

# 钻孔夯扩挤密复合桩地基\*

黄志仑 檀中文

(中航勘察设计研究院 北京 100086)

## 1 地基处理新概念

通常把地基处理理解为软弱土地基或特殊土地基的处理,以提高其承载力、稳定能力以及消除其特殊性质对建筑物地基的不良影响。现在看来,这样理解偏于狭隘。从当前的地基处理技术来看,不但软弱土及特殊土需要处理,就是一般的“中硬土”和“硬土”也需要处理。例如,高层建筑的地基,土层虽属“中硬土”,但其承载力仍不足,就需要设法处理,使其承载力提高。又如“硬土”上的带裙房的高层建筑,如不留沉降缝,则可对地基进行处理降低其压缩性,减少差异沉降,而不必一律采用桩基。

另一方面,通常总是把地基处理理解为使地基土由“坏”变“好”。实际上,地基处理有时也用于把土由“好”变“坏”。例如,为了减少与高层建筑相连的地下车库与塔楼之间的差异沉降,可以设法增高地下车库的地基土的压缩性。

基于以上所述,地基处理一词应当赋予新的概念和新的定义。

## 2 柱状体(目前均简称桩)处理地基新概念

前已述及,过去一般把地基处理理解为对软弱地基土或特殊土进行处理,处理的方法很多,其中很重要的一种就是用不同的方法在不良土中形成柱状体,对于同一幢建筑物,一般总是采用一种方法,形成同一直径或深度,用同一种材料的柱状体(以后简称桩体),而且在成桩过程中,对软弱桩间土的力学性质改善不大,甚至有的还对桩间土造成了严重的扰动。从当前用桩体处理地基的技术来看完全应当用新的概念来代替。

(1) 由于地基处理对不同深度有不同的目的和要求,因此,桩体的材料,同一根桩上下部不一定相同。例如,在廊坊处理一幢试验楼的地基要求是提高上部土层的承载力,消除下部土层的液化性。在地基处理时,在桩的下部为处理土的液化性,使骨料能掺入或挤入桩间土层,采用了散粒粗骨料。在上部软弱土层的桩体则分情况对待,对独立基础,因上部土层软弱,  $C_u$  值低,故以加强上部桩体的自身强度来提高基础下复合地基的承载力,桩体上部采用了有一定胶结的材料形成的半刚性材料。但在轮廓基础以外的桩,其下部为消除土的液化性,同样采用散粒粗骨料,上部则采用灰土夯填。对整个桩体都采用钻孔夯扩挤密桩法施工。

(2) 由于建筑物地基各部分的要求不一,桩的间距、桩的直径、夯填材料、挤压程度都不一定相同。例如在良乡的建工大厦工程中,其主楼为13层,基础是深度为5m的筏基。紧靠其左侧,即为6层的框架结构建筑物,基础深度为2m,主楼前为2层的裙房,框架结构,基础深度2m,主楼与裙房的基础间由于主楼开挖肥槽面将裙房的部分地基土挖去,后以灰土回填,因质量不好填后再用挤密桩法处理,地下水位在3m左右,这个工程的地基处理本来就十分复杂,再加以有的在雨季前施工(地下水降水较易),大部分拖到雨季时施工(1994年),地下水位上升接近地表,对这个工程由于建筑物各部位有

\* 桩地基——凡用各种桩形体处理的复合地基均称为桩地基,桩地基与桩基础为两个不闹的概念。

不同要求（其中包括主楼基坑开挖的支护、基础型式不同，基础要求的承载力不同，基础底面深度的不同以及地基土的含水量不同等），地基处理工作是十分复杂的。因此，对不同平面部位的不同要求采用了不同材料（包括桩的上、下部）、不同桩径（包括桩的上、下部）和不同桩间距等复合桩地基。

因此，复合桩的新的概念就是对同一建筑物的不同部位桩的材料、桩的间距、桩的直径、桩的挤密程度以及同一根桩的各部分用材不同，甚至同一个基础下也不一定都是一种桩型等等，这些因素都是在复合地基设计时的可变参量。

（3）桩体的刚度可以弱于桩间土的刚度，这是又一新的概念。其实这一概念在地基处理中已是广为人知的，例如在石灰岩分布地区，在石牙分布的地基上建筑时，采取的措施之一就是凿去部分石牙，填之以不同厚度不同密度的褥垫来均衡地基的不均匀沉降。但是，对于桩地基来说，把桩的刚度作得差于桩间土的刚度，以形成压缩性高的复合地基，这不能说不是一个新的概念。在实践中，尤其是塔楼与裙房、塔楼与楼房联结的地下库等等，常遇到为了解决差异沉降问题，而采用昂贵费时的桩基础（这里的桩指的是一般所说的钢筋混凝土桩或钢桩等）。如能用此法，则可达到多快好省的目的，经济效益是十分显著的。

