



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY



土木工程學院
COLLEGE OF CIVIL ENGINEERING

GS岩土固化剂

加固软土工程特性及应用研究

同济大学 叶观宝 教授

13901887193

ygb1030@126.com

首届岩土稳定固化技术行业学术展论坛



GS岩土固化剂加固软土工程特性及应用研究



引言

GS岩土固化剂加固软土的工程特性

GS岩土固化剂加固软土的工程应用

GS岩土固化剂发展展望



首届岩土稳定固结技术与产业发展论坛

— 前言



地基基础工程存在的问题

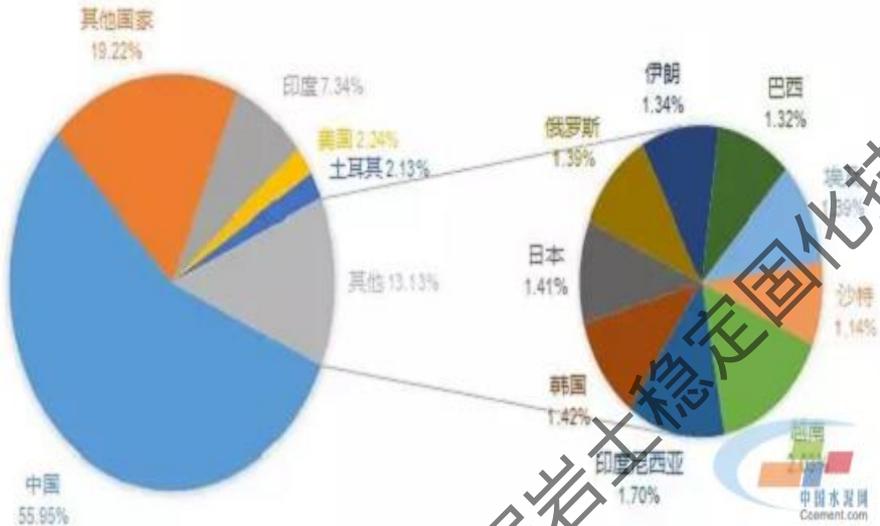
水泥是地基基础工程中使用最为广泛、时间最为久远的一种材料。在搅拌桩、高压旋喷桩、注浆等工艺中，**水泥**都是最重要的原材料。

但是，加固后水泥土均匀性差、强度低，在一些特殊土(**有机质土、高含水量土、高含盐量土**等)中往往加固效果很不理想，深部的水泥土强度发挥慢。同时消耗了大量的水泥材料，得到的却是“事倍功半”的效果。



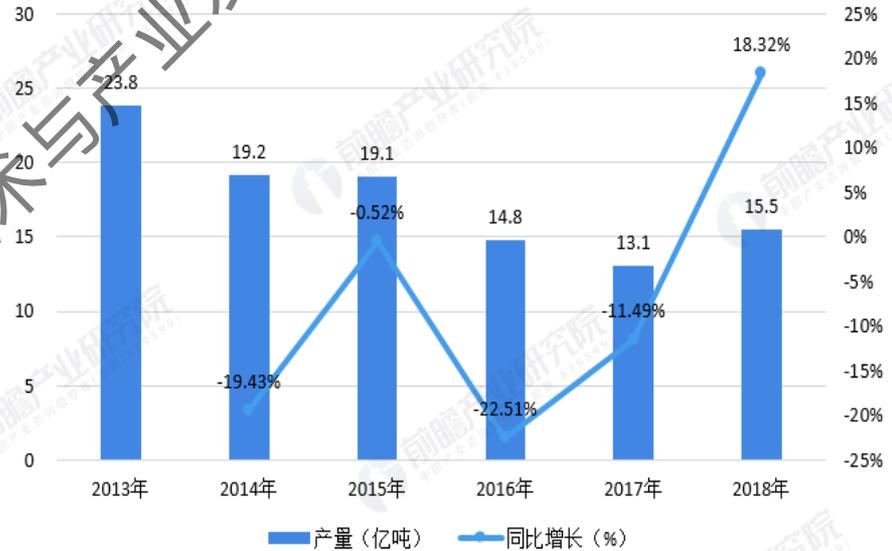
2018年全球分国别地区水泥产量份额

来源: 美国地质调查局 制图: 北海居



2018年全球分国别地区水泥产量份额

图表1: 2013-2018年200个大、中城市一般工业固体废物产生量情况(单位: 亿吨, %)



资料来源: 生态环境部 前瞻产业研究院整理

© 前瞻经济学人APP

2013~2018年工业固体废物产生量情况



国内在岩土固化剂的研究上日趋成熟，但由于起步较晚等原因，与发达国家相比差距还是比较大，无论是理论还是实践上对固化剂技术的研究都还不够成熟，使得许多研究停滞在试验室阶段，未能及时**转化**为生产力。

为了提高水泥土搅拌桩的桩身质量，前人研究成果大多关注**添加剂**方面，通过在水泥浆中添加不同的外掺剂改善加固效果。如**三乙醇胺、氯化钙、碳酸钠、水玻璃、木质素磺酸钙、石膏**等。不同的外掺剂对水泥土强度有不同的影响。



新型岩土固化剂的特性要求

- 1、强度：**
 - ① 优于水泥，充分满足设计要求
 - ② 强度可根据工程需要进行调整
- 2、施工性：**
 - ① 流动性好
 - ② 不易堵管
 - ③ 可施工时间长
- 3、匀质性：**
 - ① 浆料本身匀质性好
 - ② 与土体混合后匀质性好
- 4、抗渗性：**桩体抗渗性优于水泥
- 5、经济性：**具备降低成本的空间
- 6、环保性：**水泥节约70~80%，固废利用70~80%



GS岩土固化剂:

GS岩土固化剂是一种新型岩土固化材料，该材料以无机胶凝材料主料+活性激发材料为辅料+特种调和材料为调料+工业固废为填料等，经过主料、辅料、调料、与填料之间的物理化学叠加效应以及相互之间的激发效应，促进效应、改性效应以及调和效应等，形成一种与土体混合后效果更好的复合型材料。

- 采用碾磨工艺，无需煅烧
- 土体加固中直接替代，无需改变设计参数和施工工艺
- 低碳环保、高效经济
- 节约资源，固废利用





新材料环保比较优势一览表

序号	比较项目	GS岩土固化剂	42.5# 水泥
1	生产原料	工业固废或副产物含量约70%	水泥熟料含量约70%
2	生产工艺	干粉混合	两磨一烧
3	排放	极少量粉尘	粉尘和有害气体
4	成本	低	高
5	国家政策	鼓励发展	限制发展



GS岩土固化剂分类与型号

根据供料方式分为：

W类：为完整的GS岩土固化剂产品，可直接与拟加固土拌合使用：

GS1型（用于搅拌桩和要求较低的旋喷桩）

GS2型（用于旋喷桩和要求较高的搅拌桩）

F类：为非完整的GS岩土固化剂产品，必须与水泥按要求的比例混合后，再与拟加固土拌合使用。

根据适用范围分为：

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、砂土、有机质土等。



GS岩土固化剂的特点

因土制宜：黏土、淤泥质土、盐渍土、尾矿砂（泥）

因用制宜：碾压（路基）、搅拌（桩）、充填（矿井）

因地制宜：综合利用当地多种工、矿业废渣，如钢渣、赤泥、粉煤灰等

因材制宜：根据不同的材料组成，配制高效核心激发剂。

首届岩土工程固化剂与产业发展论坛



GS岩土固化剂的技术指标要求



首届岩石稳定固化技术与产业发展论坛

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



GS岩土固化剂的主要用途

1. **基坑围护结构**的搅拌桩或旋喷桩体固结材料；
2. **软土地基加固**的搅拌桩或旋喷桩体固结材料；
3. 建筑底板施工的**垫层**材料；
4. 道路工程的**路基和基层**加固材料；
5. 管廓或基坑**肥槽回填**的胶结材料。

直接在水泥土加固中替代传统水泥，无需改变设计参数和施工工艺！

低碳环保、高效、经济，高性价比。



首届岩土稳定固化技术与产业发展论坛

二、GS岩土固化剂加固软土的工程特性



温州淤泥试验效果

序号	掺入量%	水泥固化土28d无侧限抗压强度(MPa)	GS岩土固化剂固化土28d无侧限抗压强度(MPa)	提高系数
1	10	0.38	1.20	3.16
2	15	0.56	1.78	3.18
3	18	0.77	2.46	3.19



海南吹填淤泥试验效果

序号	掺入量%	水泥固化土无侧限抗压强度(MPa)		GS岩土固化剂固化土无侧限抗压强度(MPa)		提高系数
		7d	28d	7d	28d	
1	20	0.70	1.17	2.35	3.71	3.36/3.17
2		0.81	1.48	2.03	3.80	2.51/2.57



珠海吹填土试验效果

序号	掺入量%	水泥固化土无侧限抗压强度(MPa)		GS岩土固化剂固化土无侧限抗压强度(MPa)		提高系数
		7d	28d	7d	28d	
1	20	1.64	1.67	3.10	3.70	1.89/2.22
2		1.48	1.63	2.15	2.79	1.45/1.71



台州管廊淤泥质黏土28d试验效果

掺量/%	深度(m)	水泥土 (MPa)	GS加固土 (MPa)	提高系数
15	4~8	0.77	2.40	3.12
	8~14	0.88	2.81	3.19
	14~20	1.23	3.12	2.54
25	4~8	1.50	3.55	2.37
	8~14	1.46	3.41	2.34
	14~20	1.93	3.24	1.68



上海软土试验结果

- 本次试验用土选取上海第③层淤泥质粉质黏土和第④层淤泥质黏土。
- 试验所用水泥为南方水泥有限公司生产的PO42.5水泥。

土样的基本物理力学指标

土层	含水率 /%	重度 /kN/m ³	孔隙比	液限 /%	塑限 /%	压缩系数 / MPa ⁻¹	压缩模量 /MPa	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /°	渗透系 /10 ⁻⁷ cm/s
③	38.4	17.7	1.08	36.0	21.1	1.30	3.84	11.1	17.5	77.7
④	50.2	16.7	1.41	44.1	25.1	1.33	2.2	9.8	11.7	0.835



试验方案



- 试验依据《水泥石配合比设计规程》JGJ/T 233-2011进行，水泥掺量为10%，13%，16%；GS岩土固化剂掺量为8%，10%，13%，16%；考虑14d,28d和90d三种龄期。

