

基于TRIZ理论的车床转位刀塔改进

刘胜勇

重汽（济南）车桥有限公司 山东济南 250104

摘要：针对转位刀塔车床加工中频繁出现废品的质量问题，借助TRIZ工具将工程问题转化为标准问题后，先用功能分析法得到4个关键问题，对其功能模型图进行裁剪，再用因果链分析法得到5个影响因素，经发明原理解决技术矛盾冲突，经复合物场模型进行标准求解，还用HOW TO模型进行了知识使能，探索到概念方案。

关键词：TRIZ；转位刀塔；改进

1 序言

在某输入轴柔性制造线的05、10工序上，配有液压转位刀塔的2台数控卧式车床（以下简称车床）承担着8004或0019输入轴的车削加工（见图1）。车床运行中，断续出现输入轴各台阶长度切短1~4mm的现象（见图2a），有时候间隔20件会出现2根废品，有时候间隔35件会出现2根废品。废品发生时，车刀片崩刃损坏（见图2b）。输入轴的废品数积累至10件时，该条生产线停滞待修理。



图1 输入轴车削示意



a) 输入轴废品

b) 车刀片崩刃

图2 输入轴废品及车刀片崩刃示意

2 问题分析

将液压转位刀塔车削零件的工程问题转化为TRIZ标准问题，经功能分析法得到关键问题后，结合功能模型图进行功能裁剪，用因果链分析法得到主/次要问题，经发明原理解决技术矛盾冲突，构建串/并联复合物场模型进行标准求解，并用HOW TO模型进行概念方案探索。

2.1 功能分析法

功能分析是识别系统和超系统组件的功能，并分析其特点和成本的一种分析工具。

(1) 功能组件分析涉及三方面内容 组件分析、相互作用分析和功能模型图绘制。

1) 组件分析。确定液压转位刀塔车削零件为当前系统组件，I/O信号、继电器、液压油及电能为子系统组件，加工程序和机外在线测量为超系统组件。

2) 相互作用分析。找出各组件两两之间的相互作用，用“+”表示存在相互作用，用“-”表示不存在相互作用。

3) 功能模型图绘制。确立各组件之间的具体功能关系，画出功能模型图（见图3），其中实线箭头表示无害、充足作用，波浪线箭头表示有害作用，虚线箭头表示不足作用。

(2) 通过功能组件分析得到4个关键问题 转位刀塔对车刀的夹固不足，液压装置对转位刀塔锁

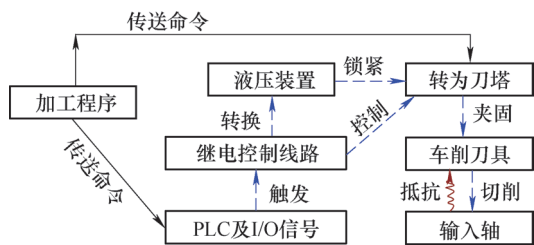


图3 功能模型

紧不足，继电控制线路转换不足，以及PMC及I/O信号触发不足。

(3) 功能组件裁剪 依据功能模型图，经裁剪原则B进行组件裁剪，即裁掉可自我执行的有用功能。拟裁剪组件为继电控制线路，裁剪后的功能模型如图4所示。裁剪后的预期成效，可提高液压装置动作信号的稳定性，消除继电控制线路转换I/O信号的不足。

(4) 用功能组件裁剪法得到概念解决方案 PLC

工业触点（触点的工作电压为DC24V或AC220V、AC110V）直接控制液压装置。

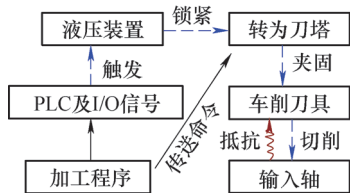


图4 裁剪后的功能模型

2.2 因果链分析法

因果链分析是全面识别工程系统缺点的分析工具，它可以挖掘隐藏于初始缺点背后的各种缺点，通过深究缺点的根源得到深层次原因。在这些原因中，有的易解决，有的不易解决，易解决的问题是用户优先着重关注的。

