

DDC 施工法在消除地基土湿陷性方面的 探 讨

前 言

随着社会经济的发展,在填土地地和湿陷性场地兴建各类建筑物和构筑物越来越多。对于填土地地和湿陷性场地的土质特性,其主要表现在均匀性差、湿陷性突出、承载力不稳定、变形不易控制等特点。

根据国家和地方地基和基础处理技术规程和规范,在类似场地主要是通过人工处理措施以达到消除基底土湿陷性、提高承载力、减小变形的目的,其代表的地基处理施工方法主要是挤密桩法。

对于挤密桩法,按照《地基和基础处理规范》和《湿陷性黄土地区建筑规范》,以及目前在西北地区被广泛使用的施工技术,其施工工艺主要分为以下两大类:

- 1、取土成孔类:采用重锤(锤重 $\geq 18\text{KN}$)分层填料夯扩,即 DDC 法。取土方式多采用螺旋钻或机械洛阳铲成孔,成孔直径一般为 400mm。
- 2、沉管挤土成孔类:夯实多采用 1)小锤(锤重 $\leq 2\text{KN}$)分层夯实;2)重锤(锤重 $\geq 18\text{KN}$)夯扩。

, DDC 法是孔内深层强夯法(down-hole dynamic compaction)的简称,它是一种深层地基处理方法,该方法先成孔至预定深度,然后自下而上分层填料强夯或边填料边强夯,形成高承载力的密实桩体和强力挤密的桩间土。按照《孔内强夯法技术规程》,其成孔“宜选用钻孔、掏孔方法”。

本文的主要目的在于,通过上述规范和规程,结合部分地基处理工程实例,解剖分析目前采用 DDC 工法在施工中存在的一些问题,并提出自己的一些见解和意见,供广大设计和施工方借鉴。

实例 1

工程和地质概况

某高层应用 DDC 法处理地基的一个实例。该高层建筑为一座 12 层剪力墙结构住宅楼。地下室为 1 层,基础采用筏板式基础。地质情况方面,该建筑场地地

貌单元属渭河北岸二级阶地，场地土自上而下为黄土 1、黄土 2、古土壤、粉质粘土等。场地为自重湿陷黄土场地，湿陷等级为 III 级，湿陷深度至基底下 15 米。场地不考虑液化。该建筑要求场地土的承载力为 240Kpa。

设计要求及施工方案

采用 DDC 法施工方案。设计要求采用螺旋钻成孔，成孔直径 0.4 米，夯实后的桩径不小于 0.55 米。桩体填料为 2:8 灰土，采用满堂布桩，桩长为 15.5m，桩间距为 900mm 等边三角形布置。要求处理后的桩间土挤密系数不小于 0.93，桩体土的压实系数不小于 0.97. 要求处理后地基土的湿陷性必须消除，地基承载力特征值不小于 240kpa。

施工采用长臂螺旋钻成孔，钻具直径为 400mm，钻进深度为 16.0m。灰土采用机械拌合，小推土机装运；每次的填料量控制在 0.1m^3 之内，填料高度不大于 1.0m；夯实采用重锤（锤重 $\geq 18\text{KN}$ ），落距不小于 7m，分层夯击数不少于 7 击。

检测结果（湿陷性未消除，特别是桩间三角形形心的湿陷性与原始土基本一致，未受到挤密）

1、单桩复合地基静载荷试验结果：

序号	检测编号	地基承载力特征值（kpa）
1	P1	255
2	P2	245
3	P3	250

2、桩间土湿陷性评价：

1) P1 在探井采取的 13 件桩间土样中，有 10 件土样的湿陷性未消除，湿陷系数介于 $0.028\sim 0.035$ ，湿陷性未消除土样占总试样的 76.9%；

2) P2 在探井采取的 18 件桩间土样中，有 14 件土样的湿陷性未消除，湿陷系数介于 $0.025\sim 0.031$ ，湿陷性未消除土样占总试样的 77.8%；

3) P3 在探井采取的 14 件桩间土样，有 9 件土样的湿陷性未消除，湿陷系数介于 $0.025\sim 0.030$ ，湿陷性未消除土样占总试样的 64.3%。

3、桩间土挤密系数评价结果：

序号	检测编号	桩间土挤密系数
1	P1	0.84
2	P2	0.82
3	P3	0.85

根据上述结果，探井的桩间土平均挤密系数未能达到设计要求的 0.93 的挤密系数。

4、桩身土的压实系数：

通过对 3 个探井所采取的 150 件桩身 2:8 灰土试样进行室内土工试验，桩身灰土试样其平均压实系数范围值介于 0.98~0.99 之间，平均值为 0.98，满足设计要求的不少于 0.97 的压实系数。

