

某型医疗救护单元仿真分析及优化设计研究

乔芳 周昊 安傲坤

航宇救生装备有限公司总体技术研发部, 湖北 襄阳 441003

[摘要] 本文针对某型医疗救护单元担架整体脱出故障, 首先, 利用仿真计算明确故障原因为挂钩和安装支架刚度不足和搭接量不足; 其次, 依据故障原因提出某型医疗救护单元优化整改措施, 并对优化后的结构进行有限元仿真; 最终通过试验验证优化结构。本文利用仿真方法不但提高了工程实际中故障的解决速率, 也为结构设计及改进提供技术支持。

[关键词] 医疗救护单元; 有限元仿真; 优化; 试验验证

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16657

中图分类号: TB123

文献标识码: A

Simulation Analysis and Optimization Design Research of a Certain Type of Medical Rescue Unit

QIAO Fang, ZHOU Hao, AN Aokun

Overall Technology Research and Development Department of Aerospace Life Saving Equipment Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441003, China

Abstract: This article focuses on the overall detachment fault of a certain type of medical rescue unit stretcher. Firstly, simulation calculations are used to determine that the cause of the fault is insufficient rigidity and overlap of the hooks and installation brackets; Secondly, based on the cause of the malfunction, propose optimization and rectification measures for a certain type of medical rescue unit, and conduct finite element simulation on the optimized structure; Finally, the optimized structure was verified through experiments. This article uses simulation methods not only to improve the speed of fault resolution in engineering practice, but also to provide technical support for structural design and improvement.

Keywords: medical rescue unit; finite element simulation; optimization; test verification

引言

为加快救治、转运伤员的速率, 减少伤员的死亡率和残疾率, 需要使用合适的工具(如担架)将伤员转运至各级医疗机构进行救治。目前国内外关于担架的研究很多, 出现了各种各样的急救担架^[1-3]。张军^[4]等主要讲述了担架转轮附属装置的研制过程及应用场景。李风杰^[5]等主要讲述了民用航空担架的研究现状及目前所发挥的主要作用, 并总结了民用航空担架的技术发展趋势。常蓓^[6]等主要讲述急救轮式担架的重要性及其设计过程。张鑫葵^[7]等主要研究医疗底板改装结构的优化设计问题, 将飞机加装医疗设备达到应急救援的目的, 最终对底板进行试航验证和强度验证。

对于某型直升机而言, 需在其上安装医疗救护单元; 其中核心问题为满足试航要求的强度指标和刚度指标。某型医疗救护单元在进行试航安全试验(某一方向)中, 发生担架中部挂钩脱出导致整体结构功能失效现象, 严重影响医疗救护单元的正常使用。

本文建立某型医疗救护单元有限元仿真模型, 依据仿真结果确定故障原因; 依据故障的原因提出某型医疗救护单元的优化改进方案, 并对优化改进方案进行仿真计算; 最后进行试验验证。

1 故障概述

某型医疗救护单元在进行试航安全试验(向上加载)

中, 出现担架中部挂钩脱出导致担架整体结构功能失效情况, 如图 1 所示。对试验现场进行检查, 发现挂钩和锁定支架均未发生破坏和明显的塑性变形。



图 1 医疗救护单元故障照片

2 医疗救护单元有限元仿真

2.1 接触原理

本文研究的问题为接触分析问题。接触分析的目的是找到接触点和接触点处的接触力, 包括接触压力和摩擦力。在接触中, 接触点 x_c 和此点的接触力都是未知的, 需在相接触的几何体中寻找接触点, 在接触点相接触后施加接触约束。首先在主面上找到和从面点 x 对应的接触点 x_c (ζ_c), 可以通过式 (1) 找到接触点:

$$\varphi(\xi_c) = (x - x_c(\xi_c))^T e_t(\xi_c) = 0 \quad (1)$$

其中 $e_t = \frac{1}{\|t\|}t$ 是单位切向矢量, $t = x_c$, ξ 是接触点的切向矢量。式 (1) 被称为接触一致性条件, 当 x 在边界条件上时, $x_c(\xi_c)$ 是在满足接触一致性条件下主面上距离从面最近距离的点 (即接触点)。

