



## 潘越, 赖华宴

(中国石油天然气第一建设公司, 河南洛阳 471012)

**摘要:** 管道常用补偿器的形式有自然补偿器、II形补偿器、填料式补偿器、波形补偿器和球形补偿器。文章分析了这5大类补偿器的优缺点及适用范围, 并重点介绍了安装中的注意事项: 对于自然补偿器, 要严格控制长短臂的长度和支吊架的位置; II形补偿器和波形补偿器, 其预拉伸或预压缩量必须依据工作状况而定; 而填料式补偿器, 要确保其中心线不偏离管道中心线, 且插管和套筒挡圈间的安装剩余收缩量要适当; 对于球形补偿器, 控制两球体的间距是关键。另外, 支吊架作为补偿器的重要辅助部件, 其安装质量也是不容忽视的。

**关键词:** 管道; 补偿器; 支吊架; 安装

**中图分类号:** TE 973.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2206(2003)04-0022-05

在石油化工装置中, 管道每隔一定的距离都要设置热膨胀的补偿装置, 以减少并释放管道受热膨胀时所产生的应力, 保证管道在热状态下稳定和安地工作。补偿器和支吊架的安装应严格按照施工规程进行, 不正确的安装往往使补偿器失去应有的作用, 给管道运行带来安全隐患。

### 1 补偿器的安装

常用补偿器的形式有自然补偿器、n形补偿器、填料式补偿器、波形补偿器和球形补偿器5大类。

### 1.1 自然补偿器的安装

自然补偿器按照形状分为L形补偿器、Z形补偿器(见图1)和空间立体弯补偿器。管道上有一个 $90^\circ \sim 135^\circ$ 的弯管称为L形补偿器, 管道上有两个反向 $90^\circ$ 的弯管称为Z形补偿器。

自然补偿器是利用热力管道的自然弯曲来消除管道因通入热介质而产生的膨胀伸缩量, 它由管道中的弯管(或弯头)构成, 不仅结构简单, 制作、安装方便, 而且安全可靠。设计者会优先考虑选用

(3) 在精加工以后焊缝和锻件的其它部位经磁粉、超声波检测100%合格。目前该设备已正常运行一年半, 状态良好。

### 5 结束语

(1) 过渡段制作采用的拼接工艺、手工焊接工艺参数、数控加工的工艺程序是可行的。

(2) 制作中积累了许多实践性较强的工艺数据和操作经验, 对指导以后制造类似的过渡段提供了很好的技术基础。

(3) 拼装焊接采用手工焊方式, 劳动强度大, 对操作人员的技术要求十分高, 在今后类似工程中可探讨采用半自动焊或 $\text{CO}_2$ 气体保护焊的方法。

### 参考文献:

- [1] 张金禄. Cr-Mo钢焊缝金属低温韧性的改善[J]. 压力容器, 1999, 4(5).
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 材料的焊接[M]//焊接手册. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 中石化集团北京设计院. L8201-104EQ1/A1, 焦炭塔制造技术条件[S]. 2001.

作者简介: 邬佳浩, 男, 工程师。1992年毕业于浙江工业大学化工机械与设备专业, 长期从事石油工程施工安装和压力容器制造的技术管理工作, 现任中石化第三建设公司机械制造厂副厂长。

收稿日期: 2002-07-12; 修回日期: 2003-04-10

这种自然补偿器。自然补偿器安装最简单，但是占用空间大，有一定的局限性。

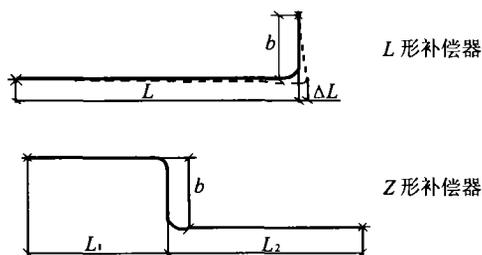


图 1 自然补偿器的形式

通常情况下，L 形补偿器长臂的长度不宜过大，一般为 20~25m，否则会造成短臂的侧向移动量过大而失去作用；Z 形补偿器的有效长度  $L$  ( $L = L_1 + L_2$ ) 一般控制在 40~50m 的范围内。

