

深海天然气水合物钻探取样中的“桩效应”分析

朱杰然^{1,2}

(1. 中国石油大学(华东), 山东 东营 257061; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:建立了天然气水合物钻探取样过程中“桩效应”的数学模型,通过解析分析,提出了取样高度的隐式解。分析了取样筒内径和样品与取样筒之间摩擦系数对取样高度的影响。参数分析表明,岩层的内摩擦角和粘聚力对取样高度也有很大的影响。取样深度对取样率的影响较小。

关键词:天然气水合物;钻探;桩效应;取样高度

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)08-0018-04

Study on the “Pile Effect” in Gas Hydrate Sample Coring in Deep Sea/ZHU Jie-ran^{1,2} (1. China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061, China; 2. Drilling Technology Reserch Institute of Shengli Petroleum Engineering Company, SINOPEC, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: The mathematical model of “pile effect” was built in the process of gas hydrate sampling coring and the implicit analytical solution for the sample height is presented by analytical analysis. The influences of the sampling tube diameter and the friction coefficient between the sample and the sampling tube were analyzed. Parametric analysis shows that the inherent friction angle and cohesion of the target layer have great influence on the sample height. The sampling depth in the target layer has unapparent influence on the sampling rate.

Key words: gas hydrate; drilling; pile effect; sampling height

0 引言

天然气水合物是21世纪一种重要的战略资源,已经吸引了各国政府和科学家的高度关注,我国目前也正积极开展天然气水合物的调查及勘探、开发的研究工作^[1,2]。天然气水合物勘探的关键之一是取样技术,由于海域天然气水合物多赋存于海洋海床深部,只有进行海洋深部钻探,才能取得矿床评价所需信息。目前国外已设计并投入使用的取样工具有很多种,我国也研制了一些深海沉积物取样器,但主要用于获取海床表层的沉积物样品^[3,4],目前还未见可用于深海、深层岩心保真取样的工具。笔者在参与研制深海天然气水合物取样工具的过程中,进行了一些相关的理论探讨工作。

国内外已经进行的深海科学钻探工程表明,由于取样过程中的“桩效应”^[5,6]等问题,钻探过程中的岩心取样率很难保证。因此,针对深海天然气水合物钻探取样过程中“桩效应”现象进行力学分析,对钻具的优化设计及后续海洋平台上的实际取样过程的操作均具有十分重要的现实意义。目前国际上对钻探过程的“桩效应”现象的机理还缺乏统一的认识,理论上增加取样筒孔径可以增加取样率,但是

地质钻探过程所采用的取样筒的尺寸限制非常苛刻^[7],取样筒的最大内径控制在10 cm左右。本文从解析的角度对深海天然气水合物钻探取样过程中可能存在的“桩效应”现象做了一定的分析。

1 “桩效应”的解析分析

深海取样工具如图1所示,钻井工作过程中,护筒及筒外岩层切削工具在驱动力的作用下旋转,切削海床上部地层,到达目标层位后,取样筒在静压作用下刺入岩层中,获取样品。随着样品进入取样筒中高度增加,筒内的样品与取样筒内壁的摩擦阻力增加,当总摩阻力达到某一数值时,取样筒下部的岩层受力达到极限状态,不再进入取样筒内。进入取样筒的样品像“瓶塞”一样阻止下部的岩层进入取样筒,就出现了“桩效应”。

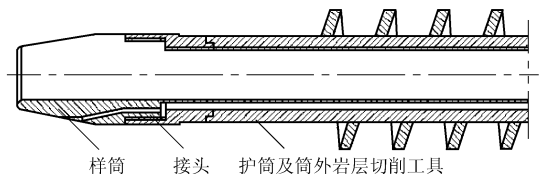


图1 深海取样工具取样筒部位结构

收稿日期:2013-05-04

基金项目:国家“863”课题“天然气水合物钻探取芯工程样机及配套技术”(SS2013AA090602)

作者简介:朱杰然(1980-),男(汉族),山东临沂人,中国石油大学(华东)博士在读,中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院,油气井工程专业,硕士,从事钻井工具设计开发工作,山东省东营市中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院,zjr4958@163.com。