在接触中, 需设定两物体接触时不会发生穿透, 可通过接触点间距离来施加不穿透条件。不穿透条件可通过法向间隙函数表示, 具体公式如下:

$$g_n = (x - x_c(\xi_c))^T e_t(\xi_c) \geq 0, x \in \Gamma_c \quad (2)$$

其中 Γ_c 为 x_c 的接触边界。

法向间隙的一阶变分为:

$$\bar{g}_n(u; \bar{u}) = \bar{u}^T e_n \quad (3)$$

其中接触点的变分被正交条件抵消。法向接触形式以位移变分表示为:

$$b_n(u; \bar{u}) = \omega_n \int_{\Gamma_c} g_n \bar{u}^T e_n d\Gamma \quad (4)$$

其中 $b_n(u; \bar{u})$ 关于 \bar{u} 是线性相关的。

法向间隙函数的增量为:

$$\Delta g_n(u; \Delta u) = e_n^T \Delta u \quad (5)$$

因法向量沿着 ξ_c 是变化的。接触一致性条件的增量可表示为:

$$\Delta[(x - x_c)^T e_t] = (\Delta u - t \Delta \xi_c)^T e_t + (x - x_c)^T \Delta e_t = 0 \quad (6)$$

$$\Delta \xi_c = \frac{\|t\|}{t} e_t^T \Delta u \quad (7)$$

结合上述方程, 可以得到法向接触形式的线性化如下:

$$b_n^*(u; \Delta u, \bar{u}) = \omega_n \int_{\Gamma_c} \bar{u}^T e_n e_n^T \Delta u d\Gamma - \omega_n \int_{\Gamma_c} \frac{a g_n}{c} \bar{u}^T e_n e_n^T \Delta u d\Gamma \quad (8)$$

联合上述公式即可得到接触点的位移变化函数。

2.2 医疗救护单元建模

医疗救护单元如图 2 所示, 主要由担架站组件、专用担架、电源模块、供氧模块和医疗模块组成。整体结构采用铝合金材料, 材料强度极限为 560MPa; 专用担架左右两端嵌入底板组件中, 中部设计锁定支架, 底板组件设计挂钩。

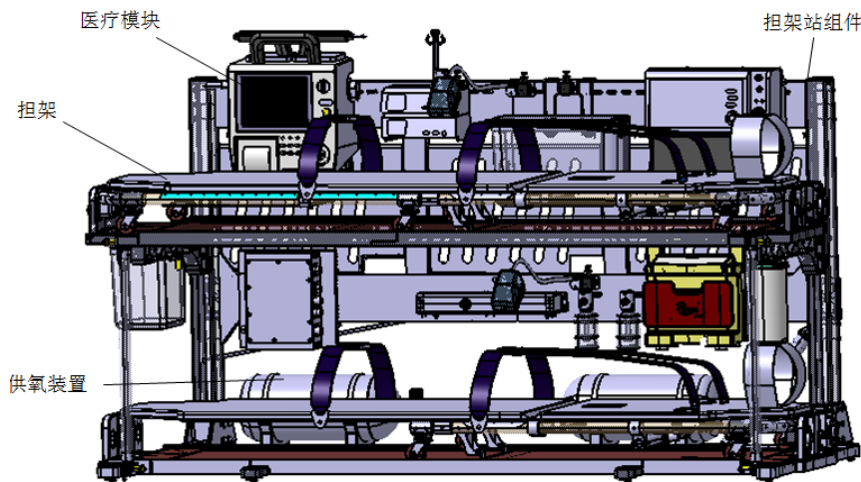


图 2 医疗救护单元三维模型图

为确定某型医疗救护单元担架中部挂钩脱出故障的原因, 对某型医疗救护单元进行有限元仿真。在对医疗救护单元建模时, 有限元模型主体结构应与实际结构保持一致。其中挂钩和安装支架间设置为摩擦接触, 摩擦系数为 0.1。

