

CFG桩复合地基检测常见问题讨论和分析

吴伟婧¹ 李 宁¹ 杜 江¹ 魏建友²

1. 国检测试控股集团北京有限公司 北京 101113

2. 中国国检测试控股集团股份有限公司 北京 100024

摘 要：CFG桩复合地基是一种由高粘结强度桩和桩周土相互作用形成的复合地基，由CFG桩体（水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂组成）、CFG桩由三部分组成，分别为水泥粉煤灰碎石桩体、承台下处理土层和褥垫层。随着CFG桩的普遍应用，针对CFG桩的检测变得越来越重要，如何保证检测结果的准确性，时间节点合理性，保证复合地基承载力的有效发挥，保证上部结构的安全特别重要。

关键词：荷载试验；CFG桩检测；面积置换率

中图分类号：TU36

引言

CFG桩复合地基施工完成后需进行地基承载力施工质量验收，采用静力载荷（快速/慢速维持荷载法）试验以验证复合地基承载力特征值是否满足要求，验证设计合理性和施工质量，往往采用低应变法检测其CFG桩桩身的完整程度，这一方法基本可以发现桩身缺陷。

本文主要针对目前实际工程中对CFG桩复合地基静载荷试验中存在的问题，如承压板刚度不够、承压板尺寸选择不当、最大加载压力偏小等不合理等原因等进行了分析，并提出了相应的改进建议。

1 复合地基试验检测地基承载力方法介绍

《建筑地基处理技术规范》中规定复合地基载荷试验用于测定承压板下附加应力主要影响范围内（基础或承压板下一定深度，一般为3~5倍承压板边长）桩与桩间土的承载力特征值。复合地基载荷试验所用的载荷板必须保证钢板具有足够的刚度，保证其变形满足要求、本身变形量很小。复合地基载荷试验所用承压板形状宜规则，目前普遍使用圆形或方形，承压板的面积为一根CFG桩承担的土体处理面积（ A_p/m ）或多根桩的处理面积。

1.1 载荷试验仪器

复合地基静载荷试验加载装置采用油压千斤顶，配重宜采用大吨位配重，也可以采用其他反力支撑装置，单桩复合地基静载荷试验桩中心（或形心）应在竖向与刚性承压板中心保持重合，并与荷载作用点相一致。试验开始时承压板底面应铺设一定厚度的粗砂或中砂垫层（一般为100mm左右，厚度超过或者不足，均不能满足要求），保证基底处理土层和CFG桩受力均匀协调。

第一作者：吴伟婧(1990.09-)，女，助理工程师，从事技术质量管理工作。

位移测量点应布置在承压板上且不应布置少于4只位移传感器，复合地基静载荷试验的反力装置可采用压重平台反力装置、地锚反力装置。位移观测所用基准梁宜架设在试坑以外，且与承压板边的净距不应小于2m，位移测量装置不受加载所影响，确保位移观测准确性，载荷试验应在CFG桩桩顶设计标高进行，处理土层应整理平整，试坑开挖宽度和长度不应小于承压板边长或直径的3倍。

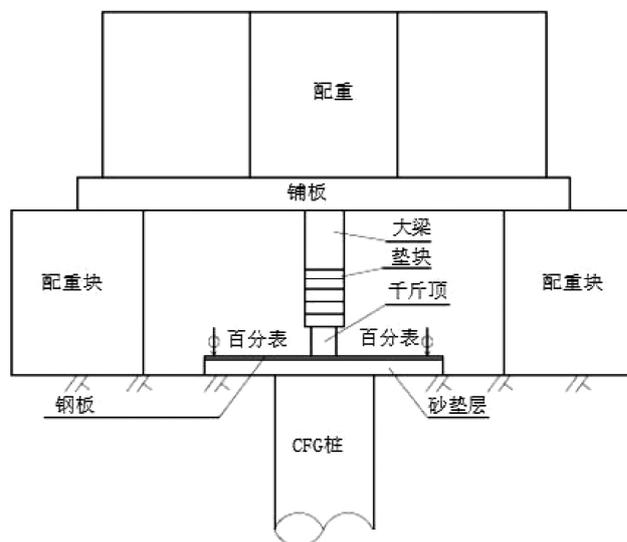


图1 复合地基检测示意图

1.2 试验方法

载荷试验应按慢速维持荷载法进行（地质情况简单、经验成熟地区也可以采用快速维持荷载法），加载等级可分为（8~12）级，等速均匀加载，验收试验最大加载压力应大于设计要求复合地基承载力特征值 f_{spk} 的2倍。每加一级加荷前后均应读记承压板沉降量一次，以后0.5h读记一次。当1h内沉降量小于0.1mm时，即认为该

