

推广热网保温新技术降低输送热量损失

赵金钟

(燕山石油化工公司)

陆显浩*

(中国科学院力学研究所)

本文报道了最新保温技术在燕山石油化工公司几千米管道上的应用,并给出了设计、测试和技术经济评价方法。结果表明这种新技术有良好的经济效益,可全面地推广应用。

一、前言

燕山石化公司是一个大型石油化工联合企业,年平均燃料动力消耗 180×10^4 t 标准煤,蒸汽耗能约占51%。因此,节约蒸汽成为公司节能的主要方面,而在输热管道上减少热损失又是节约蒸汽的重要途径之一。几年来,连续整顿蒸汽管网,改善保温,每小时节约蒸汽100 t 左右,缓和了公司用汽的紧张局面。但是,对燕化公司现用的保温材料 and 施工工艺应如何评价和选择,减少管道热损失还有多少潜力可挖?尚缺乏定量的数据。特别是,在公司大多数管道保温达到使用寿命时,迫切需要热网保温的新技术。

二、热网管道保温技术攻关取得成果

1982年燕山石化公司与中国科学院建立了长期科技合作关系,并联合组成了热网管

道保温技术改造攻关组。所研究的主要技术关键是^[1]:

1. 建立输热管道隔热保温优化设计方法及计算机程序,并经过了模拟实验的验证。

2. 进行多种保温材料热物性的测试,给出了导热系数、比热和导温系数的曲线和方程。对影响隔热性能的各种因素包括显微结构和传热机理进行深入研究。为确定最优材料和寿命提供科学依据。

3. 建立了保温技术模拟实验台,为优选材料及确定最佳隔热层厚度提供了实验数据,为中间试验、工艺试验及工程试验提供了科学依据。

4. 开展了现场测试方法的研究。采用了多种测试方法与仪器,探讨了标准测试条件,以及热损失数据处理方法,为正确评价

* 参加工作的还有燕山石化公司程宗颐,中国科学院力学研究所吕钧锋、方锋荣。

数据表明,原料消耗可下降2.5%左右。

共裂解技术目前在我国还是一个空白,对于常规的管式炉更是如此,因此有必要在乙烯行业内开展对共裂解的科学实验、理论研究、经济技术评价进行广泛的讨论。

参考文献

- [1] 邹仁鋈,《裂解原理与技术》,化工出版社,1981,90.
- [2] 邹仁鋈,《裂解原理与技术》,化工出版社,1981,60.
- [3] 王自昌、张钟文,《石油化工》,12(7),1983,437.

优化设计保温效果及施工质量，提供了可靠的测试手段。

5. 提出了评价隔热保温的主要技术参数、经济效益和投资回收期的计算方法，为热网管道技术改造的可行性研究提供了科学判据。

攻关组完成了1619mφ529蒸汽管道工程试验，减少热损失54%，隔热效率达97%，居国内领先地位，与发达国家的标准水平相近。仅此工程试验，每年节油526t，以议价和平价油计年收益分别为24.2×10⁴和6.58×10⁴元，投资回收期为0.65和2.6a。1983年该技术通过联合鉴定，认为该技术不仅对燕化公司适用，而且对全国蒸汽热网管道也适用。

三、管道保温技术实施

1. 设计要点

管道的隔热设计，主要是选择最优隔热材料与确定最优隔热层厚度。一个定性的优化方法如图1所示。A线表示热损失的费用，B线表示隔热保温所需的费用，C线是两者的叠加。与最低费用C₀相对应的t₀就是最优隔热层厚度。不同隔热材料，最优隔热层厚度不同，见图2。

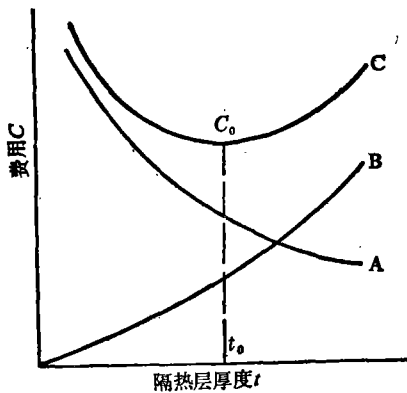


图1 隔热层厚度与费用的关系

推广中以岩棉玻璃布缝板为最优隔热保温材料，主要技术经济参数如下：

1) 导热系数方程 $K=0.031+0.0002t[W/(m\cdot^{\circ}C)]$ 。

2) 热稳定性 在600℃以内，不出现化学与结构上的变化。

3) 经济性 岩棉玻璃布缝板 ($\rho=100kg/m^3$) 价格为200元/m³。

4) 设计参数 从按技术经济参数和热传导方程计算的设计参数表^[1]中，确定出最优保温层厚度。当环境温度和蒸汽温度与表上值不同时，最优保温厚度用插值法处理，热损值用下式修正^[1]

