

悬浮式 P-S 波速测井技术在海洋工程 勘察中的应用

董明明

(中海油田服务股份有限公司,天津塘沽 300459)

摘要:剪切波波速是工程场地地震安全性评价和地震小区划工作中必测的参数之一。和室内剪切波波速测试方法相比,剪切波波速原位测试技术可以提供准确和更详细的波速测试资料,具有操作简单、方便、快速等特点。因此,在陆地工程勘察中得到了广泛应用。由于海上作业环境的特殊性,剪切波波速原位测试技术在国内海洋岩土工程勘察中尚未广泛应用。介绍了英国 RG 公司的悬浮式 P-S 波速测井系统的基本构成和测试原理,并将该波速测试系统在海洋岩土工程勘察中进行了测试应用。测试结果与室内的剪切波波速测试结果进行对比,对比表明测试结果具有可靠性,且其具有测试间隔小、数据量大和可快速提供测试结果等特点,在海洋岩土工程勘察中具有广泛的应用前景。

关键词:悬浮式 P-S 波速测井; 挠曲波; 间接测试

中图分类号: P753

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2017)03-0046-05

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2017.03.006

剪切波波速是地震横波(剪切波)在土中的传播速度,它反应了土层的刚度特征,并且对场地地震动参数有显著影响,故剪切波波速的测试与估计是一个重要的工作。因此,剪切波波速是当前工程场地地震安全性评价和地震小区划工作中必备参数之一。

陆地上,汪闻韶^[1]和胡升瑞^[2]对剪切波波速在岩土工程中的应用总结有:1)划分建筑场地土类型和场地类别;2)评价饱和砂土、粉土的地震液化性;3)确定土的动力学参数;4)估算场地微震的卓越周期等。随着海洋油气资源的开采,在海上建立了大量采油生产平台。海上石油平台属于甲类构筑物,《构筑物抗震设计规范》^[3]要求进行抗震设计,其中平台场址土动力特性评价是一个不可或缺的组成部分。对平台场址土动力特性评价,剪切波波速又是一个十分重要的土层动力指标,为地震安全性评价提供依据。目前,剪切波波速测试可通过 2 种方法进行:1)在现场进行原位测试;2)在室内对采回的土样进行波速测试。室内试验有其局限性:1)土样从海底取出后,由于应力释放、样品包装运输等不可避免会有扰动,测试结果并不能准确反映地层的原位波速;2)钻孔取样获得的样品是不连续的,其数量也有一定限制,尤其在较深地层,间隔一般在 3 m 左右。而现场原位测试具有连续、可靠、快速和经济的优点,在国外得到广泛地应用。

在国内陆地勘察中,原位剪切波波速测试已经成熟应用,可通过单孔法、跨孔法和面波法进行测试。郭明珠等^[4]通过对上述几种波速原位测试方法的比较得出,对于一般的工程场地,单孔声波法具有操作方法简单、测试结果精度高和作业成本低等特点。由于海洋岩土工程勘察的特殊性、海上作业环境的限制以及高成本性,海洋岩土工程勘察中剪切波波速的原位测试方法采用单孔法波速原位测试实为可行和相对经济的。对国内外单孔法原位波速测井仪进行对比和分析,中海油田服务股份有限公司物探事业部工程勘察作业公司引进了一套数字悬浮式 P-S 波速测井仪,该套仪器的测试主要在裸眼灌水孔中进行,适合于海洋岩土工程勘察作业中。Tanaka 等^[5]、Kuo 等^[6]和 Lin 等^[7]对该套测试设备和方法在岩土工程勘察中进行了很好的

收稿日期:2017-01-04

作者简介:董明明(1981-),男,高级工程师,硕士,主要从事海上岩土工程勘察方面研究。E-mail: dongmm@cosl.com.cn

(李 燕 编辑)

应用。

以中海石油(中国)有限公司天津分公司钻井平台场址工程勘察项目和本单位科研项目为依托,采用英国 RG 公司悬浮式 P-S 波速测井系统,我们进行了海上岩土工程勘察钻孔波速测井新技术的应用研究,取得了一些较为可靠和较高精度的测试结果。以下对渤海海域某井场的测试结果为例进行简略介绍。

1 波速测试系统介绍

英国 RG 公司的数字悬浮式 P-S 波波速测试系统的硬件由主机、供电系统、电缆绞车、深度计数和探头等部分组成,悬浮式 P-S 波速测井系统如图 1 所示。

该系统的探头主要由配重、驱动、震源、阻尼管和接收器组成。震源采用电磁敲击机械震源,激发高能量的横波,其能量是常规声波探测能量的 20 倍。接收器是由 2 个声阻尼管隔开的零浮力的三分量检波器组成,可准确捕捉到经地层传播的横波和纵波信号。声阻尼管阻止了声波沿仪器本身传播,保证了检波器所得到的信号来自地层。采集数据时,探头停在设定的深度,震源由地面数据采集系统控制激发,在探管两侧的井液中建立一个压力偶,由此引起的液体运动在井壁产生一个挠曲波,其波速接近地层的剪切波波速,同时伴随有压缩波。这样设计降低了测井中钻井液对声波传播的衰减和干扰,提高了测井结果的准确性和可靠性。该套数据采集系统运用了多次叠加和滤波技术,在数据处理时,既能抑制噪声,同时又能很好地保留原波形信息,取得较好的滤波效果。

