

化工常压储罐结构设计优化及其稳定性分析

茅佳雨（中国石化扬子石油化工有限公司，江苏 南京 211500）

摘要：化工常压储罐在长期运行中面临腐蚀、变形和载荷变化等多种挑战，可能导致结构失效甚至安全事故。优化储罐结构设计，结合先进的稳定性分析方法，能够有效降低风险，延长设备使用寿命。基于此，以下对化工常压储罐结构设计优化及其稳定性进行了探讨，以供参考。

关键词：化工常压储罐；结构设计优化；稳定性分析

0 引言

化工常压储罐作为储存液体物料的重要设备，其结构设计的合理性和稳定性直接关系到生产安全和经济效益。随着化工行业对储罐容量和性能要求的不断提高，传统设计方法已难以满足需求。通过优化储罐结构设计并进行稳定性分析，能够提升其安全性和可靠性，为化工生产提供更高效的储存解决方案。

1 化工常压储罐结构组成

化工常压储罐是储存液体物料的重要设备，其结构组成主要包括罐体、罐底、罐顶、附件及基础等部分。罐体是储罐的主体结构，通常由钢板焊接而成，其形状多为圆柱形，具有较大的容积和较高的强度，能够承受内部液体的静压力和外部环境的影响。罐底是储罐的底部结构，通常采用平底或锥形底设计，平底结构简单且易于制造，而锥形底则有利于液体排空和清洁。

罐顶是储罐的顶部结构，常见形式有固定顶和浮顶两种，固定顶结构简单且成本较低，适用于储存不易挥发的液体，而浮顶则能够减少液体挥发和环境污染，适用于储存易挥发液体。附件包括进出料口、人孔、通气阀、液位计和温度计等，这些附件为储罐的正常运行和维护提供了必要的功能支持。基础是储罐的支撑结构，通常由混凝土浇筑而成，其设计需考虑储罐的重量、液体载荷及地质条件，以确保储罐的稳定性和安全性。化工常压储罐的结构组成在设计时需综合考虑储存物料的性质、操作条件及环境因素，以确保其安全、可靠和经济地运行。

2 化工常压储罐结构稳定性分析

2.1 静态稳定性分析

化工常压储罐的静态稳定性分析是评估其在静止状态下承受载荷能力的关键环节。储罐在运行过程中需承受内部液体的静压力、罐体自重以及外部环境载荷等多种静态力的作用。通过静态稳定性分析，能够

确定储罐在不同工况下的应力分布和变形情况，确保其结构安全。例如，采用有限元分析方法，对储罐的应力集中区域进行精确计算，优化结构设计，减少应力集中现象。

同时，静态稳定性分析还需考虑储罐的局部稳定性，如罐壁的屈曲和罐底的变形等。通过优化罐壁厚度和加强环的设计，能够提高罐体的抗屈曲能力，确保其在高压下的稳定性。此外，静态稳定性分析还需评估储罐基础的承载能力，确保其能够均匀分布载荷，防止因基础沉降导致的结构损坏。研究表明，经过静态稳定性分析的储罐，其结构安全性和可靠性显著提升，能够有效避免因静态载荷导致的失效事故。因此，静态稳定性分析是化工常压储罐结构设计的重要环节，为其安全运行提供了科学依据。

2.2 动态稳定性分析

化工常压储罐的动态稳定性分析是评估其在动态载荷作用下结构响应的重要方法。储罐在运行过程中可能受到地震、风载、液位波动等动态载荷的影响，这些载荷可能导致储罐产生振动、变形甚至破坏。通过动态稳定性分析，能够确定储罐在动态载荷下的应力分布和振动特性，确保其结构安全。例如，采用模态分析方法，对储罐的固有频率和振型进行计算，优化结构设计，避免共振现象的发生。