$$Q'_L = (T'_1 - T'_2)Q_L / (T_1 - T_2)$$

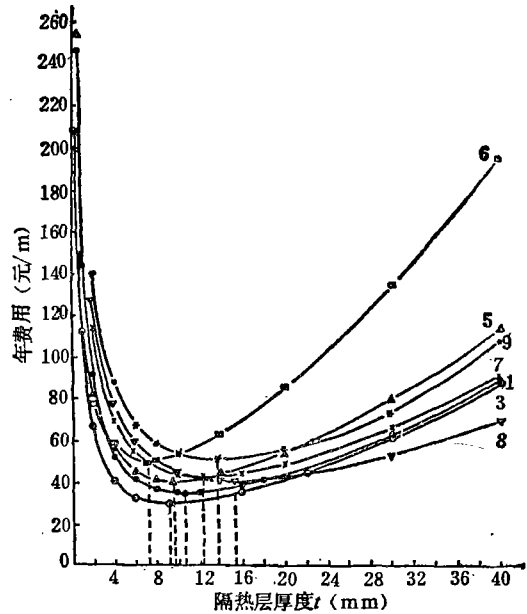


图2 不同隔热材料的隔热年费用随隔热层厚度变化的关系曲线

1—硅酸钙；3—岩棉缝板；5—酚醛树脂矿棉管；
6—磷酸盐珍珠岩管瓦；7—水玻璃珍珠岩管瓦；
8—水泥珍珠岩管瓦；9—水玻璃蛭石制品
 $D_2=0.529m$ ； $T_f=290^{\circ}C$ ； $T_a=11.6^{\circ}C$ ；
 $V_2=3m/s$ ； $n=15a$ ； $I_L=I_2=1.1$

式中： Q_L 和 Q'_L 分别为表上与内插的热损值， T_1 和 T'_1 分别为表上与所求热损失下的蒸汽温度， T_2 和 T'_2 分别为北京与设计地区的年平均温度。

5) 合理的工艺结构措施 采用双层

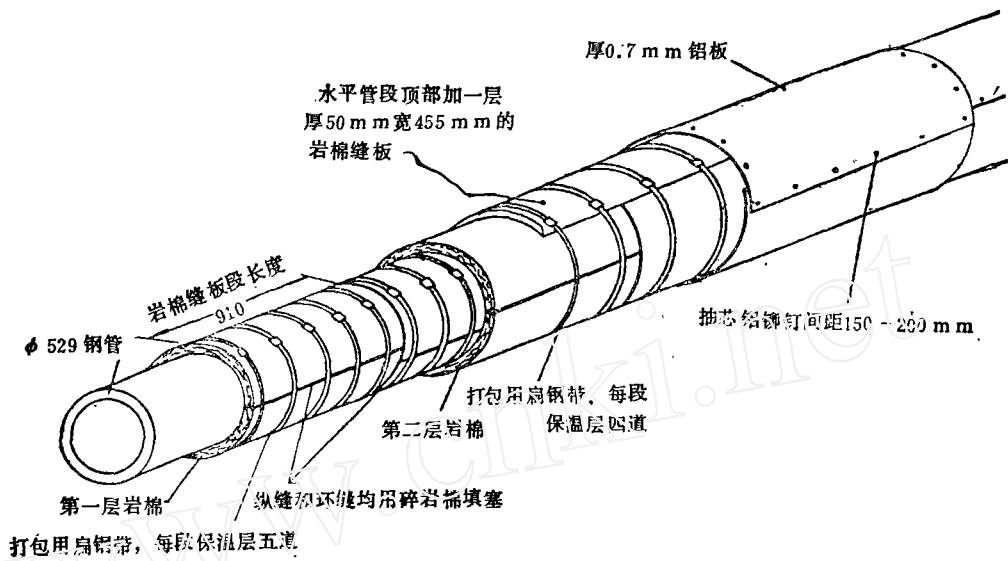


图 3 φ529蒸汽管岩棉缝板保温结构图

岩棉玻璃布缝板，把径向与轴向接缝叉开，使轴向接缝位于管道的侧下方，接缝处使用碎岩棉堵塞，以减少漏热，考虑到在自然对流情况下，保温层顶部热流比平均热流大30—40%，以及长期使用下保温层的沉降，在顶部要增加1/5周长岩棉缝板，规定其容重不小于120kg/m³。施工图如图3所示。为防止垂直管道保温层的下滑，在管道上每隔2m设置一个保温层支撑架，参见图4。