2.3 计算结果

医疗救护单元的最大应力为 517.8Mpa, 最大位移为 25.11mm, 具体见图 3。挂钩与安装支架间发生相对滑动最终分离, 见图 4, 分离时刻的相对位移为 11.56mm, 见图 5。挂钩与安装支架节点位移随载荷增加而增加, 当载荷达到最大时, 挂钩与安装支架间相对位移最大, 具体见图 6。

分析可知: 担架与底、顶板组件在受到向上载荷作用时发生上拱变形, 并且挂钩、锁定支架受力后发生弹性变形, 导致挂钩与锁定支架发生滑移。仿真结果中, 挂钩与安装支架间最大相对位移 (11.56mm) 大于两者初始设计搭接量 (11.3mm), 因此两者会发现脱出故障。故障原因为挂钩与安装支架的刚度和搭接量不足。

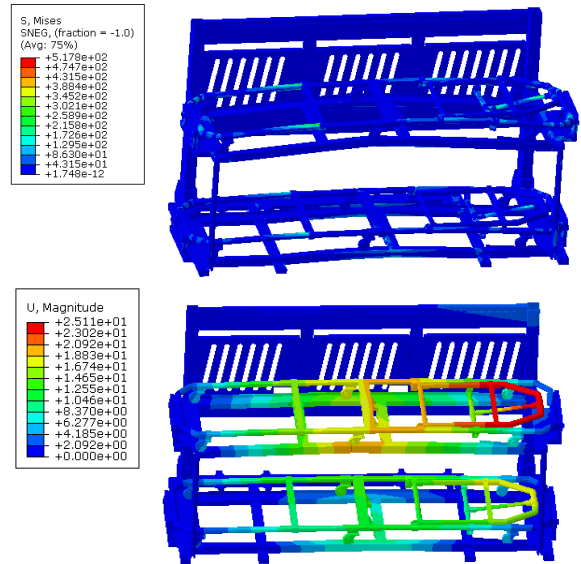


图 3 医疗救护单元应力与位移云图

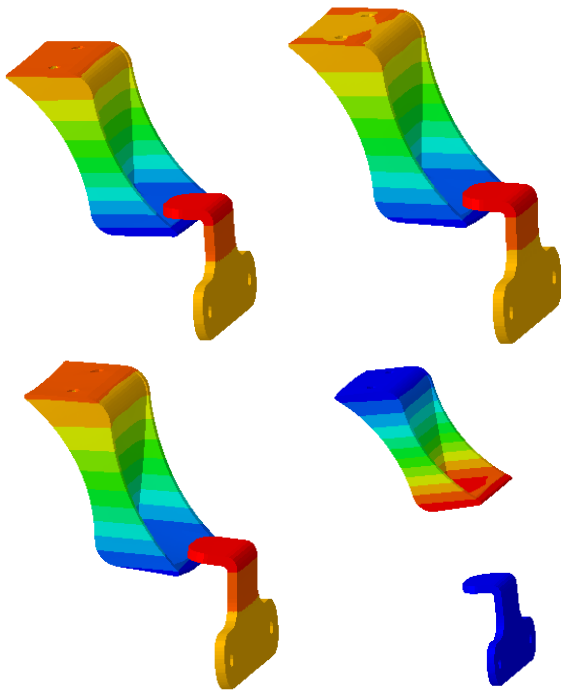


图 4 挂钩与安装支架相对运动过程图

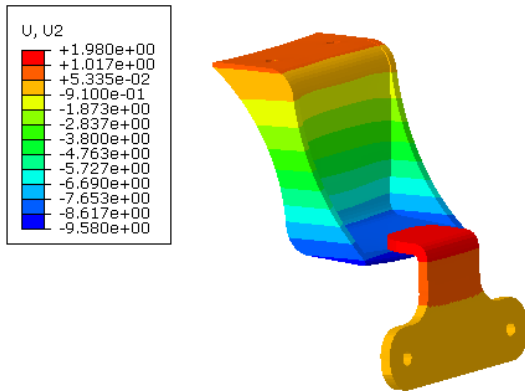


图 5 挂钩与安装支架位移云图（脱出时刻）

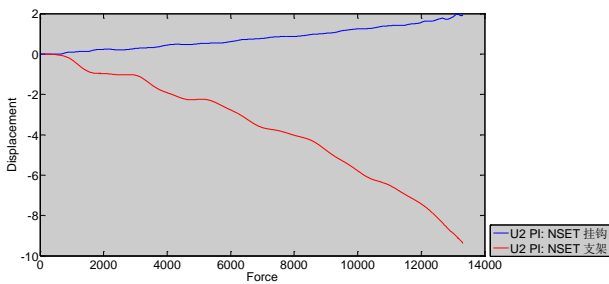