（4）对同一根桩，由于上下部的处理目的和要求不同，或由于土质的不均匀以及由于桩材的不同，因而桩体的直径从上到下可能是各种不规则形状或呈上大下小或呈上下大以及呈串珠状等等。有时桩中材料掺入或挤入钻孔侧的土中，完全将地基中的“土”挤掉，以桩材取而代之。例如北京高杨树的一幢6层住宅楼地基处理，就部分出现了上述“取而代之”的情况。高杨树6层住宅楼为盒子结构，经勘察了解，地基4m多深度内为近期填“土”，其成分十分复

杂，除了拆房的大块砖体、大块钢筋混凝土楼板外，还有其它建筑垃圾及生活垃圾。原拟用大开挖法满堂开挖深5m的基坑。但因有上述大块砖墙柱及钢筋混凝土楼板感到十分困难，加之在5m深度内将遇到地下水，更使开挖工作复杂化。为此，采用钻孔夯扩挤密桩法处理地基。在施工过程中，在地基的部分地带发现夹有厚度达1~2m含大量腐烂白菜帮子的生活垃圾，这种垃圾处于基础下不深处，必须处理掉。用向钻孔内大量填夯桩料的方法，将该垃圾从旁边钻孔挤出或挤向基础外一定的范围。处理结果，令人满意，至今该建筑已投入使用近2年，地基处理费用从设计到施工完毕，仅13万元，较大开挖法（包括深基础费用）将近省去了一半。

（5）钻孔夯扩挤密复合桩成孔方法，要求最好用长螺旋成孔，主要是考虑了以下方面：

a.长螺旋钻成孔的速度快、噪声振动小，可在城市内施工而不扰民。

b.长螺旋钻成孔的挤密或影响范围大，挤密的范围大。如以300mm桩径的沉管桩与300mm直径的钻孔（成桩直径为500mm相比），前者桩面积为 $0.07\text{m}^2$ ，后者为 $0.19\text{m}^2$ ，为前者的2.8倍。前者的排土量（侧面挤密）为 $0.07\text{m}^3/\text{m}$ ，后者为 $0.12\text{m}^3/\text{m}$ ，后者较前者多挤出 $0.05\text{m}^3/\text{m}$ 。

c.在硬土层中，用螺旋钻成孔可以作成不同的直径，只需要不同直径的螺旋钻头。对同一根桩可以作到下小上大。这是螺旋钻成孔的优越性。如在处理硬土地基时，土层本身的密度已很大，如用排土法成孔，则势必造成施工困难。如用沉管法成孔，不但沉管困难且拔管也困难，甚至拔不出来。在硬土中（或在孔隙水不易消散的软土中）打桩，常引起地面隆起，以及遇硬层（如标贯值超过25~30击的砂土）打不下去的情况。如采用螺旋钻成孔制钻孔夯扩挤密复合桩，桩

的作用主要在于提高地基的复合刚度和地基承载力,此时可用高强度材料大直径钻孔成桩,而夯击时采用不同形状的锤,不使土过分向侧挤密。

### 3 钻孔夯扩挤密复合桩法

前已述及的钻孔夯扩挤密复合桩法,是实现上述新概念地基处理的一种较为理想的方法,兹介绍如下:

#### 3.1 方法特征

(1) 该法是先钻孔,再向孔内填料,以重锤(必要时也可用轻锤)冲击夯砸,使填料自身加密并向孔周侧向挤压,形成密实度大的桩体及桩间土。其挤密作用是从孔底“由下而上”完成的。

(2) 加固深度大,其深度主要取决于成孔的深度。一般用长螺旋钻成孔(有些情况下也可采用其它方法成孔,例如沉管法等)。

(3) 采用长螺旋钻孔速度快,当采用不同口径的钻头时,孔径可以变化,而形成直径不同的桩,在成孔时不发生挤密作用,故不排土。

(4) 长螺旋钻孔容易通过土中的硬夹层,当遇到漂砾或其它硬层时,可在钻孔中下入他种钻头(如冲击钻头)设法通过。

(5) 用料广泛,且对材料要求不严。根据地基处理的目的和要求可采用散粒材料(碎石、卵石、砖块、砂、工业废料、房碴土),柔性材料(粘性土、粉土、灰土、水泥土等),半刚性材料(上述材料掺胶凝材料,形成单轴抗压强度可达5000kPa的材料)以及刚性材料(单轴抗压强度达5000kPa以上的材料)。