由于取样筒一般为圆筒形,可以近似认为岩心受力是一个轴对称问题。任取样筒内一段高为 dz 的岩心微分体,其受力情况如图 2,由竖向静力平衡可得:

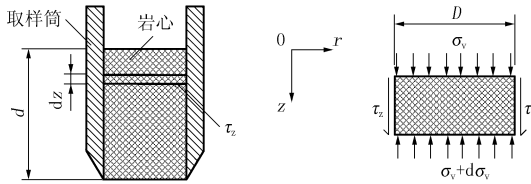


图 2 “桩效应”力学分析

$$Ad\sigma_v = \tau_v Udz \quad (1)$$

式中: A ——取样筒横截面积; σ_v ——竖向应力; τ_v ——样品与取样筒内壁的摩擦力; U ——取样筒内部圆周长。

将式(1)两边取微分,可得:

$$d\sigma_v/dz = 4/D \cdot \tau_v \quad (2)$$

式中: D ——取样筒的内径。

忽略取样过程对岩层的扰动及样品筒中样品的压缩,样品与取样筒之间的摩擦力可以写为:

$$\tau_v = \mu k \sigma_v \quad (3)$$

式中: μ ——样品与取样筒之间的摩擦系数; k ——岩层的静止侧压力系数。

将式(3)代入式(2),可得到样品竖向应力的微分方程:

$$d\sigma_v/dz = 4/D \cdot \mu k \sigma_v \quad (4)$$

式(4)在 $z=0$ 处的边界条件为:

$$\sigma_v = P_0 \quad (5)$$

式中: P_0 ——取样层位的平均竖向应力,即 $P_0 = \gamma' H$; γ' 、 H ——分别为岩层的有效重度和取样深度。

式(2)的解为:

$$\sigma_v = P_0 e^{(4\mu k/D)z} \quad (6)$$

设产生“桩效应”时的取样高度为 d ,则岩心和取样筒之间的摩擦力为:

$$F = \int_0^d \tau_v \pi D dz \quad (7)$$

将式(3)代入式(7)可得:

$$F = (1/4) \pi D^2 P_0 (e^{4\mu k d/D} - 1) \quad (8)$$

当“桩效应”产生时,取样筒下方的土体达到极限状态,可知:

$$F/A = P_0 k \tan^2(\pi/4 + \varphi/2) + 2c \tan(\pi/4 + \varphi/2) \quad (9)$$

将式(8)代入式(9)可得:

$$e^{4\mu k d/D} - 1 = k \tan^2(\pi/4 + \varphi/2) + 2c/P_0 \cdot \tan(\pi/4 + \varphi/2) \quad (10)$$

从式(10)中可知,取样高度和取样管管径、样品与管之间的摩擦系数、海床的原位压力以及侧压力系数和强度参数等相关。从以上的分析可知,取样高度随取样筒内径 D 的增加而增加,随样品与取样管之间的摩擦系数 μ 的增加而减小。

为了验证解析分析的正确性,本文计算了 D 和 μ 变化时取样高度的变化。计算所用的参数如下:取样筒内径 D 的变化范围为 4~10 cm,样品和取样筒之间的摩擦系数 μ 的变化范围为 0.2~0.5,取样深度为 100 m,海床表层土体的有效重度为 7.5 kN/m³,水合物(结冰状态)的内摩擦角取 35°,粘聚力为 300 kPa。

图 3、图 4 给出了取样筒内径和土-管之间摩擦系数变化时取样高度的变化,由图可知:取样高度随取样筒内径呈线性变化,当取样筒内径为 10 cm 时,取样高度可接近 0.45 m。深海深层取样筒的总长度约为 1.0 m,因此其取样率约为 45%。当土-管之间的摩擦系数增加时,取样高度减小。当 μ 达到 0.5 时,取样率不到 20%,技术、经济上是不合理的。

