

设计方法

石化企业高温管道复合保温结构
厚度的计算方法及其应用

于秋海 付维享

中国石油化工股份有限公司石家庄炼油化工股份有限公司(河北省石家庄市 050032)

摘要:分析了复合保温材料内部温度的分布特点,提出了利用 Microsoft excel 的“规划求解”工具计算复合保温结构内外层保温材料厚度的方法。通过在实际工程的应用,证实了采用复合保温结构,能够以较低的投资获得较好的保温效果,同时指出了在保温施工中应注意的事项。

关键词:复合保温结构 高温部位 规划求解 保温效果

隔热保温技术在石油化工行业中有着广泛的应用。根据运行经验,管道有良好的保温时其散热损失只占总输热量的 5%~8%,仅为管道不保温时散热损失的 10% 左右。因此合理选用保温材料的类型及厚度对企业降低能耗和节约燃料都有重要的意义,必须给予充分重视。《设备及管道保温、保冷维护检修规程》(SHS01033—2004)中第 3.2.7 条规定:高温设备与管道保温宜采用复合结构,一般内设硅酸铝,外包岩棉或超细玻璃棉。但经过调查发现炼油化工装置高温设备及管道部位的保温,在设计及施工中采用复合保温结构的很少,分析其原因主要有以下几点:一是在《管道隔热材料及其厚度选用规定》中只给出了单层保温厚度的推荐值,没有给出复合保温结构的厚度值;二是在《工业设备及管道绝热工程设计规范》中虽然给出了双层绝热层厚度的计算公式,但所给公式都是以隐函数的形式给出的,直接求取内外层保温材料厚度是不可能的;三是工程设计周期较短,设计人员在没有直接参考数据的情况下只能以单层保温结构进行设计。

基于以上分析,同时也为了推动复合保温技术的应用,本文提出了利用 Microsoft excel 的“规划求解”工具计算复合保温结构厚度的方法,在计算时一并考虑了管道的散热损失和投资情况,其结果可供设计人员参考。本计算方法适用于内部介质温度大于 250℃ 的设备及管道复合保温厚度的计算,当内部介质温度低于 250℃ 时,其保温仍按《管道隔热材料及其厚度选用规定》设计。

1 圆筒形保温材料内部温度的分布特点

1.1 单层圆筒形保温材料内的温度分布

工程上工艺管道的长度远大于壁厚,保温材料内沿轴向的温度变化可以忽略不计。根据传热学的分析,其内部温度的分布遵循如下公式:

$$t = C_1 \ln r + C_2$$

式中 C_1, C_2 为待积分常数。从上式不难看出,在圆筒形的保温材料中,温度分布是半径的对数函数^[1],如图 1 所示,即随着圆筒半径由内壁向外壁变化,其内部温度先是急剧下降,然后逐渐趋于平缓,越靠近外壁,内部温度的变化越缓慢。

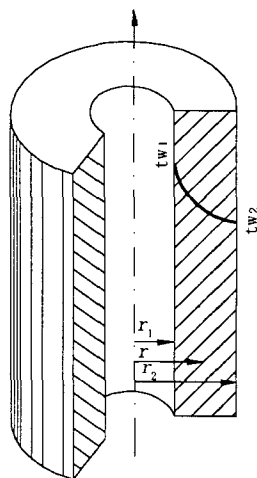


图 1 单层保温材料内温度分布

收稿日期:2005-07-19;修改稿收到日期:2005-08-08。

作者简介:于秋海,工程师,大学本科学历,从事炼油厂节能工作。E-mail:yqh9704@163.com

1.2 复合与单层圆筒形保温材料内部温度分布的对比

如图 2 所示, 左边为复合保温材料内的温度分布, 两种保温材料的导热系数 λ 不同, 右边为单层保温材料内的温度分布, 其类型与左边复合保温材料的内层材料相同, 两种保温结构的总厚度相同。由图可知, 在复合保温材料内, 温度的变化经过了两次急剧下降的过程, 下降的程度与两种保温材料的导热系数有关, 导热系数越小, 温度的下降越大, 而在单层保温材料内, 温度的变化只有一次急剧下降。因此, 当总厚度相同时, 复合保温材料比单层保温材料能获得更好的保温效果。

