

高原冻土水合物钻探冲洗液的研究

张永勤, 孙建华(执笔), 赵海涛, 刘秀美, 王汉宝

(中国地质科学院勘探技术研究所新技术一室, 河北 廊坊 065000)

摘要:分析了国外冻土和冰层取心钻探冲洗液应用技术现状,从冲洗液抗低温能力,防冻剂和抗低温处理剂的选择,以及泥浆的抑制性、降失水性等方面对高原冻土水合物钻探冲洗液的研究和野外应用提出了建议。

关键词:高原冻土;水合物;钻探;冲洗液

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2007)09-0016-04

Study on Drilling Fluid for Hydrate in Plateau Permafrost/ZHANG Yong-qin, SUN Jian-hua, ZHAO Hai-tao, LIU Xiu-mei, WANG Han-bao (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Analysis was made on present situation of application technique of drilling fluid for coring in frozen soil and ice sheet in foreign countries, and suggestions were made on study of drilling fluid for hydrate in plateau permafrost and field application, such as selection of resistance ability of washing fluid to low temperature, antifreeze agent and anti-low-temperature treatment agent; inhibit and fluid loss reduce of drilling mud.

Key words: plateau permafrost; hydrate; drilling; washing fluid

地球上大约有 27% 的陆地是形成天然气水合物的潜在地区,全球储量巨大,目前许多国家均有发现。冻土带是天然气水合物分布的主要环境之一,天然气在冻土带特定的温度和压力条件下可沉积形成水合物,并受沉积孔隙流体的矿化盐度、天然气的组成等因素的控制。由于冻土天然气水合物具有重大的资源前景和敏感的环境效应,美国、日本、加拿大和俄罗斯等先进国家先后开展了冻土带天然气水合物钻探取样研究,并取得了部分阶段性的实验成果。从世界范围看,冻土水合物钻探涉及的许多技术问题尚未解决,尤其是钻探冲洗液的研究还处于初级(探索)阶段。本文从冻土水合物钻探冲洗液抗低温能力,防冻剂和抗低温处理剂的选择,以及泥浆的抑制性、降失水性等方面,对冻土水合物钻探冲洗液研究和野外应用提出建议。

1 冻土水合物钻探对冲洗液的技术要求

我国冻土地带占世界多年冻土面积的 7%,主要处于中高纬度高海拔的青藏高原和黑龙江、内蒙古的最北端部分区域。地质专家认为,天然气水合物主要分布于北纬 28°~37°之间,平均海拔在 4000 m 以上的青藏高原地区。青藏高原多年永久冻土层实测厚度 10~175 m,计算最大厚度可达 700 m,冻

土层年均地温受纬度和海拔高度等因素的控制,为 -4~0℃。青藏高原冻土层地温梯度为 11~33℃/km,冻土层之下沉积层地温梯度为 28~51℃/km。

与北极极地的多年冻土区相比,我国青藏高原冻土区具有纬度低、冻土厚度薄、地温高和太阳辐射强等特点,存在的天然气水合物极有可能处于一种亚稳定状态。因此,在高原冻土天然气水合物勘查中,有必要结合高原冻土钻探施工特点,对冲洗液提出特殊的技术要求。

(1) 冲洗液必须有较强的抗低温能力,因而水基泥浆防冻剂的选择是需要试验研究的重要技术问题。

(2) 必须选择合适的抗低温处理剂。处理剂应具有抑制水合物的分解,抑制冻土地层的水化、融化的能力,具有很好的降失水性和絮凝作用。

(3) 冲洗液配方应考虑防冻剂和抗低温处理剂之间的影响和相容性。

(4) 具有良好的流变特性与良好的润滑减阻能力等。

2 国外低温钻孔冲洗液研究状况

低温冻土地层钻进需要与之相匹配的低温冲洗

收稿日期:2007-08-01

基金项目:中国地质大调查项目“陆地永久冻土天然气水合物钻探技术研究”(编号:1212010561203)

作者简介:张永勤(1960-),男(汉族),江苏沛县人,中国地质科学院勘探技术研究所新技术一室副主任、教授级高级工程师,探矿工程专业,从事岩土钻掘及取心(样)技术、施工设备及器具的研究与开发工作,河北省廊坊市金光道 77 号。

