

深黄土地区进行工程桩承载力试验的必要性分析

◎常斌¹ 周润田² 徐珍³

摘要: 以兰州市深黄土地区某建设项目工程桩试验数据为依据,通过计算和分析确定了单桩承载力及其特征值,为设计提供依据。通过对结果的分析,大幅减少工程桩数量,在保证安全和质量的前提下节约资金并缩短工期,将取得良好的效益。

关键词: 自重湿陷性黄土 承载力特征值 静载自平衡法

兰州市某建设项目场地位于甘肃省兰州市七里河区彭家坪,场地北侧及西侧临街,东侧和南侧均为空地。该项目拟建建筑为一栋地上6层科技研发办公楼、一栋地上3层沿街商业及一栋地上23层住宅楼。同时设有地下室,其中,地下1层为设备用房,地下2层为地下车库。办公楼和商业楼均为框架结构,住宅楼为剪力墙结构,最大建筑高度约为70米,地下均为桩筏基础该场地抗震设防烈度8度,设计地震基本加速度值0.20g、特征周期0.45s,设计地震分组第三组,场地类别Ⅱ类。

一、地质与试桩概况

(一) 地质概况

1. 杂填土(Q4ml)

杂色,稍湿,稍密,含有较多的碎石、卵石、砖块和砾砂等建筑垃圾及少量的生活垃圾,土质不均匀,该层在场地内均有分布。该层厚度为0.50~4.00m,层面标高为1596.55~1598.85m。

2. 黄土状粉土(Q4al+pl)

浅黄色~黄褐色,稍湿,稍密~中密,土质较均匀,孔隙较发育,摇震反应迅速,无光泽反应,干强度低,韧性低,该层在场地内均有分布。该层埋深为0.50~4.00m,厚度为37.10~40.90m,

层面标高为1592.55~1598.26m。

3.-1 细砂(Q4al+pl)

浅黄色,稍湿,中密,主要矿物成份以石英、长石为主,砂质较纯,含有少量砾石及粉土团块。该层仅在1#、5#和6#勘探点中揭露。该层埋深为25.00~28.30m,厚度为1.70~2.50m,层面标高为1568.82~1572.51m。

4. 卵石(Q4al+pl)

青灰色,中密~密实,级配良好,磨圆度较好,多呈亚圆形~圆形,主要矿物成份以砂岩、花岗岩、变质岩为主,主要颗粒粒径为20~50mm,偶含少量漂石;该层上部与黄土状粉土接触面上平均厚约2.0m含土量较大,卵石层充填物主要为粉土、砾砂及粗砂,充填较饱满,该层在场地内均有分布。该层埋深为40.40~42.00m,层面标高为1554.55~1557.76m,该层勘察揭露厚度为7.10~10.60m,未揭穿。

本次勘察深度范围内未见地下水,可不考虑地下水影响。地基土对拟建建筑物混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋和钢结构均具有轻微腐蚀性。

本场地土类型属于中软土,场地类别Ⅱ类。②黄土状粉土具湿陷性,湿陷等级为Ⅲ级(严重)~Ⅳ级(很严重)自重湿陷性,湿陷下限深度为18.50~22.50m。

(二) 试桩概况

该工程采用机械钻孔钢筋混凝土灌注桩基础,基础设计等级甲级。设计桩径0.8m,桩端持力层为③层卵石,进入持力层不小于2.0m。设计桩身混凝土强度等级C35,桩端采用后注浆处理。试桩桩周自重湿陷性土层厚度22.5m。

根据该项目试桩技术要求:

1. 该工程拟采用干作业后压浆旋挖灌注桩

按照《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)要求地基基础设计等级为甲级,单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷试验确定,为设计提供依据。

2. 试桩要求

对桩进行单桩竖向静载荷试验,确定单桩竖向承载力特征值,试桩数量为3根,位置坐标见表1。

试验方法采用自平衡法,试验数量3根。自平衡荷载箱埋设在桩身距桩端2.0m处,见表2。

二、试桩试验概况

(一) 试验目的

通过3根基桩静载荷试验(自平衡法),确定单桩承载力特征值,为设计提供依据。

表1 试桩位置坐标汇总表

桩号	X方向坐标(m)	Y方向坐标(m)	高程(m)
SZ-1	554353.987	538438.337	1597.50
SZ-2	554349.657	538520.103	1598.27
SZ-3	554365.575	538461.417	1597.25

