

945/33

管道絕熱的材料, 裝置方法和計算

E. П. 苏 宾 著

張 繼 榕 譯

中
華
建
築
工
業
出
版
社

冶金工業出版社

管道絕热的材料，裝置方法和計算

E. П. 苏 宾 著

張 繼 榕 譯

冶金工業出版社

本書研討絕熱材料、絕熱結構及管道的絕熱裝置，以及它們的熱力計算及經濟計算的方法，並以數字實例進行說明。在書中敘述了蘇聯生產的主要絕熱材料及制品的特性，並有計算圖表。

本書供工程師及技術人員進修之用。

Е.П. ШУБИН:

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ УСТРОЙСТВА И РАСЧЕТ
ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ (МОСКВА—1948—ЛЕНИНГРАД)

管道絕熱的材料，裝置方法和計算

張繼榕 譯

1957年5月第一版 1957年5月北京第一次印刷 3,033冊

787×1092·1/32·100,000字·印張5·定價(10) 0.70元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0595

冶金工業出版社出版(地址:北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

管道絕热的材料，裝置方法和計算

E. П. 苏 宾 著

張 繼 榕 譯

冶金工業出版社

本書研討絕熱材料、絕熱結構及管道的絕熱裝置，以及它們的熱力計算及經濟計算的方法，並以數字實例進行說明。在書中敘述了蘇聯生產的主要絕熱材料及制品的特性，並有計算圖表。

本書供工程師及技術人員進修之用。

Е.П.ШУБИН:

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ УСТРОЙСТВА И РАСЧЕТ
ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ (МОСКВА—1948—ЛЕНИНГРАД)

管道絕熱的材料，裝置方法和計算 張繼榕 譯

1957年5月第一版 1957年5月北京第一次印刷 3,033冊

787×1092·1/32·100,000字·印張5·定價(10) 0.70元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0595

冶金工業出版社出版(地址：北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

目 录

序 言.....	4
第一章 对絕热結構的要求.....	6
第二章 絕热材料及制品.....	14
第三章 絕热結構及其安裝法.....	37
第四章 絕热結構的热力計算.....	72
第五章 絕热結構的經濟計算.....	117
附 录.....	141
有关絕热問題的文献.....	159

序 言

經過管道輸送蒸汽、热水或其他的热液体时，以及在設備（鍋爐、預热器、槽等）內保持比周圍介質更高的溫度时，总会有热通过管道或設備的外表面散失。热的損失使燃料浪費。除此以外，热的損失还会使載热質的溫度降低，因而往往危害到生产过程。

为了减少热的損失，凡內部保持高溫的管道及設備，都須用一种叫做对热絕緣的材料（簡称絕热材料或保温材料）即热的不良导体作成的特別的套包起来。这个套也起着保护作用及衛生作用，因为如果没有它，則当接触、甚至於有时即使接近热表面时都可能發生燙伤。因此「电站及網路的技术管理規程」（見1940年版第112, 129, 175, 254, 278节）要求：电站上所有的蒸汽管道、热水管道（溫度超过 50°C 的）、供水槽、排水槽、煤气管、热空气管、重油管等等，都要有絕热裝置，以保証在其外表面上保持对接触安全的溫度（通常 50°C ，有时 $35^{\circ}\text{—}45^{\circ}\text{C}$ ）。

为了說明使用絕热材料能在节省燃料方面創造多大的經濟价值，茲举出一些数字。

根据苏联1950年恢复和發展国民經济的第四个五年計劃草案，应当發出820亿仟瓦小时的电力，相当於每年消耗标准燃料（發热值7000仟卡/公斤）約五千万吨。据一般估計，电站的管道、設備及机器所損失於周圍介質中的热量，約为燃料燃燒时所發生的热量的4%，也就是說，相当於每年約損失二百万吨标准燃料。如果使用更有效的絕热裝置，則能減

少这个損失，即使減少 20%（其实还可能減少更多），每年也能因此节约标准燃料約 400,000 吨，这相当於能力約为 150,000 仟瓦的發电站每年消耗的燃料。

以上的数据說明由於絕热能节省多少燃料。如果考虑到絕热不仅在發电站一方面应用，則可以明白，合理的絕热对整个国民經济都是很有意义的。

第一章 对絕热結構的要求

设备及管道的絕热層連同增进此复盖層的机械强度、不透水性及其他性能所用的輔助裝置（鋼架、網、塗料、抹灰層等等）一起，所作成的裝置称为絕热結構。为了使絕热結構用起来有效，它应当滿足一切决定被絕热物体工作条件的各种要求。其主要要求如下：