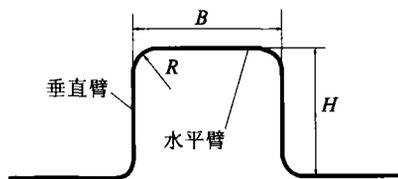
在制作安装 L 形补偿器和 Z 形补偿器时应严格按照施工图进行，不宜对其长短臂和支吊架进行随意改动，以免补偿器失去应有的作用。

空间立体弯补偿器可以看作 L 形补偿器和 Z 形补偿器的空间立体组合，制作安装要求大致与 L 形补偿器和 Z 形补偿器相同，在此不作论述。

### 1.2 π 形补偿器的安装

热力管网一般多采用 π 形补偿器，它的优点是工作可靠、坚固耐用、补偿能力强、现场制作方便，缺点是占地面积大。π 形补偿器广泛应用于碳钢管道、不锈钢管道、有色金属管道以及塑料管道、PVC 管道。

π 形补偿器由 4 个 90° 弯管段组成，根据国家采暖通风标准图集的规定，其常用的 4 种类型如图 2 所示，π 形补偿器规格尺寸和补偿性能都有严格的规定。



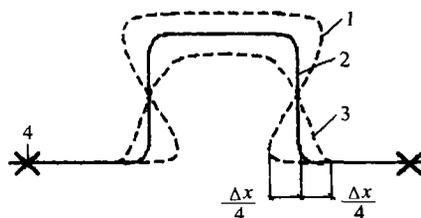
1 型 ( $B=2H$ )；2 型 ( $B=H$ )；  
3 型 ( $B=0.5H$ )；4 型 ( $B=0$ )

图 2 π 形补偿器类别

π 形补偿器最好采用一根无缝钢管弯制而成，尺寸较大的也可用 2~3 根管子焊接制作而成，4 个弯管的角度都必须是 90°，并要求处于一个平面

内，平面扭曲偏差不得大于 3mm/m，且不大于 10mm；垂直长臂的长度偏差不得大于 ±10mm，且两臂长度必须一致；水平臂长度偏差应小于 ±20mm。

图 3 是 π 形补偿器受热膨胀变形示意图，从图中可以看出，补偿器的水平臂变形较大，垂直臂中部变形较小，所以无论用几根管子焊制补偿器，在水平臂上不应设置焊口，焊口位置应设置在垂直臂的中部（见图 4）。



1. π 形补偿器工作时的形状；2. π 形补偿器制作后的形状；3. π 形补偿器安装后的形状；4. π 形补偿器固定支架位置； $\Delta x$  为预拉伸或预压缩的量

图 3 π 形补偿器膨胀变形示意

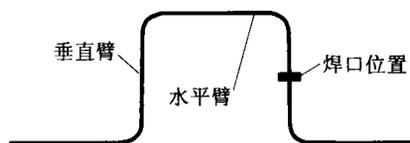


图 4 π 形补偿器焊口位置示意

安装 π 形补偿器前必须对补偿器进行预拉伸或预压缩，输送热介质的管道需冷拉，输送冷介质的管道需冷压。预拉伸或预压缩的量，当设计温度小于 25℃ 时为 0.5  $\Delta L$  ( $\Delta L$  为设计补偿量)；当设计温度等于 25~400℃ 时为 0.7  $\Delta L$ ；当设计温度大于 400℃ 时为 1.0  $\Delta L$ 。这样便于充分利用 π 形补偿器的设计补偿能力。

补偿器预拉伸或预压缩应在两个固定支架之间的管道安装完毕并与固定支架连接牢固以后进行，预拉伸或预压缩的焊口位置离补偿器的起弯点应大于 2m，并应将补偿器两臂同时进行拉伸或压缩。

制作好的 π 形补偿器经过检验合格后才安装，预拉伸或预压缩值必须符合设计文件的规定，允许偏差为 ±10mm。

π 形补偿器通常采用水平安装，只有在空间狭小不能水平安装时，才允许垂直安装。水平安装时，平行臂应与管线坡度相同，两垂直臂应平行并

呈水平状态。垂直安装时应根据不同介质设置排气或疏水装置。

安装  $\pi$  形补偿器时,应用3个以上受力点起吊,将两垂直臂撑牢,并把撑拉结构和补偿器一起固定好,以防变形。当补偿器与两个固定支架之间的管道组对焊接后,才可把撑拉结构从补偿器上取下。

