

江苏安睿克智能科技有限公司·工程研究资料

人工重物搬运的职业健康风险 与工伤预防工程研究

——基于人体工效学与 NIOSH 修订搬运方程的现场风险识别、评价与工程改善参考

出品单位：江苏安睿克智能科技有限公司

资料中心：www.aurek.cn

文件编号：AUREK-WP-ERG-2026-001

版本：V1.1 | 发布日期：2026-06

适用场景：制造业现场风险初筛·工位工程改善·客户技术交流·内部培训

文件性质说明

本文为企业工程研究资料，定位为面向制造业现场的人工重物搬运风险识别、人体工效学评价和工程改善参考。文中公式、算例、评分和表格用于工程风险筛查、比较和改善决策，不构成医学诊断、职业病判断、工伤认定、法律意见或强制性标准解释。涉及标准条文、适用范围、现行状态和限值的内容，应以标准正式文本、现场实测数据和专业机构意见为准。本文结合工业搬运工位工程改善实践编写。

安睿克智能科技

目录

摘要与关键词

- 一、适用范围与边界
 - 二、引言：为什么风险不能只看重量
 - 三、人工重物搬运的主要职业健康风险类型
 - 四、人工搬运的人体工效学风险来源
 - 五、现场风险评价指标体系
 - 六、相关标准与参考体系的谨慎解读
 - 七、NIOSH 修订搬运方程的工程解读
 - 八、典型工况算例与解释
 - 九、低频搬运与高频搬运的对比
 - 十、人工搬运风险等级快速分级表
 - 十一、工程改善路径与层级控制
 - 十二、机械助力设备的介入边界
 - 十三、典型问题改善前后对比
 - 十四、FMEA 风险分析示例
 - 十五、人工搬运现场作业观察表
 - 十六、常见问题 (FAQ)
 - 十七、结论
- 免责声明
- 附录：搬运工位人体工效学改善建议表
- 参考资料与标准索引

摘要

人工重物搬运仍广泛存在于制造业上下料、装配、包装码垛、仓储物流和短距离转序等环节。即使企业已配置叉车、行车、输送线或自动化设备，短距离、临时性、非标准件和高频小批量场景中的人工搬运仍难以完全消除。传统管理常以“单件重量是否超标”作为主要判断依据，但现场工程观察与人体工效学方法均表明，人工搬运风险并非由重量单一因素决定，而是重量、姿势、频率、水平伸手距离、取放高度、垂直位移、扭转角度、抓握条件、作业节拍和环境因素共同作用的结果。相同重量在不同姿势、频率与环境下，对腰背、肩颈、下肢和腕手的负荷水平可能明显不同。

本文以“人—机—环境—组织”的系统视角为基础，结合人体工效学方法、NIOSH 修订搬运方程（RWL 与 LI）和“消除—替代—工程控制—管理控制—个体防护”的层级控制思路，建立一套面向制造业现场的人工重物搬运风险识别、指标量化、快速分级与工程改善路径，并给出典型算例、FMEA 示例、现场观察表和常见问题解答，供安全管理人员、设备管理人员、工艺工程师和生产主管参考。需要特别说明：本文提供的是工程层面的风险筛查与改善依据，不构成医学诊断、职业病判断、工伤认定或法律意见；具体健康影响判断应结合现场实测、员工反馈、职业健康检查和专业人员意见综合形成。

关键词

人工搬运；重物搬运；职业健康风险；人体工效学；NIOSH 搬运方程；RWL；LI；工伤预防；工程控制；助力机械臂

核心观点

人工重物搬运风险不能只看单件重量。重量只是基础暴露因素，姿势、频率、水平伸手距离、取放高度、垂直抬升距离、躯干扭转、抓握条件、搬运路线、地面与温湿环境、作业节拍、恢复时间和员工反馈共同决定风险水平。工程改善应优先减少不合理搬运动作，再考虑设备辅助与管理控制。

安睿克智能科技

一、适用范围与边界

1.1 适用场景

本文适用于制造业及相关现场中由人工完成或部分由人工完成的重物搬运作业的风险识别与工程改善参考，典型场景包括：

- 生产线上下料与工位间短距离转序；
- 装配过程中的工件取放、翻转与定位；
- 包装、码垛、拆垛与周转容器搬运；
- 仓储物流中的分拣、补货与临时搬运；
- 设备维护、换型和非标准件的临时性搬运。

1.2 本文不解决的问题

为避免将工程风险评估写成医学诊断或法律结论，本文明确以下边界：

- 不判断任何员工是否患有特定疾病，不对个体健康状态作诊断；
- 不认定某起伤害是否构成工伤，工伤认定应依据当地法规、事实材料和主管部门程序；
- 不把 NIOSH RWL、LI 或企业评分表写成强制法律限值，它们用于工程筛查、比较和改善排序；
- 不在未核对正式文本的情况下引用国家标准的具体条文、限值或强制性要求，涉及标准时仅说明其方法定位。

表 1 本文采用的工程表达边界

容易误写的表述	推荐表述	说明
人工搬运会导致腰椎病	不良搬运条件可能增加腰背部肌肉骨骼负荷与损伤风险	避免因果绝对化和医学诊断化
超过某重量就是违法	具体限值与合规判断应以适用法规、标准正式文本和企业制度为准	避免把工程建议写成法律结论
设备可以完全替代人工	机械助力设备是工程控制措施之一，仍需匹配工位与操作流程	避免产品宣传化和绝对化
LI 大于 1 必然受伤	LI 越高，说明任务相对推荐重量限值越不利，应优先关注与改善	避免把风险指标等同于个体伤害结果

