

铝合金筒体受热变形的数值模拟

蔡洪乐^{1*}, 李英杰², 刘长春¹, 孟宣艺¹, 姜京伟¹

(1. 山东未来机器人有限公司技术开发部, 山东 威海 264200; 2. 烟台打捞局技术中心, 山东 烟台 264012)

摘要: 铝合金因其轻质、耐腐蚀和良好的导热性等优点, 在水下机器人行业中得到了广泛应用, 尤其在制造外壳、框架等关键部件时具有显著优势。然而, 铝合金的热膨胀系数相对较高, 这在存放或加热过程中容易导致筒体产生较大的变形, 进而影响其尺寸精度和机械性能, 甚至可能引发结构失效, 给水下机器人的正常运行带来安全隐患。为了解决这一问题, 本文基于 Ansys 分析软件, 以内径 $\Phi 520$ mm、壁厚 12 mm 的铝合金筒体为例, 通过模拟分析, 对其在不同结构形态下的热膨胀行为进行了深入研究。在此基础上, 结合实体测试验证了模拟结果的准确性, 并进一步优化了铝合金筒体的存放及加热方法。

关键词: 铝合金; 热膨胀系数; 水下机器人; Ansys

中图分类号: U668.2

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0098—03

1 引言

随着经济和科技水平的不断发展, 尤其是近年来“海洋强国”政策的推动, 水下机器人领域受到了前所未有的关注, 行业发展迅猛^[1,2]。水下机器人在吊放时通常会配备 Lars (收放系统) 和作业船等配套设备, 而机器人的重量会直接影响这些配套设备的吊重能力和吨位。如果机器人自重过大, 不仅会增加收放风险, 还可能导致作业效率降低, 因此在设计时, 水下机器人的重量是一个关键指标。此外, 水下机器人材料的质量和耐腐蚀性也显得尤为重要, 因为它们直接关系到机器人在恶劣海洋环境中的可靠性和使用寿命^[3]。

铝合金, 尤其是 5 系、6 系、7 系中的多种牌号, 因其优异的物理、力学性能以及加工和处理后的抗腐蚀性能, 在多种行业中得到了广泛应用, 尤其是在水下机器人行业。然而, 铝合金的热膨胀系数较高, 在存放或进行过渡、过盈配合时, 尤其是在涉及热装的圆柱筒体中, 时常会发生加热后椭圆变形或受季节影响材料自身变形, 导致装配困难或需要临时二次加工^[4]。为此, 本研究以内径 $\Phi 520$ mm、厚度 12 mm、局部厚度 22 mm 的筒体为例, 基于 Ansys 分析软件, 并结合实际产品数据, 对铝合金筒体在两种加热形态下的变形进行了深入分析^[5]。通过模拟不同结构形式和不同加热方法对铝合金筒体变形量的影响, 旨在为水下机器人行业提供更为科学合理的材料选择和工艺优化方案, 以提高产品的性能和可靠性。

2 实验部分

2.1 不同结构形式筒体水平加热变形分析

2.1.1 两端无法兰, 散热槽径向排布

两端无法兰, 散热槽径向排布几何体建模, 几何体壳体底面创建 4° 接触面。并采取六面体网格单元进行网格划分, 如图 1 所示。随后对接触面施加远程位移约束, 接触面位于筒体两端近地位置, 同时对静态结构施加标准地球加速度。

