

全海深采样器保温材料的选择与试验分析

王文广, 刘德顺, 金永平*, 刘广平

(湖南科技大学 海洋矿产资源探采装备与安全技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:针对深海的低温(火山口除外)恶劣环境,为获取原位特征的深海资源,同时考虑到采样器的整体重量因素,在采样器回收过程中需要采用被动保温的方式对样品进行保温.因此以保温材料为研究对象,通过试验的方式,对其进行研究分析.首先,选择3种常用的保温材料,对其特性进行分析;然后,对3种材料进行保温性能试验,优选出保温效果最佳的材料;最后,对优选出来的材料进行适用性试验,以此来验证该材料是否适用于深海环境.试验结果表明:A型保温材料可以适用于全海深采样器上.研究结果可为全海深采样器保温材料的选择提供参考.

关键词:全海深;被动保温;保温材料;保温性能;适用性

中图分类号:P741 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2023)04-0067-05

Selection and Experimental Analysis of Thermal Insulation Materials for the Whole-Sea Deep Sampler

WANG Wenguang, LIU Deshun, JIN Yongping, LIU Guangping

(National-Local Joint Engineering Laboratory of Marine Mineral Resources Exploration Equipment and Safety Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: For the harsh environment of the deep-sea low temperature (except the crater), in order to obtain the deep-sea resources characterized by in-situ characteristics, the sample is required to be insulated by passive insulation in the process of sampler recovery. Therefore, with thermal insulation materials as the research object, they are studied and analyzed through experiments. First, three common insulation materials are selected to analyze their properties. Then, the three materials are tested by the insulation experiments. And finally, the preferred materials are tested to verify their suitability for the deep-sea environment. Results show that the type A insulation material can be applied to the whole sea deep sampler. The results are of reference and guidance for the selection of insulation structure of the sampler.

Keywords: full sea depth; passive thermal insulation; thermal insulation materials; thermal insulation performance; applicability

深海存在大量的矿产资源、石油资源和深海生物,但是这些资源所处的环境与陆地存在极大的差异,使得其具有巨大的科研和经济价值,所以采集和分析它们的物理化学特性,对研究和利用深海资源具有重要的意义^[1].由于日光在海洋中的穿透能力很弱,当阳光进入海水后,其强度会迅速衰减,一般来说,海水深度每下降1 000 m,海水温度就会下降1~2℃,所以,在水深3 500~11 000 m处,海水温度一般在2℃左右^[2].因此长期生存在这样低温环境下的深海资源,对此具有适应性,当它们脱离特殊环境后,其基

收稿日期:2021-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51779092);国家重点研发计划资助项目(2016YFC0300502);湖南创新型省份建设专项经费资助项目(2020GK1021;2019SK2271;2019GK1010)

*通信作者, E-mail: jinyongping@hnust.edu.cn

因表达特征会发生一定的变化^[3];而采样器在采集完样品后,需要经历几个小时的回收—转移过程,在此过程中,外部海水温度是逐渐升高的,这就导致保压筒的温度也会逐渐上升,所以为了获取原位状态的深海资源样品,就需要对采样器进行保温处理.目前,大多数采样器是搭载在深潜器上进行工作,所以还需要考虑采样器的整体重量,而采用主动保温时,需要额外携带制冷设备,所以大多数采样器都优先采用被动保温的方式.目前,国内外对于被动保温的研究有很多,比如 HYACINRH-FPC 和 HYACINRH-HRC 保真采样器以及浙江大学设计的重力活塞式天然气水合物保真采样器都是通过快速回收然后再将其快速冷冻的方式来进行被动保温的^[4-6];第一海洋研究所设计的天然气水合物深水孔保温保压取芯钻具是通过双层结构(夹层抽真空,内表面喷涂保温层,外表面涂防紫外线涂层)的方式来进行被动保温的^[7];王洪浩等^[8]选取二氧化硅气凝胶毡作为主要的保温填充材料,利用高低温试验机模拟外部不同温度条件下保温材料的保温性能,并通过设计异质材料层叠结构,进一步优化保温材料填充方式及保温性能.这些研究工作对于温度的控制最低只能维持在 10℃ 左右,对于非敏温深海资源的采集非常有用,但是对于敏温资源的采集是不够的.因此,选择一种合适的涂抹保温材料,可以有效地提高采样器的保温能力,本文以此为出发点进行相关研究和探索.

1 保温材料的特性分析

根据深海环境的要求以及采样器的工作原理,所选隔热保温涂料需要满足导热系数小、吸水率低、抗压强度高、密度小和施工方便等性能要求.基于这些要求,对市场上常见的保温涂料进行筛选,选择以下 3 种材料作为本文的研究对象.