容易误写的表述	推荐表述	说明
使用助力设备可完全避免伤害	助力设备可降低部分暴露，导入后仍需复测风险指标与员工反馈	避免“零风险”类绝对化表述

二、引言：为什么风险不能只看重量

2.1 自动化之后，人工搬运为何仍然存在

自动化与物流设备能够覆盖标准化、长距离、大批量的搬运任务，但分散在工位之间、设备边缘和非标夹具附近的短距离动作往往难以完全替代。换型频繁、品种多样、批量小、空间受限或临时性的作业，仍大量依赖人工完成。这类作业看似“只是搬一下”，实际却可能伴随低位取物、远距离伸手、负重转身、抓握不良和高节拍重复。

2.2 只看重量的传统判断为何不足

企业安全管理常以单件重量作为主要判断依据，例如“这个工件是否超过某个重量”。该指标直观、易执行，但不能代表真实负荷。**同样的重量，贴近身体、腰部高度、偶发搬运，与低位弯腰、远距离伸手、负重扭转、高频连续搬运，其负荷水平和风险机制可能差别很大。**工程上更准确的做法，是把重量与姿势、频率、距离、高度、抓握条件和环境一起记录，把搬运动作视为由人、工件、设备、工位布局和组织节拍共同决定的工作系统。

2.3 研究目标

本文的目标是为制造业现场提供一套可执行的方法：识别人工搬运的主要风险来源，建立可记录、可比较的评价指标，借助 NIOSH 修订搬运方程进行工程量化与排序，区分低频搬运与高频搬运的不同改善策略，并按层级控制思路给出工程改善路径与验证方法。

三、人工重物搬运的主要职业健康风险类型

人工搬运对人体的影响通常表现为局部肌肉骨骼负荷增加、疲劳累积和突发失稳风险。以下内容均为工程风险描述，表示“可能增加某类负荷或损伤风险”，不构成对任何个体的医学判断。

3.1 腰背部风险

腰背部负荷主要来自弯腰前屈、手部远离身体、负重起身、躯干扭转与突发失衡。当工件重心远离身体，或起身过程伴随扭腰时，腰背肌群需要产生更大的抗力矩来稳定身体和负荷，可能增加腰背部疲劳、不适、酸痛和拉伤风险。

3.2 肩颈风险

当取放高度超过舒适作业区，或需要抬肩、耸肩、远距离伸手、过顶放置时，肩颈部肌群需持续参与稳定与发力。高位货架、过高工装、长时间手臂抬举和反复过顶动作，均属于值得关注的肩颈负荷情景。

3.3 膝关节与下肢风险

低位取物、蹲起搬运、坡道或台阶搬运、湿滑地面搬运，可能增加膝关节、踝关节和下肢肌肉负荷。负重状态下频繁深蹲、半蹲或转身，还可能增加下肢疲劳、失稳、跌倒与扭伤风险。

3.4 腕部与手部风险

当工件无把手、表面光滑、边缘锐利、重心偏移或需要夹持搬运时，操作者通常需要增加握力并改变腕部姿态，可能使手腕、前臂和手指的疲劳与劳损风险上升，同时提高滑落、砸伤和误放的可能。

3.5 重复性负荷与慢性疲劳风险

高频搬运并不一定表现为单次大重量，但会带来高重复暴露和恢复不足。**单件重量较轻的作业，如果每小时次数高、持续时间长、恢复间隔短，同样可能形成疲劳累积。**低频大重量带来的瞬时负荷与高频中小重量带来的累积疲劳，机制不同，改善策略也应不同。

3.6 急性扭伤与突发事故风险

滑倒、绊倒、重心失控、多人搬运不同步、通道障碍、临时转身、视线受阻和地面高差，均可能诱发急性扭伤、挤压、砸伤或跌倒。此类风险往往与环境和组织因素相关，不能只通过限制重量解决。

四、人工搬运的人体工效学风险来源

人工搬运风险来自多因素叠加。现场评估时不宜只问“多少公斤”，还应同步记录“怎么拿、从哪里拿、拿到哪里、每分钟几次、手离身体多远、是否弯腰扭转、抓得住吗、地面和环境怎样、节拍允许恢复吗”。

