

TK-1型压入活塞式取样器运动阻力计算及海上取样试验

吴秋云¹, 赵尔信²

(1. 中海油田服务股份有限公司, 天津 300451; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 在海上采用压入活塞取样器取砂、土样在国内尚属首次。经过对取样器进行科学的模拟计算, 获得了取样器运动阻力和压入地层所需的压力, 试验表明, 这些数据符合海上取样的实际情况。所设计的密封装置、翻板取样器及PC取样管等满足了海上取样要求。

关键词: 压入活塞式取样器; 海上钻探取样; 阻力; 模拟计算; 穿钉

中图分类号: P634.4⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2012)06-0016-04

Calculation of Resistance to Motion of TK-1 Press Piston Sampler and Marine Sampling Test/WU Qiu-yun¹, ZHAO Er-xin² (1. China Oilfield Services Limited, Tianjin 300451, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The press piston sampler was firstly used for marine sampling sand and soil. By the scientific simulation calculation of sampler, the resistance to motion and the pressure to force into formation were obtained. The test shows that the data accorded with actual marine sampling situation; and the designed sealing device, turnover sampler and PC sampling tube can satisfy the requirements of marine sampling.

Key words: press piston sampler; marine drilling sampling; resistance; simulation calculation; locking nail

1 概况

中国钻探工作者盼望已久的深海海洋钻探已正式启动, 其重要标志是中海油服的“海洋石油 708”深水钻探船, 已于 2012 年元月中旬正式下水, 并在海上进行了随钻取样试验, 取得了满意的效果。

“海洋石油 708”深水工程勘察船采用先进的电力推进系统, 配备 DP-2 动力定位系统和 AHC 主动式升沉补偿装置, 具有超大的甲板面积, 配备有深水工程钻机、深海随钻取样器及深水 AUV 系统等, 可实施

3000 m 水深海域工程钻探和地质钻探的取样作业。

深水随钻取样器有 3 种类型: (1) 压入活塞式取样器, 适用于软的砂土层; (2) 伸缩式取样器, 适用于软硬互层; (3) 射流抓簧取样器, 适用于破碎硬地层。

本文主要介绍 TK-1 型压入活塞式取样器(图 1), 其结构组成有: 管鞋、活塞、扶正器、PDC 取心钻头、内筒、外筒体、密封圈、六方套、六方杆、穿钉、座环、座环接头、弹卡室、弹卡挡头等。

其工作原理是, 取样器中有一个密封圈, 封住泥

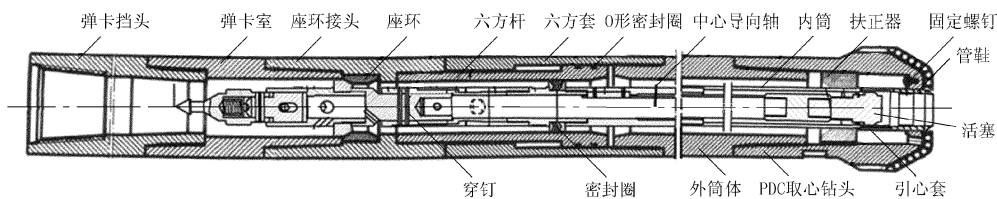


图 1 TK-1 型压入活塞式取样器

浆在内外管之间的通道, 使泵入取样器内的泥浆压力不断升高, 达到一定数值时将穿钉压断, 内筒快速压入海底软土层, 其压入速度为 2 m/s, 可取出不扰动的原状土样。

压入软土层的深度与软土层的抗剪强度及摩擦阻力有关, 为此, 笔者进行了下面相关的计算与模拟, 以探讨压入深度与土层抗剪强度和摩擦阻力的关系, 为取样器的设计和使用提供理论依据。

2 取样器压入砂层或土层的压力计算

2.1 压入活塞式取样器规格参数

外筒外径: 209.55 mm; 内取样器外径: 89 mm; 衬管外径: 71.55 mm; 取样管长度: 2 m; 内钻头外径: 94 mm; 抗涡动金刚石复合片钻头外径 9½ in; 复合片镶嵌角度: -15°。

