

采用轻型动力触探检测合肥地区 Q₃ 黏土地基承载力的几点思考

文 / 刘 锋 煤炭工业合肥设计研究院有限责任公司

摘 要：自 21 世纪以来，中国的城市建设快速发展，基础工程质量越来越重要，地基基础的检测越来越受到重视，轻型动力触探通过对地基土层锤击数的实测，对土层的承载能力进行粗略估算，对地基土层中的古井、古墓、洞穴、地下掩埋物等是否存在进行探测，是判断地基浅层地质状况的一种辅助手段。近年来，轻型动力触探对基础承载力进行检测，并以此作为设计验收的依据，在合肥建设工程中得到普遍应用。本人结合地区经验及工程实例对采用轻型动力触探检测合肥地区 Q₃ 黏土地基承载力进行几点探讨，分析并提出了在检测中存在的问题及建议，为类似的检测提供参考。

关键词：轻型动力触探；合肥地区 Q₃ 黏土；承载力

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.14.050

引言

现行《建筑地基基础工程施工质量验收标准 GB50202-2018》（验收标准，下同）附录 A.2.3 规定，天然地基验槽前，要对基底土层进行圆锥轻型 N10 动力触探检验。近年来，轻型动力触探对基础承载力进行检测，并以此作为设计验收的依据，在合肥建设工程中得到普遍应用。目前在轻型动力触探检测过程中，常常出现以现场 N10 实测击数仅参照 JGJ340-2015《建筑地基检测技术规范》（地基检测规范，下同）中表 8.4.9-1 来确定天然地基承载力特征值的行为，而其值又远低于当地经验值，给建设、勘测、设计及施工带来很大困扰。笔者结合包河区某幼儿园项目，对采用轻型动力触探检测合肥地区老黏土地基承载力进行几点探讨，为轻型动力触探更好的应用提供借鉴。

一、轻型动力触探

圆锥轻型动力触探是常用的岩土勘察原位试验方法之一，适用于浅部的填土、粘性土等，它是用 10kg 穿心锤，将 Φ40mm 圆锥探头打入土中，根据每贯入 30 公分的锤击数判别土的工程性质，对地基土做出评价。圆锥轻型动力触探设备简单易用，可用于检验地基土的均匀性、检验基底是否存在软弱下卧层、估算浅基础地基承载力几方面的工作。

二、合肥市第四系地层简介



图 1 第四系覆盖层略图

第四纪地层在合肥地区的厚度分布有一定规律：大体上以 F3 断层为界，其东侧厚于西侧；以 F5 断层为界，其北侧比南侧要厚。这一区域分布的三大主干断裂（即 F1、F3、F5 断裂），从第四系堆积厚度及其分布规律来看，将合肥市区切割成五大块：

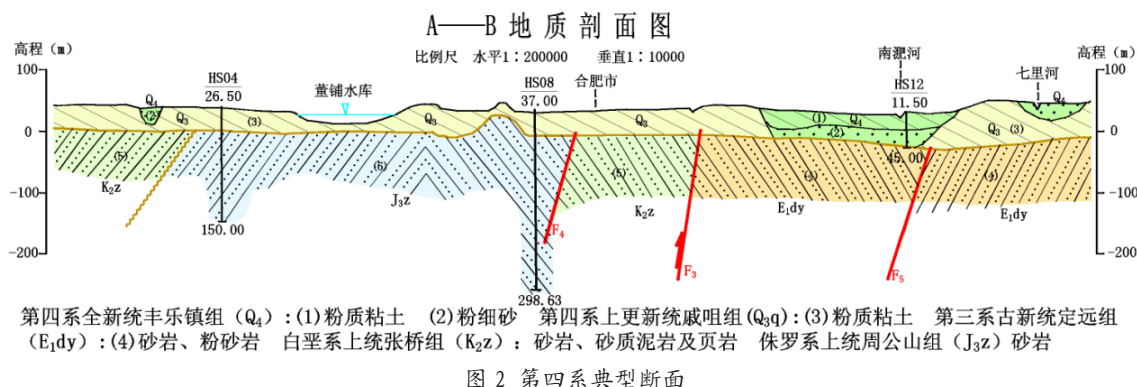
分区	厚度分布规律
A 区	晚更新世下降，中、下更新世大面沉积；全新世板块抬升，四里河、板桥河快速发育，切割地块，南淝河河道大幅向南迁移。
B 区	晚更新世处于板块抬升阶段，Q ₃ 沉积现象没有出现。全新世慢慢地下降，同时形成 Q ₄ 沉积。
C 区	晚更新世阶段缓缓上升没有 Q ₃ ¹ 沉积，后期稳定形成一些 Q ₃ ² 冲洪积沉积，中夏更新世一直处于平缓抬升。
D 区	与 A 区基本相似，但下降幅度更大，上升时幅度却偏小。
E 区	整个阶段全部在下降，第四纪覆盖层沉积厚度多达 40 米。