介质,从而实现井壁的稳定、地层压力的平衡、钻屑的携带和悬浮、钻头与钻具的冷却和润滑等功能,保证钻进安全顺利。

2.1 冰层和极地钻进低温冲洗液

冲洗液选择是冰心钻进中非常重要的关键技术部分。国外曾利用亲水和憎水的冲洗液进行中等深度和深孔冰心钻进。其中,亲水冲洗液倾向于与冰结合,如乙二醇、乙醇;而憎水冲洗液则不会,如DFA、煤油、乙酸丁醋。前苏联在冰层和极地的钻进中,经常使用以烃类物质为基础,加有各种添加剂的液体航空燃料、柴油机燃料、乙醇水溶液、乙二醇水溶液及其它防冻剂。

在冰层和其他地层钻进中煤油和柴油燃料用得最多,但煤油系列的冲洗液具有高渗透性,特别在有裂隙的永冻层钻进过程中,冲洗液的漏损会造成环境的严重污染。此外,由60%“北极”型柴油和40%矿化水(含25%CaCl₂的水溶液)混合而成的低温乳化剂,即溶解了沥青的柴油和含烃基苯磺酸铈的氯化钙水溶液,添加作为可逆乳化剂的专用添加剂以提高低温冲洗液的稳定性。南极冰川大陆架上的“友谊”基地曾以TC-1型航空燃料为冲洗液进行了机械回转钻进。南极东方站在钻探2200m深孔时利用了添有加重剂的TC-1型航空燃料。

南极冰层深孔钻进,主要采用乙醇水溶液、n-乙酸丁酯(用苯甲醚作加重剂)、硅有机溶液作冲洗液,并越来越广泛使用加有各种加重剂的烃基液体。烃基液体主要为柴油机、气涡轮机和喷射发动机的轻质燃料与工业煤油和溶剂。加重剂主要为三氯乙烯、高氯乙烯以及某些氯氟化碳。

2.2 永冻层钻进相关的低温冲洗液

俄罗斯冻结岩层钻进经验表明,散热系数小、滤失量低、粘度大的冲洗液是最有效的。向低温冲洗液中添加不同聚合物(水解聚丙烯腈、聚丙烯酰胺、羧基甲基纤维素、聚乙烯氧化物等),可以使其粘度变大,滤失量减小,从而达到上述性能要求。

为降低冲洗液和钻孔内部岩层的热交换,必须调整钻孔冲洗规程参数,包括调整流态和决定冲洗液热物理性能和润滑性能的物理化学成分。通过添加少量的聚氧乙烯或巴西树脂型聚合物,可以使相遇液流间的相互作用明显降低。这些聚合物的大分子明显降低了冲洗液的涡流性,并使液流间的热交换强度减少了数倍,同时还降低了液力摩擦功消耗。通过增大冲洗液量和改变其冷却条件来调整钻进规程参数(转速和钻压)时,加入有机的润滑添加剂,

便具有重要的意义。

为了保证正常钻探,防止孔壁解冻坍塌,降低冲洗液的冰点至至关重要。冲洗液加有机添加剂时,宜使用无机盐作防冻剂,如NaCl、KCl、CaCl₂、Na₂CO₃等无机盐类。为得到性能更佳的低温冲洗液,使用乙醇、丙三醇、乙烯乙二醇、聚乙烯乙二醇等有机添加剂将非常有效,这些结果已被全俄石油钻井研究所研究证实。

目前在冻结岩层中进行钻探时,为了制备低温聚合物冲洗液,主要使用NaCl和KCl,有时使用CaCl₂,但制备含有这些添加剂的稳定冲洗液非常困难。因为这些添加剂不稳定,容易分解成液相和固相。钻进冻结砾石层时可以使用粘稠的钾基聚合物冲洗液,钻进冻结泥岩时也可使用这种冲洗液。

冲洗液的温度对孔内温度影响较大,应该选用能够保证孔壁岩石不解冻的钻孔初始温度。国外试验资料表明,冲洗液的初始温度不应高于-2℃,盐水溶液初始温度不应高于-2.5~-3℃。