表 2 人工搬运主要风险来源及工程解释

风险来源	工程解释
单次搬运重量	基础负荷来源。重量越大，单次发力和失稳后果通常越高，但重量必须结合姿势和频率解释。
搬运频率	决定单位时间重复次数与恢复时间。低频任务偏瞬时负荷，高频任务偏累积疲劳。
班次累计搬运重量	单件重量 × 班次搬运次数，反映班次内总暴露强度，是高频场景的重要补充指标。
水平伸手距离	手部离身体越远，腰背和肩部所需抗力矩越大。缩短水平距离往往是高收益改善项。
取放高度（起点/终点）	地面或膝下取物易增加弯腰、深蹲；肩高以上放置易增加肩颈负荷。
垂直抬升距离	起点与终点高度差越大，搬运过程持续参与的肌肉群越多，疲劳风险越高。
弯腰角度	躯干前屈越深，腰背承受的力矩越大；频繁深弯腰是典型的高风险姿势信号。
躯干扭转角度	负重状态下扭转会引入不对称负荷，应优先通过转盘、滑台或工位重布置减少。
抓握条件	无把手、光滑、锐边、偏心、柔性包装等会增加握力和腕部不良姿势，同时提高掉落风险。
工件尺寸、外形和重心	大体积、遮挡视线、重心偏移、液体晃动和柔性物料会降低可控性。
搬运路线	距离长、绕行、有台阶坡道或交叉物流的路线会增加体力消耗与跌倒碰撞暴露。
地面与作业环境	湿滑、油污、照明不足、高温、湿热、噪声、粉尘和空间受限会放大搬运风险。
作业节拍与恢复时间	设备节拍、订单压力、缺少缓冲区和微休息会使疲劳在班次内持续累积。

低频与高频搬运的区别

低频、短距离、偶发性搬运的主要风险往往来自单次动作的姿势、抓握、重量和失衡后果；高频、重复性、连续性搬运的主要风险则来自单位时间暴露量、恢复不足和疲劳累积。因此，低频任务应重点优化单次动作，高频任务应重点降低重复暴露、改善节拍，并评估机械助力或输送方案。

五、现场风险评价指标体系

5.1 基础暴露指标

为使搬运风险可记录、可比较、可追踪，企业可建立基础暴露指标。建议通过现场观察、视频抽样、卷尺测量、称重、班次记录和员工反馈获得数据。

表 3 人工搬运现场评价基础指标

指标	单位 / 分级	记录方式	风险意义
单件重量	kg	称重或物料清单	基础负荷
每分钟 / 每小时搬运次数	次/min、次/h	观察计数或视频分析	重复暴露与恢复时间
班次搬运总次数	次/班	班次记录	班次重复暴露
班次累计搬运重量	kg/班	单件重量 × 总次数	累计负荷
水平搬运距离	m	路线测量	体力消耗与跌倒暴露
手部水平距离 H	cm	手到两踝中点的水平距离	腰背力矩
起点高度	cm	卷尺测量	弯腰 / 深蹲信号
终点高度	cm	卷尺测量	肩颈 / 过顶信号
垂直抬升距离 D	cm	终点高度 - 起点高度	持续发力与疲劳
躯干扭转角 A	°	视频估算 / 现场观察	非对称负荷
抓握条件	好 / 一般 / 差	把手、防滑、重心、手指空间	腕部负荷与掉落风险
主观疲劳评分	0-10	班前 / 班中 / 班后问卷	疲劳累积线索
不适反馈	部位 + 程度	匿名反馈 / 健康管理记录	持续改善线索
环境风险	分级	湿滑、高温、照明、障碍	风险放大因素
是否有辅助设备	有 / 无	现场确认	工程控制现状

5.2 累计搬运暴露量

在高频搬运场景中，单件重量不足以反映班次暴露，可用以下两个简单指标进行初筛：

计算公式

班次累计搬运重量： $M_{total} = m \times N$

小时累计搬运重量： $M_{hour} = m \times n_{hour}$

其中， m 为单件重量 (kg)， N 为班次搬运总次数， n_{hour} 为每小时搬运次数。上述指标用于比较工位负荷强度，不代表医学诊断或法律限值。

5.3 综合风险筛查评分

在缺乏完整 NIOSH 数据或现场测量条件有限时，可采用 1-5 分制进行快速筛查，并用于企业内部风险排序。评分表应结合行业特点和历史数据定期修订。

表 4 综合风险筛查评分建议

评分	风险水平	描述
1	低	重量小、频率低、姿势良好、环境稳定，未见明显疲劳反馈
2	较低	存在少量不利因素，但持续时间短，人员可恢复
3	中	重量、频率、姿势、距离或抓握中至少一项明显不利
4	较高	多项因素叠加，已有疲劳、不适或小事件反馈
5	高	大重量或高频连续，同时存在弯腰扭转、远距离伸手、环境差或异常事件记录

示例权重

$\text{Risk Score} = \text{重量分} \times 0.25 + \text{频率分} \times 0.20 + \text{姿势分} \times 0.20 + \text{距离/高度分} \times 0.15 + \text{抓握分} \times 0.10 + \text{环境分} \times 0.05 + \text{主观反馈分} \times 0.05$ 。该权重仅用于企业内部初筛，不替代专业工效学评价、职业卫生评价或医学判断。

六、相关标准与参考体系的谨慎解读

本文在方法层面参考国内外若干人体工效学与职业安全健康资料。需要特别说明：标准的具体条文、适用范围、限值和现行状态，应以标准正式文本与企业适用场景为准。本文不引用、不编造具体强制条款或限值。

