



geobear



岩土资产管理

结构工程师如何利用地质聚合物注入技术

Liam Bromley 利亚姆·布罗姆利（项目工程师）

Daniel Hadfield 丹尼尔·哈德菲尔德（工程经理）

为Geobear编写

摘要

地质聚合物注入是一种连续作业方式，可以有效地代替传统的支撑和打桩，这是Geobear花费30多年的时间不断地研究、开发、测试、试用之后取得的成果。Geobear的地质聚合物注入有两种作业方法：主动法（提高土壤强度，从而提高承载能力、抵抗长期沉降）和被动法（沉降补偿）。

绪言

地质聚合物的注入可以分成两个阶段：

1. 表面凝固
2. 深层凝固

所谓表面凝固，是将地质聚合物注入地基下方较浅的地层，填充土壤中的空隙，让经过处理的土壤与地基地面再次结合在一起。

深层凝固，是处理深层的土壤以便承受载荷产生的作用力。深层处理的目的，是通过下列方式提高地面的密度：

- 通过填充和夯实/凝固，消除空隙
- 逐出水和空气
- 让土壤形成团块（粒状土壤）

地质聚合物注入之后，会沿着水平方向和垂直方向流动、扩散，让土壤向着阻力最小的方向运动，进入最需要加固的部位。这种效果产生之后，地质聚合物又会沿着垂直方向膨胀，在地基地面形成压力，最后从液体凝固成固体。

注入点通常会形成半径一米左右的影响区（具体半径取决于当时使用的地质聚合物的性能），从而加固周围的土壤。注入点的中心距一般为1.0-1.5米，保证注入作业在整个待处理区产生预期的效果。可以根据载荷、土壤类型和土壤强度之类的参数，调整上述间距。

Geobear是世界领先的化学品制造商，根据项目范围和土壤特点，研制出30多种地质聚合物。每种地质聚合物都有不同的工艺特点，在各种情况下都能发挥优势。

上述特点包括：

乳化时间 – 地质聚合物注入以后从液态转变成固态所需的时间。

胶凝时间 – 地质聚合物粘附于表面，膨胀阶段开始所需的时间。

指触干燥时间 – 地质聚合物的表面粘附停止，膨胀阶段结束所需的时间。

自由发泡密度 – 地质聚合物在没有阻碍的情况下注入之后形成的密度（阻碍程度会直接影响地质聚合物的密度，因此自由发泡密度即相当于密度的最小值）。

按照优特的“连续工作”风格，地面改良注入作业是由装备齐全的流动作业队完成的，作业队始终按照标准项目的要求，配备各种必要的装置和设备。Geobear的技术人员会参照各种因素，用抽提法或者多管法注入地质聚合物。

抽提法

1. 按照规定的处理深度，钻打16-50毫米直径的孔
2. 将一根规定长度的注入管插入孔中
3. 通过注入管加注地质聚合物，测量注入管的流量，同时测量注入管的抽提量。

多管法

1. 按照规定深度，钻打16-50毫米直径的孔
2. 插入长度不等的多根注入管，抵达管内不同深度
3. 规定每根注入管的地质聚合物注入量。

材料

优特生产的地质聚合物由多种成份构成，在制备工序中混合在一起，即会发生聚合反应。地质聚合物在这个过程中由液态转变成固态（膨胀也在这个时候发生）。

Geobear的材料制造商按照EN826的说明实施抗压强度测试，测定了地质聚合物的机械强度（根据该标准的规定，在材料变形10%的时候测定抗压强度）。

通常情况下，由于地质聚合物受到地层的压力，现场配制的地质聚合物通常不会完全膨胀、达到规定的自由发泡密度；这种情况会阻碍地质聚合物的水平扩散。为了尽量减轻这种影响，通常用模具模拟水平扩散阻碍，在这种条件下测试优特地质聚合物的抗压强度。

地质聚合物的抗压强度取决于聚合物形成的密度。因此，应当在聚合物的各种密度下测量抗压强度，得出各种各样的结果，确定是否适合具体用途。

两种优特地质聚合物的抗压强度测试结果如下表所示：

	自由横向膨胀			限制条件下的测量值		
	密度	10%压缩	弹性模量	密度	10%压缩	弹性模量
	kg/m ³	MPa	N/mm ²	kg/m ³	MPa	N/mm ³
优特A	163	2.544	66	164	3.050	66
	229	4.311	97	230	5.004	102
优特B	324	4.383	120	325	5.232	123
	402	8.536	219	402	10.926	217

