

数控定梁龙门柔性镗铣加工线防护设计

岳婧

通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司 辽宁沈阳 110000

摘要：在设计机床防护过程中，针对机床外观造型，设计元素，结合当前钣金制造技术和加工能力，利用工业设计学、人机工程学原理，依据主机加工运行空间、防护程度需求等进行可行性分析，使机床防护整体结构与外观结合达到良好的效果。

关键词：龙门式数控镗铣床；生产线防护；工业设计；结构特征；人机工程学

1 序言

近年来，随着智能数控机床的发展日渐趋于高端化，机床防护也愈发受到人们的重视。从简单的工作防护需要，到适应各种工作环境，满足人机工程学，优化各种加工分区；从不注重外观设计，到通过外观创新吸引用户眼球，展现机床的智能感、科技感等。机床防护作为一种产品包装，在整套机床中显得越来越重要，机床防护设计也成为制约机床质量的因素之一。

在设计生产线机床外观防护的过程中，首先对生产线的占地面积、布局、每台机床的配置参数、机床各轴运行极限尺寸、加工范围、最大工件、固定件位置、选配项参数以及与其他配件的连接方式、走线等进行充分的了解与计算，留有足够的余量，得出具体数据。再结合用户的使用需求进行可行性分析，计算并设计初步方案，这对整体设计起

到决定性作用。具体防护设计还要满足以下几点：功能性（保证不渗、不漏，保证整体强度）、宜人性（操作安全、观察方便）、节约性（降本增效）和美观性（保证外观尽力一致，美观）。通过以上几点力求整体防护达到为主机服务的最佳效果。

以下将对龙门式数控镗铣床生产线防护设计进行具体的阐述。

2 数控定梁龙门柔性镗铣加工线布局分析

2.1 机床配置外形轮廓及重要尺寸

数控定梁龙门柔性镗铣加工线布局如图1所示，由4台龙门加工中心、12套工作台、4套交换台、4套上下料装卸站、8套托盘库、1套RGV上下料系统、1套集中排屑系统、1套防护系统和1套CCS总控系统（包含WMS库位管理模块）组成，主要构成见表1。

此配置具有较高的先进性、可靠性和安全性，

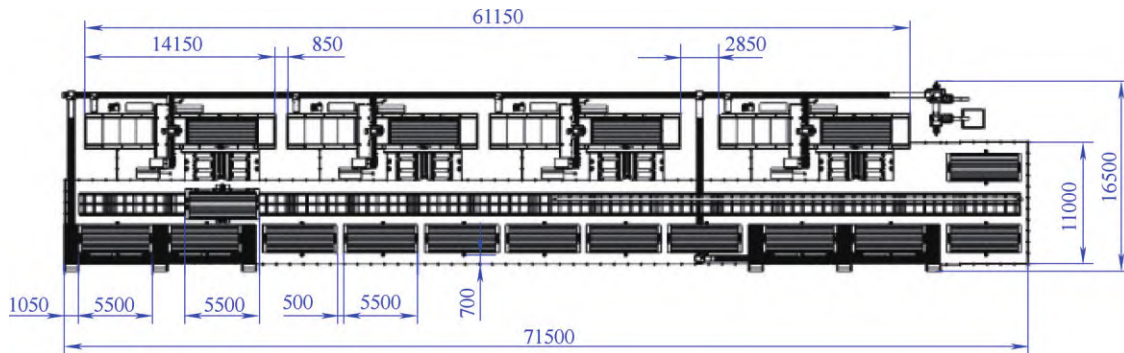


图1 数控定梁龙门柔性镗铣加工线布局

表1 龙门柔性镗铣加工线主要构成

序号	名称	数量
1	龙门机床	4台
2	工作台	12套
3	交换台	4套
4	装卸站	4套
5	托盘库	8套
6	RGV运输系统	1套
7	集中排屑系统	1套
8	防护系统	1套
9	CCS总控系统	1套

可实现生产线连续、高效运行，设备利用率高。CCS总控系统可由上层软件系统下发生产任务，也可人工操作。

整体加工线规划占地71.5m×16.5m，4台龙门加工中心成一字排列，图1所示整体布局的最左端及最上面为集中排屑系统，4个链式排屑器龙头位置需与集中排屑系统搭接覆盖，实现全自动集中排屑，便于后期切屑及切削液等的收集及清理。4台龙门加工中心间隔距离850~2850mm不等，布局很紧凑，对于机床外防护的尺寸限制比较高。整体布局的最下端是自动加工线的运输系统，工作台在RGV运输

