

· 论 著 ·

# 手工搬运作业人体工效学评价方法实例应用

陈斐然<sup>1</sup>, 黄德寅<sup>2</sup>, 张倩<sup>2</sup>, 汤乃军<sup>1</sup>

(1. 天津医科大学公共卫生学院, 天津 300071; 2. 天津渤海化工集团公司劳动卫生研究所, 天津 300051)

**摘要:** 目的 探讨建立手工搬运作业工效学评价方法, 并在建设项目职业病危害评价工作中应用。方法 选择某半导体企业锂电池生产车间 87 名存在手工提举作业的工人为接触组, 采用调查问卷、统计分析、NIOSH 提举指数等评价方法, 对手工提举作业的不良工效学负荷进行人体工效学评价。结果 该企业为电子加工行业, 存在明显的不良工作姿势和手工提举任务的特点; 经统计学处理分析, 该公司车间作业工人肌肉骨骼损伤的发生率与对照组的差别尚无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 分析不相关的原因主要为本次评价作业工人年龄偏小、工龄短等因素影响; 根据我国人体数据修正过的 NIOSH 提举指数对搬举作业人体工效学进行定量评价, 说明现有作业环境存在诱发作业者搬举疲劳的风险因素, 但未达到肌肉骨骼疾患发生风险明显增加的程度。结论 长期手工提举等作业可能导致与此有关的肌肉骨骼疾患, 但我国尚未将职业性腰背痛列入职业病名单, 也未制定手工提举指南和重量限值, 今后应在建设项目职业病危害评价工作中开展手工提升或搬运作业工效学评价, 加强生产环节的职业病危害防护, 防止发生职业危害。

**关键词:** 手工搬运; 人体工效学; 工效学评价; 下背痛; 提举方程

中图分类号: R135 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2014)02-0083-04 DOI: 10.13631/j.cnki.zggyx.2014.02.001

## Application case of ergonomics evaluation method for manual handling operations

CHEN Fei-ran<sup>\*</sup>, HUANG De-yin, ZHANG Qian, TANG Nai-jun

(\*. School of Public Health, Tianjin Medical University, Tianjin 300071, China)

**Abstract: Objective** To explore the ergonomics evaluation methods of manual handling operations for applying in the assessment of occupational hazards in construction projects. **Methods** Eighty-seven workers engaged in manual lifting operations in a lithium battery workshop were selected as the observation objects. The methods of questionnaire, statistical analysis and NIOSH lifting index were used in the investigation. **Results** The identification based on questionnaire showed that the company, belong to electronic processing industry, had obvious bad working-posture and manual lifting tasks, but there was no statistically significant difference in the incidence of musculoskeletal injury between observation objects and the controls. The main reason may related to the younger age and shorter working years. The quantitative evaluation of ergonomics using revised NIOSH lifting index based on Chinese human data, indicated that the workplace existed the risk which could induce lifting fatigue but did not reach the level leading to a significant increase of musculoskeletal disorders. **Conclusions** The results suggested that long-term manual lifting and other manual may lead to some working-related musculoskeletal disorders, but the occupational low back pain has not included in the list of occupational diseases in China, and there is no manual lifting guide and weight limit yet. Therefore, it should be reasonable that quantitative ergonomics evaluation of handling working should be carried out in order to strengthen the protection against occupational diseases hazard in this kind of work.

**Key words:** manual handling; ergonomics; ergonomic evaluation; low back pain; lifting equation

随着现代工业技术的迅速发展, 很多行业生产工艺已基本实现机械化、自动化, 传统的职业危害将逐步减少, 而手工操作, 特别在许多服务领域和制造业中手工提举却仍然普遍存在。与手工搬运提举有关的肌肉骨骼疾患, 特别是下背痛 (LBP) 发病逐渐增加<sup>[1-2]</sup>, 其所致的下背疾患正在引起企业及国内职业

卫生领域的关注。为预防并控制现场作业人员搬运提举物料过程中导致的肌肉骨骼劳损, 在建设项目职业病危害评价工作中, 需要开展手工搬运作业工效学评价方法的应用研究。

本文通过实例应用, 对手工搬运作业的工效学评价与改善问题进行分析, 旨在提升作业环境的工效学设计, 预防并控制现场作业人员搬运提举物料过程中导致的肌肉骨骼劳损, 对预防控制手工搬运作业下背痛等疾病的发生, 保证作业者在安全、健康、舒适的条件工作, 具有积极重要的作用, 并可为建设项目职业病危害评价工作中进行下背痛的风险评价提供技

