**钛制列管式液氨蒸发外冷器的制造**

**张永健 王爱国**

**宝钛装备制造（宝鸡）有限公司，陕西宝鸡，721014**

**宝鸡市质量技术检验检测中心，陕西宝鸡，721014**

**【摘要】：**某公司60万吨/年联碱项目结晶工序中所需的六台钛制列管式液氨蒸发外冷器是该项目中的关键设备，经过对此六台套低温容器制造过程的检验监督，总结出钛制列管式低温换热器的制造及质量控制要点，阐述了钛制列管式换热器的制造关键点及质量控制措施。

**【关键词】：**低温容器 设备制造 质量控制

Manufacture of Liquid Ammonia Evaporative External Cooler

**ZHANG Yong-Jian WANG Ai-guo**

*BaoTi Equipment Manufacture (BaoJi) Co., Ltd.ShanXiBaoJi 721014, China*

【**Abstract**】**:**The six titanium tubular liquid ammoniaevaporative external coolers needed in the crystallizing process ofa company 600000 t/a alkali Province are the key equipment in this project, Throughthe inspection and supervision of the manufacturing process of the six cryogenic vessels, thekey points of the manufacture and quality control of the cryogenic vessels are summarized, and the key points of the manufacture and quality control of cryogenic vessels are expounded .

【**Key words**】**:**low temperature pressure vessels manufacturing process quality control

1. **前言**

我公司承制的六台钛制列管式液氨蒸发外冷器是河南省某公司60万吨/年联碱项目结晶工序中的关键设备。此六台设备压力较高，结构复杂，划属为Ⅲ类容器。且液氨在反应中产生的低温易使钢材脆性增大，韧性降低，导致低温脆性开裂。低温脆断是在没有征兆的情况下突然发生的，危害性很大，因此在设计选材，设备制造及试验方法等方面均要采取措施，防止低温脆断事故的发生。我国压力容器国家标准GB/T150.3对“低温低应力工况”作了规定，壳体或其受压元件的设计温度虽然低于-20℃，但设计应力（在该设计条件下，容器元件实际承受的最大一次总体薄膜和弯曲应力）小于或等于钢材标准常温屈服强度的1/6，且不大于50Mpa时的工况。因此我国压力容器规范近年习惯把低于-20℃作为低温界限。

**2.设备简介**

此六台液氨蒸发外冷器的设备外形尺寸为：φ3200\*26\*12296mm，壳程介质是易爆且具有中度危害的液氨及氨气，当空气中氨气浓度达到16~25%时遇明火可发生爆炸，所以一旦出现泄漏与空气混合达到上述范围时就有可能发生爆炸。并且液氨在充装，排料及检查过程中受到大气的浸蚀会发生一系列的反应，反应中产生的氨基甲酸铵对碳钢有强烈的腐蚀作用，使钢材钝化膜在拉伸应力作用下发生滑移而导致破裂，表象一般为无明显破坏痕迹或壁厚减薄，只由内及里沿纵深方向形成裂纹，往往是缺陷还未发现就突然断裂。另外液氨在反应中产生的低温易使钢材脆性增大，韧性降低，导致低温脆性开裂。在设计工况条件下可能发生的危害有爆炸，泄漏，破损，变形；管程介质是半母液Ⅱ，组分为14.14%氯化铵，9.95%氯化钠，6.93%碳酸铵，2.06%碳酸钠，2.13%一水合氨，65.23%水，其中氯化铵晶体含量20-30%，母液中的氯离子会导致管程不锈钢表面钝化膜受到破坏，在拉伸应力作用下，膜的破坏区域会产生裂纹，从而导致金属断裂。在预防损伤的措施中有焊后消应力热处理，给液氨中增加0.2%以上的水做缓蚀剂，使用耐低温的壳体材料等。该低温容器的设备外形见图1，技术特性见表2。



**图1：设备外形图**

**2.1设备的主要技术要求**

设备的设计、制造及检验要求按GB/T151-2014《热交换器》、GB/T150-2011 《压力容器》、HG/T20585-2011《钢制低温压力容器技术规定》、JB/T4745-2002《钛制焊接容器》的标准执行，并接受《固定式压力容器安全技术监察规程》的监督。

