

# 桩承载力Rapid Load Testing法 检测设备介绍

缪云<sup>1,2</sup>, 杨子<sup>1</sup>, 董光健<sup>2</sup>, 徐晨<sup>2</sup>

(1.江苏开放大学, 南京 210036; 2.南京东大自平衡桩基检测有限公司, 南京 210018)

**[摘要]** Rapid load testing (RLT) 是一种快速检测桩基竖向抗压承载力的方法, 本法已纳入日本、美国、欧洲等地标准, 但尚未在我国大陆地区推广使用。RLT 法的检测设备可分成两大类: 一是以 Statnamic (静动法) 为代表的燃烧推进法, 利用特制燃料快速燃烧产生的高压气体加载, 目前最大加载能力已达万 t, 但 Statnamic 法所用燃料要受政府管控; 二是以 StatRapid、Hybridnamic 为代表的落重弹簧法, 利用重物下落对桩头的冲击配合弹簧进行加载, 目前的加载能力在几千 t 以内。另外, 落重弹簧法中的 Spring Hammer 等方法, 可实现数百 t 以内加载量的快速测试。

**[关键词]** 桩基承载力检测; 检测设备; 检测系统

**[中图分类号]** TU 473.1

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1001-523X (2019) 07-0089-04

## Introduction to Rapid Load Testing Devices for Bearing Capacity Testing of Piles

Miao Yun, Yang Zi, Dong Guang-jian, Xu Chen

**[Abstract]** Rapid load testing (RLT) is a rapid testing method for the vertical compressive bearing capacity testing of pile foundations. It has been incorporated into the testing standards of Japan, the United States and Europe. The devices of the RLT method are divided into two categories: The first is the combustion propulsion method represented by Statnamic. The high-pressure gas generated by the rapid combustion of special fuel is used to loading the pile. The current maximum loading capacity has reached 10000 tons. The using of fuel is under government control for the Statnamic. The second is the weight-dropping spring method represented by StatRapid and Hybridnamic. The pile is loaded by the impact of the weight hitting the pile head, cooperating with springs. The current loading capacity is within a few thousand tons. For the weight-dropping spring method, the Spring Hammer method can be easily used for the testing in several hundred tons of loading capacity.

**[Keywords]** bearing capacity testing of pile foundation; testing device; detection systems

Rapid load testing (RLT) 是 20 世纪 80 年代末出现的一种快速检测桩基竖向抗压承载力的方法。RLT 法利用较轻的物重 (加载目标 10% 上下), 在很短的作用时间内 (100ms 左右), 产生较大的向上加速度; 相应反力则作为荷载 (超过静载水平) 向下施加于桩顶, 使桩身向下运动; 通过测得的荷载、速度、加速度等参数, 可转换得出静载条件下的桩顶荷载-位移曲线, 进而判断承载力。

RLT 法的试验准备比传统静载试验如堆载法、锚桩法简单很多, 而且试验过程快捷迅速, 测试结果唯一, 适用于各种类型中、短桩。目前, RLT 法已纳入了日本 (2002)、美国 (2008)、欧洲 (2016) 标准, 并且在北美、欧洲、东亚、东南亚等地得到了较广泛的应用, 但本法尚未在我国大陆地区推广。

本文主要对 RLT 法的若干类检测设备进行介绍。

### 1 检测系统构成及分类

RLT 法的检测系统包括加载、测量、数据采集、数据处理等组成部分。在加载系统中, 荷载产生方式的不同是各类试验装置的主要区别所在; 测量系统包括荷载、位移、加速度、内力的测量等; 数据采集和处理则借助自动化设备实现。

按照荷载产生方式的不同, RLT 法可分成如下两大类。

#### 1.1 燃烧推进法

本法是在狭小空间中快速燃烧特制燃料, 利用产生的高压

气体向上推进气缸, 同步带动配重以很大的加速度向上运动; 相应的反作用力则通过活塞施加于桩顶, 使得桩身向下运动, 从而激发土体阻力。

目前, 本类方法中最为成熟且最具影响力的是 Statnamic, 国内多称其为“静动法”。

#### 1.2 落重弹簧法

本法是将重物从一定高度处落下, 利用对桩头的撞击产生荷载; 为了满足延长加载时间的要求, 需要在重物、桩头间设置弹性缓冲装置 (本文泛称为“弹簧”)。

目前, 较有代表性的落重弹簧法有 StatRapid, Hybridnamic。

落重弹簧法表面上看与高应变法较为相似, 但本法的落重显著大于高应变锤重, 且荷载持续时间远长于高应变冲击时间, 从而导致桩身受机理有本质区别。

### 2 燃烧推进法

Statnamic 法的设备主要生产商是加拿大的 Berminghammer 公司。Berminghammer 公司目前在亚洲的代理商 (同时也是检测单位) 有 2 家: 马来西亚的 Geonamics 和台湾的台安工程 (DECL)。

