

变矩器壳体智能洁净制造生产线设计*

张彦彬^{①②} 孙令伊^① 徐帅强^① 赵永军^② 许文昊^① 李长河^①

(^①青岛理工大学机械与汽车工程学院, 山东 青岛 266520; ^②迈赫机器人自动化股份有限公司智能制造技术研究院, 山东 潍坊 262200)

摘要: 变矩器壳体作为汽车发动机中的重要零部件, 具有多样化、复杂化的外形特征和加工工艺。然而, 传统的变矩器壳体生产线存在高耗低效、依赖工人操作生产效率低等问题, 迫切需要向着绿色化、智能化的方向转型。基于此, 开展了变矩器壳体智能洁净制造生产线设计工作。结合现有生产线存在的问题, 对变矩器壳体智能洁净制造生产线做出优化, 完成了变矩器壳体智能洁净制造生产线硬件系统设计、分体式变矩器壳体加工工艺设计以及变矩器壳体生产线工艺装备系统设计。以平均生产节拍为指标, 智能洁净制造生产线生产效率提升 55.1%。

关键词: 生产线; 智能化; 洁净制造; 加工工艺; 变矩器壳体

中图分类号: TH165 **文献标识码:** A

DOI: [10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.08.002](https://doi.org/10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.08.002)

Design of intelligent clean manufacturing line for torque converter housing

ZHANG Yanbin^{①②}, SUN Lingyi^①, XU Shuaiqiang^①, ZHAO Yongjun^②, XU Wenhao^①, LI Changhe^①

(^①School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, CHN; ^②Research Institute of Intelligent Manufacturing Technology, MH Robot and Automation Co., Ltd., Weifang 262200, CHN)

Abstract: As an important part in automobile engine, torque converter housing has diversified and complex shape characteristics and processing technology. However, about traditional torque converter housing production line, there are problems such as high consumption and low efficiency, low productivity depending on workers' operation and so on, which makes it an urgent need to transform to the direction of green and intelligent. Based on this, the design of intelligent clean manufacturing production line for torque converter housing is carried out. Combined with the problems of the existing production line, the intelligent clean manufacturing production line for torque converter housing is optimized, the design of the hardware system of the intelligent clean manufacturing production line for torque converter housing, the design of the processing technology of the split torque converter housing and the design of the process equipment system of the torque converter housing production line are completed. Taking the average production beat as an indicator, the production efficiency of the intelligent clean manufacturing line has been improved by 55.1%.

Keywords: production line; intelligent; clean manufacturing; machining processes; torque converter housing

变矩器壳体作为汽车发动机中的重要零部件, 其生产质量关乎整车的安全性和使用寿命^[1-3]。然而, 其生产方式仍然为人工配合机床的传统加工模式^[4-6], 因此, 绿色洁净、智能精密的生产方式迫

在眉睫^[7-11]。作为山东省重大创新工程项目实施落地单位的山东金利特桥箱有限公司, 公司的变矩器壳体传统生产线包含从毛坯到成品的各道工序, 生产工艺繁多。产线年生产订单量巨大, 经济价值高,

* 中国博士后科学基金项目 (2020M671986); 国家自然科学基金项目 (52105457, 52375447); 山东省泰山学者青年专家项目 (tsqn-202211179)

适合进行产线的智能化升级。基于此,结合变矩器壳体智能洁净制造生产线设计要求对生产线布局和生产线管理系统进行设计;基于传统加工过程生产管理问题,分别设计了设备运行分析模块、产线运行分析模块、产量分析模块和工厂配置中心模块并规划了系统模块功能分布;基于变矩器壳体形状特征和加工工艺,分别设计了生产线的上下料系统、码垛系统和工艺装备系统并分析了系统装备主要结构可靠性;进一步基于平均生产节拍指标,提升了变矩器壳体智能洁净制造生产线效率。

1 产线总体方案设计

1.1 传统生产线

机加工传统生产线设置有3个加工单元,其中,一序进行变矩器壳体内圆与止口的车削加工,二序进行变矩器壳体的端面铣削加工,三序完成变矩器壳体的镗孔、钻孔以及攻丝。各加工单元间呈现孤岛式布局,生产方式为离散式生产。传统生产线中各工序间工件的转运方式为各工序生产的半成品暂时堆放在工序所在区域,码垛数量达转运数量后由叉车进行统一转运。对于生产线现场各加工单元的工装以及其余生产辅助工具放置区域在生产现场未明确划分。

1.2 生产线布局

针对结合现有生产线存在的问题,对变矩器壳体智能洁净制造生产线做出优化设计。变矩器壳体智能洁净制造生产线具体设计方案如图1所示。

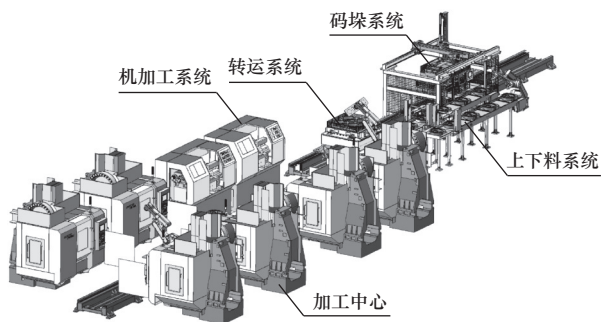


图1 变矩器壳体生产线

变矩器壳体智能洁净制造生产线包括上料系统、机加工系统、码垛系统、转运系统、清洗系统、检测系统、仓储物流系统以及生产总控系统。其中上料系统负责毛坯件的输运,与机加工系统对接;码垛系统负责工件成品的码垛,承接机加工系统的输出;转运系统负责序间工件的转运和过渡,便于工

件翻转;机加工系统负责对工件进行材料去除加工;清洗系统负责序间抽检工件和工件成品的清洗;检测系统负责对工件成品进行人工质量抽检;仓储物流系统负责加工零部件和工件成品的储存管理;生产总控系统负责管理生产,整体调控。

