

# 低温阀门制造工艺及质量控制

蔡 奇 杨 帅

浙江挺宇流体设备股份有限公司 浙江 温州 325000

**摘要:** 低温阀门广泛应用于能源、石化、空分装置、液化天然气(LNG)和低温工程等相关领域,具有使用量大、制造周期长、工艺过程复杂等特点。文章从低温阀门零部件的机械加工、深冷处理、脱脂处理、装配等4个方面阐述低温阀门的制造工艺及质量控制点,并对低温阀门的检验与试验、最终低温试验中控制要点做了相应的概述。

**关键词:** 低温; 阀门; 制造工艺; 质量控制

## 引言

随着我国工业的迅速发展,能源、石化、空分装置、液化天然气(LNG)及低温工程等领域的不断强盛,低温阀门的需求也随之越来越多。液态丙烷(-46℃)、液态丙烯、液态硫化氢(-73℃)、液态乙烯(-101℃)、液化天然气LNG、液化石油气LPG(-162℃)及液氮(-196℃)等介质的减压蒸馏、裂化、储罐和装车等各个节点的低温储罐和低温管线都需要使用到大量的低温类阀门。上述,低温阀门基本应用在易燃易爆的液化介质环境中,此类介质渗透力强、易泄漏,而且在温度升高时都会气化,气化后体积都会呈几何式膨胀,危险系数高。所以低温阀门具有工艺复杂、零部件加工精度高等特点,需要制定更高要求的制造工艺来满足苛刻的使用工况。

## 1 制造工艺

阀门的整体结构设计及各零部件的材质要求是否合适,是低温阀门的基础,但能否成为优质的产品,还是需要制定合理的制造工艺来决定。合理的制造工艺是保证低温阀门零部件尺寸、形位公差及表面粗糙度等高精度要求的基础,也是通过最后低温试验的决定性因素。

### 1.1 机械加工工艺

低温阀门的关键零部件高精度要求直接影响其在低温环境下的使用性能。如阀体的密封面平行度、对称度;阀芯密封面平行度;阀杆的直线度、同轴度;阀盖填料函的垂直度;以及各关键零部件的表面粗糙度等。

低温阀杆的螺纹加工宜采用挤压工艺,用挤压工艺加工的螺纹内部金属组织不像切削工艺般是间断性的纤维,而是连续完整的,而且其表面在挤压过程中,产生强烈的塑性变形,从而形成一层高强度的冷作硬化层,能有效增强螺纹部位的硬度、强度和耐磨性,此外尺寸精度、螺纹部位和光杆部位的高同轴度较之切削螺纹也能得到更好地保证。除螺纹部位外,阀杆与填料接触的

光杆部位通过车削以后,还应安排在外圆磨床上进行磨削精加工,使表面粗糙度Ra满足上限值小于 $0.4\mu\text{m}$ 的要求,保证阀门在低温环境下启闭轻松、密封性能良好的要求。倒密封部位则采用数控技术一次性成型,保证其高精度,在倒密封试验时,确保密封性。阀杆端部与阀芯连接部位,宜采用锻压成型工艺,经过锻压后,材料晶粒细化均匀,内部组织变得坚实,而一些脆性杂质被粉碎拉长,形成纤维组织,这使得材料的韧性也能大大提高。此外锻压件外形和零件相似,加工余量小,与直接切削钢材的成形方法相比较,不仅原材料及加工成本都会下降,而且还提升了加工效率。阀杆质量控制需要进行超声波检测,质量应满足JB/T6903-2008中2级以上的规定要求。

低温阀体主要考虑与阀座配合的阀座位表面粗糙度,传统工艺是在车削粗加工后,然后再装夹到磨床上进行精磨。不仅工序繁琐效率低,且表面粗糙度难以满足。可使用豪克能超声波抛光设备,直接复合在车床上,车刀加工完成后,无需二次装夹,直接采用豪克能执行器在阀座位上做镜面加工,不仅效率极大提升,而且使加工的表面粗糙度达Ra0.2以下,同时耐磨性、耐腐蚀性都能得到提升。

低温阀座和阀芯在粗加工以后,需要对堆焊密封面按GB/T22652-2019的规定进行渗透检测,确认密封面不存在任何有害缺陷后再进行深冷处理,深冷处理后对密封面按原要求进行复查,合格后进行精加工,保证零件的形位公差,预留研磨余量,精加工以后焊接在阀体上,对阀座与阀体之间的环缝按NB/T47013.5-2015的规定进行检测,表面不允许有任何裂纹及线性及非线性缺陷的最大允许长度应符合NB/T47013.5-2015中2级的规定。在渗透检测合格后,将阀体置于研磨机上研磨,使密封面表面粗糙度达Ra0.4以下的要求。阀芯的密封面则转磨床上进行磨削,然后再转研磨机进行研磨,使其表面粗

糙度Ra上限值同样达到小于 $0.4\mu\text{m}$ 的要求。相互配合的阀座和阀芯,密封副再相互进行精研,如此,阀芯与阀体之间的密封副才能保证在低温环境下满足密封要求。