#### 2.1 系统构成

Statnamic 法的检测系统构成如图 1 所示。

(1) 加载。由点火装置点火, 特制燃料在燃烧室内快速燃烧, 推动气缸带动配重向上运动; 产生的向下反力经由活塞传至桩顶。

(2) 测量。荷载由安放于桩顶的荷重传感器测量; 位移由激光发射器配合桩顶元器件测量 (一般可置于垫板处); 此外, 通常会在桩顶安装加速度传感器, 必要时还可在桩身或桩周土中埋设其他传感器, 观测桩身内力、土中孔隙水压力等。

收稿日期: 2018-12-19

基金项目: 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目 (201814000001Y); 江苏省建设系统科技项目 (2018ZD272); 住房城乡建设部青年科学技术项目计划 (2016-K4-020); 江苏省高等学校自然科学研究 (18KJB220001)

作者简介: 缪云 (1987—), 女, 江苏海安人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为岩土工程的教学。

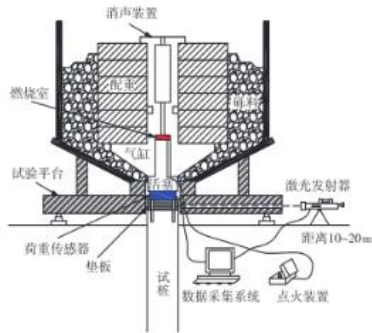


图1 Statnamic法检测系统示意

(3) 数据采集处理。通常为集成软件，实时记录试验过程中的荷载、位移、加速度数据，并能方便的处理，得到静载条件下的荷载-位移曲线。

(4) 试验平台。用于搭设试验装置。

(5) 填充砾料。作为缓冲层，减小配重下落对桩头的冲击。

(6) 消声装置。减小燃料快速燃烧产生的噪声。

## 2.2 试验过程

Statnamic 法的试验过程如图2所示。

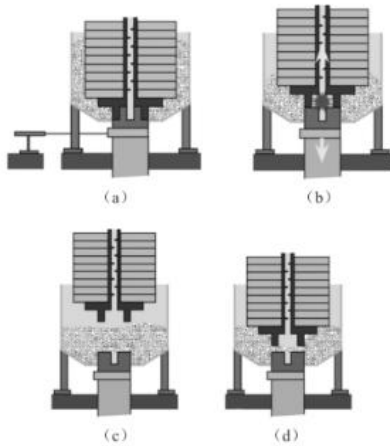


图2 Statnamic法测试过程

(a) 准备；(b) 点火；(c) 配重升起；(d) 配重回落

试验装置准备好后（图2a），点火开始试验（图2b）。产生的推力推动配重升起；与此同时，下方产生的空隙会由砾料自动填充（图2c）；配重落下时由砾料承接，进一步通过容器、支承系统将荷载传导至地面，减小对桩头的冲击（图2d）。

目前，Statnamic 法的最大加载值已达107MN（1.07万t），图3为现场试验情况。



图3 Statnamic法107MN试验示意

采用砾料承接下落配重的方法，其准备过程相对来说还是比较耗时的，对于一些吨位不太大的试桩，现在已设计出机械/液压承接装置（图4），在配重升至高点时将其捕获，这就使得循环加载或更换试桩变得方便快捷，进一步提高了测试效率。

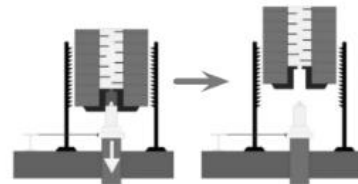


图4 Statnamic法机械捕获装置示意

图5是采用机械捕获装置的2000t加载设备现场测试照片，该试验是在水上进行的（St.George Island Bridge，美国）。



图5 Statnamic法2000t机械捕获装置示意

Statnamic 法所用燃料为特制的固体燃料，虽然可以安全的储存和运输，但目前在很多国家和地区，仍然要受到政府的管控，每次试验之前都需提前申请，这也为 Statnamic 法的推广带来了一定的难度。