当一组多个  $\pi$  形补偿器套装时,这些补偿器可不做预拉伸,而是最后将补偿器同管道一起进行拉伸。拉伸补偿器的接口位置一般标注在施工图上,若施工图未标注,接口位置应远离  $\pi$  形补偿器,不得利用靠近补偿器的接口作为拉伸接口。

固定支吊点与补偿器之间的接口应先全部焊牢,把  $\pi$  形补偿器中心线朝固定支吊点的方向偏移  $1/4$  的膨胀量,然后调整接口间隙,并用厚度等于拉伸量的物块加垫在接口间隙内,等管道上的所有固定支吊点紧固好,并确保接口间隙符合焊接工艺要求后,焊接接口焊道。

### 1.3 填料式补偿器的安装

填料式补偿器以填料函来实现密封,以插管和套筒的相对运动来补偿管道的伸缩量,又称为套管式补偿器。有铸铁和铸钢两种形式,铸铁填料式补偿器的工作压力不超过  $1.3 \text{ MPa}$ ,铸钢填料式补偿器的工作压力可达  $1.6 \text{ MPa}$ 。其优点是补偿量大,最大伸缩量可达  $400 \text{ mm}$ ;安装简单,占地面积小;缺点是轴向力大,需经常检修更换填料,容易泄漏。填料式补偿器常用于空间狭小、不能安装  $\pi$  形补偿器的大直径热力管道。

填料式补偿器应按设计文件规定的安装长度及温度变化留有剩余收缩余量。剩余收缩余量可按下式计算,其允许偏差为  $\pm 5 \text{ mm}$ 。

$$S = S_0 \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}$$

式中  $S$ —插管和套筒挡圈间的安装剩余收缩余量/ $\text{mm}$ ;

$S_0$ —补偿器的最大行程/ $\text{mm}$ ;

$T_0$ —室外最低设计温度/ $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_1$ —补偿器安装时的温度/ $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_2$ —介质的最高设计温度/ $^{\circ}\text{C}$ 。

填料式补偿器在安装时也可不经过计算,按表1所示条件留出剩余收缩余量。

表1 填料式补偿器的剩余收缩余量

两固定支架间的管段 长度/ $\text{m}$	剩余收缩余量/ $\text{mm}$		
	$< -5^{\circ}\text{C}$	$-5 \sim 20^{\circ}\text{C}$	$> 20^{\circ}\text{C}$
100	30	50	60
75	30	40	50

向填料盒中充填填料时,应将填料石棉绳涂以石墨粉,并逐圈装入、逐圈压紧,各圈接口应互相错开,石棉绳的厚度应不小于补偿器插管和套筒的间隙。

填料式补偿器应严格沿管道中心线安装,不得偏斜,否则在管道投入运行时,可能发生补偿器的插管和套筒咬住事故。在靠近填料式补偿器的两侧,至少应各有一个导向支架,以保证补偿器在管道运行时不偏离中心,自由收缩。

单向填料式补偿器应安装在固定支架附近,套筒外壳一端朝向管道固定支架,伸缩端与产生热膨胀的管子相连,为保证管道与补偿器同心,补偿器的伸缩端必须设  $1 \sim 2$  个导向支架。

双向填料式补偿器应安装在两固定支架中部,同时两侧应设  $1 \sim 2$  个导向支架。

填料式补偿器插管应安装在介质的流入端,摩擦部分应涂上机油,非摩擦部分应涂上防锈漆。

### 1.4 波形补偿器的安装

波形补偿器是利用凸形金属薄壳挠性变形构件的弹性变形来补偿管道的伸缩量,以金属薄板压制而拼焊起来的补偿器。按照形状可分为盘形、波纹形、鼓形和内凹形4种形式,常用的是波纹形补偿器。

波形补偿器所需要的安装空间比自然补偿器和  $\pi$  形补偿器要小得多,它主要用于低压、高温、大直径管道。

单式波形补偿器是最简单的波形补偿器,由一组波纹管构成,主要用来吸收轴向位移,也可以吸收少量横向位移;复式波形补偿器由两个单式波形补偿器串联组成,主要用来吸收轴向和横向位移。本文只介绍这两种常用的波形补偿器。

单式波形补偿器(见图5)的水平管两端各有一个固定支架,波形补偿器靠近其中一个,按设计要求沿管道设置导向支架,以控制位移和防止管道弯曲。位于左侧的定向固定支架在吸收波形补偿器轴向作用推力的同时,允许短臂管热膨胀作横向位

