

预应力管桩应用研究现状综述

王 标

(厦门市同安区建设工程质量安全监督站, 福建厦门 361004)

摘 要: 预应力管桩作为一种新桩型, 近年在厦门地区得到了广泛应用, 积累了丰富的经验, 但也存在不少问题。从预应力管桩的构造及其承载特性、承载力指标的确定、荷载传递规律及管桩施工容易出现的质量问题几个方面, 介绍了国内外预应力管桩的应用研究现状与结论。

关键词: 预应力管桩, 承载特性, 荷载传递, 静力触探, 桩身上浮

中图分类号: TU473 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-3152(2004)04-0047-03

预应力管桩是预应力技术与离心制管技术相结合的产物, 具有单桩承载力高、单位承载力造价便宜、施工速度快、穿透力强、成桩质量可靠等特点, 一般情况下, 软土、粘性土、粉土、砂土及全风化岩体等地层条件均可采用管桩, 因此在工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、港口、码头等工程中得到了广泛的应用。近年来, 厦门市同安区众多的工程也越来越多地应用了高强预应力管桩(PHC), 在笔者所监督的大量工程中, 发现了诸如桩身上浮、接头开裂等质量事故。

预应力管桩的承载性能尤其是单桩竖向承载力的分析研究一直是该类型基础设计和施工中的一个难点, 经过 10 多年的探索, 在厦门地区积累了丰富的经验, 但也存在不少问题, 很需要一个统一的标准来规范预应力管桩基础在设计和施工等各方面的质量和技术问题, 因此, 2002 年厦门市组织有关单位进行经验总结, 开始制定厦门市预应力管桩技术规程。

1 预应力管桩的构造及其承载特性

1.1 预应力管桩的构造

预应力管桩是一种空心圆柱形细长杆件, 主要由圆筒形桩身、端头板和钢套箍等组成。端头板是管桩顶端的一块圆环形铁板, 厚度一般为 18 mm~22 mm, 端板外缘一周留有坡, 供对接时烧焊之用^[1]。

管桩按外径可分为: 300 mm、400 mm、500 mm、550 mm、600 mm、800 mm、1000 mm 等规格, 壁厚为 60 mm~130 mm, 视管径、设计承载力大小

而不同。

1.2 预应力管桩的承载特性

预应力管桩的底桩端部的桩尖(靴)形式主要有十字型、圆锥型和开口型。前两种属于封口型。采用封口型桩尖的预应力管桩的承载性能与钢筋混凝土预制桩的承载性能相似, 其承载力主要由桩周的侧摩阻力及桩端的端阻力组成; 采用开口型桩靴的预应力管桩则在沉桩过程中桩身下部 1/3~1/2 桩长的内腔被土体充塞, 挤土作用大大减少, 但是内腔土塞却为管桩提供了内侧摩阻力, 使得管桩的承载力的组成变得更为复杂。

影响预应力管桩承载特性的因素很多, 比如桩侧土性、桩端土性、桩径、开口管桩的壁厚、入土深度、施工顺序等。

2 管桩承载力指标的确定

静力触探的双桥探头在贯入过程中可分别测出锥尖阻力和侧壁摩阻力, 与预应力管桩有相似之处, 所以可以根据静力触探的成果与静载荷试桩资料进行对比来计算预应力管桩的极限承载力, 但静探与预应力管桩的工作性状是不同的, 故不能用测得的 q_c 、 f_s 直接作为桩端阻力和桩侧摩阻力。金兴平^[2]通过静载实验成果, 采用荷载传递法进行分析, 利用静探指标 q_c 、桩端阻力 f_s 与桩侧摩阻力进行相关分析, 得到了用静探指标计算预应力管桩承载力的方法。

单桩的极限承载力由桩端极限阻力 Q_{pk} 和桩的极限侧摩阻力 Q_{sk} 组成, 即

$$Q_{uk} = Q_{pk} + Q_{sk} = q_{pk}A_p + q_{sk}A_f \quad (1)$$

式中: q_{pk} —桩端土的极限端阻力; A_p —桩尖截面积;
 q_{sk} —桩周土极限侧摩阻力; A_f —桩身侧表面积。

利用静力触探试验预估单桩承载力,一般以下式进行估算:

$$q_{pk} = \alpha \bar{p}_c \text{ (或 } q_{pk} = \alpha \bar{q}_c \text{)} \quad (2)$$

$$q_{sk} = \frac{1}{c} \bar{q}_c \text{ (或 } q_{sk} = \beta \bar{f}_s \text{)} \quad (3)$$