系统上传递至4个固定点位，进行工作台交换，通过系统和人工控制，实现交换装卸。从图1可以看出，4套装卸站和交换台的位置相对于每台龙门加工中心是固定的，通过计算这个位置及每台机床的最大加工工件高度，对应机床外防护的开门位置及尺寸大小。

2.2 4台龙门加工中心整体配置及各部分运动极限

在确定机床外防护尺寸之前，需要对主机的尺寸、各种配置和极限加工尺寸等进行详细的了解和计算^[1]，龙门加工中心的外形尺寸，立柱跨距，工作台尺寸，刀库及刀具尺寸，换刀方式角度、最大范围，主轴头规格、功能、摆动极限尺寸，头库位置大小、换头点位，X/Y/Z轴行程，排屑方式及空间，电器柜位置、走线等，都需要进行详细的计算及分析才能最终确定好内外防护的尺寸，保证防护装置在机床运行过程中防护得当、使用流畅。

1号机Y轴换刀极限位置距离主轴中心左侧2560mm，右加工极限位置距离主轴中心2470mm；2号机Y轴换刀极限位置距离主轴中心左侧2360mm；右换头极限位置距离主轴中心2531mm；3号机Y轴换刀极限位置距离主轴中心左侧2529mm，右换头极限位置距离主轴中心2377mm。通过各主机详细参数的计算，得出3种外防护外形尺寸见表2，再结

表2 3种外防护外形尺寸

1号机	X轴行程：7300mm Y轴行程：≥3200mm Z轴行程：1250mm 主轴端面距离工作台150~1400mm 龙门跨距：3300mm 工作台尺寸：2500mm×5000mm 刀库：120把立卧刀库 主轴头：五轴头	机床内防护：双螺旋排屑器+前置链式排屑器 机床外防护：长16321mm×宽5325mm×高4024mm（自地面起）
2号机	X轴行程：7300mm Y轴行程：≥3200mm Z轴行程：1250mm 主轴端面距离工作台550~1800mm 龙门跨距：3300mm 工作台尺寸：2500mm×5000mm 刀库：120把立卧刀库 附件头库：直角头	机床内防护：双螺旋排屑器+前置链式排屑器 机床外防护：长16321mm×宽5325mm×高3721mm（自地面起）
3号机	X轴行程：7300mm Y轴行程：≥3200mm Z轴行程：1500mm 主轴端面距离工作台600~2100mm 龙门跨距：3300mm 工作台尺寸：2500mm×5000mm 刀库：120把立卧刀库 主轴头：五轴头	机床内防护：双螺旋排屑器+前置链式排屑器 机床外防护：长16321mm×宽5325mm×高4121mm（自地面起）
4号机	同3号机	同3号机

合X轴拉罩尺寸,可计算出螺旋排屑器和横向链式排屑器最佳尺寸和位置。4台龙门加工中心的X轴拉罩尺寸相同,工作前端拉罩最小压缩1368mm,最大拉伸8735mm;工作后端拉罩最小压缩1390mm,最大拉伸8800mm。拉罩连接板与工作台同宽,两侧连接于工作台上,在X轴跟随工作台同步伸缩,保护机床内部核心部件。左右两侧的螺旋排屑器呈对称布局(见图2),在龙门跨距范围内尽量做宽,以达到最大接屑空间,利于加工时切屑及切削液的排出,减少堆积的可能,内部与拉罩豁口勾接,形成迷宫结构,以达到防渗漏、防滴漏的效果,最终尺寸定在宽度534mm,高度参考机床前端横向链式排屑器高度及X轴拉罩下端面尺寸,选择居中靠下尺寸,与链式排屑器落差小,可减少切削液的迸溅,最终高度尺寸定为590mm,两个螺旋排屑器旋向相反,一起向横端链式排屑器中心排屑,减少堆积。

