管桩与基坑围护

胡庆红　吴伟民　　韩轶璞
（浙江省质监总站，310003）（中原石油勘探局，457001）

提　要　本文论述了管桩的生产、施工工艺、破坏特性等；讨论了管桩用于基坑围护的设计计算原理；最后利用一个工程实例对管桩用于基坑围护的优缺点进行了探讨性研究。

一　前　言

管桩本质上属于预制桩范畴，其侧阻力的形成与普通砼预制桩无大的差别，但管桩强度高(一般 C60 以上)，贯穿力强，使管桩桩端挤密性较普通砼预制桩好。管桩与各种现场灌注桩相比，质量直观可靠，砼密实性好、高强及桩身具有相当大的抗弯性能。另外管桩便于运输、吊运、接桩和适合多种打桩机械施工。但目前国内有关管桩较为系统的研究尚不成熟，其设计、施工、生产等方面还存在较多的问题值得探讨。基坑围护是涉及工程地质、水文地质、工程结构、工程施工管理，融土力学、水土力以及结构力学于一体的综合性学科。基坑围护通过近年的发展已日臻完善，围护结构随土质不同而呈多样局面。本文首先讨论管桩的生产、施工工艺等有关问题，最后讨论管桩用于基坑围护的设计计算原理，并通过一个工程实例具体探讨管桩用于基坑围护的可行性。

二　管桩应用研究

通常所说的管桩是指常压空心薄壁管桩。管桩具有不同的型号、规格，一般常用的是 ϕ500、ϕ600 管桩，此外，ϕ1200 预应力砼大管桩在某跨海大桥中也已成功应用。

1. 管桩生产成型

管桩生产采用高标号砼配合比，应用机械化生产，离心成型、蒸汽蒸压养护，提供稳定的、可靠的产品质量。管桩按制作工艺划分有先张法和后张法砼预应力管桩之分，一般工程中通常应用的是先张法预应力管桩。

管桩生产过程中有一点非常值得注意，曾有一工地在管桩打入过程中，四根试桩全部折断。经研究发现，断桩原因是由于桩身未能达到设计强度。进一步深入研究表明，管桩在离心生产过程中，内壁常有一层水泥砂浆层，一般厚度为 5~7mm，强度低，达不到管桩设计强度(C60 以上)，从而严重影响桩身强度；在桩入土过程中，此部分破坏，其强度应不予考虑。如 ϕ500 的管桩，壁厚 50mm，由于离心作用的影响，内壁一般有 5mm 左右厚的水泥砂浆层，故管桩实际管壁仅厚 45mm 左右。杭州某拆迁改建工程打桩过程中

因该原因而断桩 20%左右，给生产方造成不小的损失 ，也给施工方带来了许多负面影响。因此，管桩生产单位应充分认识到这一点，在生产过程中有意识地增加壁厚，以使桩身达到设计要求，确保管桩质量。

2. 管桩施工

管桩施工应根据不同的地质条件选择不同的进桩施工工艺。进桩方法主要有捶击、顶压和抱压几种。对于地质条件较好或地下有障碍物，宜优先考虑捶击进桩，而对于地质条件较差的淤泥质土，则用静压进桩更为恰当。以杭州为例，在南部砂性土占优或有障碍物的地质情况下，宜用捶击进桩。因为捶击可使砂土液化，进桩容易；而有障碍物时，桩明显颤动，若静压，由于上部固定，易使桩折断，而捶击进桩(尤其是重锤轻击)，易于通过障碍物，且上部有活动余地，不易造成断桩。在东部深厚淤泥质土为主的土壤中，静压进桩则较为合适些，因为它对桩周、桩底土的挠动小；而捶击则易产生超孔隙水压力，造成挤土和挠动。

此外，静压桩有抱压和顶压之分，抱压又根据抱点不同有 4 点、8 点、16 点之分；抱点越多，桩越不容易抱碎；抱点的多少可根据桩身强度和进桩力确定。

3. 管桩的破坏特征

如上所述，管桩破坏产生原因有两种：一种是因生产不当；另一种是因施工不当。生产不当而破坏主要原因是生产商对材料配比及离心作用导致内壁部分砼强度过低考虑不足，导致管桩桩身强度未能达到设计值。施工不当而破坏有多种：如静压桩碰到障碍物崩断；捶击桩因上部防护不当使桩顶被击碎；静压桩因抱点少、进桩力过大而将桩抱压破坏。施工中应根据不同的地质情况采取有效措施予以避免。

三　管桩用于基坑围护

管桩用于基坑围护的原理与灌注桩相似，都是作为抗弯挡土结构体系，其特点是桩自身质量可靠、施工速度快、受雨天影响小、对场地要求不高，同时，若采用静压进桩，噪音小，这使得它在旧城改造及工期紧张时大有用武之地。

