液氨球罐制造安装质量控制探析

陈　云

上海市安装工程集团有限公司　上海　201500

摘　要：液氨球罐作为大型压力容器，其制造安装质量直接关系到储存安全与运行可靠性。本文针对液氨球罐的特殊性，系统分析了材料控制、成型焊接、热处理、无损检测、安装组对等关键环节的质量控制要点。研究表明，材料复验与焊接工艺评定是质量控制的基石，球壳板压制精度与焊缝质量直接影响球罐几何尺寸与力学性能，整体热处理与严密性试验是保障使用安全的关键工序。在此基础上，从人员资质、过程监控、验收标准等维度提出了全过程质量控制体系。本文可为同类球罐工程的制造安装质量管理提供理论参考与实践指导。

关键词：液氨球罐；制造安装；质量控制；焊接工艺；热处理

引言：液氨作为基础化工原料，具有毒性、腐蚀性和易燃易爆特性，其储存容器须具备极高的安全可靠性。球罐因其受力均匀、承载能力强、占地面积小等优势，成为液氨大规模储存的首选形式。近年来，部分球罐工程因质量控制不严出现焊缝裂纹、几何尺寸超差等问题，暴露出全过程质量管理体系尚不完善。针对上述问题，系统梳理液氨球罐制造安装各环节的质量控制要点，构建全过程质量管控体系，对于提升球罐工程本质安全水平具有重要的技术支撑作用，可为同类工程提供实践参考。

1 液氨球罐制造安装的特点与质量控制难点

1.1 液氨球罐的结构特点与服役要求

液氨球罐为球形压力容器，通常由多块球壳板拼焊而成，设计压力一般为 1.6~2.5MPa，设计温度-20~50℃，公称容积 200~5000m³ 不等。球形结构受力均匀，相同壁厚下承载能力远高于圆筒形容器。液氨具有以下特性对球罐提出特殊要求：一是毒性，泄漏可造成人员中毒和环境灾害；二是腐蚀性，液氨对碳钢产生应力腐蚀开裂风险；三是易燃易爆性，泄漏后与空气混合形成爆炸性气体。因此，液氨球罐制造安装须严格执行《固定式压力容器安全技术监察规程》（TSG 21-2016）、《钢制球形储罐》（GB 12337-2014）等标准、《球形储罐施工规范》（GB 50094-2010）等标准，对材料、焊接、热处理、无损检测等环节提出更高质量控制要求。

1.2 制造安装的主要工序流程

液氨球罐制造安装主要工序包括：材料采购与复验、球壳板压制、坡口加工、预组装、焊接、焊缝无损检测、焊后热处理、压力试验、气密性试验、防腐保温、竣工验收。其中，球壳板压制精度直接影响组装几何尺寸，偏差超标将导致强制组对产生附加应力；焊接是决定球罐强度的核心工序，焊缝质量直接关系球罐承载能力和安全寿命；整体热处理可消除焊接残余应力，防止应力腐蚀开裂，是液氨球罐不可或缺的关键工序；压力试验验证球罐强度与密封性，气密性试验则专门检验密封结构可靠性。各工序环环相扣，前道工序的质量缺陷会向后传递放大，如压制偏差导致组装困难，组装应力叠加焊接应力增加开裂风险，未经有效热处理则压力试验中可能发生脆断[1]。因此，必须建立覆盖从材料到验收全过程的系统性质量控制体系，实现各工序质量的有效衔接与闭环管理。

1.3 质量控制的主要难点

液氨球罐质量控制存在以下难点。一是球壳板压制精度要求高，单块球壳板为双曲面结构，压制后几何尺寸偏差宜控制在 ±2mm 以内，否则组装时强制对中会产生附加应力。二是焊接质量受多重因素影响，球罐焊缝为全位置焊接，焊工操作难度大，焊接参数控制不当易产生裂纹、气孔、未熔合等缺陷。三是热处理温度场均匀性难以保证，大型球罐整体热处理时，球罐不同部位温差过大会影响消应力效果。四是检测覆盖面和灵敏度存在局限，球罐焊缝长、结构复杂，常规无损检测可能存在盲区。这些难点需通过严格的过程控制和技术措施加以克服。

2 制造阶段的关键质量控制

2.1 材料质量控制

材料是球罐质量的基础。液氨球罐常用材料为 Q345R、

16MnDR 等低合金钢。材料质量控制包括：供应商资质审查，须从持有压力容器用钢板生产许可证的企业采购；材料进场复验，逐张检查钢板外观质量、尺寸偏差，按炉批号复验化学成分、力学性能和低温冲击韧性；焊接材料控制，焊条、焊丝须与母材匹配，使用前按规定烘干，发放领用须建立可追溯台账。此外，还宜控制硫、磷等有害元素含量，并对材料进行 100％超声波检测，排除分层、夹渣等内部缺陷，为应对液氨的应力腐蚀环境，还须对受压元件材料提出碳当量要求。材料代用须经设计单位书面批准，不得擅自变更。