(6) 桩体呈不等径串珠状,在定值的夯击作用下,桩体直径随原土层密实度的变化而变化。如果在桩体的不同深度部位采用不同的夯击能量,也可使桩体直径产生变化。因此,桩体在竖向呈串珠状。在处理某些软弱土或易稀释的土时,还可将桩料挤入或掺入钻孔侧的土中,改变这些土的组成和

性质。

#### 3.2 施工过程

##### 3.2.1 成孔

一般采用长螺旋钻成孔,对成孔的质量要求不高,如有部分土坍塌,也可在夯填过程中予以弥补。有地下水时,应予以先降低地下水位。降低地下水不但有利于施工的顺利进行,而且由于有效应力的增加,有利于土的固结。

##### 3.2.2 成桩

成孔后向孔中填料夯实。一般情况下,根据土层的侧向挤密要求,以及所用材料性质,在试成桩时确定夯实能量,试验的原则是,在该能量的作用下,夯锤不能上升,则认为没有达到要求。成桩的材料及其配比,桩长、桩径均由设计确定。

#### 3.3 设计

##### 3.3.1 桩的排列

桩的排列视需处理地基的面积、要求的桩地基的力学性质以及各种材料桩的配合情况和处理目的由设计确定,一般有等边三角形、矩形(或方形)排列。

##### 3.3.2 处理范围

处理范围根据处理目的要求、建筑物的重要等级、土质情况等因素确定,一般遵循下列原则:

(1) 当以提高土的承载力或减小土的压缩性为主要目的时,对软土的处理范围宜大于基底的范围,这主要是防止基础外侧土的侧向变形。当地质条件较好时,桩亦可仅布置于基础底面范围内,这样便能最大限度地利用桩的高强度和低压缩性,因土质较好,亦不致引起基础外侧土的侧向变形。

如果地基处理的目的是以增高土的压缩性,这时的桩体的压缩性比天然土要高,为了避免基础外侧土对变形的不利影响,故桩的布置范围一般应大于基础底面。

(2) 当以处理湿陷性为主要目的时,桩的布置范围宜大于基础底面范围,这一点

宜遵守陕西省标准《灰土桩和土桩挤密地基设计施工规程》。

(3) 当以消除土的液化性为主要目的时,应在处理范围轮廓外布置护桩1~2排。

因为基础范围以外的桩的作用不同于基础底面以内的桩的作用,因此,处理范围外(或基础底面以外)的桩数,桩长以及材料都应根据实际情况确定,不要求与处理范围以内的一致。

### 3.3.3 处理深度

钻孔夯扩挤密复合桩的处理深度,根据处理的目的及要求确定,一般情况下遵循下列原则:

(1) 当以提高地基承载力为主要目的时,应将已处理的部分作为地基的上覆层,未处理部分作为地基的下卧层,按核算下卧层的承载力确定,其核算方法遵照一般地基基础规范进行。

(2) 当以减少或增高地基土的压缩性为目的时,则按地基的沉降及差异沉降的允许值确定,沉降的计算可按一般规范进行,但宜采用变形模量作为沉降计算参数。

(3) 当为消除或部分消除地基的湿陷性为目的时,则按核算地基的剩余湿陷量确定,计算方法应遵照《湿陷性黄土地区建筑规范》。

(4) 当为处理地基液化性为目的时,则遵照《建筑抗震设计规范》的规定。

(5) 当处理其它特殊性土时,则应遵照其它特殊性土的有关建筑规范及规程确定。

### 3.3.4 复合地基的承载力及变形模量

复合地基的承载力及变形模量,根据桩间土和桩体的相应值计算。应当指出,处理后的桩间土的承载力及变形模量,都较原土有所提高或不变(当成桩时没有侧向挤压时),而桩体的承载力及变形模量在一般情况下都比桩间土大得多(只是在需要增高地基的压缩性时,桩身的变形模量低于桩间土

的变形模量,此时,桩间土的承载力与原土相同)。因此,在计算时,一般地对桩间土不能采用原土的力学指标。此外,复合地基的承载力,应按地基规范的规定进行深宽修正。

(1) 复合地基的承载力标准值按下式计算

$$f_{rk} = (f_s A_s + f_p A_p) / A_k \quad (1)$$

式中  $f_{rk}$ ——复合地基承载力标准值;

$f_s$ ——挤密后桩间土的承载力标准值;

$A_s$ ——复合地基中桩间土所占的面积;

$A_p$ ——复合地基中桩所占的面积;

$f_p$ ——复合地基中桩的承载力标准值;

$A_k$ ——复合地基的面积,  $A_k = A_s + A_p$ 。

(2) 复合地基的变形模量标准值按下式计算

$$E_{ok} = \frac{E_{os} A_s + E_{op} A_p}{A_k} \quad (2)$$

式中  $E_{ok}$ ——复合地基的变形模量;