变矩器壳体智能洁净制造生产线动作流程:

(1) 变矩器壳体毛坯由转运机械手从AGV小车或毛坯库抓取至上下料系统的上料通道;机械臂将毛坯从上料通道抓取至OP10工序所属机床处。

(2) OP10工序加工完成后,机械臂抓取变矩器壳体工件放置在序间翻转移载位置;机械臂搬运工件至工序间旋转气吹机构,进行铁屑的倾倒以及工件的水洗。横移机械臂抓取工件对OP20工序所属立式加工中心进行上料。

(3) 经OP20工序加工后的工件由横移机械臂搬运至序间翻转机构处的下料工位,并对工件进行翻转搬运,于OP30所属立式加工中心处进行上料。

(4) 从OP30工序处加工后的工件经上下料系统和转运系统搬运至码垛系统区域进行码垛。码垛结束后,将料框搬运至需清洗设备进行清洗作业并放置空料框至规定存放区域。

图2所示为变矩器壳体机加工传统生产线现场与智能洁净制造生产线现场对比。



图2 生产线现场

1.3 生产线管理系统设计

变矩器壳体生产线的智能化改造不仅是生产线硬件的智能化升级,更是对生产现场实现智能化的

管控^[12-13]。变矩器壳体智能制造生产线采用“软件+硬件”的模式，涵盖用于机加工的设备终端、数据控制的MES系统、各流程动作控制的PLC系统和进行智能管控的“远程终端+云服务”系统。图3所示为变矩器壳体智能制造生产线系统结构。

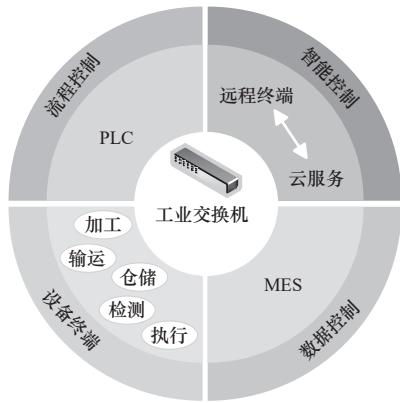


图3 系统结构框图

为对智能制造生产线的实时数据收集、运行分析和产线数据整合，智能洁净制造生产线远程终端划分出设备运行分析模块、产线运行分析模块、产量分析模块和工厂配置中心模块对系统数据进行分类归总。同时远程终端将四大模块归纳至看板总页面，图4所示为远程终端看板界面。

