

doi:10.3969/j.issn.1005-152X.2021.11.023

# 考虑人因工程的折叠储物柜设计

刘渐栋<sup>1</sup>, 邹雄博<sup>1</sup>, 汪书帆<sup>1</sup>, 王一凡<sup>1</sup>, 邓超<sup>1,2</sup>, 王楠清<sup>1</sup>

(1. 武汉科技大学 汽车与交通工程学院, 湖北 武汉 430065;

2. “运输车辆检测、诊断与维修技术”交通行业重点实验室, 山东 济南 250357)

**[摘要]**对传统一体式储物装置进行考虑人机工程学的便携式折叠改良, 以达到改善工人工作条件的目的。利用基于人机工程学的人机评估方法进行改良设计, 并基于 Jack 人体仿真及建模系统进行人机评估, 评估分析下脊柱受力和 NOISH 等关键指标, 最后从折叠式和便携式两种设计方式上进行对比, 提出了储物装置的改良方案。所提出的方法提高了储物柜的搬运效率, 为储物柜的设计提供了理论依据。

**[关键词]**人机工程学; 便携式; 折叠; 储存装置

**[中图分类号]**F252

**[文献标识码]**A

**[文章编号]**1005-152X(2021)11-0130-04

## Design of Folding Locker Considering Ergonomics

LIU Jiandong<sup>1</sup>, ZOU Xiongbo<sup>1</sup>, WANG Shufan<sup>1</sup>, WANG Yifan<sup>1</sup>, DENG Chao<sup>1,2</sup>, WANG Nanqing<sup>1</sup>

(1. School of Automobile &amp; Traffic Engineering, Wuhan University of Science &amp; Technology, 430065;

2. Key Laboratory of Transportation Industry of "Detection, Diagnosis and Maintenance Technology of Transport Vehicles", Jinan 250357, China)

**Abstract:** In this paper, we improved the traditional all-in-one storage device with consideration of ergonomics to make it portable and foldable, so as to improve the working conditions of the manual operators. First, we used the human-machine evaluation method based on ergonomics to improve the design, and carried out the ergonomic evaluation based on Jack's human body simulation and modeling system. Then, we evaluated and analyzed the key indicators such as lower back stress and NOISH. Finally, by comparing the folding design and the portable design, we proposed an improved solution for the storage device, which improves the handling efficiency of the locker and provides theoretical basis for locker design.

**Keywords:** ergonomics; portability; fold; storing device

## 0 引言

物流工人在搬运储物柜时, 工作负荷超过其所能忍受的限度时, 在心理上可能引发紧张, 在生理上给身体造成伤害, 例如下背疼痛。在物流搬运领域, 每年约 5% 的人经历过一次下背痛发作, 记录也表明下背痛是费用最高的医学问题之一<sup>[1]</sup>。因此需要从人机工程学的角度对现有储物柜的搬运作业进行评价, 以提升物流运输效率。人机工程学研究

人、机器及其工作环境之间相互关系, 使人机系统满足人的特性并实现安全高效的目标。我国的人机工程学研究始于 1980 年左右, 比国外晚了近 50 年, 特别是在物流领域, 对搬运作业的人机工程机理鲜有研究。

目前比较流行的人机工程学量化方法是西门子公司开发的 Jack 人因评估工具<sup>[2]</sup>, 通过 Jack 可以设计储物柜的外观尺寸和作业形式, 并分析搬运过程中工作对人的影响, 包括对量化人员的背痛状

**[收稿日期]**2021-06-24

**[基金项目]**武汉科技大学大学生创新创业训练计划项目(20ZA099); 湖北省大学生创新创业训练计划项目(S202010488060); 国家自然科学基金青年科学基金项目(52002298); 湖北省自然科学基金计划青年项目(2020CFB118); 湖北省教育厅科学技术研究计划青年人才项目(Q20201107); “运输车辆检测、诊断与维修技术”交通行业重点实验室开放课题(JTZL1903); 武汉科技大学本科教学研究项目(2020X55); 武汉科技大学教育发展基金会捐赠项目(017-04)

