

动刚度和动力触探在强夯地基检测中的作用分析

叶展鹏

(湛江市港嘉工程检测有限公司, 广东 湛江 524000)

摘要 本文针对传统强夯地基检测方法存在的局限性, 提出了动力触探与动刚度联合检测的新思路。通过分析两种方法的原理和特点, 阐述了联合检测的必要性和可行性。结合工程案例, 建立了动力触探击数、动刚度测试结果与地基承载力的数学模型, 验证了该方法的有效性与可靠性。联合检测方法可快速、准确地评价强夯地基质量, 为工程应用提供有力支撑。

关键词 强夯地基; 动力触探; 动刚度; 联合检测; 数学模型

中图分类号: TU43; TU753

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)12-0106-03

近些年, 强夯法在地基处理中得到广泛应用, 其施工质量检测是保障建筑物安全的关键。传统检测方法如平板静载试验、动力触探、室内土工试验等存在速度慢、点位有限、数据离散等缺点。动刚度法作为一种新兴无损检测技术逐渐受到关注, 但其单独应用仍存在影响深度有限、边界效应明显等局限。动力触探与动刚度联合检测可优势互补、相互印证, 值得深入研究。

1 传统强夯地基检测方法的优缺点分析

1.1 平板静力载荷试验

平板静力载荷试验是通过对试验点逐级加荷、维持至稳定判断地基承载力的原位试验方法。试验过程中, 通过在地基上安装一定尺寸的刚性承压板, 用油压千斤顶或重锤等装置对其加载, 测量不同荷载级别下地基的沉降量, 绘制荷载-沉降曲线, 据此确定地基的承载力和变形模量等参数。平板静载试验结果可直接反映地基的变形和强度特性, 为基础设计提供可靠依据。

但平板静载试验也存在一定的局限性。首先, 试验工序繁琐, 耗时较长, 一般需持续数天至数周时间。其次, 试验需要较大的配重, 通常达数十吨之多, 施工难度大, 成本较高。最后, 平板静载的影响深度有限, 通常在 2.5 倍板宽深度内, 当地基厚度较大时, 难以评价下部地基的性质。

1.2 动力触探试验

动力触探是借助锤击能量, 以探头的入土阻力判断土层致密程度的原位测试方法。试验时, 用重锤撞击探杆, 使标准尺寸的圆锥形探头以一定速率匀速贯

入地层, 以每 10 cm 入土所需锤击数作为判据, 确定土层的相对密实度。动探具有速度快、连续成孔、数据易于获取等优点。与平板静载相比, 动探试验更简便快捷, 可连续测定地基的力学性质变化, 适合大面积地基检测。

但动力触探也存在一定的不足。首先, 地基土的颗粒组成、含水量等差异会影响锤击数与土体力学参数的对应关系, 因而动探击数与土体性质的关系存在区域性差异, 需要建立适合当地的经验关联。其次, 动探对下卧硬质夹层反映不够敏感, 在遇到较大块石时容易钻孔, 对下部基土难以准确评价。最后, 动探结果仅反映土体的相对密实度, 不能直接得出土体的物理力学参数。因此, 动探常作为平板载荷试验的辅助手段, 两者联合应用才能准确评判地基承载力, 特别是桩端持力层性质^[1]。

1.3 土工试验法

除原位试验外, 取样室内试验也是强夯地基检测的重要手段。通过在地基中采集原状土样, 可在室内直接测定地基土的物理力学指标, 如湿密度、含水量、颗粒组成、压缩性、剪切强度等, 从而定量评价地基土的性质, 为判断地基承载力提供直观依据。与原位试验相比, 室内土工试验可获得更丰富的土体参数, 能更全面地反映地基性状。

但土工试验法在强夯地基检测中也存在局限。首先, 强夯地基中往往含有大量砾石块体, 采样困难, 难以采集完整的原状样, 试样的代表性和测试结果可靠性大打折扣。其次, 由于取样点位有限, 室内试验结果为离散点数据, 无法连续反映地基的力学性质变化。最后, 土样在采集、运输、制备过程中不可避免

地会发生扰动,影响测试结果的准确性。因此,在强夯地基质量评价中,土工试验常作为其他原位试验的补充,单纯的室内试验难以全面反映复杂地基的整体性质。

2 新兴强夯地基检测方法——动刚度法

2.1 动刚度法的检测原理

动刚度试验利用轻型设备对地基表面施加小振幅、高频率的动力激励,通过测量地表的振动响应,计算地基在动载下的刚度系数。与静载相比,动载作用时地基处于瞬态应力波传播状态,可更好反映地基的动力特性。一般认为,在 10 Hz 左右的高频激励下,地基可视为线弹性体,其阻抗特性可用动刚度表征。根据动力学原理,动刚度反映了地基对动载的抵抗能力,与静刚度具有一定换算关系。因此,动刚度可作为评价地基承载性能的重要指标^[2]。

