

气凝胶在船舶管道保冷系统上的应用

申 亮

上海中远海运重工有限公司 上海 200231

摘 要: 气凝胶材料是由纳米颗粒或聚合链组成的三维纳米多孔材料,具有高密度、高孔隙率、大孔体积、大面积特点,优良的光、热、声、力学特性,在航空航天、石油化工、船舶管道等与普通保冷材料相比,气凝胶可提供环境保护、低热导率、高稳定性和有前景的船舶管道冷却要求。然而,当整个冷却层与气凝胶溶解时,气凝胶的价格会增加,造船成本增加、节余降低的风险也会增加。根据气凝胶的结构特点,比较了纯气凝胶保冷结构和复合冷却“气凝胶+泡沫玻璃”两种方式的应用设计中的性能和效果,改善了船舶冷系统的冷却效果,降低了绝缘强度,降低了资本投入。

关键词: 船舶管道;气凝胶;保冷系统;环保节能

Application of Aerogel in Ship Pipe Cold oling System

Shen Liang

Shanghai COSCO Shipping Heavy Industry Co., Ltd. Shanghai 200231

Abstract: aerogel material is composed of nanoparticles or polymerization chain of 3 d nanoporous material, with high density, high porosity, large pore volume, large area characteristics, excellent light, heat, sound, mechanical characteristics, in aerospace, petrochemical, ship pipeline compared with ordinary cooling materials, aerogel can provide environmental protection, low thermal conductivity, high stability and promising ship pipeline cooling requirements. However, when the entire cooling layer solves with the aerogel, the price of the aerogel increases and the risk of increased shipbuilding costs and reduced savings increases. According to the structural characteristics of aerogel, the performance and effect of the application design of pure aerogel cooling retaining structure and composite cooling "aerogel + foam glass" are compared, which improves the cooling effect of the ship cooling system, reduces the insulation strength and reduces the capital investment.

Key words: ship pipeline; aerogel; cooling protection system; environmental protection and energy saving

气凝胶是一种具有高孔隙率的三维纳米材料。由于其独特的纳米形态结构,气凝胶具有1931年由Kistler造出的物理特性。其中,Kistler将气凝胶定义为液体被气体替代物,凝胶骨架基本上是一种不变的多孔材料。在随后的发展中,人们对气凝胶的感知更深、更多样,目前没有单一的气凝胶定义标准。

1 气凝胶的制备

气凝胶生产过程主要包括两个阶段。第一步是在熔融冷凝过程中生产冷凝物。第二步中,使用干燥方法产生的气流来代替凝胶的液体材料。

1.1 溶胶-凝胶工艺。制备过程是气凝胶产生的主要原因。总而言之,这是一个过程,其中前驱体在催化剂反应后形成溶液(水解缩聚),并通过老化形成凝胶。通过改变温度及pH反应参数,凝胶骨架微观结构可以调整,以便获得理想的气凝胶形状。由于结构通常定义了材料的功能,所以设置溶胶凝胶参数会产生具有特定功能的气凝胶。因此,气凝胶也被认为是结构控制材料。

1.2 干燥过程。制备气凝胶干燥方法通常有四种:超临

界、亚临界、冷冻及常压干燥;压力(T-P)。Kistler首先使用特殊的干燥方法,以避免在干燥过程中因孔的表面张力而损坏张力对凝胶骨架。在这种方法中,干燥剂的温度和压力上升到临界点之外,去除凝胶孔洞内的气体表面,样品并干燥进行。为了防止溶剂蒸发,超临界干燥前达到一定量N₂高压釜内充入,使用各种超临界吸附物质,改变临界干燥温度和超临界液体停留时间,会对最终样品的性能产生不利影响。这是一种有机溶剂,主要基于乙醇和CO₂液态,其中有有机溶剂的选择与塑料凝胶中通常生产的溶剂相同,并且在减少后期的溶剂替换时间。有机溶剂温度高,压力高,而且可以可燃性,因此使用时有安全隐患。

同时,在干燥过程期间,超临界温度和压力保持凝胶骨架几乎恒定,且凝胶表面的化学基团相对稳定,但是对于超临界CO₂干燥存在很长的溶剂置换过程,并且被置换的溶剂必须与液态CO₂相容,因此时间成本很高^[1]。

