

高应变动力试桩法对端承管桩检测的分析研究

杜聿麟 林育军 梁培新

(广东省华南工程物探技术开发总公司 广州 510080)

摘 要: 针对高应变动力试桩法对端承管桩检测准确性低的问题, 结合多年实际检测经验, 归纳总结出端承管桩在土中的各种受力特点及其实测曲线特征, 进行对比分类及分析, 提出对该类桩的测试要点以及分析解释方法。

关键词: 高应变动力试桩; 端承管桩; 曲线拟合法

中图分类号: P631.4, TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2002)06-0483-05

在桩基检测工程界, 一直以来有这样的观点, 高应变动力试桩法对长的、摩擦为主的桩的测试准确性较高, 应用效果好, 而对于短桩, 尤其是端承为主的预应力管桩, 则准确性较低, 应用效果差。据广东某地区的调查统计, 在高应变所测的 1 000 根预应力管桩中, 与静载对比误差较大的桩有 20 根, 占所测桩总数的 2.0%, 而其中居然有 15 根是以端承为主的短桩, 占误差较大的桩中的 75%。笔者在多年的实际工作中也遇到过类似情况, 曾经在一个工地检测了 10 根以端承为主的短桩(打入式预应力管桩), 经数据处理, 分析判断有 6 根桩的承载力未达到设计要求, 但是后来对这 6 根桩进行静载试验后, 却有 3 根合格。为此, 笔者在下文中对端承管桩的高应变动力测试从理论和实践等方面, 结合实测曲线波形特征进行系统的归纳总结、分析研究, 并提出对该种桩型的高应变动力测试要点以及分析解释方法, 供业界同仁参考。

1 端承管桩所处的地层及施工特点

1.1 地层特点

根据桩的承载机理, 把地层分为桩侧(周)土摩擦力层与桩端(尖)土持力层。这种端承管桩所处的桩侧(周)土摩擦力层一般由流塑状的淤泥、松散状的砂层或者填土层所组成, 其共同的工程地质特性为压缩性高、强度低, 桩周土摩擦力标准值 q_s 低, 对桩提供的侧摩阻力较小或几乎没有, 相反, 在某些特定的条件下有可能提供负摩擦力。

桩端(尖)土持力层一般由强风化或中风化岩组成, 该层压缩性低、强度较高, 桩周土摩擦力标准值

q_s 及桩端土承载力标准值 q_p 较高, 是较为良好的桩基础持力层。这种地层的一个较为明显的特点是: 桩侧(周)土摩擦力层与桩端(尖)土持力层之间土的强度变化不是一个由弱渐强的渐变过程, 而是弱与强之间的突变。

1.2 施工特点

预应力管桩的施工, 不外乎重锤打入和静力压桩 2 种。本文中所讨论的端承管桩在上述地层中施工, 一般用重锤打入法, 具有以下特点: 桩在打入过程中, 在到达持力层前的桩侧(周)土摩擦力层阶段, 通过桩管自沉或轻打几十锤即可实现。而在桩端(尖)持力层中的最后收锤阶段, 继续打击几十锤即可很快达到收锤标准(根据不同的单桩承载力设计值由设计人员定, 一般规定最后十击贯入度小于 2 cm 或者 3 cm)。整条桩的施工总锤击数相对较少, 一般只有一两百锤(正常情况下, 每根桩的施工总锤击数在 500~1 000 锤之间), 用很短的时间就可完成一条桩的施工。我们把这种桩的施工特点简单归纳为“沉桩快, 总锤击数少”。

2 桩在土中的受力特性及实测曲线特征

由于地层变化的不确定性, 打桩过程的非相关性, 每根桩在土中的受力情况都有所不同, 在大量试验及对比的基础上, 我们把端承管桩根据其在土中的各种受力特性, 归纳总结为以下几类, 并对每一类桩的实测曲线波形特征分别予以说明。

2.1 桩尖与持力层接触良好, 且持力层强度较高

这是桩基施工较为理想的情况, 其波形曲线具有如下特征(图 1a)。图中 $0 \sim 2L/\alpha$ (L/C 为传感器

以下桩长与纵波速度的比值,单位为 ms,下同)时间段, F (力,单位为 kN,图中用实线表示,下同)曲线与 v (速度与波阻抗的乘积,单位为 kN,图中用虚线表示,下同)曲线基本上相互重合,说明该桩基本上没有受到桩周土摩擦力的作用;在 $2L/C$ 时刻(即桩底位置,下同), F 曲线没有明显的反向反射,对应的 v 曲线也没有明显的正向反射(本文约定,反射波相位同入射波相位相同,则为正向反射,反之,则为反向反射),显示在桩底未受到明显的拉应力作用,说明该桩与持力层接触良好,且持力层强度较高;在 $2L/C$ 至 F 曲线归零时间段(时间长度不应少于 $3L/C$,并在 $2L/C$ 时刻后延续时间不应小于 $20 \text{ ms}^{[1]}$),以下对此时间段简称为“ $2L/C$ 后时间段”), F 曲线有较大的正向反射,对应的 v 曲线有较大的反向反射,显示该桩在桩底受到了较大的压应力作用,进一步说明该桩桩底持力层强度较高。