**表2设备主要技术特性**

|  |
| --- |
| 设计参数 壳程 管程 |
| 设计压力（MPa） 2.16 0.5  工作压力（MPa） 0.45 0.18  水压试验压力（MPa） 2.8 0.7  氦泄漏试验压力（MPa） 0.35 0.35  设计温度（℃） -33 60  物料名称 液氨，氨气 半母液Ⅱ  容器类别 Ⅲ类 |

**2.2设备的无损检测要求**

设备壳程及管程A、B类焊缝均需进行100%射线检测，按NB/T47013·2-2015《承压设备无损检测》评定，Ⅱ级以上为合格，技术等级不低于AB级；设备上所有C、D、E类焊缝及换热管与管板复层焊接接头均需进行100％着色渗透检测，按NB/T47013·5-2015《承压设备无损检测》评定，Ⅰ级合格。

**2.3设备主要用材的标准要求**

设备的规格及主要材料见表3，筒体材料16MnDR板材符合GB/T3531-2014,正火态，并且做-40℃冲击试验，冲击吸收功KV2不小于47J；16MnD锻件符合NB/T47009-2017，淬火+回火态，并且做-45℃冲击试验，冲击吸收功KV2不小于47J；TA2+16MnDⅢ与TA2+S32168复合板符合NB/T47002.3-2009,B1级，消除应力退火；TA2板材符合GB/T3621-2007，退火态；S32168板材符合GB/T24511-2009，固溶态；S32168锻件符合NB/T47010-2017，固溶态；焊材符合NB/T47018-2017，对E5015-G(即J507RH)焊条应按焊条标准按批号进行药皮含水量和熔敷金属扩散氢含量的复验。TA1换热管符合GB/T3625-2007,退火态；壳程螺柱化学成分中硫，磷含量满足P＜0.020%，S＜0.020%，且做-40℃冲击试验，冲击吸收功KV2不小于41J；配对法兰及紧固件要求同上，紧固件发蓝处理。

**表3设备规格及主要用材标准**

|  |
| --- |
| 部件名称 规 格（mm） 材料 标准 |
| 筒 体 φ3200，δ＝26 16MnDR GB/T3531-2014  管 板 φ3250，δ＝100+8 TA2+16MnDⅢ NB/T47002.3-2009  管 箱 φ3250，δ＝3+16 TA2+S32168 NB/T47002.3-2009  换热管 φ45×2，L＝6800 TA1 GB/T3625-2007  设备法兰 φ1500，δ＝359 S32168Ⅲ NB/T47009-2017 |

**3.设备制造关键点**

**3.1壳程筒体的成形**

该设备壳程筒体材质为16MnDR，壳程介质反应后产生的氨基甲酸铵对碳钢有强烈的腐蚀作用，使钢材钝化膜在拉伸应力作用下发生滑移而导致破裂，表象一般为无明显破坏痕迹或壁厚减薄，只由内及里沿纵深方向形成裂纹，往往是缺陷还未发现就突然断裂，因此给制造及焊接带来很大的困难筒体成型时的变形抗力和回弹比较大，卷床上辊的一次压下量较钢板材多出一些 ，先进行端头预弯，合适后一次卷制成形，施焊后趁热较圆。检查好错边量、棱角度、大小园直径差等各检验点，确保筒体成型质量，禁止强力组装。为了检验产品的焊接接头的力学性能和弯曲性能，需制作壳程纵焊缝产品焊接试件制取试样，进行拉伸、弯曲和-40℃冲击试验及硬度检测。该设备纵焊缝产品焊接试件经与设备同炉热处理后，力学和弯曲性能及硬度检测报告见表4，符合国家相关标准的各项要求，产品焊接试件检验结论为合格。进而说明焊接工艺实施的正确性。

