海口东南前缘,属于湖沼平原I₂区地貌类型。场地地形较平坦,实测各勘探点的孔口地面标高在3.63m~3.79m之间,高差0.16m。

该拟建场地内的最大勘察深度为75.45m,在此深度范围内揭遇的地基土均属第四纪沉积物。从其结构特征、土性不同和物理力学性质上的差异可划分为6层和不同层次的亚层,场地浅部地基土自上而下分布情况如下:

①层填土,在场地内均有分布,层底标高1.42m~2.09m,平均厚度1.96m,主要由黏性土夹少量碎石子组成,见贝壳碎屑及植物根茎,土质不均。

②层灰黄~兰灰色粉质黏土,在场地内均有分布,层底标高0.85m~0.28m,平均厚度1.14m,很湿,软塑,高等压缩性,含氧化铁条纹及铁锰质结核,土性自上而下渐变软,稍有光泽,无摇振反应,韧性中等,干强度中等。

③层灰色淤泥质粉质黏土,在场地内均有分布,层底标高-2.72m~-3.24m,平均厚度3.49m,饱和,流塑,高等压缩性,

含云母、有机质，稍有光泽，无摇振反应，韧性中等，干强度中等。

⑤1 层灰色粉质黏土，场地内均有分布，层底标高 -10.23m ~ -7.95m，平均厚度 5.88m，很湿，流塑，压缩性高，含有机质，偶见泥钙质结核，稍有光泽，无摇振反应，韧性中等，干强度中等。

⑤2 层灰色粉砂，场地西部有分布，从西向东逐渐尖灭。层底标高 -11.06 ~ -29.45m，平均厚度 12.88m，饱和，稍密 ~ 中密，中等压缩性，夹薄层黏性土，由长石、石英、云母等细小矿物颗粒构成。

浅部土层的主要物理力学性质如表 19 所示。

表 19 浅部土层的主要物理力学性质

层序	土层名称	平均层厚 (m)	重度 γ (kN/m ³)	直剪固快 (峰值)		渗透系数		静止土 侧压力 系数 K_0	无侧限抗压 强度试验		
				C (kPa)	Φ (°)	K_v (cm/s)	K_h (cm/s)		qu	Qu'	St
②	粉质黏土	1.14	18.2	16	13.5	2.06×10^{-7}	6.14×10^{-6}	0.64	46	23	2.0
③	淤泥质 粉质黏土	3.49	17.9	13	11.5	4.58×10^{-7}	2.36×10^{-6}	0.55	45	19	2.3
⑤1	粉质黏土	5.88	18.1	12	16.5	9.67×10^{-7}	4.95×10^{-6}	0.55	46	18	2.6

3 试验方案

原位试验配比设计

(1) GS 土体硬化剂掺量分别为 10%、13%、15%、20%

(2) P. O42.5 水泥固化剂掺量 20%

选取基坑南侧(避开局部深坑和挤密加固区域)采用 $\phi 650 @ 900$ 三轴 GS 土体硬化剂搅拌桩围护进行加固处理。GS 土体硬化剂与水泥固化剂对比试验，按固化剂掺量不同各分为 4 组，每组 3 幅三轴 GS 土体硬化剂搅拌桩，总共 24 幅，搅拌桩桩长为 11.5m。

4 成桩质量检验

(1) 搅拌桩桩体质量指标

提出搅拌桩桩体质量指标(I_q)来反映水泥搅拌桩的完整性:采用108mm直径的钻头回转钻进,对水泥搅拌桩进行连续取芯,回次钻进所取芯样中,长度大于或等于7cm水泥石芯样段长度之和与该回次进尺L的比值,以百分数表示。

用直尺量取每节芯样长度 l_i ,并按顺序记录(芯样长度小于7cm的不需记录)按下式计算搅拌桩桩体质量指标 I_q 值。

$$I_q = \frac{\sum l_i}{L} \times 100 \quad (1)$$

表 20 现场加固土芯样的状态鉴别和均匀描述

名称	固化剂掺	水灰比	搅拌桩桩体质量指标 I_q 值
GS 土体 硬化剂	10%	1.5	26.3%
	13%	1.5	34.4%
	15%	1.5	37.8%
	20%	1.5	40.7%
水泥	10%	1.5	未取出芯样
	13%	1.5	未取出芯样
	15%	1.5	未取出芯样
	20%	1.5	31.5%

取芯结果表明,GS土体硬化剂固化土的取芯效果较好,取出的芯样较为坚硬,但其中部分芯样在取芯过程中碎裂成小块;而水泥石搅拌桩取芯较为困难,取出的芯样用手捏很软,易变形,用力不大就能按成坑。