1. 被絕热的物体的热損失不应超过技术經濟定額。当被絕热的物体的大小及溫度为已知时，它的热損失主要决定於两个因素：絕热結構的厚度及其傳热系数。这个系数越小，则当其他的条件相同时，被絕热物体的热損失就越小。因此，低的傳热系数为絕热結構效能的主要指标。

2. 絕热結構應該能够經常保持其結構的完整，也就是說，不能燒坏、腐爛、剝落、裂縫或收縮等等，而且当被絕热的物体被加热到对其表面所規定的最高溫度时也不能失去它的效能。

3. 絕热結構应有足够的机械强度，首先要能在自重的作用下或偶然受到打击时不致从被絕热的物体面上脫落下来。根据被絕热的物体所处条件的不同，对其絕热結構的机械强度的要求也不同。从这观点出發，可將絕热結構的敷設方法分为下面几种。

A. 室内敷設。屬於这一类型的有：差不多全部生产設備和發动机等的絕热結構，以及車間内部的蒸汽管道及热水管道等的絕热結構。在这种情况下，絕热結構在某种程度上便於檢查及修理，而且也沒有很大的机械負荷。

Б. 室外敷設。这种敷設方法用於某些裝置在室外的机器、設備（例如，火車头）及热水貯槽等等的絕热結構，而主要是用於室外蒸汽管道網及煤气管網路等的絕热結構。在此情况下，由於風的压力以及有时由於雪的重量使机械負荷增大。除此以外，在露天的絕热裝置，还遭受相当大的溫度变化，空气中的湿度波动，以及下雨下雪的影响。对这种絕热結構的檢查及修理就更不方便。所有这些情况，都促使对这种絕热結構的物理性能及机械性能的要求提高。

В. 地溝中的地下敷設。这种类型的敷設，在城市及工業的蒸汽管道網及水管網中应用最广。帶絕热結構的管路几乎老是裝置在地下不能通行的地溝中，要檢查它就必需把溝挖开才能把它露出来，这只有在特殊的情况之下才能这样作。在这样的情况下，絕热結構所承受的机械作用，与敷設在室內沒有甚么区别，但是周圍空气的溫度条件及水分的影响要大得多，因为地溝內空間的橫截面不大，而溝中的溫度又达到 $30^{\circ}\text{—}60^{\circ}\text{C}$ 或更高些。地溝常遮擋不住从泥土中或地面来的水。这时，毫無例外会将地溝內的絕热結構淹沒，即使在这样的情况下，絕热結構也不應該完全失去自己的机械强度及結構的完整；否則每一次淹沒都会使絕热結構完全毁坏。

Г. 地下無地溝的敷設。这种敷設法，是將帶絕热結構的管道直接放在泥土中，因而絕热結構須承担管道上面泥土的重量及由於地面的运输所形成的相当大的負荷。除此以外，在沒有地溝的敷設中，泥土中的水直接作用於絕热結構上。这样的工作条件是最困难的，所以对絕热結構的机械性能及物理性能的要求也最高。

4. 用任何一种方法敷設的絕热結構，都应该具有耐潮

湿的性能。也就是說，在水蒸汽飽和的大氣中（室內、露天或地溝中的敷設），或在潮濕的泥土中（地下無地溝的敷設），絕熱結構都不應該失去其結構的完整（因濕變軟、腐爛、長霉等）及機械強度，而且熱的損失不應急劇地增加。

5. 絕熱結構不論在甚么樣的情況之下（即使完全浸濕）都不應該損壞被絕熱物體的完整，也不能破壞其正常工作。絕熱結構不應該引起被絕熱物體表面的腐蝕，不應該將能使結構產生過高機械應力的力傳到被絕熱的物體上面去，當被絕熱的物體熱到正常工作溫度或冷下來時也不應該防碍物體自由變形。

到目前為止，我們只研討了絕熱結構應滿足的純技術的要求。除此以外，絕熱結構還應該滿足以下的經濟要求：

1. 絕熱結構應該用不貴而且分佈很廣的材料作成。金屬、特別是有色金屬的消耗量應該盡可能少。

2. 絕熱結構的制備及安裝應盡可能簡單。在工業區及城市通道處敷設地下管道時特別要求安裝簡單，因為在這種情況下，安裝絕熱結構所能佔用的時間是很有限的。

3. 絕熱結構不應該有過大的橫截面積及重量，否則將使地溝的尺寸及管道的支架不必要地加大。

為了滿足對絕熱結構的各種要求，可用幾層各有特殊作用的材料來作結構。結構的基本部分為絕熱層，通常用一種材料作成，也有用能耐各種不同溫度的幾種材料作成的，在此情況下，最能耐熱的一層直接敷設在被絕熱的物體面上，而其他在溫度較低部分的各層，則用耐熱性能較差而傳熱系數較小或具有其他優越性的材料作成。