图 6 挂钩与安装支架节点位移随载荷变化图

3 医疗救护单元结构优化与仿真

3.1 医疗救护单元结构优化

依据 2.3 章节仿真结果，对医疗救护单元提出优化方案：首先改变锁定支架的结构形式，对挂钩采用加厚 1mm 处理；其次增加挂钩和锁定支架间搭接量（从 11.3mm 增

至 25.3mm）。修改前后结构对比如图 11 所示，优化结构有限元模型如图 12 所示。

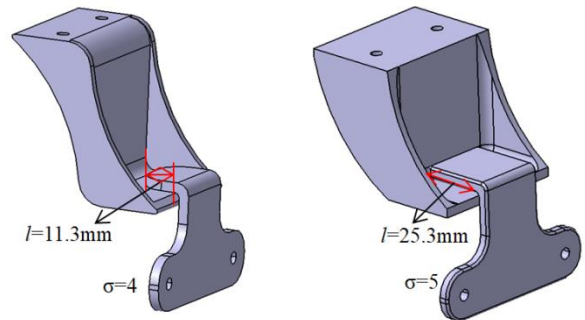


图 7 优化前后挂钩与安装支架结构对比图

3.2 优化结构计算结果

医疗救护单元最大应力为 508.4MPa，最大位移为 24.88mm，具体见图 8。优化挂钩与安装支架间会发生相对滑动但不会发生脱出现象，见图 9，极限载荷时优化挂钩与安装支架的相对位移为 5.3mm，见图 10。优化结构节点位移随时间增加而增加，当载荷达到一定值时，两者间的相对位移保持不变，具体见图 11 和图 12。

分析可知：在优化医疗救护单元承受向上载荷时，挂钩与安装支架间会发生相对滑动，相对位移随载荷的增加而增加，当达到极限载荷时，两者相对位移达到最大值且保持不变。优化后挂钩和安装支架的相对位移为 5.3mm 小于两者设计搭接量 25.3mm，因此优化后挂钩和安装支架不会发生脱出现象。

