

除气冷凝器释放阀校验策略研究

张小辉 周晓明 金泽 冷景超 王冰冰

(中核核电运行管理有限公司 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 秦山第三核电厂重水堆机组单机组配有 2 台除气冷凝器释放阀。该阀门的校验方式与安全阀有所区别,除了必需的整定压力试验和密封试验外,还有一项额外的阻尼力测试。其整定压力试验和阻尼力测试试验必须在专门的校验台上开展。在进行这些试验的过程中,出现过一些异常情况,本文对这些异常情况进行汇总分析,并提出解决方案。

关键词: 重水堆; 除气冷凝器释放阀; 整定压力试验; 阻尼力

1 重水堆除气冷凝器释放阀介绍

秦山第三核电厂除气冷凝器释放阀是由德国 BOPP-REUTHER 公司生产的带气动辅助装置的弹簧加载式核 1 级安全阀,进口为 2" CL1500 级法兰,出口为 3" CL300 级法兰,工作介质为重水,整定压力: $(10.057 \pm 1\%) \text{ MPa}$ ($9.956 \sim 10.158 \text{ MPa}$)。

位于核岛一回路上的除气冷凝器处于保温高压工作环境,而为其提供超压保护的装置就是冷凝器释放阀。该阀门的启动机制为:在阀门内部的弹簧为阀芯阀座提供了压紧力,当阀门的入口处压力超过弹簧压紧力时,阀门就会起跳,将多余压力释放;当阀门入口压力超过

阀门整定压力的 1.1 倍时,阀门将会起跳,以至少 27 kg/s 的泄压速度稳定系统内的压力;当阀门入口压力低于整定压力的 80% 时,阀芯阀座会保持密封。

除气冷凝器压力释放阀的工作环境恶劣,由于系统内介质压力高,在阀门的启闭过程中,介质对阀芯阀座的冲击力造成阀门的振动。为了保护阀门,阀门设计者们为该阀门设计了阻尼块,在阀门开启的瞬间,阻尼块的受力情况如图 1 所示。

阻尼组件被配置在弹簧内圈的内部,阻尼组件包括沿着阀杆布置的阻尼元件、沿着弹簧内圈布置的承压件、位于阻尼元件和间隙块之间的辅助弹簧,其中,阻尼元件的侧面是圆弧结构,当阀座运动变化时,阻尼元件受

