

⑦ 28~31 套筒式无推力补偿器的研制

河南省计经委节能监测中心 邓曾禄 TU833.12

一、管道热伸长补偿概述

为了防止供热管道因受热伸长而发生变形和减少(或消除)因受热伸长而产生的应力,采取了分段设置固定支座并在两个固定支座之间设置管道补偿器(也称伸缩器)的技术措施。

补偿方式很多,除利用管道走向及坡度的改变而形成的L形、Z形管段对热伸长作自然补偿外,专门采用的补偿器有方形、套筒式、波形、球形补偿器四种。

方形补偿器是过去应用最广泛的补偿器。其优点是:可以在施工现场弯制、制造方便,运行中无泄漏、不需要维护,可应用于高压介质输送;另外可以不计算内压力而产生的轴向力,从而可以减小固定支座的设计负荷。缺点是:设计中要根据方形补偿器的尺寸求弹性力及补偿弯曲应力,并对方形补偿器进行应力验算;施工费时费力;外形尺寸大,占地多,有时甚至无法布置;介质流动阻力较大。

套筒式补偿器是将芯管与套筒分别与管道相连接,管道伸长时,芯管在套筒中能够自由伸缩移动。其优点是:补偿量大;体积小,节约钢材;安装后仍在一条直管线上,占地面积小,美观;可以不计介质流动的局部阻力。其缺点是:芯管与套管之间难以达到密封,需要经常检修和更换填料。一般用于介质压力在1.6MPa以下。在设计和安装中要避免管道横向弯曲变形造成填料函卡住。另外在设计固定支座时必须考虑由内压

力产生的轴向推力,因此对于直径较大管道的重载式固定支座常常带来很多问题。这种补偿器已有动力标准图册,但由于以上问题应用较少。

波形补偿器是利用波纹管有较好的伸缩性来补偿管道伸长的。由于只要接入一段波纹管,波纹管与热管道接成一体,没有相互位移的套接,因此避免了泄漏。波纹管管壁较薄,因此重量轻。其缺点是:补偿量小,设计时要计算其最小壁厚、预拉伸时允许补偿能力及弹性力,安装与运行中要严格禁止波纹管受扭力,要防止伸缩器两侧管道中心偏移造成波纹管的失稳而破坏。目前我国已生产了各种型号不锈钢波纹管制品,价格较贵,在供热、化工、冶金、建材等工艺热管道上已有应用。

球形补偿器是利用两个可转动的密封球形连接装置形成的一对铰链,在管道伸缩时可以使铰链产生转动,变化折屈角度,从而使管道得到补偿。每个球形补偿器是由壳体和壳体中能够转动一定角度的球形芯管组成,其间隙的密封也用压盖压紧填料的办法解决,仍然有密封不严、易泄漏的问题。由于转动面是一个球形面,因此制造工艺比套筒补偿器要求高,使用中必须成对使用,占地面积比套筒式大,目前价格比套筒式高出4倍。

综上所述,我们认为如果能解决套筒式补偿器的泄漏问题,并进一步消除内压力对重载式固定支座所产生的轴向力,以及解决管道试压时套筒式补偿器自动拉开的问题,那么套筒式补偿器就会以其补偿量大、占地

少、阻力小、投资省等明显优势而得到广泛应用，甚至可以成为优先推广的补偿方法。

二、密封措施的研制

1. 填料密封机理

对于介质的密闭性，一般在阀门上分为公称级、低漏级、蒸汽级和原子级。公称级与低漏级适用于关闭不严的密封，如用于调节流量的控制阀门。蒸汽级密封适用于蒸汽和大部分其他工业用阀门的阀座、阀杆和阀体连接部的密封。这种密封的气体泄漏为每米密封长度10~100微克/秒，液体泄漏量为每米密封长度0.1~1毫克/秒。对于DN400的补偿器按此算出最大泄漏量为每小时4克水，实为微乎其微。（即使每小时泄漏40克水，随着其在管道表面的蒸发，也看不出滴水现象。）因此，套筒式补偿器的密封可以阀杆的密封为借鉴。

套筒式补偿器是用软质填料函构成芯管与套管之间密封的。压紧填料使填料横向扩张，就产生了填料作用于横向支撑面上的压力。如果此压力等于或高于介质压力，并能使横向面上由于机加工产生的凹凸泄漏细沟闭合，则填料就能对介质起到密封作用。

