

在大厚度湿陷性黄土场地和大深度填方场地 地基处理新方法探讨

----介绍一个处理自重湿陷性黄土 26m 的工程实例

【摘要】湿陷性黄土是指在一定压力下受水浸湿，土体结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。它的这种特性，会对建筑物带来不同程度的危害，使建筑物大幅度沉降、折裂、倾斜，严重影响其安全和使用。大厚度的填方场地的土体，与湿陷性黄土有类似的特性，就其承载力和湿陷变形而言，这两类土体应该属于同一类。

本文通过对大厚度湿陷性黄土和填方场地地基的湿陷性以及湿陷机理分析以及湿陷性的评价，结合工程实例，提出对大厚度湿陷性黄土和填方场地，对于上部结构要求承载力较高（大于 500kpa）、全部消除湿陷或者剩余湿陷量为零的甲类建（构）筑物的地基处理的方法探讨，以及与之相关的质量检测与控制在设计和施工中的建议。

湿陷机理分析

黄土的湿陷机理：黄土是在干旱和半干旱条件下形成的。在干旱少雨的条件下，由于蒸发量大，水分不断减少，盐类析出，胶体凝结，产生了加固粘聚力，在土湿度不很大的情况下，上覆土层不足以克服土中形成的加固粘聚力，因而形成欠压密状态，一旦受水浸湿，加固粘聚力消失，就产生湿陷。

填方土的湿陷机理：填方土是在人类活动中堆积或经过一定的工程措施形成的。主要的成份大多为粉土、黄土或者夹有少量杂质的粘粒土。在填方形成过程中，大多以自然堆积、分层摊铺、机械夯实等多种方式方法完成。填方土的土体颗粒性状相比较一般自然状态的黄

土、粉土，一般没有层理或者层理不明显，且其均匀性较差、颗粒之间加固粘聚力差异较大、孔隙比差异悬殊，属于欠固结高压缩性土体。在自然状态下，经过一定时间后，土体自重产生的附加应力会对原有的土体颗粒结构产生新的影响，引发土体结构变形和整体的不均匀下沉；特别是该土体经过水浸达到一定含水率时，土体颗粒之间会产生二次或者多次的固结过程，原来的粘聚平衡会被打破进而产生新的平衡，故而就产生湿陷和整体变形。这种沉降和变形表现为随机性和不确定性，

因此应对湿陷性场地的地基有可靠的鉴定和正确的认识，并采取必要的工程措施防止或消除它的湿陷性。

地基处理方法

对于湿陷性土体，一般的地基和基础处理方法，主要是通过工程措施消除或者减少土体的湿陷量，减小孔隙率和提高密实度，增强地基土的承载力和均匀性。

对于湿陷性场地，在消除湿陷性时，首先要通过机械的强力作用，将原来土体颗粒结构中的胶体凝结加固粘聚力的骨架破坏。对于重度湿陷性黄土，一般含水率较低，硬度指数较高，其骨架结构的稳定性很强，如果在采取工程措施时，机械外力不足以破坏该结构或者程度较差，是不足以消除湿陷性的。同样的道理，如果机械外力足以将原来的骨架结构破坏，再对土体增加一定量的填方夯实料进行置换，就可以达到减少土体孔隙比、提高重度和密实度，进而可以消除土体湿陷性的目的。

一般情况，当采用钻孔等取土方法成孔、重锤夯实的 DDC 工法时，由于成孔时采用钻孔等取土方法，是不足以将桩孔四周的土体骨架结构破坏的，因此在填料夯实置换过程中，夯锤的重力对于周边土体的挤扩作用不明显或者效果很差，所以表现为桩周一定范围内土体的湿陷性基本没有消除。

本文介绍的施工方法，就是通过在桩体成孔过程中，经过机械强力夯扩，将土体挤向四周，以达到破坏原来的土体骨架，又能最大程度的缩小被作用土体及其周围的孔隙比（可以将成孔的容积视为被压缩土体的孔隙），然后在填料夯实中，再经过夯锤的重力对于周边土体的挤扩作用，桩周一定范围内土体的湿陷性能得到消除。同时，也可采用素混凝土夯扩桩叠加灰土桩（或素土桩）形成平面组合式复合地基，达到大大提高地基土的承载力的作用。

