

低温绝热气瓶定期检验探讨

张永鸿 曹平波（保山市综合技术检测中心，保山 678000）

摘 要：根据低温绝热气瓶结构特点，讨论了在低温绝热气瓶定期检验过程中，对低温绝热容器定期检验的关键项目、技术要点进行了具体分析，解决了在缺少具体检验标准、规范的情况下该类气瓶的定期检验问题。

关键词：低温绝热气瓶 定期检验 检验依据 关键项目 技术要点

1 引言

随着低温技术的普及、低温液体适用领域的拓展，逐步应用到工业生产和民用生活领域。低温绝热气瓶，又称为焊接绝热气瓶，是用于储存液氧、液氮、液氩等低温液化气体的特种焊接气瓶。低温绝热气瓶具有安全可靠、使用方便、装载率高和可反复充装等特点，在近几年得到广泛应用。

由于低温绝热气瓶结构为全封闭真空夹层容器，介质为低温液体，内胆无法直接检验。同时，相应的检验规范、规程不明确，实际检验的操作复杂，也给定期检验工作带来了一定的难度。笔者根据检验实践中的体会，提出检验流程中的重要环节和主要侧重点，与同行们共同商榷。

2 检验参考依据

低温绝热气瓶定期检验工作开展的依据和技术规范是首要解决的问题，由于我国设计、制造低温绝热气瓶的国家标准^[1]公布较晚（2010.04.01实施），目前进入定期检验周期的低温绝热气瓶的国内生产制造厂家都是按各自企业标准和参照美国运输部DOT4L《焊接绝热气瓶》标准制造。我国对低温绝热气瓶管理和检验在《气瓶安全监察规程》^[2]中规定了低温绝热气瓶的定期检验周期为3年。但是长期以来，低温绝热气瓶定期检验的相关安全技术规范和定

期检验评定标准的制定却远远滞后于该类气瓶的发展(至今未颁布)。

低温绝热气瓶结构形式是基于大型低温储运设备独特的真空夹套式结构。其结构分为4部分：不锈钢内、外胆、高真空绝热夹层、内置式蒸发器、增压盘管和阀门管路安全系统(如图1)。即在密闭金属内胆与外壳体间布置若干层反射屏及隔热材料，并使夹层达到一定真空度，形成的高真空绝热区域，能够有效地阻止热量以热辐射、对流或传导的方式进入内胆，达到无损储存的目的。该类气瓶在制造过程中涉及到低温、真空、氦质谱检漏、压力容器等诸方面综合技术，是结合低温绝热压力容器制造技术的一种技术密集型产品。

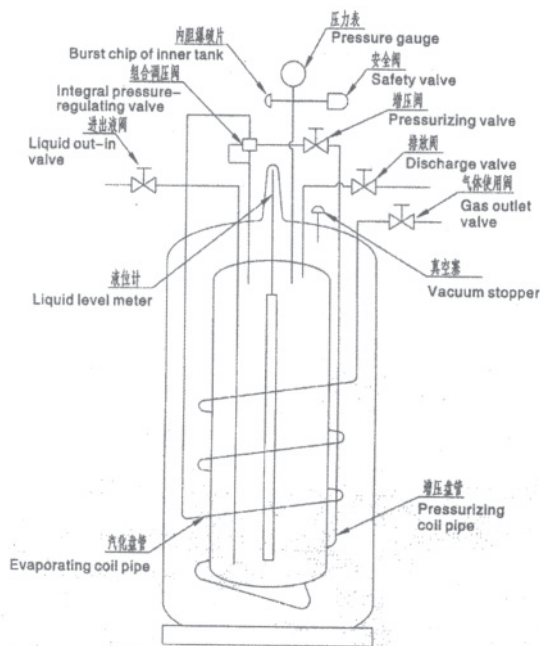


图1 立式低温绝热气瓶示意图

低温绝热气瓶的运行机理：把储存的低温液体通过气化器盘管吸热蒸发转化为气体输出。

低温绝热气瓶的运行工况：一般工作压力为0.8MPa，工作温度为-196℃。

低温绝热气瓶的储存介质：常用的是液氮、液氧和液氩

通过分析低温绝热气瓶结构形式、运行机理、运行工况、储存介质可知与低温绝热压力容器基本一致，可以近似地认为低温绝热气瓶是低温绝热压力容器的缩影。因此将目前已颁布的低温绝热压力容器制造、检验标准和技术规范的部分条款作为低温绝热气瓶检验的参照依据，在理论上应该是可行的，在实际检验中具备操作性。

3 重点检验项目和技术要点

3.1 技术资料审查

在该阶段应关注历次定期检验报告的检验情况，尤其是气瓶夹层真空度的变化速率，其直接影响到该气瓶是否能安全运行到下一个检验周期的评定。

3.2 内外部检查^[3]

