

陕西省土木建筑协会推荐

湿陷性黄土地基处理技术的应用与推广

地基处理在湿陷性黄土地区应用

摘要: 通过对湿陷性黄土地区一高层建筑的地基处理实例, 探讨在湿陷深度较大的情况下, 使用 DDC 法处理地基的可行性和经济性。期望能为安全经济的处理湿陷性黄土地基总结经验。...

DDC 法地基处理在湿陷性黄土地区应用一例

路伟华

(陕西天宇建筑设计有限公司)

前 言

随着社会经济的发展, 现在高层建筑已经越来越多, 而在湿陷性黄土地区建造高层就往往会面临着湿陷性黄土与承载力不足的双重难题, 面对处理湿陷深度大的地基, 就有一种 DDC 法的经济可行的处理方案。

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变填料边强夯, 形成高承载力的密实桩体和强力挤密的桩间土。

工程概况

陕西省兴平市枫叶苑某高层是本人应用 DDC 法处理地基的一个实例, 该建筑为一座 16 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, 场地土自上而下为填土、黑垆土、黄土 1、黄土 2、古土壤、粉质粘土、中砂、粉质粘土等。基础持力层为黄土 1, 承载力特征值 140Kpa, 场地为非自重湿陷黄土场地, 湿陷等级为 II 级, 湿陷深度至自然地面下 10.5 米。场地不考虑液化。而该建筑要求场地土的承载力为 350Kpa。

方案比较

由于湿陷深度深, 上部荷载大, 用传统的 3:7 灰土换垫层法不能达到预期目的。我们设计了 3 种方案进行比较: 第一方案是采用素土挤密桩消除场地土湿陷性后用 CFG 素混凝土桩提高承载力。第二方案是采用 DDC 桩复合地基进行处理, 同时消除场地土的湿陷性和提高承载力。第三方案是用钢筋混凝土灌注桩。

以上三种方案中, 第一种方案理论清楚, 技术成熟, 在当地应用范围最广。但是存在二次打桩的原因, 所以工期长, 造价高。第二种方案 DDC 法, 虽然已有成文的理论规范, 但是因为该规程为 2006 年才正式推出, 应用时间短, 各方面经验积累还不多, 而且前期也有过一些不成功的例子, 所以应用较少。但是从造价和施工工期方面比第一种方案要节约很多。第三种方案钢筋混凝土灌注桩法, 因为该工程砂层较深, 要形成有效的灌注桩, 桩长要 32

米以上，显然是建设方难以接受的。而且这种方法也并不能消除上层黄土的湿陷性，一旦黄土层发生湿陷，产生负摩阻，将会降低灌注桩的承载力。

经过初步比较，我们着重对前两种方案进行比较。第一种方案，采用挤密桩消除黄土湿陷性，再采用 CFG 桩提高承载力，施工工艺成熟，理论明确，施工过程主要为：进行试桩——检测试桩是否合格——合格后施工素土挤密桩——检测湿陷性是否消除——合格后施工 CFG 桩，并铺设砂石褥垫层——检测 CFG 复合地基是否达到要求——合格后进行上部结构施工。每次检测时间大约是 28 天左右。显然三次检测过程把整个施工的工程拖的较长，并且素土挤密桩只能消除湿陷性，对提高承载力没有贡献，而 CFG 桩只能提高承载力，不能消除湿陷性。打两遍桩显然是有点浪费。第二种方案 DDC 法，DDC 法利用重锤对桩孔内的灰土进行强夯，挤密灰土的同时扩大了桩径，使桩间土受到挤压。同时消除了湿陷性和提高了地基承载力。施工过程主要为：进行试桩——检测试桩是否合格——合格后进行 DDC 工程桩施工——检测是否消除湿陷性和达到承载力要求——合格后进行上部施工。显然这种方法比第一种方案节省工期多的多。从计算结果来看，要达到工程要求，用第一种方案需要素土挤密桩 2086 根，桩径 0.4 米，桩长 6 米，桩间距 0.8 米等边三角形布置；需要 CFG 桩 365 根，桩径 0.4 米，桩长 12 米，桩间距 1.6 米等边三角形布置。用第二种方案需要 DDC 桩 1224 根，成孔桩径 0.5 米，夯后桩径 0.6 米，桩长 7.2 米，桩间距 1.0 米等边三角形布置。第一种方案大概需要素土为： $(0.4 \times 0.4) \times 3.14 \times 0.25 \times 6 \times 2086 = 1572.0$ （立方米）；需要混凝土 $(0.4 \times 0.4) \times 3.14 \times 0.25 \times 12 \times 365 = 550.1$ （立方米）。第二种方案需要 3:7 灰土： $(0.6 \times 0.6) \times 3.14 \times 0.25 \times 7.2 \times 1224 = 2490.5$ （立方米），其中素土为 $2490.5 \times 0.7 = 1743.3$ （立方米），石灰为 $2490.5 \times 0.3 = 747.2$ （立方米）。比较下来两种方案素土用量差距不大，但是第二种方案的石灰造价比第一种方案的混凝土造价肯定是要低不少。综上所述，该建筑地基处理方案选择 DDC 法。