荷兰最早应用静力触探试验结果估算单桩承载力,并积累了相当的经验^[1]。

Meyerhof 认为 q_{pk} 与桩尖埋深、桩尖进入持力层的深度、桩径有关,并建议取桩尖以下 1 倍桩径、桩尖以上 4 倍桩径范围内的 q_c 平均值作为 \bar{q}_c , α 取 1, β 取 2。Menzenbach 则认为应取桩尖以下 1 倍、桩尖以上 3.75 倍桩径范围内的 q_c 平均值,且 α 值随着 \bar{q}_c 及 A_p 的增大而降低^[2]。

Nottingham 则考虑到地面以下 8 倍桩径范围内桩身侧摩阻力得不到充分发挥,将该范围内的侧摩阻力进行了折减,并提出了一套计算桩身极限侧摩阻力的公式^[2]。

我国学者也提出了用静力触探试验成果估算单桩承载力的计算公式,并制定了相应的标准。

3 管桩承载力传递特性的研究

3.1 管桩承载力传递特性的理论研究

单桩荷载传递的理论分析主要有四种方法:弹性理论法、剪切变形传递法、荷载传递法和有限元法。

弹性理论法是以弹性连续介质理论模拟桩周土体受力性状,将桩划分成若干均匀的受力单元,通过轴向荷载下的压缩求得桩的位移,使用荷载作用于土体内某一点所得的 Mindlin 解求得土的位移,通过

桩上各单元的桩位移与相邻土位移之间协调条件获得各受荷单元的解。国外许多学者均对这种理论分析方法进行了研究,但是他们对单桩上的剪应力分布特征作了不同的假设^[3]。

荷载传递法也称传递函数分析法,由 Seed 和 Reese 于 1957 年提出。该法假定桩是由一系列的弹性单元组成,每一单元与土体之间用非线性弹簧联系,这些非线性弹簧的应力~应变关系即表示桩侧摩阻力(或桩端阻力)与剪切位移(或桩端沉降)间的关系。

剪切变形传递法则是由 Cooke 于 1974 年提出的摩擦桩的荷载传递的机理模型,假定当轴向荷载 (P/P_u) 较小时,桩的沉降较小,桩与土之间产生位移,桩周土随之产生剪切变形,剪应力从桩侧表面沿径向向四周扩散到周围土体,桩上下层之间没有相互作用。Randolph 和 Wroth (1978) 认为剪应力扩散范围与桩长及土的均匀性有关。

3.2 预应力管桩荷载传递的试验研究

苏振明、陈拥军 (2003) 对 8 根管桩在桩身埋设应力应变元件进行了破坏荷载试验^[8]。从试验结果可以看出,当桩顶竖向受压时桩身首先产生压缩变形,使桩与桩周土之间发生相对位移,进而产生摩阻力。在荷载较小时,变形量较小,桩端基本没有发生位移,桩端阻力为零,此时桩顶沉降完全由桩身压缩所致,而当荷载增加至一定值时,桩端出现向下的位移,桩端土开始承受荷载。 $Q \sim S$ 曲线可以大致分为三个阶段(图 1),似弹性阶段 $Q \sim S$ 曲线近似为直线,桩身与桩端土均处在弹性压缩阶段,此时卸载,回弹率可达 98% 以上;当荷载继续增加, $Q \sim S$ 曲线将逐渐弯曲,此时随着桩土间相对位移的增加,桩侧摩阻力逐渐发挥至极致,桩端土所承受的荷载

