

天津某项目长大桩检测实例分析与探讨

贺占海

(天津华北地质勘查局,天津 300170)

摘要: 桩基承载力与完整性检测是隐蔽工程验收的关键环节,通常于桩基设计阶段即规划好检测方法,在施工阶段安放好检测设施或解决好地基处理问题,以利于后续检测工作的顺利开展。大直径超长桩因设计承载力大、桩身情况复杂,对检测工作要求较高,更应遵循检测与设计同步的原则。本文所述天津某项目恰恰忽视了桩基检测的事前设计,致使长大桩检测遇到棘手问题。作者在有限条件下通过专业技术分析,利用多年实践经验,因地制宜制定检测方法措施,采取分步加载法解决了大吨位堆载试验对长大桩承载力的验证性试验问题,综合利用低应变法与高应变法解决了长大桩的完整性检测问题,为类似工程提供了宝贵经验。

关键词: 长大桩;承载力检测;桩身完整性;堆载试验;低应变法;高应变法

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)08-0118-07

Analysis and discussion on testing of large diameter and super-long piles in a project in Tianjin

HE Zhanhai

(Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China)

Abstract: Testing of bearing capacity and integrity of foundation piles is the key step in acceptance inspection of concealed works. Usually, the testing method is planned in the design stage of pile foundation with the testing facilities placed or the ground treated in the construction stage, so as to facilitate the smooth execution of subsequent testing. The large diameter and super-long pile has high testing requirements due to the large design bearing capacity and complex pile conditions; thus, the principle of synchronous testing and design should be followed. On a project in Tianjin, the very negligence of prior design of foundation pile testing led to difficulty in large diameter and super-long pile testing. Though the conditions were limited, with professional technical analysis and many years of practical experience, and through formulation of testing methods and measures according to local conditions, the author has completed the bearing capacity verification test on large diameter and super-long piles with large tonnage surcharge by the step-by-step loading method, and integrity test on large diameter and super-long piles by combination of the low-strain method and the high-strain method, which provides valuable experience for similar works.

Key words: large diameter and super long piles; bearing capacity testing; pile integrity; surcharge test; low-strain method; high-strain method

随着我国工程建设的飞速发展和基建水平的快速提高,高层建筑与超高层建筑不断涌现,大直径桩和超长桩的使用越来越普遍,这对桩基检测工作也提出了更高的要求。岩土工程检测是工程建设的重要环节,肩负着隐蔽工程验收的关键任务,

检测工作质量的好坏直接关系到整个工程建设的安全稳定^[1-3]。

桩基承载力与完整性检测通常于桩基设计阶段即规划好检测方法,在施工阶段安放好检测设施或解决好地基处理问题,以利于后续检测工作的顺

收稿日期: 2020-09-25; **修回日期:** 2021-03-03 **DOI:** 10.12143/j.ztgc.2021.08.018

作者简介: 贺占海,男,满族,1970年生,检测公司总经理,高级工程师,注册土木(岩土)工程师,工程地质、建筑与土木专业,硕士,长期从事岩土工程勘察、施工与检测工作,天津市河东区广瑞西路67号,Tjhc_jc@163.com。

引用格式: 贺占海. 天津某项目长大桩检测实例分析与探讨[J]. 钻探工程, 2021, 48(8): 118-124.

HE Zhanhai. Analysis and discussion on testing of large diameter and super-long piles in a project in Tianjin[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 118-124.

利开展。大直径超长桩因设计承载力大、桩身情况复杂,对检测工作要求较高,更应遵循检测与设计同步的原则。本文所述天津某项目公寓楼采用大直径超长钻孔灌注桩,同时采用桩端桩侧复式注浆工艺。由于检测工作介入较晚,忽视了基桩检测的事前设计,致使长大桩检测遇到棘手问题,可用检测手段和现场条件有限,且在费用被限定的情况下,如何顺利开展工作、保质保量完成检测任务,面临极大考验。

1 承载力检测

采用长大桩基础,主要为建筑承载能力与变形控制的需要^[4-7]。根据加载反力装置的不同,单桩承载力检测试验方法一般分为锚桩法、堆载法、锚桩堆载联合法、自平衡法等^[8]。几种方法各有优缺点,锚桩法或锚桩堆载联合法需要设计锚桩,如果不能工程桩作锚桩就会有锚桩费用问题;自平衡法虽然更适合大承载力的检测,且对场地要求不高,但需要提前设计,施工中预埋荷载箱,试验结束后进行注浆处理;而堆载法压重平台作用于地基之上,当试验荷载较大时,地基土通常需要加固处理才能满足承重要求,且荷载越大压重平台的安全问题越突出^[9-10]。