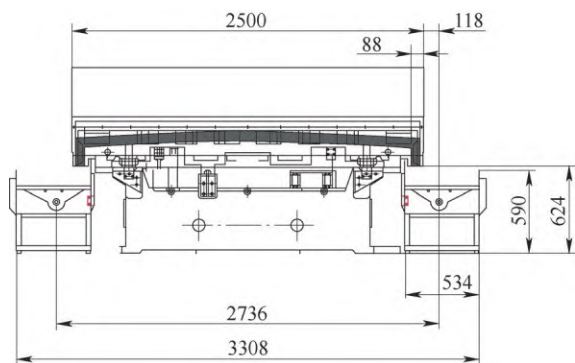


图2 螺旋排屑器对称布局

螺旋排屑器与主机床身沿X轴方向通过加工面把接支架的形式增加固定连接,以减少排屑过程中的晃动,也对机床外防护起到过渡连接的加固作用。由于龙门类机床为节约成本,主机床身普遍宽度小,而两立柱之间跨距大(Y轴行程大),所以导致很多外防护在安装时与主机床身连接位置非常远,安装人员操作难度很大,费时费力,通过螺旋排屑器的过渡连接可抵消掉一部分宽度,降低操作难度,省时省力。

主机床身与螺旋排屑器、外防护支架相连,构成一个整体的矩形,互相牵制,以稳固结构。其中外防护支架也是整体防护的承重部分,由于此机床属大型龙门加工中心,因此还要着重考虑防护自身的刚性及加工的工艺性^[2]。

3 主机与外防护结构特征分析

机床的外防护工业设计过程中,主要探讨结构特征与其造型外观效果的关系。通过对主机自身运动极限的研究,建立了机床从内部结构到防护外观造型的关系模型,并确定关键轮廓——主机造型,是外观造型原型的表现形式。基于主机关系模型,借助主机关键轮廓及其造型(外观效果),再结合人机工程学,构建了基于龙门加工中心外防护的工业设计系统的方案,同时还考虑到此机床为龙门柔性镗铣加工线上的设备这一主要特点,通过调节外观造型原型实现了外观防护的优化设计。

3.1 外防护外形的建立

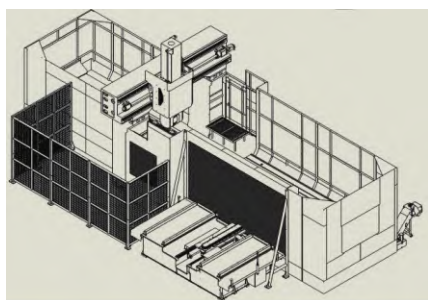
(1) 外防护外形尺寸的确定 根据前面的数据及定位探讨,已得出3种龙门加工中心外防护外形尺寸(见表2),分区分块结构设计时要严格遵照此外形尺寸,以满足加工线布局要求。

(2) 外防护整体外观形状的确定 根据机床主机各部分的功能及功能区域划分和方位,初步确定了整体外防护的外观结构及功能的区域划分。4台龙门加工中心的外防护均为半封闭防护,一圈连接形成稳定的矩形,中间与主机立柱加工面连接,下面支架通过螺旋排屑器与主机床身加工面相连,上体防护通过防护斜面将加工切屑等导入螺旋排屑器内。再结合人机工程学^[3]对各区域结构细化。人机工程学主要研究人在生产操作过程中如何合理、适度地劳动和用力的规律问题。它把人、机器和环境作为三大研究对象,使三者相互适应,使工作效率达到最高。

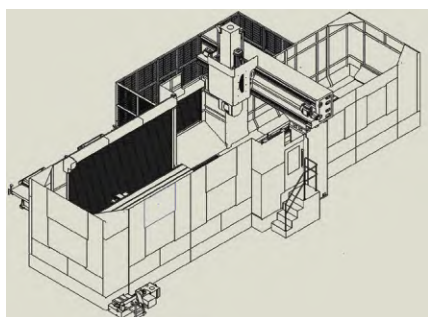
(3) 防护的主要功能区域划分 如下所述。

外防护正面(见图3a)为一个观察窗,高度需符合人体工程学^[4],左侧刀库位置需要一个换刀自动门,外侧需要一个刀库围栏防护,左侧交换工作台位置需要一个自动交换门,右侧操作人员需要一个带窗操作门,该操作门为了提高安全性需要配备一个自动锁,一个外脚踏及一个内脚踏。另外,2号机右侧还需要一个自动头库的功能区域防护,所有防护落在分体支架上,再由快拆下围板遮挡,使整体造型简洁、大方和稳重。

