夯扩桩在工业厂房设计中的实践

江 平
(中国船舶工业第九设计研究院,上海 200063)

提 要 本文通过一工业厂房基础设计过程介绍,对沉管夯扩灌柱桩,这一新工艺型桩的设计与施工作了一些总结与分析,为今后在工程中的使用提供了参考。
关键词 夯扩桩,试桩工艺,扩大头

The Practice of Ramming Reamed Pile in Design of Industry Factory Building

JIANG Ping
(The Ninth Design & Research Institute, Shanghai 200063)

Abstract The design procedure of an industry factory building foundation is introduced in this paper. Some analysis and summary are made in the design and construction of this new technical type of pile, Ramming Reamed Cast-in Site Pile. It is a reference for the ramming reamed pile using in future project.
Keywords ramming reamed pile, test piling work, enlarged pile 'send

1 夯扩桩的性能及现状

夯扩桩是近年来研制开发的一种以端夯扩头支承为主,桩侧摩阻力为辅的新型桩,是由沉管灌注桩发展而来的变截面桩身桩,与常规的沉管灌注桩相比,在同样的桩身直径条件下,夯扩桩由于桩端截面积的成倍增大,其单桩承载力大大提高。有关工程实例表明,将传统的灌注桩改为夯扩桩后,桩基成本可节省 30 %～40 %。在适宜的工程地质条件下,用它代替沉管灌注桩、钢筋砼预制桩及大直径钻孔灌注桩,均能取得显著的技术经济效益和加快基础工程的进度。

沉管灌注桩目前常使用的桩径 ø325 mm, ø377 mm, ø426 mm, ø500 mm, ø600 mm, ø700 mm 及 ø800 mm,桩的施工长度一般不超过 30 m。近几年来在南方(如广州),随着大功率的锤击、拔管设备在施工中的采用,沉管灌注桩目前正向粗桩径、高承载力方向发展。有关文献报道,嵌岩桩单桩容许承载力达 1500 kN。但由于施工中的振动与噪声,应注意它对周围建筑物与地下设施所产生的不利影响。

2 工程实例简介

此工程为江阴市澄西船舶修造厂分段喷丸涂装间,由涂装厂房和辅楼组成,屋架高 12 m,跨度有 21 m,27 m 两种。厂房部

© 1995-2003 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

分为全钢结构,辅楼为钢筋砼框架。厂房位于长江南岸(干船坞区)。据厂方现有设备,可打 400 ×400 ×14000 以内钢筋砼方桩和 ø377 钢管打入式灌注桩,桩长在 10 m 左右。土建工程于 1998 年 12 月开工至 1999 年 10 月完工。土层分布见图 1。在 + 1.30 m(淤泥层层面)以上,为 1978 年前后填的素填土,因时间较长,未考虑负摩阻力作用;为安全起见,也未考虑侧阻力贡献。该场地为 6 度区,四周均为厂区,比较开阔,认为采用沉管灌注桩或夯扩桩,挤土效应不显著,不会引起液化。

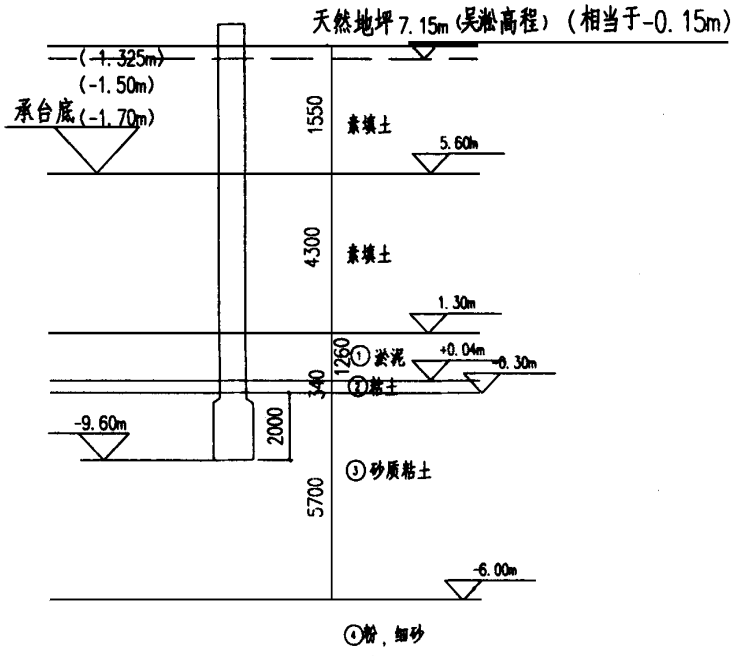


图 1

3 工程设计过程

3.1 夯扩桩的设计步骤

(1) 确定夯扩桩的桩身直径(即外管外径)、桩长、桩端进入持力层的深度。

本工程采用 ø377,由业主提供的数据如下:

土 名	标准地耐力(kPa)	桩侧摩阻力(kPa)	桩尖阻力(kPa)
①淤泥	-	7	-
②灰绿色粘土	330	35	2300
③棕黄色砂质粘土	150	28	1900
④粉、细砂	170～200	25	1900

用砼 C30,水下实际强度 C25。据地质报告,选第三层土为桩端持力层,因该层底部含砂较多,土质较软,经查附近工程地质报告,桩尖阻力标准值实际取 1000 kPa,并取桩端标高为入砂质粘土 2 m。

单桩容许承载力:

$$N = \pi d \sum L_i t_i + \pi D^2 R_j \beta / 4$$

$$= \pi \times 0.377 \times (1.26 \times 7 + 0.34 \times 35 + 2 \times 28) + \pi \times 0.60^2 \times 1000 \times 1.1/4$$

$$\approx 400 \text{ kN}$$

(注:β——桩端土夯实综合修正系数,见文献[2]第八章)

由《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》(JGJ4 - 80)得单桩桩身承载力标准值:

© 1995-2003 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

$$R_k \leq 0.48 R_a d^2$$
$$= 0.48 \times 1250 \times 10^4 \times 0.377^2$$
$$= 960 \text{ kN}$$

由上海市地基规范(DBJ08 - 11 - 89):

$$R_k \leq \frac{0.2 f_u \pi d^2}{4}$$
$$= \frac{0.2 \times 2625 \times \pi \times 0.377^2}{4}$$
$$= 586 \text{ kN}$$

其中,f_u为边长20 cm的混凝土立方体试块的极限抗压强度(由15 cm试块换算时,换算系数取1.05)

根据文献[2]附录九及地质报告,第三层土塑性指数:

$$I_p = w_L - w_P$$
$$= 35.6 - 22.6 = 13$$

故取夯扩参数如下:

$H = 2.5 \times 1.16 = 2.9\text{m}$, $h = 1.50\text{m}$, $\alpha = 1.12$, $\beta = 1.10$,

$$D = \alpha d_0 \sqrt{\frac{H + h - c}{h}}$$
$$= 1.12 \times 0.357 \sqrt{\frac{2.9 + 1.15}{1.25}} = 0.657 \text{ m}$$

又据文献[2]附录九,扩大头的最大计算直径为520(ø325 mm换算成ø377管;520 ×1.16 = 603.2 mm < 657 mm),取小值,D = 600 mm。换算成经过上部结构计算,共采用146根桩,其中端阻贡献占77%,效果明显。

3.2 夯扩桩的试桩过程

试桩过程由澄西船厂建设处完成,试验桩数共计2根,试桩从1998年12月8日开始到1998年12月15日结束,分两次进行,试桩工艺和成桩工艺均按该厂自编规则进行。试验装置采用锚桩横梁反力装置,加载设备采用300 t油压千斤顶,沉降观测采用二只百分表,锚桩变形采用水准仪观测。试验过程均为连续观测。

桩断面:ø337 mm,端夯扩至600 mm;桩长:9600 mm,高出外场地面500 mm;砼等级C30,配筋规格6ø14 + ø6 @200(螺旋箍),主筋长度8900 mm,配筋率1.00%。

试桩SZH1a从343.5 kN～1030.5kN,分8级;试桩SZH1b从343.5 kN～1030.5 kN,分7级,每级加载为117.5 kN。

试桩结果分析表明,依据设计要求,荷载均在大于800 kN后达到稳定,满足设计要求,当荷载加至950 kN时仍能稳定,最大荷载加至1030.5 kN后,历时210 min,累计最大沉降5.15 mm。据试桩资料分析,该桩容许承载力可超过500 kN,与计算基本吻合。