同时，动态稳定性分析还需考虑储罐的液体晃动效应，液体晃动可能对罐壁产生额外的动态载荷，导致结构损坏。通过优化罐顶和罐壁的设计，能够减少液体晃动的影响，提高储罐的动态稳定性。此外，动态稳定性分析还需评估储罐在地震等极端条件下的响应，确保其能够承受地震力的作用，防止因地震导致的倒塌事故。

研究表明，经过动态稳定性分析的储罐，其结构安全性和抗震性能显著提升，能够有效应对动态载荷的挑战。因此，动态稳定性分析是化工常压储罐结构

设计的重要环节，为其在复杂工况下的安全运行提供了科学保障。

2.3 疲劳稳定性分析

化工常压储罐的疲劳稳定性分析是评估其在长期循环载荷作用下结构耐久性的重要方法。储罐在运行过程中可能受到液位变化、温度波动和机械振动等循环载荷的影响，这些载荷可能导致储罐产生疲劳裂纹和结构失效。通过疲劳稳定性分析，能够确定储罐在循环载荷下的应力幅值和疲劳寿命，确保其结构安全。例如，采用疲劳寿命预测方法，对储罐的疲劳裂纹萌生和扩展进行计算，优化结构设计，提高其抗疲劳性能。

同时，疲劳稳定性分析还需考虑储罐的焊接接头和应力集中区域的疲劳强度，这些区域往往是疲劳裂纹的易发部位。通过优化焊接工艺和结构设计，能够减少焊接缺陷和应力集中，提高储罐的疲劳寿命。此外，疲劳稳定性分析还需评估储罐在长期运行中的材料性能退化，如腐蚀和老化等，确保其能够承受长期循环载荷的作用。

研究表明，经过疲劳稳定性分析的储罐，其结构耐久性和安全性显著提升，能够有效避免因疲劳导致的失效事故。因此，疲劳稳定性分析是化工常压储罐结构设计的重要环节，为其长期安全运行提供了科学依据。

3 化工常压储罐结构设计优化

3.1 储罐氮封系统的应用

该系统通常由氮气调压阀、呼吸阀及紧急泄放人孔三大核心组件构成（如图 1 所示），形成一个完整的压力调节体系。当储罐内部压力达到预设阈值时，氮封系统通过呼吸阀将多余气体安全排放至大气中。这种设计特别适用于处理环境友好型介质，且符合相关安全规范要求。然而，对于高粘度或易结晶的介质，系统选型需格外谨慎，以防气门阻塞影响系统正常运行。图 2 展示了该系统的标准操作流程。当压力低于预设阈值时，补气阀（如自动调节阀或调压阀）启动，向储罐内注入氮气。若压力持续偏低，呼吸阀将自动开启，吸入外部空气。

若问题仍未解决，紧急泄放人孔将启动，迅速恢复储罐压力。一旦压力恢复正常，操作人员需使用氮气或其他惰性气体逐步替换吸入的空气，以防止材料因接触空气而劣化，并消除潜在的爆炸风险。当储罐压力过高时，排气阀门开启，将多余气体排入废气处

理系统；若压力持续超标，吸气管线阀门将启动，引入氮封气体以维持正常压力。图 3 展示了一种创新的密封系统，结合了氮气密封、液体密封以及呼吸人孔，旨在有效防止罐体内部的正负压力波动。该系统通过多重防护机制，确保容器在各种材料体系中的安全性和稳定性。氮气密封层能够隔绝外部空气，防止氧化反应。