管桩围护设计控制条件有两种：一种是保证边坡整体稳定和基础施工安全；另一种是控制边坡侧移量或坡顶下沉变形量。当然，对于第二种控制条件，第一条自然满足。基坑开挖时，可能会发生基坑底部隆起和挡土墙向坑内倾斜，围护结构的入土深度既要保证结构本身的强度及其稳定性，又要保证基坑底部土体不产生隆起失稳和渗流破坏，并达到经济、合理之目的。故管桩围护结构必须进行基坑底部验算、渗透稳定性验算和基坑整体稳定验算。

1. 基坑底部抗隆起的验算

当基坑底部为较软弱的饱和粘土层时，基坑开挖可能造成坑顶下陷、坑底隆起，从而坑壁塌陷、基坑土体破坏。基坑隆起一般用土力学中的极限平衡原理分析。常用验算方法有 Terzaghi 和 Peck 公式；Bjerrum 和 Edide 方法(1956)；Coquot 和 Keniset 理论方法等。

其中墙体极限平衡法可同时考虑粘聚力和内摩擦角：

$$K_S = \frac{r \cdot D \cdot N_q + C \cdot N_C}{r(hH + D) + q} \tag{1}$$

式中 Ks——安全系数，Ks=1.1~1.25；

D ——管桩围护结构的入土深度(m)；

H ——基坑开挖深度(m)；

q ——地面超载(kN/m)；

$N_q N_c$——地基极限承载力系数。

2. 抗渗透破坏验算

渗透破坏主要是由于基坑内外的水头差所引起的。在含有透水层地基中开挖时，若采用坑内明排水等造成坑内外水头差的做法是极容易发生渗透破坏的。为避免渗透破坏，应满足下式：

$$r' \geq K \cdot j \tag{2}$$

式中 r' ——坑底以下土的有效重度(kN/m³)；

j ——动水压力；

k ——安全系数，与防渗结构及土质有关，k=1.5~2.0。

为简化计算，可近似地取最短路径，则上式变形为：

$$r' \geq K \cdot \frac{h'}{h' + 2t} \cdot r_\omega \tag{3}$$

3. 整体稳定性验算

常用的突土坡整体稳定性分析方法为瑞典圆弧法(Fellenius)和简化 Bishop 法。前者采用的土条间作用力的假设不合理，得出的安全系数偏低；后者的假设中，整体力矩和垂直力平衡是满足的，若破坏面可近似地看作圆弧滑动面，则该法令人满意。

$$F_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{c_i b_i + b_i (r_i h_i - r_\omega h_{i\omega}) \cdot \mathrm{tg}\varphi_i}{(\cos\theta_i + \sin\theta_i \cdot \mathrm{tg}\varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{n} (W_i \cdot \sin\theta_i + \sin\theta_i \cdot \mathrm{tg}\varphi) / F} \geq F_S \tag{4}$$

式中 i ——第 i 土条；

a_i——i 土条力臂；

b_i——i 土条宽度（m）；

c_i——i 土条的内聚力；

R ——圆弧半径（m）；

c_s——地震系数；

W_i——i 土条重量。

计算时采用迭代法逐步逼近即可求解。

四　工程实例

1. 工程简况

某公司综合楼工程，基坑平面为矩形，70m×45m，开挖深度 5.7m，一层地下室，地下水水位为-1.5m。该场地工程地质情况如下表 1：

表 1　工程地质情况

土层名称	重　度(kN/m³)	ϕ(°)	c (kPa)	层　厚(m)
杂填土				0.5~1.0
淤泥质土	17.8	7.2	12.6	6.2~7.8
粉质砂土	20.1	23.8	29	0.8~1.1
粉质粘土	18.7	17.4	26.8	1.0~3.6
粘土	19.5	15.6	23.1	4.5~5.1

2. 管桩围护设计

由于工期紧张，为排除雨天等因素的影响，基坑围护方案确定为管桩围护。通过电算，围护桩采用 ϕ600 管桩(C_{60})每延米一根，桩长 9m。利用计算机对基坑进行如下三项验算：

①桩身强度及土体强度验算；

②抗渗透验算；

③整体稳定性验算。

计算表明，各项指标均满足设计要求；同时计算还表明，若采用沉管灌注桩，其入土深度与管桩大致相当。

3. 施工效果

施工采用两台桩机打桩，管桩为 3m 长接桩。基坑开挖过程中，基坑侧移及沉降观测表明，各项指标完好。目前，该工程已结顶，情况良好。

五　结　论

综合以上分析有以下几点体验：

1.管桩应用前景是广阔的；管桩用于基坑围护是可行的。

2.管桩用于基坑围护的本质与灌注桩相同，但管桩属于预制桩，质量直观、可靠，尤其在场地狭小、雨天影响较大、或工期紧张时具有明显的优势。

3.一般情况下，管桩用于基坑围护与沉管灌注桩费用相比相差不大，对于排水性土质，也需打搅拌桩作止水幄幕。

4.管桩在淤泥质地基中进桩时，可能会对淤泥质土产生搅动或使桩周土产生隆起，从而对周围环境(如道路、建筑物)产生不利影响，故在此类土质中施工应予以足够重视。

目前管桩应用的系统性研究还不成熟，如管桩进桩过程中的时间效应、管桩对土的挤密效应等许多问题都值得我们进一步作深入探讨。