**表4 产品焊接试件力学和弯曲性能及硬度检测报告**

|  |
| --- |
| 试件 拉伸强度 试样断 温度 冲击功 弯曲角 弯心直 检验  编号 σb(MPa) 裂位置 (℃) （KJ） α 径(mm) 标准 |
| 拉伸试样 565 焊缝 GB/T228  面弯试样 180° 63 GB/T2653  背弯试样 180° 63 GB/T2653  冲击1 -40 138 GB/T229  冲击2 -40 129 GB/T229  冲击3 -40 166 GB/T229  试验项目 试验条件 试样位置 硬度值  硬度1 维氏硬度 HV10/30 20℃ 母 材 180/191/188 GB/T4340  硬度1 维氏硬度 HV10/30 20℃ 热影响区 209/207/206 GB/T4340  硬度1 维氏硬度 HV10/30 20℃ 焊 缝 202/210/205 GB/T4340  硬度2 维氏硬度 HV10/30 20℃ 母 材 185/182/184 GB/T4340  硬度2 维氏硬度 HV10/30 20℃ 热影响区 210/212/215 GB/T4340  硬度2 维氏硬度 HV10/30 20℃ 焊 缝 207/211/209 GB/T4340 |

注: 产品试件材料16MnDR, 厚度为26mm ，焊接材料为E5015-G。

该设备筒体长度约为6596㎜，分为2199mm三节施焊成型。因此控制筒体的直线度就成为筒体成形的控制重点。在每节筒料铇边前必须控制板料的外展长度，对角线，坡口形状等，卷制后控制每节筒节的大小圆直径差，错变量，棱角度等符合要求。试板合格后组对各筒节环焊缝，点固后测量筒体直线度高于标准要求，采取防变形措施，如对称法焊接；并采用刚性固定方法，确保筒体直线度满足工艺要求。筒体成型后按方位开孔组焊各接管成型。

**3.2管板与换热管的焊接**

由于设备中φ45×2mm规格的2753根TA1换热管管壁较薄，与管板胀接与焊接的难度较大。满足强度胀接要求至关重要，采用液袋胀确保胀接长度，同时管壁表面没有加工硬化、划伤等缺陷。胀接前按相关要求制作胀接试验，先试胀接确定出满足拉脱力不小于4MPa的工艺参数,再按工艺参数即胀接压力220MPa—260MPa，时间4s进行强度胀接。同样因换热管壁较薄，增加了焊接困难。焊接管头时，施焊温度≥10℃，层间温度≤150℃，采用钨极氩弧焊，氩气纯度为99.99%，第一层母材自熔、第二层进行填充焊，焊接规范参数见表5，按照设计要求，焊后确保管子伸出长度为2㎜。管头焊缝进行100%渗透检测，按NB/T47013.5-2015《承压设备无损检测》评定,Ⅰ级合格。

**表5换热管与管板焊接规范参数**

|  |
| --- |
| 层次 焊接 焊材 焊材 电源 焊接电 电弧电 焊接速度  方法 牌号 规格 极性 流（A） 压（V） （mm／min） |
| 1 GTAW 自熔 / 直流 75～85 11～13 80～120  2 GTAW ERTA2 Φ2.0 正接 80～90 11～13 80～120 |

**3.3热处理**

设备的壳程在制作完成后按照技术要求进行消应力热处理。热处理前对产品外观几何尺寸及所有焊接件仔细检查，确保所有焊接件施焊完毕且检验合格。并对设备所有外露的螺纹面、密封面及有特殊要求的有色金属材料表面采用可靠的保护措施。并对加热炉内进行清理，消除铁锈及粉尘污染，必要时可用菲绕林试验进行炉内环境质量验证。确保加热仪器正常，仪表均在有效期内后，确定装炉位置，保证产品受热均匀，防止变形。控制入炉温度≤300℃，控制加热速度≤100℃/h,控制好保温温度600℃及保温时间1.25h，保温温度应控制炉内最低与最高温度差不超出热处理工艺允许的温度差范围，保温时间严格按热处理工艺要求。最后控制好冷却速度≤100℃/h，出炉温度控制在300℃以下，整个热处理过程中确保记录仪器的正常运行，热处理检验员负责对热处理曲线及热处理过程进行检验及监督，并应取得热处理责任工程师的确认后负责出具热处理检验报告。