级沉降稳定，即可施加下一级荷载。

1.3 载荷试验检测数据的分析与结论判定

按《建筑地基处理技术规范》附录B.0.10确定复合地基承载力特征值：

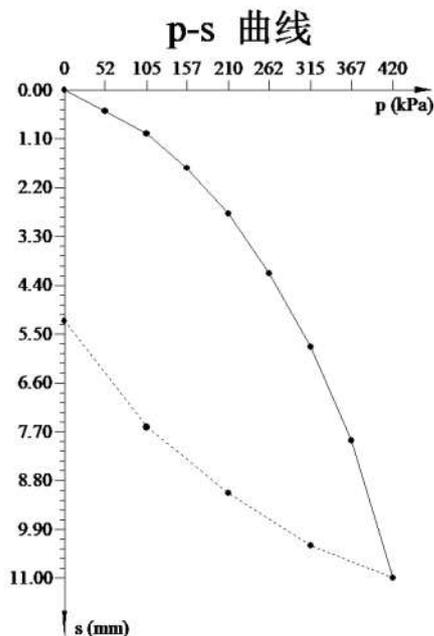


图2 复合地基压力-沉降s-p曲线

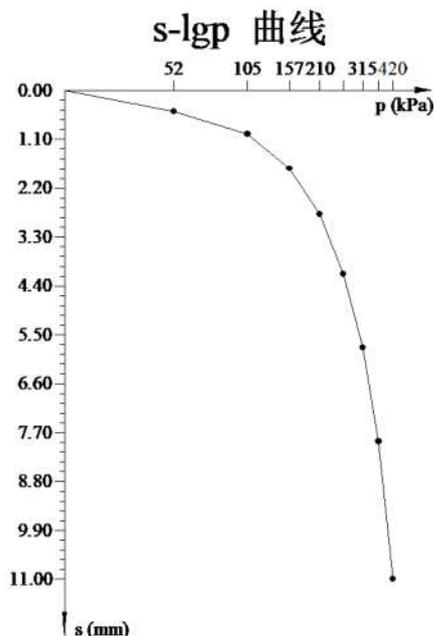


图3 复合地基沉降s-lgp曲线

2 荷载试验检测时间

为保证桩间土休止时间和桩身强度满足试验要求，复合地基承载力检验宜在复合地基施工结束后进行或周围无扰动后进行（一般休止时间为28天）。采用低应变法检测其桩身是否存在缺陷，采用复合地基静载荷试验

检测地基处理后土层地基承载力。实际地基处理工程中对复合地基质量检测往往存在工期紧，任务重，很多情况致使载荷试验未达到休止时间要求便进行检测，此时处理土层尚未完全重新固结，土中超空隙水压力未完全消散，土颗粒有效应力未完全发挥，土体承载力无法完全发挥。《建筑地基处理技术规范》（JGJ79—2012）^[1]中规定：对有粘结强度的复合地基增强体必须进行增强体单桩静载荷试验，以检验竖向增强体承载力特征值。

3 复合地基承载力检测中常见问题

实际工作中，CFG桩复合地基施工完成后，施工方或建设方需委托第三方机构进行复合地基承载力试验和CFG桩身完整性检测。CFG桩设计一般桩长较桩基础更短更细，桩径一般在350mm~600mm左右，故低应变法检测其桩身完整性曲线相对清晰，桩底反射波更为明显，一般完整性判定较直观，桩身缺陷很容易被发现。复合地基载荷试验在实际检测工作中仍存在一些容易忽视的地方。本文对实际检测工作中遇到的一些常见问题进行讨论和研究。