收稿日期: 2013-09-04; 修回日期: 2013-12-20

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目 (13ZCZDSY02300)

作者简介: 陈斐然 (1992—), 男, 本科在读。

通讯作者: 黄德寅, 主任医师, 研究方向: 职业卫生与职业健康风险。

术指导与参考。

### 1 对象与方法

#### 1.1 对象

选取某半导体企业以手工搬运作业为主要特点的锂电池生产车间作业工人为研究对象。作业工人生产班制采用三班制，每班 8 h。生产工艺过程主要采用机械化和自动化的生产方式，充放电、包装、检查等岗位操作工存在搬运电池等手工操作。

#### 1.2 方法

主要采用调查问卷、统计分析、NIOSH 提举指数等评价方法，对某半导体公司目前聚合物化成、角型化成、聚合物出荷、环境班、角型出荷、P/C 等车间存在的手工提举作业的不良工效学负荷进行人体工效学评价。

评价技术路线主要采用调查问卷、统计分析、基于 NIOSH 提举指数的人体工效学评价，见图 1。

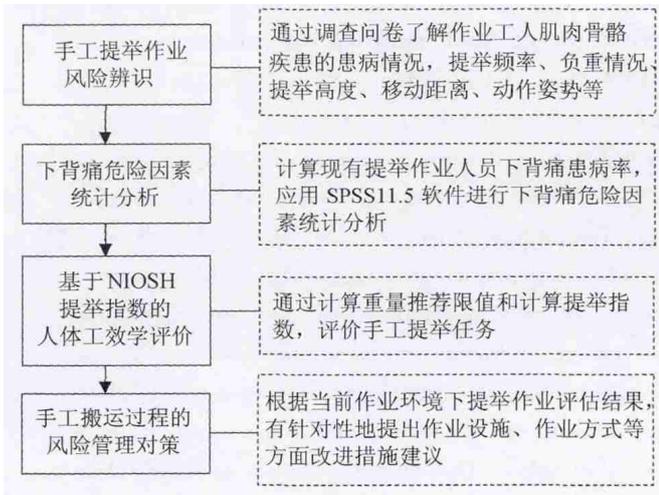


图 1 手工提举作业人体工效学评价技术路线

1.2.1 调查问卷 调查问卷包括基础信息、提举作业过程信息、肌肉骨骼疾患情况和提举作业健康检查情况四部分内容。应用流行病学和工效学方法，以横断面的形式对 293 名作业工人（其中提举作业工人 134 人）开展肌肉骨骼疾患患病情况及手工搬举作业危险因素的调查，同时以心率、血压作为手工提举作业者心血管功能的主要指标进行提举作业健康检查。

1.2.2 统计分析 将调查问卷所有项目通过编码赋值，按质量管理程序核对后录入计算机，计算颈肩部患病率、下背痛患病率等，选取对照组，应用统计软件 SPSS11.5 进行两独立样本 *t* 检验、 $\chi^2$  检验，检验水准为  $\alpha = 0.05$ 。综合评价手工搬举作业危险因素的暴露水平，分析与评价工效学负荷水平与肌肉骨骼疾患症状之间的暴露与反应关系。

1.2.3 基于 NIOSH 提举指数的人体工效学评价 采

用应用最为广泛的由美国国家职业安全卫生研究所 (NIOSH) 于 1991 年提出的修正提举方程 (revised NIOSH lifting equation) 进行提举作业人体工效学分析<sup>[3,4]</sup>。主要计算重量推荐限值 (RWL) 和提举指数 (lifting index, LI)，即实际重量/推荐重量限值，评价手工提举任务。

$$RWL = 23\text{kg} \times [25/H] \times [1 - 0.003 |V - 75|] \times [0.82 + (4.5)/D] \times FM \times [1 - 0.0332A] \times CM$$