画出车床刀塔车废品的因果分析图（见图5），通过因果链分析得到关键的待解决问题。3个主要原

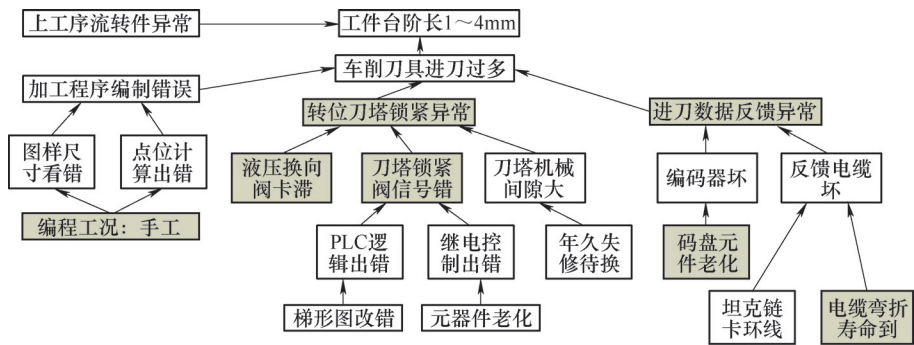


图5 车床刀塔车废品的因果分析图

因依次是液压换向阀卡滞、刀塔锁紧阀信号错和进刀数据反馈异常；2个次要原因则是编程工况为手工、刀塔机械间隙大。

2.3 矛盾分析

运用技术矛盾分析方法，对上述因果链分析得到的关键待解决问题进行概念方案探究。

(1) 技术矛盾1及解决方案 具体如下。

1) 运用六字法则“如果……那么……但是……”，定义技术矛盾1：刀塔锁紧阀信号错。随后，查询阿奇舒勒矛盾矩阵表，找到适合的发明原理。技术矛盾1的求解过程见表1。

2) 经技术矛盾分析法得到概念解决方案：设计并采用安全继电模块，经行程开关监视刀塔锁紧到位状态，去掉继电控制环节，PLC触点直接控制液

表1 技术矛盾1的求解过程

矛盾1		六字法则		改善	恶化			
刀塔锁紧阀 信号错	如果	锁紧信号稳定		31.物体产生的有害作用	26.物质的数量			
	那么	减少继电控制出错			适合的	P03	局部质量：使物体的每一部分都处于促进整体运作的状态	
						P24	中介物：使用中中介物实现所需的动作	
	但是	元器件更换频繁			不适合的	P39	惰性环境	
P01				分隔				

注：26和31为阿奇舒勒矛盾矩阵表内参数号，P03、P24、P39和P01为矩阵表行列交叉确定的发明原理号。

压换向阀。

(2) 技术矛盾2及解决方案 具体如下。

1) 运用六字法则定义技术矛盾2，查询阿奇舒

勒矛盾矩阵表，找到适合的发明原理。技术矛盾2的求解过程见表2。

2) 经技术矛盾分析法得到概念解决方案：

表2 技术矛盾2的求解过程

矛盾2	六字法则		改善	恶化	
进刀数据反馈异常	如果	进刀反馈稳定	34.可维修性	26.物质的数量	
		更换反馈元器件		P11	预先应急措施：事先准备好应急手段，补偿物体的低可靠性
	那么	时间长了损坏废件		P10	预操作：预先安置物体，使其可能在现场和最方便需要时立即发挥作用
	但是			P16	未达到或超过：难取得100%功效时，可取略小/大的功效

注：26和34为阿奇舒勒矛盾矩阵表内参数号，P11、P10和P16为矩阵表行列交叉确定的发明原理号。

CNC系统增加反馈元件进行寿命监视，增加光栅尺进行双测量系统比对误差，更换材料或工艺延长反馈元器件寿命。

2.4 物场模型分析法

(1) 液压装置锁紧转位刀塔作用不足的求解 具体步骤如下。

1) 针对液压装置锁紧转位刀塔作用不足，建立图6所示物场模型。

2) 查询76个标准解中第4类标准解（检测系统）第4个：假如一个不完整物场系统不能被检测，则增加一个或两个物场系统，且一个场作为输出。假如已存在的场是非有效的，在不影响原系统的条件下，改变或加强该场，使其具有容易检测的参数。这时可以加入第2个场F2，来增强F的作用。

