



中华人民共和国国家标准

GB/T 33940—2017

机械安全 安全设计与精益制造指南

Safety of machinery—Guide for safety design and lean manufacturing

2017-07-12 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 精益制造 2

 4.1 总则 2

 4.2 精益制造方法 3

5 精益改进实践和示例 5

 5.1 概述 5

 5.2 精益与安全冲突的示例 6

 5.3 精益与风险 7

 5.4 评注 8

6 安全和精益解决方案 8

 6.1 管理层 8

 6.2 流程模型 8

7 风险评估 9

 7.1 概述 9

 7.2 过程 9

 7.3 安全和精益 10

8 安全和精益的成功案例 11

 8.1 电动折弯机 11

 8.2 去毛刺机 12

 8.3 折叠式控制器 13

 8.4 评注 15

9 安全和精益设计的考虑因素 15

10 总结 16

附录 A (资料性附录) 规划的考虑 17

附录 B (资料性附录) 流程设计的考虑 19

附录 C (资料性附录) 规划布局的考虑 21

附录 D (资料性附录) 关于工具和设备设计的考虑 23

附录 E (资料性附录) 关于工作场所装卸设备的考虑 26

参考文献 28

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国机械安全标准化技术委员会(SAC/TC 208)提出并归口。

本标准主要起草单位：福建省闽旋科技股份有限公司、机械科学研究总院、南京林业大学光机电仪工程研究所、华测检测认证集团股份有限公司、广东汇利兴精工科技有限公司、中国航天科工运载技术研究院北京分院、欧姆龙自动化(中国)有限公司、皮尔磁工业自动化(上海)有限公司、中国标准化研究院、中国纺织机械协会。

本标准主要起草人：朱斌、李勤、陈珍珍、刘攀超、刘治永、钟辉、王学智、宁燕、居荣华、李立言、程红兵、于亚彬、张晓飞、郁毛林、付卉青、黄之炯、徐凯、辛曼玉、马立强、刘霞、王静怡、李运红。

引 言

精益制造通过减少浪费、降低成本以及制造过程的复杂程度来提高生产率(更好更快地产出)的各种各样方案、技术和方法。然而,过度频繁地追求精益制造,就会造成对精益制造方法的误用,由此会给人员安全和精益制造的目标带来重大风险。安全是精益制造中试图获取更好、更快、更节省、更安全收益过程的一个关键要素。在精益制造理念中只有注重机械安全,将安全集成到精益制造中,二者结合,相辅相成,互相兼顾才是企业实现安全生产、降低生产成本、提高工作效率和生产效率的重要途径。本标准提出了机械安全设计与精益制造并举的理念,并给出实际应用的案例。

机械领域安全标准的结构如下:

- A 类标准(基础安全标准),给出适用于所有机械的基本概念、设计原则和一般特征。
 - B 类标准(通用安全标准),涉及机械的一种安全特征或使用范围较宽的一类安全装置:
 - B1 类,特定的安全特征(如安全距离、表面温度、噪声)标准;
 - B2 类,安全装置(如双手操纵装置、联锁装置、压敏装置、防护装置)标准。
 - C 类标准(机器安全标准),对一种特定的机器或一组机器规定出详细的安全要求的标准。
- 根据 GB/T 15706 的规定,本标准属于 B 类标准。

机械安全 安全设计与精益制造指南

1 范围

本标准给出了在机械设备和生产系统中兼顾安全设计与精益制造,减少伤害和浪费,提高性能、安全和质量的指南。

本标准适用于应用安全设计与精益制造的实践过程中,最大程度地减少与机械设备和生产系统相关的浪费和风险。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 16856 机械安全 风险评估 实施指南和方法举例

3 术语和定义

GB/T 15706 — 2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

精益制造 lean manufacturing

在生产过程中,通过采用各种技术与管理工具实现减少浪费、降低成本和复杂程度的一种生产方式。

3.2

5S five-S

用来帮助识别和消除各种形式浪费的可重复的五步流程,包括分类(Sort)、整理(Set-in-order)、清洁(Shine)、标准化(Standardize)、持续(Sustain)。

注:由于五步流程的英文对应词的首字母均由 S 开头,称为 5S 管理。

3.3

改善 kaizen

通过识别和消除浪费及不必要的非附加值活动而持续改进的一种方法。

3.4

看板 kanban

把工艺要求、生产流程或产品需求等信息通过诸如板报、屏幕等载体直观表达出来,实现即时作业的一种工作方法。

3.5

拉动 pull

在整个生产系统中以客户需求为驱动,合理配置工作量,制造出客户满意产品的一种生产流程。

3.6

六西格玛 six sigma

以次品率不超过百万分之三点四为目标,基于数理统计控制的一种质量管理方法。

4 精益制造

4.1 总则

4.1.1 精益制造通过采取以下方式或方法力求消除、减少或简化非增值的生产活动：

- 消除浪费；
- 平衡不同工序和人员之间的工作量；
- 标准化工作流程；
- 整理工作场所；
- 发挥团队作用；
- 员工交叉培训；
- 减少转换时间；
- 在适当的工位存放待用的原材料；
- 操作者确保在零部件进入下一个工位前对其进行质量检测；
- 采用单元式布局；
- 应用全面生产维护以减少设备停机时间。

4.1.2 精益制造的改变会涉及或影响到以下各类人员，包括：

- 管理人员；
- 工程师；
- 安全员；
- 使用者；
- 其他生产一线人员；
- 客户；
- 所有者；
- 供应商。

4.1.3 精益理念的核心前提是最大程度减少或消除生产各个流程中的浪费。浪费一般包括以下 7 种形式：

- a) 过量生产；
- b) 等待；
- c) 运输；
- d) 过度加工；
- e) 库存；
- f) 移动；
- g) 有缺陷的零部件。

与安全相关的浪费的示例见表 1。

表 1 与安全相关的浪费示例

浪费形式	与安全相关的浪费
过量生产	● 多重操作导致用力过度造成伤害、绊倒或工业机动车事故； ● 过多的人工搬运物料； ● 暂时存储和堆放

表 1 (续)

浪费形式	与安全相关的浪费
等待	● 机器的设计不允许快速恢复； ● 机器不能快速停止； ● 机器的设计不便于控制危险能量； ● 机器的设计配置不当； ● 与保养相关的事件,如跌落、工具的更换、烧伤等
运输	● 动力运输工具(如工业车辆、起重机、AGV 和传送带等)的装载物溅洒、掉落； ● 布局设计不合理,造成设备、运动过多或负担过重； ● 交通流/模式设计不当； ● 无法取得特定任务需要的工具
过度加工	● 重复动作； ● 机器缺少安全防护； ● 机器安全防护装置应用不当； ● 距离过大； ● 设计或质量规范超出了实际要求/需求； ● 设计或布局导致不必要的运输
库存	装载物掉落； 多次搬运
移动	重复性动作； 机器伤害
有缺陷的零部件	拉伤/扭伤； 客户受伤

4.2 精益制造方法

4.2.1 改善

改善是一种小幅渐进改进生产操作的方法,使用系统方法实施持续改进,识别和消除不必要的非增值活动和浪费,非增值的活动包括 4.1.3 列出的七种浪费,举例如下:

- a) 过量生产(生产大于需求);
- b) 等待(空闲时间或延误);
- c) 运输(物料在工位之间的不当移送);
- d) 过度加工(不必要的加工或纸上作业);
- e) 库存(在尚无需求时提前制造或存储过多的产品);
- f) 移动(人员过多的动作);
- g) 有缺陷的零部件(质量差)。

通常情况下浪费容易被识别和消除,但在某些复杂情况下,需要进行详细评估。

改善可通过以下步骤实现:

- a) 记录当前状态;
- b) 识别浪费;
- c) 策划改进项目;

GB/T 33940—2017

- d) 进行改进；
- e) 验证改进项目；
- f) 总结；
- g) 标准化；
- h) 重复。

有许多不同的工具可帮助实施改善,以及识别和消除浪费。常见的几种方法有 5S、拉动、看板。精益制造如何与安全设计相结合的示例见第 8 章。

4.2.2 5S

5S 主要包括:

- a) 分类(Sort):区分要与不要的物料,从工作场所中清除不需要的物料,现场只保留必需的物品,以消除干扰和混乱;
- b) 整理(Set-in-order):使工作场所的各种物品(如零部件、工具、资料等)摆放整齐有序,标识明确,以便容易通过视觉找到;
- c) 清洁(Shine):建立工作区定期整洁制度,并重点检查工作区内需要维护设备的保养状况;
- d) 标准化(Standardize):将实施的分类、整理、清洁方法制度化;
- e) 持续(Sustain):保持其成果,并持续改进。

5S 是一种用于实现工作程序标准化和浪费最小化的方法。利用 5S 可极大减少和改善工作区的脏、乱、差状况。例如:利用地面标线明确机器的位置或工作区域,给工具、半成品、成品以及装配辅件等指定专用区域。尽管 5S 通常被认为是用于工作场所组织和视觉控制的工具,但实际上 5S 是研究如何识别和消除浪费的基础工具。执行 5S 的主要效益如下:

- 明确存放区域;
- 更容易、更快捷找到所需物品;
- 节省寻找零部件、工具和资料等花费的时间;
- 缩减移送距离;
- 视觉控制使摆放不到位的物品一目了然;
- 故障率减少;
- 工作场所更安全;
- 质量更好;
- 空间利用率提高;
- 操作者工作满意度更高;
- 节省设定/转换时间;
- 节省停机检修时间;
- 质量意识提高;
- 提前预警;
- 持续改进。

5S 充分利用了视觉控制。即利用视觉控制方法识别哪些物品未摆放到位,哪些因素妨碍按时完成任务。视觉控制具有以下优点:

- 没有多余的或不需要的东西;
- 明确界定存放区域;
- 每样东西都有其指定位置,并摆放到位;
- 持续不断地保持车间内的清洁;
- 物品、资料、进度和流程都一目了然;

- 便于即时区分所有正常与不正常状况；
- 简化和减少纸上作业。

4.2.3 拉动

拉动法是精益的关键理念，零部件要到需要时才制造。

拉动法适用于整个生产系统的各个流程，这样就实现了以客户需求拉动生产。拉动法生产系统有助于最大程度地减少各个流程的在制品库存。

4.2.4 看板

看板法是通过流程中消耗完产品后再发出开始工作信号的一种拉动生产系统，例如：现有零部件没有被使用之前，系统不投产下一个零部件。看板法是用于管理生产流并实现“准时”生产的一种操作方法。

4.2.5 六西格玛

六西格玛管理主要着重解决的是减小生产流程的变异，变异是引起浪费的一种原因，浪费将会带来更多的变异。精益管理重点关注的是消除生产系统的浪费。两种管理方式关注的对象不是对立的，而是互为补充与有机结合。

六西格玛主要基于以下步骤：

- a) 界定待改进的流程；
- b) 测量该流程当前的状况；
- c) 分析测量数据找出根本原因，提出可能的解决方案；
- d) 执行解决方案，改进该流程；
- e) 持续跟踪并控制该流程，与他人分享改进成果。

六西格玛潜在的效益包括：

- 提升客户满意度；
- 扩大市场份额；
- 改善客户关系；
- 提升安全绩效；
- 提高生产力；
- 缩短周期时间；
- 减少浪费；
- 降低成本；
- 减少客户投诉。

一个有效的六西格玛改进方案还要力求通过加强管理，努力减小有关生产的缺陷所造成的与产品相关伤害的可能性。但是，如果单独使用六西格玛管理需要很大的投入，而且不能解决 4.1.3 所述的全部七种形式的浪费。然而同时应用 5S，并致力于消除纠正过程中的浪费，则会收到对系统质量改进的成效。

5 精益改进实践和示例

5.1 概述

精益改进前应通过各种渠道收集、查阅、整理与安全有关的标准和规范性文件，并针对所要改进的项目对这些文件进行分析和研究，最终确定哪些安全标准能实际应用于待改进的机械设备和生产系统，如适用于机器人的 GB 11291.1、适用于集成制造系统的 GB/T 16655 等。

一般情况下,精益改进可形成更安全的工作场所。干净、整洁的工作区域有利于减少滑倒、跌落、绊倒和碰撞等风险。然而,某些精益改进活动可能会降低操作的安全性。

在进行 5S 管理的第一步(分类)时,应识别出非增值的工作任务。非增值的工作任务分成两类:必要的和多余的。精益改进的目标是完全消除多余的非增值的工作任务,并将必要的非增值的工作任务减少到最低程度。在许多情况下都会把安全划归到必要的非增值的类别里,这与安全标准的要求是冲突的,5.2 给出了相关示例。

5.2 精益与安全冲突的示例

5.2.1 气动冲床

冲床精益目标与安全目标冲突的示例见图 1。

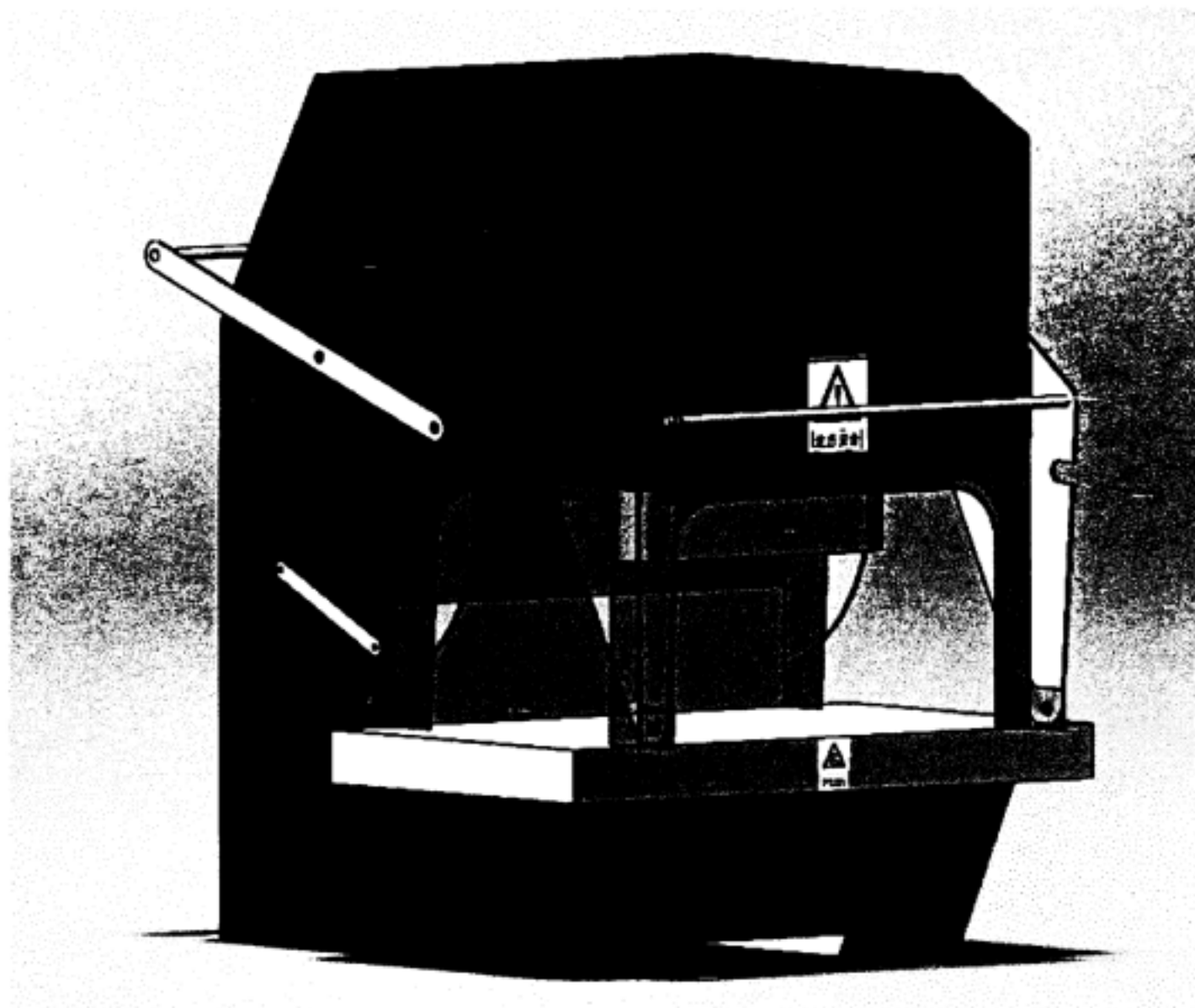


图 1 气动冲床加装不符合安全标准要求的可调式防护装置的示例

如图 1 所示,精益设计重新布置了工作单元,包括移除冲床上的安全防护装置。但这套方案并没有对冲压危险区进行充分的防护,冲床运行时,其防护装置不能阻挡操作者进入危险区,使得操作者和其他人员暴露于不可接受的风险中,这种方法不符合安全标准的要求。此时,需要综合考虑精益原则和安全原则。

考虑实际(而不是假设)发生伤害时的浪费:

- a) 等待——停工直到机器加装其他安全防护系统,由于讨论、调查而浪费其他工作活动的时间;
- b) 移动——发生伤害时很多人进行额外的移动;
- c) 有缺陷的零部件——人身伤害,可能发生的设备损坏;
- d) 运输——为保持生产运行而进行的额外零件搬运;
- e) 过度加工——由于没有将安全与精益统筹考虑而导致的返工、效率低下和流程不合理。

在本示例中,4.1.3 列出的七种浪费中的五种会导致人员劳累、时间浪费和成本增加。

这样单凭精益理念而采取的以任何方式废弃防护装置的精益改进方案,无疑会降低机器自身的安全防护能力,明显增加对操作者造成伤害的风险,是违背相关安全标准要求的。

5.2.2 机器人示例

机器人单元通常使用围栏和门作为保护措施以防止人员暴露在机器人危险运动的区域。安装栅栏

的主要目的就是防止人员进入工作区。

注：参见 GB 11291.1。

然而，为了维护工作区内的设备，维护人员需要经常进入该区域。为了最大限度减少机器人运动和周期时间的延迟，操作者可能会寻找比当前允许的位置更接近工作区的位置。按照精益理念，可能会通过移除防护装置以便能快捷地进入维护区或获得更柔性化的工作环境，也可能使操作者的工位与机器人共位。

在这种情况下，虽然通过减少等待消耗的时间而提高了生产效率，但是这不符合安全标准的要求，并且使工作人员暴露在不可接受的风险中。

5.2.3 评注

上述冲床和机器人单元的改进方案说明过于追求精益目标可能会导致人员乃至生产经营单位的风险增加，其结果并不是最佳结果。这样从不同角度分别考虑精益制造与安全设计时，最终无论是对精益制造还是对安全标准要求都不可能得到两全其美的结果。

5.3 精益与风险

5.3.1 概述

在生产过程中纳入精益理念可能会因为存在风险而导致不安全工况发生，因此需要重视风险评估。可能增加风险的示例包括：

- 物料的搬运不符合人类工效学；
- 未考虑人类工效学因素，如：最小安全距离、施力方向、施力大小、与进入相关的人体测量学数据以及与可见度相关的错误；
- 应对操作者进行培训，如：上锁/挂牌、进入密闭空间、电力工程和动力行业车辆的操作等需要通过专业培训保持技能的活动。

对当前正在进行的精益活动，需要进行大量的逆向设计和改造。也就是说，需要对现有生产系统进行拆解、重组，然后再原地重建，优化生产率。改造可以有计划地进行，也可以采用持续改进方式。