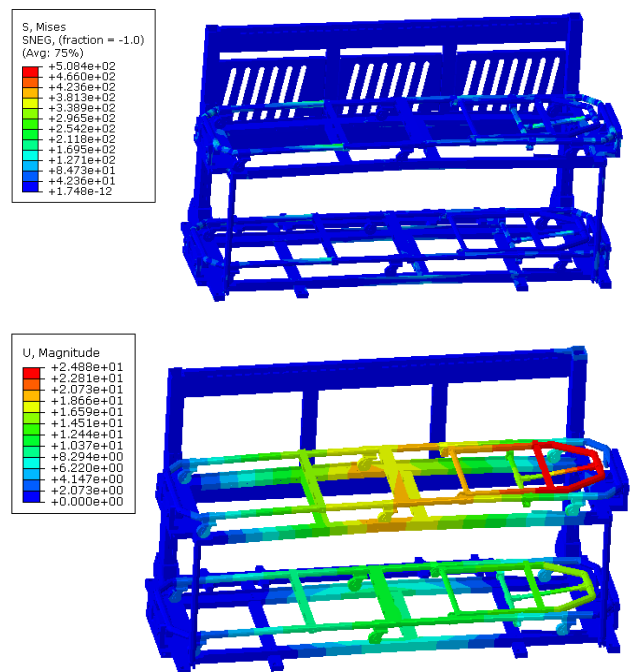


图 8 优化后医疗救护单元应力与位移云图

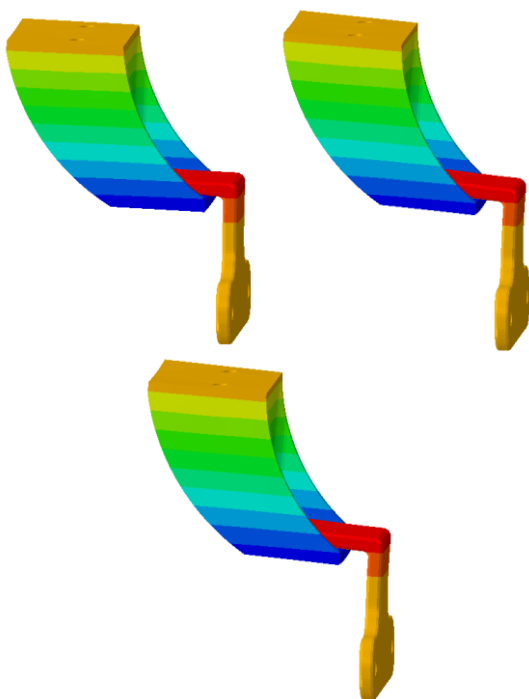


图9 优化后挂钩与安装支架相对运动过程图

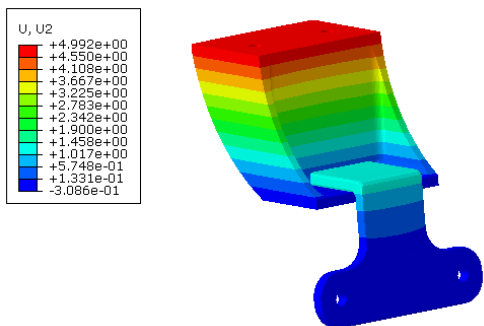


图10 优化后挂钩与安装支架相对位移图(极限载荷时)

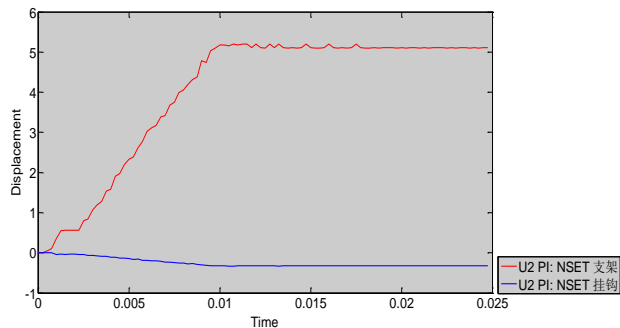


图11 优化后挂钩与安装支架节点位移随时间变化图

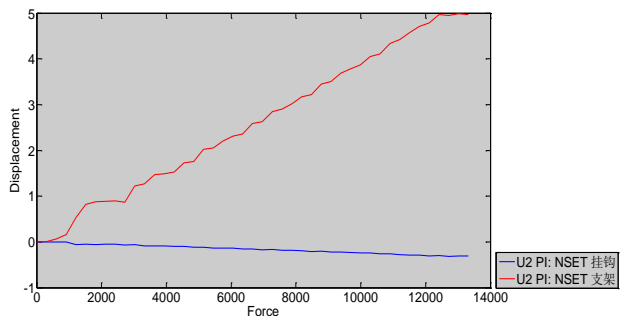


图12 优化后挂钩与安装支架节点位移随载荷变化图(取到极限载荷位置)