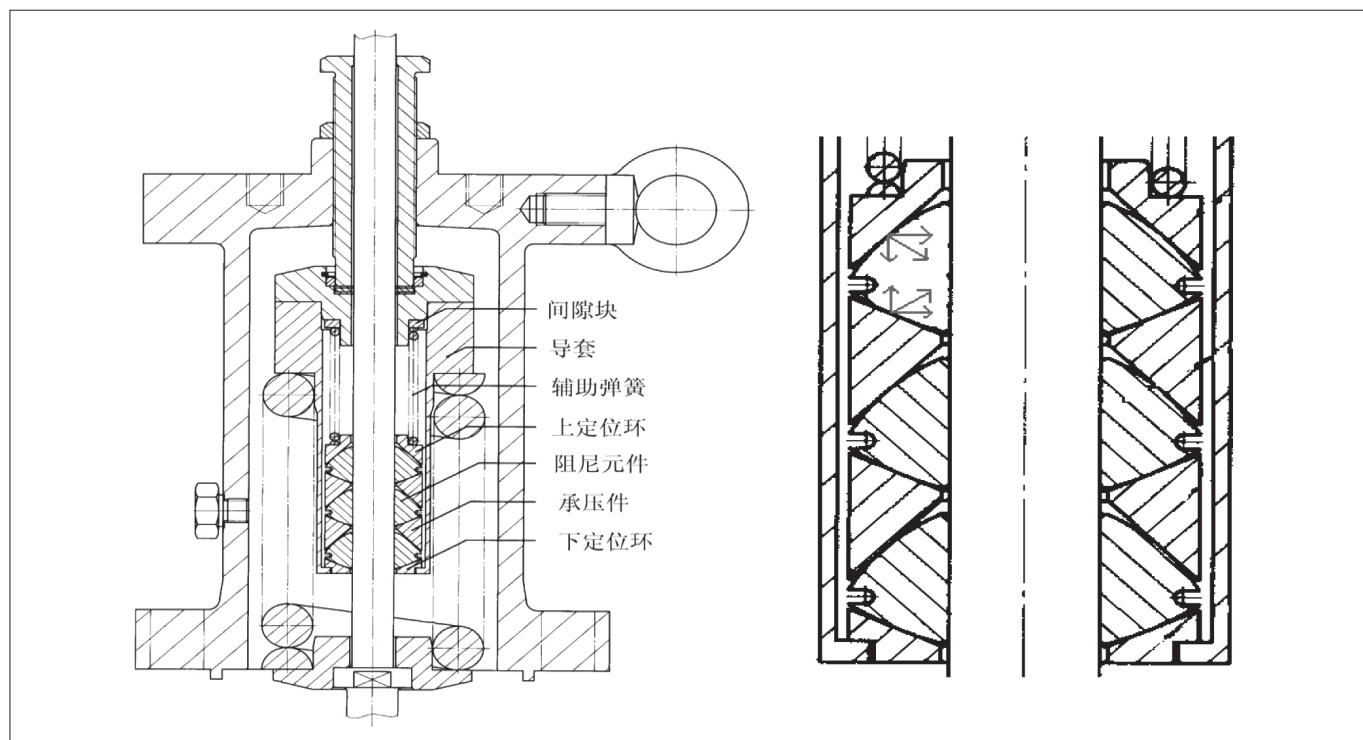


图 1 阻尼块结构图及受力图

到挤压, 阻尼元件紧贴阀杆, 为阀杆提供了反向的支撑力, 位于阻尼元件和间隙块之间的辅助弹簧为阻尼元件提供拉伸和压缩的缓冲。

为了保证除气冷凝器释放阀的性能, 需要对该安全阀进行预防性维修, 有如下3项重要的工作:

- (1) 专用校验台上进行行程/阻尼试验;
- (2) 压力整定试验;
- (3) 密封性能试验。

其中(1)(2)两项工作需要专用校验台上开展, 可以直接输出相关测试参数和测试曲线图(图2和图3)。

为保证释放阀的机械性能良好, 以下参数需要得到保证:

(1) 整定压力为 $(10.057 \pm 1\%)$ MPa (9.956 ~ 10.158 MPa), 相应的校验图上的 Set Point 在 10.908 ~ 11.129 kN。阻尼块的阻尼力即校验图上 Hysteresis at min.Lift、Hysteresis at half.Lift 和 Hysteresis at max.Lift 的3个值当中至少2个必须满足要求 1.35 ~ 1.95 kN; 阀门的行程即校验图上的 maximum Lift 为不小于 4 mm, 且不大于 6 mm;

(2) 阀门密封试验要求以气体为校验介质, 8.05 MPa

VD-Test		Bopp & Reuther Sicherheits- und Regelarmaturen	
Operator:	Bopp & Reuther	maximum Lift	= 4 938 mm
Plant:	TQNPC	Spring rate decreasing	= 1.891 kN/mm
Valve Type:	RELIEF VALVE	Spring rate increasing	= 1.895 kN/mm
Designation:	BOPP&REUTHER	Set point	= 11 012 kN
Mechanic:	JINZE	Closing point	= 9 062 kN
Expert:	ZHANGXIAOHUI	Hysteresis at min. Lift	= 1.926 kN
Date / Time:	03-31-2019 21:37	Hysteresis at half Lift	= 1.934 kN
		Hysteresis at max. Lift	= 1.942 kN