**[作者简介]**刘渐栋(2001-), 男, 湖北潜江人, 研究方向: 物流工程; 邓超(1986-), 通信作者, 男, 湖北武汉人, 武汉科技大学汽车与交通工程学院副教授, 博士, 研究方向: 交通运输。

况,进而验证折叠储物柜的设计合理性。首先,通过现场位置的布置,分析搬举任务流程的冗余性,删除对背部需求较小的工作流程。运用 Jack 软件对工人物料搬运作业进行 Lower Back 和 NIOSH 人机评估,通过与 NOISH 受力分析标准进行对比,分析搬运传统一体式和折叠式储存装置时工作条件的影响情况,并根据其影响情况,提出合理可行的改良思路。

## 1 人因评估方法

搬运储物柜时,任务起点通常位于仓库中央的堆货区域。在储物箱运输和仓储过程中,工人需要会连续搬运储物箱,传统储物柜占用空间过大、体积大、重量大,传统一体式储物箱作为常见的装卸、中转、搬运物料的基本装置,其结构基本一致,而样式多随体积参数改变。造成人员工作繁重,背痛状况严重。传统的一体式储物装置,其特点是储物能力强,一次搬运就能移动较多物料,但这种装置会对工人的背部造成极大的损害,尤其是采用不同工作姿势对一体式储物装置进行搬运时,受力也会有较大区别,当工人在搬运时为了省力而采取弯腰的工作姿势时,对下脊椎的伤害将会更大。需要考虑如何最大程度的改变工人的工作姿势,尽可能的使工人在直立状态下进行搬运作业,减轻工作对身体的损伤。因此,需要对搬运作业进行受力量化分析,搬运受力分析(NIOSH)主要依据 NIOSH 提举公式<sup>[3]</sup>,计算推荐重量极限值(RWL)。

$$RWL=575(1-0.003|V-75|)(0.82+4.5/D)(1-0.0032A)FM \cdot CM/H(1)$$

式(1)中,FM是抬举频率,CM是握持乘数,H是人体中心与物体间的水平距离,V是搬举任务起始或终止时手掌距地面的垂直距离,D是抬举重物的垂直移动距离,A是相对于矢状面的身体扭转角度。

单项任务搬运指数(LI)<sup>[4]</sup>为:

$$LI=ATLL/RWL \quad (2)$$

其中,ATLL实际搬举作用力。

当LI的值小于参考值1时,表示该搬举作业较为

安全;当LI的值大于1时,会使下背部疼痛发生的机率增加;当LI的值大于3时,将使作业人员下背部受伤机率大大增加,工人的工作条件亟需改善。

另外,本文尝试将传统一体式储物箱改良为拆分式的折叠储物箱,将单项搬举作业转化为复合搬举作业,以提交工作效率,改善人员受伤状况。考虑对传统一体式储物装置的体积进行改良处理,通过缩小搬运体积的方式改善工人搬运姿势及抓取难度,从而降低搬运指数。而在对体积进行处理时,要保证工作量的一致,即搬运的物料总质量不变,考虑对传统一体式储物装置进行拆分,增加搬运频率。假定拆分后的每个储物装置单元,平均储存所有物料,且每个工人一次搬运一个储物装置单元,每个工人搬运的物料总量相同。描述复合搬举作业对人体下背痛的影响情况可以通过复合搬运指数CLI进行量化评价,评价的依据是美国国家职业安全卫生研究所制定的标准。CLI的求解包括如下五个步骤<sup>[5]</sup>。

(1)计算频率推荐重量极限(FIRWL),FIRWL反映操作人员完成某项单一重复性的任务时身体和肌肉的压力。

$$FIRWL=RWL \quad (3)$$

(2)计算独立任务推荐重量极限(STRWL),STRWL反映了工人在整个搬运作业中仅完成一次搬运时所能搬举物料的重量极限,以及完成该作业时是否对身体造成过大的压力。

$$STRWL=FIRWL \cdot FM \quad (4)$$

(3)计算频率搬运指数(FILI),FILI反映了各项重复搬举任务的搬举载荷是否超过了推荐的重量极限,若FILI大于1,说明需要进行人因改进以减少身体的压力。

$$FILI=MLW/FIRWL \quad (5)$$

式(5)中,MLW为搬举物料的最大载荷重量。

(4)计算独立任务搬运指数(STLI),STLI反映了工人完成复合搬举作业各单项任务时身体所承受的压力,通常STLI大于FILI且STLI大于1时说明需要进行人因改进;当所有单独任务的STLI值都小于1

