

化学—物理复合法在海底淤泥填海造地 工程中的应用



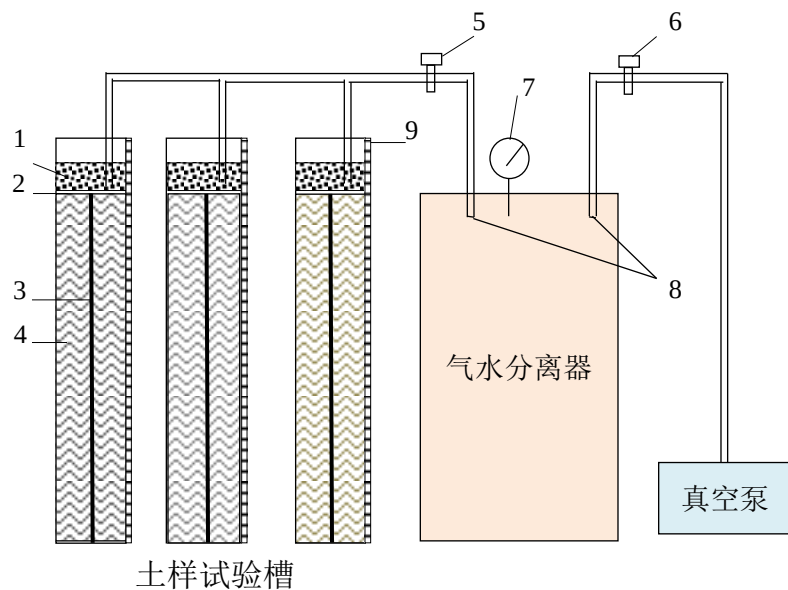
武冬青，徐文雨：新加坡凯科发展研究院，新加坡 739462

董志良：中交四航工程研究院，中国广州 510230

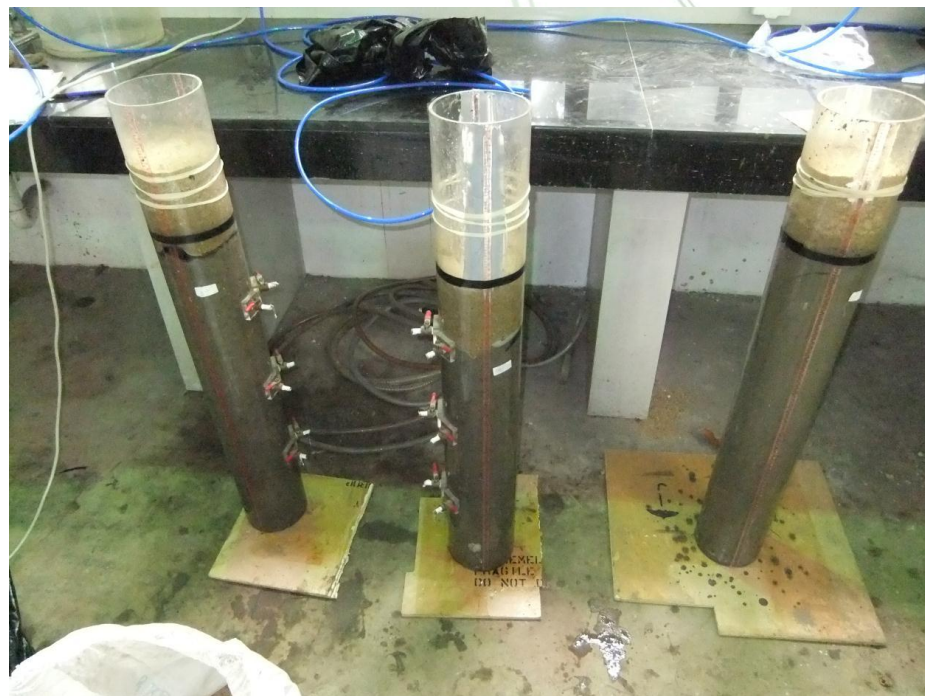
引言

- 随着中国经济的高速发展，沿海各城市对填海造地的需求也越来越迫切，同时对其工程性能(如承载力)的要求也越来越高
- 利用由航道疏浚产生的海底淤泥进行填海造地越来越普及，而且经济、环保，符合可持续发展的要求
- 用真空预压排水固结法加固高含水率淤泥的技术是处理软基础的主要工程措施之一，但加固效果有限(6-8 t/m²)，其他后续的加固措施，成本较高
- 含水率较低的淤泥，可采用化学加固法 ---- 东京国际机场的跑道基础 / 水泥加固低含水率(0.88~1.21倍液限)的海底淤泥
- 大部分疏浚出的海底淤泥的含水率一般为2~6倍的液限，化学加固法的效果极其有限
- 提出用“化学-物理复合法”(简称复合法)尝试处理各种高含水率的淤泥或泥浆