表 5 标准与参考体系的方法定位

标准 / 参考体系	本文中的使用方式
GB/T 16251—2023《工作系统设计的人类工效学原则》	作为工作系统设计总纲，从“人—机—环境—组织”视角考虑人的能力、负荷、健康风险、系统绩效和可持续作业。
GB/T 10000—2023《中国成年人人体尺寸》	可用于工位高度、伸手距离、操作空间、通道和取放高度的人体尺寸参考；具体数值需核对正式文本。
GB/T 14775—1993《操纵器一般人类工效学要求》	可用于控制按钮、手柄、脚踏、操纵方向、可识别性和操作便利性的设计参考，以减少设备使用过程中的二次风险。
GB/T 18978 系列《人-系统交互工效学》	涉及人机交互、显示、输入和以人为中心设计。若设备配置显示屏、报警界面或数据采集终端，可作为交互工效学参考。
ISO 11228 手工搬运系列	作为手工抬举、搬运、推拉和重复性低负荷作业评价的国际方法背景；不宜未经核对直接引用限值。
NIOSH Revised Lifting Equation (RNLE)	适合分析双手抬举 / 放置类任务，可将重量、水平距离、垂直高度、抬升距离、扭转、频率和抓握条件转换为 RWL 与 LI。
职业卫生相关 GBZ / GBZ/T 标准	涉及工作场所物理因素、劳动强度、高温、噪声、粉尘和职业健康管理时，应由职业卫生专业人员结合适用标准判断。

标准引用原则

企业资料中心文章可引用标准名称和方法方向，但不建议在未核对正式文本的情况下写入具体条文号、限值或合规判断。若后续需要用于招投标、验收、审厂或法律场景，应单独进行标准版本核对和合规审查。

安睿克智能科技

七、NIOSH 修订搬运方程的工程解读

7.1 基本公式

NIOSH 修订搬运方程 (Revised NIOSH Lifting Equation, RNLE) 通过一组乘数因子, 将理想条件下的基准负荷修正为特定工况下的推荐重量限值, 其常用表达为:

RNLE 公式

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

$$LI = \text{Load} / RWL \text{ (Load 为实际搬运重量)}$$

表 6 NIOSH 修订搬运方程符号说明

符号	含义	工程解释
RWL	Recommended Weight Limit, 推荐重量限值	特定工况下的工程参考重量, 用于任务比较和改善排序, 不是法律限值, 也不是对个体的安全保证。
LC	Load Constant, 负荷常数	理想双手抬举条件下的基准负荷, 方程中取 23 kg (约 51 lb)。
HM	Horizontal Multiplier, 水平距离因子	手离身体越远, HM 越小; 远距离伸手会显著降低 RWL。
VM	Vertical Multiplier, 垂直高度因子	起点高度偏离舒适区域越多, VM 越小。
DM	Distance Multiplier, 垂直位移因子	抬升距离越大, DM 趋于降低。
AM	Asymmetric Multiplier, 非对称因子	躯干扭转角越大, AM 越小。
FM	Frequency Multiplier, 频率因子	搬运越频繁、持续时间越长、恢复越少, FM 越小。
CM	Coupling Multiplier, 抓握因子	抓握条件越差, CM 越小。
LI	Lifting Index, 搬运指数	实际重量与 RWL 的比值。LI 越高, 说明该任务相对推荐条件越不利, 越应优先关注和改善。LI 不是医学诊断指标。

7.2 RWL 与 LI 的工程意义

RWL 是用于任务设计和风险比较的工程输出。各乘数因子通常不大于 1; 当某个条件偏离理想状

态，例如水平距离过大、起点过低、频率较高、扭转角较大或抓握不佳时，对应因子降低，RWL 随之降低。**RWL 不是法律限值，LI 不是医学诊断指标。**LI 是实际重量相对 RWL 的比值，LI 越高，说明该任务相对推荐条件越不利，越应优先进行工程改善。

在企业应用中，不宜把 LI 简化为“是否会受伤”的个体预测。更合适的做法，是把 LI 与员工反馈、疲劳观察、事故 / 异常记录、工位节拍和环境因素共同使用，用于工位排序、方案比较和改善前后复测。

7.3 适用边界

NIOSH 修订搬运方程主要适用于站姿、双手、平稳的抬举与放置类任务。以下情形不宜直接套用，应谨慎使用并结合其他评价方法与专业判断：

- 单手搬运或抱持搬运；
- 多人协同搬运；
- 推、拉、拖拽类作业；
- 坐姿、跪姿或空间严重受限的搬运；
- 在梯子、台阶或不稳定支撑面上的搬运；
- 极端高温、低温或其他特殊环境；
- 存在突发冲击、不稳定活体或液体剧烈晃动的负载。



八、典型工况算例与解释

8.1 工况描述

以下示例用于演示计算思路，不代表任何企业的真实限值，也不用于医学或法律判断。假设某工位需将 25 kg 工件从低位托盘搬至工作台，现场观察数据如下：

表 7 示例工况参数

参数	示例值
单件重量 Load	25 kg
手部水平距离 H	45 cm
起始高度 V	50 cm
垂直抬升距离 D	70 cm
躯干扭转角 A	45°
搬运频率 F	2 次/min
持续时间	2 h
抓握条件	一般

8.2 计算过程

正式评估应根据现场实测数据，按 NIOSH 官方表格或计算工具确定各乘数因子。为演示计算思路，此处采用下列近似示例值（频率因子与持续时间区间相关，示例按较保守区间取值）：

表 8 示例因子值（仅用于演示）

因子	示例值	主要影响因素
LC	23 kg	方程基准负荷常数
HM	0.56	水平距离 45 cm，手离身体较远
VM	0.93	起点高度 50 cm，低于舒适区
DM	0.88	垂直抬升 70 cm
AM	0.86	躯干扭转 45°
FM	0.65	2 次/min 持续作业，恢复不足
CM	0.95	抓握条件一般

