管道防腐保温技术综述

张月静 刘伟 李彤民

中国石油管道工程公司 河北省廊坊市 065000

【摘要】对输油管线防腐保温是降低能耗、保证管道安全运行的重要手段之一。本文综述了国内外管道防腐保温技术，并对各种防腐保温材料的特性及其应用进行了详尽的论述。

关键词：输油管道 防腐材料 保温材料 保温管

Sammary of the Pipeline Corrosion Protection and Themal Insulation Technique

Zhang Yuejing Liu Wei Li Tongmin

China Petroleum Pipeline Engineering Co., Langfang Hebei 065000

Abstract: The Corrosion protection and thermal insulation of the oil transmmission pipelines are two important means for decreasing energy loss and guarantee of pipeline's safe operation. It is summarized it this paper the techniques for pipeline's corrosion protection and thermal insulation at home and abroad. In addition, It is discussod the charcteristics of the various corrosion protection and thermal insulation materials and their application in detail in this paper.

Key Words: Oil Transmmision Pipeline, Corrusion Protection Material, Thermal Insulation Material. Thermal Insulation Pipe.

1 管道保温防腐技术概况

对输油管线防腐保温是降低能耗及保证管道安全运行的重要手段之一。管道所用的保温材料最初为石棉灰、硅藻土、蛭石，后发展到矿渣棉、玻璃棉、珍珠岩等，这些材料的保温效果、吸水性及施工条件等都不够理想。七十年代初，随着各种新材料的问世，原油管线开始采用硬质聚氨酯泡沫塑料保温，由于该种材料具有密度小、比强高、导热系数低、成型工艺简单等特点，使其广泛地应用于油田的保温工程，在各类繁多的保温材料中逐渐占据了主导地位。

埋地输油管线的实际保温效果能否达到预定指标，取决于保温层的防水性，而保温材料的多孔性使其吸水性较强，硬脂聚氨酯泡沫塑料虽然具有闭孔结构，但如果长时间处在一定水压下，同样要吸水，因此，对这类保温材料要外包防水层。国内管道采用硬脂聚氨酯泡沫保温时使用的外防腐层主要有两种：即石油沥青玻璃布防护层和聚乙烯夹克防护层。硬质聚氨酯泡沫塑料保温层外加石油沥青玻璃布防护层的施工工艺为喷涂泡沫成型或模具成型后外缠石油沥青玻璃布，生产效率低，施工工艺落后，现在已较少使用。硬脂聚氨酯塑料保温层外加聚乙烯夹克防护层的施工工艺有"管中管"成型和"一步法"成型两种，随着两种施工工艺日趋成熟，生产效率高，从而使油田集输管线的保温几乎全部采用了硬脂聚氨酯泡沫塑料保温外加聚乙烯夹克的结构。泡沫夹克防腐保温体系的可靠性和安全性取决于接头补口部位是否可靠，国内先后采用了玻璃钢、石油沥青玻璃布、聚乙烯胶带、聚乙烯电熔补口套及聚乙烯热收缩带等补口材料。由于玻璃钢补口材料与聚乙烯夹克不匹配，目前已不使用。

2 防腐保温结构及材料选择

2.1 防腐保温层结构

(1)埋地钢制管道防腐保温层是由防腐层—保温层—防护层组成的复合结构。防腐层是指防腐涂料或具有防腐性能的热熔胶层；保温层是指泡沫塑料层；防护层是指聚乙烯塑料层。

(2)防腐层材料及厚度由设计确定，但厚度不应小于 80μm。

(3)保温层厚度应采用经济厚度计算确定，但不应小于 25mm。

(4)防护层厚度应根据管径及施工工艺确定，但不应小于 1.2mm。

(5)防腐保温层端面必须用防水帽密封防水。

万方数据

2.2　常用油(气)管道敷设方式及保温结构

油气管道敷设方式通常采用架空、管沟及直埋敷设。根据敷设方式的不同,所采用的保温及外护层材料亦不同,现分述如下:

2.2.1　直埋敷设　当温度小于 100℃时,钢管经除锈后,进行钢管表面防腐,其防腐材料要求较高,目前广泛采用的涂料有氰凝、TO 树脂及其它聚氨脂或树脂类涂料。保温材料采用较多的为聚氨脂硬质泡沫塑料,保温厚度一般为 30～40mm。保护层多为三油四布(沥青玻璃布)、环氧树脂玻璃钢、TO 树脂玻璃钢,长输干线管道采用高密度聚乙烯夹克外护层。

当温度大于 100℃时,通常在钢管及聚氨脂泡沫塑料之间加一层硅制品(如微孔硅酸钙),但这也仅适用于短距离及站场内部管道。

2.2.2　管沟敷设　该种敷设方式广泛用于站内管道或跨越管段。钢管除锈后,刷防锈涂料,保温材料常采用水泥珍珠岩、微孔硅酸钙、复合硅酸铝及岩棉或矿渣棉制品等。再经捆轧固定后加外护层。外护层常采用沥青油毡玻璃布结构、沥青玻璃布或环氧煤沥青玻璃布结构等。

2.2.3　架空敷设　该种敷设方式仅适用于站场管道。钢管除锈后刷防锈涂料。保温材料常采用容重较轻的岩棉制品、矿渣棉制品、复合硅酸盐材料及制品等。保温层经捆轧固定后进行外防护。防护层采用较多的为镀锌铁皮、铝合金板,近年来铝箔玻璃钢也被广泛应用。

当输送高粘度介质时(如原油、重油),根据工艺要求亦采用保温加伴热结构,即在保温层与钢管之间布置蒸汽或热水伴热管或采用电热带。

2.3　材料

2.3.1　防腐涂料其性能如附着力、柔韧性、耐冲击强度等要符合要求。

2.3.2　采用的保温材料应符合如下系列条件和要求:

(1)导热系数不大于 0.12W/(m·k);

(2)密度不大于 400kg/m^3;

(3)除软质、半硬质、散状材料外,硬质成型制品的抗压强度不应小于 0.29MPa;

(4)在使用温度下性能稳定,保温材料制品的允许使用温度应高于介质温度。

(5)阻燃或不燃,水分含量小、吸水性低,对金属无腐蚀作用。

(6)相同温度范围内,所用的保温材料应是导热系数小、密度小、造价低,就地取材或就近取材,易于施工,经综合比较,合理选用。

(7)高温介质的管道,经综合经济比较后,可选用复合材料。

3　国内外保温管的材料及结构

3.1　国内防腐保温管道常用材料

3.1.1　防腐层　钢管防腐层常用材料有 S52－1 型聚氨酯型防腐防水漆、煤焦油瓷漆、防锈漆、TO 树脂、环氧粉末、环氧树脂类涂料、环氧煤沥青及热沥青等。

3.1.2　保温层　地上保温管道多以岩棉、玻璃棉、水泥蛭石、聚氨酯泡沫塑料等为主;埋地保温管道则主要以硬质聚氨酯泡沫塑料为主,输送介质温度较高的保温管道则一般采用在钢管与聚氨酯泡沫之间加夹一层微孔硅酸钙等的复合结构。

3.1.3　外保护防水层　地上敷设管道多采用镀锌铁皮、铝箔玻璃钢等。埋地管道则多为高、低密度聚乙烯包覆层,俗称夹克。近来也有将高、低密度聚乙烯综合起来使用做防护层的,俗称中密度聚乙烯。该种材料既有近似于高密度聚乙烯的强度,同时又具有低密度聚乙烯的韧性,将二者综合后的材料大大延长了材料的耐环境应力开裂时间。埋地保温管道的外防水层也有的使用 TO 树脂玻璃钢、环氧树脂玻璃钢或改性石油沥青玻璃布等。整改、整修的管道一般采用环氧煤沥青、冷缠胶带、煤焦油瓷漆等防水防腐材料。