3) 得到概念解决方案：液压装置锁紧转位刀塔，电场驱动光电开关监视锁紧到位状态，一旦锁紧不到位，便反馈异常并停止下一步切削。

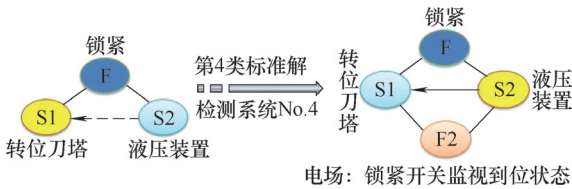


图6 液压装置锁紧转位刀塔作用不足的物场模型

(2) 继电器控制线路转换信号作用不足的求解 具体步骤如下。

1) 针对继电器控制线路转换信号作用不足，建立图7所示物场模型。

2) 查询76个标准解中第2类标准解（改变已有系统）第2个：一个可控性很差的系统已存在，部分

不能改变时，可并联第2个场F2，来增强F的作用。

3) 得到概念解决方案：附加碟簧二次锁紧，一旦继电器控制线路控制液压装置锁紧转位刀塔不彻底时，它可在液压控制阀的碟簧恢复力作用下，再次强化锁紧油路。

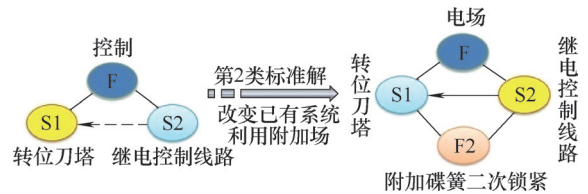


图7 继电器控制线路转换信号作用不足的物场模型

2.5 知识使能

1) 知识使能：转位刀塔松开、锁紧动作时均得存在位移。

2) 经功能分析可知，引起转位刀塔车件变短1~4mm的关键问题之一是转位刀塔锁紧动作失常，因未能及时发现而进一步直接车削零件造成废品。

3) 转化为HOW TO模型，HOW TO识别转位刀塔锁紧动作异常。查找功能代码表：F05探测物体的位移和运动，找到对应的物理效应。TRIZ推荐物理效应为E06标记物（引入易探测的标识）。

4) 得到概念方案：增加转位刀塔位移到位监视环节，经行程开关检测可知转位刀塔松开、锁紧的位移是否到位，经操作屏幕以报警EX1015呈现。

3 解决方案汇总与评价

通过以上5种TRIZ工具和创新导航IFR得出的概念解决方案，综合考虑理想度、技术难度、可靠性和经济性进行初步整理筛选评估，得到可行性较高

的方案，总得分越高代表方案越优。转位刀塔车削零件的方案决策矩阵见表3。

表3 转位刀塔车削零件的方案决策矩阵

方案决策矩阵（单项5分满分）：得分越高则方案越优							
序号	创新方法	方案名称	理想度	技术难度	可靠性	经济性	总分
1	IFR	变工艺：1把刀具	5	2	5	2	14
2		增加机内在线测量	3	3	4	4	14
3	资源分析	数字孪生，图形仿真	5	1	5	1	12
4	功能裁剪	PLC工业触点直液液压装置	4	5	4	4	17
5	技术矛盾分析	设计并采用安全继电器模块	4	5	3	2	14
6		行程开关监视刀塔锁紧到位	5	5	5	5	20
7		系统增加反馈元件寿命监视	5	3	5	4	17
8		增加光栅尺双测量系统校准误差	5	2	5	1	13
9	物场模型分析	换材料工艺延长反馈元件寿命	3	4	4	3	14
10		锁紧开关监视刀塔到位状态	5	5	5	5	20
11	知识使能	附加碟簧二次锁紧刀塔	3	1	2	2	8
12		增加刀塔位移到位监视环节	5	5	5	5	5