5.3.2 改善过程中的错误

如果安全影响了生产效率，极有可能进行侧重于精益准则的改善。如果过度追求精益，操作者或管理人员可能废弃安全装置和/或简化安全流程。

改善过程中可能发生的典型错误，例如：

- 保护工人的防护装置或安全装置在改善过程中被移除并没有重新安装，特别是在防护装置耽误生产的情况下；
- 现有的防护装置可能被更改或旁路；
- 安全距离可能没有经过检查和验证。

这些错误都会导致无法满足安全标准的要求，产生不可接受的风险，最终无法实现精益的目标。

在新机器或操作的精益设计过程中，可能会完全没有考虑其安全性。除非已按照 GB/T 15706—2012 识别危险且将相关的风险减小到可接受水平，否则可能会给新机器或操作带来重大的安全风险，从而引发对新机器或操作的安全改善，造成大量的返工和改造（浪费），也无法实现预期的精益目标。

上述例子说明精益原则的最优化可能达不到要求的安全水平。当缺少防护装置给人员带来伤害时，防护装置还应重新安装。同时，由于事故调查、设备停机等带来相关的损失很可能会超过不安装防护装置带来的微小收益。

5.3.3 其他考虑

还应预先考虑到从事改善过程的人员的安全,为这些人员提供适当的工具和设备(如梯子而不是站在物体上)以及合适的材料和/或安全防护措施。

5.4 评注

安全和精益原则需要同时考虑而不是分别考虑。很多情况下,可达到共同最优化。如果忽略某一方面,其结果可能达不到最佳效果而造成浪费。由于理念的问题,安全往往被看成妨碍生产并且与随后的精益活动相背离。管理的最大挑战就是培育一个安全和精益共同实现,并且能够在生产能力最大化的同时保持风险和浪费最小的工作环境。

精益设计的目的和意图都应包括并且支持更为安全的性能。如前面的例子所示,精益活动有时候能够而且会以没有充分考虑安全的途径得以实施。如果得到正确的理解和实施,精益制造往往会促进和保障安全。

6 安全和精益解决方案

6.1 管理层

安全和精益的实施过程起点在管理层,终点也在管理层。为了推行积极的持续改进理念,管理层应直观地作出致力于对工厂安全和精益管理的承诺。管理层的实际行动将促进机械设备和生产系统能够正确设计。

6.2 流程模型

图 2 是用于实现安全与精益目标的模型,该模型包括输入、输出和设计方法以及为确保其实施的管理职责。管理职责包括营造一种持续改进的环境,这种环境可通过界定、测量、分析、改进和控制(DMAIC)这五个要素来推动企业实现。

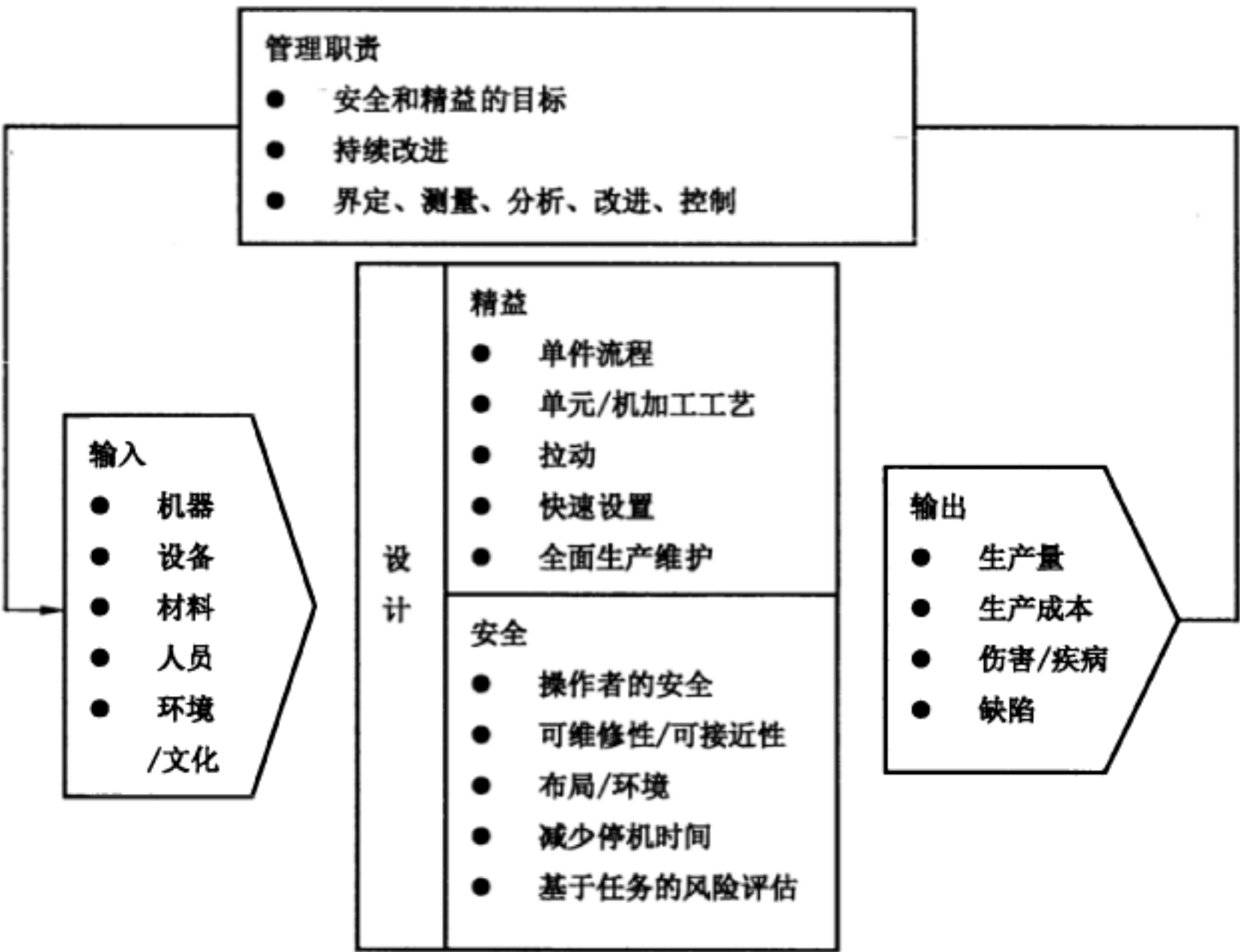


图 2 精益和安全通用模型

流程模型的五个输入构成了工作系统。输出则是该系统所实现结果的表示。输出可以是正面的，如产量高、缺陷少、低生产成本和极少或无伤害/疾病；也可以是负面的，如产量低、缺陷多、成本增加以及伤害/疾病多。用来将输入转变为输出的设计方法通常可归类为注重精益或注重安全两类。该清单并不是一个穷尽列举清单。

安全与精益相结合的工作可在机械的设计开发、制造、安装和使用等全生命周期内的任何时间点进行。在全生命周期内，安全和精益工作开展得越早，得益于此项工作而减小的浪费和风险就越有成效。

确定是否需要同时考虑安全和精益原则只是解决方案的一部分，重要的依然是如何实现这个目的，而按第 7 章给出的流程进行风险评估可提供一个完整的解决方案。

7 风险评估

7.1 概述

GB/T 15706—2012 给出了识别危险、评估风险和减小风险的方法，而 GB/T 16856 则给出了实施风险评估的指南。

7.2 过程

精益与风险评估程序有许多共同之处，对精益的评估也可采用风险评估程序。风险评估与风险减小主要包括：机械限制的确定、危险识别、风险估计、风险评价以及风险减小，进而将风险减小到可接受的水平，并以文件形式记录评估结果。