填料传递的横向压力由下式决定：

$$\sigma_a = \sigma_1 \left(\frac{\mu}{1-\mu} \right)$$

式中 σ_a ——轴向应力；

σ_1 ——横向压力；

μ ——填料的泊松比（即横向变形系数）。

从上式可知，如果 $\mu = 0.5$ 时，填料传递的横向应力值就等于轴向应力值，这种填料只有在压力下容积不改变时才有这种性质。我们常用的石墨、石棉盘根容易被压缩，这种填料受到压缩时填料高度开始减小，填料沿侧壁的移动就引起了摩擦，使其对横向面传递的轴向压力逐渐减小。所以填料深度过大时，其下面的部位就不能有效地对芯管密封。实验表明对于短期密封只需两圈填料即可。为了补偿磨损和芯管表面加工缺陷，增加填料高度是合适的，但一般以最小深度的

两倍为好，过分增加不再提高密封性。

2. 填料的选择

理想的密封材料应具有下述特性：①能贮存弹性能，以保持密封面的载荷；②有很好柔软性，与表面凹凸不平相贴合；③能抵抗外加载荷或温度升高而导致的蠕变或应力松弛；④易加工，成本低；⑤与被密封介质化学相容；⑥有低渗透性，能防止介质穿透密封填料本身；⑦最好能重复使用。

以往填料多用石墨、石棉盘根，加注液体润滑剂，用于密封水、汽介质时，填料的液体润滑剂多用油或油脂。然而这些润滑剂在高压、高温下会流动，并使填料产生皱缩和硬化。由于填料容积缩小，必须经常重新压紧。

近年来新型的材料不断出现，通过实验，我们主要采用两类填料。

第一类是用固体聚四氟乙烯（PTFE）做石墨、石棉盘根的固体润滑剂。这样就无需添加液体润滑剂，其皱缩率可达到最小。PTFE不但具有摩擦系数小的特性，而且具有较高的抗腐蚀性能，可用于温度低于260℃有腐蚀性介质的热力管道上。我们采用复合PTFE材料制成的柱塞阀密封圈开闭7000次无泄漏，已有成功的经验。然而由于这种填料不象石棉盘根那样柔软易变形，因而对套筒内壁和芯管外壁密封面的加工形位公差要求严格，成本加高。

第二类是用柔性石墨做为填料。柔性石墨作为密封材料已广泛用于动密封和静密封上。其使用范围为-196~600℃，具有优异的耐腐蚀性能，摩擦系数为0.1~0.15。柔性石墨已生产有环状填料制品，然而由于其机械强度差，缺乏弹性，较脆易折，如果用此做填料，同样要求严格控制芯管和套筒的密封面加工工艺，生产成本将会成倍提高。因此我们借鉴生产石棉盘根的工艺，用碳纤维做基料，编成柔性石墨盘根，并且在密封填料函的中间开设加油孔环，以便于注入耐

高温润滑脂。填料的润滑脂含量掌握在填料总重的 8%，以使容积损失保持在最小值。密封示意图见图1。

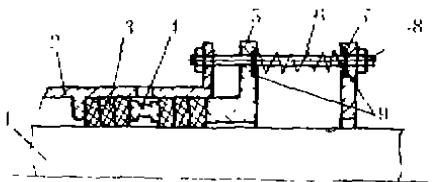


图 1

1—花管 2—套筒 3—填料 4—油环 5—压盖
6—弹簧 7—法兰盘 8—螺栓、螺母 9—弹簧定位凹槽

3. 压紧弹簧的作用

随着时间的延续，填料发生蠕变，容积缩小，预紧比压下降，就会发生泄漏，此时就要再均匀拧紧压盖螺栓。为了减少这一维修工作，需要采取措施使所施加的载荷能够在一定范围内调节。为此在压盖外面加一组压紧弹簧，用弹簧所储备的势能实现这一目的。为了便于安装并避免弹簧失稳，选择弹簧数目与压盖螺栓数目相同，分别将弹簧套在螺栓上。（在压盖和法兰盘上车出凹槽，使弹簧两端放入槽内实现定位）。装配前要检查弹簧，使每组弹簧在自由状态下有相同高度。

上紧螺栓一般是在试压下进行的，在不泄漏的情况下测量压盖与法兰盘的间距，由此间距和弹簧参数即可求出加在弹簧上的初始载荷。初始载荷的压缩变形量为最大变形量的20%~30%。考虑到填料在使用期间的容积变化和密封件的压力松弛，初始密封载荷还应增加一个安全余量。实践经验是一般在不泄漏后再拧进 5~13mm。压得太紧也不好，这将增加管道伸缩的摩擦力。

三、套筒式补偿器实现无推力的设计

1. 固定支座受力分析

固定支座受到的水平推力是由以下三个方面产生的：①管道伸长移动时活动支座上的摩擦力产生的水平推力；②补偿器本身结

构在进行补偿伸缩时产生的水平推力（对于方形补偿器、波形补偿器这一水平推力是其本身变形的弹性力，对于套筒式补偿器是芯管套管间相对移动时的摩擦力）；③管道内介质压力产生的水平推力，这是采用套筒式或波形补偿器时才可能出现的。