表 2 设计试桩参数

桩号	桩长 (m)	桩径 (m)	上段桩长 (m)	下段桩长 (m)
SZ-1	42.6	0.8	40.6	2.0
SZ-2	42.2	0.8	40.2	2.0
SZ-3	41.8	0.8	39.8	2.0

(二) 检测方法

采用自平衡法进行单桩竖向抗压承载力试验，加载方式采用慢速维持荷载法。

(三) 试验原理

用桩侧阻力作为桩端阻力的反力测试桩承载力的概念早在 20 世纪 70 年代就被日本人提出。20 世纪 80 年代中期，赛斯

特伯格将此技术用于工程实践并推广到世界各地。1996 年东南大学率先在国内应用，目前该法已在 28 个省、市普遍采用，称为自平衡法。

静载自平衡法的主要装置是一种经特别设计可用于加载的荷载箱。它主要由活

底盖的外径略小于桩的外径，在顶、底盖上布置位移棒。将荷载箱与钢筋笼焊接成一体放入桩体后，即可浇筑混凝土成桩。检测时，在地面上通过油泵加压，随着压力增加，荷载箱将同时向上、向下发生变位，促使桩侧阻力及桩端阻力的发挥，见图 1。定单桩承载力特征值，为设计提供依据。

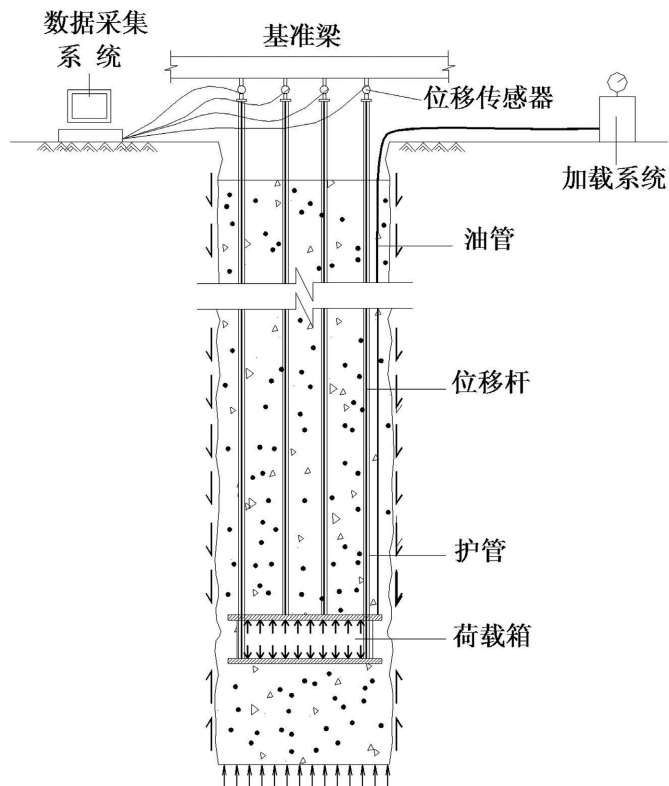


图 1 桩承载力自平衡试验示意图

荷载箱中的压力可用压力表测得，荷载箱的向上、向下位移可用位移传感器测得。因此，可根据读数绘出相应的“向上的力与位移图”及“向下的力与位移图”，根据向上、向下 Q-s 曲线判断桩承载力、

桩基沉降、桩弹性压缩和岩土塑性变形。

(四) 加载方法

根据《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T403-2017)，将按照如下方式加载：

桩承载力自平衡检测采用慢速维持荷载法。加载：分 10 级加载，每级加载为预估承载力的 1/10，首级加两级。卸载：分 5 级卸载，每级卸载为加载级别的 2 倍。

1. 加载数据记录

每级加载后在第 1h 内观察第 5、15、30、45、60min 的位移值，以后每隔 30min 观察一次。

2. 位移相对稳定标准

上、下位移每 1h 内的位移量均不大于 0.1mm，并连续出现两次（从分级荷载施加后第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的位移量计算）。