(1) 设备运行分析模块

设备运行分析模块负责对各工序加工设备进行监管。图5所示为设备运行分析模块监管数据。

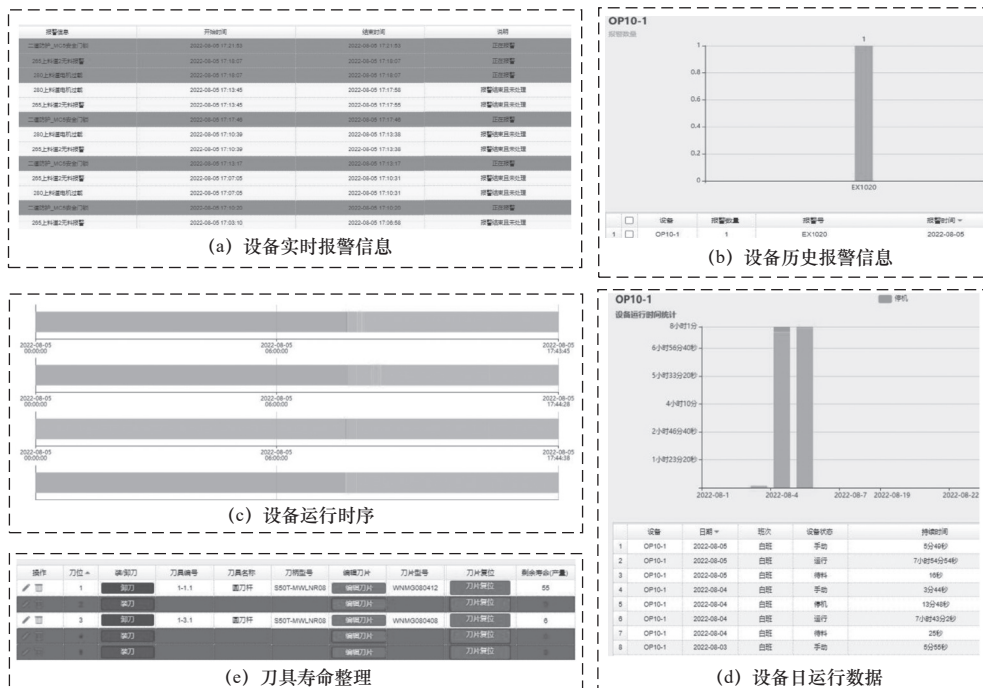


图5 设备运行分析模块

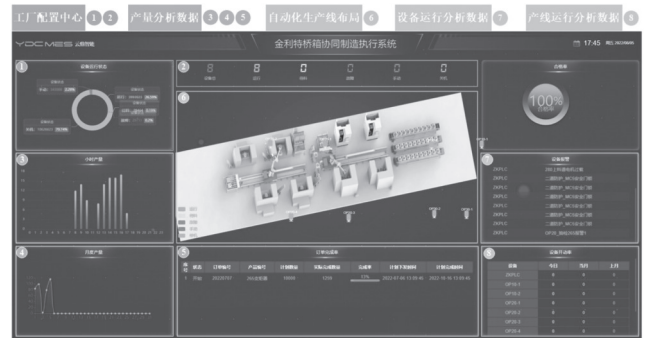


图4 执行系统界面

(2) 产线运行分析模块

产线运行分析模块负责产线运行过程中各加工单元的任务完成情况和加工单元运转情况。图6所示为产线运行分析模块监管数据。

(3) 产量分析模块

产量分析模块负责生产线产量数据的实时更新。

图7所示为产量分析模块监管数据。

(4) 工厂配置中心模块

工厂配置中心模块负责收集整理生产线工人班组情况、设备日检维护情况、库存剩余和库房出入库登记等公开信息，并及时对厂区工人公布。

2 产线硬件系统设计

生产线主要硬件系统是现场生产连贯性和产品质量的基础。变矩器壳体智能洁净制造生产线的主要硬件系统设计有以下方面。

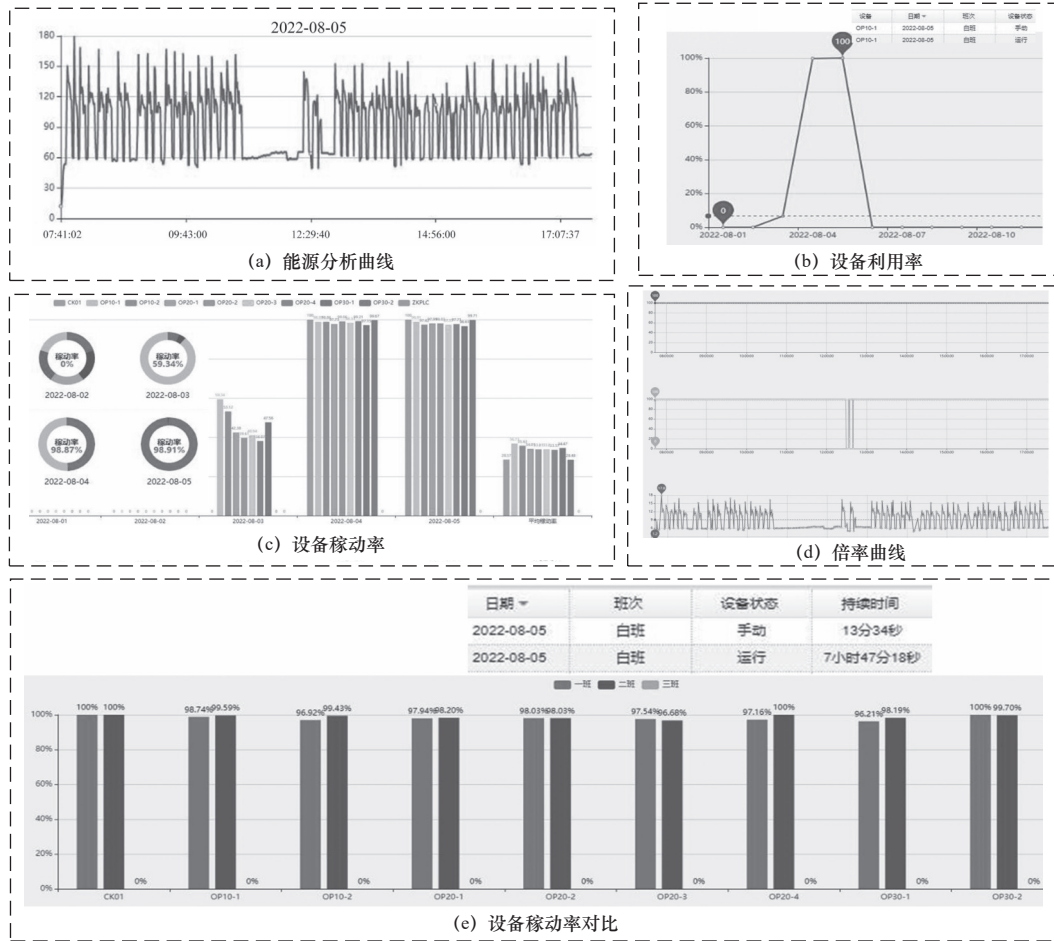


图 6 产线运行分析模块

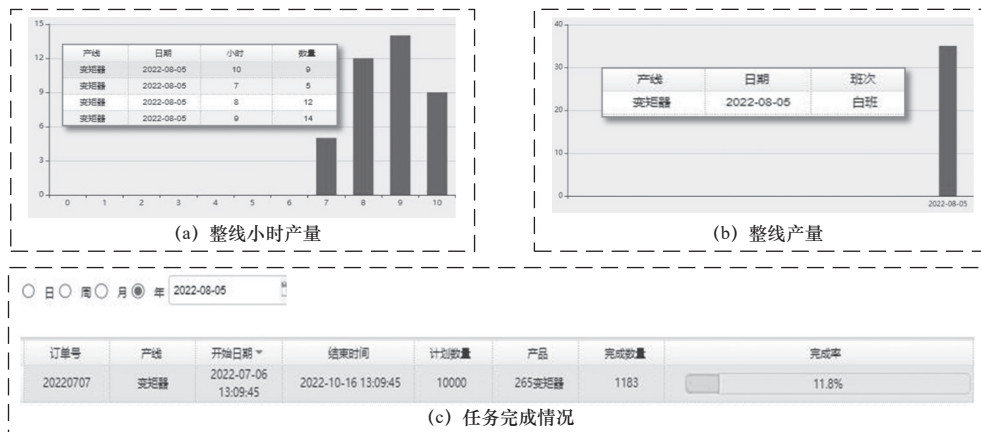


图 7 产量分析模块

2.1 上下料系统

生产线上料系统由两条独立的上料装置和下料装置组成。

图 8 所示为变矩器壳体生产线上料装置。上料装置尾端设置待抓取区，用于对接转运系统完成工件的抓取。而下料装置用于对接码垛系统，进行已加工零件的输运下料。

2.2 码垛系统

图 9 所示为生产线码垛系统。码垛机械手可放置于 AGV 小车或成品库处。码垛系统中，料框作为输运单元进行运输。码垛系统尾端处，转运机械手从下料轨道处抓取变矩器壳体工件成品放置于料框中。料框装载工件个数达上限后，料框支座承载料框通过导轨运输至码垛机械手处，并由码垛机械