土样	固化剂	固化剂掺量	龄期
淤泥质粉质黏土、 淤泥质黏土	水泥	10%/13%/16%	14d/28d/90d
	GS岩土固化剂	8%/10%/13%/16%	14d/28d/90d

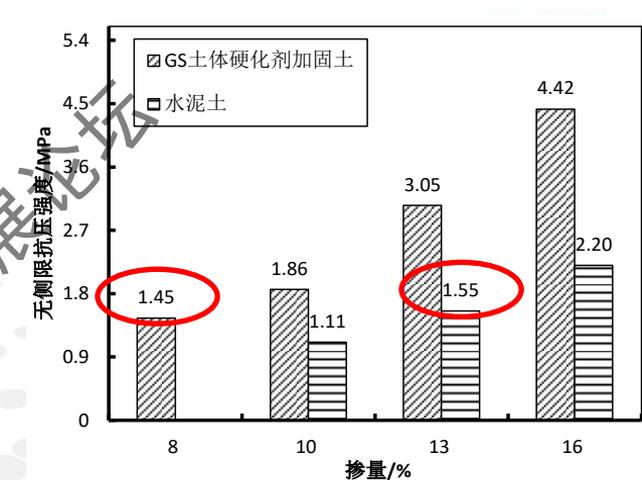
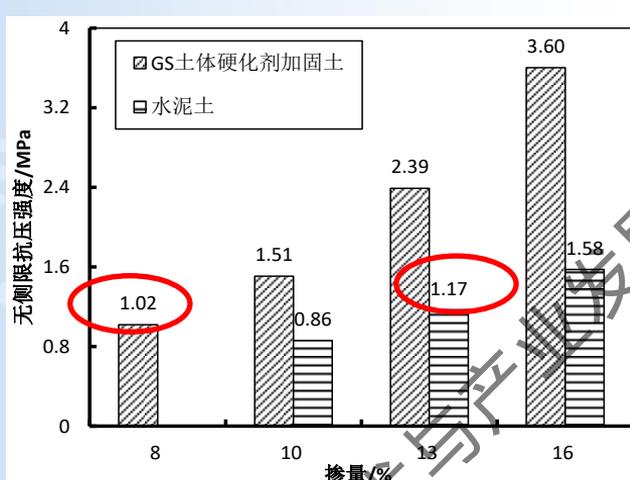
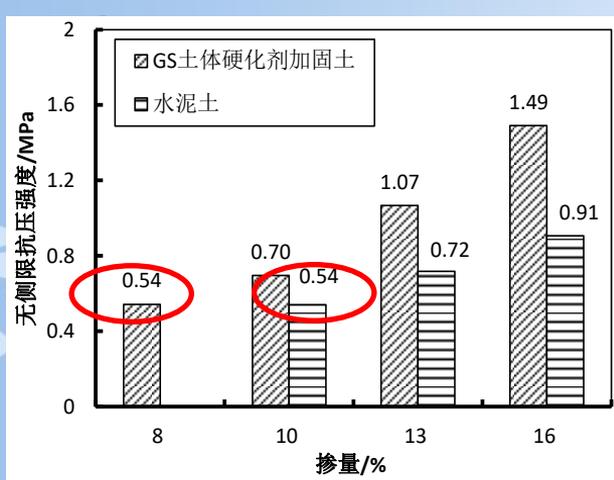


无侧限抗压强度试验结果

(1) 加固第③层淤泥质粉质黏土

14d龄期时，提高系数**1.3~1.6**倍；28d龄期时，**1.8~2.3**倍；90d龄期时，**1.7~2.0**倍。

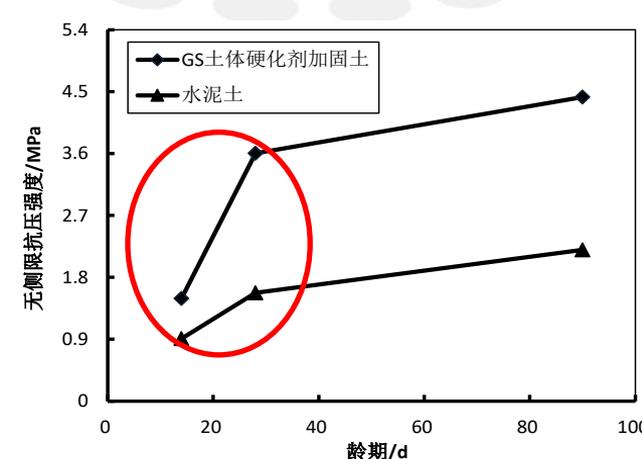
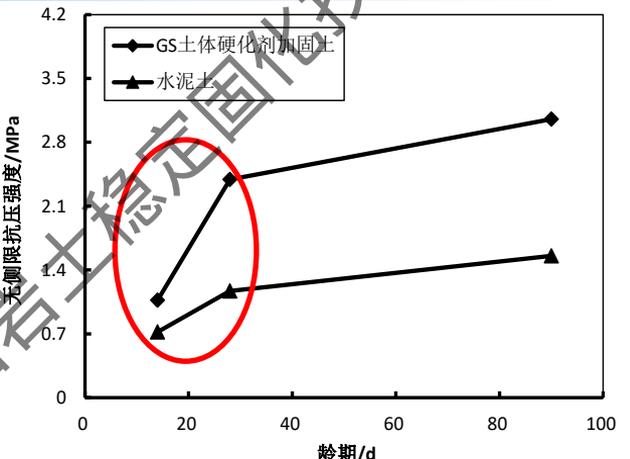
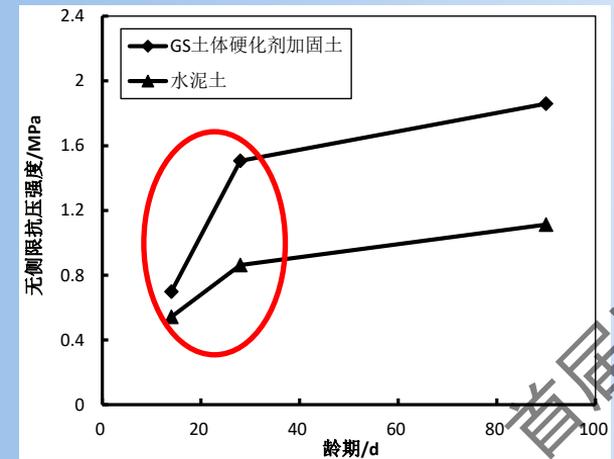
掺量/%	龄期/d	水泥土/MPa	GS加固土/MPa	提高系数
10	14	0.54	0.70	1.30
	28	0.86	1.51	1.76
	90	1.11	1.86	1.68
13	14	0.72	1.07	1.49
	28	1.17	2.39	2.04
	90	1.55	3.05	1.97
16	14	0.91	1.49	1.64
	28	1.58	3.60	2.28
	90	2.20	4.42	2.01



14d无侧限抗压强度变化规律

28d无侧限抗压强度变化规律

90d无侧限抗压强度变化规律



10%无侧限抗压强度随龄期变化

13%无侧限抗压强度随龄期变化

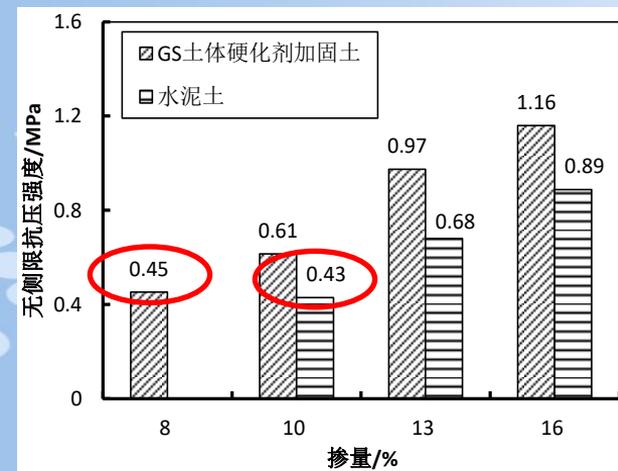
16%无侧限抗压强度随龄期变化



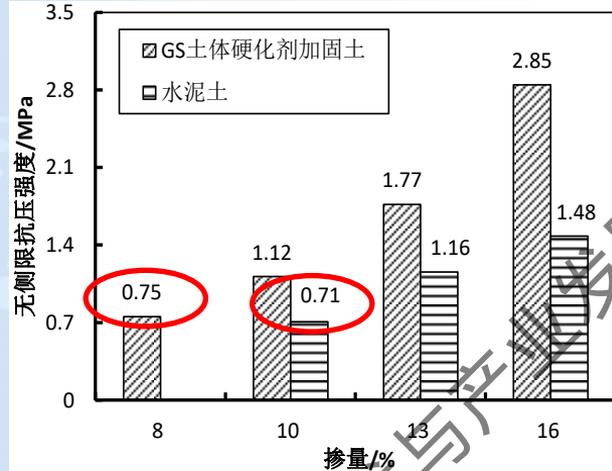
(2) 加固第④层淤泥质黏土

14d龄期时，提高系数**1.3~1.4**倍；28d龄期时，**1.5~1.9**倍；90d龄期时，**1.6~2.1**倍。

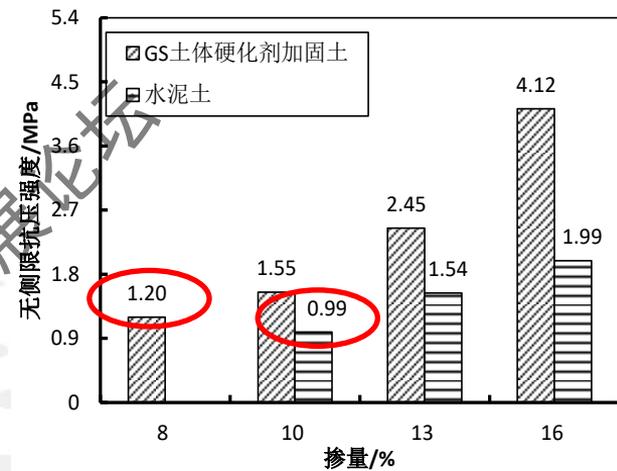
掺量/%	龄期/d	水泥石/MPa	GS加固土/MPa	提高系数
10	14	0.43	0.61	1.42
	28	0.71	1.12	1.58
	90	0.99	1.55	1.57
13	14	0.68	0.97	1.43
	28	1.16	1.77	1.53
	90	1.54	2.45	1.59
16	14	0.89	1.16	1.30
	28	1.48	2.85	1.93
	90	1.99	4.12	2.07