2.2 桩尖与持力层间有间隙存在,持力层强度较高

这是在桩基施工过程中出现的一种最复杂的情况,间隙的大小是决定基桩承载能力的关键因素。其波形曲线具有如下特征,参见图 1b。图中(0~2) L/C 时间段, F 曲线与 v 曲线基本上相互重合,说明该桩基本上没有受到桩周土摩擦力作用;在 $2L/C$ 时刻, F 曲线有较大的反向反射,对应的 v 曲线有较大的正向反射,显示在桩底受到了明显的强烈的拉应力作用,说明桩底下有间隙或者软弱层的存在(这里我们专指间隙);在 $2L/C$ 后时间段, F 曲线有较大的正向反射,对应的 v 曲线有较大的反向反射,显示该桩在桩底部又受到了较大的压应力作用,说明该桩桩底持力层强度较高。至于间隙大小的判断,我们要把 $2L/C$ 时刻及 $2L/C$ 后时间段结合起来考虑。 $2L/C$ 时刻, F 、 v 曲线反射波的振幅越大,波形越宽,则间隙越大,反之,则间隙越小; $2L/C$ 后时间段,反射波尤其是 F 曲线正向反射波的振幅越大,则间隙越小,反之亦然。这是因为间隙的宽度直接影响力波从桩尖向持力层间的传播,若是间隙太宽,则应力波无法传播到持力层,或只有少部分传播,那么,持力层就无法产生压应力反射波或者产生较少。

2.3 桩尖与持力层间有或无间隙,持力层强度较低

由于桩底持力层强度较低,桩尖与持力层间有或无间隙,在高应变动测曲线上的反映都是相似的,无法区分,所以我们把这 2 种情况归为一类来分析。其波形曲线具有如下特征,参见图 1c。图中(0~2) L/C 时间段, F 曲线与 v 曲线基本上相互重合,说

明该桩基本上没有受到桩周土摩擦力作用;在 $2L/C$ 时刻, F 曲线有较大的反向反射,对应的 v 曲线有较大的正向反射,显示在桩底受到了明显的强烈的拉应力作用,说明桩底有间隙或软弱层存在;在 $2L/C$ 后时间段, F 曲线有较小的正向反射或没有,对应的 v 曲线有较小的反向反射,显示该桩在桩底只受到较小的压应力作用,说明该桩桩底持力层强度较低。

