

液氨槽车卸车过程的安全分析

杨红宾

河北科防治金安全评价有限公司, 河北 石家庄 050011

[摘要]本研究聚焦于液氨槽车卸载过程中的安全风险,通过对液氨槽车卸载工艺原理的深入分析,识别并探讨了导致泄漏、火灾、爆炸及中毒等事故的关键因素。采用定量风险评估方法,对液氨泄漏引发事故影响范围进行了模拟计算。基于此,本研究设计了一系列针对防泄漏、防火、防爆及防毒的安全措施,并提出了操作人员、车辆与设备检查、卸载操作、应急防护等方面的具体要求。通过实施这些严格的安全措施,能够显著提升安全系数,确保液氨槽车卸载过程的安全性。本研究为液氨槽车卸载过程的安全性提升提供了理论支撑和实践指导。

[关键词]液氨槽车; 卸车工艺; 风险分析; 安全设计; 风险控制; 应急处理

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18823

中图分类号: TH237.3

文献标识码: A

Safety Analysis of Unloading Process of Liquid Ammonia Tanker

YANG Hongbin

Hebei Kefang Metallurgy Safety Evaluation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050011, China

Abstract: This study focuses on the safety risks during the unloading process of liquid ammonia tank trucks. Through in-depth analysis of the unloading process principles of liquid ammonia tank trucks, key factors leading to accidents such as leaks, fires, explosions, and poisoning are identified and explored. The impact range of accidents caused by liquid ammonia leakage was simulated and calculated using quantitative risk assessment methods. Based on this, this study designed a series of safety measures for leak prevention, fire prevention, explosion prevention, and gas defense, and proposed specific requirements for operators, vehicle and equipment inspection, unloading operations, emergency protection, and other aspects. By implementing these strict safety measures, the safety factor can be significantly improved to ensure the safety of the unloading process of liquid ammonia tank trucks. This study provides theoretical support and practical guidance for improving the safety of the unloading process of liquid ammonia tank trucks.

Keywords: liquid ammonia tanker; unloading process; risk analysis; safety design; risk control; emergency response

引言

液氨生产企业主要分为传统化工企业和新兴能源企业两大类,传统的液氨合成使用天然气或煤炭等化石燃料作为原料进行生产,新兴能源企业利用风电、太阳能等清洁能源发电制备绿色液氨,随着国家“双碳”战略目标的实施,液氨生产企业的区域分布趋向集中,产品结构呈现多元化态势。

液氨作为一种重要的工业原料,广泛应用于化工行业,其对液氨的需求量占据着举足轻重的地位。根据公开数据显示,2022年中国液氨总产量达到约1500万t,其中以化工行业的液氨消费占比最高,超过60%,约900万t。该占比近年来保持稳定增长,预计未来五年(2025—2030)将继续上升,到2030年预计将超过70%。液氨使用企业的物流和仓储环节不容忽视。

液氨是一种无色的液体,具有毒性、腐蚀性和易燃易爆特性,其在运输和储存过程中存在显著的安全隐患。槽车卸车作为液氨流通的关键环节,安全风险尤为突出,事故频发,一旦发生,可能导致严重的人员伤亡和环境污染,这为液氨卸车设计提出了挑战。近年来,国内外液氨槽车卸车事故频发,引起了社会的广泛关注。因此,深入探讨液氨槽车卸车过程中的安全问题,对于预防事故、保护人

民生命财产安全具有极其重要的意义。本文旨在剖析液氨槽车卸车过程中的潜在风险,并探讨相应的安全措施,旨在为提升卸车作业的安全性提供理论参考。

1 卸车工艺

液氨卸车工艺主要有压缩机卸车、卸车泵卸车、利用位差卸车这三种方式。

压缩机卸车工艺原理:利用压缩机将液氨储罐中的气氨抽出,加压后输送至液氨槽车的气相空间,使槽车内压力升高,储罐内压力降低,从而在压力差的作用下,液氨从槽车流向液氨储罐。

卸车泵卸车工艺原理:通过卸车泵,直接将液氨从槽车输送至液氨储罐,利用泵提供的动力,实现液氨的转移。

利用位差卸车工艺原理:利用液氨槽车与液氨储罐之间的高度差,使液氨在重力作用下从槽车流入液氨储罐,无需额外的动力设备,依靠重力势能转化为动能来实现液氨的输送。

以上三种卸车方式均涉及将槽车与储罐之间液相管道及气相管道进行连接。

2 安全风险分析

氨具有可燃性及毒性。如液氨或气氨泄漏,若遇点火

源,可能发生火灾、爆炸事故,若人员吸入可能会造成中毒事故。

(1) 泄露原因分析如下:

①选材:液氨卸车设备、输送管道等选材不合理,密封材料失效、腐蚀穿孔、焊缝开裂、沙眼、设备疲劳断裂等,导致液氨或气氨泄漏。

②制造:液氨卸车设备、输送管道等未选用正规生产厂家生产的设备,设备及管道因制造过程不严谨,后续检测检验不合格导致卸车过程中发生泄漏。

③施工安装:液氨卸车设备、输送管道等安装过程中未选用正规有资质单位进行安装,未严格按照要求进行气密性试验等,后续卸车过程中可能发生泄漏。

④卸车过程:卸车过程中误操作如误开阀门,可能导致泄漏;卸车管道的连接不可靠,可能导致泄漏;若设备、管道等未设置防腐或防腐不符合要求,长期腐蚀导致设备设施强度降低,导致物料泄漏;未制定检查和处置异常工艺状况的处置和报告程序,发现异常工况后不能及时处置,导致泄漏;未设置气体检测报警装置或设置的气体检测报警装置故障,或设置高度不合适、保护半径不足,报警装置故障,且未定期检测,不能及时发现和及时处理泄漏事故,造成其泄漏量增大。

(2) 点火源分析如下:

①明火:未设置“严禁烟火”标识,作业人员在卸车区域吸烟或使用其他明火,槽车未佩戴防火帽。

②静电:作业人员未穿防静电的服装,产生摩擦火花。设备设施、管道静电接地线破损,可能造成静电的积聚,产生电火花。

③雷电:输送管道的防雷接地措施存在缺陷或未设置,如接地线腐蚀断裂,接地电阻未定期检测,遇雷雨天气遭遇雷击。

④电气设备:液氨卸车区域未选用防爆型电气设备或选用的防爆电气防爆等级、防爆形式不符合要求。

⑤非防爆撞击火花:使用非防爆工具进行检维修。

(3) 中毒分析如下:

①作业人员未正确佩戴劳动保护用品,吸入气氨,可能导致中毒事故。

②作业人员缺乏培训,不清楚物料的危险特性、缺乏应急救援知识,液氨泄漏后,不能够及时有效的采取应急救援措施。

③应急救援器材配备不齐全,或未定期对应应急救援器材进行维护、维修,如空气呼吸器欠压后未进行充装等,事故状态下可加剧事故的后果。

3 事故后果计算

本文选取 45m³液氨槽车,利用中国安全生产科学研究院编制开发的《CASST-QRA 重大危险源区域定量风险评价软件 V2.1》进行事故后果模拟计算。

表 1 液氨槽车数据表

序号	装置名称	容积 m ³	状态	介质	数量(t)	操作条件	
						温度°C	压力 MPa
	液氨槽车	45	液体	液氨	1	常温	1.5

将上述有关数据输入中国安全生产科学研究院编制开发的《CASST-QRA 重大危险源区域定量风险评价软件 V2.1》系统,通过软件计算,结果如下表 2:

4 安全设计措施

(1) 防泄漏措施

①液氨罐车卸车采用金属万向管道卸车系统,禁止使用软管装卸。液氨卸车用管符合以下要求:卸车用管与液氨罐车的可靠连接;设置管道拉断阀;选用装卸用管的材料与液氨性质相容;装卸用管材料能够满足低温性能要求;卸用管的公称压力大于装卸系统工作压力的 2 倍,装卸用管的最小爆破压力大于 4 倍的公称压力;对卸车用管必须每年进行 1 次耐压试验,试验压力为卸车用管公称压力的 1.5 倍。

②液氨卸车接头选用具备低残液自锁功能的快速接头。

③卸车系统的管道、法兰、垫片、紧固件选型,选用符合安全规范和国家强制性标准的要求;压力容器与压力管道严格按照国家标准要求进行检验。

④按照《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》的规定在液氨卸车区设置有毒气体检测报警,一旦浓度超过设定值,将立即报警。

⑤建立液氨卸车作业时装卸设施接口连接可靠性确认制度;装卸设施接口不得存在磨损、变形、局部缺口、胶圈或垫片老化等缺陷。

(2) 防火、防爆措施

①采用分散型控制系统 DCS 对卸车泵、储罐的运行过程进行检测、数据处理、过程控制、用电设备状态显示等,采用安全仪表 SIS 系统对装置的设备和卸车过程进行安全联锁保护,实现生产安全、稳定、长期高效运行。