(2) 搅拌桩取芯强度

表 21 加固土 28d 抗压强度

桩号	部位	芯样高度 (mm)	直径 (mm)	修正系数 α	强度 (kPa)	备注
1# GS 土体硬 化剂 (10%)	上	125	87	1.14	314.15	5#、6#、7# 水泥土搅拌 桩取不出完 整芯样
		124	85	1.14	286.42	
		105	86	1.07	340.72	
	中	124	89	1.13	272.51	
		125	86	1.14	292.50	
		116	87	1.11	298.85	
	下	126	85	1.15	492.47	
		127	90	1.13	420.46	
		117	88	1.11	408.75	
2# GS 土体硬 化剂 (13%)	上	116	94	1.08	572.19	
		120	86	1.13	477.67	
		115	86	1.11	657.08	
	中	122	92	1.11	534.45	
		117	87	1.11	615.47	
		121	87	1.13	565.74	
	下	122	89	1.12	565.60	
		126	94	1.11	469.78	
		120	89	1.11	634.54	
3# GS 土体硬 化剂 (15%)	上	120	92	1.10	852.20	
		118	89	1.11	744.48	
		107	90	1.07	877.58	
	中	118	87	1.12	926.35	
		117	85	1.12	948.50	
		109	89	1.08	758.38	
	下	108	95	1.05	773.14	
		109	92	1.07	646.70	
		106	90	1.06	909.19	

续表 21

桩号	部位	芯样高度 (mm)	直径 (mm)	修正系数 α	强度 (kPa)	备注
4# GS 土体硬化剂 (20%)	上	118	89	1.11	883.99	5#、6#、7# 水泥土搅拌 桩取不出完 整芯样
		108	93	1.06	1006.44	
		106	89	1.07	1078.60	
	中	118	90	1.10	1070.43	
		114	89	1.09	920.28	
		116	91	1.09	918.93	
	下	107	90	1.07	1150.21	
		105	95	1.04	1088.20	
		116	89	1.10	865.34	
8# P.O42.5 水泥 (20%)	上	116	88	1.11	420.40	
		113	94	1.07	441.15	
		121	87	1.13	367.01	
	中	115	91	1.09	481.27	
		118	88	1.11	450.79	
		129	86	1.16	374.13	
	下	120	89	1.11	479.75	
		117	90	1.10	381.01	
		120	88	1.12	474.53	

由表 21 的取芯强度可得出,试验土层中 GS 土体硬化剂的固化效果明显优于 P. O42.5 号水泥:

(1) 试验土层中 GS 土体硬化剂的固化效果明显优于 P. O42.5 号水泥。

(2) 在同掺量条件下,当 GS 土体硬化剂掺量为 20%、水灰比为 1.5 时,三轴搅拌桩取芯试验得到无侧限抗压强度是相同掺量水泥土的 2.34 倍。

(3) 当 GS 土体硬化剂的掺量为 15%、水灰比为 1.5 时,三轴搅拌桩取芯试验得到无侧限抗压平均强度为 0.826MPa;当水泥掺量为 20%、水灰比为 1.5 时,三轴搅拌桩取芯试验得到无侧限抗压平均强度为 0.43MPa。

7.0.4 GS 土体硬化剂用于地基处理(加固土承载桩)的工程实例。

I. 工程实例一:青岛大炼油建设场地的搅拌桩试验

青岛大炼油建设场地地面下 0.0m~2.1m 为回填土,2.1m~5.0m 为淤泥质土,5.0m 以下为粉质黏土。设计采用深层搅拌桩进行加固,搅拌桩桩径 600mm,平均桩长 7m;桩端进入地基土第③层(粉质黏土)1.5m~2.0m,1 区 GS 土体硬化剂掺入比为 18%,2 区为 15%。

表 22~表 27 为搅拌桩现场取芯加固土无侧限抗压强度检测结果。表 28 为 1、2 区搅拌桩加固各土层不同龄期无侧限抗压强度汇总表。

表 22 搅拌桩试桩 1 区取芯样无侧限抗压强度(7d)

序号	编号	取样深度(m)	抗压强度(MPa)	加固剂掺入比(%)	龄期(d)	土层条件
1	1-J18	1.0~1.2	6.2	18	7	填土
2	1-J18	4.0~4.2	0.5	18	7	淤泥质粉土
3	1-J18	4.7~5.0	0.3	18	7	淤泥质粉土
4	1-J18	5.1~5.3	0.4	18	7	淤泥质粉土
5	1-J31	1.2~1.4	5.5	18	7	填土
6	1-J31	2.8~3.1	0.5	18	7	淤泥质粉土
7	1-J31	3.8~4.1	1.4	18	7	淤泥质粉土
8	1-J31	4.8~5.0	0.7	18	7	淤泥质粉土