现以图2的管道布置形式对A和B两种固定支座受力进行方形补偿器和套筒式补偿器的对比分析。

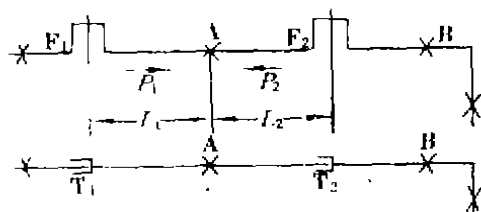


图 2

假定管道管径不变，先分析固定支座 A 的受力情况。

采用方形补偿器时，对 A 点产生的向右推力 P_1 包括： F_1 的弹性力；管段 L_1 向左伸长时滑动支架与管道之间的摩擦力，该力指向 A 点产生向右推力。对 A 点产生的向左推力 P_2 包括： F_2 的弹性力；管段 L_2 向右伸长时滑动支架与管道之间的摩擦力向 A 点产生的向左推力。这里要特别讨论的是介质压力对管道产生的作用力。介质压力作用在管道弯曲处（即方形补偿器 F_1, F_2 转弯处），在该处产生一个水平分力，其值为介质压力乘以管道断面，这两个水平分力方向相反，大小可以认为相等（忽略了静压的差异），因此在计算中不再考虑由于管道介质压力而产生的水平推力。

采用套筒式补偿器时，对 A 点产生的向左向右的推力中只需把方形补偿器的弹性力改换成套筒式 T_1, T_2 补偿器的摩擦力即可。由于管道是直管段，又没有管径变化，此时介质的内压力在轴向方向上的作用力没有作用在该管段上，因而 A 处的固定支座不承受管道内压力而产生的水平推力。

下面分析固定支座B的受力情况。

采用方形补偿器时，对B产生的推力有 F_2 弹性力、弯曲管段自然补偿的弹性力、滑动支座摩擦力对固定支座的水平推力，由于 F_2 和弯曲管段有对称的弯头的部件，因此管道内压力对B产生的水平推力等于零。

采用套筒式补偿器时，对B产生的推力除有 T_2 的摩擦力、弯曲管段自然补偿的弹性力、滑动支座摩擦力对固定支座的水平推力外，还要计算由于管道内压力而产生的水平推力。这是由于介质作用于管道转弯处的力不能得到如方形补偿器那样的相反作用力的自身平衡。在管径较大时这一推力占总推力的30%~50%。在工程设计中常把不计入管道内压力产生水平推力的固定支座(如A)称为轻载(减载)式。反之，固定支座(如B)称为重载式。如果把重载式变成轻载式，体积可以大为减小，能省去大部分的支架费用。可见消除管道内压力对支座的作用力具有明显的经济意义，而且还便于布置、省地、美观。

2. 无推力套筒式补偿器的设计

我们设计出一种新型套筒式补偿器，它能抵消内压水平推力。管道在补偿器处断开成甲乙两管，管道的热伸长是通过甲管在套筒中移动实现补偿的。介质不是直接由甲管流入乙管，而是经过旁通管实现的，旁通管连接在甲管套筒和乙管之间。由于甲乙两管都有封头，介质压力产生的水平推力自身实现了平衡。我们把这种新型套筒式补偿器称为无推力补偿器，已申报国家专利。

这种新结构的套筒式补偿器在管道试压时不会出现自动拉开的问题，试压时也不会使套筒相对安装位置发生移动，十分便于施工、安装。

一个无推力补偿器总管上要连接二或三根旁通管。为了保证管件质量、减小外形尺寸及减小阻力，我们采用了无缝弯头，弯曲半径等于弯管直径的1~4倍，其支管弯头中心线与总管中心线的夹角 α 不是 90° 而是 $30^\circ \sim 75^\circ$ 。

旁通管的总局部阻力由支管进出口，和两个弯头的局部阻力组成，可取为1.3~1.5。

柱套浮子式疏水器在安庆市通过鉴定

由安徽省国防工业系统，安庆船用电器厂试制的CS11H—16K、CS41H16K柱套浮子式疏水器于1992年4月8日在安庆市通过了省级节能技术新产品鉴定。

中国船舶工业总公司703研究所开发的柱套浮子式疏水器为专利产品，专利号为85203707，并在第二届全国发明展览会上荣获银牌奖。

这次通过鉴定的节能新产品具有下述几个新特点：

1. 阀门启闭装置构思新颖，阀门大小与使用压力差无关，扩大了使用压力差极限范围，显著提高了排水量，适应性强，排水不受温度影响。
2. 能保持水封，阻汽效果好。
3. 采用自动调节装置，内部零件运转灵活可靠。
4. 能排除空气，备有排空气阀。

(戴家驊)