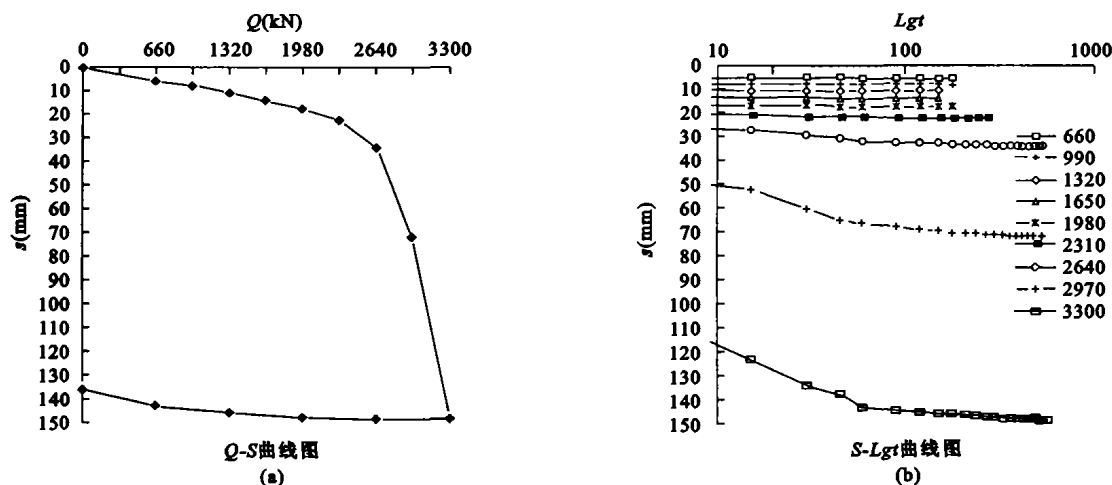


图 1 预应力管桩的 $Q \sim S$ 曲线及 $S \sim lgt$ 曲线

将逐渐增大;当桩端荷载达到桩端土的极限承载力时,桩将迅速下沉直至刺入破坏,在 $Q \sim S$ 曲线上则表现为一条近似于铅直的陡降线段。图1为典型的预应力管桩的 $Q \sim S$ 曲线及 $S \sim lgt$ 曲线。

国内外学者对桩侧摩阻力完全发挥时桩土间的相对位移作了大量的试验研究工作,得出了一些有价值的经验数据。

从大量的试桩资料可以看出,桩侧摩阻力充分发挥时的桩顶沉降量不是一个定值,而是与桩长、覆盖层厚度及土层力学性质、进入持力层深度、施工方法、管桩规格等等有关的变量。

4 预应力管桩易发生的事故

预应力管桩易发生的工程质量问题多为以下几

种:桩位偏差及桩身倾斜率超过规范要求、桩头碎裂、桩身(包括桩尖和接头)破损断裂、沉桩达不到设计的控制要求、单桩承载力达不到设计要求等。

在厦门推广预应力管桩的过程中,发现了管桩在设计、施工中的一些问题,其中桩体上浮问题在某些工程中显得尤为突出。预应力管桩属于挤土桩,在渗透性很低的软土地基中,大量桩体的打(压)入,会产生很高的超孔隙水压力且不能很快消散,造成沉桩困难,同时由于有效应力降低,地基发生隆起和侧向位移,使桩体产生上抬和水平挤动。桩身上浮往往存在两种方式,一种是桩身整体上浮,桩身保持完整;另一种则是接头开裂,桩身完整性变差,抗水平承载力降低。如图2为上浮管桩的 $Q \sim S$ 曲线及 $S \sim lgt$ 曲线。

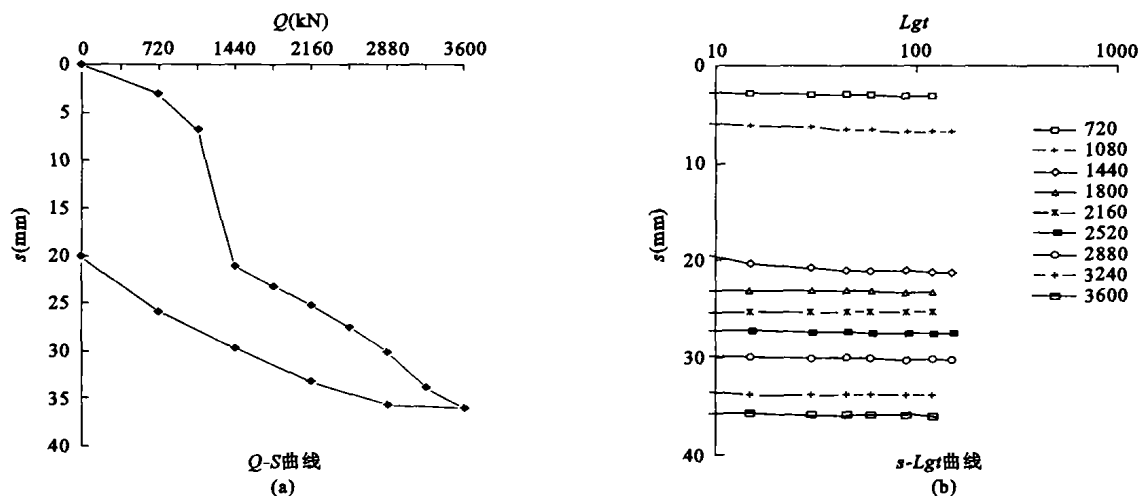


图2 某工程208#上浮管桩 $Q \sim S$ 曲线及 $S \sim lgt$ 曲线

由一些上浮管桩单桩竖向抗压静载试验曲线可以看出,在试验荷载较小的时候管桩即出现了较大的沉降,但是在各级荷载作用下沉降可以达到稳定,随着荷载的增加,管桩上浮量逐渐被消除,或接头处的裂缝被压密整合。如果依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)的有关规定进行试验,得出的单桩抗压极限承载力将远远小于其实际的极限承载力,而在《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003)中考虑到了这种情况,要求“当桩顶沉降能相对稳定且总沉降量小于40 mm时,宜加载至桩顶总沉降量超过40 mm”^[4]。