物理真空预压示意图



- | | |
|-------------|------------|
| 1—砂垫层; | 2—土工布; |
| 3—塑料排水板; | 4—淤泥; |
| 5—土样槽压力控制阀; | 6—真空压力控制阀; |
| 7—真空表; | 8—高压软管; |
| 9—刻度尺 | |



试验用新加坡和珠江淤泥的基本特性及试验条件

海底淤泥	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	塑性指数 $I_p/\%$	颗粒组成分析			真空度 (P_v)/kPa	土样槽 尺寸/cm	抽真空 时间/d	4倍液限 ($4w_L$)/%	强度评 估方法
				砂土	粉土	黏土					
珠江	50.4	25	25.4	4.9	60.6	34.5	90	$\phi 15 \times 100$	24	200.4	无侧限 抗压仪
新加坡	79.0	34	45.0	3.0	48.0	49.0	95	$\phi 5 \times 30$	9	316.0	落锥 贯入仪

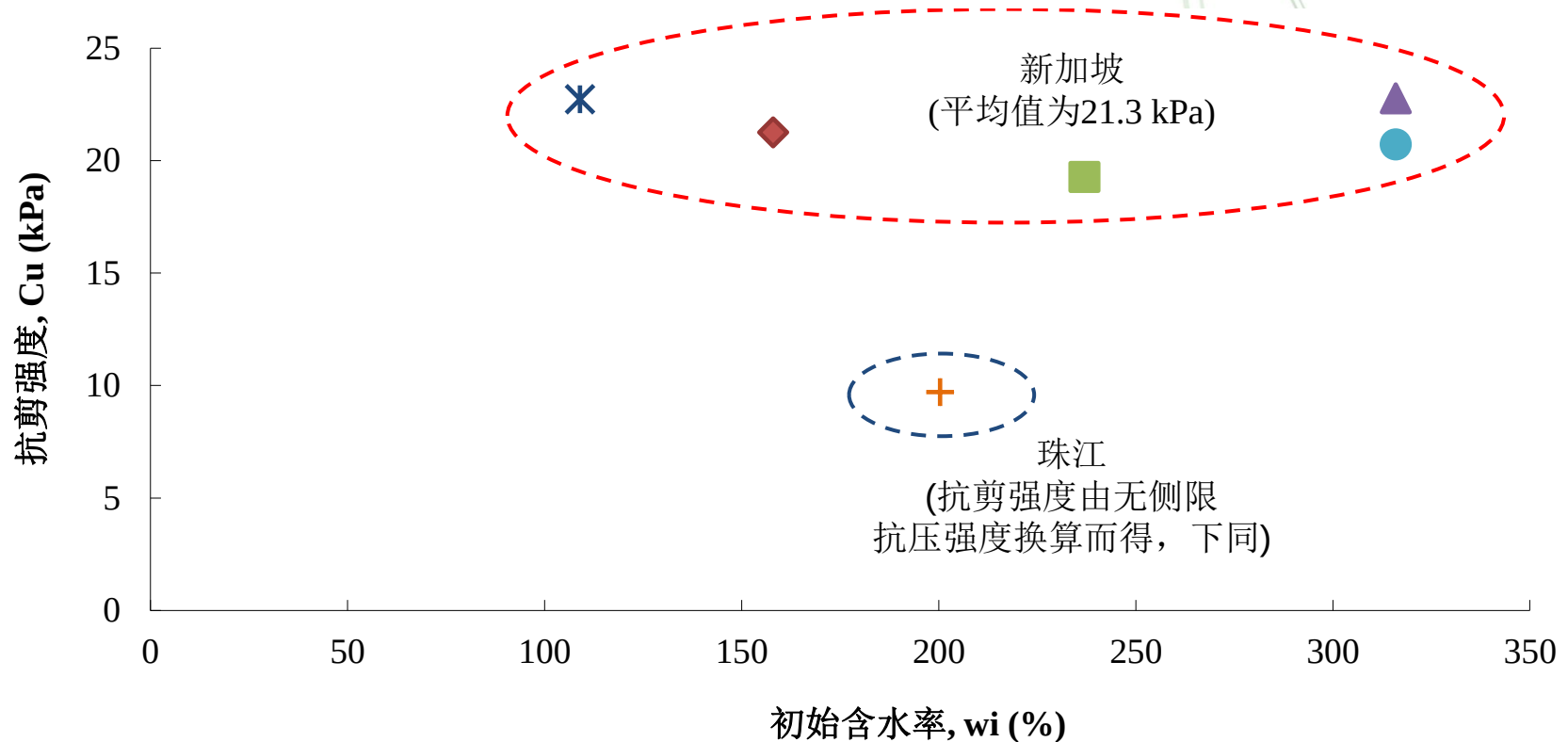
新加坡海底淤泥的液限和塑性指数大大高于珠江海底淤泥，黏土含量也很高。这表明新加坡海底淤泥的工程性质比珠江海底淤泥更差