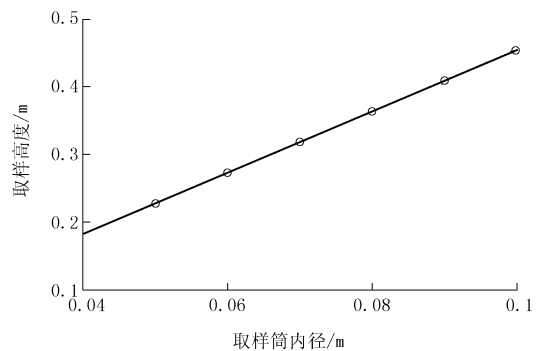


图 3 取样高度随取样筒内径的变化

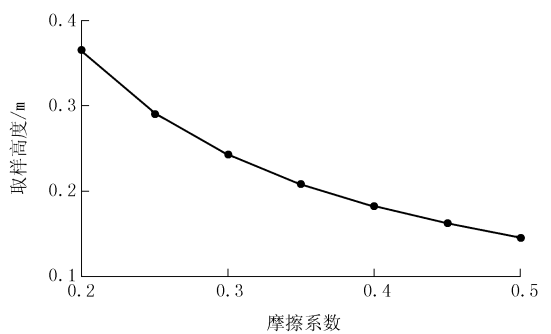


图 4 取样高度随取样筒与样品之间摩擦系数的变化

2 参数分析

工程钻井实践表明,“桩效应”不仅表现为取样筒内的样品“堵塞”取样筒,还表现为取样筒下部的岩层在荷载的作用下,发生塑性流动,无法进入取样筒内。因此,“桩效应”还和取样筒下部岩层的极限承载力有关,岩层的承载能力越小,特别是取样筒从较硬的岩层进入较软的岩层时,越容易出现“桩效应”。因此取样率还和目标岩层的强度指标、取样深度相关。由于目前获得的深海沉积层的土工参数资料非常少见,本文根据文献调研的数据^[8~11],通过参数分析,研究了样品长度随岩层的内摩擦角 φ 、粘聚力 c 和取样深度 H 的关系。

图 5 给出了目标岩层的内摩擦角 φ 对取样高度的影响。图 5(a) 和图 5(b) 分别给出了取心筒内径 D 和土-管之间摩擦系数 μ 变化时取样高度的变化。由图可知,取样高度随岩层内摩擦角的增加而显著增加。从图 5(a) 可知,当岩层内摩擦角为 25° 时,采用 10 cm 内径的取样筒也仅能达到约 30% 的取样率;当岩层内摩擦角为 45° 时,其最大取样率可接近 80%。从图 5(b) 可知,当岩层内摩擦角为 45° 时,最大取样率可达 60%;当岩层内摩擦角为 25° 时,最大取样率约为 20%。

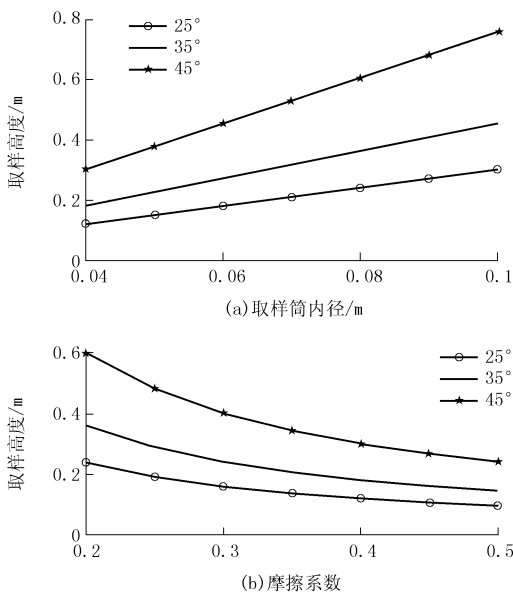


图 5 岩层内摩擦角对取样高度的影响

图 6 给出了目标岩层粘聚力 c 对取样高度的影响,图 6(a) 和图 6(b) 分别给出了取心筒内径 D 和土-管之间摩擦系数 μ 变化时取样高度的变化。与内摩擦角变化时类似,由图 6 可知,岩层粘聚力提高也有助于提高取样率。综合图 5 和图 6 分析可知,提高目标岩层的强度可以提高采样率。由于天然气