具体实施

确定了方案后，经过进一步计算与施工图设计，工地开始进行试桩，但是出乎我们意料的是第一次试桩发现三处试桩点中有两处不合格，主要是湿陷性未消除，还有一个检测点承载力也较低。

根据施工方描述，他们认为桩尖土的土层含水量比较大是不合格的主要原因。我们也开始对此方案的合理性有点担心，于是我们决定到现场进行一次深入的调查。结果在现场实际调查中发现，地基施工队并没有严格按设计要求施工，设计要求采用冲击成孔，成孔直径 0.5 米，夯后直径 0.6 米。但是施工队由于没有 0.5 米直径的标准重锤，采用的直径 0.4 米的标准重锤，在锤头部分焊接了一个 0.5 米的套管，并增加配重。经过深入的讨论研究，我们认为问题正是由于这个小锤代替大锤。当改装的“大锤”在强夯孔内灰土时，由于本身锤重不够，不能够夯实密实，达不到压实系数不小于 0.97，桩间土平均挤密系数不应小于 0.93 的要求；另一方面，由于该重锤上部直径还是原来的 0.4 米，不能密实和坑壁接触，在强大的振动夯实的过程中，桩孔上部的土被振的散落入孔内，使上部桩间土反而比原状土松散。结合现场情况，我们研究决定改变设计方案，改用 0.4 米的成孔，夯后孔径为 0.5 米，桩间距 0.8 米，其它条件不变。这样就使设计的桩体能与施工设备向配套，更好的发挥设备的作用。

另外我们就桩底土层含水量较大的问题提出处理方案，挖除含水量大的土，必要时桩头填干砖渣。经过试桩这次调整后的方案满足设计要求。

在施工过程中，要求对每根桩的施工情况做好记录，遇到问题桩及时采取方案处理。整个工程桩施工完毕后，三组检测结果皆满足设计要求。

截至发稿时间，该建筑主体已经经过三次沉降观测，该建筑累计沉降量非常小，满足设计要求。

结 语

DDC 桩做为一种比较新的地基处理方法，在对有湿陷性的黄土地区有着广泛的应用前景，它不仅能有效消除黄土的湿陷性，而且能同时大幅提高地基的承载能力，在桩体和桩间土以及砂石褥垫层的共同作用下，地基承载力大大高于灰土垫层的承载力，可达到 500Kpa，可适用于基底压力大，地基湿陷深度深的建筑，比如高层和一些高耸建筑、多层等。这种地基处理方法不但有着优越的技术性能还有着明显的经济优势。

同时，我们也应该认识到先阶段 DDC 法的不足，DDC 法对施工工艺和施工质量要求较高，一定要严格按照规范要求施工，同时，DDC 法对场地土的含水量要求也较高，含水量大直接影响了 DDC 法的最终处理效果。在有些场地经 DDC 法处理后的实际承载力与理论计算值会有比较大的差异，所以一定要做好试桩工作，根据试桩结果对设计进行相应的调整。DDC 法在湿陷性黄土地区有着安全、经济的优势，相信该地基处理法一定能在将来得到广泛的应用。