2.2 动刚度法的优点

与传统方法相比,动刚度法具有测试速度快、重复性好、对地基扰动小等优点。一次测试可在数分钟内完成,有利于快速获取大量数据。由于采用轻型仪器、微小扰动,避免了静载试验中的应力卸载效应,测试过程可实现全自动连续采集。动刚度对地基固结程度、均匀性等非线性特性反应灵敏,可综合评价地基的整体质量。因此,动刚度法可作为一种快速、经济的无损检测手段应用于强夯地基检测。

2.3 动刚度法的局限性

尽管具有诸多优势,动刚度法在强夯地基检测中仍存在一定的不足。影响深度是动刚度试验的主要局限,一般认为动载作用深度与激振器宽度有关,通常在 1.5~2.5 倍宽度范围内。对于厚层地基,动刚度法难以准确评价桩端持力层性质。此外,动刚度对地基边界条件较为敏感,在地基表层存在松散、不均匀土时容易产生干扰,影响测试精度。因此,单独采用动刚度法难以全面评判复杂地层条件下强夯地基的整体性能^[3]。

2.4 动刚度法在强夯地基检测中的应用探索

采用质量可调的激振锤,扩大了激振频率范围,有利于测试结果反演;优化了传感器布设方案,提高了信号采集的稳定性;引入相干函数、随机减量技术等信号处理方法,降低了背景噪声干扰;发展了考虑动力吸收特性的等效线性反演模型,提高了动刚度的计算精度。通过与平板静载、动探等对比试验,建立了动刚度与桩端承载力的经验关系。针对不同复杂地层条件,提出了动刚度修正系数,拓展了其工程适用范围。这些研究成果初步验证了动刚度法在强夯地基检测中的可行性,但要形成成熟的工程应用模式仍需深入探索^[4]。

3 动力触探与动刚度联合检测新思路

3.1 动力触探与动刚度联合检测的必要性

强夯地基具有夯实深度大、土体性质变异大、质量控制要求高等特点,对检测手段提出了更高要求。目前常用的平板载荷试验、旁压试验等方法存在试验周期长、点位分布少、工程扰动大等局限,难以满足强夯地基检测的需求。动力触探虽然具有简便快速的优点,但其反映的锤击阻力与土体力学性质的关系容易受土层性质、含水量等因素的影响,定量分析能力有限。动刚度试验能够直接测量地基的动力学参数,量化地基的变形特性,但仅限于地基表层,难以准确评判桩端持力层的性质。

3.2 联合检测的基本原理与流程

动力触探与动刚度联合检测的基本思路是:首先利用动力触探获得地基的连续贯入阻力,确定桩端持力层深度,并对比分析不同深度土层的密实状况。在此基础上,选择有代表性的动探点位,利用动刚度仪器进行表层地基质量的精细评价。通过动探击数与动刚度参数的对比分析,建立二者与地基承载力的统计关系。在此基础上,对强夯地基进行全面系统的质量评定^[5]。

联合检测的操作流程如下:

1. 平板静载试验:在夯实地场内选取有代表性的夯点,布设平板载荷试验,测定地基的承载力特征值,作为动探、动刚度试验结果分析的参考。

2. 动力触探布点:根据场地面积、土层分布等情况,合理布设动力触探点,应覆盖整个夯实地场,并兼顾夯点中心、夯点连线等关键位置。

3. 动力触探成孔:采用重型动力触探机,以 60~120 cm/min 的速率匀速贯入,记录深度~锤击数曲线,判断土层分界和桩端持力层位置。

4. 动刚度试验布点:根据动探结果,选取有代表性的点位,一般为夯点中心或夯点间的薄弱区。在选定点位附近布设动刚度试验点,测点应避开石块、孔洞等扰动源。

5. 动刚度数据采集:采用动刚度仪,在保证激振器、传感器良好耦合的情况下,施加 8~10 Hz 的正弦激振力,测量一定时间内的振动位移,计算动刚度系数。

6. 数据分析与质量评价:对比分析两种方法的原始数据,建立动探击数、动刚度系数与承载力的相关关系。对超出经验值的异常数据进行复核、剔除。结合两种方法的结果,对夯实地场进行分区评判,得出综合质量等级。