考虑到机床电箱、内部油箱等位置及设备操作和维护,外防护背面(见图3b)也预留了电箱的位置及变压器的位置。



a) 外防护正面



b) 外防护背面

图3 外防护示意

横梁及主轴：横梁两侧为装饰板，右侧加三色灯；主轴箱装饰板下面为固定件，上面随主轴移动。

3.2 外防护主要结构的确定及功能原理

(1) 上下料区域 4台龙门加工中心都配备一套上下料装卸站和一套交换台，装卸站相对于每台机床的尺寸是固定的，装卸站通过交换台与主机实现自动上下料，如图4所示，交换台尺寸为2676mm×5140mm，伸出最低点高度距离地面779mm，伸出间隙空间800mm。装卸站通过丝杠传动和链传动做出伸出动作，将交换台推到主机工作台上并通过T形槽及两侧夹具固定，此交换动作实际应用时应考虑到每台龙门加工中心的最大加工工件尺寸，并通过计算来确定自动交换门的位置和过

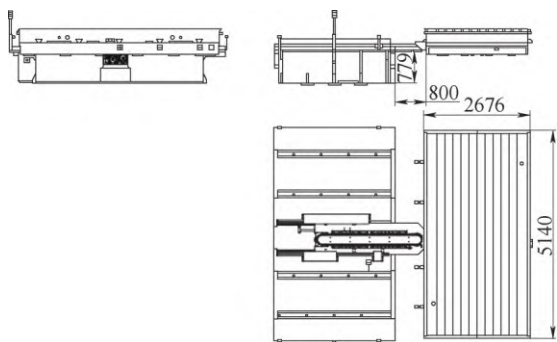


图4 交换台

高过宽尺寸。

为符合每台机床最大加工工件的要求，结合交换工作台尺寸，3种龙门加工中心的交换门开口尺寸分别为：1号机宽5200mm×高2814mm，2号机宽5200mm×高2514mm，3、4号机宽5200mm×高2914mm。由于加工线占地尺寸紧凑，开门行程过大无法通过钣金防护门来实现，同时此门要求是自动控制门，又在加工区域，需要有防水、防烫及防腐蚀的功能，所以最后选定使用电动卷帘门（1号机电动卷帘门示意图5）。

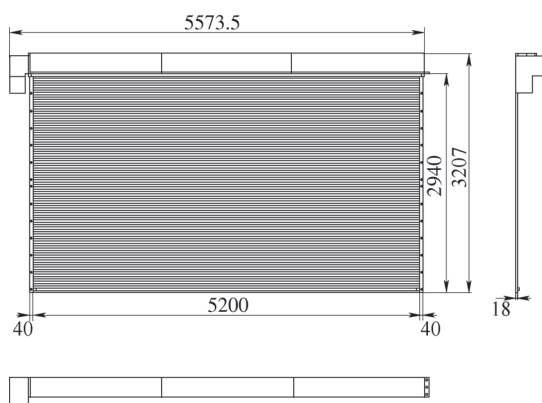


图5 1号机电动卷帘门示意

在选择电动卷帘门时，要充分考虑卷帘门的材质、厚度、运行速度、安装尺寸和到位信号等，需与整套机床节拍符合。此卷帘门为铝材，沿机床Z轴方向上下运动开合，每台配备一个电动机和两个行程开关，运行速度可保持10m/min，电动机在卷帘门上方，如需调速还可以配合变频器使用，对于安装位置及电动机方向要充分考虑，在一次安装过后，维修时可不用整体拆卸。卷帘门下方会有一个铁片用于到位信号的检测，计算卷帘门尺寸时应留够余量。卷帘门自重较大，在其安装的防护位置上增加型材支架，与地面通过膨胀螺栓稳固联接，减少运行过程中的颤动。

(2) 刀库换刀门区域 刀库区域的防护功能与上下料区域防护一致，同样因布局紧凑无法选择钣金气缸的组合自动拉门，为节省空间选择电动卷帘门。在设计刀库防护时，要根据刀库种类、刀具直径、刀具长度、换刀动作和位置进行详细的计算，得出换刀过程中所占用的全部空间，进行避让，在合适的位置放置刀库防护，保证自动换刀流畅。因换刀区域电动卷帘门尺寸较小，换刀速度可达