时,其任务的组合即复合搬举作业仍有可能引起身体的不适,所以也需要采取人因的改进。

$$STLI=ALW/STRWL \quad (6)$$

式(6)中,ALW指搬举物料的平均载荷重量。

(5)计算复合搬举指数(CLI),CLI反映了操作人员完成一项复合搬举作业时的身体受力情况。其判断方法,与单次搬运任务指数LI相同。

$$CLI=\max(STLI)+\Sigma(STLI-FILI) \quad (7)$$

从复合搬举指数的计算过程可以看出,对于单一工人对装有相同质量物料的储物单元的重复搬运作业来说,在保持站立工作姿势的情况下,要想降低搬举指数,可以通过改变H、V和FM。其中,改变拆分后储物单元的体积可以调整H和V,改变参与搬运作业的工人数量可以调整FM。另外,FIRWL与CLI成反比,对于横向与纵向数量不同的折叠式改良方案,应该优先进行纵向拆分。

## 2 储物柜搬运任务

为了方便研究评估,本文采用立方体状的一体式物料储存装置进行分析,设定该储物箱的尺寸标准为外尺寸(2 500×500×1 500mm),并假设外尺寸即体积尺寸。单项搬举作业各项参数如下:人体参数:评估中选用的人体尺寸,应符合中国成年人人体尺寸的有关规定,根据GB10000-88中国成年人人体尺寸数据,选取第50百分位男性数据作为人体参数模型数据;单位物料体积与质量:为了便于评估,规定物料为固体、立方体状物料,且规格相同,每1kg物料的尺寸为100×100×100mm;物料总质量:100kg;工人数量:初始工人数量为2,且为男性;搬举高度:根据工人搬举重物的工作习惯,搬举高度与工人站立时前臂前端与地面的高度相等,约为大腿长度一般与小腿长度之和,即606.5mm。利用Jack软件创建如图1所示的人机模拟场景。工人在搬运作业时从一体式储存装置的侧方搬运,不存在相对于矢状面的身体扭转角度。其余必要参数均可根据建模情况,在用Jack软件进行NIOSH受力分析时由系统计

算得出。

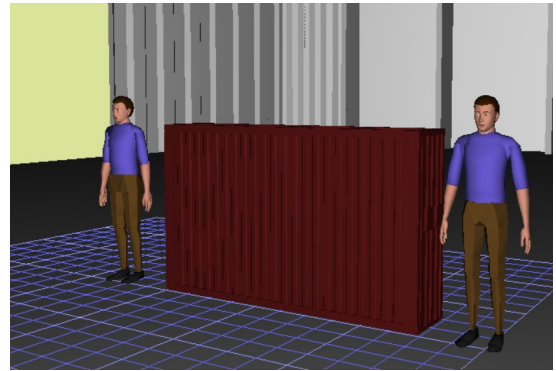


图1 人机模拟环境

在从事搬运作业时,工人会自发的选择对自己最有利的搬运姿势,便于发力、省力且自身生理感受较好的姿势。在设定其搬运姿势时,首先进行工作姿势分析(OWAS),将其姿势调整为级别1(正常姿势)。调整人机模型中的参数,利用Jack平台中的下背部脊柱受力分析工具包(Lower Back),对该复合搬举任务改善前最有可能造成人体伤害的动作进行脊椎受力定量测定。当工人直立搬运时,测得脊椎压力为3 951N,当工人弯腰搬运时,压力为7 202N。对于举升任务或包括多个举升任务的工序,进行物理压力的评估,得到LI为4.4,RWL为5.69。

在背部脊柱受力测量中可以看出,在采用传统一体式储物装置进行物料搬运作业时,无论工人采用哪种搬运姿势,测定值显示L4/L5脊椎受力均超过了NIOSH推荐的下背部受力限制值3 400N,长期处于这种工作环境下,会对工人的下背部产生损害。在基于NIOSH搬运受力分析时得出,在该状态下的搬运作业时,单项任务搬运指数LI达到了4.4,远远超过了NIOSH制定的下背部受伤几率大为增加的标准,因此必须对传统一体式储物装置进行考虑人机工程学的改良设计。