计算结果 (示例)

$$RWL \approx 23 \times 0.56 \times 0.93 \times 0.88 \times 0.86 \times 0.65 \times 0.95 \approx 5.6 \text{ kg}$$

$$LI = 25 / 5.6 \approx 4.5$$

上述因子值与结果仅为示例。正式评估应以现场实测、NIOSH 正式表格 / 公式和专业人员判断为准。

8.3 工程解释

在该示例中，实际搬运重量明显高于计算得到的推荐重量限值，LI 明显大于 1，说明该任务在工程评价上应优先关注。**值得注意的是，把 RWL 拉低的主要因素并不是重量本身，而是水平距离和频率。**水平距离因子较低，说明手离身体较远，腰背需要承受更大的力矩；频率因子较低，说明重复暴露较高、恢复不足；非对称因子也提示负重扭转存在不利影响。这一结果不应被解读为医学结论或违法结论，而应作为工程改善排序的依据。

8.4 改善方向

- 降低单件重量或改为小包装、分批搬运；
- 将工件起点提高至腰部附近，例如采用升降托盘；
- 缩短水平伸手距离，使工件贴近身体；
- 减少负重扭腰，改用转盘、滑台或正向布置；
- 改善抓握条件，增加把手、夹具或托盘；
- 降低搬运频率，增加缓冲与轮岗；
- 在高频或持续作业场景中，评估升降台、输送线、助力机械臂、真空吸吊机或平衡吊等工程控制措施。

— 安睿克智能科技 —

九、低频搬运与高频搬运的对比

相同重量在不同频率、姿势与布局条件下，风险机制和改善优先级并不相同。这正是人工搬运评价不能只看重量的直接体现。

表 9 低频与高频搬运的对比（以同为 25 kg 为例）

对比维度	场景 A：低频、贴近身体、偶发搬运	场景 B：高频、远距离伸手、弯腰扭转搬运
重量	25 kg	25 kg
姿势 / 距离	腰部高度取放、贴近身体、基本不扭转	低位取物、远距离伸手、负重扭转
频率	偶发，如每班数次	高频连续，如 2 次/min 以上
主要风险机制	单次瞬时负荷与失稳后果	累积疲劳、恢复不足，叠加单次高负荷
典型信号	个别动作吃力、偶发险情	班中即疲劳、持续不适反馈、效率下降
改善重点	优化单次姿势、抓握条件和取放高度	降低重复暴露、工位重布置、评估输送或机械助力



十、人工搬运风险等级快速分级表

下表可用于现场快速分级，分级结果用于企业内部排序与改善优先级判断，不是法定风险等级。

企业可根据行业、作业人群、历史事件和职业卫生管理要求调整描述。

表 10 人工搬运风险等级快速分级表（低 / 中 / 高 / 很高）

风险因素	低	中	高	很高
单次重量	较轻，可稳定控制	中等，需明显用力	较重或接近承载上限	很重、偏心或需借力勉强完成
搬运频率	偶发	周期性重复	高频，恢复偏少	高频连续，几乎无恢复
搬运距离	短距离、路线清晰	中等距离	长距离或绕行	长距离且路线复杂、有交叉物流
取放高度	腰部附近	膝下或胸上	地面取物或肩上放置	地面取物且过顶放置
水平伸手	贴近身体	中等伸手	远距离伸手	远距离伸手且持续保持
弯腰姿势	基本直立	偶尔弯腰	频繁弯腰	频繁深弯腰并负重起身
扭转动作	无或很少	偶尔转身	负重扭腰	负重扭腰且高频出现
抓握条件	把手良好、防滑	抓握一般	无把手或光滑	无把手且锐边、偏心或柔性
地面环境	平整干燥	局部障碍	湿滑、坡道或台阶	多种不利环境叠加
温湿照明	正常	略不适	高温、湿热或照明不足	极端温湿与照明不足叠加
疲劳反馈	无明显疲劳	班后疲劳	班中即明显疲劳	持续高疲劳并影响动作质量
不适反馈	无	偶发个别反馈	多人或反复反馈	持续反馈并伴异常事件记录

十一、工程改善路径与层级控制

11.1 层级控制原则

人体工效学改善宜遵循“消除—替代—工程控制—管理控制—个体防护”的层级控制思路。**优先方向是消除或减少不合理搬运动作，其次是替代和工程控制，再辅以管理控制与个体防护。个体防护用品只能降低部分暴露或事故后果，不能替代工位设计、设备辅助和流程改善。**

表 11 搬运风险控制层级

层级	典型措施	说明
消除	取消不必要的人工搬运、取消低位取放或负重转身	优先级最高，宜在工艺和布局设计阶段实现
替代	小包装、分批、标准容器、预装托盘、预定位工装	降低单次负荷和作业可变性
工程控制	升降平台、剪叉升降台、转盘、滚筒线、输送线、平衡吊、助力机械臂、真空吸吊机、AGV、专用夹具、周转托盘、工位重布置	通过设备、工装或布局改变暴露条件
管理控制	轮岗、节拍优化、恢复间隔、作业指导书、培训、点检	依赖执行和监督，不能单独替代工程控制
个体防护	防滑鞋、手套、护具、防暑降温用品	辅助措施，重点是适配与正确使用，不能替代工程改善