优特材料制造商编写了论文《Geobear树脂对土壤和地下水的环境影响》，讨论地质聚合物注入的后果，介绍材料制造商针对这个问题完成的各项测试。

该论文在摘要中声称：

“Geobear的产品注入土壤，会对环境、生态条件和周围的地下水产生影响。根据几项环境影响研究的结果，可以得出这样的结论，即Geobear树脂不会影响土壤和地下水，最多只能产生有限的影响。”

水力传导测试是利用Geobear的纯地质聚合物样品，以及注入土壤之后的地质聚合物样品完成的。后一种样品在现场提取，密度约为37公斤/立方米，据信该密度低于现场的地质聚合物密度（现场密度受到很多因素的影响，包括地质聚合物膨胀过程中受到的阻力）。因此，该样品可以作为最坏情况的代表。

测试结果表明，纯地质聚合物的水力传导值介于1.10-9至1.10-8米/秒之间，表明连通孔隙度下降。注射土壤样品的水力传导值约为10-10米/秒。

根据上述结果得出以下结论：地质聚合物的结构中充满了封闭孔，水无法渗透。聚合物注入土壤之后，样品内部出现随意分布的微小缺陷，这就是水力传导测量值过低的原因。测试结论的摘要指出：

“这类树脂的防渗能力很强，不会因为吸水而改变性能。”

多个实验室通过Geobear的网络，与材料制造商共同完成了若干项测试，目的是测定地质聚合物的物理、机械性能。

其中一项测试的目的，是评估密度与膨胀力之间的关系。这项测试采用特别制作的装置，将地质聚合物注入刚性金属筒内部，金属筒还配备了活塞。

注入之后，地质聚合物随即开始垂直膨胀（这是由于容器的刚性，因为膨胀朝总时朝着阻力最小的方向）。

随着地质聚合物的膨胀，活塞被推向上方，运动一两厘米之后受阻于横向相对安装的压力计。横向相对安装的压力计阻碍活塞向上运动，压力计的读数即表示地质聚合物的膨胀力。

根据试验结果，得出下列关系：

$$P = \exp(0.23(Y_{ff} - 0.36)) - 1$$

式中：

P=膨胀力（单位为兆帕）；

Y_{ff} =膨胀地质聚合物的单位体积重量（单位为千牛/立方米）。

还可以根据注入土壤的液态地质聚合物的体积（ V_{fi} ），以及地质聚合物的膨胀体积（ Y_{ff} ），计算出膨胀比。从液态转变到固态、直到膨胀过程完毕，地质聚合物的质量始终保质不变，因此，液体地质聚合物膨胀之后的比重与体积 V_{fi} 和 Y_{ff} 相应。因而可以用下式求出膨胀比：

$$10.5/0.36 + (1/0.23) \ln(1+P)$$

式中10.5表示液态地质聚合物的比重，即10.5千牛/立方米。

验证

Geobear的技术人员按照结构运动标准实施现场检验，确定地质聚合物注入是否可以抵抗后期沉降，是否可以提高土壤强度。在地质聚合物的整个注入过程中，通过旋转激光和固定式传感器监测上覆结构的相关部位，传感器安装在注入点附近。每次注入都以反涌出现宣告结束（<0.5毫米）。反涌表明已经达到规定的夯实/凝固程度，同时也表明接受处理的土壤已经加固到一定程度，足以承受结构的载荷，因为这时候向上的作用力施加在地基底面，形成向上的运动。

通常通过动态圆锥贯入仪（DCP）测试，定量测定地质聚合物注入以后土壤强度的增长情况。可以通过这项测试了解地面的处理结果，了解土壤的承载能力。测试中的土壤以100毫米为一层。对比土壤处理前后的DCP测试结果，即可显示土壤强度的增长幅度。

处理前后的DCP测试都采用同样的设备：即帕加尼DPM30-20贯入仪，坠落重量为30公斤。探杆需要贯入土壤100毫米，记录穿心锤的击打次数，从而测定土壤的强度。

Geobear利用下列转换公式，换算DCP测试数据： $N(300) = N(100) \times 1.25$ 。

Geobear借助动态圆锥贯入仪（DCP），对处理前后的土壤实施标准贯入测试（SPT），对比两组测试值，通过标准的岩土公式和岩土参数换算测试结果。在规定的测试深度得到相同的标准贯入测试值之后，即可在最坏情况下求出剪切强度值（土壤完全粘附，发生剪切失效）。可以通过常用的斯特劳德法，将标准贯入测试值换算成剪切强度。然后再次通过土壤完全粘附的最坏情况，求出这两个参数与可变塑性指数之间的函数关系。这样得出的关系如下：