图2 专用校验台上测出的参数信息

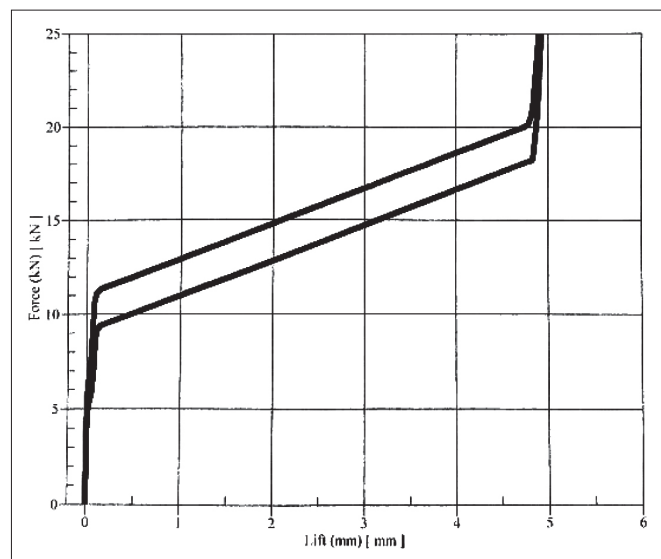


图3 专用校验台的测试曲线图

的密封压力下, 保压3min, 泄漏量不超过30个泡/min。

2 除气冷凝器释放阀测试中的故障现象、原因分析及处理

在对除气冷凝器释放阀进行测试时, 测试数据经常出现异常现象, 导致对阀门测量数据出现较大的偏差, 本文将列举试验过程中常遇到的测量异常情况, 分析造成测试数据异常的原因, 并提出可行的改进措施, 为同类阀门提供校验策略指导。

阀门整定压力偏高或偏低: 校验台测试结果显示 Set Point 小于 10.908 kN 或大于 11.129 kN。当阀门入口压力达到整定压力时, 阀芯上所受到的向上的推力等于主弹簧压力和阻尼块上方的辅助弹簧压力的合力。主弹簧压力和阻尼块上方的辅助弹簧压力由各自弹簧压缩量决定, 而这些弹簧的压缩量由压力调节螺栓进行调整。因此, 如果阀门整定压力不合格, 压力调节螺栓位置就需要进行调整。

阀门的整定压力由压力调节螺栓松紧来决定, 当打压实验显示阀门起跳压力过高时, 需要将调节螺栓松一些, 减少弹簧压缩量。当打压实验显示阀门起跳压力小于整定压力时, 需要拧紧压力调整螺栓一些, 增大弹簧初始压缩量, 使整定压力提高。根据厂家维修手册和维修经验, 压力调节螺栓转动 $1/4$ 圈 (即 90°), 将改变约 0.6 MPa 的整定压力值。

在校验阀门过程中有行程偏小情况, 即阀门校验图上显示的行程小于 4 mm。除气冷凝器释放阀的阀门行程限位轴套进行控制, 行程限位轴套配置在波纹管内部, 当阀门装配完毕后, 行程限位轴套上端面与阀盖下端面的距离即为阀门的行程 (图4), 阀门设计要求阀门行程不小于 4 mm, 以保证阀门开启时对系统内压力的充分快速释放。在系统内压力高于阀门起跳压力时, 波纹管被压缩, 行程限位轴套逐渐上移, 最终与阀杆下端

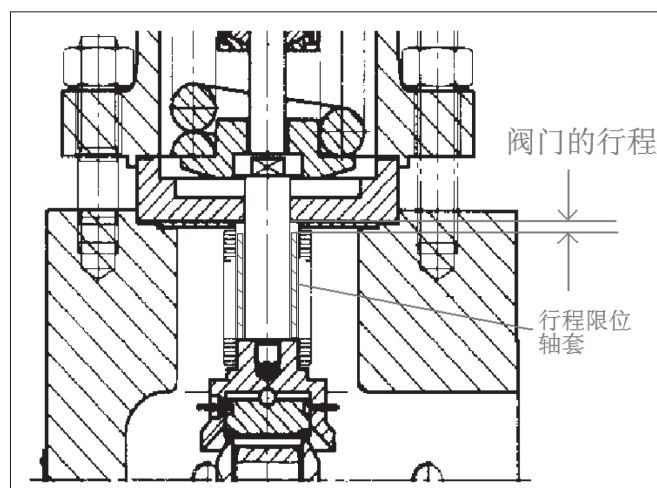


图4 阀门的行程限位轴套

面相接触,此时行程限位轴套所运动的距离就是阀门的行程。事实上阀门在出厂时,厂家对每一台阀门都进行了监测,针对其波纹管的结构特性配套制作限位轴套,所以由于波纹管的差异性,不同的阀门,其限位轴是不能互换使用的。在校验工作中,如果遇到阀门行程小于4mm的情况,就需要解体阀门,检查确认行程限位轴套的结构是否有异常,限位轴套的表面是否有异物是否有异物粘附。轴套和波纹管之间、轴套和弹簧盖板之间是否有异物或缺陷,造成轴套高度异常。检查确认阀门行程限位轴套处是否存在异常,清理轴套上和波纹管内部的异物,确保行程限位轴套高度,清理轴套与弹簧盖板之间异物,放置尖锐异物在阀门启闭过程中切削接触面,导致阀门的行程增大。检查过程中发现阀门的行程限位轴套有无法消除缺陷,需要更换新的限位轴套,对轴套的清理工作始终要保证阀门的行程在4~6mm。