4 工程设计时需注意的问题

4.1 夯扩头的直径

夯扩头的直径不但与外管内径、夯扩参数H, h, $h - c$等有关,还与桩端持力层的性质、土的压缩模量、锤击能量、锤击力的大小等密切相关。其数学表达式为

$$D = f(d_0, H, h, h - c, E_s, E_y, \sigma_z \cdots)$$

式中 d_0——外管的内径,(m);

H——夯扩头投料在外管内的高度,(m);

h——夯扩工序中的拔管高度,(m);

$h - c$——夯扩工序中的双管同步沉入深度,(m);

E_s——桩端土的压缩模量;

E_y——桩端土的侧向压缩模量;

σ_z——锤击力。

H一般依据桩端持力层性质和桩身直径(即外管直径)所决定。持力层性质好、密度大,H值一般取1.5～3 m;对桩端性质较差的持力层,H值一般可取3～6 m。

h一般也是形成夯扩头的近似高度。拔管高度一般可取$h = (2/5 \sim 2/3)H$;对桩端在砂性土中夯扩,$h = (2/5 \sim 1/2)H$;对桩端在硬粘性土中夯扩,$h = (1/2 \sim$

© 1995-2003 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

2/3) $H_0 h - c$ 值系夯扩工序中双管同步沉入的深度,即将桩端 h 高度混凝土柱强制向周围挤压扩开,形成空心夯扩头,随后下钢筋笼、灌足桩身混凝土、拔外管成桩,c 值系无桩尖夯扩桩施工中,形成夯扩头,为避免击穿而在内夯管底下保留的混凝土厚度,一般取 0.2 m(本工程为 0.35 m)。

4.2 夯扩桩单桩竖向承载力

由目前已有建筑物基础工程的经验,在适宜的工程地质条件下,夯扩桩单桩的竖向承载力设计值一般用桩身直径来确定:桩身直径 ø325mm,单桩的竖向承载力 250 ~ 450 kN;ø377 mm,450 ~ 700 kN;ø426 mm,600 ~ 900 kN;ø500 mm,800 ~ 1200 kN;ø600 mm,1200 ~ 1800 kN,本工程取 400 kN,偏安全,取值合理。

4.3 夯扩桩桩位布置原则

(1) 宜使群桩形心与长期作用荷载合力的重心重合。

(2) 群桩中夯扩桩的中心距不宜小于 4 d (d 为桩身直径)。

(3) 桩独立承台下的桩数一般不宜少于三根。条件适宜时柱下独立承台可采用一根桩或两根桩,一般墙下条形承台可采用单排桩,但必需设置连系梁。

(4) 墙下桩基础应在转角及交叉部位设桩,底层门洞下不宜设桩。

4.4 关于抗拔夯扩桩的问题

由于夯扩桩桩端是在经过夯扩工艺形成夯扩头的同时,又有挤密桩端持力层的一种新颖扩底桩型,其桩身可配置全长钢筋笼,在桩端扩大头用来抗上浮力,能获得更为有效的抗上浮效果。

4.5 夯扩桩设计中的几个问题

(1) 夯扩次数对夯扩头的影响

目前,夯扩桩的施工都以不同地方对夯扩头的直径进行的理论研究、模拟试验和实挖夯扩头直径计算公式为依据。文献[3]建议用统一的公式如下:

$$D_i = \alpha_j d_0 \sqrt{\frac{\sum (H_i + h_j - c_j)}{h_i}}$$

一般常用一、二次夯扩工序,三次夯扩较少使用。

(2) 夯扩桩的长度和桩的入土深度

夯扩短桩的技术效益最为理想。夯扩桩的施工长度主要由施工桩机及桩施工质量决定。在初期,采用锤击打入式的桩机,一般施工长度不超过 15 m,随着夯扩桩的发展,特别是振动设备应用在沉管、拔管上,大大减少了拔管时的阻力,目前夯扩桩的施工长度已达 26 m。桩端进入持力层的深度,在原则上应使整个夯扩头都进入良好的持力层中。工程实践中,一般桩端进入持力层 1.5 ~ 2 m,桩端下仍应保留不小于 5 d 的持力层厚度。当持力层很厚时,则宜多进入些,当持力层较薄或下部分软弱土层或遇密实砂卵石、砂碎层时,则可少进入一些。