1.1 工程概况

本项目为天津市重点工程,总投资120多亿元,基坑平均开挖深度14 m,局部最大开挖深度>18 m,地上最高建筑高度>220 m。公寓楼设计桩径1.0 m,试桩桩长(桩顶至地坪)>90 m,属长大桩,单桩竖向抗压极限承载力标准值20320 kN。

抗压静载试验没有适合的锚桩,也没有设计自平衡法。经过现场查勘,场地原有旧基础因打桩施工进行了翻槽,为节约成本减少外运,现场堆放了许多翻出来的建筑垃圾。灌注桩施工后,场地虽然进行了平整处理,但是地基承载力根本无法满足堆载法试验的承重要求。根据规范规定,压重平台提供的反力不得小于最大加载值的1.2倍。如果平台下单侧支墩底面积按4 m×10 m计算,那么作用于地基土的压应力>330 kPa,假如采用换填垫层法对浅部地基进行换填处理,换填深度按3 m考虑,计算垫层下的附加压力与土的自重压力之和>190 kPa,而该层土(可塑状态的粘土、粉质粘土)的地基承载力特征值经深度修正后为125 kPa,无法满足要求,试验风险较大^[11]。

1.2 地基处理

根据建设方要求,地基处理必须结合现场情况和场地条件,简单易行、可操作性强,且不能大幅增加费用。经过与各方反复沟通,处理方法确定为换填垫层法,充分利用现场堆放的建筑垃圾,试验需要在不影响检测结果准确性的前提下突破常规。最终处理方案确定为:

(1)以试桩为中心,在最小处理面积14 m×14 m(压重平台两侧各外延1 m)范围内,将地表以下3 m深度的地基土全部换填为建筑垃圾,分层碾压夯实,填垫至不低于现地坪30 cm以上(预留下沉量)。

(2)压重平台下两侧支墩底部铺垫大块钢板,增大接触面积,平均分布地基所受压应力,保证单侧受力面积<4 m×10 m。

(3)由于堆载配重无法在一个白天加完,试验分步进行,先码放部分配重,利用夜晚吊车不作业的时间,试验即开始逐级加载,第二天再加足配重,始终保持地基土所受压应力和垫层底部的附加压力能够满足要求。

为尽量避免试验过程中增减配重影响试验数据的连续稳定,采取多种配套保障措施是必要的,对单桩承载力进行验证性试验是可行的。首先验算地基压应力与附加压力,以及分步试验的可操作性问题。

根据规范要求,压重平台总质量将达到20320 kN×1.2倍即大约2440 t,整个平台的搭建需要至少2个白天(夏季)。假设压重平台50%的重力需要地基土承担,那么单侧支墩作用于地基的压应力约为180 kPa(包括支墩、50%承重钢梁与单侧钢板的重力)。按照规范“压应力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍”计算^[12],要求地基承载力特征值<120 kPa,对于分层碾压3 m厚的建筑垃圾来说很容易满足。再计算垫层底部的附加压力与垫层土的自重压力之和约为132 kPa,下层土经深度修正后的地基承载力特征值125 kPa,比值1.06,附加压力无重叠。这样安全可行,风险较小,只需保持试验过程中压重平台超出1220 t的质量由试验桩承担,就不会造成地基失稳。

1.3 试验步骤

与常规方法不同,为解决压重无法于试验前一次加足的问题,本次采用分步加载法,即利用夜晚吊装作业停止时间,提前开始加载试验。为保证试验数据的可靠性与稳定性,必须规划好试验步骤与保

障措施,具体试验步骤如下:

第一步(第一个白天):在处理好的地基上铺垫钢板,码好两侧支墩,使单侧支墩与地面的均匀接触面积达到 $4\text{ m}\times 10\text{ m}$,然后铺好承重钢梁,逐层码放配重(为保证安全,层与层间的配重块相互咬合),直至总配重的50%即1220 t。

