

# 化工储罐的选型与安全设计要点分析

高天祥

河北英科石化工程有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**近年来,随着我国化工行业的蓬勃发展,化工储罐作为化工生产与储运系统的核心设备,其选型科学性与设计安全性直接决定了化工企业的生产稳定性、环境安全性及经济效益。随着储罐运行年限的增加、国家对危化品企业和重大危险源管控要求日益严格以及相关新版标准的发布实施,化工储罐的选型与安全设计要点面临新的需求与挑战。文章基于核心影响因素分析主流储罐选型逻辑与适用场景,从结构强度、密封防渗、消防应急、监测预警等维度拆解安全设计要点,基于行业技术标准以及设计规范构建“选型-设计-保障”技术体系,为化工储罐设计与安全管控提供参考。

**[关键词]**化工储罐;选型依据;安全设计;结构强度;密封防渗

DOI: 10.33142/sca.v8i12.18755

中图分类号: TQ055.81

文献标识码: A

## Analysis of Selection and Safety Design Points for Chemical Storage Tanks

GAO Tianxiang

Hebei Enco Petrochemical Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In recent years, with the vigorous development of Chinese chemical industry, chemical storage tanks, as the core equipment of chemical production and storage systems, their scientific selection and design safety directly determine the production stability, environmental safety, and economic benefits of chemical enterprises. With the increasing service life of storage tanks, the increasingly strict control requirements for hazardous chemical enterprises and major hazard sources by the country, and the release and implementation of relevant new standards, the selection and safety design points of chemical storage tanks are facing new demands and challenges. The article analyzes the mainstream tank selection logic and applicable scenarios based on core influencing factors, and breaks down the key points of safety design from the dimensions of structural strength, sealing and anti-seepage, fire emergency, monitoring and early warning. Based on industry technical standards and design specifications, a "selection - design - guarantee" technical system is constructed to provide reference for chemical tank design and safety control.

**Keywords:** chemical storage tanks; selection criteria; safety design; structural strength; sealing and anti-seepage

### 引言

化工行业是国民经济支柱,生产储运含大量危险介质<sup>[1]</sup>。化工储罐作为危险介质储存的核心载体,其运行状态的安全性为区域公共安全、周围的生态环境以及企业员工的生命安全有着直接的影响<sup>[2]</sup>。据行业统计数据显示,化工生产安全事故与储罐系统存在相关性,其中设计缺陷引发的结构失效、选型不当导致的适配性问题是主要诱因,化工储罐火灾事故也时有发生。《“十四五”工业绿色发展规划》明确要求,加强化工储罐等特种设备安全风险管控。因此,为了降低储罐安全的风险,保障工业产业链稳定的运行,本文深入分析化工储罐的选型与安全设计要点,以工程需求为导向,先明确储罐选型约束条件,对比分析不同类型储罐特性与场景以形成选型策略;再聚焦安全设计维度,拆解设计要

点与技术要求,为技术人员提供具有实操性的参考依据。

### 1 主流化工储罐类型及选型要点

#### 1.1 立式圆筒形储罐

立式圆筒形储罐是化工行业应用最广的储罐,由罐底、罐壁、罐顶组成,结构简单、造价低、施工成熟、容量调节范围大(50m<sup>3</sup>~100000m<sup>3</sup>),适用于常温常压或低压液态介质储存<sup>[3]</sup>。按罐顶结构分固定顶与浮顶储罐,选型要点不同。

固定顶储罐罐顶固定(如锥形、拱顶),与罐壁刚性连接,密封差,有介质挥发损耗与安全风险。选型要点:适用闪点>60℃、挥发性弱、不易燃爆的液态介质,如乙二醇、柴油等;也可以应用于弱腐蚀性介质的储存或者是中腐蚀性介质的储存,容量一般不超10000m<sup>3</sup>。为了确保生产安全,必须配套呼吸阀、阻火器等安全附件,易燃介