2.2 球壳板压制与坡口加工质量控制

球壳板压制是制造阶段的关键工序。每块球壳板均为球面曲面，压制后须在专用胎具上进行几何尺寸检查，包括弦长、弧长、对角线长及曲率半径。弦长偏差控制在 ±2mm，弧长偏差 ±3mm，曲率用样板检查，间隙宜不大于 2mm。压制后表面不允许有裂纹、褶皱、压痕等缺陷。坡口加工采用机械加工或自动气割，坡口角度、钝边尺寸须符合焊接工艺评定要求，坡口表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷[2]。每块球壳板应标注板号、位置编号和中心线，便于现场组装。压制精度不足会导致组装时强力组对，产生组装应力和附加弯矩，严重影响球罐安全。

2.3 焊接工艺与焊接质量控制

焊接是球罐质量的核心环节。首先须进行焊接工艺评定，评定项目包括接头拉伸、弯曲、冲击及硬度试验，评定合格后方可编制焊接工艺规程。焊工须持有相应位置的合格项目，并在有效期内上岗。球罐焊接按先纵缝后环缝、先外后内的顺序进行，每条焊缝应连续焊完，层间温度控制在规定范围。焊接参数包括电流、电压、焊接速度须严格执行工艺规程。焊接过程中应控制线能量输入，高强钢线能量过大会降低低温韧性，过小则易产生冷裂纹。焊后须打上焊工钢印，焊缝表面不得有裂纹、气孔、弧坑等缺陷。焊接记录应完整可追溯，作为质量证明文件的重要组成。

2.4 焊后热处理质量控制

液氨对碳钢和低合金钢具有应力腐蚀开裂倾向，焊后热处理是消除焊接残余应力、防止应力腐蚀的关键措施。整体热处理在球罐焊接和无损检测合格后进行，采用燃油方式。热处理工艺包括升温、保温、降温三个阶段：升温速度一般控制在 50~80℃/h，保温时间按壁厚 2.4 min/mm 计算，降温速度 30~50℃/h。球罐表面布置不少于 12 个热电偶，监测温度均匀性，各测温点温差不宜超过 50℃。热处理后须进行硬度检测，硬度值应符合标准要求。热处理记录曲线应完整，作为交工文件存档。整体热处理消应力效果直接影响球罐抗应力腐蚀能力和使用寿命。

3 安装阶段的关键质量控制

3.1 基础验收与组装质量控制

球罐安装前须对基础进行验收，检查基础标高、中心位置、地脚螺栓尺寸，偏差须符合规范要求。基础混凝土强度达到设计要求，表面平整无蜂窝麻面。支柱底板与基础之间垫板应平整稳固。球壳板组装采用分带组装法，从赤道带向两极逐带进行。组装时严格控制对口错边量，纵缝错边量宜不大于板厚的 10％且不超过 1.5mm，环缝错边量宜不大于板厚的 15％且不超过 2mm。组装间隙均匀，背面清根彻底。禁止强力组对，以免产生组装应力。每带组装后应测量几何尺寸，球壳最大内径与最小内径之差不应大于球罐设计内径的 0.5％，且不大于 80mm，确保球罐圆度符合要求。

3.2 焊接施工与过程监控

现场焊接是安装阶段的核心工序。球罐现场焊接采用手工电弧焊或埋弧自动焊，环境温度低于 0℃时须采取预热措施。每条焊缝焊接前应清除坡口及两侧油锈。焊接过程中应做好防风、防潮措施，相对湿度大于 90％时应停止作业。焊缝背面清根须彻底，无裂纹、未熔合等缺陷。焊接完成后及时进行后热消氢处理，防止冷裂纹产生。焊工应在焊缝规定位置打上钢印，记录焊工代号和焊接日期。现场焊接质量实行“三检制”——自检、互检、专检，确保每道焊缝质量受控[3]。

3.3 焊缝无损检测质量控制

无损检测是发现焊缝缺陷、评估焊接质量的重要手段。液氨球罐对接接头应进行 100％射线检测或 100％ TOFD 检测，射线检测应符合 NB/T47013.2 中的规定，技术等级不低于 AB 级要求，质量等级为 II 级要求；TOFD 检测应符合 NB/T47013.10 中的规定，技术等级不低于 B 级要求，质量等级为 II 级要求。射线或 TOFD 检测合格后再进行 100％超声检测复验，检测按 NB/T47013.3-2015 标准进行，技术等级不低于 B 级，合格级别为 I 级。超声检测合格后进行 100％表面磁粉检测，检测结果应符合 NB/T47013.4 规定的 I 级要求。无损检测须由持有相应资质的检测人员完成，检测记录和底片应妥善保存。返修焊缝须按原工艺进行，同一部位返修次数不应超过两次，超过须经设计单位批准。