实 例

1 工程地质概况

该工程为一有色金属加工项目，位于山西省吕梁地区。地基土自上而下分布依次为：第四系全新统人工堆积物（填方土）、第四系上中更新统风成堆积物（黄土）。

第①层 素填土 (Q_4^{2ml})：黄、浅黄色，主要为人工填方夯实土，以粉土为主，砂粒含量较高，手摸有砂感，局部相变粉砂，结构较松散，无明显层理，局部含钙质结核，干，中密，局部稍密，具空隙，具湿陷性。标贯击数 6~13 击。层底埋深 0.6~17.2m。平均厚度 3.5m。

第②层 黄土状粉土 (Q_4^{1eol})：黄褐色、黄、浅黄色，干，稍密，

具大空隙，虫孔发育，含少量钙质菌丝及结核，砂粒含量较高，手摸有砂感，局部变相为粉砂，结构松散，含植物根系，具湿陷性。标贯击数 6~17 击。层底埋深 7.8~19.72m。平均厚度 9.5m。

第③层 湿陷性粉土 (Q_3^{eol})：浅黄色、黄、黄褐色，干，稍密，具大空隙，垂直节理发育，局部含钙质结核，砂粒含量较高，手摸有砂感，结构松散，具湿陷性。标贯击数 11~26 击。层底埋深 16.2~25.0m。平均厚度 8.8m。

第④层 黄土 (Q_3^{eol})：黄、黄褐色，成分为粉土，稍湿，稍密，局部中密，偶具大空隙，垂直节理一般发育，含钙质结核，砂粒含量较高，手摸有砂感，低压力下基本无湿陷，高压下具湿陷性。标贯击数 16~27 击。层底埋深 23.2~31.3m。平均厚度 6.1m。

第⑤层 粉土 (Q_{2+3})：黄褐、黄红、褐红色，稍湿，稍密，中密，含大量钙质结核，粘粒含量相对较高，局部变相为粉质粘土，无湿陷。标贯击数 17~29 击。最大揭露深度 30.5m，最大揭露厚度 10.3m。