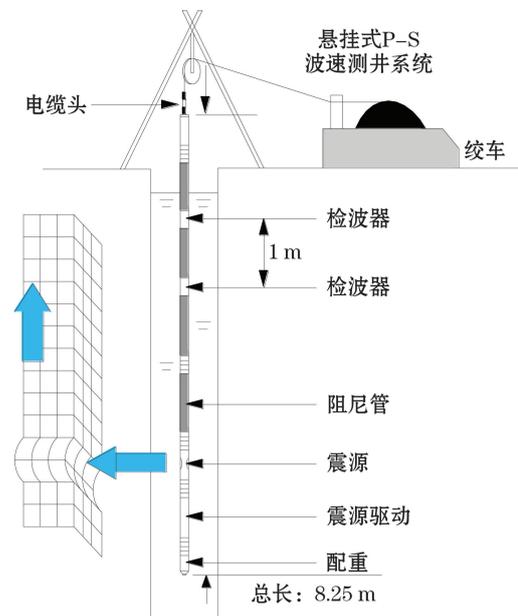


图 1 悬浮式 P-S 波速测井系统
Fig.1 The suspension P-S wave velocity logging system

2 P-S 波速测井技术应用实例

2.1 土质特性

该井场施工了一口 90 m 深的工程地质钻孔,前 40 m 进行了钻孔取样。根据钻孔取样的地质编录该井位表层土质为非常软到软的粉质黏土,其下至 40 m 内土质主要以砂性土为主,中间夹有 2 个厚度不等的粉质黏土层。具体的土质描述和土质特性见图 2 钻孔柱状图和试验结果。



图2 钻孔柱状图和试验结果
Fig.2 Borehole log and tested results

2.2 测试结果

钻孔取样结束后,进行 P-S 波速测试仪的现场测试。为了保持井壁的稳定,采用纤维素、重晶石和土粉混合而成的泥浆进行清孔和护壁。本次测试结果获得了海底泥面以下 82 m 左右土质的剪切波波速值。为了进行比较分析,特将该区块内的其它 4 个平台场址的室内剪切波波速资料与之对比,由于同属一个区块,根据钻孔资料对比,浅层土质基本一致,具有可对比性。以此来验证悬浮式 P-S 波速测试仪测试出的剪切波波速的可靠性,对比图如图 3 所示,图 3 中的深度为从海底起算。

图 3 中红色标记为该井场的原位剪切波波速测试结果,其他标记为同一区块内 4 个钻孔的室内波速测试结果。从图中可以看出现场原位测试剪切波波速随深度增加而逐渐增大与室内试验结果总体趋势一致,且现场原位测试的结果在区域土质室内剪切波波速值波动幅度之内,从而验证了现场测试的可靠性。高印立^[8]和王建华等^[9]对现场和室内剪切波波速统计对比分析表明,两者的剪切波波速试验结果一般相差 15% 左右。而本次剪切波波速原位测试结

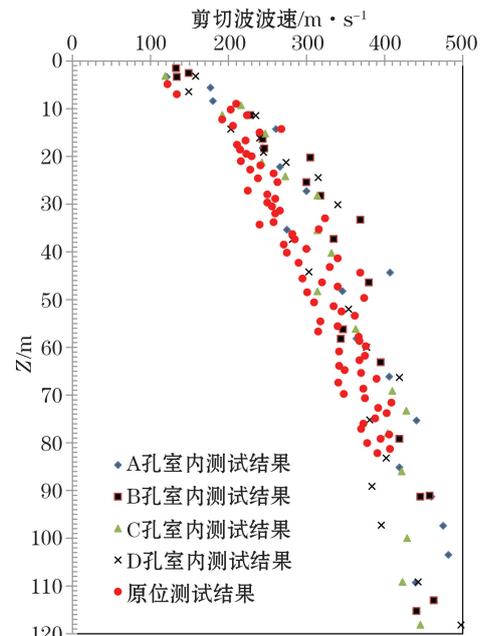


图3 测试结果对比图
Fig.3 Comparison of the tested results

果显示,大部分深度范围内,现场原位测试结果与室内波速试验结果对比较好,仅在 30~37 m 深度左右,现场原位测试结果略小于室内波速测试结果,可能原因:1)该深度范围内土质为粒状土,在进行室内剪切波波速试验时,需将试样在原应力条件下进行饱和固结,有可能固结程度过度;2)钻孔取样时,钻头对井壁周围的土质有稍微的扰动或有部分粒状土坍塌。