3.1 承压板尺寸刚度不足

承压板为保证CFG桩和桩间土共同承担检测荷载，承压板刚度不足会导致位移观测量偏大，且承压板板底受力不均。有些单位采用多层钢板，从底层向上几何尺寸逐渐减小的组合式荷载板^[2]，如图4所示，由于复合地基承载力特征值一般在150~200kPa以上，载荷试验加压力值是两倍特征值，还要乘以压板面积，加载值一般在几十吨甚至上百吨。随着加载级数增多，钢板变形逐渐变大，千斤顶压着钢板下沉，但钢板下沉时会因自身变形，中间受压变形大，四周略微向上翘，如果钢板变形严重，则桩周土受压影响变小，CFG桩开始承担更多压力，导致桩身沉降量增大。甚至可能沉降量过大导致提前结束测试，试桩测试结果不合格等。所以在检测开始前一定根据复合地基特征值大小要准备刚度足够的承压板。下图5为一改进承压板示意图，此钢板保证具备足够的刚度。

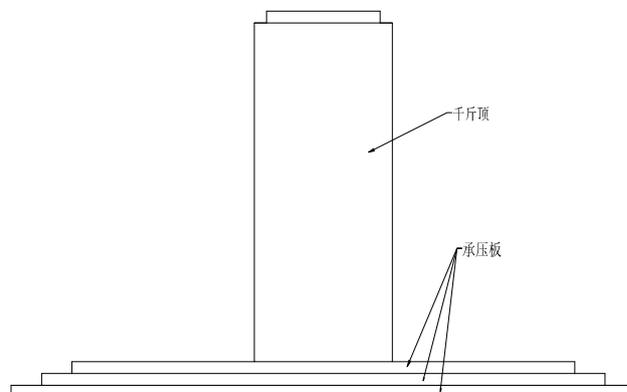


图4 多层钢板作为承压板示意图



图5 足够刚度圆形承压板示意图

3.2 承压板尺寸选择不正确

CFG桩复合地基设计时，因地基持力层情况不同，现场施工环境不同，往往设计给出的CFG桩距不一定相同，设计根据实际情况考虑的面积置换率不同，即一根桩承载的处理面积不同，这就要求地基检测单位应配备有各种不同尺寸且足够刚度的承压板。单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形，面积为一根桩承担的处理面积，选择承压板时一定要选择合适大小的承压板，而不是随便选择一块刚度大的钢板就行。

复合地基初步设计时，增强体单桩竖向承载力特征值可按式1估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A_p \quad \text{式1}$$

式中： u_p 为桩的周长， q_{si} 为桩侧阻力， l_{pi} 为桩长范围内第*i*层土的厚度， q_p 为桩端阻力， α_p 为端阻力发挥系数。

再根据式2计算处理后复合地基承载力特征值：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \quad \text{式2}$$

式中： λ 单桩承载力发挥系数， f_{sk} 处理后桩间土承载力特征值，可按地区经验确定， β 桩间土承载力发挥系数， A_p 为桩的截面积， m 为面积置换率。

此处面积置换率关系到承压板尺寸的大小，

面积置换率： $m = \frac{d^2}{d_e^2}$ 为桩身平均直径； d_e 为一根桩承担的处理地基面积的等效圆直径。CFG桩布置一般为一下三种方式：

若为等边三角形布桩如图6，每根桩所承担的面积见图中所示面积的2倍，等效圆形直径为1.05S；若为正方形布桩如图7每根桩所承担的面积见图中虚线部分，等效圆形直径为1.13S；