质的固定顶储罐需增设氮封系统。

## 2.2 卧式储罐

卧式储罐罐体选择水平圆筒形,两端为椭圆或碟形封头,占地小、安装便捷、适应地形强,容量一般 $<500\text{m}^3$ ,适用于小容量低压介质储存。主要适用于场地狭小区域(如车间、郊区小化工厂);储存各类液态(含易燃易爆腐蚀性,需匹配材质)、低气压态介质中。在材质选择方面,普通碳钢用于弱腐蚀不易燃介质;碳钢衬胶/衬塑用于中腐蚀常温介质;不锈钢用于强腐蚀有毒介质;玻璃钢用于强腐蚀常温介质。设置鞍式支座;封头与罐壁焊接保证密封与强度;易燃易爆介质储罐配阻火器、呼吸阀等安全附件,安装位置要便于操作监测,且安装位置需便于操作与监测<sup>[4]</sup>。

## 2.3 球形储罐

球形储罐的罐体为球形结构,受力均匀、材料利用率高、单位容积占地小,适用于高压大容量气/液态介质储存,设计压力 $>1.6\text{MPa}$ ,容量 $100\text{m}^3\sim 10000\text{m}^3$ 。在材质选型方面,常温高压选低合金高强度钢(Q345R等);低温高压选低温专用不锈钢(304L等);强腐蚀高压选耐腐蚀不锈钢或哈氏合金等特种材料;在结构设计方面,球壳由多块球瓣拼接,焊接要求极高(100%无损检测);设支柱式支座;配安全阀、压力表等安全附件,具远程监测控制功能;低温储罐配绝热保温与防潮层。主要适用于高压气态介质(氢气、氧气等)、液化石油气/天然气,及高温高压液态介质(如高温熔融盐)。

## 2.4 低温储罐

低温储罐用于储存沸点低于 $-20^\circ\text{C}$ 介质(如液氧、液氮等),核心特点是高效、绝热、保温与低温材质适应,分低温常压、高压储罐两类。低温常压储罐适用于沸点、饱和蒸气压低介质,设计压力 $\leq 0.1\text{MPa}$ ,容量 $100\text{m}^3\sim 10000\text{m}^3$ ,选型关注绝热保温设计、低温材质选型、罐底绝热结构、BOG回收系统;低温高压储罐适用于小容量、移动式储存,设计压力 $>0.1\text{MPa}$ ,容量 $<100\text{m}^3$ ,选型关注高低协同影响,主要选用耐低温高压的材质,配紧急切断阀、高压安全阀等安全附件,具抗震性能。

## 2.5 特种材质储罐

特种材质储罐用于储存强腐蚀、有毒、高温等特殊介质,核心优势是介质适应性强,常见类型有玻璃钢、不锈钢、碳钢衬里储罐。其中玻璃钢储罐适于强腐蚀、常温介质(如浓盐酸等),容量 $5\text{m}^3\sim 500\text{m}^3$ ,选型依介质浓度、温度选树脂类型,控制储罐的使用压力(常压)。不锈钢储罐适于强腐蚀、有毒、高温介质(如硝酸等),容量

$50\text{m}^3\sim 5000\text{m}^3$ ,选型根据介质选择不锈钢牌号,高温罐考虑热膨胀设膨胀节。碳钢衬里储罐适于中强腐蚀、常温介质(如稀盐酸等),容量 $50\text{m}^3\sim 10000\text{m}^3$ ,衬里材料多样,包括橡胶、塑料(PP、PE)、搪瓷等,选型需要匹配介质特性,保障衬里施工质量。

## 2.6 储罐选型流程

为提升选型的科学性与精准性,需遵循“介质特性分析→工况参数匹配→场地与合规校验→经济效益优化”的核心流程,具体流程如图1所示。

## 3 化工储罐安全设计核心要点

### 3.1 结构承载安全设计

#### (1) 基础设计

储罐基础核心作用是分散储罐与介质总重量,防地基不均匀沉降破坏罐体。设计要点如下:

基础类型选择:依地质条件选,软土等低承载力区优先选桩基础(钢筋混凝土预制桩等),传重至深层硬土层;一般地质条件可选环形基础(立式圆筒形储罐用,省料)或筏板基础(大容量重型储罐用,受力均匀)。

地基处理:不均匀、膨胀、湿陷性黄土地基需处理(换填、夯实、挤密法等)提承载力与稳定性;低温储罐基础设隔热层与排水系统。

基础沉降监测:设计预留沉降观测点,投用后定期监测,不均匀沉降量 $\leq 5\text{mm/m}$ ,总沉降量 $\leq 200\text{mm}$ (GB 50341),沉降量超标及时加固(基础注浆、增设支撑)。