15m/min, 故节省了换刀时间。

(3) 操作人员拉门结构与原理 拉门设计首先要考虑其功能性。机床防护拉门有很多种, 有的是维修门, 只需要开足够维修的尺寸即可; 有的要满足机床的上料功能, 一般尺寸较大, 打开后需要满足零件加工的最大尺寸。这条生产线需要设计的拉门是操作人员拉门, 拉门的功能需满足操作人员可外部观察, 可进入测量, 操作系统面板时可边操作边观察, 并根据人机工程学^[5], 选择合适的位置尺寸, 保证操作人员在使用过程中姿态舒适、安全合理。视窗高度及拉手宽度, 要以50%成年人的身体数据进行计算, 拉手持握的部分以圆形截面为佳, 这样可以保证把手与掌心、手指之间留有一定的空隙, 同时圆形截面与手的接触面积越大, 相应的压应力就越小, 能改善这两部分的集中受力状态, 确保手掌血液循环顺畅, 神经不受压迫。其次是活动拉门要有可调整结构, 同时便于用户安装与使用。最后考虑到拉门设计要方便生产制造及降低成本等, 并保持生产线防护外观统一, 设计了图6所示的拉门结构。

设计拉门导轨结构时首先考虑拉门整体尺寸比较大, 质量大, 对导轨和移动部件的承重要求高, 因外观设计的原则是导轨尽量不外露, 所以导轨要隐藏在防护内部。经过受力分析^[6], 在拉门顶部和

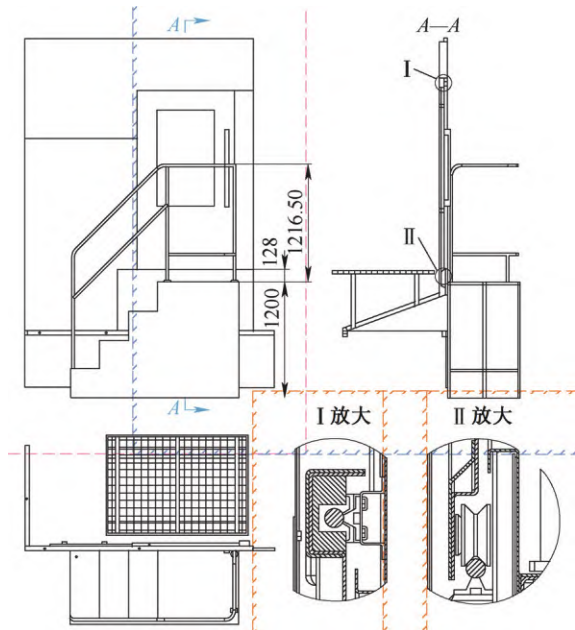


图6 拉门结构

下部各布置一根直径20mm的圆导轨, 两根导轨位置对称摆放, 可以减少拉动过程中的不同步现象, 同时又考虑到拉门自重较大, 下导轨采用轮轴组内置双轴承, 承重好, 拉拽流畅, 持久耐用; 上导轨采用滑块, 主要负责导向的作用。拉门框下部做成大角度斜面, 末端搭接在螺旋排屑器内, 导水导屑。拉门外走台配置扶手, 扶手高度>1200mm, 符合国家安全标准, 保护操作人员上下安全, 内脚踏采用栅格结构, 防滑的同时还可以防止堆屑, 便于清理。操作人员内脚踏的位置要低于主机工作台, 以免在加工时与超宽工件发生干涉, 同时内脚踏应尽量靠近工作台, 保持50~100mm间隙即可, 保护操作人员上下工作台安全。操作人员拉门配信号电子锁, 接入操作系统, 可通过互锁功能和三色灯显示, 发出信号, 使操作人员在安全环境下进入机床作业。

(4) 2号机自动头库门及其传动结构的确定 图7所示2号机自动头库由气缸驱动沿Y轴做直线运动, 控制头库架子伸出到固定点位, 实现换头动作, 头库超出立柱外表面945mm, 运动行程600mm。头库部分防护需要一个自动控制门, 在换头前自动打开, 不换头时保持闭合密封, 搭配头库部分拉罩, 保护主轴头和导轨等精密部件。通过计算头库架子行程和换头点位, 确定头库防护门位置, 头库防护内置气缸, 其余缝隙用毛刷和钣金折弯遮挡, 具体结构如图8所示。

