

田湾核电站 VVER 机组稳压器安全阀组闭锁工具的研究与改进

官金塔

江苏核电有限公司 维修二处, 江苏省 连云港 222000

DOI: 10.18686/dljsyj.v1i3.1125

【摘要】田湾核电站 VVER 机组稳压器上安装 3 台并列安全阀,此安全阀为电磁加载弹簧先导式安全阀,整定压力为 18.11MPa 和 18.6MPa,机组每次进行 24.5MPa 强度水压试验时均需对弹簧先导阀进行闭锁,避免安全阀超压起跳使一回路泄压。闭锁过程中发现厂家提供的闭锁螺栓存在端部接触部位磨损现象,影响闭锁的可靠性,本文对闭锁工具进行了研究与设计改进。

【关键词】稳压器,弹簧先导式安全阀,闭锁

1 概述

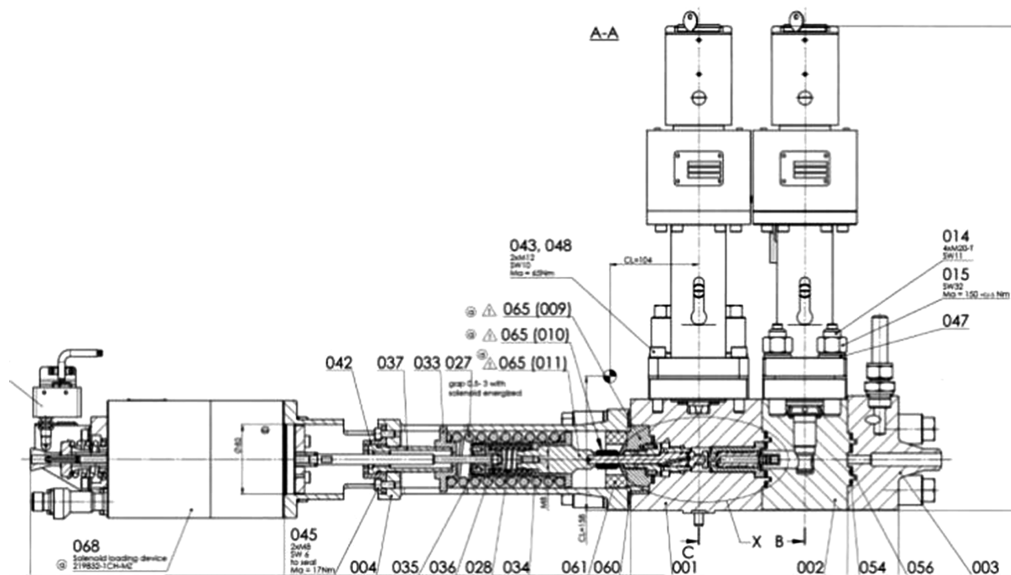
安全阀是一种自动阀门,它不借助任何外力而利用介质本身的力来排出一额定数量的流体,以防止压力超出额定的安全值。当压力恢复正常后,阀门再行关闭并阻止介质继续流出^[1]。田湾 3、4 号机组稳压器安全阀组主要用于一回路系统的超压保护,当一回压力超过设定值时,通过开启稳压器安全阀将一回路介质排放至卸压箱,实现对一回路降压。田湾核电站单台机组有稳压器安全阀组 3 台,其中 1 台阀组整定压力 18.11MPa,另 2 台阀组整定压力 18.6MPa。每台稳压器安全阀组由 1 台主阀

(SV100)、2 台电磁加载弹簧式先导阀(STV)、1 台双电动驱动先导阀(MOVD)和压力检测阀组成。

机组每次进行 24.5MPa 强度水压试验时均需对弹簧式先导阀进行闭锁,以免安全阀超压起跳导致一回路泄压。2. 原闭锁工具缺陷分析

1.1 电磁加载弹簧式先导阀结构原理

弹簧式先导阀工作原理与直接载荷式安全阀类似,通过自身弹簧来调整其起跳压力,从而控制进入主阀上腔介质。电磁加载弹簧式先导阀 STV 主要由阀体、阀芯、阀座、弹簧、电磁头、出入口手动阀等组成,具体见图 2-1。



2-1 STV 结构图

正常运行期间,先导阀 STV 出入口手动阀开启,在弹簧整定压力 18.11/18.6MPa 的基础上,电磁头在一回路压力小于 17.2/17.7MPa 时通电预加载 3.6MPa 的压力,当一回路压力升高到 STV 起跳压力时,电磁头断电,阀门快速开启,释放一回路介质进入主阀上腔,使主阀开启对一回路进行泄压。

1.2 强度水压试验 STV 原闭锁方式

在机组冷试期间及以后每 4 年进行一次一回路 24.5MPa 的强度水压试验,由于一回路压力超过 STV 起跳压力,故需对 STV 进行闭锁,以免造成安全阀起跳,一回路泄压。