校验台显示阀门行程过高:阀门的校验专用工具根据阀门设计标准来制作,校验台显示阀门行程最大行程为6mm,在实际阀门校验过程中,有阀门行程超过6mm的情况,此时会导致检验台仪表的量程范围不够的情况,同时由于行程过长,在阀门启闭过程中与阀杆相配合的限位螺钉也会跟随运动,如果阀门行程过长,限位螺钉的顶部会与执行机构的底部碰撞,造成限位螺钉的破损,导致设备破坏,阀门校验工作无法正常开展,如图5所示。

阀门的行程由行程限位轴套上端面与阀盖下端面的距离决定。在行程限位轴套高度不变的情况下,导致阀门行程增大的原因为阀门喷嘴相对于标准位置下移,或者阀盖下端面相对于标准位置上移。能造成这些位置变化的因素有2个:

(1) 在解体检修阀门时,新垫片的装配质量。如果新垫片的安装不到位,会造成组件的偏移,造成阀杆的实际行程不准;

(2) 垫片自身的性能影响。如果垫片性能尺寸不合适,例如垫片硬化失效,或者垫片加工工艺不符合要求,均会导致垫片压缩量不够,也会造成行程限位轴套上端面与阀盖下端面的距离增大,即阀门行程变大,如图6所示。

在实际阀门校验过程中,发生过阀门解体检修后阀门行程增大的情况,经评估后,更换设备上所有易损件再次进行试验后仍然不合格。重新

解体检查设备零部件也没有发现异常。最后怀疑新换垫片与原装垫片存在差异,新换垫片为国产化垫片,相比于原装垫片,国产垫片硬度较高很难弯曲,而原装进口的垫片较软。经过检查确认,新换的国产垫片1和垫片2的厚度在2.5mm,垫片内部嵌套的金属片就有1.8mm厚度,而原装进口垫片中所夹的金属片厚度仅0.1~0.2mm。实际检修过程中,在换上国产垫片后,根据阀门检修程序要求上力矩,此时国产垫片的压缩量明显小于原装进口垫片,就会导致阀门行程增加。同样的情况也发生在阀门喷嘴处的垫片上,针对这一情况,重新选用了与原装垫片性能相同的垫片,再次试验,阀门行程合格。在实际阀门校验工作中,如果发现阀门行程过长,先重新解体阀门,严格按照维修程序回装,如果仍不能通过校验要求,则核对垫片性质,重新选取与原装垫片属性相符的垫片,严格按照维修程序进行回装,确保阀门行程满足程序要求,阀门校验工作安全准确进行。

实际校验工作中出现校验台显示的阻尼力小于1.35kN情况。经过长时间试验分析认为,阻尼力偏小的原因有2个:

(1) 在阀门检修过程中,检修人员在阀杆在阀杆涂抹润滑脂渗到阻尼元件处,导致阻尼元件与阀杆接触面、阻尼元件与承压件之间摩擦系数降低,另有因检修质量不合格,导致油污杂质进入阻尼元件和阀杆之间,造成摩擦系数降低;