依据标准及参考文献：

《孔内深层强夯法技术规程》 CECS 197:2006 北京 中国计划出版社

《建筑地基处理技术规范》 JGJ79-2002 北京 中国建筑工业出版社

《湿陷性黄土地区建筑规范》 GB50025-2004 北京 中国建筑工业出版社

素土挤密桩在法门寺合什舍利塔裙楼地基中的应用

摘要：素土挤密桩作为一种地基处理方法，消除地基土的湿陷性，在陕西关中地区建设工程中被广泛使用。本文以法门寺合什舍利塔裙楼素土挤密工程施工为例，围绕素土挤密桩法处理地基施工中的整个过程，叙述了素土挤密桩施工中放线定位、成孔、成桩等质量控制，经试检测桩间土的挤密系数，湿陷系数，桩体压实系数等指标均满足设计试验要求...

1、工程概况：

1.1、拟建法门寺合什舍利塔工程场地位于陕西省扶风县法门镇北约 400m 处，西靠法门—黄堆公路，它由三部分组成。

(1) . 舍利塔主体 54×54m（长×宽），高度 127m，基底压力 600KPa。

(2) . 舍利塔裙楼 180×180m (长×宽) , 高度 24m, 7000KN / 桩。

(3) . 广场 432×432m, 是继唐朝至今 1000 多年来, 世界上最宏伟壮观的佛教圣地, 也是我省重点建设项目之一 .

1.2、法门寺合什舍利塔裙楼高 24m, 框剪结构, 基础采用静压桩, 根据勘察报告场地地基土层自重Ⅲ级湿陷(严重), 为消除地基土的湿陷性, 采用沉管法成孔夯实采用偏心夹杆夯实机, 地基处理设计, 桩径 400 mm, 桩长 13.00m, 桩距 900 mm, 正三角形布桩, 处理面积 43075 m², 总桩数 49740 根, 孔内填土约 69528m³夯实要求, 桩孔压实系数($\lambda_c \geq 0.95$)桩间土压实系数($\lambda_c \geq 0.93$)。

1.3、场地地质条件

拟建场地地貌单元层渭河的黄土塬地层, 场地分为八层, 划分如下:

(1)耕土层 (2)黄土状土 (3)黑垆土 (4)黄土 (5)古土壤 (6)黄土 (7)古土壤 (8)黄土。场地湿陷性土层分布的深度为 11.2m—16.5m 之间, 最大可达 17.0m, 场地自重湿陷性土层分布的深度为 6.5—17.0m, (2—3)层湿陷系数多在 0.03—0.07 之间,) (4—8)层湿陷系数多在 0.015—0.03 之间。场地地下水类型为潜水, 水位埋深 16.00—19.20m, 场地为自重湿陷性黄土场地, 地基湿陷等级为Ⅲ级(严重)。

2、地基处理主要方法的确定

2.1、桩距确定(桩间距, 排距)

(1)根据设计要求，场地经素土挤密桩处理后，桩身压实系数不小于 0.95，桩间土平均挤密系数不小于 0.93，消除桩长范围内桩间土的湿陷性，为此我们在现场布置了 3 组试验桩为设计提供依据，试验桩直径为 $\Phi 400$ mm，桩间距 1000 mm，排距 866 mm；间距 900 mm，排距 779 mm；间距 800 mm，排距 693 mm。

试桩设计参数见表 1：

表 1 试桩设计参数

编号	有效桩长 (m)	桩直径	间距 (mm)	排距 (mm)	布孔形式	桩孔填料
1	13.0	400	1000	866	正三角形	素土
2	13.0	400	900	779	正三角形	素土
3	13.0	400	800	693	正三角形	素土

(2)、试桩完成后，对 3 组试桩做了检测，在设计要求的前提下，根据试验结果及全面地综合比较在满足设计要求，同时考虑到造价合理，节约资源，最后采用桩间距 900 mm，排距 779 mm，桩直径为 $\Phi 400$ mm 的设计方案。

3、 施工方法

施工现场采用覆带式柴油打桩机 (3.5t) 成孔；电动卷扬机夯实回填土料施工。工艺流程；桩位放线—桩点校验—沉管成孔—孔底夯实—填土夯实—成桩。素土挤密桩处理地基的成败，关键在于施工过程中的质量控制，每一个质量控制