手进行料框的堆叠，从而实现成品的码垛。

撑式抓取手爪。图 13 所示为插取式手爪拉紧装置。

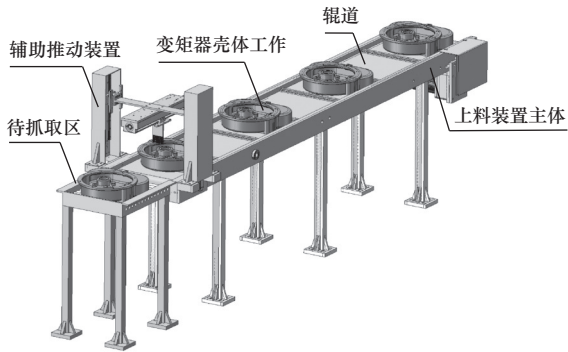


图 8 上下料系统

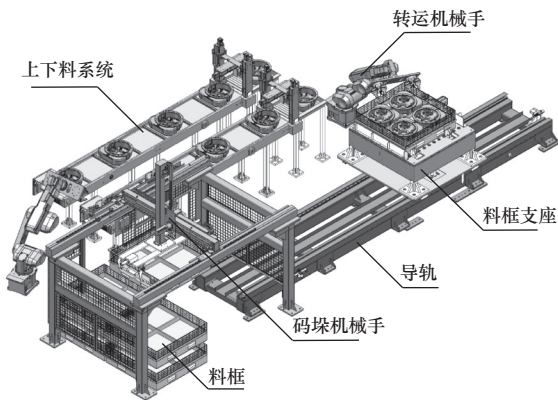


图 9 码垛系统

料框支座是在运输过程中负责料框承载和定位的元件。图 10a 所示为料框支座装置图。支座主体上覆盖带有边栏的平板，限制料框 3 个自由度；定位板限制料框 2 个自由度；扣紧装置头部限制料框 1 个自由度。料框支座扣紧装置机构运动如图 10b 所示。机构自由度的计算公式^[14]如下：

$$F_1 = 3n - 2P_L - P_H \quad (1)$$

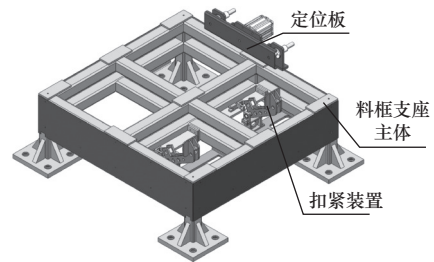
式中： F_1 为夹具卡爪装置自由度； n 为活动构件数； P_L 为低副数； P_H 为高副数。

料框支座扣紧装置中 $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ 。经计算，扣紧装置自由度为 1。

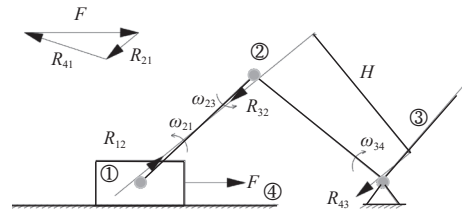
2.3 机械手爪关键设备设计

机械手爪是机械手的关键组成部分，其结构的精确与否直接决定着机械手的功能完整性。以搬运对象为分类标准，变矩器壳体智能洁净制造生产线中主要涉及两种机械手，分别为①用于抓取料框的码垛机械手；②用于抓取变矩器壳体的转运机械手和横移机械臂。

图 11a 所示为料框抓取手爪；图 11b 所示为料框抓取手爪机构运动。图 12 所示为变矩器壳体的内

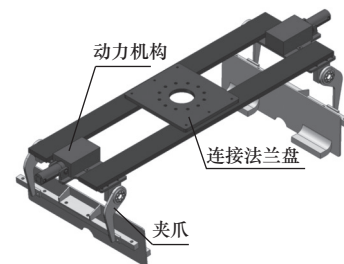


(a) 料框支座装置图

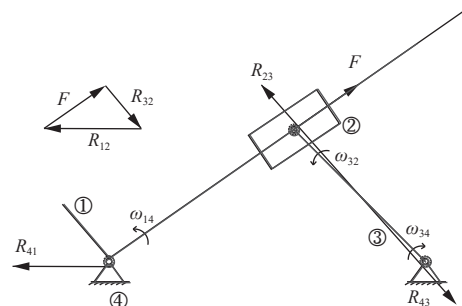


(b) 料框支座扣紧装置机构运动简图

图 10 料框支座

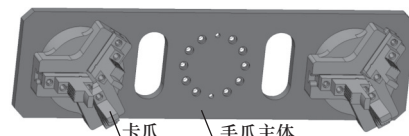


(a) 料框抓取手爪

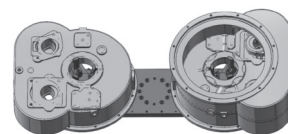


(b) 料框抓取手爪机构运动简图

图 11 料框手爪

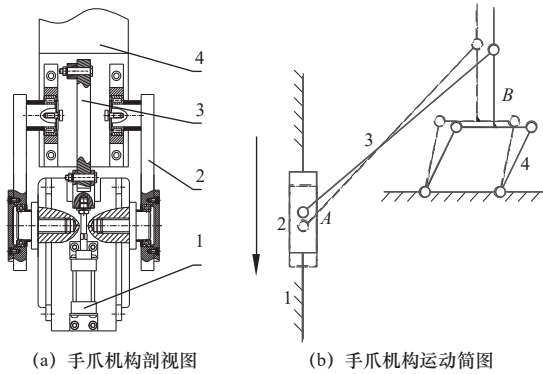


(a) 机械手爪



(b) 手腕部装

图 12 内撑式抓取手爪



(a) 手爪机构剖视图 (b) 手爪机构运动简图

1—气缸；2—连杆1；3—连杆2；4—活动夹爪。

图 13 插取式手爪抓紧机构分析

2.4 机加工系统

机加工系统三道工序所属机床选型及相关参数见表 1。

表 1 机床选型

所属工序	机床型号	定位精度/ μm	重复定位精度/ μm	主轴功率/kW	主轴最大转速/(r/min)	厂商
OP10	V4S	8	5	22	2 500	沈阳机床厂
OP20	F500/50	5	2	15	6 000	威亚
OP30	KF5608	5	2	18.5	8 000	威亚