4 应用TRIZ理论解决措施

转位刀塔车削零件的最优解决方案为车床增加反馈元件，对转位刀塔在液压换向阀控制下的“松开→旋转→锁紧”到位动作进行监视。即CNC系统执行程序中T代码换刀（如T0703）→CNC经地址F7.3向PMC传送T码选通信号并经F26.7传送T07→PMC经COIN指令判定T码当前值C18与目标刀号D472的一致性→C18≠D472时COIN的输出结果R708.4=0→PMC经地址R707.6、R712.7和R123.0顺序传递后向车床侧输出Y3.0=1→DC24V中间继电器控制AC110V液压换向阀动作以驱动刀塔松开；伴随F7.3=1→PMC经ROT指令计算C18和D472的差值后给定刀塔回转的最短路径步数D485以及回转方向R752.6（正向0、反向1）→经R710.0和R122.7

顺序传递后输出Y2.7=1→DC24V中间继电器控制AC110V液压换向阀动作以驱动刀塔正/反转→刀塔松开延时500ms后R739.3=1→R123.0=0切断刀塔松开电磁阀→PMC经R710.3和R123.4顺序传递后输出Y3.4=1→C24V中间继电器控制AC110V液压换向阀动作以驱动刀塔锁紧；伴随C18=D472时COIN的输出结果R708.4=1→延时500ms后PMC经地址G5.3、G4.3分别向CNC反馈T码换刀完成信号以及M/S/T/B码完成信号→CNC继续T0703的下一程序段。在此换刀循环中，添入反馈信号X8.3，用以判定刀塔是否锁紧到位：一旦不到位X8.3=0，G5.3≠1使得CNC不能继续执行加工程序（光标停在T0703处），同时HMI屏显EX1015 TURRET NOT CLAMP报警。

为实现上述设想方案，务必选择触点常开式PNP型DC24V光电开关，采用5mm厚不锈钢板制作开关支架，铺设电缆至车床控制柜内，编制PMC梯形图（见图8）以添入X8.3和EX1015。待调试运行完毕后，还得将PMC梯形图固化写入FROM内，避免车床断电重启后PMC梯形图又复原。

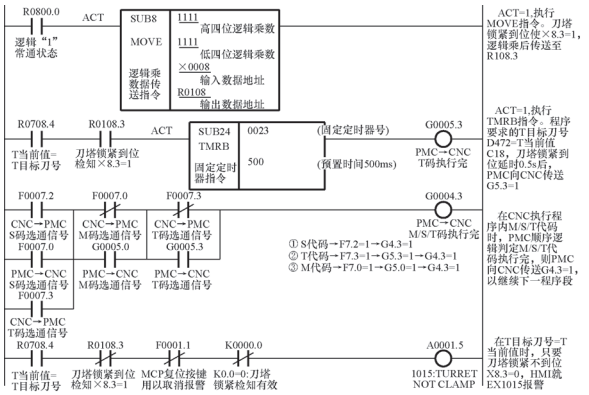


图8 刀塔锁紧用PMC梯形图

5 应用效果

柔性线内2台车床转位刀塔新增监视策略后，车床运行稳定，产品质量得到保证。车床每年停机时间由40台·日/年降低为20台·日/年，停机率下降50%，废品率降低10%。产品异常原因的查找时间缩短14h（见表4），单次维修节约（20-6）h×60元/h=840元。车床可动率得到提高，单班产量每日增加8件，每年可多生产4608根输入轴，效益可增加8件/班×2班/天×288天×161.73元/件×15%=11.18万元。此外，推广至公司80台转位刀塔车床，共增（下转第88页）

会极大地提高机床的精度和效率。

根据以上分析和计算，确定了X轴传动系统改造方式，即通过伺服电动机驱动行星减速器带动丝杠旋转，实现刀架滑座横向直线运动，通过参照图样及实际空间测绘，最后确定的主要部件选型见表1。

表1 C1563立式车床X轴传动系统改造主要部件选型

序号	部件	型号	品牌
1	伺服电动机	1FT6 108-8AC71-1DG0	西门子
2	行星减速器	PX240 25-LB	湖北汉星
3	滚珠丝杠	FFZD10020-5-4480/5106	南京工艺