点都要严加管理，不能掉以轻心，必须坚持每道工序，每个管控制点都要合格，才可完成下道工序，否则就潜伏着质量危机，必须按照试桩施工时的要求严格控制。

4、施工过程中的质量控制要求

4.1、定位放线

用全站仪，按建设方提供的建筑红线及坐标成果资料进行建筑测量定位，然后采用经纬仪测量各列各行的位置，用钢尺测量各点，然后用直径为16的钢钎打深200mm插孔，将孔中灌入白灰定位桩点。每条轴线桩两侧各引一个测量控制点，用砣固定，作为复测定点及校核的基准。每隔九排在桩外区域用木桩做排距的定位点，标明具体排号，便于施工中查寻。点位定位完成后，由监理工程师测量复核定位，合格后签认。

4.2、成孔

为了确保成孔夯管垂直，避免发生斜孔现象，要把施工场地整平，相对高差不得大于20cm，便施工机械尽量保持水平，施工采用的黄土宜接近最优含水率，当含水量低于12%时，宜加水增湿到接近最优含水量17%时，场地堆用的黄土要用彩条布覆盖，防止爆晒时水分蒸发，使土干燥；下雨时雨水渗入，含水量增大，成孔采用隔两行间隔打法（如图1所示）三遍成活，防止漏桩，减少塌孔缩孔现象。要求上一遍成孔时间与下一遍成孔时间间隔不少于5天，使应力消散，并确保成孔的质量与挤密效果，每成孔一排（约100

—150 个) 自检后报监理验收签认, 开始回填成桩。

图 1: 隔两行间隔打法示意图。

4.3、成桩

素土挤密桩主要材料为优质黄土, 由于用量大, 必须选用同一地点稳定土源作为回填土, 对于选定的土源要进行土工试验, 确定最大密度为 $1.81\text{g}/\text{cm}^3$, 最佳含水量为 16.8%, 用于检测回填土的含水率及压实系数。保证回填土的密实, 回填土经过过筛, 保证了土粒粒径不大于 20 mm, 并将工程用土中杂草, 树根, 钙质结核除掉, 保证回填土质量。桩孔内回填前, 孔底必须夯实, 夯击不少于 6 次, 施工人员操作时, 要求每掀 2—3 锤, 保证压实密度每 3—4 付夯锤必须有一名专业技术人员进行旁站监督, 发现操作不规范时必须随时纠正。严格按照要求抽取回填土样, 随时检查从而保证回填土质量。施工现场专业技术人员做好旁站记录。如实填写成孔, 回填记录, 从而确保施工现场记录的真实性和准确性。

5、施工过程中易出现的问题及处理措施

由于施工场地面积大, 地质结构复杂, 有冲沟墓穴造成成孔时出现孔斜, 缩孔等情况, 根据施工中出现的不同情况分别对待。

施工中发现有一条冲沟, 成孔时出现塌孔现象, 在圈定于冲沟范围后, 采用机械分层碾压后, 进行素土挤密桩施工。

由于场地硬度的不均匀性, 个别孔位出现孔斜超过规范 1.5% 的现象, 采用回填夯实后, 再支平柴油打桩机, , 重新成孔夯填保证了成孔质量。

我们在法门寺裙楼素土挤密桩施工中，投入十台柴油打桩机，分段实施。每台打桩机划分一个区域，在每个区域将要完成的连接处，由于前期打的桩应力未释放，出现缩孔情况。如果上部 5 米左右缩孔，采用洛阳铲人工掏孔，把缩颈部分消除后夯填，如整个孔特别是下部缩颈，采用电动洛阳铲清孔，再回填夯实，保证了成桩质量。

6 成果检验

6.1 素土挤密桩平均压实系数平均不小于 0.97，满足设计要求

6.2 桩间土平均挤密系数均不小于 0.93 满足设计要求

6.3 桩间土湿陷性已全部消除。

7. 结束语

素土挤密桩对于消除黄土的湿陷性提高地基的承载力，施工费用低易操作等特点，已被广泛采用，笔者于 2007 年 5 月份在佛教圣地法门寺合什舍利裙楼挤密桩工程施工，成功处理了地基基础 1.5 万 m²。