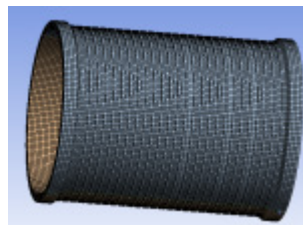


图 1 网格划分

添加温度约束条件, 本文以从室温 22°C 加热至 150°C 为例, 建立一个圆柱坐标系, 分析圆柱定向变形, 如图 2 和图 3 所示。

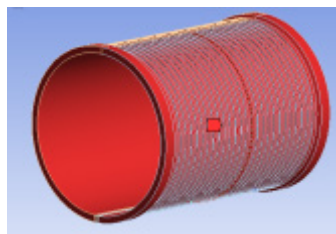


图 2 添加加热条件

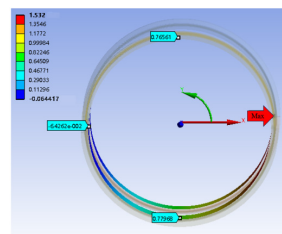


图 3 加热定向变形云图

从筒体变形云图可看出筒体从室温 22°C 加热到 150°C 圆周最大变形量大概 1.5 mm, 椭圆量最大 15 丝。

由于针对不同结构形式筒体水平加热变形分析的方法是相同的, 因此下面不再赘述, 只罗列分析结果云图。

2.1.2 两端无法兰, 散热槽轴向排布

两端无法兰, 散热槽径向排布几何体建模如下, 如图 4 所示。并且从图 5 可以看出, 筒体从 22°C 加热至

150℃，筒体圆周最大变形量大概 1.59 mm，椭圆度最大 13 丝。

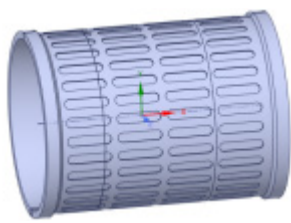


图 4 模型

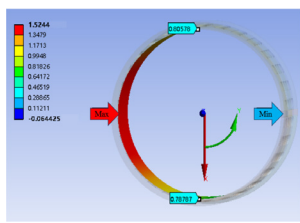


图 5 加热定向变形云图

2.1.3 两端带法兰，散热槽径向排布

从图 6 和图 7 可以看出，筒体加热到 150℃，最大变形量 1.59 mm，椭圆度大概 9 丝。

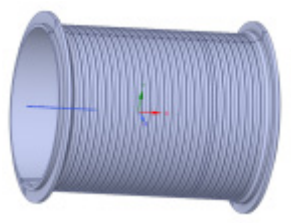


图 6 模型

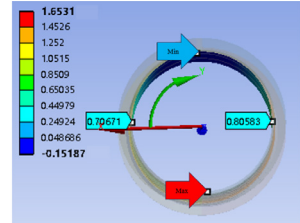


图 7 加热定向变形云图

2.1.4 两端带法兰，散热槽轴向排布

从图 8 和图 9 可以看出，筒体加热到 150℃，最大变形量 1.5 mm，椭圆度大概 10 丝。

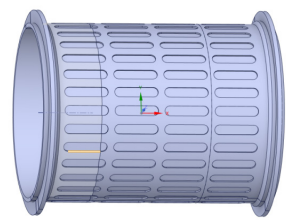


图 8 模型

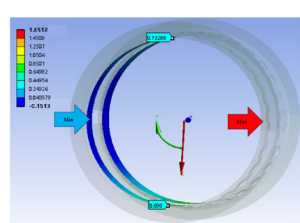


图 9 加热定向变形云图

2.2 不同结构筒体垂直加热变形

网格划分方法和热交换条件设置与 2.1 节相同，此处不再赘述。不同之处在于施加的标准加速度方向是沿着筒体的轴线方向。

在设置约束条件时，在垂直接触面施加位移约束，使得该面在垂直方向的位移自由度为 0。此外，在靠近接触面端部添加一段小圆柱面，对该圆柱面施加远程位移约束，约束其在除垂直方向外的其他两个方向的位移自由度为 0，并且限制其在垂直方向的旋转角度也为 0。

从图 10 可以看出，当筒体加热至 150℃时：图（a）显示的是两端无法兰且散热槽径向排布的工况，图（b）显示的是两端无法兰且散热槽轴向排布的工况，图（c）展示的是两端带法兰且散热槽径向排布的工况，图（d）展示的是两端带法兰且散热槽轴向排布的工况，这几种工况的最大变形量皆为 1.516 mm，椭圆度也接近 0。

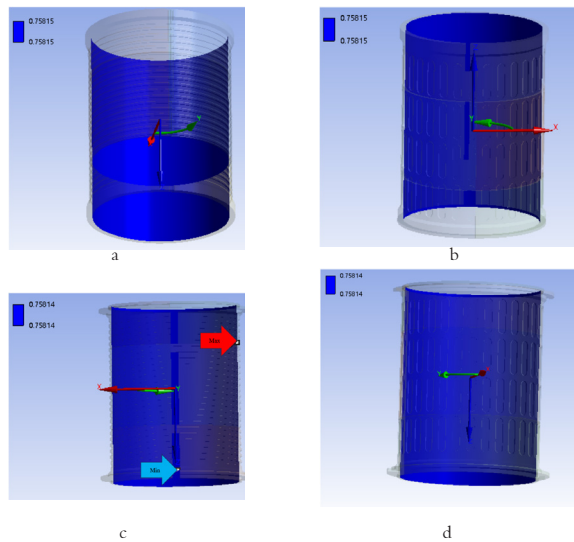


图 10 筒体加热定向变形云图

3 结果与讨论

四种不同型式的铝合金筒体由室温水平及垂直加热 150℃，筒体最大变形量及椭圆量汇总如表 1 和表 2 所示。

表 1 不同加热方式筒体最大变形量对比

Maximum deformation / mm	Radial cooling slots (flangeless)	Axial cooling slots (flangeless)	Radial cooling slots (with flanges)	Radial cooling slots (with flanges)
Horizontal heating	1.5	1.59	1.59	1.5
Vertical heating	1.516	1.516	1.516	1.516

