

# 沥青船货罐保温绝缘设计与选型研究

刘慧霞、余献华、蒋红杰

(中船澄西船舶修造有限公司产品研发部)

**摘要:** 介绍了沥青的特性及运输方式, 沥青船货罐保温绝缘设计选型和货罐温降计算方法, 以 7800DWT 沥青船为实例进行详细分析, 并就保温绝缘的安装进行简单介绍。

**关键词:** 沥青 保温绝缘 设计选型 温降计算

## 0 引言

随着世界经济持续发展, 新兴市场不断崛起, 特别是中国等发展中国家基础设施建设力度不断加大, 公路建设持续快速推进, 作为公路路面主要材料的沥青需求也越来越大。为了适应沥青市场的需求, 沥青船应运而生。

## 1 沥青的特性

沥青是一种黑色或黑褐色的有机凝胶状物质, 包括天然沥青、石油沥青和煤焦沥青等, 其主要成分是沥青质和树脂及少量的氧、硫、氯的化合物, 工程中采用的沥青绝大多数为石油沥青。石油沥青是原油提炼加工后的残渣, 在常温下为粘稠液体或者固体。

沥青的物化性质主要表现在: 不溶解于水; 粘结性强; 塑性的变化随温度的升高而增大; 对酸碱盐的腐蚀有较强的抵抗能力, 在一定的温度范围内, 有良好的稳定性, 因此广泛应用于建筑业的表层防水密封、电器系统绝缘隔层及公路路面的铺设等方面。

## 2 沥青的运输

沥青的运输在过去都是采用桶装固态运输方式, 桶装固态运输所需舱容大、成本高且沥青罐不易回收, 还会造成大量的污染, 而且沥青在使用时需要重新加热。因此, 现在已将桶装固态运输改为液态运输, 即采用专用的沥青船来大量运输液态的沥青。

为了把沥青从炼油厂泵送到船上, 或从船上泵排到岸上的储存设备中, 就必须将其加热到一定的温度。研究表明, 驳运沥青适宜的温度约为  $120\sim 180^{\circ}\text{C}$ , 当

温度过低时，沥青的粘度较高，货油泵就不能处于良好的工作状态。并且在船舶航行期间舱内沥青也要始终保持较高的温度，否则一旦温度降至常温，要把温度再提高到沥青能自由流到泵吸入口的程度就会比较困难<sup>[1]</sup>。

### 3 货罐保温绝缘设计选型和温降计算

为了保证货物的成液态运输，沥青船装载的货物需要加热，根据液货的不同所需加热的温度也会不同，最高可达到+250° C，而船舶水面以下的外板处于水中，温度可能只有 0° C 左右。因此，对液货罐罐体外表面须包敷隔热保温绝缘层。罐体保温材料的要求主要是隔热性能良好，一般与绝缘材料的密度、比热和导热系数有关。

那么在沥青罐绝缘设计过程中，选择何种类型的绝缘材料，厚度多少合适，敷设了绝缘材料后货罐内沥青一天内具体降温多少度，下文将就上述问题进行详细介绍。

#### 3.1 计算原理

根据能量守恒原理，沥青船液货罐（包括罐体和罐内沥青）因温度降低损失的热量等于货罐外表绝缘向环境散发的热量，假设货罐损失的热量为 Q1，货罐通过绝缘向环境散发的热量为 Q2。

#### 3.2 计算货罐损失热量 Q1

根据热能计算公式：

$$Q=C \times M \times \Delta T \quad (1)$$

Q：物质温度发生变化时吸收或放出的热量（J）；

C：物质的比热容（J/(kg×°C)）；

M：物质的质量（kg）；

△T：物质的前后温度变化（°C）；

以 7800DWT 沥青船 1#货罐为例，规格书中明确了本船货罐温降要求：当环境温度为 0° C、液货舱温度为 200° C 时，24h 内的温度降低不大于 3° C，绝缘材料的密度 96Kg/m<sup>3</sup>（在 20° C 时）等等，导热系数需满足规范计算要求、参与相关温度场计算，在该要求基础上根据绝缘材料具体材料性能及相关计算来确定隔热绝缘层的厚度。1#罐体和罐内沥青参数如下表 1：

表 1 -1#罐体和罐内沥青参数

	钢材比热 C(J/Kg. °C)	重量 M(Kg)
罐体结构	460	308200
罐体内沥青	1340	3981120

将上述数据代入公式 (1) 可得:

$$Q_1 = Q_{\text{罐体}} + Q_{\text{沥青}} = 460 \times 308200 \times \Delta T + 1340 \times 3981120 \times \Delta T = 5476472800 \times \Delta T \quad (\text{J})$$