注：风险评估与风险减小过程可参见 GB/T 15706—2012 中的图 1。

图 3 给出了精益与风险评估，以及风险减小的迭代过程，其最终目标是将风险减小到可接受的水平。

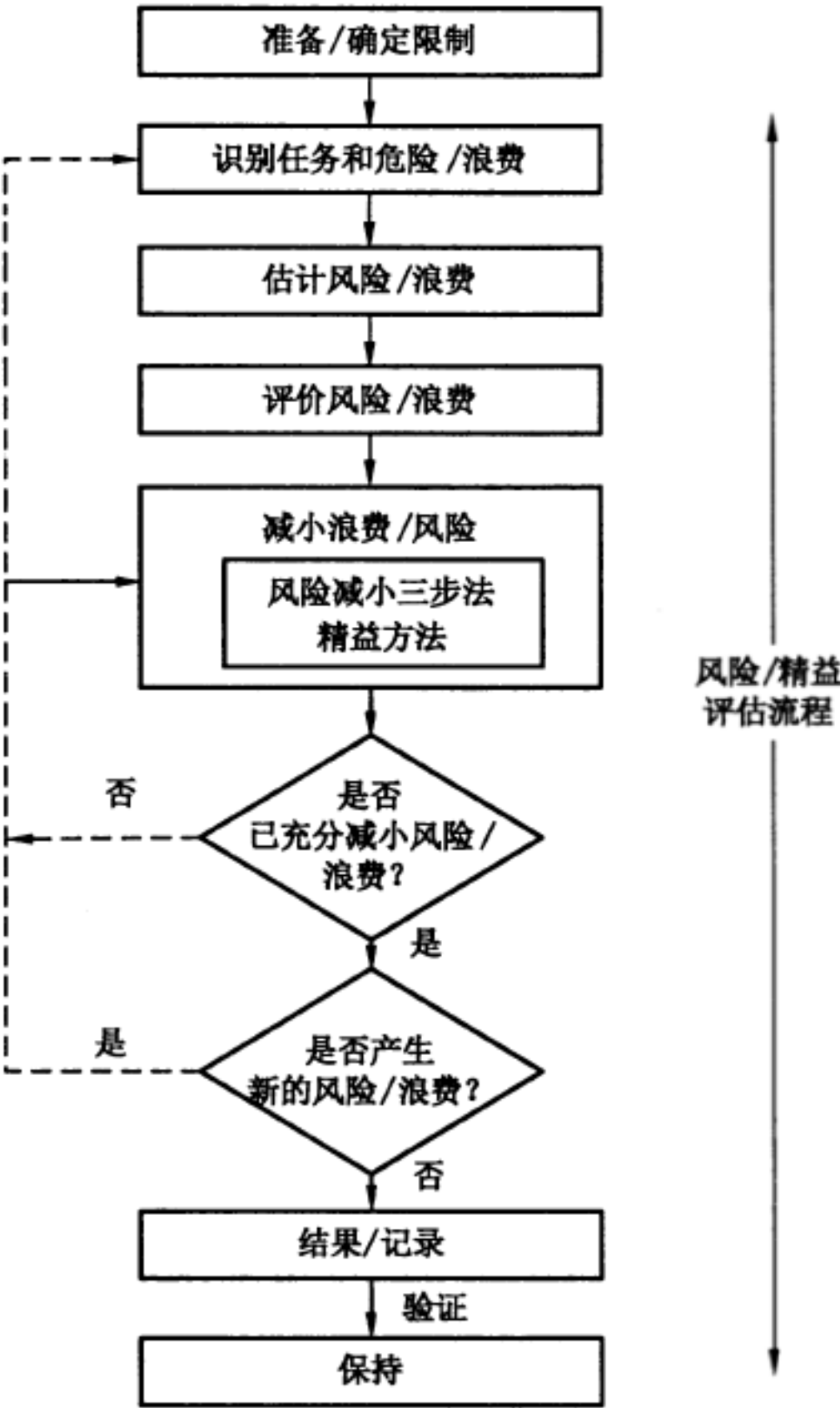


图 3 安全与精益：风险/浪费的评估程序

7.3 安全和精益

7.3.1 确定限制

安全与精益的第一步都是通过确定限制来定义系统。

注：机械限制的确定见 GB/T 15706—2012, 5.3。

7.3.2 识别任务和危险/浪费

风险评估的第二步是识别任务和危险。精益也是采用基于任务的方法来评价整个生产系统。

在确定机械限制后,任何机械风险评估的基本步骤是系统识别在机器生命周期所有阶段可合理预见的危险、危险状态和/或危险事件。

注：危险识别详见 GB/T 15706—2012, 5.4。

在这第二步中,精益活动所要识别的每一项任务都要有一人或多人与在制品发生相互作用。经常涉及到的交互任务,例如:物料搬运、操作机器、清理机器等。在许多情况下,维修人员执行每一项任务都要对机器进行修理或预防性维护。自动化设备同样总是需要定期或不定期地进行维护。完成这些任务大多数都存在危险。即使对于像存储、延迟或过程中断等操作,也会随相关的任务存在许多托举、弯腰或其他违背人类工效学的危险。

在实施精益改进的过程中,应同时遵循安全与精益原则,要意识到保证安全,减小风险就是消除和减少浪费,要识别出那些非增值但为保障安全功能有效而不可忽视的任务。

7.3.3 估计风险/浪费

风险评估流程的第三步是评估风险与浪费。

从安全方面考虑,危险是潜在的伤害源,具有可能造成人员伤害的风险。与安全相关的两个主要风险要素是伤害的严重程度和伤害发生的概率。

注：风险估计详见 GB/T 15706—2012, 5.5。

从精益制造方面考虑,危险是生产系统潜在的浪费源,具有可能造成不必要浪费的风险。在进行精益或其他形式的持续改进活动中,宜考虑工作时的潜在危险和如何消除或减小风险与浪费。浪费的严重程度是以浪费时间长短、资金多少、库存大小等来计量与核算的。也可为每种浪费危险设置一个概率项,在某些情况下,例如不必要的移动,该概率值是一定的。而在另一些情况下,如延迟,概率值可能随生产系统而变。以这种方式,精益理念能够作为风险的量度直接整合到风险评估的流程中。

或者,一个流程或子流程能够根据其附加值和精益改进的优先级进行评定。例如,某个子流程可能被评为:

- 增值的;
- 非增值的/必要的;
- 非增值的/不必要的。

例如,某机械加工子流程可能被评为增值的,然而,根据具体情况,对有一个延迟的场合就可能被评为非增值且是必要的,或不必要的。

也可将每个浪费源的精益改进优先级分为高、中或低。但不论以风险、增值或二者兼有的哪一种方式进行估计,初始评估结果都将定位在需要减小风险和浪费的重点区域。

7.3.4 评价风险/浪费

完成风险/浪费估计后,应评价,以确定是否需要减小风险/浪费。如果需要减小风险/浪费,则应根

据 7.3.5 采取合适的措施减小风险/浪费。

7.3.5 减小风险/浪费

风险和浪费应减小到可接受的水平。

风险减小方法和措施详见 GB/T 15706—2012, 第 6 章。

对于精益而言,能够采用类似于风险减小的方法来减小浪费,举例如下:

- 重新设计消除浪费的流程;
- 设立监测系统以防范超量生产;
- 设立预警系统以防范隐现的生产问题;
- 使用交叉培训和规程以保持一个稳定的工作流程;
- 便于质量检查或维修进入。

宜采取措施,同时减小风险和浪费。改进流程设计的方法可能包括改变工作流程、使用单元式设计、开发模块化系统、消除或尽量减少延迟以及在图 2 和各附录中列举的其他方法。

7.3.6 验证

在用以消除或使风险最小化的方法实施后,安全和精益均要求通过评估剩余风险和浪费来验证其结果。

7.3.7 保持

风险评估流程后续的几个步骤包括:验证风险是否已经达到可接受的水平,确保所有危险和浪费已被处理且没有产生新的危险或浪费,编写评估结果文件,并进行跟踪,确保所采取的减小风险和浪费的措施已得到确切落实。

持续改进机制突出体现在对可接受风险的验证。无论考虑的是安全还是精益,到这一阶段风险都要达到可接受水平。

8 安全和精益的成功案例

8.1 电动折弯机

8.1.1 可移动方案

精益的一个基本原则是在生产现场能够移动设备以快速适应不同的加工单元或操作的需要。下述示例是将电动折弯机改造成一个能够移动的设备。

为了实现折弯机便于移动这个目标,考虑给折弯机安装上轮子。然而按照安全原则,机床标准的通用要求规定机器都应固定安装。如果给折弯机安装上轮子,确实提高了折弯机的移动性能,但是这仅仅实现的是精益的目标,并不能满足安全要求。因此,这两方面的要求在早期的设计阶段就要综合考虑,才能制定出一个充分满足安全和精益要求的解决方案。图 4 给出了一种解决方案,折弯机可以在生产现场移动,而且还能被固定以防止在工作过程中发生移动或倾覆。

如图 4 所示,折弯机上安装的是六个可锁定的脚轮,折弯机本身又被牢固固定在 25 mm 厚的钢板上,然后在钢板上固定六个脚轮。在折弯机操作工位的防护措施是限制开口尺寸小于 6 mm,折弯机的后部由全封闭的外罩保护;在踏板前方与上方安装防护装置用以防止脚踏板意外启动。折弯机在操作时不可移动,其设计具有结构稳定性,可防止倾覆,同时在需要时设备可以移动到工作现场的其他位置。

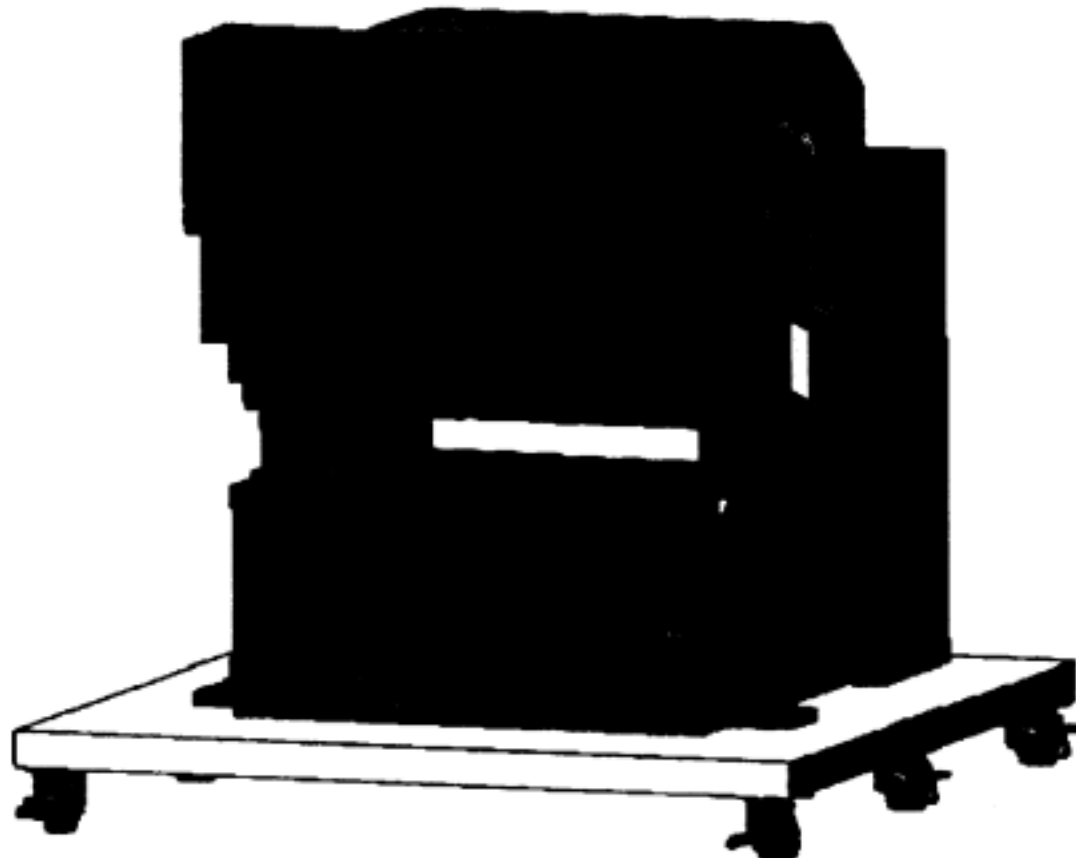


图 4 安装在轮子上的折弯机

8.1.2 固定式方案

对于另一个单独位置的一台大小类似的折弯机,另一种解决方案是将工字梁固定在生产现场的中心位置,然后将折弯机牢固地锚定在工字梁上。这样折弯机就被牢固的固定且不可移动。这种锚固折弯机的方式将其工作台面提高到更符合人类工效学的操作高度,从而降低了可能由于不符合人类工效学原理而带来的风险。折弯机周围的工作区域随之按照精益理念配置了更小、移动更方便的机器,这些机器可根据制造不同工件操作的需要随时搬进或移出生产现场。