2.3 天然气水合物永冻层钻进冲洗液

该类地层钻进使用的低温冲洗液的特点是添加有不同成分的天然气水合物的抑制剂。抑制剂主要有两类:一类是常规的抑制剂,即热力学抑制剂,如盐、甲醇、乙二醇等,主要作用机理是使水合物的相平衡曲线移至更低温度(更高压力);另一类为新型的抑制剂,即低剂量水合物抑制剂(LDHI),LDHI的低剂量就是相对热力学抑制剂而言的,而它又分为动力学抑制剂(KHI)和防聚(AA)水合物抑制剂。目前,世界上对抑制剂研究较多的主要是低剂量水合物抑制剂(LDHI)。热力学抑制剂是防止天然气水合物形成的最直接方法,但需要的剂量很大,使得输送、放置、处理等费用相当昂贵,处理时还存在环境污染问题。

动力学抑制剂含有聚合物和表面活性剂的化学剂,主要是对天然气水合物具有时间依赖性和随机性的结合和生长过程进行抑制。防聚(AA)水合物抑制剂不是防止水合物的形成,而是通过一个“亲水合物”的头部和水合物晶体结合,同时另一个“疏水合物”(或“亲油”)的尾部将水合物分散于液烃相中,从而维持它们在一种可流动的浆液状态。

目前,常用的天然气水合物抑制剂主要有低分子量水溶性有机聚合物抑制剂、盐类抑制剂、乙二醇衍生物加盐类抑制剂、油基抑制剂以及一些特殊的化学试剂(包括卵磷脂、多聚物或PVP等)。低分子量水溶性有机聚合物主要是乙二醇衍生物,其分子

量大约在 800 的非聚合物分子和分子量大约在 2000 的聚合物。采用几种乙二醇衍生物的混合物作为抑制剂的抑制效果比单纯使用乙二醇衍生物要好。采用混合物不仅能够抑制天然气水合物形成,而且还能提高水敏性页岩的抑制性。

常用的盐类抑制剂有 NaCl、CaCl₂、NaBr 及 KCl,其中 NaBr 与 NaCl 的效果相当。盐的浓度对天然气水合物的抑制有决定性的影响。而油基冲洗液中天然气水合物的形成主要由水相的盐成分控制。

卵磷脂的表面吸附对抑制天然气水合物分解能起到关键作用。另外,卵磷脂分子可形成不同类型的聚合物,主要取决于卵磷脂的浓度和介质的成分。KCl 聚合物卵磷脂体系在阿拉斯加北极地区东南边缘永冻层的 K-13 等井的使用中曾获得成功。

3 天然气水合物地层钻探技术特性分析

地下岩层及其所含流体,在钻孔前通常都处于压力平衡状态。钻开地层以后孔壁岩层便失去了原有的支撑力,如果井壁岩层固有的胶结强度较弱,便会失稳垮塌。而岩层内的孔隙、裂缝及其所含流体,也丧失了原来的密闭性,从而引发涌、漏等问题。天然气水合物地层很多是可渗透的半固结或未固结砂岩或泥质砂岩地层,加之天然气水合物的存在使得在此类地层钻孔时这些问题会更加突出。首先当钻孔通道打开时由于温度和压力的变化导致水合物发生分解,当固态水合物起胶结或骨架支撑作用时,分解本身就会使孔壁坍塌。而分解产生的水增加了孔壁地层的含水量,使颗粒间的联系减弱,导致孔壁不稳;逸出的气体又影响了冲洗液相对密度和流变性,对孔壁稳定愈发不利,甚至还可能引发涌喷事故。

其次钻孔过程是一个非绝热过程,水合物地层又是多孔介质体,因而冲洗液和水合物地层必然会发生传热和传质作用,表现为冲洗液向孔壁周围地层中渗透以及水合物受热分解,二者耦合作用将导致孔壁围岩孔隙水压力增加,有效应力减小,从而使孔壁产生力学失稳。最后分解产生的部分气体进入钻孔内同冲洗液一起上返到地面,在这过程中如果孔内温压条件合适,它们又会重新在防喷器管线和阀门内形成水合物,导致意想不到的钻井事故的发生。因此,孔壁易失稳和孔内事故易发是水合物地层钻探的一个主要特性。