钻具内取样筒压入砂层或土层需要很高的压力和射入速度, 依据土层的不排水抗剪强度和砂、土层

收稿日期: 2012-03-29

作者简介: 吴秋云(1961-), 男(汉族), 河北涞水人, 中海油田服务股份有限公司物探事业部副总经理兼物探研究院副院长、高级工程师, 工程地质专业, 从事海上工程施工工作, 天津市塘沽区吉林路 1155 号, wuqy@cosl.com.cn。

的摩擦阻力进行计算。

2.2 按砂、土层抗剪强度计算所需的压力

非常软的粘性土的抗剪强度 $< 11.3 \text{ kPa}$, 坚硬粘性土抗剪强度 $> 191.3 \text{ kPa}$, 本文以坚硬粘性土为例进行计算。

$$P_1 = 100\delta S$$

式中: P_1 ——压入砂、土层所需的压力, N; δ ——不排水抗剪强度, MPa; S —— $\varnothing 89 \text{ mm}$ 取样筒压入砂、土层的面积, cm^2 。

$$P_1 = 0.191 \times 32 \times 100 = 610 \text{ N} = 0.61 \text{ kN}$$

2.3 摩擦阻力的计算

$$P_2 = U \sum q_i l_i$$

式中: P_2 ——摩擦阻力, kN; U ——取样管($\varnothing 89 \text{ mm}$)的周长, cm; q_i ——砂或土层的摩擦阻力, kN; l_i ——取样器压入砂或土中的长度, 设计样品长度为 100 cm 。

$$q_i = \beta \delta_{vi}$$

式中: β ——摩擦系数, 查资料可知土与钢为 0.5 , 砂与钢为 0.9 ; δ_{vi} ——摩擦阻力, kN。

$$\delta_{vi} = \rho + \sum \gamma_{i-1} Z_{i-1} + (1/2) \gamma_i Z_i$$

式中: ρ ——外加载荷的重力, kN; γ ——有效密度, kN/m^3 , 砂 $\gamma = 25 \text{ kN/cm}^3$, 土 $\gamma = 18 \text{ kN/cm}^3$; Z ——有效厚度, cm。

通过计算可得: $\varnothing 89 \text{ mm}$ 取样管压入土层中的摩擦阻力 $P_2 = 9 \text{ kN}$; $\varnothing 89 \text{ mm}$ 取样管压入砂层中的摩擦阻力 $P_2 = 14 \text{ kN}$ 。

总的压入砂、土层的压力 $P = P_1 + P_2$ 。

在坚硬的土中约需压力为 $9 \text{ kN} + 0.61 \text{ kN} = 9.6 \text{ kN}$; 在非常密实砂土中约需压力为 $14 \text{ kN} + 0.61 \text{ kN} = 14.61 \text{ kN}$ 。

2.4 穿钉剪切强度计算与应力模拟

上述取样管压入砂层或土层的压力数值, 等同于压入式活塞取样器所需的向下运动的总压力 P 。

依据压力 P 和取样管的截面积 S 可求出所需的泵压 P_c 。

在密实砂土中: $P_{砂} = P/S = 14.61 \times 10/32 = 4.6 \text{ MPa}$;

在坚硬土中: $P_{土} = P/S = 9.61 \times 10/32 = 3 \text{ MPa}$ 。

考虑到活塞运动时与外筒之间的摩擦阻力、取样筒在中心轴上运动时摩擦力、取样筒向下运动时海水的上浮阻力等, 砂层中取泥浆泵压力值为 5 MPa , 土层中取 3.4 MPa , 而取样器密封的面积为 53.5 cm^2 , 经计算可得推力: 压入砂层中所需压力为 26 kN , 土层中为 19 kN 。