5 Z轴传动系统改造设计及方案确定

Z轴（滑枕纵向移动）传动系统与X轴是通过共同的快速电动机和进给电动机，并经由共同的齿轮箱实现直线传动的，由于Z轴丝杠与X轴丝杠直径和导程参数完全一致，所以Z轴传动系统设计可以参考X轴，将此传动系统拟改造为伺服电动机通过减速箱（电动机与减速箱放置在刀架上部）直接驱动滚珠丝杠，通过电动机的转速变化实现进给运动和快速运动。

Z轴丝杠选用参数同样参照X轴，根据X轴计算结果，将Z轴丝杠选用滚珠丝杠进行计算，轴拟选用参数如下：Z轴快速进给速度 $V=2000\text{mm/min}$ ，外力（切削力） $F_A=50000\text{N}$ ，Z轴丝杠导程 $P_B=20\text{mm}$ ，Z轴丝杠直径 $D_B=100\text{mm}$ ，Z轴丝杠倾斜角 $\theta=90^\circ$ ，滚珠丝杠效率 $\eta=0.9$ ，减速箱减速比 $i=25$ ，加减速时间 $t=0.2\text{s}$ ，螺母摩擦因数 $\mu=0.01$ 。

通过计算，Z轴电动机需要转矩为 $T_M=55.99\text{N}\cdot\text{m}$ 。

根据计算结果，Z轴（滑枕纵向移动）传动系

统数控化改造后主要部件主要参数基本可以确定，即伺服电动机额定转矩需大于 $55\text{N}\cdot\text{m}$ ；减速箱减速比为25；滚珠丝杠直径 100mm ，导程为 20mm 。通过参照图样及实际空间位置测绘，最后确定具体选型见表2。

表2 C1563立式车床Z轴传动系统改造主要部件选型

序号	部件	型号	品牌
1	伺服电动机	1FT6 108-8AC71-1DH0	西门子
2	行星减速器	PX240 25-LB	湖北汉星
3	滚珠丝杠	FFZD10020-5-2709/3194	南京工艺

6 结束语

实践证明，C1563立式车床采用此方案改造后，X轴和Z轴传动系统恢复正常使用功能，运行平稳可靠，加工精度和加工效率都得到大幅提升，60年的老旧机床通过再制造变成了全新的设备，此次改造获得了成功。

参考文献：

[1] 凌智勇. 机床液压系统及故障维修[M]. 北京：化学工业出版社，2007.

[2] 刘会英，于春生. 机械设计基础[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1997.

[3] 张万奎. 机床电气控制技术[M]. 北京：中国林业出版社，2006.

[4] 吴孜越. 机床数控化改造技术及实例[M]. 北京：化学工业出版社，2018.

[5] 沙欣·费利扎德. 电机及其传动系统-原理、控制、建模和仿真[M]. 杨立永，译. 北京：机械工业出版社，2016.

[6] 姜洪源，秦大同，闫辉. 现代机械设计手册[M]. 2版. 北京：化学工业出版社，2020.

MW 20210815

（上接第85页）

表4 产品异常原因的查找时间对比

改进之前的操作及耗时		改进之后的操作及耗时	
操作内容	耗时/h	操作内容	耗时/h
操作不当查车床履历	4	MDA编程测试程序验证故障	2
车刀装夹异常确认	4	查看EX1015报警信息	1
再次车削产品重演故障	8	调整监视锁紧装置	2
液压油路机理分析	2	关盖整理现场	1
反馈环节动作确认	2	无需确认反馈环节动作	0
合计	20	合计	6

加效益894.4万元。机床制造商也可借鉴该策略，对

机械行业广大车床用户大有裨益。

参考文献：

[1] 刘胜勇. 齿轮清洗机计数定保机能的设计及应用[J]. 汽车工艺与材料，2018，354（6）：64-68.

[2] 刘胜勇. 基于TRIZ理论的水基切削液定时加注系统设计[J]. 金属加工（冷加工），2018（2）：75-76.

[3] 刘胜勇. 图解数控机床维修必备技能与实战速成[M]. 北京：机械工业出版社，2018.

MW 20210801