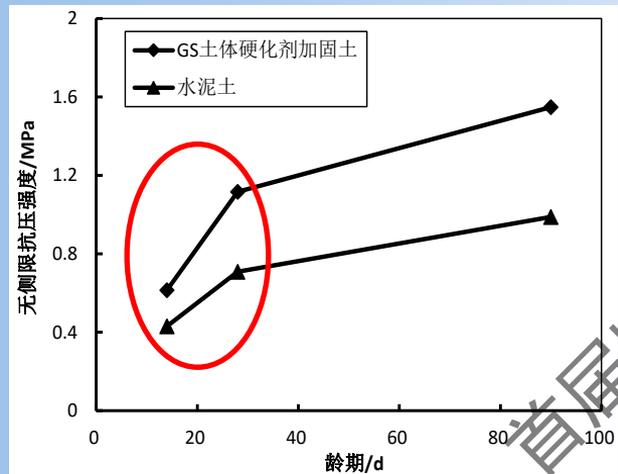
14d无侧限抗压强度变化规律



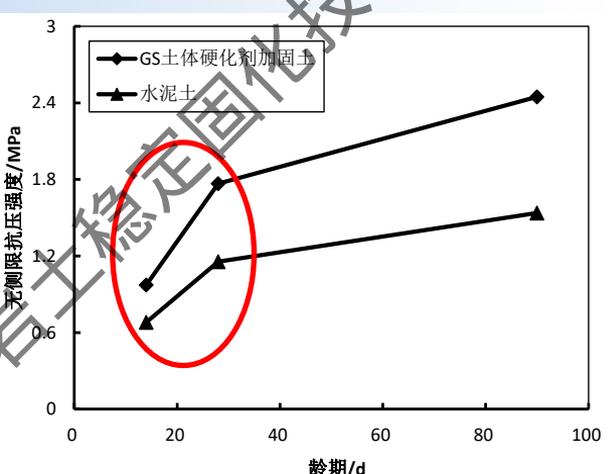
28d无侧限抗压强度变化规律



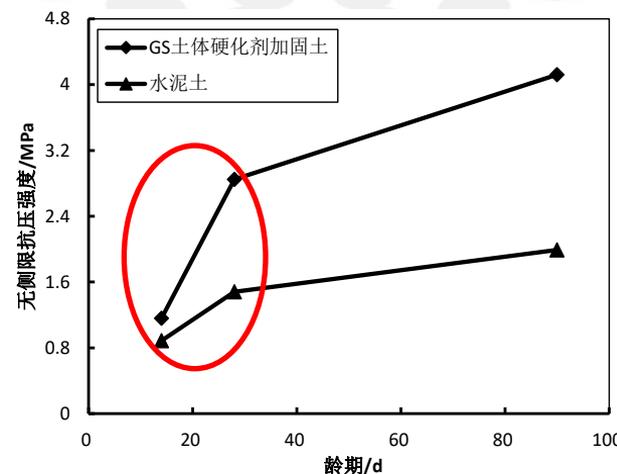
90d无侧限抗压强度变化规律



10%无侧限抗压强度随龄期变化



13%无侧限抗压强度随龄期变化



16%无侧限抗压强度随龄期变化



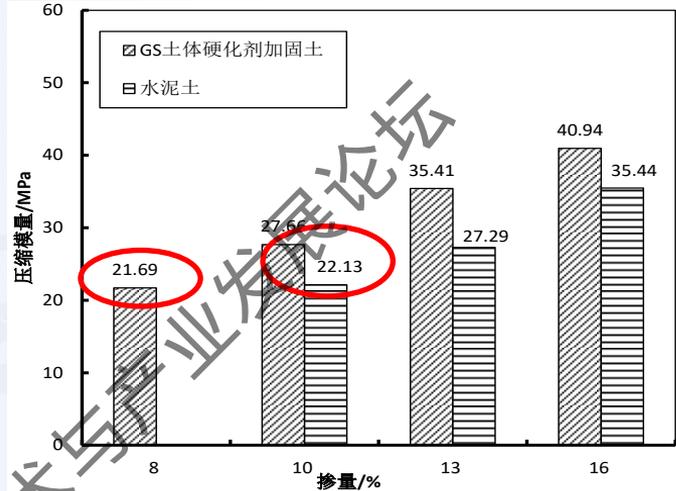
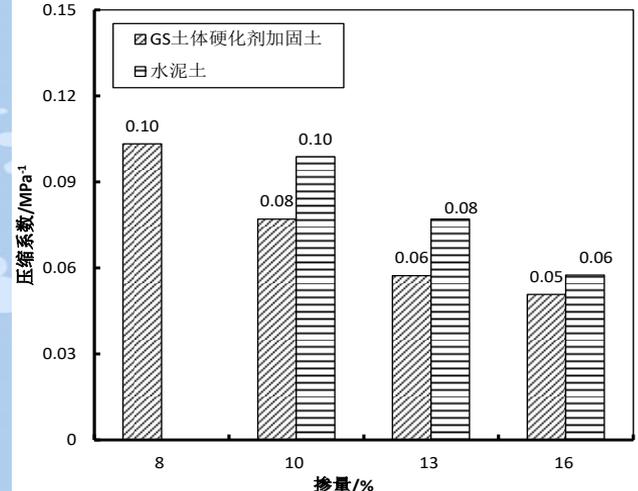
一维固结试验结果



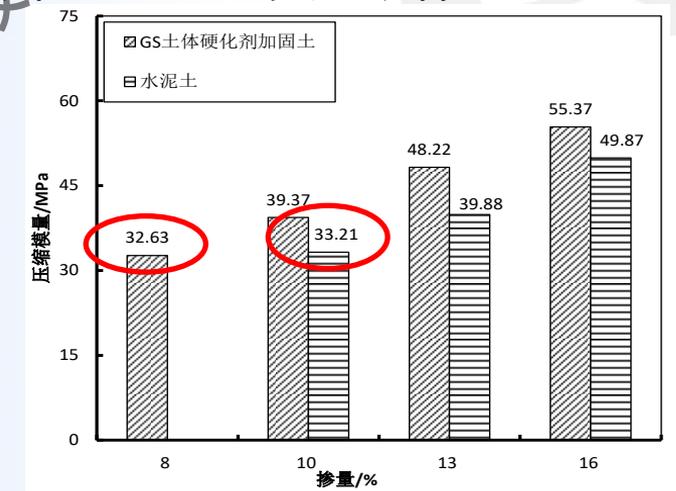
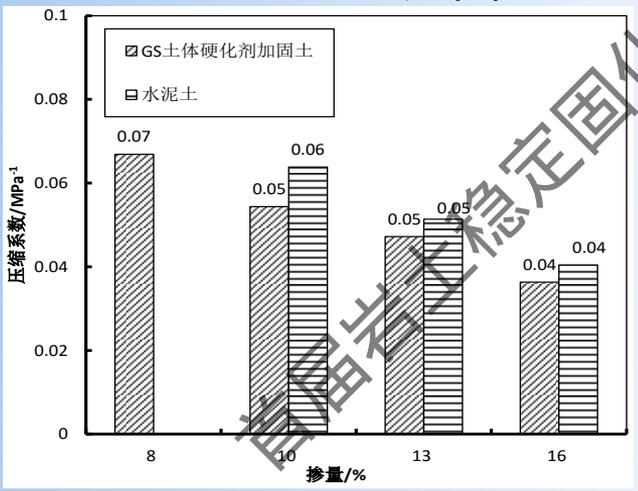
(1) 加固第③层淤泥质粉质黏土

14d龄期时，压缩模量提高系数1.1~1.3倍；28d龄期时，1.1~1.2倍；90d龄期时，1.1~1.3倍。

掺量/%	龄期/d	水泥石		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	/	/	0.10	21.69
	28	/	/	0.07	32.63
	90	/	/	0.05	46.47
10	14	0.10	22.13	0.08	27.66
	28	0.07	33.21	0.05	39.37
	90	0.05	46.53	0.04	52.05
13	14	0.08	27.29	0.06	35.41
	28	0.05	39.88	0.05	48.22
	90	0.04	52.07	0.03	66.43
16	14	0.06	35.44	0.05	40.94
	28	0.04	49.87	0.04	55.37
	90	0.03	66.51	0.03	72.05



14d加固土压缩系数和压缩模量变化规律



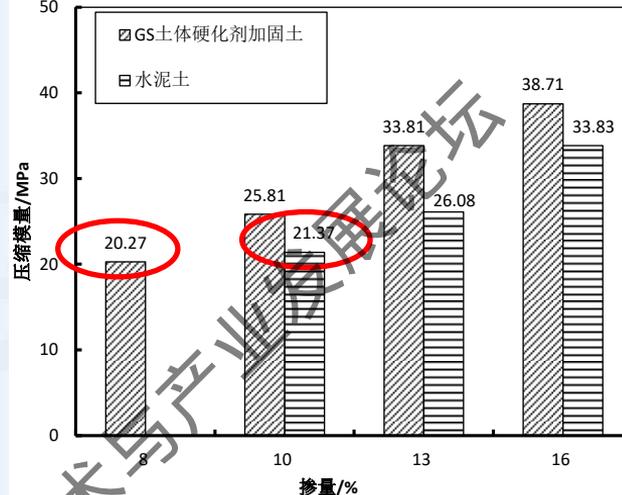
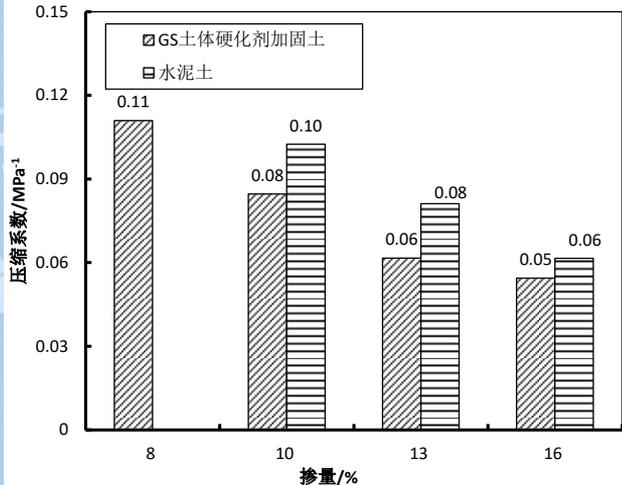
28d加固土压缩系数和压缩模量变化规律