剪切强度： $C_u = 5.0 \times N(300)$ 。

在换算的最终阶段，Geobear需要求出承载能力 – 依据传统的承载能力原理，得出承载能力为 $6C_u$ 。

然后，Geobear还根据工作目标，采用相应的安全系数。如果地质聚合物注入用于新建的建筑物，采用的安全系数为3。如果地质聚合物注入是用于现有建筑物的翻新，则安全系数为2。

另外，还通过多种测试方法验证地质聚合物注入的结果，包括平板载荷测试、CBR测试和GPR测量（取决于委托方的要求）。

结论

Geobear始终不停地沿着两个方向研制地质聚合物（完善现有的地质聚合物，制造新型的地质聚合物），以及使用/验证方面的最佳方法。

因此，Geobear能够满足委托方的要求，适应工作现场的条件，坚持贯彻Geobear连续工作风格，使得Geobear能够一如既往地展示地质聚合物注入的主要优点，包括：

- 速度
- 完整性
- 效率
- 节省设备
- 减小环境影响
- 不需要挖掘作业。

就结构工程师而言，用地质聚合物注入代替传统方法，效果实为立竿见影。这种先进方法在保持完整性、延长使用寿命方面产生的经济效益，尤为引人注目。地质聚合物注入可以在几天之内加固土壤，提高承载能力，相关人士可以放手追求项目的远期目标。

最近30年来，Geobear一直在探索地质聚合物注入的实用化，并且将地质聚合物应用于200,000多个项目，目前全世界的顾问工程师都愿意使用地质聚合物。

案例研究 – 爱尔兰国家美术馆

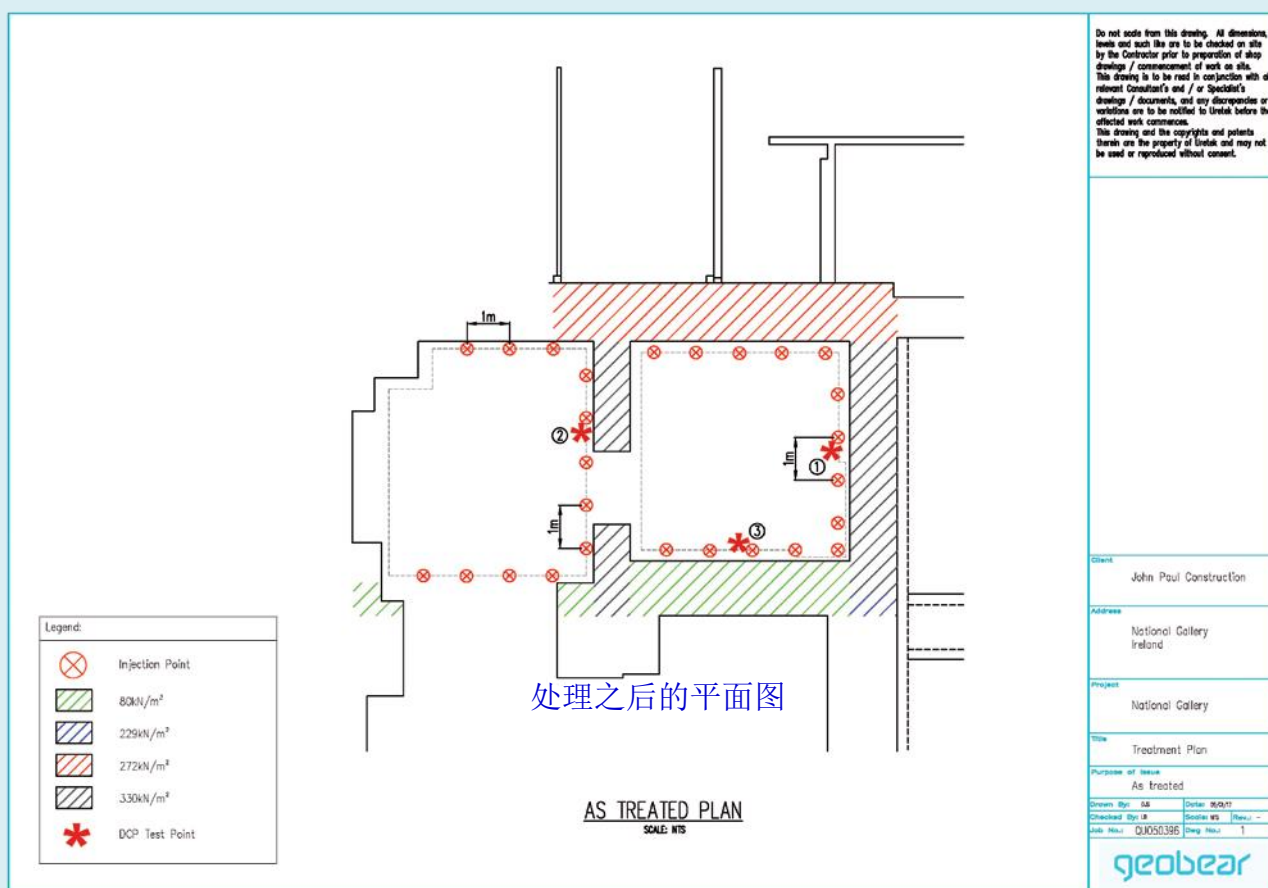
经提议，修改都柏林梅里恩广场达根和米尔顿一侧的布局，翻修爱尔兰国家美术馆。在翻修工作中发现，有28线性米的墙壁（参见图纸），下方土壤强度不足，无法安全传递拟定的载荷。拟定载荷分别为80千牛/平方米、229千牛/平方米、272千牛/平方米和330千牛/平方米。