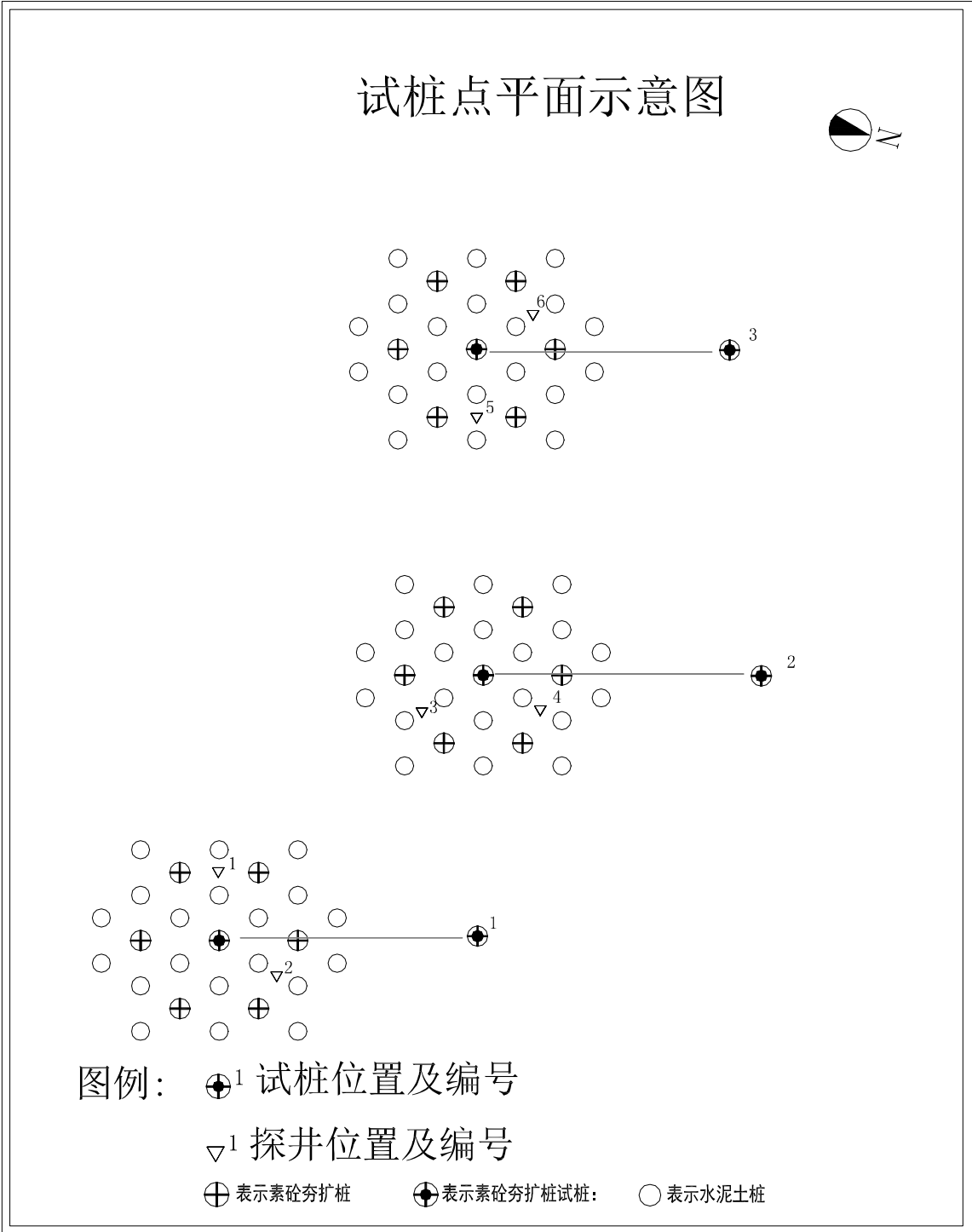
2 地基和基础处理基本技术要求

要求处理后的地基土湿陷性全部消除，桩间土的挤密系数不小于 0.93。处理后的复合地基方案特征值不小于 700kpa。

3 地基和基础处理设计与施工参数

采用素混凝土夯扩桩叠加水泥土桩组合式复合地基方案。素混凝土夯扩桩：桩径 450mm，桩长 15.0m，桩身混凝土强度等级 C35，单桩竖向极限承载力标准值不小于 3000KN，桩间距 1.732m 等边三角形布置；在素混凝土夯扩桩下端施工 11.0m 的水泥土桩；再在每相邻三根

素混凝土夯扩桩的三角形型心布置一根水泥土桩，其桩长 26.0m，沉管挤土成孔直径 400mm，重锤夯实桩身填充料并使其桩体扩大，成桩直径不小于 520mm，桩体填充料为水泥土，水泥土配合比为 1:5。具体布置形式见布桩图一。



4 检测结果

1、单桩竖向抗压承载力载荷试验结果

单桩竖向抗压承载力载荷试验结果汇总表 表 1

序号	桩径 (mm)	桩长 (m)	单桩极限 承载力(kN)	最大沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)
1	450	26	≥ 3000	5.64	3.03
2	450	26	≥ 3000	8.13	5.18
3	450	26	≥ 3000	5.79	1.56

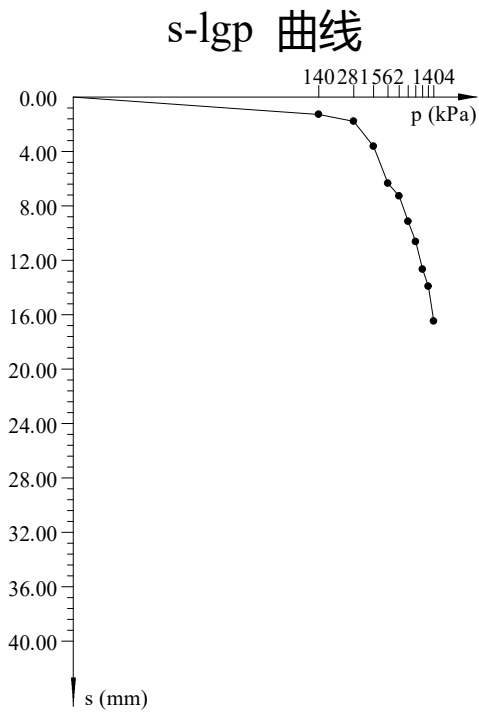
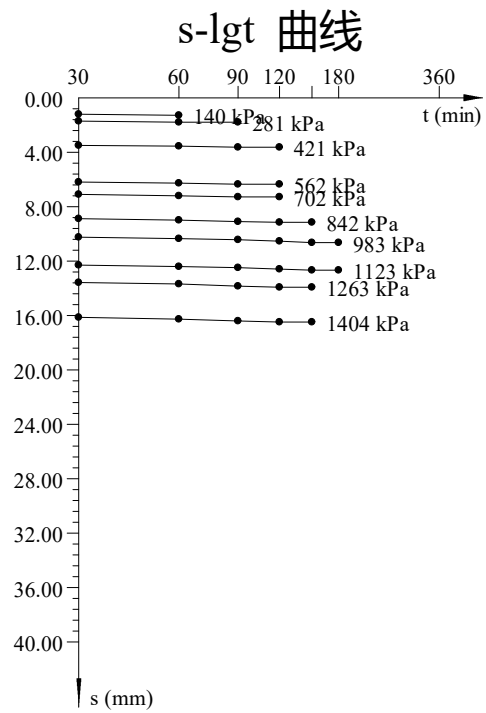
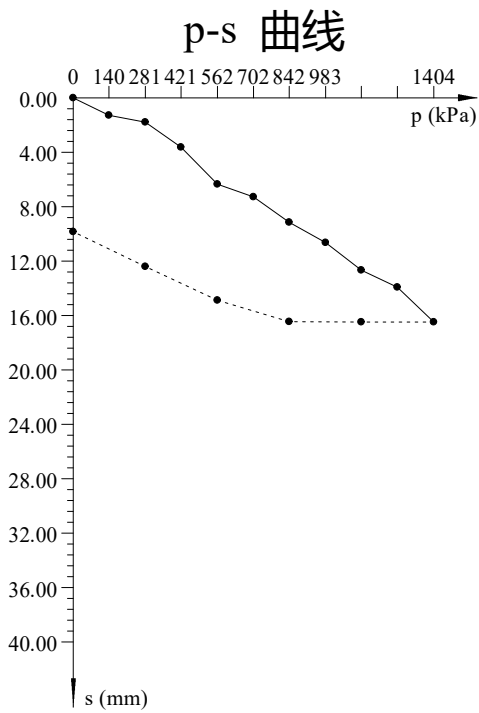
由载荷试验结果可见, 3 根桩的沉降量均较小, Q-s 曲线比较平缓, 无明显陡降段, 3 根桩的单桩竖向抗压承载力极限值均为 3000kN。