目前,天然气水合物勘探主要采用地球物理方法,如地震反射法中的 BSR 技术。而通过钻探获取天然气水合物样品是一种最直观的方法。在水合物

地层钻探时,为获得安全可持续的钻井作业环境和工程质量,必须对井内温度和压力进行严格控制,保持孔壁稳定和孔内安全。而冲洗液是实现这些目标的关键,因此试验研究适宜的冲洗液是水合物地层钻井工作中最主要也是最为重要的一环。

在钻探中抑制天然气水合物分解的方法主要有 2 种:分解抑制法和分解容许法。前者是使用冷却的高密度冲洗液钻进,以达到防止水合物层温度的上升,将水合物维持在平衡状态的目的;后者是使用未冷却的低密度冲洗液钻进,并采用能将进入冲洗液中的分解气体排出到地面上的大容量气体分离器,但在起下钻、测井、下套管和固孔等作业时,为控制水合物分解,还要换成高密度冲洗液,这种方法易出现涌喷,引起孔壁失稳。相比而言,前者既能有效防止水合物分解又能节约因更换冲洗液所用的时间,具有较好的应用前景。

4 高原冻土水合物钻探冲洗液选择

目前,国外在天然气水合物钻探中使用的冲洗液类型主要有水基和油基 2 大类,也有采用泡沫、乙酸丁酯、乙醇、有机硅溶液以及氟利昂进行钻进的实践。在应用水基冲洗液进行钻探方面,挪威采用无机盐(如 NaCl)和其它有机盐组成的高浓度含盐冲洗液,在抑制水合物分解方面取得了较好的效果。另据 Ouar H. 报道,盐和膨润土(蒙脱石为主)、水解聚丙烯酰胺等组成的冲洗液也有较好的热力学抑制性能。从抑制天然气水合物的分解来看,水基冲洗液优于油基冲洗液。水基冲洗液同时是海洋油气钻井中应用最广泛的一大类冲洗液,因此水基冲洗液在水合物地层钻探中的应用和性能表现应是今后研究的重点。

目前研究比较多的是其对水合物分解和井内水合物形成聚集的抑制性上,对水合物钻探所需满足的其他性能研究得不多。而根据上述对水合物地层钻孔特性的分析,除了要考虑水合物抑制性外,冲洗液对孔壁稳定和孔内安全控制的作用也是冲洗液设计必须重点关注的。

此外,由于钻开地层瞬间温压的急剧变化以及钻头摩擦热能等因素的影响,不管采用或不采用抑制剂,孔壁和钻头下方的水合物分解都是不可避免的。从这个角度来说,应优先考虑冲洗液对孔壁稳定和孔内安全的作用。以下 3 个冲洗液的性能指标对孔壁稳定和孔内安全起关键作用,是在水合物钻探过程中应重点考虑的性能指标。

4.1 冲洗液的相对密度

调节孔内液柱压力是确保安全快速钻探的关键因素。根据水合物地层特性,为防止孔壁坍塌、涌喷以及地层水合物减压分解,最好采用相对密度较高的冲洗液,在过平衡或平衡规程下钻进。但是,在陆地大深度钻孔和深海域水合物地层钻探施工中,较高相对密度的冲洗液会降低机械钻速、增加循环漏失,并有利于气体重新形成水合物,甚至会压裂地层,导致水合物大范围分解逸出引发事故。因此冲洗液密度是整个水合物冲洗液设计中最为核心的,它直接关系到水合物地层钻探的成功与否。因此在设计天然气水合物冲洗液时,其相对密度应该比较大的,并且应该是可调整的,以实现在一个比较大的密度窗口下进行钻探作业。