移，而短臂管的端部由中间固定支架来固定。

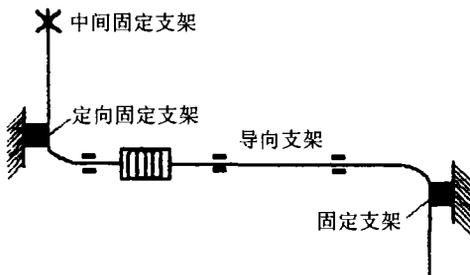


图 5 单式波形补偿器安装示意

复式波形补偿器由两个单式波形补偿器连接而成（见图 6），可以吸收轴向位移和横向位移。波形补偿器可以吸收管道的轴向膨胀量，拉杆承受内压推力，两侧管道的膨胀可使波形补偿器产生横向位移和轴向位移。

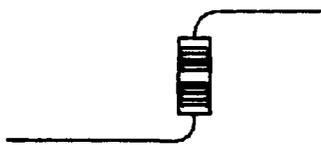


图 6 带拉杆的复式波形补偿器示意

在弯曲的管段上，常采用带紧固装置的波形补偿器，该紧固装置能保证波纹管发生轴向变形。

安装波形补偿器时应设置临时约束装置，在管道安装后、热负荷运行前再拆除临时约束装置。

安装波形补偿器应按设计文件规定进行预拉伸或预压缩。当设计文件无规定时，应根据补偿零点温度（ $t_{补}$ ）对波形补偿器进行标定，补偿零点温度是管道设计最高温度和最低温度的中点温度。当环境温度（ $t_{环}$ ）等于补偿零点温度时，安装波形补偿器可不进行预拉伸或预压缩；当环境温度高于补偿零点温度时，安装波形补偿器应进行预压缩；当环境温度低于补偿零点温度时，安装波形补偿器应进行预拉伸。预拉伸或预压缩的数值见表 2。

波形补偿器的预拉伸或预压缩应在干净平整场地上进行，并保证各波节的圆周方向受力均匀，拉伸或压缩的偏差应小于 5mm，当拉伸或压缩达到要求的数值时，应立即安装固定。

因波形补偿器内有衬筒，安装时应使上面的箭头指向介质流动的方向，使衬筒方向顺着介质流动的方向，波形补偿器应与管道中心一致，不得偏斜。

表 2 波形补偿器安装时预拉伸或预压缩的量

安装时的环境温度与补偿零点温度的差( $t_{环} - t_{补}$ )/℃	拉伸量 /mm	压缩量 /mm
-40	0.5 $\Delta L$	—
-30	0.375 $\Delta L$	—
-20	0.25 $\Delta L$	—
-10	0.125 $\Delta L$	—
0	0	0
10	—	0.125 $\Delta L$
20	—	0.25 $\Delta L$
30	—	0.375 $\Delta L$
40	—	0.5 $\Delta L$

注： $\Delta L$  为波形补偿器的设计补偿量

在管道做水压试验时，应将波形补偿器固定牢靠，不使其自由拉长，且绝对不允许超过规定的试验压力，以防波形补偿器过分拉长而失去弹性。

在存放、运输、装卸和安装波形补偿器的过程中，要采取一切可能的措施保护波纹管，避免造成压痕、焊接飞溅物粘连、引弧击穿等。波形补偿器安装完毕，应对其进行仔细检查，确认波纹管没有损坏。

### 1.5 球形补偿器的安装

球形补偿器由外壳、球体、密封圈、压紧法兰和联接法兰等主要部件构成，在压紧法兰压力的作用下，球体通过两个密封圈嵌固在外壳里来实现密封。

球形补偿器至少两个组合使用，也可 2~4 个连成一组使用，如图 7。利用球形补偿器的随机弯转来解决管道的热补偿，适宜于产生三向位移的蒸汽和热力管道，可以安装于管道的任何位置，工作介质可以由任意一端出入。缺点是有侧向位移，易泄漏。

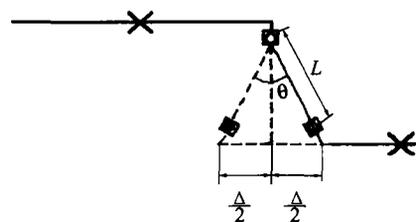


图 7 二组式的球形补偿器

球体在外壳里可以转动的角度称折曲角，一般为 30°左右，当需要补偿量一定时，两球体的间距可以按下式计算：

$$L = \frac{\Delta}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

式中  $L$ —两球体的间距/mm;