因温降最大不能超过 3°C, 因此允许货罐损失的热量最大值为:

$$Q_{\text{最大}} = 5476472800 \times 3 = 16429418400 \quad (\text{J})$$

### 3.3 绝缘散发热量 Q2 计算

根据热传导公式[2]:

$$Q_2 = \lambda / d \times (T_1 - T_2) \times S \times t \quad (2)$$

$\lambda$ : 绝缘层导热系数 (W/(m×k));

d: 绝缘层厚度 (m);

T1: 绝缘层内测温度 (°C);

T2: 绝缘层外侧温度 (°C);

S: 绝缘层散热面积 (m<sup>2</sup>);

t: 绝缘层散热时间 (s);

实际上货罐保温绝缘往往不会做的太厚, 因此需要两层或者三层绝缘叠加在一起才能起到保温效果, 多层绝缘总的导热系数计算公式[3]如下:

$$d_{\text{总}} / \lambda_{\text{总}} = \sum (d_1 / \lambda_1 + d_2 / \lambda_2 + \dots + d_n / \lambda_n) \quad (3)$$

市场上, 货罐保温绝缘主要有摩根和奇耐两家生产商, 以摩根的保温绝缘为例, 绝缘的类型有 60mm、50mm、45mm、25mm 厚等几种。设计过程中将这几种类型绝缘两两组合或者三种组合在一起, 将组合绝缘的数据代入公式 (2) 中计算一天内散发的热量, 寻找散热量小于 Q 最大且厚度最小的方案, 计算过程并不复杂, 最终我们选好的摩根的最优组合方案为 100mm 厚 (50+50 两层) 绝缘型式, 计算过程如下: 首先计算绝缘层的总导热系数, 根据厂家设备资料显示如下表 2:

表 2 组合绝缘层参数

	绝缘层导热系数	绝缘厚度 d(m)
第一层 (内层)	0.0464	0.05
第二层 (外层)	0.0393	0.05

将上述数据代入公式（3）可得：

$$0.09/\lambda_{\text{总}}=0.05/0.0464+0.05/0.0393$$

$$\lambda_{\text{总}}=0.04256$$

绝缘散发热量 Q2 计算相关参数如下表 3

表 3 绝缘散热计算参数

$\lambda$ (W/(m×k))	d (m)	T1 (°C)	T2 (°C)	S (m)	t (s)
0.042556	0.1	194.4	10.6	2270	86400

以上数据中，T1 和 T2 为厂家实验数据（见图 1），是绝缘层表面温度，在没有精确数据的情况下也可以近似用沥青罐内温度（200°C）和环境温度（0°C）代替，结果会相对保守。

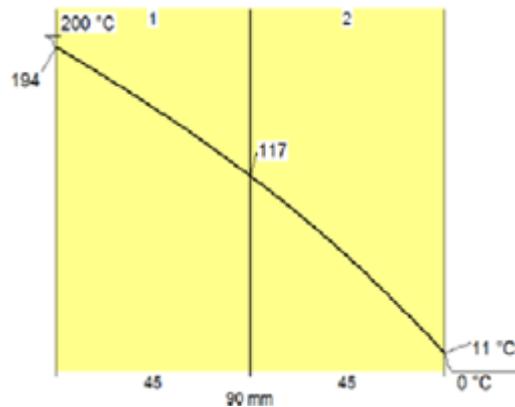


图 1 绝缘隔热温度曲线

将表 3 中数据代入公式（2）可得：

$$Q_2 = \lambda/d \times (T_1 - T_2) \times S \times t = 0.042556/0.1 \times (194.4 - 10.6) \times 2270 \times 86400$$

$$= 15340725782 \text{ (J)} < Q_1 = 16429418400 \text{ (J)}$$

结论：满足货罐一天温降小于 3°C 要求。

然后反过来可以计算，按照 100mm 厚（50+50）型式铺设罐体绝缘的情况下，一天时间内货罐沥青实际温降情况：

$$Q_1 = Q_2$$

$$5476472800 \times \Delta T = 15340725782$$

$$\Delta T = 2.80 \text{ (°C)}$$

此计算结果也满足规格书的要求货罐一天温降小于 3°C。

以上计算只是示例，不同船型计算时要根据温降要求是规格书或船东不同的

要求来进行相关计算。

### 3.4 货罐保温绝缘材料的选型

温降计算结果满足的依据是基于材料参数、性能等方面，那么在设计初期我们将如何进行保温绝缘的选型呢？根据我们多面的调研工作，罐体的保温绝缘选型将基于下面几个主要方面：