为减轻乃至避免基桩上浮,可以采取以下措施:1)加大桩的中心距;2)设置防挤沟或取土引孔打(压)桩;3)合理制定打(压)桩顺序并控制打(压)桩速度;4)基桩上浮时应进行复打(压)。

同安区某工程总桩数150根,桩径500 mm,壁厚100 mm,静压法施工,接桩采用焊接,部分桩的

中心距仅1.5 m,桩长约20 m,单桩设计承载力1500 kN,极限承载力3000 kN。在打桩过程中观察到有的地方土层隆起近15 cm,该工程要求全面进行复打,复打下沉量最大为18 cm,最小0.9 cm,密桩区的复打下沉量比疏桩区大。

5 结语

预应力管桩作为一种新桩型,近年来在厦门地区得到了广泛的应用。在厦门地区,桩体上浮问题是预应力管桩施工中最常见也最为突出的质量问题,应采取有效的措施。《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003)的颁布实施,弥补了此类问题相关规定的不足。

(下转第64页)

4.2 飞行区地基土反应模量特征

(1)灰白~灰黄色粉质粘土:这类土基的反应模量 k_0 值在区内最低,其 k_0 值变化范围在 $9.54 \text{ MN/m}^3 \sim 19.81 \text{ MN/m}^3$ 之间,平均值为 14.58 MN/m^3 。

(2)黄褐色粉质粘土:其 k_0 值变化范围在 $13.65 \text{ MN/m}^3 \sim 34.95 \text{ MN/m}^3$ 之间,平均值为 22.58 MN/m^3 。

(3)紫红色~黄褐色粉质粘土:其 k_0 值变化范围在 $18.21 \text{ MN/m}^3 \sim 39.49 \text{ MN/m}^3$ 之间,平均值为 28.63 MN/m^3 。

(4)含中粗砂、硬塑状土黄色粉质粘土的 k_0 值在区内最高,其 k_0 值变化范围在 $42.42 \text{ MN/m}^3 \sim 72.25 \text{ MN/m}^3$ 之间,平均值为 57.34 MN/m^3 。

由以上结果可知,地基土的反应模量与含水量、物质成份及土质结构关系密切。同一种土质,随着含水量的增加,其反应模量 k_0 值降低,当地基土中

含有中粗砂或铁锰结核时,其反应模量 k_0 值明显增大。反应模量 k_0 值离散性较大,说明该场地土质是不均匀的。

5 结语

由于反应模量与地基土的含水量及土质结构密切相关,在试坑开挖及设备仪器安装过程中要确保地基土的原始状态,严格按照规范进行操作,确保测试数据与实际相符,使工程设计更加安全、更加经济。

参 考 文 献

- [1] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994

In-situ Measurement and Calculation of the Reaction Modulus of Subgrade Soil

YUAN Li-ming

(Guangdong Eng. Investigation Bur. Guangzhou, 510510, China)

Abstract This modulus is considered to be very important for the design of runway construction. It would be better to obtain by in-situ plate load measurement. In this paper, combining with practice in Guangzhou new airfield, the measurement and calculation of the modulus is briefly introduced.

Key words subgrade soil, reaction modulus, plate loading test

(上接第 49 页)

参 考 文 献

- [1] 史佩栋主编. 实用桩基工程手册(第一版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1999, 5
[2] 金兴平. 预应力管桩承载力性状的研究[硕士学位论文][D].

杭州:浙江大学, 2002

- [3] 苏振明, 陈拥军. PHC 管桩荷载传递特性研究[A]. 中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集[C]. 北京:清华大学出版社, 2003
[4] 中华人民共和国国家标准. 建筑基桩检测技术规范(JGJ106—2003)[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003

Status of the Application of Pre-stressed Tubular Pile

WANG Biao

(Tong An Construction Engineering Safety Supervising Station, Xiamen 361100, China)

Abstract As a new type of pile, the pre-stressed tubular pile is getting widely used in Xiamen. In this disseminating process, plenty of experiences are accumulated, and some problems are discovered. Several aspects of the pre-stressed tubular pile are discussed, including the structure, bearing characteristic, identification of bearing capacity index, load transfer law and problems related to construction.

Key words prestressed pile, bearing characteristic, static penetration, upfloat of pile