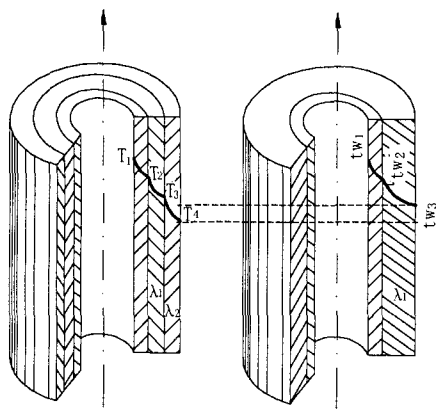


图 2 复合保温材料与单层保温材料温度分布对比

2 复合保温材料厚度的计算方法

计算的依据是热力学第一定律, 即能量守恒与转化定律。计算方法采用“最大允许散热损失法”。《工业设备及管道绝热工程设计规范》中指出圆筒形绝热层外径只能简化到 $D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}$ 这种隐函数形式, 不能直接求 D_1 。本文所用的计算方法没有直接计算复合保温层外径, 而是利用 Microsoft excel 的“规划求解”工具进行反向验证计算, 计算方法如下:

如图 2 所示复合保温材料, 计算中需用到以下几个传热学基本公式:

$$q_1 = \frac{t_n - t_0}{R_n + R_g + R_1 + R_2 + R_w} \quad (1)$$

式中: q_1 ——单位管长散热损失, W/m ;

t_n ——管内介质温度, $^{\circ}C$;

t_0 ——周围空气温度, $^{\circ}C$;

R_n ——从管内介质到管内壁的热阻, $m \cdot ^{\circ}C/W$;

R_g ——管壁的热阻, $m \cdot ^{\circ}C/W$;

R_1 ——内层保温材料的热阻, $m \cdot ^{\circ}C/W$;

R_2 ——外层保温材料的热阻, $m \cdot ^{\circ}C/W$;

R_w ——从保温材料外表面到周围空气的热阻, $m \cdot ^{\circ}C/W$ 。

因为从管内介质到管内壁的热阻、管壁的热阻与其它三项热阻相比数值很小, 所以在实际计算中可忽略不计, 这样上式就简化为:

$$q_1 = \frac{t_n - t_0}{R_1 + R_2 + R_w} \quad (2)$$

$$\text{即 } q_1 = \frac{t_n - t_0}{\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_w}} \quad (3)$$

式中: λ_1 ——内层保温材料使用温度下的导热系数, $W/(m \cdot ^{\circ}C)$;

λ_2 ——外层保温材料使用温度下的导热系数, $W/(m \cdot ^{\circ}C)$;

d_0 ——管道外径, m ;

d_1 ——内层保温材料外径, m ;

d_2 ——外层保温材料外径, m ;

α_w ——复合保温层外表面到空气间的散热系数, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ 。

内层保温材料外表面温度:

$$t_3 = t_n - q_1 R_1 \quad (4)$$

外层保温材料外表面温度:

$$t_4 = t_n - q_1 (R_1 + R_2) \quad (5)$$

在上述几个公式中, $t_0, t_n, d_0, \lambda_1, \lambda_2$ 、保温材料导热系数方程已知的。

为了计算内外层保温材料在使用温度下的导热系数, 还需给定内层保温材料外表面温度 t_3 和外层保温材料外表面温度 t_4 。《工业设备及管道绝热工程设计规范》(GB 50264—97) 中规定: t_3 应小于以 $0^{\circ}C$ 计算的外层保温材料允许使用温度的 0.9 倍。因此该点温度应根据选择的外层保温材料的种类来确定。 t_4 是与保温层外表面散热损失相关联的, 具体数值通过试算确定。