与室内剪切波波速测试方法相比,该悬浮式 P-S 波波速原位测试仪具有以下优点:1)原位测试,地层受到的扰动小,获得的剪切波波速更接近真实的地层波速;2)波速测试快捷方便,可以快速提供钻遇地层的剪切波速度参数;3)可根据工程的需要,加密测量点距,获得 0.5 m 深度间隔的地层剪切波速度,数据量大,弥补室内试验数据因测试数据少、离散性较大的不足,可以更好地满足工程需求。

3 结 语

本文对悬浮式 P-S 波波速测试仪的系统组成和测试原理进行了分析和介绍,该套设备采用了独特的设计,集成有高能剪切波激发震源,适合在充水的小孔径裸眼井中进行施工。该套设备具有操作简单、运输方便等特点,适合于海上作业环境。与地震波静力触探(SCPT)测试方法相比,该套设备对船舶或平台的作业能力要求较低,且不需要再配备独立的震源,适用性很强,能够在一般船舶或平台上使用。和室内波速试验结果相比,该设备测量深度间隔最小可达 0.5 m,测量深度间隔小、数据量大、测试结果精度较高,不但可以较好地弥补室内波速试验数据少和离散型大等诸多不足之处,而且可快速提供测试结果,在海洋岩土工程勘察中具有广泛的应用前景,为海上平台的抗震分析提供不可或缺的土动力特性参数。该套设备测试时需在裸孔中进行,会有因孔壁坍塌而掩埋设备的风险,因此其对钻孔护壁质量要求较高。对于深孔(大于 40 m)波速测试时,实际作业过程中建议采用分段测试法,可有效降低设备掩埋风险。

参考文献(References):

- [1] WANG W S. An important parameter in geotechnical engineering for earthquake disaster mitigation-shear wave velocity[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1994, 25(3): 80-84. 汪闻韶. 土地震减灾工程中的一个重要参量—剪切波波速[J]. 水利学报, 1994, 25(3): 80-84.
- [2] HU S R. The application of wave velocity measurement in engineer exploration work in Dongying[J]. Shanxi Architecture, 2006, 32(2): 124-125. 胡升瑞. 波速测试在东营地区工程勘察中的应用[J]. 山西建筑, 2006, 32(2): 124-125.
- [3] Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Design code for antiseismic of special structures: GB 50191—2012[S]. Beijing: China Planning Press, 2012. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 构筑物抗震设计规范: GB 50191—2012 [S]. 北京:中国计划出版社,2012.
- [4] GUO M Z, JIA L J, TIE R, et al. Analysis on current situation of shear-velocity measurement method[J]. Northwestern Seismological Journal. 2011, 33(Supp.1): 21-23. 郭明珠, 贾连军, 铁瑞, 等. 剪切波波速测试方法的现状分析[J]. 西北地震学报, 2011, 33 (增 1): 21-23.
- [5] TANAKA K, OGURA K, MIURA H, et al. Application of suspension P-S logging system to high velocity ground[J]. Exploration Geophysics, 1985, 16(3): 289-291.
- [6] KUO C H, WEN K L, HSIEH H H, et al. Evaluating empirical regression equations for Vs and estimating Vs 30 in northeastern Taiwan[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2010, 31(3): 431-439.
- [7] LIN C H, LIN C P. Phase velocity approach for suspension P-S logging data analysis[J]. Journal of Applied Geophysics, 2016, 129: 126-132
- [8] GAO Y L. The statistical relation of shear velocity with soil properties[J]. Building Science, 1998, 14(5): 20-22. 高印立. 剪切波波速与土性指标间的统计关系[J]. 建筑科学, 1998, 14(5): 20-22.
- [9] WANG J H, CHENG Y G, ZHANG L. Study on variation of shear wave velocity caused by sampling disturbance[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(15): 2604-2608. 王建华, 程勇国, 张立. 取样扰动引起土层剪切波波速变化的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2604-2608.

Application of Suspension P-S Wave Velocity Logging Technique in Offshore Engineering Investigation

DONG Ming-ming

(*China Oilfield Services Limited*, Tianjin 300459, China)

Abstract: Shear wave velocity is one of the essential parameters for the seismic safety evaluation and seismic microzonation of engineering site. Compared with the laboratory methods for shear wave velocity measurement, the in-situ shear wave velocity measurement can provide with more accurate and detailed velocity testing data and has the advantages of simple operation, convenience and rapidness, etc., and thus has been widely applied in the land engineering surveys. Because of the particularity of marine operation environment, however, this technique has not yet been widely used in the domestic marine geotechnical investigations. The basic constitutions and principle of a suspension P-S wave velocity logging system of the British RG Company are introduced and a test application of this system has been carried out in an offshore geotechnical survey. The comparison between the results from the survey and those from the laboratory tests has shown that the results from the field tests are not only reliable, but also has the characteristics of small testing interval, large amount of data and quickly providing with the data, indicating that such a system has a wide application prospect in the offshore geotechnical investigations.

Key words: suspension P-S wave velocity logging; flexural wave; indirect measure

Received: January 4, 2017