3. 当位移速率达到相对稳定标准，可施加下一级荷载。

4. 卸载数据记录

每级荷载维持 1h，按第 15min、30min、60min 测读位移量后，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读残余位移量，维持时间为 3h，测读时间为第 15min、30min，以后每隔 30min 测读一次。

(五) 终止加载条件

1. 某级荷载作用下，位移量大于或等于前一级荷载作用下位移量的 5 倍。但位移能相对稳定且上、下位移量均小于 40mm 时，宜加载至位移量超过 40mm。

2. 某级荷载作用下，位移量大于前一级荷载作用下位移量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准。

3. 已达到最大极限加载值。

4. 当荷载——位移曲线呈缓变型时，向上位移可总量可加载至 40~60mm；向下位移可加载至位移量 60~80mm；在特殊情况下，根据具体要求，可加载至累计位移量超过 80mm。

三、单桩荷载计算

(一) 单桩竖向极限承载力的确定

确定单桩竖向极限承载力时，应绘

制 $Q_u^s - s_s$ 、 $Q_u^x - s_x$ 、 $s_s - \lg t$ 、 $s_x - \lg t$ 曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。按照《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T403—2017) 第 5.0.1 条确定单桩竖向抗压极限承载力。

1. Q_u^s 和 Q_u^x 的确定

(1) 根据位移随荷载的变化特征确定：对于陡变型 $Q_u^s - s_s$ 、 $Q_u^x - s_x$ 曲线，取其发生明显陡变得起始点对应的荷载值。

(2) 根据位移随时间的变化特征确定：应取位移量与加载时间的单对数曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值。

(3) 出现终止加载条件第(1)、(2)款情况，取前一级荷载值为极限承载力。

(4) 对缓变型 $Q_u^s - s_s$ 、 $Q_u^x - s_x$ 曲线，按位移值确定极限承载力值，上段桩极限加载值取对应位移为 40mm 时的荷载，当上段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身的弹性压缩量；下段 Q_u^x 取对应于向上位移 $s_s = 40\text{mm}$ 对应的荷载值；对直径大于或等于 800mm 的桩，可取荷载箱向下位移量为 0.05D (D 为桩端直径) 对应的荷载值。

(5) 当按本条前四条款不能确定时，宜分别取向上向下两个方向的最大试验荷载作为上段桩极限加载值和下段桩极限加载值。

2. 单桩极限承载力的推定

自然含水量状态下推定单桩竖向抗压极限承载力可按下列公式计算：

$$Q_u = Q_{ud} + (Q_{uu} - W) / \gamma_1 \quad \text{式 1}$$

式中： Q_u ——单桩竖向极限承载力值；

W ——荷载箱上段桩的自重与附加重量之和；

γ ——荷载箱上段桩侧阻力修正系数，

根据荷载箱上部土的类型确定，粘性土、粉土取 0.8，砂土、碎石土取 0.7，岩石取 1.0，若上部有不同类型的土层， γ 取加权平均值；

参加统计的测试桩不少于 3 根时，当满足极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值作为单桩竖向抗压极限承载力。当极差超过平均值的 30% 时，应分析极差过大的原因，结合工程具体情况综合分析，必要时可增加测试桩数量。