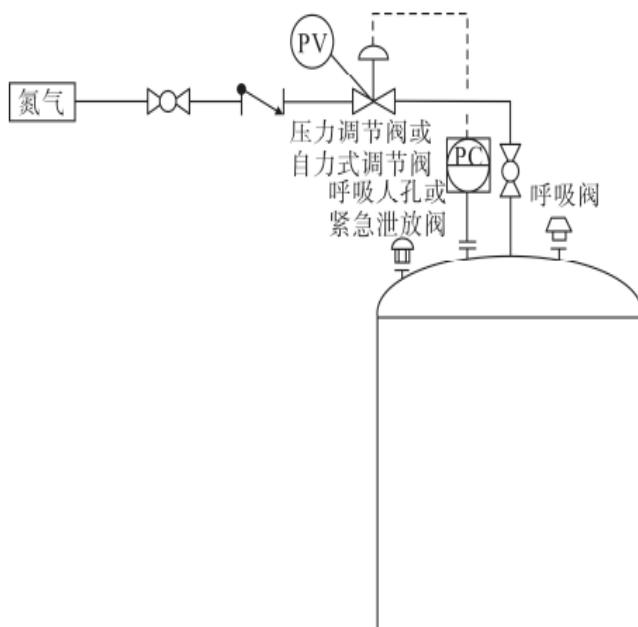


图 1 氮封系统 + 呼吸阀 + 紧急泄放人孔

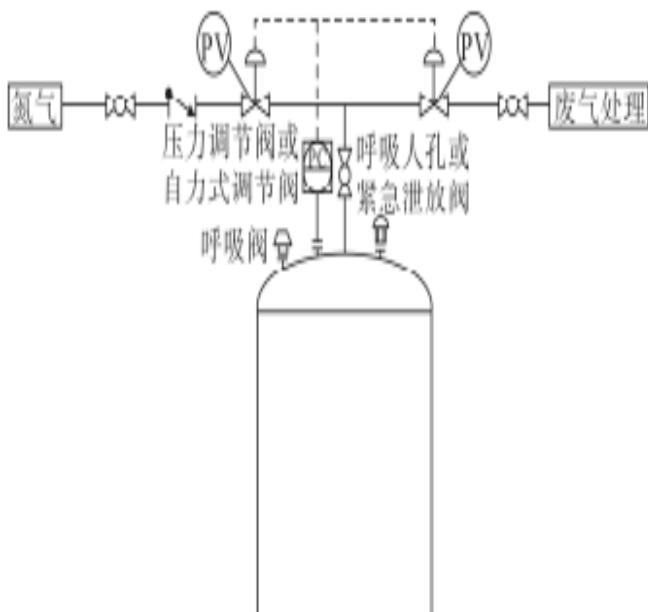


图 2 氮封系统 + 排气阀 + 呼吸阀 + 紧急泄放人孔

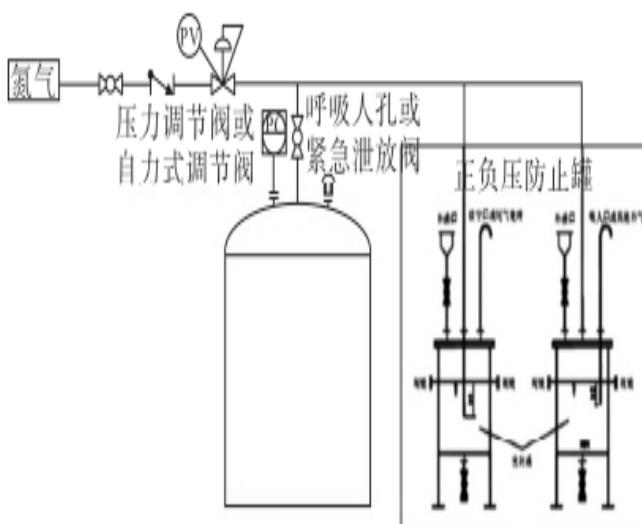


图 3 氮封系统 + 正负压防止罐 + 呼吸人孔

3.2 采用先进材料与制造工艺

化工常压储罐结构设计优化中，采用先进材料与制造工艺是提升其性能的重要手段。传统储罐多采用普通碳钢材料，存在易腐蚀、强度不足等问题，难以满足现代化工生产的需求。通过选用高性能材料，如不锈钢、双相钢和复合材料等，能够显著提高储罐的耐腐蚀性和强度，延长其使用寿命。例如，不锈钢材料具有良好的耐腐蚀性和机械性能，适用于储存腐蚀性液体；双相钢则兼具高强度和高韧性，适用于高压和低温环境。此外，采用先进的制造工艺，如激光焊接、数控加工和自动化装配等，能够提高储罐的制造精度和一致性，减少人为误差和缺陷。例如，激光焊接技术能够实现高精度焊接，减少焊缝处的应力集中；数控加工技术则能够确保零部件的尺寸精度和表面质量。研究表明，采用先进材料与制造工艺的储罐，其性能和可靠性显著提升，能够更好地满足化工生产的需求。因此，采用先进材料与制造工艺是化工常压储罐结构设计优化的重要措施，为其高效运行提供了有力支持。

3.3 优化结构布局与附件设计

化工常压储罐结构设计优化中，优化结构布局与附件设计是提升其功能性和操作性的关键措施。传统储罐的结构布局和附件设计往往存在不合理之处，导致操作不便和维护困难。通过优化结构布局，能够提高储罐的空间利用率和操作便利性。例如，合理布置进出料口和人孔位置，能够减少液体残留和操作难度；优化罐顶和罐底的连接方式，能够提高结构的整体稳定性和密封性。同时，优化附件设计能够提高储罐的功能性和安全性。例如，采用高效通气阀和液位计，