1.1 材料一:A 型保温涂料

A 型保温涂料是一种进口的新型保温隔热涂料,也是一种超薄型超级隔热保温涂料,同时还是一种水性保温材料,其主要成分包括(纳米)真空陶瓷微珠、混合丙烯酸酯聚合物等.它的使用温度范围为-60~250℃.A 型保温涂料的导热系数约为 0.012 W/(m·K),吸水率约为 20 mg/cm³,施工前,它的密度为 0.4 g/cm³,干后它的密度约为 0.25 g/cm³,其成品看上去为无水膏状物.A 型保温涂料施工简单,可用于任何外形的物体上,即便是很难施工的地方和要求美观的物体上.

1.2 材料二:B 型保温涂料

B 型保温涂料是太空节能隔热保温涂料的一种(包括高温型和常温型),该材料对低温物体可有效保冷并能抑制环境辐射热而引起的冷量损失,它的使用温度范围为-80~1 800℃,高温、常温下无任何异味.其导热系数为 0.033 W/(m·K),吸水率约为 30 mg/cm³,根据不同的使用情况,可分为-60~1 000℃,比重为 1 100 g/cm³和-80~1 800℃,比重为 1 800 g/cm³这 2 种.

1.3 材料三:C 型保温涂料

C 型保温涂料是一种反射隔热保温涂料,其涂层的绝热等级达到了 R-27,可有效阻止热能交换,它主要是由改性溶液、纳米空心玻璃微珠、热反射物质、陶瓷纤维等物质组成.它的导热系数为 0.03 W/(m·K),吸水率约为 30 mg/cm³,湿态比重为 0.09 g/cm³.当把它涂刷在物体内、外表面时,其隔热保温抑制效率可达 90%左右.

2 保温性能试验

本次试验是通过控制变量的方法,对 3 种材料的保温性能进行分析.试验的主要仪器有空心圆管 3 个、DTM-280 数显温度计 2 个、冰柜 1 台、加热器 1 台和保温材料 3 种.其中,空心圆管的二维图如图 1 所示,它是由一根长为 150 mm,内径为 20 mm,厚度为 2.5 mm 的空心圆管对其两端进行封底而成,其中一端开有一个直径为 10 mm 的孔;DTM-280 数显温度计的测量精度为±1℃,用来实时监测环境温度和样品温度;冰柜用来提供冷源,可使带底空心圆管和样品以及保温材料的初始温度为 2℃左右;加热器用来烘干

保温材料.

试验环境选择在室内,因此无风和无阳光直射.由于 DTM-280 数显温度计只有 2 个,一个用来测量样品温度,一个用来测量环境温度,所以每次只能进行 1 次试验.试验具体过程如下:首先将 3 种保温材料分别涂抹到 3 个空心圆管上,然后用加热器将其烘干,当保温材料硬化后,往空心圆管内部倒入自来水,并且将数显温度计的探头插到空心圆管的自来水中,最后将其一同放入冰柜中.当数显温度计显示温度为 2 ℃ 时将其拿出,同时,打开另外 1 个数显温度计,用它来测量环境温度,试验时长为 3 600 s,每隔 600 s 记 1 次数显温度计的数据.该试验一共 3 组,每组 3 次,组与组之间的变量是保温层厚度,其初始厚度为 5 mm,增量为 5 mm;组内之间的变量是保温材料.试验结果如图 2~图 4 所示.其中,在涂抹保温材料过程中,为增加保温材料与空心圆管之间的附着力,需要对带底空心圆管的表面进行处理,保证其表面干燥无灰尘以及其他污染物.同时还需要采用多层涂刷的方法进行施工,每层的厚度为 0.5~1.5 mm,待其表面干燥后再继续涂刷,以此来达到所需的保温层厚度.