**3.4耐压试验及泄漏试验**

设备制造完成，经总体检验合格后，对壳程以2.8 MPa压力进行液压试验。试压前将容器外表面的水渍擦拭干净，并用压缩空气吹干。升压应缓慢进行，先升到设计压力即2.16MPa,确认无泄漏时继续升到2.8MPa，保压足够长时间，然后降到规定设计压力，即2.16 MPa保压足够时间进行检查。由于壳程试验压力较高，试验场地应有可靠的安全防护措施，检验人员应避免站立在法兰密封面或正对接管的位置，确保试验过程的人身安全。壳程水压合格后对壳程进行氦泄漏试验。氦泄漏试验前受检焊缝及其附近30㎜范围内应清理干净，不得有油污、铁锈、杂物、水等，给壳程充入氦气（至少10%）与其他惰性的混合气，压力保证0.35MPa并保压30分钟，待氦气充分入浸后，将检漏接头与氦质谱仪连接，打开质谱仪，并将氦质谱仪泄露率设置在1.0×10-6Pa.cc/sec，当达到所需真空度后，开始检漏。因氦气在大气中的含量稀少，仅为五佰万分一，大于1.0×10-6Pa.cc/sec的泄漏，仪器便报警显示。若有漏点局部返修后，重新进行该氦泄漏试验直至合格。

壳程氦泄漏试验合格后按图纸要求对管程以0.7 MPa压力进行液压试验。试压前将容器外表面的水渍擦拭干净，并用压缩空气吹干。升压应缓慢进行，升到设计压力即0.5 MPa确认无泄漏时，继续升到0.7 MPa保压足够长时间，然后降到规定设计压力0.5 MPa，保压足够时间进行检查。水压试验合格后放干水分给管程充入氦气按要求作氦泄漏试验。检验方法与合格标准与壳程一致。检验合格后对设备表面清理，碳钢表面喷砂除锈、刷漆，并包装及发运至用户现场。设备完工效果如图2。



**图2：设备完工后效果图**

**4.结语**

此次钛制列管式液氨蒸发外冷器的制造确保了联碱项目结晶工序设备替换后的顺利生产，在整批设备的制造中，总结了重点控制措施。

①设备换热管与管板复层焊接的管头焊缝在制造过程中的各个控制环节都必须防止铁离子、油污、硫磷等物的污染，用铁离子污染试验判定是否清洗干净，无蓝点为合格。

②此类设备的换热管壁较薄，满足胀接强度要求至关重要，通过胀接试验确定胀接参数后，同时确保管壁表面没有加工硬化、划伤等缺陷，胀接过程严格按工艺参数执行即可。

③设备换热管与管板复层焊缝的焊接宜采用钨极氩弧焊，严格的氩气双面跟踪保护措施，防止氧化降低焊接性能，做好各种焊接前清理工作。焊接管头时，施焊环境温度≥10℃，层间温度≤150℃，氩气纯度为99.99%，第一层母材自熔、第二层进行填充焊，严格执行表5中的焊接规范参数，施焊过程中认真仔细操作，焊后确保管子伸出长度为2㎜。管头焊缝进行100%渗透检测，按NB/T47013·5-2015《承压设备无损检测》评定,Ⅰ级合格。

**参考文献：**

[1] GB/T151-2014 热交换器，中国标准出版社[S].

[2] GB/T150-2011压力容器，中国标准出版社[S].

[3] HG/T20585-2011钢制低温压力容器技术规定，国家石油和化学工业局[S]

[4] JB/T4745-2002 钛制焊接容器，云南科技出版社[S].

[5] TSG 21-2016固定式压力容器安全技术监察规程，中国劳动社会保障出版社[S].

**作者简介：**张永健（1970- ），女，大学专科，高级工程师，长期从事压力容器制造的质量控制及检验工作，现任宝钛装备制造（宝鸡）有限公司检验与试验责任工程师，通讯地址：陕西省宝鸡市宝钛装备制造（宝鸡）有限公司品质部，邮编，721014，联系电话，3386952，手机，13892471593，电子邮箱，[btizyj@163.com](mailto:btizyj@163.com).