在基本絕熱層面上，差不多總要敷設保護層或復蓋層，

以使絕热結構具有必需的硬度。如果基本絕热層沒有足够的强度，則保护層还須能承受（部分或全部）結構面上的机械作用。除此以外，保护層往往能保护基本絕热層使水分不致滲入其中。

如水分进入結構能引起严重后果（例如，在無地溝的地下敷設中），則在結構中还需要加上特別的防水層或隔水層。这一層一般沒有甚么机械强度，因此塗在坚固的复盖層套的內面。最后，在保护層或复盖層面上常塗上顏色。这样一来，絕热結構差不多总是多層的而且是構造复杂的。这个構造，一方面決定於被絕热的物体的敷設方法及工作条件，另一方面也決定於絕热結構本身的安裝方法。根据安裝方法的不同，絕热結構可以分为以下几种基本类型，这在下面第三章中將詳細叙述。

a) 灰泥的及澆灌成的。

b) 由模塑（成型的，成塊的）制品作成的，及包紮成的。

B) 填成的。

表示材料及制品的絕热性能的基本指标为傳热系数。

如果在一个物体中或在几个物体之間有溫度差，則热从溫度較高的物体向溫度較低的物体傳送，其傳送方式如下：

a) **热的傳导**（或傳导）——依靠溫度較高的物質的質点与溫度較低的物質的質点直接接触。在連續的固体中，这种傳热方式是唯一的。

b) **对流**——依靠物質質点移动和由質点帶走热量来傳遞。对流傳热只有在液体和气体中才能进行；在多孔的固体中，如果孔隙內充滿液体或气体，也能發生对流傳热。在各

种对流傳热中，对絕热結構的工作影响最大的是因物質的冷質点与热質点比重不同而产生的自由对流傳热。

B) **輻射** (放出射線或放射) ——是依靠热物体的热能轉变为輻射能，而当此射線落在另一物体上时，再將輻射能轉变成成为热能，通过真空和通过气体的輻射最强。在液体及連續的固体中它的作用很小；在多孔的固体中，則在孔隙內發生輻射的現象。

根据伏尔 (Фурье) 定律，在物体內取出一个微小的面积，在穩定的热状态下，而且面上所有的点的溫度都不变时，則通过此面所傳导的热量正比於時間、面积的大小及在此面的垂直方向上每單位長度上的相对溫度落差。这个定律可以用数学的方式表示如下：

$$Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} f \cdot n \text{ 仟卡。} \quad (1)$$

其中 Q ——靠傳导傳遞的热量，通常以大卡或仟卡計；

n ——時間，以小时計；

f ——面积的大小，以公尺²計；

t_1 ——所研究的面积上的溫度，以[°]C計；

t_2 ——在傳热的方向上与前一面积相距 δ (以公尺計) 处所选的另一面积上的溫度。

在式 (1) 中也引入了比例系数 λ ，称为傳热系数，以仟卡/公尺小时[°]C計。

傳热系数主要決定於材料或物質的物理性質，在較小的程度上也受溫度的影响。从第 (1) 式即可看出，当其他的条件都相同时，傳热系数越小則通过所取面的热量就越小。因此所有絕热材料的特征为其傳热系数的值低。在表 1 中

表 1

某些物質的傳熱系數值

物 質 名 稱	溫 度 °C	傳 熱 系 數 λ (仟卡/公尺小時°C)
I. 固 體		
a) 金 屬		
銀.....	0	360
純銅.....	0	332
鉄和鋼.....	0	從 40 到 45
生鉄.....	0	從 20 到 25
6) 泥土及建築材料		
潮濕的砂土.....	20—50	從 1.25 到 1.75
“ 黏土.....	20—50	從 1.00 到 1.50
鋼筋混凝土.....	0	1.33
澆灌成的混凝土.....	0	1.10
黏土磚.....	0	0.70
玻璃.....	0	0.65
針葉類的木材		
順着纖維.....	0	0.20
橫過 “ ”	0	0.15
B) 絕熱材料		
A 級 } (根據 OOT 3114)	100	0.07 以下
B 級 } (根據 HKTH)	100	從 0.07 到 0.10
B 級 }	100	從 0.10 到 0.15
Г 級 }	100	從 0.15 到 0.18
II. 液 體		
水.....	20	0.51
酒精.....	20	0.15
III. 氣 體		
干空氣.....	20	0.022
水蒸汽(飽和狀態及1絕對大氣壓)	100	0.021