11.2 工程控制的实施要点

- 工程控制应优先针对高风险工位部署，依据 RWL / LI、累计暴露、风险分级和员工反馈确定优先级；
- 设备不是万能方案，导入前应先评估能否通过消除、替代或工位重布置解决问题；
- 设备选型需要结合负载、作业半径、行程、夹具形式、气源 / 电源条件、空间、节拍和安全保护功能综合判断；
- 个体防护不能替代工程改善，只能作为残余风险的补充措施。

十二、机械助力设备的介入边界

升降平台、助力机械臂、真空吸吊机、平衡吊等机械助力设备，属于人工搬运工程控制措施的一部分，而不是全部人工动作的替代。其作用在于承担主要承重、稳定和定位功能，使操作者尽量

在较舒适的姿势、可控的节拍和更低的身体负荷下完成作业。

12.1 适合评估介入的情形

- 单件重量较大，或需要长时间举持、定位、翻转；
- 高频重复搬运，员工恢复不足，班次累计暴露较高；
- 取放高度差大，需要频繁弯腰、抬肩或过顶操作；
- 工件无把手、偏心、易损、表面光滑或需要专用夹具；
- 存在负重转身、远距离伸手、姿态受限或空间干涉。

12.2 不适合或需要谨慎评估的情形

- 极高节拍且无法接受设备动作时间的工位；
- 品种频繁切换、物料形态差异极大，夹具难以覆盖的工位；
- 空间狭窄、行车 / 物流干涉严重，设备布置受限的区域；
- 需要复杂判断、精细手感或频繁异常处置的作业；
- 尚未完成工艺重布置和夹具验证的工位，宜先改流程再评估设备。

12.3 设备可能带来的二次风险

机械助力设备本身也可能引入新的风险点，选型与验收时应同时评价“能否省力”和“是否便于安全、稳定、直观地操作”。典型二次风险包括：手柄位置不合理导致操作不便；按钮 / 控制逻辑不直观或反馈不清；急停不可达；夹具与工件不适配导致夹持不稳；释放逻辑不充分导致误释放；失气 / 断电保护和重载下沉控制不足；设备本体或负载遮挡视线；与周边设备、行车和通道产生空间干涉。

12.4 导入后的复测与闭环

更稳妥的实施路径是：先识别高风险工位，再用 RWL / LI、累计暴露和风险分级确定改善优先级；设备投入后，对搬运姿态、频率、员工疲劳反馈和异常事件进行复测，确认风险指标实际下降、未引入新的不利动作，形成评估—改善—验证的闭环。

十三、典型问题改善前后对比

下表汇总人工搬运现场常见问题的改善方向，可作为工位改善方案讨论的起点。具体措施应结合工位实测数据、节拍和投资约束确定。

表 12 典型搬运问题改善前后对比

改善前典型问题	改善方向	工程要点	预期效果
地面取物，频繁深弯腰	升降托盘 / 剪叉升降台	保持取料高度接近腰部，随取随升	减少腰部前屈与深蹲
远距离伸手取放	工位重布置	缩短台面深度，使工件贴近身体	降低腰背力矩
负重转身放料	转盘或直线流布置	改为正向取放，增加转盘、滑台或滚筒线	减少非对称负荷
高频重复搬运	输送线或机械助力	增加输送、缓存区，评估助力机械臂 / 平衡吊，优化节拍与轮岗	降低重复暴露与疲劳累积
无把手、抓握困难	专用夹具或托盘	增加把手、夹具、周转箱或防滑表面，标识重心	降低腕部负荷与掉落风险
地面湿滑、油污	防滑处理与清洁制度	防滑地坪、排水设计，建立清洁点检制度	降低滑倒与失稳风险
高温环境搬运	环境与组织改善	通风、隔热屏障、错峰作业、休息补水	改善持续作业能力
工件偏心、重心不明	重心标识与专用托架	标识重心位置，设计限位托架或夹具	提高搬运可控性
路线绕行、通道障碍	物流线重规划	优化路线、定置管理、减少交叉	降低跌倒碰撞暴露

十四、FMEA 风险分析示例

为支持工位风险排序，可采用 FMEA（失效模式与影响分析）方法。S 为严重度，O 为发生度，D 为可探测度，均按 1-10 评分， $RPN = S \times O \times D$ 。下表评分为示例，FMEA 评分仅用于企业内部风险排序和改善优先级讨论，不代表法定结论，应结合现场实际定期修订。

表 13 人工搬运 FMEA 风险分析示例

序号	失效模式 / 风险情景	可能后果	主要原因	S	O	D	RPN	改善措施
1	低位弯腰搬起重物	腰背不适、拉伤 风险增加	托盘过低、无升降装置	8	7	5	280	升降台，提高取料高度
2	负重转身放料	腰背非对称负荷增加	布局不合理、取放方向错位	8	6	5	240	正向取放，转盘 / 滑台
3	高频重复搬运	疲劳累积、动作变形	节拍快、无恢复时间	7	8	5	280	机械助力、输送、轮岗
4	无把手或抓握困难	腕部过度用力、滑落	工件外形不利抓握	6	7	6	252	专用夹具、把手、托盘
5	湿滑地面搬运	滑倒、扭伤、砸伤	油污、水渍、清洁不足	9	5	4	180	防滑地面、排水、清洁点检
6	高温环境搬运	疲劳加速、稳定性下降	通风差、热源集中	7	6	5	210	通风降温、隔热、休息补水
7	视线受阻搬运	碰撞、跌倒、误放	工件过大或堆叠过高	8	5	5	200	降低堆高、改推车 / 托盘
8	多人搬运不同步	扭伤、夹伤、掉落	缺少口令和协同作业规范	8	4	5	160	作业指导书、同步口令、专用工具
9	工件偏心搬运	失稳、腰腕负荷骤增、掉落	重心不可见、无标识、无托架	7	6	6	252	重心标识、专用托架、必要时机械助力
10	辅助设备夹具不匹配	夹持不稳、误释放、二次搬运	选型未覆盖工件谱系、未做夹具验证	8	4	6	192	选型评估、夹具试装验证、操作培训与点检