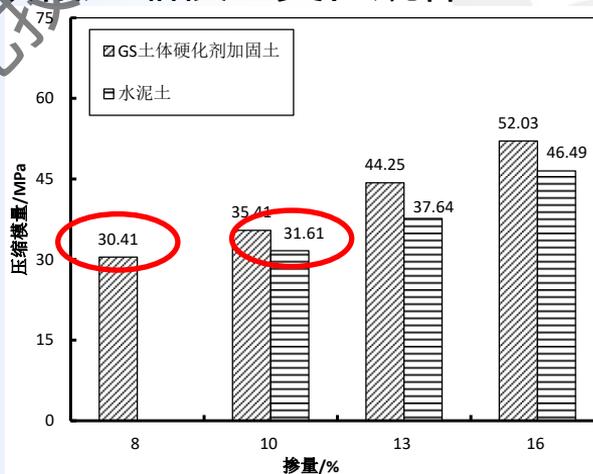
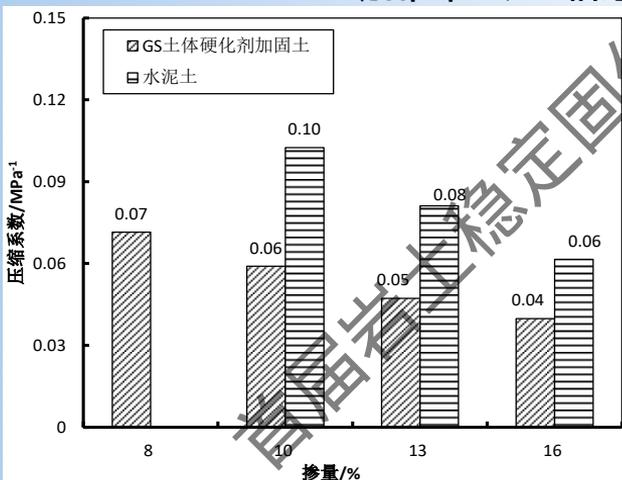
(2) 加固第④层淤泥质黏土

14d龄期时，压缩模量提高系数1.1~1.3倍；28d龄期时，1.1~1.2倍；90d龄期时，1.1~1.2倍。

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	0.03	60.92	0.03	66.47



14d加固土压缩系数和压缩模量变化规律



28d加固土压缩系数和压缩模量变化规律



剪切试验结果



(1) 加固第③层淤泥质粉质黏土

内摩擦角略高于水泥加固土的内摩擦角；14d龄期时，黏聚力提高系数1.1~1.2倍；28d龄期时，1.1~1.3倍；90d龄期时，1.2~1.5倍。

掺量/%	龄期/d	水泥土		GS加固土	
		内摩擦角/°	黏聚力/ kPa	内摩擦角/°	黏聚力/ kPa
8	14	/	/	39.2	214
	28	/	/	42.4	280
	90	/	/	46.3	309
10	14	39.5	213	41.3	238
	28	42.3	266	44.6	308
	90	44.5	285	48.5	376
13	14	41.7	246	44.0	286
	28	44.7	278	47.5	339
	90	47.0	348	50.9	428
16	14	43.8	285	46.7	339
	28	46.9	315	51.0	400
	90	49.3	390	53.3	569



14d龄期时，垂直压力100kPa下GS岩土固化剂加固土**抗剪强度**提高系数**1.1~1.2**倍；**28d**龄期时，**1.1~1.2**倍；**90d**龄期时，**1.2~1.3**倍。

掺量/%	龄期/d	水泥土/kPa	GS加固土/kPa	提高系数
10	14	295	326	1.11
	28	447	505	1.13
	90	481	602	1.25
13	14	335	382	1.14
	28	475	557	1.17
	90	562	674	1.20
16	14	381	445	1.17
	28	529	647	1.22
	90	622	837	1.35



(2) 加固第④层淤泥质黏土

GS岩土固化剂加固土内摩擦角略高于水泥加固土的内摩擦角；14d龄期时，黏聚力提高系数1.2~1.3倍；28d龄期时，1.2~1.4倍；90d龄期时，1.3~1.5倍。

掺量/%	龄期/d	水泥石		GS加固土	
		内摩擦角/°	黏聚力/ kPa	内摩擦角/°	黏聚力/ 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



14d龄期时，垂直压力100kPa下GS岩土固化剂加固土抗剪强度提高系数**1.1~1.2**倍;**28d**龄期时，**1.2~1.4**倍;**90d**龄期时，**1.2~1.4**倍。

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



渗透试验结果



(1) 加固第③层淤泥质粉质黏土

14d龄期时, 渗透系数减少率18%~20%; 28d龄期时, 19%~21%; 90d龄期时, 17%~24%。

掺量/%	龄期/d	水泥石/ 10^{-7} cm/s	GS加固土/ 10^{-7} cm/s	减小率/%
10	14	2.44	1.94	20.2
	28	2.02	1.63	19.2
	90	1.76	1.45	17.3
13	14	2.00	1.63	18.0
	28	1.71	1.37	19.7
	90	1.49	1.21	19.1
16	14	1.55	1.24	20.0
	28	1.32	1.04	21.6
	90	1.19	0.90	24.0



(2) 加固第④层淤泥质黏土

14d龄期时，渗透系数减少率18%~20%；28d龄期时，20%~22%；90d龄期时，17%~25%。

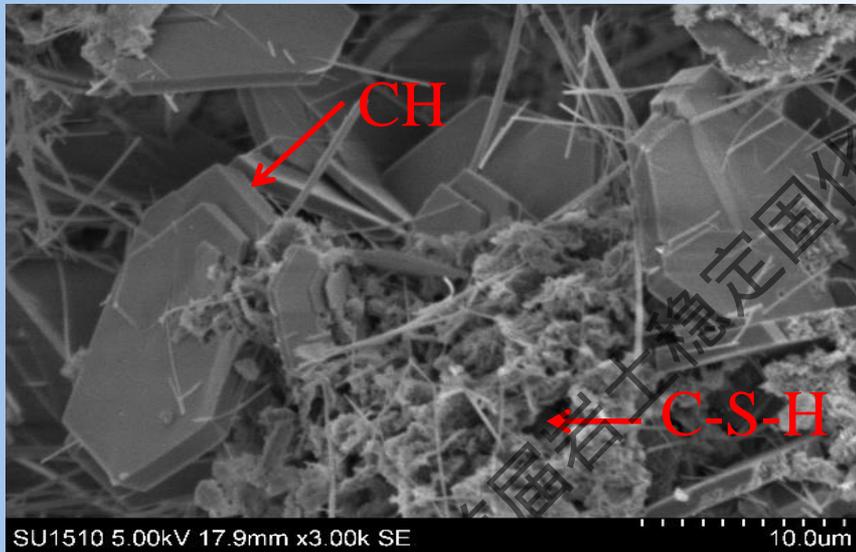
掺量/%	龄期/d	水泥土/ 10^{-8} cm/s	GS加固土/ 10^{-8} cm/s	减小率/%
10	14	2.70	2.17	19.6
	28	2.17	1.75	19.2
	90	1.89	1.56	17.4
13	14	2.23	1.84	17.5
	28	1.84	1.47	19.8
	90	1.58	1.29	18.2
16	14	1.75	1.42	19.0
	28	1.42	1.11	21.6
	90	1.29	0.97	24.7



扫描电镜试验结果



GS岩土固化剂加固土中生成了更多的六方板状的氢氧化钙晶体CH，且相互更加紧密得叠加在一起，出现较多的纤维状的水化硅酸钙凝胶C-S-H，针棒状的钙矾石开始变少；水泥土中也出现了大量的六方板状的氢氧化钙晶体，且相互叠加在一起，但数量上，以及紧密程度不如GS岩土固化剂加固土，所以宏观上表现为强度远小于GS岩土固化剂加固土。



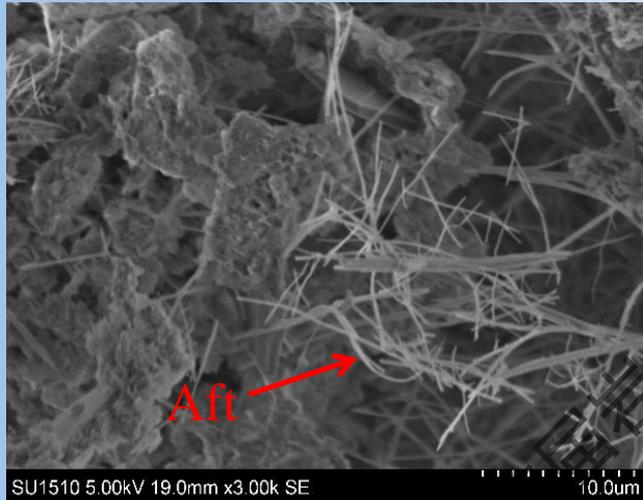
GS岩土固化剂加固土



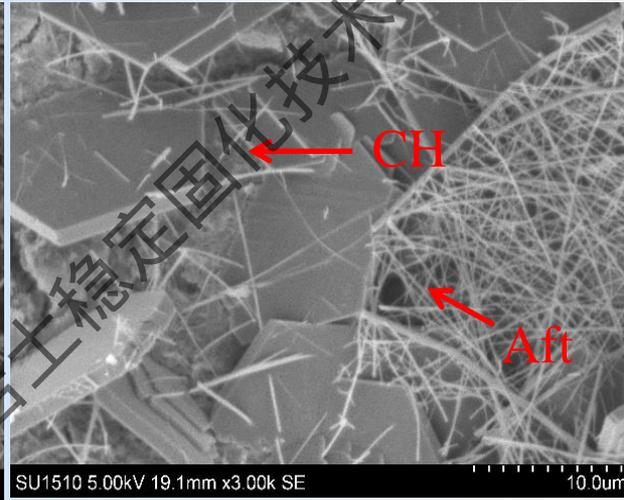
水泥土



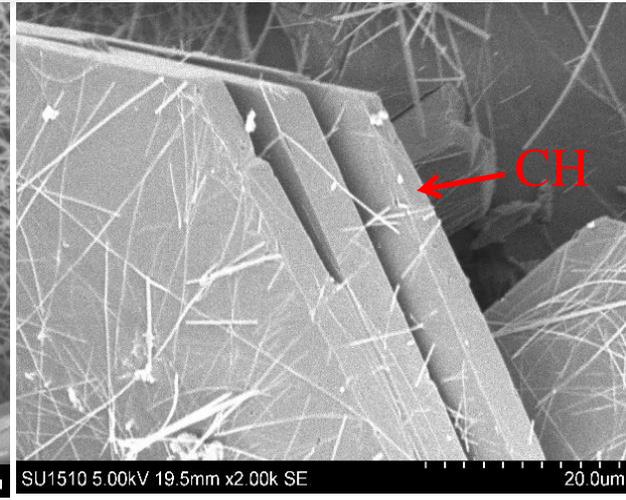
14d时，GS加固土中针棒状的钙矾石（Aft）较少，**水化程度较低**；**28d**时，GS加固土生成大量的钙矾石和六方板状的氢氧化钙晶体（CH），然而土颗粒之间仍然存在一些空隙或空洞，水化产物没有完全填充这些空隙，这充分说明**水化反应还不完全**；到**90d**龄期时，土颗粒表面被水化产物覆盖，周围完全被水化物所包围，大部分空隙被水化物所填充。由此可见，28d之后水化反应仍然在继续，胶凝物质的数量明显增多，六方板状的氢氧化钙晶体尺寸更大，因此GS岩土固化剂加固土的强度在28d之后也有较大的**增长**。