3.3 试验验证

3.3.1 试验简介

本试验是在静强度试验平台上完成的。某型医疗救护单元试验件模拟装机接口状态通过试验夹具固定在试验平台中,加载体模利用安全带固定在担架上,选择合适量程的拉力传感器,通过钢丝绳连接被试品担架和液压加载装置。试验原理如图13所示。在挂钩和安装支架端点处安装传感器,以方便测量挂钩和安装支架端点的位移。

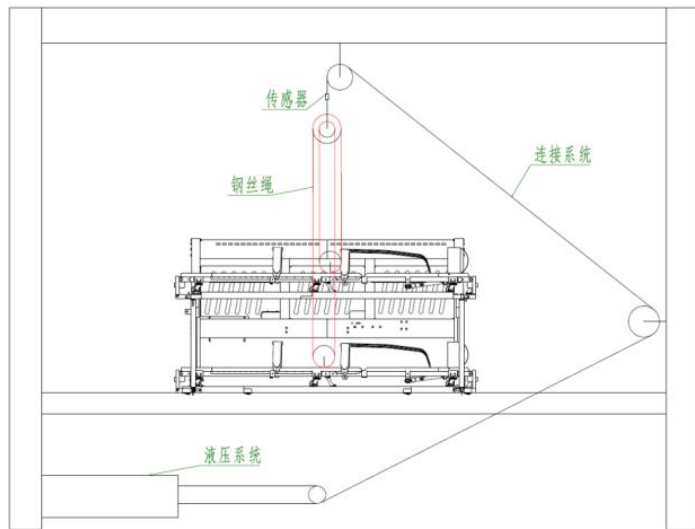


图13 试验原理图

3.3.2 试验结果

节点位移随载荷变化曲线如图 14 所示，节点随时间变化曲线如图 15 所示。其中节点 1 为安装支架节点，节点 2 为挂钩节点。从试验结果可以看出，安装支架的最大位移为 5.109mm，挂钩的最大位移为 0.3258mm，同时优化后的安装支架与挂钩未发生脱出现象。