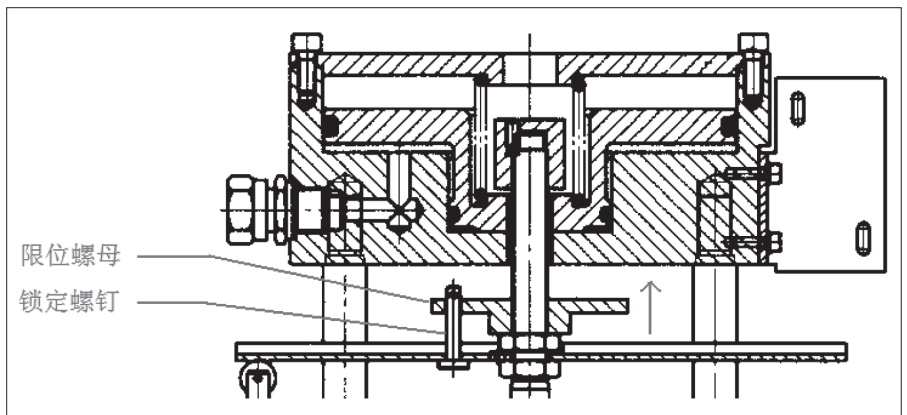


图5 阀门的限位螺母和锁定螺钉

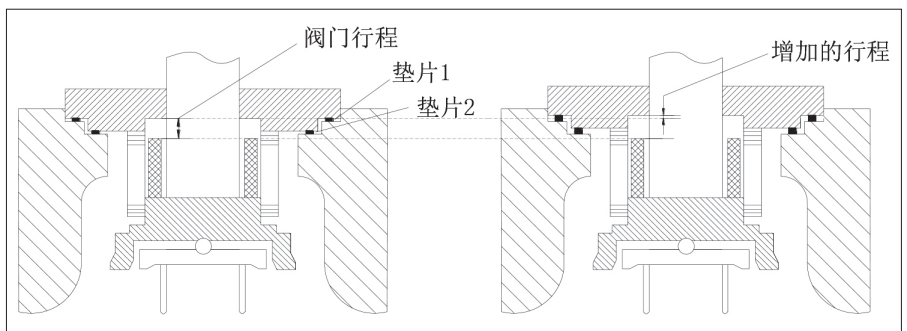


图6 阀门行程变大示意图

(2) 配置的间隙块(见图1)厚度偏小,导致辅助弹簧的压缩量偏小,弹簧力降低,作用在阻尼元件上的力不足,阻尼元件与阀杆之间的摩擦力降低,最终的阻尼力就会偏小。在阀门校验过程中遇到此类情况时,解体阀门,清理阀杆表面,确保无任何油污或水等异物,表面干燥无缺陷。此外更换厚度更大的间隙块(间隙块有如下要求:内径 $29.7+0.1\text{mm}$,外径 43mm ;材质:316Ti),具体厚度尺寸需要根据试验结果来确定。

校验台显示的阻尼力大于 1.95kN 。阻尼力偏大有三个原因:

(1) 由于阀门恶劣工作环境,高温高压和振动导致阀杆表面与阻尼块接触的部分有缺损、变形、弯曲、腐蚀、脏污等缺陷;

(2) 设置的间隙块厚度偏大,导致辅助弹簧的压缩量偏大,辅助弹簧作用在阻尼组件的力偏大,阻尼组件对阀杆的摩擦力增大,最终的阻尼力就会偏大;

(3) 配置的阻尼块自身缺陷或因长时间恶劣环境造成磨损或损坏等异常。

当现场遇到此类情况,根据程序解体阀门,清理检查阀杆表面,确保阀杆表面干净无异物,如果有无法修复的缺损、变形、弯曲和腐蚀等缺陷,则需要更换新的阀杆。此外,为保证辅助弹簧压紧力减小,需要根据实际阀杆的阻尼力更换相应尺寸的间隙块,最后对阻尼块进行换新。

对校验遇到密封试验不合格的阀门(介质为气体,阀门不满足 8.05MPa 的密封压力下,保压 3min ,泄漏量 <30 个泡/min)。经历史检修经验总结分析认为,阀芯阀座的密封面有贯穿性损伤或夹杂异物,导致密封失败。如遇到此类情况:根据程序要求解体阀门,阀芯阀座密封面在研磨过程中,必须持续关注研磨量,确保在消除密封面缺陷的同时不能过度研磨导致密封面副硬质