第二步(第一个夜间):试验开始分级加载,分级荷载为最大试验荷载的1/10即2032 kN,首级加载值为分级荷载的2倍。为保证压重平台提供的反力不小于最大加载值的1.2倍,试验最多只能加载至第5级10160 kN。在继续增码配重满足至少1.2倍的反力要求前,试验如果达到稳定标准即暂停,维持荷载不变。

第三步(第二个白天):继续增码配重,保证压重平台提供的反力能够满足要求再继续试验,直至全部码完,过程中随时观察试验荷载与沉降数据的变化情况。

由于地基土承受荷载的限制,试验不能连续卸载至零,考虑到卸载观测时间较短,为给拆卸平台留出足够的时间,卸载与卸载沉降观测需要暂停2次,分别在完成第6级12192 kN和第4级8128 kN后,暂停试验维持荷载不变,待拆卸多余配重,能满足1.2倍反力要求后再继续,直至全部卸载至零与沉降观测完毕。试验加、卸荷载与沉降观测均由JCQ-503B型静力荷载测试系统进行自动控制,其荷载示值误差 $< \pm 0.5\%FS$,位移示值误差 $< \pm 0.1\%FS$,压力传感器精度级别为0.2级。

1.4 保障措施

计划好试验步骤与操作方法后,要考虑如何采取措施避免或最大限度降低吊装作业对试验数据的影响,并随时关注数据变化,发现异常及时采取措施调整方案。本次试验采取的主要措施为:

(1)为保证地基处理达到方案要求,安排专人跟随地基处理全过程,处理效果只允许比预计的好,因为在软弱地基上增减配重无疑要比在坚硬地基上影响更明显。

(2)拆码配重的机械需要改进,选用55 t(550 kN)履带吊,吊臂长、振动小、作业位置固定,高处作业视野好、效率高,对地基扰动小。

(3)现场指挥与吊装人员须配合默契,完全熟悉大吨位堆载试验的各项操作,拆码配重时熟练准确、轻拿轻放,开始作业前熟记试验步骤与操作方法。

(4)预先做好各方沟通协调工作,划出警示区域,避免无关人员或其它机械、车辆的干扰。

(5)试验人员24 h留驻现场,时刻应对异常情况,事先制订好应急预案与处理措施,夜间值班试验员不少于2名。

(6)整个试验过程和试验数据同步上传至网络平台与行业监管平台,便于管理人员真实、准确、及时掌握情况,发现异常及时采取措施、启动应急预案。

1.5 试验结果

按照上述计划和安排,试验进展比较顺利,基本上每根桩加载与卸载均暂停2次,试验过程未出现明显异常,荷载-沉降曲线比较平滑,无明显突变点。一根桩的试验从铺垫支墩底的钢板开始,到全部拆卸与观测完毕,用时3个白天2个夜晚,比最初计划所用时间缩短1天,试验结果令人满意。现场堆载试验情况见图1、图2,试验结果见图3。