14d



28d



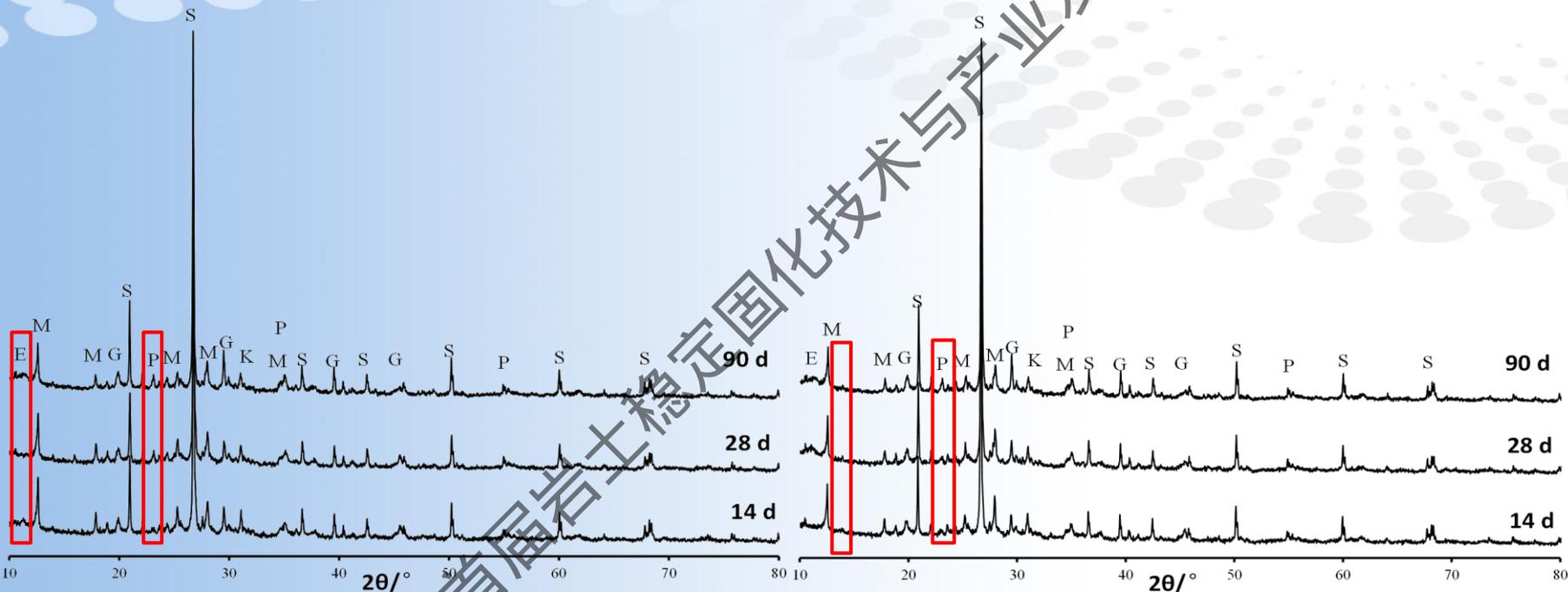
90d



X射线衍射试验结果



随时间增长，出现了**钙矾石和氢氧化钙晶体**的衍射峰，但是GS岩土固化剂加固土钙矾石和氢氧化钙晶体的峰强明显高于水泥土



M: 云母; S: 石英SiO₂; K: 高岭石; G: 蒙脱石; E: 钙矾石; P: 氢氧化钙

GS岩土固化剂加固土

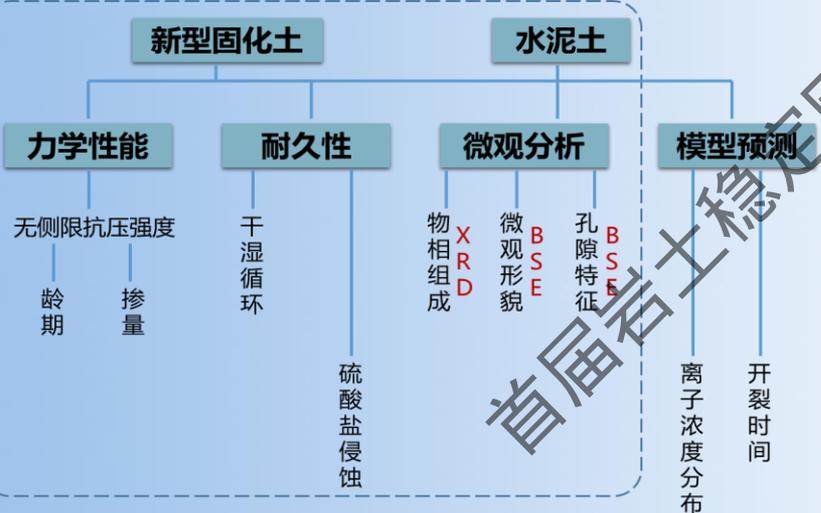
水泥土



GS岩土固化剂加固淤泥的耐久性研究



ω /%	Γ /kN /m ³	e	ω_l /%	ω_p /%	σ_c /MPa	E_s /MPa	c /kPa	Φ /°	K /10 ⁻⁷ cm/s
44.5	17.9	1.1	44.3	25.1	1.30	2.3	9.6	11.2	0.891



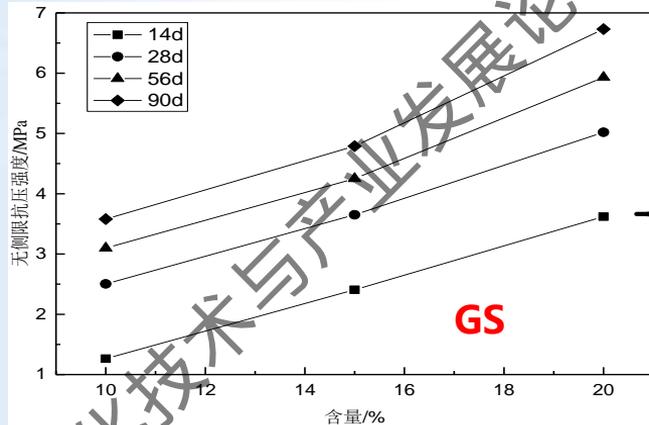
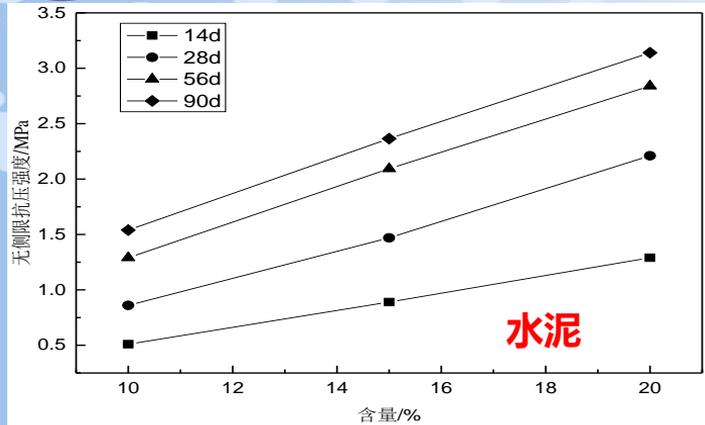
试验项目	固化剂	水灰比	固化剂掺量/%	龄期/d
无侧限抗压试验	水泥	1	10/15/20	14 /28
	GS固化剂			/56/90
变角板剪切试验	水泥			14 /28 90
	GS固化剂			

试验项目	固化剂	水灰比	固化剂掺量/%	龄期/d
5%硫酸钠溶液浸泡	水泥	1	10/15/20	120
	GS固化剂			
干湿循环	水泥			120
	GS固化剂			



■ 无侧限抗压试验

掺量/%	龄期/d	水泥土/kPa	GS加固土/kPa	提高系数
10	14	260.39	863.07	3.3
	28	641.32	1263.12	2.0
	90	927.61	1833.33	2.0
15	14	341.28	1165.88	3.4
	28	754.34	1518.36	2.0
	90	1012.46	2561.99	2.5
20	14	784.75	1791.07	2.3
	28	1211.37	2131.14	1.8
	90	1521.36	3303.98	2.2