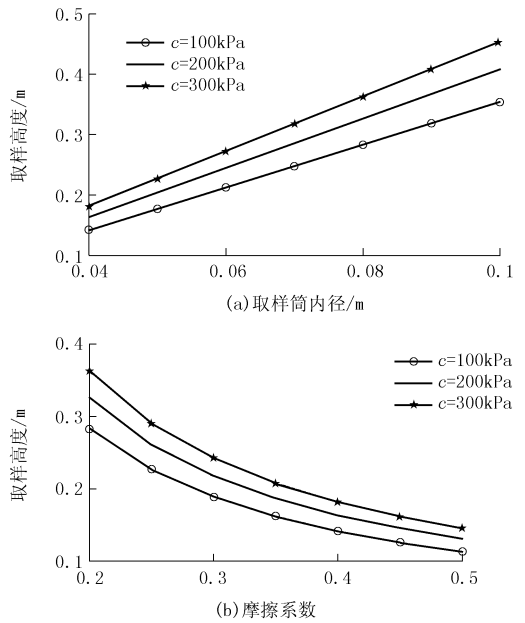


图 6 岩层粘聚力对取样高度的影响

水合物在取样过程中容易受钻杆的扰动,强度指标降低,实际取样工具的设计应考虑从技术上减少对岩层的扰动。

天然气水合物一般赋存于水深 $>300\text{ m}$ 的海床底下,在南海水底的水合物一般埋藏在水深超过 1000 m 的海底 160 m 左右的岩层中。本文研究了取样深度对取样高度的影响(图 7)。图 7(a) 和图 7(b) 分别给出了取心筒内径 D 和土-管之间摩擦系数 μ 变化时取样高度的变化。由图 7 可知,随着取样深度增加,取样高度减小,但是减小的幅度非常小。

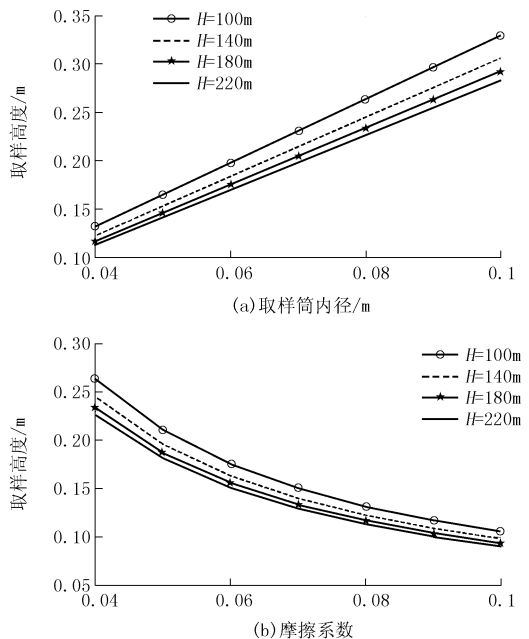


图 7 取样深度的影响

3 结语

计算结果表明,取样高度随取样筒内径的扩大而增加,随取样筒与样品之间的摩擦系数的增加而减小。参数分析表明,取样高度随岩层内摩擦角和粘聚力的增加而增加。取样深度对取样高度的影响较小。工程实践中,为了提高取样率,应该主要研究如何降低取样筒和岩心之间的摩擦阻力。

参考文献:

[1] 方银霞,金翔龙,杨树锋.海底天然气水合物的研究进展[J].海洋科学,2000,(4):18-21.
 [2] 龚建明,陈建文,戴春山,等.中国海域天然气水合物资源远景[J].海洋地质动态,2003,(8):53-56.
 [3] 程毅.天然气水合物保真取样技术的研究[D].浙江杭州:浙江大学,2006.
 [4] 秦华伟.海底表层样品低扰动取样原理及保真技术研究[D].

浙江杭州:浙江大学,2005.
 [5] Randolph M., E. Leong and G. Houlsby. One-dimensional analysis of soil plugs in pipe piles[J]. Geotechnique, 1991, 41(4): 587-598.
 [6] Smith I., P. To and S. Wilson. 'Plugging of pipe piles[A]. in Proc., 3rd Int. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling [C]. 1986.
 [7] 许俊良,任红.天然气水合物钻探取样技术现状与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):4-9.
 [8] 刘军,庞雄,颜承志,等.南海北部陆坡白云深水区深水沉积结构要素[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(4):992-998.
 [9] 魏巍.南海中沙天然气水合物资源远景区海底沉积物的物理力学性质研究[J].海岸工程,2006,25(3):33-38.
 [10] 吴时国,秦蕴珊.南海北部陆坡深水沉积体系研究[J].沉积学报,2009,27(05):922-930.
 [11] 袁圣强.南海北部陆坡区深水水道沉积体系研究[D].中国科学院研究生院(海洋研究所),2009.

