

液氨贮存装置扩能改造的设计与施工

周明清（瓮福集团瓮福达州化工有限责任公司，四川 达州 635000）

摘 要：液氨在常温常压下易汽化成气氨，气氨易燃、易爆、有毒。液氨贮存区属安全高危区，其设计要符合相应技术规范和安全标准，本文对液氨贮存装置的扩能改造设计及施工作了较详细的阐述，供借鉴。

关键词：液氨贮存；扩能改造；设计；施工；注意事项

1 液氨贮存原有装置简述

某公司磷铵生产所用液氨全部依靠外购，本公司自备有 15200 m³（设计值）液氨贮存能力，其中，两个球罐每个带压 1.5 MPa 贮存 2600 m³，一个立式常压罐贮存 10000 m³。其附置设备有四台冰机，能实现倒罐能力 48 m³/h，还有三台升压泵，三台输送泵。

2 扩能改造的成因

2.1 公司磷铵生产日益规模化，液氨用量增加，贮存周期变短

本公司磷铵生产装置由原来的 80 万吨/年重过磷酸钙生产线改造而成。随着改造的进程，磷铵生产规模逐年扩大：原年实际生产量为 30 万吨，第一次增产到 45 万吨，第二次增产到 85 万吨，第三次计划增产到 90 万吨。液氨贮存周期随着生产量的增加而变短。

2.2 氮肥销售的时限性给本公司磷铵生产用氨带来了不良影响

农用肥销售的时限性给本公司磷铵生产用氨造成了供应不均匀的不良影响。氮肥（如尿素、碳铵）生产销售的黄金时段，供氨单位为了满足自身生产，无法及时供应本公司磷铵生产用氨，从而造成磷铵生产用氨短缺。

3 液氨贮存装置扩能改造的设计思路

3.1 扩能贮备量的选择

本公司液氨装置现有贮存能力 15200 m³，其生产

磷酸二铵和磷酸一铵日消耗量为 1000 吨左右，其贮备周期为 9 天，计划贮存周期为 15 天，其扩能贮存量为 6 天共 6000 吨，根据现有贮存设备的平面布置场地，拟建一个立式常压液氨贮存罐 10000 m³，同时还可预留一个立式常压罐的位置，新建液氨贮存罐与旧罐之间的衔接如图一。

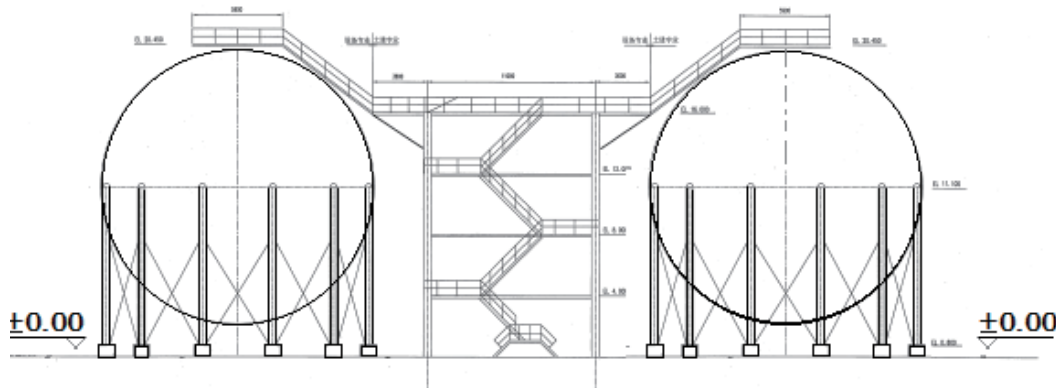
3.2 设备选型

根据原有立式常压罐的设备型式及平面布置情况，同时考虑空间的合理性，选择立式常压罐筒体直径为 25 m，高为 22 m，拱顶成球缺形，拱顶旋转半径为 20 m，高度为 4.4 m，全容积为 10050 m³，设计压力为 0.01/-0.005 MPa，工作压力为 0.005 MPa，设计温度为 -36℃，操作温度为 -34℃。

4 设备设计

4.1 材质选择

液氨在常温常压下会吸收环境热量汽化成气氨，从而使设备、管道外壁出现结霜现象。因此，液氨贮存罐的材质必须具备抗冷脆性能力，在材料选择时需要注意以下事项：①耐低温性能：液氨的操作温度通常较低，因此所选材料需要具有良好的耐低温性能，能够在低温下保持足够的韧性和强度，避免因低温导致材料脆裂。②冷脆性考虑：液氨在低温下容易导致材料的冷脆性增加，因此需要选择具有良好抗冷脆性能的材料，以确保在低温环境下不会发生脆裂现象。