以上各参数确定后, 就可以通过试算法来确定内外层保温材料的直径了, 计算过程是用 Microsoft excel 的“规划求解”工具来完成的。进行计算时首先要将上面用到的几个公式建立到 excel 表格中; 其次给定内外层保温材料厚度的初值; 第三调用“规划求解”工具, 在规划求解工具对话框里, 设定好需要的约束条件就可以进行计

算了。“规划求解”工具会自动找出满足约束条件的最佳的内外层保温材料厚度值。“规划求解”找出的结果可能是带小数的值,需要将其结果手工调整为能被5整除的整数,以方便选用。

3 计算实例分析

—公称直径为150 mm的管道,周围环境温度为 -5°C ,复合保温材料内层材料选用硅酸铝棉制品,外层材料选用岩棉制品,内层保温材料外表面温度设定为 220°C ,外层保温材料外表面温度设定为 5°C ,当管内介质温度分别为 $400, 500$ 和 600°C 时的计算结果见表1,表1中同时还列出了采用单层保温材料时的计算结果及设计规范推荐值。

表1 实例计算结果及对比

管内介质温度/ $^{\circ}\text{C}$		400	500	600
复合保温结构	内层硅酸铝棉厚/mm	55	80	110
	外层岩棉厚/mm	50	50	50
	外表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	5.27	5.96	6.23
单层保温结构	硅酸铝棉厚/mm	110	140	165
	外表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	5.41	5.63	6.33
	单位面积散热损失/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	231.0	236.1	251.6
设计规范推荐值	硅酸铝棉厚/mm	100	115	130
	外表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	6.69	8.54	10.24
	单位面积散热损失/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	259.5	300.6	338.3

通过对表1的分析可知,对于高温管道要达到相同的保温效果,采用复合保温材料时其厚度值要比采用单层保温材料时薄一些,虽然设计规范推荐的保温材料厚度值比计算结果薄,但从表

中可以看到其单位面积散热损失要大得多,并且超过了规范规定的最大散热损失量。而如果采用单层保温材料的话必须要用耐温较高的内层保温材料,内层保温材料硅酸铝棉的造价要比外层保温材料岩棉的造价高出3~4倍,当保温总厚度相差不多时,采用复合保温比采用单层保温造价要低很多。

根据工程实际,硅酸铝棉价格选择 $1\ 200\ \text{RMB}\ \text{¥}/\text{m}^3$,岩棉价格以 $240\ \text{RMB}\ \text{¥}/\text{m}^3$ 计算,当管内介质温度为 500°C 时,采用复合保温材料单位管长的总价格为 $343.97\ \text{RMB}\ \text{¥}$,而采用单层硅酸铝棉的单位管长总价格为 $631.23\ \text{RMB}\ \text{¥}$,采用设计推荐厚度值时总价格为 $475.16\ \text{RMB}\ \text{¥}$ 。因此对于高温设备及管道,采用复合保温材料是最经济的选择。

4 实际应用情况

在2005年5月停工大检修期间,石家庄炼油化工股份有限公司对延迟焦化装置转油管道、大油气管道,常压塔附属管道,部分中压蒸汽和低压蒸汽管道进行了复合保温施工,复合保温结构内层采用硅酸铝棉或复合硅酸铝镁,外层采用岩棉管壳。保温材料厚度值采用本文介绍的方法进行计算。以上各装置开工投入运行后,对这些高温管道复合保温材料的实际效果进行了实测,实测数据见表2。

表2 复合保温厚度值及保温效果实测数据(环境温度 35°C)

管道名称	管内介质温度/ $^{\circ}\text{C}$	管道公称直径/mm	复合保温材料类型	保温层厚度/mm	保温外表面实测温度/ $^{\circ}\text{C}$
焦化炉-1转油管道	490	200	硅酸铝棉+岩棉	100+50	48
焦化炉-2转油管道	490	200	硅酸铝面+岩棉	100+50	49
常四线汽相返塔管道	315	250	硅酸铝棉+岩棉	40+50	39
常三线管道	255	250	硅酸铝棉+岩棉	30+50	39
3.5 MPa蒸汽管道	450	300	复合硅酸铝镁+岩棉	90+50	55
1.0 MPa蒸汽管道	280	300	复合硅酸铝镁+岩棉	50+50	49

