

# 夯扩桩加固黄河下游地区软弱土层的应用实例

曹承东

(淄博市勘察测绘研究院 255000)

## 0 前言

夯扩桩是利用锤击打入式沉管灌注桩的施工机械与工艺,参考爆扩桩的扩底特点发展而成的一种新桩型,具有造价低,施工容易,且质量易控制,无污染等优点。其受力特征与大直径扩底墩相似,属端承桩,其成桩特点要求在地基土一定深度内有一定厚度的较好土层作为桩端持力层,如稍密~中密的砂土或粉土层,可塑~硬塑的粘土层以及粘性土的交错层均可作为桩端持力层。淄博市北部的高青、桓台县位于黄河南岸,地貌单元为黄河下游冲积平原,地层以冲洪积成因的淤泥质土、粉质粘土、粉砂等为主。其地质特点较适合采用沉管夯扩桩基础。近几年来,我们在该地区的二十多项工程中成功地采用夯扩桩来加固软弱地层,工程实践证明效果较好,高青县电业局调度楼工程是其中较典型的一例。本文就其工程地质条件、施工工艺及测试成果进行分析,对夯扩桩的成桩特点、承载性状以及在软弱土层中的应用特性进行探讨。

## 1 工程应用研究

### 1.1 工程概况

高青县电业局调度楼位于高青县城中,占地面积 $1,890\text{m}^2$ ,长 $70.0\text{m}$ ,宽 $27.0\text{m}$ ,为8层框架结构,上部架设通讯塔,总高度 $50.0\text{m}$ 。

### 1.2 场地工程地质条件

建筑场地位于黄河下游冲积平原,地势平坦,地表完整,第四系覆盖层系 $Q_4$ 冲积土

层,厚度均匀,层位稳定。其地层由上至下依次可分为:

(1)素填土:以松散粘性土为主,混少量建筑垃圾,其厚度不均匀, $0.5\sim 0.7\text{m}$ 不等。

(2)淤泥质粉质粘土:软塑,稍密,夹淤泥质粉土薄层,厚度 $1.31\sim .9\text{m}$ ,层底埋深 $1.8\sim 2.1\text{m}$ 。

(3)粉砂:稍密,夹淤泥质粉土薄层,其厚度 $0.6\sim 1.2\text{m}$ ,层底埋深 $2.4\sim 3.0\text{m}$ 。

(4)淤泥质粉质粘土:软塑,夹淤泥质粉土薄层,厚度 $5.1\sim 5.2\text{m}$ ,层底埋深 $8.0\sim 8.2\text{m}$ 。

(5)粉砂:混多量粘性土,夹粉土透镜体,其厚度 $0.9\sim 1.1\text{m}$ ,层底埋深 $8.9\sim 9.3\text{m}$ 。

(6)粉质粘土:可塑,中密,其厚度 $3.1\sim 3.3\text{m}$ ,层底埋深 $13.3\sim 13.6\text{m}$ 。

(7)粉砂:中密,夹粉土薄层,厚度 $3.1\sim 4.8\text{m}$ ,层底埋深 $13.4\sim 18.0\text{m}$ 。

### 1.3 基础方案的选择

#### (1)天然地基的选择

该建筑物为8层办公楼,每层荷载按 $20\text{kPa}$ 考虑,若选用天然地基,则第(2)层淤泥质粉质粘土承载力标准值 $f_k = 80\text{kPa} < 160\text{kPa}$ ,不满足承载力要求。

#### (2)桩基的选择

若采用非扩底的钻孔灌注桩或沉管灌注桩方案,桩端持力层必须选择层底埋深 $19.5\sim 20.3\text{m}$ 的密实砂层,才能满足承载力和变

表1 各层地基土物理力学性质指标

地 层	指 标	含水量	液性指标	孔隙比	液限	承载力	压缩模量	比贯入阻力	摩阻力	端承力
		W (%)	I <sub>L</sub>	e	w <sub>L</sub>	f <sub>k</sub> (kPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	p <sub>s</sub> (MPa)	Q <sub>s</sub> (kPa)	Q <sub>p</sub> (kPa)
(2)	淤泥质粉质粘土	32.1	0.711	0.884	35.8	80	3.5	0.65	12	
(3)	粉 砂	30.2				90		2.1	15	
(4)	淤泥质粉质粘土	38.4	0.581	0.991	31.7	100	4.0	0.80	18	
(5)	粉 砂	34.0				110	4.3	2.5	25	
(6)	粉 质 粘 土	36.6	0.429	0.998	44.9	130	5.0	0.90	30	
(7)	粉 砂	29.5				150		3.40	30	1000

形要求,且施工难度大,造价高,因而决定采用沉管夯扩桩。夯扩桩属端承桩,其桩端持力层应同时具备两个方面的条件,既有较高的桩端土承载力,又要有利夯扩头的制作。本场地的第(7)层粉砂,属中低缩性土,桩管易贯入,有利于夯扩头直径的扩大,以保证足够的单桩承载力值。根据场地的地层情况,设计桩长11.5m,桩径 $\phi 377$ mm,一次夯扩,则单桩承载力标准值估算如下:

$$R_u = \pi D^2 q_{0\beta} / 4 + \pi d \sum q_{s,j} L_j$$

$$= 3.14 / 4 \times 0.55^2 \times 1000 \times 1.3 + 3.14 \times 0.377 \times (12 \times 1.1 + 15 \times 1.0 + 18 \times 4.5 + 25 \times 0.9 + 30 \times 2.5 + 30 \times 1.5)$$

$$= 606.5 \text{ kN}$$

其中:  $\beta$ 取1.3

扩大头直径 $D = 550$ mm

根据建筑物上部荷载情况及预估单桩极限承载力,单桩承载力设计为600kN,桩身混凝土标号C<sub>20</sub>,砼充盈系数>1.05,配筋6 $\Phi 14$ 。