依据标准及参考文献

1. 国家标准《地湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2004
2. 国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021-2001
3. 国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007-2002

黄土地基中夯扩桩的造桩工艺和承载力

摘要：本文扼要地介绍了在黄土地基中利用简便的轻小型机具制作夯扩桩的工艺、填料的组成和力学强度、桩的形状、几何尺寸及承载力。这种工艺适合室内外作业，可用于黄土地区和既有建筑物黄土地基事故处理。这种桩体积小、用工量小，承载能力高、造价便宜...

黄土地基中夯扩桩的造桩工艺和承载力

西安市建筑工程机械施工公司 张振东

前言

对于中厚层湿陷性黄土场地上的建筑物因地基浸水发生湿陷事故时，其处理措施甚难抉择，现有的方法中，化学加固法行之有效，工艺简单，机具轻便，但需要使用较多的化学材料工程单价较高，只能在比较重要的建筑上使用；井桩和爆破桩，造价虽不高、工艺也不复杂，但施工欠安全；其他方法，如打入预制桩和振动沉管灌注桩因施工机械高大而无法使用，旋喷法效果也好，但须特殊的配套机具，不宜推广。

近十多年，我们在湿陷性黄土场上进行了夯扩桩的造桩工艺和承载能力的试验，获得成功，取得了丰富的工程经验。以下简单介绍。

一、本工艺所使用的主要机具为：一台轻便升降机（5kw），一个掏土器（ $\phi 150$ ）和一个冲击锤（ $\phi 240$ ，重 250kg），如图 1 所示

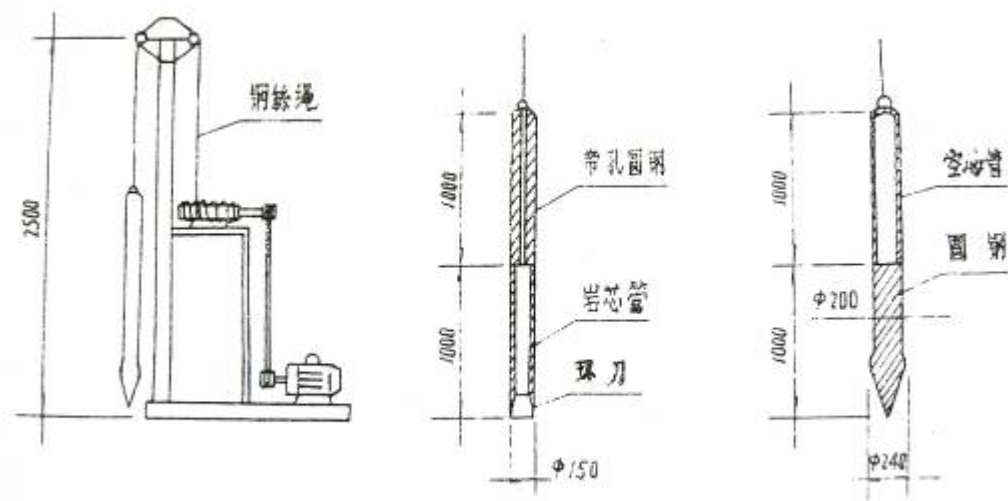


图 1 施工机具

工艺流程为：打导向孔→冲击扩孔→检查桩孔垂直度→硬化扩大端底部→（侵水）→填筑特殊混凝土制作扩大端→制作桩身。见图 2

1、打导向孔：在预定的孔位上用升降机，a)打导向孔；b)扩孔；c)检查桩孔垂直度；d)制作扩大端；e)制作桩身，连续反复地提升降落掏土器（b）。掏土器借重力下降，因具有一定的动能因此能切入土层，同时重力能保证掏土器本身也具有一定的导向作用，能防止掏土器飘摆造成孔径不均或孔身歪斜。掏土器卸土可采用两种方法，如土层呈可塑至硬塑状态时，宜使用人工锤击法，如土层为软塑状态时，则使用气压法最为省力和快速。导向孔的深度要大于桩身设计深度 0.5m，每小时可成孔 5~7 m，孔径一般为 17~19cm。