8.1.3 评注

以上两个遵循安全与精益并重的原则改进折弯机并获得成功的示例,均已说明安全与精益制造相结合是完全可行的,不但提高了产品的安全性能还消除或减少了生产系统各流程中的浪费。

8.2 去毛刺机

图 5 示出了第三个成功应用安全和精益理念的示例。图 5 中的去毛刺机是某生产系统上的设备。工件去毛刺的工艺流程是:首先在小型液压机上把板料冲压成工件,立即通过传送带向上游运送到去毛刺机的右方工位,然后将工件置于传送带上,传送带将工件运送到金刚砂研磨盘下面左侧以去除工件毛刺,之后再将工件放进去毛刺机左侧的清洗料斗里清洗。

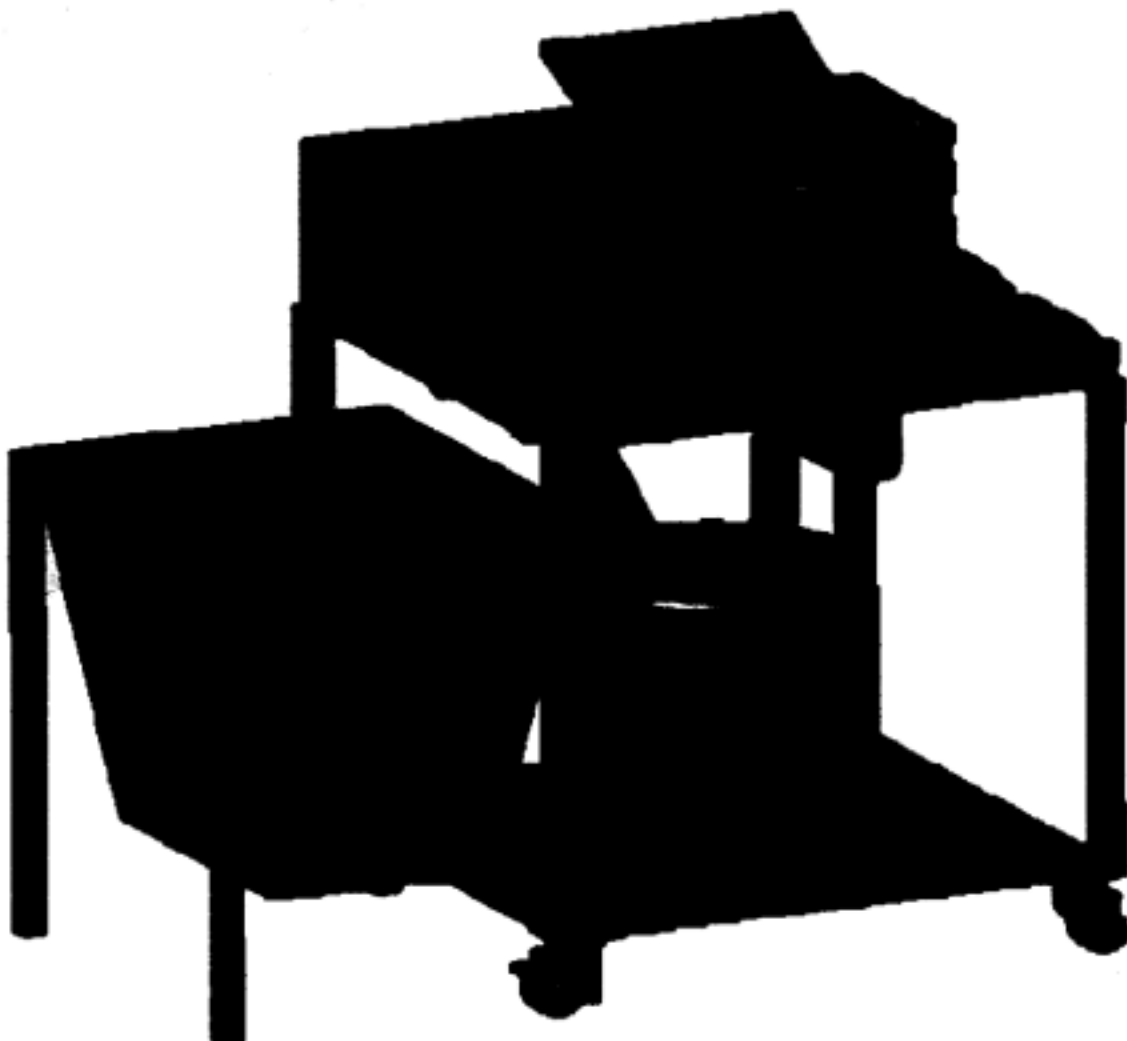


图 5 去毛刺作业

在进行安全和精益改进之前,该生产工艺流程相当复杂。要先在工厂一个区域的液压机上冲压加工工件。等到加工出的工件数量足够多时再将其装入料斗中运送到去毛刺区域。接下来使用台钳夹住工件手工去除毛刺,去完毛刺后,再把工件运送到工厂的另一个车间里清洗。该生产工艺流程存在许多危险,包括肌肉骨骼疾患、过高的噪声,去毛刺时的粉尘造成的空气污染以及手持带毛刺工件时造成的划伤或扎伤。还存在许多诸如运输、延迟和处理伤害等明显浪费。

将这个生产流程改进以后,无论是风险还是浪费水平都下降了许多。表 2 列出了主动进行安全与精益改进前后该生产工艺流程的对比情况。

表 2 主动进行安全与精益改进前后去毛刺工艺流程对比

安全与精益改进前	安全与精益改进后
在料斗装满工件前或需要工件时要等待	工件在液压机上加工完成后直接运送至工位
工件从液压机区域运送到去毛刺区域	工件在液压机上加工完成后直接运送至工位
从装工件的料斗中拿起工件	将工件从液压机工位运送到传送带上
用台钳牢固夹持工件	将工件置于传送带上
用手持工具去除零件/工件毛刺	自动去除工件毛刺
从台钳上卸下工件	—
去另一面毛刺前翻转工件	卸下工件,翻面,置于传送带上
重新用台钳夹持工件	—
完成工件去毛刺	自动去除工件另一面毛刺
从台钳再次卸下工件	—
将工件放入运输的料斗中	—
在料斗装满工件前或需要工件时要等待	—
将运输料斗运送到清洗工件的工位	将工件放进清洗料斗

液压机、去毛刺工位和清洗料斗都被搬运到相互靠近的位置。这样就消除了由延迟和运输造成的浪费,以及由不必要的材料取放带来的风险。去毛刺流程是自动的,消除了一些任务(见表 2 中的第二列空格所对应的第一列中的任务)。操作者在去毛刺的操作中不需要手持工件也不需要工具。去毛刺机还被安装在带可锁定车轮的车上。该车配备了真空吸尘系统用以收集毛刺和空气污染物,取消了所需的下排风罩,这些都有助于保持一个清洁的工作环境。自动化的工艺流程也显著降低了噪声危害并大大减少了由于物料取放而造成的划伤(或扎伤)危险。

8.3 折叠式控制器

双手操纵装置在机器上的设置有时候会出现问题,最佳的使用位置可能会给设备维护、清理和物料搬运带来困难。机器上放置控制器能够提高后序工作的完成能力,但是可能会与较大尺寸的工件相干涉,或者有违人类工效学原理而增加操作者的触及距离。

图 6~图 8 示出了另一种布置,能够同时达到既提高使用率又实现风险最小化的目的。图 6 示出了操作者使用位置(无在制品),图 7~图 8 的特别之处在于控制器被安装在带转轴的“凸”形支架上,便于不使用时能把其向下转到竖直位置腾出空间执行其他任务。双手控制的设计使得不能把控制器抬高到机器的工作台面以上。否则,就可能使操作控制器的距离小于计算得出的安全距离。