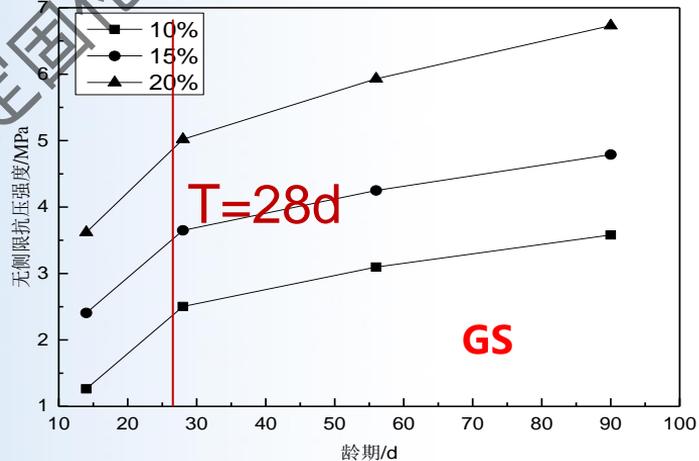
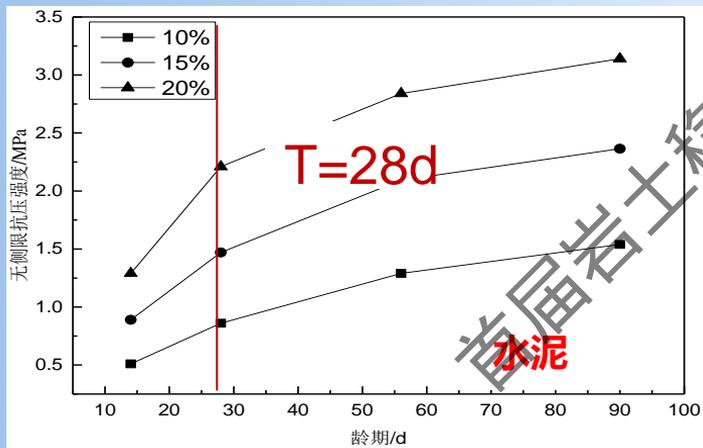


$$f_{cu,14} = 0.042a_w^{1.491}$$

$$f_{cu,28} = 0.234a_w^{1.021}$$

$$f_{cu,56} = 0.321a_w^{0.970}$$

$$f_{cu,90} = 0.386a_w^{0.949}$$

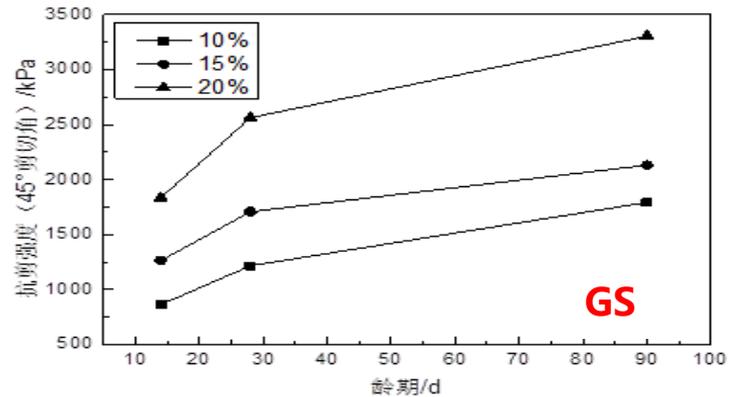
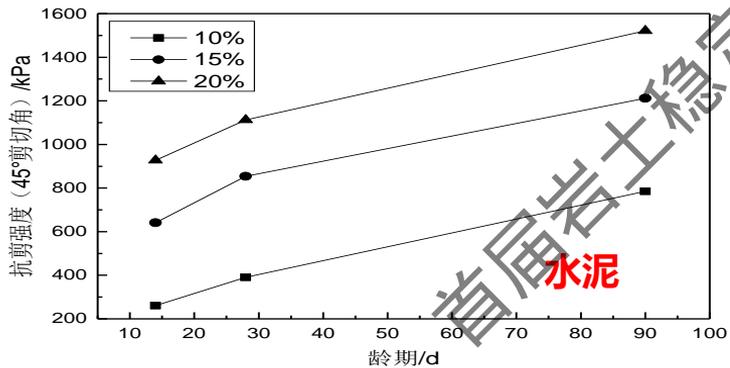
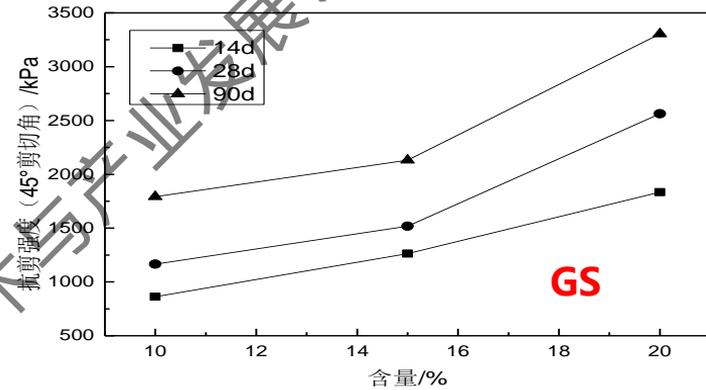
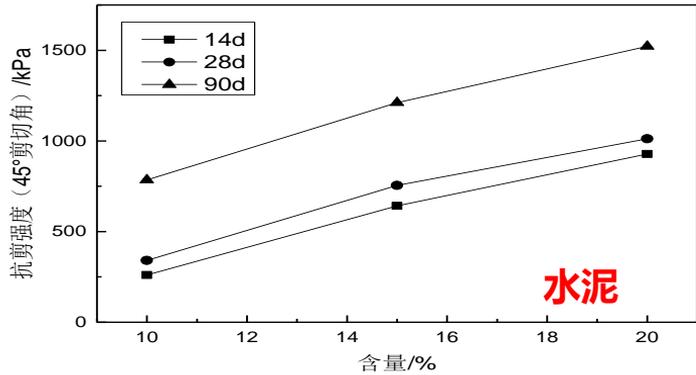




■ 直剪试验

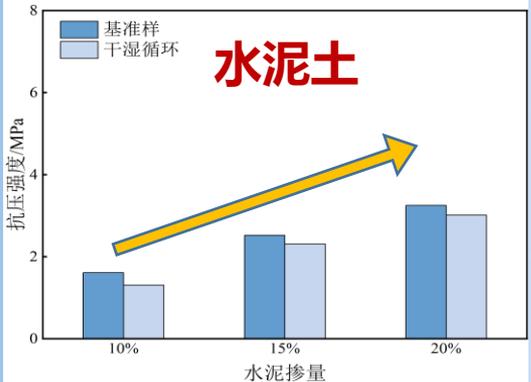
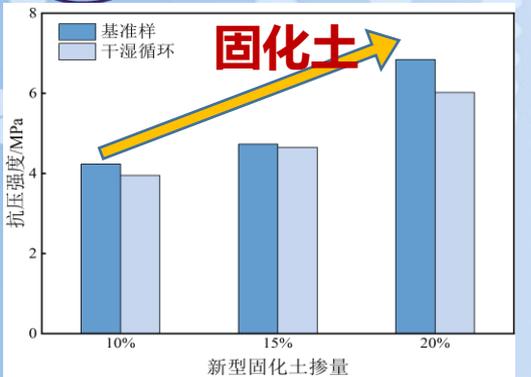


掺量/%	龄期/d	水泥土/kPa	GS加固土/kPa	提高系数
10	14	260.39	863.07	3.3
	28	641.32	1263.12	2.0
	90	927.61	1833.33	2.0
15	14	341.28	1165.88	3.4
	28	754.34	1518.36	2.0
	90	1012.46	2561.99	2.5
20	14	784.75	1791.07	2.3
	28	1211.37	2131.14	1.8
	90	1521.36	3303.98	2.2



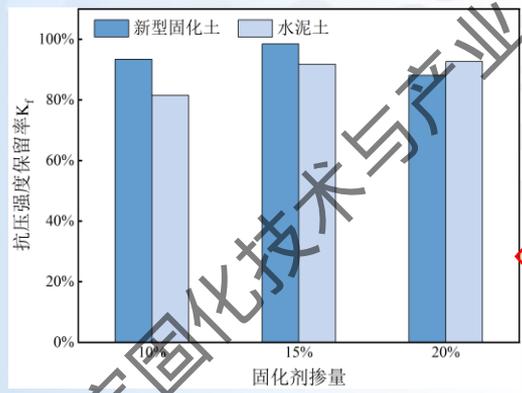


■ 干湿循环试验

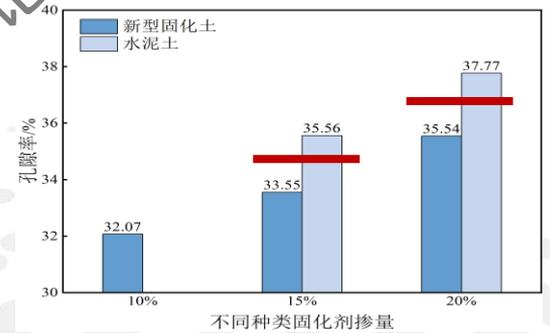


干湿循环后的**抗压强度**

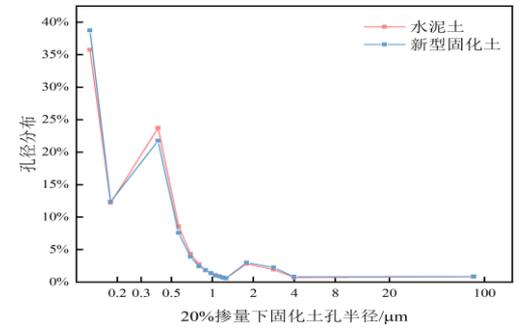
$$K_f = \frac{f_s}{f_0} \times 100$$



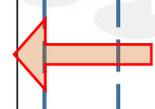
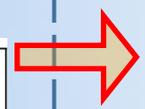
新型固化土的**抗压强度保留率**总体上高于**水泥土**



孔隙率与掺量的关系



G20和C20的孔径分布高度重合



首届岩石稳定固化技术与产业发展论坛



■ 硫酸盐侵蚀试验



GS 固化剂

水泥固化剂

掺量
10%



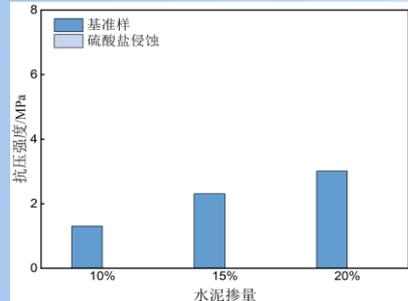
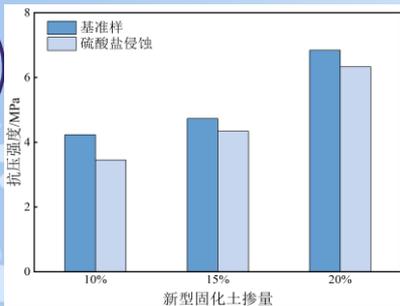
15%