图1 现场堆载试验照片

Fig.1 Surcharge testing site

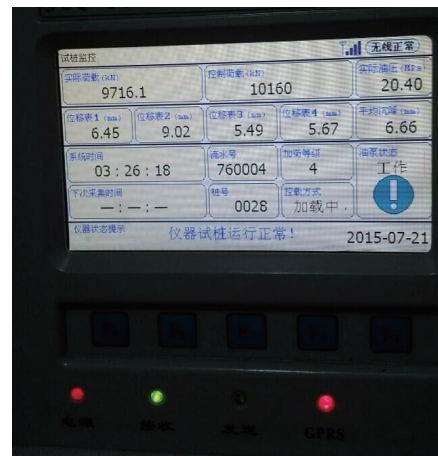


图2 试验过程自动观测仪器

Fig.2 Automatic observation instrument for the test process

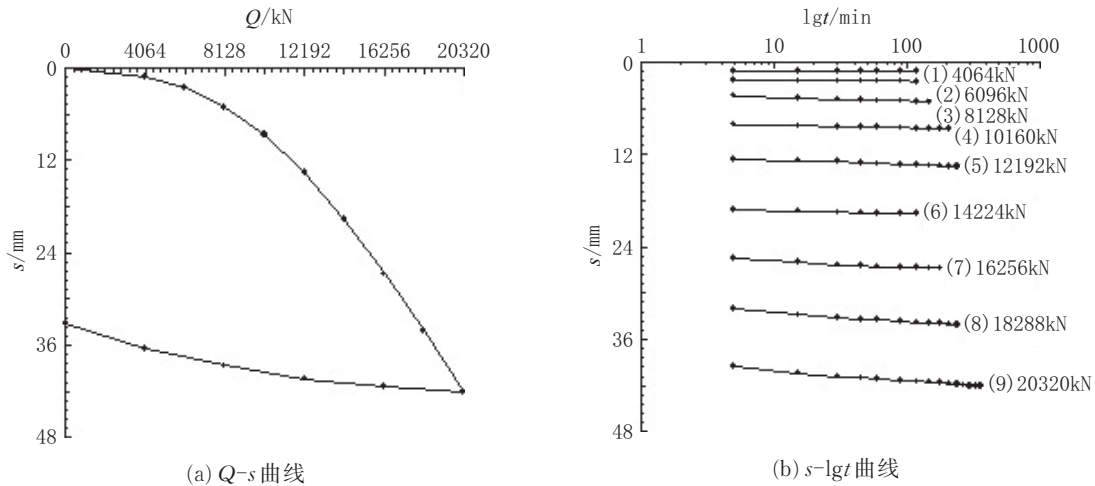


图3 28号试桩试验曲线

Fig.3 Testing curves of the No.28 testing pile

试验结果证明,试验采取的方法步骤得当、保障措施到位,吊装作业对试验数据的影响轻微(影响明显时,数据或曲线会有异常跳变),也说明只要找准核心问题、用好技术手段,对工程桩的承载力验证性试验来说,分步加载试验是完全可行的。如今整个建筑已经封顶近2年时间,总体沉降 $<20\text{ mm}$ 且已趋于稳定。

2 完整性检测

混凝土桩完整性检测方法主要有钻芯法、低应变法、声波透射法、高应变法等,几种方法各有优缺点与适用范围。声波透射法需要预埋声测管;钻芯法时间长、影响大,对混凝土有损伤;高、低应变法有局限性,遇到复杂情况需要其它方法验证。因此《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)建议,当一种方法不能全面评价桩身完整性时,应采用两种或两种以上的检测方法^[12]。

2.1 问题分析

本工程桩基设计不足之处在于完整性检测未考虑声波透射法,施工时没有埋设声测管,建设方又不允许使用钻芯法,导致在长大桩检测中遇到了麻烦。

本工程的桩径 1.0 m ,有效桩长 69 m 、 78 m ,桩侧两处注浆位置分别距桩底 12 m 、 24 m ,桩端注浆管2根。根据后压浆施工记录,每根桩的桩端注浆水泥用量 2 t ,终止注浆压力 $5.7\sim 5.8\text{ MPa}$;桩侧注浆水泥用量 1.2 t ,终止注浆压力 $3.6\sim 3.8\text{ MPa}$ 。低应变检测发现大部分桩的时域曲线在深度约 $53\sim 58\text{ m}$

段存在较明显的同相反射(如图4所示),反射峰平缓,峰值时长 $>2\text{ ms}$,在波速较合理的桩端位置反射波以反相反射居多。

为进一步查明情况、分析原因,邀请京津两地3家权威检测机构进行复核,检测仪器包括武汉RS1616K(S)、美国PIT、上海YL-PIT,击振装置选用大能量特制力棒,检测结果均类似。在没有声波透射法检验,又无法钻孔取心情况下,4家检测机构组成专家团队,广泛搜集相关资料,对检测数据进行反复分析论证后,基本确定以下几点:

(1)桩底反相反射应与桩端后压浆有关,反相反射不明显或者为同相反射的应为后压浆效果不理想所致;

(2)深度 $53\sim 58\text{ m}$ 范围存在的同相反射应与桩侧后压浆有关,桩长 69 m 的2处侧压浆位置分别在 45 m 和 57 m ,桩长 78 m 的2处侧压浆位置分别在 54 m 和 66 m ,宽幅同相反射应为2处侧压浆中间不连续部位的连带波阻抗变化所致,但也不排除桩身存在混凝土质量问题的可能;

(3)4根静载试验桩的试验结果均满足承载力要求,低应变检测曲线各不相同,表明只要桩身完整性不存在明显问题,就可以保证单桩承载力的发挥;