通过计算机仿真模拟分析直径 6 mm 的 45 钢材质穿钉在加载 25 kN 载荷的应力分布(见图2)。由图可知在此模拟条件下, 穿钉在 A、B 两处折断, 计算机模拟结果与上述理论计算结果相符。

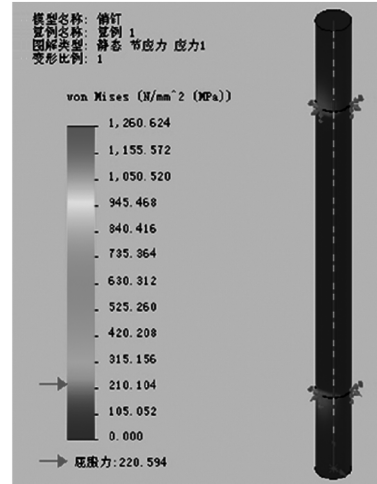


图2 穿钉应力分布

通过实验室的力学性能试验和试验台的台架试验得出, 剪切销钉 $\varnothing 6 \text{ mm}$ 可以承受最大压力为 5 MPa (25 kN), 分别压入砂层 $0.60 \sim 0.65 \text{ m}$, 压入土层 $0.9 \sim 1 \text{ m}$ 。

计算压力为 5 MPa 时, 取样筒压入深度: 砂层为 1 m , 土层中应为 1.5 m 。而实际试验在 5 MPa 压力下压入砂层深度为 $0.6 \sim 0.65 \text{ m}$, 土层深度为 $0.9 \sim 1.0 \text{ m}$, 其误差主要是试验用砂、土层装在砂样筒中, 相当于砂土样是在围压条件下进行试验, 实际海底取样不存在上述围压条件, 故出现误差。

2.5 内筒强度计算

(1) 材料: 42CrMo 。

(2) 化学成分:

C $0.38\% \sim 0.45\%$; Si $0.17\% \sim 0.37\%$; Mn $0.50\% \sim 0.80\%$; S 允许残余含量 $\leq 0.035\%$; P 允许残余含量 $\leq 0.035\%$; Cr $0.90\% \sim 1.20\%$; Ni 允许残余含量 $\leq 0.030\%$; Cu 允许残余含量 $\leq 0.030\%$; Mo $0.15\% \sim 0.25\%$ 。

(3) 力学性能: 抗拉强度 $\sigma_b \geq 1080 \text{ MPa}$; 屈服强度 $\sigma_s \geq 930 \text{ MPa}$; 伸长率 $\delta_5 \geq 12\%$; 断面收缩率 $\psi \geq 45\%$ 。

(4) 结构参数: 内管长度 $L = 2320 \text{ mm}$; 内管外径 $D = 89 \text{ mm}$; 内管内径 $d = 73 \text{ mm}$; 截面积 $A = (\pi/4)(D^2 - d^2) = 2035.75 \text{ mm}^2$ 。

(5) 强度计算:

抗压强度 $F_g = \sigma_s A = \sigma_s (\pi/4)(D^2 - d^2) = 1893247.5 \text{ N} = 1893 \text{ kN}$ 。

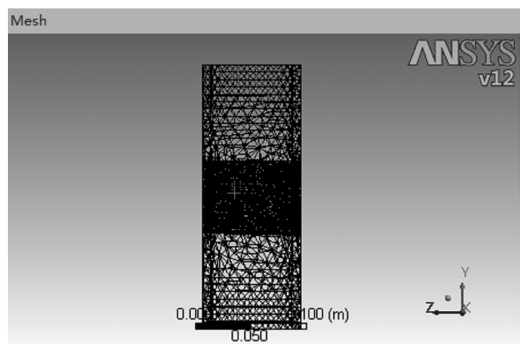
内筒取样时最大压力为 14.6 kN(参见 2.3 摩擦阻力计算),抗拉强度 $F_b = \sigma_b A = \sigma_b (\pi/4) (D^2 - d^2) = 2198.6 \text{ kN}$ 。