3.4 压力试验与气密性试验质量控制

压力试验和气密性试验是验证球罐强度和密封性的最终检验工序。试验前须确认焊接、无损检测、热处理等工作全部完成并经检验合格。液压试验介质为洁净水，水温不低于 5℃，试验压力为设计压力的 1.25 倍。升压应分级进行，每级保压 10 分钟，检查无异常后继续升压。达到试验压力后保压 30 分钟，检查无泄漏、无可见变形、无异常声响为合格。试验后应将水排净并用压缩空气吹干。气密性试验在液压试验合格后进行，试验压力为设计压力，保压 10 分钟，涂刷肥皂水检查所有焊缝和法兰连接处，无气泡为合格。试验过程须有监理单位旁站见证，试验记录应完整准确[4]。

4 全过程质量管理体系的构建

4.1 人员资质与质量责任

人员是质量控制的决定性因素，球罐制造安装各环节从业人员须具备相应资质。焊工须持有特种设备作业人员证书，并在有效期内从事合格项目焊接；无损检测人员须持有相应级别资格证书，II 级及以上人员方可签发检测报告；质检员须经专业培训并持证上岗。建立质量责任制，明确项目经理为第一责任人，各工序质量员为直接责任人，技术负责人为技术把关责任人。实行质量终身责任制，主要工序操作人员和检验人员的工作记录存档备查，一旦发生质量事故可追溯至责任人。定期开展质量培训和技术交底，新进场人员须经岗前培训合格方可上岗，特殊工种每两年复证培训，特殊工序实施前进行专项技术交底，持续提升全员质量意识和操作技能，确保各岗位人员能力满足工程质量要求。

4.2 过程监控与质量可追溯

建立全过程质量可追溯体系是保障球罐质量的重要手段。材料从入库、检验、领用到使用，须建立完整台账，实现“一板一档”，每块球壳板的材料批号、复验数据、使用部位均有详细记录。焊接过程记录焊材批号、预热温度、焊接参数、环境条件等关键数据，每条焊缝可追溯至焊工和检验人员。无损检测底片、报告、评定记录同步存档，保存期限不少于 7 年。热处理自动记录曲线须完整，温度异常点须标注说明并经确认。压力试验记录须附压力表检定证书和试验曲线。质量文件采用电子化管理，实现快速检索和溯源。通过关键数据的采集、分析和比对，及时发现质量偏差并采取纠正措施，将质量问题消灭在萌芽状态[5]。

4.3 验收标准与档案管理

球罐制造安装的最终验收须依据设计文件和标准规范进行，由建设单位组织，设计、制造、安装、监理、检测等单位共同参与。验收内容包括资料审查、实物检查和性能验证三个层面。资料审查重点检查材料质量证明书、焊接工艺评定报告、无损检测报告、热处理报告、压力试验报告等文件是否齐全有效。实物检查重点核对球罐几何尺寸、焊缝外观、防腐保温、安全附件安装等是否符合要求。性能验证确认压力试验和气密性试验合格，安全阀整定压力正确。验收合格后形成竣工资料，竣工图、质量证明文件、监理报告等须分类归档。档案保存期限不少于球罐设计使用年限，通常为 20 年，重要工程档案应永久保存，档案室须满足防火、防潮、防虫等保管条件。

结束语

液氨球罐作为高危险性压力容器，其制造安装质量直接关系到人民生命财产安全和环境安全。本文从材料控制、球壳板压制、焊接工艺、热处理、无损检测、安装组对、压力试验等环节系统分析了质量控制要点，构建了覆盖“人、机、料、法、环”全要素的质量管理体系。球罐质量控制是一项系统工程，需要设计、制造、安装、监理、检测等各方协同发力，严格执行标准规范，强化过程监控，完善可追溯记录，方从源头保障球罐的本质安全。

参考文献

[1] 刘玉英. 大厚度 3 000 m^(3) 液氨球罐设计要点 [J]. 化工设备与管道，2025，62(6):6-14.

[2] 刘海涛. 液氨球罐装置安全联锁系统整改方案调研与实施 [J]. 化工安全与环境，2022,35(46):22-23.

[3] 李幸. 液氨球罐区设备和配管布置分析 [J]. 山西化工,2023,43(12):114-116.

[4] 童宗礼. 低温液氨储罐安装过程质量控制措施研究 [J]. 当代化工研究，2025，(7):134-136.

[5] 付杰. 液氨球罐全面定期检验工作总结 [J]. 中氮肥,2024(1):50-53.