合肥市区浅层大面积分布着 Q₃ 上更新统粘性土，构成 II 级阶地。高程一般是 20~30m，厚度一般是 10~30m。以黄褐、灰黄色粘土为主，硬塑~坚硬，灰黄色粘土层中具灰白色条带，内含伊利石、高岭石，属中等偏弱的胀缩土，底部有钙质结核，承载力特征值 220kPa~300kPa。

三、项目情况及分析

（一）概况

合肥市包河区某某幼儿园地上 3 层，建筑最大高度 13.85m，拟采用框架结构，天然地基独立基础。



(二) 地层情况

幼儿园位于合肥市包河区，周围地形属于江淮波状平原，场地微地貌为缓低岗地，场地地形较平坦，场地内钻孔标高 9.83 ~ 11.52m 之间。地层构成按自上而下为：①层填土 (Q₄^{ml})：褐灰黄，湿，松散~稍密状态，均匀性差；层厚最大 2.50m，最小 0.60m，平

均厚度 1.25m，以黏性土为主，局部含碎砖块及烂植物。②层黏土 (Q₃^{al+pl})：褐黄色，硬塑，干强度高，土质均匀，静力触探 Ps 加权平均值 2.85MPa。③层黏土 (Q₃^{al+pl})：黄褐、灰褐，硬塑~坚硬，干强度高，静力触探 Ps 加权平均值 4.55MPa。主要物理力学指标见表 1。

表 1 各土层主要物理力学指标

地层及编号	重度 γ (kN/m ³)	粘聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)
②黏土	18.9 ~ 20.7	56.1 ~ 80.0	14.1 ~ 19.8	8.2 ~ 13.1	220
③黏土	19.1 ~ 20.9	62.2 ~ 84.6	10.3 ~ 25.8	9.3 ~ 13.5	260

(三) 施工情况

2024 年 8 月 20 日，基槽南半部分开外至设计标高（持力层为②层黏土），施工单位项目部及三检单位进行轻型动力触探检测（只测了 30 公分），N10 实测击数为 30-40 击，仅参照《地基检测规范》中表 8.4.9-1 来确定天然地基承载力值，给出地基承载力达不到 220kPa 的结论，整体加深 1.0m，第二次检测仍有部分试验点击数不满足《建筑地基检测技术规范》中表 8.4.9-1 击数换算值，又整体加深 1m，测得击数满足。

(四) 承载力分析

按勘察期间获取的各种指标统计值估算地基承载力特征值：

- ① 根据孔隙比和液性指数查表法， $e=0.699$ ， $I_L=0.25$ ，按原 89 规范查表，得 $f_{ak}=241kPa$ ；
- ② 根据《建筑地基基础设计规范 GB50007-2011》（地基设计规范，下同）5.2.5 公式计算， $C_q=59.4kPa$ ， $\Phi_q=16.0^\circ$ ，依土的抗剪强度（不考虑深宽）， $f_{ak}=297kPa$ ，取 C_q 峰值强度的 80%，得 $f_{ak}=238kPa$ ；
- ③ 根据《工程地质手册》静探经验公式计算法， $PS=2.5 \sim 4.0MPa$ ，评价时取小值平均值 2.85MPa，按 $f_{ak}=0.1PS$ 取值，得 $f_{ak}=285kPa$ ；
- ④ 根据《地基检测规范》表 9.4.7 中公式 $f_{ak}=80Ps+20$ 估算，得 $f_{ak}=248kPa$ ，综合原位测试及土工试验资料，勘察报告承载力建议值 $f_{ak}=220kPa$ ；
- N10 数据估算承载力：
- ⑤ 现场在基底表部进行的 N10 测试数据（30 公分，30-40 击）参照《地基检测规范 JGJ340-2015》中表 8.4.9-1 估算地基承载力 $f_{ak}=160 \sim 200kPa$ ；
- ⑥ 参照中华人民共和国行业标准 YS/T 5219-2019《圆锥动力触探试验规程》中表 6.2.3 估算地基承载力 f_{ak} 大于 220kPa。