内筒取样时最大拉力为:内筒重力 0.6 kN + 钢

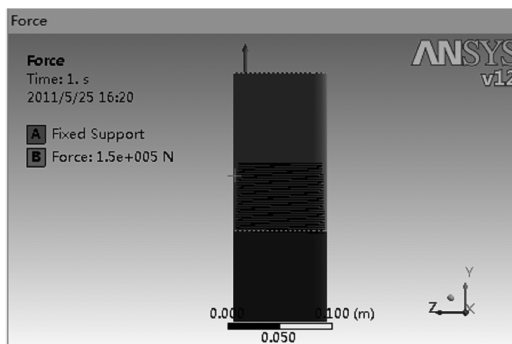
丝绳重力 47 kN = 47.6 kN,由计算可见内筒抗压强度和抗拉强度满足强度要求。

2.6 内筒螺纹应力分析(见图 3)

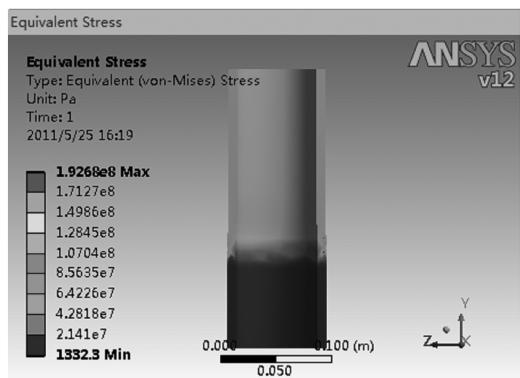
由内筒取样筒的强度计算可知,其屈服强度为



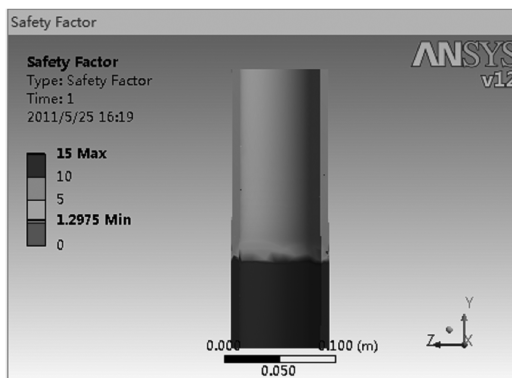
(a) 内取样筒实体及螺纹连接的网格图



(b) 加载150kN拉力载荷及螺纹接触面情况



(c) 150kN拉力载荷下取样管及螺纹处的应力分布(最大应力处为192MPa)



(d) 150kN拉力载荷下取样管及螺纹的安全因子系数

图 3 内取样筒及螺纹应力分析

930 MPa,根据分析可行,在提升取样管过程中,其材质及螺纹设计的抗拉强度完全满足使用要求。

3 压断穿钉的机构

实现上述压力需要相应机构来完成,下述为已设计的剪切机构。

3.1 密封结构设计

依据理论计算和实验室试验可知,在软土或松散砂层中,常用剪切压力为 5 MPa,在半固结砂土层中约需 10 ~ 15 MPa。要求密封装置至少能承受 20 MPa 压力。采用 V 形组合密封,单组 V 形密封压力为 6.4 MPa,总共用 4 组 V 形密封(图 4),其密封承受压力为 25.6 MPa,完全能够满足压入活塞式取心器的压力需要。