**保温隔热性能：**保温隔热性能是决定材料选型的首要指标，不同材料的导热率及使用环境温度均不相同，导热系数越低、隔热性能越好。

#### 典型产品参数

厚度	13mm, 25mm, 38mm, 50mm
密度	64 kg/m <sup>3</sup> , 96 kg/m <sup>3</sup> , 128 kg/m <sup>3</sup>
宽度	标准：610mm 非标准：1220mm
覆面	铝箔0.038mm（有其他覆面形式可提供）

#### 导热数据(W/mK) kg/m<sup>3</sup>

	96kg/m <sup>3</sup>	128kg/m <sup>3</sup>
200℃ 平均温度	0.06	0.05
400℃ 平均温度	0.09	0.08
600℃ 平均温度	0.14	0.12
800℃ 平均温度	0.22	0.18
1000℃ 平均温度	0.34	0.29

**保温绝缘容重：**因罐体面积较大，在满足相同保温隔热性能的情况下，保温绝缘材料如果拥有更轻的容重，相比于其他相对减重达到 20%至 30%，这将对该船的空船重量的控制是有很大的保证。

**保温绝缘材料厚度：**为了保证罐体大的容积，在设计时罐体结构与四周的结构空间非常狭小，保温绝缘有部分工作将在水下进行，为了便于现场保温绝缘安装，同时也将减少安装工作量，那么材料性能保证的前提下，具有薄的厚度材料也将是做优选材料。

基于以上空船重量控制、保温性能、导热率、便于安装等方面因素，7800DWT 沥青船采用了一种专为高效隔热毯，其隔热性能十分优秀、对空间大小和防火材料重量敏感的应用尤为适用。不同于传统的绝缘，隔热毯在实际安装过程中更加简单快捷。由于在生产过程中不使用任何有机或无机粘结剂，因此该产品在遇火后不会产生任何烟气。作为不燃性材料的防火毯更易弯曲和切割从而使安装更加简便。

### 4 货罐保温绝缘安装

货罐保温绝缘铺设前，外表面应涂以耐高温防锈涂料。货罐四周和底部绝缘

安装与船上防火隔热绝缘类似，保温绝缘外包覆铝箔布，同时应考虑到支撑装置、定位装置、防浮装置等裸露部位，适当留出间隙。需注意货罐绝缘外面包覆的铝箔布为加厚型，厚度至少为 0.3mm，主要是考虑保温绝缘材料较重，并且施工环境复杂，施工过程中容易造成损坏。货罐顶部绝缘的安装，考虑到人员维修和行走的需求，在绝缘上方铺设镀锌铁皮，铁皮下方用角钢配合轻钢龙骨做成框架作为支撑，用铆钉或自攻螺钉进行固定。为防止角钢和轻钢龙骨散发过多热量，在轻钢龙骨上方需铺设特殊玻璃作隔热材料，典型节点如下图 2：

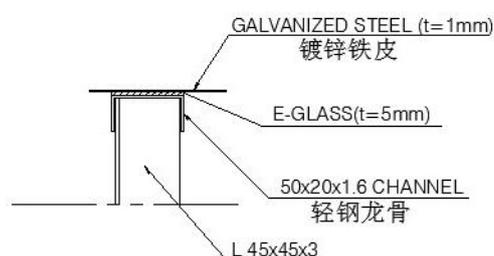


图 2 货罐绝缘典型安装节点图

## 5 结束语

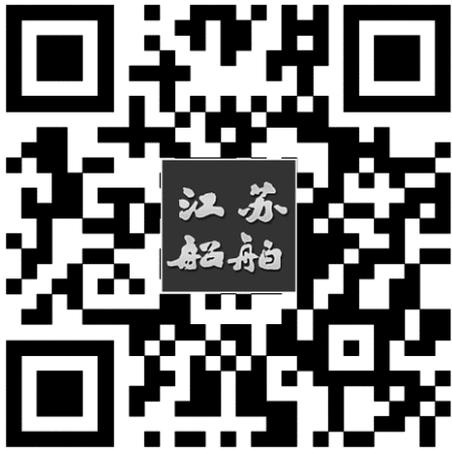
沥青作为一种重要的战略资源，在国民经济建设中发挥着重要作用。中国经济持续发展促进了公路建设的投资力度，国家公路建设的全面展开，给沥青船提供了空前的发展机遇。沥青船具有广阔的市场前景，其关键技术的开发和应用具有很现实的意义。本文介绍了沥青船绝缘的选型和安装，供其他设计者在罐体绝缘设计时借鉴。

### 参考文献：

- [1] 崔刚，张钢. 基于海上沥青货物安全运输.中国航海.2012 年 3 月第 35 卷第一期
- [2] 任泽霈，蔡睿贤. 热工手册.2002 年 11 月第一版.第五章第 6 页
- [3] 章熙民，任泽霈.传热学. 1993 年 6 月第三版



江苏船舶微信公众号



江苏船舶网上投稿系统

仅供交流