5、检测结果分析：

在所有的 45 份湿陷性检测土样中，对于湿陷性消除的与否的规律基本是：对于靠近桩体的土样，湿陷性消除效果较好；随着采集土样深度的加大，其靠近桩体土样的湿陷性消除效果更好。对于相邻三根桩的桩间的三角形形心的土样，其物理参数几乎和原始土一致，其物理参数没有什么根本性的变化。未满足设计要求。

实例 2

工程概况

西安某供水工程，根据《地质勘察报告》情况，该工程所在场地属于渭河盆地东南的黄土塬地貌，场地微地貌单元属于白鹿塬西北隅三级台塬，场地土自上而下为耕土、黄土与古黄土交替层形成。场地黄土湿陷深度一般达 16.0m，个别地段介于 18.6~24.6m。场地黄土绝大部分为 II 级（中等）自重湿陷性黄土，III 级和 IV 级呈零星分布。在勘察深度 35.0m 内未见地下水，可不考虑地下水对本工程的影响。

试验方案

由于湿陷深度深，上部荷载大且各构筑物均为供水设施，消除湿陷并提高承载力是地基处理的主要目的。由于场地较为特殊，所以在试桩中采用了三种方案，要求灰土挤密桩成孔直径 400mm，成桩直径不小于 550mm，正三角形满堂布桩：

1) 编号 P1~P4，桩长 18.0m，其中 P1、P2 桩间距 1000mm，P3、P4 桩间距 900mm。长臂螺旋钻取土成孔，成孔后回填 2:8 灰土并重锤（1.8T）夯扩成桩；

2) 编号 P5~P6，桩长 14.0m，其中 P5 桩间距 900mm，P6 桩间距 1000mm。柴油锤沉管夯扩成孔，成孔后回填 2:8 灰土并重锤（1.8T）夯扩成桩；。

试桩检测结果

1、单桩复合地基静载荷试验结果：

序号	检测编号	地基承载力特征值 (kpa)	序号	检测编号	地基承载力特征值 (kpa)
1	P1	155	4	P4	155
2	P2	155	5	P5	155
3	P3	155	6	P6	155

2、桩间土湿陷性评价：

1) P1、P2（桩间距 1000mm，长臂螺旋钻取土成孔），在探井采取的 36 件桩间土样中，有 20 件土样的湿陷性未消除，湿陷系数介于 0.018~0.033，湿陷性未消除土样占总试样的 38.9%；

2) P3、P4（桩间距 900mm，长臂螺旋钻取土成孔），在探井采取的 36 件桩间土样中，有 16 件土样的湿陷性未消除，湿陷系数介于 0.018~0.031，湿陷性未消除土样占总试样的 36.1%；

3) P5（桩间距 900mm，柴油爆发锤沉管夯扩成孔），在探井采取的 14 件桩间土样所有湿陷系数均小于 0.015；

4) P6（桩间距 1000mm，柴油爆发锤沉管夯扩成孔），在探井采取的 14 件桩间土样，湿陷系数均小于 0.015。

3、桩间土挤密系数评价结果：

序号	检测编号	桩间土挤密系数	序号	检测编号	桩间土挤密系数
1	P1	0.89	4	P4	0.90
2	P2	0.85	5	P5	0.96
3	P3	0.88	6	P6	0.95

根据上述结果，除 P5、P6 外，其余探井的桩间土平均挤密系数未能达到设计要求的 0.93 的挤密系数。

4、桩身土的压实系数：

通过对 6 个探井所采取的 300 件桩身 2:8 灰土试样进行室内土工试验，桩身灰土试样其平均压实系数范围值介于 0.97~0.98 之间，平均值为 0.98，满足设计要求的 0.97 的压实系数。

通过上述的实例分析，可见采用 DDC 工法和柴油爆发锤沉管成孔后、再进行重锤二次夯扩挤密这一种施工方法，本文暂简称其为“沉管二次夯扩挤密桩法”，在同样的桩间距和处理深度时，其单桩复合地基承载力和桩身土的压实系数是相同的，其差别就在于桩间土的挤密系数和湿陷性消除程度差异较大，不能满足设计要求。

“DDC 工法”与“沉管二次夯扩挤密桩”施工法对于消除湿陷性方面的差异成因分析

“沉管二次夯扩挤密桩法”与 DDC 桩法的核心差异在于成孔方式的差异。

根据上述工程实例，不论采用何种施工方法，在确定合理的桩间距和处理深度也是至关重要的。为了便于分析二者的施工效果的差异及其造成该成因的根本原因，本文仅对在相同的桩间距和处理深度等其他参数这一前提下，仅对成孔方式不同而产生的施工效果的差异进行剖析。