《地基设计规范》中对于土层地基承载力特征值的确定方法主要有两种：（1）5.2.3 条：由载荷试验或其他原位测试、公式计算，并结合工程实践经验等方法综合确定。（2）5.2.5 条：当 0.033 倍的基础地面宽度大于等于偏心距 e 时，根据土的内摩擦角指标确定承载力系数，按下式计算地基承载力：

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k \quad (5.2.5)$$

由此可知，结合工程实践经验是非常重要和可靠的方法。合肥地区 Q₃ 黏土地基承载力特征值建议值一般都大于 220kPa，采用这个值进行设计与施工的楼房在合肥地区有成千上万栋，基于精密仪器观测的相关沉降监测数据也证实了历史上未出现过大大沉降变形的情况。而目前资料表明，相同地层中采用 N10 估算的地基承载力大多不超过 200kPa，明显不符合合肥地区工程经验。

本项目检测单位仅参考《地基检测规范》中表 8.4.9-1 来，没有结合其他检测方法及地区经验综合考虑，推定天然地基承载力特征值不合格，一方面给项目带来不利影响，增加造价、延误工期，给工程造成了不小的浪费；另一方面建设单位往往会质疑勘察单位资料的准确性，给勘察单位造成不良社会影响。合肥地区 Q₃ 黏土验收能不能使用轻型动力触探？如何使用轻型动力触探？

四、几点思考

(一) 是否可用轻型动力触探判定地基承载力

轻型动力触探可用于评价地基承载力，但是检测地基承载力的判定依据，现行有效并可以查阅的采用轻型动力触探评价地基承载力的规范主要有：

- ①、《圆锥动力触探试验规程》，中华人民共和国行业标准 YS/T 5219-2019，6.2.3 条规定：可根据轻型动力触探击数 N10 按表 6.2.3 确定黏性土地基承载力标准值。

表 6.2.3 黏性土地基承载力标准值 f_k (kPa)

N_{10}	10	15	20	25	30
f_k	85	100	140	180	220

②、《地基检测规范》：当基础承载力特征值初步判定时，可用表 8.4.9-1 的平均击数 N_{10} 估算。这只是地基承载力进行初步判定的一种估算方法，依据其结果，用来做地基承载力的相关设计和验收是否合适，没有确定说法。

表 8.4.9-1 轻型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_{10} (击数)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
一般黏性土地基	50	70	90	115	135	160	180	200	220	240
黏性素填土地基	60	80	95	110	120	130	140	150	160	170
粉土、粉细砂土地基	55	70	80	90	100	110	125	140	150	160

《验收规范》第 4.2.3 条及表 4.2.4 条明确要求：对于素土地基，施工结束后，应进行地基承载力检查，对地基承载力的检查方法为：静载试验 (standard test)。这说明，必须用载荷板试验来检测验收自然地基的承载力，它的数据要更精确、更严谨，这样才能为设计提供依据。从上面的讨论可知，生搬硬套规范，甚至对规范断章取义，单纯通过查表得出的数据具片面性，直接作为不合格结论的依据更不可取，更不能采用轻型动力触探取代载荷板试验，天然地基承载力设计和验收的依据不能直接采用轻型动力触探检测结果。

(二) 检测深度如何把握

在基坑（槽）开挖过程中，一方面机械扰动可能使地基土结构受到破坏而降低其力学强度；另一方面，开挖后上覆土压力消失，地基土发生回弹（回弹量受挖深和地基土性状影响，一般挖深越大回弹量越大。地基土的应力状态较勘察期间发生改变，其上部变得疏松，承载力随之降低，轻探击数相应变小，其上部约 0.3m 范围内的击数都要小于下部数值。所以若检测深度不足，甚至仅检测表层地基土，推定的承载力并不能反映整个受力层的真实状态。

