关于夯扩挤密法应用的讨论

刘明振
(西安建筑科技大学土木工程学院,西安)

提　要　本文对夯扩挤密桩加固黄土地基中存在的一些问题进行了分析。笔者认为，研究工作进行得太少，相应法规制定工作跟不上去是产生这些问题的根本原因。

一　前　言

夯扩挤密法又称孔内深层强夯挤密法(DDC 法)或碴土桩法。自 1991 年在黄土地区应用以来，得到了很大的发展。其施工过程是：先在欲加固的土层中成孔，然后向孔中分层填料夯实。夯锤重 15~30kN，落高 2.0~3.0m。夯击过程中填料挤向四周，达到挤密桩间土，构成复合地基的目的。成孔方法分夯击法和钻孔法。前者挤密效果好，但效率低，在高含水量土层中不易采用，后者速度快，多采用之。本文主要对后者进行讨论。这种方法是在沉管挤密法的基础上发展起来的，主要优点在于：(1)它把挤密桩法的使用范围进一步扩大，使之扩展到含水量高的土层。(2)夯击能量大、桩径大、桩体密实度高、桩间土挤密效果好。(3)施工噪音小、污染少。(4)用料广泛。除了可以使用沉管法所使用的填料外，还可以使用砖碴、砼碎块等无机建筑垃圾。(5)在高含水量或饱和土中使用砖碴等作为填料时，桩体不仅可以吸收土中的水分，而且兼作超孔隙水压力消散的通道，使高饱和度土的挤密成为可能。由于上述原因，它在黄土地区被广泛采用着。但也应该看到，由于该方法出现的时间短，缺乏系统的研究，还没有制定出一套指导设计、施工和质量检测的法规，实际工程中暴露出不少问题。

二　存在的问题

1. 桩体填料

该方法有“碴土桩”，甚至“杂土桩”法之称。加上一些不切实际的宣传，似乎各种垃圾都可作为桩体填料。就填料而言，主要存在以下几个问题：

(1)未对填料中有机质含量作出限制。

(2)一些含有污染物或放射性物质的材料，如有毒物质含量较高的工业废料、放射性较强的粉煤灰等，也被作为填料使用。

(3)对其中的细粒料成分和含量未作任何规定。当细粒料的含量足够大时，粗颗粒被细粒料所分隔，桩体强度和刚度主要由细粒料的性质所决定。尤其在高含水量的地层中，

某些细粒料如粘性土，吸水软化，影响桩体的承载力和变形模量。同时堵塞粗粒料间的孔隙，影响桩间土的排水效果。

为验证细粒料的影响，笔者进行了这样一组对比试验。在相同的条件下施工一组(共七根)试桩，其中一根含有较多的墙体拆除砂浆，其余的以砖碴为主。被加固土层的含水量 ω=18.6%~28.4%，在成桩一周后对桩体进行动力触探，测得超重型动力触探的平均击数(每 10cm)N_{120}分别为:拆除砂浆含量高的为 4.9，砖碴为主的为 7.3，在地层含水量高于 25%的桩段，前者 N_{120}=2.9，后者为 5.7。

(4)对填料粒径的大小、级配未作规定。

(5)几乎没有对填料的长期稳定性进行过任何研究。

2. 关于设计标准

当前对于这种地基处理方法的设计工作基本上是照搬文献[1]关于沉管挤密法的规定进行的。但这两种方法存在着很大的差异：

(1)沉管法在沉管过程中将桩管位置处的土挤向四周，沉管直径多为 350~450mm 之间。夯扩法的钻孔直径多为 400mm，土是在距桩中心 200mm 的位置开始向外挤出的。两种方法在桩距、布桩形式和桩间土平均挤密系数等条件都相同的情况下，桩间土因挤出的距离不同，最小挤密系数 η_{cmin} 不相等。从理论上讲，后者偏大。而 η_{cmin} 正是控制处理效果的关键[1]。因此寻求到这种加固方法处理的桩间土的平均挤密系数 η_c 与最小挤密系数 η_{cmin} 间的关系是十分必要的。