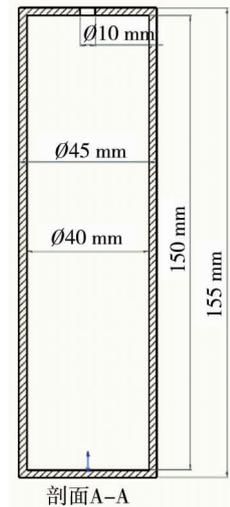


图 1 空心圆管二维图

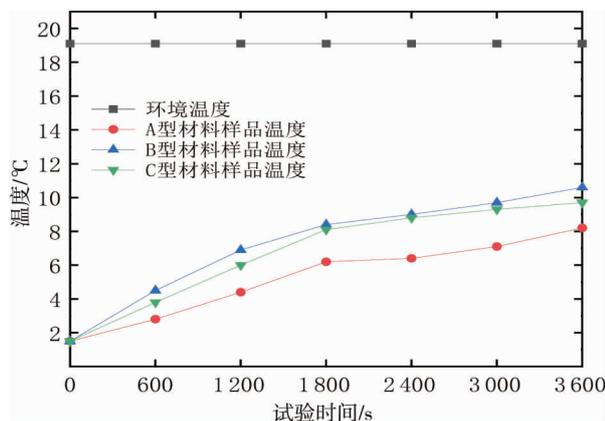


图 2 保温层厚度为 5 mm 的试验数据

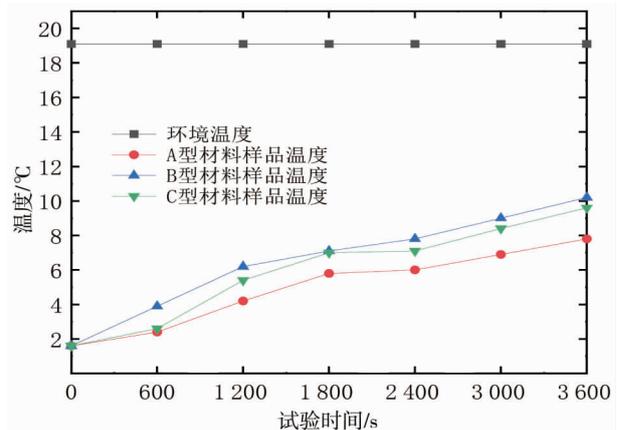


图 3 保温层厚度为 10 mm 的试验数据

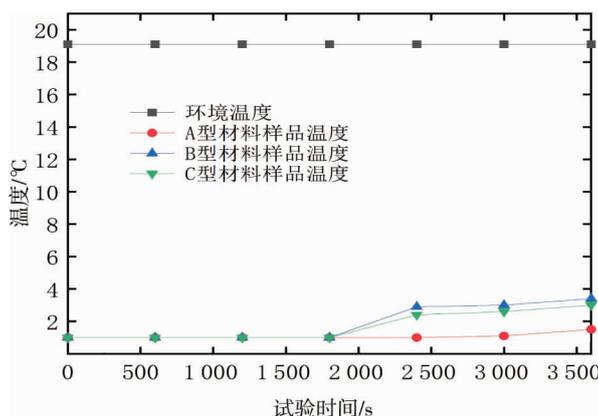


图 4 保温层厚度为 15 mm 的试验数据

通过对图 2~图 4 分析可知:在相同保温层厚度,而且样品所处环境时间一致的情况下,样品的温度会随着保温层材料的不同而不同,比如,保温层厚度为 5,10,15 mm 的情况下,A 型保温材料的保温效果比 C 型保温材料的保温效果高出 1.5,1.8,1.3 ℃,比 B 型保温材料的保温效果高出 2.4,2.4,1.7 ℃,C 型保温材料的保温效果比 B 型保温材料的保温效果高出 0.9,0.6,0.4 ℃;在相同保温时长而且保温层材料相同的情况下,随着保温层厚度的增加,样品的温升会减小,当保温层厚度从 5 mm 增加到 15 mm 时,A 型保温材料

下的样品温度从 8.2 ℃ 下降到 1.7 ℃, B 型保温材料下的样品温度从 10.6 ℃ 下降到 3.4 ℃, C 型保温材料下的样品温度从 9.7 ℃ 下降到 3.0 ℃. 由上可知: A 型保温材料的保温性能要优于 B 型保温材料和 C 型保温材料; 当保温层厚度超过一定值以后, 会形成绝热层, 使得样品温度在一定的时间内保持不变, 而且 A 型保温材料形成绝热层的厚度要小于 B 型保温材料和 C 型保温材料.