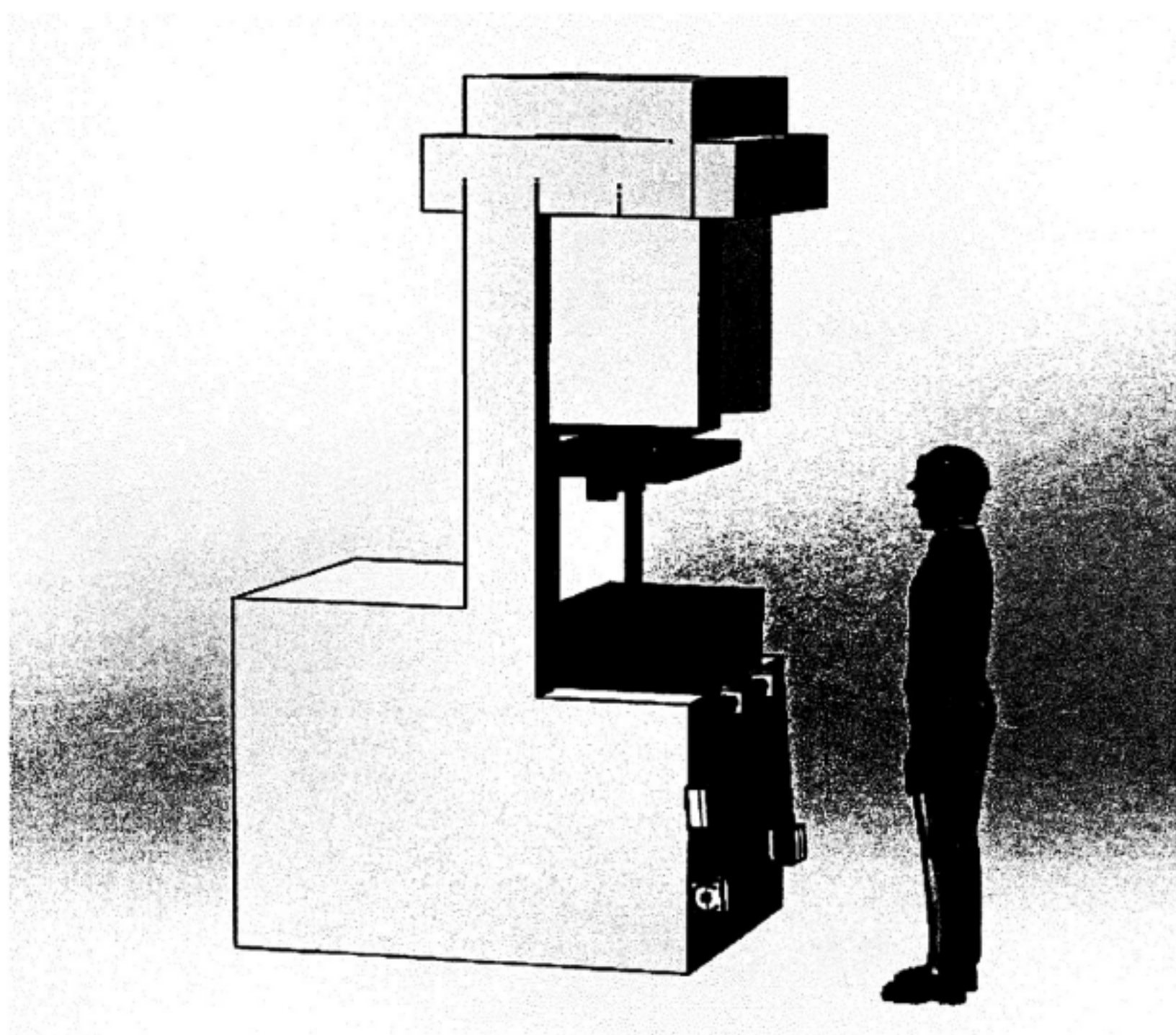


图 6 双手操纵装置处于竖直向下的位置

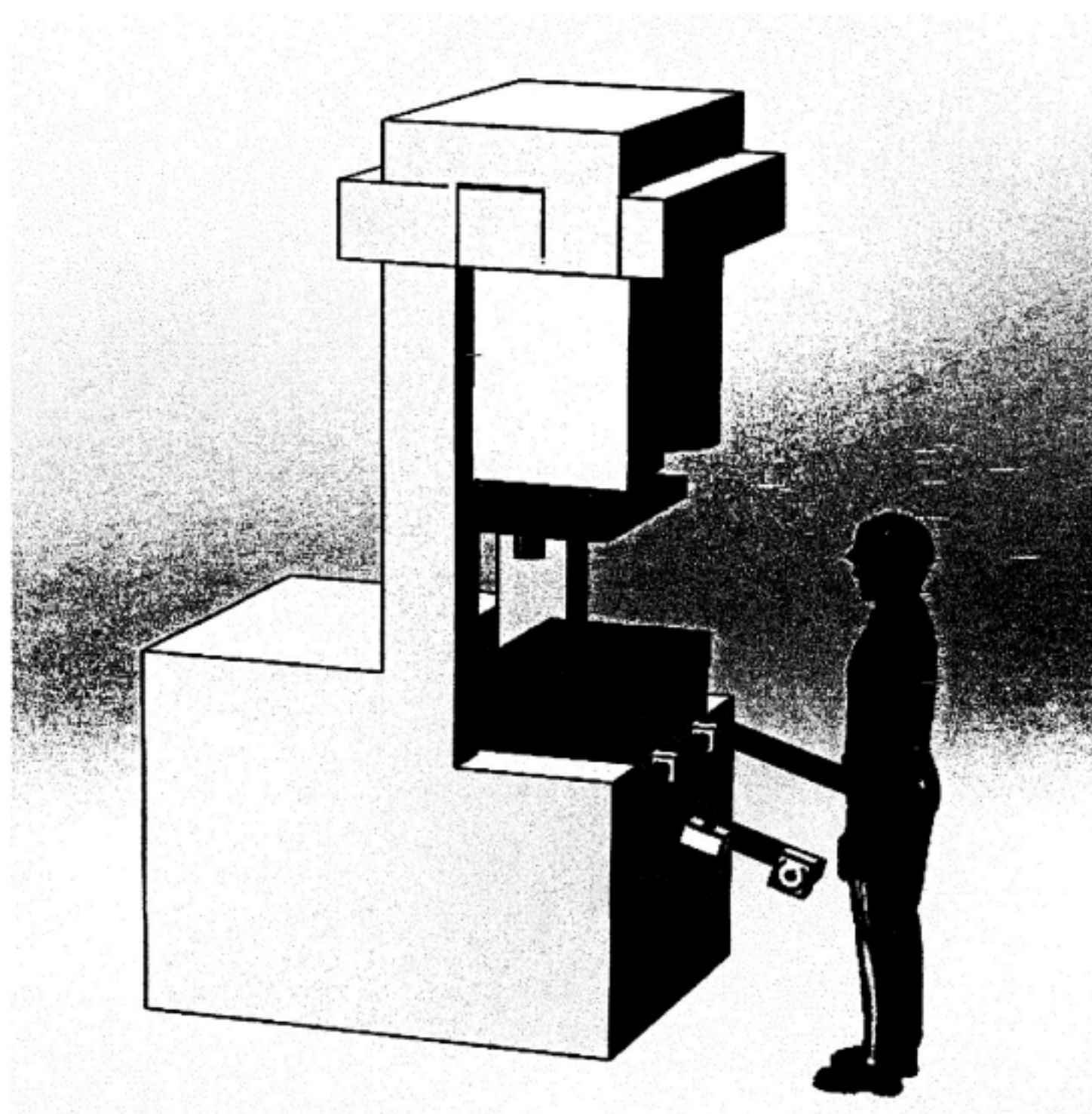


图 7 双手操纵装置从竖直向下位置转入工作状态

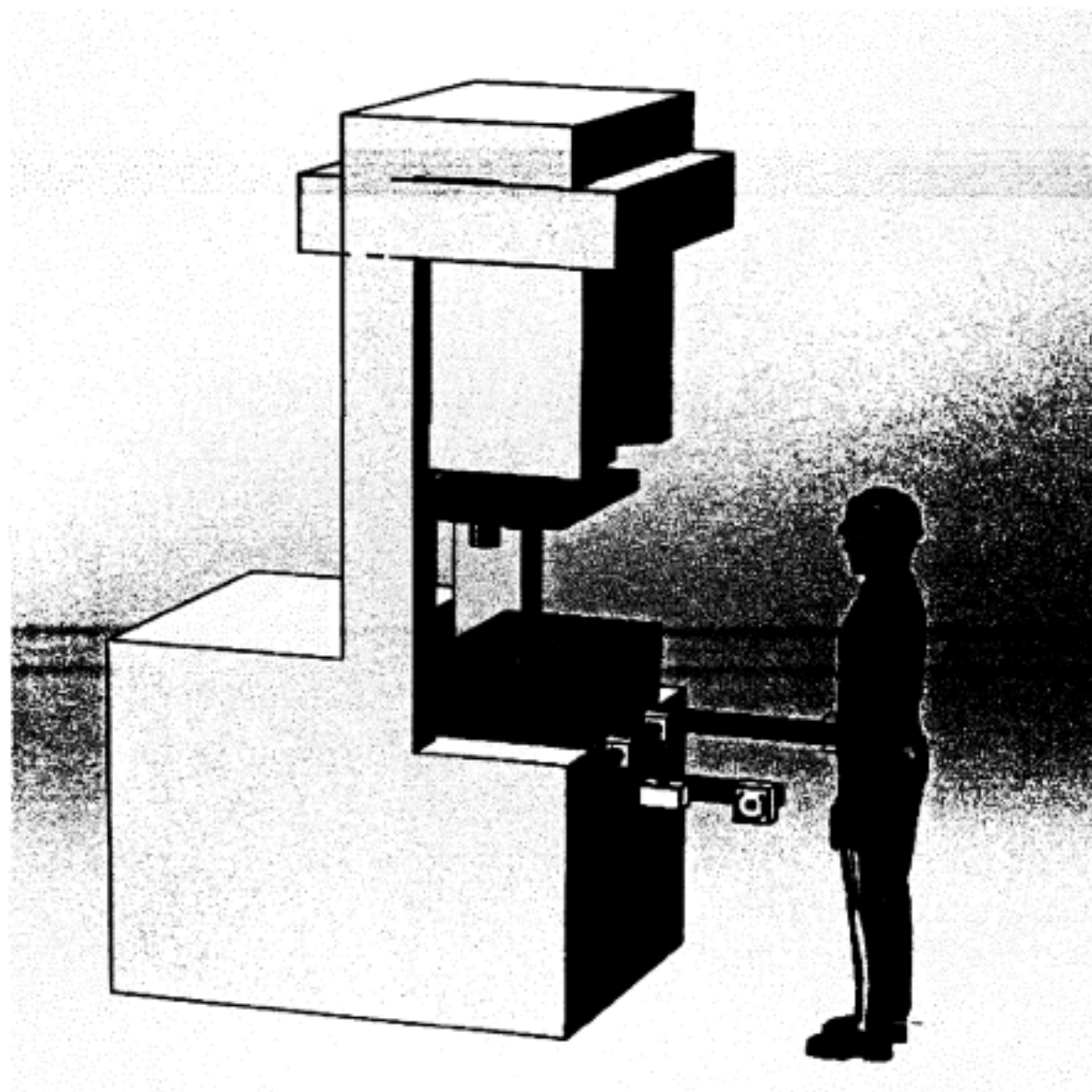


图 8 双手操纵装置从竖直向下位置转到水平位置并处于锁定状态

此示例就是在精益改进过程中同时考虑了安全和精益理念。如果只考虑精益方面,控制器很可能会被安装在增大人类工效学风险的位置,或者被选择的诸如脚踏开关所代替。就此示例而言,脚踏开关几乎不可能保护在操作点工作的操作者。如果只考虑安全方面,不可能设计成让控制器移动,从而固定安装的控制器会妨碍到其他任务。可见同时考虑安全和精益理念会取得更好的效果。