*H*—提举起始或终止时手掌中心距两踝关节中间的水平距离，cm；

*V*—提举起始或终止时手掌距地面的垂直距离；

*D*—提举起始与终止的垂直间距；

*FM*—搬运频率参数（根据频率确定不同的系数）；

*A*—偏离矢状面的角度；

*CM*—物体易抓参数（根据难易确定为 0.1, 0.95 和 0.90）

目前国内学者普遍采用 NIOSH 提举公式，并考虑到我国人群的肌力、提举能力可能与西方人不同，对 NIOSH 提举重量限值提出修正<sup>[4,5]</sup>。研究人员结合我国人群生理特征、肌力、最大可接受提举重量 (MAWL) 和流行病学调查，建议将提举公式中重量限值由 23 kg 调整为 20 kg，高度系数基准由 75 cm 调整为 74.1 cm，其他参数保持不变。

## 2 结果

### 2.1 人体工效学暴露变量识别

主要通过现场调查及问卷对现有作业工人进行肌肉骨骼疾患现状调查分析，了解车间内提举作业工人肌肉骨骼疾患的患病情况、负重概况。在深入了解现有作业环境、作业方式的基础上，从作业者日常物料搬运过程的提举指数评估出发，辨识现有作业环境、作业方式中存在的肌肉骨骼损伤风险因素。该企业为电子加工行业，评价范围中涉及的车间以手工作业为主，存在明显的不良工作姿势（如站立作业）和手工提举任务的特点。其中聚合物化成、角型化成、P/C、角型出荷、聚合物出荷车间中包装及物流岗和环境班作业工人存在手工提举作业。各车间及岗位手工提举作业暴露变量详见表 1。

### 2.2 肌肉骨骼疾患患病情况分析

2.2.1 不同岗位工人下背、颈肩部的患病情况 目前国内缺乏统一的诊断标准，国外多采取问卷的症状自评与临床体格检查相结合的方法。本文采用问卷自评方式。肌肉骨骼疾患症状阳性定义，过去 1 年内身体各部位疼痛等导致活动受限或不舒服超过 24 h，下班休息后未能恢复，排除肿瘤、结核、高血压、糖尿

表1 各车间及岗位手工提举作业工效学暴露变量

车间	岗位	暴露人数	暴露时间 (h/班)	主要工作内容	提举参数			
					提举重量	提举频次	弯腰频次	转身频次
聚合物出荷	包装	10	8	搬运电池成品,且码放整齐	6	1 000	300	1 000
	物流	22	8	搬运筐装电池到外观检查作业台	15	50	20	0
角型出荷	包装	7	8	搬运电池成品,且码放整齐	8	500	200	500
聚合物化成	充放电	68	8	搬运充电前后的塑料筐电池	13.5	48	32	48
角型化成	充放电	19	8	搬运充电前后的塑料筐电池	18	140	70	0
环境班	搬水工	1	8	搬水操作	18	170	0	170

病等慢性疾病及外伤。通过作业工人肌肉骨骼疾患症状自评,不同车间工种作业工人各种肌肉骨骼疾患的发生部位患病情况见图2。

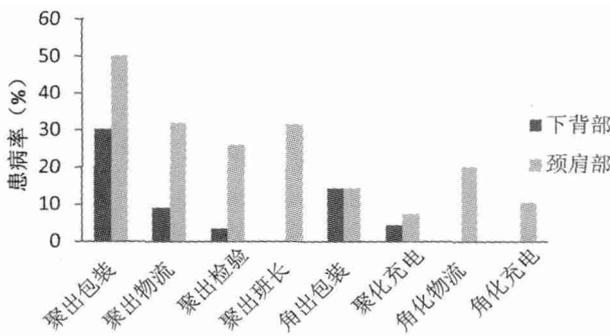


图2 不同车间岗位工人下背、颈肩部的患病情况

表2 各组工人肌肉骨骼疾患患病情况分析

组别	例数	颈	肩	肘	腕/手	上背	下背	臀/大腿	膝	踝/脚
提举作业组	134	5 (3.73)	17 (12.7)	1 (0.75)	7 (5.22)	1 (0.75)	9 (6.72)	2 (1.49)	1 (0.75)	10 (7.46)
公司内对照组	159	17 (10.7)	25 (15.7)	2 (1.26)	7 (4.40)	6 (3.77)	5 (3.14)	12 (7.54)	1 (0.63)	19 (11.9)
文献对照组	34	8 (23.5)	2 (5.88)	1 (2.94)	2 (5.88)	2 (5.88)	3 (8.82)	1 (2.94)	1 (2.94)	0 (0.00)