2、冲击扩孔：导向孔打好之后，即掏土器换成冲击锤（c），用升降机将冲锤反复提升降落，以冲击孔壁将导向孔扩大。再扩孔过

程中由于夯扩挤密作用致使 4~5m 出导向孔被堵塞，扩孔速度减慢，为提高效率可用掏土器再次掏土，以打通堵塞部分。然后继续扩孔，直至设计深度以下 0.5m，扩孔速度 4~6m/小时，扩成之桩孔直径 26~29cm。

3、检查桩孔垂直度：桩孔垂直度及桩身垂直度，桩孔垂直度的检测方法是这样的；一直径为 4~6cm 的钢球和一直径 1cm 长 15~20cm 的钢棒，分别以细尼龙线 1、2 系之，钢球落于孔底并保持接触，钢棒悬空，在使细尼龙线 1、2 靠拢并平行，则线 1 偏离孔口中心⊙的距离及为偏心距。垂直度 $\rho = e/H \times 100\%$ （H 为桩长），不得超过 1%。实验中桩孔的垂直度均为 2.2% 左右。如垂直度不符合要求，则应使用顺孔器顺直桩孔。

4、硬化扩大端底部：为获得比较理想的扩大端，在夯扩填料（超硬性混凝土）制作扩大头时，应使混凝土能以向四外扩散为主，因此，需要在扩大端得下不做一个结实的“垫子”用后盾，以防混凝土向下扩散，即扩孔到设计标高之后，在向下扩 500mm，然后填筑 500mm 孔深普通混凝土，其凝固之后形成短柱。此短柱桩借与周围土层的摩擦力和底部地基反力，阻止了混凝土向下扩展。

5、侵水：如桩端土层含水量过低，已在制作扩大端之前，以少量水侵湿此处土层，使之达到软塑状态，从而有利扩大端的形成，水量应根据土层原始含水量、挤密影响范围进行估算。

6、夯扩填料制作扩大端：制作扩大端必须使用家有缓凝剂的超干硬性混凝土，这是扩大端能否做成的关键。这种混凝土在强度的其他方面无特殊要求，砂石比和骨灰比同普通混凝土，但要求这种混凝土在冲击锤反复夯击时不发生稀浆降上冒的情况，而且能较好地四周扩散，因此，水灰比必须较普通混凝土（0.55~0.70）小得多，经过多次试验确定为0.3~0.4，视骨料粗细而定。实验中使用525#水泥、中沙，1~3cm的石，各种材料的配合比按200#混凝土的强度进行计算。试件的标准抗压强度为23~30.4MPa。

扩大端的制作，系分层填塞混凝土，用 $\phi 240$ 冲击锤反复夯击，将所填之混凝土及周围土层向四周扩散，直到设计的端形状所要求的混凝土填塞量为止，扩大端的形状是通过控制相应于各层混凝土填量筑成的扩大端高度来实现的。

7、制作桩身：制作桩身采用200#普通混凝土，分层填塞混凝土（约120kg），用 $\phi 240$ 冲击锤行市捣固，直至设计标高，桩身直径一般40cm。

二、桩体形状和承载力：开挖后实测桩体直径35~47cm，扩大端直径33~95cm，高度110~140cm，圆台体素线坡度为4.5:1（符合规范规定坡度4.0:1~5.0的要求），扩大端表面平滑，无明显鼓包和凹坑。如图3所示

三、结论

本工艺使用超干硬性混凝土和普通混凝土能在黄土地基中筑成扩大端直径 0.9m 高 1.2m 桩身直径 0.4m 的夯扩桩，桩身平滑，垂直度符合要求，单桩桩端允许承载力特征值能达到 300KN 左右（不计摩擦力）。使用机具简单轻便，适于室内外施工，能完成桩长 15m 左右夯扩桩的制作，可用于黄土地区新建工程和既有建筑物黄土湿陷事故的处理，这种桩具有桩体小、用工量小、承载能力高、造价较低的优点。