3 分体式变矩器壳体加工工艺设计

3.1 变矩器壳体零件分析

基于山东省重大创新工程的生产线改造项目，变矩器壳体智能洁净制造生产线用于加工分体式变矩器结构单元。其生产的变矩器壳体型号根据尺寸规格不同，分为“265”和“280”两种。变矩器壳体结构如图 14 所示。

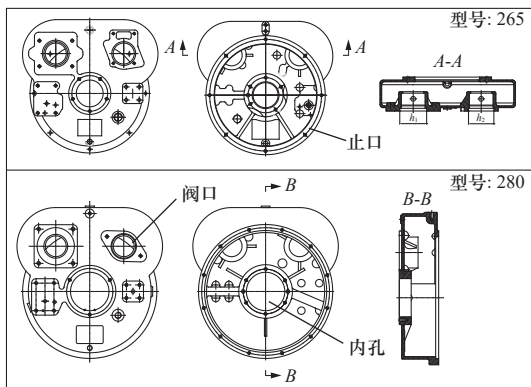


图 14 变矩器壳体结构

分体式变矩器壳体加工内容主要涉及内圆车削、车削止口、铣削端面、镗孔、钻孔以及攻丝。产品序间以及入库处理工序：清洗、吹干及防锈等工序。

图 15 所示为分体式变矩器尺寸。

根据式 (2) 计算零件的年生产纲领。

$$N = Q_m \times 365 \times (1 + m') \times (1 + n') \quad (2)$$

式中： m' 为备品率； n' 为机械加工废品率； Q_m 为厂区日产能，件。

当厂区日产能 $Q_m=400$ 件、备品率 $m'=3\%$ 、机械加工废品率 $n'=0.5\%$ 时，可知年生产纲领为 151 132 件，故分体式变矩器壳体零件生产形式为大批量生产。

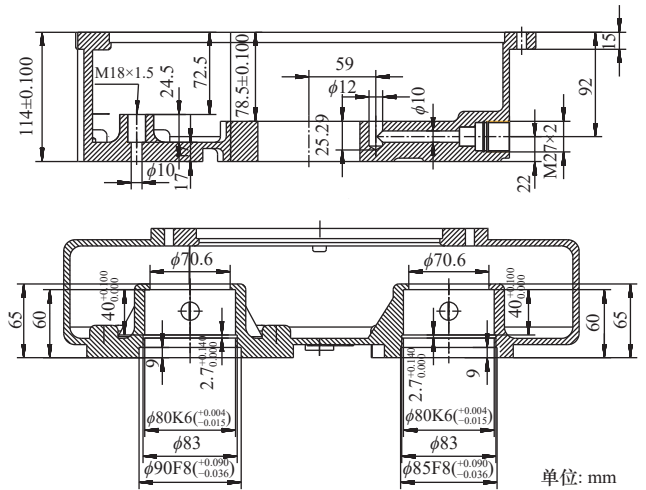


图 15 变矩器壳体尺寸

3.2 变矩器壳体工艺路线

(1) 零件工艺性分析

依据变矩器壳体形状进行分析，分体式变矩器壳体需要进行多处倒角加工，零件最薄处为 5 mm。依据变矩器壳体工件尺寸进行分析，分体式变矩器壳体毛坯余量、精度要求以及表面粗糙度要求见表 2。

表 2 变矩器壳体毛坯余量与零件精度要求

加工表面	毛坯余量/mm	尺寸精度	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
止口端面	3	IT7	3.2
止口内圆	3	IT7	3.2
内孔端面	1.5	IT7	3.2
内孔内圆	1.5	IT7	3.2
端面	3	IT7	3.2
孔 $\phi 70$ 、 $\phi 80$ 、 $\phi 85$ 、 $\phi 90$	1.5	6H	—
钻孔 M10、M12、Z3/8	1.5	6H	—
其余	—	—	12.5

分体式变矩器壳体待加工项繁多，且具有多处倒角加工。因此合理的工序安排有利于提升加工效率和改善加工质量^[15]。

(2) 工序基准的选择

根据基准重合与统一基准原则，选择止口端面为背部端面和阀口尺寸加工的基准。遵循“先基准后其他”和“先面后孔”的原则，首先加工止口尺寸。

(3) 加工方案确定

根据上述零件工艺性分析、基准选择以及工序的集中与分散原则，确定分体式变矩器壳体各表面加工方案见表3。图16所示为加工流程示意图。

表3 加工流程

工序号	加工内容	加工设备
OP10	车削止口、内孔	车床
OP20	铣端面、镗孔、钻孔、攻丝 (孔 $\phi 70$ 、 $\phi 80$ 、 $\phi 85$ 、 $\phi 90$)	加工中心
OP30	钻孔、攻丝 (M10、M12、Z3/8)	加工中心

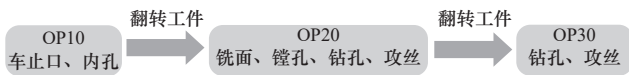


图16 工艺路线

4 产线工艺装备系统设计

4.1 车床夹具

生产线工艺装备系统是工件质量的保证，针对优化后的生产工艺流程，工艺装备系统也应有相应的优化设计。车床夹具型如图17所示。

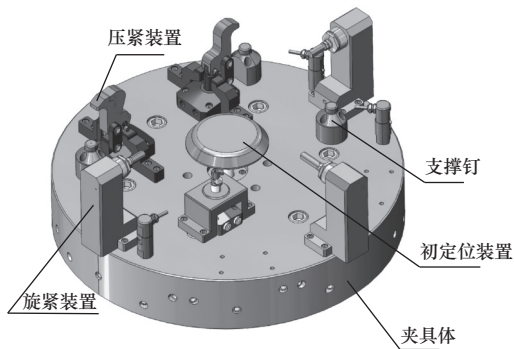


图17 车床夹具

具体动作过程如下：初定位装置穿过变矩器壳体工件内孔对工件进行初定位，限制其在X方向和Y方向的移动；进一步地，终定位装置动作，对变矩器壳体工件外圆进行定位，限制其在X方向和Y方向的移动，之后初定位装置回位。旋紧装置穿过变矩器壳体工件预铸口，对工件进行压紧，两组压紧装置穿过变矩器壳体工件阀口对其进行夹紧。