(3) 夯扩桩的配筋

一般分为四种类型:①对重要的建筑物基础、夯扩桩做端承桩时应配置全长的钢筋笼,在地震区或做抗拔桩时也应配置全长钢筋笼;②桩身局部配置钢筋笼,其长度一般大于桩全长的 1/3,并不小于 3.5 m。对承受水平荷载的桩,配筋长度一般采用 4/ α, α 为桩的水平变形系数;③桩身采用插筋,即对于刚施工完毕的现浇混凝土桩身,应立即将四根 ø10 ~ ø12,长度一般为 3 m 的钢筋,插入混凝土中;④对一些荷载较小的建筑物,主要只承受轴向压力且布桩密度不大的情况下,也可不配筋。

5 经济比较

若采用 0.4 ×0.4 ×14 m 的预制桩,则桩长将达到第四层土,单桩容许承载力为

(下转 48 页)

© 1995-2003 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

2 力学验算

对于支架系统,只需要验算竖杆的稳定性和竖杆的压缩量即可。

$E = 2 \times 10^6$ N/mm^2

$L = 6000$ mm,

外径 $D = 48$ mm,

内径 $d = 43$ mm,

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = 92756 \text{ mm}^2$$

极限承载力:

$$P_{lj} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = 5.34 \text{ kN} > Q(= 4.72 \text{ kN})$$

竖杆稳定满足要求。

竖杆压缩量:

$$\Delta = \frac{QL}{SE} = \frac{4720 \times 6000}{\pi(48 - 43)2.1 \times 10^6} = 0.09 \text{ mm}$$

根据《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—89),考虑到箱梁自重和汽车活载,施工时预留拱度 15 mm。根据技术规范要求,为避免支架下沉,在支模前对支架进行了加载预压,预压荷载 80%,经过水罐注水预压三天,支架地基安全可靠。

3 箱梁施工

(1) 箱梁分为三次浇筑,先浇筑底板,再浇筑侧板,最后浇筑顶板。

(2) 浇筑顺序由一端向另一端连续浇筑。由于箱梁两端封闭且受到桥台背墙影响,箱梁内顶模板采用了 30 mm 厚预制薄钢丝网砼,浇筑顶板后,留在箱梁内不再取出。

(3) 卸架:按规范要求,砼强度达到 75%时卸架,拆除卡扣,从两端开始缓慢向中墩进行。

(4) 浇注完箱梁后,支架底砼基础下沉量不超过 2 mm。

4 结 论

本支架安装简便,拆除容易,结构稳定,不需吊车,材料来源方便,与贝雷架相比用钢量少,效果较好。它的缺点是需用人工工日较多,支设时间较长。

(上接第 34 页)

$$N = 0.4 \times 4 \sum L_i f_j + 0.4 \times 0.4 R_j$$
$$= 0.4 \times 4 \times (1.26 \times 7 + 0.34 \times 35 + 5.7 \times 28 + 2.4 \times 25) + 0.4 \times 0.4 \times 1900$$
$$= 688 \text{ kN}$$

如考虑填土和桩端土层的软弱性,取 600 kN,约需桩 100 根。

基础方案	预制桩	夯扩桩
桩型	0.4×0.4×14m	ø377×9.6m
单桩承载力(kN)	600	400
桩总数(根)	100	146
桩总体积(m^3)	224	180.9
单位体积直接费(元/m^3)	420	200
桩直接费(元)	94080	36180
节约投资		57900

若考虑因预制桩制作而延长工期的因素,则节约费用还可增加。

6 结 论

夯扩桩作为一种以桩端扩头支承为主、桩侧摩阻力为辅的新型扩底桩,以其良好的工程性质和低廉的制作价格受到许多工程师的喜爱。但因其性能受到多种因素影响,如当地无工程先例,则数据及参数的选用就要谨慎,最好采用静力触探原位测试,并把好施工质量关。

参考文献

[1] 国家标准. 建筑桩基技术规范(JGJ94—94)

[2] 建筑地基基础规范选编(上海、天津、浙江、福建、徐州). 北京:中国建筑工业出版社,1995

[3] 杨家丽. 建筑工程地基处理技术——夯扩桩的设计与施工. 北京:科学技术出版社,1997

© 1995-2003 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.