表 23 搅拌桩试桩 1 区取芯样无侧限抗压强度(14d)

序号	编号	取样深度(m)	抗压强度(MPa)	加固剂掺入比(%)	龄期(d)	土层条件
1	1-J11	1.5~1.7	5.9	18	14	填土
2	1-J11	3.5~3.7	4.5	18	14	淤泥质粉土
3	1-J11	3.5~3.7	4.0	18	14	淤泥质粉土
4	1-J11	4.1~4.2	4.3	18	14	淤泥质粉土

续表 23

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
5	1-J27	1.5~1.6	5.9	18	14	填土
6	1-J27	2.5~2.7	0.5	18	14	淤泥质粉土
7	1-J27	2.5~2.7	0.5	18	14	淤泥质粉土
8	1-J27	3.5~3.7	1.0	18	14	淤泥质粉土
9	1-J27	4.5~4.7	5.6	18	14	淤泥质粉土
10	1-J27	4.5~4.7	5.2	18	14	淤泥质粉土

表 24 搅拌桩试桩 1 区取芯样无侧限抗压强度 (28d)

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
1	1-J15	1.5~1.6	7.0	18	28	填土
2	1-J15	3.0~3.2	3.2	18	28	淤泥质粉土
3	1-J15	3.9~4.1	3.6	18	28	淤泥质粉土
4	1-J15	4.8~4.9	7.1	18	28	淤泥质粉土
5	1-J33	1.5~1.6	6.1	18	28	填土
6	1-J33	3.0~3.1	3.9	18	28	淤泥质粉土

表 25 搅拌桩试桩 2 区取芯样无侧限抗压强度 (7d)

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
1	2-J23	1.5~1.7	3.7	15	7	填土
2	2-J23	3.0~3.4	0.3	15	7	淤泥质粉土
3	2-J23	4.0~4.4	0.3	15	7	淤泥质粉土
4	2-J31	1.5~1.8	3.7	15	7	填土
5	2-J31	1.5~1.8	3.7	15	7	填土
6	2-J31	3.0~3.4	2.5	15	7	淤泥质粉土

续表 25

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
7	2-J31	3.0~3.4	0.6	15	7	淤泥质粉土
8	2-J31	4.0~4.3	0.6	15	7	淤泥质粉土
9	2-J31	4.0~4.3	0.3	15	7	淤泥质粉土
10	2-J31	5.0~5.3	0.4	15	7	淤泥质粉土
11	2-J31	5.0~5.3	0.3	15	7	淤泥质粉土

表 26 搅拌桩试桩 2 区取芯样无侧限抗压强度 (14d)

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
1	2-J7	1.5~1.6	6.4	15	14	填土
2	2-J7	2.7~2.8	3.0	15	14	淤泥质粉土
3	2-J7	3.5~3.6	2.5	15	14	淤泥质粉土
4	2-J7	4.5~4.6	1.3	15	14	淤泥质粉土
5	2-J20	1.5~1.6	3.3	15	14	填土
6	2-J20	2.6~2.75	2.9	15	14	淤泥质粉土
7	2-J20	3.5~3.6	2.5	15	14	淤泥质粉土
8	2-J20	4.3~4.5	2.4	15	14	淤泥质粉土

表 27 搅拌桩试桩 2 区取芯样无侧限抗压强度 (28d)

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
1	2-J15	1.4~1.5	6.9	15	28	填土
2	2-J15	2.8~3.0	3.1	15	28	淤泥质粉土
3	2-J15	3.8~3.9	4.3	15	28	淤泥质粉土
4	2-J15	4.7~4.8	3.2	15	28	淤泥质粉土
5	2-J28	1.5~1.6	6.9	15	28	填土

续表 27

序号	编号	取样深度 (m)	抗压强度 (MPa)	加固剂掺入比 (%)	龄期 (d)	土层条件
6	2-J28	2.6~2.7	4.5	15	28	淤泥质粉土
7	2-J28	4.6~4.8	4.3	15	28	淤泥质粉土
8	2-J28	4.6~4.8	4.3	15	28	淤泥质粉土