由于安全阀的整定压力一般应小于被保护设备的设计压力,而被保护设备如容器、管道等其强度试验均大于设计压力,所以大部分安全阀在设计阶段就设计有闭锁机械结构。STV 设计的闭锁主要是通过一根螺栓拧入调整螺栓内孔到达上弹簧压盖,使弹簧继续压缩,将弹簧的整定压力提高到 27.5MPa,闭锁方式见图 2-2。

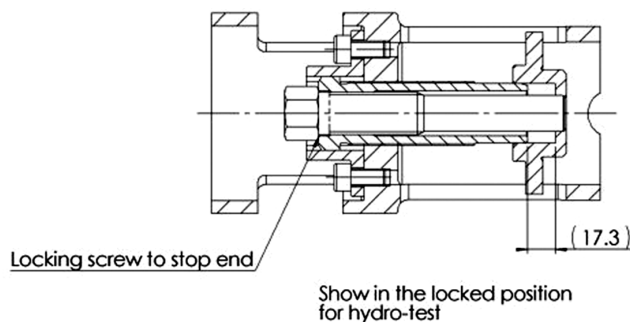


图 2-2 闭锁螺栓闭锁图

在一期 1 号机组调试期间,由于人因失误导致闭锁螺栓没有压紧到位,使得安全阀在强度水压试验期间发生起跳,最终导致一回路快速泄压,泄压速率远超运行限值的事件。此事件后,为防止人员失误及保守起见,改变 STV 的闭锁方式为:关闭 STV 入口手动阀,同时通过闭锁螺栓压缩弹簧进行闭锁。

此方法虽然能避免安全阀起跳,但在每次解锁后发现,闭锁螺栓与弹簧压盖接触端部严重磨损,甚至陷入弹簧压盖孔中,这样势必降低弹簧整定压力,存在一定的安全隐患。



2-3 闭锁螺栓端部损坏图

经分析,端部损伤原因如下:

1) 弹簧压盖内孔直径 $\phi 15\text{mm}$, 闭锁螺栓端部直径 $\phi 17\text{mm}$, 且端部设计有 $0.5 \times 45^\circ$ 的倒角, 实际接触即受力只有 0.5mm 宽度;

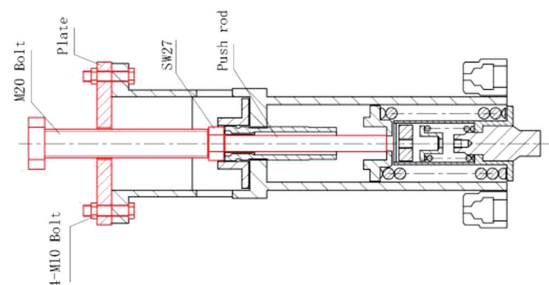
2) 闭锁螺栓压缩弹簧过程中, 与弹簧压盖产生摩擦使端部接触部位受损;

3) 闭锁螺栓材质为德国 1.0501, 对应国标材质为 35 号钢, 硬度为 197, 塑性较好, 具有良好的韧性切削性能^[2], 在与弹簧压盖摩擦过程中可近似为弹簧压盖对螺栓端部进行切削。

2 闭锁工具设计改进

2.1 闭锁工具第一次设计改进

为避免闭锁螺栓与弹簧压盖产生摩擦, 需杜绝两者相对运动, 为此, 将原闭锁螺栓改为推力光杆, 并用一根螺栓顶住推力杆进而压缩弹簧, 提高弹簧整定压力, 这样减少了端部与弹簧压盖的相对摩擦运动, 闭锁工具包含推杆、压紧螺栓、支持板, 结构如图 3-1。



3-1 第一次闭锁设计改进图

在实际运用过程中, 此设计方案存在以下问题:

1) 虽然减少了推杆端部与弹簧压盖接触部位的相对摩擦, 但由于压缩弹簧过程中压力较大, 压杆螺栓在拧紧过程中还会带动推杆做微小的旋转运动, 从而磨损推杆端部接触面, 磨损如图 3-2;



图 3-2 推杆端部磨损图

2)在压缩弹簧过程中,螺栓扭矩越来越大,螺栓与推杆上端接触面发生摩擦,损坏接触端面,即使接触面光洁度提高,也有相对转动摩擦。推杆顶部端面磨损如图 3-3 所示;

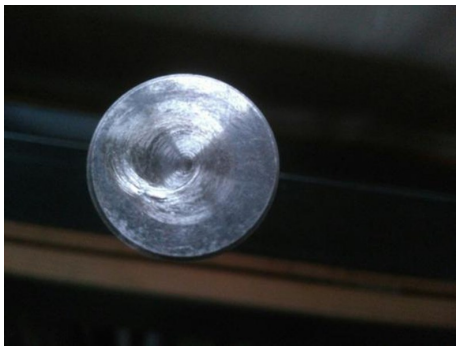


图 3-3 推杆顶部磨损图

3)在推杆压缩过程中,推杆、弹簧压盖和压紧螺栓很难处于同轴位置,导致推杆有所偏斜,推杆光杆部位与调整螺栓内孔产生摩擦,损坏光杆表面,更重要的是产生偏斜的力会导致弹簧及波纹管发生变形,这会影响弹簧的原有整定压力及寿命。光杆磨损图见图 3-4。