图18a所示为车床夹具机构剖视图，图18b所示为车床夹具机构运动。根据式(1)对车床夹具装置自由度进行分析。其中， $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ 。经计算车床夹具装置自由度为1。

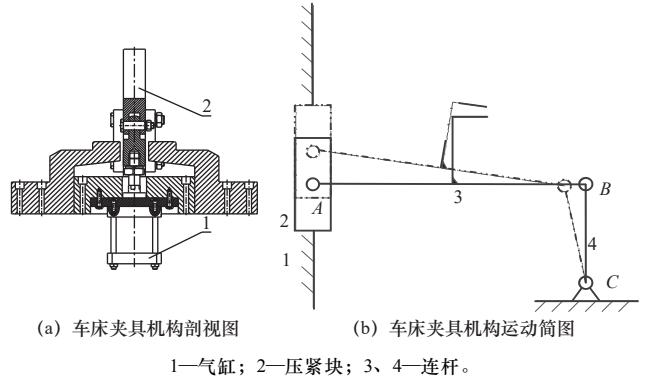


图18 车床夹具夹紧机构

4.2 加工中心夹具

加工中心夹具型如图19所示。加工中心夹具的定位夹紧符合原理：铣削加工中，3个定位块构成一个平面限制变矩器壳体工件3个自由度；压爪内撑工件内孔，限制工件2个自由度；角向定位装置的顶杆动作完成对工件的角向定位，限制工件1个自由度。压板实现对变矩器壳体工件的夹紧。

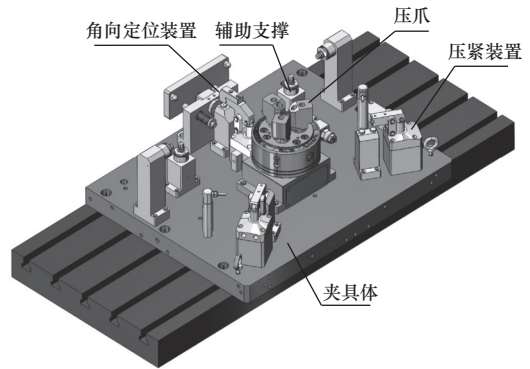


图19 加工中心夹具

4.3 翻转夹具

翻转夹具型如图20所示。翻转夹具的定位夹紧符合原理：钻削加工中，采用一面两销的定位方式。3个定位块构成一个平面限制变矩器壳体工件3个自由度；压爪相当于圆柱销、定位销相当于菱形销，两者限制工件3个自由度。压板实现对变矩器壳体工件的夹紧。

根据加工现场需求及相关标准规定，变矩器壳体机械加工夹具各部件所选材质和热处理工艺以及硬度需求为：夹具体、缸座、限位块、导向块、支

撑板和压板硬度需不低于 300 HB，故采用 45 号钢作为加工材料并进行调质热处理；配重块采用 Q235 作为原材料；定位块、定位销、顶杆和压爪硬度需不低于 50 HRC，故采用 40Cr 作为加工材料并进行调质热处理。

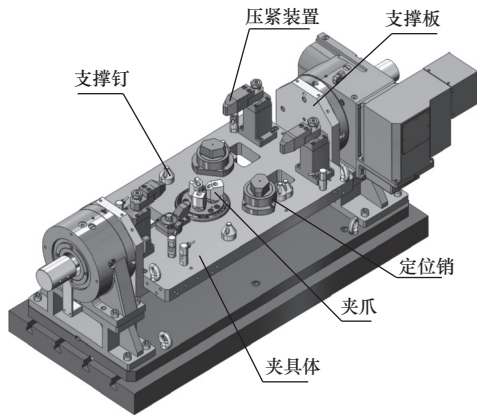


图 20 翻转夹具

变矩器壳体机械加工夹具各压紧元件夹紧力以及相应气缸额定压力需求见表 4。

表 4 夹紧力要求及气缸额定压力表

夹具型式	夹紧元件	夹紧力要求/kN	气缸额定压力/MPa
车床夹具	压紧缸 1	5.00	4
	压紧缸 2	2.54	4
加工中心夹具	定位缸	3.60	4
	压紧缸 1	2.12	4
	压紧缸 2	5.00	4
	夹紧缸	4.44	4
翻转夹具	压紧缸	3.60	4
	夹紧缸	2.30	4

为保证夹具装置夹紧可靠，要求夹具卡爪对工件产生的摩擦力矩应大于或等于刀具对工件的切削力矩 M 。即

$$M \leq 4\mu F_N D \quad (3)$$

式中： μ 为摩擦系数； F_N 为垂直于接触面的正压力，N； D 为接触面间的垂直距离，m。

刀具对工件中心的切削力矩 M 可由式 (4) 计算得到。

$$M = F_c \times R' \quad (4)$$

式中： F_c 为刀具对工件的切削力； R' 为工件回转半径。

刀具对工件的切削力^[6]可由式 (5) 计算得到。

$$F_c = 9.81 \times C_{F_c} \times a_p^{x_{F_c}} \times f^{y_{F_c}} \times v_c^{z_{F_c}} \times K_{F_c} \quad (5)$$