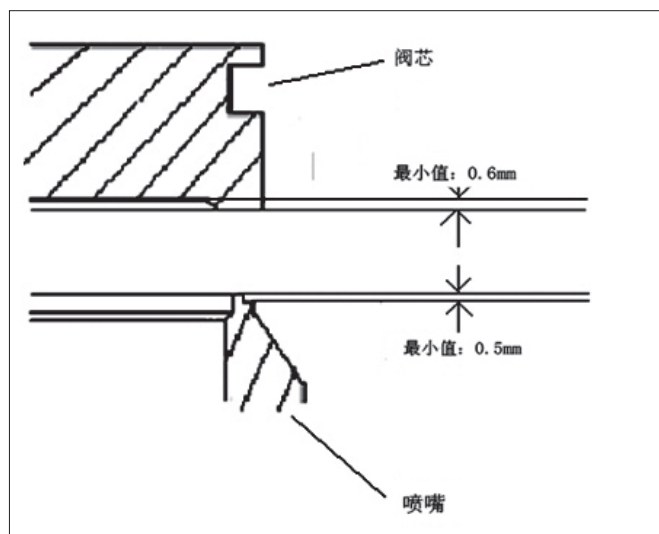


图7 阀门密封副厚度要求

合金层的厚度减小,及时对密封面处硬质合金进行测量,如果研磨量超过规定要求时,贯穿性的缺陷并没有消除,就必须更换新的阀芯、阀座备件。喷嘴和阀芯的密封副硬质合金层厚度要求如图7所示。

3 除气冷凝器释放阀的整定压力标定

除气冷凝器的释放阀因其重要的位置布置及其安全调控属性受到密切的关注,特别是在核电厂这种视安全为生命的企业中。公司在防人为因素失误管理及精细化管理方面提出严格的要求,作为核电工作者,严格落实公司管理要求,规范化执行程序,为保证除气冷凝器的释放阀整定实验的安全、可靠,需要对以下方面特别注意:在使用VDTD对安全阀进行校验时,阀门的整定测试标准要严格按照技术规格书的要求;对安全阀整定压力的重新标定需要满足资质的工作负责人,并在校验工作完成后在铭牌上签名;对于除气冷凝器的释放阀的整定压力值的标定,可以根据图8所示的测试曲线计算。系统压力增大至超过安全阀起跳压力时,阀门开启,随着系统内压力不断增加,阀门开度继续增大,直至到达全开状态。

阀门相应的整定压力:

$$P_a = \frac{F_1}{A_m}$$

式中: A_m 为阀芯密封面的有效面积;阀门开启曲线弧顶(斜率达到最小值)时,取其切线与纵坐标的焦点的值 F_1 为阀门开启力。

以图8测试数据作为依据,可以得到:

$$A_m = \frac{\pi}{4} \cdot 37.35^2 \text{mm}^2 = 1095.6 \text{mm}^2$$

在测试平台打压至 $F_1=11.015\text{kN}$ 时,阀门相应的整定压力 P_a :

$$P_a = \frac{F_1}{A_m} = \frac{11.015\text{kN}}{1095.6\text{mm}^2} \cdot 10^4 = 100.57\text{bar}$$

如果此时阀门需要的整定压力与计算的理论整定压力 $P_a=100.57\text{bar}$ 差值超过1%,就要根据阀门厂商提供

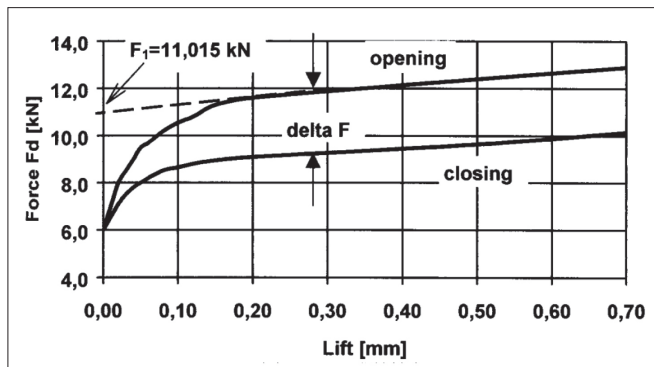


图8 VDTD 测量图

的手册对阀杆调整螺母进行调整。

摩擦元件与阀杆之间的作用力，可以根据图 8 中开闭曲线的距离来表示，减振器的受力由开闭曲线之间的垂直距离表示，用滞后力 AF 来表示，滞后必须满足 (1.65 ± 0.3) kN 这一范围。滞后主要是由弹簧的材料性质和结构特点决定，可以通过调整弹簧垫板来改变弹簧的预应力，插入较薄的垫板可以降低弹簧的预应力，并提供较小的滞后力（即阀门开闭曲线垂直距离），插入较厚的垫板可以增加预应力，滞后力则变大。