8.4 评注

以上的几个示例证明了在精益改进活动中,同时考虑安全和精益原则能给制造者提供有效优化生产流程并以最低的风险和浪费取得最高生产能力的机会。

9 安全和精益设计的考虑因素

已经贯彻实施了精益理念的企业常常积累了许多有助于其持续改进工作的经验教训。这些经验教训通常会不断被选编入与机器防护、人类工效学、照明、消防、安全出口、安全操作规程等相关的规范性文件。这些规范性文件规定得非常详细,例如:包括经过认可的各种类型的机器控制装置,可接受的工作触及距离,工具重量和扭矩,适当的(或不当的)工作方法或工具等。这些规范性文件适用于新项目开发,设备改造或者机器搬迁,从而实现设备和方法在整个组织内的标准化。

下列附录中给出的几方面考虑可帮助企业在不影响安全的情况下开展精益改进工作:

- 附录 A 规划的考虑;
- 附录 B 流程设计的考虑;
- 附录 C 规划布局的考虑;
- 附录 D 关于工具和设备设计的考虑;
- 附录 E 关于工作场所搬运设备的考虑。

制造者宜遵循适用于本企业实际情况的那些考虑积极开展精益活动,或者另外研发制定更适合本企业情况的指导性文件。

10 总结

精益制造的理念非常强大。若能正确地应用,企业可从其精益制造的生产方式中获得巨大效益。然而,若应用不当,忽略或忽视了安全问题就不可能获得最佳性能或结果,并大大增加人员和企业的风险。要解决现有的效率低下问题,企业应首先提高安全意识,充分考虑安全问题和伤害的风险。

宜同时考虑安全和精益才能获得最佳效果。实施此方法的一个有效途径就是利用风险评估程序对制造作业进行评估,即同时针对安全和精益这两个目标对制造作业进行定义、测量、分析、改进和控制。在做改进以前要进行基线风险评估,然后基于所推荐的改进意见对评估进行修改后提出一个精益流程方面基本的测量改进指标。

安全不应被视为违反精益理念的非增值的独立活动。也可以把消除浪费理解为是在消除或最大程度地减小由浪费的人力资源造成的不利影响以及因伤害损失的时间而产生的风险。也就是说在更加多、快、好、省的精益准则中还应包括安全运行的原则。

不宜把主要注重于生产环境中的生产能力、优质和高效的精益策略和方法与安全方法看成是一对矛盾。如果能够有效地部署安全和精益改进活动,则就会使机械设备、支撑体系和上/下游运营以最少的浪费和最低的风险获得最高的生产能力。

附 录 A
(资料性附录)
规划的考虑

A.1 管理目标与预期结果

以下各项宜在规划管理目标与预期结果时予以考虑：

- a) 减少加工时间,例如:
 - 1) 生产率/循环时间;
 - 2) 生产周期。
- b) 降低成本:
 - 1) 空间;
 - 2) 库存;
 - 3) 设备。
- c) 提高设备利用率。
- d) 减少伤害和疾病。
- e) 将所有风险减小到可接受的水平。

A.2 精益制造的关键理念

精益制造的关键理念如下：

- a) 拉动式系统/准时制:
 - 1) 单件流程;
 - 2) 非批量加工。
- b) 集成制造。
- c) 可维护性和易接近。
- d) 工件摆放和工作场所组织。
- e) 更好的质量。
- f) 易于针对新工件重新配置/快速部署。
- g) 最小化非增值的浪费。

A.3 安全设计与精益制造方法的应用：

安全设计与精益制造方法的应用可以：

- a) 使下列各项最小化:
 - 1) 物料搬运;
 - 2) 距离;
 - 3) 体力消耗;
 - 4) 混乱状态;
 - 5) 存储;
 - 6) 库存。

- b) 使下列各项最大化：
 - 1) 人和空间、设备的利用率；
 - 2) 柔性——快速适应产品、材料、设备和人员变化；
 - 3) 流程顺畅——消除瓶颈；
 - 4) 可视化；
 - 5) 交流；
 - 6) 展现领导力实现预期目标。

附录 B
(资料性附录)
流程设计的考虑

B.1 流程设计

流程设计时宜考虑以下因素：

- a) 选择初步流程/设备。
- b) 确定工艺流程设计目标(举例)：
 - 减少潜在的溅洒或其他可能造成需要清理机器/传输带下方的行为；
 - 防止因流水线工序中断而导致的不可接受的(产品)积压或需要人工搬运。
- c) 确定工艺时间,包括：
 - 设置；
 - 循环；
 - 操作时间——人工。
- d) 估计停工时间：
 - 按计划(定期)维护；
 - 非计划(不定期)维护——利用基于类似设备或制造单元的风险评估数据和资料确定计划外的维护作业并估算停工时间。
- e) 确定所需要的设备/人员。
- f) 确定产量/产距时间,见式(B.1)：

$$T_{TAKT} = \frac{T_a}{n} = \frac{(T_{total} - T_{break} - T_{lunch} - T_{clean} - T_{meeting} \cdots)}{n} \cdots \cdots (B.1)$$

式中：

- T_{TAKT} ——产距时间；
- T_a ——每天的有效工作时间；
- T_{total} ——每天工作的总时间；
- T_{break} ——每天的休息时间；
- T_{lunch} ——每天的午餐时间；
- T_{clean} ——每天的清理时间；
- $T_{meeting}$ ——每天的会议时间；
- $\cdots \cdots$ ——每天的其他非有效工作时间；
- n ——每天需要生产的件数。

注：产距时间是生产量的一种量度,用于测量有效生产时间,简言之,是满足生产目标要求的制造每个工件的平均时间。

B.2 设计制造单元或工位

制造单元或工位的设计时宜考虑以下因素：

- a) 确认物料搬运系统和容器；
- b) 流程用设备机器平衡方法(消除瓶颈)；

- c) 确定批量；
- d) 人机接口；
- e) 可维护性/可接近性；
- f) 基于任务的风险和浪费评估。

B.3 设计工作场所搬运设备

工作场所搬运设备设计时宜考虑以下因素：

- a) 将物品递送工人或机器；
- b) 确保安全及最小化人类工效学风险；
- c) 促进安全性,便于快速取/放；
- d) 便于运输物料的交付和提取。

附 录 C

(资料性附录)

规划布局的考虑

C.1 目标

单元布局与精益制造的各个流程都是基于典型生产流量而设计的。其目标是尽量缩短工件与操作者之间必要的移动距离。除了生产流量以外,布局宜考虑下列因素:

- a) 可视化管理;
- b) 共享诸如气动、水、电、通风、排屑等公共和辅助设备;
- c) 共享设备(如物料搬运设备);
- d) 共享人员;
- e) 噪音、振动、空气污染的影响;
- f) 操作所需工具、量具和其他辅助设备的摆放位置。

C.2 柔性设计

柔性设计是通过使机器能够移动并提供便于接近的公共设备而实现的。设计时宜考虑下列因素:

- a) 避免困难的硬连接——尽可能使用快速连接/断开接头;
- b) 避开建筑结构的维修区、地基和固体搭接物;
- c) 尽可能采用自我控制,避免中央冷却或废料收集;
- d) 机床或其底板要设置起吊点;
- e) 必要时使用脚轮、轮子、气动托盘或其他装置方便移动;
- f) 水电气以较密集的网格安装,便于从布局的任一点均能接入;
- g) 必要时宜考虑利用高架起重设备起吊并搬运机械设备;
- h) 考虑安全移动所需的间隙。

C.3 工作场所布局原则

工作场所布局宜考虑下列因素:

- a) 工件质量不大于 4.5 kg 时,工作台面高度宜位于肘部以下 25 mm~76 mm 之间;工件质量小于 1 kg 时,工作台面高于肘部 50 mm 可以接受;质量大于 4.5 kg 的工件,工作台面高度不宜高于肘部以下 50 mm;
- b) 提供可调节的座椅或板凳以适应操作者站立和坐下两姿势;
- c) 坐姿时,腿和膝盖可在机器或工作台下安放自如——无障碍;
- d) 站姿时,要有抗疲劳垫;
- e) 坐姿时,要有脚踏;
- f) 必要的手工抬举作业宜靠近身体操作;
- g) 宜使必要的手工抬举的垂直高度和垂直距离减少到最小程度;
- h) 工作台面和机械设备的设置宜避免人工抬举或搬运工件(或容器)时有转身或扭脚的动作;
- i) 供操作者行走或运动的通道宜无凸起物或障碍;