Typical characteristics of Marine Clays:

- **Low strength:**
Undrained Shear Strength: 10-20 kpa at low water content;
- **Highly deformable**
- **Low permeability:** $10^{-8} - 10^{-10}$ m/s
- Creep behaviour

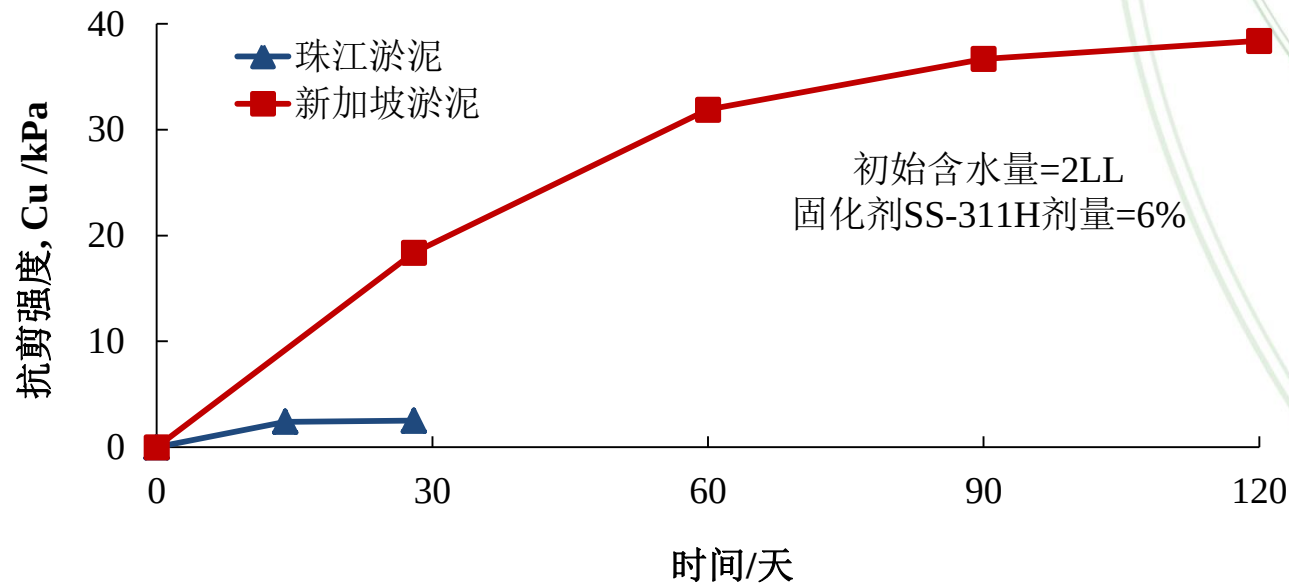


珠江和新加坡淤泥的真空预压结果



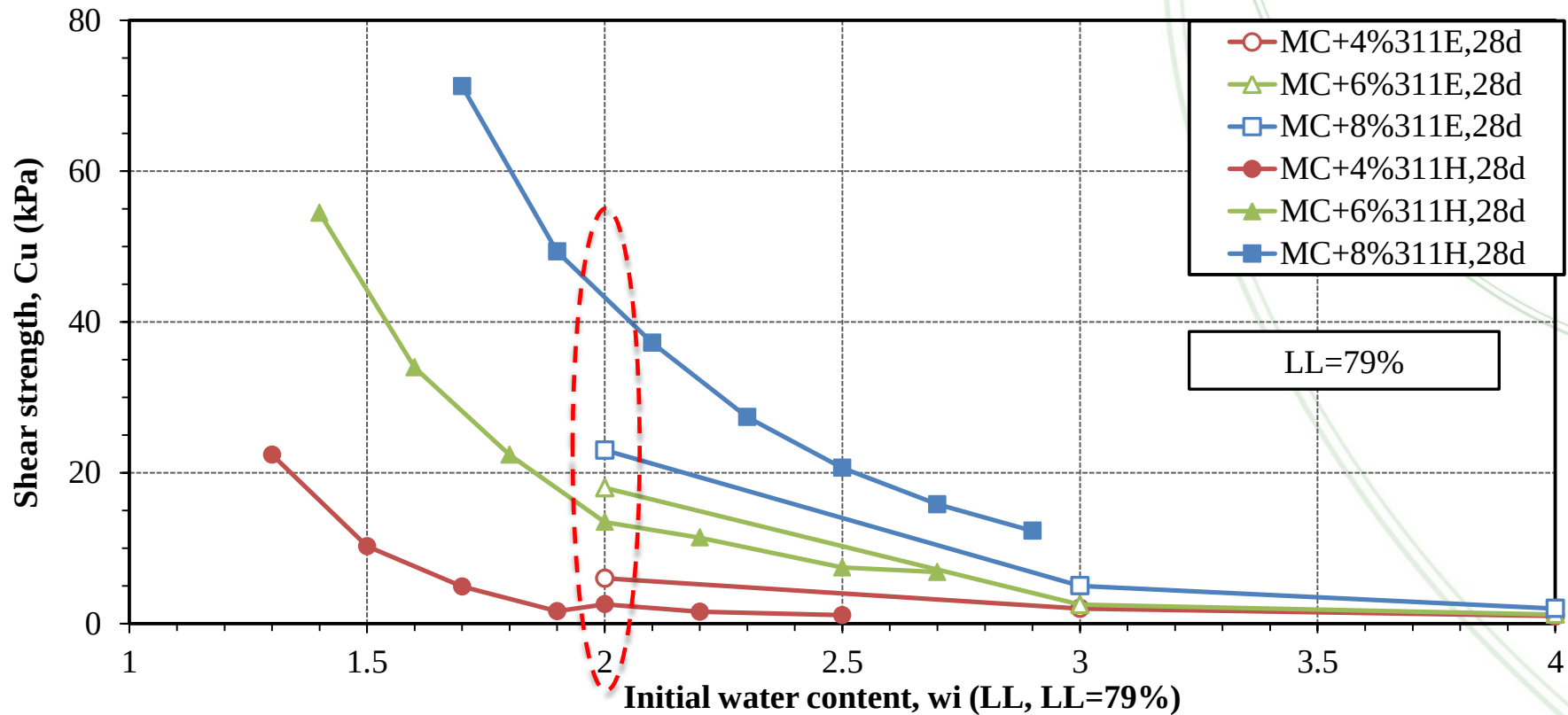
- 单用真空预压法加固纯海底淤泥，大多数情况下其抗剪强度为10~20 kPa；
- 加固后的淤泥最终含水量在 50% 左右；
- 淤泥的初始含水量对加固后淤泥的强度和最终含水量影响不大。