低温绝热气瓶内外部检查的项目和方法与压力容器及气瓶检验基本是相似的，但是由于低温绝热气瓶结构的独特性，其检验的侧重点是不同的。

分析低温绝热气瓶的组装结构可知，内外筒体通过颈管焊接连接，起固定支撑作用，内筒体采用颈管悬挂方式获得单端支撑，被悬挂的内筒体在移动和运输过程中，容易发生摆动和扭转；低温液体充装时的冲击力也容易引起内筒体的晃动。最大应力主要出现在颈管与内筒体上封头连接处。另外颈管的一端在内筒与低温接触，另一端与顶部管路分配头连接，既要承受由内筒体运动引起的惯性载荷，又要经受很大的温差考验（200℃以上）。因此颈管与内外筒体连接处的角焊缝必然成为检查的重点。

低温绝热气瓶在运输途中外壳受到碰撞往往是不可避免的。由于外壳属常压结构件，制造壁厚较薄（一般为2.5mm左右），因此由碰撞形成凹陷的面积、折皱、突变部位的裂纹、焊缝的影响程度都是要着重检查的内容。尤其要引起关注的是凹陷的深度，因低温绝热气瓶结构紧凑，真空夹层的宽度有限，且夹层空间中还装有多层绝热材料和蒸发器管道，过度的挤压会造成这些部件的损坏。

3.3 安全附件及阀门检验^[4]

低温绝热气瓶上配置的安全附件及阀门属于常规的安全阀、压力表、爆破片、磁性液位计和进、出液及气体的截止阀。其检验可按现行的国家标准、专业标准和相关规范进行。值得重视和具有特殊性的是组合调压器。

组合调压器是指低温绝热气瓶的增压回路和节气回路上所使用的合并式（增压/节气）调压器。

组合调压器在增压回路中的功能是用于保证在高排放期间有足够的驱动压力。其工作原理是建立一个从容器底部液体经过增压调节器到容器顶部的气体空间的通道。增压阀打开并且容器压力低于增压调节器的设定时，取自容器的液体在内置热交换器内蒸发，膨胀的气体进入气瓶的上方以增加压力，此压力将驱动液体或气体输出系统。

同时在节气回路中功能是优先从气瓶内液体上方的气相空间提取气体。其工作原理是当从气瓶中提取气体时，气瓶上方的气相空间过强的压力气体从此区域内直接流向输出阀。从而达到节气和保持瓶内正常操作压力的目的。

组合调压器的功能和工作原理决定了它是一个具有增压和节气双重功能的增节器。一般增压值和节气值之间的缓冲压力设置在0.1至0.15MPa。出厂时增压值设定在0.85MPa左右，增压值的调整依赖于弹簧的松紧度顶压鼓膜片完

成,组合调压器的调整在附件检验中是不可忽视的问题,增压压力值过大会引起安全阀频跳,浪费气源;增压压力值过低则影响液、气转化,无法保证正常的流量输出。

另外长期使用后,弹簧、鼓膜片可能存在变形和裂纹及疲软等缺陷,造成组合调压器失灵,致使气瓶内胆压力骤然升高,引起安全阀频跳,大量储存气体被泄放,既浪费了气源又增加了不安全因素。所以应把组合调压器理解成既是运行元件又是安全元件。

3.4 耐压及气密性试验

由于以下几个原因,耐压试验应采用气压试验:低温绝热气瓶的介质为低温液体,温度较低,特别是夹套内部有与内胆不可隔断的内置式蒸发器和增压器的较复杂管路系统,不允许有微量残留液体,如采用水压试验后排除不净容易造成低温结冰堵塞气瓶管路;气瓶内、外容器均采用奥氏体不锈钢材料制造,如采用水压试验容易发生氯离子应力腐蚀;气瓶公称压力一般在3.5MPa以下,与常温气瓶相比较其压力较小,危险性更低。

低温绝热气瓶采用真空夹套式结构,所以气压试验按GB24159—2009《焊接绝热气瓶》所规定的合格要求(无异常声响、泄漏和宏观变形)基本无从考证,仅能在试验过程中保压足够时间进行观测检查,从保压情况来判断其内胆及其他受压部件气压试验是否合格。

气密性试验的目的是检查安全附件和其他附件组装后接口的密封部位是否泄漏,所以应在所有安全附件及阀门安装后进行,特别要对安全附件的螺纹接口作重点泄漏检查,由于安全附件的检验周期要小于气瓶检验周期,在一个气瓶定期检验周期内安全附件需要多次拆卸和安装,螺纹接口较易损伤。安全附件与内胆直接连通,在气瓶运行时无法与其有效隔断,任何螺纹接口泄漏