(2)桩体填料为素土或灰土等粘性材料时，控制桩体质量的主要指标之一是压实系数 λ_c。由于这种方法的夯击能量大，如果最大干密度仍按文献[2]中的轻型击实方法测定，只要施工是在正常情况下进行的，λ_c 一般都大于 1.0。所以仍按文献[1]控制 λ_c=0.93 或 0.95，不仅降低了要求，使这种处理方法的优势得不到发挥，而且可能给工程留下隐患。国内外的研究成果都表明，素土在低于最优含水量情况下压实后，即使达到上述压实系数，在一定压力下浸水时，仍有一定的湿陷性[3]。因此，用什么方法确定 ρ_{dmax} 和最优含水量 ω_{opt}，设计中是不是应该对压实时的含水量也提出要求，是值得探讨的另一个问题。

(3)关于设计桩径：设计桩径的大小是由处理前地基土的状况、处理后要达到的目标以及布桩情况确定的。而施工所能达到的桩径除了与地基土的条件有关外，还与施工参数(锤重、落距、夯击次数、填料情况等)有关，不像沉管法那样固定，因此施工前的试桩工作是必要的，设计应根据试桩结果进行修改。

(4)对桩间土的挤密要求：按文献[1]要求，甲、乙类建筑桩间土的平均挤密系数 η_c 不宜小于 0.93，对于其它建筑不宜小于 0.90。查文献[4]可知，该标准是针对沉管法施工、等边三角形布桩和桩径为 350~450mm，其中以 400mm 最多的情况设定的，同时考虑了“桩体质量不是那么稳定可靠”的事实，而夯扩挤密法所成的桩，桩体压实系数高、质量可靠、桩径大，桩在复合地基中所占的比例(类似置换率)高。在相同的基底压力和桩距下，桩间土所分担的荷载要比沉管法的小得多。因此，有没有必要对桩间土提出同样高的要求，也是值得商榷的。

3. 关于复合地基质量的检测标准

由于设计无标准可依，处理结果的评价也就无章可循，照搬相关规范关于沉管法的规定，存在不少问题。

(1)关于桩体质量的评价

对于填料为粘性材料的桩体，如灰土和素土，可取原状样测定其压实系数；有时也可测其无侧限抗压强度，还有人用轻便动力触探来判定桩体质量。如前所述，最大干密度和最优含水量的确定方法还有待讨论。桩体土的含水量也应该作为检测的一项内容，以避免在低于最优含水量下压实素土的湿陷性。使用轻便动力触探进行检测时，需建立起不同的令期、不同配比灰土干密度与 N_{10} 间的关系，以及 N_{10} 与素土湿陷性的关系。当填料为砂、石等粗粒料时，常用的检测方法是圆锥动力触探。根据填料和密实情况，可选用重型或超重型。但判定桩体密实度、承载力和变形模量的标准是借用砂石地层中的研究结果，这就引出了一些问题：其一，砂石地层是一个相对较大的范围，引用到小面积的桩体是否合理；其二是天然砂石地层的工程性状不仅与密实度有关，还与矿物成分和形成环境等有关，很多标准都带有一定的区域性经验，各地区经验之间常存在一些矛盾。从西安地区使用的情况来看，认为贯入 10cm 的修正后的重型动力触探击数 $N_{63.5}\geqslant 7$ 时，桩体是密实的。这一判定标准的来历可能是对振冲碎石桩提出的[5]。对夯扩桩，特别在填料不是砂石时是否适用，并没有进行过认真研究。关于超重型动力触探的判定标准，常借用文献[6][7][8]中关于砂、卵石或卵石土层上的研究结果，其中矛盾之处甚多，现举下述两个实例：