3.1.4　补口材料　根据统计,管道腐蚀的主要原因是由于地下水从管道补口处侵入保温层后,由电化学腐蚀引起的。但从近十几年来各油田的陆上保温管道的补口材料来看,过去主要采用冷缠带、石油沥青玻璃布等,近年来,由于热缩制品的发展,多采用聚乙烯热收缩带、聚乙烯热熔套等。针对补口是保温管道的关键环节,设计中一般在管端采用辐射交联热收缩性防水帽,并在补口处钢管外壁采用加强防腐措施,采用的材料有加强煤焦油瓷漆、加厚型 S52—1 型聚氨酯专用防水防腐漆、环氧类防水材料、辐射交联热收缩套(带)等。

3.2　国外保温管道结构及常用材料

根据对国外保温管道检索资料分析,国外保温管道常用的材料主要有以下几种类型:

(1)保温管道的结构为输送钢管——防腐层——保温层——外保护层。其保温层的材料为闭孔型硬质泡沫塑料,地上管道保温层外的保护层一般采用镀锌铁皮,地下管道保温层外的保护层一般采用聚乙烯夹克。补口采用现场泡沫塑料浇注,然后用热收缩套和

万方数据

铁皮双重保护。目前保温管道的防护层采用缠绕法涂敷工艺,使涂敷质量更佳,较其它涂敷工艺更经济。

(2)对管道采用导管倾倒岩石和砂石碎屑进行保护和保温。即对预先开挖管沟,对管线覆盖保温砂层和保护性岩石碎屑的保温保护方式。英国北海管道、挪威的国家石油公司对近海油井出油管道采取这种保温保护方式证明,它是一种有效的经济的保温方式。

(3)国外近年来用于保温管道的材料,除以上所述外还有:

①纤维类保温材料

主要为岩棉制品、矿渣棉制品、硅酸盐纤维制品、玻璃棉制品等。这类材料造价低,施工方便,工期短,结构简单。

硅酸盐纤维制品有硅酸铝毡、保温绳、陶瓷纤维纺织品。这类材料的特点是耐火、保温,使用温度高,化学稳定性好,但价格较贵。

玻璃棉及制品材料密度小,导热系数小,在日本使用广泛。

②气孔状(亦称空气层型)(粉末类)保温材料

这类保温材料有珍珠岩、硅藻土、膨胀硅石、硅酸钙制品、复合硅酸盐制品(硅酸镁、海泡石、硅酸铅、稀土复合保温材料等)。

目前在这类材料基础上又发展出超轻量硅酸钙及超微粒子二氧化硅。超轻量硅酸钙密度、线收缩率、防水性能、添加增强材料等方面均优于普通硅酸钙制品。它的导热系数仅是其它无机保温材料的 1/3～1/4。

③多泡型保温材料

目前,国外发泡型保温材料分为:a)有机发泡材料如:酚醛泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料 PVC、聚异氰脲酯泡沫塑料等。它们都具有导热系数小、吸水率低、抗压强度高、易于成型,方便施工等特点;b)无机发泡塑料如:发泡珍珠岩、玻璃发泡体、发泡水泥、发泡粘土、发泡蛭石、水玻璃发泡体、发泡陶瓷以及磷酸盐等。国外通过对无机发泡材料的开发和研究表明,有相当部分无机保温材料很理想,且价格低廉。这些无机发泡材料有取代泡沫夹克中聚氨酯泡沫塑料保温材料的趋势;c)复合泡沫材料如:由树脂粘合玻璃泡沫而形成的一种复合泡沫保温材料。异氰酸脂与碱金属硅酸盐类反应,可制成有机无机复合泡沫塑料。该类材料的最大优点是泡沫结构非常坚固,抗压强度大和耐高温,其特点是密度大、导热系数大、价格高。

从上所述可以看出,管道保温材料从其类型上可分为多泡型、空气层型和纤维型三大类。

由于多泡型保温材料具有导热系数小、吸水率低、抗压强度高及易于成型和便于施工等优点,在国外的油气管道保温中已经得到越来越广泛的应用。

4 保温管材料应用及其特性

4.1 防腐层

管道防腐材料选择应做到技术可靠、经济合理、因地制宜。管道常用防腐材料基本性能及适用范围如下:

4.1.1 石油沥青防腐涂料 石油沥青具有良好的粘结力,电绝缘性能好,吸水性低,化学稳定性强,并且成本低、防腐效果好等优点,但石油沥青耐候性差,不耐阳光直接照射,机械强度较低,易受植物根系穿透和微生物侵蚀,因此适用于输送介质温度不超过 80℃的埋地钢质管道。石油沥青外防腐管道不宜敷设在水下或沼泽及芦苇地带。

4.1.2 环氧煤沥青防腐涂料 该涂料由环氧树脂、煤沥青、有机溶剂、防锈剂和填料等组成。它不仅具有环氧树脂的高粘结力、高机械强度、耐化学介质侵蚀等性能,具有煤沥青优异的耐水性、抗微生物、抗植物根系等优点。其绝缘性能优良,能在各种酸、碱、盐、水和油类中长期浸泡,使用温度在 -40℃～110℃之间。

环氧煤沥青涂料是甲、乙双组分涂料,并和相应的稀释剂配套使用。

环氧煤沥青抗紫外线性能差,涂敷施工要求严格,但具有抗植物根茎穿透的特点,一般适用于管沟管道、埋地管道,不宜用于地上裸露管道。

4.1.3 氯化橡胶防腐涂料 氯化橡胶分为防锈底漆和各色面漆。它具有良好的耐侯性、除锈性能,附着力良好,耐水和耐化学介质的腐蚀性等优点。它使用维修方便,漆膜基本无毒。氯化橡胶应采用厚浆型面漆,总的漆膜厚度应在 200μm 左右。适用于地上管线及管沟管线。

4.1.4 氯磺化聚乙烯防腐涂料 氯磺化聚乙烯具有良好的耐臭氧和耐天候老化性、耐酸碱盐类腐蚀性和耐水、耐油、抗寒等性能,其附着力强,柔韧性、耐磨性好,漆膜干燥快和抗离子辐射性能强,一般适用于地上管线。

4.1.5 TO 树脂防腐涂料 TO 树脂防腐涂料主要是由 TO 树脂及加入的增韧剂、固化剂、稀释剂等组成。其主要特点是附着力强、密封绝缘性好、韧性和抗冲击性强、涂膜无毒,可在温度 -60～150℃下长期使用。

TO 树脂防腐防水涂料适用于钢质直埋管线或理地保温管线的外保护层,也适用于常年在强烈日光照

万方数据

射场合使用的设施,如架空管线、露天储罐及设备的防腐蚀。

4.1.6 聚氨脂涂料 其中的聚氨脂底漆广泛应用于油(气)管道、储罐及海洋条件、中强腐蚀环境下钢结构及砼结构的防护。而聚氨脂面漆具有高光泽,保色性和保光性强,耐酸、碱、盐类腐蚀性。

4.2 保温层

4.2.1 岩棉、矿渣棉 岩棉、矿渣棉可加入酚醛树脂制成或直接贴面缝合成毡、板、带、管壳、缝毡、贴面毡等各种制品。广泛用于架空敷设的保温油(气)管道,当用于地沟敷设时,应采用加强防水措施。

4.2.2 聚氨脂硬质泡沫塑料 它是一种发泡体保温材料,广泛应用于地下直埋敷设保温油(气)管道,尤其是长输干线管道。

4.2.3 复方硅酸铝 复方硅酸铝棉又称陶瓷棉,是一种具有绝热、耐火双重功能的无机纤维材料。它的主要成分是氧化铝和氧化硅。主要用于架空高温管道,其使用温度为800~1200℃。

4.2.4 复方硅酸盐保温涂料 它广泛用于架空及地沟敷设的管道,因其适用于涂抹施工及对保温面的良好粘接性能,尤其适合于各种不规则保温面(如管件、阀门等),其温度适用范围为-25℃~600℃。

4.2.5 膨胀珍珠岩 膨胀珍珠岩及其制品是较早并较多在油(气)管道上应用的保温材料,其温度使用范围为-50℃~900℃,对管沟敷设的各种管道尤为经济合理。

4.2.6 微孔硅酸钙 微孔硅酸钙耐温达650℃,较多用于地沟及架空敷设的各种保温管道,尤其是近年来和聚氨脂硬质泡沫塑料的配合使用,使其在高温直埋管道上得以广泛使用。