式中： C_{F_c} 为由加工材料和切削条件决定的系数； v_c 为切削速度； K_{F_c} 为修正系数。

$$K_{F_c} = \left(\frac{\sigma_b}{0.637} \right)^{0.75} \times K_{k_{F_c}} \times K_{\gamma_{F_c}} \times K_{\lambda_{F_c}} \quad (6)$$

式中： σ_b 为加工材料抗拉强度； $K_{k_{F_c}}$ 、 $K_{\gamma_{F_c}}$ 、 $K_{\lambda_{F_c}}$ 为由手册查询的修正系数。

进而根据式 (7)，结合选取缸径范围，得出各气缸额定压力。

$$F = \pi R^2 P \quad (7)$$

式中： F 为液压缸伸出杆推力，N； R 为液压缸缸体半径，mm； P 为液压缸工作压力，MPa。

4.4 定位误差的计算

工件以一面两孔定位，轴线偏移的极限情况如图 21 所示。

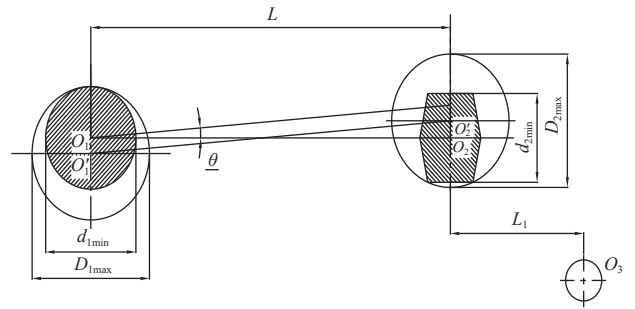


图 21 一面两销定位误差分析

定位误差分为基准位移误差和基准不重合误差。其中，一面两孔定位产生的基准位移误差 Δ_j 为

$$\Delta_j = \Delta_{Y1} + \Delta_{Y2} \quad (8)$$

式中： Δ_{Y1} 为直线位移误差； Δ_{Y2} 为角位移误差。

因为压爪相当于圆柱销，其与孔的最大配合间隙较小，故直线位移误差 Δ_{Y1} 取菱形销与孔的最大配合间隙，其可由式 (9) 计算得到。

$$\Delta_{Y1} = D_{2max} - d_{2min} \quad (9)$$

式中： D_{2max} 为 O_2 孔的最大极限尺寸； d_{2min} 为菱形销的最小极限尺寸。

工件轴线相对于两销轴线的最大偏转角可由式 (10) 进行计算。

$$\theta = \arctan \frac{O_1 O'_1 + O_2 O'_2}{L} \quad (10)$$

其中，

$$O_1 O'_1 = \frac{1}{2} (D_{1max} - d_{1min}) \quad (11)$$

$$O_2O'_2 = \frac{1}{2}(D_{2\max} - d_{2\min}) \quad (12)$$

式中： $D_{1\max}$ 为 O_1 孔的最大极限尺寸； $d_{1\min}$ 为圆柱销的最小极限尺寸。

因此，

$$\theta = \arctan \frac{D_{1\max} - d_{1\min} + D_{2\max} - d_{2\min}}{2L} \quad (13)$$

则一面两孔定位时转角定位误差的计算公式如下：

$$\Delta_{dw} = \arctan \frac{D_{1\max} - d_{1\min} + D_{2\max} - d_{2\min}}{2L} \quad (14)$$

式中： Δ_{dw} 为转角定位误差； L 为两孔中心距。

则角位移误差 Δ_{γ_2} 为

$$\Delta_{\gamma_2} = 2L_1\Delta_{dw} \quad (15)$$

式中： L_1 为待加工孔 O_3 与定位孔的中心距在 L 方向上的投影长度。

4.5 微量润滑装置

采用微量润滑装置替代浇注式润滑装置，对变矩器壳体智能洁净制造生产线进行微量润滑改造。进油装置的油杯进行储油，旁侧旋钮调节装置出油量；气体调压阀接入高压气体并进行气压的调节，装置进气的气压是控制装置喷嘴喷油角度的关键；油气混合装置包含气泵，在其中高压气体与植物基润滑剂进行混合并被送至喷嘴处。这种方法不仅提高了润滑效果，还降低了成本，同时减少了污染。

5 生产线效率

生产节拍是指平均生产一个零件所需时间，其体现了产线对生产的调节控制，更是产线生产效率的体现。

变矩器壳体智能洁净制造生产线生产节拍见表5。

表5 生产节拍

序号	名称	加工时间/(s/台)	机床数量/台	辅助时间/s	总时间/s	单件节拍/s	备注
1	OP10	278.4	2	60	338.4	169.2	—
2	OP20	640.0	4	60	700.0	175	整线节拍 r_i
3	OP30	275.8	2	60	335.8	167.9	—

注：辅助时间=机床开关门时间（10 s）+夹具清洗时间（22 s）+夹具夹紧松开时间（8 s）+机器人上料时间（10 s）+机器人下料时间（10 s）=60 s

传统生产线的平均生产节拍可由式（16）进行计算。

$$r_1 = t_1 + T_1 + t_2 \quad (16)$$

式中： r_1 为传统产线平均生产节拍，s； t_1 为人工上下料时间，s； T_1 为传统加工各工序生产时间，s； t_2 为传统加工人工平均装夹时间，s。

针对变矩器壳体智能洁净制造生产线采用时间研究法，传统产线现场的人工平均装夹时间 t_2 约为40 s；传统产线同智能洁净制造生产线机加工时间接近，各工序最大平均生产时间约为320 s；传统产线使用叉车在各孤岛加工单元间进行转运，料框承载10个工件进行转运花费300 s，平均单一工件转运时间30 s。