2、单桩复合地基承载力载荷试验结果

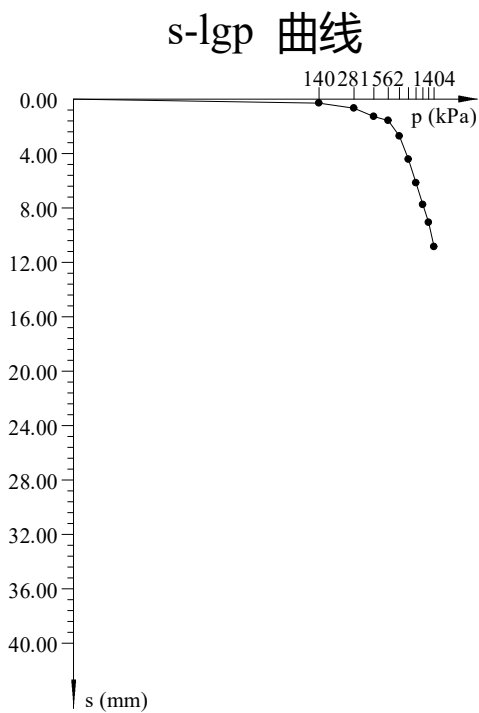
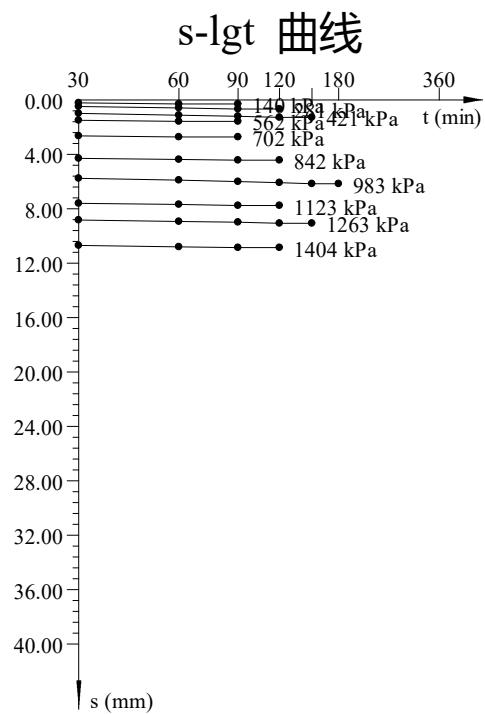
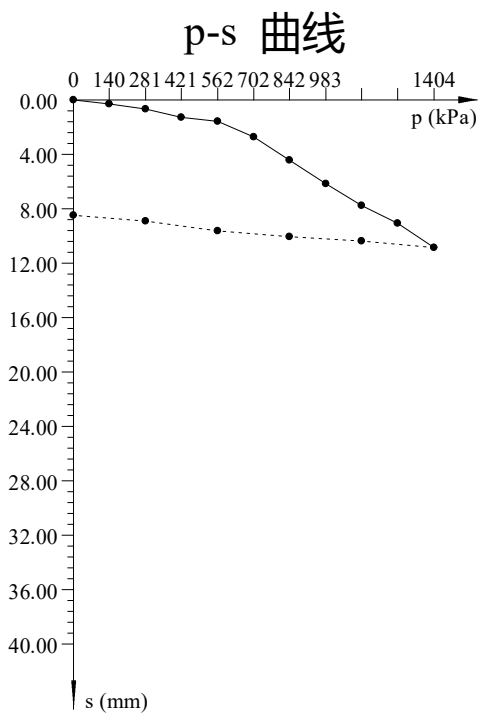
单桩复合地基承载力载荷试验结果汇总表 表 2