6) 保温层围护采用0.7mm厚的铝合金板卷包，用抽芯铝铆钉固定。

2. 测试方法

在热网管道保温技术中，通常使用的热损失测量方法主要有表面温度法、内外温差法、焓降法和热流计法。在燕山石化公司主要使用热流计法和表面温度法。

1) 热流计法 是直接测量管道保温层外表面热损失的一种有效方法。当稳态热流 q 垂直通过热流计测头时，测头基板两侧产生温差 ΔT ，则：

$$q = -K \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

式中： Δx 和 K 为基板厚度和导热系数，当

测头一定时， Δx 和 K 为常数， $q \propto \Delta T$ ，正是这一温差使基板两侧的温差热偶感生热电势，通过测头系数转换，在仪表上直接显示出热流值。

2) 表面温度法 是一种比较方便快捷的方法。保温层外表面温度已知后，可以通过辐射和对流换热计算出管道的热损失 q 。表面温度可用表面温度计、红外温度计、热象仪等测得。

$$q = h(T_p - T_e) + \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_e^4)$$

T_p 和 ε 为保温层外表面温度和热发射率， T 和 h 为环境温度和对流换热系数， σ 为玻尔兹曼常数。

考虑到自然对流、强制对流、保温结构以及雷诺数等均影响管道径向热流的分布，在圆周上可如图5所示选点^[2]。取各截面的平均值时，可等距选取一定数量的轴向测量截面。垂直管道取上部与下部截面测值的平均值。

3. 技术评价指标

1) 隔热效率 隔热效率 η 可由下式表示： $\eta = (Q_{L0} - Q_L) / Q_{L0} = 1 - Q_L / Q_{L0}$

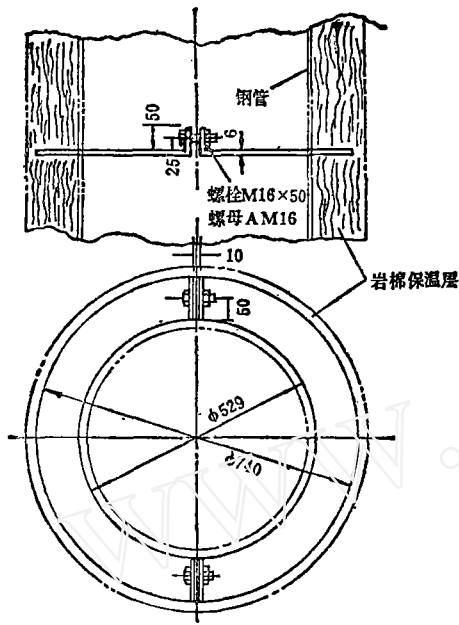


图 4 蒸汽管道垂直管段保温层托架图

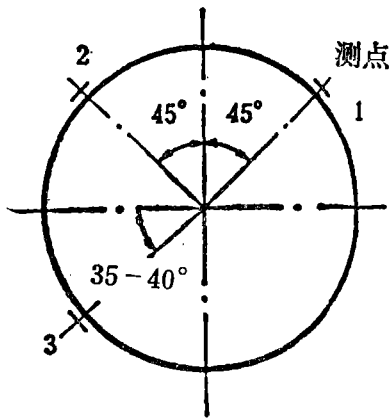


图 5 全段统计普测测点在截面上分布示意图

Q_{L0} 和 Q_L 为裸管和管道保温后单位长度、单位时间的散热量。可见，输热管道无隔热层时， η 为0，隔热后 Q_L 为0时， η 为1。

2) 节能量 可由上式导出，它的大小可用来衡量1,2两种不同隔热方案的优劣，该能量称为节能量 ΔQ_L ，

$$\Delta Q_L = Q_{L1} - Q_{L2} = (\eta_2 - \eta_1) Q_{L0}$$

3) 相对节能率定义为

$$\begin{aligned} \Delta Q_L / Q_{L1} &= (Q_{L1} - Q_{L2}) / Q_{L1} \\ &= 1 - Q_{L2} / Q_{L1} \end{aligned}$$

4) 隔热保温的焓参数：焓参数评价隔热保温管内流体所含能的质量。当管道散热损失减小时，焓损失减少，流体做功能力增大。

以上四个量从量和质两个方面来表征隔热保温的技术性能。

4. 经济评价

1) 热能价格 主要包括燃料、燃烧装置和附属设备的费用，并考虑燃料价格变化和其它因素的影响，燕山石化公司的热能价格，按平价油计为16.4元/MkW，按议价油计59.3元/MkW。

2) 投资回收期：

$$n = \ln(Y / (Y - Ci)) / \ln(1 + i)$$

n 为投资回收期； C 为现金投资； i 为贷款年利率； Y 为投产后每年定额还款能力。

四、推广应用及前景

输热管道保温技术改造展现了巨大的节能潜力。燕山石化公司在1984至1987年分期分批实现全部蒸汽主干线的保温技术改造。1984年已推广13000m，年节油3114t；1985年推广了23900m，年节油6833t。其测试结果分别列于表1和表2。可以看出， $q_2 < q_{\text{标}}$ ，相对节能率一般大于60%， Q_{L2} 小于或接近 $Q_{L\text{计}}$ 。

