

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.10.011

直埋玻璃钢/聚氨酯保温管道补偿设计探讨^{*}

李瑞英, 闫松, 耿运贵

(河南理工大学, 河南焦作 454003)

摘要: 根据温度补偿器的工作原理及热水直埋管道的敷设方式, 探讨了直埋玻璃钢/聚氨酯保温管温度补偿的设计方法。工程实例计算结果表明, 玻璃钢/聚氨酯保温管与传统钢制热力管道相比, 可以不设或少设温度补偿器。

关键词: 直埋敷设; 玻璃钢管; 聚氨酯保温; 补偿设计

中图分类号: TQ323.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)10-0047-03

Discuss on Compensational Design of Direct Laydown FRP/Polyurethane Thermal Insulation Pipes

Li Ruiying, Yan Song, Geng Yungui

(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: According to the principles of temperature compensator and lay down method of heat-water direct laydown pipe, the design of temperature compensational of direct laydown glass fiber reinforced plastics (FRP) / polyurethane heat pipes was discussed. Compared with traditional steel heat-water pipe in the engineering projects, FRP / polyurethane pipes need not or less temperature compensator through calculate results of project examples.

Keywords: direct laydown ; FRP pipe ; polyurethane thermal insulation ; compensational design

温度补偿器是指当管道受热后可以增加管道柔性、减少热应力的弯曲管段或可以伸缩的装置。直埋管道中安装补偿器的作用是吸收管道的热伸长量, 减少管道应力。采暖期间, 随着热介质温度的升高, 工作管道由于被加热而产生伸长量, 此时补偿器将被压缩而发挥作用。管道受到热应力时的温度补偿可以分为自然补偿和人工补偿, 在布置管道时自然形成的弯曲管段是自然补偿, 专门设置的用来吸收管道热膨胀的装置即为人工补偿。由于自然补偿器是在布置管道时自然形成的, 既不多费管材, 也不增加介质的流动阻力, 因此在管线安装时应尽量利用自然温度补偿, 只有在自然补偿不能满足要求时, 才采用人工温度补偿。

传统的热力管道通常是钢管作为工作管道, 外加保温层及保护层, 笔者研究的玻璃钢(FRP)/聚氨酯(PUR)保温管是以纤维缠绕 FRP 管道作为输送管道, 以 PUR 作为中间保温层, 以缠绕 FRP 作为外保护层的一种新型保温管道。

直埋 FRP / PUR 保温管, 由于温差及自由膨胀受阻必将产生轴向热应力, 地下直埋管道的约束主要是土壤与管道之间的摩擦力, 当轴向热应力小于土壤摩擦力时, 即土壤与管道的摩擦力足以阻止管道的自由伸长, 直埋管道则可采用无补偿敷设; 如

果温差产生的轴向力大于土壤的摩擦阻力, 那么管道势必产生伸长量, 此时必须设计补偿器来抵消管道的伸长量以确保直埋管道的稳定性及运行的安全性。直埋 FRP / PUR 保温管是否需要设计补偿器, 则应通过受力计算求得。

1 热水直埋供热管道补偿方式的选择

目前使用较多的直埋热力管道主要有蒸汽直埋管道和热水直埋管道, 在热水直埋热力管道中使用最多的则是钢制热力管道, 即工作管道是钢管, 外加保温层, 最外层是钢管或 FRP 或聚氯乙烯管保护层。结构不同的直埋管道在进行补偿设计时所受到的外力是不同的, 例如在钢套钢直埋热水管道中, 由于保温管的外壳钢管是刚性的, 它足以支撑周围土壤的压力, 而保温层不会受到周围土壤的压力, 所以在补偿设计时只计算由于保温层与工作钢管自重产生的摩擦力, 而不考虑土壤的压力, 即不考虑埋深。FRP 套钢直埋供热管道, 由于外护管 FRP 保护层的厚度较薄, 其刚性不如钢管, 所以周围土壤的压力会作用到保温层上, 从而增加管道的摩擦力, 故在补偿

^{*} 河南省教育厅科技攻关项目(2009A430011)、河南省重点攻关项目(102102210435)

联系人: 李瑞英, 硕士, 主要从事玻璃钢复合材料及其工艺研究

收稿日期: 2012-08-12

设计计算时应考虑周围土壤的压力,即考虑管道的埋深^[1]。FRP/PUR保温管,是将FRP工作管道、PUR保温层、缠绕FRP外保护层结合为一体的一种新型保温管道,它的受力与后者相似。

热水直埋供热管道敷设分为无补偿和有补偿两种形式。其中有补偿敷设又分为无固定点和有固定点两种方式。

无补偿敷设方式是指在管道敷设过程中不采取任何温度补偿措施(预热或加设一次性补偿器等)而将管道直接铺设在沟槽中,然后按规定回填夯实。其特点是管道保温结构与周围土壤直接接触,在管道因温度升降而产生热胀冷缩时,管道外保护层与土壤间产生很大的摩擦力。无补偿敷设是充分利用土壤摩擦力,允许直线管段处于锚固状态,仅在弯管、出土端等处自然形成的过渡段内有位移。此种方式构造简单,是较为经济、简便的敷设方式。与有补偿直埋不同,无补偿直埋供热管道温度变化不是产生位移,而是产生轴向应力,轴向应力由管道自身的强度来承受^[2-3]。