2 气凝胶的结构特性

2.1 导热系数低。气凝胶固体是纳米硅骨架,仅占总量

的10%左右。二氧化硅本身是一种不良的热导体,当形成纳米硅结构时,热传导轨迹无限延伸,因此固体热导率低。气凝胶中的大多数孔平均小于70纳米,气体分子被固定到纳米粒子上,失去了相互碰撞或向宏观移动的能力,并且由于没有对流传热条件,热量传播的能力非常低。由于气凝胶的纳米孔结构在材料中形成了几乎无限多的固体/气体界面,并且热辐射在每个界面层中被反射、吸收、透射和再辐射,对应于沿着热辐射传播路径的无限多的遮热板,所以辐射热导率非常低,并且目前气凝胶的热导率在固体材料中最低。至0.013瓦/(米·克)。在室温下。气凝胶导热系数不到普通材料导热系数的三分之一,温度越高,偏差越大。在热导率非常低的情况下,保冷所需的厚度可以大大减小,从而提高空间利用率,降低运输负荷。

2.2 很好的防水性。冷吸水率直接影响保冷的性能。恒温下,水热导率空气温度的24倍,因此水的吸附大大提高了材料的导热系数,影响了保冷的整体效果。气凝胶在98%以憎水率上,体积增加率在1%以下。对憎水气凝胶在运输和施工中,不需要特殊的防水,雨水中的浸泡量不会解体沉降,湿度也不会保持。

2.3 力学性良好。普通保冷材料面临的最大问题之一是,它们在低温下容易变形,这极大地影响了保热效果。为了材料冷料在使用过程中变形或断裂,必须在常温和低温下有良好的动态指标。绝热材料的拉伸强度小于200KPa,60KPa及以下的应变小于10%,压缩率小于95%。结构重复拆装,以至于不用担心踩在上面,而且可以长期使用。这是因为振动不减少,冷却效率长期稳定。气凝胶在低温下不会发生很大变形,并且表面只受到轻微的霜害,使得整个材料更加灵活,体积也不会显着收缩。气凝胶也可长期用于-196至650℃的绝热保冷。绝热保冷可用于改变温度,因为它在高温下持续使用,不变脆,因此,气凝胶可以在冷热交替工作条件下使用气凝胶材料完全防火,使用更安全,并且可以在任何需要防火的地方使用。它的成分没有熔滴物,因此有助于避免二次燃烧,不会将有毒气体分解。在这种情况下,气凝胶具有良好的低速性能,可以是高温隔音和声学延迟理想材料^[2]。

3 气凝胶材料的性能及应用领域

3.1 热学领域。气凝胶的微观结构是气凝胶的一个重要特征,从其极低的热导率来看。例如, SiO₂气凝胶的导热系数通常为0.015 w/MK, 低于相同环境条件下的空气导热系数(0.025 w/m.k)。气凝胶是一种优良的隔热材料,可以广泛应用于隔热领域,如设备、管道、建筑外墙保温等,是气凝胶大规模工业化的主要应用领域。SiO₂气凝胶也是无定形和不燃的,如果被机械加固,通过它们获得采光装置具有应用潜力^[3]。

3.2 声学应用。气凝胶材料的声音传播取决于凝胶集中孔隙的性质、气凝胶的密度等。对于建筑绝缘中使用的气凝胶材料,波能的逐渐运动大大降低了声波的振幅和速度,气凝胶非常适用于声学设备。气凝胶由于其低成本特性,是理想的声学延迟和高温隔音材料。气凝胶材料的声学电阻差异很大(103-107kg/m²·s),是一种理想的超声探测器材料。气凝胶的高孔隙率其成为水的最佳声音反声材料。

3.3 在光学应用。气凝胶材料的光学透射和散射性能是这些材料的另一个重要特征,这些材料可以转换成透明的隔离窗,作为普通玻璃和隔热层,应该广泛用于房屋和建筑。它也是高度可渗透的,尽管没有分散性,但对来自气凝胶的可见光是可渗透的,还可以用作高温观察窗口。