- j) 所有的工具和物料都要有明确的便于操作者摆放或取用的固定位置；
- k) 工具和物料要以最佳的动作次序(使用顺序)摆放；
- l) 工具要摆放成行。这样,在操作者的手从工作的那部分移动到下一部分时,勿需专门动作就能拿取工具；
- m) 工具、物料和控制器要正好放在操作者的前面附近；
- n) 旋转把手、开关、手轮或其他的控制装置要配置在操作者身前 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间的平面上(最佳角度为 30° 左右)；
- o) 宜把工具放置在预定位置,以便在同一固定位置,无需转动手或手腕即可快速拿取并易于更换；
- p) 工具宜被自动放回。若不能实现,拿取下一件工具的位置宜与前一件工具放回的位置邻近,以使操作者能够在拿取下一件工具或物料时顺手放回所用的工具；
- q) 宜采用重力送料箱,溜槽和容器在使用点附近传送物料；
- r) 工件或产品宜预先放置在下一工序操作的预定位置；
- s) 宜提供适当的照明,以使产生的阴影,眩光或反射光的影响最小；
- t) 宜提供包括:温度、湿度、除尘、排烟、通风、低噪声、色彩设计,振动小,整洁有序等合适的工作条件；
- u) 紧急信号要被所有遭受到风险的人员听到或看见；
- v) 水平运动设备周围的开放空间宜设置适当的栅栏以防止人员意外接触。

当考虑运动的设备或工位时,或如何将工件或物料运进或运出工位时,宜提供充足的空间以便紧急进入或疏散,也方便工件或物料通过加工单元在工位间移动。消防安全法规通常对进入和疏散通道的进、出口规定了最低安全要求,以避免造成人员拥挤或堵塞消防通道的风险。

灭火器、洗眼剂和安全喷淋、灾报警盒和污染物溅洒处理套件都是应急设备,必须保存在开阔处,并能随时取用。如果精益事件涉及对任何此类设备的更改,更改后的系统应确保相关紧急设备有效可用。

附录 D

(资料性附录)

关于工具和设备设计的考虑

D.1 身体运动的原则

对于工具和设备的设计宜考虑下列因素：

- a) 每个操作(或操作的每个动作)宜双手同时开启和停止；
- b) 手臂动作宜同时在相反或对称的方向进行；
- c) 宜优先选择下列最低类别(按最理想至最不理想顺序排序)的肌肉运动完成满意操作：
 - 1类：仅手指运动(不适合于稳定负载或高度重复动作)；
 - 2类：手指和手腕运动；
 - 3类：手指、手腕和前臂运动；
 - 4类：手指、手腕、前臂和上臂运动；
 - 5类：手指、手腕、前臂、上臂和肩运动；
- d) 采用腿部力量提升重载；
- e) 抓取或握持不需要捏取或捏持，并避免在手腕弯曲时抓取及握持；
- f) 运动路径宜在正常工作区域(该区域定义为当前臂绕肘关节转动时手能触及到的区域)以内；
- g) 运动路径宜为光滑曲线，避免急剧转变方向；
- h) 重复运动时其运动路径要形成一定节拍；
- i) 呈现重复的运动路径能够形成习惯性并能自动进行(无需有意指导)；
- j) 小物体宜从一处滑向另一处，避免取放和运载；
- k) 用完的废料通过简单“投”入工作台上的孔或溜槽中进行处置。准确投放的要求越少，投放的速度就越快；
- l) 当不能使用投放的方式处理废料时，宜尝试以自后向前的顺序填满容器或托盘，避免举起的工件越过其他工件。

D.2 工具和设备的设计原则

工具和设备的设计原则应考虑以下因素：

- a) 避免手持。使用台钳、快速卡盘、夹具或卡具腾出双手进行其他动作；
- b) 可能情况下采用脚踏板以减轻手部负担，虽然不推荐重复使用这类控制方式；
- c) 只要可能，宜尽量使用自动顶出机构；
- d) 可行时，可把两个或多个工具组合使用；
- e) 曲柄或轮盘上的手柄应允许最多的手指接触，特别是需要使用较大力量时；
- f) 装配轻型工件用的工具手柄，其底部宜比顶端小以便于接近和转动而加快工作进度；
- g) 杠杆、横杆、手轮的位置应使操作者能够以最小的体位变化和最大的机械效益进行操作；
- h) 全部生产件采用统一或可互换夹具，从而在不需调节更换的情况下促进工件/模型混合生产；
- i) 容器的设计与定位宜能够滑动抓取其内的物品，而不需操作者“伸入”掏取；
- j) 容器宜有适当的手柄、捆扎带或其他靠近身体提升的辅助装置，避免运送容器时作弯曲手腕

动作；

- k) 在抬起和放置工件、工具和物料时,宜使用适当的物料搬运设备来辅助人工提升,以便在搬运与取放工件和物料时使伸手及弯腰的幅度达到最小。

D.3 制造单元及精益生产机床设计原则

针对精益制造的机器设计宜考虑下列各项因素：

- a) 最小化机器宽度,边对边的尺寸和操作者工位的工作区域：
 - 窄机床面允许机床放置更靠近,改善单件流程,并通过减少行走距离提升操作者操作两台或多台机床的能力；
 - 工作区宜 610 mm 宽,或等于工件的长度,二者取较大值；
- b) 采用竖直开门的方式,而不是左右开门方式,以使机器宽度尺寸最小化；
- c) 宜使控制柜和控制面板的尺寸最小化；
- d) 操作者用的显示器宜放置在上方近处,以使机器整体宽度最小化。优先采用可调式的显示器便于操作者灵活使用；
- e) 使用工业标准（电气、电子、气动与液压）控制器。该举措有效降低工厂整体成本并提高工厂车间使用的灵活性；
- f) 修改或重新设计机器,以消除能够增加所需空间和工件与下一工序机器间移动距离的那些不必要的凸起部位、进出通道或开关门所需的空間；
- g) 消除伸入到操作者行走通道内的凸出结构；
- h) 机器设计采用人工装料或工件喂入装置,工件自动弹回至操作者。该举措可改善操作顺序和单件流程。机器动作周期小于操作者动作周期时,操作者无须在机器上等待；
- i) 使需要人工送料的机器所需的伸手可及距离最小化；
- j) 设计易于用手指“一键启动”的开关、触摸屏等；
- k) 设计简单防护,以确保在机器工作循环开始前操作者是明确的；
- l) 宜采用安静操作设计,或采取设置隔音屏或消声降噪等措施；
- m) 宜采用快换刀具和可互换夹具的设计；
- n) 宜采用在几秒或几分钟内能够实现快速转换的设计；
- o) 宜使用一个内置的循环计数器,使其能在预设的机床频率出现时发出警报并停机；
- p) 机器的设计宜包括内置量具和检测装置；
- q) 在可能重新布置的场合,宜使用具有以下性能特性的便携式、移动式设备：
 - 集成框架；
 - 简易调平系统；
 - 将所有切断/能源控制装置放置在一起；
 - 柔性连接件、通用阀和快速释放装置及快卸接头；
 - 地上自包含系统和冷却液储液箱与切削收集箱等；
 - 避免地基,可行时,采用厚重波纹板；
- r) 提供简易的内置防错技术以检测异常情况,当发生异常时,宜自动停机并发出警示信号。

如果一项精益活动是着重以减少锁定时间作为改进内容的,下述一些想法要考虑:一是在容易触及到的位置安装附加的锁定装置(可锁定开关和阀);二是要排除进入需要锁定的危险区的需要,重新将锁定装置安装在人员可能暴露于危险的区域(如远程润滑点)之外。

如果精益或其他持续改进活动涉及打算更改安全防护措施,宜特别谨慎行事。安全防护受到各种各样基于设备设计的法规管控,在不能确保通过其他有效措施已经将风险减少到可接受水平时,则不能

对其进行更改。

电气安全法规对车间开关装置与配电柜有最小安全距离的要求。设置活动栅栏或在永久性电气装置周围 1 m 的地面上涂漆(例如,黄色油漆)是保持该安全距离的两种有效方法。

D.4 可调性设计

可调性设计宜考虑下列各项因素:

- a) 工位;
- b) 剪叉式升降台;
- c) 塔式起重机;
- d) 升降式平台;
- e) 集装箱翻转机;
- f) 手持工具平衡器;
- g) 小型工位起重机;
- h) 显示器和控制面板。

附录 E
(资料性附录)

关于工作场所装卸设备的考虑

为完成所列工作场所搬运目的,提供考虑以下设备和潜在方法。目标用**粗体**列出。工作场所装卸设备以列举项给出。

绕水平轴旋转

- 托盘转向器;
- 机械手;
- 末端执行器。

绕垂直轴旋转

- 升降台;
- 机械手;
- 空气轴承;
- 万向球工作台;
- 定位器/平衡器;
- 真空吸盘;
- 卷扬机。

下方抬升

- 升降台;
- 手动叉车;
- 可调平台。

上方提升

- 机械手;
- 平衡器;
- 真空吊车/卷扬机。

倾斜/倾覆(水平轴)

- 升降台输送带;
- 机械手;
- 托盘转向器;
- 末端执行器;
- 卷扬机;
- 自动倾卸车。

下方支持转送

- 空气轴承;
- 球形工作台;
- 输送带;
- 升降台;
- 手动叉车;
- 横移的可调整平台。

上方支撑的移动

- 工位起重机；
- 移动式卷扬机；
- 桁架输送带；
- 机械手。

参 考 文 献

- [1] GB 11291.1—2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分:机器人
 - [2] GB/T 16655—2008 机械安全 集成制造系统 基本要求
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
机械安全 安全设计与精益制造指南
GB/T 33940—2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 58 千字
2017年7月第一版 2017年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-57227 定价 33.00 元



GB/T 33940—2017