## 3 落重弹簧法

### 3.1 系统构成

落重弹簧法的检测系统构成如图6所示。

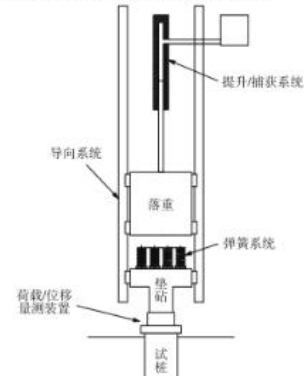


图6 落重弹簧法检测系统示意

加载设备集成于导向架内，配重可通过液压设备升降；配重落下后先作用于弹簧，产生的荷载经由垫砧进一步传递至桩头；配重反弹后可由机械/液压装置捕获（不是必须构件）；另外，有条件时试验设备一般支承于地面而不是桩顶。量测系统和数据采集处理系统与 Statnamic 法类似。

### 3.2 StatRapid

StatRapid 的设备生产商是荷兰的 Cape-Holland, 其典型的 4~16 MN (1600t) 检测设备如图 7 所示。该设备调平、提升、捕获装置均为液压驱动, 并且可装入 6.096 m (20 英尺) 的集装箱, 因此现场操作和运输均较方便。



图7 StatRapid法4~16MN 设备示意

该设备落重、弹簧(图8)均为模块化设计, 可根据测试需要, 很方便的对落重、落距、弹簧刚度等参数进行调整, 获得所需的荷载大小及脉冲宽度。

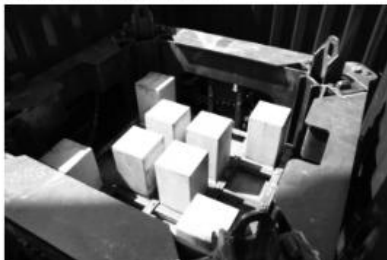


图8 StatRapid法模块化橡胶弹簧系统示意

### 3.3 Hybridnamic

Hybridnamic 的设备生产商是日本的 Jibanshikenjo, 其 70t 系统如图 9 所示, 最大加载量已达 45 MN (4500t)。



图9 Hybridnamic法70t系统示意

Hybridnamic 法的弹簧系统采用的是垫层结构, 如图 10 所示。该弹簧垫在弹性体中设计了蜂窝状气室和钢板, 可通过多片层叠来实现刚度的调整。

Hybridnamic 法的另一个特点是没有捕获装置, 因为卸载时气室变形回弹将形成负压, 可显著减小落重反弹高度, 对桩头的二次冲击影响不大。

#### 3.4 其他设备

落重弹簧法的其他设备还有 Pseudo Static Pile Load Tester (PSPLT, 图 11)、Spring Hammer (SH, 图 12) 等。

PSPLT 法起源于荷兰, 其弹簧装置连接在落重下部(即与配重一同落下、回弹), 此点与 StatRapid、Hybridnamic 有所区别。



图10 Hybridnamic法单层弹簧垫示意

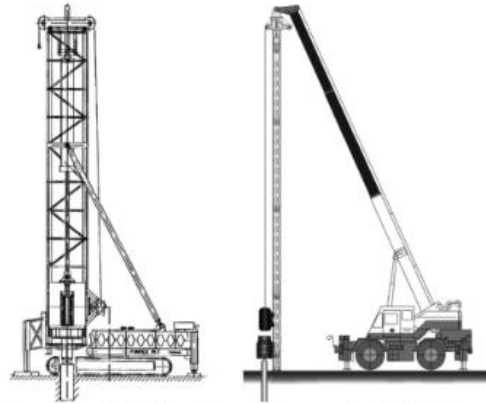


图11 PSPLT法试验装置示意

图12 SH法试验装置示意

SH 法起源于日本, 其设备较为简洁, 弹簧系统置于桩顶, 落重可沿导向架升降(配合起重设备), 用于小桩测试和重复测试是很方便的。

另外, SH 法的便携式设备也可用于加载吨位很小的试桩或平板载荷试验, 现场照片如图 13 所示。



图13 便携式SH装置用于平板载荷试验示意

此类 PSPLT, SH 设备的加载能力多在 300t 以内, 通常用于承载力不高的桩基测试, 因其移动方便, 1d 可完成数根桩的测试, 工作效率高。

## 4 结束语

(1) 作为一种快速检测桩基承载力的方法, Rapid load testing (RLT) 已纳入了日本、美国、欧洲等地标准, 但尚未在我国大陆地区推广应用。

(2) 以 Statnamic 为代表的燃烧推进法, 通过快速燃烧产生高压气体的方式加载, 目前最大加载量为 1.07 万 t; 但 Statnamic 法所用燃料受到管控, 对其在国内推广有一定影响。

(3) StatRapid、Hybridnamic、Spring Hammer 等落重弹簧法, 通过落重冲击桩头(配合弹簧)的方式加载, 可实现小几千 t 的加载量; 因本类方法不受燃料问题限制, 在国内推广应相对容易些。

(4) 小吨位试桩的检测, 可考虑移动方便、测试效率高