能够实时监测储罐内的压力和液位，确保其安全运行；优化温度计和压力表的安装位置，能够提高监测数据的准确性和可靠性。此外，优化结构布局与附件设计还能够降低储罐的维护难度和频率，减少因操作不当导致的损坏和事故。研究表明，经过优化结构布局与附件设计的储罐，其功能性和操作性显著提升，能够更好地满足化工生产的需求。因此，优化结构布局与附件设计是化工常压储罐结构设计优化的重要措施，为其高效运行提供了有力支持。

3.4 引入智能化监测与控制系统

化工常压储罐结构设计优化中，引入智能化监测与控制系统是提升其安全性和运行效率的重要策略。传统储罐的监测和控制主要依赖人工操作，存在效率低、误差大和响应慢等问题，难以满足现代化工生产的高要求。通过引入智能化监测与控制系统，能够实现对储罐运行状态的实时监控和自动控制，提高其安全性和运行效率。智能化控制系统能够根据监测数据自动调整储罐的运行参数，如液位控制和温度调节，确保其在最佳状态下运行。此外，智能化监测与控制系统还能够实现故障预警和自动诊断，及时发现潜在问题并采取相应措施，避免事故的发生。引入智能化监测与控制系统的储罐，其安全性和运行效率显著提升，能够更好地满足化工生产的需求。

4 结束语

化工常压储罐结构设计优化及其稳定性分析的研究，显著提升了储罐的安全性和可靠性。通过优化设计和科学分析，能够有效降低储罐运行中的风险，延长其使用寿命。未来，应进一步结合新材料和新技术，推动储罐设计的创新发展，为化工行业的安全高效运行提供更坚实的保障。

参考文献：

- [1] 管强强, 陈广怀, 许国柱, 等. 危险化学品常压储罐的安全防护措施分析 [J]. 浙江化工, 2025, 56(01):37-44.
- [2] 李凌浩. 密闭常压储罐安全设计与应用研究 [J]. 中国氯碱, 2024, (10):41-45.
- [3] 王鑫. 常压储罐氮封系统的设计 [J]. 辽宁化工, 2024, 53(06):970-972.
- [4] 赵杰, 刘延峰, 彭锡文, 等. 集输系统常压储罐隐患治理方案分析 [J]. 石油和化工设备, 2023, 26(01):129-132.
- [5] 丁志千, 胡健, 张子健, 等. 危化品常压储罐 RBI 计算过程中损伤系数目标值的选取 [J]. 化工机械, 2022, 49(06):863-868.