珠江和新加坡淤泥的化学加固结果



- 化学加固法可用于加固低含水率的淤泥，效果显著
- 加固效果受淤泥的种类及地域的影响很大

Chemical Stabilization for Clay Slurry

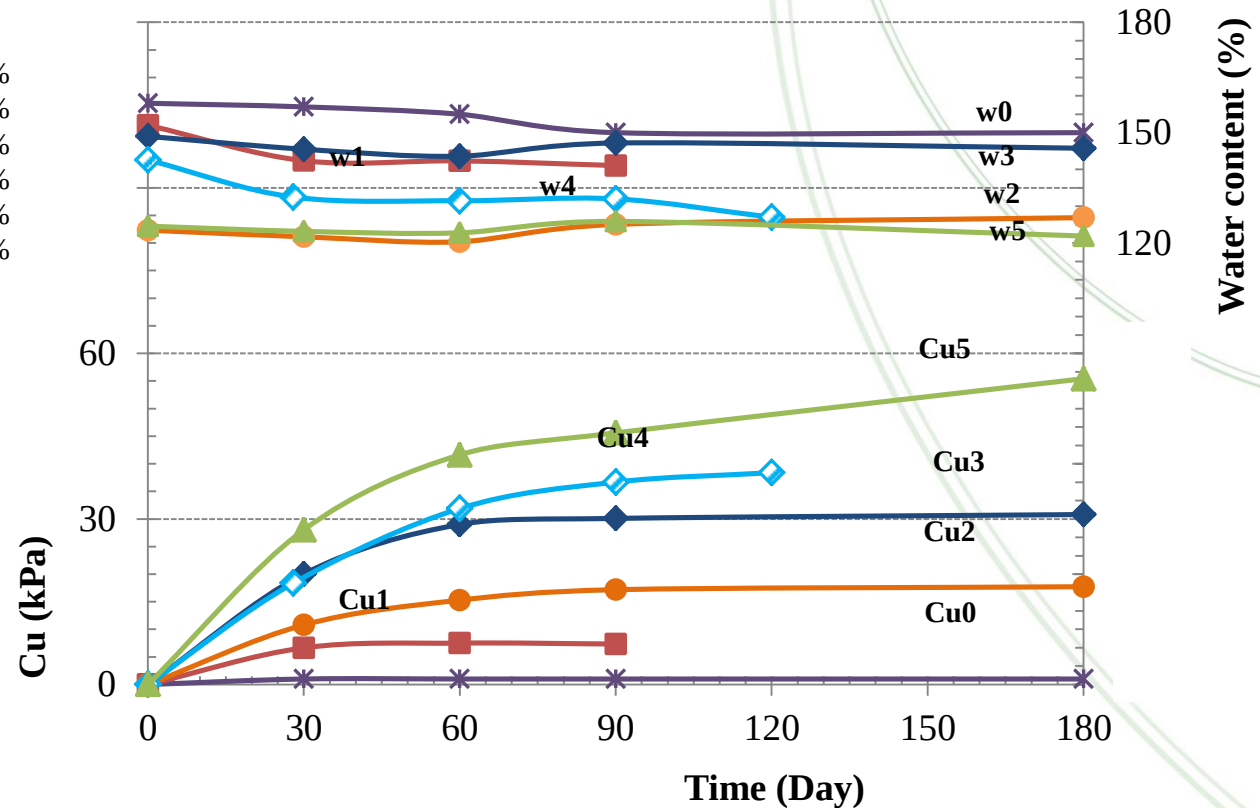


2LL could be the turning point for pure chemical stabilization (6%)