3.4 机械特性及应用。气凝胶氧化物的耐压强度、弹性模量通常非常低,非常脆性,气凝胶材料产业化中的主要问题。然而,当使用某些前驱体时,多孔气凝胶可灵活压缩50%以上的压缩。到目前为止,研究人员已经提出了许多改善气凝胶材料力学性能的方法。

4 气凝胶在管道保冷中的应用

气凝胶具有极佳的保冷效果,但由于成本高,气凝胶是保冷层措施。这不可避免地增加了成本,降低了船舶管道上保冷工程的经济效果。本文比较了“气凝胶+泡沫玻璃”复合保冷结构在实际结构应用中的性能,并为船舶保冷系统的设计提供了持续的指导^[4]。

4.1 工作状态概述。船舶管道输送环境温度:-160℃;管径:250mm;管道长度:1km;风速:3m/s;年平均相对空气湿度:70%;当地环境年平均温度:14.2℃。使用的参数见表1。

表1 气凝胶的参数表

项目	泡沫玻璃	气凝胶	测试标准
密度/Kg·m ⁻³	160	200	-
导热系数/W·(m·K) ⁻¹	0.012(-196℃)	0.010(-196℃)	GB/T 10295
	0.015(-160℃)	0.012(-160℃)	
	0.019(-100℃)	0.015(-100℃)	
	0.024(-50℃)	0.017(-50℃)	
	0.030(0℃)	0.019(0℃)	
	0.035(50℃)	0.021(50℃)	
常温抗压强度 20%/Kpa	700	150	GB/T 17911
吸水率/%	0.2	0.6	GB/T 5480

4.2 气凝胶保冷。低温管道的冷却结构是保冷、防潮、保护层。冷保冷层是确定管道保冷效果的关键,主要用于管道内部环境温度稳定的防潮层主要用于防潮和防水,最大限度地发挥保冷层的保冷效果;第一种方案是纯气凝胶和方案二方案泡气凝胶和泡沫玻璃结构。

4.3 保冷效果。风管道冷损失、节能和绝缘层厚度是根据GB50264工业设备设计规范和绝热计设计。第一种解决方案之规格小可以减少管道面积,解决船舶内部空间有限的问题,以及安装和施工、运输、安装和后续维护的困难。在这种情况下,散热损失方案一小于方案二,并且在同样的条件下,方案一的保冷结构冷介质可以输送得最远。此外,纯气凝胶结构耐用,能保持良好的长期保冷效果,保冷层不会破坏,厚度低,使用寿命短。方案二考虑到外部保护标准和保冷效果,这有些低效,但考虑到气凝胶成本高,在管道内部最冷的地方使用保冷层,最大限度地发挥低温保冷的优越性。低温保冷效果略低于气凝胶保冷层,但成本较低,泡沫玻璃的保冷效果略低于气凝胶。因此,备选方案二既考虑了保温效应,也考虑了投资成本。

与岩棉、泡沫玻璃等普通保温材料相比,气凝胶导

热系数低,可用于船舶管道保冷系统,有效改善隔热性能,减少冷却损失;在类似的保冷效果下,材料的使用和管道复盖层的厚度可以大大减小,并且可以增加管道的排布空间。然而,气凝胶的生产成本很高,在保温中使用气凝胶会增加保冷建设成本。“气凝胶+泡沫玻璃”保冷结构改善了管道的保冷性能,减小了保冷层的厚度,保证了保冷过程的经济性。在实际应用结构时,管道保冷结构的形状可以根据保冷效果和投资成本因素进行全面考虑^[5]。

参考文献:

- [1]沈珏.气凝胶——一种结构可控的新型功能材料[J].材料科学与工程学报,2019,12(3):1-5.
- [2]刘然.二氧化硅气凝胶毡复合聚异氰脲酸酯新型保冷结构在LNG管线系统的应用研究[J].化学工程与装备,2020(3):49-52.
- [3]向威.应用气凝胶材料改善船舶蒸汽管道保温效果的研究[D].大连:大连理工大学,2019.
- [4]周建钦.气凝胶毡在管道保温中的应用研究[J].石油化工设计,2019(4):64-66.