4.3 外防护层

管道保温工程质量的好坏在很大程度上取决于防护层材料质量的优劣。由于目前采用的大多数保温材料都具有一定的吸水率,所以一旦外防护层破坏,水很容易侵入保温层内部,此时保温层就失去了干态时的优良性能,导致热损失增大,管道加速腐蚀,管道运行就会偏离最佳工况。因此,国外都很重视对防水防护材料的开发和选用,常用非金属防水防护层材料有:

4.3.1 高(低)密度聚乙烯覆盖层(国内俗称"夹克")

聚乙烯是一种超高分子聚合物,用聚乙烯作为保温材料的保护层,可以有效地阻止水向保温层的渗透,且这种材料的电绝缘性好,易于加工成型。用这种材料制成的防水保护夹克具有一定的抗磨、抗冲击、抗撕裂和抗拉性能,可以满足施工、运行载荷的要求。目前国内外多采用聚乙烯作为防水防护层。

聚乙烯分为高密度聚乙烯和低密度聚乙烯,它们均可用作防水防护夹克材料。二者的不同点是高密度聚乙烯的拉伸强度、断裂伸长率和耐老化性能优于低密度聚乙烯,而低密度聚乙烯的耐环境应力开裂性能优于高密度聚乙烯。目前国外已有将高、低密度聚乙烯共同混制成新材料(国内亦称其为中密度),这种共混的新材料的性能优于两种单纯的聚乙烯原料,其密度介于二者之间。

4.3.2 有机硅憎水剂 这是一种含有硅元素的有机高分子聚合物,它具有优异的防潮、憎水、耐温、耐老化、电绝缘、阻燃及化学性质稳定等特点。并且易于加工,用量少,一般用于无机保温材料的防水处理。其处理方式有两种:一是表面憎水,即将稀释到一定浓度的有机硅憎水剂乳液涂刷在保温材料表面,然后烘干;二是整体防水,即将一定量的有机硅憎水剂掺入保温材料内部,使其以分子状态均匀分布在每个孔隙中,使保温制品形成整体防水体。

4.3.3 模制聚氨酯夹克 它一般用于PVC泡沫塑料保温管道。这种夹克是通过在保温层外面涂敷聚氨酯并使聚氨酯渗入PVC泡沫保温块之间的缝隙而形成的,因而保温层与模制聚氨酯夹克之间的粘接力相当高,同时这种夹克具有很好的耐磨性能。

4.3.4 橡胶防水层 目前,国外使用最多的是氯丁橡胶,它既可用作钢管的防腐涂层,亦可用作泡沫保温层的防水保护层。当用作保温层的防水保护层时,一般用于PVC保温管道。

4.3.5 其它防水材料 如:改性沥青、防水塑料、玻璃布、镀锌铁皮、增强PVC塑料布等,一般多用于陆上架空管道或短距离埋地管道,且多用于纤维状、气孔状保温材料的防水层。

5 与保温管结构类型相匹配的补口结构形式及其特性

补口问题对于保温管线至关重要。保温管线所产生的腐蚀绝大多数是由于补口失效进水引起的。下面介绍几种常用的补口方式。

5.1 热收缩套(带)

热收缩套是利用聚乙烯材料的"记忆效应",即将高压聚乙烯带材,先经热辐射交联加热至熔点,给一定的预拉力,冷却后拉力被保存下来,再绕包成套,内表面涂密封胶粘剂,即成收缩套。现场施工时第二次加热,收缩套均匀收缩与要补口部分泡沫层牢固地粘接

万方数据

在一起。热收缩套补口施工有两种方式：一种是接口处除锈、涂底漆、扣泡沫保温瓦、套收缩套、加热烘烤。该方法泡沫层平整，但收缩套加热火焰是从中间往两端移动的，由于施工人员的粗心，常常局部过热，产生起泡、膨胀皱褶等现象；另一种是接口处除锈、涂底漆、扣泡沫保温瓦、套收缩套、加热夹克管连接处的收缩套，收缩套开孔注入泡沫混合原料，用胶粘带堵住泡沫排气口。该方法保证两端夹克管连接部位的密封性，从而减少水分的侵入。但泡沫发泡不均匀，泡沫空隙、塌陷、鼓胀等现象多，而且泡沫排气口没有很好堵死，水分也可以侵入。