②液氨卸车区为防爆区域,严格执行《爆炸危险环境电力装置设计规范》的规定,配置相应的防爆型或隔爆型电气设备。

③在输送液氨、气氨的物料管线和装置上做防雷防静电接地,所有正常不带电的金属外壳均可靠接地。防静电接地线单独与接地体或接地干线相连,除并列管道外不得互相串接地。

④气氨压缩机、液氨卸车泵不使用皮带传动。若必须使用皮带传动时,选用防静电皮带。

⑤气氨压缩机、液氨卸车泵其出口管道上安装止回阀。

(3) 防毒措施

①卸车装置采用露天化布置,密闭输送,并在可能发生泄漏的部位设置有有毒气体检测报警器,一旦浓度超过设定值,将立即报警。

表 2 液氨槽车事故后果表

危险源	泄漏模式	灾害模式	死亡半径 (m)	重伤半径 (m)	轻伤半径 (m)	多米诺半径 (m)
液氨槽车	容器整体破裂	中毒扩散: 静风, E 类	438	634	874	/
液氨槽车	容器大孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	426	616	848	/
液氨槽车	容器整体破裂	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	396	570	782	/
液氨槽车	容器大孔泄漏	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	386	554	760	/
液氨槽车	管道完全破裂	中毒扩散: 静风, E 类	300	430	586	/
液氨槽车	管道完全破裂	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	272	388	526	/
液氨槽车	阀门大孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	174	246	332	/
液氨槽车	阀门大孔泄漏	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	158	224	300	/
液氨槽车	容器整体破裂	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	134	192	258	/
液氨槽车	容器大孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	132	186	250	/
液氨槽车	容器整体破裂	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	106	148	194	/
液氨槽车	容器大孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	104	144	190	/
液氨槽车	管道完全破裂	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	74	104	138	/
液氨槽车	阀门大孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	54	76	102	/
液氨槽车	容器中孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	47	67	91	/
液氨槽车	阀门中孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	47	67	91	/
液氨槽车	阀门大孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	44	62	82	/
液氨槽车	阀门中孔泄漏	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	42	61	82	/
液氨槽车	容器中孔泄漏	中毒扩散: 1.2m/s, E 类	42	61	82	/
液氨槽车	阀门小孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	30	40	48	/
液氨槽车	管道小孔泄漏	中毒扩散: 静风, E 类	30	40	48	/
液氨槽车	容器物理爆炸	物理爆炸	18	30	52	24
液氨槽车	管道小孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	16	20	22	/
液氨槽车	阀门小孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	16	20	22	/
液氨槽车	阀门中孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	14	21	28	/
液氨槽车	容器中孔泄漏	中毒扩散: 2.1m/s, D 类	14	21	28	/
液氨槽车	阀门小孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	/	20	30	/
液氨槽车	阀门中孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	/	17	23	/
液氨槽车	管道小孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	/	20	30	/
液氨槽车	容器中孔泄漏	中毒扩散: 4.9m/s, C 类	/	17	23	/

②加强操作工人防护措施, 配备必要的空气呼吸器、防毒面具等应急防护用品, 以便事故时能及时自救。

③制订生产安全事故应急救援预案, 对作业人员进行安全教育培训, 使作业人员掌握基本的安全生产常识和基本技能, 了解掌握危险岗位的操作规程和违章操作的危害, 使作业人员自觉遵守安全施工的强制性标准、规章制度和操作规程, 最大限度防止重大事故的发生。

5 安全操作措施

(1) 人员要求

资质方面: 装卸作业人员必须经过专业培训, 考核合格并取得相关资格证书, 熟悉液氨的理化特性、卸车操作流程及应急处理方法。

防护方面: 作业时需穿戴好全套防护装备, 包括防化

服、防毒面具、防护手套、防护眼镜等。

(2) 车辆与设备检查

车辆检查: 检查罐车的阻火器、防静电拖链是否完好有效; 罐体上的安全附件, 如压力表、液位计、温度计、快速切断阀等是否齐全且在校验有效期内; 罐车有无化学品运输资质证、压力容器检验合格证等。

装卸设备检查: 确认卸料导管、阀门等无损坏、无泄漏, 连接牢固; 检查装卸管道的材质、连接方式是否符合要求, 装卸软管设计强度是否不低于装卸系统正常工作压力的 4 倍; 检查静电导除设施是否完好。