Chemical Stabilization for Clay Slurry

- 0: MC
 1: MC+4%SS-311H
 2: MC+4%SS-311H+30%IBA
 3: MC+6%SS-311H
 4: MC+6%SS-311H
 5: MC+6%SS-311H+24%IBA
- $w_i = 158\%$
 --- $w_i = 152\%$
 --- $w_i = 124\%$
 --- $w_i = 149\%$
 --- $w_i = 142\%$
 --- $w_i = 125\%$

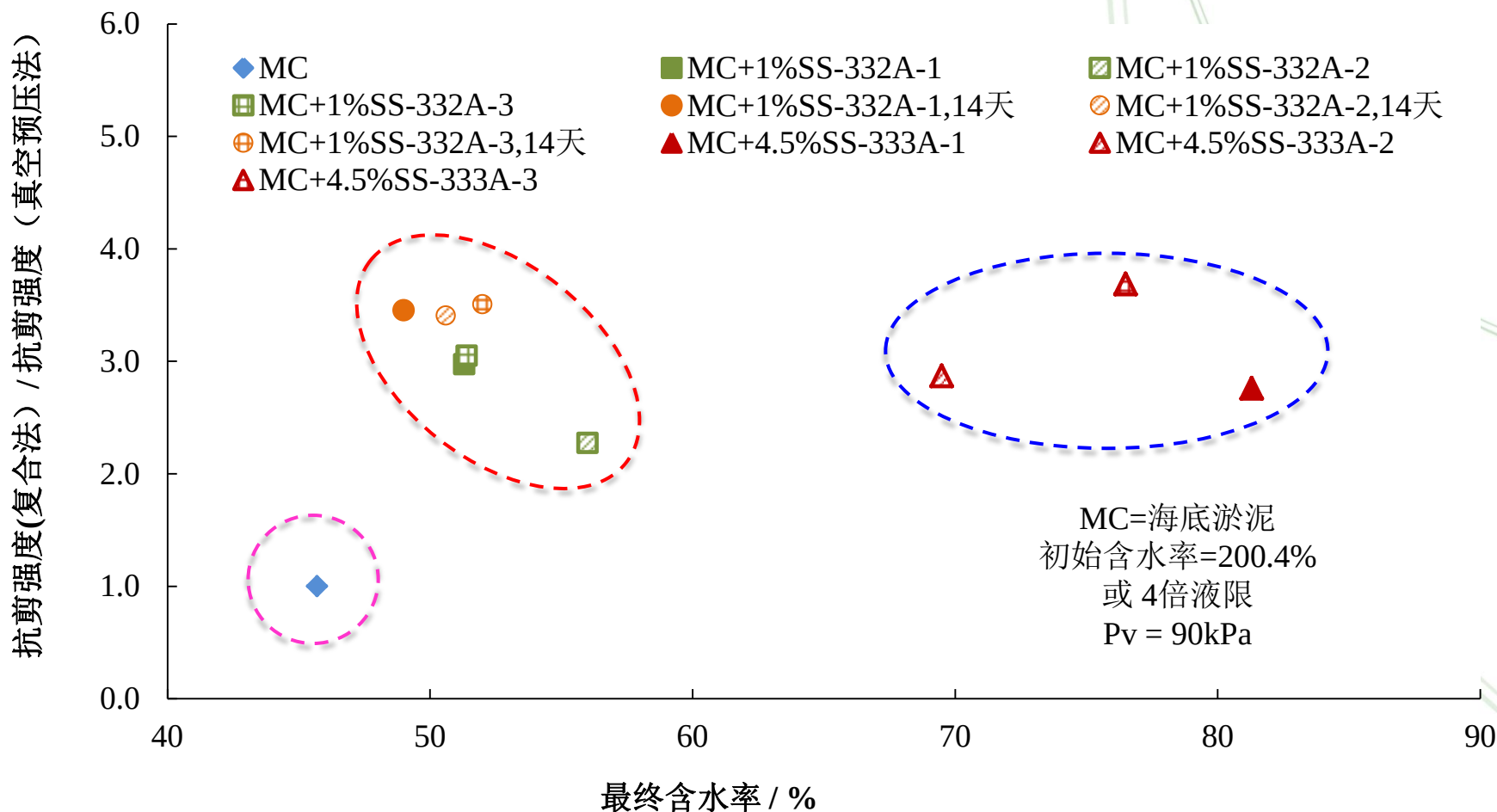
- * MC
 ■ Cu1(MC+4%SS-311H)
 ● Cu2(MC+4%SS-311H+30%IBA)
 ◆ Cu3(MC+6%SS-311H)
 ◆ Cu4[MC+6%SS-311H]
 ▲ Cu5(MC+6%SS-311H+24%IBA)