低温阀盖需要设有一加长颈结构,其目的是为了阻止低温温度传导到填料函中,导致填料结冰失效,从而造成介质外漏。阀盖加长颈有与阀盖一体式的,一般通过铸造或锻造,也可以使用无缝钢管与阀盖以全焊透的形式进行对焊,使用的无缝钢管性能不能低于阀盖材料,若采用焊接形式,需要焊后射线检测,射线检测不低于NB/T47013.2-2015中I级的规定。焊接不宜采用承插焊工艺,否则射线检测时无法满足要求。在加工阀盖填料函时,需要做到一次装夹完成包括填料函、过渡孔、支架连接法兰在内的所有车削加工,满足其高同轴度、垂直度等形位公差要求。在阀盖的加长颈部位会设置圆盘,一般选择焊接形式,该圆盘称为隔离滴盘,目的是避免冷凝水流进延长颈的保温层内,影响保温层内部的保温效果,此外滴盘还具有散热的功能。因低温材料主要以奥氏体、马氏体-铁素体(双相钢)材料为主,而且隔离滴盘相对都较薄,故在焊接隔离滴盘时,宜采用GTAW(钨极氩弧焊),GTAW电弧在保护气流的推压下,电弧横截面减小,电流密度较大,从而使热量集中,焊接速度相对较快,相应的熔池和热影响区的范围就小,从而在焊接不锈钢薄板时变形较小,且焊缝致密,成型美观。

### 1.2 深冷处理工艺

在低温环境下,金属内部粒子振幅减小,组织会产生收缩,但因金属各向异性的特点,收缩所产生的应力分布不均匀,此时,零件内部金相组织也会发生不可逆的转变,零件就会发生变形。所以工件粗加工时应留有一定加工余量,在深冷过程中得到充分变形后再进行精加工使尺寸到位,如此,零件的尺寸及内部组织在使用过程中就会比较稳定。深冷处理能让零件内部残余的奥氏体转变为马氏体、细化组织,从而提高零件的强度及硬度,而且低温下,马氏体组织中会析出大量弥散的超细碳化物,增强了密封副的耐磨性。此外还可以使变形应力得到重新排布,充分释放。深冷处理是把零件浸泡在液氮中,在温度降至 $-196^{\circ}\text{C}$ 时,根据零件厚度保温2到4小时,然后取出箱外自然恢复至室温,因第二次深冷处理时,零件的还会产生较之第一次轻微的变形,所以零件温度在第一次深冷处理回温到室温后,还需要进行相同工艺的二次处理,以使得组织转化充分,保证了低温阀门在低温工况下密封性。

需要进行深冷处理的零部件有阀体、阀座、阀盖、阀杆、阀芯、中法兰螺栓螺母,上述零件在粗加工后,

应留出指定的加工余量进行深冷处理。在深冷处理后,需要对堆焊密封面按GB/T22652-2019的规定进行渗透检测复查,硬质合金密封面不应有任何有害缺陷。值得注意的是,阀体密封面应采用镶嵌阀座式工艺,若在阀体上直接堆焊密封面,会因为阀座部位的壁厚不均匀,在低温环境下会出现应力变形不均匀,导致堆焊密封面出现开裂现象。

深冷处理是在超低温( $-196^{\circ}\text{C}$ )下进行,液氮淹没工件时,由于液氮吸收工件的热量而汽化,会蒸发产生大量的氮气,氮气为无色、无味、无臭之惰性气体,故即使吸入高浓度氮气也不易被觉察,但过量吸入氮气,会导致缺氧窒息。综上,深冷处理时存在一定的安全隐患,故深冷处理一定要由经过培训的专业人员在穿戴好防护服、防护手套及安全头盔以后,按操作规程在安全栏外进行操作。操作过程中,无关人员未经许可原则上禁止进入低温试验区域。因氮气密度大于空气,会下沉于地面,所以过程中,应注意通风,禁止下蹲,若感觉头晕、恶心等症状,应立即离开试验区域。吊装工件进入装有液氮的槽中时,吊绳应缓慢下降,防止工件进入液氮槽时液氮快速沸腾,并注意液氮飞溅,以防冻伤。深冷处理完成后,工件应存放在指定区域,并放置醒目的禁止接近标识。

### 1.3 脱脂工艺

零部件精加工完成入库前,应充分清除表面的油脂和水分,因其在低温环境下会凝固,变成坚实的固体形态损伤密封副,导致泄漏等严重问题。零件的脱脂一般使用超声波清洗方式进行,一共有清洗剂洗涤、漂洗、脱水、干燥四道工序,在超声波清洗槽内倒入规定的清洗剂,根据零件的规格尺寸确定相应的清洗时间,然后在漂洗槽中漂洗,最后进行脱水、干燥,也可使用涂丙酮的白色无绒布擦拭干净,利用油脂在紫外线下发出荧光的原理,使用大功率手持式紫外线灯或365nm强紫外线手电筒对表面进行检查,应无残留油脂。完成检验后,将脱脂干净的零部件暂时放置于塑料袋中,并放入专用塑料周转箱中,防止脏物和杂物沾染或侵入,较大工件无法放入塑料周转箱时,采用垫有干净橡胶板的托盘存放,零件覆盖干净的塑料薄膜进行防尘。