5.2 聚乙烯冷缠胶带

施工方式为：接口处除锈、涂底漆、扣泡沫保温层、缠胶粘带。由于胶带的粘合剂与聚乙烯夹克的相容性差，不能形成良好的粘接，现场施工过程也易由于沾染灰尘等因素影响粘结力，常出现胶带与胶带、胶带与保温层间粘结不牢的现象。

5.3 沥青玻璃布

施工方式为：接口处除锈、涂底漆、扣泡沫保温层、缠绕沥青玻璃布。该方式实际上是沿用石油沥青防腐管线的补口方式，施工工艺成熟。但热浇涂会使补口处泡沫表皮产生烧焦现象，而且现场热浇涂不易保证质量，特别是管体下部往往只缠有玻璃布而无沥青，甚至泡沫层裸露在外，达不到密封要求。

5.4 电熔焊

将聚乙烯板预制成轴向开口的圆筒状（顶部有两个注入孔），在轴向和两个环向接缝处预先各搭接好一条含电热丝的聚乙烯带，施工时通电，电热丝放热，使其周围的聚乙烯熔融粘结，成为一体。向注入孔注入混合搅拌好的补口料，使其充满并完全发泡后，再向注入孔处分别打入两个堵塞并加热，使堵塞熔融与补口外壳严密粘接。

5.5 自粘接油毡

该油毡粘接力强，补口密封效果良好。

5.6 玻璃钢

由于采用的树脂与非极性的高密度聚乙烯不粘接，故不能起密封作用。

另外，国外还有以下两种补口方式：一种是钢外壳楔形锁合补口。钢外壳呈半圆形，外壳内外均经化学处理后涂以黑色聚乙烯涂料（上壳顶部有两个泡沫注入孔）。施工时盖上钢壳，沿轴向接缝处打入四个楔形紧固器，将发泡料倒入钢壳内，待完全发泡后，在两个入孔处分别打入堵塞并旋紧；另一种是铝板加热收缩套补口。它将铝板卷成圆筒状，筒顶有两个注入孔，将热收缩套套在钢管外侧，把铝板在已焊好的钢管补口处紧固铆接，将补口材料混合搅拌后倒入铝筒内，待完全发泡后，往注入孔打入堵塞，这时可以将热收缩套移至补口处，使之与两端的外壳管搭接，用喷灯加热，收缩套自行收缩，贴紧补口。

（收稿日期：2000 年 10 月 17 日）

（上接第 33 页）

4 维护保养时的注意事项

在维护保养时，为保证电器的防爆结构完工后完好及在维修过程中的安全，应严格遵守以下注意事项：

（1）维修输油臂时，如需拆检液气经过部位，在施工前要进行扫空，清除输油臂内残留物质，以保证输油臂内没有残留物质。

（2）维修时不得采用普通维修工具，应采用防爆工具。

（3）移动部位的电缆电线安装时应预留一定的拉伸余量，更换时应采用相同绝缘等级的线缆，满足其防爆要求。电缆的接头及接线柱的紧固应符合设备原有方法并在原位，不得随意改动。

（4）防爆箱的密封元件不得拆除，并在拆检防爆箱时，检测其的性能、状况，必要时予以更换。安装时按其紧固次序、力矩进行紧固，特别要注意遥控装置的防爆级等级为 e，防爆级别高于其它原器件，维修时接 e 级标准执行更换电池，充电应在防爆区域之外进行。

（5）电铃振铃及其它不锈钢元件损坏时，不得以普通材料代替，以免产生撞击火花。

（6）避免带电作业，防止火花产生，确保接地及搭桥线安全可靠。

（7）作业时穿戴劳动保护用品。

（收稿日期：2000 年 10 月 12 日）

万方数据