Average initial water content of MC-II=158%

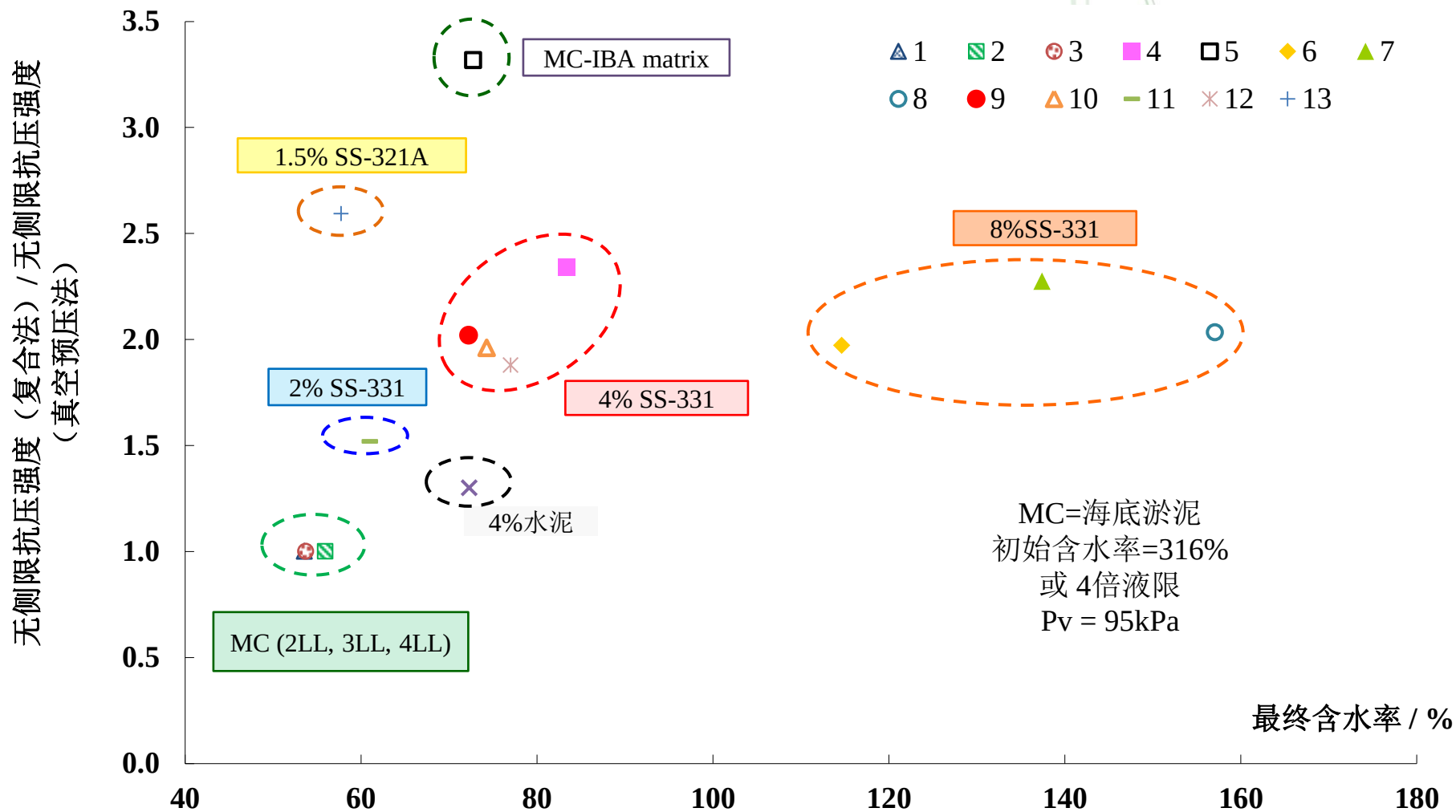
- Long-term Strength
- Dosage
- Effect of IBA