$\Delta$ —需要补偿量/mm;

$\theta$ —折曲角/°。

球形补偿器安装前,应将球体调整到所需角度,并与两球体间的管道段组对成一体。球形补偿器的安装应紧靠弯头,使球心距长度稍大于计算长度,其安装方向按介质从球体端进入、从壳体端流出为准。垂直安装球形补偿器时,壳体端应在上方。

球形补偿器的固定支架或滑动支架应严格按照设计文件进行设置。运输、装卸球形补偿器时,应防止碰撞,并保持球面清洁无划痕。安装调试合格后,应做好安装记录。

## 2 支吊架安装

管道上在装有补偿器的两端必然有固定支吊架,它不但要承受管道的重力,而且其主要作用是限定管道的活动范围,用以控制热变形量和变形方向。由于固定支吊架承受很大的推力,因而必须有坚固的结构和基础。

滑动支吊架主要承受管道的重力和管道因热位移摩擦而产生的水平推力,并保证在管道发生热膨胀时,能够自由伸缩。

管道安装时,应及时进行支吊架的固定和调整,支吊架位置应正确,安装应平整牢固,与管道接触良好。固定支架应按设计文件要求安装,并应在补偿器预拉伸之前固定。

支吊架的焊接应由合格焊工施焊,并不得有漏焊、欠焊或焊接裂纹等缺陷。管道与支架焊接时,不得有咬边、烧穿等缺陷。

无热位移的管道,其吊杆应垂直安装;有热位移的管道,吊点应在位移的相反方向,按位移的1/2偏位安装,如图8所示。两根热位移方向相反或位移不等的管道,除设计文件有规定外,不得使用同一吊杆。

导向支架或滑动支架的滑动面应光滑平整,不得有歪斜和卡涩现象。其安装位置应以支承面中心向位移反方向偏移,偏移量应为位移的1/2或符合设计文件规定,绝热层不得妨碍其位移。

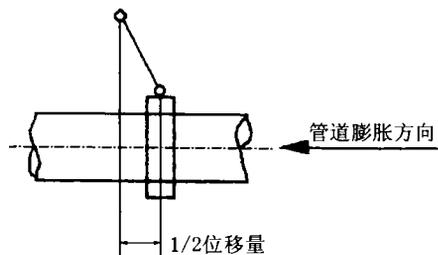


图8 有热位移管吊架安装

管道安装完毕后,应按设计文件规定逐个核对支吊架的形式和位置。有热位移的管道,在热负荷运行时,应及时对支吊架进行下列检查与调整:活动支吊架的位移方向、位移值及导向性能应符合设计文件的规定,管托不得脱落,固定支吊架应牢固可靠,弹簧支吊架的安装标高与弹簧工作载荷应符合设计文件的规定,弹簧支架的限位板应在热负荷运行前拆除。

有较强振动的管道支吊架,应按下列要求施工:在管架与管道接触的紧固面上,应加设石棉布、石棉橡胶板、硬胶板或经过防腐处理的硬质木垫,紧固管架的紧固螺母应配有弹簧垫圈、防松垫圈或紧固螺母,管架不得在楼板、墙壁、有弹性的钢结构及有振动的设备或支架上固定。

## 3 其它注意事项

管道及设备的安装精度应符合有关规定,有对口偏差时严禁用补偿器强行对口弥补,特别是波形补偿器不允许受扭力作用。

补偿器在安装过程中,一定要考虑到在水压试验状态下的受力情况,要重点检查补偿器的支吊架布置是否符合设计要求。

试压前要仔细检查支吊架是否安装正确,支吊架焊接是否达到设计要求。试压时要随时观察补偿器的变化,以便提前采取防范措施,防止管道失稳造成补偿器变形,从而失去应有的作用。

## 参考文献:

- [1] GB50235-97,工业金属管道工程施工及验收规范[S].
- [2] 郭邦海.管道安装技术实用手册[M].北京:中国建材工业出版社,1999.

作者简介:潘越,男,工程师。1997年毕业于西安石油学院机械工程系。

收稿日期:2002-11-25;修回日期:2003-04-28