有补偿敷设方式是在管线上设置各类补偿器、固定支架等附件以吸收和减小管道的热应力。在设计过程中,如果土壤的摩擦力较大,管道不能自由膨胀和收缩,而使得管壁内存在很大的轴向应力,经强度计算不允许有锚固段时则必须设置采用有补偿方式敷设。无固定点方式是指补偿器两端不设置固定点。对于无固定点敷设方式,应校核直管段是否超过最大允许安装长度的两倍,如超过则还需增设补偿器,直管段上补偿器间距不得大于最大允许安装长度的两倍。无固定点敷设方式具有占地小、费用低、运行安全的优点。有固定点方式是指补偿器两端设置固定点,且补偿器与固定点之间的距离不得超过按强度要求的管道允许最大安装长度。

直埋管道无补偿敷设方式优于有补偿敷设方式,在有补偿敷设方式中,无固定点方式优于有固定点方式。因此,在选择管道敷设方式时,应优先选择无补偿方式,尽量采用本身的转角来自然补偿,在自然补偿不足,如果温差太大或管道强度不允许采用无补偿方式时,才采用无固定点有补偿敷设方式。

2 直埋FRP/PUR保温管补偿设计

一段长直管段一般可分为锚固段和过渡段,考虑到锚固段受力最大,只要锚固段能够安全工作,整个管系就能安全运行,因此重点对长直管段进行设计讨论。在进行受力分析前,首先作以下假定:

(1)直管段足够长,土壤对管道的摩擦力足以阻止管道的自由伸缩;

(2)直管道两端为弯头自然补偿,其位移阻力忽略不计;

(3)FRP/PUR保温管工作管道、保温层及外保护层为整体预制管,受到土壤摩擦力及热胀冷缩时,三层结构之间不发生相对滑动。

2.1 直埋FRP/PUR保温管轴向受力分析

在直埋供热管道中由于土壤的支撑和摩擦作用,温度应力的水平会远远高于内压产生的一次应力,因此,直埋供热管道的安全性主要取决于温度应力。由于温度补偿器的设置目的是吸收管道轴向变形,减少轴向应力,因此与管道轴向受力密切相关。

(1)直埋FRP/PUR保温管与周围土壤之间的摩擦力

直埋FRP/PUR保温管道与周围土壤之间的摩擦力,和直埋钢质热力管与土壤之间的摩擦力相同。计算公式为^[4]:

$$F = \pi \rho g \mu (H + D_w/2) \cdot D_w \cdot L \quad (1)$$

式中: F ——轴线方向每米管道的摩擦力, N/m;

H ——管顶覆土深度, m; 当 $H > 1.5$ m 时, H 取 1.5 m;

ρ ——土壤密度, kg/m³;

μ ——摩擦系数;

g ——重力加速度, m/s²;

D_w ——保温管保温层的外径, m;

L ——管道安装长度, m。

(2)直埋FRP/PUR保温管的轴向应力

内压作用下环向膨胀引起的轴向拉伸应力(σ_{xt})为:

$$\sigma_{xt} = \frac{\nu_y P (d + t)}{2t} \quad (2)$$

式中: ν_y ——管道环向泊松比;

P ——管内最大工作压力, MPa;

d ——工作管道内径, m;

t ——工作管道壁厚, m。

由于管道周围土壤摩擦阻力的作用,管道不能自由伸长,因此产生轴向热应力(σ_{xt}),需要指出由于通常热媒温度高于管道安装温度,因此产生的 σ_{xt} 为轴向压应力。

$$\sigma_{xt} = \alpha \cdot E_x \cdot (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中: α ——管道的热膨胀系数, K⁻¹;

E_x ——管道轴向弹性模量, MPa;

t_2 ——管道输送热媒的温度,℃;

t_1 ——管道安装时的温度,℃。

管沟基础不平,沿管子长度方向土壤沉降的差异,使管道产生弯曲变形,从而引起轴向应力。该应力可以通过合理的施工工艺保证地基沉降均匀来加以解决,因此在受力计算时一般不予考虑。也就是说土壤的支撑作用使管道自重不会产生横向弯曲应变,因此相对于架空和地沟敷设管道,直埋管道可以忽略管道自重对强度的影响。