除气冷凝器的释放阀的阀芯行程主要由波纹管（图 9）内的限位轴套长度决定，限位轴套不仅保护波纹管免受损坏，并且确保阀门的正确操作，不同阀门之间限位轴套不能互换。

由于回装的质量对阀门的性质影响较大，在安全阀整定实验过程中，要保证对关键尺寸的持续关注。调整螺母高度由调整螺母到锁紧螺母的距离沿周向均布的 4 个测量数值确定。阀门回装所有螺纹紧固件均应使用经批准的润滑剂，纯石墨或同类部件需要轻微润滑，并通过设备手册要求的转矩值给紧固件增加力矩。

在完成阀门的整定压力测试后，打压台降压到比阀门整定压力 20% 更低。紧固锁紧螺母，确保锁紧螺母与气缸底面之间的距离最小为 4mm。

4 结语

除气冷凝器释放阀是核岛一回路的重要阀门，保护除气冷凝器在机组运转过程中介质压力波动和冲击环境下稳定运转，对除气冷凝器释放阀的压力整定工作必须保证安全、可靠、高效。在例行阀门的压力整定试验中，由于校验台的安装、阀门解体检修质量等影响了阀门的实际工作状态，造成阀门压力整定试验出现数据异常现象。本文通过长期试验和消缺历史总结了阀门校验过程中出现的问题，并解释了造成校验数据异常的机理，针对校验异常情况制定消缺策略，确保阀门压力整定试验的安全和准确，也为同类型阀门的校验提供了一定的技术指导。

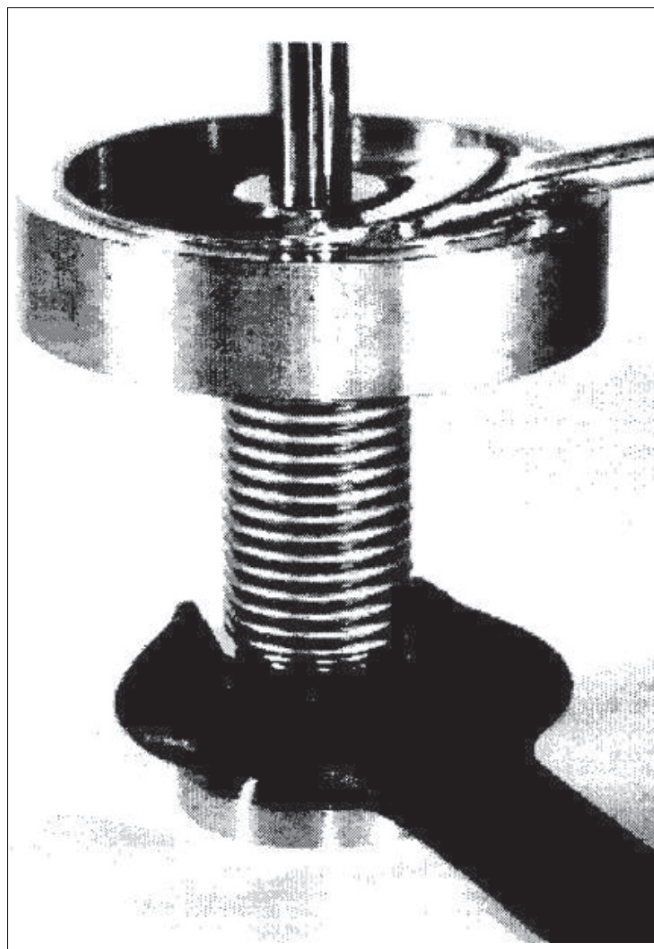


图 9 波纹管组件

参考文献：

- [1]Kukutschkas. 除气冷凝器释放阀维修手册 [M]. Germany:CANATOM NPM INC,1999.
- [2] 陆培文. 实用阀门设计手册（第三版）[M]. 北京：机械工业出版社，2012.
- [3] 濮良贵，纪名刚. 机械设计（第八版）[M]. 北京：高等教育出版社，2006.

作者简介：张小辉（1986.08-），男，汉族，陕西宝鸡人，本科，工程师，研究方向：核电技术维修。