#### (2) 罐壁强度设计

罐壁是承受介质压力与外部载荷的核心结构,其强度设计决定储罐承载能力,设计要点如下:

壁厚计算:依储罐类型与工况参数选公式。常压立式圆筒形储罐按“液柱静压力+风载荷”组合算(依GB 50341),公式为 $t=(\gamma H D)/(2[\sigma]\varphi-0.5\gamma H)$ ;高压储罐(球形、卧式)按内压力容器公式算(依GB 150),公式为 $t=(pD)/(2[\sigma]\varphi-p)$ 。

材料选择与焊缝质量控制:材料匹配介质特性与工况温度,常温常压用Q235B、Q345R碳钢;低温用304L、316L不锈钢;高温用15CrMoR耐热钢。焊缝系数 $\varphi$ 依焊接工艺与检测要求定,100%无损检测 $\varphi=0.9\sim 1.0$ ,局部检测 $\varphi=0.7\sim 0.8$ ;罐壁纵、环焊缝无损检测,常压储罐检测比例 $\geq 20\%$ ,高压储罐为100%。

抗风与抗震设计:高度 $>15\text{m}$ 立式储罐设抗风圈与加强圈,抗风圈在罐壁上部1/3高度处,加强圈间距 $\leq 10\text{m}$ ;地震烈度 $\geq 6$ 度区域,储罐进行抗震设计,用弹性抗震分析方法,确保连接部位不撕裂、支座不失稳。

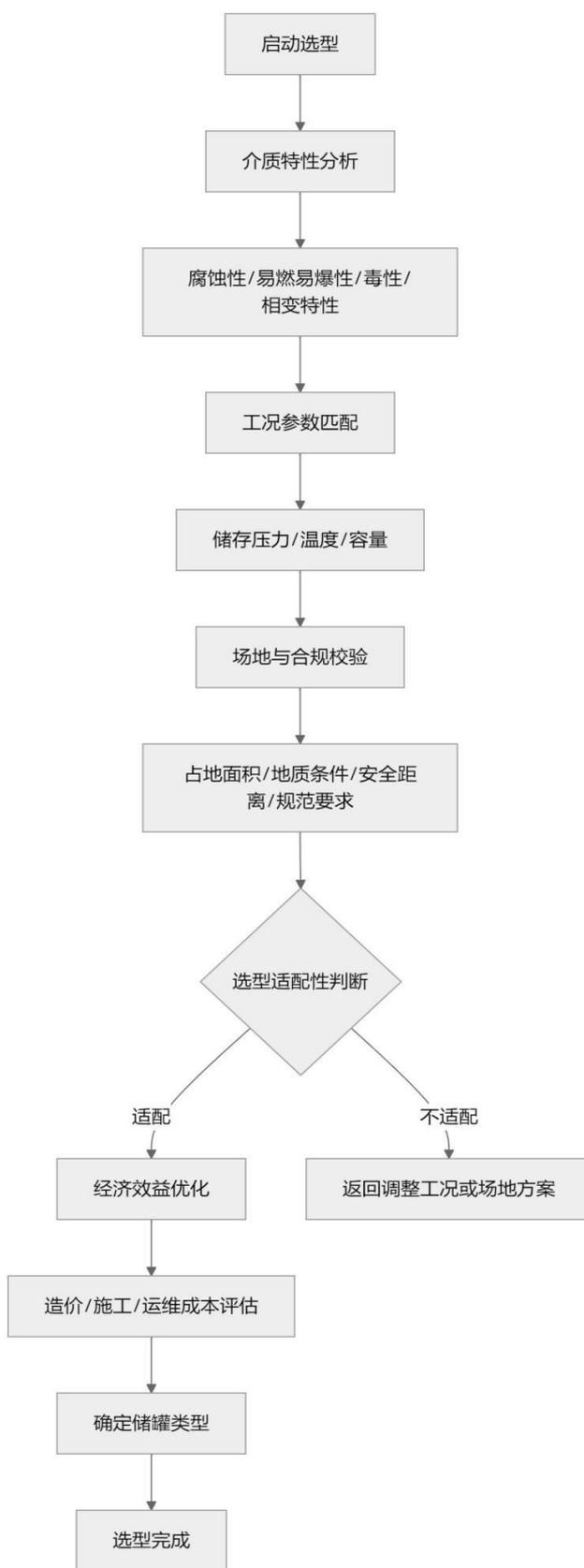


图 1 化工储罐选型流程图

### (3) 罐顶与封头设计

罐顶与封头设计要满足密封与承载要求,防止因压力波动、外部载荷致结构失效:

固定顶设计:锥形顶锥角 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,便于排水排尘;拱顶曲率半径为储罐内径 $0.8\sim 1.2$ 倍,受力均匀。罐顶与罐壁用角焊缝连接,要保证强度与密封性,且设加强筋,提升抗风与承载能力。

浮顶设计:外浮顶浮盘用钢制或铝制,厚度依浮力计算,保证平稳漂浮;浮盘与罐壁密封选高效结构(如弹性填料密封+二次密封),密封间隙 $\leq 5\text{mm}$ 减介质挥发。内浮顶设导向柱与限位装置防倾斜旋转,设浮顶支撑防介质液位低时变形。

高压封头设计:球形、卧式高压储罐封头用椭圆形、碟形或球形,球形受力最均匀、材料利用率高。封头与罐壁焊接用全焊透结构,100%无损检测;封头厚度依设计压力与直径计算,考虑封头成型过程中的厚度减薄量(一般减薄量 $\leq 10\%$ )。

### (4) 支座设计

支座支撑储罐主体,要确保载荷传递均匀、结构稳定:

立式储罐支座:采用裙式支座或支柱式支座,裙式支座适用于大容量重型立式储罐,与基础连接牢、受力均;支柱式支座适用于小容量立式储罐,安装方便。均设地脚螺栓固定,防水平位移;高温储罐支座设隔热垫板,防高温传至基础,导致混凝土碳化。

卧式储罐支座:一般设2个鞍座,大容量可设4个(对称布置)。鞍座与罐体接触面积要大,防局部应力大致罐体变形;设滑动支座(一端固定一端滑动),适应热胀冷缩,减少温度应力。

球形储罐支座:柱数 $4\sim 8$ 根(依储罐容量与直径定),对称布置。支柱与球壳用法兰或焊接连接,焊接要100%无损检测;支柱底部设底板,用地脚螺栓固定,底板下设垫板分散载荷。

## 3.2 密封与防渗安全设计

### (1) 储罐本体密封设计

罐壁与罐底连接密封:采用角焊缝全焊透结构,焊接完成后经煤油渗透或真空箱检测,防止渗漏;强腐蚀介质储罐的连接部位增设衬里层或防腐涂层,强化密封<sup>[5]</sup>。

罐顶与罐壁连接密封:固定顶储罐用螺栓+密封垫(依介质选兼容材料,如丁腈橡胶用于烃类、氟橡胶用于强腐蚀介质);浮顶储罐用弹性填料等高效密封,外浮顶增设二次密封;内浮顶储罐固定顶与罐壁密封,且设呼吸阀与氮封接口维持微正压,减少介质泄漏。

接管与罐体连接密封:进料管等接管与罐体用法兰(选标准如HG/T 20592,配专用密封垫,螺栓紧固力矩均匀)或焊接(全焊透结构,无损检测)连接,确保密封可靠。

### (2) 安全附件密封设计

呼吸阀、安全阀、紧急切断阀、液位计等安全附件的密封性能直接影响储罐的密封效果,设计要点如下:

呼吸阀密封:选带密封装置(如全天候型)呼吸阀,阀瓣与阀座密封面精密加工。开启压力 $2\text{kPa}\sim 5\text{kPa}$ 、关闭压力 $-1\text{kPa}\sim 3\text{kPa}$ ,依据储罐工况设定,防止压力波动而导致介质泄漏。

安全阀密封:高压储罐用密封性好的弹簧式安全阀,阀座与阀芯用硬质合金密封面,正常工作压力下无泄漏。整定压力为设计压力 $1.05\sim 1.1$ 倍,设置安全阀旁路,便于检修且不影响储罐的使用。

紧急切断阀密封:进、出料管设气动或液压驱动紧急切断阀,密封等级达API 607标准。与液位计、压力表联动,在液位或压力超标时自动关闭阀门,切断介质输送。

## 3.3 消防安全设计

化工储罐消防与应急设计要构建“预防-控制-扑灭-应急”全链条体系,降低事故损失,核心要点如下:

消防系统设计:主要依据介质的特性选合理选择消防系统。

固定喷淋冷却系统:适用于易燃易爆介质储罐,喷头均匀布于顶部与罐壁周围,每平方米罐壁喷淋水量 $\geq 5\text{L}/\text{min}$ ,水压 $\geq 0.3\text{MPa}$ 。

泡沫灭火系统:用于油类介质储罐,分固定与移动式,大容量优先固定式。泡沫液匹配介质,抗溶性用于醇类等,普通蛋白用于烃类,喷射时间 $\geq 30\text{min}$ ,覆盖厚度 $\geq 1.5\text{m}$ 。

干粉灭火系统:针对易燃气体、可燃液体储罐,设于顶部或周边,喷头对准关键部位,干粉储备量每立方米容积 $\geq 0.5\text{kg}$ ,与火灾探测器联动自动喷射。

惰性气体保护系统:用于易燃易爆有毒介质储罐,充入氮气等维持微正压( $0.5\text{kPa}\sim 2\text{kPa}$ ),氧气浓度 $\leq 8\%$ ,设压力调节、流量计量、止回阀,压力异常时自动调节。

## 3.4 应急排放系统设计

应急排放系统可在储罐超压、超温或泄漏时,将介质安全排至事故罐、火炬系统指定地点,防止事故扩大,设计要点如下:

紧急排放阀设计:储罐设大口径、快开型紧急排放阀,公称直径依最大排放流量定(一般 $\geq \text{DN}200$ ),设于储罐底部或下部。排放阀采用手动+自动控制,自动与压力、

温度变送器联动,罐内的温度或压力超设定值时,可以自动开启排放阀。

**排放管道设计:**选择与介质兼容材质,直径与排放阀匹配,防止压力损伤过大或发生导管堵塞的问题。排放管道设坡度( $\geq 3\%$ )便于介质自流,易燃、易爆介质管道设防静电接地装置(接地电阻 $\leq 10\Omega$ )。

### 3.5 监测与预警安全设计

监测与预警设计是储罐安全风险防控关键,需构建多参数监测系统并联动处置,具体如下

**液位监测:**依储罐类型与介质特性选液位计,雷达液位计不受多种因素影响,适配复杂结构储罐;超声波液位计安装便捷、成本低;磁翻板液位计直观且可远传,适于中小型常压储罐。需设高、低液位报警及连锁功能,报警阈值依储罐容积和工况定。

**压力监测:**用压力变送器实时监测罐内压力,高压、低温储罐选高精度压力变送器(精度等级 $\leq 0.5$ 级),常压储罐选普通型。设超压、负压报警及连锁功能,超压报警值不超设计压力90%。

**温度监测:**高温介质( $>100^\circ\text{C}$ )选热电偶,低温介质( $<-20^\circ\text{C}$ )选专用低温热电阻,常温介质选普通PT100热电阻。

**泄漏监测:**易燃、易爆、有毒气态或易挥发液态介质,在易泄漏点设固定式气体检测报警器,检测精度满足介质职业接触限值要求;液态腐蚀性介质,在储罐底部、基础

防渗层设液体泄漏检测电缆或渗透传感器。

## 4 结论

化工储罐选型与安全设计是化工企业安全生产关键,核心是实现“介质特性-储罐类型-工况条件-安全设施”精准匹配。本文对比分析了多种储罐适用场景与要点,从四大维度拆解安全设计要点与技术要求,形成全流程、多维度安全设计体系,为技术人员提供参考。此外,随着行业规范的不断完善与绿色低碳理念推进,将推动储罐材质、工艺及安全设施创新,为其安全、高效、环保运行提供技术支撑。

### [参考文献]

- [1]陈永明,付振平,郭必泛,等.防火涂料的研究进展[J].涂料工业,2024,54(3):54-58.
- [2]施源.储罐的选型及布置[J].安徽化工,2013,5(39):72-74.
- [3]孙军,雍德,岳辉.储油罐安全附件常见问题及维护[J].中国石油和化工标准与质量,2015(1):91.
- [4]徐昀,程刚,吴晓梅,等.浅谈大型储罐安全附件的设计[J].化工设备与自动化,2010,2(36):56-57.
- [5]呼义超.油库区火灾应急处置过程事故后果预测研究[D].大连:大连海事大学,2021.

作者简介:高天祥(1995.3—),毕业院校:河北工业大学城市学院,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:河北英科石化工程有限公司,职务:工艺工程师,职称级别:工程师。