图 3-4 光杆磨损图

2.2 闭锁工具第二次设计改进

厂家闭锁方式及第一次设计改进都是通过进一步压缩弹簧以获得更高的整定压力,整定压力越高,

弹簧的预紧力随着增大,弹簧的应力也将增大,同一台弹簧直接载荷式安全阀在 80%整定压力时弹簧应力是 20%整定压力 1.5 倍。弹簧应力的增大导致弹簧失效的几率也将会增大。

所以采取第二种不压缩弹簧的方式对 STV 进行闭锁,闭锁工具包含连接杆、固定螺栓、压紧螺帽及碟簧,主要是通过一根底端带螺纹的光杆直接拧入波纹管组件顶部螺纹孔,波纹管组件又与阀芯组件组装一起,从而进行刚性连接,通过固定螺栓拧入调整螺栓内螺纹孔固定连接杆在中轴线上,然后利用螺帽和碟簧对连接杆进行锁紧。改进方式如图 3-5。

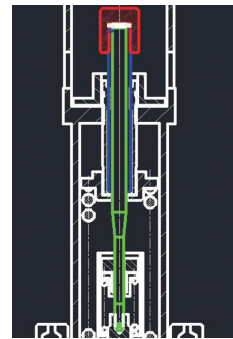


图 3-5 刚性闭锁方式图

在实际应用过程中,此方案存在的问题是:由于装配及零部件加工误差,波纹管组件顶部螺纹孔,连接杆,调整螺栓内孔存在不同轴度问题,导致连接杆插入后无法实现与调整螺栓内孔同轴,如果强行拧入固定螺栓,可能会导致阀芯发生偏移,损坏密封面。



图 3-6 连杆与调整螺栓内孔不同轴图

2.3 闭锁工具第三次设计改进

本次设计改进吸取了前两次的经验,并总结实

践过程,虽然压缩弹簧会增大弹簧应力,降低弹簧的寿命,但对于每个安全阀的弹簧,为了保证弹簧长期工作的稳定,每个弹簧在出厂时都进行过强压处理,且 STV 闭锁时其压缩量也在工厂试验范围内,压缩时间一般在 1 天左右,对安全阀的影响远小于不同轴度损伤阀芯带来的影响。

所以第三次设计改进仍然采取压缩弹簧的方式。

闭锁的方式主要是对第一种闭锁方式进行改进:

1)将推杆顶部增加轴承,避免压紧螺栓对推杆顶端面进行摩擦造成磨损,由于推杆承受的是轴向的力,故选择型号为 81102 的推力圆柱滚子轴承^[3];

2)将推杆顶端面由平面改为圆弧面,压紧螺栓底端面改为圆弧面,易于压紧时实现中对,增加推杆、压紧螺栓和调整螺栓同轴度;

3)推杆使用强度较高的优质中碳钢 45# 钢^[2],对推杆底端与弹簧压盖接触部位进行淬火硬化处理,一般能得到表面硬度为 HRC52-58。

【参考文献】

- [1]陆培文,孙晓霞,杨炯良,阀门选用手册,北京:机械工业出版社,2013. 1
[2]李耀天,五金手册,北京:中国电力出版社,2008
[3]机械设计手册编委会,机械设计手册。第 3 卷,北京:机械工业出版社,2006. 4

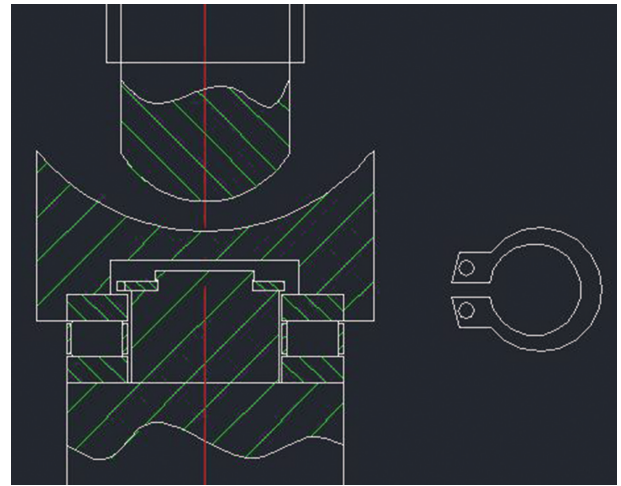


图 3-7 推杆顶部及压紧螺栓底部设计图

3 结 语

安全阀的闭锁是安全阀功能设计的一部分,本文对稳压器安全阀的闭锁方式进行了研究和设计改进,充分借鉴实践经验,优化了安全阀的闭锁装置,提高安全阀闭锁的可靠性,也为其他安全阀的闭锁设计提供借鉴。