### 1.4 装配工艺

装配工作对整体阀门的质量有非常大的影响,即便设计合理,工件机加工合格,如果装配过程中的工艺安排不当,阀门也达不到预期的要求,甚至在使用过程中可能会出现密封泄漏等问题。所以必须要制定合理的装配工艺以保证低温阀门的使用性能。首先,装配前要确

保零件的脱脂处理质量,装配应在清洁、干燥、无有害物质的区域中进行装配,装配过程应全程禁油。在使用压缩空气时,必须使用无油、无水的干燥压缩空气。检查压缩空气的清洁度,可将气流吹在白布上,经10分钟后观察,在白布上应无油污、杂质及水分。装配阀门中法兰螺栓和填料螺栓等所有外漏点连接螺栓的紧固,需要按低温环境下无泄漏的计算扭矩用扭矩扳手进行100%定额拧紧,其目的在于保证低温下无泄漏。在高压气壳体测试后,螺栓连接外漏点执行100%二次定额拧紧;低温试验后的阀门,进行100%第三次扭矩定额拧紧。填料螺栓的装配,应对填料逐圈压紧,并在每次螺栓紧固后开关阀门3次,再次以原力矩校准螺栓,依次逐圈压紧,同规格扭矩浮动值不得超过10%。在安装泛塞封时,宜采用导向工装进行推入,施力均匀,保证安装平行度。若合同技术协议规定,阀门装配后还需进行一道脱脂处理,除上述脱脂工艺的要求外,像球阀阀座与阀体的缝隙、连接法兰缝隙等部位,可用针筒将丙酮注入,再用干净的压缩空气吹扫缝隙,用热风枪吹干,最后放到垫有干净橡胶板的托盘上,并盖上塑料袋,全程场地应清洁、干燥,无有害物质,操作人员戴干净的手套。

## 2 低温阀门的检验与试验

低温阀门的常温压力试验不能真实反应阀门在低温环境下的使用状况,故为确保低温阀门在使用工况下的密封性能,在常温压力试验合格后,需要安排低温试验。

### 2.1 常温压力试验

常温压力试验包括壳体试验、上密封试验及密封试验,依据技GB/T 26480-2011或技术要求规定的标准或要求来试验。依据阀门类型来选择试验项目;根据阀门类型、口径、公称压力,选择合适的试验压力、保压时间及密封试验的最大允许泄漏率。在阀门壳体强度试验过后,在阀门壳体和任何固定的阀体连接等处,均不允许有可见渗漏,并应无结构损伤;密封试验应符合密封试验的最大允许泄漏率。此外要注意,不锈钢阀门水压试验介质的氯离子含量应不超过 $25\mu\text{g/g}$ 。

### 2.2 低温性能试验

待常温压力试验合格,使用氦气加压至CWP,保证各连接位置密封性合格后,开始低温试验,依据GB/T24925-2019、BS6364-1998或技术要求规定的标准或要求来试验。低温试验通常采用浸泡冷却,通过液氮、冷却气体或液氮+酒精的混合液(根据试验温度选择冷却介质),将阀门浸泡在冷却介质中,待冷却介质完全浸没阀体与阀盖连接部位最上部,等待阀门冷却至阀门的设计最低温度,在降温过程中,用均匀排布的热电偶收集阀体表面、填料区和阀腔内紧靠启闭件各处的温度,等待各处温度稳定。待温度稳定,进行低温操作性能试验,最大手动操作力不应超过360N,操作过程动作灵活,无卡阻、无爬行现象。接着进行低温密封性能试验,通入试验介质,在试验过程中,要保证氦气的纯度不低于97%,使用氦质谱检漏仪来检验阀门的填料密封、法兰垫片密封及阀座密封性能。低温试验中除深冷处理中提到的安全注意事项外,试验中,还应注意气体试验的危险性,测试压力应按GB/T24925-2019从较低压力开始试验,并按测试压力增量值分阶段增加压力,并稳定一段时间再加压。按阀座密封试验最大允许测试值及测试压力增量值的要求,逐渐加压至阀门的CWP,按阀门的表示流向进行密封试验,对于双向密封的阀门,则需要分别从两端进气来试验,开关两次,检验密封性能。

### 结束语

综上所述,制定合理的机械加工、深冷处理、脱脂处理、装配等制造工艺是保证低温阀门可靠、稳定、安全运行的关键,按规范进行相应的常温压力试验及低温性能试验,保障低温阀门在低温环境下的操作性和密封性。

### 参考文献

- [1]JB/T9081-2016空气分离设备用低温截止阀和节流阀技术条件[S].
- [2]苏志东.阀门制造工艺[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [3]GB/T26480-2011阀门的检验和试验[S].
- [4]JB/T12621-2016液化天然气阀门技术条件[S].
- [5]GB/T24925-2019低温阀门技术条件[S].