(3) 卸车操作要求

前期准备: 槽车应按指定位置停车, 发动机熄火, 拉好手刹, 采取有效制动措施, 如在坡道停车, 车轮应加掩

木；接好接地线，静置 10~20min 充分导除静电。

连接与开启：押运员负责车上软管的连接，罐区卸车人员负责管道的连接和阀门的开关操作。卸料导管应支撑固定，阀门应逐渐开启。若有泄漏，消除后才能恢复卸料。

卸车过程：卸车时应保留罐内有 0.05MPa 以上余压，但最高不得超过当时环境温度下介质的饱和压力；液氨卸料速度不应太快，且要有静电导除设施；当贮罐液位达到安全高度以后，禁止往贮罐强行卸料。

卸车结束：槽车内的物料必须卸净，关闭阀门，收好卸料导管和支撑架；关闭紧急切断阀，并将气液相阀门加上盲板。

6 应急处置措施

(2) 泄漏初期应急措施

预警与报告：一旦发现液氨泄漏，应立即向相关部门和负责人报告，同时启动企业内部的报警装置，发出警报信号，告知所有人员危险情况。

停止相关作业：迅速停止与液氨泄漏源相关的一切作业活动。

设立警戒区：在泄漏现场周围设立明显的警戒标志，根据泄漏情况和风向，确定警戒范围，一般初始隔离半径至少为 150m，并禁止无关人员进入警戒区。

(2) 泄漏控制措施

切断气源：如果可能，应立即关闭液氨储罐或管道的阀门，切断液氨的供应，以阻止泄漏进一步扩大。

喷雾稀释：使用大量的消防水对泄漏的液氨进行喷雾稀释，喷雾时，应从泄漏区域的上风方向进行，避免水流冲击使泄漏扩大。

筑堤堵截：在泄漏液体流淌的方向上，利用沙袋、泥土等材料构筑堤坝，防止液氨四处流淌扩散，将泄漏的液氨控制在一定范围内，便于后续的处理。

吸附或中和：对于少量的液氨泄漏，可以使用砂土、蛭石等惰性材料进行吸附，吸附后的材料应作为危险废物进行处理。

(3) 人员防护和疏散措施

个人防护装备佩戴：进入泄漏现场进行应急处置的人员必须佩戴好相应的个人防护装备，包括正压式空气呼吸器、防化服、橡胶手套、防护靴等，确保自身安全。

人员疏散：组织泄漏区域及周边可能受影响的人员进行疏散，疏散方向应根据风向确定，一般应向上风方向或

侧上风方向疏散。疏散过程中，要保持秩序，避免恐慌和拥挤，确保人员安全撤离到安全区域。

医疗救护：对接触到液氨的人员，应立即进行医疗救护。如果人员皮肤接触到液氨，应迅速脱去被污染的衣物，用大量流动清水冲洗至少 15min，然后就医。若人员吸入氨气，应立即将其转移到空气新鲜处，保持呼吸道通畅，如出现呼吸困难等症状，应立即进行人工呼吸或心肺复苏，并及时送往医院治疗。

7 结论

在液氨槽车卸载作业中，必须特别警惕液氨泄漏可能引发的火灾、爆炸及中毒的安全风险。此类事件的发生，极有可能导致严重的经济损失和人员伤亡，因此，对此类风险的管理应予以高度关注。通过采用金属万向管道卸载系统、选用具备低残液自锁功能的快速接头、应用防爆电气设备、引入 DCS 自动化控制系统和安全仪表 SIS 系统以及有毒气体检测报警系统，并严格执行安全操作规程、加强设备维护、提升操作人员的专业素养、完善应急预案等综合措施，能够显著降低卸载过程中的安全风险，有效控制各种危险和有害因素，从而将事故发生的概率降至可接受的水平。

[参考文献]

- [1]孙万付.危险化学品安全技术全书[M].北京:化学工业出版社,2017.
 - [2]GB50160-2008.石油化工企业设计防火标准(2018 年版)[S].
 - [3]DB11/T1014-2021.液氨使用与储存安全技术规范[S].
 - [4]GB/T50493-2019.石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准[S].
 - [5]GB50058-2014.爆炸危险环境电力装置设计规范[S].
 - [6]HG/T4686-2014.液氨泄漏的处理处置方法[S].
 - [7]HG/T20675-1990.化工企业静电接地设计规程[S].
 - [8]SH/T3012-2011.石油化工金属管道布置设计规范[S].
 - [9]GB39800.2-2020.个体防护装备配备规范第 2 部分:石油、化工、天然气[S].
 - [10]GB/T29639-2020 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则[S].
- 作者简介：杨红宾，毕业院校：中国石油大学（华东），所学专业：安全工程，当前就职单位：河北科防治金安全评价有限公司，职称级别：中级职称。