以平均生产节拍为指标，生产效率的提高比例可由式（17）进行计算。

$$\eta = (r_1 - r_i)/r_1 \quad (17)$$

经计算生产效率提升55.1%。综上所述变矩器壳体生产线改造前后，传统加工与智能洁净制造生产线加工性能对比见表6。

表6 效率对比

项目	传统生产线	智能洁净制造生产线
生产节拍/(s/件)	390	175
机床数量/台	8	8
用工情况/人	9	1~2

6 结语

针对重大创新工程落地实施单位山东金利特桥箱有限公司分体式变矩器壳体制造过程中存在的生产管理问题，设计了变矩器壳体智能洁净制造生产线，得到以下结论：

（1）设计了生产线布局方案和生产线管理系统，实现了变矩器壳体的离散化智能生产以及全流程的数据收集、运行分析和产线数据整合。

（2）对包括上下料系统，码垛系统，机械手转运系统和机加工系统的生产线主要硬件系统进行设计，进行了码垛料框和机械手爪机构运动分析证明其结构设计的合理性；并针对硬件系统现场安全生产提出要求；设计了分体式变矩器壳体零件加工工艺，开发了各工序夹具。

（3）以平均生产节拍为生产效率衡量指标，变矩器壳体智能洁净制造生产线较传统加工生产效率提高55.1%；加工单元中嵌入微量润滑供给装备代替传统浇注式，既降低了生产成本，同时又减少了环境污染，实现了洁净生产。

参 考 文 献

- [1] 许文昊, 李长河, 张彦彬, 等. 静电雾化微量润滑研究进展与应用 [J]. 机械工程学报, 2023, 59(7): 110-138.
- [2] 施壮, 李长河, 刘德伟, 等. 不等螺旋角立铣刀瞬时铣削力模型与验证 [J/OL]. 机械工程学报, 2024: 1-14 [2024-02-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.TH.20231229.1437.060.html>.
- [3] 王晓铭, 李长河, 张彦彬, 等. 微量润滑赋能雾化与供给系统关键技术研究进展 [J]. 表面技术, 2022, 51(9): 1-14.
- [4] 黄保腾, 张彦彬, 王晓铭, 等. SG 砂轮磨削镍基合金 GH4169 砂轮磨损机理与磨削性能的实验评价 [J]. 表面技术, 2021, 50(12): 62-70.
- [5] 李坤, 伍星亮. 基于协同作业的智能制造生产线设计 [J]. 机床与液压, 2022, 50(23): 128-133.
- [6] 刘明政, 李长河, 张彦彬, 等. 低温冷风微量润滑磨削钛合金换热机理与对流传热系数模型 [J]. 机械工程学报, 2023, 59(23): 343-357.
- [7] Chen M K, Zhang Y B, Liu B, et al. Design of intelligent and sustainable manufacturing production line for automobile wheel hub [J]. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2024, 1(1): 10003.
- [8] Hu S G, Li C H, Li B K, et al. Digital twins enabling intelligent manufacturing: from methodology to application [J]. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2024, 1(1): 10007.
- [9] An Q L, Yang J, Li J L, et al. A state-of-the-art review on the intelligent tool holders in machining [J]. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2024, 1(1): 10002.
- [10] 刘德伟, 许芝令, 李长河, 等. 端面铣削工件表面粗糙度数学模型与实验验证 [J]. 表面技术, 2024, 53(4): 125-139.
- [11] 刘德伟, 李长河, 秦爱国, 等. 考虑刀具跳动的可转位面铣刀运动学分析与铣削力模型 [J/OL]. 机械工程学报, 2024: 1-13 [2024-03-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.th.20240221.0859.002.html>.
- [12] 贾东洲, 李长河, 张彦彬, 等. 钛合金生物润滑剂电牵引磨削性能及表面形貌评价 [J]. 机械工程学报, 2022, 58(5): 198-211.
- [13] 刘明政, 李长河, 曹华军, 等. 低温微量润滑加工技术研究进展与应用 [J]. *中国机械工程*, 2022, 33(5): 529-550.
- [14] 李长河, 陈民凯, 秦爱国, 等. 汽车轮毂洁净加工生产线设计 [J]. 金属加工: 冷加工, 2023(1): 38-43.
- [15] 刘德伟, 刘红军, 周宗明, 等. 铝合金轮毂柔性夹具设计与分析 [J]. *工具技术*, 2022, 56(10): 75-82.
- [16] 徐帅强, 张彦彬, 周宗明, 等. 汽车轮毂洁净制造自动化生产线设计 [J]. 制造技术与机床, 2022(4): 32-37.

第一作者/通信作者: 张彦彬, 男, 1990 年生, 博士, 教授, 研究方向为智能与洁净精密制造。E-mail: Zhangyanbin1_QDLG@163.com

(编辑 李 静)

(收修改稿日期: 2024-05-31)

文章编号: 20240803

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

论文推荐

王杨敏, 刘前军, 潘一, 等. 干式切削环境污染采集方法与影响分析研究 [J]. 制造技术与机床, 2022(5): 29-35.



扫码获取全文

干式切削环境污染采集方法与影响分析研究

王杨敏^① 刘前军^② 潘一^① 徐国达^① 孙宇昕^① 何彦^③ 王禹林^①

^①南京理工大学机械工程学院

^②机械工业科技发展中心

^③重庆大学机械传动国家重点实验室

摘要 干式切削工艺作为绿色加工的主流工艺, 已得到广泛应用, 为实现对干式切削加工环境污染的控制, 研制了一种可集成采集粉尘、油雾和噪声等数据的机加环境污染采集工具, 提出了一种环境污染在线采集方法, 进行了单因素试验与正交试验, 研究了切削速度、每齿进给量、冷却条件和材料类型对环境污染的影响规律与程度。结果表明: 机床防护门前为最佳采样方位, 0.5 m 为最佳采样距离; 相比传统切削, 典型干式切削工艺油雾污染较低, 而粉尘污染较高; 切削速度与材料类型对环境污染排放影响较大, 每齿进给量影响较小, 冷却方式对粉尘浓度有一定的影响。研究结果可为干式切削环境数据的获取提供可借鉴的采集设备与采集方法, 可为工艺优化与绿色评价提供数据支撑。

关键词 干式切削工艺; 数据采集工具; 数据采集方法; 工艺优化; 绿色制造