燕山石化公司的经验表明，在推广工作中，只要宣传保温新技术，培训专业骨干；精心设计，严格施工；抓好现场测试，做好科学评价，新技术大面积推广是切实可行的，均能达到良好效果。

表 1 1984年燕山石化公司蒸汽管线保温效果测试表

测试管线	D (mm)	δ (mm)	t _f (°C)	q ₂ (W/m ²)	Q _{L2} (W/m)	t _p (°C)	Q _{L1} (W/m)	N (%)	q _标 (W/m ²)	Q _{L1标} (W/m)	η ₁ (%)	η ₂ (%)
一电站至东方红炼油厂(南)	529	141.8	300	89.9	229.5	32.8	667.1	65.6	186	276.4	94.5	98.1
一电站至东方红炼油厂(北)	529	137.7	300	106.3	266.5	34.4	743.3	64.1	186	276.4	93.9	97.8
一电站至东方红炼油厂	159	151.3	430	152.8	221.5	37.7	353.1	37.3	236	192	95.1	96.9
一电站至胜利化工厂	219	157.9	430	138.1	231.9	33.4	730.8	70.3	236	229	91.7	97.5
一电站至胜利化工厂(西)	529	127	300	99.4	244.1	34.2	952.1	74.4	186	276.4	92.2	98
二电站至向阳化工厂	529	102.8	300	120.1	276.4	31.2	721.4	61.6	186	276.4	94.1	97.7
二电站至向阳化工厂高压	159	152.1	430	154.5	225	37.1	353.1	36.3	236	192	95.1	96.8
二电站至东风化工厂	219	184.9	430	109.2	201.7	29.1	730.8	74.1	236	229	91.7	97.9
二电站至东风化工厂	630	134.6	300	124.3	351.0	30.8	(60.0)	186	360			95.1
向阳低压东线	529	131	300	106.2	263.5	12.6	669.5	60.6	186	276.4	94.5	97.8
向阳A点一折8	529	142.9	300	110	280.8	17.5	669.5	58.1	186	276.4	94.5	97.7
折8点一前进化工厂	476	156.7	300	111.2	274.2	16	669.5	59	186	257.3		
折8点一折5点	377		250				381.6			178.3		

表中: D为管径; δ为保温层厚度; t_f为蒸汽温度; q₂为改造后单位面积散热损失, Q_{L1}、Q_{L2}为改造前、后单位管长散热损失; Q_{L1标}为单位管长散热损失设计计算值; N为相对节能率; t_p为改造后外表面温度, q_标为国家标准规定的最大允许散热损失值; η₁、η₂为改造前后隔热效率。表2同。

表 2 1985年燕化公司部分蒸汽管线保温改造效果测试表

测试管线		D (mm)	δ (mm)	t _f (°C)	q ₂ (W/m ²)	Q _{L2} (W/m)	t _p (°C)	Q _{L1} (W/m)	N (%)	q _标 (W/m ²)	Q _{L1标} (W/m)	η ₁ (%)	η ₂ (%)
一电站至 东方红炼油厂	南	529	146.6	300	128.8	331.4	37.7	1021.7	66	186	276.4	92	97
	北							1164.7	71	186	276.4	90	97
折5至研究所		426	148.3	200	35.8	81.0	32.4	237.3	65.9	140	163.8	93.4	97.8
折8至设计院		377	165.7	200	57.2	127	33.3	217.8	41.7	140	148.3	94.0	96.5
东方红炼油厂	东-1	426	143.6	300	110.1	246.6	24.1	575.8	57.2	186	239.5	94.0	97.4
	东-2	426	149.6	300	98.7	225.0	26.1	572.8	60.7	186	239.5	94.0	97.7
	西	426	143.5	300	100.2	224.5	23.9	574.3	60.9	186	239.5	94.0	97.7

全国管道和炉体由于保温不善, 每年约损失原煤二、三千万吨。如用科学强化保温技术, 即便按减少热损25%估计, 全国每年能节煤 5×10⁶ - 7×10⁶t, 等于一个中型煤矿的年产量。各地还可因地制宜使用当地隔热性能良好的保温材料, 如矿棉毡毡和微孔硅酸钙等, 同样可以收到良好效果。

参考文献

- [1] 热网管道保温技术改造攻关协作组(中国科学院和燕山石化公司),《管道保温技术文集》, 能源出版社, 1984.
- [2] 陆显洁、方铨荣、吕钧锋,“热流计在热网管道现场测试中的应用”,《仪表与节能论文集》, 1984.