序号	桩径 (mm)	桩长 (m)	极限承载力(kPa)	承载力特征值(kPa)	最大沉降量(mm)	残余沉降量(mm)	承载力特征值 对应沉降量(mm)
1	450	26	≥ 1404	702	16.50	9.86	7.30
2	450	26	≥ 1404	702	14.50	6.49	4.77
3	450	26	≥ 1404	702	10.87	8.48	2.73

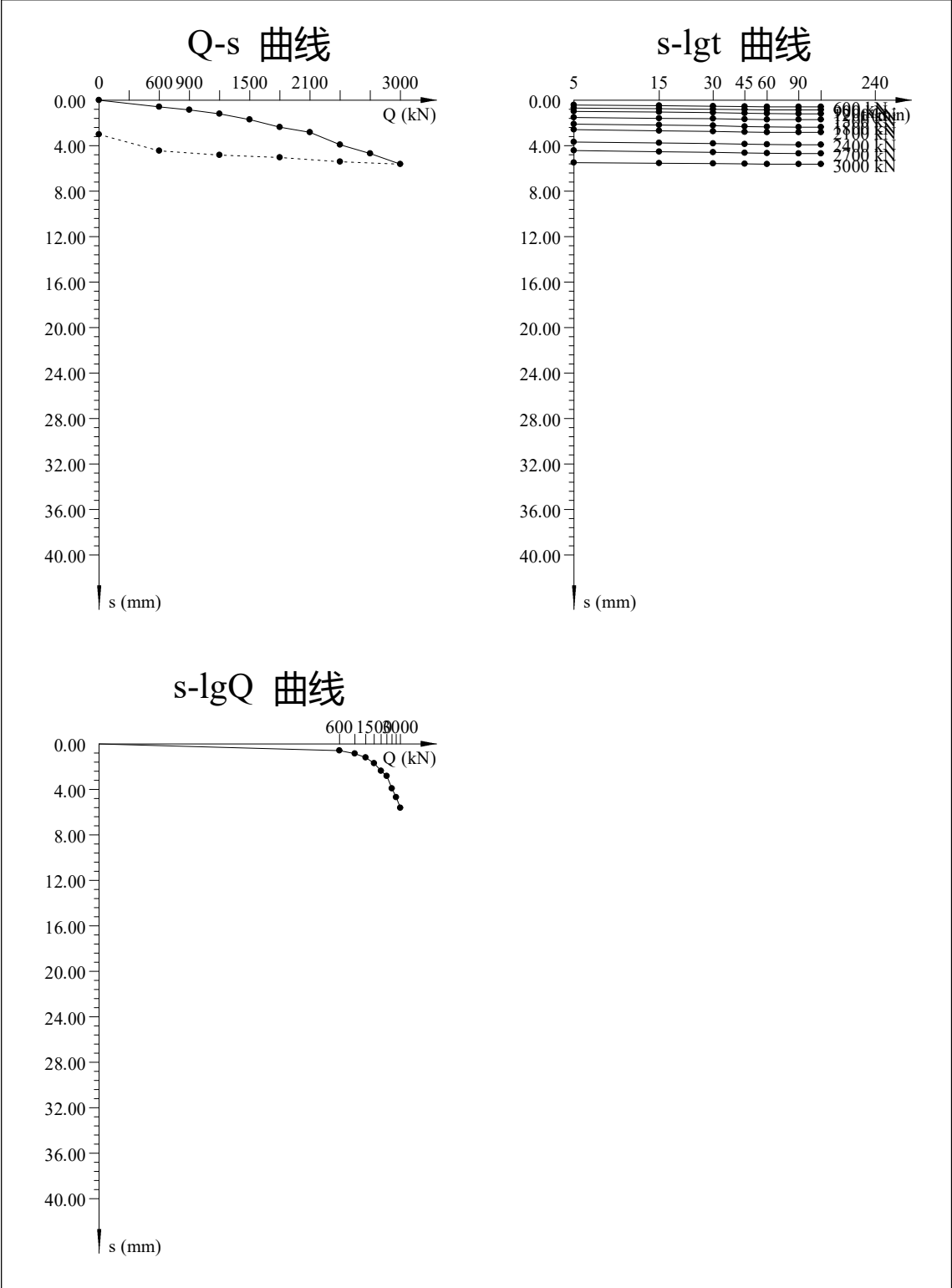
工程名称：××项目一期								试验点号：1#			
测试日期：2012-06-01				置换率：0.061							
荷载(kPa)	0	140	281	421	562	702	842	983	1123	1263	1404
本级沉降	0.00	1.29	0.51	1.85	2.72	0.93	1.86	1.48	2.04	1.26	2.56
累计沉降	0.00	1.29	1.80	3.65	6.37	7.30	9.16	10.64	12.68	13.94	16.50