对表2进行分析可以看出,以上几条高温管道在采用了复合保温材料后,保温效果比较理想,管道保温外表面温度在 $39\sim 55^{\circ}\text{C}$,比当时的环境温度高出 $4\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。但也可以看出保温效果不尽一致,分析其原因在于保温材料施工过程中施工质量控制得不是很一致,有些保温材料压缩量较大。

因此为了确保施工质量,获得较好的保温效果,在保温材料施工时应特别注意以下几个方面:

(1)在选用内层保温材料时,尽量不用板材而用抗压强度较高的管壳,以避免施工后压缩量太大。

(2)在施工中应做到同层错缝施工,内外层压缝施工。

(3) 选用保温管壳的直径要合适, 确保施工后内层保温材料能与管道外径贴合紧密, 内外层保温材料交界面处也能贴合紧密。

(4) 当计算出的保温层厚度不小于 80 mm 时, 应分层施工, 若不能分层施工宜将纵向接缝切成斜口。

5 结束语

本文分析了复合保温材料内部温度的分布特点, 提出了利用 Microsoft excel 的“规划求解”工

具计算复合保温结构内外层保温材料厚度的办法。通过 2005 年大检修期间对石家庄炼化股份有限公司部分装置高温部位管道的工程实践, 可以看出只要选择的复合保温厚度合理, 就能以较低的投资获得较好的保温效果。目前高温管道及设备的保温效果还不尽完善, 散热损失较大, 如果能很好地利用复合保温技术对这些部位进行改造必将会对各企业的节能降耗工作产生积极的作用。

(编辑 漆 萍)

METHOD TO CALCULATE THE THICKNESS OF COMPOUND INSULATION STRUCTURE FOR HIGH TEMPERATURE PIPELINE IN PETROCHEMICAL ENTERPRISE AND ITS APPLICATION

Yu Qiuhai, Fu Weixiang

Shijiazhuang Petrochemical Company Ltd., SINOPEC (Shijiazhuang 050032, Hebei, China)

Abstract The features of temperature distribution in compound insulation material are analyzed and the method to calculate the thickness of inside and outside insulation material layers for compound insulation structure with the “programming solution” tool of Microsoft excel is proposed. Practical engineering application shows that by adopting compound insulation structure, a better insulation effect can be obtained with low investment. In addition, matters for attention in insulation construction are pointed out.

Key Words: compound insulation material, high temperature position, programming solution, heat insulation effect

其它

2006 年《大氮肥》征订启事

《大氮肥》是中国石化齐鲁石化分公司研究院主办的大化肥行业专业性技术刊物。1978 年创刊, 国内外公开发行。国内统一刊号 CN 37-1183/TQ, 国际连续出版物号 ISSN 1002-5782, 广告经营许可证号: 3703034090004。

本刊主要报导国内外大型氮肥装置及其有关方面新工艺、新技术、新设备、新成果等的发展动态, 重点刊登大氮肥装置革新改造、节能增产挖潜、大机组设备、安全生产、催化剂、电器设备、自动化仪表及计算机应用、水质处理、防腐、企业管理以及经济效益等方面的经验总结和问题讨论。同时还刊登与氮肥有关的技术经济政策和技术知识等。供从事大氮肥行业的生产、科研、设计等广大技

术人员、管理干部和有关大专院校师生参考, 对中、小氮肥厂也有参考价值。

《大氮肥》为双月刊, 大 16 开本, 72 页, 逢双月出版。每期定价 8.00 元, 全年定价 48.00 元(含邮费)。自办发行, 欢迎单位和个人订阅。

订阅者请将订费及订阅单、投寄签通过邮局直接寄: 山东省淄博市临淄区 129 信箱 6 分箱《大氮肥》编辑部
邮 编: 255400

联系人: 《大氮肥》编辑部

电 话: (0533) 7582512, 7582530

传 真: (0533) 7582752