2.2 直埋 FRP / PUR 保温管轴向应力校核

由上述分析可知,直埋 FRP / PUR 保温管锚固段总的轴向应力为内压引起的 σ_{xi} 及温差引起的 σ_{xt} 之和。

$$\sigma_x = \alpha E_x(t_2 - t_1) - \frac{\nu_y P(d + t)}{2t} \quad (4)$$

在无补偿直埋管段(锚固段)内,由式(4)确定的轴向应力 σ_x 不超过管道轴向许用应力 $[\sigma_x]$,才能确保管道运行的安全性,即:

$$\sigma_x \leq [\sigma_x] \quad (5)$$

FRP / PUR 管道轴向许用应力 $[\sigma_x]$ 由试验测定管道轴向拉伸(或压缩)破坏强度,并考虑一定的安全系数 K (一般取 6)进行确定,即:

$$[\sigma_x] = \sigma_{xi} / K \quad (6)$$

3 工程实例

结合某公寓室外工程采暖主管道的设计要求、埋深、地质条件等因素确定各种参数,其中工作压力 P 为 0.8 MPa,埋深 H 为 1.5 m,粉质黏土土壤密度为 1830 kg/m³,输送热水温度为 95℃,管道安装温度为 10℃。分别采用 FRP / PUR 保温管和钢制热力管进行补偿设计,以便对比。试验测得 FRP / PUR 管道环向泊松比为 0.3,轴向拉伸破坏强度为 143 MPa,轴向压缩破坏强度为 120 MPa,其它各项设计参数详见表 1。

表 1 热水直埋 FRP / PUR 热力管和钢制热力管设计参数表

管道类型	工作管 内径 / m	工作管 外径 / m	PUR 保温 层厚度 / m	管材线 胀系数 / K ⁻¹	摩擦 系数 μ	轴向弹 性模量 E / MPa
FRP / PUR 保温管	0.15	0.16	0.05	0.000 02	0.2	11 000
钢制热力管	0.147	0.159	0.05	0.000 012	0.2	210 000

如果按照钢制管道设计方法确定 FRP / PUR 管道最大允许安装长度 $L_{\max}$,则有:

$$L_{\max} = \frac{[\sigma_x]A}{\pi \rho g \mu (H + D_w/2) D_w} = 12 \text{ m} \quad (7)$$

式中: A 为 FRP 工作管道管壁的横截面积, mm²。

也就是说直管段上每 24 m (最大允许安装长度的二倍) 安装一个补偿器,而钢制管道的补偿器间距为 150 m,显然此种方法不适合 FRP 管道,原因是 FRP 管轴向弹性模量比钢管小得多,同样的温差在两种材质管道中的热应力相差很多。如实例中温差为 85℃,在 FRP 管道中产生的温度应力为:

$$\sigma_{xt} = \alpha \cdot \Delta t \cdot E = 2 \times 10^{-5} \times 85 \times 11000 = 18.7 \text{ MPa}$$

在钢管中产生的热应力为:

$$\sigma = \alpha \cdot \Delta t \cdot E = 1.2 \times 10^{-5} \times 85 \times 210000 = 214.2 \text{ MPa}$$

而 FRP / PUR 管道的 $[\sigma_x]$ 分别为 23.83 MPa (拉伸) 和 20 MPa (压缩),而钢管的 $[\sigma_x]$ 为 125 MPa,显然无补偿直埋 FRP / PUR 管道可以安全工作,而钢管已经超过了许用应力,必须设置补偿器来减小热应力。因此 FRP / PUR 热力管道的补偿设计不能简单套用钢制管道计算公式,目前国内还没有关于 FRP / PUR 热力管道补偿设计标准规范,通常是在管道壁厚设计过程用轴向应力进行校核,最后与按环向应力计算的壁厚相比,取其中相对较大的值作为设计管道壁厚。针对本例,进行轴线总应力校核:

$$\sigma_x = \alpha E_x(t_2 - t_1) - \frac{\nu_y P(d + t)}{2t} = 18.7 - \frac{0.3 \times 0.8 \times (0.15 + 0.005)}{2 \times 0.005} = 14.98 \text{ MPa} \quad (8)$$

因此满足 $\sigma_x \leq [\sigma_x]$ 的要求, FRP / PUR 保温管道采用无补偿直埋敷设。

4 结论

(1) FRP / PUR 管的线膨胀系数略大于钢管,但 FRP / PUR 管道轴向弹性模量远小于钢管,因此当 FRP / PUR 管道和钢管两端有相同温差时,FRP / PUR 管道将产生较小的热应力,仅为钢管的 1 / 11 左右,因此热水直埋 FRP / PUR 管道一般可以采用无补偿直埋敷设方式。

(2) 直埋 FRP / PUR 保温管应尽量利用地形走向设计自然补偿器,对于长直管段应对管道轴向力进行校核,以确保管道运行安全。

参考文献

- [1] 杨海礁. 玻璃钢套钢直埋蒸汽管道设计实例分析[J]. 区域供热, 2011 (4): 54-56.
- [2] 王玉玄,高百争,刘德平,等. 无补偿直埋供热管道应力计算理论探讨[J]. 煤气与热力, 2010, 30 (7): 5-7.
- [3] 张兆侠. 直埋热水供热管道敷设方式的探讨[J]. 煤气与热力, 2009, 29 (10): 5-7.
- [4] CJJ/T 81-98 城镇直埋供热管道工程技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.