十五、人工搬运现场作业观察表

下表可直接用于现场记录，配合卷尺、秤、计时和视频抽样使用。填写示例仅供参考。

表 14 人工重物搬运风险现场评估表

项目	记录内容 / 单位	填写示例
企业 / 车间		例：总装车间
工位名称		例：包装下料工位
评估日期		
评估人员		
作业班次	白班 / 夜班	白班
物料名称		金属箱体
单件重量	kg	25
每小时搬运次数	次/h	120
班次搬运总次数	次/班	800
班次累计重量	kg/班	20000
搬运起点高度	cm	40
搬运终点高度	cm	90
垂直抬升距离	cm	50
水平伸手距离	cm	45
搬运水平距离	m	3
是否弯腰 / 弯腰角度	是/否, °	是, 约 45
是否扭转 / 扭转角度	是/否, °	是, 约 45
是否超过肩高	是 / 否	否
抓握条件	好 / 一般 / 差	一般
工件是否偏心	是 / 否	是
是否遮挡视线	是 / 否	否
地面情况	干燥 / 湿滑 / 坡道 / 台阶	局部湿滑
照明情况	良好 / 一般 / 不足	一般
温湿环境	正常 / 高温 / 湿热	高温

项目	记录内容 / 单位	填写示例
是否有辅助设备	有 / 无	无
主观疲劳评分	0-10	7
不适反馈部位	腰 / 肩 / 膝 / 腕 / 其他	腰、肩
既往异常事件	扭伤 / 滑倒 / 掉落 / 无	曾发生滑落
NIOSH RWL	kg	待计算
NIOSH LI		待计算
初步风险等级	低 / 中 / 高 / 很高	高
优先改善建议		升降台 + 转盘 + 降低频率

十六、常见问题 (FAQ)

Q1: 人工搬运风险是不是只看重量?

不是。重量只是基础暴露因素。同样的重量，在不同姿势、频率、水平伸手距离、取放高度、抓握条件和环境下，负荷水平可能差别很大。现场评估应同时记录重量、频率、距离、高度、姿势、抓握、环境和员工反馈。

Q2: 25 kg 的人工搬运一定危险吗?

不一定，也不能反过来认为一定安全。25 kg 在腰部高度、贴近身体、偶发搬运的条件下，与在低位、远距离伸手、负重扭转、高频连续的条件下，风险水平明显不同。判断应基于完整的工况参数和工程评价，而不是单一重量数字。

Q3: NIOSH LI 大于 1 代表什么?

LI 大于 1 表示实际搬运重量超过该工况下计算的推荐重量限值 (RWL)，说明该任务相对推荐条件不利，LI 越高越应优先关注和改善。LI 是工程筛查与排序指标，不是医学诊断结论，也不代表违法。

Q4: RWL 是不是法律限值?

不是。RWL 是 NIOSH 修订搬运方程在特定工况下计算的工程参考重量，用于任务比较和改善排序。合规判断应以适用法规、标准正式文本和企业制度为准。

Q5: 高频搬运为什么比偶发搬运更值得关注?

高频搬运带来高重复暴露和恢复不足，即使单件重量不大，疲劳也会在班次内持续累积，并可能导致动作变形、稳定性下降。偶发搬运的风险偏单次瞬时负荷，高频搬运的风险偏累积疲劳，两者的评价指标和改善策略应分别制定。

Q6：助力机械臂能不能完全替代人工？

不能。助力机械臂是工程控制措施之一，主要承担承重、稳定和定位功能，操作仍由人完成。它适合高负荷、高频或姿态不利的工位，但需要结合负载、半径、行程、夹具、空间和节拍评估，导入后还应复测风险指标和员工反馈。

Q7：什么场景适合考虑真空吸吊机？

真空吸吊机通常适合表面相对平整、有一定气密性、可承受吸附力的工件，例如板材、箱体、袋装物料和部分桶类容器。多孔、透气、表面油污粉尘严重、高温或外形极不规则的工件，需要先进行吸盘选型和现场试吊验证，并配置失气保护等安全功能。

Q8：工位改善应该先买设备还是先改流程？

建议先评估、先改流程。按层级控制思路，应先看能否消除不必要搬运、通过布局调整和容器化降低暴露；在此基础上，对仍然高风险的工位再评估设备方案。直接购买设备而不改流程，可能出现设备闲置、夹具不适配或引入二次风险。

Q9：员工反馈腰酸，可以直接判断为职业病吗？

不可以。员工的疲劳和不适反馈是重要的工程改善线索，提示相关工位应优先复核和改善，但职业病诊断有法定程序和专业机构，须结合职业健康检查、接触史和医学判断。企业层面应做的是记录反馈、排查工况、推进改善，而不是自行作出医学结论。