$E_{os}$ ——复合地基中桩间土的变形模量;

$E_{op}$ ——复合地基中桩体的变形模量。

应当指出,由于用一般勘察手段较难确定桩间土和桩承载力及变形模量,因此,在目前的情况下,这些值应在试桩时用载荷试验确定。对重要建筑物的地基,尚应用包括多根桩的复合地基载荷试验确定。

此外,当为增高地基土的压缩性的目的而处理地基时,对原地基承载力及变形模量应用载荷试验法验证,以取得可靠的准确值。

### 3.3.5 桩距

在桩的直径及桩距确定后,为了避免桩距过小,使土不能挤压到设计要求而造成地面隆起,因此,应核算适宜的桩距,钻孔夯扩挤密复合桩的钻孔直径宜为300~600mm,当桩按等边三角形布置时,钻孔直径及孔距宜按下式核算:

$$S = 0.95d \sqrt{\frac{d^2 \gamma_{d1} - d_1^2 \gamma_d}{\gamma_{d1} - \gamma_d}} \quad (3)$$

式中  $S$  —— 桩按等边三角形布置时的间距;

$d$  —— 桩的直径;

$d_1$  —— 钻孔直径;

$\gamma_{d1}$  —— 挤密后桩间土达到的干重度;

$\gamma_d$  —— 挤密前地基土的干重度。

当按其它平面型式布置时, 则据此原则考虑

### 3.3.6 桩身材料

桩身材料应根据处理的目的和要求、地土质情况、地下水等因素确定, 桩身可采用粒状材料、柔性材料、半刚性材料及刚性材料。材料的配比应根据以上所述的各项因素及就地取材的原则确定。用于桩体的材料必要时应先进行试验。对于同一地基的不同部位, 可采用不同的材料, 对于同一桩的上、下部位亦可采用不同材料。

### 3.3.7 单桩的设计

#### (1) 单桩的承载力

无论是什么材料的桩, 单桩的承载力首先要考虑的是桩端的承载力。当桩材为散粒、柔性时, 桩端的承载力则主要取决于桩间土的抗剪强度和桩身材料的抗剪强度。对于半刚性桩, 则主要取决于桩身材料的抗压碎强

度, 但桩间土的抗剪强度也起一定作用。对于刚性桩, 则主要取决于桩材的抗压碎强度, 以及桩侧的摩阻力。设计时应互相校核, 但在校核时, 桩侧土的摩阻力可以按一般(桩基础)值提高 1.5~2.0 倍考虑, 其计算方法目前尚不成熟, 可参考地基处理手册有关部分试算。在计算时, 应将桩侧土重考虑进去。此外, 有关桩间土的计算参数均应采用处理后的值。

#### (2) 单桩材料

有关单桩材料的问题, 前面已多次提及, 在此不再赘述。

## 4 结语

从现代处理地基的技术和需要出发, 对地基处理问题可以形成一个新的概念, 这就是不仅是软弱土地基、特殊土地基需要处理, 对于中硬的或硬的地基有时也需要处理。复合地基的优越性是, 它既提高了地基的承载力(特殊需要时, 提高土的压缩性则例外), 同时改善了桩间土的性质并充分地发挥了桩间土的作用。与桩基础相比, 除了上述优越性外, 它还有处理深度浅, 费用低, 施工速度快以及施工质量好等优点。

钻孔夯扩复合桩地基的提出, 又赋予了复合地基更新的概念。用这种方法来处理地基, 几乎可以作到无往不胜, 攻无不克。

(上接第52页)

```
(command"Pline"p1 p2 t2)
```

```
(repeat n
```

```
(setq x1 (getreal (累计观测时间3:
```

```
) y1 (getreal"水位3:"))
```

```
(setq x11 (+ (/ x1 60) 2)y11(- 16
```

```
(- y1 t)) x12 (rtos x11 2 2) y12 (rt
```

```
os y11 2 2) p1 (strcat x12", "y12))
```

```
(command"Pline" p1 p2 t5)
```

```
(setq p2 p1))
```

```
(setq n(getint"流量观测次数:"))
```

## 4 结论与建议

机助成图不仅可以把工程师们的内业工作平台推向计算机, 而且能使资料规范化、标准化、美观清晰, 并能提高工作效益。利用LISP语言编程, 成本低, 资料的整个处理过程符合工程师的习惯, 操作简便, 易于掌握。当然, 如果借助FORTRAN或BASIC语言编制图形生成显示, 用LISP语言扩充其功能, 就更为理想, 自动化程度也将更高。