图一 液氨贮存罐立面图

③化学稳定性：液氨具有一定的腐蚀性，所选材料需要具有良好的化学稳定性，能够抵抗液氨对材料的腐蚀，避免材料的损坏和腐蚀性溶解。④强度和韧性：所选材料需要具有足够的强度和韧性，能够承受液氨贮存罐在操作压力和温度下的受力情况，确保设备的安全运行。⑤材料的选择标准：在材料选择时，需要参考相关的标准和规范，选择符合液氨贮存罐使用要求的材料，确保材料的质量和可靠性。综上所述，液氨贮存罐的材料选择需要特别关注耐低温性能、抗冷脆性能、化学稳定性以及强度和韧性等方面，以确保所选材料能够满足液氨贮存罐在低温环境下的安全运行要求。根据《钢制化工容器制造技术要求》HG20584—98 及公司扩能资金情况，筒体、底板、抗压圈采用 16MnDR 钢，吊顶、拱顶采用 Q235—A 钢，拱顶支架采用 16Mn 钢，内插管件、静电接地线采用 1Cr18Ni9 不锈钢。

4.2 强度计算

材质选择后，根据材料的物理参数、贮存介质及设备结构形式进行设备强度计算，以确定选用材料的厚度及型号。

设备强度计算涉及到静态压力、温度变化引起的热应力、材料的物理参数等多个方面，下面我将为您列举一些常用的计算公式和步骤，但是请注意，由于设备强度计算是复杂的工程计算，需要专业工程师或设计院的进行，以确保计算的准确性和安全性。

设备受力分析应考虑以下问题：

计算静态压力对筒体、底板、拱顶等部分的受力影响。

考虑液氨在操作温度下的热膨胀对设备的影响。

材料选型和厚度计算应考虑以下问题：

根据受力分析结果，计算材料的应力和应变，确保材料在设计压力和温度下具有足够的强度和刚度。

根据材料的物理参数，如弹性模量、屈服强度等，结合设备受力情况，确定材料的选型和厚度。

通用计算公式如下：

设备内压力计算公式： $P = (P_{\text{设计}} + P_{\text{操作}}) / 2$

设备受力计算公式： $\sigma = P * D / (2 * t)$ ，其中 σ 为应力， P 为内压力， D 为筒体直径， t 为材料厚度。

同时应符合《大型低压焊接贮存罐的设计与结构》API620—1990 要求，通过计算，取适当设计保险系数及相应腐蚀余量。

本设备结果如下：筒壁高度 22 m，由 10 带带板

组成，带板从底向顶以序排列编号，下部 1~2 号带板宽度均为 2980 mm，板厚分别为 16 mm、14 mm，第 3~9 号带板宽度均为 1980 mm，板厚分别为 10 mm，第 10 号带板宽度为 400 mm、板厚为 20 mm（壳体抗压圈）；底板由 12 块边缘板及 29 块中幅板组成，边缘板厚 10 mm，中幅板厚 8 mm；拱顶由球缺盖板、平吊顶、抗压圈、支撑钢结构组成，盖板由 64 块瓜片焊制而成，板厚 6mm，平吊顶板厚 4 mm，抗压圈由 $\Phi 24540$ mm、 $\Phi 21480$ mm、 $\Phi 12600$ mm、 $\Phi 3600$ 组成，支撑钢结构由型钢组成。

4.3 保冷材料的选择

设备选型后，根据设备形式分析其用量系数和强度要求，根据介质接触的机率分析其温度变化情况，选择相应保冷材料。本装置扩能采用常压低温立式圆筒罐，介质——液氨的液位变化多在筒体部位，因此，筒体部位选择聚氨脂作保冷材料，为了保证保冷施工质量，采取现场发泡制作。底部采用双层泡沫玻璃保冷，而顶部为气氨区，采用岩棉保冷即可。

4.4 辅助设备的选择及改进措施

本装置原有冰机四台，输送泵三台，升压泵三台。冰机主要用于压缩常压立式罐上部的气氨成液氨而返回贮存，冰机每小时压缩能力达到 48 m³。基本能满足扩能后两立式常压罐的倒罐能力，因此本次扩能改造不再考虑增加冰机。而输送泵、升压泵主要用于罐间、罐与用户之间的相互输送，原有输送泵、升压泵均为二开一备，此次也不再增加。

闪蒸槽的改进：闪蒸槽的主要作用是将来自球罐的带压液氨进行闪蒸减压后到立式常压罐进行贮存或用泵送给用户。本装置原有立式常压罐的闪蒸槽采用高位布置，一次闪蒸，将 1.5MPa 的液氨减到常压。投入运行后发现严重振动现象，现场观察分析其产生振动的原因，主要有两个方面：一方面是闪蒸槽内部在出氨口处有一折流挡板，当液氨减压后在出口处受到挡板的阻挠，从而造成振源。另一方面是闪蒸槽位置在立式罐侧面的高架架上，其支撑架太高，自然就有不稳定性，在振源作用下产生严重振动。

就上述问题，本次扩能从三个方面着手进行改进：一是采用低位布置，既将闪蒸槽布置在地面钢筋混凝土基础上，以增加其稳定性。二是采用二次闪蒸工艺设计，既是将来自球罐 1.5 MPa 的液氨通过闪蒸减压到 0.4MPa，这是第一次闪蒸减压，来自闪蒸槽带压力 0.4 MPa 的液氨从管口向立式罐排放时再次闪蒸减压