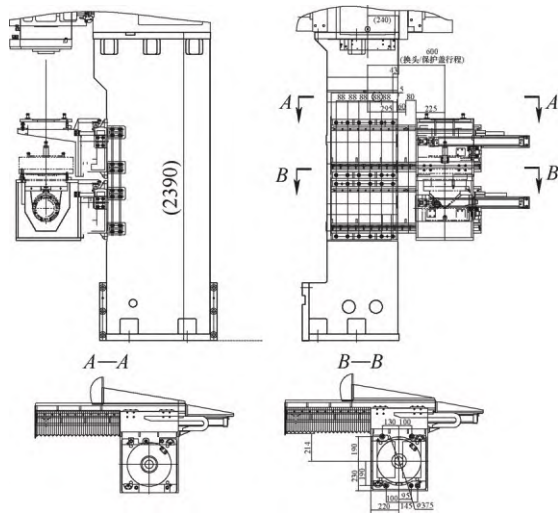


图7 2号机自动头库

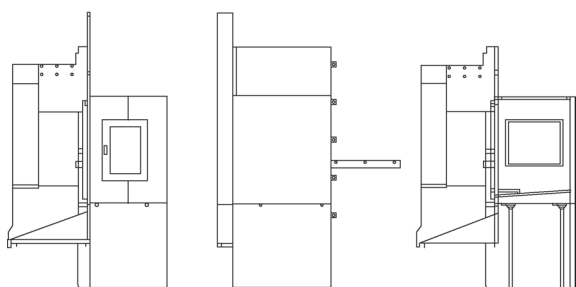


图8 头库防护门

4 结束语

成品效果如图9所示，实现了数控定梁龙门柔性镗铣加工线防护的整体设计，4台龙门加工中心防护结构紧凑，除满足正常加工的空间外，在两台机床间留有足够的工作通过空间，实现了加工线一面自动加工，一面集中排屑的功能，并通过防护将整体设计连接在一起，使整条加工线得以顺利运转；对每台龙门加工中心的加工范围和配置，分别设计了

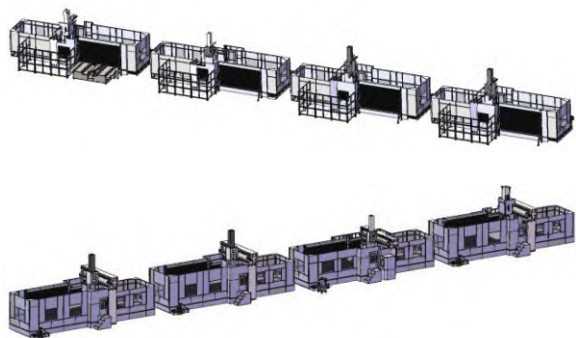


图9 成品效果

符合功能及尺寸条件的功能模块，并使4台龙门加工中心在外观造型上实现最大化的协调统一；整体防护设计满足人机工程学设计标准，使该加工线在运行和操作状态下保证安全和更高的效率；所有防护采用轻量化结构设计，再经过工艺评审，最终形成产品，更加贴近用户的需求，也为今后设计同类产品打下了基础。

综上所述，在防护设计过程中涉及到的因素很多，需要我们更加认真地分析和计算，从而设计出宜人、合理与高效的机床防护，进一步提升产品竞争力，创造更大的经济价值。

参考文献：

- [1] 沈阳第一机床厂，中捷友谊厂，沈阳第三机床厂. 机床工人技术手册[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1989.
- [2] 陈路. 新编钣金技术与展开计算实用手册[M]. 北京：北京科海电子出版社，2003.
- [3] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京：北京理工大学出版社，1991.
- [4] 刘涛. 工业设计概论[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.
- [5] 严扬. 人机工程学设计应用[M]. 北京：中国轻工业出版社，1993.
- [6] 成大先. 机械设计手册[M]. 4版. 北京：化学工业出版社，2002.

MW 20240703

《金属加工（冷加工）》“机床/附件/工装”栏目征稿

《金属加工（冷加工）》杂志设有多个常规栏目，现“机床/附件/工装”栏目面向广大制造业的业内人士征集稿件，欢迎各位踊跃投稿。

征稿内容：机床/加工中心的整体设计及制造；关键附件的设计制造，如电主轴、大型轴承、大重型滚动功能部件；冷加工中使用的工装/夹具的设计制造。

要求：技术实用、先进，能推动加工制造自动化、高效化、精密化等。

具体投稿规范请扫码查看。



投稿规范