Q10：改善后如何验证效果？

建议在改善前后采用同一套指标进行复测：RWL / LI、搬运频率、累计暴露、姿势观察（弯腰、扭转、伸手距离）、主观疲劳评分、不适反馈和异常事件记录。指标实际下降、员工反馈改善且未引入新的不利动作，才能视为改善闭环完成。

十七、结论

1. 人工重物搬运风险具有多因素叠加特征，不能仅以单件重量判断；姿势、频率、水平距离、取放高度、垂直位移、扭转、抓握条件、作业节拍和环境因素共同决定风险水平。

2. 腰背、肩颈、膝与下肢、腕手以及疲劳类风险，通常与重量、水平伸手距离、取放高度、扭转角、频率和抓握条件共同相关；弯腰、扭腰和远距离伸手通常比贴近身体、对称、中立姿势更不利。
3. 低频短距离搬运与高频重复搬运的风险机制不同：前者偏单次瞬时负荷，后者偏累计暴露与恢复不足，评价指标和改善策略应分别制定。
4. NIOSH 修订搬运方程提供了相对清晰的工程量化路径，可用于比较不同工位和不同改善方案，但其适用边界必须明确；RWL 不是法律限值，LI 不是医学诊断指标。
5. 工程改善应遵循“消除—替代—工程控制—管理控制—个体防护”的优先级，先减少不合理搬运动作，再考虑设备辅助；单纯依靠培训和个体防护不能替代工程改善。
6. 升降平台、助力机械臂、真空吸吊机和平衡吊等机械助力设备是工程控制措施之一，应针对高风险工位优先评估部署，并通过复测和员工反馈验证改善效果，同时关注可能的二次风险。
7. 现场评估应与员工反馈、职业健康检查、异常事件记录、疲劳观察和专业人员判断结合，避免将工程评价简单等同于医学诊断或法律结论。
8. 本文为工程研究资料，不构成医学诊断、职业病判断、工伤认定或法律意见。

免责声明

免责声明

本文为企业工程研究资料，所列公式、算例、评分、表格和改善建议仅用于制造业现场风险识别、工程筛查和改善思路参考，不构成医学诊断、职业病判断、工伤认定、法律意见或强制性标准解释。涉及国家标准、行业标准、职业卫生评价和具体限值的内容，应以正式标准文本、现场实测数据和专业机构意见为准。

附录：搬运工位人体工效学改善建议表

风险问题	观察表现	改善目标	工程改善措施	管理改善措施	预期效果
单件重量过大	搬运吃力、需借力	降低单次负荷	分装、标准容器、机械助力	限制单人搬运、评估轮岗	降低腰背和肩部负荷
低位取物	频繁弯腰	提高取料高度	升降托盘、剪叉平台	物料堆放高度规范	减少腰部前屈
高位放置	抬肩、举高手臂	控制作业高度	降低货架、使用升降台	规定最大堆放高度	减少肩颈负荷
远距离伸手	手离身体远	缩短水平距离	工位重布置、滑台	物料先进先出优化	降低腰背力矩
负重转身	搬起后扭腰放置	改为正向搬运	转盘、滚筒线、U型工位	调整作业顺序	减少非对称负荷
高频搬运	节拍快、恢复不足	降低重复暴露	输送线、助力臂、平衡吊	轮岗、微休息	减少疲劳累积
抓握不良	无把手、易滑	改善抓握	专用夹具、把手、托盘	手套适配检查	降低腕部和滑落风险
通道障碍	绕行、避让	缩短且稳定路线	物流线重规划	定置管理与清理	降低跌倒碰撞风险
地面湿滑	油污、水渍	提高摩擦与排水	防滑地坪、排水槽	清洁点检制度	降低滑倒风险
高温环境	出汗、疲劳快	降低热负荷	通风、隔热、局部降温	休息补水、错峰作业	改善持续作业能力
信息不足	不清楚风险等级	可视化管理	数据看板、风险标识	培训与反馈机制	提升风险识别能力
缺少持续评估	改善后无人复核	建立闭环	定期复测 RWL / LI	定期工效学评审	形成持续改善机制

参考资料与标准索引

1. CDC/NIOSH. Revised NIOSH Lifting Equation (RNLE) 专题页面。
2. CDC/NIOSH. Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110 (修订版)。

3. CDC/NIOSH. Ergonomic Guidelines for Manual Material Handling, NIOSH Publication No. 2007-131。
4. CDC/NIOSH. Hierarchy of Controls (控制层级) 专题页面。
5. ISO 11228-1:2021, Ergonomics — Manual handling — Part 1: Lifting, lowering and carrying。
6. 全国标准信息公共服务平台：GB/T 16251—2023《工作系统设计的人类工效学原则》。
7. 全国标准信息公共服务平台 / 国家标准全文公开系统：GB/T 10000—2023《中国成年人人体尺寸》。
8. 全国标准信息公共服务平台：GB/T 14775—1993《操纵器一般人类工效学要求》。
9. 全国标准信息公共服务平台：GB/T 18978 系列《人-系统交互工效学》相关标准。

注：以上资料用于说明方法来源与定位。引用任何标准的具体条文、限值或合规要求时，应以标准正式文本和现行有效版本为准。