①桩体密实度的判定：文献[5]认为，当 $N_{63.5}\geqslant 7$ 时，桩体是密实的；文献[7]规定 $N_{12}\geqslant 4$ 时,砂、卵石是密实的。用这两个标准对同一根桩进行判定，其结果是不一致的。文献[8]给出的换算公式为：$N_{63.5}=3N_{120}-0.5$，用此式计算，$N_{63.5}=7$ 相当于 $N_{120}=2.5$，而不是 4；若通过动贯入阻力比相等来换算，则使用荷兰公式时，$N_{63.5}=7$ 相当于 $N_{120}=1.9\text{-}2.2$，使用苏联公式时相当于 2.4，都与 4 相差较多。

②关于侧壁摩擦修正：文献[6]规定，当触探杆长大于 1.0m 时，应进行杆长和侧壁摩擦修正，折减幅度较大。例如，当杆长为 6.0m 时，若实测击数为 6，对应的综合修正系数 $\alpha \cdot F_n=0.56$，修正后的击数 $N_{120}=3.4$；文献[7]及岩土工程勘察规范根本未提摩擦修正问题。文献[8]认为，在 12~15m 深度内可不考虑摩擦修正。因此当杆长和击数如上所述时，按上述三个文献修正后的击数分别为 3.4、5.3 和 4.5，按各自对应表格查得的承载力分别为 270、398 和 350kPa，相距甚远。

(2)关于桩间土的评价

桩间土挤密系数合理值的确定以及最小挤密系数与平均值之间的关系都没有得到真正的解决，这已在前面谈到，不再赘述。实际工程中还有用静力触探进行评价的，这种检测方法要解决的问题其一是:因桩间土的密实度随离开桩的距离而异，因此触探点选在什么位置是合适的，至今未见有关研究成果。其二是：触探值不仅与土的密实度，而且与粘性土的含水量、结构性等有关，触探值为多少时，桩间土的湿陷性消失，达到设计要求值，并没有可供借用的研究成果。

(3)关于加固后复合地基的评价

通常认为，原位载荷试验是评价承载力最可靠的方法，同时还可以根据试验结果反算其变形模量，是一举两得的。但由于试验压板的形状和大小无法与实际基础相同，使得它的结果在有些情况下并不理想[9]，尤其在地基土不均匀的情况下。就此问题，笔者将另文进行讨论。这里仅就湿陷性黄土地基加固后的评价谈几点看法。在天然状态下，湿陷性黄土的含水量一般较低，土体具有较高的结构强度，甚至在未进行处理的情况下也能达到工

程要求的承载力和压缩性，处理的目的在于解决浸水湿陷的问题，所以复合地基载荷试验应该在浸水条件下进行。然而由于浸水试验费用高、周期长，绝大多数工程不能这样做。因此研究一种在不浸水条件下进行试验，确定复合地基在浸水条件下的承载力和压缩性的简便检测方法，是这种地层上各类复合地基检测中面临的共同问题。

三　结束语

本文讨论了夯扩挤密法在处理黄土地基中存在的一些问题。作者认为，就这种方法本身而言，在一定的条件下是具备一定优势的。出现某些问题的原因是由于研究工作和法规制定跟不上去，建议加速这些方面的工作，使设计、施工和检测工作走上有章可循的轨道。

参考文献

[1] 《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90)，北京，中国计划出版社，1991。

[2] 《土工试验方法标准》(GBJ123-88)，北京，中国计划出版社，1991。

[3] Hsai Yang Fang, Foundation Engineering Handbook second edition, New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

[4] 《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90) 条文说明，北京，中国计划出版社，1990。

[5] 《地基处理手册》编写委员会：《地基处理手册》，北京，中国建筑工业出版社，1988。

[6] 《工程地质手册》编写委员会：《工程地质》(第三版)，北京，中国建筑工业出版社，1992。

[7] 成都市建筑设计研究院等：《成都地区建筑地基基础设计规范》(征求意见稿)，1999。

[8] 张喜发：《岩土工程勘察与评价》，长春，吉林科学技术出版社，1995。

[9] 李广信：《关于垫层上的载荷试验》，见《地基处理》第10卷第3期(总36)，1999。