4.2 冲洗液的护壁性

冲洗液的护壁性包括滤失量和滤饼质量这两个方面。当在水合物地层采用水基冲洗液和过平衡或平衡钻孔规程钻孔时,冲洗液会在水力压差或渗透压差的作用下径向侵入地层,使地层的含水量加大,从而降低孔壁的力学性能导致孔壁失稳。水合物的分解一方面会进一步加大地层含水量(有可能使地层水化或液化),另一方面又会使孔隙流动通道更加顺畅,以致冲洗液侵入程度加重。侵入的冲洗液量越多,侵入范围越广,对孔壁稳定越不利。因此在水合物地层钻井时,应控制冲洗液的滤失量。而滤饼的形成和质量的好坏无疑会对控制滤失量和支撑井壁起到关键作用。水合物的分解往往使滤饼在早期不易形成,形成后的质量也不高。所以在水合物地层钻探时,应选择造壁快、泥饼质量高、滤失量小的冲洗液。

4.3 冲洗液的流变性

冲洗液的流变性对孔壁稳定有很大影响,特别是冲洗液的粘度。适度粘稠的冲洗液可以起到较好的胶结护壁作用,但粘度过高也会导致循环的当量密度过高,孔壁会在较大的激动压力作用下被破坏。

此外还会降低机械钻速,这样井壁浸泡时间相对增长,对井壁的稳定更加不利。尤其在冻土地层钻探时,要注意调节冲洗液的粘度和流变性(泥浆静切力适当,动切力较小)。

5 结语

高原冻土天然气水合物钻探是 21 世纪钻探界需要重点研究的技术之一,其中冲洗液技术在冻土水合物钻探中占据重要地位。应借鉴美国、日本、加拿大、挪威和俄罗斯等钻探技术先进的国家在水合物钻探、南极冰层钻探方面的成功经验,尽快立项开展冲洗液孔壁冻土热交换、冲洗液流场变化对水合物诱喷的影响等方面的量化研究。同时,应加快研究符合国情特点和环境保护要求,适合青藏高原冻土水合物钻探要求的冲洗液配方,满足高原冻土地质勘查钻探和水合物钻探的迫切需要。

参考文献:

- [1] 蒋国盛,王达,等.天然气水合物的勘探与开发[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [2] 张高波,吴锰.防塌剂机理及对应的评价方法[J].钻井液与完井液,1999,16(1):33-34.
- [3] 孙涛,等.天然气水合物勘探低温钻井液体系与性能研究[J].天然气工业,2004,24(2):61-63.
- [4] 邱存家,陈礼仪,朱宗培.天然气水合物钻探中钻井液的使用[J].探矿工程,2002,(4):36-37.
- [5] 张红红,徐会文,等.聚合物钻井液防塌机理的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1).
- [6] 张红红,徐会文,等.吉林省油页岩勘探中聚合物钻井液防塌机理的试验研究与应用[J].世界地质,2006,25(4).
- [7] 李常茂,耿瑞伦.关于天然气水合物的思考[J].探矿工程,2000,(3).
- [8] 汤凤林,等.俄罗斯南极冰上钻探技术[J].地质科技情报,1999,(6).
- [9] 汤凤林,等.生产条件下冻结岩石钻进的试验研究——冻土钻探专题之三[J].探矿工程,2002,(3).

致谢:本文是中国地质大调查项目“陆地永久冻土天然气水合物钻探技术研究”内容之一,在资料调研和撰写过程中得到了吉林大学应用技术学院徐会文教授的无私帮助,在此表示衷心的感谢!

勘探技术研究所实验工厂简介

勘探技术研究所实验工厂是生产岩土钻掘设备及工具的专业工厂。本厂依托勘探所数十年科技成果,生产销售的产品遍布全国 20 多个省、市、自治区,有些产品还进入国际市场。本厂技术力量雄厚,设备齐全。生产有 SHB 系列气举反循环钻具、RB-150 型地源热泵孔专用钻机,各种规格的钻杆、锁接头、套管等。为地下煤层气开发生产有定向钻进专用的各种外平钻杆、PH6 或 AOHLW 标准的无磁钻挺、W 扣标准系列或 API 标准的井下套管、高压玻璃钢管、封井器、法兰等。所生产的 SHB127/66 气举反循环钻具在国内首创地热井施工 3088 m 的深井记录。