列举了一些物質的傳热系数值。金屬为优良的导热物質，它們的傳热系数的值最大。气体为最不好的导热物質，它們的傳热系数值最小。但是，對於气体以及液体需要保持有这样一种观念：只有当气体或液体为很薄層的时候，才可能在其中單靠傳导的方式来傳热。例如，在水平的空气層厚度不超过 5 公厘而且層中的溫度落差不大时，当气体或液体層較厚时，則在絕大多數的情况下，开始对流及輻射的傳热，因而总的傳热量增大。

这种情况，在疏松（多孔的）固体（差不多包括所有的絕热材料）內的傳热现象中起着巨大的作用。这些多孔的物体，实际上是由基本的固体物質（骨幹）与气体（通常为空气）所充滿的孔隙所組成的机械混合物。空气的相对量，即所謂的物質的孔隙率 P ，与基本固体物質（骨幹）的比重 S ，及多孔材料的視比重（即所謂的容重） τ 的簡單关系如下：

$$P = 100 \frac{S - \tau}{S}. \quad (2)$$

第（2）式中，孔隙率 P 以百分率表示，比重 S 及容重 τ 以公斤/公尺³ 計。充滿在孔隙中的气体的比重，与 τ 及 S 比較起来是很小的，通常都忽略不計，在推求第（2）式时也就是这样作的。對於多孔材料，第（1）式只有在下述条件之下才能应用，即：在这个式子里，傳热系数不仅反映靠基本固体物質（骨幹）及孔隙中的空气的傳导作用所傳的热，也显示出这些孔隙中靠对流及輻射作用所傳的热。多孔材料的这种傳热系数称为視傳热系数。它和孔隙率、湿度及溫度等因素的关系很大。由於充滿孔隙的空气

的傳热系数为基本固体物質的傳热系数的 $\frac{1}{50} - \frac{1}{100}$ ，所以多孔物質的視傳热系数比基本固体物質的傳热系数小，並随孔隙率的增大（即材料的容重的减小）而很快地减小。但是，这种現象，只有当孔隙很小、以致其中的对流及輻射可以不計时才能見到。当孔隙率很大、以致各別的細孔开始联起来的时候，原已达到一定最小值的視傳热系数，又开始增大起来，因为在合併成的孔隙中，对流及輻射加剧了。

在潮湿的时候，多孔物質的視傳热系数也增大，因为：第一，代替空气充滿孔隙的水的傳热系数为空气的傳热系数的 25 倍，第二，通常在水中的对流比在空气中的对流剧烈些。

最后，溫度对多孔材料的視傳热系数的影响，主要是由於随着溫度的上升，孔隙中的对流及輻射进行得更剧烈，因而干的多孔材料的視傳热系数在溫度上升时总是增大（潮湿的材料的情况比較复杂，因为在溫度升高时被烘干）。

第二章 絕热材料及制品

所有傳热系数低並有相当耐热能力（足以适应其所应用的溫度范围）的材料都可以作为絕热材料。按照 $\frac{\text{OCT}}{\text{HKTH}}$ 3114 的規定，用於管道及設備的基本絕热材料（即所謂的絕热安裝材料）的傳热系数不应超过 $0.18 \text{ 仟卡/公尺小时}^\circ\text{C}$ 。在 1942 年战争时期的条件下，ГОСТ В-1844—42 規定可用絕热安裝材料的代用品，这些材料的傳热系数的最高容許值达到 $0.25 \text{ 仟卡/公尺小时}^\circ\text{C}$ 。

制备絕热材料所用的原料称为絕热原料。它可能是在特殊产地开採出来的自然产物，也可能是某种生产的廢物。絕热原料按其来源，可能是有机的或是無机的（矿物的）。苏联蘊藏有丰富的絕热原料，不仅能滿足本国在絕热材料方面的要求，而且还可以出口。

石棉 石棉是質量最好的矿物絕热原料中的一种，人們在古希臘时代就已經知道它（希臘文“石棉”的意思是“不可燃”）。在苏联，离斯維尔德洛夫斯克（石棉城）90 公里的地方，为世界上最富的溫石棉产地之一。溫石棉由白色、細而很結实的纖維組成；因而称它为“石棉”。这种纖維的特点是耐热性能很强；只有在 700°C 以上才失去水分，並随之失去彈性及强度。

石棉的重度很高—— $2400—2550 \text{ 公斤/公尺}^3$ ；呈松散状态时的容重为 $400—800 \text{ 公斤/公尺}^3$ 。石棉的技术条件在 ГОСТ 7-40 中有規定。根据纖維的長度和粉末的含量，石