珠江淤泥改性前后的强度和最终含水率关系



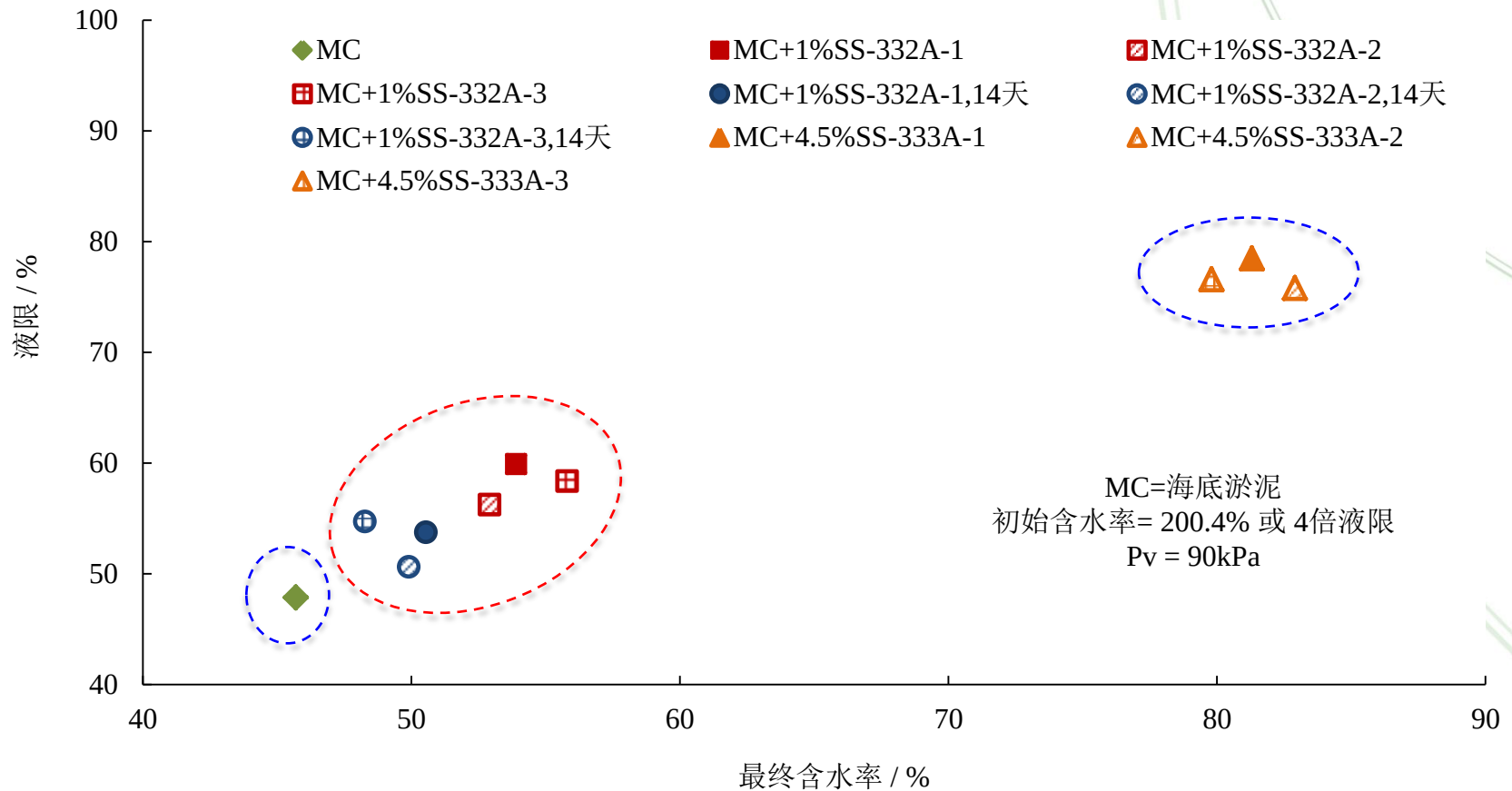
在相同的真空排水固结条件下，经化学改性，淤泥的强度可大幅度地提高2~3倍。

新加坡淤泥改性前后的强度和最终含水率关系



注: 1: MC(2LL); 2: MC(3LL); 3: MC(4LL); 4: MC(2LL)+4%331E(六个月); 5: MC(2LL)+4%331E+20%IBA(六个月); 6: MC(4LL)+8%331D(一个月); 7: MC(4LL)+8%331E(七个月); 8: MC(4LL)+8%331H(一个月); 9: MC(4LL)+4%331H; 10: MC(3LL)+4%331H; 11: MC(270%)+2%SS-331H(一个月); 12: Column, MC(270%)+4%SS-331H(一个月); 13: MC(4LL)+1.5%SS-332A(四个月)