将迫使气瓶停止运行。

3.5 真空度测试及漏放气速率测量

绝热性能是衡量低温绝热气瓶安全性能和使用寿命的重要技术指标,绝热性能又依赖于夹层真空度的高低和多层绝热材料的性能,而多层绝热材料的工况对真空度要求较高,当处于不同的真空度时,其导热性能也不相同,基本规律是随着真空度的降低,导热率上升,绝热空间的表现真空度与多层绝热材料的有效热导率一般呈图2所示关系。因此低温绝热气瓶的绝热性能的优劣由夹层绝热空间的真空度所决定。

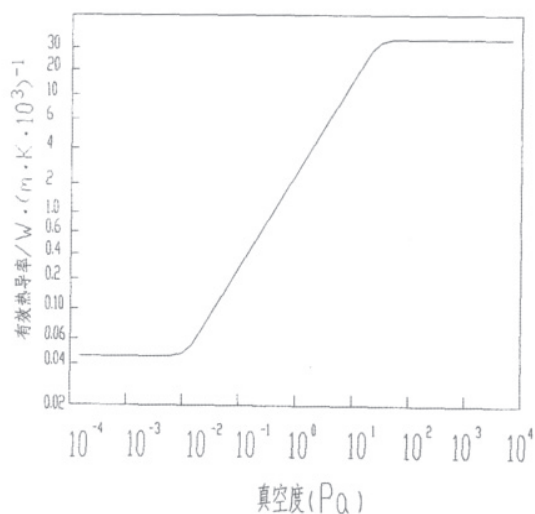


图2

确保夹层真空度符合要求是低温绝热气瓶结构的核心,夹层真空度的完全丧失就意味着低温绝热气瓶变为常温气瓶,低温液体急剧汽化,将直接引起无法控制的泄漏事故。

对于真空而言,只是相对的,不能达到绝对。影响夹层真空度降低的直接原因:一是真空区域中的吸附材料^[5]可从真空区域吸收微量气体分子。吸附材料在数年内起作用,当吸气达到饱和时,解吸作用增强,导致真空度降低,需重新抽真空解决。二是气瓶受压部件(包括外壳)存在泄漏,导致真空度降低,同时又引发到多层绝热材料的有效热导率上升直接影到低温绝热气瓶的安全运行(需要经返修后,重新抽真空)。

因而,真空度测试必然应作为低温绝热气瓶定期检验重要的、区别于常规检验的控制内容。

检验中对真空度的要求^[3]为:保证低温绝热气瓶安全使用到下一个检验周期。当真空度测试值符合TSG R7001.2004《压力容器定期检验规则》要求时,不能简单就判断该气瓶就一定能安全运行到下一个检验周期(特别是在真空度接近低限值时)。通过以上对夹层真空度的影响因素分析,结论是真空度的保持取决于夹层真空度降低速率(漏放气速率)。真空度降低速率综合考虑了夹层的泄漏和夹层内材料的放气现象。在真空度测试的基础上通过漏放气速率测量并计算预测出低温绝热气瓶夹层在下一个检验周期可能达到的最高真空度,并以此确定是否需要低温绝热气瓶夹层重抽真空,才能较可靠地对所检验的低温绝热气瓶安全性能给出一个客观的评价。

已颁布的GB24159-2009《焊接绝热气瓶》规定真空度测试按GB/T18443.2《真空度测量》的方法进行,由于低温绝热气瓶夹套空间较小,无法装置真空规管,在检验时应采用间接测量法,虽然接入系统复杂,测量步骤繁琐,测试结果不直观(要通过计算得到)。但带来的优点是把真空度测试和抽真空机组系统连接在一起,当真空度不满足TSG R7001.2004《压力容器定期检验规则》要求时,可随即进入抽真空工序。当真空度接近低限值时,同样可以再进行漏放气速率测量检验工序,并不需要重新连接测量系统,保持了检验工序的连贯性。

3.6 静态蒸发率测试讨论

目前很多文献中一般认为可以用静态蒸发率测试方法来替代真空度测试。笔者并不认同此观点,我们知道低温绝热气瓶工作状态是一种热平衡状态,液体的汽化是靠吸收热量完成蒸发的。静态蒸发率是指低温绝热气瓶在单位时间内、环境温度下吸收总热量使液体蒸发的速率。从绝热

的角度出发,吸收总热量可以理解为气瓶的总漏热。典型低温绝热气瓶的总漏热由4部分组成:颈管漏热、高真空隔热层漏热、管路系统和底部支撑漏热。有资料表明^[6]各种漏热途径中,通过颈管的漏热量占到总漏热量的36%以上,高真空隔热层漏热量占到总漏热量的40%以上,而该部分的漏热量随夹层真空度变化而变化。由此可见静态蒸发率是对低温绝热气瓶总的绝热性能的综合考量指标,仅反映了气瓶的整体漏热量,没有考虑到高真空隔热层漏热量的动态变化以及针对气瓶运行环境不可忽略这一特性。