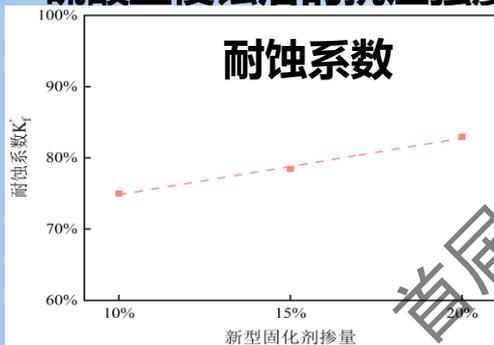
20%



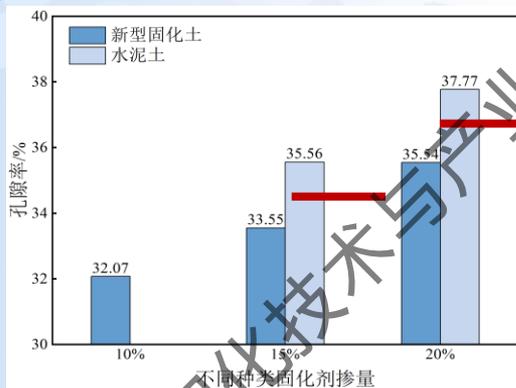
首届岩石稳定固化技术与产业发展论坛



硫酸盐侵蚀后的抗压强度



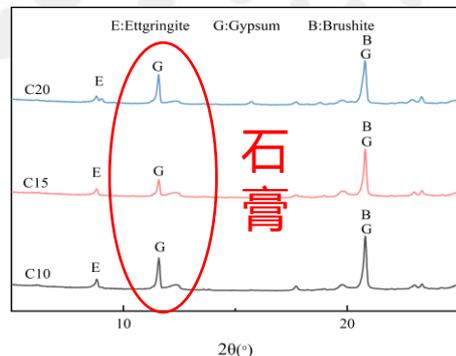
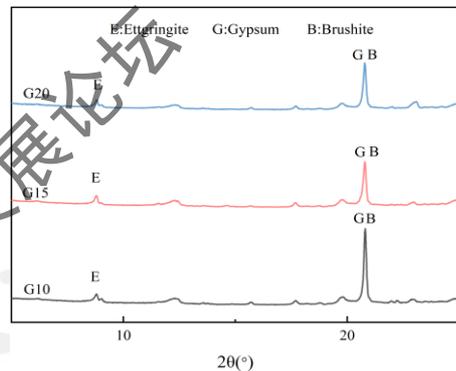
- 新型固化土强度下降
- 水泥土完全瓦解



孔隙率

- 水泥土自身抗压强度低
- 水泥土的孔隙率更高
- C_3A 和 C_3S 含量更高, 促进

钙矾石的生成, 出现了石膏腐蚀

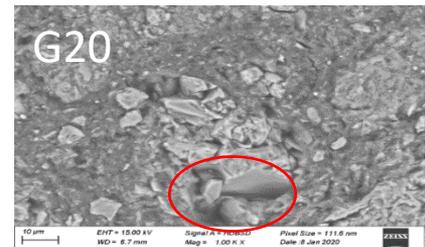
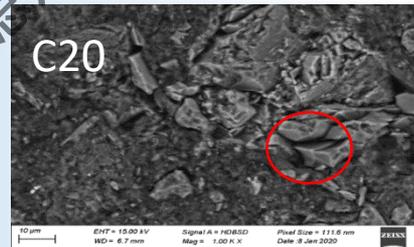
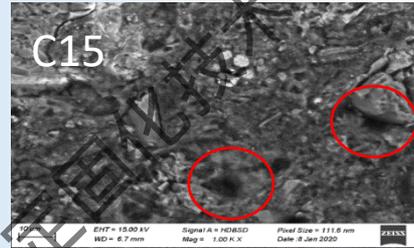
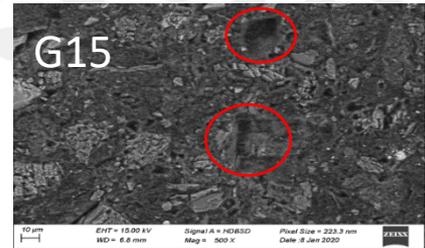
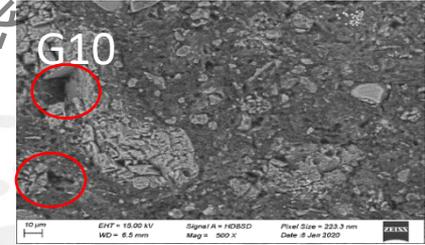
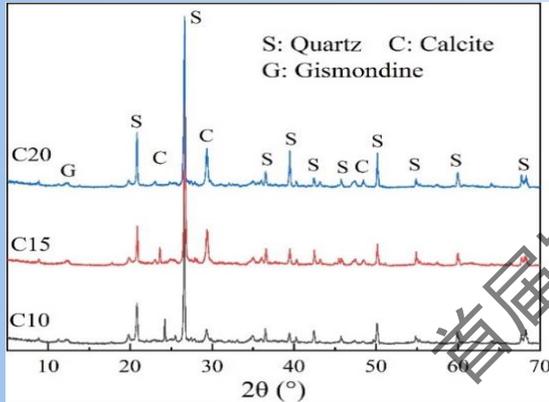
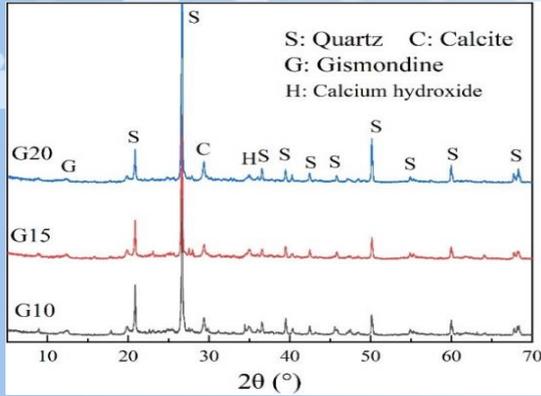


硫酸盐侵蚀后的物相组成



■ 微观形貌和物相组成

- 两种固化土的物相种类相近
- 两种固化土都存在较大孔隙和裂缝



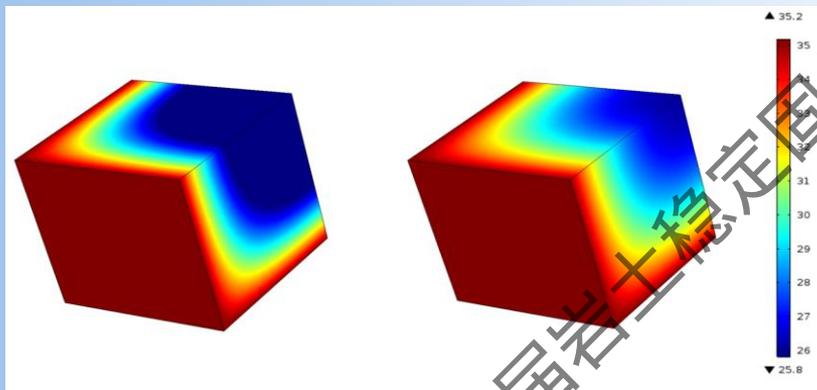
微观形貌



■ 硫酸盐侵蚀模型

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

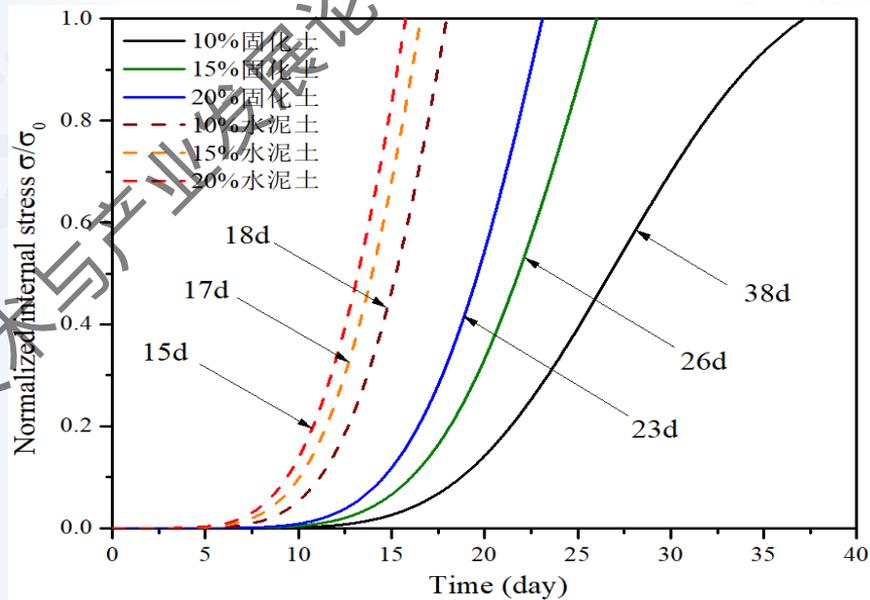
C:硫酸根离子浓度, t:时间, D:扩散系数



新型固化土

水泥石

硫酸根离子浓度分布



微裂纹产生时间

- 水泥石内部的硫酸根离子浓度更高
- 水泥石微裂纹产生时间早于新型固化土



首届岩土稳定固化技术与产业发展论坛

三、GS岩土固化剂加固软土的工程应用



- 工程项目1:** 上海嘉定宝龙城市广场项目，应用对象为两层地下室**的基坑支护**。
- 工程项目2:** 周浦镇41号地块三期工程，应用对象为一层地下室**的基坑支护**。
- 工程项目3:** G25长深高速德清至富阳段扩容湖州段工程项目(**复合地基**)

项目	五轴搅拌桩		双轴搅拌桩	
固化剂	GS岩土固化剂	水泥	GS岩土固化剂	水泥
桩长(m)	25	14	15	15
掺量(%)	10、13	13	10	8、10
检测龄期(d)	14、28、90	14、28、90	14、28、90	14、28、90
抽检数量	每个龄期3根	每个龄期3根	每个龄期3根	每个龄期3根



检测方法

参照江苏省标准《公路工程水泥搅拌桩成桩质量检测规程》**DB32/T 2283-2012**

■ 现场试验

■ 室内试验

■ 钻孔与取样

■ 无侧限抗压强度试验

■ 标准贯入试验

■ 芯样鉴别与描述

■ 桩体质量指标

以原位测试手段为主的检测方法



评定标准

- 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。
- 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。
- 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。