(4)应尽可能结合其它检测手段进一步排查或验证桩身质量情况。

2.2 补充验证

由于低应变法检测激振能量较小,桩身应变一般一般为 10^{-6} 量级,对于长大桩深部缺陷的判别难度

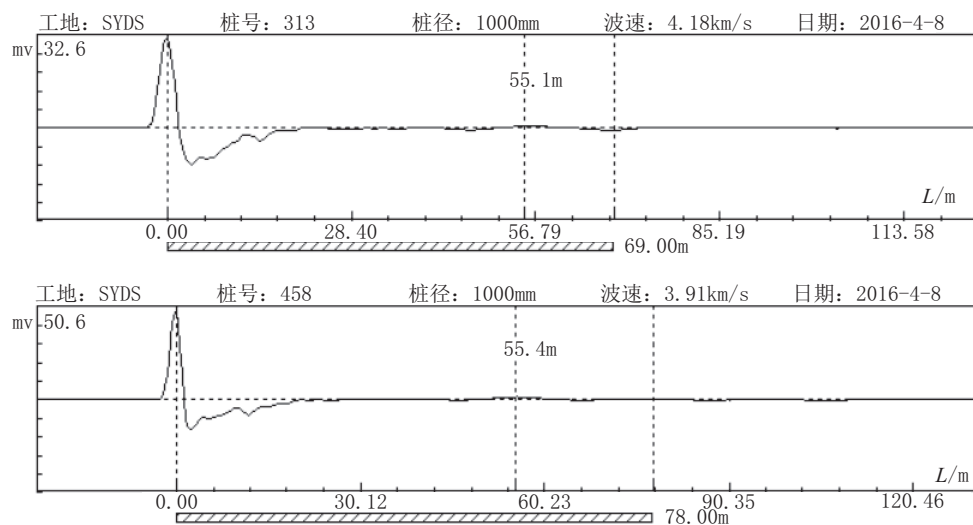


图4 长大桩低应变检测典型波形曲线

Fig.4 Typical waveform curve of low-strain detection

较大,而高应变法采用较大的激振能量,桩身应变比低应变法高2~3个数量级,能够使桩和桩周土间产生相对位移,对于长大桩的完整性检测可靠性更高^[1]。因此最终经多方协商,确定采用高应变法对低应变检测存在明显疑虑的桩作进一步检测,以获取较大激振能量下桩身应力波传播信息,一方面检测桩身完整性系数 β 是否满足要求,另一方面通过改变桩身阻抗与桩侧土阻力优化等方法进行波形拟合,观察曲线拟合效果和完整性变化情况^[13-15]。

根据低应变检测结果,选择5根有代表性的工程桩,按照规范要求制作桩头进行加固处理。由于受基坑中所处位置与现场条件限制,最大锤重只能选为6t,检测前后用水准仪测量桩顶贯入度。5根桩的测试数据分析均采用波形拟合法,典型结果曲线如图5、图6所示。

由于波形拟合目的是为在拟合计算过程中,通过改变桩身阻抗、桩侧桩端土阻力优化等,观察拟合波形与实测波形吻合程度与桩身完整性变化,所以5根桩反复拟合比较用时较长,最终效果比较满意。拟合结果表明,在计算波形与实测波形高度吻合、岩土工程参数正常合理的情况下,桩身阻抗无明显异常变化,完整性系数 β 均大于80%,桩身质量不存在明显问题。

3 施工体会

实际上,长大桩的检测应遵循与桩基设计同步

的原则。单桩静载试验提前设计好合理试验方法,如锚桩法、锚桩堆载联合法或自平衡法。锚桩法可采用工程桩作为锚桩,以节约成本;锚桩堆载联合法可以利用工程桩作锚桩的同时,减少地基处理工作量;自平衡法能很好地回避场地作业空间和地基处理问题。即便一定要采用堆载法,也应提前设计好地基处理方法,以免出现难以回避或无法解决的问题。而完整性检测应设计好2种或多种检测方法相互验证,对长大桩来说,低应变法难以准确判断桩底与桩身完整性时,声波透射法由于不受桩长、长径比、土阻力等限制,更适合长大桩完整性检测的需要。《铁路工程基桩检测技术规程》(TB 10218—2019)规定:桩径大于等于2m或桩长大于40m或者特殊结构物或复杂地质条件下的基桩应采用声波透射法检测;当对低应变法检测结果有疑虑时,可采用钻芯法或高应变法验证;当对声波透射法检测结果有疑虑时,可以采用钻芯法验证^[16]。