注: ( ) 内为患病率 (%)。

2.2.3 提举组工人颈肩痛、下背痛影响因素分析

本次评价采用 $\chi^2$ 检验进行提举作业组下背痛、颈肩痛患病情况与提举重量、提举频次及工龄的单因素分析。提举任务作业工人下背痛患病率或颈肩痛患病率与提举频次、提举重量、工龄等因素的关系尚不能显示为相关关系,  $P > 0.05$  (见表3)。分析认为系本次评价作业工人年龄偏小、工龄短等因素影响所致。根据文献报道提举次数、工龄是下背痛、颈肩痛的危险因素,随着工龄的延长,作业工人出现下背痛、颈肩痛的患病率逐渐提高<sup>[1,2]</sup>。

2.3 提举指数分析

根据测量工作状态下公式所需参数,可计算提举指数(LI),  $LI = \text{实际提举重量} / \text{RWL}$ 。

我国尚未将职业性下背痛列入职业病名单,也未制定手工提举指南和重量限值,因此参照NIOSH制定的标准进行提举作业评估<sup>[2]</sup>。如果提举指数值  $> 1.0$ ,提示当前工作状态可能构成对作业人群的危害;

2.2.2 提举组与对照组肌肉骨骼疾患对比分析 以聚合物化成、角型化成、P/C、角型出荷、聚合物出荷车间中包装及物流岗及环境班作业工人作为提举作业组,分别以聚合物出荷车间中检查员、班长等为非提举作业人员和文献中34名无明显体力工作的行政办公人员为对照组<sup>[4]</sup>,对颈肩痛、下背痛患病情况进行统计学分析。经 $\chi^2$ 检验,提举作业组与公司内对照组比较和提举作业组与文献报道的对照组比较,除颈部疼痛患病率差异存在统计学意义 ( $P < 0.05$ )外,其余组间肌肉骨骼疾患阳性体征检出率差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。详见表2。

表3 下背痛、颈肩痛与相关影响因素分析

影响因素	人数	上背痛	颈肩痛
提举重量			
<15 kg	85	7	11
15~30 kg	49	2	11
$\chi^2$ 值		0.321	2.048
P 值		>0.05	>0.05
提举频次			
<100	95	5	13
$\geq 100$	39	4	9
$\chi^2$ 值		0.448	1.778
P 值		>0.05	>0.05
工龄(月)			
$\leq 15$	95	5	15
>15	39	4	7
$\chi^2$ 值		0.448	0.094
P 值		>0.05	>0.05

$> 3.0$ ,则危害明显增加。

根据提举指数计算结果,聚合物出荷物流、聚合物出荷包装、角型出荷包装岗位工人提举指数均  $< 1$ ,说明现有作业环境诱发作业者搬举疲劳的风险较小;角型化成充放电、环境班岗位工人提举指数  $> 1$  且  $<$

3, 聚合物化成充放电岗位工人提举指数在 1 左右, 说明现有作业环境, 存在诱发作业者搬举疲劳的风险因素, 但未达到肌肉骨骼疾患发生风险明显增加的程度。充电设备最高层位置计算得到的 LI 值最大 (2.71), 主要是由于该层位置较高, 且搬举过程中可能出现的垂直距离较大, 因此计算得到的 LI 值最大。当电池筐重量一定, 且不存在搬举过程中转身时, 该工种较大的 LI 值主要是由于搬举作业位置较高、垂直距离较大所致。各工种提举指数见表 4。

### 2.4 工效学负荷改善措施建议

根据提举指数分析与评价结果, 考虑到生产过程中多数岗位电池搬运次数较多和时间较长的特点, 且搬运的电池筐手柄便于抓握, 因此改善搬举作业环境的重点应立足于有效改善作业者在搬举电池过程中的作业姿势。主要可通过降低搬举电池时手的高度和搬举过程的垂直间距来降低搬举作业对工人可能造成肌肉骨骼疾患的风险。