计分办法

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	Iq (%)	记分
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

五轴搅拌桩桩身质量检测结果——14d龄期取芯



掺量10% GS岩土固化剂无破碎，基本成形



掺量13% GS岩土固化剂很完整，桩身均匀



掺量13% 水泥浅部破碎，深部基本成形

首屆岩土穩定與工程發展論壇

五轴搅拌桩桩身质量检测结果——28d龄期取芯



掺量10% GS岩土固化剂
很完整，桩身均匀

掺量13% GS岩土固化剂
完整，桩身均匀

掺量13% 水泥
浅部和中下部破碎
其他部分基本成形



评分办法举例:



深度 (m)	硬度或状态	得分	标贯击数	杆长修正	龄期折算击数	得分	抗压强度 (MPa)	评分	得分	桩体质量指标 Iq(%)	得分	分层得分	综合得分
1.0	硬塑	75.0	13	13.0	13.0	82.5				100.0	100.0	83.5	97.1
2.0	硬塑	75.0	16	16.0	16.0	90.0				100.0	100.0	89.5	
3.0	硬塑	75.0	17	16.5	16.5	91.4	0.58	0.58	100.0	100.0	100.0	91.5	
4.0	硬塑	75.0	16	15.1	15.1	87.9				100.0	100.0	87.8	
5.0	坚硬	100.0	20	18.4	18.4	96.0				100.0	100.0	96.8	
6.0	坚硬	100.0	22	19.8	19.8	99.5				100.0	100.0	99.6	
7.0	坚硬	100.0	25	22.0	22.0	100.0				100.0	100.0	100.0	
8.0	坚硬	100.0	26	22.4	22.4	100.0				93.0	100.0	100.0	
9.0	坚硬	100.0	29	24.5	24.5	100.0				100.0	100.0	100.0	
10.0	坚硬	100.0	31	25.6	25.6	100.0				100.0	100.0	100.0	
11.0	坚硬	100.0	32	25.9	25.9	100.0				100.0	100.0	100.0	
12.0	坚硬	100.0	33	26.3	26.3	100.0	0.53	0.53	100.0	100.0	100.0	100.0	
13.0	硬塑	75.0	26	20.4	20.4	100.0				100.0	100.0	97.5	
14.0	坚硬	100.0	32	24.6	24.6	100.0				100.0	100.0	100.0	
15.0	坚硬	100.0	34	25.7	25.7	100.0				100.0	100.0	100.0	
16.0	坚硬	100.0	32	23.8	23.8	100.0				100.0	100.0	100.0	
17.0	坚硬	100.0	34	24.8	24.8	100.0				100.0	100.0	100.0	
18.0	坚硬	100.0	33	23.8	23.8	100.0				100.0	100.0	100.0	
19.0	坚硬	100.0	36	25.6	25.6	100.0				100.0	100.0	100.0	
20.0	坚硬	100.0	33	23.1	23.1	100.0				100.0	100.0	100.0	
21.0	坚硬	100.0	33	23.1	23.1	100.0				100.0	100.0	100.0	
22.0	硬塑	75.0	26	18.2	18.2	95.5				91.0	100.0	93.9	
23.0	硬塑	75.0	28	19.6	19.6	99.0	0.39	0.39	90.8	91.0	100.0	95.4	
24.0	硬塑	75.0	28	19.6	19.6	99.0				91.0	100.0	96.7	
25.0	硬塑	75.0	27	18.9	18.9	97.3				100.0	100.0	95.3	



五轴搅拌桩桩身质量检测结果

桩身质量评定表

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

双轴搅拌桩桩身质量检测结果——14d龄期取芯



掺量8% GS岩土固化剂
无破碎，基本成形

掺量10% GS岩土固化剂
无破碎，基本完整

掺量10% 水泥
浅部破碎，基本成形

双轴搅拌桩桩身质量检测结果——28d龄期取芯



掺量8% GS岩土固化剂
无破碎，完整



掺量10% GS岩土固化剂
无破碎，完整



掺量10% 水泥
少量破碎，较完整



双轴搅拌桩桩身质量检测结果



桩身质量评定表

编号	桩排号 (排-号)	设计 桩长 (m)	实际桩长 (m)	加固粉类 型	掺灰量 (%)	龄期 (d)	综合得分	
zk-1	1-1	15	15	GS岩土固 化剂	8	14	66.9	
zk-2	1-2	15	15		8	15	69.6	
zk-3	1-3	15	15		8	15	70.9	
zk-4	1-4	15	15		10	15	82.8	
zk-5	1-5	15	15		10	16	74.0	
zk-6	1-6	15	15		10	16	84.1	
zk-10	2-1	15	15		8	28	83.8	
zk-11	2-2	15	15		8	28	88.5	
zk-12	2-3	15	15		8	28	95.5	
Zk-13	2-4	15	15		10	29	95.0	
zk-14	2-5	15	15		10	29	97.6	
zk-15	2-6	15	15		10	29	95.8	
zk-7	1-7	15	15		水泥	10	14	71.2
zk-8	1-8	15	15			10	14	73.5
zk-9	1-9	15	15	10		15	77.0	
zk-16	2-7	15	15	10		28	85.2	
zk-17	2-8	15	15	10		28	76.6	
zk-18	2-9	15	15	10		28	82.3	



G25长深高速德清至富阳段扩容湖州段工程项目(复合地基)



常规水泥取芯



GS固化剂取芯



GS岩土固化剂的应用依据



上海市工程建设规范
DG
 DG/TJ 08-2082-2017
 J 11831-2017

GS土体硬化剂应用技术规程
 Technical specification for application of GS soil hardening agent

2017-03-31 发布 2017-08-01 实施

上海市住房和城乡建设管理委员会 发布

上海建科检验有限公司
 检验检测报告

检验类别: 普通送样 报告编号: SN228-2017-0011
 委托编号: SN22-2000229 第2页 共2页

检验结果汇总						
序号	检测项目	标准值	检测结果	检测标准	判定	
1	凝结时间	初凝, min	≥45	590	GB/T 1346-2011	合格
		终凝, h	≤15	12		合格
2	安定性 (雷氏法), mm	≤5.0	0.5	GB/T 1346-2011	合格	
3	抗压强度, MPa	7d	≥17.0	12.8	GB/T 17671-1999	合格
		28d	≥32.5	32		合格
4	细度 (80μm 方孔筛筛余), %	≤10	132	GB/T 1345-2003	合格	
5	流动性, mm	初始	≥100	125	GB/T 8077-2012	合格
		60min	≥100	125		合格
6	密度, g/m ³	≥2.5	2.8	GB/T 208-2014	合格	

说明: —
 (本报告内容结束)

联系人: 王小姐 电话: 568 号 (邮编: 201108) Q21-54428584/54425584 JC/BG8-009-2019
 地址: 上海市静安区临汾路300号
 1. 本检测报告数据委托单位如有异议, 请在报告收到之日起十五日内提出。
 2. 本机构不承担本检测报告, 不得部分复制本报告。
 3. 本机构不负责委托方所提供样品及相关信息和企业信息真实性的证实。
 4. 选择检验结果仅供参考。

公开

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/TJ08-2082-2017, 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/TJ08-2082-2011) 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。

首届岩土稳定固化剂技术行业高峰论坛



GS岩土固化剂的应用典型案例



项目名称	施工日期	施工工艺	施工单位
凉城社区中心	2008	双轴	上勘
七宝城市广场	2012	五轴	城地
周浦保障房	2012	双轴	城地
中粮大悦城	2013	三轴	上海建工
湛江钢铁	2013	双轴	武勘院
佘山保障房	2014	双轴	上海建工
崇明上实	2015	双轴	江西地矿
闵行某厂房	2016	三轴	上海建工
泗泾绿地	2016	三轴	强劲
嘉定某基地	2016	四轴	强劲
温州某污水处理厂	2016	单轴、旋喷	强劲
书院镇项目	2016	双轴	山东城乡
康桥某项目	2017	双轴	山东城乡
金山某项目	2017	双轴	山东城乡



GS岩土固化剂的应用典型案例



乐清知临中学	2017	三轴	强劲
安庆恒大	2017	三轴	强劲
嘉定风荷丽景	2017	三轴	强劲
嘉兴中建	2017	旋喷、双轴	电子岩土
南京方家营污水厂	2017	三轴	中建安装
张江联想	2017	三轴、旋喷	上海中建
绍兴某项目	2017	三轴	强劲
慈溪新城	2017	双轴	强劲
嘉兴中南	2017	双轴	长凯
吴江江陵	2018	双轴	昆山恒升
太仓书院	2018	双轴	昆山恒升
浦东新场	2018	双轴	武勘院
吴江震泽	2018	双轴、旋喷	昆山恒升
常熟金龙湖畔	2018	双轴、三轴	昆山恒升



GS岩土固化剂的应用典型案例



项目名称	施工日期	施工工艺	施工单位
上海长江原水厂	2019	基坑工程	
长桥水厂	2019	基坑工程	
月浦水厂	2019	基坑工程	
金海水厂	2019	基坑工程	
北横通道海宁路段	2019	基坑工程	
泰和水厂	2020	基坑工程	
上海机床厂	2020	基坑工程	
崇明陈家镇水厂	2020	基坑工程	
竹园调蓄池	2020	基坑工程	
竹园污水处理厂	2020	三轴槽壁加固	
普轩智创服务产业园	2020	基坑工程	



首届岩土稳定固化技术与产业发展论坛

四、GS岩土固化剂发展展望



GS岩土固化剂发展展望

1. GS岩土固化剂的成功研发，解决了土体加固材料的技术缺陷，大大**改善**了水泥类加固方法的**质量**。

2. GS岩土固化剂有望成为地基土体加固的**首选材料**。

3. GS岩土固化剂的研发方向是根据不同的使用目的和工程要求，进一步开发满足不同需求的合理配方：

普通型：提高匀质性、降低水胶比、减低材料用量

早强型：基坑工程的提前开挖、表面浅层固化、沟塘原位处治

抗渗型：基坑围护的止水帷幕

缓凝型：劲性复合桩、静钻植桩



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY



土木工程學院
COLLEGE OF CIVIL ENGINEERING

致谢：上海宝钢新型建材科技有限公司
上海宝粉材料科技有限公司
上海美创建筑材料有限公司

THANK YOU!

首届岩土稳定固化技术与产业发展论坛