3.2 剪切穿钉结构

放穿钉的剪切机构,要能够在一定液压条件下将穿钉压断,而自身不能发生任何变形。研制了图 5、图 6 所示的剪切机构,通过试验完全满足取样需要。

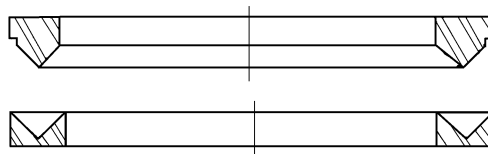


图 4 密封结构

4 海上取样试验及效果

4.1 海上取样用设备

海上取样工作依托于海上钻探船、深海钻机、钻塔、高压泥浆泵及相应的动力定位和升沉补偿装置。

钻探船——海洋石油 708 号,船型参数 105 m × 23.4 m × 9.6 m,排水量 11986 t。

深水工程钻机——钻探能力 3600 m(5 in 钢钻杆)。

钻杆自动移动装置——包括钻杆的排布机和钻杆到位的鹰爪机。

深水随钻取样器——取样直径 60 mm,取样长度 2 m。

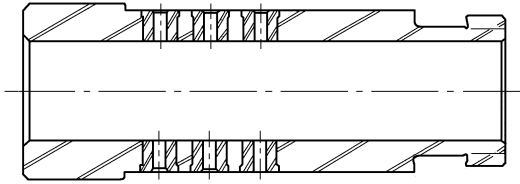


图5 剪切机构外套

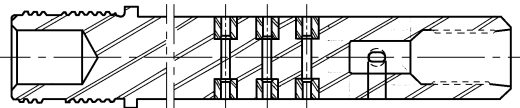


图6 剪切机构中心轴

深水电动液压取样绞车——ME—HSMW—40T。

额定负载:450 kN(26 m/min);150 kN(75m/min)。

4.2 取样条件

海底上部是淤泥,下部是松散砂层、土层。

钻探船上下浮动1 m左右,由主动补偿器补偿,船空间位置定位仪用DP-22型。

4.3 取样试验效果

2012年1月15日下午1点,“海洋石油708号”深水工程勘探船起航,经过20 h左右的航行,到达了预定的海上试验地点。

4.3.1 试验内容

试验内容包括穿钉剪断的压力;密封的能力;翻板取样器的开关灵敏度;PC管取样效果等。

4.3.2 试验效果

一切准备工作完成后,将TK-1型取样器放入海中(见图7),开启泥浆泵,待泵压升至5 MPa时,穿钉剪断,内筒快速压入地层,仅1~2 s时间,压入深度达2 m,取上砂、土层样品2 m(见图8),实现了满管取样,比任务书中的要求(取样长度1.1 m)的指标超出0.9 m。取样翻板非常吻合地关住样品,这也是取样的关键技术和创新技术。试验获得如下成果。

(1)穿钉剪断压力:表上指示压力5 MPa与原来设计的压力数值相吻合。

(2)密封能力:试验中曾试压至10 MPa,仍未泄漏,说明密封耐压性能满足要求。

(3)翻板的灵敏度:试验中翻板开关灵活,能很好的封住进入PC管中的砂、土层样品,甚至连海水也能较好地密封。说明其密封性能良好。

(4)PC管取样效果:进入PC管的砂、土层样品,被原状保护,其透明度好,可见管内样品的结构,有利于地质人员观测,也便于保存运输。



图7 TK-1型取样器放入海中



图8 TK-1型取样器取出的样品

这次海上取样的初试成功,为下一步大规模取样提供了坚实的技术基础。

5 结语

(1)取样器压入砂、土层的压力主要的是用于克服砂、土层的抗剪力和取样器进入砂、土层之间的摩擦力。

(2)通过海上压入取样试验,说明计算的取样压力与取样深度之间的关系是正确的。

(3)设计的TK-1型压入式取样器满足海上钻探取样的条件,所取出的样品满足工程地质的需要。

(4)TK-1型取样器是国内首次研制成功,填补了我国深海工程取样空白。

参考文献:

- [1] 左汝强. 国际海洋科学钻探进展[Z]. 北京, 2005.
- [2] 赵尔信. 海洋深水工程钻探技术[A]. 探矿工程(岩土钻掘工程技术学术交流年会论文集)[C]. 北京:地质出版社, 2011.
- [3] 刘志广. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [4] 郭友钊. 走向海洋[M]. 北京:民族出版社, 2002.
- [5] 蒋国盛. 天然气水合物的勘探与开发[M]. 北京:地质出版社, 2002.