3 适用性试验

深海是一个高盐、高压和低温的环境, 所以它与陆地环境存在一定的差异, 因此需要对优选出的 A 型保温涂料进行适用性试验, 以此来验证它是否适用于深海环境,

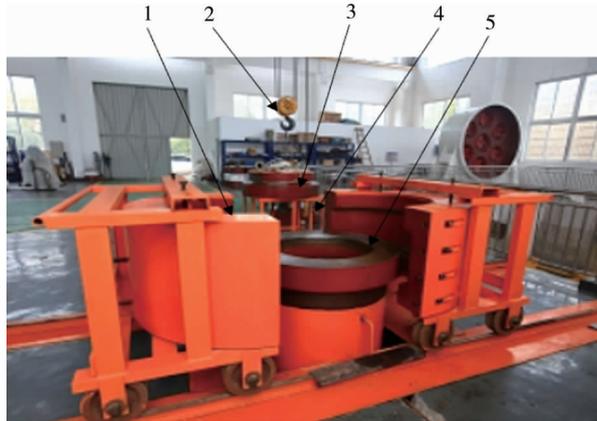
3.1 防水性能试验

该试验通过将 A 型保温材料放入模拟海水中, 静置 24 h 后, 然后分析该材料的保温性能是否发生变化来验证 A 型保温材料在深海环境下的防水性. 所需器材包括深海沉积物和涂好 A 型保温涂料的带底空心圆管 1 个(保温层厚度为 15 mm), 其中, 深海沉积物用来模拟深海海水. 试验过程如下: 首先往水桶内加入 1/4 的深海沉积物, 并加入自来水直至水桶 3/4 位置, 然后用木棍将其充分搅拌, 最后将空心圆管放入水桶中, 静置 24 h 后, 将其拿出.

通过观察拿出的带底空心圆管, 可以发现 A 型保温材料在静置 24 h 后无明显变化, 表明 A 型保温材料在深海环境下具有很好的防水性.

3.2 抗高压性能试验

本次试验通过观察涂抹一定厚度的 A 型保温材料厚度的空心圆管在高压环境下是否脱落的方法, 来验证 A 型保温材料在深海环境下的抗高压性能. 用到的器材有 120 MPa 模拟高压试验装置 1 套、液压油缸 1 套、250 MPa 压力表 2 个和配合试验吊装用的桁架吊车 1 台. 其中, 120 MPa 模拟高压试验装置的主体为内径 750 mm、深度 3 m 的大型圆柱体超高压容器, 两端为卡箍式端盖, 如图 5 所示; 250 MPa 压力表的精度为 1.6 级.



1-密封盖;2-桁架吊车;3-试验台;4-固定柱;5-高压腔腔体

图5 高压腔

试验的具体过程如下: 首先将涂抹保温材料的空心钢管通过发箍捆绑在深海高压腔的固定柱上, 然后利用桁架吊车将专用试验台架缓慢吊入高压腔中, 上盖密封, 往高压腔中注入清水, 确保密封无泄漏后, 准备加压, 接通加压系统电源, 缓慢加压至工作压力 115 MPa, 时长大约为 2 h, 保压 5 min 后, 高压舱缓慢卸压, 卸压时长大约为 2 h, 卸压后, 打开高压舱, 将试验台架吊出至指定位置, 最后将空心管拿出.

通过观察拿出的空心圆管, 可以发现 A 型保温材料在经历高压后, 未发生脱落现象, 所以该材料具有较强的抗高压性能, 能够适用于深海环境.

综上所述, A 型保温涂料具有良好的防水性能, 同时在高压条件下也不会破坏它的保温性能. 因此该

材料可以很好地适用于全海深采样器上.

4 结论

1)在相同保温层厚度的情况下,A型保温材料的保温性能优于B型和C型保温材料,B型保温材料的保温性能最差.

2)在相同保温材料的情况下,随着保温层厚度的增加,样品的温升都会减小.

3)优选出的A型保温材料具有很好的防水性能以及抗高压性能.所以使用A型保温材料可以达到温度控制的效果,而且还可以适用于深海高压环境.

参考文献:

- [1] 金建才.深海海底的资源宝库[J].国土资源科普与文化,2015(2):26-30.
- [2] 魏翀,许肖梅.国内外深海生物捕获现状综述[J].海峡科学,2010(9):3-6.
- [3] 朱晓东,李扬帆,吴小根,等.海洋资源概论[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [4] FRANK R, GILLES G, DAVID G. In-Situ Sampling and Characterization of Naturally Occurring Marine Methane Hydrate Using the D/V Joides Resolution[J]. Other Instrumentation, 2003.DOI:10.2172/825594.
- [5] SCHULTHEISS P J, FRANCIS T J G, HOLLAND M, et al. Pressure coring, logging and subsampling with the HYACINTH system[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2006, 267(1): 151-163.
- [6] 秦华伟.海底表层样品低扰动取样原理及保真技术研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [7] 贺涛.天然气水合物保温保压绳索取心钻具设计[D].北京:中国地质大学(北京),2011.
- [8] 王洪浩.深海冷泉保温保压取样器结构设计及优化研究[D].青岛:青岛科技大学,2020.