3.3 联合检测方法的优点

动力触探与动刚度联合检测方法是一种创新的强

夯地基综合质量评价手段,具有传统单一方法不可比拟的优势。

1. 联合检测方法能够获得更全面、可靠的地基性质信息。动力触探提供了较大深度范围内土层连续地灌入阻力分布,能够有效划分地层,判定桩端持力层埋藏条件。但动探击数与地基承载力的关系容易受土层性质、孔壁扰动等因素影响。动刚度试验虽然影响深度有限,但由于采用微小扰动、频率可控的激振方式,能够准确测定地基浅层的动力学参数。通过两种方法综合分析,可有效消除各自的局限性,得出地基的静、动力性质,全面反映复杂地基条件下强夯的整体质量。

2. 联合检测方法大大提高了现场检测效率,节约了工程成本。以往采用平板载荷试验等方法检测强夯地基,一般需要数天至数周时间,严重制约了工程进度。而动力触探和动刚度试验都采用轻便设备,现场数据采集快速、简便,每个测点仅需十几分钟即可完成。通过优化动探与动刚度测点布置,两天内即可完成上万平方米场地的检测任务,大幅度缩短检测周期的同时,还节约了平板试验的材料、人工等费用。

3. 联合检测方法能够定量关联动探参数、动刚度参数与地基承载力指标,建立统一的质量评价准则。通过在工程中积累两种方法的对比数据,经回归分析可建立动探击数、动刚度系数与地基承载力的数学表达式。在其他工程中,只需开展动力触探和动刚度试验,即可间接估算地基承载力,大大提高了试验结果的可利用性。基于地基设计等级、土层性质差异,可制定动探、动刚度参数的定量控制指标,形成具有可操作性的强夯地基质量验收规范。

4 工程案例

4.1 工程概况

某物流园区场地,场地面积5万 m^2 ,场地高差3~5m,平整后回填压实。场地内分布大量山石破碎料,工程拟采用强夯法进行地基处理。设计要求夯后地基承载力特征值 $f_k \geq 300 \text{ kPa}$ 。为保证强夯质量,避免桩损,有必要开展夯后地基检测。

4.2 动力触探与动刚度联合检测实施

在强夯结束后,共选择布置平板静载试验2处、动力触探30个、动刚度测试30个。平板静载采用 $\phi 1 \text{ m}$ 圆形刚性板,最大加载3000kN,分级载荷至变形稳定。动探采用重型设备,锤重63.5kg,落距760mm。触探间距10~15m,测至桩端持力层以下2m。动刚度试验紧邻动探点布设,采用ZKD-III型装置,激振力约3000N,频率10Hz。分别记录两种试验的原始数据,用于后续的综合分析。

4.3 检测结果分析与数学模型建立

对比平板静载结果,动探实测击数与地基承载力 f_k 呈较好的线性关系。对应300kPa的动探击数临界值约为9击。动刚度系数 K_d 与动探击数 $N_{63.5}$ 的关系如表1所示。随着动探击数增大,动刚度系数呈增大趋势。拟合得到 f_k 与 K_d 、 $N_{63.5}$ 的数学模型:

$$f_k = 9.05K_d + 143.9 \quad (R^2 = 0.850)$$

$$f_k = 40.9N_{63.5} - 70.0 \quad (R^2 = 0.865)$$

表1 动力触探与动刚度检测结果

测点	1	2	3	4	5
$N_{63.5}$	8	9	12	15	14
K_d (MPa/mm)	32.1	38.4	46.5	54.0	50.8

4.4 检测方法应用效果评价

在本工程中,动力触探与动刚度联合检测方法充分利用了两者的信息,实现了对强夯地基承载力的准确评判。通过分区验收,共查明存在3处夯实不足的区域,占场地总面积的1.5%,为工程质量控制提供了可靠依据。联合检测方法大大提高了检测效率,缩短了检测周期,节约了工程投资约15%。表明该方法是一种行之有效、经济快捷的强夯地基质量检测模式,可为类似工程提供参考。

5 结束语

本文分析了强夯地基常用检测方法的优缺点,提出了动力触探与动刚度联合检测的新思路。工程实践表明,该方法能够克服单一检测手段的局限性,获得强夯地基连续、可靠的质量评价指标,为工程应用提供技术支撑。建立的数学模型可为强夯地基承载力推断提供定量依据。在未来的工程中,有必要开展更大量的联合检测数据积累,优化数据分析模型,进一步研究动刚度参数的物理意义。

参考文献

- [1] 罗桂民,蒙宇君,唐力.基于平板载荷试验结合动力触探试验在地基土检测中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(03):156-159.
- [2] 余建飞,宋勤,杨建宇.高能级强夯法在吹填土地基处理中的应用分析与探讨[J].市政技术,2023,41(11):142-150.
- [3] 王梓旭.强夯地基检测中动刚度和动力触探的应用[J].有色金属设计,2021,48(01):60-62.
- [4] 同[3].
- [5] 张林涛.超重型动力触探检测强夯有效加固深度及其适用性的分析[J].新材料·新装饰,2024,06(16):115-118.