新设整装勘查区遴选论证工作全面展开

《中国矿业报》消息(2013-08-05) 从国土资源部矿产勘查技术指导中心获悉,2013年度全国新设整装勘查区遴选论证工作全面展开。来自全国16个省级国土资源主管部门申报的37片新设整装勘查区将接受专家论证。

此次论证工作将延续第二批整装勘查区遴选论证的相关做法,并引入专家交叉分组的方法,请各方专家对论证材料共同把关,确保评估质量。

据了解,为保证此次论证工作顺利实施,国土资源部矿产勘查办公室会同部矿产勘查技术指导中心组织召开了遴选论证专家预备会。针对当前矿业形势下行,矿产品未来走势不明朗的现状,会议鼓励有勘查投入积极性的矿业企业进入勘查领域。

“专家应重点把握大局、全盘统筹,严格按照勘查区内有大矿、有潜力、有规划、有积极性和有保障的‘五有’原则进行遴选论证。”国土资源部矿产勘查办公室常务副主任于海峰表示,申报的勘查区内应已有一个大型规模矿床的探矿权,

且有望新增资源储量,符合省级和专项矿种勘查规划,社会资金投入和矿业权人积极性高,组织管理和矿业权管理到位、有保障的勘查区应予以重点支持。同时,对于党中央、国务院提出的集中连片特殊困难地区中成矿条件优越、具备开展整装勘查工作的勘查区,以及2012年申报并通过专家论证,因引入社会资金未到位而未能纳入国家级整装勘查区的备选区,现已明确引入社会资金的,应予以优先考虑。

遴选论证专家预备会上,国土资源部矿产勘查技术指导中心常务副主任陈仁义围绕论证基本要求、资源潜力、工作部署、资金投入、矿业权设置、组织实施与保障措施、资源开发及社会经济效益分析等7个方面,向与会专家详细介绍了论证要点。国土资源部矿产开发管理司相关负责人提出,本次论证工作要严格按照《国土资源部关于加快推进整装勘查实现找矿重大突破的通知》要求进行遴选,并明确提出应在紧缺和大宗矿产、已有矿业权现状和空白区新设矿业权方面予以重点关注。

勘探所 SDC-1500 车载钻机成功应用于我国首个集束潜孔锤反井施工

本刊讯 2013年8月22日,在内蒙古黄玉川煤矿,中国地质科学院勘探技术研究所研制的 SDC-1500 型车载深水井钻机成功应用于我国首个采用集束式气动潜孔锤反井施工工艺的矿山排水井施工。

该井位于内蒙古黄玉川煤矿主井西 30 m 左右的位置,钻井直径 700 mm,钻深 340 m,主要用于临时通风、排水和紧急情况下的快速救援通道。在钻进过程中,充分发挥全液压力头钻机动力头可 90°抬头上钻杆,上扣转速、扭矩可无级调节、反打钻进中提升力调整精度高、钻进速度地层自适应无需人工干预,可无级调整动力头转速以匹配钻进速度和气动潜孔锤冲击频率等优势,最终创造 10 m/h 的钻井速度,通

过与常规的反井钻进方法对比分析,钻进效率提高了数十倍,成本节约了 60% 以上,取得了十分显著的经济效益和社会效益。该井的顺利完工标志着与该工艺配套的设备、器具技术已日趋完善,能够满足使用要求。在钻进中全液压钻机经受住 5 kJ 以上的高频振动冲击的考验,证明 SDC-1500 车载钻机完全能胜任反井施工任务。

通过这次试验,不仅验证了钻机的性能,也为我国今后在大口径反井钻进技术方面,提高钻进效率、缩短施工周期、减轻工人劳动强度、降低钻进成本,提供了一种高效的、全新的钻进技术。