受力分析

1、DDC 工法，采用长臂螺旋钻取土成孔，其成孔时仅对所实施的桩孔土体进行破坏和提取，极限状态下可以不考虑其机具对于桩周土的扰动和挤密效果，一般来讲，其钻孔的提取土的体积，与其成孔的容积是相等的。该方法可称为“一次挤密”法。

2、沉管二次夯扩挤密桩法，是通过柴油锤作为动力，经过其施加在钢管上的冲击力，对实施土体首先是造成竖向的破坏，在经过不断送入钢管进入土体，

再对土体进行水平径向破坏，在土体中形成一定直径的土孔，进而达到成孔的目的。一般来讲，其所成孔的土孔容积，即为该土孔周边的土体孔隙减小容积之和。该方法可称为“二次挤密”法。

3、采用一定重量（1.8T）的夯锤夯实桩身土体，由于受到目前施工机具的限制，一般的夯锤底部的锤尖距离施工面的高差约在 3.0 米左右，该重锤靠自由落体在土孔中分层夯实回填的土料（一般一次回填量不大于 0.1m），在一定的孔深和夯击数（一般为不少于 8 击）情况下，夯锤对桩身土体的夯击能量随着回填的高度升高而逐步降低，即在底部夯击能量为最大，在桩顶部为最小。该变化应该呈二次曲线，因此，桩身土和密实度和夯实时对桩周土的夯扩效果也呈二次曲线变化。

填料量分析

1、采用长臂螺旋钻取土成孔 400mm，钻孔提取土的单位长度的体积约为 0.12m^3 ，经过重锤夯实后，其平均的桩体直径按 550mm 计算，单位长度的桩体填料量约为 0.23m^3 。如果不考虑原来取出土体本身的孔隙减少量，那么，单位长度桩体增加填料量约为 0.11m^3 。

2、采用“沉管二次挤密桩法”成孔 400mm，该成孔即将原来的土体夯扩至桩孔四周，挤土成孔后单位长度的体积约为 0.12m^3 ，经过重锤夯实后，其平均的桩体直径按 500mm 计算，单位长度的桩体填料量约为 0.20m^3 。如果不考虑原来取出土体本身的孔隙减少量，那么，单位长度桩体增加填料量即为单位长度的桩身土体量，约为 0.20m^3 。

湿陷性场地湿陷性机理分析

一般的，湿陷性主要表现在湿陷性黄土场地和填方场地，造成湿陷性的机理一般是：一是土体颗粒之间的基本组合构架和骨架性状造成的；二是，土体中的可溶性成分含量超过一定水平后形成的；三是，土体形成的成因和形成年代的远近，造成本身的固结程度差异较大形成的。影响黄土湿陷性的产生因素很多，可分为黄土的空隙性、黄土的密度、形成年代、形成过程、粘粒含量、所受压力、含水性和压缩性等。黄土的骨架以胶结形成薄膜状为主，这种胶结强度低，容易破坏，因而湿陷性强。而黄土中的粘粒含量高时黄土骨架结构多以镶嵌式为主，这种胶结强度高不易破坏，因而湿陷性越弱。回填土场地的湿陷性，与此有同样

的机理。

所以，在消除地基土的湿陷性施工方法中，强夯法和挤密法的原理就是预先破坏黄土的不稳定结构，使其产生预先沉降，从而预防黄土地基的突发沉降。或者采用其他方法加强黄土的骨架结构强度，从而降低或者防止湿陷变形。

DDC 工法与“沉管二次夯扩挤密桩法”在处理湿陷性方面差异分析

1、对于作用土体结构的破坏作用差异较大：DDC 采用钻孔、掏孔等取土方式的“一次挤密”法较“二次挤密桩法”，其在成孔过程中机具对于作用土体颗粒结构和网架结构的水平径向破坏作用较差。

2、对于作用土体及其桩周一定范围内土体的挤密效果差异较大：DDC 采用钻孔、掏孔等取土方式，然后再进行重锤夯实，其对于桩周土的挤密作用较“二次挤密桩法”在成孔过程以及填料分层夯实过程中对桩周土体两次强力作用而产生的水平径向挤密作用较差。

3、由于上述两方面的主要原因，造成 DDC 法比较“二次挤密桩法”在单位长度的桩体中，填料量差异较为明显，使得对于土体的挤密效果和空隙减小差异明显，进而对于消除湿陷性差异较大。

结 语

DDC 桩做为一种比较新的地基处理方法，近年在地基处理工程应用较多，但也应该认识到现阶段 DDC 法施工方法中的混乱和认识模糊问题较为普遍。对于不同的地基土应该采用不同的施工方法和技术参数是必须的。但是，对于湿陷性黄土，特别是自重湿陷性黄土和填土场地，必须树立“挤土成孔，重锤夯实”的理念，严禁采用钻孔、挖孔等取土类成孔，避免设计和施工风险对于工程质量造成的叠加隐患。