致常压,这就是第二次闪蒸减压。三是将闪蒸槽液氨出口处的折流挡板除沫改成钢丝网除沫器。通过改进,对消除闪蒸槽振动现象,应有较好效果。

4.5 安全设施

液氨贮存区属易燃、易爆、有毒的高危区,在本装置扩能改造设计中,除应考虑消防、防毒、防炸的设施外,还应配备应急处理设施。本装置在设备结构设计上着手考虑了设备降温自动喷淋系统,消除因天气变化而造成的设备温升现象,确保将设备内部的液氨温度控制在设计温度范围内。

此外,罐体上设置了压力自动报警系统,罐内压力超过设定值低限时,自动报警系统自动报警,告知操作人员操作冰机将气氨压缩再送回贮罐贮存;同时,罐体上还设置了压力和温度显示监测系统,供操作人员随时监察。如果前两套自动安全设施都不起作用,而罐内压力又到了设置高限,则贮罐顶部还设施了呼吸阀,由呼吸阀自动放空。

根据国家安全规范要求:呼吸阀每年年检一次,以确保其设定值的准确性、机械动作部位的灵活性,企业内部还要定期检察维护。

根据气氨水溶性较大的物理性质,在管道、阀门有少许液氨泄漏时,可用水吸收,以改善维修人员的工作环境。当然,在维修动火前,除要进行环境、管道、设备内介质含量分析外,还要到消防管理部门办理相应的高危区动火证。

4.6 工艺流程设计

在原有液氨贮存装置基础上扩能改造,势必使原装置贮罐与新建贮罐相互连接、互相备用,以便贮罐的使用、维修。而冰机、输送泵、升压泵公用,这在工艺流程上还是比较简单,但新、旧管道的碰管给施工带来了难度,在旧管停运开口前,必须经过管道介质置换、冲洗,气体检测,符合开口条件时才能动火开口,新旧管道碰管前,新管段须进行了相应吹扫、强度、密封性等相应规范性要求检测;新旧管段碰管后,还得进行相应管道冲洗、密封性测试,管道进入液氨介质前,须进行管道、设备内的气体置换,符合规范要求后方能进行液氨输入。

5 施工注意事项

第一不同的施工队伍,机具设施及人员技术力量各不相同,其施工质量和施工进度保证措施也不相同,因此:施工队伍的选择首先必须具备相应规范要求的资质,同时还得具备有相应施工经验的技术人员,

熟悉其施工流程设计,严格按照施工流程进行材料准备、组队、焊接、检验。本文只介绍施工的常用方法和施工中应该注意的关键性问题(有些注意事项是施工经验,在设计和施工规范中无法查得)。

第二筒体组队:本设备根据其结构特征结合现场情况,采用倒装法,更有利于施工质量和施工进度的保证。

第三设备组装中,拱顶盖板属球瓣形,一般采用西瓜片形下料,更容易保证其外观质量要求。

第四设备顶盖支撑钢结构在焊接中,其球形弧度要比理论值大 30 mm,以便在拱顶盖板上后,因拱顶板重量引起支撑架弧度变形下降。

第五罐底排版直径按设计直径放大 0.2%,以便焊接时因热应变引起罐底外径变形。罐底边缘板沿罐底半径方向的最小尺寸不得小于 700 mm。

第六 其材料取样、分析、实验,焊条的选择、焊接工艺的确定,组队方案的确定,设备的基础沉降实验,筒体的渗漏实验等,按国家标准:GB/T 3452.1-2018《液氨输送用钢制容器》、GB/T 3452.2-2018《液氨输送用钢制容器》、GB/T 3452.3-2018《液氨输送用钢制容器》,行业标准:JB/T 4735-2002《液氨输送用钢制容器》、JB/T 6892-2000《液氨输送用钢制容器》、HG/T 20592-2009《液氨输送用钢制容器》等规范要求。

6 结语

液氨贮存区属安全高危区,本文对液态氨贮存罐建设的原因、材料选择、材料计算、强度设计、保冷材料、安全措施、施工队伍的选择、施工注意等多方面进行了阐述,特别地:对液氨罐施工过程中,根据施工经验对下料、焊接组对进行了详细阐述,希望对行业同类企业在进行液态氨罐的设计、建设起到借鉴作用。

参考文献:

- [1] 朱奉刚,王玉训.大型供氨装置安全管理成效显著[J].化工安全与环境,2012(7):8-9.
- [2] 彭友德,马忠立,张向东.浅谈汽车液氨槽车卸车安全管理[J].化工安全与环境,2008,21(45):12-13.
- [3] 尹爱华,谢小明,王小波,等.液氨吸收装置设计及内部流场仿真计算[J].机械研究与应用,2023,36(1):96-98.

作者简介:

周明清(1966-),男,工程硕士,高级工程师,研究方向:无机化工偏向磷硫化工。