因此，Geobear应约翰·保罗建筑师事务所之托，改良相关部位的土壤，协助完成拟定的翻修工作。

Geobear根据委托方提供的现场勘测报告，330千牛/平方米的最大载荷，以及相应部位的地基尺寸，确定地质聚合物的最大注入深度为2.5米（从墙壁所在的地面开始计算），以便加固墙壁下方的地面。经测量，该部位的探头测试结果表明土壤的承载能力提高，足以安全地传递相关载荷。

这项工作完成之后，Geobear又实施了动态探头测试，验证作业结果（参见下文/次页）：

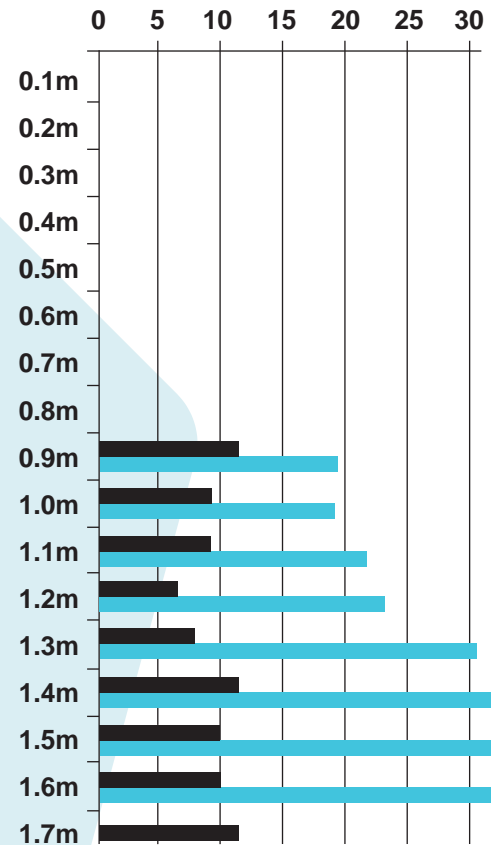
现场图：



现场测试结果

测试地点：爱尔兰国家美术馆。

地面以下的深度	处理之前的击打次数	承载力 kN/m ²	处理之后的击打次数	承载力 kN/m ²
0.1m				
0.2m				
0.3m				
0.4m				
0.5m				
0.6m				
0.7m				
0.8m				
0.9m	11	206.25	19	356.25
1.0m	9	168.75	19	356.25
1.1m	9	168.75	22	412.50
1.2m	7	131.25	23	431.25
1.3m	8	150	31	581.25
1.4m	11	206.25	33	618.75
1.5m	10	187.50	36	675.00
1.6m	10	187.50	40	750.00



geobear

www.geobear.cn 4001000286

上海浦东新区张江高科技园区

碧波路690号2号楼401室