颈管漏热、管路系统和底部支撑漏热是源于制造工艺所固有的,在气瓶运行期间的漏热不会发生变化,唯有高真空隔热层漏热在气瓶运行期间受到各种因素干扰会引起真空度下降,导致低温绝热气瓶绝热性能下降。作为低温绝热气瓶定期检验来说,高真空隔热层漏热才是值得重视的最关键的因素。

在TSG R7001—2004《压力容器定期检验规则》中规定:对夹层上未装真空装置的低温液体(绝热)容器,实测日蒸发率指标小于2倍额定日蒸发率指标为合格。静态蒸发率测试结果确实能反映低温绝热气瓶绝热性能优劣,但只能说明问题的存在,揭示问题产生的原因和后续采用的处理方法,最终还是要通过真空度测试及漏放气速率测量来解决。低温绝热气瓶定期检验的目的是:根据低温绝热气瓶结构特点,通过相应的检测项目,评判其能否安全使用到下一个检验周期。而不是根据低温绝热气瓶结构特点,评价其无损储存制作工艺的先进性。

4 结束语

以上对低温绝热气瓶定期检验在实验操作的层面上做了有益的探讨,这种探讨是源自笔者的实践总结,也在具体的检测项目中收到良

(下转第12页)

占有率,形成各具特色的产业基地。

加强行业预警,根据国家有关政策和石化行业的需求,抑制过度投资造成的产能过剩,淘汰落后产能,适时调整、研发行业急需的高端产品。

4. 加速科技人才的培养

为满足化工装备企业科研和产品开发的需要,要大力培养和鼓励引进创新型研发、设计人才,营造尊重知识、尊重人才、尊重创新的氛围,并不断完善科研、设计手段,创造良好的工作条件,充分发挥科技人才的聪明才智,特别要重视核心技术研发人才和领军人才的培养及创新团队建设。广泛开展国内外的科技合作,引进必要技术,并且通过重大高端技术装备的研发,不断提高科研设计人员的技术素质和业务水平,推进企业的科技创新。行业和企业要进一步加强与

高校和科研单位的合作,要以产学研相结合的形式,通过科研项目的开发,促进专业技术人才的培养提高。行业要根据企业的需要,组织不同专业和内容的培训班,不断提高技术人员的素质。

5. 政府有关部门要加大对化工装备制造业的支持力度

希望政府有关部门在资金投入、技术改造、国产化等方面给予支持。化工装备行业是一个小行业,存在的问题较多,资产负债率高,多数企业得不到技术改造,企业利润微薄,依靠自身积累很难得到发展,建议政府有关部门给予资金和财税政策支持。行业很多企业积极参与石油和化工装备国产化的研制,希望有关部门在依托工程、研制项目立项和经费、减少风险等方面加大组织协调力度,进一步推进重大装备国产化工作。

Developing Guide of the Twelfth Five-year Plan for Chemical Equipment Manufacturing

(上接第31页)

好的效果。低温绝热气瓶的定期检验是气瓶定期检验中比较有特色的一种检验,主要就体现在它内胆的不可见性及真空夹层的绝热性能的特殊要求方面。

参考文献

- [1] GB24159—2009《焊接绝热气瓶》. 中国标准出版社 2009. 11.
- [2]《气瓶安全监察规程》. 中国计量出版社2000. 12.

- [3] TSG R7001—2004《压力容器定期检验规则》. 中国计量出版社2004. 08.
- [4] GB18442—2001《低温绝热容器》. 中国标准出版社 2001. 10.
- [5] 符锡理. 活性碳和5A分子筛的吸附特性及其在真空获得中的应用[J]. 低温工程, 1994(1): 11—16.
- [6] 李阳, 王彩莉, 汪荣顺. 低温绝热气瓶的有限元热分析与试验研究[J]. 上海交通大学制冷与低温工程研究所 2008. 02.

Discuss on Regular Inspection of Low Temperature Adiabatic Cylinders

Zhang Yong-hong, Cao Ping-bo (Baoshan Comprehensive Technical Inspection Center, Baoshan 678000)

Abstract: According to the low temperature adiabatic cylinders structure characteristics, this paper analyzed the regular inspection key projects and technical key points of the process of regular inspection of low temperature adiabatic cylinders. It solved the regular inspection problems in the case of lacking the specific inspection standards and specifications.

Keywords: low temperature adiabatic cylinder, regular inspection, inspection specification, key project, technical key point