## 3 任务优化改进

传统一体式储物装置首先需要解决的问题是相对于单一作业人员来说较为庞大的体积,所以考虑对一体式储物装置进行单元格拆分,将其拆为可拆

装的单元格式、单一作业人员即可搬运的小型储物装置。作业人员只需在搬运终点将单元格组装成一体式储物装置的规格,即可达到相同作业的结果。将一体式储物装置拆分为8个相同的储物单元,通过Jack平台分析得到直立搬运时腰部压力为2 125N,弯腰搬运时腰部压力为3 210N。研究表明,经过拆分后在完成同样任务的情况下,每个工人的背部脊柱受力情况得到明显改善,已经降到极限值3 400N之下。进而通过添加适当的工人数量来降低工人的抬举频率指数,将传统的一体式储物装置拆分为若干大小一致的储物装置单元,以改善工人的工作状态,对储物单元数量和工人数量进行调整,求得复合搬运指数,见表1。

表1 储物单元数量和工人数量对复合搬运指数的影响

任务	工人数	储物单元数量	单一工人搬运量	平均储物单元质量	CLI	FIRWL	人均时间/min
1	2	1	0.5	100	5.32	9.4	7.5
2	2	8	4	12.5	1.33	9.4	30
3	2	10	5	10	1.06	9.4	37.5
4	2	12	6	8.33	0.89	9.4	45
5	2	14	7	7.14	0.76	9.4	52.5
6	2	16	8	6.25	0.66	9.4	60
7	3	12	4	8.33	0.89	9.4	30
8	4	12	4	8.33	0.89	9.4	22.5

根据表1,从任务2到6,随着拆分后储物单元数量的增加,从事该物料搬运作业时的复合搬运指数逐渐降低,并且这种变化幅度是逐渐降低的。因此,继续拆分成更多数量的储物单元,实际对工人工作条件的改善作用不太显著,并可能会增加储物装置的制造成本。而多次折返式的作业形式,可能会增加工人的疲劳程度。因此,对表1中改良结果较为优秀的任务4进行深度评估,研究增加工人数量能否进一步改善工人工作状况,进行了任务7和8的实验。研究表明,添加工人数量虽然可以降低搬运相同物料时所耗费的时间,但是不能改善工作状态。基于

上述讨论,将传统一体式储物装置改良为由4列3行,共12个储物单元组装而成的折叠式储物装置为最优方案。对于选定的折叠式改良方案,继续分析其下脊柱受力情况,得到直立搬运时腰部压力为1 374N,弯腰搬运时腰部压力为2 646N。研究表明,将传统一体式储物装置按上述方案进行便携式改良后,工人在直立搬运时下脊椎受力下降,工作效率得到提升。

此外,对于这种储物单元,继续用Jack分析能否通过添加把手来改良其CM值,抓握困难时LI为0.98,抓握容易时LI为0.89。研究表明,在添加握把之后,降低了储物单元的抓取难度,LI进一步降低,因此在改良时可以在储物单元的适当位置添加握把,进一步改善工人的工作环境。

改良结果如图2所示,添加了把手和多个组装接口。便携式折叠改良可以很好的改善工人的下脊柱受力情况,有效的改善了工人的工作环境,并通过数据分析得到最优改良方案。改良后的装置灵活性更强,整体性能达到较好的状态。

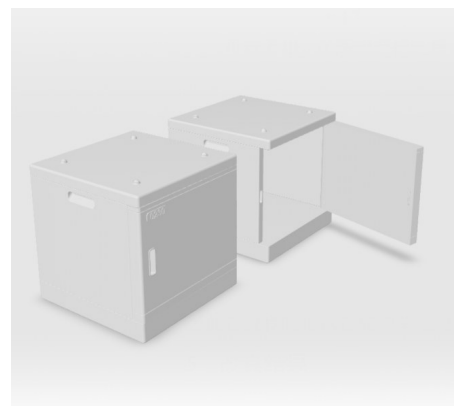


图2 改良结果示意图

## 4 结语

本设计以传统一体式储存装置为研究对象,在考虑人机工程学的基础上,对这类装置进行便携式折叠改良设计,以达到降低工人下脊柱受力,改善其工作条件的目的。基于Jack软件平台的Lower Back和NIOSH工具,得到工人在使用传(下转第152页)