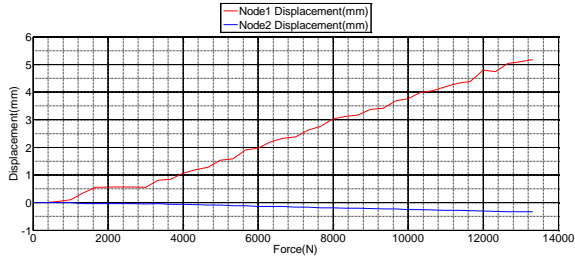


图 14 试验节点位移随载荷变化图（取极限载荷前部分值）

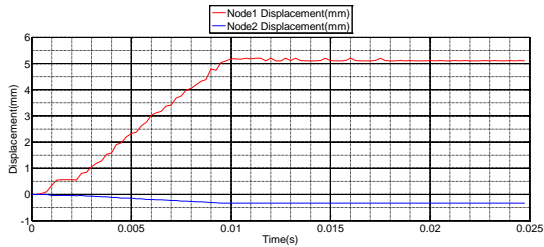


图 15 试验节点位移随时间变化图

3.3.3 数据对比分析

将仿真和试验中节点随载荷变化曲线合并对比，结果如图 16 和图 17 所示，仿真结果与试验结果的节点变化趋势一致。

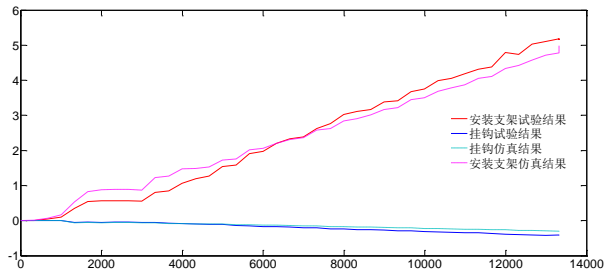


图 16 试验结果与仿真结果对比图（取极限载荷前部分值）

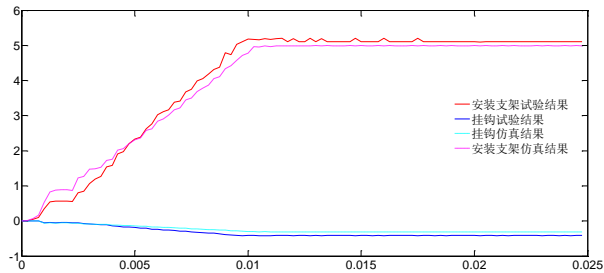


图 17 试验结果与仿真结果对比图

将仿真和试验中节点随载荷变化数据作对比分析，求得两者的误差和曲线相关度。曲线相关度利用皮尔逊

(Pearson) 相关系数进行表征，详见表 1。从表 1 中可得仿真与试验结果误差为 5.28%，两者数据呈现正相关且相关性显著。

表 1 试验数据与仿真数据对比表

	试验结果最大值	仿真结果最大值	误差	相关系数	相关性
挂钩节点	5.109	4.992	2.29%	0.9972	显著
安装支架节点	-0.3258	-0.3086	5.28%	0.9965	显著

4 结论

本文针对某型医疗救护单元担架整体脱出故障进行仿真分析，可得到以下结论：

挂钩和安装支架刚度和搭接量不足是导致担架整体脱出故障的直接原因。在承受向上载荷时，挂钩和安装支架刚度不足会导致两者发生较大的挠度变形和相对滑动；若此时两者搭接量不足，则会发生两者滑脱故障进而导致担架整体功能失效。

依据故障原因对结构进行优化（增加挂钩和支撑挂架的刚度和两者搭接量），对优化结构进行仿真计算和试验验证，结果可知：优化结构满足设计要求，且优化结构通过了试验验证。

优化结构的仿真结果与试验结果均表明未发生滑脱现象，且优化结构节点位移的仿真和试验变化规律一致，两者数据呈现正相关且相关性显著。利用仿真方法不但可提高工程实际中故障的解决效率，也为结构的设计与改进提供技术支持，保证医疗救护单元结构的可靠性。

[参考文献]

[1]杨荆泉,高万玉,刘圣军,等.海上救生漂浮担架的研制[J].医疗卫生装备,2004,25(12):15-16.
 [2]费伊,李法林,陈立雄,等.一种通用型机载担架支架的研制[J].医疗卫生装备,2014,35(2):8-11.
 [3]辛松岩,赵昕,李志坚,等.数字式保温担架的研制与应用[J].医疗卫生装备,2016,37(8):45-47.
 [4]张军,罗芳,刘希康,等.担架转轮附属装置的研制与应用[J].医疗卫生装备,2016,37(2):45-47.
 [5]李凤杰,甘银银.民用航空担架的研究及发展探讨[J].军民两用技术及产品,2018(19):54-58.
 [6]常蓓,张小纯,李涛,等.野战急救轮式担架的设计[J].医疗卫生装备,2018(19):27-30.
 [7]张鑫葵,李艳军,曹愈远,等.某型直升机医疗地板的改装优化设计与适航符合性验证[J].科学技术与工程,2021,21(29):12765-12771.

作者简介：乔芳（1995.2—），女，毕业院校：南昌航空大学，学历：硕士研究生，所学专业：仪器仪表工程，目前就职单位：航宇救生装备有限公司总体技术研发部，职务：设计员 3 年，目前职称：工程师。