表 2 不同加热方式筒体椭圆度对比

Ellipticity / mm	Radial cooling slots (flangeless)	Axial cooling slots (flangeless)	Radial cooling slots (with flanges)	Radial cooling slots (with flanges)
Horizontal heating	0.15	0.13	0.09	0.1
Vertical heating	0	0	0	0

通过对比表格中的数据可以分析得出，水平加热和垂直加热对筒体的最大变形量影响不大，但垂直加热在控制筒体变形椭圆度方面表现更佳。在水平加热条件下，法兰结构显著改善了筒体的椭圆度趋势。

4 结论

在垂直加热过程中，铝合金筒体的结构型式对其最大变形量和椭圆度的影响较小。然而，在水平加热过程中，尽管结构型式对最大变形量的影响不大，但筒体会受到重力的影响，导致椭圆度的变化趋势更加明显。采用法兰结构型式可以有效改善这种椭圆度的变化趋势。

建议在运输、存储和加热过程中将铝合金筒体垂直放置。此外，在设计铝合金筒体的过盈配合结构时，应考虑在温度变化的使用环境中，不同材质的结构热膨胀

港口危险货物集装箱堆场的安全设计要点

陈卓^{*}, 张晋恺, 汪悦平

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要: 港口危险货物集装箱堆场是港区内露天堆存危险货物集装箱的专用场所, 是港口运输的重要组成部分。因其具有的危险特性, 安全设施的设计至关重要。本文以天津港某新建危险货物集装箱堆场工程为例, 通过对相关规范的应用及选址、环境影响评价等专项报告提出的措施、要求的总结, 从多方面分析港口危险货物集装箱堆场的安全设计原则和要点, 以期类似工程设计提供借鉴。

关键词: 港口; 危险货物集装箱; 堆场; 安全

中图分类号: U653.7

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0100—04

天津港是我国沿海最早开展国际海上集装箱运输的港口, 其中危险货物集装箱运量一直保持增长的态势, 2014 年吞吐量达 12.2 万 TEU。但是, 受天津瑞海火灾爆炸事故影响, 2015 年天津港暂停了危险货物集装箱作业, 直至 2017 年 9 月才恢复第 8 类、第 9 类危箱的作业。而天津港作为华北地区最大港口, 连接东北亚与中西亚, 又是京津冀的海上门户, 缺少第 2 类至第 6 类危箱的疏运能力, 极大限制了其枢纽港口作用的发挥。因此, 天津港亟需按新标准建设具有第 2 类至第 6 类危箱存储作业功能的危险货物集装箱堆场。

在此背景下, 天津港某新建危险货物集装箱堆场工程应运而生。本文通过此工程设计过程的规范应用及各项专项评估、论证报告的安全设计要求, 从多方面总结港口危险货物集装箱堆场的安全设施设计原则和要点, 以期类似项目的设计提供参考借鉴。

1 工程概述

天津港某新建危险货物集装箱堆场工程(下称“本工程”)占地 9.9 万 m², 设计周转箱量 3.4 万 TEU/年, 堆场共布置箱位数 960 TEU, 接卸危险货物集装箱类别为第 2.1 项、第 2.2 项、第 3 类、第 4.1 项、第 4.2 项、第 4.3 项、第 5.1 项(硝酸铵类除外、不宜太阳直射需遮阳危险货物除外)、第 5.2 项、第 6.1 项、第 8 类、第 9 类(硝酸铵基化肥除外), 共 7 类 11 项。

本工程具备堆存、拆装箱、查检及入库堆存功能, 主要建设危箱堆场区(含冷危箱区)、辅建区、甲类仓库、查检用房、应急处理区、流机停放区、闸口区等设施。辅建区内布置综合楼、消防救援中心、实训楼(供安全培训使用)、变电所、消防泵房等辅助建(构)筑物, 同时还设置了维修场地、车棚等, 平面布置详见图 1。

本工程装卸工艺为: 危箱采用集装箱正面吊进行装卸车及拆码垛作业, 配置低门架防爆叉车进行拆装箱及

量不同, 这可能会导致结构配合失稳。

参考文献:

[1] 王有哲. 耕海谋强逐梦深蓝[N]. 中国水运报, 2024-11-25(002).

[2] 张瑞涛, 薛彬. 水下无人装备发展、应用与展望[J]. 航天电子对抗, 2024, 40(05): 59-64.

[3] 高志康, 李平, 周芳, 等. 海上升压站导管架裙桩套筒结构局部强度分析[J]. 中国水运, 2024, (13): 155-157.

[4] 于芯悦, 王建国, 丛福官, 等. 铝合金挤压技术的研究现状[J]. 轻合金加工技术, 2024, 52(04): 1-9.

[5] 张磊, 熊永亮. 铝合金在船舶工程中的应用实践[J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(08): 7-9.