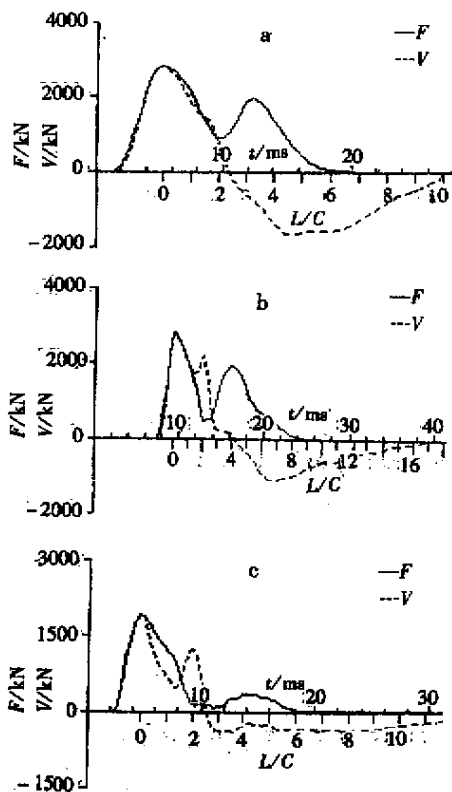


图 1 桩尖与持力层接触不同且持力层强度各异时的实测曲线
—接触良好且持力层强度高时; b—存在间隙持力层强度高时; c—有或无间隙持力层强度低时

总结以上分类分析,三者之间的区别主要是桩底受力情况之间的差别,反映到实测波形曲线上,即在 $2L/C$ 时刻和 $2L/C$ 后时间段, F 、 v 曲线的相位变化及其振幅的强弱变化。 $2L/C$ 时刻, F 曲线反向反射, v 曲线正向反射,其振幅越大,则说明桩尖与持力层间间隙越大或者桩尖持力层强度越小; $2L/C$ 后时间段, F 曲线正向反射, v 曲线反向反射,其振幅越大则说明桩底持力层强度越大,反之,则持力层强度越小。 F 曲线正向反射波振幅的大小是判断桩底持力层强弱的主要指标。当然,还可以结合反射波波形宽度来分析,尤其在 $2L/C$ 时刻,波形的宽窄,有时可反映间隙的大小。至于我们把曲线分为 3 个时间段,主要是为便于说明,实际上这几个时间段是不可分隔的,之间互相影响,制约,在实

际分析判断时,应将其作为一个整体考虑。

3 数据处理及定量计算

在上面的章节中,对端承管桩按其在桩土体系中不同的受力性状以及其实测波形曲线特征进行了分类说明,对其在不同条件下的受力特点进行了定性分析。下面,进行单桩承载力的定量计算,这也是高应变动力试桩的主要目的。高应变动力试桩计算承载力的数据处理方法目前有 Case 法和实测曲线拟合法 2 种。

3.1 Case 法

Case 法主要适用于打入桩的施工检测和监控,在一定的经验基础上,或者在其它可靠方法的支持下,也被广泛用于检测各类型的工程桩的验收^[1]。实践证明,Case 法对摩擦桩的应用效果较好,而对于本研究的端承管桩这种特殊承载类型的桩又如何呢?为了推导简单适用的公式,Case 法对桩土体系又做了若干个补充的近似假定:即“桩身是等阻抗的,在计算所涉及的时段内,桩侧没有任何动阻力,而且静阻力始终保持恒定;应力波在传播过程中的能量损耗,包括桩身中的内阻尼损耗和向桩周土的逸散,都忽略不计^[2]。”结合前面章节的分析可以看出,对于“在计算所涉及的时段内,静阻力始终保持恒定”这一条,本研究的端承管桩无法满足,这样看来,本类桩型不适合用 Case 法计算承载力,故在此不再赘述。

3.2 实测曲线拟合法

实测曲线拟合法是高应变动力试桩的一种主要算法。国内外近 20 a 的实践已经证明,在绝大多数的场合中,如能正确掌握土的力学性能,根据实测曲线拟合法的分析结果来评定单桩承载力,能够和静载荷试验的结果取得基本一致^[2]。该方法几乎适用于所有不同成桩方式和承载类型的桩。实践证明,该方法对于本研究的端承管桩的承载力定量计算效果较好,准确度较高。但是,在实际应用中,还应注意以下几个方面。

现场所采集的曲线,要包含充足的桩底受力信息,那么在现场施测时,要具有足够的锤击能量,使桩底端承力能受到充分激发。如果桩端阻力激发不充分,容易把上述的 2.2 类归于 2.3 类,引起较大的计算误差。

在实际拟合过程中,重点在 $2L/C$ 后时间段的拟合,拟合参数(尤其是桩底部拟合参数 J_b 、 Q_b 等)的应用要充分体现桩端阻力的大小。本文 2.1 和

2.3 所描述类型的桩,在实测曲线拟合法中,一般不会有什问题,而易引起计算误差较大的是 2.2 所描述的类型。该种类型由于有间隙存在,但间隙宽度目前还没有有效的计算方法,虽然美国著名的 CAPWAP 软件中有一个反映桩底间隙的参数 T_{Gap} ,但在实际应用中效果并不理想,也是一个具有多解性的较为模糊的概念。所以,对于这一类型的桩,就要求在现场测试过程中,加多锤击数,观察间隙随着锤击数和锤击能量增加的变化趋势,在曲线拟合过程中,对 $2L/C$ 后时间段的拟合要认真细致,参数选择要合理,多个结果进行比较分析。工程师的经验与素质在这里显得尤其重要。下面举一实例来说明。