## 2 施工与检测

### 2.1 桩基施工情况

本工程桩基施工于1994年7月开始,采用泰山-1型夯扩打桩机施工。该机落锤重40kN,外管直径 $\phi 377$ mm,内套管直径 $\phi 219$ mm,堵头直径 $\phi 350$ mm,沉管时落距0.8m,夯扩时落距1.5m,拔管速度1m/min。施工严格按规程要求,夯扩时外管投

料高度3.0m,外管上拔高度1.2m,保留高度 $c = 0.2$ m,砼灌注充盈系数1.14,砼灌注量1.65m<sup>3</sup>。同时控制桩管进入持力层的深度和最终10击的贯入度,保证桩端进入持力层1.5m的设计要求,并控制沉管和拔管速度,以保证桩的垂直度。为避免混凝土产生离析和断桩现象,采取利用内管压住混凝土再拔外管等措施,以确保桩身的施工质量。

### 2.2 桩基检测成果分析

桩基在完成28d后分别进行单桩静载和高应变动测试验。测试成果见表2,表3。

表2

桩号	桩端持力层	桩径 (mm)	桩长 (m)	最大试验荷载		单桩承载力 标准值R <sub>s</sub> (kN)
				Q <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>	
I	粉砂	377	11.5	1300	25.1	650
II	粉砂	377	11.5	1400	27.2	700
III	粉砂	377	11.5	1200	32.5	600

表3

序号	桩号	桩径	桩长	单桩极限 承载力 (kN)
1	72	377	11.5	1236
2	127	377	11.5	1315
3	78	377	11.5	1315
4	16	377	11.5	1236
5	311	377	11.5	1236
6	98	377	11.5	1295
7	44	377	11.5	1275
8	68	377	11.5	1256

静载试验Q—S曲线图见图1。该工程选择3根桩进行慢速维持法试验，I号桩曲线比较圆滑，最大加载量1300kN，未出现明显拐点，因桩头破裂而终止加载，最大沉降量25.1mm。II号桩沉降较I号稍小，在加载至1400kN时沉降速率加剧，在1400kN后可能出现拐点，已接近破坏，此时桩顶沉降为27.2mm。III号桩沉降较I号稍大，在1200kN时，沉降32.5mm，且沉降速率加快，观测24小时未稳定，达到极限状态。与预估承载力606.5kN基本一致。

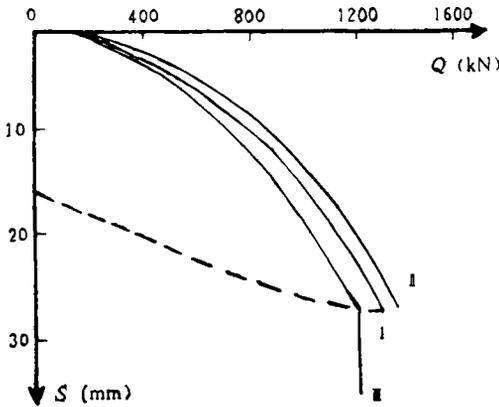


图 1 Q—S曲线图

### 3 小结

(1) 夯扩桩具有承载力高，施工方便，造价低等优点。其承载力值与场地工程地质条件密切相关，勘察报告的准确程度对桩基

的设计及单桩承载力的估算十分重要。我们在高青县勘察设计的8项夯扩桩工程中，场地地层厚度基本均匀，层位也相对稳定，一般选择埋深11.0~13.0m粉砂层作为桩端持力层，根据动测或静载资料，桩径 $\Phi 377$ mm，一次夯扩桩其单桩承载力在500~650kN之间，二次夯扩桩在650~750kN之间。根据我们的经验，黄河下游冲积土层多为粘性土与砂土交互并含有淤泥质软弱层，其容许摩阻力 $q_a$ 按规范应取下限值为宜。

(2) 夯扩桩为现场制作的灌注桩类型。现场施工应从桩长和贯入度两方面确保质量，以控制桩端进入持力层到达设计深度，并严格控制最后10击的贯入度。拔管速度应控制在1m/min左右，以防止缩径、离析及断桩现象的发生，保证桩身的完整性。

(3) 夯扩桩的检测原则上还应以静载荷试验为主，在有地区经验时根据动测试验检查，方法简捷、准确、可靠，且节省人力、物力，经济效果明显。

### 参 考 文 献

- 1 徐扬青. 夯扩桩和粉喷桩的应用比较. 水文地质工程地质, 1996, 3
- 2 金问鲁. 地基基础实用设计施工手册. 中国建筑工业出版社, 1995, 11
- 3 林在贯、高大钊. 岩土工程手册. 中国建筑工业出版社, 1995, 4

(上接第42页)

综上所述，以中川机场运营20多年的工程经验教训为基础，考虑机场自然历史地质环境和人为作用工程地质因素（或条件），中川机场已形成了复杂的环境工程地质条件。因此，对机场改扩建工程的实施和运营中的环境工程地质问题进行预测，是很必要的。其中包括：上部自重湿陷性黄土；下部角砾层的岩土工程性质；地面沙坑、塌陷坑

洞，暗埋洞穴、竖井、平巷；“引大入秦”灌溉工程对场区水文地质环境的影响；地下水位上升幅度；湿陷对地表地形地貌的改造；施工振动；地震作用；道面的覆盖；飞机运营荷载等环境因素的综合作用，进行中川机场环境工程地质的科学分析、评价、预测，以制定合理的工程实施措施，决定灾害的防治政策，从而保障该机场工程实施的顺利和运营过程的安全稳定。