鉴于电池充放电设备为固定的, 无法改变其高度, 但小推车上的电池筐为工人码放, 可通过减少电池筐码放层数降低电池筐存放高度。此外, 减少搬运过程中手与身体的水平间距, 尽量减少工人搬运时造成肌肉骨骼疾患的风险。还可通过减少搬举过程中的垂直间距降低提举指数, 即建议该工种工人在搬举电池时采取“就近原则”, 尽量将小车上电池与充放电设备水平高度保持相近。在条件允许的情况下, 若能将电池存放小推车设计为可升降式, 减少小车电池与充放电设备之间的水平高度差, 均能改善搬举作业对工人的伤害。

此外, 电池筐重量、搬举频率是提举指数 LI 的直接影响因素, 降低重量、减少频率会大大降低工人患肌肉骨骼疾患的风险。各工种的主要改善措施详见表 4。

### 3 讨论

本文采用的基于 NIOSH 提举指数的人体工效学评价方法适用于长期手工搬运等作业可能导致肌肉骨骼疾患的分析与评价, 根据现场调查统计结果及各工种的提举指数计算结果, 可综合评估手工搬运等作业危险因素的暴露水平, 分析与评价工效学负荷水平与肌肉骨骼疾患症状之间的暴露与反应关系; 提举指数可以评价手工提举、搬运等作业引起下背痛等肌肉骨骼的患病风险。根据评价结果可提出具有针对性的改善措施, 建议企业合理地组织生产劳动和各项工作, 以减轻劳动者的生理及心理负荷, 提高作业能力, 定期进行作业人员的岗位培训, 提高自我保护意识, 尽量减轻和控制手工提举及搬运作业等不良工效学负

表 4 主要工种/岗位的工效学评价结果及改善措施

车间	岗位	工效学评价结果	改善措施建议
聚合物出荷	包装	LI 范围 0.52 ~ 0.68, 复合提举指数为 0.99, 说明现有作业环境诱发作业者搬举疲劳的风险较小	定期进行作业人员的岗位培训, 提高员工自我保护意识; 定期进行人体工效学评价
	物流	LI 范围 0.76 ~ 0.98, 现有作业环境诱发作业者搬举疲劳的风险较小	
角型出荷	包装	LI 范围 0.52 ~ 0.69, 复合提举指数为 0.71, 说明现有作业环境诱发作业者搬举疲劳的风险较小	同聚合物出荷
聚合物化成	充放电	LI 范围 0.87 ~ 1.17, 说明现有作业环境存在诱发作业者搬举疲劳的风险因素, 但风险程度较低	减少电池筐码放层数, 将电池存放推车改进为升降式, 改良搬运姿势, 减少电池筐重量和搬运频率
角型化成	充放电	LI 范围 1.43 ~ 2.71, 存在诱发作业者搬举疲劳的风险因素	同聚合物化成
环境班	搬水工	LI 范围 1.71 ~ 1.91, 存在诱发作业者搬举疲劳的风险因素	调整运水推车高度接近传送设备, 改良搬运姿势, 增加工人数或配备休息用座椅

荷, 定期进行人体工效学评价, 降低搬举作业对工人可能造成职业性肌肉骨骼疾患的风险。

通过手工搬运作业工效学评价方法的实例应用, 所采用的 NIOSH 提出的评价手工提举任务的实际分析工具, 即重量推荐限值和提举指数两个基本公式, 计算方法简便易行, 易于在建设项目职业病危害评价工作中推广。今后应在建设项目职业病危害评价工作中开展手工搬运作业工效学评价, 加强生产环节的职业病危害防护, 防止发生职业危害。

### 参考文献:

- [1] 张文科, 陈延平. 工业中的下背痛 [J]. 中国工业医学杂志, 1994, 7 (1): 33-35.
- [2] 朱启星, 艾东, 汪莹怡. 大客车女驾驶员下背痛工效学研究 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1995, 13 (1): 20-22.
- [3] Thomas R Waters, Vern Putz-Anderson, Arun Garg. Applications manual for the revised NIOSH lifting equation [M]. U. S. Department of Health and Human Services, 1994: 14-35.
- [4] 肖国兵. 手工操作的工效学评价及提举重量限值的研究 [D]. 复旦大学, 2004.
- [5] 肖国兵, 雷玲, Patrick Dempsey, 等. NIOSH 提举指数在下背痛流行病学研究中的应用 [J]. 环境与职业医学, 2004, 21 (2): 131-134.