工程名称: ××氧化铝项目一期							试验点号: 3#				
测试日期: 2012-06-07				置换率: 0.061							
荷载(kPa)	0	140	281	421	562	702	842	983	1123	1263	1404
本级沉降	0.00	0.30	0.37	0.62	0.29	1.15	1.72	1.73	1.60	1.30	1.79
累计沉降	0.00	0.30	0.67	1.29	1.58	2.73	4.45	6.18	7.78	9.08	10.87



工程名称：××化铝项目一期							试验桩号： 1#			
测试日期：2012-06-04			桩长：26m				桩径：450mm			
荷载(kN)	0	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
本级沉降(mm)	0.00	0.61	0.26	0.33	0.52	0.66	0.47	1.07	0.78	0.94
累计沉降(mm)	0.00	0.61	0.87	1.20	1.72	2.38	2.85	3.92	4.70	5.64



由载荷试验结果可见，3 个试验点的沉降量均较小，P-s 曲线比较平缓，无明显陡降段。综合分析，各试验点极限荷载均为 $Q_u \geq 1404 \text{kPa}$ ，单桩复合地基承载力特征值均为 $f_{\text{spk}} = 702 \text{kPa}$ 。

3、桩间土和桩体试样的干密度及其相应的挤密系数和压实系数统计结果

挤密系数、压实系数统计表 表 3

探井编号	桩间土	桩 体
	挤密系数平均值	压实系数平均值
T1	0.96	0.97
T2	0.97	0.95
T3	0.94	0.95
T4	0.96	0.95
T5	0.95	0.98
T6	0.93	0.98
平均值	0.95	0.96

根据统计结果，桩间土探井样挤密系数平均值为 0.95，桩体探井样压实系数平均值为 0.96。

4、检测结论

1、本次低应变检测的 3 根素砼夯扩桩试桩均为 I 类桩，不存在 II、III、IV 类桩。检测桩的波速值在 3852~4199m/s 之间，平均波速为 4081m/s。

2、根据静载荷试验结果综合分析，该场地 3 根素砼夯扩桩试桩的单桩竖向抗压承载力极限值均为 3000kN，达到设计预估值。

3、根据静载荷试验结果综合分析，该场地 3 个单桩复合地基载荷试验点的承载力特征值均为 702kPa，达到设计预估值。

4、桩间土 6 个探井样挤密系数平均值为 0.95，桩体 6 个探井样压实系数平均值为 0.96。

根据室内土工试验结果，所取桩间土试样湿陷系数 δ_s 小于 0.015，综合分析认为，经地基处理后桩间土湿陷性已消除。

结 论

通过上述工程实例，我们认为，在湿陷性黄土场地或者大厚度填方场地，采用以挤土成孔、重锤夯实方式的挤密桩施工方法，较采用钻孔成孔、重锤夯实方式的 DDC 工法效果要显著。另外，在合理桩间距的情况下，通过素土桩（或者灰土桩）与挤土成孔的素混凝土夯扩桩的合理搭配布置，既可以起到消除湿陷的目的，同时还能起到大幅度提高地基土承载力的目的。对于复合地基的变形问题，可以通过素混凝土刚性桩的桩长来调整，达到控制总体变形的目的。目前，按此方案施工的最大处理深度可达 37.0m。