表 28 搅拌桩 1、2 区加固各土层在不同龄期的强度汇总

内容	地层	7d 强度 (MPa)	14d 强度 (MPa)	28d 强度 (MPa)	备注
1 区	填土	5.85	5.9	6.55	加固剂掺入比 18%
	淤泥质粉土	0.6	3.2	4.45	
2 区	填土	3.7	4.85	6.9	加固剂掺入比 15%
	淤泥质粉土	0.66	2.43	3.95	
室内试件试验	淤泥质粉土	2.9	3.8	4.6	加固剂掺入比 15%

表 29 为现场搅拌桩单桩竖向抗压承载力静载荷试验结果。

表 29 单桩承载力试验结果

试点号	最大加载量 (kN)	最大沉降量 (mm)	极限承载力 (kN)	承载力特 征值(kN)	承载力特征值时 对应沉降量(mm)
1-1	406	21.57	406	203	3.82
1-2	616	10.01	616	308	3.44
1-3	1134	58.37	1008	500	6.09
1-4	2521	39.27	521	260	8.63
1-5	2310	36.58	477	238	7.17
2-1	616	13.15	616	308	3.51
2-2	1008	54.94	924	462	4.60
2-3	616	13.48	616	308	3.58
2-4	2521	31.04	521	260	8.83
2-5	2521	30.23	521	260	6.40

II. 工程实例二: 中化泉州石化项目主厂区罐区的搅拌桩试验

中化泉州石化项目主厂区罐区场地土层主要有: 素填土①₋₁、填砂①₋₂, 海相及海陆交互形成的淤泥②、中砂③及粉质黏土④、淤泥质土⑤, 冲洪积形成的粉质黏土⑥、粗砂⑦, 第四纪残积形成的花岗岩残积砂质黏性土⑧₋₁(可塑状)、⑧₋₂(硬塑状)。该区域典型地址剖面图见图 2。

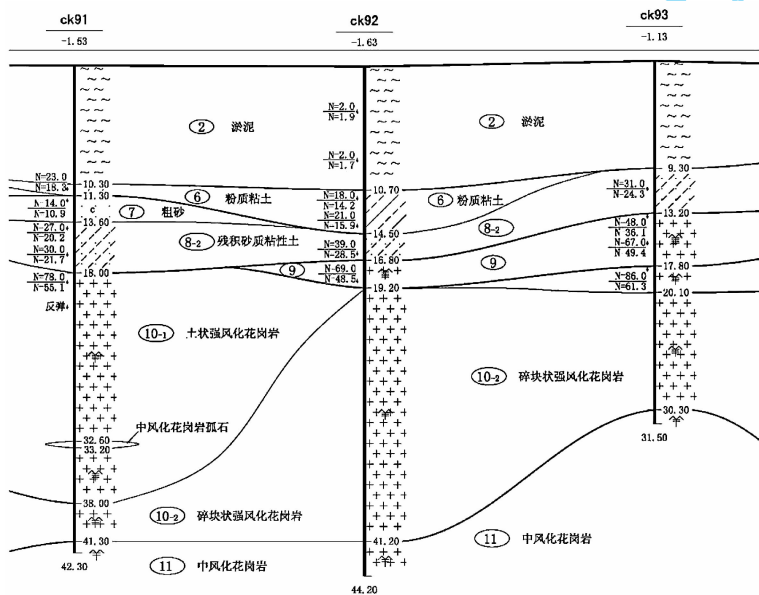


图 2 试验区典型勘察钻孔剖面图

设计采用深层搅拌桩进行处理, 桩长 20m, GS 土体硬化剂掺入比为 15% 和 18%, 施工后进行现场取芯检测, 检测结果见表 30。

表 30 搅拌桩取芯无侧限抗压强度统计表

桩号 深度(m)	硬化剂掺入比 15% 无侧限抗压强度(MPa)			硬化剂掺入比 18% 无侧限抗压强度(MPa)		
	2#(7d)	14#(14d)	30#(28d)	37#(7d)	55#(14d)	56#(28d)
2	3.9	4.3	5.6	4.1	4.3	5.5
4	3.5	2.6	7.8	3.8	5.4	6.1
6	3.3	2.3	6.0	2.1	1.0	6.4
8	0.8	0.9	0.8	0.4	0.5	2.7
10	0.3	0.4	1.3	0.5	0.6	0.9
12	0.5	1.4	1.2	0.4	0.7	0.9
14	0.2	0.3	1.5	1.9	1.8	2.4
16	0.3	0.4	0.9	0.2	0.7	0.8
18	0.2	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5

附录 A 浆体流动度的测定

A.0.2~A.0.3 GS 土体硬化剂和水泥浆体流动度的测定方法，主要参照国家标准《混凝土外加剂均质性试验方法》GB/T 8077—2000，结合深层搅拌法和高压喷射注浆法的施工参数制定。