4 结语

本工程实践表明,桩的承载力和完整性检测涉及多个环节,对整个工程建筑影响重大,应根据不同情况采用更具针对性的检测方法,对长大桩尤其如此,否则检测工作会面临许多棘手问题。岩土工程检测涉及岩土工程勘察、设计、施工等各环节,检测人员不仅需要了解地层土质情况,掌握施工信息、工艺方法,更应该熟悉规范要求与各检测手段的优缺

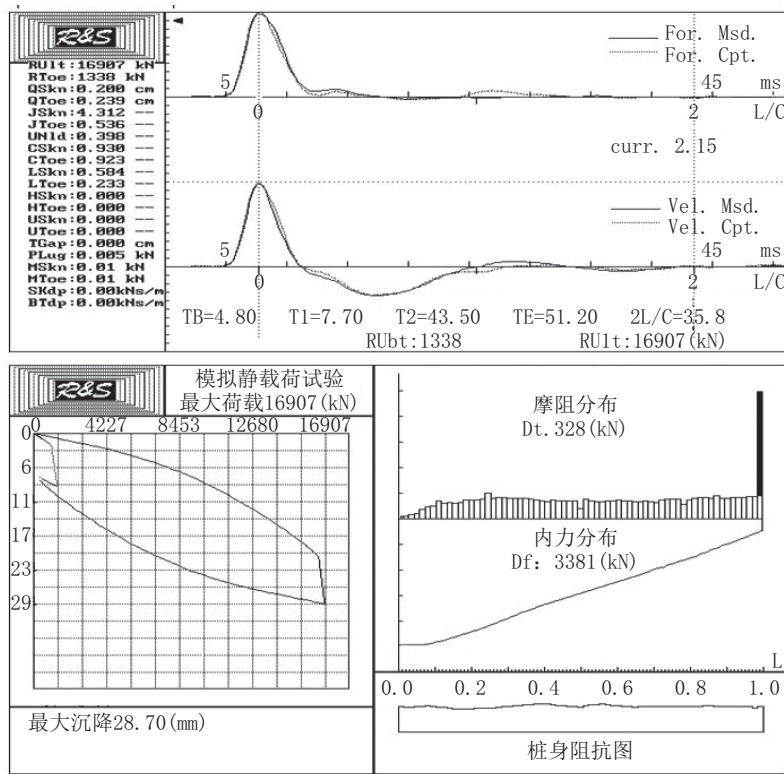


图5 313号桩高应变波形拟合曲线

Fig.5 High-strain waveform fitting curve of the No.313 pile

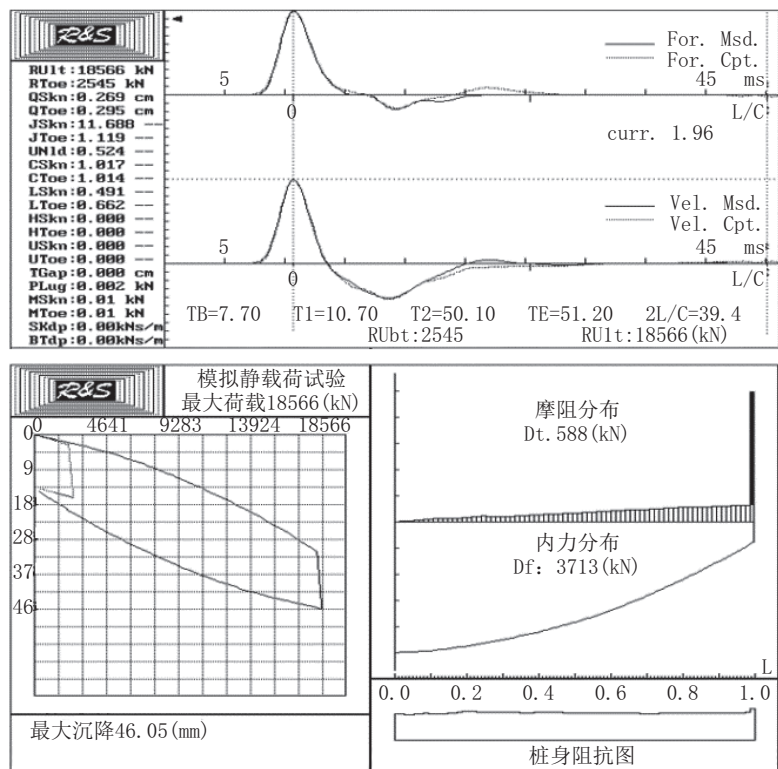


图6 458号桩高应变波形拟合曲线

Fig.6 High-strain waveform fitting curve of the No.458 pile

点,长大桩的检测需要检测人员具备较高的理论知识和专业技能。

长大桩的检测需要用心细心,问题考虑全面。当遇到类似工程情况时,应首先从技术角度拿出解决办法,规划好具体步骤,对于需要攻克的难点要做好方案措施与应急预案,然后尽力得到各方的支持与配合,争取有利条件发挥岩土工程检测的积极作用,保证隐蔽工程的验收质量。

参考文献(References):

- [1] 陈凡,徐天平,陈久照,等. 桩基质量检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
CHEN Fan, XU Tianping, CHEN Jiuzhao, et al. Pile Quality Testing Technology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.
- [2] 许兴. 岩土工程特点及检测技术[J]. 珠江水运, 2019(24): 94-95.
XU Xing. Geotechnical engineering characteristics and testing technology[J]. Pearl River Water Transport, 2019(24): 94-95.
- [3] 胡绍辉,刘国栋. 岩土工程桩基检测技术分析[J]. 四川水泥, 2020(1):141.
HU Shaohui, LIU Guodong. Technical analysis of foundation pile detection in geotechnical engineering[J]. Sichuan Cement, 2020(1): 141.
- [4] 杨磊. 大直径超长钻孔灌注桩荷载传递特性现场试验研究[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(7):117-122.
YANG Lei. Experimental study of load transmission property for large-diameter and super-long bored piles[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(7): 117-122.
- [5] 孙炜,徐燕,胡天明. 大直径深长桩泥岩侧摩阻力试验研究——以吉林省龙华松花江特大桥工程试桩为例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11):72-78.
SUN Wei, XU Yan, HU Tianming. Testing of skin friction of large diameter deep piles in mudstone: A case study of the test piles for the Songhua River large bridge in Jilin province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 72-78.
- [6] 方正中. 大直径桩竖向承载特性分析[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2020.
FANG Zhengzhong. Analysis of vertical bearing behavior of large diameter piles[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2020.