若为矩形布桩，如图8，每根桩所承担的面积见图中虚线部分，等效圆形直径为 $1.13\sqrt{s_1s_2}$ 。

以正方形为例，等效圆形直径为1.13S，面积为 $\pi(1.13S)^2/4 = 1.003S^2$ ，按实际分担面积计算得S2，两者基本相同。

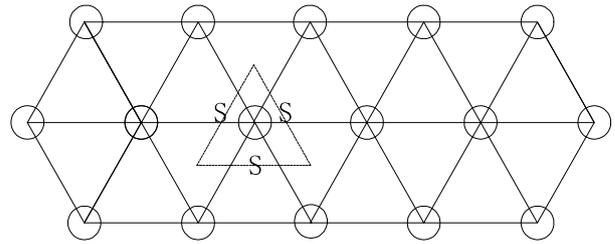


图6 等边三角形布桩示意图

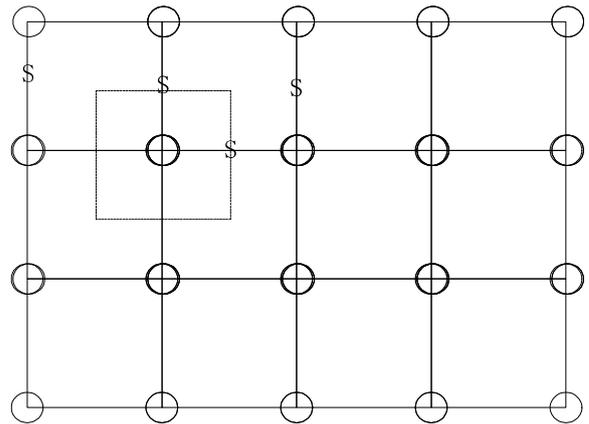


图7 正方形布桩示意图

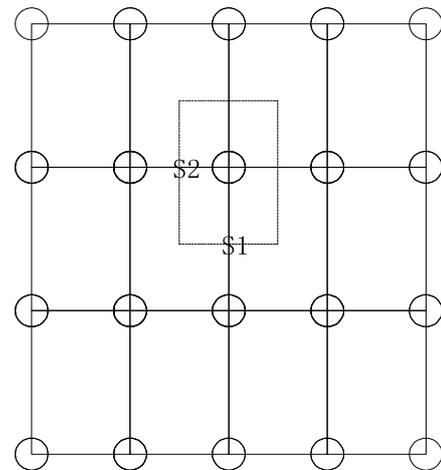


图8 矩形布桩示意图

实际检测过程中，一旦试验人员承压板尺寸选择不正确，加载的重量也就不准确，最后算得承载力特征值肯定也不是真实值，给上部房屋结构安全留下隐患。所以必须深刻理解其置换原理，选择合适大小的承压板。

3.3 载荷试验最大堆载压力偏小

当实测荷载-位移曲线是平缓的光滑曲线时，该地基变形处在可控弹性阶段，可按相对变形值确定复合地基承载力特征值（视处理土层不同， s/b 限值不同），且该值不应大于最大加载压力的一半。

最大加载压力不应小于设计要求压力值的2倍。实际工作中不少检测单位选用的最大加载压力值刚好是设计

要求承载力特征值的2倍。例如设计要求检测复合地基承载力特征值为165kPa。最大加载压力为复合地基承载力特征值的2倍,即330kPa,且试验结果承载力由1/2最大加载压力控制,分10级加载,每级加载量为16.5kPa。试验结束后,所检测3点复合地基承载力特征值分别为165kPa、165kPa、148.5kPa,有一点处理地基承载力不满足要求,极差为16.5kPa,平均值为159.5kPa,取复合地基承载力特征值为159.5kPa,不满足设计规定的165kPa要求。

如果在保证配重富裕和仪器量程满足要求的前提下,每根桩最大堆载压力适当加大,比如选用设计要求的复合地基承载力特征值的210%左右,即极限加载至346.5kPa,3点复合地基承载力检测结果为173.25kPa、173.25kPa、148.5kPa。有一点处理地基承载力不满足要求,得均值为165kPa,极差为24.75kPa,极差与平均值之比为 $15\% \leq 30\%$,试验结果承载力特征值为165kPa,满足承载力要求。

所以,在进行复合地基静载试验时,在保证安全的前提下,荷载试验无任何塑性发展迹象,且试验测试桩头无明显开裂迹象时,最大加载压力适当大于设计要求压力值的2倍。以防止错判和误判,但对于不满足承载力部

位仍需进行问题验证和修复。适当加大试验最大压力时,一定要考虑液压千斤顶的加载能力,防止意外发生。

3.4 考虑检测堆载平台下土体承载力能否满足要求

在堆载前,首先应验算最大堆载对承台支墩下土体的集中力是否大于地基承载力特征值的1.5倍,如果大于此值,一定要加大平台与土体接触底面积。试验时要求堆载一定牢固且平稳缓慢堆载,保持堆载平台中心与桩中心一致,不要产生偏心,加载过程中一定密切关注承台支墩土体和主梁的、次梁的变形,观察堆载平台的变形。恶劣天气(降雨或大风)一定要暂停检测工作,防止意外事故发生。

4 结语

在一般住宅项目或轻型工业厂房,当前CFG桩复合地基应用越来越广泛,CFG桩施工质量验收快速客观、准确、真实极为重要,目前在CFG桩复合地基检测试验中可能存在的问题,应予以高度重视,避免产生安全隐患。

参考文献

- [1]《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—2012);
- [2]罗鹏飞,佟建兴,孙训海,刘建飞CFG桩复合地基检测常见问题