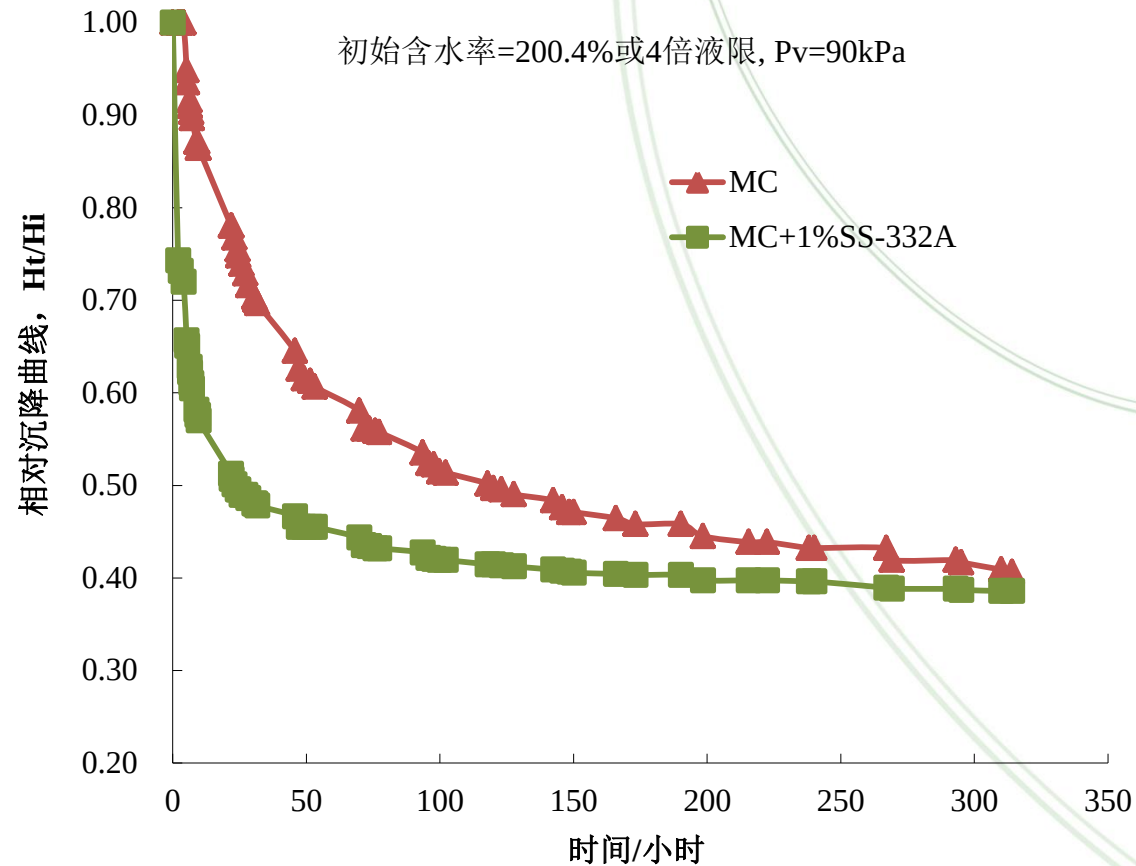
珠江淤泥改性前后的液限变化



化学固化剂的掺入不仅改变了土样的最终含水率，也同时改变了土样的液限和塑限。

实验沉降曲线

- 化学固化剂的掺入可将细小的淤泥颗粒胶结成大颗粒而加快了土样的沉降速度；
- 淤泥大颗粒的形成有利于提高淤泥的排水速度，从而加快土样的固结、缩短真空预压过程的时间；
- 掺有固化剂的淤泥，在真空预压前长时间静置在海水中有利于大颗粒的形成，从而改善了淤泥的强度；
- 化学-物理复合法应用于实际工程可以缩短施工时间、节约成本。



结 论

- 真空预压排水法虽然是目前加固软土和超软土地基的极少数成熟的工程措施之一，但对工程性质较差的纯海底淤泥的加固效果有限。
- 单纯的化学加固法对处理含水率在2倍液限或以下的软土是可行的；用精心配制的化学固化剂产品加固含水率在2倍液限的新加坡淤泥，可以将其抗剪强度在较短时间内从0快速提高到20 kPa(28 天)和40 kPa(120 天)，并有继续上升的趋势。
- 化学-物理复合法为更加有效地加固软土和超软土地基提供了一个全新的思路和可行的发展空间。采用珠江淤泥和新加坡淤泥的室内试验结果表明，使用复合法所取得的无侧限抗压强度或抗剪强度是真空预压排水法的2~3倍；复合法对不同地区的高含水率的淤泥有很好的适用性；改善某些参数或条件，如加大粗颗粒含量或提高固化剂的针对性及掺量可以大大提高复合法所取得的效果。
- 需要对各种不同类型的软土，各种有效及高性价比的化学固化剂以及除真空法外的其他可行的物理力学方法等作进一步的深入持久地研究和探讨，以丰富和加强复合法的适用性，可靠性和高性能效果；同时应进行野外现场大比尺工程施工现场试验以设计出最佳的施工工艺流程，进而进行大规模的实际工程推广及应用。本文提出的复合法是一个实践性的应用方法，其理论部分(如固化机制)需进一步探讨和研究。

致谢 Acknowledgements

本文引用的新加坡方面的部分试验成果是选自新加坡凯科发展研究院承接的新加坡国家环境局资助的环境科研项目，特此感谢新加坡国家环境局允许公开该相关资料。