- [7] Peisen Wang, Hongyan Ding, Jialin Zhou, et al. Field tests of super-long and large-diameter drilled shaft pile foundations[J]. Advances in Civil Engineering, 2020(6): 1-12.
- [8] 金鸣. 建筑地基基础工程检测与监测手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
JIN Ming. Manual for Detection and Monitoring of Building Foundation Engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2020.
- [9] 褚克南,张文伟,姚学朝,等. 软土地区桩基超大吨位堆载试验、装置及工艺方法研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(1):41-46.
CHU Kenan, ZHANG Wenwei, YAO Xuechao, et al. Study on facilities and technology of pile test in soft soil under extra-heavy load[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(1): 41-46.
- [10] 张忠苗,张乾青,张广兴,等. 软土地区大吨位超长试桩试验设计与分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(4):535-543.
ZHANG Zhongmiao, ZHANG Qianqing, ZHANG Guangxing, et al. Large tonnage tests on super-long piles in soft soil area[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(4): 535-543.
- [11] JGJ 79—2012, 建筑地基处理技术规范[S].
JGJ 79—2012, Technical code for ground treatment of buildings[S].
- [12] JGJ 106—2014, 建筑桩基检测技术规范[S].
JGJ 106—2014, Technical code for detection of building foundation piles[S].
- [13] 王雪峰,吴世明. 桩基动测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
WANG Xuefeng, WU Shiming. Pile Dynamic Testing Technology[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [14] 蒋万里,朱国甫,张杰. 单桩承载力的一种直接动测法[J]. 岩土力学, 2020, 41(10):3500-3508.
JIANG Wanli, ZHU Guofu, ZHANG Jie. A direct high-strain method for the bearing capacity of sing piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2020, 41(10): 3500-3508.
- [15] 陈凡,王仁军. 尺寸效应对基桩低应变完整性检测的影响[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(5):92-96.
CHEN Fan, WANG Renjun. Dimension effect on low strain integrity testing of piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(5): 92-96.
- [16] TB 10218—2019, 铁路工程桩基检测技术规程[S].
TB 10218—2019, Technical specification for testing of railway piles[S].

(编辑 周红军)