图 2a 为广东某工地 136 号桩的高应变动力试桩实测曲线。该桩为桩径 $\phi 400$ mm 的预应力管桩,传感器下桩长 7.4 m,打桩采用 HD50 柴油锤,总锤击数 127 锤,最后三阵平均贯入度为 1.0 cm/10 锤,试桩采用 3 t 自由落体锤,落距 1.6 m 左右。场地地层由浅到深依次为松散状细砂(平均厚 1.28 m)、流塑状淤泥(平均厚 5.94 m)、强风化砂岩或中风化砂岩。其地质情况和曲线特征反映这是典型的“桩尖与持力层间有间隙存在,持力层强度较高”的情况。图中 $2L/C$ 处 F 与 V 曲线是一个尖脉冲似的反射波形,其波形较窄,而紧接着 $2L/C$ 之后 F 与 V 曲线就分别有正向和反向的强烈的反射, F 曲线振幅较大,所以初步断定该处间隙宽度较小,持力层强度较高。

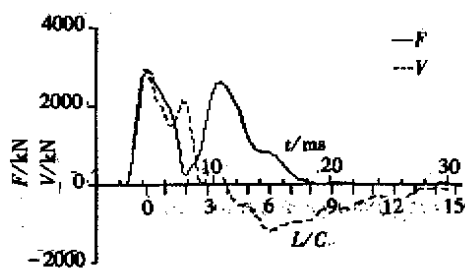


图 2 136 号桩实测曲线

图 3a~c 是 136 号桩曲线拟合法输出的计算结果及模拟 $Q-S$ 曲线,共有 3 种个不同的结果。可以看出,这三种结果的拟合质量系数 M_Q 均较小,且相差不大,都在合理范围之内,说明三者都进行了充分的拟合,而其主要差别在于极限承载力 R_b ,极限桩端承载力 R_b 和桩底部拟合参数 Q_b 的大小不同,由于该桩的极限承载力以极限桩端承载力为主,从而可以断定影响这 3 种结果极限桩端承载力大小的

主要参数为 Q_1 , 所以, 对这些结果的比较分析主要是看哪个结果 Q_1 的取值更为合理。 Q_1 是桩底土的加荷弹性变形极限, 它的取值与桩的几何尺寸及桩底土的状况均有关, 其数值变动较大。通常, Q_1 值越大, 说明桩端土强度越高, 压缩性越低, 这样就会使得计算的极限桩端承载力较高, 反之亦然。结合该桩所处地层的地质资料(桩端持力层为强风化砂岩)及相关经验, 分析认为, 该桩图 3a 中 Q_1 取 4.50 mm 偏低, 使得所计算出的极限桩端承载力偏低, 图 3b 中 Q_1 取 9.0 mm 又偏高, 使得所计算出的极限桩

端承载力偏高, 综合比较, Q_1 取 7.0 mm 比较合适, 所以把图 3c 的结果作为最终结果。图 3d 是该桩的静载试验 $Q-S$ 曲线, 其最大沉降量为 9.25 mm, 极限承载力为 $\geq 2\,200$ kN。同图 3c 曲线拟合法输出的结果($R_u = 2\,245$ kN)相比较, 两者基本一致, 说明对该桩的分析计算是成功的。另外, 需要说明在此只将参数 Q_1 作为一个特例来说明多个结果的比较分析方法, 实际拟合过程中还有其它的影响参数, 皆需结合实际情况具体分析, 方能得出最佳结果。