(二) 单桩承载力特征值的确定

桩抗压承载力特征值按式计算：

$$Q_{ak} = \frac{Q_{uv}}{\gamma_2} \quad \text{式 2}$$

(三) 单桩可承担的上部结构荷载

考虑浸水后桩周土体湿陷产生下拉荷载 Q_g 的不利影响，根据《建筑桩基技术规范》JGJ94—2008 第 5.4.3 条规定， $N_k \leq R_u - Q_g$ ，则单桩可承担上部结构荷载为按式 4.1.9 计算，本项目岩土工程勘察报告给出的负摩阻力为 -30kPa。

$$N_k \leq R_u - \lambda_y Q_g \quad \text{式 3}$$

$$Q_g = \pi d l q \quad \text{式 4}$$

式中：d——桩径 (m)；

l——自重湿陷性土层厚度 (m)；

q——桩侧负摩阻力 (kPa)；

λ_y ——下拉荷载折减系数，按地 DB62/T25—3084—2014 表 6.2.1 取值，(本次 λ_y 按 0.80 取值)。

四、试验结果与分析

(一) 1号试桩

桩长 42.6m，自平衡试验最大加载 14400kN，经计算试桩在自然含水量状态下的单桩竖向抗压极限承载力为 13890kN。

表 3 试验加载结果表

桩号	桩径 (m)	桩长 (m)		最大加载值 (kN)		位移 (mm)		极限承载力 (kN)	
		上段	下段	向上	向下	向上	向下	向上	向下
SZ-1	0.8	40.60	2.0	7200	7200	10.64	19.98	7200	7200
SZ-2	0.8	40.20	2.0	6600	6600	2.31	15.35	6600	6600
SZ-3	0.8	39.80	2.0	6000	6000	5.31	41.06	6000	6000

表 4 自然含水量状态下单桩极限承载力

桩号	桩径 (m)	桩长 (m)	自然含水量状态下单桩极限承载力 (kN)	备注
SZ-1	0.8	42.60	13890	γ 取 0.8
SZ-2	0.8	42.20	12695	
SZ-3	0.8	41.80	11288	

表 5 考虑浸水后单桩极限承载力

桩号	桩径 (m)	桩长 (m)	湿陷性土层厚度 (m)	天然状态 (正摩阻力)	单桩极限承载力 (kN)
SZ-1	0.8	42.60	16.5	40	12232
SZ-2	0.8	42.20	16.5	40	11037
SZ-3	0.8	41.80	16.5	40	9630

(二) 2号试桩

桩长 42.2m, 自平衡试验最大加载 13200kN, 经计算试桩在自然含水量状态下的单桩竖向抗压极限承载力为 12695kN。

(三) 3号试桩

桩长 41.8m, 自平衡试验最大加载 12000kN, 经计算试桩在自然含水量状态下的单桩竖向抗压极限承载力为 11288kN。

自然含水量状态下单桩极限承载力按式 5 计算, 计算结果见表 4。

$$Q_u = Q_{ua} + (Q_{uw} - W) / \gamma_1 \quad \text{式 5}$$

由此分析, 3 根试验桩, 清底干净, 桩端采取后注浆工艺, 极限承载力极差未超过平均值的 30%, 在自然含水量状态下单桩极限承载力为平均值 12624kN。

本次试验场地为自重湿陷性黄土地, 试验时为天然状态, 上段桩侧阻力为天然状态下的侧阻力, 考虑浸水后桩侧摩阻力下降, 根据甘肃省的标准 DB62/T25-3084-2014《湿陷性黄土地区建筑灌注桩技术规程》规定及该地区工程经验, 自然含水量状态下正摩阻力可取 40kPa, 因后期工程桩桩顶标高降低约 6m, 湿陷性土层按 16.5m 计算。浸水后的单桩极限承载力见表 5。

由此分析, 在考虑湿陷性土层浸水后, 单桩承载力特征值可取平均值 5500kN。

下拉荷载的不利影响, 单桩承载力特征值可取 5500kN, 单桩可承载的上部荷载取 4500kN。



五、结论

该项目试验桩, 自重湿陷性场地, 桩径 0.8m, 桩端持力层为③卵石层, 桩端进入持力层不小于 2m, 清底干净, 桩端采取后注浆处理, 桩顶标高自勘察时地面标高下降 6m 后, 自然含水量状态下单桩极限承载力可取平均值 12624kN, 考虑自重湿陷性土层浸水后正摩阻力不计、产生

作者单位:

1. 常斌, 黑河黄藏寺水利枢纽工程建设管理中心
2. 周润田, 黑河水资源与生态保护研究中心
3. 徐珍, 甘肃众联建设工程科技有限公司