《地基检测规范》第 8.3.3 条规定：天然地基检测深度要达到主要受力层影响深度以下。这说明，仅采用上部 30cm 的锤击数远远达不到深度要求，作为判断依据必须超过主要受力层深度。

同时，YS/T 5219-2019《圆锥动力触探试验规程》5.2.6 条也明确规定：应钻探至试验土层的顶面以上 0.1m 后再进行试验；每段的长度不宜小于 0.5m 且须连续进行。

(三) 检测数量如何选择

采用轻型动力触探进行地基验槽或者用来检测地基承载力，其检测数量如何选择，不同的规范有不同的要求。比如：《地基检测规范》第 8.1.2 条规定：对处理地基土质量进行验收检测时，单位工程检测数量 3000m² 以内要大于 10 个点，每增加 500m² 增加 1 点；《验收规范》附录 A.2.4 对检验深度及间距进行了规定。

表 A.2.4 轻型动力触探检验深度及间距 (m)

排列方式	基坑或基槽宽度	检验深度	检验间距
中心一排	<0.8	1.2	一般 1.0m~1.5m, 出现明显异常时, 需加密至足够掌握异常边界
两排错开	0.8~2.0	1.5	
梅花型	>2.0	2.1	

(四) 如何使用轻型动力触探

轻型 (N_{10}) 动力触探作为一种费用不高、轻便快捷、操作简单的地基承载力检测方法，在这些情况下使用效果更佳：a、普查地基土，通过场地内载荷板试验与其他点的轻型动力触探锤击数的比较，为工程验收提供有利的依据；b、地基土验槽时检查地基持力层土体的均匀性和强度，薄弱的夹层或埋藏深度较浅的硬层，以及可能存在于地层中的空穴空洞等。

结语

轻型 (N_{10}) 圆锥动力触探在地基土检测中发挥了经济、快捷、简便的优势，一定程度上节省了工期，减少了工程的经济投入，社会效益和经济效益明显，具有良好的应用效果。合肥地区 Q₃ 黏土验收中使用轻型动力触探几点建议：

- 1) 明确检测层位的标高位置，结合岩土勘测报告，确定合理的检测层位和深度再实地检测；
- 2) 加强其他检测方法与轻型动力触探的综合应用，如与静力触探、静载荷试验联合检测，结合地区经验综合确定地基承载力等参数建议值；
- 3) 建议相关部门进一步大量收集区域范围内不同土层、不同深度位置的轻探击数与地基承载力的对比数据，建立本地区范围内击数与承载力的关系公式或击数修正系数，使所得数据更符合工程实际。
- 4) 建议测试人员应具备一定的岩土工程知识和经验，具备异常情况鉴别、异常数据处理能力，对相关规范进行深入研究。当遇到检测结果与勘察报告中建议的承载力相差较大时，宜与原勘察单位沟通或咨询岩土方面的专家，帮助去伪存真。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011) [S]. 北京：中国建筑工业出版社. 2011.

[2] 中华人民共和国行业标准《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340-2015) [S]. 北京：中国建筑工业出版社. 2015.

[3] 中华人民共和国行业标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB50202-2018) [S]. 北京：中国计划出版社. 2018.

[4] 中华人民共和国行业标准《圆锥动力触探试验规程》(YS/T 5219-2019) [S]. 北京：中国计划出版社. 2019.

[5] 卢亮，采用轻型动力触探检测天然地基承载力的若干问题思考. [J]. 工程质量, 2024, 1671-3702. 2024. 02. 018.

[6] 刘万，徐振华，王邦云，余唐风，林世松，轻型动力触探在天然地基验槽中的应用. [J]. 四川建材, 2020, 1672-4011 (2020) 06-0076-03.

[7] 冉兴明，轻型圆锥动力触探试验 (N_{10}) 在检测地基土承载力特征值方面的误差分析. [J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 2096-6903 (2024) 11-0085-03.

作者简介：刘锋 (1980-)，男，安徽合肥人，大学本科学历，高级工程师，注册土木（岩土）工程师，主要从事岩土工程技术方面的工作。