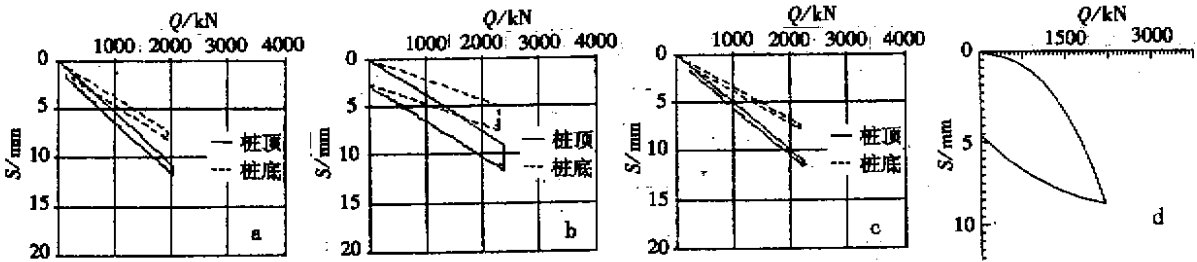


图 3 136 号桩曲线拟合法输出的计算结果、模拟 $Q-S$ 曲线及静载试验 $Q-S$ 曲线

a—结果 1 参数: $M_Q = 2.40$, $J_1 = 0.14$, $Q_1 = 4.50$ mm, $R_u = 2\,024$ kN, $R_s = 74$ kN, $R_b = 1\,950$ kN, $D_y = 11.0$ mm, $D_{\max} = 11.7$ mm; b—结果 2 参数: $M_Q = 2.52$, $J_1 = 0.15$, $Q_1 = 9.00$ mm, $R_u = 2\,378$ kN, $R_s = 77$ kN, $R_b = 2\,301$ kN, $D_y = 9.2$ mm, $D_{\max} = 11.7$ mm; c—结果 3 参数: $M_Q = 2.50$, $J_1 = 0.14$, $Q_1 = 7.00$ mm, $R_u = 2\,245$ kN, $R_s = 76$ kN, $R_b = 2\,169$ kN, $D_y = 11.3$ mm, $D_{\max} = 11.6$ mm; d—静载试验 $Q-S$ 曲线 (R_s 为极限侧摩阻力; D_y 为极限承载力对应沉降量; $D_{\max}$ 为最大沉降量)

4 结束语

实践证明, 对端承管桩按以上分类进行分析解释, 具有合理性和实际指导意义, 它给这种类型的桩高应变测试曲线的分析与判断提供了一个基本依据, 在实际工作中可以少走弯路, 减少误判, 使解释结果更趋于合理。

当然, 文中所提出的 3 种类型, 只是对实际情况的一种综合与概括。在实际情况中, 有很多是介于这 3 种类型之间, 它们之间并无明显的界限, 尤其是对于桩尖与持力层间存在间隙的桩, 由于间隙的宽度并没有一个精确的定量计算方法, 而主要是凭技

术人员对波形曲线的定性分析来判断, 所以, 这类桩的最终承载力计算, 受技术人员的主观因素影响较大。这就需要从事本项工作的工程技术人员在工作中不断总结研究, 积累经验, 提高自身的素养, 使各种不利因素的影响减少到最低限度。

参考文献:

[1] 中国建筑科学研究院. JGJ106-97 基桩高应变动力检测规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
[2] 国家建筑工程质量监督检测中心. 基桩动测技术[S]. 北京, 1996.

A STUDY OF HIGH STRAIN DYNAMIC TESTING METHOD
FOR TOE BEARING TUBAL PILE TEST

(Guangdong South China Engineering Geophysics Technology Development Corporation , Guangzhou 510080 , China)

Abstract : Aimed at solving the low accuracy problem in high strain dynamic pile testing method for toe bearing tubal pile testing , the authors , based on years of actual testing experience , put forward the essentials for testing and the analyzing and interpreting method of the toe bearing pile in the soil , which are of practical guiding significance . These opinions are formed through summing up various stress bearing characteristics and actual curve features of this kind of piles and carrying out comparative sorting and analyzing study .

Key words : high strain dynamic testing of pile ;toe bearing tubal pile ;method of curve fitting

作者简介 : 杜聿麟(1971 -)男 山西省人 工程师。1994 年毕业于中国地质大学(武汉)物探系 ,参加工作后一直从事各类桩基检测工作 ,积累了丰富的验桩经验。

地震仪综合技术服务

· 定点地震仪技术升级、功能增强

此项内容为借用定点地震仪中故障率低的单元电路 将我们研制的浮点模块与之有机结合 构成操作方便、故障率低、性能价格比极高的浮点地震仪。该技术适用于所有定点地震仪(进口 ES-1210 ,1225 , ... ;BISON-1580 , ... ;OYO-1500 , ... ;MARK II ;国产 DZQ12-1 等型号)。

· 地震仪通道扩展

80 年代中期 地震仪一般为 12 道定点 ,工作效率低。做 CDP 覆盖时 ,叠加次数少 ,信噪比不能提得较高 ,且动态范围小。为解决这些问题 ,我们做了以下工作 :①将原定点地震仪升级为浮点 ;②扩展为 24 道。

· CSA24 道浮点地震仪

集多年改造地震仪经验 ,汲取了国内外地震仪特长 ,并将我们的创造溶入其中 ,构成了性能价格比极高的 CSA24 道浮点地震仪。

· 进口地震仪维修

自 1997 年成立地震仪维修部以来 ,给用户直接、间接维修进口地震仪数台 ,为用户节约了大量时间和可观的维修费用 ,深受用户好评。

· 触发电路保护器

· 锤击开关

经我们改进的地震仪均能获得浅反射处理软件、瞬态瑞雷面波处理软件、地脉动测量、高密度高分辨率测量等不断升级的支持。

联系人 徐贵来 梅汝吾

北京安外小关核工业北京地质研究院 邮编 :100029

E-mail :guilaixu@163bj.com BP (010)96300 呼 382787

Tel :(010)64962690 64921115